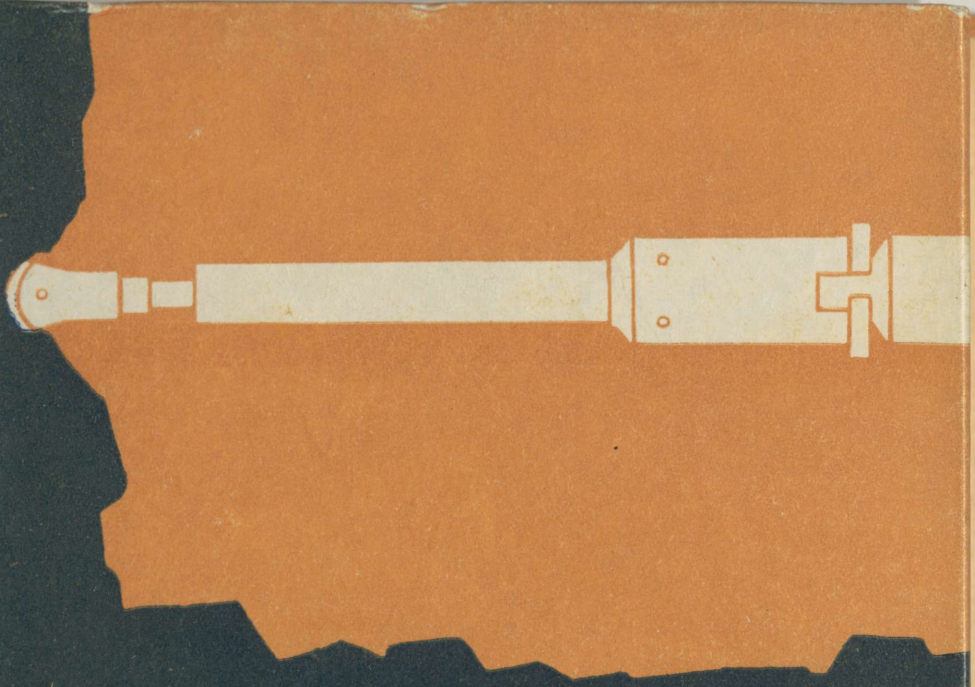


P. TARANOV

PUURIMIS- JA LÕHKETÖÖD

52610

A-24050 III

P. J. TARANOV

PUURIMIS- JA LÕHKETÖÖD

NSV Liidu Kõrgema Hariduse Ministeeriumi poolt
lubatud kasutada õppevahendina mäeinstituutides
ja -teaduskondades

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1961

6T1
T23

Originaali tiitel:
П. Я. Таранов
БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ
Углетехиздат Москва 1958

Tõlkinud
L. Kalman ja K. Saarest

Kaane kujundaja
G. Pant.

Annotatsioon

Käesolev raamat käsitleb küsimuste kompleksi, mis on seotud puurimis- ja lõhketöödega kaevandustes ja karjäärides. Raamatus kirjeldatakse kaasaegseid puur- ja lõhkeaukude puurimise meetodeid, puurimismasinate konstruktsioone, lõhkeainete teooriat, kasutusel olevaid lõhkematerjale ja laengute arvutust lõhketööde jaoks.

Raamat on koostatud «Mäetööstuse ettevõtete ehitamise» eriala «Puurimis- ja lõhketööde» kursuse programmi kohaselt ning on ette nähtud õppevahendina mäeinstituutide üliõpilastele; samuti võivad seda kasutada kaevanduste ja karjääride insener-tehnilised töötajad.

Raamatut on täiendatud dots. L. Kalmani poolt XIV peatükiga Eesti NSV-s kasutamisel olevate tähtsamate puurimis- ja lõhketööde andmetega.

Retsenseerinud: V. Viilup

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
52610

SISSEJUHATUS

Puurimis- ja lõhketöödeks nimetatakse tööoperatsioonide kompleksi, mida tehakse kivimite massiivist eraldamiseks kaeveõõnsuste rajamisel. Peale mäetööstuse kasutatakse lõhketöid laialdaselt ka teistes rahvamajandusharudes: melioratsioonitöödel põllumajanduses, ehitustöödel, metallurgiatehastes, teede ehitamisel, laevatatavate ja niisutuskanalite ehitamisel jne.

Lõhkamist teostatakse lõhkeainetega. Lõhkeainetel on eriline omadus — nad eraldavad peaaegu silmapilkselt neis sisalduva potentsiaalse energia. Vaatamata sellele, et potentsiaalse energia hulk lõhkeaines on tunduvalt väiksem kui kivisöes ja naftas, arendab ta kolossaalset võimsust oma kiire vabanemise tõttu.

Iseäranis laialdaselt on levinud lõhketööd mäetööstuses, kus neid kasutatakse juba pikka aega ja kus lõhketööd on üheks peamiseks aherkivimi ja maavara üldmassist lahtimurdmise viisiks.

Vastavalt mäetehnilistele tingimustele kasutatakse mitmesuguseid lõhketööde meetodeid: lõhkeaukude meetod, katelaukude meetod, sügavpuuraukude meetod, miinikambrite ehk kamberlaengute meetod jt.

Kuna lõhketööde efekt ei olene mitte ainult õigest laengu valikust ja selle õigest paigutamisest lõhkeauku, vaid ka õigest lõhkeaukude paigutusest ja puurimisest, tuleb puurimis- ja lõhketöid vaadelda ühise puurimis- ja lõhketööde kompleksina. Sel põhjusel õpetatakse lõhketöid üheaegselt puurimistöödega ühises «Puurimis- ja lõhketööde» kursuses.

«Puurimis- ja lõhketööde» kursus koosneb kahest osast: I osa — «Lõhkeained ja lõhketööd» ja II osa — «Puurimistööd».

Kursuse I osas õpitakse tundma lõhkematerjale, nende omadusi ja kasutamise tehnikat lõhketöödel, selgitatakse tööde meetodeid ning puurimis- ja lõhketööde kompleksi arvutusviise.

Kursuse II osas õpitakse tundma lõhkeaukude ja sügavpuuraukude puurimise viise, puurimistööde tehnoloogiat. Edasi antakse lühidalt tähtsamate puurimistöödel kasutatavate masinate konstruktsioonide kirjeldus ja nende kasutamise juhised ning selgitatakse puurimisvahendite ekspluatatsiooni küsimusi.

Mõlemas kursuse osas selgitatakse tööde organiseerimise ja ökonoomika ning ohutustehnika ja töökaitse küsimusi.

Eelnevalt «Puurimis- ja lõhketööde» kursusele õpitakse niisuguseid õppeaineid nagu keemia, füüsika, mäetööde alused jt. Puurimis- ja lõhketööde kursus on omakorda baasiks «Kaeveõõnsuste rajamise» kursuse õppimisel.

Esimeseks lõhkeaineks, mida kasutati lõhketöödel, oli must püssirohi. Must püssirohi avastati Hiinas ammu enne seda, kui teda õpiti tundma Euroopas. M. Berthelot' kinnituse kohaselt kasutati püssirohtu Hiinas noolte ja pommide heitmiseks juba X sajandil (mõned uurijad tõendavad, et püssirohtu tunti ja kasutati seal palju varem).

Püssirohi kui paiskamisvahend sai tuntuks Euroopas XIII sajandil ja levis nii kiiresti, et juba XIV sajandil peaaegu kõik Euroopa riigid omasid suurtükke. XV sajandil hakati püssirohtu kasutama miinide valmistamiseks, millega purustati vaenlase kindlustusi.

Mäeasjanduses hakati püssirohtu kasutama XVII sajandi alguses Banska Stavnika kaevandustes Tšehhoslovakkias. XVII sajandi lõpul ja XVIII sajandi alguses kasutati juba paljude Euroopa riikide mäetööstustes lõhketöid. Lõhketööde tehnika mäetööstuses arenes alguses peamiselt sõjaasjanduses saadud kogemuste alusel.

XVIII sajandi lõpul ja XIX sajandi algul tehti paljudes teaduse- ja tehnikaharudes suuri avastusi, mis võimaldasid tööstuse, muuhulgas ka keemiatööstuse kiiret arengut. Keemia kui teaduse eduka arenemise tulemusena hakkasid ilmuma uued võimsad lõhkeained, nagu nitrobensool (1834. a.), nitronaftaliin (1836. a.), püroksüliin ehk nitrotselluloos (1846. a.), nitroglütseriin (1847. a.) jt.

Püroksüliini leiutas 1846. a. saksa keemik H. Scheinbein. Kuid ebatäiusliku tehnoloogia tõttu saadi selle tootmisele asuda alles paarikümne aasta pärast. Töökojad ja laod plahvatasid püroksüliini iseenesliku lagunemisreaktsiooni tagajärjel, sest hapete väljapesemise viisid peale nitreerimist olid liiga puudulikud.

Abeli ettepanekul hakati 1865. a. alates püroksüliini (nitreeritud puuvilla) peenestama, mis võimaldas seega happeid täielikumalt välja pesta ning saada püsivam lõpp-produkt. Sellest ajast alates levis püroksüliini tootmine kiiresti ning seda kasutati peamiselt sõjaasjanduses. Venemaal hakati püroksüliini kasutama 1875. a. mereväes miinide valmistamisel ja seejärel ka armees sapööritöödel.

1891. a. D. I. Mendelejev töötas välja kolloidaalse püroksüliini tootmise tehnoloogia (Mendelejevi pürokolloid), mida kasutati suitsuta püssirohu valmistamisel. See soodustas püroksüliini tootmise ja kasutamise edasist levimist.

Suureks sündmuseks lõhkeainete arengu alal oli nitroglütseriini avastamine A. Sobrero poolt 1847. aastal.

Nitroglütseriin on vedel lõhkeaine, mis saadi glütseriini töötle-

misel lämmastikhappega. Suur tundlikkus löögi ja hõõrdumise suhtes ning ebamugavused vedela lõhkeainega töötamisel piirasid esialgu nitroglütseriini ulatuslikumat kasutamist. Peagi aga lõppes tema kasutamine üldse.

Nitroglütseriini tootmistehnoloogia väljatöötamise ning tema omaduste igakülgse katsetamise ja kasutamisviisi väljatöötamise alal on suured teened akad. N. N. Zininil ja suurtükiväe polkovnikul V. F. Petruševskil. N. N. Zinini juhtimisel ja osavõtul tehti 1854. a. laialdasi katseid nitroglütseriinsete koostiste valmistamiseks ning kasutamiseks granaatides ja veealustes miinides. Ajavahemikul 1860—1862 valmistati 163 puuda (üle 2600 kg) mitmesuguseid nitroglütseriinseid lõhkeaineid (dünamiite). Seejuures valmistati ka Petruševski dünamiiti, mis koosnes 75% nitroglütseriinist ja 25% süsihappemagneesiumist. Viimase ülesandeks oli immutada endasse nitroglütseriini. Zinin-Petruševski dünamiite katsetati 1863.—1868. aastani mitmesugustel sapööritöödel Kroonlinnas ja Peterhofis. Alates 1867. a. hakati neid kasutama kulla puistevarapaikade kaevandamisel Jakuutias.

Akadeemik Zinin töötas välja ka sünteetilisel teel aniliini saamise viisi. Aniliin on lähteaineks võimsate lõhkeainete valmistamisel ning temast saadakse ka värvaineid, arstimeid ja fotoreaktiive.

XIX sajandi kaheksakümnendatel aastatel hakati N. M. Tšeltsovi ettepanekul valmistama ja kasutama lõhketöödel ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid. Nende põhilisteks komponentideks on ammooniumsalpeeter ja aromaatse rea nitroderivaadid. Käesoleval ajal kasutatakse seda lõhkeainet suurema ohutuse ja odavuse tõttu laiemalt kui dünamiite.

Üheaegselt lõhkeainete nomenklatuuri laienemisega ja nende kvaliteedi tõusmisega täienes ka puurimis- ja lõhketööde tehnika. 1927. aastal hakati Dneprostrois lõhketöödel laialdaselt kasutama sügavpuuraukude meetodit. Aukude läbimõõt oli 15—25 cm, sügavus kuni 30 m ja laengu suurus augus kuni 600 kg. Seda meetodit arendati ja täiustati hiljem Magnitogorskis ja nüüd kasutatakse edukalt kõikides Nõukogude Liidu suuremates karjäärides.

Miinikambrite lõhkamise meetodit kasutatakse meil 1930. aastast alates.

Širjajevetsi karjääris Žigulis lõhati kivide tootmisel 1930. aastal miinilaengud, mis ühtekokku kaalusid 36,5 tonni. 1933. aastal lõhati raudteesüvendi moodustamiseks Barhatnõi mäekurul miinilaengud üldkaaluga 252 tonni. 1936. aastal lõhati Korkinos trantšee rajamisel paksu söekihi avamiseks miinilaengud üldkaaluga 1800 tonni, kusjuures üksikute laengute kaal oli kuni 90 t. Käesoleval ajal lõhatakse meil laenguid, mis kaaluvad 500 kuni 1600 tonni ja enam (Altõn-Topkani kaevanduses jm.).

25. märtsil 1958. a. teostati võimas miinilaengute lõhkamine

Sverdlovski oblastis Pokrovsk-Uralski töölisasula lähedal. Selle lõhkamisega moodustati Kolontši jõele vee kõrvalejuhtimiseks kanal, mille pikkus on 1150 m, laius ülemises osas 100 m ja sügavus 25 m. Laengute üldkaal oli 3100 t. Kanali süvendist paisati välja 750 000 m^3 kivimit. Lõhketöid teostasid Pokrovski kaevanduse mäetöölised ühes «Uralvzrõvpromi» töötajatega.

Koos meie masinaehitustööstuse arenemisega täiustus ka puurimistehnika. Meie tehased valmistavad nüüd mäetööstusele suurel hulgal kaasaegseid masinaid puurimistööde jaoks, nende hulgas ka automaatselt juhitavaid. Kõvasulamitega varustatud puurterade ja -kroonide kasutamine tõstis tunduvalt puurimise tootlikkust. Kuid edaspidi tuleb pidevalt luua uusi tehnilisi vahendeid puurimise ja lõhketööde jaoks niisuguste parameetritega, mis võimaldaksid veelgi tõsta kaasaegse puurimis- ja lõhketööde tehnika taset.

Edaspidine söetoodangu kasv ja ettevalmistuskaeveõõnsuste rajamise suurenemine nõuavad üheaegselt söe tootmis- ja läbindamiskombainide laiema kasutamisega ka puurimis- ja lõhketööde mahu tunduvat suurenemist ja nende tehnika täiustamist.

Sellega seoses on käesoleval ajal puurimise ja lõhketööde osas peamiseks ülesandeks töömahukuse vähendamine ning puurimise ja lõhketööde kompleksi kestuse lühendamine, veelgi täiuslikumate ja tootlikumate puurimismasinate, tööriistade ja efektiivsemate lõhkematerjalide kasutamine ning optimaalsemate puurimis- ja lõhketööde parameetrite (puuraukude ja lõhkeaukude läbimõõt, sügavus, arv, laengu suurus) kasutusele võtmine.

LÕHKEAINED JA LÕHKETÖÖD

I PEATÜKK

LÕHKEAINETE TEOORIA

§ 1. Plahvatus, lõhkeaine, plahvatusreaktsioonid

Plahvatuseks nimetatakse äärmiselt kiiret aine või ainete süsteemi ühest olekust teise üleminekut, millega kaasneb soojuse eraldumine ja gaaside või aurude tekkimine, olenemata sellest, kas need gaasid või aurud esinesid enne plahvatust või tekkisid nad plahvatuse ajal.

Näiteks tekivad lõhkeaine plahvatamisel selle plahvatusliku lagunemise ajal silmapilkselt gaasid ja teevad paisudes tööd; aurukatla või komprimeeritud gaasiga täidetud ballooni lõhkemisel tekitatakse plahvatusnähe juba olemasoleva auru või gaasiga.

Käesolev kursus käsitleb ainult kitsast plahvatusnähete ringi, piirdudes lõhkeainete plahvatustega. Plahvatus kitsamas mõistes, s. t. lõhkeaine plahvatus, on aine väga kiire keemiline muutumine, kusjuures vabaneb palju soojusenergiat ning tekib rohkesti gaase, mis oma kõrge rõhu tõttu on võimelised tegema mehaanilist tööd (purustama ümbritsevat keskkonda).

Vastavalt sellele võib lõhkeainet defineerida kui ainet, mis on võimeline ühe või teise välise mõjutuse tõttu keemiliselt silmapilkselt muutuma koos suure hulga soojuse eraldumisega ja surutud gaaside tekkimisega, mis võivad teha paiskamis- või purustustööd.

Lõhkeaine energia ja võimsus määratakse kindlaks keemilise lagunemise (muutumise) või reaktsiooni kiirusega, soojuse hulgaga, mis tekib plahvatuse ajal, ja plahvatusreaktsioonil eralduvate produktidega.

Suurem osa lõhkeaineid tekitavad 1 kg kohta 300—1000 liitrit gaase ja 500—1500 kcal soojust. Nende plahvatuse kiirus kõigub suurtes piirides — 100 kuni 10 000 m/sek.

Eespoolkirjeldatu selgituseks vaatleme mõningaid näiteid lõhkeainete plahvatusliku lagunemise reaktsioonide kohta ja märgime nende iseloomulikud omadused (alljärgnevad lõhkeaine lagunemise valemid on antud 1 mooli lõhkeaine kohta, peale ammoniidi, mille jaoks on esitatud valem 1 kg lõhkeaine kohta):

nitroglütseriin

$$C_3H_5(ONO_2)_3 \rightarrow 3CO_2 + 2{,}5H_2O + 0{,}25O_2 + 1{,}5N_2 + 333{,}2 \text{ kcal};$$

ammooniumsalpeeter

$$NH_4NO_3 \rightarrow 2H_2O + N_2 + 0{,}5O_2 + 29 \text{ kcal};$$

nitroglükool

$$C_2H_4(ONO_2)_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + N_2 + 236{,}5 \text{ kcal};$$

ammoniit, mis koosneb segust: ammooniumsalpeeter (88%) ja trotüül (12%)

$$11NH_4NO_3 + 0{,}53C_6H_2(NO_2)_3CH_3 \rightarrow 3{,}7CO_2 + 23{,}3H_2O + \\ + 11{,}8N_2 + 2{,}7O_2 + 737 \text{ kcal};$$

trotüül

$$C_6H_2(NO_2)_3CH_3 \rightarrow 3{,}5CO + 2{,}5H_2O + 3{,}5C + 1{,}5N_2 + 140{,}7 \text{ kcal};$$

pliiaziid

$$Pb(N_2)_3 \rightarrow Pb + 3N_2 + 107 \text{ kcal}.$$

Lõhkeainete plahvatuse põhjustab põlevate ainete (süsiniku ja vesiniku) hapendumine hapniku toimel. Tööstuslikkudes lõhkeainetes on hapnikku sisaldavaks aineks salpeeter ja mõned teised ained.

Ammooniumsalpeetri ja nitroglütseriini molekulide lagunemisel tekib hapnikku ülekülluses. Plahvatamisel süsinik ja vesinik põlevad ära, moodustades süsihappegaasi ja vee. Kui hapnikku on rohkem, võivad tekkida ka lämmastikhapendid. Lõhkeaineid, mis eraldavad üleliigset hapnikku, nimetatakse aktiivse ehk positiivse hapnikubilansiga lõhkeaineteks.

Hapnikubilanssi iseloomustab antud lõhkeaines sisalduva hapnikuhulga suhe hapnikuhulgaga, mis kulub kõikide sellesse lõhkeainesse kuuluvate põlevelementide täielikuks hapendumiseks.

Olenevalt hapniku sisaldusest, selle ülekülluses või mittepiisavusest, tehakse vahet nullilise, positiivse ja negatiivse hapnikubilansi vahel.

Nulliliseks nimetatakse hapnikubilanssi juhul, kui lõhkeaine koostises olev hapnikuhulk võrdub kõikide lõhkeaine koostisse kuuluvate põlevelementide hapendumiseks vajaliku hapnikuhulgaga.

Kui lõhkeaine koostises on liigselt hapnikku, loetakse hapnikubilanss positiivseks, puudujäägi korral aga negatiivseks.

Plahvatuse täielikkuse suhtes kõige efektiivsemaks loetakse nullilise või sellele lähedase hapnikubilansiga lõhkeainet.

Lisades positiivse hapnikubilansiga lõhkeainele põlevaineid

(näiteks puidujahu), võib tõsta plahvatava segu töövõimet, sest plahvatava komponendi liigse hapniku arvel põlevad juurdelisatud põlevaine süsinik ja vesinik, tõstes lõhkeaine energiat.

Nitroglükool kuulub nullilise hapnikubilansiga lõhkeainete hulka, sest selle koostises jätkub hapnikku vesiniku ja süsiniku täielikuks ärapõlemiseks ilma ülejäägita.

Trotüül on negatiivse hapnikubilansiga lõhkeaine. Trotüüli plahvatusel eralduvad: mürgine gaas süsinikoksüüd (vingugaas), vaba vesinik ja osaliselt vaba süsinikku.

Väikese positiivse või nullilise hapnikubilansiga lõhkeaine plahvatusreaktsioon kulgeb süsiniku ja vesiniku täieliku ärapõlemisega ja maksimaalse energia eraldumisega. Sellise lõhkeaine plahvatusreaktsiooni teoreetiliseks väljendamiseks on kerge tuletada valemit. Kui omame positiivse hapnikubilansiga lõhkeainet koostisega $C_xH_yN_zO_k$, siis plahvatusproduktide koostis on

$$xCO_2 + \frac{y}{2} H_2O + \frac{z}{2} N_2 + \frac{k-2x-\frac{y}{2}}{2} O_2.$$

Nitroglütseriini plahvatusproduktide koostis, leitud katseliselt, erineb vähem kui 0,5% teoreetilisest. Kuid mittetäieliku plahvatuse puhul võib reaktsioon kulgeda teisiti ja plahvatusgaaside hulgas võivad esineda mürgised gaasid (vingugaas, lämmastikoksüüdid).

§ 2. Hapnikubilanss ja mürgised plahvatusgaasid

Mida enam lõhkeaine hapnikubilanss kaldub kõrvale nullilisest väärtusest (ühele või teisele poole), seda väiksem on lõhkeaine potentsiaalne energia, võrreldes selle tasemega, mis tal oli nullilise bilansi juures, ja seda rohkem eraldub mürgiseid gaase. Üleliigse hapniku puhul tekib mõningal määral lämmastikoksüüde, hapniku puuduse korral eritub süsinikoksüüd.

Tööstuslikkude lõhkeainete valmistamisel valitakse nende koosseis kas nullilise või väikese positiivse (2—3%) hapnikubilansiga, et parafineeritud paberist padrunikesta põlemisel ei tekiks süsinikoksüüdi. Padrunikesta kaalu piiratakse: 100 g lõhkeaine kohta ei tohi paberit olla üle 2 g ja parafiini mitte rohkem kui 2,5 g.

Väikese positiivse või nullilise hapnikubilansiga lõhkeained ei tohiks teoreetiliselt tekitada mürgiseid gaase. Kuid praktiliselt neid mõnevõrra siiski tekib. Nende lõhkeainete plahvatusel tekivad mürgised gaasid kas CO_2 dissotsiatsiooni tulemusena või mittetäieliku plahvatuse tagajärjel (alaväärtusliku detonaatori ja lõhkeaine kasutamisel ja teistel põhjustel) või sekundaarsete reaktsioonide tagajärjel, mis võivad esineda peale plahvatust veel jahtumata kuumade gaaside ja mineraalse tolmu vastastikuse mõjutuse tulemusena.

Süsihappegaasi dissotsiatsioon ($2CO_2 \rightleftarrows 2CO + O_2$) tekib plahvatuse kõrgete temperatuuride juures. Plahvatuse ajal esinev kõrge rõhk on vastupidise toimega — takistab dissotsiatsiooni. Kui temperatuur ei ületa 2500°, on CO_2 dissotsiatsioon tähtsusetu. Tuleb märkida, et nullilise või väikese positiivse hapnikubilansiga lõhkeained, mille plahvatustemperatuur ei ületa 2500°, annavad vähe mürgiseid gaase juhul, kui plahvatus on täielik ja laeng hea topisega suletud.

Kui puurauk (lõhkeauk) ei ole korralikult puhastatud puurimisel tekkinud mineraalsest tolmust, võib see tolm plahvatusest osa võtta ja soodustada mürgiste gaaside tekkimist: süsiste kivimite puhul tekib CO, väävlit ja väävliühendeid sisaldavates kivimites tekivad SO_2 ja H_2S.

Negatiivse hapnikubilansiga lõhkeained annavad alati palju süsinikoksüüdi (CO).

Allmaatööde jaoks lubatakse kasutada nullilise või väikese positiivse hapnikubilansiga lõhkeaineid, mis teraspommis plahvatades eraldavad mürgiseid gaase üldkoguses kuni 40 liitrit 1 kg lõhkeaine kohta, ümberarvutatult süsinikoksüüdile. Lämmastikoksüüdide ümberarvutamisel süsinikoksüüdile korrutatakse lämmastikoksüüde koefitsiendiga 6,5; väävligaaside ümberarvutamisel korrutatakse neid koefitsiendiga 2,5, sest loetakse, et 1 liiter lämmastikoksüüdi võrdub mürgise toime poolest 6,5 l süsinikoksüüdiga ja 1 liiter väävligaase 2,5 l süsinikoksüüdiga.

§ 3. Plahvatusgaaside hulga määramine

Plahvatusgaaside hulka määratakse teoreetiliselt plahvatusreaktsiooni järgi ja katseliselt.

Plahvatusgaaside teoreetiline hulk määratakse Avogadro seaduse põhjal, lugedes, et normaaltingimustes (temperatuur 0° ja rõhk 760 mm elavhõbedasammast) on neil ühesugune mooli maht — 22,4 l.

Gaaside maht ühe gramm-molekuli lõhkeaine plahvatusel on:

$$V_0 = 22{,}4\Sigma n, \qquad (1)$$

kus Σn on kõikide plahvatusgaaside summaarne moolide arv.

1 kg lõhkeaine plahvatusel tekkivate gaaside maht, mida nimetatakse erimahuks,

$$V'_0 = \frac{V_0 \cdot 1000}{M} = \frac{22{,}4 \cdot \Sigma n \cdot 1000}{M}, \qquad (2)$$

kus M on lõhkeaine moolkaal.

Kui lõhkeaine ei ole mitte keemiline ühend, vaid segu, siis arvutatakse erimahtu järgmise valemiga:

$$V'_0 = \frac{22{,}4 \cdot \Sigma n \cdot 1000}{N_1 M_1 + N_2 M_2 + \cdots} \qquad (2')$$

kus M_1, M_2 jne. on plahvatava segu üksikute komponentide moolkaalud,
N_1, N_2 jne. — plahvatava segu komponentide moolide arvud,
Σn — kõikide gaaside summaarne moolide arv, mis saadakse antud hulga lõhkeva segu plahvatusel.

Kui on vaja määrata erimahtu teiste tingimuste jaoks, kasutatakse valemit

$$V_t = V'_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right); \qquad (3)$$

erimaht 15° temperatuuri juures määratakse valemi järgi

$$V'_{15} = V'_0 \left(1 + \frac{15}{273}\right) = 1{,}055\, V'_0.$$

Näide.
Määrata 1 mooli ammooniumsalpeetri plahvatusproduktide maht $NH_4NO_3 = 2H_2O + 0{,}5O_2 + N_2$.
Gaaside maht gramm-molekuli lõhkeaine plahvatusel:

$$V_0 = 22{,}4 \Sigma n = 22{,}4 \cdot 3{,}5 = 78{,}4 \text{ l}.$$

Plahvatusgaaside erimaht:

$$V'_0 = \frac{22{,}4 \cdot \Sigma n \cdot 1000}{M} = \frac{22{,}4 \cdot 3{,}5 \cdot 1000}{80} = 980 \text{ l}.$$

Katseliselt määratakse gaaside mahtu siis, kui plahvatusreaktsioon ei ole teada või ta äratab kahtlust. Harilikult tehakse samaaegselt ka gaaside analüüs, et selgitada nende koostist ja määrata plahvatusreaktsiooni kulgemist.

Plahvatusgaaside mahu määramiseks lõhatakse 100 g lõhkeainet paksuseinalises teraspommis. Peale jahtumist toatemperatuurini lastakse plahvatusgaasid läbi gaasimõõtja pommist välja, leides seega gaaside mahu. Leitud arvu täpsustatakse pommi mahu ja temperatuuride vahe paranduse lisamisega. Seejärel kaalutakse kondenseerunud vesi, leitakse vastavalt sellele arvutamise teel veeaurude maht ja lisatakse see leitud gaaside mahule.

Vee kaalu leidmiseks puhutakse pommist läbi kuiva õhku, mis sealt väljumisel juhitakse läbi kaltsiumkloriidiga täidetud toru. Pommist väljaviidav niiskus jääb torusse. Läbipuhumist jätkatakse seni, kuni toru kaal jääb muutumatuks.

Plahvatuse gaasiliste produktide mahtu võib leida ka teisel viisil — gaasi rõhu mõõtmisega pommis pärast plahvatust. Selle meetodi kasutamisel lastakse pommi pärast plahvatust 60 minutit jahtuda, et pommi seinte temperatuur võrdsustuks ümbruse temperatuuriga. Seejärel mõõdetakse gaaside rõhku pommis.

Gaaside maht normaaltingimustes (rõhk 760 mm elavhõbedasammast ja temperatuur 0°) arvutatakse valemiga:

$$V_0 = \frac{V \cdot p \cdot 273}{760 \cdot T}, \qquad (4)$$

kus V on pommi maht liitrites,

p — rõhk pommis pärast plahvatust, mm elavhõbedasammast,

T — gaaside absoluuttemperatuur pommis.

Seejärel leitakse kondenseerunud vee maht ja sellele vastav veeaurude maht ning liidetakse arvutatud mahule V_0, saades seega mahu ΣV_0.

Saadud tulemuste põhjal arvutatakse välja plahvatusgaaside erimaht (maht 1 kg lõhkeaine jaoks):

$$V'_0 = \frac{\Sigma V_0 \cdot 1000}{G}, \qquad (5)$$

kus G on lõhatud laengu kaal.

Katsepommi säästmiseks piiratakse laadimise tihedust, s. o. võetakse laengu kaalu ja pommi (või anuma, milles laeng lõhatakse) mahu vahekord mitte üle 0,01—0,02 kg/l.

Harjutusülesanded.

1. Määrata plahvatusproduktide maht plahvatusreaktsiooni järgi 1 mooli ja 1 kg nitroglütseriini, nitroglükooli ja püroksüliini jaoks.
2. Koostada plahvatusreaktsiooni valem 1 kg dinaftaliidi jaoks, mille koostises on 88% ammooniumsalpeetrit ja 12% dinitronaftaliini ($C_{10}H_6(NO_2)_2$), ning leida plahvatusproduktide maht.
3. Sama ammoniit nr. 6 (79% ammooniumsalpeetrit ja 21% trotüüli) jaoks.

§ 4. Plahvatuse soojushulga määramine

Plahvatuse soojust võib määrata teoreetiliselt, kasutades reaktsiooni valemit, või katseliselt.

Teoreetiliselt määratakse plahvatuse soojus akad. H. I. Hessi seaduse põhjal: «Reaktsioonis eraldunud soojushulk on võrdne alg- ja lõpp-produktide tekkimissoojuste vahega.»

Kohaldatuna plahvatusreaktsioonile võib seda seadust väljendada järgmiselt: plahvatuse puhul eralduv soojushulk võrdub

plahvatusproduktide summaarse tekkimissoojusega, millest on maha arvatud lõhkeaine enda tekkimissoojus, s. o.

$$Q = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \ldots - Q_0, \tag{6}$$

kus

Q on ühe mooli lõhkeaine plahvatussoojus kcal,
q_1, q_2 jne. — mitmesuguste plahvatusproduktide tekkimissoojused kcal,
n_1, n_2 jne. — plahvatusproduktide moolide arv,
Q_0 — 1 mooli lõhkeaine tekkimissoojus kcal.

1 kg lõhkeaine plahvatussoojus määratakse valemiga

$$Q' = \frac{Q \cdot 1000}{M}, \tag{7}$$

kus M on lõhkeaine moolkaal.

1 kg plahvatava segu plahvatussoojuse määramiseks kasutatakse valemit

$$Q' = \frac{[q_1 n_1 + q_2 n_2 + \ldots - (Q_{01} N_1 + Q_{02} N_2 + \ldots)]}{N_1 M_1 + N_2 M_2} \cdot 1000, \tag{8}$$

kus Q_{01}, Q_{02} jne. on plahvatava segu mitmesuguste komponentide tekkimissoojused,
N_1, N_2 jne. — plahvatava segu komponentide moolide arvud,
M_1, M_2 jne. — plahvatava segu mitmesuguste komponentide moolkaalud.

Mõnede lõhkeainete ja plahvatusproduktide tekkimissoojused on antud tabelis 1.

Plahvatusgaaside töö nende paisumisel lõhkeaine laengusuurusest mahust kuni mahuni normaaltingimustes väljendatakse valemiga

$$\Delta Q = 0{,}57 \Sigma n, \tag{9}$$

kus Σn on plahvatusgaaside moolide summaarne arv.

Niisiis ühe mooli lõhkeaine plahvatussoojus püsiva mahu juures (s. t. plahvatuse momendil, enne gaaside paisumist) on

$$Q_V = Q + 0{,}57 \Sigma n. \tag{10}$$

Ühe kg lõhkeaine plahvatussoojus on:

$$Q'_V = \frac{(Q' + 0{,}57 \Sigma n) \cdot 1000}{M}. \tag{11}$$

Tabel 1

Tähtsamate lõhkeainete ja plahvatusproduktide tekkimissoojused

Aine nimetus	Keemiline valem	Tekkimissoojus temperatuuril 15° C ja rõhul 760 mm Hg kcal/mool
Ammooniumsalpeeter	NH_4NO_3	+88,6
Dinitronaftaliin	$C_{10}H_6(NO_2)_2$	−5,7
Nitroglütseriin	$C_3H_5(ONO_2)_3$	+94,2
Nitroglükool	$C_2H_4(ONO_2)_2$	+67,7
Trotüül	$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$	+16,5
Püroksüliin	$C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$	+624
Kolloodiumpuuvill	$C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$	+705
Paukelavhõbe	$Hg(CNO)_2$	−62,8
Vesi (aur)	H_2O	+57,8
Vesi (vedelik)	H_2O	+68,4
Süsihappegaas	CO_2	+94,3
Süsinikoksüüd	CO	+26,2
Lämmastikoksüüd	NO	−26,6
Dilämmastikoksüüd	N_2O	−20,6
Metaan	CH_4	+18,6
Tselluloos	$C_6H_{10}O_5$	+200

Näide.

Leida ammooniumsalpeetri 1 mooli ja 1 kg plahvatussoojus $NH_4NO_3 = 2H_2O + N_2 + 0{,}5O_2$.

Leiame tabelist 1 ammooniumsalpeetri tekkimissoojuse ($Q_0 = +88{,}6$ kcal/mool) ja plahvatusproduktide tekkimissoojused (vesi — $q_1 = 57{,}8$ kcal/mool); lämmastiku ja hapniku tekkimissoojused $q_2 = 0$ ja $q_3 = 0$, sest need gaasid on vabas olekus.

Ühe mooli lõhkeaine plahvatussoojuse leiame valemiga

$$Q = q_1 n_1 + q_2 n_2 + q_3 n_3 - Q_0 = 57{,}8 \cdot 2 - 88{,}6 = 27 \text{ kcal/mool.}$$

Püsiva mahu juures ühe mooli lõhkeaine plahvatussoojus

$$Q_V = Q + 0{,}57 \Sigma n = 27 + 0{,}57 \cdot 3{,}5 = 29 \text{ kcal/mool.}$$

1 kg lõhkeaine plahvatussoojuse leiame valemiga

$$Q' = \frac{Q \cdot 1000}{M} = \frac{27 \cdot 1000}{80} = 338 \text{ kcal/kg.}$$

Muutumatu mahu juures (plahvatuse momendil) võrdub plahvatussoojus

$$Q'_V = \frac{(Q + 0{,}57 \Sigma n) \cdot 1000}{M} = \frac{(27 + 0{,}57 \cdot 3{,}5) \cdot 1000}{80} = 363 \text{ kcal/kg.}$$

Katseliselt määratakse plahvatussoojust kalorimeetrilises pommis lõhkeaine kaalutise põletamise või lõhkamise teel. See pomm omakorda paigutatakse kalorimeetrisse. Kalorimeetrilised pommid, mahult umbes 300 cm^3, valmistatakse kroomnikkelterasest. Laadimistihedus pommis ei tohi ületada 0,02 kg/l.

Harjutusülesanded.

Leida plahvatussoojus 1 mooli ja 1 kg nitroglütseriini, nitroglükooli, püroksüliini ning 1 kg dinaftaliidi ja 1 kg ammoniidi nr. 6 kohta.

§ 5. Plahvatustemperatuuri määramine

Plahvatustemperatuuri võib arvutada valemi abil

$$t = \frac{Q}{\Sigma n \cdot C_V},$$

kus Q on plahvatussoojus cal,
C_V — plahvatusgaaside moolsoojus jääva mahu juures cal/mool · kraad,
Σn — plahvatuse gaasiliste produktide summaarne moolide arv.

Moolsoojus gaaside jaoks plahvatuse momendil, s. o. enne nende paisumist, võetakse jääva mahu juures C_V. Reaalsete gaaside jaoks on C_V muutlik suurus, mis oleneb temperatuurist ja on erinevatel gaasidel erinev.

Mallaire ja Le Chatelier esitasid C_V määramiseks järgmise valemi:

$$C_V = a + bt,$$

kus a on moolsoojus 0° juures,
b — moolsoojuse juurdekasv temperatuuri tõusmisel 1° võrra.

Asendame eelmises valemis C_V tema avaldisega, saame

$$t = \frac{Q}{\Sigma n(a+bt)}$$

ehk

$$\Sigma nbt^2 + \Sigma nat - Q = 0,$$

millest

$$t = \frac{-\Sigma na + \sqrt{(\Sigma na)^2 + 4\Sigma nbQ}}{2\Sigma nb} \qquad (12)$$

Plahvatusprodukid koosnevad mitmesugustest gaasidest, mille soojusmahtuvus on erinev. Seetõttu Σna tähendab kõikide plahvatusgaaside summaarset moolsoojust 0° temperatuuri juures, s. t.

$\Sigma na = n_1a_1 + n_2a_2 + \ldots$. Samuti tähendab Σnb gaaside summaarset moolsoojuse juurdekasvu nende temperatuuri tõusmisel 1° võrra, s. t. $\Sigma nb = n_1b_1 + n_2b_2 + n_3b_3 \ldots$.

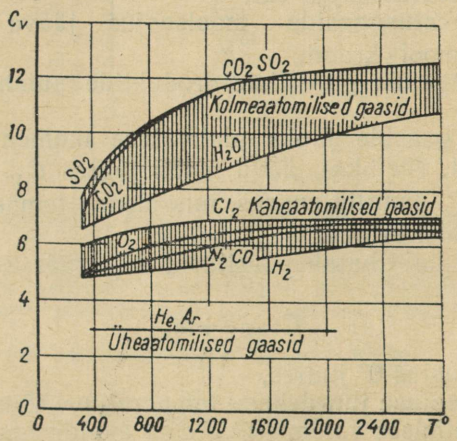
Kuna moolsoojuse C_V väärtus antakse kalorites, siis ka plahvatussoojuse Q_V suurus valemis (12) tuleb võtta kalorites.

Tabelis 2 on toodud Sarro poolt esitatud a ja b ligilähedased väärtused.

Tabel 2

Plahvatusproduktide moolsoojused

Plahvatusproduktid	Moolsoojus a 0° juures	Moolsoojuse juurdekasv b
Kaheaatomilised gaasid (N_2, O_2)	4,8	0,001
Kolmeaatomilised gaasid (H_2O, CO_2)	6,2	0,0025
Mitmeaatomilised gaasid (CH_4)	7,5	—



Joon. 1. Gaaside moolsoojuse sõltuvus temperatuurist.

Joonisel 1 on esitatud graafik C_V sõltuvuse kohta temperatuurist mitmesuguste gaaside puhul O. E. Vlassovi järgi, mis annab täpsemad moolsoojuste väärtused. Plahvatusgaaside summaarse moolsoojuse arvutused graafiku järgi ja Sarro andmete alusel annavad tähtsusetu erinevusega tulemused.

Näide.

Leida ammooniumsalpeetri $NH_4NO_3 = 2H_2O + N_2 + 0{,}5O_2$ plahvatustemperatuur, kui ta plahvatussoojus $Q_v = 29$ kcal $= 29\,000$ cal.

Alguses leiame tabelist 2 moolsoojused veele $a_1=6{,}2$, lämmastikule $a_2=4{,}8$ ja hapnikule $a_3=4{,}8$ ning neile vastavalt $b_1=0{,}0025$, $b_2=0{,}001$, $b_3=0{,}001$.

Arvutame Σna ja Σnb väärtused: $\Sigma na=n_1a_1+n_2a_2+n_3a_3=2\cdot 6{,}2+4{,}8+0{,}5\cdot 4{,}8=21{,}6$; $\Sigma nb=n_1b_1+n_2b_2+n_3b_3=2\cdot 0{,}0025+0{,}001+0{,}5\cdot 0{,}001=0{,}0065$.

Leiame plahvatustemperatuuri:

$$t=\frac{-\Sigma na+\sqrt{(\Sigma na)^2+4\Sigma nb\cdot Q}}{2\Sigma nb}=$$

$$=\frac{-21{,}6+\sqrt{(21{,}6)^2+4\cdot 0{,}0065\cdot 29000}}{2\cdot 0{,}0065}=1020^\circ.$$

Harjutusülesanded.

Leida nitroglütseriini, nitroglükooli, püroksüliini, dinaftaliidi nr. 1 ja ja ammoniidi nr. 6 plahvatustemperatuurid.

§ 6. Plahvatusgaaside rõhk

Väga kõrge rõhu puhul, mis esineb plahvatuse momendil laengu ruumis (lõhkeaugus), on gaaside tihedus lähedane vedeliku tihedusele. Seetõttu peab plahvatusgaaside rõhu arvutamisel arvestama ka nende gaaside molekulide mahtu.

Gaaside rõhu arvutamisel kasutatakse tavaliselt Van der Waalsi võrrandit:

$$P=\frac{RT}{V-\alpha} \qquad (13)$$

ehk

$$P=\frac{P_0V_0T}{(V-\alpha)273}, \qquad (14)$$

kus P on plahvatusgaaside rõhk kg/cm^2,
R — gaasikonstant,
T — plahvatuse absoluuttemperatuur,
V — laenguruumi maht l,
α — plahvatusgaaside kovoluumen,
P_0 — atmosfääri normaalrõhk, mis võrdub 1,033 kg/cm^2,
V_0 — gaaside maht normaaltingimustes 1.

Kovoluumeni suurus määratakse gaasimolekulide mõõtmetega. See kujutab jäika (mittekokkusurutavat) mahtu, mida võtavad enda alla ainult molekulid. α arvuline väärtus ei ole vajaliku täpsusega määratud. Mõned autorid (Sarro, M. J. Suhharevski) soovitavad võtta $\alpha=0{,}001\ V_0$, teised aga soovitavad selleks väiksemaid arvulisi väärtusi.

Prof. O. E. Vlassov näiteks soovitab kasutada kovoluumeni väärtusi, mis on esitatud tabelis 3. Need väärtused on vastuvõetavamad plahvatusgaaside rõhu arvutamisel lõhkeaukudes, kui

kasutatakse brisantseid lõhkeaineid ja laadimistihedus on $\geqslant 1$ g/cm³.

Laenguruumi mahtu valemis (14) on soodsam väljendada laadimistiheduse

$$\Delta_l = \frac{G}{V} \text{ kaudu,}$$

kus G on laengu kaal,

V — laenguruumi maht, millesse on paigutatud laeng.

Kui võtta laengu suuruseks 1 kg, siis

$$\Delta_l = \frac{1}{V} \text{ ja } V = \frac{1}{\Delta_l}.$$

Asendades V tema väärtusega valemis (14), saame võrrandi, mida kasutatakse plahvatusgaaside rõhu arvutamisel:

$$P = \frac{P_0 V_0 T}{\left(\frac{1}{\Delta_l} - \alpha\right) 273} = \frac{P_0 V_0 T \Delta_l}{(1 - \alpha\Delta_l)\, 273}, \tag{15}$$

kus V_0 on 1 kg lõhkeaine plahvatusgaaside maht.

Tabel 3

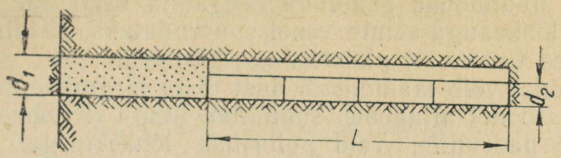
Gaaside kovoluumenid

Gaasi nimetus	Molekulkaal	Keemil. valem	Kovoluumeni suurus: liitrites kilogrammmolekuli kohta	Kovoluumeni suurus: V_0 mahu osades (liitrites 1 l gaasi kohta)	Kovoluumeni suurus: liitrites 1 kg gaasi kohta	Moolsoojus C_V kcal/kilomool · kraad
Lämmastik	28	N_2	13,8	0,00062	0,49	7
Vesinik	2	H_2	5,6	0,00025	2,8	7
Vesi (aur)	18	H_2O	8,1	0,00036	0,45	12
Hapnik	32	O_2	11,3	0,00051	0,35	7
Süsihappegaas	44	CO_2	15,2	0,00068	0,345	13
Süsinikoksüüd	28	CO	15,2	0,00068	0,25	7
Süsinik (grafiit)	12	C	5,3	—	0,44	6

Kui plahvatusproduktides esineb tahkeid aineid, siis nende maht β tuleb maha arvata mahust V ja valem (15) saab järgmise kuju:

$$P = \frac{P_0 V_0 T \Delta_l}{(1 - \alpha\Delta_l - \beta\Delta_l)\, 273}. \tag{16}$$

Laadimistiheduse all mõistetakse laengu tihedust lõhkeaugus või laengukambris. Paigutame lõhkeauku, mille läbimõõt on d_1,



Joon. 2. Laengu paigutus lõhkeaugus.

laengu, mille pikkus on l ja läbimõõt d_2 (joon. 2). Kui padruneerimistihedus (lõhkeaine tihedus padrunis) on Δ_p, siis selle laengu kaal on:

$$G = \frac{\pi}{4} d_2^2 l \Delta_p . \tag{17}$$

Kuna lõhkeauku laengu peale pandav topis liitub vahetult laenguga, siis laengut sisaldava lõhkeaugu osa pikkus on võrdne laengu pikkusega l ja tema maht väljendub valemiga

$$V = \frac{\pi}{4} d_1^2 l.$$

Laadimistiheduse saame:

$$\Delta_l = \frac{G}{V} = \Delta_p \frac{d_2^2}{d_1^2} . \tag{18}$$

Leiame, millise lõhkeaugu läbimõõdu puhul võib saada laadimistiheduseks $\Delta_l = 0{,}6$, kui ammoniidi padruni läbimõõt $d_2 = 32$ mm ja padruneerimistihedus $\Delta_p = 1$:

$$d_1 = d_2 \sqrt{\frac{\Delta_p}{\Delta_l}} = 32 \sqrt{\frac{1}{0{,}6}} = 41 \text{ mm}.$$

Niisugune lõhkeaugu ja padruni läbimõõtude vahekord esineb lõhketööde praktikas sageli. Selleks et padrunit saaks vabalt lükata lõhkeaugu põhjani, piisab 3—5 mm suurusest pilust. Suuremate vahede korral alaneb laadimistihedus ja kahaneb plahvatuse efektiivsus.

Kui padruni ja lõhkeaugu läbimõõtude vahe on 5 mm, saame laadimistiheduseks $\Delta_l = \Delta_p \frac{32^2}{37^2} = 0{,}75\ \Delta_p$. Kui padruni läbimõõt on 45 mm ja läbimõõtude vahe jääb endiseks, saame laadimistiheduseks $\Delta_l = \Delta_p \frac{45^2}{50^2} = 0{,}8\ \Delta_p$, mis on eelmisest näitajast ligikaudu 7% suurem. Seejuures gaaside rõhk suureneb 10% võrra.

Padruni läbimõõdu suurendamisega ja vahe vähendamisega padruni ja lõhkeaugu seinte vahel suurendatakse laadimistihedust ja tõstetakse tunduvalt plahvatuse efektiivsust.

Lõhketöödel võib laadimistihedust tõsta järgmiste meetoditega: 1) lahtistel töödel allapoole suunatud puur- ja lõhkeaugud laetakse mitte padrunite, vaid pulbrilise lõhkeainega, tihendades laenguid antud lõhkeaine padruneerimistiheduseni; 2) lõhkeaugu (puuraugu) laadimisel muljutakse elastse dünamiidi padrunid laadimisvardaga kokku, et nad lühenedes täidaksid kogu augu põiklõike. Nii tõstetakse laadimistihedus peaaegu padruneerimistiheduseni.

Veega täidetud lõhkeaukudes tuleb laadimistihedus lugeda võrdseks padruneerimistihedusega, sest vesi täidab kõik padruni ja lõhkeaugu seinte vahed ja annab plahvatusgaaside löögi ja rõhu väga hästi edasi augu seintele.

§ 7. Plahvatuse kiirus

Plahvatuse kiirus ja selle mõju lõhkeaine võimsusele ja toime iseloomule. Eespool vaadeldud parameetrid kuuluvad plahvatuse staatikasse ja ei iseloomusta täielikult lõhkeainete omadusi.

Täielikuma lõhkeainete iseloomustuse saamiseks tuleb arvestada plahvatuse kiirust, sest see mõjutab lõhkeaine võimsust ja plahvatusgaaside toimet laengukambri (puuraugu, lõhkeaugu) seintele.

Kiiruselt ja levimise iseloomult eristatakse kahte liiki plahvatuslikku lagunemist: detonatsiooni ja plahvatuspõlemist.

D e t o n a t s i o o n on plahvatusnähtus, mis on tingitud lõhkeainet läbivast lööklainest ja mis kulgeb antud lõhkeaines muutumata ja maksimaalse kiirusega, vastavalt antud tingimustele (kiirusega mitu tuhat meetrit sekundis).

P l a h v a t u s p õ l e m i n e on ilma lööklaineta plahvatusliku lagunemise levimine lõhkeaines, mis kulgeb võrdlemisi väikese kiirusega (sadu meetreid sekundis) ja on sõltuvuses välistest tingimustest, näiteks rõhust.

Olenevalt plahvatuse kiirusest muutuvad lõhkeaine võimsus, plahvatusgaaside toime iseloom ja plahvatuse energia kasutamise aste.

Et selgitada plahvatuse kiiruse mõju lõhkeaine võimsusele, võrdleme suitsupüssirohu laengut, mille kaal on 1 kg ja pikkus 1 m, ammoniidi nr. 8 samasuguse laenguga. Püssirohu potentsiaalne erienergia (1 kg lõhkeaine plahvatussoojus) on 665 kcal ehk 665×427 kgm, ammoniidil nr. 8 680 kcal ehk 680×427 kgm.

Seega on potentsiaalse energia suuruse ehk töövõime poolest mõlemad lõhkeained peaaegu samaväärsed, kuid plahvatuse kiirus püssirohul ja ammoniidil on erinev. Püssirohu plahvatuse

kiirus on keskmiselt 200 m/sek, ammoniidil nr. 8 keskmiselt 2800 m/sek.

Võimsus, mida arendab 1 kg
püssirohtu

$$N_p = \frac{665 \cdot 427 \cdot 200}{75 \cdot 1} \approx 750\,000 \text{ hj},$$

ammoniiti

$$N_a = \frac{680 \cdot 427 \cdot 2800}{75 \cdot 1} \approx 10\,900\,000 \text{ hj}.$$

Olenevalt plahvatuse kiirusest ja lõhkeaine võimsusest muutub ka plahvatuse toime iseloom ümbritseva keskkonna suhtes. Kui lõhkeainelaeng plahvatab lõhkeaugus kiirusega 200 m/sek, siis tõuseb rõhk võrdlemisi aeglaselt. Tõustes üle kivimi tugevuspiiri, tekivad praod kivimi nõrgemates kohtades. Plahvatusgaasid tungivad pragudesse, lõhestavad kivimit, kisuvad massiivist lahti suuri tükke ja paiskavad neid eemale.

Väiksema kiirusega plahvatavate lõhkeainete toime on selgelt lõhestav, kusjuures osa lahtimurtud kivimitükke heidetakse võrdlemisi kaugele. Seetõttu nimetatakse niisuguseid lõhkeaineid p a i s k a v a t e k s.

Kui lõhkeainelaeng lõhkeaugus plahvatab kiirusega mitu tuhat meetrit sekundis, siis gaaside rõhk kasvab kiiresti ja ületab tunduvalt kivimite tugevuse ka kõvemates kohtades. Seepärast tekib kivimis hulgaliselt pragusid ja ta puruneb tunduvalt väiksemateks tükkideks kui eelmisel juhul.

Plahvatuse suur kiirus ja väga kõrge plahvatusgaaside surve lõhkeaugu seintele sarnaneb oma iseloomult lühikese jõulise löögiga, mis purustab kivimit. Lõhkeaineid, mis plahvatavad kiirusega tuhandeid meetreid sekundis, nimetatakse p i h u s t a v a t e k s ehk b r i s a n t s e t e k s lõhkeaineteks.

Lahtiselt kivimirahnu peale pandud pihustava lõhkeaine laeng võib plahvatades selle purustada. Paiskava lõhkeaine laeng pole isegi siis, kui ta on kaalult kümneid kordi suurem, suuteline nendes tingimustes rahnu purustama, sest plahvatus toimub võrdlemisi aeglaselt ja gaasid valguvad õhku ilma jõulist, intensiivset lööki andmata.

Paiskavate lõhkeainete tüüpiliseks esindajaks on suitsupüssirohi, mis koosneb kaaliumsalpeetri, väävli ja puusõe segust.

Pihustavate lõhkeainete hulka kuuluvad nitroglütseriinsed lõhkeained, trotüül, võimsad ammooniumsalpeetrilised lõhkeained jt. Olenevalt plahvatuse tingimustest — alaväärtuslik lõhkeaine, nõrk detonaator — võib mõnikord tekkida lõhkeainelaengu plahvatuspõlemine — «laengu pahvumine». Niisugusel juhul esineb paiskav toime, ja lõhkeaine energiat kasutatakse vähem.

Lõhketöödel kasutatakse peamiselt pihustavaid lõhkeaineid, mille lagunemine toimub suurte kiirustega detonatsiooni kujul.

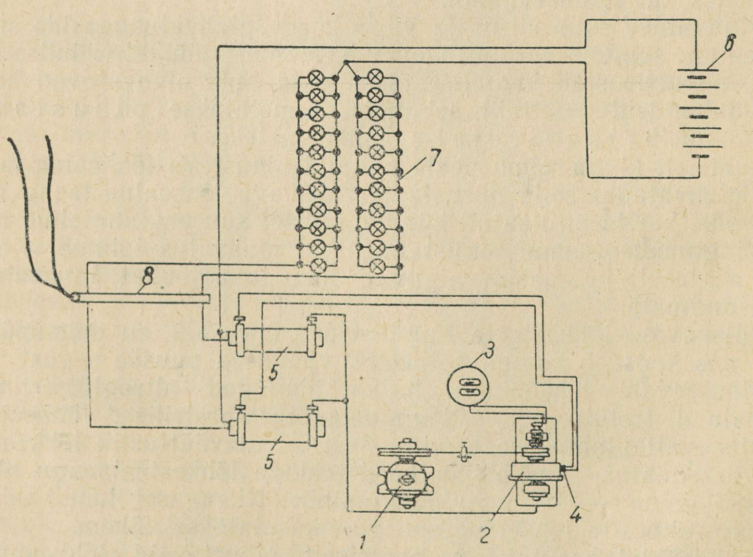
Nende lõhkeainete potentsiaalse energia kasutamise aste on suurem kui plahvatuspõlemisega lagunemisel.

Plahvatuse kiiruse mõõtmise viisid. Plahvatuse kiiruse mõõtmiseks kasutatakse erilisi seadmeid — kronograafe. Need seadmed võimaldavad kindlaks teha lühikesi ajavahemikke, mille jooksul plahvatus levib katsetatavas lõhkeaines varem märgitud kaugusele. Kronograafe ehitatakse mitmesugusel põhimõttel.

Säde-kronograaf (joon. 3) on ehitatud järgmiselt. Vundamendi terasplaadile on kinnitatud elektrimootor *1* ja trummel *2*, mille paneb pöörlema mootor rihmülekande abil. Trumli võll on ühendatud pööretenäitajaga *3*. Trumli pöia pinna lähedale on kinnitatud terasnõelad *4*. Kumbki nõel on ühendatud juhtme abil induktsioonpooli *5* sekundaarmähise ühe otsaga. Selle mähise teine ots on ühenduses trumli kerega. Kummagi induktsioonpooli primaarmähise otsad ühendatakse akumulaatorpatareiga *6*. Akumulaatoreid induktsioonpoolide primaarmähistega ühendavasse vooluringi paigutatakse reostaat *7* voolutugevuse reguleerimiseks ja ühtlustamiseks poolides.

Ühendusjuhtmed läbivad katsetatava lõhkeaine laengu *8*. Laeng elektridetonaatoriga paigutatakse kronograafist eemale varjendisse.

Enne katset kaetakse trumli pind tahmaga, nõelte teravikud seatakse 2—3 mm kaugusele trumli pinnast, et säde võiks nõela teravikult üle hüpata trumlile. Seejärel käivitatakse trumli mootor.



Joon. 3. Säde-kronograaf.

Kui trummel saavutab normaalse pöörlemiskiiruse, lõhatakse lõhkeaine laeng. Plahvatus, liikudes laengutpidi, purustab alguses traadi I ja seejärel traadi II. Traatide katkemismomentidel indutseeritakse voolud sekundaarmähistes ning nõelte ja trumli pinna vahel tekivad sädemed. Kohtades, mida läbivad sädemed, põleb tahm ära ja trumli pinnale jäävad selged täpid. Luubi ja mõõteringi abil, mis asetatakse trumli võllile, mõõdetakse kesknurk täppide — sädeme jälgede — vahel. Tähistades seda nurka tähega α, trumli nurkkiirust tähega ω, laengut läbivate juhtmete vahekaugust tähega l_1, ajavahemikku, mille vältel plahvatus selle vahemaa läbis, tähega t ja plahvatuse kiirust tähega x, saame

$$t = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{l_1}{x} \quad \text{ja} \quad x = l_1 \frac{\omega}{\alpha}. \tag{19}$$

Trumli pöörete arv minutis on 7000—9000 (joonkiirus 120—150 m/sek). Plahvatuse ajal määratakse see kindlaks pööreteluge-jaga. Pöörete arvu järgi leitakse trumli nurkkiirus.

Säde-kronograafis on tavaliselt 6—8 induktsioonmähist. Need võimaldavad mõõta mitte ainult plahvatuse kiirust kahe äärmise punkti vahel, vaid ka kiiruse muutusi üksikutes lõikudes nende punktide vahel. Säde-kronograafi täpsus ei ole suur. Kui detonatsioonikiirus on 3000 m/sek ja $l_1 = 100$ cm, võib esineda viga kuni 2—3%, kui aga $l_1 = 20$ cm, suureneb viga kuni 10—15%. Selle seadeldise abil võib määrata plahvatuse kiirusi, mis ei ületa 2000—3000 m/sek.

Optiline kronograaf. Selle kasutamine põhineb plahvatuse leegi pildistamisel kiiresti liikuvale fotolindile. Valgustundliku filmiga kaetud trummel pöörleb vertikaalsel teljel ajami abil, millel on kindel pöörete arv. Trumlit ümbritseb valguskindel kest, mille avasse on kinnitatud fotoobjektiiv. Trumli ja objektiivi vahele on paigutatud ekraan, milles on rööbiti trumli teljega kitsas pilu.

Objektiivi ette, rööbiti trumli teljega, riputatakse laeng. Laengu lõhkamisel plahvatuse leek fotografeeritakse liikuvale filmile. Teades laengu pikkust l_1, trumli pöörlemiskiirust (tähendab ka lindi liikumise joonkiirust v), ja mõõtes valgustatud riba projektsiooni pikkuse l, on kerge arvutamise teel leida plahvatuse kiirus:

$$x = v \frac{l_1}{l}. \tag{20}$$

Kui plahvatuse kiirus laengu pikkusel oli muutlik, siis valgustatud riba ei ole sirgjooneline, vaid on murtud või looklev. Seega võimaldab see meetod mõõta mitte ainult plahvatuse kiirust laengu äärmiste punktide vahel, vaid ka jälgida selle muutusi laengutpidi liikumisel. Mõõtmise täpsus on seda suurem, mida suurem on filmilindi liikumise kiirus ja mida pikem on laeng.

Lõhkeainelaengute plahvatamisel paiskub leek laengu otsast

sageli mõlemale poole. Neil kordadel pikeneb valgustatud riba leegi väljapaiskumise arvel ja selle projektsiooni pikkus ei iseloomusta enam detonatsioonilaine levimist laengus. Neil juhtudel võib tegeliku l väärtuse leida vertikaalselt riputatud laengu fotokujutise pikkuse l'_1 ja valgustatud riba vertikaalsest asendist väljakaldumise nurga φ järgi:

$$l = l'_1 \operatorname{tg} \varphi. \tag{21}$$

Nurk φ mõõdetakse fotolindil pärast katset. Pikkust l'_1 võib leida laengu fotokujutise otsesel mõõtmisel, mis on pildistatud lindile trumli seismisel enne katset, või arvutada välja valemiga

$$l'_1 = \beta l_1, \tag{22}$$

kus l_1 on laengu pikkus loomulikus suuruses,

l'_1 — laengu pikkus ülesvõttel, mis on tehtud trumli seismise ajal,

β — seadeldise vähenduskoefitsient.

Seadeldise jaoks kord kindlaksmääratud vähenduskoefitsienti võib kasutada korduvatel katsetel, kui vahemaad objektiivist kuni fotolindini ja laenguni ei muudeta.

Paigutame valemisse (20) l ja l_1 väärtused valemitest (21) ja (22), siis saame:

$$x = \frac{v}{\beta \, tg\varphi}. \tag{23}$$

Asendades joonkiiruse nurkkiirusega, saame:

$$x = \frac{2\pi nR}{\beta \, tg\varphi}, \tag{24}$$

kus n on trumli pöörete arv minutis,

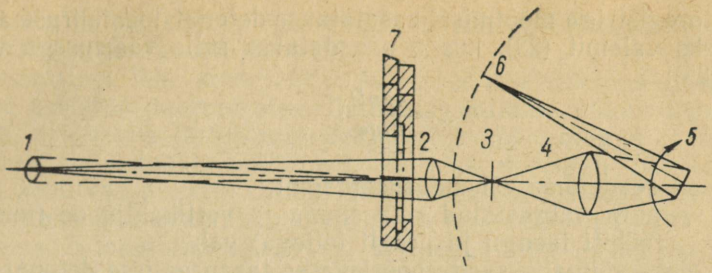
R — trumli raadius m.

Fotoregister. See seadeldis kuulub optiliste kronograafide rühma, kuid erineb neist nii ehituselt kui ka määramise täpsuselt.

Seadeldis võimaldab fikseerida ajavahemikke, mida mõõdetakse sekundi kümnemiljondikuliste osadega.

Tööviisilt põhineb seadeldis detonatsioonileegi fotoregistreerimisel. Detonatsioonileegi kujutis satub kiiresti pöörlevale tasapeeglile ja, peegeldudes sellelt, valgustab paigalolevat, ringi kaart mööda paigutatud fotolinti.

Fotoregistri skeem on kujutatud joonisel 4. Vertikaalselt riputatud laengu *1* lõhkemisel läbib detonatsioonilaine leegi valgus ekraanis *7* oleva kitsa pilu ja satub objektiivi. Viimane koosneb kahest läätsest *2* ja *4*, milledel on ühine fokaaltasapind *3*. Läbides läätsi, satub kiirte vihk kiiresti pöörlevale tasapinnalisele peeg-

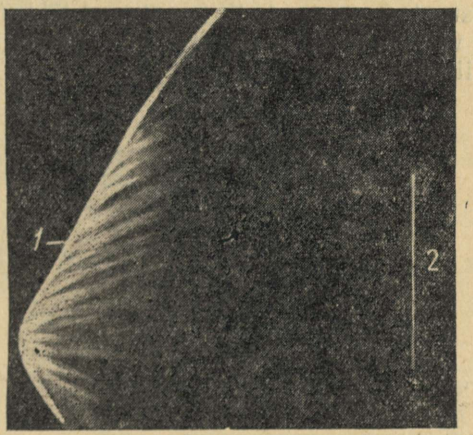


Joon. 4. Fotoregistri töötamise skeem.

lile *5*, millelt ta peegeldub ja koondub fotolindile punktis *6*. Valguskiire liikumise joonkiirus fotolindil (joon. 5) ehk laotusjoonkiirus

$$v = 2\omega R = 4\pi n R, \tag{25}$$

kus ω on peegli nurkkiirus,
R — kaugus peeglist fotolindini m,
n — peegli pöörete arv sekundis.



Joon. 5. Fotoregistri film, mis on valgustatud laengu plahvatusega:
1 — detonatsioonileegi jälg; *2* — laengu asend enne plahvatust.

Tegur 2 on võetud seepärast, et kiire nurkkiirus on kaks korda suurem kui peegli nurkkiirus, sest langemisnurk liitub peegeldumisnurgaga.

Fotoregistriga mõõtmisel kasutatakse detonatsioonikiiruse arvutamiseks valemit (23), kus v asendatakse selle väärtusega valemist (25):

$$x = \frac{4\pi nR}{\beta tg\varphi}, \tag{26}$$

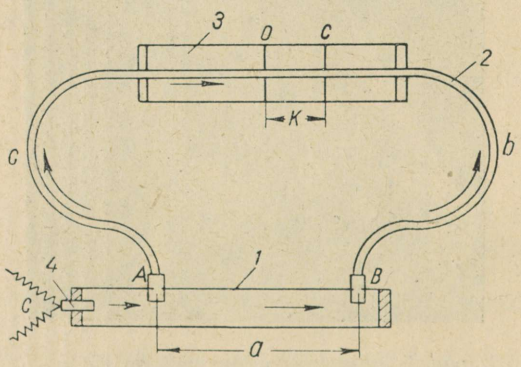
kus β on seadeldise vähenduskoefitsient,

φ — nurk valgustatud riba suuna ja vertikaaljoone (mis on rööbiti laengu ja peegli teljega) vahel.

Et oleks võimalik saada pöörlevasse tasapeeglisse detonatsioonileegi kuju, peab laengu lõhkama momendil, kui peegel on teatud asendis. Selle saavutamiseks on fotoregister varustatud erilise sünkroniseeriva seadmega. Fotoregister võimaldab fikseerida ajavahemikke sekundi kümnemiljondikuliste osade piirides. Seda seadeldist kasutatakse suurte detonatsioonikiirustega lõhkeainete detonatsioonikiiruste määramiseks ja detonatsiooninähte uurimisel.

Täpsus fotoregistriga mõõtmisel on suur. Ühekordsel mõõtmisel viga ei ületa 1%, kui laengu pikkus on 2—3 cm.

Detonatsioonikiiruse määramine väliviisil. See viis, mille esitas Dotriš ja mida pärast moderniseeriti M. J. Suhharevski ja F. A. Peršakovi poolt, ei vaja keerukat laboratooriumisisustust. Seda meetodit kasutavad lõhketöödega tegelevad ettevõtted välitingimustes, kui on vaja kontrollida lõhkeainete detonatsioonikiirust.



Joon. 6. Detonatsioonikiiruse määramine Dotriš—Suhharevski meetodil.

Dotriš—Suhharevski viis on järgmine (joon. 6). Katsetatava lõhkeaine padrunisse *1* suunatakse küljelt risti padruni teljega kaares paigutatud detoneeriva nööri *2* otsad. Nööri keskosa kinnitatakse vineerist plaadi *3* kohale 2—3 cm kõrgusele. Plaadile tõm-

matakse pliiatsiga kriips läbi punkti O nii, et detoneeriva nööri osa AO võrduks täpselt $AB+BO$.

Katsetatava lõhkeaine padrun lõhatakse elektridetonaatoriga *4*, mis on asetatud padruni otsa. Detonatsioonilaine, liikudes padrunitpidi, detoneerib järjekorras detoneeriva nööri otsa A ja seejärel otsa B. Detonatsioonilained, liikudes nööripidi teineteisele vastu, kohtuvad punktis O, kui lõhkeainepadruni detonatsioonikiirus võrdub nööri detonatsioonikiirusega (sest $AO=AB+BO$). Kui lõhkeaine detonatsioonikiirus on väiksem, mida esineb sagedamini, siis detonatsioonilained kohtuvad kusagil punktis C. Detonatsioonilainete kohtumispaik on plaadil selgesti näha, sest selles kohas on sügavam sirgjooneline kraavike, kuna mujal detoneerimiskohal on näha ainult kõverjoonelised kriimustused. Pärast lõhkamist mõõdetakse vahemaa OC.

Detonatsioonilaine liikumisaeg punktist A punktini C võrdub:

$$t=\frac{c+k}{v}=\frac{a}{x}+\frac{b-k}{v},$$

kus a on vahemaa AB (vt. joon. 6),
b — vahemaa BO,
c — vahemaa AO,
k — vahemaa OC,
v — nööri detonatsioonikiirus,
x — padruni detonatsioonikiirus.

Siit

$$\frac{a}{x}=\frac{c-b+2k}{v}.$$

Kuna $AO=AB+BO$, s. t. $c=a+b$, siis

$$\frac{a}{x}=\frac{a+2k}{v},$$

millest

$$x=\frac{a\cdot v}{a+2k}. \qquad (27)$$

Juhul kui kohtumine toimub joonest (punktist O) vasakul, võetakse k väärtus miinusmärgiga.

Katsetatavad padrunid võetakse pikkusega 300 mm ja detoneeriv nöör pikkusega 1800 mm. Nööri otsad paigutatakse padrunisse detonaatoripoolsest otsast 80 mm ja vastaspoolsest otsast 20 mm kaugusele nii, et nööri otste vahe on 200 mm.

Väliviisil detonatsioonikiiruste mõõtmise täpsus oleneb pea-

miselt detoneeriva nööri kvaliteedist. Tareeritud nööri kasutamisel on mõõtmise viga kuni 5%, mis on tööstuslikkudel proovimistel lubatud.

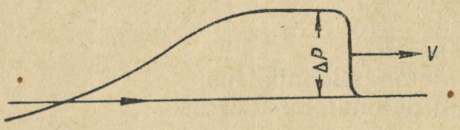
§ 8. Detonatsiooniteooria küsimused

Hüdrodünaamiline detonatsiooniteooria. Detonatsiooninähtuse selgitamiseks, mis kulgeb väga suure (helikiirust ületava) kiirusega, on esitatud erinevatel aegadel mitmesuguseid ettepanekuid ja teooriaid. Kaasaegsetest detonatsiooni hüpoteesidest ja teooriatest pälvib suurimat tunnustust hüdrodünaamiline teooria ehk detonatsiooni lööklaine teooria.

Hüdrodünaamilise teooria kohaselt tekitab ja levitab detonatsiooni lõhkeaines leviv lööklaine. Lööklaineks nimetatakse hüppelist rõhu muutumist, mis kulgeb keskkonnas helikiirust ületava kiirusega.

See laine omab järgmisi erilisi omadusi:

a) lööklaine kiirus on väga suur ning ületab tunduvalt heli kiiruse; gaasilist keskkonda läbides täheldatakse gaaside voolu liikumist lööklaine järel;



Joon. 7. Lööklaine kuju.

b) lööklaines esineb väga kõrge rõhk, mis tõuseb silmapilkselt ja hüppeliselt (joon. 7). Selle järeldusena täheldatakse lööklaine frondil (hetkelise rõhu tsoonis, mille laius on väga väike) väga kõrget temperatuuri ja keskkonna tihedust. Need tõusevad samuti silmapilkselt, hüppeliselt. Lööklaine rõhufrondi taga alanevad temperatuur ja keskkonna tihedus kiiresti;

c) mõningal kaugusel plahvatuse koldest lööklaine kaotab oma intensiivsuse ja muutub helilaineks.

Lööklained võivad tekkida ja levida mitte ainult gaasilises, vaid ka vedelas ja tahkes keskkonnas.

Löök-detonatsioonilaine teooria on välja töötatud gaasiliste plahvatavate segude jaoks. See selgitab ka nähtusi, mis esinevad tahkete (kondenseeritud) lõhkeainete gaasilistes produktides detonatsioonilaine frondi taga. Kuid see teooria ei suuda vajalikul määral selgitada füüsikalis-keemiliste nähtuste olemusi, mis toimuvad detonatsioonilaine frondil kondenseeritud lõhkeaine plahvatamisel.

Arvatakse, et lööklaine, andes löögi lähimale lõhkeaine mole-

kulide kihile, esiteks tihendab suurel määral seda kihti ja teiseks lagundab suure osa selle kihi molekulidest. Nende molekulide lagunemisproduktid (peamiselt aatomid ja mõningal määral lõplikult mittelagunenud vanade ja mittetäielikult tekkinud uute ühendite radikaalid), omades suurt energiat, annavad löögi järgmisele lõhkeaine molekulide kihile, tekitades edasist lõhkeaine lagunemist. Nii liigub lööklaine lõhkeainepadrunis, kutsudes esile silmapilkset lõhkeaine molekulide lagunemist. Üheaegselt lõhkeaine molekulide lagunemisega toimub lagunemisproduktide-vaheline reaktsioon ja plahvatusproduktide (CO_2, N_2, H_2, CO, O_2 jt.) moodustumine koos soojuse eraldumisega. Selliselt toimub detonatsiooni lööklaine frondis lõhkeaine molekulide lagunemine (frondi esipinnal) ja plahvatuse gaasiliste produktide tekkimine (frondi sügavuses). Lööklaine frondis on aine tihedus tunduvalt suurem kui harilikult selles aines (lõhkeaines). Plahvatusel eralduv energia ja gaasilised plahvatusproduktid nagu suruvad (toetuvad) lööklaine frondile, hoides lainefrondi amplituudi äkilisust (survet ja laine energiat) püsival tasemel. Kui lööklaine väljub lõhkeainest või jõuab madalakvaliteedilisse lõhkeainesse, siis tema energia, mida plahvatusreaktsiooni soojus enam ei toeta, vaibub kiiresti. Lainefrondi amplituud ja äkilisus alanevad kiiresti ja lööklaine muutub helilaineks.

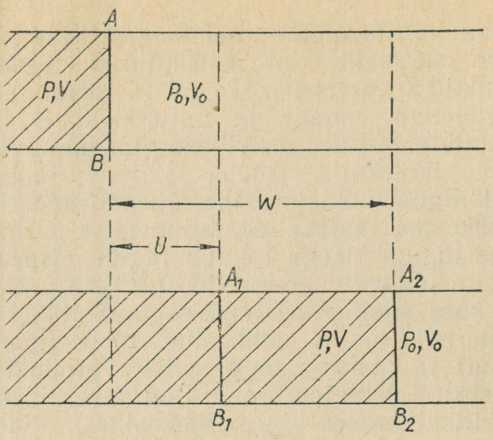
Plahvatuse gaasilised produktid, tekkides detonatsiooni lööklaine frondi sügavuses, ei jää paigale püsima, vaid liiguvad detonatsioonilainele järele kiirusega, mis on 4—10 korda väiksem detonatsioonikiirusest.

Detonatsiooni lööklaine põhilised valemid on koostatud järgmistel tingimustel. Vaadeldakse tasapinnaliselt liikuvat lööklainet, mis läbib lõhkeaine ja lõhkeproduktide silindrilise pinnaga piiratud keskkonna (joon. 8). Silindri ristlõige võetakse võrdseks ühega.

Oletatakse, et vaadeldava perioodi alguses lööklaine front oli asendis AB ja ühe ajaühiku jooksul siirdus ta asendisse A_2B_2, läbides teekonna W kiirusega W. Lööklaine frondi järel liigub gaasiliste plahvatusproduktide vool. Arvatakse, et gaasiosakesed, mis olid vaadeldava perioodi alguses asendis AB, liikusid ajaühiku vältel asendisse A_1B_1, läbides teekonna U kiirusega U[1]. Lööklaine frondi ees on lõhkeaine rahulikus olekus: rõhk on seal normaalne, võrdudes P_0-ga, aine erimaht (l/kg) on normaalne ja võrdub V_0-ga. Lööklaine frondi taga ei ole lõhkeainet, seal on gaasilised plahvatusproduktid, millel on kõrge rõhk P ja väike erimaht V.

Peamised võrrandid detonatsioonilaine gaasiliste segude para-

[1] Kuna lööklaine ja gaaside liikumist vaadeldakse ühe ajaühiku vältel, siis kiirused (W ja U) on arvuliselt võrdsed teepikkustega (W ja U); et aga ristlõige on võrdne ühega, siis on teepikkused (W ja U) arvuliselt võrdsed mahtudega (W ja U).



Joon. 8. Plahvatavat keskkonda läbiva lööklaine parameetrite arvutusskeem.

meetrite arvutamiseks saadi massi jäävuse seadusest (lõhkeaine mass mahuga W peab võrduma plahvatusproduktide massi mahuga $W-U$), liikumishulga jäävuse seadusest (plahvatusproduktide liikumishulk peab võrduma jõuimpulsiga $P-P_0$) ja energia jäävuse seadusest (energia, mille plahvatusproduktid said väljastpoolt, muutudes mahult W mahule $W-U$, peab võrduma nende kineetilise energia ja siseenergia juurdekasvu summaga).

Detonatsiooni lööklaine põhivõrrandid on järgmised:

1. Võrrand rõhu (kg/cm²) leidmiseks detonatsioonilaine frondis:

$$P=\frac{2(k-1)Q_0}{V_0-\alpha}, \tag{28}$$

kus Q_0 on plahvatava segu üldine energiavaru kcal/kg,

V_0 — lõhkeaine erimaht l/kg,

α — plahvatuse gaasiliste produktide kovoluumen 1 kg plahvatusgaaside jaoks l/kg,

$k=\frac{C_P}{C_V}$ — plahvatusgaaside keskmise moolsoojuse suhe jääval rõhul moolsoojusesse jääval mahul.

Üldine plahvatava segu energiavaru

$$Q_0=Q+U_0, \tag{29}$$

kus Q on 1 kg lõhkeaine plahvatussoojus kcal/kg,

U_0 — esialgne plahvatusgaaside siseenergia (kcal/kg) 0° C juures või 273° K juures, mis on arvutatav valemiga $U_0=273\Sigma nC_V$ (Σn — moolide arv 1 kg plahvatusproduktides).

Plahvatusgaaside keskmine rõhk $P_k = \frac{P}{2}$.

2. Võrrand plahvatuse gaasiliste produktide liikumise kiiruse leidmiseks (m/sek)

$$U = \sqrt{\frac{2(k-1)gQ_0}{k+1}}, \tag{30}$$

kus g on raskuskiirendus.

3. Võrrand detonatsioonikiiruse arvutamiseks (m/sek)

$$W = \frac{V_0}{V_0 - \alpha}\sqrt{2(k^2-1)gQ_0} \tag{31}$$

ja

$$W = \frac{V_0 U}{V_0 - V}, \tag{32}$$

kus V on plahvatuse gaasiliste produktide erimaht l/kg.

4. Võrrand plahvatuse gaasiliste produktide erimahu arvutamiseks lööklaine frondis (l/kg)

$$V = \frac{kV_0 + \alpha}{k+1}. \tag{33}$$

P, U ja W väärtused ja Q_0 väärtus võetakse arvutamisel töö-ühikutes (kgm või kgcm).

Kasutades võrrandit tahkete (kondenseeritud) lõhkeainete kohta, arvestatakse, et detonatsioonilaine frondis, kus toimusid lõhkeaine molekulide lagunemised ja plahvatusreaktsioonid, on plahvatuse gaasiliste produktide tihedus suurem lõhkeaine enda tihedusest, s. t. $\Delta_{LP} > \Delta_{LA}$. Vastupidiselt sellele on aga lõhkeproduktide erimaht väiksem lõhkeaine erimahust, s. t. $V < V_0$. Detonatsioonilaine frondist tagapool plahvatusproduktide rõhk ja tihedus alanevad, sest seal toimub plahvatusproduktide laialivalgumine.

Detonatsioonilaine frondil arvutatud rõhk valemi (28) järgi tuleb kaks korda suurem keskmisest staatilisest rõhust, mis leitakse valemite (14) ja (15) abil.

Näide.

Leida trotüüli detonatsioonilaine parameetrid.

Lähteandmed trotüüli jaoks on järgmised: tihedus $\Delta = 1{,}52$ kg/l, erimaht $V_0 = \frac{1}{\Delta} = 0{,}633$ l/kg, kovoluumen $\alpha = 0{,}47$ l/kg,

$Q_0 = 1152$ kcal/kg, $C_V = 12{,}96$ kcal/kg · mool · kraad,

$R = 1{,}99$ kcal/kg · mool · kraad.

$$C_P = C_V + R = 12{,}96 + 1{,}99 = 14{,}95 \text{ kcal/kg} \cdot \text{mool} \cdot \text{kraad}.$$

1. Leiame k väärtuse valemiga

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{14{,}95}{12{,}96} = 1{,}154.$$

2. Võrrandi (33) abil leiame gaaside erimahu, mis vastab minimaalsele (püsivale) detonatsioonikiirusele:

$$V = \frac{kV_0 + \alpha}{k+1} = \frac{1{,}154 \cdot 0{,}633 + 0{,}47}{1{,}154 + 1} = 0{,}557 \text{ l/kg}.$$

3. Võrrandi (28) abil leiame rõhu suuruse detonatsioonilaine frondis

$$P = \frac{2(k-1)Q_0}{V_0 - \alpha} = \frac{2(1{,}154 - 1) \cdot 1152 \cdot 427 \cdot 100}{(0{,}633 - 0{,}470) \cdot 1000} = 92\,400 \text{ kg/cm}^2.$$

See rõhk on kaks korda suurem keskmisest staatilisest rõhust plahvatusreaktsiooni lõpul, kuid veel endises mahus. P leidmisel võetakse plahvatava segu energia Q_0 kgcm ja maht $(V_0 - \alpha)$ cm³.

4. Võrrandi (30) abil leiame plahvatusproduktide liikumise kiiruse detonatsioonilaine frondi taga:

$$U = \sqrt{\frac{2(k-1)gQ_0}{k+1}} = \sqrt{\frac{2(1{,}154 - 1) \cdot 9{,}81 \cdot 1152 \cdot 427}{1{,}154 + 1}} = 831 \text{ m/sek}.$$

5. Kui U ja V ei ole eelnevalt teada, siis määrame detonatsioonikiiruse valemi (31) abil. Kui U ja V on teada, siis kasutatakse detonatsioonikiiruse leidmiseks valemit (32)

$$W = \frac{V_0 U}{V_0 - V} = \frac{0{,}633 \cdot 831}{0{,}633 - 0{,}557} = 6920 \text{ m/sek}.$$

Katseliselt leitud trotüüli detonatsioonikiirus, tihedusel 1,55—1,62, on 6600—7200 m/sek.

Detonatsioonikiirus oleneb lõhkeaine tiheduse astmest. Näiteks kui vaadeldaval juhul võtta $\Delta = 1{,}5$, siis $V_0 = 0{,}667$ l/kg ja $W = 6110$ m/sek. Tiheduse vähenemisel 3% võrra detonatsioonikiirus väheneb 13% võrra. Need valemid ei arvesta ega selgita lõhkeaine optimaalse tiheduse tähtsust, mille ületamisel detonatsioonikiirus enam ei suurene, vaid võib vahel isegi väheneda ja detonatsioon vaibuda.

Samuti nagu lõhkeaine tihedusestki, olenevad detonatsioonikiirus ja rõhk suurel määral ka kovoluumenist. Kovoluumen ei ole püsiv suurus, ta väheneb tunduvalt väga kõrge rõhu korral. Varemalt soovitati α väärtuseks võtta neljakordistatud molekulide maht. Nüüd kasutatakse väiksemaid suurusi. O. E. Vlassov võtab α väärtuseks ligikaudu poolteisekordse (1,47) molekulide mahu ja annab kovoluumeni suurused, mis on esitatud tabelis 3. Teised autorid (J. B. Hariton, J. B. Zeldovitš, S. B. Ratner) arvavad, et α võib olla veelgi väiksem.

Harjutusülesanded.

Leida detonatsioonikiirus ja rõhk detonatsioonilaines nitroglütseriini ja nitroglükooli (nende hariliku tiheduse juures), püroksüliini (tiheduseks võtta 1,25), ammoniidi nr. 6 ja dinaftaliidi (tiheduseks võtta 1) jaoks. Kovoluumeni väärtused võtta tabelist 3.

Detonatsioonikiirust mõjutavad tegurid. Detonatsioonikiirus oleneb paljudest teguritest, millest peamised on lõhkeaine koostis ja selle füüsikalis-keemilised omadused, algimpulsi jõud ja liik, lõhkeaine padruneerimise tihedus, padruni läbimõõt ja kesta (pakendi) tihedus.

Lõhkeaine koostise ja füüsikalis-keemiliste omaduste mõju. Detonatsioonikiirus sõltub keemilise reaktsiooni võimalikust kiirusest, lõhkeaine keemilise tasakaalu püsivuse astmest ja plahvatusel eralduva energia hulgast, mis on võimeline plahvatusreaktsiooni toetama.

Püssirohu-tüüpi plahvatavad mehaanilised segud plahvatavad aeglaselt seepärast, et puusõe osakestes oleva süsiniku hapendumisreaktsioon kaaliumsalpeetri hapnikuga toimub aeglaselt. Seda tuleb märkida ka kaaliumi ja väävli ühinemisreaktsiooni kohta.

Selleks et tekitada püssirohu plahvatust, tuleb kulutada teatud hulk soojusenergiat salpeetri lagundamiseks ja komponentide temperatuuri tõstmiseks tasemeni, mille juures võivad kulgeda süsiniku hapendumise ja väävli kaaliumiga ühinemise reaktsioonid.[1] Salpeetri lagunemisel eralduvad hapnik ja kaalium, reageerides vastavalt süsiniku ja väävliga. Nende reaktsioonide ajal eraldub soojus. Suurem osa eralduvast soojusest kulutatakse plahvatusreaktsiooni ergutamiseks kõrvalolevates püssirohukihtides, ülejääv osa moodustab plahvatussoojuse, s. t. püssirohu potentsiaalse energia.

Kui lõhkeaine esineb keemilise ühendina, siis sisaldab selle molekul nii põlevelemente kui ka hapnikku nende hapendumiseks. Niisuguse molekuli lagunemisel vabanevad aatomid asetsevad üksteise lähedal ja seepärast toimub nende vastastikune keemiline reaktsioon kiiresti. Sellise lõhkeaine plahvatus kulgeb iseäranis kiiresti — lõhkeaine detoneerib.

Kuid mitte kõik plahvatavad keemilised ühendid ei plahvata kergesti ega oma suurt plahvatuse kiirust. Mida püsivamad on lõhkeaine molekulid ja mida väiksem on potentsiaalne energia, seda raskem on tekitada plahvatust, seda väiksem on plahvatuse kiirus. Ammooniumsalpeeter näiteks plahvatab raskesti ja väikese kiirusega (1500—3000 m/sek). Seda põhjustab antud lõhkeaine molekulide võrdlemisi suur püsivus ja tema madal potentsiaalne energia.

Plahvatavate keemiliste ühendite mehaanilisest segust koosnevate lõhkeainete detonatsioonikiirus oleneb nii komponentide olemusest kui ka nende peenestamise astmest, segamise hoolikusest ja komponentide kokkupuutumise tihedusest. Näiteks ammoniidi nr. 6 detonatsioonikiirus on 4200 m/sek, kuid sama ammoniit, tihendatud kollerveskis töötlemisega, detoneerub kiirusega ligi-

[1] Peale nende ühendite tekib püssirohu plahvatamisel veel teisi ühendeid. Kuid et protsessi kirjeldust mitte keerukaks teha, neid siin ei vaadelda.

kaudu 5000 m/sek. Ammoniidi töötlemine rasketes kollerveskites suurendab peenestamise astet, soodustab segunemist ja segu osakeste omavahelist tihendamist. Sel teel tõstetakse plahvatusreaktsiooni kiirust.

Inertsed segud, kui nad ei ole katalüsaatorid, vähendavad detonatsioonikiirust ja võivad isegi viia detonatsiooni vaibumiseni, kui neid on lõhkeaines rohkem. Kui lõhkeaine kvaliteet padrunis on muutumatu, detoneerub lõhkeaine kogu padruni ulatuses püsiva kiirusega. Juhul kui padruni mingis osas on lõhkeaine madalama kvaliteediga, alaneb detonatsioonikiirus selles paigas või vaibub üldse. Lõhkeaine kvaliteedi langust võib põhjustada lõhkeaine koostise muutumine, tiheduse vähenemine, niiskuse suurenemine, struktuuri muutumine (halvemini segatud) jm.

A l g i m p u l s i m õ j u. Algimpulsiks (initsieerivaks impulsiks) nimetatakse sellist laengu välist mõjutamist, mis kutsub esile lõhkeaine plahvatuse.

Nii algimpulsi liik (termiline, mehaaniline jne. energia) kui ka selle jõud avaldavad suurt mõju lõhkeaine plahvatuse kiirusele. Kuumutamisel detoneeruvad ainult vähesed lõhkeained, suurem osa neist põleb aga ilma plahvatamata või annab plahvatuspõlemise. Löögi toimest aga detoneeruvad paljud lõhkeained kergesti.

Nitroglütseriin väikeses koguses põleb rahulikult. Suurema koguse põlemine muutub plahvatuseks. Kiirel kuumutamisel kuni 200° nitroglütseriin plahvatab.

Põlema süüdatud püroksüliin põleb ilma plahvatamata isegi suurtes kogustes. Tema põlemine lahtises õhus muutub plahvatuseks, kui kogus ületab 200—250 kg.

Kui lõhkeaine põlemine ei toimu lahtiselt, vaid kinnises anumas (lõhkeaugus), siis muutub põlemine plahvatuseks palju kiiremini.

Kui lõhkeaine põleb lõhkeaugus, ei jõua põlemisproduktid lõhkeaugust väljuda, nad tungivad osaliselt laengusse, kuumutavad seda ja tõstavad rõhku. Rõhu ja temperatuuri tõus soodustavad põlemisreaktsiooni kiirenemist ja see muutub kiiresti plahvatuseks.

Löögiga võib plahvatust kergemini tekitada kui kuumutamisega. Tugevast ja järsust löögist detoneeruvad paljud lõhkeained. Kergelt detoneeruvad löögist nitroglütseriin, püroksüliin ja dünamiidid. Mida tugevam ja intensiivsem on löök, seda täielikum on detonatsioon ja kiirem selle levik.

Tugevam ja järsem löök saadakse laengu detoneerimisel paukelavhõbedaga, pliiaziidiga, teniga ja mõnede teiste brisantsete lõhkeainetega.

Paukelavhõbe ja pliiaziid kuuluvad nende väheste lõhkeainete hulka, mis detoneeruvad nii löögist kui ka kuumutamisest. Need lõhkeained on endotermilised keemilised ühendid ning väga tundlikud mehaaniliste ja soojuslike mõjutuste suhtes. Kui kuumutada

paukelavhõbedat kuni 180°-ni ja pliiaziidi kuni 345°-ni, siis detoneeruvad need lõhkeained kiirusega 5300—5400 m/sek.

Omaduse tõttu leegi toimel silmapilkselt detoneeruda· kasutatakse neid lõhkeaineid initsieerivate lõhkeainetena teiste lõhkeainete detoneerimiseks, mis ise ei ole võimelised kuumutamisest detoneeruma.

Kesta (hülssi) paigutatud initsieerivat, s. o. detonatsiooni algatavat laengut nimetatakse detonaatoriks.

Lõhkeaine padruneerimistiheduse, padruni läbimõõdu ja pakendi tugevuse mõju. Lõhkeaine tihedus mõjutab tunduvalt tema põlemise ja detonatsiooni kiirust.

Eristatakse kahesugust lõhkeaine tihedust — tegelikku ja gravimeetrilist.

Tegelikuks tiheduseks nimetatakse lõhkeaine kaalu ja tegeliku mahu vahekorda tingimustes, kus aine täielikult täidab kogu mahu ilma õhu- või muude vahedeta (sulatatud trotüül, dünamiidid, nitroglütseriin jt.).

Gravimeetriliseks ehk puisteliseks tiheduseks nimetatakse lõhkeaine kaalu ja selle mahu suhet, mida ta täidab pulbrilises olekus koos kõigi õhuvahedega.

Võrdvõimeliste lõhkeainete korral on otstarbekohane kasutada lõhketöödeks suurema tihedusega lõhkeainet.

Kuid mida suurem on lõhkeaine tihedus (pressimise või padruruneerimise tihedus), seda aeglasemalt põleb lõhkeaine, seda raskem on üleminek põlemiselt plahvatusele, sest suurem tihedus takistab kuumade lagunemisproduktide sissetungimist lõhkeaine massi.

Detoneerimisel, kui see on tekitatud detonaatoriga, on tiheduse mõju hoopis teistsugune. Detonatsioonikiirus kasvab padruneerimise või pressimise tiheduse suurenemisega, ulatudes maksimaalseni teatud tiheduse juures, mida nimetatakse optimaalseks.

Detonatsioonikiiruse kasvu võib tiheduse suurenemisel seletada sellega, et suurema tiheduse juures muutub lõhkeaine ühtlasemaks (homogeensemaks) ja energia kontsentratsioon mahuühiku kohta suureneb. Need mõlemad aga soodustavad reaktsiooni kiiruse suurenemist.

Kuid selleks, et reaktsioon tekiks ja kulgeks ilma vaibumata, on nõutav, et algimpulss tungiks lõhkeaine massi vajalikule sügavusele. Üleliigne lõhkeaine tiheduse suurendamine vähendab impulsi sissetungimise sügavust ja muudab detonatsioonilaine ebakindlaks (ebastabiilseks).

Igal padruneerimise tihedusel (igal lõhkeainel erinev) on oma kriitiline padruni läbimõõt. Väiksema läbimõõdu puhul esinevad tõrked. Igal lõhkeainel on ka oma kriitiline tihedus, mida ületades esinevad samuti tõrked.

Tööstuslikud lõhkeained padruneeritakse optimaalsele tihedu-

sele lähedase tihedusega (lisa 1) padrunitesse, mille läbimõõt on suurem kriitilisest. Dünamiidid lastakse tehasest välja läbimõõduga 32 ja 45 mm ning ammoniidid läbimõõdus 32, 36 ja 45 mm. Vajaduse korral võib kasutada ka jämedamaid padruneid.

Plahvatus mõjutusest. Lõhkeaine laengus liikuv lööklaine, ületades keskkonna takistusi, kulutab selleks osa oma energiast. Plahvatusreaktsioonid, mis toimuvad detonatsioonilainete frondis ning mille puhul kaasneb soojuse eraldamine, taastavad lööklaine energiat seni, kuni see liigub lõhkeainelaengus.

Kui lööklaine väljub lõhkeainelaengu piiridest, nõrgeneb tema energia järk-järgult. Plahvatuse korral purustatakse laengulähedast keskkonda lööklaine ja plahvatusgaaside ühisel toimel. Lõhkegaaside purustav toime ei ulata laengust kaugemale kui 20 laengu raadiust. Kaugemal tekitab purustusi ainult lööklaine.

Laengu lähedal on lööklaine veel nii tugev, et ta võib esile kutsuda teise lõhkeainelaengu plahvatust. Sellist plahvatust nimetatakse mõjutusplahvatuseks ja detonatsiooni initsieerimist mingile kaugusele nimetatakse detonatsiooni edasiandmiseks. Seda laengut, millest väljus initsieeriv lööklaine, nimetatakse aktiivseks laenguks. Mõjutusega plahvatavat laengut nimetatakse passiivseks laenguks.

Detonatsiooni edasiandmise kaugus oleneb paljudest faktoritest. See on seda suurem, mida suurem on aktiivne laeng, mida võimsam ja brisantsem on aktiivse laengu lõhkeaine, mida suurem on selle laengu tihedus ja mida suurem on passiivse laengu brisantsus. Edasiandmise kaugus sõltub ka keskkonna tihedusest ja elastsusest, mida läbib lööklaine. Detonatsiooni edasiandmise kaugus on seda suurem, mida suurem on keskkonna elastsus ja mida väiksem selle tihedus. Detonatsioon kandub hästi edasi õhus, veidi halvemini vees ja veel halvemini puidus, savis ja liivas.

Detonatsiooni levimiskaugus arvutatakse järgmise valemiga:

$$L = k\sqrt{Q}, \tag{34}$$

kus L on kaugus laengute vahel m,

Q — aktiivse laengu kaal kg,

k — koefitsient, mis arvestab keskkonna mõju ning aktiivse ja passiivse laengu lõhkeainete iseloomu (dünamiitide jaoks õhus võetakse 0,5—1,0 ja lõhkeaukudes 2.5—4,5).

Kumulatiivne efekt. Detonatsioonilaine laengutpidi liikumise ajal liiguvad plahvatusproduktid detonatsioonilaine järel, kuid nende liikumise kiirus on tunduvalt väiksem detonatsioonikiirusest, s. t. lööklaine liikumise kiirusest. Plahvatusproduktide osakesed eralduvad laengu pinnal üldisest massist ja paiskuvad kõrvale kiirusega, mis on suurem kui plahvatusproduktide üldmassi liikumise kiirus.

Katsed näitavad, et laengu pinna lähedal liiguvad plahvatus-

produktid detonatsioonilaine liikumise suuna suhtes ligikaudu 45°-se nurga all, kusjuures laengu pinnast kaugenedes see nurk veelgi suureneb. Joonisel 9 näeme nelja ammoniidipadruni plahvatuse fotot. Lööpadrun on vasakult äärmine. Foto vasakpoolsel äärel näeme detonaatori plahvatuse leeki. Seejärel on ala ilma intensiivse leegita, kus toimub detonatsioonilaine kujunemine, padruni keskpaigas on detonatsioonilaine juba kujunenud ja leegi intensiivsus ülejäänud teekonnal jääb muutumatuks.



Joon. 9. Nelja padruni ammoniidi nr. 7 plahvatusmoment (elektridetonaator asetses vasakpoolse padruni otsas).

Plahvatusproduktid, järgnedes lööklainele, suunduvad detonatsiooni lõppedes suure kiirusega laengust õhku. Plahvatusproduktide paiskumine toimub peaaegu ristsuunas laengu põhja pinnaga.

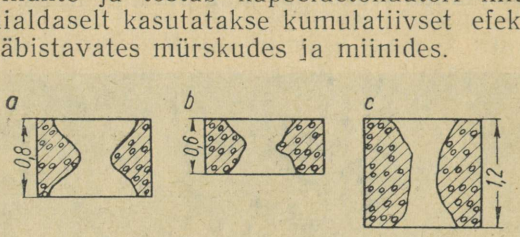
Kui padruni põhja teha süvend (joon. 10), siis lööklained (ja ka plahvatusproduktid), kohates süvendi pinda, nagu murduksid geomeetrilise optika seaduste kohaselt, muutes oma suunda süvendisse minekul. Kokkupõrkamistel nad tihenevad ja nende kiirus



Joon. 10. Kumulatiivse joa tekkimise skeem:
1 — elektridetonaator; *2* — kumulatiivse süvendiga lõhkeainepadrun; *3* — kumulatiivne joa.

suureneb tunduvalt. Tekib elementaarsete lööklainete ja plahvatusproduktide kumulatiivne juga, mis omab küllaltki suurt energiat. Kumulatiivse joa kiirus ulatub 14 000—16 000 m/sek ja mõnikord kuni 25 000—30 000 m/sek. Kumulatiivse joa võimsus ja läbilöögi jõud on väga suured.

Kumulatiivset efekti kasutatakse kapseldetonaatorite valmistamisel. Nende põhjad tehakse sissepoole nõgusana, mis tekitab kumulatsiooninähte ja tõstab kapseldetonaatori initsieerimisvõimet. Väga laialdaselt kasutatakse kumulatiivset efekti sõjatehnikas soomustläbistavates mürskudes ja miinides.



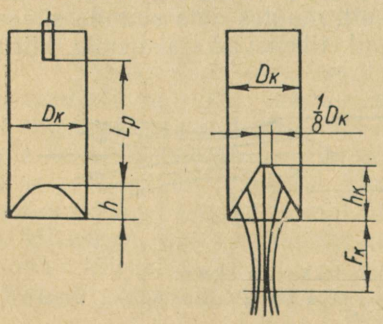
Joon. 11. Raudbetooni purunemisvormid 9 kg suuruste lahtiste trotüülilaengutega:

a — harilik laeng koos topisega; *b* — harilik laeng ilma topiseta; *c* — kumulatiivne laeng, mis on asetatud raudbetooni kohale 30 cm kõrgusele.

Raudbetoonehitiste katselõhkamistel väliste laengutega tõusis plahvatuse efektiivsus kumulatiivsete laengute kasutamisel enam kui kaks korda.

Joonisel 11 on näidatud mitmesuguste laengutega purustatud raudbetooni skeemid. Kumulatiivne laeng paigutatakse sellisesse asendisse, et kumulatsiooni fookus oleks purustatava keskkonna (objekti) pinnal. Reeglipärasem, suurima koondumisega ja kaugeima fookusega kumulatiivne juga saadakse sfäärilise kumulatiivse süvendi kasutamisel. Koonilise süvendi puhul saadakse väiksema koondumisega ja väiksema fookuse kaugusega kumulatiivne juga. Kumulatiivse süvendi läbimõõt laengu otsas tehakse 10—30% võrra väiksem laengu läbimõõdust.

Andmed, mis iseloomustavad kumulatiivse joa fookuskauguse



Joon. 12. Kumulatiivse süvendi ja joa kuju ning mõõtmed:

D_k — kumulatiivse süvendi põhja läbimõõt; h_k — süvendi sügavus; F_k — kumulatsioonifookuse kaugus padruni otsast.

F_k sõltuvust kumulatiivse süvendi kujust ning süvendi kõrguse h_k ja läbimõõdu D_k (joonis 12) vahekorrast, on paigutatud tabelisse 4. Fookuskaugused F_k on väljendatud läbimõõtude D kaudu.

Tabel 4

Suhe $\frac{h_k}{D_k}$	Kaugus laengu põhjast kumulatsioonifookuseni F_k	
	sfäärilise kumulatsioonisüvendi puhul	koonilise kumulatsioonisüvendi puhul
0,25	2,5 D_k	1,5 D_k
0,5	1,25 D_k	0,75 D_k
1,0	0,75 D_k	0,25 D_k
1,5	0,33 D_k	—

Et detonatsioonilaine jõuaks moodustuda, peab vahemaa detonaatorist kuni kumulatiivse süvendini olema vähemalt $2D_k$. Kesta paksuseks, mis katab kumulatiivset süvendit, võetakse mitte rohkem kui 1/30 D_k (valatud ja pressitud laengute süvendid võivad olla ilma kestata). Kasulik on teha süvendi katte tippu (eriti koonilise vormi puhul) ava läbimõõduga 1/8 D_k.

Kumulatiivsete laengute kasutamine ei ole mäeasjanduses levinud. Põhjused selleks on järgmised: lõhkeainepadrunite läbimõõdud on väikesed, mistõttu kumulatiivse süvendi pind ja kumulatiivne efekt on samuti väikesed; kivimi lõhkamisel ei ole eesmärgiks augu läbilöömine või süvendamine, vaid lahtimurtava kivimi ühtlane tükeldamine, s. t. laenguenergiat on vaja suunata mitte sügavusse, vaid külgedele.

Lahtiste kumulatiivsete laengute kasutamine suurte rahnude (mittegabariitsete kivimitükkide) purustamisel annab mõnikord (kui rahnud on soodsa kujuga) häid tulemusi. Lõhkeaine kulu väheneb 2—3 korda.

§ 9. Lõhkeaine töövõime, brisantsuse ja ohutuse võrdlevad määramisviisid

Lõhkeaine valikul pööratakse tähelepanu sellistele omadustele nagu töövõime, brisantsus ja käsitsemise ohutus. Neid lõhkeaine omadusi hinnatakse vastavate katsete tulemuste alusel.

Lõhkeaine töövõime all mõistetakse lõhkeaine omadust purustada plahvatamisel keskkonda. Töövõime oleneb gaaside mahust, plahvatamisel eralduvast soojushulgast ja plahvatuse kiirusest.

Lõhkeaine töövõimet määratakse Trauzli viisil seatinaplokis.

Silindrikujuline plokk on valatud rafineeritud seatinast. Ploki telge pidi läheb kanal (joon. 13).

Enne katset mõõdetakse kanali maht ja selle põhja paigutatakse 10 grammist proovitavast lõhkeainest valmistatud padrun, mille pakendiks on tinapaber. Eelnevalt asetatakse padrunisse elektridetonaator. Ülejäänud osa kanalist täidetakse kuiva räniliivaga, mis on sõelutud läbi sõela nr. 12. Pärast laengu lõhkamist puhutakse ploki õõnsus liivast puhtaks ja mõõdetakse mõõteklaasist valatava veega õõnsuse maht.

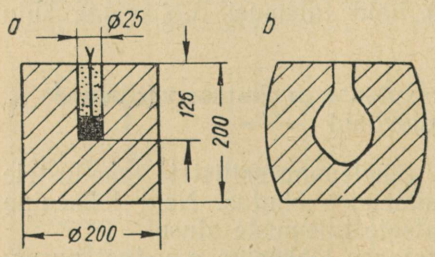
Kanali mahu suurenemine (väljendatud kuupsentimeetrites) iseloomustab katsetatava lõhkeaine suhtelist töövõimet. Kanali maht enne lõhkamist on harilikult 62—65 cm^3. Kui näiteks pärast lõhkamist mõõdetud õõnsuse maht on 475 cm^3, siis lõhkeaine töövõime on 475—65—30=380 cm^3. 30 on õõnsuse maht (cm^3), mis tekib paukelavhõbe-tetrüülelektridetonaatori plahvatusest.

Saadud mahusuurenemine ehk töövõime antakse täpsusega kuni 5 cm^3. Katsed sooritatakse temperatuuril 15°. Kui katseruumi temperatuur on sellest erinev, tehakse katsetulemustes vastava tabeli järgi parandus.

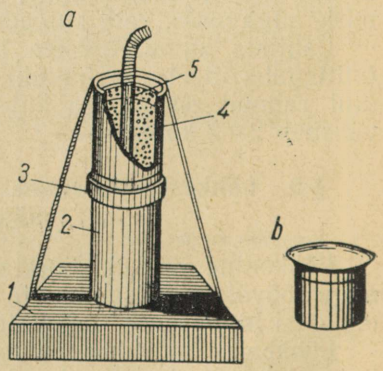
Iga plokkidepartii (plokid ühest valamisest) standardsust kontrollitakse standardse lõhkeaine (trotüüli) kaaluühiku lõhkamise teel kolmes plokis. Nende katsete abil selgitatakse võimalik parandus, mida tuleb arvestada antud plokkidepartii kasutamisel.

Peale Trauzli viisi kasutatakse lõhkeainete töövõime leidmiseks veel prantsuse viisi. Viimane erineb esimesest selle poolest, et aluseks on võetud mahukasvud, mitte aga laengute võrdsus. Etalooniks on võetud 15 g pikriinhappe laengu plahvatamisel tekkiv mahukasv. Mõlemad viisid annavad ainult suhtelised töövõime näitajad, mis võimaldavad erinevaid lõhkeaineid omavahel võrrelda.

Lõhkeaine brisantsuseks nimetatakse selle omadust plahvata-



Joon. 13. Seatinaplokk lõhkeainete töövõime määramiseks:
a — plokk enne lõhkeaine-kaalutise lõhkamist;
b — plokk pärast lõhkamist.



Joon. 14. Seadis lõhkeaine brisantsuse määramiseks.

des keskkonda purustada. Brisantsus oleneb antud lõhkeaine plahvatuse kiirusest.

Lõhkeaine brisantsust proovitakse vasksilindrikeste (Kasti viis) või seatinasilindrite kokkusurumise viisil (Hessi viis).

Meil kasutatakse teist viisi, mis on lihtsam ja hõlpsam. Selle kirjeldus on antud alljärgnevalt.

Terasplaadi *1* (joon. 14, *a*) peale pannakse rafineeritud seatinast silinder *2*, mille kõrgus on 60 mm ja läbimõõt 40 mm. Silindri peale pannakse terasest ketas *3*, mille läbimõõt on 41 mm ja paksus 10 mm. Selle peale asetatakse padrun *4*, mis sisaldab 50 g proovitavat lõhkeainet. Padruni kest valmistatakse paberist, läbimõõduga 40 mm.

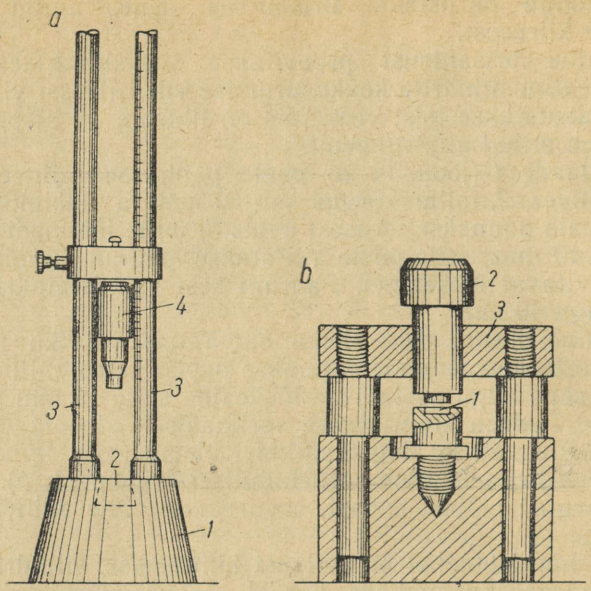
Lõhkeaine tihedus peab olema sama mis vabriku padrunites. Kesta sisse lõhkeaine peale pannakse papist ketas, mille keskel on auk. Läbi selle augu asetatakse lõhkeaine sisse 15 mm sügavuselt detonaator. Padrun kinnitatakse vertikaalselt alusplaadi külge ja lõhatakse. Plahvatuse löögist silindri ülemine osa lamestub, kõrgus väheneb ja ta muutub seenekujuliseks (joon. 14, *b*). Mõõtnud silindri kõrgust neljast kohast, arvutatakse välja silindri kõrguse kahanemine.

Lõhkeainete suhtelist brisantsust hinnatakse silindrite kokkusurutuse järgi. Kui näiteks pärast eespool kirjeldatud katset silindri kõrgus vähenes 60 millimeetrilt 45 millimeetrini, siis selle lõhkeaine brisantsus on 15 mm. Silindrite kvaliteeti kontrollitakse samuti nagu plokkide kvaliteeti etalooniks võetud lõhkeaine kaalutise lõhkamisega.

Silindrite kokkusurutuse suurused peavad vastama GOST-ile või tehnilistele tingimustele.

Lõhkeained kujutavad endast mittepüsivaid keemilisi süsteeme ja nad omavad erinevat tundlikkuse astet. Tundlikkus on lõhkeaine vastuvõtlikkuse aste algimpulsi suhtes. Ühe ja sama lõhkeaine tundlikkust mõjutavad peamiselt järgmised tegurid: füüsikaline seisund, temperatuur, tihedus, niiskus, lisandite olemasolu jt. Lõhkeaine tundlikkus peab alati olema teatud piirides. Eriti tundlikud lõhkeained plahvatavad kergesti vähemärgatavatest mehaanilistest mõjutustest ja seetõttu on nad väga ohtlikud käsitsemisel (nitroglütseriin, paukelavhõbe jt.).

Lõhkeaine tundlikkust mehaaniliste mõjutuste suhtes proovitakse harilikult langetusseadise (joon. 15, *a*) abil, mis koosneb alusest *1*, mille peale vastavasse pesasse *2* paigutatakse tempelseadis, kahest juhtvardast *3* ja nende juhtvarraste vahel liikuvast raskusest *4*. Tempelseadis (joon. 15, *b*) koosneb alasist *1*, lööknõelast *2* ja juhtmuhvist *3*. Alasile paigutatakse proovitav lõhkeaine (0,02—0,03 g) kihina, mille paksus on 1 mm ja läbimõõt 5 mm. Tempelseadis koos alasile paigutatud lõhkeainega asetatakse aluse pesasse ja lastakse juhtvarraste vahel liikuv 2 kg-ne raskus peale kukkuda. Olenevalt kukkumise kõrgusest võib lõhke-



Joon. 15. Seadis lõhkeaine löögitundlikkuse määramiseks:
a — langetusseadis; *b* — tempelseadis

aine sellest löögist plahvatada või mitte. Pärast iga lööki puhastatakse tempelseadise alasi ja paigutatakse sellele uus lõhkeaine kaalutis.

Lõhkeaine tundlikkust löögi suhtes hinnatakse minimaalse kõrgusega (sentimeetrites), millelt viiekordsel raskuse kukutamisel esineb kas või üks kord lõhkeaine plahvatus või süttimine.

Lõhkeaineid, millede tundlikkus löögi suhtes on alla 7 cm, loetakse väga löögitundlikeks ja väga ohtlikeks käsitsemisel. Nende vedu tavalistel viisidel on keelatud. Löögitundlikkus on paukelavhõdedal 2 cm, nitroglütseriinil 4 cm, pliiaziidil 6 cm, dünamiitidel 20—30 cm ja ammoniitidel 70—100 cm.

§ 10. Gaasi- ja tolmuohutute lõhkeainete teooria

Mõnede maavarade kaevandamisel esinevad maa-alustes kaeveõõnsustes põlevgaasid ja tolm, mis segunedes õhuga moodustavad plahvatavad segud. Nii näiteks eralduvad kaalisoolade kaevandustes metaan ja vesinik, osokeriidi kaevandustes bensiiniaurud ja väävelvesinik, paljudes söekaevandustes metaan ja plahvatav söetolm, püriidi- ja väävlikaevandustes plahvatav tolm.

Paljud gaaside ja tolmu-õhu segud on üsna tundlikud kuumutamisele ja madala süttimistemperatuuriga (tabelid 5 ja 7). Kui need segud esinevad kaeveõõnsustes, võivad vastavate tingimuste puhul tekkida plahvatused, mis sageli purustavad kaeveõõnsuse ja põhjustavad inimohvreid.

Metaani ja õhu segu annab kõige võimsama plahvatuse siis, kui segu koostisse kuulub mahuliselt 9,46% metaani ja 90,54% õhku. Sel juhul on metaani põlemiseks vajaliku hapniku hulk küllaldane ja reaktsioon kulgeb valemi järgi: $CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O+192$ kcal. Suurema metaanisisalduse korral on plahvatus nõrgem, sest üleliigne osa metaanist ei võta plahvatusest osa ning soojeneb plahvatusel tekkiva soojuse arvel. Sel juhul tekib ka ohtlikku süsinikoksüüdi, s. o. vingugaasi. Kui metaani on ülikülluses, siis osutub plahvatussoojuse hulk segu ühe ruumalaühiku kohta nii väikeseks, et soojuse juurdetulek ei kata soojuskadusid, mis kulutatakse plahvatusreaktsioonist mitteosavõtvate gaaside soojendamiseks ning plahvatusprotsess ja põlemine vaibuvad.

Tabel 5

Plahvatava segu nimetus	Süttimistemperatuur kraadides
Õhu ja metaani segu	650
Püriidist tekkinud sulfiidne tolm	435—460
Õhus hõljuv väävlitolm	275—300
Õhus hõljuv kivisõetolm	750—1100

Metaanisisalduse piir, mida ületades metaani ja õhu segu enam ei plahvata ega põle, oleneb rõhust: mida suurem on rõhk, seda avaramad on need piirid. Näiteks 1 at rõhu korral on alumine piir 4,5% CH_4 ja ülemine piir 14,2%. Kui rõhk on 64 at, väheneb alumine piir kuni 4% ja ülemine piir tõuseb kuni 52,9%.

Katsed näitavad, et adiabaatilisel rõhumisel võib õhu ja metaani segu plahvatada, kui segus on 2 kuni 75% metaani (lõhketööde ajal võib niisugust rõhku mõnikord tekitada võimas löögilaine).

Õhu ja metaani segu tundlikkus kuumutamise suhtes, mida iseloomustab süttimistemperatuur, oleneb mõningate gaaside ja õhus hõljuva kõvade ainete tolmu juuresolekust. Ühed nendest tõstavad kuumutustundlikkust, teised aga alandavad seda.

Süsinikoksüüd (CO), lämmastikdioksüüd (NO_2) ja hapnik tõstavad õhu ja metaani segude kuumutustundlikkust, alandades nende süttimistemperatuuri. Näiteks kui õhus on 4% lämmastikdioksüüdi, on õhu ja metaani segu süttimistemperatuur 490° (alanemine 160° võrra). Kui õhus on 30% hapnikku, alaneb süttimistemperatuur kuni 540°-ni.

Normaalsetes tingimustes ei ole õhus selliseid hapniku või lämmastikdioksüüdi kontsentratsioone, kuid lõhketööde teostamise ajal on võimalik selliste äärmiselt piiratud tsoonide tekkimine. See asjaolu suurendab õhu ja metaani segu süttimise ja plahvatuse ohtu. Et seda vältida, tuleb lõhketöödeks kasutada nullilise või väikese positiivse hapnikubilansiga lõhkeaineid. Niisuguste lõhkeainete plahvatusproduktides on väga vähe (või üldse puuduvad) õhu ja metaani segu tundlikkust tõstvaid gaase.

Lämmastik ja süsihappegaas vähendavad õhu ja metaani segu tundlikkust kuumutamise suhtes, samuti mõjuvad ka naatriumkloriid, kaaliumkloriid ja mõned teised ained, mis esinevad inhibiitoritena ehk negatiivsete katalüsaatoritena. Neid aineid lisatakse lõhkeainete ja kaitsekestade koostisse.

Õhu ja metaani segu süttib mõningase viivitusega, olenevalt kuumutustemperatuurist. Süttimise viibimise aeg ehk induktsiooniperioodi pikkus väheneb kuumutustemperatuuri tõstmisega. Kui näiteks kuumutustemperatuur on 650°, viibib õhu ja metaani segu süttimine 10 sek., 750° kuumutustemperatuuri juures 1,8 sek. ja 800° juures 0,5 sek.

Negatiivsete katalüsaatorite juuresolekul muutub süttimise viivitus ehk induktsiooniperiood tabelis 6 antud piirides.

Tabel 6

Negatiivse katalüsaatori nimetus	Induktsiooniperiood sekundites temperatuuril	
	750°	800°
Naatriumkloriid	3,2	0,6
Kaaliumfluoriid	7,1	0,92
Kaaliumkloriid	—	5,6

Otsesteks õhu ja metaani segu süttimise põhjusteks lõhketöödel võivad olla õhu lööklaine, hõõguvad või põlevad tahked osakesed ja kuumutatud gaasilised plahvatusproduktid. Tõenäolisemad neist on kaks viimast.

Lõhkeaugus oleva laengu lõhkamisel jõuab ee atmosfääri kõige enne lööklaine, mis avaldab survet ja tõstab temperatuuri. Seejärel tungivad lõhkeaugust ja purustatud kivimist välja kõrge temperatuuriga gaasilised plahvatusproduktid, mis paisudes omakorda suruvad lähemaid atmosfäärikihte ja tõstavad nende temperatuuri. Sellega üheaegselt segunevad lõhkeproduktid ee atmosfääriga ja tõstavad selle temperatuuri ka otsese soojusvahetuse teel.

Lõhkeproduktides on gaasid (CO, NO_2, O_2), mis suurendavad õhu ja metaani segu plahvatusohtu, ja gaasid (CO_2, N_2), mis seda ohtu vähendavad.

Vahel paiskavad lõhkegaasid lõhkeaugust välja hõõguvaid söe-

tükikesi, põlevaid padrunikesta kilde ja lõhkeaine osakesi, mille plahvatusprotsess ei ole veel lõppenud. Kõik nimetatu koos kuumutatud gaasiliste lõhkeproduktidega võib kõige tõenäolisemalt olla õhu ja metaani segu süttimise allikaks. Ta võib süttida ka teistkordsest leegist, mis tekib süsinikoksüüdi sisaldavate lõhkegaaside segunemisel õhuga.

Seega esineb laengute lõhkamisel mitu keerukat õhu ja metaani segu plahvatuse tekitajat. See asjaolu raskendab kõikide plahvatusfaktorite ühise toime teoreetilist selgetust.

Olemasolevad plahvatuse teooriad arvestavad ainult tähtsamaid faktoreid, mille mõju on rohkem silmapaistev. Kuid ka sellistena võimaldavad nad teha vähem vigu plahvatusohutute lõhkeainete ja ohutute lõhkamistingimuste valikul.

Ajaliselt esimesena ilmus Mallaire'i ja Le Chatelier' termiline teooria. See teooria arvestab kahte peamist faktorit — plahvatusgaaside temperatuuri ning nende kokkupuuteaega õhu ja metaani seguga.

Nagu eespool märgitud, ei sütti õhu ja metaani segu kuumutamisel silmapilkselt, vaid teatud aja jooksul. Süttimise viivitus (induktsiooniperiood) on seda suurem, mida madalam on kuumutamistemperatuur. Sellest järeldub, et kui kasutada madala plahvatustemperatuuriga ja vajaliku detonatsioonikiirusega lõhkeainet, siis õhu ja metaani segu ei jõua plahvatada, tänu süttimise viibimisele ja lõhkegaaside kiirele jahtumisele ee vabas ruumis. Selle põhjal tehti ettepanek kasutada gaasiohtlikes kaevandustes niisuguseid lõhkeaineid, mille plahvatustemperatuur ei ületa 1900° lõhkamisel aherkivimites ja 1500° lõhkamisel söes.

Mallaire'i ja Le Chatelier' termilist teooriat arendas edasi Odiber, kes kinnitas, et plahvatamise ajal esineb järgmine õhu ja metaani segu süttimise skeem. Plahvatusproduktid, väljudes eesse, segunevad metaani ja õhuga ja tõstavad nende temperatuuri. Nii saadakse metaani, õhu ja plahvatusproduktide segu, mille keskmine temperatuur oleneb plahvatusproduktide soojusesisaldusest enne segunemist ning õhu ja metaani segu soojusmahtuvusest.

Kui plahvatusproduktid sisaldavad palju soojust, siis kujuneb kogu segu temperatuur küllalt kõrgeks, et õhu ja metaani segu plahvataks.

Katsete abil tegi Odiber nullilise hapnikubilansiga lõhkeaine kohta kindlaks, et kui plahvatussoojus q_p ühe mooli gaasiliste plahvatusproduktide kohta on väiksem kui 21,5 kcal, siis võib seda lõhkeainet pidada plahvatusohutuks. Kirjeldatud ohutustingimust väljendatakse valemiga

$$q_p < 21{,}5 \text{ kcal/mool.} \qquad (35)$$

Positiivse hapnikubilansiga lõhkeaine lõhkamisel sellises massiivis, mis on võimeline reageerima hapnikuga (näiteks söes), võib

olla plahvatusohutu ainult niisugune lõhkeaine, mis rahuldab võrratust

$$q_p < 21{,}5 - 94\,n, \qquad (36)$$

kus q_p on plahvatussoojus 1 mooli plahvatusproduktide kohta kcal/mool,

n — lõhkeproduktides esinevate vaba hapniku moolide hulga suhe üldisse lõhkeproduktide moolide arvusse.

Plahvatussoojuse vähendamiseks ja temperatuuri alandamiseks kasutatakse suure ammooniumsalpeetrisisaldusega lõhkeaineid, mis annavad palju gaase ja vähem soojust. Neile lisatakse inertseid sooli (sagedamini naatriumkloriidi ja kaaliumkloriidi), mis neelavad soojust ehk summutavad leeki. Naatriumkloriidil on suur erisoojus (0,22 kcal/kg · kraad) ja suur sulamissoojus (124 kcal/kg, sulamistemperatuur 804°). Lisades lõhkeainele 20% naatriumkloriidi, alandatakse plahvatusgaaside soojusesisaldust ja temperatuuri 25—30% võrra.

Odiberi teooria ja tema poolt esitatud arvutusvalemid ei arvesta leeki summutavate soolade katalüütilist mõju. Hilisemad nõukogude teadlaste (L. V. Dubnov) uurimused näitavad, et niisugused inertsed lisandid nagu naatriumkloriid, kaaliumkloriid ja mõned teised ei ole mitte ainult soojuse neelajad, vaid ka negatiivsed katalüsaatorid, mis pidurdavad õhu ja metaani segu plahvatamist ja vähendavad tõenäoliselt tema süttimise võimalikkust. Mida rohkem selliseid sooli lõhkeaine sisaldab, seda madalam on plahvatustemperatuur. Kuid inertsete soolade lisamine suuremal määral alandab lõhkeaine töövõimet ja tekitab tõrkeid.

Gaasi- ja tolmuohutud lõhkeained peavad vastama järgmistele nõuetele:

plahvatussoojus ja -temperatuur peavad olema madalad, mistõttu nende töövõime on väike (söes kasutatavatel lõhkeainetel ligikaudu 200—240 cm^3 ja aherkivimis kasutatavatel 240—300 cm^3);

detoneerimine peab olema hea, et ei esineks puuduliku plahvatuse ja väljapõlemise juhtumeid ja põlevate lõhkeainete osakeste lõhkeaugust väljapaiskumisi;

hapnikubilanss peab olema nulliline või veidi positiivne, et võimalikult vähendada õhu ja metaani segu süttimist soodustavate gaaside (CO, H_2, NO_2, O_2) tekkimist;

peavad sisaldama leegisummutajaid (naatriumkloriid, kaaliumkloriid). Väljaspool kategooriaid olevates kaevandustes kasutatava lõhkeaine padrunid peavad olema peale selle veel paigutatud kaitsekestadesse.

Et mitte alandada lõhkeaine plahvatuslikke väärtusi, on soovitatud lisada gaasi- ja tolmuohututele lõhkeainetele piiratud määral inertseid sooli ja panna selle lõhkeaine padrunid erilistesse inert-

setest sooladest valmistatud kestadesse. Neid kesti nimetatakse kaitsekestadeks.

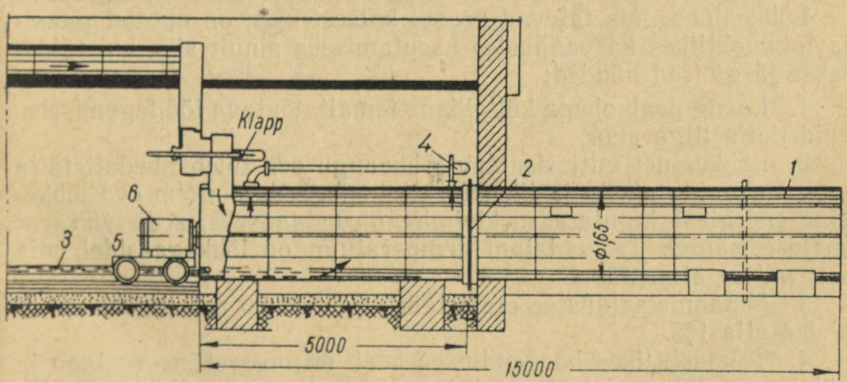
Kaitsekestade valmistamiseks kasutatakse naatriumkloriidi, kaaliumkloriidi, naatriumbikarbonaati ja kaltsiumfluoriidi. Kaitsekest võib olla kõva (niisugusesse kesta pannakse padrun enne lõhkeauku suunamist) ja pulbriline, mis valmistatakse lõhkeaine padruneerimisel.

Pulbrilised kestad võivad olla plahvatavad ja mitteplahvatavad. Mitteplahvatavad kestad koosnevad täielikult inertsetest materjalidest, plahvatavatele kestadele lisatakse kuni 30% aktiivseid plahvatavaid komponente, muuhulgas ka nitroglütseriini. Niisugune kest soodustab lõhkeainepadruni täielikku detonatsiooni ja alandab ühtlasi ka plahvatusgaaside temperatuuri. Näitena võib esitada plahvatava kesta, mille koostises on nitroglütseriini 10%, naatriumsalpeetrit 12%, puidujahu 3%, kaaliumkloriidi 40% ja naatriumkloriidi 35%.

§ 11. Gaasi- ja tolmuohutute lõhkeainete proovimismeetodid

Mallaire'i ja Le Chatelier' temperatuurikriteeriumi ja Odiberi soojuskriteeriumi silmaspidamine lõhkeainete valmistamisel ei garanteeri täielikult, et antud lõhkeaine tõepoolest osutub gaasi- ja tolmuohutuks. Neid lõhkeaineid, mis on määratud kasutamiseks gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes, katsetatakse tegelikes tingimustes katsestrekis.

Katsestrekk ehk katsestoll (joon. 16) kujutab endast metalltoru *1*, mille pikkus on 15 m ja läbimõõt 1,6—1,8 m. Paremalt poolt on toru lahti, vasakult poolt aga suletud põhjaga, mille keskel on ava. Enne katset asetatakse toru suletud otsast 5 m kaugusele pärgamentpaberist või muust materjalist vahesein (diafragma) *2*.



Joon. 16. Katsestoll.

Toru *3* abil juhitakse vaheseinaga eraldatud ruumi metaani, tõstes selle kontsentratsiooni 8—10%-ni. Õhu ja metaani ühtlaseks läbisegamiseks on ventilaator *4*.

Väljastpoolt lükatakse toru põhja juurde rulliku *5* abil sellele monteeritud müüser *6*, mille toru suue satub põhjas oleva augu kohale ja katab selle. Eelnevalt pannakse müüsrisse katsetatava lõhkeaine laeng, mis kaalub 600 g. Löökpadrun pannakse viimasena. Lõhkamine on elektriline. Laetud müüsri suudmesse paigutatakse 1 cm paksune savist kork, mis kaalub 50 g. Seejärel lõhatakse laeng. Müüsri torust paiskuvad plahvatusproduktid õhu ja metaani seguga täidetud ruumi. Kui plahvatusgaaside temperatuur on kõrge ja soojusesisaldus suur, siis õhu ja metaani segu plahvatab.

Lõhkeaine loetakse metaaniohutuks, kui kümnekordsel katsetusel õhu ja metaani segu kordagi ei plahvata.

Peale metaani on söekaevandustes plahvatusohtlik ka söetolm. Plahvatusohtlikuks peetakse peent sametilist söetolmu, mis tekib üle 10% lenduvaid aineid sisaldavate süte kaevandamisel. Olenevalt lenduvate ainete sisaldusest, tolmu jämedusest ja tuhasisaldusest, on söetolmu plahvatusvõime piirid üsna laiad: 50 grammist kuni 2000 grammini 1 m^3 õhu kohta. Kõige ohtlikumaks plahvatustugevuse poolest loetakse tolmu kontsentratsiooni 300—600 g/m^3.

Lõhkeaine ohutuse proovimist söetolmu plahvatuse suhtes korraldatakse samuti eespool kirjeldatud katsestrekis. Nendel katsetel vaheseina ei kasutata. Söetolm asetatakse katsestreki põhjale ja külgedel olevatele riiulitele, arvestusega 350 g tolmu 1 m^3 ruumi mahu kohta. Tolm peab olema peen, vähemalt 50% tolmu peab läbima sõela, milles on 6400 auku 1 cm^2 kohta. Lenduvaid aineid peab olema 30—35% ja tuhasisaldus mitte üle 5%.

Lõhkeaine loetakse tolmuohutuks, kui kümnekordsel 700 g suuruse laengu lõhkamisel mitte kordagi ei esine söetolmu plahvatust.

Lõhkeained, mis taluvad proovi katsestrekis, on ohutud gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes kasutamiseks ainult siis, kui täidetakse järgmised nõuded:

1. Laeng peab olema küllaldane temalt nõutava töö tegemiseks, kuid mitte liiga suur.
2. Lõhkeainet mittesisaldav lõhkeaugu osa tuleb tihedalt täita topisega; mida pikem ja tihedam on topis, seda suurem osa lõhkeaine energiast kulutatakse kivimite purustamiseks, seda väiksem soojusesisaldus ja madalam temperatuur on lõhkegaasidel, mis satuvad ee atmosfääri.
3. Metaanisisaldus ee atmosfääris ja eest 20 m kaugusel peab olema alla 1%.
4. Tolmuohtlikes kaevandustes peab ett, kaeveõõnsuse lage ja külge enne lõhkamist 20 m ulatuses ohtralt veega niisutama. Niisutamisvõime suurendamiseks lisatakse veele vastavaid aineid.

Kui niisutusvõimalused puuduvad, tuleb katta esi ja kaeveõõnsus inertse tolmuga niisugusel hulgal, et inertse osa sisaldus söetolmus oleks 60—75%.

Harjutusülesanded.

1. Kontrollida temperatuuri ja soojuskriteeriumide järgi ohutuse omadusi järgmistel lõhkeainetel: ammoniitidel nr. 8 ja nr. 8ПВ, pobediitidel ПУ-2 ja ВП-2, aherkivimi-ammoniitidel АП-1 ja АП-2.
2. Leida eespool märgitud lõhkeainete temperatuuri- ja soojuskriteeriumide kõrvalekaldumise aste protsentides.

II PEATÜKK

LÕHKEAINED

§ 12. Lõhkeainete klassifikatsioon

Mäetööstuses lõhketöödeks kasutatavad lõhkeained jaotatakse vastavalt kasutamistingimustele järgmistesse rühmadesse:

gaasi- ja tolmuohutud lõhkeained, mis on määratud lõhketööde tegemiseks gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes;

gaasi- ja tolmuohtlikud lõhkeained, mis on määratud lõhketööde tegemiseks neis allmaakaevandustes, kus ei ole metaani ega plahvatavat tolmu. Neid võib kasutada ka lahtistel töödel;

gaasi- ja tolmuohtlikud lõhkeained, mis on määratud lõhketööde tegemiseks ainult lahtistel töödel.

Koostise järgi jaotatakse tööstuslikud lõhkeained plahvatavateks keemilisteks ühenditeks ja mehaanilisteks segudeks. Viimaste hulka kuuluvad ammooniumsalpeetrilised lõhkeained, nitroglütseriinsed lõhkeained, oksülikviidid, kloraatsed ja perkloraatsed lõhkeained, must püssirohi.

Mäetööstuses kasutatakse lõhketöödel peamiselt ammooniumsalpeetrilisi ja nitroglütseriinseid lõhkeaineid. Need lõhkeained on plahvatavate keemiliste ühendite segud, millele on lisatud (vahel ilma lisanditeta) mitteplahvatavaid aineid, nagu puidujahu, puuvillakoogi jahu jt.

Alguses tutvume plahvatavate keemiliste ühenditega, mis on peamisteks komponentideks ammooniumsalpeetrilistes ja nitroglütseriinsetes lõhkeainetes. Nende komponentide omadustest olenevad ka kõne all olevate lõhkeainete omadused. Ühtlasi tutvume ka plahvatavate keemiliste ühenditega, mida kasutatakse lõhkamisvahendite valmistamiseks (initsieerivad lõhkeained).

§ 13. Plahvatavad keemilised ühendid

Nitroglütseriin $C_3H_5(ONO_2)_3$ on vedel õlikas lõhkeaine. Nitroglütseriin saadakse glütseriini (kolmeaatomiline piiritus) töötlemisel lämmastik- ja väävelhapete seguga: $C_3H_5(OH)_3+3HNO_3=$

$=C_3H_5(ONO_2)_3+3H_2O$. Vesi, mis seejuures eraldub, seotakse väävelhappega.

Nitroglütseriini erikaal on 1,6 g/cm³. Puhtal kujul on nitroglütseriin värvitu aine. Tehniline nitroglütseriin on veidi kollakat värvi. Nitroglütseriin on mürgine — tungides läbi naha organismi, tekitab ägedat peavalu. Nitroglütseriin on väga tundlik tule ja mehaaniliste mõjutuste suhtes. Tema löögitundlikkus on 4 cm ja süttimistemperatuur 180°. Nitroglütseriini põlemine muutub üsna kiirelt plahvatuseks. Üle 60° kuumutamisel hakkab nitroglütseriin aeglaselt lagunema ja see protsess võib muutuda plahvatuseks.

Nitroglütseriin on vedel ja väga ohtlik käsitsemisel, mistõttu teda ei kasutata iseseisvalt lõhketööde tegemiseks, kuid ta kuulub peamise komponendina paljudesse lõhkeainetesse. Teda kasutatakse ka nitroglütseriinsete püssirohtude valmistamisel.

Puhas nitroglütseriin külmub (kristalliseerub) +13 ja +2° juures. Seda põhjustab kahe nitroglütseriini modifikatsiooni olemasolu, millede füüsikalised omadused on erinevad. Esimene modifikatsioon — stabiilne — kristalliseerub segipaisatud bipüramidaalsete nõelakestena (kuuluvad rombilisse süsteemi). Teine modifikatsioon — labiilne — kristalliseerub õhukeste rombiliste lehekestena trikliinses süsteemis. Labiilne modifikatsioon võib üle minna stabiilseks, vastupidist üleminekut ei ole märgatud. Stabiilne modifikatsioon on mehaaniliste mõjutuste suhtes tundlikum kui labiilne. Professor K. K. Andrejev tõendab, et külmunud nitroglütseriini tundlikkus oleneb peamiselt kristallide suurusest. Väikesed kristallid on mehaaniliste mõjutuste suhtes vähem tundlikud.

Nitroglütseriini detonatsioonikiirus on muutlik. Ta kõigub, olenevalt katsetingimustest, 1165 m/sek kuni 9150 m/sek, töövõime on 550 cm³ ja brisantsus 20 mm.

Nitroglükool $C_2H_4(ONO_2)_2$ on vedel lõhkeaine. Ta on glükooli (kaheaatomiline piiritus) nitreerimise produkt, värvitu läbipaistev vedelik erikaaluga 1,49. Detonatsioonikiirus on 8300 m/sek, töövõime — 650 cm³, brisantsus — 30 mm ja löögitundlikkus — 7 cm. Nitroglükooli külmumistemperatuur on madal — −22,6°. Ta seguneb kergelt nitroglütseriiniga ja alandab viimase külmumistemperatuuri. Nitroglükool on mehaanilistele mõjutustele vähem tundlik kui nitroglütseriin.

Püroksüliin on tahke lõhkeaine. Ta saadakse tselluloosi (puuvilla) töötlemisel lämmastikhappega väävelhappe juuresolekul. Olenevalt lämmastikusisaldusest eristatakse tselluloosi lämmastikhappelisi eetreid nitrogruppide arvuga 4 kuni 12. Püroksüliin 11 nitrogrupiga — $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$ — kujutab endast lahustumatut püroksüliini. Ta ei lahustu piirituse ja eetri segus ega teistes orgaanilistes lahustajates. 9 nitrogrupiga püroksüliini (näiteks $C_{21}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$) nimetatakse lahustuvaks püroksüliiniks ehk kolloodiumpuuvillaks; ta lahustub piirituse ja eetri segus, nitro-

TRÜ Raamatukogu

glütseriinis, nitroglükoolis ja teistes orgaanilistes lahustajates, moodustades kolloidse lahuse. Kolloodiumpuuvill on vajalik suitsuta püssirohtude ja dünamiitide valmistamiseks.

Väiksema nitrogruppide arvuga (alla 8) nitrotselluloose ei kasutata lõhkeainena. Neid kasutatakse tselluloidi, fotolindi ja kunstsiidi valmistamiseks.

Tihedusega 1,2 g/cm³ briketikesteks pressitult on püroksüliini detonatsioonikiirus 4300 m/sek, töövõime 420 cm³, brisantsus 16 mm, löögitundlikkus 30 cm ja süttimistemperatuur 177°.

Ammooniumsalpeeter NH_4NO_3 on valge kristalne pulber. Teda valmistatakse sünteetiliselt lämmastikväetiste tehastes. Ta on väga hügroskoopne ja lahustub hästi vees. Üksikute kristallide erikaal on 1,7. Ammooniumsalpeetris tekib temperatuuridel −16° ja +32° ümberkristalliseerumine, mille tõttu ta paakub ning muutub kobedast olekust tükiliseks kõvaks massiks.

Kauaaegsel hoidmisel, iseäranis hoiuruumi muutuva niiskuse juures, ammooniumsalpeeter seiskub (muutub kõvaks).

Ammooniumsalpeeter kuulub kas peamise või ühe peamise komponendina paljudesse mäetööstuses kasutatavatesse lõhkeainetesse. Ammooniumsalpeeter ei ole ainult hapniku kandja, nagu seda on kaalium- ja naatriumsalpeetrid, vaid ta on ka lõhkeaine. Jõulise algimpulsi saamisel toimub ammooniumsalpeetri plahvatuslagunemine järgmise valemi kohaselt:

$$2NH_4NO_3 = 4H_2O + 2N_2 + O_2 + 58 \text{ kcal.}$$

Mitmete uurijate andmete kohaselt on ammooniumsalpeetri detonatsioonikiirus 1500—3000 m/sek ja töövõime 165—230 cm³.

Ammooniumsalpeeter võib esineda võrdlemisi nõrga ja raskeltdetoneeruva iseseisva lõhkeainena. Ohutustehnika määruste järgi lubatakse teda kasutada lahtistel töödel. Algimpulsi andmiseks kasutatakse vahedetonaatorit (vahelaengut), mis koosneb ammoniidist, mille kaal moodustab 5—20% ammooniumsalpeetri laengu kaalust.

Kuna ammooniumsalpeeter plahvatades eraldab suurel hulgal gaasilisi produkte ja vähe soojust ning tema plahvatustemperatuur on madal, kuulub ta peamise komponendina gaasi- ja tolmuohututesse lõhkeainetesse.

Trotüül (tool, trinitrotoluool) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ esineb kollakate soomusekujuliste plaadikestena. Trotüül kuulub aromaatse rea nitroderivaatide hulka. Teda saadakse toluooli (koksi-keemiatööstuse produkt) nitreerimisel. Trotüüli sulamistemperatuur on 80° ja süttimistemperatuur 270—300°. Tema sulatamine ei ole ohtlik. Pressitud trotüüli kasutatakse lõhkebrikettide ja -padrunite valmistamiseks; pulbrilist (peenestatud) trotüüli kasutatakse lisandina paljude tööstuslikkude lõhkeainete, muuhulgas ka ammoniitide valmistamisel. Sulatatud trotüüli tihedus on 1,6 g/cm³ ja pulbrilisel 1,55 g/cm³. Sulatatud trotüül on vähetundlik hariliku

detonaatori suhtes, teda lõhatakse pulbrilisest trotüülist vahelaengu abil. Pulbrilise trotüüli gravimeetriline tihedus on 0,9 g/cm³, kristallide erikaal 1,66 g/cm³.

Pressitud trotüüli detonatsioonikiirus on 7000 m/sek, töövõime — 360 cm³, brisantsus — 15 mm, löögitundlikkus — 85 cm. Trotüül on käsitsemisel üsna ohutu ega karda niiskust.

Trotüüli kasutatakse mõnikord lahtistel töödel märgades etes lõhkamisel. Iseseisva lõhkeainena allmaatöödel trotüüli ei kasutata, kuna tema plahvatusel tekib palju süsinikoksüüdi (vingugaasi) ja eraldub vaba sütt tahma kujul.

Ksülüül (trinitroksülool) $C_6H(NO_2)_3(CH_3)_2$ on helekollast värvi tahke kristalne aine. Ksülüül kuulub nagu trotüülgi aromaatse rea nitroderivaatide hulka. Tema plahvatuslikud omadused on mõnevõrra nõrgemad kui trotüülil. Kasutatakse mõnede ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete sortide valmistamisel ja vahel ka sulatatult koos trotüüliga.

Dinitronaftaliin $C_{10}H_6(NO_2)_2$ on nõrk kollakashall pulbriline lõhkeaine. Saadakse naftaliini nitreerimisel. Dinitronaftaliini töövõime on 80 cm³. Teda kasutatakse mõnede ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete (dinaftaliit) valmistamisel ja sulatatult koos pikriinhappega.

Pikriinhape (trinitrofenool) $C_6H_2(NO_2)_3OH$ on kollakat värvi kristalne pulber. Saadakse fenooli nitreerimisel. Omab häid värvivaid omadusi ja on maitselt väga kibe. Lõhkeomadustelt ületab pikriinhape trotüüli. Teda kasutatakse sulatatult (meliniit) ja pressitult. Mäeasjanduses kasutatakse mõnikord pikriinhapet maapealsetel lõhketöödel. Sulatatud kujul kasutatakse seda peamiselt koos dinitronaftaliiniga («vene sulam» — 51,5% pikriinhapet ja 48,5% dinitronaftaliini, «prantsuse segu» vastavalt 80% ja 20%).

Niiskuse juuresolekul ühineb pikriinhape kergesti metallidega (vasega, seatinaga, rauaga) ja moodustab väga ohtlikke kergestiplahvatavaid sooli, mida nimetatakse pikraatideks. Seetõttu tuleb pikriinhapet ja seda sisaldavaid lõhkeaineid hoida niiskumise ja metallidega kokkupuutumise eest.

Pikriinhape pressitakse tiheduseni 1,6 g/cm³. Sel juhul on tema detonatsioonikiirus 7250—8000 m/sek, sulamistemperatuur — 300°, töövõime — 370 cm³ ja brisantsus — 18 mm.

Tetrüül (trinitrofenüülmetüülnitramiin) $C_6H_2(NO_2)_3N(NO_2)CH_3$ on kahvatukollast värvi peenekristalliline lõhkeaine. Saadakse dimetüülaniliinist selle töötlemisel väävel- ja lämmastikhapetega. Keemiline püsivus on tetrüülil väiksem kui trotüülil ja pikriinhappel. Süttimistemperatuur on 190°, löögitundlikkus — 30 cm, töövõime — 380 cm³, brisantsus — 22 mm. Tiheduse 1,65 g/cm³ juures on detonatsioonikiirus 7200—7700 m/sek. Tetrüül ei karda niiskust, plahvatusomaduste poolest on ta trotüülist ja pikriinhappest märksa võimsam. Kuid suure tundlikkuse tõttu mehaaniliste mõjutuste suhtes teda iseseisvalt lõhketöödel ei kasutata.

Tetrüül on suure detonatsioonitundlikkusega ja annab väga hästi edasi detonatsiooni teistele lõhkeainetele. Seetõttu kasutatakse teda detonaatorite valmistamisel sekundaarse initsieeriva (algimpulssi tekitava) lõhkeainena. Tetrüül pressitakse detonaatorikesta põhjaossa tiheduseni 1,68 g/cm³.

Ten (pentriit, tetranitropentaeritriit) $C(CH_2ONO_2)_4$ on valget värvi kristalne pulber, mida saadakse nelja-aatomilise piirituse — pentaerütriidi — töötlemise produktina. Ta ei karda niiskust. Teda kasutatakse nagu tetrüüligi detonaatorite valmistamisel sekundaarse initsieeriva lõhkeainena ning detoneeriva nööri valmistamisel. Detonaatorites pressitakse ten tiheduseni 1,62 g/cm³. Detonatsioonikiirus on 8200—8700 m/sek, süttimistemperatuur — 220°, töövõime — 500 cm³, brisantsus 25—26 mm. Mehaaniliste mõjutuste suhtes võrdub teni tundlikkus tetrüüli omaga.

Heksogeen $C_3H_6N_3(NO_2)_3$ on valget värvi kristalne pulber, mida saadakse urotropiini nitreerimisel. Niiskust ta ei karda, keemiliselt on püsiv. Heksogeeni süttimistemperatuur on 290°. Tundlikkus mehaaniliste mõjutuste suhtes on lähedane tetrüülile, kuid võimsuselt ületab ta tetrüüli. Tiheduse juures 1,7 on heksogeeni detonatsioonikiirus 8300 m/sek, töövõime on 520 cm³ ja brisantsus 29 mm. Kasutatakse detoneeriva nööri valmistamisel, sekundaarse initsieeriva lõhkeainena detonaatorite valmistamisel ja mõnede võimsate ammoniidiliikide valmistamisel. Heksogeeni ja trotüüli sulameid ja segusid on lubatud kasutada maapealsetel lõhketöödel.

Paukelavhõbe $Hg(CNO)_2$ on valget või halli värvi peenekristalliline aine, mida saadakse metallilise elavhõbeda töötlemisel lämmastikhappes etüülpiiritusega. Kristallide erikaal on 4,42 g/cm³, gravimeetriline tihedus 1,6. Kuiv paukelavhõbe on väga tundlik tule ja mehaaniliste mõjutuste suhtes. Süttimistemperatuur (seejuures toimub detonatsioon) on 160—165°. Kristalli kriimustamisel või murdmisel tekib plahvatus. Löögitundlikkus on 2 cm. Plahvatamisel annab paukelavhõbe ümbritsevale keskkonnale järsu ja jõulise löögi. Märgitud omaduste tõttu kasutatakse paukelavhõbedat detonaatorite valmistamisel primaarse initsieeriva lõhkeainena.

Paukelavhõbeda hügroskoopsus ei ole suur, kuid vee all säilitamisel kogub endasse kuni 30% niiskust. Niiske paukelavhõbe ei ole ohtlik käsitsemisel, 30% niiskuse juures ta ei plahvata löögist ega kuumutamisest, kuid detoneerub hästi kuiva paukelavhõbeda laengust.

Detonaatorite kestadesse pressitakse paukelavhõbe survega kuni 200—250 atü, kusjuures tihedus tõuseb kuni 3,3 g/cm³. Kui see surve pressimisel ületatakse, kaotab paukelavhõbe võime leegist detoneeruda ja detonaatorid annavad tõrkeid.

Niiskuse toimel reageerib paukelavhõbe mõnede metallidega, moodustades väga ohtlikke plahvatavaid ühendeid — fulminaate.

iseäranis hästi reageerib ta alumiiniumiga (vähem vasega), mistõttu detonaatorite valmistamisel ei panda paukelavhõbedat alumiiniumkestadesse.

Paukelavhõbeda detonatsioonikiirus tiheduse 3,3 g/cm³ juures on 5400 m/sek.

Pliiaziid $Pb(N_3)_2$ on valget värvi peeneteraline pulber. Ta on lämmastikvesinikhappe HN_3 sool. Kristallide erikaal on 4,8 g/cm³. Niiskust ta ei karda, kuni 30%-lise niiskuse korral ei kaota plahvatusvõimet. Pliiaziid on tule ja mehaaniliste mõjutuste suhtes vähem tundlik kui paukelavhõbe. Plahvatustemperatuur (seejuures toimub detonatsioon) on 330° ja löögitundlikkus 6 cm.

Pliiaziid on nagu paukelavhõbegi initsieeriv lõhkeaine, mis detoneerub võrdselt hästi nii leegist kui löögist.

Initsieeriva lõhkeainena on pliiaziid paukelavhõbedast võimsam. Detonaatoritesse pressitakse pliiaziid survega 200 atü tiheduseni kuni 4,6 g/cm³, kusjuures detonatsioonikiirus võrdub 5300 m/sek.

Niiskuse ja süsihappegaasi juuresolekul reageerib pliiaziid kergelt vasega, moodustades väga tundliku vasehapendi aziidi. Rauaga reageerib ta raskesti, alumiiniumiga ei reageeri üldse. Seepärast ei panda detonaatorite valmistamisel pliiaziidi vasest kestadesse; selleks kasutatakse alumiiniumist või papist kesti.

Kuna pliiaziid on tule suhtes vähem tundlik kui paukelavhõbe, pannakse tõrgete vältimiseks aziid-tetrüülsetesse detonaatoritesse laengu peale veidi teneresi, mille süttimistemperatuur on 270°.

Teneres (TNRS, plii trinitroresortsinaat) $C_6H(NO_2)_3O_2Pb \cdot H_2O$ on stüfiinhappe sool, mille kuldkollast värvi terad tumenevad lahtises õhus. Teneres on pliiaziidist ja paukelavhõbedast mitu korda nõrgem, kuid tule suhtes küllaltki tundlik. Väike annus teneresi, panduna pliiaziidi laengu peale, garanteerib pliiaziid-tetrüüldetonaatori tõrketa plahvatuse elektrisütiku või süütenööri leegist.

§ 14. Tööstuslikud ammooniumsalpeetrilised lõhkeained

Ammooniumsalpeetrilised lõhkeained on ammooniumsalpeetri ja teiste lõhkeainete ning mittelõhkeainete mehaanilised segud. Lõhkeainetest leiavad kasutamist eelkõige aromaatse rea nitroderivaadid (trotüül, ksülüül, dinitronaftaliin jt.). Mitteplahvatavate lisanditena kasutatakse peamiselt põlevaid aineid (puidujahu jt.).

Ammooniumsalpeetri alusel valmistatud plahvatavad segud on mitmenimelised: ammoniidid, dinaftaliidid, ammonaalid jt.

Meil NSV Liidus kannavad enamik mäetööstuses kasutatavatest ammooniumsalpeetrilistest lõhkeainetest ammoniitide nimetust. Mainitud koostiste üksteisest eraldamiseks märgitakse neid numbri või indeksiga. Väiksem osa segudest kannab teisi nimetusi

(ammonaal, dinaftaliit), mis osaliselt meenutavad koostisse kuuluvaid komponente.

Ammooniumsalpeetri ja mitteplahvatavate põlevate ainete segusid nimetatakse dünamoonideks.

Ammoniidid on teistest lõhkeainetest odavamad ja vähem ohtlikud käsitsemisel. Nad on vähetundlikud leegi, hõõrumise ja löögi mõjutuste suhtes, omades löögitundlikkust 100 cm piirides. Ammoniitide detonatsioonikiirus ja brisantsus ei olene mitte ainult nende koostisest, vaid ka valmistamisviisist. Detonatsioonikiirus kõigub 2400 m/sek kuni 6500 m/sek ja brisantsus 8—25 cm vahel. Plahvatuse gaasiliste produktide maht on 560—930 l/kg, plahvatussoojus 450—1000 kcal/kg ja plahvatustemperatuur 1800—2560°.

Ammoniidid, nagu kõik mäetööstuses kasutatavad lõhkeained, jaotatakse nende kasutamistingimuste alusel kolme gruppi.

Nende gruppide üksteisest eraldamiseks on kindlaks määratud allpool kirjeldatud värvid, millega värvitakse padrunite kestad ja lõhkeaine kastide, pakkide ning kottide etikettide templid.

I a — lõhkeained, mis on määratud kasutamiseks gaasi- või tolmuohtlikes kaevandustes lõhketöödeks söes ja aherkivimis — kollane;

I b — lõhkeained, mis on määratud kasutamiseks gaasi- või tolmuohtlikes kaevandustes lõhketöödeks ainult aherkivimis ja maagis — sinine;

I c — lõhkeained lõhketöödeks väävlikaevandustes — roheline;

II — lõhkeained lõhketöödeks allmaakaevandustes, kus ei ole gaasi- ega tolmuohtu — punane;

III — lõhkeained, mis on määratud kasutamiseks ainult lahtistel töödel — valge.

Lahtistel töödel on lubatud kasutada ammoniite padruneerimata (puistatud) kujul. Lõhketöid teostaval asutusel on lubatud vajaduse korral ammoniite padruneerida.

Lõhkeaukude meetodil teostatavate allmaatööde jaoks väljastatakse ja kasutatakse ainult padruneeritud ammoniite. Padrunite standardne läbimõõt on 32, 36 ja 45 mm, kaal 100, 200 ja 300 grammi ning rohkem. Suurem osa padrunitest valmistatakse kaaluga 200 grammi. Padrunikestad (hülsid) valmistatakse kahekordsest pärgament- või poolpärgamentpaberist.

Ammoniitide omadused on esitatud lisas I, mõnede lõhkeainete omadused on paigutatud tabelisse 7.

Ammoniitide omadused on lähedased ammooniumsalpeetri omadustele, sest viimast on ammoniitides üle 50%.

Ammoniidid on üpris hügroskoopsed, nad niiskuvad kergesti. Kõrgendatud niiskusega ammoniitide lõhkamisel tekib plahvatusproduktides palju mürgiseid gaase (vingugaas, lämmastikoksüüdid), esinevad mittetäielikud plahvatused ja tõrked. Lahtistel lõhketöödel lubatakse ohutustehnika eeskirjade kohaselt kasutada ammoniite niiskusega mitte üle 1,5%, allmaatöödel aga ei tohi see

Komponendi nimetus	Ammoniidi koostis %			
	gaasi- ja tolmuõhutu nr. 8	gaasi- ja tolmuõhutu aherkivimi jaoks AП-2	nr. 7ПВ	nr. 6
Ammooniumsalpeeter	68	68	83	79
Trotüül	10	15,5	14	21
Päevalilleseemne koore jahu või puidujahu	2	1,5	2,5	—
Naatriumkloriid	20	—	—	—
Kaaliumkloriid	—	15	—	—
Parafiin	—	—	0,5	—

ületada 0,5%. Tehasest väljalastava ammoniidi niiskus ei tohi ületada lahtiste tööde jaoks 0,5%, allmaatööde jaoks 0,2%.

Kaitseks niiskumise eest kaetakse ammoniidipadrunid õhukese parafiinikorraga — parafineeritakse. Parafineeritud padrunid pakitakse kümnekaupa paberisse ja seotakse nööriga kinni. Pakid parafineeritakse ja laotakse kastidesse. Lõhkeaine netokaal igas kastis on 30 kg.

Hügroskoopsuse vähendamiseks lisatakse mõnede ammoniitide (nr. 8ПВ, АП-2ПВ, nr. 7ПВ) koostisesse 0,5 kuni 1% parafiini, vähendades vastavalt põlevaid lisandeid (puidujahu jt.). Sellised parafineeritud ammoniidid on veidi suurema niiskuskindlusega ja neid kasutatakse lõhketöödeks niisketes etes.

Kõvade kivimite lõhkamiseks märgades etes valmistatakse veekindlaid ammoniite B-3 ja kõvade kivimite ammoniiti nr. 1, mis on suure veekindluse, töövõime ja brisantsusega (vt. lisa 1).

Ammoniitide teiseks puuduseks on nende kalduvus seiskuda ja paakuda. Ka see puudus tuleneb ammooniumsalpeetrist. Seiskunud või paakunud ammoniidipadrunid on katsumisel kõvad, nende lõhkamisel tekivad mittetäielikud plahvatused ja tõrked. Paakunud padrunid tuleb enne kasutamist muljuda käte vahel pulbriks.

Ammoniidid, millede koostises on veidi pulbriksjahvatatud männikoort, sammalt või puidujahu (näiteks ammoniit nr. 7), seiskuvad vähem. Need ained, olles ammooniumsalpeetri terakeste vahel, takistavad kristallide kasvu ja esinevad kobestajatena. Nad võtavad osa ka plahvatusreaktsioonist ja tõstavad plahvatuse energiat.

Trotüüli (nagu teisigi aromaatse rea nitroderivaate) lisatakse ammoniitide koostisse plahvatuse energia suurendamiseks ja tundlikkuse tõstmiseks algimpulsi suhtes.

Gaasi- ja tolmuohututesse ammoniitidesse lisatakse peale selle veel naatriumkloriidi või kaaliumkloriidi. Need inertsed ained ei võta osa plahvatusreaktsioonist, kuid neelavad soojust, alandavad plahvatustemperatuuri ja vähendavad seega plahvatusgaaside soojusesisaldust. Sel viisil tõstetakse lõhkeaine ohutust.

Ammoniitide valmistamine on väga lihtne. Alguses toimub eraldi ruumides komponentide ettevalmistamine: ammooniumsalpeetri, soolade, põlevate lisandite (männikoor, puidupuru jt.) kuivatamine ja peenestamine ning trotüüli peenestamine.

Seejärel puistatakse segamistsehhis komponendid vastavas vahekorras ja järjekorras segamistrumlitesse, mis asuvad ülemisel korrusel.

Segamistrumlites toimub segamine ja ka täiendav peenestamine. Olenevalt ammoniidi sortidest ja nendele esitatavatest nõuetest kestab segamine 30 minutist kuni kahe tunnini. Segu sõelutakse punkritesse, mis asuvad alumisel korrusel. Sealt juhitakse ta teise ruumi padruneerimismasinatesse.

Segu padruneeritakse paberist kestadesse tigumasinatega. Valmis lõhkeainepadrunid antakse parafineerimise ja pakkimise ruumi. Parafineeritud padrunite pakid laotakse veekindla paberiga vooderdatud kastidesse. Padruni peale on märgitud vabriku tempel, lõhkeaine nimetus ja padruni kaal.

Lahtiste tööde jaoks määratud ammoniidid pakitakse pulbrina kuni 40 kg jõupaberist kottidesse või veekindla paberiga vooderdatud kastidesse. Neid võib ka pakkida lainelisest plekist tünnidesse, mis on kaetud asfaltlakiga.

Komponente võib segada ka kollerveskis, kus ühtlasi toimub segu materjalide peenestamine. Sellega saadakse komponentide parem segunemine ja kokkupuutumine. Kollerveskis töödeldud ammoniit on teralise struktuuriga, kaldub vähem seiskumisele ja tal on paremad lõhkeomadused. Eksisteerib ka «kuum» segamisviis. Selle viisi juures segatakse temperatuuril 80—90° kuumutatud ammooniumsalpeeter sula trotüüliga. Kuuma segamist kasutatakse siis, kui ammoniidis on trotüüli üle 20%. Pressitud ammoniit nr. 6, mille koostises on 79% ammooniumsalpeetrit ja 21% trotüüli, valmistatakse pulbrilise ammoniidi pressimisega tiheduseni kuni 1,26—1,35 g/cm^3.

Pressitud ammoniidipadruni läbimõõt on 34—35 mm. Padrun koosneb kahest või kolmest otsakuti paigutatud kõvast julgast ja kaalub 200±10 g. Pressimisprotsessis saab julga kolvipoolne ots suurema tiheduse kui vastaspoolne. Väiksema tihedusega julga osa võtab detonatsiooni paremini vastu, kuna tihedam osa seevastu suurendab detonatsiooniimpulssi. Julgad asetatakse padrunisse samapidi, esimese julga tihedam ots vastu teise julga

väiksema tihedusega otsa. Esimese julga väiksema tihedusega otsas on auk detonaatori jaoks. Detonaatori pesa on igas padrunis. Padruni kestale märgitakse noolega pesapoolne ots.

Lõhkeauku paigutatakse padrunid detonaatori pesadega väljapoole. Sel viisil hoitakse ära kahe tihedama otsa sattumist vastakuti. Neid padruneid ei muljuta. Pressitud ammoniidi nr. 6 brisantsus on 18 mm, kuna samasuguse pulbrilise ammoniidi brisantsus on 14 mm. Suurema tihedusega lõhkeaine kasutamine võimaldab kontsentreerida lõhkeaugu ühe pikkusühiku kohta rohkem energiat. Seega omab pressitud ammoniidi kasutamine suurt tähtsust kõvade kivimite lõhkamisel.

Ammoniitide kasutamise garantiiaeg on 3—6 kuud. Garantiiaja lõppemisel või ammoniidi kvaliteedi suhtes kahtluse tekkimisel peab ammoniite proovima detonatsiooni edasiandmise ja niiskusesisalduse seisukohalt.

§ 15. Nitroglütseriinsed lõhkeained

Nitroglütseriinseid lõhkeaineid kasutatakse vähem kui ammooniumsalpeetrilisi. Peamiseks või üheks peamiseks komponendiks neis lõhkeainetes on nitroglütseriin, mis tunduvalt määratleb ka nende omadusi. Nitroglütseriinsete lõhkeainete grupist leiavad laiemat kasutamist kõrgeprotsendilised plastilised dünamiidid, mis sisaldavad üle 27% nitroglütseriini. Vähemal määral on levinud väikese nitroglütseriini sisaldusega lõhkeained, kuid on märgata ka nende kasutamise laienemist.

Dünamiidid. Enamkasutatavad kõrgeprotsendilised dünamiidid esinevad kollakashalli taignakujulise massina.

Dünamiitide protsendiline koostis on järgmine:

	Harilik 62%-line dünamiit	Külmakindel 62%-line dünamiit
Nitroglütseriin	62	37
Kolloodiumpuuvill	3	3,5
Kaalium- või naatriumsalpeeter	27	32
Puidujahu	8	2,5
Nitroglükool	—	25

Hapete jälgede likvideerimiseks ja keemilise stabiilsuse tõstmiseks lisatakse dünamiitidesse veel soodat või kriiti.

Kolloodiumpuuvilla kasutatakse vedelate komponentide sidumiseks. Lahustudes nitroglütseriinis ja nitroglükoolis, annab ta kolloidse segu, muutudes ühes vedelate komponentidega taignataoliseks sültjaks massiks. Kolloodiumpuuvill kui lõhkeaine tõstab ühtlasi ka segu energiat. Osa vedelaid komponente seotakse

salpeetri ja puidujahu osakestega. Salpeeter kui hapnikukandja ja puidujahu kui põlevaine on aktiivsed komponendid. Peale selle on puidujahu ülesandeks ka plastilise massi kobestamine.

Dünamiidipadrunite kestadeks on kahekordne pärgament- või poolpärgamentpaber. Padruneerimistihedus on 1,4. Padrunite kaal on 200 ja 500 g, läbimõõt 32 ja 45 mm ning pikkus 18 ja 25 cm. Padruni kestal on tempel tehase märgi, lõhkeaine nimetuse ja padruni kaaluga.

Dünamiitide säilitamise garantiiaeg on naatriumsalpeetrit sisaldavatel dünamiitidel 6 kuud ja kaaliumsalpeetrit sisaldavatel 8 kuud.

Dünamiitide positiivseks omaduseks on nende märkimisväärne brisantsus, töövõime ja veekindlus. Plastilisuse tõttu saab dünamiidipadruneid laadimise ajal vardaga surudes tihendada, mis võimaldab tõsta laadimistihedust.

Suure võimsuse ja veekindluse tõttu kasutatakse dünamiite gaasi- ja tolmuohututes tingimustes šahtides, šahtilähedaste kaeveõõnsuste ja kveerišlaagide rajamisel. Dünamiidid on 2—3 korda ammoniitidest kallimad, kuid märgades etes kõvade kivimite lõhkamisel on nende kasutamine ammoniitidest efektiivsem.

Dünamiitide puuduseks on nende külmumine, eksudeerumine ja vananemine.

Külmumisel kristalliseerub nitroglütseriin välja, mistõttu dünamiidi koostis ja struktuur muutuvad. Külmunud dünamiiti on väga ohtlik käsitseda. Kesta lahtikeeramine ja padruni läbitorkamine või murdmine võivad tekitada plahvatuse. Veelgi ohtlikumad on poolkülmunud (külmunud on padruni välispind) ja pooleldi ülessulanud dünamiidid. Külmunud dünamiidis formeerub detonatsioonilaine halvasti, mis põhjustab mittetäielikke plahvatusi ja osalisi tõrkeid. Kivimi koristamisel võivad tõrgespadrunid plahvatada ja põhjustada õnnetusi, kui nad saavad löögi metallist tööriistaga. Seetõttu on külmunud dünamiidi kasutamine keelatud. Enne kasutamist tuleb dünamiit täielikult üles sulatada.

Hariliku dünamiidi külmumistemperatuur on +10°, külmakindla nitroglükoolse dünamiidi külmumistemperatuur on −20°. Viimase kasutamine suuremas osas NSV Liidu mäetööstuse rajoonides on otstarbekohane. Seda dünamiidisorti on lubatud ohutustehnika eeskirjadega kasutada kõikides kaevandamispaikades, välja arvatud gaasi- ja tolmuohtlikud kaevandused.

Eksudatsiooniks nimetatakse vedelate komponentide (nitroglütseriin, nitroglükool) eraldumist dünamiitidest. Eksudatsioon esineb dünamiitide kauaaegsel hoidmisel. Kiiremini tekib ta dünamiitide hoidmisel kõrgemal temperatuuril ja siis, kui dünamiit on mittekvaliteetselt valmistatud.

Eksudeeriv dünamiit on käsitsemisel sama ohtlik kui nitroglütseriin. Seetõttu on eksudeeriva dünamiidi kasutamine ja hoidmine keelatud ning ta tuleb viivitamata hävitada.

Dünamiit vananeb kauase hoidmise ja mittekvaliteetse valmistamise tõttu. Kvaliteetselt valmistatud dünamiit ei vanane enne garantiiaja möödumist. Vananemist seletatakse sellega, et dünamiidi taignataolisest massist väljuvad õhumullid, mistõttu dünamiidi tihedus tõuseb kuni 1,5—1,55 ja ühenduses sellega halvenevad tema detonatsioonilised omadused. Vananenud dünamiidi detonatsioonikiirus langeb järsult (600—800 m/sek hariliku 5000 m/sek asemel), detonatsioonitundlikkus kahaneb (esinevad tõrked) ja värv saab vahataolise kollaka varjundi. Sellised dünamiidid tuleb hävitada.

Dünamiite proovitakse baasladudes hoidmise garantiiaja lõppedes ja iga kord, kui tekib kahtlus nende kvaliteedi suhtes. Proovimist tehakse detonatsiooni edasiandmise, keemilise püsivuse ja eksudatsiooni kohta.

Pobediidid. Oma koostiselt on pobediidid sarnased ammoniitidega. Nad sisaldavad üle 50% ammooniumsalpeetrit, vähesel määral aromaatse rea nitroderivaate, põlevaid lisandeid ja sooli. Peale märgitud komponentide lisatakse pobediitidesse 3—8% nitroglütseriini. See eraldab neid ammoniitidest. Nitroglütseriin tõstab nende vastuvõtlikkust algimpulsi suhtes ja parandab detonatsiooniomadusi. Tundlikkuse, veotingimuste, hoidmise ja kasutamise suhtes võrdsustatakse pobediidid ammoniitidega. Niiskumise suhtes on nad ammoniitidest veidi kindlamad. Pobediitide padruneerimistihedus on 1,1.

Selgituseks esitame pobediidi ПУ-2 koostise:

Ammooniumsalpeetrit	59%
Trotüüli	12%
Nitroglütseriini	5%
Puidujahu	2%
Naatriumkloriidi	22%

§ 16. Oksülikviidid ja teised lõhkeained

Oksülikviidid on lõhkeained, mis valmistatakse vedelhapnikust ja põlevatest materjalidest. Oksülikviitide plahvatuslikud omadused põhinevad väga kiirel, detonatsiooniks muutuval põlemisel. Rikkalikult süsinikku ja osaliselt vesinikku sisaldavad ained põlevad hapniku juuresolekul. Esmakordselt kasutati NSV Liidus oksülikviite laialdaselt Dneprostroi ehitusel (aastatel 1928—1932), kus lõhketöid teostati kõvades kivimites.

Põleva materjalina — immutusainetena — kasutati oksülikviitides tahma, peenestatud puusütt, sammalt — sfagnumit. Need põlevad materjalid padruneeriti lihtsast pakkimispaberist kestadesse. Pärast immutamist vedela hapnikuga muutuvad need padrunid lõhkeaineteks — oksülikviitideks.

Kui immutusmaterjalina kasutatakse tahma, mis on peaaegu

puhas süsinik, toimub plahvatusreaktsioon järgmise valemi kohaselt:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 94 \text{ kcal/mool.}$$

Tahma kasutamisel saadakse oksülikviidid, mis oma töövõimelt ja brisantsuselt on võrdvõimelised 62%-lise dünamiidiga, puusõega oksülikviidid on ammoniidist nr. 9 efektiivsemad.

Norilski kaevandustes kasutati immutusmaterjalina turbasambla ja tselluloosi brikette, milledest oli tolm kõrvaldatud. Immutusmaterjale töödeldi eelnevalt sooladega. Sellega vähendati lõhkeaine tundlikkust tule ja sädemete suhtes ning vähendati tema käsitsemisohtlikkust.

Immutusainete valiku ja nende omavahelise segamisega võib saada oksülikviite suures diapasoonis muutuva brisantsuse ja töövõimega, alates väga brisantsetest kuni madala brisantsusega ja paiskavate lõhkeaineteni.

Oksülikviidi plahvatusjõud oleneb ka padruni hapnikusisaldusest plahvatuse momendil. Kui plahvatuse momendil on padrunis hapnikku vähem või rohkem sellest, mis on vajalik padrunis oleva süsiniku ja vesiniku täielikuks ärapõlemiseks, on plahvatusjõud väiksem. Suurema hapnikupuuduse korral tekivad tõrked või padrunite põlemised.

Veeldatud hapniku keemistemperatuur on —182,5° (erikaal 1,12), teda hoitakse erilistes hea termoisolatsiooniga anumates (tankides) mahutavusega 5 kuni 50 tonni. Transportimiseks kasutatakse 0,5- kuni 6-tonnise mahutavusega tanke.

Lõhketööde teostamisel lõhkeaukude meetodil toimetatakse vedelhapnik ee juurde 15—30 minutit enne laadimist. Minööride jaoks ehitatud kaitsevarjendites, mis asetsevad lõhketööde läbiviimise koha lähedal, immutatakse põlevast ainest valmistatud padrunid vedelhapnikuga erilistes termostes. Padrunite küllastamiseks hapnikuga kulub 10—15 minutit. Termosest väljavõetud padrunid viiakse kastides või lõhkeaine kandekottides viivitamata laadimise kohta.

Termosest väljavõetud padrunitest hakkab hapnik välja aurama, mistõttu puur- või lõhkeaukude laadimisega tuleb kiirustada, sest hapniku kaotanud padrunid ei plahvata.

Oksülikviidi lõhkeväärtus (plahvatuslike omaduste kestus) püsib 10—15 minutit, kui padruni läbimõõt on 35—40 mm. Padruni läbimõõdu suurenemisega tõuseb ka lõhkeväärtuse püsivuse aeg. 200 mm jämeduste sügavpuuraukude laadimiseks kasutatakse padruneid läbimõõduga 160—180 mm. Praegusajal kasutatakse oksülikviide harva.

Kloraatsed ja perkloraatsed lõhkeained valmistatakse kloorhappe ja perkloorhappe soolade ($KClO_3$, $KClO_4$, $NaClO_3$, $NaClO_4$, NH_4ClO_4) põhjal. Neile lisatakse aromaatse rea nitroderivaate, nitroglütseriini ja puidujahu. Mainitud lõhkeainete vastuvõtlikkus

detonatsiooni suhtes on võrdlemisi madal, kuid mehaaniliste mõjutuste suhtes on nad võrdlemisi tundlikud. NSV Liidus kloraatseid ja perkloraatseid lõhkeaineid ei kasutata. Neid kasutatakse lääneriikides (Saksamaal, Belgias, Prantsusmaal).

Teiste lõhkeainete hulgast loeme otstarbekaks nimetada padrunit «Kardoks» ja lühidalt selgitada selle tööprintsiipi. Padrun kujutab enesest metallist silindrit, mille läbimõõt on 35—45 mm ja pikkus 0,6 kuni 1,5 m. Silindrisse asetatakse kloraatse lõhkeaine padrun (kaaliumklorati ja naftaliini seguga), mis kaalub 100 grammi. Peale selle täidetakse silinder vedela süsihappegaasiga (0,6—2 kg) ja paigutatakse lõhkeauku ning kaetakse kõvasti topisega. Seejärel lõhatakse kloraatse lõhkeaine padrun elektrisütikuga. Plahvatusel eralduv soojus muudab vedela süsihappegaasi gaasiliseks ja surve silindris tõuseb kuni 800—2000 atü. Surve toimel puruneb silindri põhjaosas olev tõkkeseib ja süsihappegaas paiskub silindrist välja, avaldades survet lõhkeaugu seintele ning purustades ümbritsevat kivimimassiivi.

Nõukogude Liidus kasutati padruneid «Kardoks» aastatel 1934—1938 söe lahtimurdmiseks gaasiohtlike kaevanduste strekkides ja laavades pärast söekihi soonimist soonimismasinaga. «Kardoksi» eeliseks on tema võrdlemisi ohutu kasutamine gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes. Puuduseks on aga kallidus ja kohmakus kasutamisel. «Kardoksi» uuesti kasutuselevõtmine on võimalik täiustatud kujul.

§ 17. Lõhkeainete proovimine ladudes

Lõhkeaineid peab proovima ladudesse vastuvõtmisel, garanteeritud säilitamisaja möödumisel ja iga kord, kui tekib kahtlus nende kvaliteetsuse kohta.

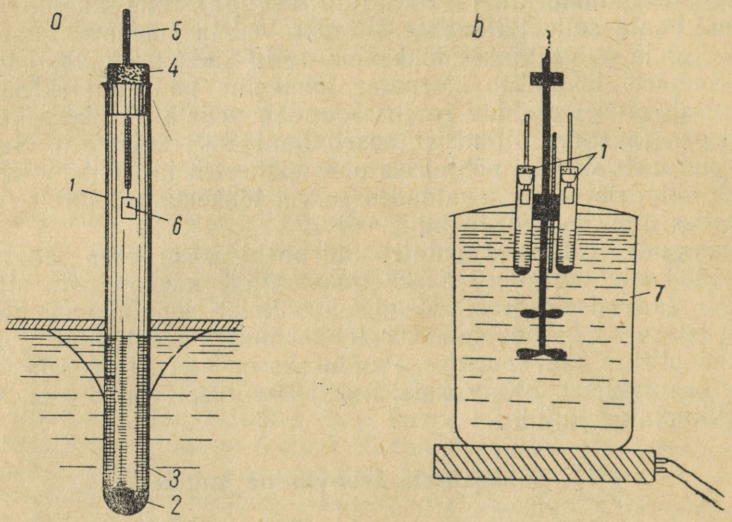
Dünamiitidel proovitakse eksudatsiooni, detonatsiooni edasiandmist ja keemilist püsivust. Ammooniumsalpeetrilistel lõhkeainetel proovitakse detonatsiooni edasiandmist ja niiskust. Peale selle vaadatakse üle lõhkeaine taara ja padrunite välimus.

Eksudatsiooni (nitroglütseriini või nitroglükooli väljaeraldumine) määratakse padrunite välise vaatlusega. Eksudatsiooni puudumisel ei tohi olla vedelikku lõhkeaine kastides, karpides ega padrunite peal. Padruni paberist kesta lahtimähkimisel ei tohi esineda vedeliku jälgi ka teise keeru (pealmise kihi) sisemisel küljel. Lubatakse ainult õlise riba esinemist sisemise paberikihi ja teise välise kihi piiril. Selle riba laius ei tohi olla üle 6 mm. Kui see riba on laiem või esineb tilku ja suuremaid õlise vedeliku laike, loetakse dünamiit eksudeerivaks ja ta tuleb viivitamata hävitada.

Detonatsiooni edasiandmist proovitakse kolme paari 200-grammiste padrunite lõhkamisel. Iga padrunite paar asetatakse tasaseks tambitud pinnasele ühele sirgele. Padrunite lähimate otste

vahekaugus võetakse vastavalt GOST-i või tehniliste tingimuste nõuetele, kusjuures korralik lõhkeaine peab detonatsiooni edasi andma. Üks padrun lõhatakse detonaatoriga, teine aga peab lõhkema esimese mõjutusest.

Kui ühelgi katsel tekib tõrge, korratakse proovimist, kahekordistades proovide arvu. Kui teistkordsel katsetamisel esineb kas või ükski tõrge, praagitakse see partii välja.



Joon. 17. Seadis lõhkeaine keemilise püsivuse proovimiseks.

Dünamiitide keemilist püsivust proovitakse järgmiselt. Katseklaasi *1* (joonis 17, *a*) pannakse segu *2* ja *3* (3 g dünamiiti ja 6 g talki) kaalutis. Katseklaas suletakse korgiga *4*, mida läbib konksuga varustatud klaaspulk *5*. Konksu külge kinnitatakse joodtärklispaberist leheke *6* (1×2 cm), mille ülemine pool on niisutatud 50%-lise keemiliselt puhta glütseriini vesilahusega. Katseklaas paigutatakse veevanni *7* (joon. 17, *b*), milles vee temperatuur on 75°. Sinna paigutatakse ka katseklaas etaloonpaberiga. Temperatuuri tõusmisel hakkab dünamiit lagunema, eraldades lämmastikoksüüde. Viimased, tõustes ülespoole, reageerivad kaaliumjodiidiga (paberileht on töödeldud kaaliumjodiidi lahusega). Eralduv jood tekitab lehe niisutatud ja kuiva osa piirile pruuni riba.

Kui pruuni riba värvus oma intensiivsuselt saab etaloonriba värvusega võrdseks mitte varem kui 10 minutit pärast katseklaasi veevanni asetamist, siis loetakse katsetatav dünamiit püsivaks. Kui see pruunistumine toimub 7 ja 10 minuti vahel, loetakse katsetatav dünamiit vähepüsivaks ja ta tuleb ära kasutada 1,5 kuu

jooksul. Juhul kui pruunistumine tekib enne 7 minutit, loetakse katsetatav dünamiit mittepüsivaks ja ta tuleb ära kasutada 5 päeva jooksul või hävitada.

Ammoniitide detonatsiooni-üleandmist proovitakse samuti kui dünamiitidelgi.

Ammoniitide niiskust kontrollitakse järgmiselt. Võetakse kaks 50-grammist kaalutist proovitavat lõhkeainet, asetatakse need portselankausikestesse või kaaluklaasidesse ja kuivatatakse temperatuuril 65° kuivatuskapis kuni püsiva kaaluni. Seejärel jahutatakse proovid ja kaalutakse uuesti.

Niiskusesisaldus protsentides leitakse järgmise valemi järgi:

$$P = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \cdot 100,$$

kus c_1 on proovitava lõhkeaine kaal koos katseanumaga enne kuivatamist ja

c_2 — sama pärast kuivatamist.

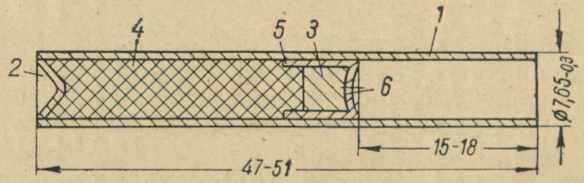
III PEATÜKK

LÕHKAMISVAHENDID

§ 18. Lõhkamisvahendid tulega süütamisel

Puur- ja lõhkeaukudesse paigutatud laenguid võib lõhata tulega süütamise teel, elektrisüütega või detoneeriva nööri abil. Iga lõhkamisviisi puhul kasutatakse vastavaid lõhkamisvahendeid. Tulega süütamisel kasutatakse kapseldetonaatoreid ja süütenööri, elektrisüüte puhul elektridetonaatoreid.

Kapseldetonaatori ülesandeks on lõhkeainelaengu plahvatuse esilekutsumine. Ta kujutab enesest kesta *1*, millesse on pressitud teatav kogus initsieerivat lõhkeainet. Kestad valmistatakse papist või metallist (vask, alumiinium). Kesta läbimõõt on ligikaudu 7 mm, pikkus 45,5—51 mm (joon. 18). Kumulatiivse efekti saamiseks valmistatakse metallkest sissepoole nõgusa põhjaga *2*. Pappkestad on põhjata ja kumulatiivne süvend moodustatakse lõhkeaines eneses detonaatori otsas.



Joon. 18. Kapseldetonaator.

Kapsli kest on ligikaudu $^2/_3$ pikkuselt (30—35 mm) täidetud initsieeriva lõhkeaine laenguga, kuna tema ülejäänud osa (15—18 mm), mida nimetatakse suudmeks, jäetakse vabaks ja sinna paigutatakse süütenööri ots. Kesta pressitakse algul 1 g sekundaarset initsieerivat lõhkeainet *4*, milleks kasutatakse tetrüüli, teni või heksogeeni. Laeng pressitakse kesta kahes järgus, kummaski 0,5 g lõhkeainet. See on vajalik ühtlase tiheduse saavutamiseks ja liigse tihendamise vältimiseks, mis kutsub esile tõrkeid. See-

järel pressitakse kesta primaarne initsieeriv lõhkeaine: 0,5 g paukelavhõbedat või 0,2 g pliiaziidi koos 0,1 g teneresiga. Primaarse initsieeriva lõhkeaine laeng *3* kaetakse kesta pressitud metallkupliga *5*. Kupli keskel on 2—2,5 mm jämedune avaus *6*. Läbi selle avause tungib primaarse initsieeriva lõhkeaine juurde põleva süütenööri leek ja põhjustab detonatsiooni, millest omakorda detoneerub sekundaarne initsieeriv lõhkeaine, kuna viimase detoneerimisest plahvatab lõhkeainelaeng. Kuppel hoiab detonaatori primaarset lõhkeainet kestast välja pudenemast ja teeb süütenööri otsa sissepaigutamise detonaatori suudmesse ohutumaks.

Kapseldetonaatorite valmistamiseks kasutatavate lõhkeainete järgi eristatakse aziid-tetrüül- ja paukelavhõbe-tetrüüldetonaatoreid.

Kuna niiske paukelavhõbe põhjustab tõrkeid, siis on paukelavhõbedat sisaldavaid detonaatoreid vaja kaitsta niiskumise eest. Neid ei tohi kasutada ka oksülikviitidega töötamisel. Madalatel temperatuuridel, mis on tingitud vedelast hapnikust (—182,5°), põhjustab paukelavhõbe tõrkeid. Pliiaziidi sisaldavad detonaatorid on selles suhtes tunduvalt paremad, sest nad ei karda niiskumist ja lõhkavad oksülikviidipadruneid tõrgeteta. Ka on nad plahvatusjõu poolest paukelavhõbedetonaatoritest teataval määral võimsamad.

Käesoleval ajal kasutatakse kapseldetonaatoreid nr. 8 M vask-, nr. 8 A alumiinium- ja nr. 8 Б pappkestas.

Kapseldetonaatorid pakitakse (suudmed ülespoole) sajakaupa pappkarpidesse, mis paigutatakse omakorda viiekaupa pikkadesse pappkarpidesse. Viimased aga asetatakse kümnekaupa kahte ritta tsingist kasti. Tsingist kast asetatakse omakorda puust kasti ning ümbritsetakse peente höövlilaastude ja saepuruga. Selline kast sisaldab 5000 kapseldetonaatorit.

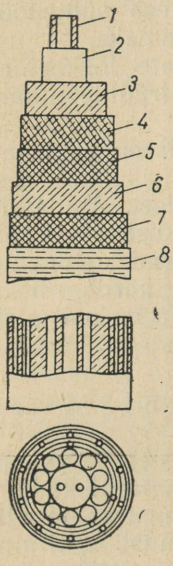
Kapseldetonaatorite töökõlblikkust kontrollitakse välise vaatluse teel ning proovimisega, kas nad lõhkeainepadruneid täielikult detoneerivad. Välisel vaatlusel jälgitakse, et kestade sisepind ei oleks prügine. Metallkestadel ei tohi olla läbiulatuvaid roostesi kohti, pragusid ega plekke metalli lagundamisjälgedega, pappkestadel paberi lahtikihistumist suudme juures, mis takistab süütenööri paigaldamist, ning lõhkeainekildude eraldumist põhja juures. Ülalmainitud defektidega detonaatorid tuleb välja praakida ja hävitada.

Detonatsiooni täiuslikkuse proovimiseks võetakse 10% nendest kapseldetonaatoritest, mida kontrolliti välise vaatluse teel, kuid vähemalt kolm detonaatorit. Valitud detonaatoritest valmistatakse sütikud ja iga sütiku abil lõhatakse üks lõhkeainepadrun, milleks on valitud antud ettevõttes kasutatav kõige väiksema detonatsioonitundlikkusega lõhkeaine. Proovimisel ei tohi esineda tõrkeid ega puudulikku lõhkemist. Ühe tõrke või puuduliku lõhkemise korral korratakse katset kahekordistatud löökpadrunite arvuga. Kui

ka korduskatsel esineb üks tõrge või ebatäielik lõhkemine, siis detonaatorite partii praagitakse välja.

Neid proovimisi korraldatakse lõhkeaineid kasutavates ettevõtetes.

Süütenööri kasutatakse leegi juhtimiseks kapseldetonaatori primaarlaengu juurde. Süütenöör koosneb peeneteralisest mustast (suitsu-) püssirohust südamikust selle keskel asetseva juhtniidiga ja kahest-kolmest linastest või puuvillniitidest kattepõimikust, mis on punutud vastassuunaliselt (joon. 19).



Joon. 19. Süütenööri ehitus:

1 — juhtniidid; *2* — püssirohust südamik; *3* — kahekordne lina-, kanepi- või puuvillniitidest punutis; *4* — tõrv; *5* — asfalt; *6* — lina-, kanepi- või puuvillniitidest kate; *7* — tõrv; *8* — väline (polükloorvinüül, gutapertš või asfalt) kate.

Lõhketöödel lubatakse kasutada järgmisi süütenööride liike: asfalteeritud, kahekordse asfaltkattega, gutapertškattega ja polükloorvinüülkattega süütenööri.

Asfaltkattega süütenööri kasutatakse lõhketöödel niisketes ja kuivades etes, kahekordse asfaltkattega süütenööri märgades ja gutapertš- ning polükloorvinüülkattega süütenööri veega üleujutatud etes.

Nööri välisläbimõõt on 5—6 mm, põlemiskiirus 1 cm sekundis. Peale normaalse põlemiskiirusega süütenööri toodetakse ka aeglaselt põlevat süütenööri, mille põlemiskiirus on kaks korda väiksem. Aeglaselt põleval nööril on kollane kate, normaalselt põleval must kate. Aeglaselt põlevat nööri kasutatakse mäeasjanduses senini tähtsusetul hulgal.

Süütenööri lastakse välja 10 m pikkuste tükkidena, mis on keeratud mitmesuguse läbimõõduga (15—25 cm) rõngaskeradesse. Rõngaskerad pannakse 25-kaupa kimpudesse ja pakitakse pärgamentpaberisse. Kimbud (8 või 12 tükki) pakitakse puust kastidesse. Kastis on seega 2000 või 3000 m süütenööri.

Tehnoloogilise režiimi rikkumine nööri valmistamisel põhjustab defekte, mis kutsuvad esile nööri kustumise, aeglustatud või kiirendatud põlemise. Püssirohust südamiku liigne tihendamine põhjustab aeglasemat põlemist. Kobe, tihendamata südamik põleb suurema kiirusega. Südamiku katkemine põhjustab kustumist või väga aeglast põlemist.

Kuna sellised defektid võivad põhjustada õnnetusjuhtumeid, tuleb kontrollida süütenööri põlemiskiirust ning kas ta põleb täielikult ja ühtlaselt. Samuti tuleb süütenööri kontrollida välise vaatluse teel.

Välise vaatlusega tehakse kindlaks süütenööri defektid: murde-

kohad ja praod kattes, ahenemised, paksenemised, topilised ja lahtihargnenud kohad, märgumise jäljed jm. Defektidega kohad lõigatakse nöörist välja ja hävitatakse, kuna ülejäänud osa nöörist võib pärast edasisi katsetamisi minna kasutamisele. Defektidega rõngaskerade suure arvu puhul (üle 1% läbivaadatud kogusest) praagitakse see süütenöör välja ja ta kuulub hävitamisele.

Süütenöörikerade ülevaatusel ja lahtikerimisel tuleb hoiduda järskudest painutamistest, mis võivad põhjustada pragusid kattes või südamiku kobestumist.

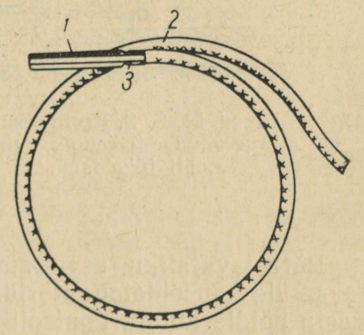
Põlemiskiiruse ja täieliku põlemise proovimiseks võetakse 2% rõngaskerade üldarvust. Iga kera ühest otsast lõigatakse ära 2 cm, seejärel lõigatakse igast kerast üks 60 cm pikkune lõik. Need lõigud süüdatakse ning kontrollitakse stopperiga põlemise kestust, mis peab normaalselt põleva süütenööri puhul olema 60—69 sekundi piirides. Iga kera ülejäänud osa süüdatakse, kontrollides seda täieliku ja ühtlase põlemise seisukohalt. Ei tohi esineda kustumist, leegi tungimist läbi kesta või selle süttimist.

Nöör praagitakse välja, kui põlemiskiiruse või täieliku põlemise proovimiseks kasutatud süütenööri lõikudest rohkem kui ühe juures esineb normidest kõrvalekaldumist. Kui ainult ühe puhul esineb normidest kõrvalekaldumine, viiakse läbi kordusproov, milleks võetakse kahekordne arv lõike. Kui kordusproovil toimub kas või ühe lõigu puhul kõrvalekaldumine normidest, siis praagitakse nöör välja ja hävitatakse.

Veekindlad süütenööride sordid pannakse enne proovimist üheks tunniks 1 m sügavusele vette, isoleerides nende otsad niiskuskindla mastiksiga. Veest väljavõtmise järel lõigatakse nööri otstest maha 5 cm pikkused lõigud, misjärel teostatakse proovid tavalises korras.

Sütikud. Sütikuks nimetatakse kapseldetonaatorit, mis on ühendatud süütenööriga (joon. 20).

Süütenööri pikkus määratakse kindlaks järgmiste kaalutluste põhjal: nöör peab ulatuma lõhkeaugust välja vähemalt 10—15 cm, et teda oleks mugav süüdata; nöör peab olema sellise pikkusega, et tema põlemise aeg kindlustaks minöörile võimaluse süüdata ees kõik süütenöörid ja ära minna ohutusse kohta enne esimese laengu lõhkemist. Arvutustest olenemata peab kõige lühema süütenööri pikkus ohutustehnika eeskirjade järgi olema vähemalt 1 m.

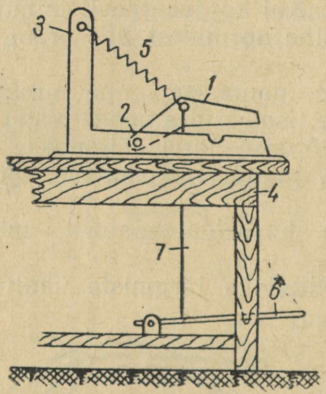


Joon. 20. Sütik metallkestaga detonaatori puhul: *1* — kapseldetonaator; *2* — süütenöör; *3* — kinnipigistamiskoht.

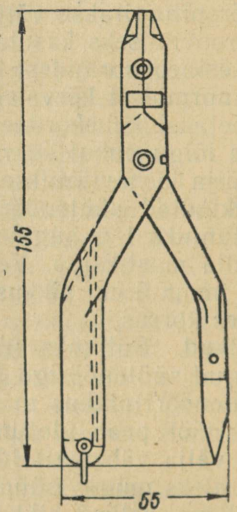
Sütikute valmistamine toimub järgmisel viisil. Süütenööri kera keritakse lahti, hoidudes seda jär-

sult painutamast, ja lõigatakse vajaliku pikkusega tükkideks. Nööri võib lõigata terava noaga või lõikepingil. Nööri peab lõikama teljega ristiolevas tasapinnas. Joonisel 21 on kujutatud S. S. Krotovi poolt konstrueeritud lõikepink süütenööri lõikamiseks. Lõikepink koosneb noast *1*, mis on šarniiri *2* abil kinnitatud toele *3*, mis on omakorda kinnitatud laua *4* külge. Tõstetud asendis hoitakse nuga vedru *5* abil. Laua all on pedaal *6*, mis on noaga ühendatud varda *7* kaudu. Toe juhtpindadele on tehtud nööri läbimõõdule vastavad väljalõiked. Rõngaskera asetatakse rullile, nöör asetatakse juhtpindade väljalõikesse ja järsu survega pedaalile lõigatakse tükkideks.

Nööri süütamisel hõõgtahiga tuleb 2 cm kaugusel süüdatavast otsast teha nöörile viltune sisselõige $^2/_3$ läbimõõdu sügavuseni. Süütamise ajal painutatakse lahtilõigatud nööri ots kõrvale ning asetatakse püssirohust südamiku juurde hõõgtaht, mis sellisel viisil kutsub esile südamiku kerge ja kiire süttimise.



Joon. 21. S. S. Krotovi konstrueeritud lõikepink süütenööri tükeldamiseks.



Joon. 22. Kapseldetonaatorite pigistustangid.

Pärast vajaliku arvu süütenöörilõikude valmistamist vaadatakse üle kapseldetonaatorid. Koputades detonaatori suudme otsa vastu pöidla küünt, kontrollitakse, kas ei kuku välja kuppel, ning samal ajal kõrvaldatakse suudmeosasse sattunud prügi. Prügi välja puhuda ega urgitseda pole lubatud, sest esimesel juhul võib paukelavhõbe niiskuda, teisel juhul detonaator plahvatada.

Detonaatoreid, milledel avastati defekte, ei tohi sütikute valmistamiseks kasutada. Need tuleb hävitamiseks lattu tagasi anda.

Nööri ots pistetakse detonaatori suudmesse nii, et ta ulatuks vastu metallkuplit. Metallkestaga detonaatori suudme äär pigistatakse pigistustangidega (joon. 22) ümber nööri kinni käsitsi või erilise seadme abil. Detonaatori kinnipigistamisel seadme abil on juhusliku plahvatuse korral vähem võimalust kildudest vigastada saada, sest detonaator on paigutatud paksude seintega kambrisse.

Pappkestaga detonaatorite korral mässitakse detonaatori suudme ja nööri ümber kleepuv isoleerpael. Detonaatorit võib süütenööri otsa kinnitada ka nööriga.

Sütikute valmistamisel ei tohi laual olla üle 100 detonaatori. Neid töid tehakse spetsiaalselt selleks eraldatud ruumis.

Sütiku detonaator kinnitatakse lõhkeainepadruni sisse. Sellist padrunit nimetatakse löökpadruniks. Löökpadruni valmistamisel avatakse padruni üks ots ja tehakse vask- või puupulga terava otsaga lõhkeainesse süvend detonaatori jaoks. Detonaator asetatakse üleni süvendisse, padruni otsa kattepaber volditakse süütenööri ümber kokku ja seotakse nööriga kinni. Löökpadrunid valmistatakse ette vahetult enne lõhkeaukude laadimist.

Sütikute süütenööride süütamine toimub süütetahi, süütekünla, kontrollnööri või süütepadruni abil.

Süütetaht koosneb puuvillasest või linasest südamikust, mis on immutatud kaaliumsalpeetriga ja kaetud puuvillase niitpõimikuga. Tahi läbimõõt on 6—8 mm. Taht süttib tuletikust kergesti ja põleb kiirusega 1—2 cm minutis.

Taht keeratakse kokku keradesse 50 m pikkuste tükkidena. Viiest kerast koosnevad kimbud asetatakse paberisse pakitult 8-kaupa puust kastidesse. Tahti on hõlpus kasutada, ta süütab hästi süütenööri eriti siis, kui sellele on süüdatavasse otsa tehtud sisselõige.

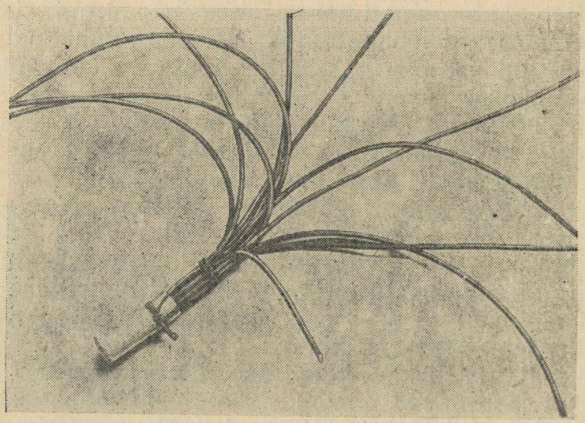
Süüteküünal valmistatakse ligikaudu 10 mm jämedusest ja 20 cm pikkusest pappkestast, millest $^3/_4$ on täidetud põleva ainega ja $^1/_4$ mittepõleva ainega. Viimasest hoiab minöör süütamisel küünalt käes. Põlevainega ots on varustatud, nagu tuletikkki, süütepeaga, mis süttib kergesti hõõrdumisest vastu süüteplaati. Küünal annab ilusa ühtlase leegi, mis hõlpsasti süütab süütenööri. Küünlad valmistatakse põlemisajaga 1, 2 või 3 minutit.

Kontrollnöör kujutab enesest süütenööri lõiku pikkusega ligikaudu 30—50 cm, millel on iga 2—3 cm järel tehtud sisselõige $^2/_3$ läbimõõdu sügavuseni. Kontrollnööri põlemisel paiskub sisselõikekohast välja sädemete kimp, mis hõlpsasti süütab sütiku süütenööri. Töö ajal nihutab minöör pidevalt nööri käes, et järjekordsest sisselõikekohast väljapaiskuvad sädemed käsi ei põletaks.

Kontrollnöör on ühtlasi ka süütejaja kontrollimiseks. Ta võe-

takse 60 cm võrra lühem kõige lühemast kapseldetonaatoriga ühendatud süütenööris; kontrollnöör süüdatakse esimesena ja niipea kui selle põlemine on lõppenud, läheb minöör ohutusse kohta.

Süütepadrunit (joon. 23) kasutatakse mitme sütiku üheaegseks süütamiseks. Ta kujutab endast ühest otsast lahtist 5—10 cm pikkust ja 2—4 cm jämedust (olenevalt padrunisse asetatavate süütenööride arvust) kesta, mis on valmistatud tihedast parafineeritud paberist. Kesta põhjale on asetatud 2—3 cm paksune süütesegu kiht. Segu koostisse kuulub ligikaudu 85% peeneteralist püssirohtu, mis on tsementeeritud ja flegmatiseeritud kampoli (5%) ja parafiini (10%) lisamisega. Flegmatiseeritud püssirohi ei plahvata, vaid põleb ühtlase leegiga.



Joon. 23. Süütepadrun koos süütenööriga.

Süütepadruneid on otstarbekohane kasutada, kui ees on palju lõhkeauke ja kui need paiknevad üksteise lähedal. Naaberlõhkeaukudest väljuvad süütenööri otsad kogutakse kimpu ja paigutatakse süütepadrunisse. Sinna asetatakse ka 15—20 cm pikkune süütenööri tükk, mis süüdatakse teisest otsast. Padruni kest seotakse ümber kimbu kinni. Põlev süütenööri jupp süütab põlemissegu ja see omakorda sütiku nöörid.

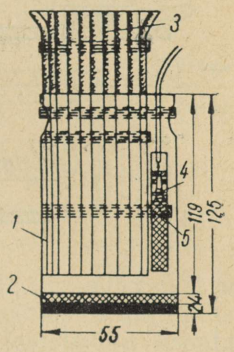
Tulega süütamist kasutatakse laialdaselt lahtistel töödel, kuid ka maa-aluste gaasi- ja tolmuohutute kaevanduste horisontaalsete ja kallakute kaeveõõnte etes, kui kaldenurk ei ületa 30°.

Padruneid võib süüdata ka elektrihõõgsütikuga, millist viisi nimetatakse lõhkamiseks elektrisüüte abil.

Nagu teada, ei luba ohutustehnika eeskirjad tuld kasutada süütamiseks vertikaalsetes ja tõuskaeveõõntes. Teisest küljest

aga võib elektrilise süütamise puhul, isegi viitsüütega detonaatorite kasutamisel tekkiv üheaegne plahvatus purustada toestuse ja kahjustada ee läheduses asuvaid seadmeid. Seoses sellega on esitatud rida uusi, usaldatavaid ja ohutuid lõhkamismeetodeid elektriliste süütepadrunite kasutamisega.

Joonisel 24 on kujutatud ВНИИНЕРУД-i (Üleliidulise Mittemetalsete Maavarade Teadusliku Uurimise Instituudi) poolt konstrueeritud elektriline süütepadrun, mis koosneb veekindla kihiga kaetud 10—14 cm pikkusest paberkestast süütaja ja süüteseguga. Elektrisüütaja on valmistatud pappkestast ja nikroomist hõõgsillakesega elektrihõõgsütikust, mille läbimõõt on 0,2 mm ja pikkus 8—10 mm. Süütesegu paigutatakse kesta põhjale ja ta koosneb püssirohust (83 osa), mis on flegmatiseeritud tehnilise vaseliini või solidooliga (17 osa). Hõõgsild kinnitatakse tinutamise teel traatide külge. Lühise vältimiseks isoleeritakse juhtmete hargnemiskoht tilgakese bituumeniga. Süütepadruni valmistamiseks lõhkamise kohal kogutakse astmelisse kimpu (vastavalt lõhkamise iärjekorrale) 25—30 süütenööri otsa, seotakse kahest kohast kinni ja lõigatakse kimbu ots tasaseks. Seejärel kinnitatakse lõikepinnaga ühetasaselt elektrisüütaja ning kimp koos süütajaga asetatakse kesta, seotakse tugevasti kinni ja isoleeritakse märgumise vastu. Süütaja juhtmed ühendatakse magistraaljuhtmetega ja süütamine süütemasina või võrgust võetud voolu abil toimub tavalises korras.



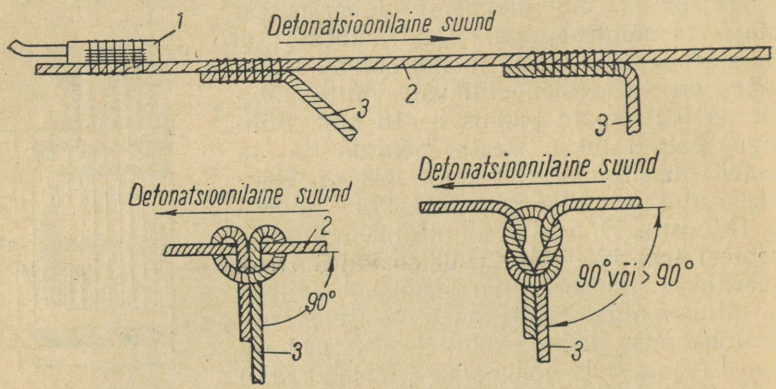
Joon. 24. Elektriline süütepadrun gruppsüütamiseks:
1 — kest; *2* — süütesegu; *3* — süütenöörid; *4* — elektrisüütaja; *5* — hõõgsild.

§ 19. Lõhkamine detoneeriva nööri abil

Detoneerivat nööri kasutatakse detonatsiooni edasiandmiseks detonaatorilt lõhkeainelaenguni või ühest laengust teiseni. Detoneeriva nööri ehitus on analoogiline süütenööri ehitusega järgmiste erinevustega: südamik ei koosne mitte püssirohust, vaid initsieerivast lõhkeainest (ten, heksogeen jt.), teine ja kolmas niitpõimik on kaetud parafiiniga; kolmas niitpõimik on värvitud punaseks või omab kaks punast niiti, mis teda väliselt eraldavad süütenöörist.

Käesoleval ajal kasutatakse meil tenist südamikuga detoneerivat nööri, mille detonatsioonikiirus on ligikaudu 7000 m/sek. Nöör lastakse välja 50 m pikkuste tükkidena, mis keritakse kokku ja pakitakse tihedasse paberisse. Kerad paigutatakse 12-kaupa puust kastidesse.

Detoneeriv nöör lõhatakse süütenööriga varustatud kapseldetonaatori või elektridetonaatori abil. Selleks asetatakse detonaator detoneeriva nööri külge. Detonaatori plahvatus põhjustab tõrkumatult detoneeriva nööri plahvatuse. Et plahvatus kanduks ühelt nööri lõigult teisele üle, seotakse nad kokku meremehesõlme abil või sidumisnööriga nii, et vaheliti olevad otsad ulatuksid teineteisest üle vähemalt 10 cm ulatuses (joon. 25).



Joon. 25. Detoneeriva nööri üksikute lõikude ühendusviisid:
1 — elektridetonaator; *2* — magistraalliin; *3* — laengutesse suunduvad nöörid.

Detoneerivat nööri võib ohutult lõigata noaga. Detoneeriv nöör ei plahvata tulest, kuid üle 10 cm pikkuste lõikude süütamist ei soovitata, kuna põlemine võib muutuda plahvatuseks.

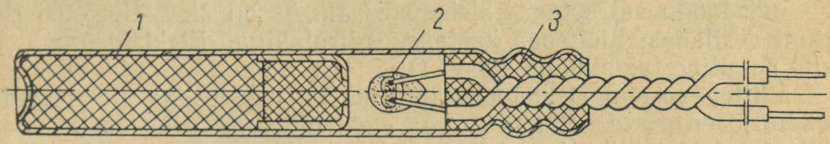
Detoneeriv nöör on laialdaselt levinud lahtistel töödel puuraugu- ja kamberlaengute lõhkamisel. Nööri suure detonatsioonikiiruse tõttu toimub kõigi laengute plahvatamine praktiliselt üheaegselt. Töötamine detoneeriva nööriga ja lõhkevõrgu montaaž on lihtne ja ohutu. Nööril on hea isolatsioon, mis tagab tema veekindluse ka pärast 12-tunnilist vees hoidmist. Detoneerivale nöörile mõjuvad kahjustavalt päikesekiirgus ja hoidmine soojas kohas, sest sel juhul isolatsioon sulab ja lõhkeaine paljastub, mis muudab nööri käsitsemisel ohtlikuks.

§ 20. Elektriline süütamine

Hetktegevusega elektridetonaatorid. Elektridetonaatoriks nimetatakse kapseldetonaatorit, mis on ühendatud elektrisütikuga. Tehakse vahet hetk-, viit- ja lühiviittegevusega elektridetonaatorite vahel.

Elektrisütik (joon. 26) on järgmise ehitusega. Kaks isoleeritud

elektrijuhet (vasest, harvem rauast või bimetallist), pikkusega 1,5 kuni 3 m ja läbimõõduga 0,5—0,8 mm, on keeratud kokku 5—10 cm pikkuselt. Nende otsad on 5—10 mm ulatuses puhastatud isolatsioonist ja hargikujuliselt laiali painutatud. Hargi otste külge on joodetud metallniidike, mida nimetatakse hõõgsillaks. Sillakese pikkus on 4—5 mm, läbimõõt 0,03—0,05 mm, materjaliks on konstantaan (vase ja nikli sulam) või nikroom (nikli ja kroomi sulam).



Joon. 26. Hetktegevusega elektridetonaator ЭД-БМ:
1 — kapseldetonaator; *2* — elektrisütik; *3* — plastikaadist kork.

Hõõgsild ja suur osa isolatsioonist puhastatud traadiotstest on kaetud kergeltsüttiva tahke seguga, mis moodustab nende ümber suure tahke tilga (süütepea). Kergeltsüttiva koostisena kasutatakse segu, milles on 46% Berthollet' soola, 28% pliirodaniiti ja 26% tisleriliimi.

Elektrisütik kinnitatakse kapseldetonaatori suudmesse kergeltsulava (sulamistemperatuur 50—65°) mastiksiga. Voolu läbimisel hakkab sillake hõõguma ja süütab süütepea, mille põlemisel tekkiv leek põhjustab detonaatori plahvatuse. Sellist elektridetonaatorit nimetatakse hetktegevusega elektridetonaatoriks.

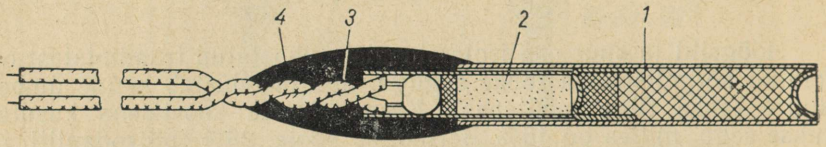
Käesoleval ajal kasutatakse mäetööstuses paukelavhõbe-tetrüül-hetktegevusega elektridetonaatoreid nr. 8 konstantaanist hõõgsillaga $d=50\mu$ ja eespool kirjeldatud koostisest süütepeaga. Elektridetonaatori takistus on 0,65—2 Ω piires, sagedamini 0,8—1,2 Ω. Märkimisväärne osa sellest langeb hõõgsilla arvele, sest juhtmete takistus on tühine. Vool tugevusega 0,15 A on viie minuti vältel detonaatorile ohutu. 0,5 A tugevune vool tekitab üksiku elektridetonaatori plahvatuse. Kahekümnest järjestikku ühendatud detonaatorist koosnev grupp peab tõrketa plahvatama 2 A tugevusest alalisvoolust (tehnilise vahelduvvoolu puhul 2,5 A juures).

Reaktsiooniaeg t_r (aeg voolu sisselülitamise momendist detonaatori plahvatamise momendini) kõigub 10—40 millisekundi piirides, süüteimpulss I^2t_s, mis iseloomustab elektrisütiku tundlikkust voolule, on 12—40 A^2 msek piirides, ulatudes mõnikord 70 A^2 msek.

1956. aastal töötati välja uus hetktegevusega elektridetonaatori tüüp ЭД-БМ (vt. joon. 26), mis 1957. aastal lasti tööstuslikele kat-

setustele. Uute elektridetonaatorite tundlikkus voolule on ühtlasem: 20 järjestikku ühendatud elektridetonaatorit plahvatab tõrketa 1 A tugevusest alalisvoolust, reaktsiooniaeg $t_r = 6$ msek. Süüteimpulss $I^2t_s = 1—3$ A^{2}msek. Ohutu vool on 0,15 A 5 minuti vältel. Nikroomist elektrisütiku sillakese läbimõõt on 30μ. Süütepea on kahekihiline. Esimene kiht koosneb pliirodaniidist (50 kaaluosa), Berthollet' soolast (50 kaaluosa) ja tinamennikust (1 kaaluosa, kui segu homogeensuse näitaja), kleepivaks aineks on 4%-line nitrolakk. Teine kiht koosneb Berthollet' soola (78 kaaluosa) ja puusõe (22 kaaluosa) segust; kleepivaks aineks on 26%-line tisleriliimi vesilahus. Süütepea kaetakse nitrolakiga. Elektridetonaatorite oomiline takistus on 1,5—4 Ω.

Viittegevusega elektridetonaatorid. Viittegevusega elektridetonaatorid erinevad hetktegevusega elektridetonaatoritest selle poolest, et elektrisütiku ja primaarset laengut katva kupli vahele on paigutatud viivitav tulbake suhteliselt aeglaselt põleva ainega (joon. 27).



Joon. 27. Viittegevusega elektridetonaator:
1 — kapseldetonaator; *2* — aeglustaja; *3* — elektrisütik; *4* — mastiks.

Sellise ainena kasutatakse segu baariumülihapendist, kaaliumsalpeetrist ja iditoolist.

Viitaeg oleneb viivitava tulbakese pikkusest.

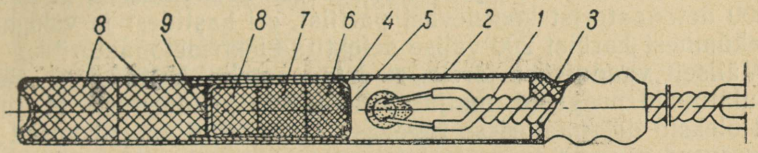
Kui lülitada vool järjestikku ühendatud erineva viitajaga elektridetonaatorite gruppi, siis süttivad elektrisütikud nendes üheaegselt, kuna detonaatorid lõhkevad vaheaegadega, mis oleneb viiteastmest.

Viittegevusega elektridetonaatorite elektrisütikud valmistatakse konstantaanist sillakesega, mille $d = 50\mu$, ja ühekihilise süütepeaga.

Viittegevusega elektridetonaatoreid toodetakse viitajaga 2, 4, 6 ja 8 sek. Elektridetonaatori juhtmete külge kinnitatakse puust lipik arvuga, mis näitab viiteaega sekundites. Eritellimise järgi valmistatakse elektridetonaatoreid viitega üle 8 sek., samuti ka elektridetonaatoreid viitega alla 2 sek (0,5, 1 ja 1,5 sek).

Lühiviittegevusega elektridetonaatorid. 1956. aastal töötati välja uued, lühiviittegevusega elektridetonaatorid viitaegadega 25, 50, 75, 100, 150 ja 200 millisekundit (viitaja kõikumine ± 10 msek esimese kolme puhul ja ± 15 msek ülejäänutel). Süüteimpulss on analoogiliselt elektridetonaatoritega

ЭД-БМ 1—3 A^2msek. Elektrisütiku sillake valmistatakse nikroomtraadist $d=30\mu$. Süütepea on kahekihiline. Esimese kihi koostis on sama mis elektridetonaatoritel ЭД-БМ. Teise kihi koostisse kuulub pliimennik (90 kaaluosa) ja kaltsiumsilikaat (10 kaaluosa) ning kleepiva ainena nitrolakk.



Joon. 28. Lühiviittegevusega elektridetonaator.

Aeglustav segu valmistatakse pliimenniku (hapendaja), kaltsiumsilikaadi ja rauasilikaadi (põlevad komponendid) segust. Aeglustaja, mis kannab nimetust «kapseldetonaator-aeglustaja», valmistatakse järgmiselt (joonis 28): piklikku tinutatud vasktorukesse *4*, milles olev ava kaetakse siidvõrguga *5*, pressitakse aeglustav aine *6*, sellele dekstriin-pliiaziid *7* ja ten *8*; seejärel asetatakse kohale kübarake *9* ja pressitakse «kapseldetonaator-aeglustaja» lõplikult sisse. Elektridetonaatori valmistamisel pressitakse kapsli kesta 20,5—0,7 g sekundaarset initsieerivat lõhkeainet, seejärel puistatakse sinna teatav kogus sedasama lõhkeainet pulbrilises olekus ja pressitakse sisse «kapseldetonaator-aeglustaja». Seejärel asetatakse kesta *2* elektrisütik *1* plastikaadist korgiga *3* ning surutakse kesta suue ümber korgi kokku, tagades niiviisi elektrisütiku ja korgi kinnitamise.

Välisriikides toodetakse lühiviittegevusega elektridetonaatoreid aeglustusega 12, 25, 34, 40 msek.

Kui laengute lõhkamiseks kasutatakse lühiviittegevusega elektridetonaatoreid, siis väheneb kivimi laialipaiskumine ja plahvatuse seismiline efekt ning mõningal määral lõhkeaine kulu, võrreldes hetktegevusega elektridetonaatorite kasutamisega, sest kivimi peenestamisaste jääb samaks (täpsemalt: kivimit peenestatakse veidi rohkem kui harilike viittegevusega elektridetonaatorite kasutamisel).

Elektridetonaatorite pakkimine ja proovimine. Elektridetonaatorid (20—75 tk.) pakitakse pappkarpidesse (olenevalt elektridetonaatorite tüübist ja juhtmete mõõtmetest), karpidele kleebitakse etikett andmetega tehase, valmistamisaja, partii numbri, elektridetonaatorite tüübi, takistuse suuruse ja detonaatorite arvu kohta. Pappkarbid asetatakse 20-kaupa tsinkkasti ning viimane omakorda puust kasti. Kast mahutab seega 500 kuni 1500 elektridetonaatorit.

Elektridetonaatorite kontrollimisel vaadatakse eelkõige nad üle

väliselt, proovitakse, kas hõõgsild on terve ja takistus vastav, proovitakse grupplõhkamist järjestikuse ühendusviisi puhul ning padrunites detonatsiooni tekitamist. Viittegevusega elektridetonaatoritel peab sellele lisaks proovima veel aeglustusaega. Elektridetonaatorid, mis on ette nähtud vesiste või niiskete ete jaoks, niisutatakse enne proovimist vees. Proovimiseks võetakse 10 000 detonaatorist koosnevast partiist, eri kastidest ja vähemalt kahekümnest karbist 200 välise defektita elektridetonaatorit.

Väliselt vaadatakse järele, et detonaatorite kestadel ei oleks läbiulatuvaid pragusid, muljutud kohti ega kriimustusi; et juhtmed oleksid detonaatorisse tugevasti kinnitatud, ühepikkused ja -jämedused ning juhtmete isolatsioon terve.

Elektridetonaatorite takistust mõõdetakse oommeetri või mõõtsilla abil. Elektridetonaatorit läbiva voolu tugevus ei tohi proovimise ajal olla üle 50 mA. Elektridetonaatorid, mis ei lase voolu läbi, hävitatakse. Ülejäänud elektridetonaatorid, juhul kui nende takistused erinevad sellest, mis on näidatud karbi etiketil, sorteeritakse.

Grupplõhkamise proovimiseks ühendatakse elektridetonaatorid järjestikku 20-kaupa gruppi, asetades detonaatorid maapinnale üksteisest 0,3—0,5 m kaugusele ning lõhatakse eraldi kolm sellist gruppi alalisvoolu abil, mille tugevus on kuni 2 A, vähemalt 50 m kauguselt. Kõik elektridetonaatorid peavad tõrgeteta lõhkema. Kui esineb kas või üks tõrge või puudulik lõhkemine, siis proovitakse veel kolme gruppi. Kui ka sel juhul esineb mittekvaliteetne lõhkemine, siis praagitakse elektridetonaatorite kogu partii. Lõhkeainepadrunite lõhkemise täiuslikkuse proovi tehakse samuti kui harilike detonaatorite juures.

Laengute elektriline süütamine on tulega süütamisest täiuslikum, ohutum, lubab süüdata suurema hulga laenguid ning on universaalsem. Elektrilist süütamisviisi võib kasutada nendes kohtades, kus tulega süütamine on ohutustehnika eeskirjadega keelatud, näiteks kaevandustes, mis on gaasi- ja tolmuohtlikud ning vertikaalsetes ja kallakutes (kaldenurgaga üle 30°) kaeveõõnsustes.

§ 21. Andmeid elektridetonaatorite (elektrisütikute) teooriast

Süütamine alalisvoolu abil. Voolu läbiminekul elektrisütiku hõõgsillast eraldub mingi soojushulk Q, mis Joule'i-Lenzi seaduse põhjal võrdub

$$Q = 0{,}24RI^2t, \qquad (37)$$

kus Q on soojushulk cal,
I — voolutugevus A,
R — elektrisütiku sillakese takistus Ω,
t — voolu läbimise aeg sekundites.

Seejuures sillake soojeneb temperatuurini (sillakese algtemperatuuri ei arvestata)

$$T = \frac{0{,}24 \cdot 4^2 \cdot \varrho}{\pi^2 d^4 \gamma c} I^2 t, \qquad (38)$$

kus ϱ on sillakese materjali eritakistus $\frac{\Omega mm^2}{m}$,

d — sillakese läbimõõt mm,
T — kuumenenud sillakese temperatuur kraadides,
γ — sillakese materjali mahukaal g/mm³,
c — sillakese materjali erisoojus cal/g · kraad.

Valemist (38) nähtub, et soojenemistemperatuur oleneb sillakese läbimõõdust ja voolutugevusest. Sillakese läbimõõt, lähtudes tugevuse seisukohast, võetakse vähemalt 25μ.

Hõõgsillakeste valmistamiseks kasutatakse korrosioonikindlaid ning suure oomilise takistusega sulameid. Tööstuslikes elektrisütikutes kasutatakse selleks otstarbeks konstantaani (eritakistus $\varrho = 0{,}5$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$) ja nikroomi ($\varrho = 1{,}1$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$). Mõningatel juhtudel kasutatakse ka plaatinairiidiumi.

Valem (38) annab sillakese teoreetilise soojenemistemperatuuri. Tegelik soojenemistemperatuur on soojusülekande tõttu juhtmetele ja süütesegule arvutuslikust väiksem. Soojuslikud kaod vähenevad soojenemisaja, süttimistemperatuuri, erisoojuse ja süütesegu soojusjuhtivuse vähenemisega.

Kasutatavate koostiste süttimistemperatuur on 180—280°, soojendamisaeg kuni süttimistemperatuurini ei ületa tavaliselt 30 msek., kui voolutugevus on 1—2 A.

Kõrgekvaliteediliste elektridetonaatorite juures ei ületa soojenemisaeg sama tugeva voolu puhul 2 msek.

Valemist (38) nähtub samuti, et sillakese soojenemistemperatuur oleneb korrutisest I^2t, mida nimetatakse vooluimpulsiks. Küllalt suure vooluimpulsi puhul soojendatakse sillake temperatuurini T_s, mille juures toimub süütesegu süttimine. Seda impulssi (tähistame K) nimetatakse süüteimpulsiks. Suurus K iseloomustab elektridetonaatori tundlikkust voolu suhtes ning määratakse katseliselt stendil, mis võimaldab täpselt mõõta voolutugevust ja aega. Mõõtmiste tulemusena tehakse kindlaks minimaalseim süüteimpulsi väärtus K_{min}, mille puhul lõhkevad kõige tundlikumad elektridetonaatorid, ja kõige suurem süüteimpulsi väärtus K_{max}, mille juures lõhkevad ülejäänud, vähemtundlikud elektridetonaatorid.

Tabelis 8 on toodud K_{min} ja K_{max} väärtused, mis on määratud B. M. Stepanovi poolt võrdse takistusega konstantaanist sillakesega (läbimõõduga 50μ) elektridetonaatorite jaoks voolutugevuse puhul $I = 2$ A ning aeg t_s, mille vältel toimub elektridetonaatorite süttimine.

Süüteimpulsside erinevus oleneb sillakese läbimõõdu kalibreerimistäpsusest, süütesegu ja süütepea homogeensusest (süütesegu kokkupuutetihedus hõõgsillaga, pooride hulk ja arv jt.). Mida vähem süüteimpulsid erinevad, seda kindlamalt lõhkevad elektridetonaatorid järjestikku ühendatud gruppides.

Tabel 8

Süüteimpulss (A^2msek)		Impulsside vahe $K_{max} - K_{min}$	Süttimisaeg t_s msek	
K_{min}	K_{max}		K_{min} puhul	K_{max} puhul
12	34	22	3	8,5

Et saada ettekujutust järjestikku ühendatud elektridetonaatorite tõrgeteta lõhkemise tingimustest, vaatleme nende plahvatusprotsessi.

Elektridetonaatori süüteimpulsi suurus

$$K = I_s^2 \, t_s, \tag{39}$$

kus I_s on süütevoolu tugevus A,

t_s — süttimisaeg, s. t. aeg voolu sisselülitamisest kuni süütesegu põlemahakkamiseni msek.

Süütesegu põlemine, mis algab sillakese pinnalt, levib süütepea keskmistesse kihtidesse, seejärel tema välimistesse kihtidesse ja põhjustab lõpuks detonaatori plahvatuse.

Aega süütesegu põlemahakkamisest kuni elektridetonaatori lõhkemiseni nimetatakse siirdeajaks t_c.

Aega, mis kulub voolu sisselülitamise momendist kuni elektridetonaatori lõhkemiseni, nimetatakse reaktsiooniajaks t_r.

$$t_r = t_s + t_c. \tag{40}$$

Konstantaanist hõõgsillaga elektridetonaatorite süttimisaeg on B. M. Stepanovi andmetel 3—8,5 msek, siirdeaeg 8—30 msek.

Järjestikku ühendatud elektridetonaatorite grupp lõhkeb tõrgeteta, kui vähima tundlikkusega elektridetonaatori süttimisaeg on väiksem kõige suurema tundlikkusega elektridetonaatori reaktsiooniajast, s. t. kui kehtib tingimus

$$t_{s\,max} < t_{r\,min}$$

ehk

$$t_{s\,max} < t_{s\,min} + t_{c\,min}. \tag{41}$$

Sellisel juhul jõuab kõige väiksema tundlikkusega elektridetonaatori süütesegu süttida enne kõige suurema tundlikkusega elektridetonaatori plahvatusmomenti. Kui see tingimus pole täidetud, s. t. kui $t_{s\,max} > t_{s\,min} + t_{c\,min}$, siis plahvatab kõige tundlikum elektridetonaator ja purustab süütevõrgu. Osa elektridetonaatoreid jääb grupis lõhkemata.

Süttimisaega võib lühendada voolutugevuse suurendamise teel ja kuna siirdeaeg viimasest ei olene, siis võib saavutada erineva tundlikkusega elektridetonaatorite grupi tõrgeteta lõhkemise.

Olgu I_v vajalik elektrivoolu tugevus, mille puhul plahvatavad kõik elektridetonaatorid, mis on ühendatud järjestikku ühte gruppi ja omavad erineva tundlikkuse, s. t. erinevad süüteimpulsid. Korrutades valemis (41) parema ja vasaku poole suurusega I_v^2, saame

$$I_v^2 t_{s\,max} < I_v^2 t_{s\,min} + I_v^2 t_{c\,min}$$

ehk

$$K_{max} < K_{min} + I_v^2 t_{c\,min},$$

millest

$$I_v > \sqrt{\frac{K_{max} - K_{min}}{t_{c\,min}}}. \qquad (42)$$

Valemist (42) võib määrata vajaliku voolutugevuse tingimusel, et elektridetonaatorite parameetrite (K_{max}, K_{min}, $t_{c\,min}$) väärtused on usaldatavad. Need parameetrid määratakse voolutugevuse juures, mis on lähedane vajalikule, sest süüteimpulsside väärtused saadakse erinevate voolutugevuste puhul erinevad. Seda seletatakse sellega, et väiksema voolutugevuse juures suurenevad soojuskaod ja süttimisaeg, suurema voolutugevuse puhul vähenevad.

Konstantaanist sillakesega elektridetonaatorite puhul, kui $d = 50\mu$, on vajalik alalisvoolu tugevus $I_v = 2$ A. Nikroomist elektridetonaatorite puhul $d = 30\mu$ ja $I_v = 1{,}0$ A.

Eritellimiste alusel valmistatakse väga väikese süüteimpulsside erinevusega elektridetonaatoreid, milledel $t_c \leqslant 1$ msek ja $t_s \leqslant 1$ msek.

Süütamine vahelduvvoolu abil. Vahelduvvoolu hetkväärtus muutub sinusoidaalselt ning vahelduvvoolu efektiivväärtus I_{ef} mingil ajavahemikul t oleneb suurusest t, vahelduvvoolu sagedusest ja voolu faasist sisselülitamise hetkel. Üksiku detonaatori süütamisel ei oma voolu faas sisselülitamise momendil tähtsust, sest aeg t võib sel juhul olla suur. Kuid grupi järjestikku ühendatud elektridetonaatorite süütamisel võib voolu faas omada seda suuremat tähtsust, mida väiksem on siirdeaeg t_c ja vahelduvvoolu sagedus, ning mida suurem on süüteimpulsside suuruste erinevus.

Vajaliku vahelduvvoolu efektiivväärtuse $I_{v\,ef}$ võib määrata valemist

$$I_{v\,ef} > \sqrt{\frac{K_{max} - K_{min}}{t_c - \frac{T}{2\pi} \sin 2\pi \frac{t_s}{T}}}, \qquad (43)$$

kus K_{max} ja K_{min} on maksimaalne ja minimaalne süüteimpulss (A². msek), mis on määratud alalisvoolu tugevuse puhul, milline on lähedane vajalikule voolutugevusele I_v,

t_c — minimaalne siirdeaeg msek,

T — vahelduvvoolu perioodi kestus msek.

Praegusajal toodetavatel konstantaanist sillakesega elektridetonaatoritel on vajalikuks alalisvoolu tugevuseks $I_v = 2$ A, tehnilise vahelduvvoolu tugevuseks $I_{v\,ef} = 2{,}5$ A. ЭД-БМ-tüüpi elektridetonaatoritel on vajalik alalisvoolu tugevus $I_v = 1$ A, tehnilist vahelduvvoolu ei tohi kasutada.

Näide.

Määrata vajalik vahelduvvoolu tugevus $I_{v\,ef}$ elektridetonaatorite jaoks järgmiste andmetega: $K_{max} = 34$ A²msek, $K_{min} = 12$ A²msek, $t_c = 8$ msek. Tehnilise vahelduvvoolu sagedus on 50 perioodi sekundis ($T = 20$ msek).

Vajaliku vahelduvvoolu tugevuse määrame valemist

$$I_{v\,ef} > \sqrt{\frac{K_{max} - K_{min}}{t_c - \frac{T}{2\pi} \sin 2\pi \frac{t_s}{T}}} = \sqrt{\frac{34 - 12}{8 - \frac{20}{2\pi} \sin 2\pi \frac{8}{20}}} = 2{,}02 \text{ A}.$$

Harjutusülesanded

1. Määrata vajalik alalisvoolu tugevus konstantaanist sillakesega $d = 50\,\mu$ elektridetonaatorite jaoks, millede süüteimpulsid $K_{min} = 12$ A²msek ja $K_{max} = 34$ A²msek, siirdeaeg $t_c = 8$ msek.

2. Määrata vajalik alalisvoolu tugevus I_v elektridetonaatorite jaoks, millede $K_{min} = 20$ A² msek, $K_{max} = 50$ A²msek, $t_c = 5$ msek.

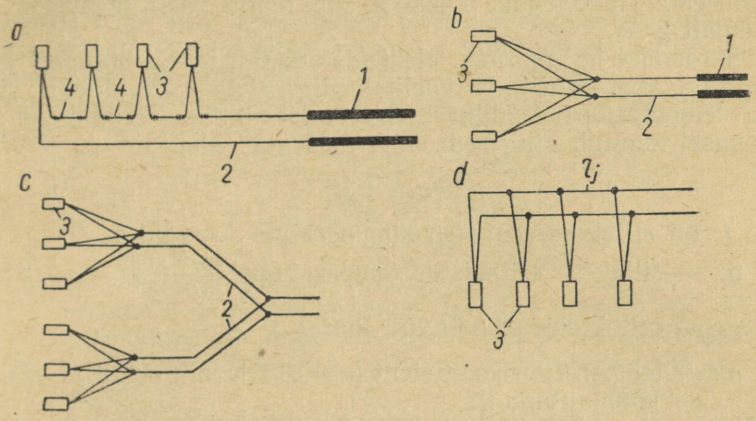
3. Määrata vajalik alalisvoolu tugevus I_v nikroomist sillakesega $d = 32\,\mu$ elektridetonaatorite jaoks, millede $K_{min} = 1{,}2$ A²msek, $K_{max} = 3{,}5$ A²msek, $t_c = 2$ msek.

4. Määrata vajalik vahelduvvoolu efektiivne tugevus $I_{v\,ef}$, kui $K_{max} = 50$ A²msek, $K_{min} = 20$ A²msek, $t_c = 5$ msek, $T = 20$ msek.

§ 22. Elektridetonaatorite ühendamise viisid ja elektrisüütevõrkude arvutus

Elektri-süütevõrkudes eristatakse detonaatorite järjestikust, paralleelset, järjestik-paralleelset ja paralleel-järjestikust ühendusviisi. Ühe või teise ühendusviisi valik oleneb üheaegselt lõhatavate laengute arvust, süütamisviisist ja teistest faktoritest.

Järjestikune ühendus. Järjestikusel ühendusel (joon. 29, *a*) ühendatakse lähedaste elektridetonaatorite juhtmed omavahel ühte vooluringi.



Joon. 29. Elektridetonaatorite ühendusskeemid:
a — järjestikune ühendus; *b* — paralleel-kimpühendus; *c* — kaheastmeline paralleel-kimpühendus; *d* — paralleel-astmeline ühendus; *1* — magistraaljuhtmed; *2* — otsajuhtmed; *3* — elektridetonaatorid; *4* — ühendusjuhtmed.

Elektridetonaatorite vooluringi esimese ja viimase vaba otsa külge ühendatakse otsajuhtmed (isoleeritud juhtmed pikkusega 10 m ja enam ning läbimõõduga 0,5—0,8 mm), mis on ette nähtud süütevõrgu takistuse kontrollimise hõlbustamiseks ning süütevõrgu ühendamiseks magistraaljuhtmetega, mis juhivad voolu allikast eeni.

Voolutugevuse määramine toimub järgmise valemi järgi:

$$I = \frac{U}{R_m + r_0 + r \cdot n}, \qquad (44)$$

kus I on voolutugevus grupis A;
U — voolu pinge lüliti juures V;
R_m — magistraaljuhtmete takistus Ω;
r_o — otsajuhtmete takistus Ω;
r — üksiku elektridetonaatori takistus, mis koosneb hõõgsilla takistusest ja detonaatori juhtmete takistusest, Ω;
n — elektridetonaatorite arv grupis.

Et kasutatakse järjestikust ühendusviisi, peab voolutugevus olema $I \geqslant I_v$ alalisvoolu puhul ja $I \geqslant I_{v\,ef}$ vahelduvvoolu puhul.

Väikese võimsusega vooluallika (näiteks patarei) kasutamisel on vaja arvesse võtta ka selle sisetakistust.

Sügavate või üksteisest kaugele asetatud lõhkeaukude puhul,

kui lähedaste elektridetonaatorite juhtmed ei ulatu üksteiseni, ühendatakse nad ühendusjuhtmete abil, millede takistus tuleb samuti arvesse võtta.

Järjestikusel ühendusel peab gruppi läbiva voolu tugevus olema vähemalt 2 A.

Nikroomist hõõgsillaga elektridetonaatorite kasutamisel tuleb nende takistus korrutada koefitsiendiga 1,1—1,2, millega viime sisse temperatuuriparanduse. Nikroomist sillakese eritakistus soojenemisel muutub ning seda võib määrata valemist

$$\varrho_t = \varrho_0(1+\alpha t), \tag{45}$$

kus t on sillakese soojenemistemperatuur kraadides,

ϱ_t — sillakese eritakistus temperatuuril $t°$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$,

ϱ_0 — eritakistus 0° (või 20°) juures $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$,

α — temperatuurikoefitsient (α=0,00013 nikroomil ja 0,00004 konstantaanil).

Nikroomist hõõgsillaga elektridetonaatoril, mille takistus on 1 Ω, tõusis temperatuuril 1000° takistus 1,13 Ω-le.

Konstantaanist sillakese takistuse suurenemine soojenemisel on tühine ja selle võib voolutugevuse arvutamisel arvestamata jätta.

Lõhketöödel kasutatakse elektridetonaatorite järjestikust ühendamisviisi laialdaselt. Selle viisi eeliseks on süütevõrgu lihtne montaaž, võimalus võrku mõõteriistadega kontrollida ning kasutada kantavaid vooluallikaid — süütemasinaid.

Paralleelühendus. Sel ühendusviisil on kaks varianti: paralleel-kimpühendus ja paralleel-astmeline ühendus.

P a r a l l e e l - k i m p ü h e n d u s. Üheastmelise paralleel-kimp-ühenduse puhul (joon. 29,*b*) toimub voolutugevuse määramine valemiga

$$I = \frac{U}{R_m + r_0 + \frac{r}{n}}, \tag{46}$$

kus n on paralleelselt ühendatud elektridetonaatorite arv.

Voolutugevus igas üksikus elektridetonaatoris

$$i = \frac{I}{n}. \tag{47}$$

Iga elektridetonaatorit läbiva voolu tugevus peab olema vähemalt 1 amper.[1]

[1] Siin ja edaspidi käsitletakse konstantaanist hõõgsillaga elektridetonaatoreid d=50μ, mida käesoleval ajal mäetööstuses kasutatakse.

Kui lõhkeauke on palju või nad asetsevad hajusalt, kasutatakse kahe- või kolmeastmelist paralleel-kimpühendust (joon. 29,*c*). Sellise skeemi puhul ühendatakse läheduses asuvad elektridetonaatorid esmasesse kimpu. Kahe või mitme lähedase esmase kimbu otsajuhtmed ühendatakse kimpu lülitusviisi teise astmena. Nende kimpude juhtmed ühendatakse magistraaljuhtmetega, mille puhul moodustub kolmas aste.

Kaheastmelise kimpühenduse puhul määratakse voolutugevus valemist

$$I = \frac{U}{R_m + \frac{\left[\left(\frac{r}{n} + r_1\right) : n_1 + r_2\right]}{n_2}}, \qquad (48)$$

kus R_m on magistraaljuhtmete takistus,

r — üksiku elektridetonaatori takistus (juhul kui elektridetonaatori juhtmed on lühikesed ja neid pikendatakse ühendusjuhtmetega, tuleb ka nende takistus siin arvesse võtta),

n — elektridetonaatorite arv esmases kimbus,

r_1 — esmaste kimpude otsajuhtmete takistus,

n_1 — esmaste kimpude arv, mis ühendatakse kokku teise kimpu,

r_2 — teiste astmete juhtmete takistus,

n_2 — teise astme kimpude arv, mis ühendatakse kokku kolmanda astme moodustamiseks.

Voolutugevus üksikus elektridetonaatoris määratakse tingimusest

$$i = \frac{I}{n \cdot n_1 \cdot n_2}. \qquad (49)$$

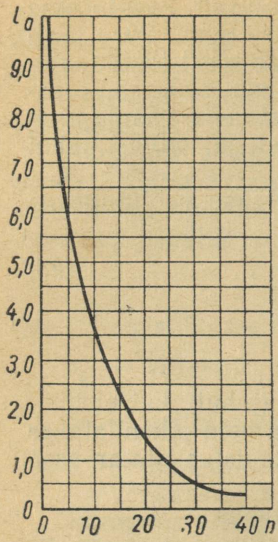
Kolmeastmeline paralleel-kimpühendus leiab vähest kasutamist, sest süütevõrgu montaaž on keerukas ja selle korrasoleku kontrollimiseks puudub võimalus.

Paralleel-astmeline ühendus. Paralleel-astmelise ühenduse puhul asetatakse piki lõhkeaukude rida kaks juhet ja nende külge ühendatakse elektridetonaatorid (joon. 29,*d*).

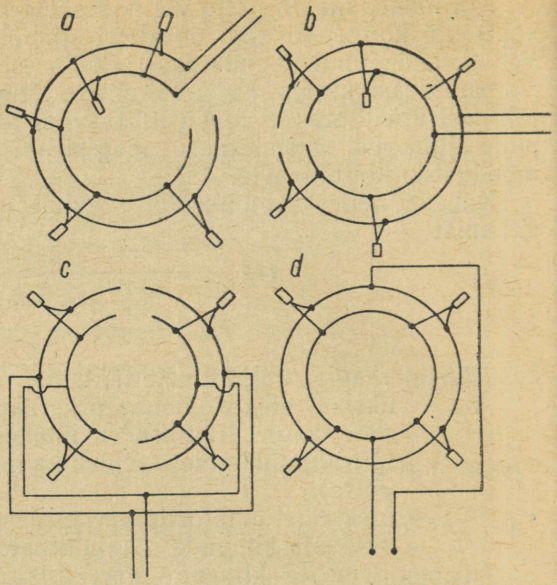
Selle ühendusviisi puhul jaotub vool grupis üksikute elektridetonaatorite vahel äärmiselt ebaühtlaselt. Magistraaljuhtmetele lähemates elektridetonaatorites on vool tugevam, kaugemates nõrgem, mida võib jälgida graafikult (joon. 30).

Voolu jaotumise ebaühtlus on seda suurem, mida suurem on juhtmete takistus r_j elektridetonaatorite ühenduskohtade vahel ning mida suurem on suhe $a = \frac{r_j}{r}$, kus r on elektridetonaatori takistus.

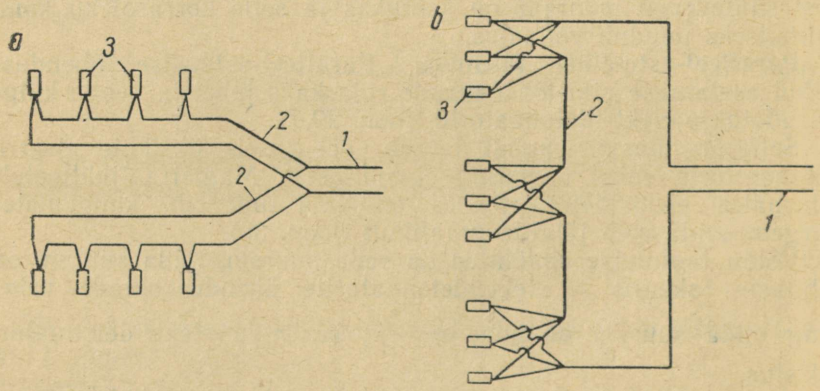
Voolu sellise ebaühtlase jaotumise korral võib tekkida märgatav ajavahemik esimese ja viimase elektridetonaatori lõhkemise



Joon. 30. Graafik voolutugevuste kohta üksikutes elektridetonaatorites, kui $I=100$ A, $n=40$, $r=1$ Ω, $a=\frac{r_j}{r}=0{,}01$.



Joon. 31. Šahtides kasutatavad elektrilise süütevõrgu paralleel-astmelised ühendusviisid.



Joon. 32. Järjestik-paralleelne (*a*) ja paralleel-järjestikune (*b*) ühendusviis.

vahel. Kui elektridetonaatoritega ühendatud magistraal- või ühendusjuhtmed lähevad lõhkeaukude lähedusest mööda, siis võivad esimeste laengute plahvatused neid enne kahjustada, kui lõhkevad viimased.

Elektrivõrgu takistuse ja voolutugevuse arvutus suure arvu elektridetonaatorite ühendamisel paralleel-astmeliselt on üsna keeruline ning praktiliselt teostamatu, sest väga raske on saavutada seda, et takistuste r_j väärtused kõikides lõikudes oleksid võrdsed.

Mõnikord määratakse takistus ja voolutugevus paralleel-astmelise ühendusviisi puhul samuti nagu paralleel-kimpühenduse puhul. Sellist arvutusmeetodit kasutada ning naaber-elektridetonaatorite ühendusjuhtmete takistusi arvestamata jätta võib ainult sel juhul, kui suurus r_j on mitu korda väiksem elektridetonaatori takistusest r, s. o. kui $r_j < 0{,}001r$. Seejuures ühe detonaatori voolutugevus i peab olema keskmiselt vähemalt 2 A, võrku lülitatud elektridetonaatorite arv aga mitte üle 50. Selliste tingimuste täitmisel võib tõrgete tekkimist vältida. Laialdase eefrondi puhul ei ole paralleel-astmeline ühendusviis kasutatav.

Kaevanduste vertikaalšahtide rajamisel kasutatakse mõnikord paralleel-astmelist ühendust (joon 31, *a*, *b*, *c*, *d*), mis kannab nimetust «ühendus antenniga» (elektridetonaatorid lülitatakse kahe isoleerimata traadi külge).

Ka sel viisil on puudused, mis on omased paralleel-astmelisele ühendusviisile.

Voolu ebaühtlase jaotumise vältimiseks tuleb antennjuhtme kasutamisel võrgu montaaž teostada joon. 31,*c* kujutatud skeemi järgi, kusjuures antenniks tuleb kasutada alumiiniumjuhtmeid ristlõikega mitte alla 6 mm² (või vaskjuhtmeid ristlõikega 3—4 mm²) ja summaarse pikkusega kuni 30—36 m.

Võrreldes järjestikust ja paralleelset ühendusviisi, tuleb eelistada järjestikust ühendust. Selle ühendusviisi puhul pole süütevõrku suunatava voolu tugevus suur ja on võimalik kasutada süütemasinaid; süütevõrgu korrasoleku kontrollimiseks on täielik võimalus; järjestikune ühendusskeem on lihtsam ning monteerimine võtab vähem aega.

Järjestik-paralleelne ühendus. Järjestik-paralleelne ühendusviis leiab kasutamist elektridetonaatorite suure arvu puhul, kui järjestikune ühendusviis ei kindlusta nendesse küllaldase tugevusega voolu juhtimist.

Selle viisi juures (joon. 32,*a*) ühendatakse üksikud elektridetonaatorid *3* gruppidesse järjestikku, grupid otsajuhtmete *2* abil aga magistraaljuhtmete *1* külge paralleelselt.

Kui üksikutes gruppides olevate elektridetonaatorite arv ja nende takistused on võrdsed, määratakse voolutugevus valemi järgi

$$I = \frac{U}{R_m + \frac{r_0 + r \cdot n}{m}}, \tag{50}$$

kuna voolutugevus üksikus detonaatoris

$$i = \frac{I}{m}, \tag{51}$$

kus n on järjestikku ühendatud elektridetonaatorite arv ühes grupis,

m — magistraaljuhtmetega paralleelselt ühendatud gruppide arv.

Järjestik-paralleelset ühendusviisi kasutatakse lõhkeaukude suure arvu puhul (šahtide ja kveerišlaagide eed, karjäärid).

Järjestik-paralleelse ühenduse korral ei või kasutada süütemasinaid. Süüdata võib ainult elektrivõrgust pingega 127, 220 või 380 V.

Enne ühendamist magistraaljuhtmetega tuleb süütetakistuse kontrollija abil kontrollida, et iga paralleelselt ühendatud elektridetonaatorite grupp on terve.

Järjestik-paralleelse ühendusviisi puhul võib ühe ja sama pinge juures süüdata rohkem elektridetonaatoreid kui järjestikuse või paralleelse ühendusviisi puhul.

Maksimaalne elektridetonaatorite arv, mida võib süüdata järjestik-paralleelselt ühendatuna, samuti ka paralleelsete gruppide arv ja järjestikku ühendatud elektridetonaatorite arv grupis on määratav tuntud võtte abil — ülesande lahendamisel leida maksimum ja miinimum.

Võrrandite (50) ja (51) põhjal võib kirjutada, et

$$i \cdot m = \frac{U}{R_m + \frac{r \cdot n + r_0}{m}}. \tag{52}$$

Elektridetonaatorite üldarv

$$S = m \cdot n, \tag{53}$$

millest

$$m = \frac{S}{n} \tag{54}$$

ja

$$n = \frac{S}{m}. \tag{55}$$

Lahendades koos võrrandid (54) ja (52), saame sõltuvuse $S = f(n)$. Võttes esimese tuletise ja võrrutades selle nulliga, saame väärtuse

$$n = \frac{U}{2ri} - \frac{r_0}{2r}. \qquad (56)$$

Lahendades koos võrrandid (53) ja (52), saame sõltuvuse $S = f(m)$. Võttes esimese tuletise ja võrrutades selle nulliga, saame suuruse

$$m = \frac{U}{2R_m i} - \frac{r_0}{2R_m}. \qquad (57)$$

Valemitega (56) ja (57) määratud n ja m väärtuste puhul süüdatakse suurim arv elektridetonaatoreid. Valemid (56) ja (57) on kasutatavad sel puhul, kui kõikidel elektridetonaatoritel on võrdne takistus ning nende arv igas grupis on ühesugune.

Massilistel lõhkamistel ning lõhketöödel nendes kohtades, kus peavad olema kõrvaldatud kõik tingimused tõrgete tekkimiseks, tuleb süütevõrk dubleerida. Süütevõrgu dubleerimisel asetatakse igasse löökpadrunisse kaks elektridetonaatorit, sidudes need omavahel kokku kleepiva kummeeritud lindiga. Suures või hajutatud laengus võib olla mitu löökpadrunit. Järjestik-paralleelsel ühendusel on ühe löökpadruni elektridetonaatorid vaja lülitada erinevatesse gruppidesse, et ühe grupi kahjustamise korral plahvataksid löökpadrunid teise grupi elektridetonaatoritest. Laadida ja topis paigaldada tuleb ettevaatlikult, et mitte rikkuda juhtmeid. Kui topis on kohale asetatud, ühendatakse elektridetonaatorid gruppidesse ning ühendades gruppidega otsajuhtmed, kontrollitakse kõiki gruppe süütevõrgu kontrollija abil.

Kui mingi grupp ei ole korras, siis võib süütetakistuse kontrollija abil kiiresti leida vigastatud koha ning selle parandada. Kui vigastatud koht asetseb lõhke- või puuraugus, siis lülitatakse see elektridetonaator grupist välja ja lõhatakse grupid ilma selleta, sest võrgu dubleerimise korral on kõikide laengute lõhkemine kindlustatud.

Järjestikusel ja järjestik-paralleelsel ühendusel peab gruppi suunduv vool olema 2—5 A.

Paralleel-järjestikune ühendus. Seda ühendusviisi kasutatakse mitmeastmelise paralleel-kimpühenduse asemel (vt. joon. 32, *b*). Ühes grupis paralleelselt ühendatud elektridetonaatorite arv n' peab olema vähemalt 5—6. Elektridetonaatorite väiksema arvu puhul tingib ühe detonaatori vigastus üksikutesse elektridetonaatoritesse mineva voolu tugevuse järsu muutumise, mis võib esile kutsuda grupi enneaegse lõhkemise elektridetonaatorite väikese arvu puhul ja grupi tõrke nende suure arvu puhul.

Voolutugevus määratakse valemi järgi

$$I = \frac{U}{R_m + r_0 + \left(r_j + \frac{r}{n'}\right) m'}, \qquad (59)$$

kuna voolutugevus igas detonaatoris

$$i = \frac{I}{n}, \qquad (60)$$

kus n' on paralleelselt ühendatud elektridetonaatorite arv ühes grupis,

m' — järjestikku ühendatud gruppide arv,

r_j — kahe naabergrupi vaheliste ühendusjuhtmete takistus oomides.

Elektridetonaatorite üldarv määratakse valemist

$$S = n' \cdot m'. \qquad (61)$$

Vaadeldud ühendusviis on vähemusaldatav ning keerulisem teostada kui järjestikune ja järjestik-paralleelne ühendus.

Harjutusülesanded

1. Kaevanduse vertikaalšahti ees on paigutatud 108 lõhkeauku viiele kontsentrilisele ringile. Ringide raadiused on 1; 1,6; 2,4; 3,2; 3,8 m. Igal ringil on lõhkeaukude arv vastavalt 8, 12, 18, 30 ja 40. Süütamine viiakse läbi maa pealt vahelduvvooluvõrgust pingega 220 V. Eeni juhitakse vool painduva kummikaabli abil, mille pikkus on 700 m ja soone ristlõige 16 mm². Kaabli ots asub eest 50 m kaugusel. Sellel vahemaal on voolu juhtimiseks kaks vaskjuhet ristlõikega 2,5 mm².

Otsajuhtmetena kasutatakse 0,5 mm läbimõõduga vaskjuhet, iga juhtme pikkus on 10 m. Elektridetonaatorite takistus on 1,2 Ω.

Valida ühendusskeemid ja määrata voolutugevus ühes elektridetonaatoris: a) järjestikusel ühendusel, b) üheastmelisel ja kaheastmelisel paralleel-kimpühendusel, c) paralleel-järjestikusel ühendusel, d) järjestik-paralleelsel ühendusel detonaatorite ühendamisega kahte, kolme ja nelja paralleelsesse gruppi.

Määrata, milline nendest meetoditest on ratsionaalseim ja miks.

2. Arvutada voolutugevus kõikide ühendusviiside puhul järgmistel andmetel: šahti läbimõõt rajamisel on 7 m, šahti ees on kolmel kontsentrilisel ringil raadiustega 1; 2,1 ja 3,2 m 40 lõhkeauku (4, 12 ja 24 lõhkeauku). Ülejäänud tingimused on samad mis esimeses ülesandes.

3. Määrata maksimaalne elektridetonaatorite arv, mida võib lõhata järjestik-paralleelsel ühendusel, gruppide arv ja elektridetonaatorite arv grupis. Voolu pinge, andmed juhtmete ja elektridetonaatorite kohta võtta ülesandest 1.

IV PEATÜKK

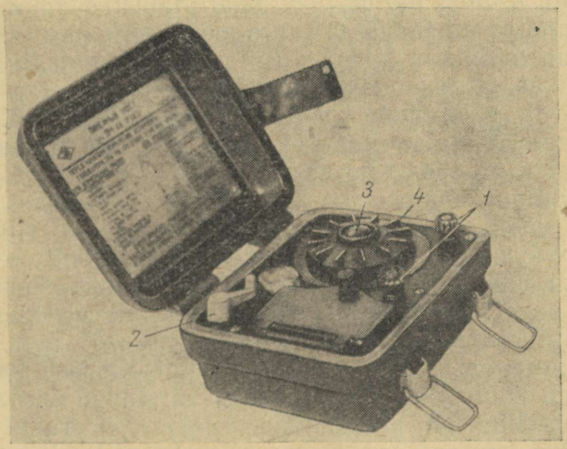
LÕHKAMISTARBED

§ 23. Mõõte- ja kontrollriistad

Elektridetonaatorite ja elektri-süütevõrgu oomilise takistuse mõõtmiseks kasutatakse sildtüüpi oommeetreid. Oommeeter ЛМ-48 (Р-343), mis on kujutatud joon. 33, on mudeli ЛМВ moderniseeritud ja parendatud konstruktsioon. Tal on kolm korda väiksem kaal (1,5 kg) ja mõõtmed (165×140×75 mm). Kasutatakse elemente КСХ-3 või КСУ-3. Skaala mõõtepiirkond ja tööpiirkond on näidatud tabelis 9.

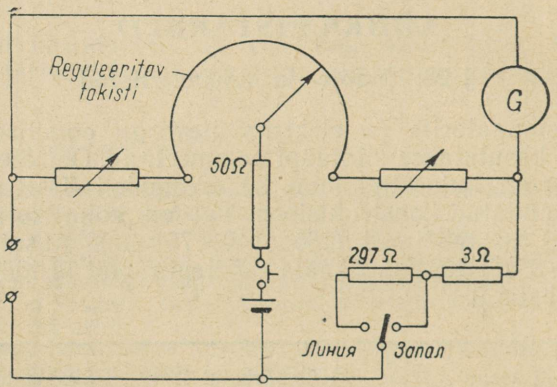
Tabel 9

Ümberlüliti asend	Mõõtepiirkond Ω	Skaala tööpiirkond Ω
„Запал"	0,2 — 50	0,30 — 30
„Линия"	20 — 5000	30 — 3000



Joon. 33. Oommeeter ЛМ-48 (Р-343).

Seadme kasutamisel lülitatakse mõõdetav takistus (elektridetonaator või elektri-süütevõrk) oommeetri klemmide *1* külge. Ümberlüliti *2* pannakse asendisse «Запал», kui mõõdetav takistus ei ületa 30 Ω, ning asendisse «Линия», kui mõõdetav takistus on üle 30 Ω. Vajutades limbi *4* nupule *3*, pööratakse seda, kuni galvanomeetri osuti läheb nullile, ja võetakse limbilt lugem. Lugem võetakse osutava kriipsu kohalt. Ümberlüliti asetamisel asendisse «Запал» võetakse lugem välimiselt skaalalt, asendis «Линия» — sisemiselt skaalalt.



Joon. 34. Oommeetri ЛМ-48 skeem.

Mõõteriist (joon. 34) kujutab enesest tasakaalustatud silda nelja õla ja kahe diagonaaliga. Kaks õlga moodustavad reguleeritavad takistid. Kolmas õlg on muutumatu takistusega (3 Ω väikese mõõtepiirkonna puhul ja 300 Ω suure mõõtepiirkonna puhul), kuna neljandaks on mõõdetav takistus. Silla ühte diagonaali on lülitatud vooluallikas, teise — galvanomeeter.

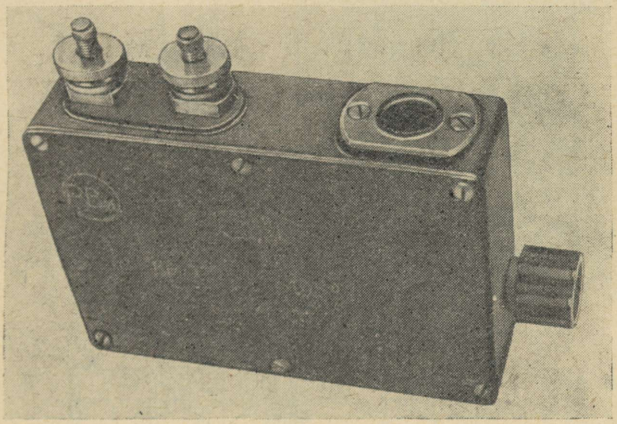
Kontroll- ja elektriliste mõõteriistadega töötamisel ei tohi elektridetonaatorit läbida vool üle 0,05 A. Ülalkirjeldatud oommeetrid rahuldavad seda tingimust.

Peale sildtüüpi oommeetrite kasutatakse lõhketöödel takistuste mõõtmiseks sageli ka portatiivset taskuformaadis riista, mida nimetatakse väikeseks oommeetriks OK (M-57). Selle skaala jaotused on kuni 5000 Ω. Lugemite täpsus pole suur, mistõttu seda kasutatakse sageli vaid elektri-süütevõrgu või elektridetonaatorite vooluringi kontrollimiseks.

Elektridetonaatorite ja süütevõrgu kontrollimisel kasutatakse ka süütevõrgu kontrollijat. Need riistad kujutavad enesest taskuformaadis metallist või plastmassist kestaga aparaate, millesse on monteeritud vooluallikas ja signaalseade (millivoltampermeeter või neoonlamp).

Vooluallikana kasutatakse süütevõrgu kontrollijates kas taskulambipatareid, väikese võimsusega induktorit või piesokristalli.

Nendes aparaatides on vooluallika üks poolus ühendatud signaalseadme klemmiga, vooluallika teine poolus ja signaalseadme teine klemm — aparaadi välisklemmidega. Välisklemmide külge ühendatakse kontrollitav liin (või elektridetonaator). Kui liin on korras, siis hakkab signaallamp põlema või kaldub nullasendist välja mõõteriista osuti.

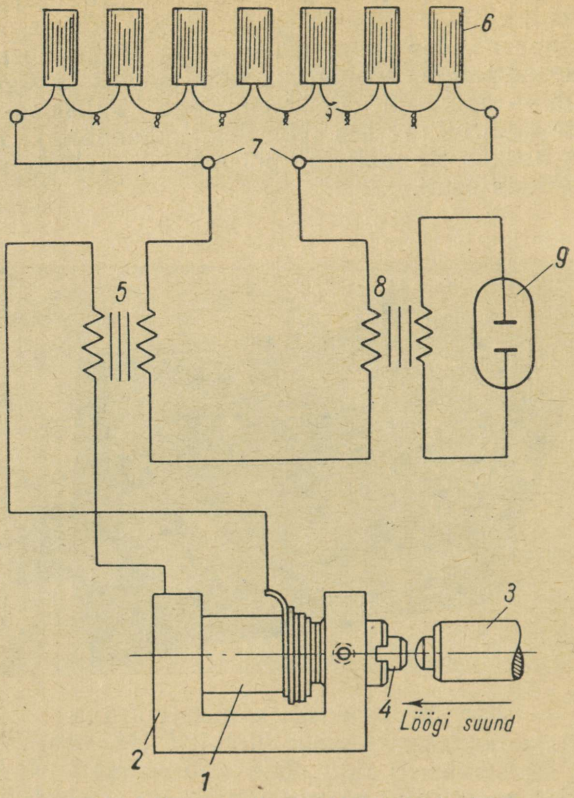


Joon. 35. Süütevõrgu kontrollija ВИО-3.

Süütevõrgu kontrollija ВИО-3 (joon. 35) on väikeste gabariitidega (121×96×30 mm) ja kerge (0,54 kg). Ta on portatiivne, tööolukorras hõlpus kasutada ja täiesti ohutu.

Joon. 36 on esitatud piesoelektrilise süütevõrgu kontrollija ВИО-3 skeem. Keraamiline piesoelement *1* on kinnitatud klambrite *2* vahele. Löökrauaga *3* antakse löök võllikesele *4* ja viimase poolt piesoelemendile. Löögi toimel tekib piesoelemendi otspindade vahel elektromotoorne jõud ja vool juhitakse pinget madaldava transformaatori primaarmähisesse *5*. Kontrollitav süütevõrk *6* või elektridetonaator ühendatakse aparaadi klemmidega *7*. Kui võrk on terve, kulgeb vool pinget madaldava transformaatori *5* sekundaarmähisest pinget tõstva transformaatori *8* primaarmähisesse. Seoses sellega indutseeritakse pinget tõstva transformaatori sekundaarmähises *8* vool ja signaallamp (neoonlamp) *9* hakkab põlema.

Välisvõrgu (elektri-süütevõrk) 300-oomilise takistuse korral ei sütti lamp põlema. Kui lamp ei sütti, siis tõendab see, et elektrisüütevõrk on osaliselt rikkis või täielikult katkenud.

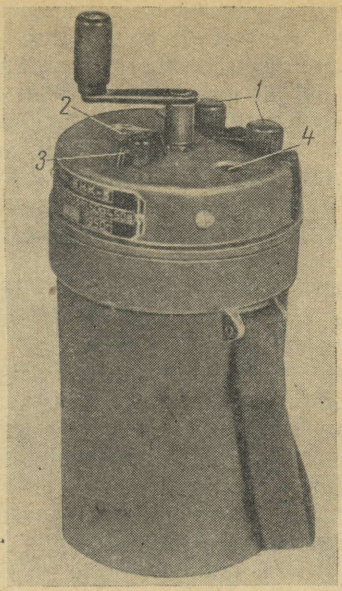


Joon. 36. Süütevõrgu kontrollija ВИО-3 skeem.

Elektriliste mõõteriistade ja vooluallikate korrasolekut peab iga kuu kontrollima koos kontrollimistulemuste sissekandmisega raamatusse. Eriti tuleb tähelepanu pöörata sellele, et voolutugevus oommeetrites ning süütevõrgu kontrollijates ei oleks üle 50 mA, sest vastasel korral võib nende kasutamisel tekkida elektridetonaatori plahvatus.

§ 24. Vooluallikad elektridetonaatorite süütamiseks

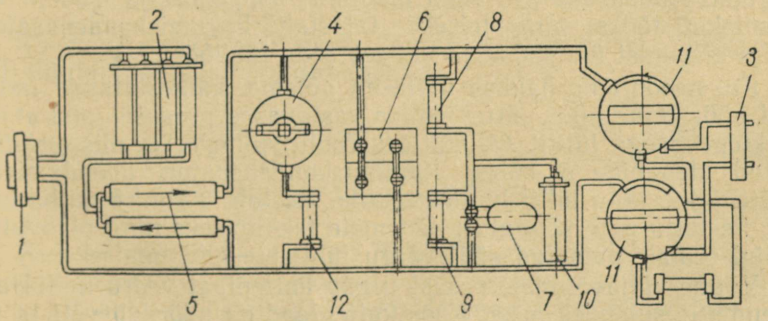
Kondensaator-süütemasin BMK-3/50. Masinat BMK-3/50 (joonis 37) võib kasutada nii lahtistel kui ka allmaatöödel, seejuures ka gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes. Masinaga võib süüdata kuni 50 järjestikku ühendatud elektridetonaatorit, kui võrgu takistus on kuni 55 oomi. Masina kaal on 3,7 kg, mõõtmed 108×215 mm.



Joon. 37. Kondensaator-süütemasin BMK-3/50:
1 — klemmid süütevõrgu ühendamiseks; *2* — võtme pesa kaitsev kate; *3* — hetktegevusega lüliti nukk; *4* — signaallambi aken.

Masina (joon. 38) tööprintsiip seisneb järgnevas. Väikesevõimsuseline induktor *1* annab rea impulsse kondensaatorile (kahekordistav kondensaator) *2*. Kondensaatori laadimise lõppedes ühendatakse ta masina välisklemmidega *3* ning vool siirdub võrku.

Induktorit pööratakse põlvvõtmega, mis asetatakse pesasse, millelt eelnevalt lükatakse kõrvale seda kattev katteplaat. Koos katteplaadiga pöördub tühjakslaadimislüliti *4*, võttes joon. 38 näidatud asendi. Seejuures lülitatakse lahti vooluring masina sees. Võtme pööramisel pöörleb induktori *1* mitmepooluseline püsivmagnet südamikuga varustatud liikumatu mähise ümber. Selle



Joon. 38. Süütemasina BMK-3/50 põhimõtteline skeem.

tulemusena indutseeritakse poolis vahelduvvool pingega 200—220 V. Tekkiv vool satub kahekordistavasse kondensaatorisse *2*. Esimesel poolperioodil, kui ülemisel klemmil on märk — ja alumisel märk +, kulgeb vool läbi seleenalaldaja *5* ja kahekordistav kondensaator laetakse. Teisel poolperioodil, kui induktori ülemisel klemmil on märk + ja alumisel märk —, liitub induktori pinge kahekordistava kondensaatori pingega ning vool pingega 400—440 V kulgeb kahekordistava kondensaatori alumiselt klemmilt läbi ülemise alaldaja *5* kogumiskondensaatorite blokile *6*.

Kogumiskondensaatorite bloki mahtuvus on 40—60 μF, kahekordistaval kondensaatoril 0,75 μF. Seetõttu on kogumiskondensaatorite täielikuks laadimiseks vaja teisel poolperioodil toimuvat protsessi korrata mitu korda.

Pärast võtme pööramist 15 sekundi jooksul kiirusega 3—4 pööret sekundis on kogumiskondensaatorite blokk laetud, potentsiaalide vahe võrdub 400—440 V. Kogumiskondensaatorite laadimise lõppemisest ja masina valmisolekust tööks signaliseerib süttiv signaallamp *7*.

Signaal-kaitseseade (relaksaator), mis on lülitatud paralleelselt kogumiskondensaatorite blokiga, koosneb takistitest *8* ja *9*, neoonlambist *7* ja kondensaatorist *10*. See seade kujutab enesest sumbumatute võngetega madalsageduse generaatorit. Relaksaatori üldine takistus on üle kahe megoomi. Seetõttu kulgeb läbi takistite *8* ja *9* nõrk vool. See vool tugevneb vastavalt kogumiskondensaatorite laetusega (kuid isegi oma maksimaalväärtuse puhul on ta takistite *8* ja *9* suure takistuse tõttu nõrk). Samuti kasvab potentsiaalide vahe takisti *9* otstel. Kui see saavutab väärtuse 400—440 V ning saab neoonlambi *7* süttimiseks vajaliku suuruse, hakkab viimane põlema. Seejuures relaksaatori kondensaator *10*, mis toidab neoonlampi, tühjeneb (tema mahtuvus on 0,07 μF), misjärel ta laaditakse uuesti ja tühjeneb läbi neoonlambi. See protsess kordub seni, kuni pinge kogumiskondensaatoris ei lange alla 400 V.

Signaal-kaitseseadmel on kaks ülesannet. Esiteks näitab ta kogumiskondensaatorite bloki laadimise lõppemist ja masina valmisolekut tööks, ning teiseks takistab kogumiskondensaatoris pinge tõusmist üle 450 V ja kaitseb seda läbilöögi eest.

Kui neoonlamp hakkab ühtlaselt põlema, katkestatakse induktori pööramine ning, jättes võtme vastavasse pesasse, pööratakse hetktegevusega lülitit *11*, juhtides voolu süütevõrku, mis on ühendatud klemmide *3* külge. Kogumiskondensaatori ühendamisaeg süütevõrku, tänu lüliti liugkontaktile, kestab 3 kuni 8 millisekundit. Seetõttu pole võimalust sädemete tekkimiseks ning plahvatuse mõjul eemale paisatud süütevõrgu juhtmete lühistumiseks.

Võtme väljavõtmisel pesast liigub katteplaat vedru mõjul algasendisse, sulgedes pesa. Koos katteplaadiga pöördub võll ja sellele kinnitatud tühjakslaadimislüliti *4*, mille kontaktid ühendavad

tühjenemistakisti *12* vooluringi. Seetõttu kustub kogumiskondensaatorite jääklaeng (või terve laeng juhul, kui süütamist ei toimunud). Seega pole väljavõetud võtme puhul võimalik laengute lõhkamist läbi viia.

Voolutugevus süütevõrgus kondensaatorite tühjenemisel määratakse valemiga:

$$I=\frac{U}{R}\,e^{-\frac{t}{RC}}=N\left(\ln\frac{U}{R}-\frac{t}{RC}\ln e\right), \qquad (62)$$

kus I on voolutugevus süütevõrgus A;

R — süütevõrgu takistus Ω;

U — kondensaatori pinge V;

t — ajahetk, mille juures määratakse voolutugevuse väärtus sek,

C — kondensaatori mahtuvus μF.

Vooluimpulss, mis antakse süütevõrku kondensaatori sisselülitamise ajal, määratakse valemiga

$$K=\frac{U^2C}{2R}\left(1-e^{-\frac{2t}{RC}}\right). \qquad (63)$$

Kui süütevõrgu takistus $R=55$ Ω, kondensaatori mahtuvus $C=50$ μF ja pinge $U=400$ V, siis voolutugevus sisselülitamise hetkel ($t=0$)

$$I=\frac{U}{R}=\frac{400}{55}=7{,}27\text{ A}.$$

Kui võrk lülitatakse välja $t=3$ msek pärast, siis väljalülitamise hetkel (kui hetktegevusega lüliti katkestab süütevõrgu ühenduse kondensaatoriga) on voolutugevus

$$I=N\left(\ln\frac{U}{R}-\frac{t}{RC}\ln e\right)=N\left(\ln\frac{400}{55}-\frac{0{,}003}{55\cdot 0{,}000050}\right)=2{,}45\text{ A}.$$

Kondensaatorilt süütevõrku antav vooluimpulss süütevõrgu väljalülitamise puhul 3 msek pärast:

$$K=\frac{U^2C}{2R}\left(1-e^{-\frac{2t}{RC}}\right)=\frac{400^2\cdot 0{,}000050}{2\cdot 55}\left(1-e^{-\frac{2\,\cdot\,0{,}003}{55\,\cdot\,0{,}000050}}\right)=$$

$$=0{,}065\text{ A}^2\text{sek}=65\text{ A}^2\text{msek}.$$

Kui süütevõrgu takistus on 70 Ω, siis elektridetonaatorite poolt saadav impulss 3 msek jooksul on 47 A^2 msek, s. t. masin tagab konstantaanist hõõgsillaga elektridetonaatorite plahvatuse kuni 70-oomise võrgu takistuse korral.

Et kondensaatormasin tõrkumatult süütaks grupi järjestikku ühendatud elektridetonaatoreid, ei tohi elektri-süütevõrgu takistus $R_{järj}$ ületada suurust

$$R_{järj} \leqslant \frac{U^2C}{2K_{max}}\left(1 - \frac{I^2_{min}C^2U^2}{4K^2_{max}}\right)\Omega, \qquad (64)$$

kus K_{max} on süüteimpulsi maksimaalväärtus,

I_{min} — antud detonaatorite minimaalne süttimisvool.

Peale ülaltoodu peab olema samuti täidetud järgmine tingimus, mis väljendub võrrandiga

$$\frac{CR_{järj}}{2} \ln \frac{U^2C - 2K_{min}R_{järj}}{U^2C - 2K_{max}R_{järj}} \leqslant t_c, \qquad (65)$$

kus K_{min} on minimaalne süüteimpulss.

Võrgu järjestik-paralleelse lülituse puhul takistus R_{sega} peab olema mitte üle

$$R_{sega} \leqslant \frac{R_{järj}}{m^2}, \qquad (66)$$

kus m on paralleelsete gruppide arv,

$R_{järj}$ — valemi (64) järgi arvutatud ja valemi (65) järgi kontrollitud paralleelselt ühendatud elektridetonaatorite takistus.

Passi järgi tagab masin BMK-3/50 võrgu takistuse juures 55 Ω minimaalsema süüteimpulsi 50 A^2 msek juhul, kui vool lülitatakse võrku mitte hiljem kui 3 msek pärast kondensaatorite laadimise lõppemist.

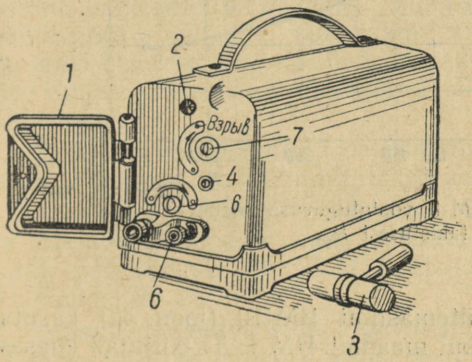
Peale ülalkirjeldatu kasutatakse veel kondensaator-süütemasinaid ABM-4/50 ja КПМ-2. Masin ABM-4/50 on ette nähtud gaasi- ja tolmuohtlike kaevanduste jaoks. Ta tagab 50 elektridetonaatori süütamise. Vool juhitakse liini automaatselt, kui kondensaatori pinge saab võrdseks 400—450 voldiga. Automaatselt toimub ka pärast süütamist voolu väljalülitamine.

Masinat КПМ-2 kasutatakse lahtistel töödel. Ta süütab kuni 100 elektridetonaatorit, kogumiskondensaatori pinge ulatub 1800 voldini.

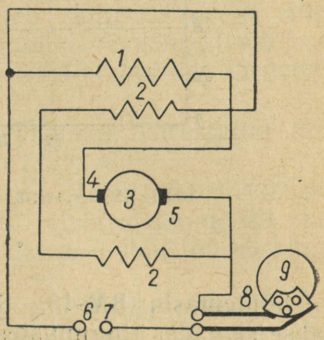
Süütemasin ПМ-1. Süütemasinat ПМ-1 kasutatakse lahtistel töödel ning gaasi- ja tolmuohututes kaevandustes. Kogu masina mehhanism on metallkestas (joon. 39). Kesta ühes otsas on süvend, mille katab metallkaas *1*. Kaane kohal on metallkeres pesa *2* võtme *3* hoidmiseks. Läbi kaanes oleva avause keeratakse võtmega lahti kinnituskruvi *4* ja avatakse kaas. Klemmid *5* on süütevõrgu magistraaljuhtmete kinnitamiseks.

Võti asetatakse pesasse *6* ning keerates paremale, keeratakse vedru lõpuni üles. Pärast seda asetatakse võti pesasse 7, pealkirjaga «Взрыв», ning pöörates teda paremale, vabastatakse riiv, võimaldades vedrul pöörata ankrut. Masina kaitsmiseks tolmu ja niiskuse eest on kaas varustatud kummist tihendiga, mis kinnituskruvi *4* kinnikeeramisel tagab kaane tiheda sulgumise.

Masin kaalub ligikaudu 7 kg, tema gabariidid on 215×125××100 mm.



Joon. 39. Süütemasin ПМ-1.



Joon. 40. Masina ПМ-1 elektriline skeem:

1 — peavoolumähis; *2* — haruvoolumähis; *3* — ankur; *4*, *5* — harjad; *6*, *7* — juhtmete ühendusklemmid; *8* — katkesti; *9* — automaatlüliti hammasratas messingist sektoriga.

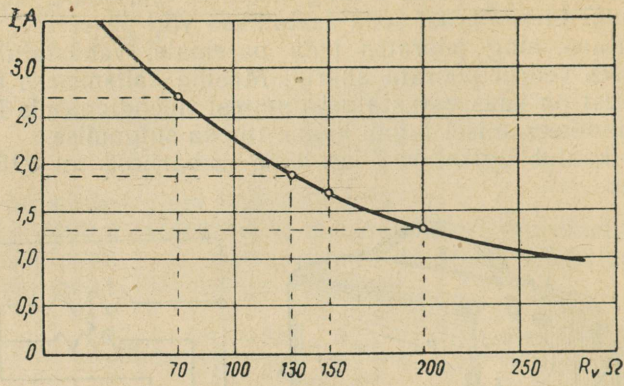
Passi järgi annab masin ПМ-1 klemmidel pinge 290 V ning voolutugevuse 1 A, kui välisvõrgu takistus on 290 Ω.

Masin kujutab enesest segaergutusega dünamot, mille ankru pöörlemisel magnetpooluste vahel ergutatakse ankru mähistes elektrivool.

Masina elektriline skeem on kujutatud joonisel 40. Ankur pannakse liikuma spiraalvedru abil, mille üks ots on kinnitatud vedrut ümbritseva raudvõru kinnituspoldi külge, teine käivitusvõlli külge. Üleskeeratud vedru pöörab vabanemisel käivitusvõlli, viimane omakorda annab pöörlemise üle ankrule. Ankru maksimaalse pöörlemiskiiruse juures (ligikaudu 8000 p/min) lülitab mehaaniline kontaktseade voolu välisvõrku.

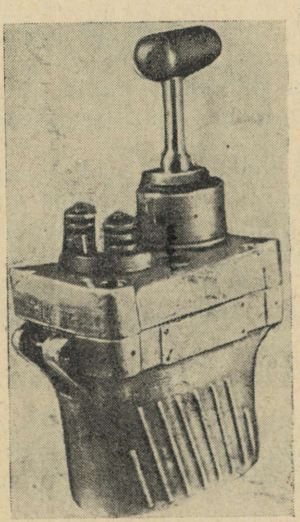
Joonisel 41 on näidatud voolutugevuse sõltuvus olenevalt välisvõrgu takistusest.

Masinat võib kasutada ainult elektridetonaatorite järjestikusel ühendusel. Ta tagab 50 konstantaanist hõõgsillaga $d=50\mu$ elektridetonaatori ja 100 nikroomist hõõgsillaga $d=30\mu$ elektridetonaatori süütamise.

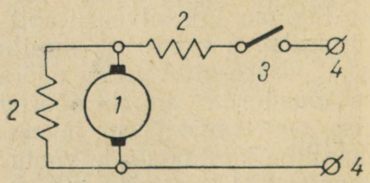


Joon. 41. Masina ПМ-1 voolutugevuse olenevus välistakistusest R_v.

Süütemasin BM-10. Süütemasinat BM-10 (joon. 42) kasutatakse samades tingimustes kui masinat ПМ-1. Ta kujutab enesest samuti segaergutusega dünamot, mis annab pulseerivat alalisvoolu. Ankur pannakse liikuma käsitsi võtme pööramise teel, mis asetatakse masina kaanes olevasse pesasse ning mis samal ajal pigistab kokku käivitusvarda otsa. Varda teise otsa on kinnitatud sektorhammasratas, mis annab pöörlemise reduktori kaudu edasi ankrule.



Joon. 42. Süütemasin BM-10.



Joon. 43. Masina BM-10 elektriline skeem:

1 — ankur; *2* — elektromagnetite mähised; *3* — katkesti või lüliti; *4* — klemmid elektrilise süütevõrgu juhtmete kinnitamiseks.

Sektorhammasratas on varustatud piirajaga, mis võimaldab pöörata ainult pool ringi. Selle aja jooksul teeb ankur 11 pööret. Kui sektorhammasratas piiraja mõjul peatub, jätkub ankru pöörlemine inertsi mõjul.

Dünamo ühelt pooluselt juhitakse vool vahetult välisklemmile, teiselt aga mehaanilisele katkestile (joon. 43). Katkesti lülitab voolu süütemasina teise välisklemmi ainult sektorhammasratta pöörde lõpul, kui viimase kontaktvarras, surudes vastu tõukurit, sunnib katkestit liini sulgema. Tänu katkesti olemasolule läheb vool süütevõrku ainult siis, kui ankur pöörleb suure kiirusega ning dünamo elektromotoorne jõud on saavutanud maksimaalväärtuse. See tagab järjestikku ühendatud elektridetonaatorite tõrgeteta süütamise.

Dünamo koos käivitiga on asetatud kaanega varustatud alumiiniumkeresse. Kaas kinnitatakse nelja kruvi abil.

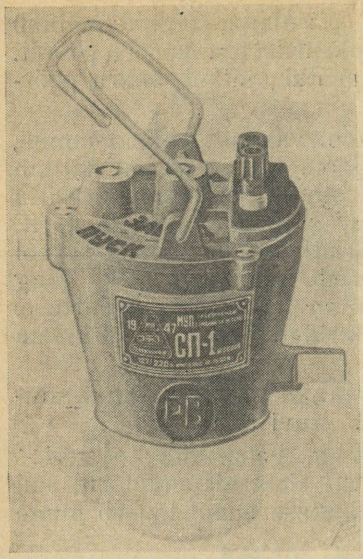
Masina kaal koos võtmega on 3,2 kg, gabariidid 144×64×167 mm. Masinaga saab süüdata 10 elektridetonaatorit, kui süütevõrgu takistus on 25 Ω. Sellise takistuse puhul tõuseb pinge klemmidel 86 V.

Masinalt saadava voolu tugevus sõltub ankru pööramise kiirusest ning seetõttu ka minööri oskustest ja kogemustest, mis ongi selletüübiliste masinate puuduseks. Teiseks puuduseks on see, et masin ei oma seadet, mis automaatselt lülitaks välja süütevõrgu pärast elektridetonaatorite plahvatamist, mistõttu neid masinaid gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes ei kasutata.

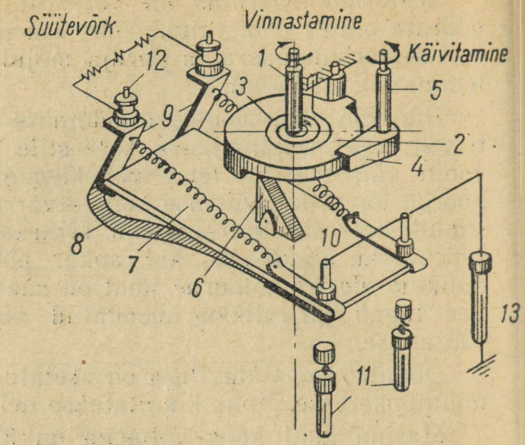
Süütemasinate korrasoleku kontroll seisneb nende võimsuse ja maksimaalselt süüdatavate elektridetonaatorite arvu määramises. Dünamoelektriliste masinate kontrollimiseks kasutatakse kontrollpulti. See kujutab enesest karpi, millesse on monteeritud reostaat ja neoonlamp. Süütemasina klemmid ühendatakse puldiga, moodustades seega järjestikuse kinnise vooluringi, kuhu kuuluvad süütemasin, reostaat ja neoonlamp. Algul lülitatakse vooluringi masina passis näidatud suurusega takistus ja rakendatakse masin tööle. Kui lamp seejuures süttib, on masin täielikult korras ja selle võimsus küllaldane. Kui aga lamp põlema ei hakka, siis vähendatakse takistust ning tehakse kindlaks, millise maksimaalse takistuse juures ta süttib.

Katsetamisel saadud tulemuste alusel määratakse kindlaks maksimaalne elektridetonaatorite arv, mida võib antud masinaga süütamisel võrku lülitada.

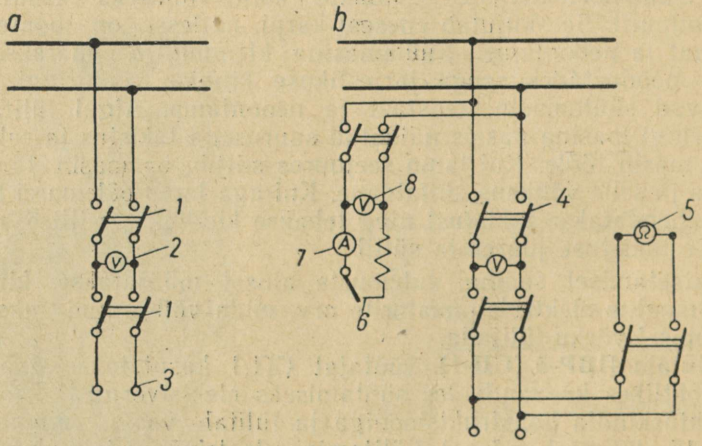
Süütaja ПВР-5 (СП-1). Süütajat СП-1 kasutatakse gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes süütamiseks elektrivõrgust. Seade on plahvatuskindla konstruktsiooniga ja lülitab voolu automaatselt välja 15—20 msek pärast. Lülitamine elektrivõrku toimub plahvatuskindla kontaktlüliti ШБГ-51 abil. Seadme СП-1 üldvaade on kujutatud joonisel 44. Süütaja kaks klemmi on süütevõrgu ühen-



Joon. 44. Süütaja ПВР-5 (СП-1).



Joon. 45. Süütaja ПВР-5 (СП-1) kinemaatiline skeem.



Joon. 46. Lülituskilpide skeemid.

damiseks. Keskmine pesa on vedru üleskeeramiseks, külgmised aga põrklingi vabastamiseks ja voolu sisselülitamiseks.

Süütaja kinemaatiline skeem on näidatud joonisel 45. Pöörates võtmega käivitusvõlli *1* ja nukk-ketast *2*, keeratakse vedru *3* üles ning külgmine nukk lukustatakse põrklingi abil. Seejärel pööratakse võtmega võlli *5*, millega viiakse eemale põrklink *4* ning vabastatakse ketas *2*. Vedru mõjul ketas pöördub ja annab oma alumise nukiga hoobi kontaktplaadi *7* nukile *6*. Löögi toimel kontaktplaat *7*, ületades vedrude *8* vastupanu, pöördub alla ümber telje *9* ning kontaktid *10* puutuvad kokku võrgu kontaktidega *11*. Sel puhul läheb vool võrgust läbi kontaktide *11*, *10* ja *12* süütevõrku. 10—20 msek pärast kontaktide *10* ja *11* kokkupuutumist pööravad vedrud *8* kontaktplaadi *7* algasendisse, mille juures kontaktid *10* ning järelikult ka süütevõrk on lühistatud ja maandatud kontakti *13* ning kaabli maandussoone kaudu.

Süütajat СП-1 tuleb kasutada sellise arvu laengute lõhkamiseks, mille puhul süütevõrku mineva voolu tugevus oleks 2,5 kuni 5 A. Lõhkeaukude väikese arvu ja süütevõrgu väikese takistuse puhul ei soovitata kasutada süütajat СП-1, sest tugeva voolu puhul (üle 5 A) võivad kontaktid põleda ja kinni keevituda, mille puhul ei ole tagatud võrgu automaatne väljalülitamine. Gaasining tolmuohtlikes kaevandustes võib selline olukord põhjustada plahvatust.

Süütaja kaalub 1,9 kg, gabariidid on 187×122×98 mm.

Lülituskilp. Lülituskilpi kasutatakse tavaliselt laengute lõhkamisel vertikaalšahtide rajamisel. Lülituskilbi lihtsamaks tüübiks on nn. rajamislüliti. Selle asupaigaks on rajamistöödeks püstitatud tõstetorni alune ruum, kust toimetatakse ees asuvate laengute lõhkamist. Lüliti ehitus on skemaatiliselt kujutatud joon. 46,*a*. Lüliti kujutab enesest metallkarpi, millesse on monteeritud kaks kahepooluselist lülitit *1* ja signaallamp või voltmeeter 2. Karbi alla kilbile on kinnitatud kontaktpesa *3*.

Süütekaablil (voolu juhtimiseks lülitist šahti eesse) on otsa kinnitatud pistik. Mõnikord kasutatakse kontaktpesa asemel tavalisi kontaktkruvisid, millede külge kinnitatakse kaablisoonte otsad.

Normaalses asendis on lülitid välja lülitatud. Sisse lülitatakse nad ainult süütemomendil. Kahe lüliti olemasolu kõrvaldab voolu juhusliku sisselülitamise. Mõnikord monteeritakse karpi tavaliste lülitite asemele käivitusnuppudega magnetkäiviti.

Täiuslikuma lülituskilbi skeem, mida soovitatakse kasutada vertikaalšahtide jaoks, on kujutatud joon. 46,*b*. Siia kuulub rajamislüliti *4*, kast oommeetriga *5* elektri-süütevõrgu takistuse mõõtmiseks, kast reostaadiga *6*, ampermeetriga *7* ja voltmeetriga *8*. Kastis olevate riistade abil on võimalik mõõta antud takistuse puhul süütevõrku läbiva voolu tugevust. Mõõteriistade lülitid peavad olema automaatselt väljalülituvad. Lõhkamise ajal peab mõõteriistade kast olema välja lülitatud.

§ 25. Lühiviitsüütega lõhkamine; selleks kasutatavad vahendid

Lühiviitsüütega lõhkamine kujutab enesest laengute lõhkamist kindlas järjekorras, ajavahemike järel, mida mõõdetakse sekundi kümnendike või sajandike osadega. Lühiviittegevusega elektridetonaatorite viiteaegade intervall on tavaliselt 0,01 kuni 0,1 sek, harva 0,25 sek.

Lühiviitega laengute seeria lõhkamisel väheneb tunduvalt seismiliste lainete tugevus ja kivimi laialipaiskumine. Kui viited on õigesti valitud, siis iga järgneva laengu plahvatus nagu kustutab eelmise laengu plahvatuse poolt põhjustatud seismilise laine. Lühiviitsüütega lõhkamisel paraneb kivimi purunemine ja teataval määral väheneb lõhkeaine erikulu.

Seismiliste lainete kustutamiseks soovitatakse viitintervallid võtta lähedaseks või võrdseks seismilise laine poolperioodiga antud kivimis.

Laengu mõju kivimile ning kivimi käitumist lühiviitsüütega lõhkamisel pole siiani veel küllaldaselt uuritud ning viitintervallide suurused mitmesuguste lõhketingimuste jaoks ei ole veel täpsustatud. Soovitatakse kasutada intervalle 10—30 msek allmaatingimustes lõhkeaukudesse paigutatud laengute puhul ja 40—60 msek puuraukudesse paigutatud laengute puhul karjäärides.

Lühiviitsüütega lõhkamiseks kasutatakse:

a) lühiviittegevusega elektridetonaatoreid viitaegadega 0,01—0,1 sek, mis süüdatakse alalisvooluallikaist saadava vooluga;

b) kõrgekvaliteedilisi hetktegevusega elektridetonaatoreid üliväikese süüteimpulsside ja reaktsiooniaegade (mitte üle 1—2 msek) erinevusega, mis süüdatakse paljuimpulsiliste süütemasinate abil. Nendel masinatel on 5 kuni 50 klemmi erinevate elektridetonaatorite või nende gruppide ühendamiseks. Üks klemmidest on ühine kõikide gruppide või elektridetonaatorite jaoks. Eriline kontaktseade, sulgedes järgemööda kontakte, lülitab 10—30 msek intervallidega voolu elektridetonaatoritesse ning viimased plahvatavad samas järjekorras ning samasuguste ajavahemike järel. Mitmeimpulsilisi masinaid on kaht tüüpi: mitmeimpulsilised kondensaatormasinad ja mitmeimpulsilised (paljukontaktsed) lülitusaparaadid, mis annavad süütevõrku vooluimpulsse alalisvooluallikatest;

c) kõrgekvaliteedilisi hetktegevusega elektridetonaatoreid, mis ühendatakse gruppi paralleel-astmeliselt, kasutades vajaduse korral šunte või lisatakisteid voolu vajaliku ebaühtlase jaotumise saavutamiseks. Süütevõrku tuleb suunata alalisvool;

d) mehaanilisi süüteaparaate, mis purustavad teatava viitega kapseldetonaatori ning kutsuvad esile detoneeriva nööri plahvatuse.

Lühiviitsüütega lõhkamise kõige ratsionaalsemaks viisiks on

lõhkamine spetsiaalsete lühiviittegevusega elektridetonaatorite abil.

Lõhkamine mitmepooluseliste masinate (ajareleede) ja kõrgekvaliteediliste hetktegevusega elektridetonaatorite abil on samuti usaldatav ja ratsionaalne viis. Seda on otstarbekohane kasutada astmete lõhkamisel lahtistel töödel, kui lõhatud kivim ei saa kahjustada juhtmeid, milledesse vooluimpulssi pole veel antud. Maa-alustes kaeveõõnsustes, kus esimeste laengute poolt lõhatud kivim võib purustada juhtmed, mis suunduvad järgmiste aeglustusastmetega laengute juurde, on lõhkamine ülalmainitud seadmete abil ohtlik.

Lühiviitsüütega lõhkamine paralleel-astmelise võrgu abil valitud šuntide ja takistite kasutamisega on keeruline ja väheusaldatav moodus. Seoses lühiviittegevusega elektridetonaatorite tootmisega langeb üldse ära vajadus elektri-süütevõrkude šunteerimiseks.

§ 26. Elektri-süütevõrkude juhtmestik

Elektrilise süütamise juures võib kasutada isoleeritud vask-, alumiinium- või terasjuhtmeid. Kõige laiemalt kasutatakse vaskjuhtmeid, millel on väiksem takistus kui alumiinium- ja terasjuhtmetel.

Detonaatorite juhtmetena kasutatakse harilikult 0,5 mm jämedust isoleeritud vaskjuhet. Lahtiste tööde kuivades etes võib kasutada kellatraadist juhtmeid (isolatsiooniks parafiiniga immutatud kahekihiline puuvillniitidest punutis), märgades etes ning kõikides maa-alustes kaeveõõnsustes kasutatakse kummi- või polükloorvinüülisolatsiooniga elektridetonaatorite juhtmeid. Võrdlemisi harva kasutatakse elektridetonaatorite valmistamisel teras- või alumiiniumjuhtmeid.

Ühendusjuhtmetena kasutatakse 0,5 kuni 0,8 mm jämedust isoleeritud kellatraati kuivades etes ning kummi- või polükloorvinüülisolatsiooniga juhtmeid märgades etes.

Magistraaljuhtmetena kasutatakse vähemalt 0,75 mm² ristlõikega juhtmeid polükloorvinüül- või kummiisolatsiooniga, mis on väljast kaetud pigitatud puuvillniitidest ristpunutisega.

Kaevanduste vertikaalšahtide rajamisel kasutatakse magistraaljuhtmetena kahe- või neljasoonelist kaablit. Et kaabel ei saaks plahvatuse mõjul vigastada, viiakse ta ainult kuni kaitseplatvormini. Edasi aga juhitakse vool juhtmete abil, mis on kummiisolatsiooniga ning on pealt kaetud pigitatud puuvillniitidest punutisega. Mitmesuguse ristlõikega juhtmete takistus on toodud tabelis 10.

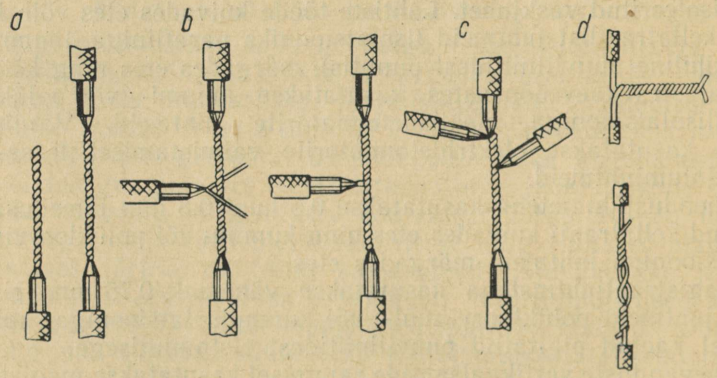
Kui traadi läbimõõt on üle 1 mm, siis on jäikuse tõttu raske juhtmeid jätkata. Seetõttu võetakse suurema ristlõikega juhtmed mitmesoonelised.

Tabel 10

Juhtme ristlõige mm²	Juhtme läbimõõt mm	1000 m pikkuse juhtme takistus Ω		
		vaskjuhe	alumiiniumjuhe	terasjuhe
0,2	0,5	89	146,5	676,0
0,5	0,8	35	57,2	264,8
0,75	0,98	23,5	38,4	177,0
1,0	1,13	17,5	28,6	132,4
1,5	1,38	11,6	19,0	88,3
2,5	1,78	7,0	11,4	53,0
4,0	2,25	4,4	7,2	33,2
6,0	2,76	2,9	4,7	22,0
10,0	3,56	1,75	2,8	13,2

Iga lõhkamise järel tuleb magistraaljuhtmed ja kaabel üle vaadata, kontrollida takistust ja isolatsiooni ning avastatud rikked viivitamatult kõrvaldada.

Süütevõrgu monteerimisel tuleb kõik juhtmed jätkata hoolikalt: hästi puhastada jätkatavate traatide otsad, keerata nad tihedalt kokku ning ühenduskoht hoolikalt isoleerida isoleerpaelaga (joon. 47).



Joon. 47. Juhtmete ühendusviisid:
a — alaline harilik ühendus; *b* — alalise haru ühendamine; *c* — mitme haru ühendamine; *d* — ajutine ühendus.

Kaevanduste vertikaalšahtide rajamisel, kus lõhkeaukude suure arvu tõttu on ka jätkukohtade arv suur, on kasulik tarvitada nende isoleerimiseks isoleervahast kleepekapsleid või vahaga täidetud hülsse. See vähendab tunduval määral isoleerimiseks kulutatavat aega.

Harjutusülesanded

1. Arvutada süütevõrgu takistus ja valida süütemasin järgmiste tingimuste jaoks. Streki ees tuleb üheaegselt lõhata 12 lõhkeauku, elektridetonaatorite takistus on passi järgi 1,25—1,50 Ω, magistraaljuhtmete pikkus on 80 m ja ristlõige 1 mm², ühendusjuhtmete pikkus 10 m ja ristlõige 0,2 mm². Kaevandus on gaasiohutu.

2. Määrata, kui palju elektridetonaatoreid võib süüdata masinaga BM-10, kui varjumiskoht, kust teostatakse süütamist, asetseb 100 m kaugusel eest. Magistraaljuhtmed on ristlõikega 0,75 mm², ühendusjuhtmete ristlõige on 0,2 mm² ja nende pikkus 10 m, elektridetonaatorite takistus on 1,5—1,8 Ω ja 0,7—0,95 Ω.

3. Arvutada süütevõrgu takistus ja valida süütemasin lõhkeaukude lõhkamiseks gaasiohtlikus kaevanduses. Üheaegselt lõhatavate lõhkeaukude arv on 40. Magistraal- ja ühendusjuhtmete pikkus ja ristlõige on samad mis ülesandes 1. Elektridetonaatorite takistus on 0,7—0,95 Ω.

4. Määrata, kui palju lõhkeauke võib lõhata kondensaatorsüütemasinaga BMK-3/50 järgmistel tingimustel: magistraaljuhtmed on 80 m pikkused, nende ristlõige on 1 mm², otsajuhtmed on 10 m pikkused, ristlõikega 0,5 mm², iga elektridetonaatori takistus on 1,5 Ω, võrk on ühendatud järjestikku, elektridetonaatorite maksimaalne süüteimpulss on 36 A²msek, hetktegevusega lüliti lülitab voolu süütevõrku 3 msek kestel.

V PEATÜKK

LÕHKEMATERJALIDE HOIDMINE JA TRANSPORTIMINE[1]

§ 27. Lõhkematerjalide hoidmine

Lõhkematerjalide baaslaod. Lõhkematerjalide hoidmiseks ehitatakse spetsiaalsed lõhkematerjalide laod. Oma otstarbelt ja ekspluatatsioonitingimustelt jaotatakse nad baas- ja tarbimisladudeks.

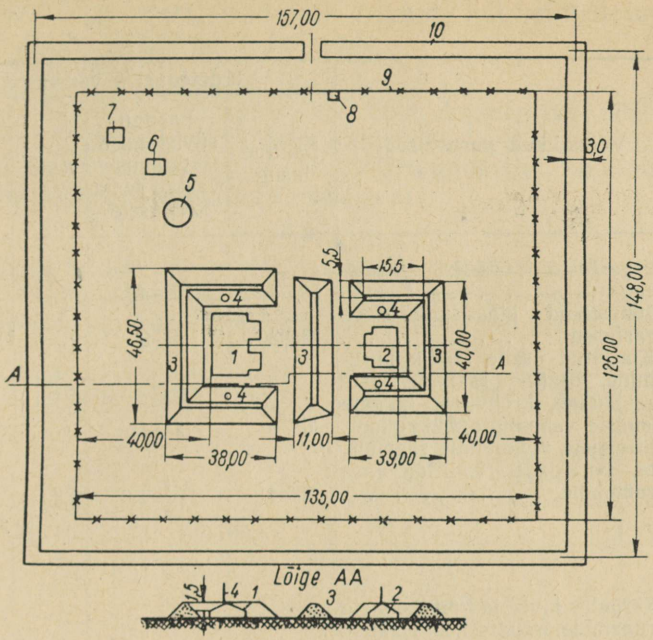
Baaslaod on ette nähtud suure koguse lõhkematerjalide hoidmiseks ning ettevõtte mitme grupi varustamiseks nende tarbimisladude kaudu.

Baaslao maksimaalne mahutavus määratakse kindlaks olenevalt lõhkematerjalide tüübist. Ladu koosneb tavaliselt mitmest hoidlast. Baaslao hoidla maksimaalne mahutavus võib olla mitte üle 40 tonni kõrgeprotsendiliste nitroglütseriinsete lõhkeainete hoidmisel, mitte üle 120 tonni püssirohu hoidmisel, mitte üle 240 tonni ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete ja trotüüli hoidmisel ning mitte üle 120 tonni (kaal koos taaraga) detonaatorite ja detoneeriva nööri hoidmisel.

Oma ehituselt ja asukohalt võivad baaslaod olla maapealsed, poolsüvistatud (mitte rohkem kui hoone karniisini) ja süvistatud, s. t. asuvad teataval sügavusel maapinnast (mitte üle 15 m).

Lao territoorium (territoorium, millele on paigutatud lõhkematerjalide hoidlad koos abiehitistega) peab olema ümbritsetud taraga. Tara kõrgus peab olema vähemalt 2 m ning kaugus hoidlate seintest vähemalt 40 m (joon. 48). Tarast väljapoole kaevatakse territooriumi ümber vähemalt 1 m sügavune ja pealt vähemalt 2 m laiune kraav territooriumi kaitsmiseks võimalike tulekahjude leviku ja paduvihmade ning kevadiste sulavete uputuste eest. Keelatud tsoon lao territooriumi ümber on vähemalt 50 m lai, arvates tarast. Keelatud tsooni piiridele asetatakse tahvlid hoiatussiltidega.

[1] Lõhkematerjalide ladude ehituse, lõhkematerjalide hoidmise, arvestuse ja transportimise küsimused on rangelt piiritletud ühtsete ohutustehnika eeskirjade ja selle juurde kuuluvate täiendavate instruktsioonidega. Selles peatükis on toodud lühidalt ainult põhilised teatmed nende küsimuste kohta.



Joon. 48. Väikese mahuga lõhkematerjalide lao generaalplaan:

1 — lõhkeainehoidla; *2* — lõhkamisvahendite hoidla; *3* — muldvall; *4* — piksekaitse; *5* — tuletõrjeveemahuti; *6* — tuletõrjekuur; *7* — hoone ammoniidi kuivatamiseks; *8* — vahimajake; *9* — okastraataed; *10* — kraav.

Teenistusotstarbelised ruumid (kontor, vahtkonnaruum, katlamaja jt.) peavad asuma väljaspool lao territooriumi.

Ladu peab asuma asustatud punktidest, teedest, elu- ja tööstushoonetest niivõrd eemal, et selle plahvatamise korral eelmainitud objektid ei kannataks õhusurve tagajärjel.

Õhusurve (lööklaine) tegevuse suhtes ohutud kaugused määratakse valemist

$$r_o = k\sqrt{q}, \tag{67}$$

kus r_o on ohutu kaugus m,

q — lõhkeainelaengu kaal (lao mahutavus) kg,

k — võrdetegur, mille suurus oleneb laengu paigutamise tingimustest ja kahjustuse iseloomust.

Võrdeteguri k väärtused on toodud tabelis 11.

Ohutute kauguste arvutamisel lõhkematerjalide ladudest asustatud punktideni ning auto- ja raudteemagistraalideni kasutatakse tavaliselt kolmandat ohutusjärku.

Tabel 11

Ohutuse aste	Võimalikud purustused	Võrdeteguri k väärtused			
		Lahtine laeng	Laengu süvistamise sügavus vastab tema kõrgusele	$n=3$	$n=2$
1.	Vigastuste täielik puudumine	50—150	10—40	5—10	2—5
2.	Juhuslikud klaasitud osade vigastused	10—30	5—9	2—4	1—2
3.	Klaasitud osade täielik purunemine, osaline raamide, uste vigastamine, krohvi ja kergete sisemiste vaheseinte rikkumine .	5—8	2—4	1—1,5	0,5—1
4.	Sisemiste vaheseinte, raamide, uste, barakkide, kuuride jms. purunemine	2—4	1,1—1,9	0,5—1	Purustused väljapaiskelehtri piirides
5.	Kergete kivi- ja puithoonete purunemine, raudteekoosseadude ümberpaiskumine, elektriliinide vigastamine	1,5—2	0,5—1	Purustused väljapaiskelehtri piirides	
6.	Tugevate tellisseinte läbimurdmine, kommunaal- ja töös-tushoonete täielik purunemine, raudteesildade ja -tammi vigastamine	1,4	Purustused väljapaiskelehtri piirides		

Vahemaa lao üksikute, ühesuguste lõhkeainetega hoidlate vahel valitakse selline, et ühe hoidla plahvatamisel ei kannataks detonatsioonilainest teised hoidlad. See vahemaa arvutatakse valemiga

$$r_d = k_d \sqrt{q}, \tag{68}$$

kus r_d on ohutu vahemaa detonatsiooni-ülekande seisukohalt m,
q — lõhkeaine kogukaal hoidlas kg,
k_d — võrdetegur.

Võrdeteguri k_d väärtused detonatsiooni ülekande suhtes ohutute kauguste arvutamiseks on toodud tabelis 12.

Ohutud kaugused hoidlate vahel, kus hoitakse detonaatoreid

või detoneerivat nööri, määratakse juhul, kui hoidlad on valliga ümbritsemata, järgmise valemi abil:

$$r_d = 0{,}1\sqrt{n_d}\,, \qquad (69)$$

kus n_d on detonaatorite arv hoidlas (1 m detoneerivat nööri vastab hoidmisel viiele detonaatorile).

Ohutu kaugus üksikutest elektridetonaatorite hoidlatest kuni lõhkeaine hoidlani määratakse valemist

$$r_d = 0{,}06\sqrt{n_d}. \qquad (70)$$

Kui üks hoidlatest on valliga ümbritsetud, siis väheneb ohutu kaugus 1,5 korda; kui mõlemad on valliga ümbritsetud, siis 2 korda. Kui vahemaa lõhkeaine laost ehitusteni või hoidlate vahel

Tabel 12

Aktiivne laeng		Passiivne laeng					
Lõhkeaine liik	Asukoht	Ammoniidid ja madalaprotsendilised dünamiidid		40 ja enama %-lised dünamiidid		Trotüül	
		Lahtine laeng (L)	Süvistatud (S)	L	S	L	S
Ammoniidid ja madalaprotsendilised dünamiidid	Lahtine laeng	0,25	0,15	0,35	0,25	0,40	0,30
	Süvistatud laeng	0,15	0,10	0,25	0,15	0,30	0,20
40 ja enama %-lised dünamiidid	Lahtine laeng	0,50	0,30	0,70	0,50	0,80	0,60
	Süvistatud laeng	0,30	0,20	0,50	0,30	0,60	0,40
Trotüül	Lahtine laeng	0,80	0,60	1,00	0,80	1,20	0,90
	Süvistatud laeng	0,60	0,40	0,80	0,50	0,90	0,50

on arvutatust väiksem, ümbritsetakse hoidlad muldvalliga, mis peab hoone karniisist 1,5 m võrra üle ulatuma. Valli laius üleval võetakse vähemalt 1 m, all aga määratakse vastavalt pinnase loomuliku varisemise nurgale. Valli aluse ja seina vahel peab olema 1—3 m laiune vahe. Hoone uste kohale tehakse valli läbipääs, mida kaitseb täiendav vall. Hoidlad peavad olema varustatud piksekaitsmega.

Lao territooriumi kohale ei tohi asetada elektrijuhtmestikku, välja arvatud liinid pingega 220 V, mis peavad kulgema väljaspool hoidlaid. Öisel ajal lao territooriumi ei valgustata, kuid juurdepääsuteed peavad olema valgustatud, et kergendada lao kaitset. Valvepostide asetus ja arv määratakse olenevalt kohalikest tingimustest. Valvetornid peavad olema ühendatud telefoni- või helisidevahendite abil vahtkonnaruumiga.

Valgustusjuhtmetena tuleb hoidlates kasutada soomuskaableid. Töökohtade valgustuseks kasutatakse hõõglampe, mida toidetakse

transformaatorist pingega kuni 220 V. Avariivalgustuseks kasutatakse vajaduse korral kantavaid valgusteid (akumulaator- või kantavad bensiinilambid). Hõõglambid paigutatakse väljapoole hoidlat akende kohale või hoidlasse spetsiaalselt selleks seintesse või lakke valmistatud niššidesse, mis on kaetud traatvõrguga varustatud paksu kaitseklaasiga.

Hoidlatesse, kus hoitakse elektridetonaatoreid, ei tohi viia akumulaatorlampe (ega ka teisi vooluallikaid); välised elektrilambid ning nende juhtmestik peavad asuma vähemalt 1 m kaugusel seinast.

Hoonete seinad peavad olema tulekindlast materjalist. Üksikutel juhtudel lubatakse palk- või sõrestik-täidisseinte kasutamist, mis on kaitstud süttimise eest. Kuiva kliimaga aladeš võivad seinad olla savist, toor- või samaantellistest. Hoidlate põrandad on puidust, asfalteeritud või savist. Laed peavad olema tulekindlast materjalist.

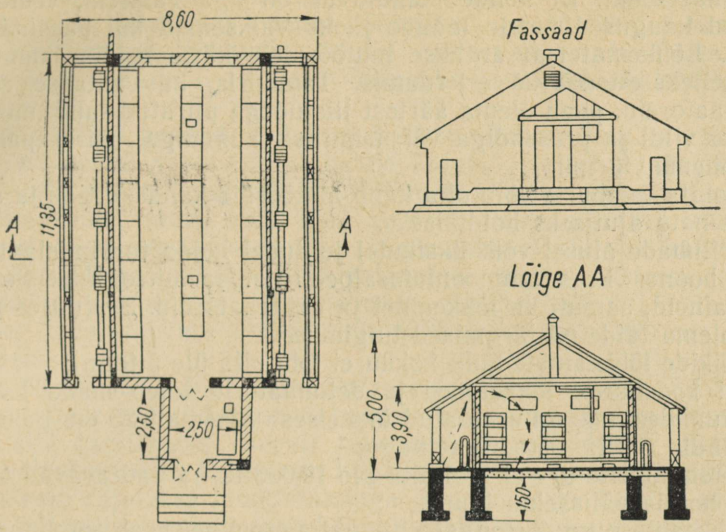
Ruumid peavad olema kaitstud vee sissetungimise eest ja hästi tuulutatavad.

Hoidlatesse tehakse kastide paigutamiseks puitriiulid. Ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete kaste ja kotte, samuti ka kaste detoneeriva nööriga lubatakse paigutada virnadesse. Riiulite ja virnade vahel peab läbipääsu laius olema vähemalt 1,3 m, riiulite kaugus seinast peab olema vähemalt 20 cm. Ülemiste riiulite kõrgus põrandast nitroglütseriinsete lõhkeainete, detonaatorite ja detoneeriva nööri paigutamiseks ei tohi olla üle 1,7 m, teiste lõhkematerjalide jaoks mitte üle 2 m. Kastid peavad riiulitel paiknema vähemalt 4 cm kaugusel üksteisest; samasugune vahe peab olema ka kasti kaanest järgmise riiulini. Alumine riiulilaud peab olema vähemalt 20 cm põrandast kõrgemal. Sellised vahekaugused soodustavad ruumi ning riiulite head tuulutamist ning hõlbustavad tööd.

Hoidla sissepääsude arv sõltub hoidla mõõtmetest. Uks ei või olla hoidla põranda mis tahes kohast üle 15 m kaugusel. Äärmiste sissepääsude ette tehakse tulekindlast materjalist tamburid. Aknad (mõõtmetega $1 \times 0{,}6$ m) tehakse sissepääsude vastaspoolsesse külge ning nendest tulev valgus peab olema küllaldane selleks, et lugeda kastide etikette. Akende valguspind peab olema vähemalt $^1/_{25}$—$^1/_{30}$ põrandapinnast. Aknaklaasid värvitakse päikesepoolsest küljest valgeks, et kaitsta kaste päikesekiirte otsese mõju eest. Aknad varustatakse raudvõrede või -võrkudega, mis värvitakse üle heleda värviga.

Hoidlas peavad olema termomeeter ja hügro- või psühromeeter temperatuuri ja niiskuse mõõtmiseks hoidlas ja väljaspool seda.

Normaalselt külmuvate dünamiitide hoidmisel neis kohtades, kus minimaalne temperatuur on alla $+10°$ ja 62%-lise külmakindla dünamiidi puhul alla $-20°$, peavad hoidlad olema varustatud vesi-



Joon. 49. Köetav hoidla 8 t dünamiidi jaoks.

või elektriküttega (joon. 49). Elektriküttekehad peavad asuma ruumides, mis on eraldatud lõhkeaine hoiuruumidest tulekindla vaheseinaga. Seintes peavad olema sooja õhu tsirkuleerimiseks avad, mis kaetakse metallvõrguga. Köetavates hoidlates peab temperatuur olema +15° kuni +25° piirides.

Külmakindlate dünamiitide hoidlates peab temperatuur olema —10 kuni +20°.

Ladu peab olema varustatud küllaldase tuletõrjeinventariga. Hoidlate sissepääsude juures peavad olema tulekustutajad, veetünn, ämbrid, liivakast, labidad, kangid, pootshaagid, kirved.

Lao juurde peab olema toodud tuletõrje-veejuhe. Kui aga seda pole võimalik teha, siis peab olema ehitatud küllaldase mahuga (50—100 m³) soojendatav veemahuti.

Ladu teenindav personal peab olema instrueeritud ning välja õpetatud võitluseks tulekahjudega.

Lõhkematerjalide maapealsed tarbimislaod. Tarbimislaod võivad olla maapealsed, poolsüvistatud, süvistatud ja maa-alused.

Tarbimisladude üldiseks mahutavuseks on kuni 75 tonni lõhkeainet, 250 000 detonaatorit ja 15 000 m detoneerivat nööri. Alaliste maapealsete tarbimisladude üksikute hoidlate maksimaalseks mahutavuseks on 25 tonni. Olenevalt kasutamisajast jagatakse tarbimislaod kolme rühma: alalised — kasutamisajaga üle 2 aasta; ajutised — kasutamisajaga üle 6 kuu ja lühiajalised — kasutamisajaga kuni 6 kuud.

Alalised tarbimislaod peavad vastama samadele tingimustele

kui baaslaodki. Et nende mahutavus on aga väiksem, võetakse ohutud kaugused nende ladude jaoks väiksemad kui baasladude jaoks. Lõhkematerjal antakse minööridele kätte hoidla tamburis või selleks ettenähtud eri ruumis. Tamburis, kus antakse välja detonaatoreid, peab olema äärtest liistudega piiratud laud, mis on kaetud vildi ja presendiga või tehnilise kummiga, mille paksus on vähemalt 3 mm.

Hoidla tamburis võib olla kapp minööride kandekottide ja süütemasinate ajutiseks hoidmiseks.

Erilubade alusel võib üksikutel juhtudel hoida tarbimisladudes ühes hoones koos ammooniumsalpeetrilisi ja nitroglütseriinseid lõhkeaineid, samuti ka lõhkeainet ja detonaatoreid. Seejuures peavad olema täidetud järgmised tingimused:

kõikide lõhkeainete hulk kokku ei tohi olla üle 3 tonni;

eri koostisega lõhkeained ja detonaatorid tuleb hoida hoidla eri ruumides, mis on eraldatud üksteisest vähemalt 25 cm paksuse tulekindla (tellis, betoon) seinaga;

detonaatorite arv ei tohi olla üle 10 000 tk. ja nad peavad asetsema hoidla välisseina juures;

lõhkeaine ning detonaatorite väljaandmine peab toimuma eri ruumides.

Lõhkematerjalide ajutised tarbimislaod rajatakse suurte ettevõtete või kaevanduste ehitamisel ning detailsete uurimistööde teostamisel. Nende tööde lõppemisel lõhkeainete laod likvideeritakse. Ajutiste ladude hooned võivad olla laudadest, savist, mullast. Nende laudseinad ja -katused kaetakse tulekindla värviga. Hoidlatena võib kasutada ka olemasolevaid kuure, muldonne ja teisi hooneid, kohaldades need lõhkeainete hoidmiseks. Ajutised laod peavad olema varustatud tuletõrje- ja piksekaitsevahenditega. Tara on lubatud ehitada lattidest varbtarana, traadist, laudadest ja muust materjalist. Veemahutite ehitamine pole kohustuslik. Hoidlate sisemine valgustus on lubatud akumulaator- või plahvatusohutute bensiinilampidega. Ohutud kaugused tuleb võtta samade normide alusel mis alaliste ladude juures. Ülejäänud osas esitatakse ajutistele ladudele samad nõuded mis alalistele ladudelegi.

Lühiajalised tarbimislaod, millede kasutusaeg on alla 6 kuu, rajatakse sel puhul, kui lõhketööd kestavad lühikest aega või kui nende läbiviimise koht muudab asupaika (geoloogilised uurimistööd, kraavide rajamine, vundamendiaukude kaevamine elektriliini postidele jne.).

Lühiajaline ladu võib olla rajatud käepärast olevast materjalist ehitatud onni, mis kaitseb lõhkematerjale sademete ja päikesekiirte eest. Ladu võib olla rajatud telki, koopasse, samuti ka paati, vankrile, veoautole, vagunisse jne. Näiteks lõhkeaine kogus veoautodel võib olla kuni $^2/_3$ selle kandejõust, detonaatoreid aga kuni 5000 tk. Detonaatorid peavad asuma lukustatavas kas-

tis, mis on seest vooderdatud vildiga. Onnides ja koobastes lubatakse hoida koos kuni 3 tonni lõhkeainet ja 10 000 detonaatorit. Kui lõhkeaine ja lõhkamisvahendid asetsevad eri hoidlates, siis lubatakse hoida kuni 18 tonni lõhkeainet ja 25 000 elektridetonaatorit.

Hoiukohad peavad asetsema teedest, eluhoonetest ja raudteeliinidest eemal vastavalt alalistele ladudele esitatud nõuetele ja vähemalt 300 m kaugusel lõhketööde teostamise kohast.

Hoiukohad (onn, auto jne.) peavad olema piiratud lattidest, nöörist või okastraadist taraga ning omama ööpäevase valve.

Lühiajalistes ladudes pole valgustuse, signalisatsiooni, piksekaitse ja telefoniside sisseseadmine oluline. Samuti pole vaja ümber tara kaevata kraavi ega puhastada lao ümbrust okasmetsast.

Lühiajaliste ladude kategooriasse kuuluvad samuti lõhkeaine paigutamise punktid masslõhkamiste ettevalmistamisel. Masslõhkamistel tarvitatakse sageli tuhandetesse tonnidesse ulatuvaid lõhkeainekoguseid. Lõhkeaine lühiajaliseks hoidmiseks (mitte üle 60 päeva) rajatakse laudpõrandaga ja presendiga kaetud platsid.

Lõhkamisvahendeid peab hoidma eraldi telkides vähemalt 25 m kaugusel lõhkeainevirnast.

Platside asukoht valitakse vähemalt 300 m lõhketööde teostamise kohast eemal. Nad peavad olema ümbritsetud taraga ning omama ööpäevase valve.

Lõhkematerjalide maa-alused tarbimislaod. Maa-alused laod on ette nähtud kaevandustes teostatavate lõhketööde teenindamiseks.

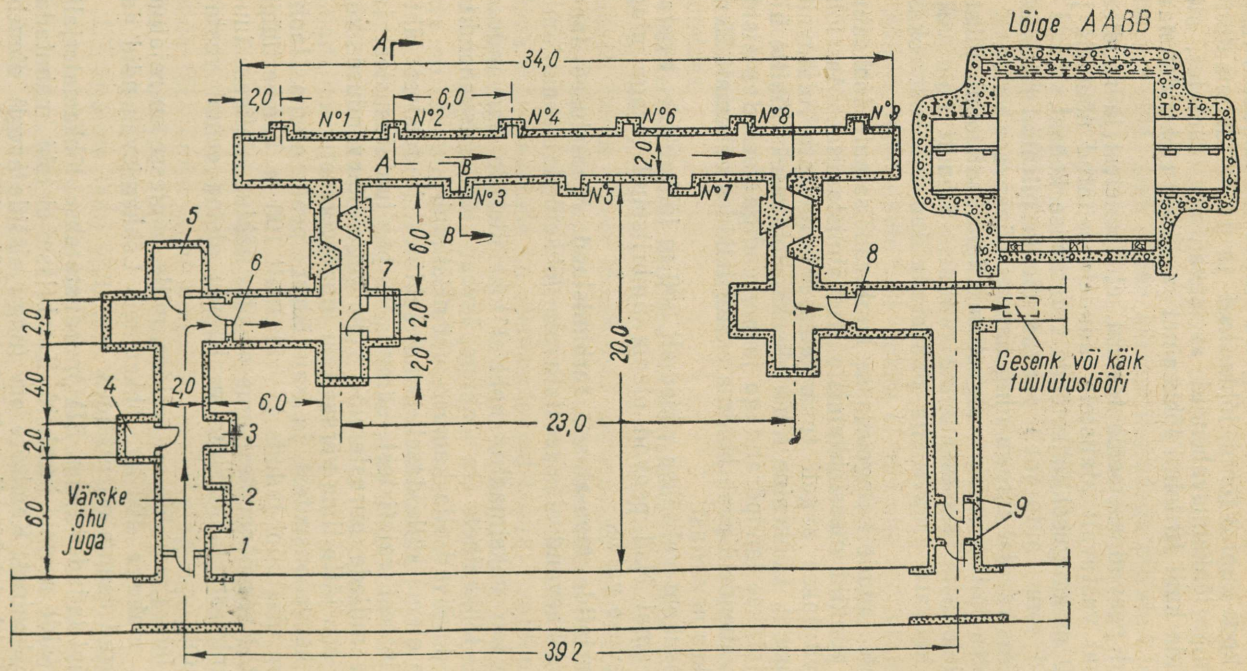
Maa-aluse lao maksimaalne maht ei tohi ületada kaevanduse kolmepäevast lõhkeainete ja kümnepäevast lõhkamisvahendite vajadust. Laod võivad olla kamber- või nišštüüpi.

Ladu peab olema küllaldaselt eemal šahtidest ja teistest tähtsatest maa-alustest rajatistest, samuti ka pea-tuulutusustest ja krossingutest, millede purustamine võib kogu kaevanduse või selle tunduva osa jätta ilma värske õhu juurdevoolust.

Mainitud kaeveõõnsustest ja rajatistest peab olema laoni vähemalt 60 m nišštüüpi ladude ja vähemalt 100 m kambertüüpi ladude korral. Kaeveõõnsustest, mis on ette nähtud alaliseks tuulutuseks või inimeste liikumiseks, peab ladu olema eemal vastavalt 25 ja 20 m.

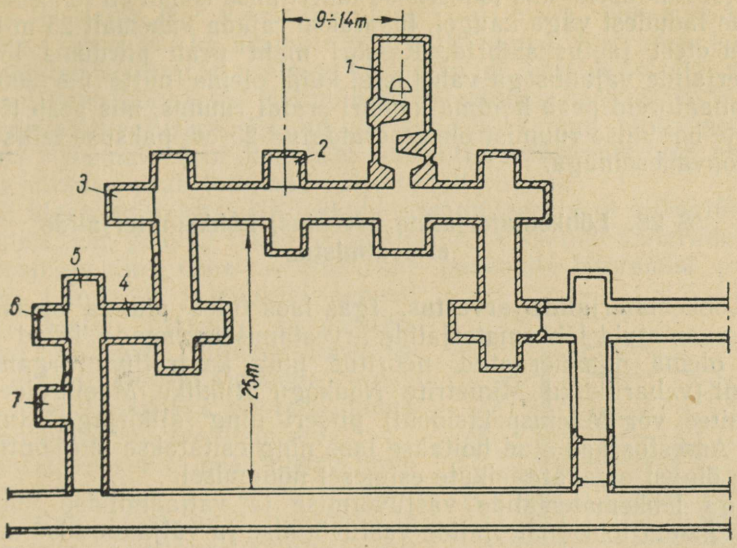
Nišštüüpi laos (joon. 50) on koridor, mille seintesse on rajatud nišid, igaüks mahuga 400 kg lõhkeainet. Lõhkamisvahendid ja lõhkeaine peavad asuma eri niššides.

Kambertüüpi ladudes (joon. 51) moodustatakse lõhkematerjali hoidmiseks niššide asemel kambrid. Kambrisse ei tohi mahutada üle 2 tonni lõhkeainet. Kambrite arv (nagu niššide arvgi) oleneb lao mahust, kuid ei tohi olla alla kahe — üks lõhkeaine jaoks, teine lõhkamisvahendite jaoks. Kui kaevanduses kasutatakse nit-



Joon. 50. Nišštüüpi maa-alune lõhkematerjalide ladu:

1 — puidust võreuks; *2* — elektriseadmete kamber; *3* — tuletõrjevahendite kamber; *4* — minööride kandekottide hoiuruum; *5* — elektridetonaatorite kontrollimise ja sorteerimise ruum; *6* — lõhkematerjalide väljaandmise ruum; *7* — süütenööri hoiuruum; *8* — tuulutusuks (rauduks) aknaga; *9* — rauduksed; Nr. 1 — Nr. 8 — nišid lõhkeainete jaoks; Nr. 9 — nišš elektridetonaatorite või kapseldetonaatorite jaoks.



Joon. 51. Kambertüüpi maa-alune lõhkematerjalide ladu:
1 — lõhkematerjalide kamber; *2* — lõhkamisvahendite kamber; *3* — elektridetonaatorite kontrollimise ruum; *4* — lõhkematerjalide väljaandmise ruum; *5—6* — kandekottide ja teiste vahendite hoiukoht; *7* — kütteseadmete kamber.

roglütseriinseid ja ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid, peab olema vähemalt kolm kambrit.

Laos peab olema hea tuulutus, lao kõikides kaeveõõnsustes peab toimuma neljakordne õhuvahetus tunnis. Õhujuga juhitakse pärast lao tuulutamist kaevandusest väljuvasse õhuvoolu nii, et ta ei pääseks töökohtadesse. Lao koridori, milles on rajatud kambrid või nišid, ei või otseselt ühendada veo- ja tuulutusstrekkidega, vaid ta peab olema nendega ühendatud vähemalt kolme kaeveõõnsuse kaudu, mis moodustavad üksteisega täisnurgad. Lattu viivad kaeveõõnsused peavad lõppema vähemalt 2 m pikkuste ja 4 m²-se ristlõikega umbkaeveõõnsusega. Kõik lao kaeveõõnsused peavad olema toestatud tulekindla materjaliga.

Lao ja lattu viivate kaeveõõnsuste valgustamiseks kasutatakse elektrilampe plahvatusohutus või hermeetilises armatuuris; elektrijuhtmestikuna kasutatakse soomuskaablit. Statsionaarse valgustuse asemel lubatakse kasutada kaevanduse akumulaator- ning plahvatusohutuid bensiinilampe, mis peavad olema plommitud ja magnetiliselt lukustatud.

Tolmuohtlikes kaevandustes peab ladu olema kaitstud inertse tolmu tõketega, mis asetatakse mõlemasse lattu viivasse kaeveõõnsusse.

Kaevandustes, kus lõhketööde läbiviimise kohad on lõhkematerjalide ladudest väga kaugel, lubatakse rajada vähemalt 25 m kaugusel etest jaotuskambrid. Kambri maht peab piirduma lõhkematerjalide vajadusega vahetuses, kuid olema mitte üle 500 kg. Detonaatoreid peab hoidma kambri eraldi ruumis, mis peab lõhkeainete hoidmise ruumist olema eraldatud 25 cm paksuse tellis- või betoonvaheseinaga.

§ 28. Lõhkematerjalide arvestus. Lõhkematerjalide ettevalmistus

Lõhkematerjalide arvestus. Igas laos tuleb pidada spetsiaalseid raamatuid lõhkematerjalide arvestamiseks, nende lehed peavad olema nummerdatud, nööritud ning kontrolliva organisatsiooni (vabariikliku Ministrite Nõukogu Riikliku Mäejärelevalve Komitee või Mäeinspektsiooni) pitseri ning allkirjaga kinnitatud. Arvestusraamatud hoitakse laos ning esitatakse lao kontrollimise õigust omavate isikute esimesel nõudmisel.

Iga lõhkematerjalide vastuvõtmise ja väljaandmise juhtum tuleb kanda lõhkematerjalide vastuvõtmise ja väljaandmise arvestamise raamatusse. Iga päev arvestatakse välja lõhkematerjalide jääk ning võrreldakse faktilist jääki raamatu sissekannetega. Tarbimisladudes teostatakse lõhkematerjalide väljaandmise ja tagasitoomise arvestust.

Lao juhataja on kohustatud süstemaatiliselt jälgima lõhkematerjalide kvaliteeti, teostades nende proovimist vastavalt instruktsioonidele. Laost tuleb välja anda ainult heakvaliteedilisi lõhkeaineid.

Lõhkematerjale antakse baaslaost tarbimisladudesse välja order-saatekirja järgi, tarbimislaost minöörile aga töökäsundi järgi, milles on näidatud tööde läbiviimise kohad, lõhkeaukude arv ja lõhkematerjalide kogus iga ee kohta. Lõhkematerjalide faktiline kulu peab olema tõestatud jaoskonna tehnilise järelevalve poolt vastava märkuse ja allkirjaga töökäsundil. Vahetuse jooksul tarvitamata jäänud lõhkematerjalid peab minöör lattu tagasi andma.

Lõhkematerjalide ettevalmistus. Kui nitroglütseriinsed lõhkeained on külmunud, tuleb nad enne väljaandmist täielikult üles sulatada; üle lubatud normi niiskunud või paakunud ammooniumsalpeetrilised lõhkeained tuleb kuivatada ja kobestada; elektridetonaatorite juures tuleb kontrollida hõõgsilla korrasolekut ning sorteerida detonaatorid takistuste järgi.

Külmunud dünamiidid sulatatakse üles köetavates tarbimisladudes tavalises lõhkeainete hoidmise korras, s. t. kaste avamata. Ruumi temperatuur peab olema +15 kuni +25°.

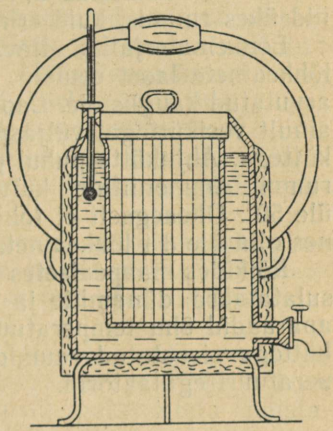
Kui tarbimisladu pole köetav, siis tuleb sulatada soojendusanumates või spetsiaalselt sisustatud sulatusruumides. Neis ruu-

mes peab temperatuur olema +20 kuni +30°. Spetsiaalsetes ruumides lubatakse üles sulatada nitroglütseriinseid lõhkeaineid nii tervete kastide kui ka üksikute padrunite kaupa. Padrunite kaupa ülessulatamisel kestab protsess kuni 8 tundi, kastide kaupa sulatamisel kuni 3 ööpäeva. Külmunud lõhkeainega kaste tuleb avada äärmise ettevaatusega. Riiulid või lauad lõhkeaine jaoks peavad asuma vähemalt 1 m kaugusel vesikütteradiaatorist või ahjust (ahju kütmine peab toimuma väljastpoolt ruumi).

Et ülessulatamisel võib tekkida nitroglütseriini ja nitroglükooli eksudatsioon, peavad lauad ja riiulid olema kaetud vahariide või linoleumiga ning neile laotatud enne padrunite asetamist puhas paber. Laudadel ja riiulitel peavad olema äärtel õnarused ja äärised. Pärast padrunite ülessulatamist tuleb nitroglütseriinijälgedega paber väljaspool ruumi ära põletada, lauad pesta leelise või seebilahusega.

Sulatamisruum peab olema ümbritsetud valliga ja asuma lõhkematerjalide laost ning tootmis- ja eluhoonetest niisugusel kaugusel, kus detonatsiooni- ja õhulaine ei ole enam ohtlikud.

Lõhkeaine ööpäevase kulu puhul kuni 50 kg võib ülessulatamist läbi viia soojendusnõudes. Soojendajad (joon. 52) kujutavad enesest kahekordsete seintega vask- või tsinkkaste. Kasti sisse mahub kuni 10 kg lõhkeainet, seintevahelisse ruumi valatakse soe vesi temperatuuriga 35 kuni 40°. Kui üheaegselt ei sulatata rohkem kui 50 kg lõhkeainet, siis võivad soojendusnõud (5 tk.) olla paigutatud hoonesse, kus ei elata, muldonni või putkasse, mis asetsevad lõhkeainete laost eemal; vallide ehitamine nende ümber pole kohustuslik.



Joon. 52. Dünamiidi soojendusanum.

Sulatusruumis peavad vahetpidamata valvama inimesed, kes vastutavad töö eest (mitte üle kahe inimese). Ülessulatamine usaldatakse ainult kõrgema kvalifikatsiooniga ja suurte kogemustega minööridele.

Ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid võib kuivatada mitmel viisil. Kui lõhkeaine sisaldab vähe niiskust, siis võib seda vähendada kuiva ilma puhul ladude intensiivse tuulutamise teel. Suurema niiskusesisalduse puhul ja ka siis, kui niiskust on vaja kiiresti eraldada, kuivatatakse lõhkeainet suvel õues, talvel ja sügisel lõhkeainete ettevalmistamise hoonetes. Kui niiskusesisaldus on alanenud lubatud piirini, muljutakse padrunid pehmeks ja aseta-

takse tagasi kastidesse. Padrunite kaupa kuivatamine viiakse läbi 0,5 kuni 1,5%-lise niiskusesisalduse puhul, mille järel neid ammoniite võib kasutada gaasi- ja tolmuohututes kaevandustes. Kui niiskusesisaldus on üle 1,5%, kuivatatakse ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid padrunitest väljavõetult. Sel puhul avatakse padrunid ja puistatakse lõhkeaine presendile või lauale kuni 10 cm paksuse kihina. Lõhkeainet segatakse kuivatamise käigus pidevalt. Pärast kuivatamist kasutatakse selliseid lõhkeaineid lahtistel töödel, sest nende kasutamine maa-alustel töödel on keelatud.

Lõhkematerjalide ettevalmistamise hoones peavad olema eri ruumid lõhkeainete kuivatamiseks, peenestamiseks, sõelumiseks, padruneerimiseks ja ajutiseks hoidmiseks ning teisteks abioperatsioonideks. Väiksema arvu ruumide puhul teostatakse operatsioonid ühes ruumis, kuid erinevatel aegadel.

Lõhkematerjalide ettevalmistamise hooned või väljak rajatakse lõhkeainete laost eemale ohutute kauguste arvutamisvalemitega arvutatud kaugustele. Lao territooriumil asuvaid ruume võib kütta ainult vesiküttega, väljaspool asuvaid ruume ka elektri- või ahjuküttega. Ahjukütte puhul peavad ahjude uksed olema väljaspool ruumi. Ammoniitide kuivatusruumis ei tohi temperatuur olla üle 50°. Üheaegselt ei tohi lõhkematerjalide ettevalmistamise hoones olla üle 3 t lõhkeainet.

Kõikides maapealsetes ja maa-alustes ladudes ja ruumides, kus sulatatakse dünamiite ja kuivatatakse ammoniite, peavad olema aparaadid õhu temperatuuri ja niiskuse kontrollimiseks. Elektriküttega sisustatud ruumides peavad olema ka automaatsed temperatuuriregulaatorid.

§ 29. Lõhkematerjalide hävitamine

Lõhkematerjalid hävitatakse sel juhul, kui nad on tunnistatud kõlbmatuiks või kui ettevõte likvideeritakse ja ühel või teisel põhjusel ei saada lõhkematerjale üle anda teistele ettevõtetele. Hävitamist võib läbi viia ainult vabariikide Ministrite Nõukogu juures asuvate mäejärelevalve komiteede või mäeinspektsioonide teadmisel. Iga hävitamise kohta koostatakse akt.

Lõhkematerjale võib hävitada kas põletamise, lõhkamise, uputamise või vees lahustamise teel.

Kõige kiirem ja produktiivsem hävitamisviis on lõhkamine. Sel viisil võib hävitada kõiki lõhkeaineid. Lõhkematerjalide hävitamise koht tuleb valida eemal asustatud punktidest ja ehitustest. Üheaegselt lõhatava lõhkematerjali hulk peab vastama ohututele kaugustele hävitamise koha ja asustatud punkti või üksiku ehituse vahel. Isikud, kes tegelevad hävitamisega, peavad asuma ohutus kauguses varjendis. Kaugus, kus õhulaine mõju on inimesele ohutu, määratakse valemi järgi

$$r_{\bar{o}\ min} = 5\sqrt{q}\ \text{m}, \qquad (71)$$

kus q on üheaegselt lõhatav lahtine lõhkeainelaeng kg.

Valemit (71) võib kasutada ainult nendel juhtudel, kui minööril on vaja viibida võimalikult töökoha lähedal.

Kui kohaletoodud lõhkematerjali partii hävitatakse osade kaupa, siis tuleb ülejäänud lõhkematerjal paigutada varjendisse, mis asetseb lõhkamise kohast tuulepoolses küljes õhulaine ja detonatsiooni poolest ohutus kauguses.

Hävitamisel tuleb kasutada elektrilist süütamist. Tulega süütamist lubatakse erijuhtudel. Lõhkeainete vähenenud detonatsioonivõime puhul tuleb nad hävitada selleks otstarbeks kaevatud aukudes, mis on kaetud kaitsekilpidega. Löökpadrunid asetatakse seejuures laengu peale. Löökpadrunid peavad olema valmistatud kvaliteetsetest lõhkeainetest. Lõhkemata lõhkeainepadrunid ning edasiseks kasutamiseks kõlbmatud kastid, karbid jms., mis jäävad järele pärast lõhkematerjalide hävitamist, põletatakse.

Detonaatoreid lõhatakse karpides, mis kaevatakse detonaatorite laialipaiskumise vältimiseks ning nende täielikuks detoneerimiseks maasse.

Põletamist kasutatakse mittelõhkevate ning detoneerumisvõime kaotanud lõhkamisvahendite ja lõhkeaine hävitamiseks. Detonaatoreid ja detoneerivat nööri on põletamise teel keelatud hävitada. Põletamine viiakse läbi kuiva ilma korral.

Tööks valitud platsile tehakse lõke, millele asetatakse lõhkeainepadrunid ühte ritta. Dünamiite põletatakse partiidena kuni 5 kg igal lõkkel. Lõhkeainete hävitamisel pakenditeta puistatakse nad 30 cm laiuste ja 10 cm paksuste ribadena maha ning süüdatakse põlema. On keelatud süüdata lõhkematerjale koos taaraga. Lõke ja ribad süüdatakse põlema süütenööri või kergestisüttivate ainete (laastud jm.) abil. Minöörid viibivad põletamise ajal varjendis seni, kuni lõke koos lõhkematerjalidega on ära põlenud. Pärast seda segatakse tuhk segi ja tehakse kindlaks, et pole põlemata lõhkematerjale järele jäänud. Kui neid leidub, asetatakse nad järgmise lõhkematerjalide partiiga lõkkele.

Lõhkeainete põletamisel määratakse nende hulk, hävitamiskoht, inimeste ja kohaletoodud lõhkeainete varjamiskohad kindlaks vastavalt ohutustehnika eeskirjades määratud normidele.

Uputamise teel võib lõhkematerjale hävitada piiramatus koguses ainult avamerel.

Vees lahustamise teel hävitatakse lahustuvaid ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid ja musta püssirohtu. Lahustada võib tünnides või teistes anumates. Lahus valatakse selleks kaevatud auku, lahustumatu jääk kogutakse kokku ja põletatakse ära.

§ 30. Lõhkematerjalide transportimine

Lõhkematerjalide vedu võib toimuda auto-, vee- ja õhutranspordiga, hobuveokite ja kandeloomadega või käsipakkides. Vaatleme põhinõudeid lõhkematerjalide veol auto- ja hobutranspordiga, lõhkematerjalide allalaskmisel šahti kaudu ja kaeveõõnsustes edasitoimetamisel.

Lõhkematerjalide veoks ettenähtud auto peab olema korras (mille kohta autoinspektsioon või garaaži juhataja annab vastava tõendi või teeb märkuse sõidulehele), varustatud summutajatega, kahe vaht-tulekustutajaga, kettide ja teiste vahenditega läbimisvõime suurendamiseks.

On keelatud vedada samal masinal või vankril lõhkeainet koos detonaatorite või detoneeriva nööriga ning dünamiite koos teiste lõhkeainetega. Erandjuhtudel võib seda teha lõhketööde peainseneri või juhataja loal, kusjuures lõhkematerjali hulk ei tohi ületada järgmisi piire: lõhkeaine — 500 kg, detonaatorid — 5000 tk., detoneeriv nöör — 500 m ja süütenöör — 4000 m. Ammooniumsalpeetriliste lõhkeainetega võib koormata masinat kogu kandevõime ulatuses, nitroglütseriinsete lõhkeainete ja detonaatoritega mitte üle $^2/_3$ kandejõust; kaste ei tohi olla pealistikku rohkem kui kahes reas, kusjuures auto veokasti põhjas ja kastiridade vahel peab olema viltvooder.

Kastid lõhkematerjaliga tuleb asetada lapiti ja tihedalt kinnitada, et nad auto liikumisel kohalt ära ei nihkuks. Pealt tuleb nad katta presendiga ja köitega tugevasti kinnitada. On keelatud koos lõhkematerjalidega vedada mis tahes teisi veoseid või reisijaid.

Hobutranspordi kasutamisel võib ühehobusevankrit koormata kuni 300 kg nitroglütseriinsete lõhkeainete või detonaatoritega ja kuni 500 kg ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete ja süütenööriga (kaal koos taaraga). Kahehobusevankrile võib laadida vastavalt 500 ja 800 kg. Nitroglütseriinseid lõhkeaineid ja detonaatoreid tohib vedada vedruvankritel sammu käies.

Vedu peab toimuma vastutava isiku (minööri) ja relvastatud valve saatel. Vastutav isik peab asetsema esimesel masinal või vankril (või liikuma transpordi ees), viimases veokastis peab asuma üks isik valvest.

Igal autol või vankril peab olema punane lipp ees ja taga, öisel ajal aga reflekteerivad märgid.

Teel lubatakse peatuda ainult väljaspool asustatud punkte vähemalt 100 m kaugusel sõiduteedest ja 200 m kaugusel üksikutest eluhoonetest.

Lõhkematerjalide allalaskmine šahti kaudu ja nende toimetamine maa-alusesse lattu toimub järgmiselt.

Kui maa-alune ladu asetseb šahti lähedal, lastakse lõhkematerjalid šahti kaudu alla kongis. Kastid asetatakse kongi lapiti ning pakitakse tihedalt kinni. Kong suletakse võreustega, et takistada

kastide väljalangemist. Detonaatorite või nitroglütseriinsete lõhkeainete allalaskmisel asetatakse kastid ühes kihis; kiirus nende allalaskmisel on 2 m/sek. Ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete allalaskmisel asetatakse kastid mitmesse kihti, kuid mitte üle $^2/_3$ kõngi kõrgusest; maksimaalne kiirus nende allalaskmisel on 4 m/sek. Detonaatoreid ei tohi alla lasta koos lõhkeainetega.

Lõhkematerjalide allalaskmine šahti kaudu ja nende toimetamine lattu peab toimuma pärast seda, kui vahetustööliste ülestõstmine ja allalaskmine ning tööliste liikumine šahtilähistes kaeveõõnsustes on lõppenud. Enne lõhkematerjalide allalaskmist tuleb tõstemasina masinisti, allalaske- ja tõstekorraldajaid hoiatada. Šahti juures peavad olema minöörid ja töölised lõhkematerjalide peale- ja mahalaadimiseks ja nende toimetamiseks maa-alusesse lattu.

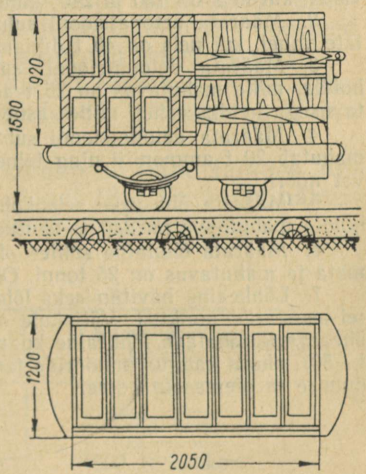
Juhul kui ladu on šahtist kaugel ja kui lõhkematerjalide kandmine käsitsi lao juurde on raske, lastakse lõhkematerjalid alla ja toimetatakse lao juurde vagonettides.

Ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid ja süütenööri võib vedada harilikes vagonettides ja laadida need ääreni täis.

Nitroglütseriinseid lõhkeaineid ja detonaatoreid peab vedama spetsiaalsetes, kinnistes puitkerega vagonettides, mis on seest vooderdatud vildi ja kotiriidega; kaste võib asetada ainult ühe kihina. Nitroglütseriinsete lõhkeainete ja detonaatorite veoks võib samuti kasutada riiulitega varustatud ja avatavate külgseintega vagonette (joon. 53).

Lõhkematerjalide vedu šahtist laoni peab toimuma eraldi teistest veostest lao juhataja, tema abi või minööri juuresolekul. Lõhkematerjalide veo ajal peab olema veo teel katkestatud täis- ja tühjade vagonettide ning inimeste liikumine. Lõhkeaine vagonetid paigutatakse tühjade vagonettide koosseadu keskele. Lõhkeaine ja detonaatorite vedu ühes koosseadus on keelatud. Erandjuhtudel lubatakse vedada ühes rongis detonaatoreid ja lõhkeainet, kuid nad peavad olema eri vagonettides, mis on teineteisest eraldatud kolme tühja vagonetiga.

Kõiki lõhkematerjale, välja arvatud elektridetonaatorid, võib vedada nii akumulaator- kui ka elektriveduritega. Elektridetonaatorite vedu kontaktelektriveduritega on keelatud.



Joon. 53. Kinnist tüüpi vagonett lõhkeainete veoks.

Liikumise kiirus ei tohi ületada 2 m/sek. Elektriveduri ees ja koosseisu tagumisel vagunil peavad olema spetsiaalsed valgus-eraldusmärgid.

Juhul kui maa-alust ladu ei ole ja minöörid saavad tööks vajalikud lõhkematerjalid maapealsest tarbimislaost, lastakse minöörid kabiinis alla koos lõhkematerjalidega. Igas kongi korruses võib alla lasta kuni neli minööri ja lõhkeainete kandjat. Teisi töölisi selles kongis alla lasta ei tohi. Minöör võib kanda kuni 10 kg lõhkeainet ja vastava koguse lõhkamisvahendeid, kusjuures lõhkeaine ja lõhkamisvahendid peavad olema eri kandekottides. Lõhkeaine kandjad ja minöörid, kui nad ei kanna lõhkamisvahendeid, võivad kanda kuni 20 kg lõhkeainet. Detonaatoreid võib kanda ainult minöör.

Lõhkematerjale kantakse presendist või nahast kandekottides või kergetes vineerkastides. Detonaatorite kandmiseks ettenähtud kotid vooderdatakse seest vildi või teiste pehmete materjalidega. Dünamiitide kandmiseks talvisel ajal kasutatakse soojustatud kandekotte.

Kaevanduste vertikaalšahtide rajamisel lastakse lõhkematerjalid eesse tõstetoobrites. Tõstetoobri liikumiskiirus ei tohi ületada 2 m/sek. Osa minööre laskub eesse lõhkematerjalide vastuvõtmiseks, teised jäävad maa peale lõhkematerjali laadimiseks tõstetoobrisse ja laskuvad alla hiljem. Algul lastakse alla harilikud lõhkeainepadrunid, pärast seda nendest eraldi löökpadrunid.

Harjutusülesanded

1. Määrata detonatsiooni suhtes ohutu kaugus valliga ümbritsetud hoidlate vahel, kui neis on 180 ja 240 tonni ammoniiti.
2. Määrata detonatsiooni suhtes ohutu kaugus valliga ümbritsetud hoidlate vahel, kui neis on 40 t dünamiiti ja 240 t ammoniiti.
3. Määrata detonatsiooni suhtes ohutu kaugus valliga ümbritsemata hoidla, mille mahutavus on 25 t ammoniiti, ja valliga ümbritsetud sama mahutavusega hoidla vahel, milles asub trotüül.
4. Määrata detonatsiooni suhtes ohutu kaugus hoidlate vahel, millest üks mahutab 20 t ammoniiti ning teine 200 000 detonaatorit ja 50 000 m detoneerivat nööri.
5. Määrata õhusurve seisukohalt ohutu kaugus, kui valliga ümbritsetud hoidla mahutavus on 240 t; ohutuse aste ümbritsevate objektide suhtes võtta 3.
6. Määrata õhulaine suhtes ohutu kaugus, kui hoidla on valliga ümbritsemata ja mahutavus on 25 tonni. Ohutuse aste võtta 2 ja 3.
7. Lõhkeaine hävitamiseks lõhkamise teel on valitud väljak 1000 m kaugusel asustatud punktist. Väljakule on veetud 3000 kg ammoniiti nr. 7. Määrata üheaegselt lõhatava lõhkeaine kogus (hoonete jaoks võtta ohutuse esimene aste, $k=50$), ohutu kaugus minööride jaoks ja lõhkeaine hoidmise jaoks varjendi puudumise ja olemasolu korral.

VI PEATÜKK

KIVIMITE MEHAANILISED OMADUSED JA KLASSIFIKATSIOON

Puurimis- ja lõhketööde efektiivsus oleneb eelkõige kivimite füüsikalis-mehaanilistest omadustest ning kivimite tugevusest.

Kivimid kujutavad enesest mineraalsete osakeste agregaate, kus osakesed on omavahel seotud kas vahetult molekulaarsete sidejõududega või tsementeerivate ainetega. Esimesel juhul on sideme tugevus alati väiksem kui kristalli enese tugevus. Seetõttu määrab kivimi tugevuse sidejõudude suurus osakeste vahel. Teisel juhul võib põhiosakese ja sideaine tugevuste suhe olla väga erinev — tsementeeriv aine võib olla tugevam ja ka nõrgem põhiosakesest.

Kivimi tugevusele avaldavad samuti mõju terade (kristallide) mõõtmed. Mida väiksem on terade suurus, seda tugevam on kivim. See mõju on eriti märgatav terade puhul, mille suurus on ühest millimeetrist tunduvalt väiksem. Terade juures, millede mõõtmed on 1 mm ja rohkem, on nende suuruse mõju vähem märgatav.

Lõhelisus ja kihilisus vähendavad kivimi tugevust. Mida tihedamalt asetsevad lõhed või kihistuspinnad, seda väiksem on kivimi tugevus.

Kivimite survetugevus on suur ja kõigub küllaltki laiades piirides isegi ühe ja sama kivimi puhul (tabel 13). Viimane nähtus seletub kivimi mitmesuguse terasuuruse ja struktuuriga.

Tabel 13

Kivimi nimetus	Survetugevus kg/cm²
Graniidid	800—1500
Kompaktsed liivakivid (kvartsiidid) .	1000—1800
Liivakivid räniainest tsemendiga . .	1500 ja rohkem
Liivakivid lubiainest tsemendiga . .	200—1000
Savikiltkivid (mitmesuguste tsementidega)	kuni 500

Mõningad settekivimid on anisotroopsed — nende survetugevus on eri suundades erinev. Kõige enam anisotroopsed on savikiltkivid. Nende survetugevus piki kihistuspindu on 0,5—0,75 osa survetugevusest risti kihistuspinda.

Tõmbe- ning nihketugevus pole kivimitel suur ning moodustab 2—10% survetugevusest.

Kivimid käituvad nagu elastsed rabedad kehad. Nad purunevad sel hetkel, kui pinge suurus saavutab elastsuspiiri. Mitmesuunalise surve puhul suureneb kivimite tugevus tunduvalt. Suureneb ka nende elastsus.

Lõhketöödel purustatakse kivimid peamiselt survejõudude toimel. Muud jõud on teisejärgulise tähtsusega.

Mäetöödel on vaja teada kivimite tugevust, sest see võimaldab õigesti määrata tootmiseks vajaliku tööjõu, energia ja materjalide kulu.

Üksikute teadlaste ja organisatsioonide poolt on erinevatel aegadel esitatud mitmesuguseid meetodeid kivimite klassifitseerimiseks. Mõningad neist levisid üsna laialdaselt. M. M. Protodjakonov avaldas 1908. aastal kivimite kõvaduse klassifikatsiooni, mille aluseks on võetud nende survetugevus. See oli esimene objektiivne, teaduslikult põhjendatud kivimite klassifikatsioon, mis võimaldas mäetöödel arvestada tööjõu ja materjalide kulu.

Prof. M. M. Protodjakonovi klassifikatsiooni järgi (tabel 14) on kivimid jaotatud kümnesse kategooriasse, kusjuures kategooriad III, IV, V, VI ja VII on jaotatud kahte alakategooriasse.

Prof. M. M. Protodjakonov nimetas 100-kordselt vähendatud survetugevuse väärtust $f = \frac{K_s}{100}$ kõvaduskoefitsiendiks. See koefitsient iseloomustab kivimi suhtelist tugevust ning esineb paljudes prof. M. M. Protodjakonovi poolt esitatud empiirilistes valemites.

Kivimi survetugevuspiiri täpne määramine kujutab enesest üsna keerulist protsessi, sest iga kivimi jaoks, tingituna selle ebaühtlasest ehitusest, tuleb võtta palju proove. Tuleb arvestada ka seda, et kivimist võetud proovikeha survetugevuspiir erineb vastavast suurusest massiivis. Seetõttu määratakse kõvaduskoefitsiendi väärtus tihti ligikaudselt.

Lisaks sellele tuleb ühe ja sama kivimi jaoks tihti kasutada erinevaid kõvaduskoefitsientide väärtusi, olenevalt teostatavate mäetööde liigist.

Seetõttu võib neid prof. M. M. Protodjakonovi klassifikatsiooni aluseid kasutada ainult orienteerivateks, ligikaudseteks arvutusteks.

Tööde normeerimisel kasutatakse Nõukogude Liidus ka teisi kivimite klassifikatsioone. Tuntud on Krivoi Rogi maagibasseini, «Giredmeti», «Giprotsvetmeti», «Glavzoloto», «Sojuzvzrõvpromi», «Šahtostroi» klassifikatsioonid ning ühtsete töönormide klassifikat-

sioon jt. Enamus neist klassifikatsioonidest baseerub tööprotsessi kiiruse (puurimiskiiruse) või tööriista kulumise (1 m lõhkeaugu puurimisel nürinenud puuride arv) näitajatel.

Tabel 14

Kategooria	Kõvadusaste	Kivimid	Kõvaduskoefitsient
I	Äärmiselt kõvad kivimid	Kõige kõvemad, tihedamad ja sitkemad kvartsiidid ja basaldid. Muud eriti kõvad kivimid	20
II	Väga kõvad kivimid	Väga kõvad graniitkivimid, kuid väiksema kõvadusega kui eelmainitud kvartsiidid, kvartsporfüür, väga kõva graniit, ränikiltkivi. Kõige kõvemad liivakivid ja lubjakivid	15
III	Kõvad kivimid	Tihe graniit ja graniitkivimid. Väga kõvad liivakivid ja lubjakivid. Kvartsistunud maagisooned. Kõva konglomeraat. Väga kõvad rauamaagid	10
III a	„	Kõvad lubjakivid. Mittekõva graniit. Kõvad liivakivid. Kõva marmor. Dolomiit. Püriidid.	8
IV	Üsna kõvad kivimid	Harilik liivakivi. Rauamaagid.	6
IV a	Üsna kõvad kivimid	Liivakad savikiltkivid Kildastunud liivakivid	5
V	Keskmise kõvadusega kivimid	Kõva savikiltkivi. Mittekõva liivakivi ja lubjakivi. Pehme konglomeraat	4
V a	„	Mitmesugused mittekõvad kiltkivid. Tihe mergel	3
VI	Üsna pehmed kivimid	Pehme kiltkivi. Väga pehme lubjakivi, kriit, kivisool, kips. Külmunud maapind, antratsiit. Harilik mergel. Purunenud liivakivi, tsementeerunud kruus ja killustik, kivine maapind	2
VI a	„	Killustikune maapind. Purunenud kiltkivi. Paakunud kruus ja killustik. Kõva kivisüsi. Kõvastunud savi	1,5
VII	Pehmed kivimid	Tihe savi. Pehme kivisüsi. Kõva maapind. Savine maapind	1,0
VII a	„	Kerge liivakas savi, lõss, kruus	0,8
VIII	Muldsed kivimid	Muld, turvas, kerge saviliiv, märg liiv	0,6
IX	Pudedad kivimid	Liiv, peen kruus, pude muld, toodetud kivisüsi, pudedad kivimid	0,5
X	Vesiliivsed kivimid	Vesiliiv, soomuda, vedel lõss ja teised vedelad kivimid	0,3

Lisas III on toodud kivimite klassifikatsioon «Sojuzvzrõvpromi» järgi ja sellele klassifikatsioonile üleminekukoefitsiendid.

Lisas IV tuuakse end. NSV Liidu Söetööstuse Ministeeriumi klassifikatsioon, mida kasutatakse rajamistöödel alates 1952. aastast.

NSV Liidu Mäeinstituudi poolt töötati välja kivimite ühtne klassifikatsioon puuritavuse järgi (lisa V).

Klassifikatsioonid, mis põhinevad puurimistööde tootlikkuse ja tööriista kulumise näitajatel, pole universaalsed. Nende kehtivus on piiratud tööde normeerimisega teatud rajooni piirides teatud töötingimuste ja tööprotsessi tehnoloogia puhul.

Üksikasjalisemaks ning arvutuste juures sobivamaks osutub «Giredmet» klassifikatsioon, milles puurimiskiiruse ning puurimisvahendi kulumise kõrval on antud kivimite petrograafiline iseloomustus, kõvaduskoefitsient M. M. Protodjakonovi järgi, kivimite sisehõõrdenurk ja kivimi rõhtse surve koefitsient.

VII PEATÜKK

LAENGUTE ARVUTUS JA LÕHKETÖÖD LAHTISTEL MÄETÖÖDEL

§ 31. Laengu plahvatuse toime kivimis

Väline laengu toime. Laenguks nimetatakse teatud lõhkeaine kogust, mis on plahvatuseks ette valmistatud.

Väliseks nimetatakse laengut, kui ta on asetatud purustatava objekti pinnale, ja sisemiseks, kui ta asetseb purustatava keskkonna sees.

Olenevalt kujust jaotatakse laengud koondatud ja piklikeks laenguteks.

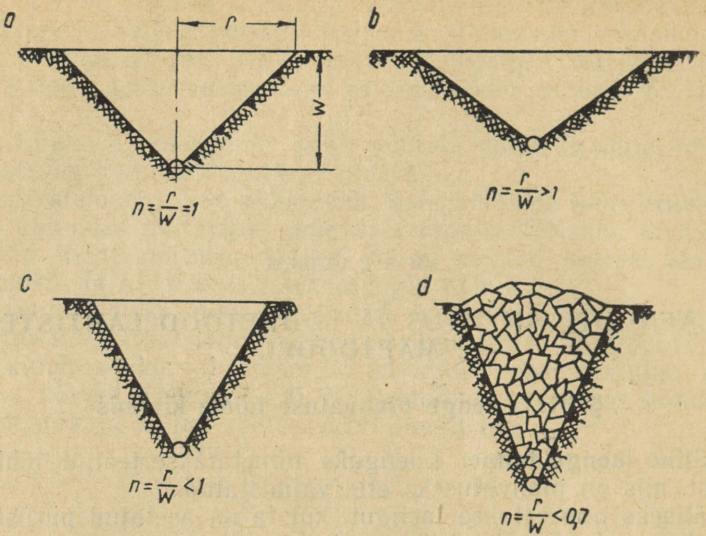
Koondatuiks nimetatakse kera-, silindri- või prismakujulisi (või sellele lähedase kujuga) laenguid, kui laengu pikema ja lühema külje suhe ei ole suurem kui neli.

Piklikeks nimetatakse silindri- või prismakujulisi laenguid, kui pikema ja lühema külje suhe on üle nelja.

Kui paigutada pinna lähedale kivimisse küllaldase suurusega laeng, siis tekitab see plahvatades väljapaiskelehtri. Lehtri pealmist raadiust nimetatakse plahvatuslehtri raadiuseks. Vähimat kaugust laengu keskpunktist kuni vaba pinnani nimetatakse vähima vastupanu jooneks ehk laengu paigutuse sügavuseks. Plahvatuslehtri raadiuse r suhet laengu paigutuse sügavusega W nimetatakse plahvatuse toime näitajaks, s. o.

$$n = \frac{r}{W}. \tag{72}$$

Kui asetada ühesugused laengud samas kivimis erinevatele sügavustele, siis tekitab nende laengute plahvatus erinevate plahvatuse toime näitajatega lehtrid (joon. 54). Lehtrit, mille plahvatuse toime näitaja $n = 1$, nimetatakse normaalseks väljapaiskelehtriks, niisugust laengut aga, mis tekitab sellise lehtri, nimetatakse normaalseks väljapaiskelaenguks. Lehtrit, mille laengu toime näitaja $n > 1$, nimetatakse suurendatud väljapaiskelehtriks ja teda tekitanud laengut nimetatakse suurendatud väljapaiskelaenguks.



Joon. 54. Laengu plahvatusega tekitatud lehtrid:
a — normaalne väljapaiskelehter; *b* — suurendatud väljapaiskelehter; *c* — vähendatud väljapaiskelehter; *d* — kobestuslehter.

Lehtrit laengu toime näitajaga $0{,}7<n<1$ nimetatakse vähendatud väljapaiskelehtriks. Kui asetada laeng veelgi sügavamale, siis tekib plahvatusel juba kobestuslehter laengu toime näitajaga $n<0{,}7$. Lehtri piirkonnas kivim puruneb ja kobestudes kerkib, kuid jääb paigale, väljapaiskamist ei toimu. Laengut, mis tekitab kobestuslehtri, nimetatakse kobestuslaenguks.

Tekkiva lehtri külgseina moodustajat R (joon. 55) nimetatakse plahvatuse välistoime raadiuseks ehk lihtsalt lõhkeraadiuseks. Laengu välistoime raadius on muutuv suurus, mis sõltub, kui teised tingimused (laengu suurus, lõhkeaine sort, kivimi kõvadus) on muutumatud, plahvatuse toime näitajast. Mida suurem on plahvatuse toime näitaja, s. o. mida väiksem on laengu paigutuse sügavus ta muutumatu kaalu juures, seda väiksem on R. Seda seaduspärasust tingib väga lihtne põhjus: mida väiksem on laengu paigutuse sügavus (võrdse kaaluga laengute puhul), seda kergemini ja kiiremini tungivad gaasid läbi laengu peal asuva kivimi kihi ja seda väiksemat mõju avaldavad nad külgedele.

Plahvatuse välistoime raadiuse ja laengu paigutuse sügavuse vahelist sõltuvust võib ligikaudselt avaldada valemiga

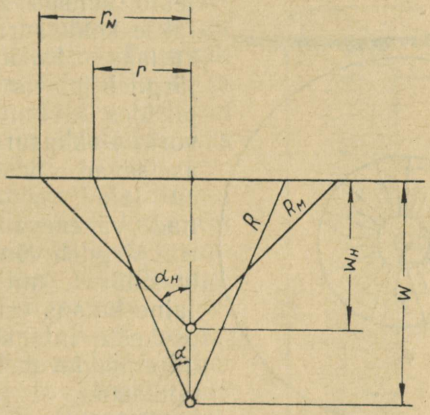
$$R=W_n+0{,}4\,W, \tag{73}$$

kus R on plahvatuse välistoime raadius m;
W_n — laengu paigutuse normaalne sügavus, s. o. selline

sügavus, mille juures antud laeng moodustab antud kivimis normaalse väljapaiskelehtri (joon 55);

W — laengu paigutuse sügavus, mille juures määratakse R väärtus.

Laengu paigutusel sügavusele $W \geq 1{,}7\ W_n$ on R väiksem kui W, s. o. laengu plahvatuse toime ei ulatu väljapoole ega avaldu millegagi kivimi pinnal.



Joon. 55. Laengu välistoime raadiuse ja ta paigutuse sügavuse vahelise olenevuse määramise skeem.

Kobestuslehtrite puhul kasutatakse plahvatuse energiat täielikumalt ja lõhkeaine kulu 1 m³ kivimi purustamiseks on väiksem kui väljapaiskelehtrite puhul. Väljapaiskelehtrite puhul on lõhkeaine kulu 1 m³ purustatava kivimi kohta seda suurem, mida suurem on plahvatuse toime näitaja.

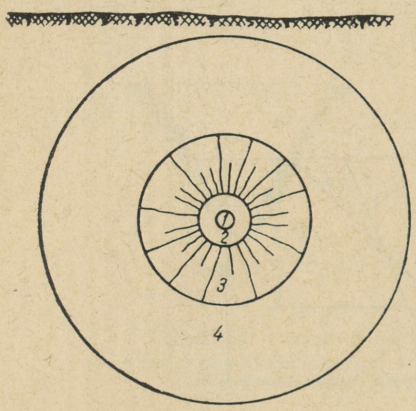
Paiskavatel lõhkeainetel on maksimaalne n väärtus alla 3, pihustavatel lõhkeainetel võib see olla veidi suurem. Väljapaiskelaengud plahvatuse toime näitajaga $n > 2{,}5$ ei ole ökonoomsed.

Nagu ülalpool märgiti, moodustuvad kobestuslehtrid siis, kui plahvatuse toime näitaja $n \leqslant 0{,}7$ *. Plahvatuse toime näitaja puhul $n = 0{,}7 \div 0{,}4$ moodustuvad pundunud lehtrid, milles kivim on purustatud ja enam või vähem kobestatud. Väiksemate näitajate väärtuste puhul kivim ainult praguneb lehtri piirides, kuid teda ei kergitata üles ja ta ei kobestu (sel juhul on «lehtri» mõiste tinglik). Kui vähima vastupanu joone suund ei ole vertikaalne (üles), vaid horisontaalne, siis tekivad pundunud lehtrid ka juhul, kui $n < 0{,}4$.

* Vastavalt NSVL TA TTK terminoloogiale kuuluvad kobestuslehtrite hulka kõik lehtrid, mille näitaja $n < 1$.

Laengu kivimisisene toime. Kui laeng on paigutatud kivimisse nii sügavale, et selle plahvatamisel praod ja purustused ei küündi vaba pinnani ning puudub väline toime, siis seda selgemini avaldub laengu kivimisisene toime.

Laengu kivimisisesel toimel tekivad järgmised nähtused (joon. 56). Laengu *1* paiknemiskoha vahetus läheduses pihustatakse ja tihendatakse kivim plahvatusgaaside intensiivse löögiga, tekib õõnsus *2*, mida nimetatakse kokkusurumissfääriks ehk katlaks. Kokkusurumissfäärile järgneb purustussfäär *3*, mille piirides kivimit läbib pragude võrk. Kokkusurumissfääri piiril asetsevad praod tihedalt ja on laiad, sügavamal kivimis nad vähenevad. Purustussfäärile järgneb võnkumis- või raputussfäär *4*, mille piirides lööklaine kutsus esile ainult kivimiosakeste intensiivse võnkumise ilma nendevahelise seose purustamiseta.



Joon. 56. Laengu sisemise toime skeem keskkonnas.

Kokkusurumis- ja purustussfääri vaheline piir on hästi eraldatav. Purustus- ja võnkesfääri vahel ei ole selgelt eraldatavat piiri, kuna praod kaovad järk-järgult ning on erinevate suundade ja pikkusega. Samuti puudub võnkesfääril selgestieraldatav välispiir. Need mõlemad piirid on üsna tinglikud.

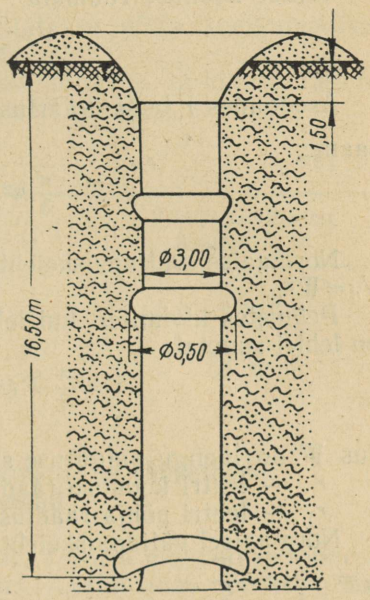
Kõvades kivimites on katla ehk kokkusurumissfääri raadius 1,5—2,2 korda suurem pihustava lõhkeaine laengu raadiusest (kokkusurumissfääri ruumala on 3—10 korda suurem laengu ruumalast) ja pehmetes kivimites (savi jne.) 4—6 korda suurem. Kui laeng on silindrilise kujuga ja selle pikkus on üle 20 korra suurem läbimõõdust, siis tekib silindrilise kujuga katel, kusjuures katla raadius on kõvades kivimites 1,7—3 korda ja pehmetes kivimites 10—15 korda suurem kui laengu raadius.

Plahvatuse kivimisisesel toimel tekkiv purustussfääri raadius R_s on väiksem kui plahvatuse välistoime raadius, sest plahvatuse kivimisisese toime puhul mõjub kivimile ruumiline surve, millele kivimi vastupidavus on suurem kui lineaarpingetele. Katsete andmel loetakse $R_s = W_n$, s. o. purustussfääri raadius laengu kivimisisesel toimel võrdub sellisele laengu paigutuse sügavusele (vähima vastupanu joonele), mille juures laeng tekitaks antud kivimis normaalse väljapaiskelehtri.

Laengu kivimisisene toime ei olene laengu paigutuse sügavu-

sest (kui toime on tõesti kivimisisene ja ei ulatu vaba pinnani) ning muude võrdsete tingimuste (laengu kaal, lõhkeaine tüüp, kivimi kõvadus) puhul on igasugusel sügavusel ühesugune.

1954. a. rajati Jurkovi pruunsöekarjääris kivimi tihendamise meetodil kivimisisese laengu plahvatusega puuraugus 54 m sügavune ja 5,2 m rajamisläbimõõduga šaht. Joon. 57 on toodud ülemise osa läbilõige šurfist, mis rajati trusti «Tšerepetugol» kaevanduse nr. 6 rajoonis laengu plahvatusega puuraugus. Puurauk oli 300 mm läbimõõduga ja 46 m pikkune. Kivim tihenes rohkem puuraugu sellistes kohtades, kus olid pehmemad kihid.

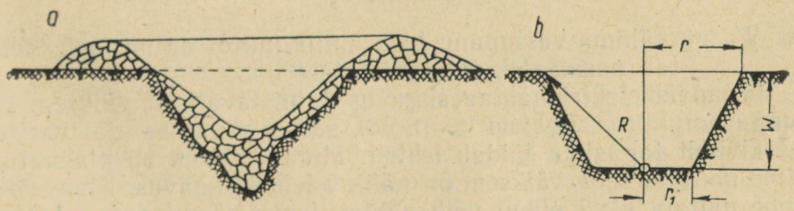


Joon. 57. Laengu lõhkamisega puuraugus pehmes pinnases loodud šurf.

Selliste laengute katselistel plahvatustel kaljustes kivimites (liivakivid ja savikiltkivid) saavutati 100—250 mm läbimõõduga ja 40—100 m sügavuste puuraukude laienemine 3—8 korda. Puuraukude seintes on kivim tugevasti purustatud ja kivimi tükid eralduvad kergesti. Puuraugu teljest kaugemal on kivim pragudega, kuid ta tugevus palju ei vähene. Nähtavasti on vaevalt võimalik rajada kaljustesse kivimitesse šurfe ja šahte plahvatusmeetodil.

Plahvatuse kivimisisest toimet kasutatakse kaljustes kivimites lõhketööde tegemisel katellaengute meetodil puuraugu mahu ja laengu kaalu suurendamiseks.

Plahvatuslehtrite kujud. Väljapaiskelaengute ja -lehtrite projekteerimisel võetakse arvutuste lihtsustamiseks lehtrid korrapäraste geomeetriliste kujunditena, kõige sagedamini koonusena või tõmpkoonusena, olgugi et tegelikult meenutab lehter rohkem paraboloidi (joon. 58,*a*).



Joon. 58. Laengu plahvatuslehtrid:
a — kõvas savis; *b* — normaalne tüvikoonusekujuline.

Kaljustes kivimites võetakse lehtri kujuks koonus, pehmetes kivimites aga tüvikoonus (joon. 58,*b*). Seda seletatakse sellega, et pehmetes kivimites tekib suurem kokkusurumissfäär ja lehtri põhja laienemine. Kõvades kivimites on kokkusurumissfäär väike, lehtri põhja laius ei ole suur ja lehter on kujult lähedane koonusele.

Sellise koonuse ruumala

$$V = \frac{\pi r^2 W}{3}.$$

Asendades r tema väärtusega valemist (72) ja võttes $\frac{\pi}{3} = 1$, saame

$$V = \frac{\pi}{3} n^2 W^3 \approx n^2 W^3. \tag{74}$$

Normaalse väljapaiskelehtri puhul, kui $n = 1$, on ta ruumala $V_n = W^3$.

Pehmetes kivimites, kui lehtri kuju on lähedane tüvikoonusele, on lehtri ruumala

$$V = \frac{\pi}{3} W(r^2 + rr_1 + r_1^2), \tag{75}$$

kus W on laengu paigutuse sügavus ehk vähima vastupanu joon;
r — lehtri koonuse raadius pealt;
r_1 — lehtri põhja raadius.

Normaalsel väljapaiskelehtril, kui $r = W$, võetakse põhja raadius $r_1 = \frac{r}{2} = \frac{W}{2}$.

Sel juhul on normaalse väljapaiskelehtri ruumala

$$V_n = \frac{\pi}{3} W\left(r^2 + r\frac{r}{2} + \frac{r^2}{4}\right) = 1{,}83\, Wr^2 = 1{,}83\, W^3. \tag{76}$$

Suurendatud või vähendatud väljapaiskelehtri ruumala määratakse valemiga (75), võttes

$$r_1 = \frac{W_n}{2},$$

kus W_n on vähima vastupanu joon, mille juures antud laeng tekitab normaalse väljapaiskelehtri.

Väljapaiskelehtri nähtav sügavus h on tavaliselt väiksem kui laengu paigutuse sügavus (joon. 58), sest plahvatuse ajal variseb osa kivimit tagasi ja täidab lehtrit. Mida väiksem on plahvatuse toime näitaja, seda väiksem on nähtav lehtri sügavus. Plahvatuse toime näitaja $n > 2$ puhul võib nähtav lehtri sügavus olla laengu paigutuse sügavusest suurem, sest lehter süveneb kokkusurumis-

sfääri arvel, kivimi väljapaiskamine on aga suurte n väärtuste puhul suur.

Väikese brisantsusega (8—10 mm) lõhkeainete plahvatusel pehmetes kaljustes kivimites võib nähtavat lehtri sügavust määrata empiirilise valemiga

$$h = 0{,}33\, W(2n-1). \qquad (77)$$

Kõvades kaljustes kivimites soovitatakse võtta koefitsiendiks W ees 0,28, pehmes pinnases aga 0,4.

Tabelis 15 on toodud lehtri nähtav sügavus ja kivimi laialilennu kaugus olenevalt plahvatuse toime näitajast n.

Tabel 15

Plahvatuse toime näitaja n	Nähtav lehtri sügavus n, m	Kivimi laialilennu kaugus L, m
1	0,33 W	2,5 W
1,5	0,7 W	8 W
2	1,0 W	23 W
2,5	1,3 W	50 W

§ 32. Väljapaiskelaengute arvutus ja lõhketööde teostamise viisid

Teooria plahvatuse toimest kivimile. Teooria plahvatuse toimest kivimile on väljatöötamise staadiumis. Analüüsides põhilisi plahvatuse toime teooriaid keskkonnas, jaotab prof. A. F. Suhhanov need kolme gruppi. *

Esimesse gruppi kuuluvad teooriad, mis põhinevad kulutatava plahvatuse energia ja purustatava kivimi mahu võrdelisuse printsiibil. Laengu kaal on võrdeline lõhatava kivimi ruumalaga ehk vähima vastupanu joone pikkuse kuubiga. Lõhkeaine kulu kivimi ruumala ühiku kohta (erikulu) ei olene vähima vastupanu joone pikkusest. Laengu kaal, mis on võrdeline lõhatava kivimi ruumalaga, väljendub üldjuhul valemiga:

$$Q = qW^3 = qV, \qquad (78)$$

kus Q on lõhkeaine laengu kaal kg,

q — lõhkeaine erikulu kg 1 m³ kivimi kohta,

$V \approx W^3$ — antud laengu plahvatuse tagajärjel tekkiva lehtri ruumala m³ (lehter on võetud 90° tippnurgaga).

Seda tüüpi valemite erijuhuks on antud raamatus üksikasjaliselt käsitletud M. M. Boreskovi valem.

* Энциклопедический справочник «Горное дело», том 4.

Teise guppi kuulub purustussfääri mõõtmete ja laengu suuruse võrdelisusel põhinev teooria, mida arendavad G. I. Pokrovski ja O. E. Vlassov. See teooria põhineb plahvatuse puhul kivimis kulgevate lööklainete mehaanilise toime arvestusel. Plahvatusgaaside löögi mõjul tekib pinnases kiiresti suurenev plahvatusgaasidega täidetud õõnsus. Selle õõnsuse ümber levib pinnases tugev lööklaine. Kui lööklaine jõuab maapinnani, siis tõuseb pinnas maksimaalse kiirusega vähima vastupanu joone suunas. Viimase vähendamisega kaasneb lõhkeaine erikulu suurenemine, sest gaasid tungivad enneaegselt atmosfääri.

Purustusfääri mõõtmed muutuvad võrdeliselt laengu mõõtmeile; kerakujulise laengu raadiuse 10-kordsel suurendamisel suureneb purustussfääri raadius samuti 10 korda. Järelikult on laengu ruumala ja kaal lõhatava keskkonna ruumalaga võrdelised.

Plahvatuse uurimisel piiramatus mitteelastses keskkonnas loetakse, et plahvatuse poolt tekitatav impulss (rõhu suuruse korrutis ta mõjumise ajaga) levib ühtlaselt igas suunas.

Plahvatusega tekitatav radiaalne pinge avaldub valemiga

$$\sigma = \sigma_1 R^{\frac{-6\,n_2}{n_2+1}}, \tag{79}$$

kus σ on pinge radiaalne komponent;

σ_1 — radiaalne pinge ühe ühiku kaugusel plahvatuse tsentrist;

R — kaugus plahvatuse tsentrist;

n_2 — mingi suurus, mis Hooke'i seaduse rakendamise võimalusel võrdub ühega.

Suurus n_2 on seotud keskkonna deformatsiooni füüsikalise iseloomuga ja võib olla ühest suurem või väiksem.

Plahvatuse tsentri lähedal, kus pinged purustavad kõik sidemed keskkonna osakeste vahel ja pressivad need tihedaks massiks, on R astendaja 3 kuni 6 piirides.

Mitteelastse lineaarse deformatsiooni tingimustes on plahvatustsentrist mõnevõrra suuremal kaugusel n_2 väärtus võrdne ühega, R astendaja aga 3.

Veelgi suuremate R väärtuste juures pinged kahanevad. See-juures säilib keskkonna materjali struktuur osaliselt puutumatuna (kui $n_2 < 1$, siis R astendaja on 0 kuni 3 piirides).

Kui vähima vastupanu joone pikkus on üle 25 m, siis, vastavalt sellele teooriale, määratakse väljapaiskelaengu suurus valemiga

$$Q = \frac{\gamma}{30.000} W^{\frac{z}{2}} \cdot (1 + n^2)^2, \tag{80}$$

kus Q on laengu kaal,

γ — kivimi mahukaal,
W — vähima vastupanu joon,
n — väljapaiske näitaja.

Selle valemi kasutamisel tuleb arvestada lõhkeaine erienergia suurust. Väljapaiskel arvestatakse W^3-ga võrdelise ruumala tõstmise töö kõrgusele, mis on võrdeline W-ga.

Prof. G. I. Pokrovski arvab, et laengu paigutusel sügavuseni kuni 15 m võib edukalt kasutada M. M. Boreskovi tuntud valemit

$$Q = qW^3 (0{,}4 + 0{,}6\, n^3). \qquad (81)$$

Sügavustel 15 kuni 25 m võib kasutada sama valemit parandatud kujul:

$$Q = qW^3 (0{,}4 + 0{,}6\, n^3) \cdot \sqrt{\frac{W}{15}}. \qquad (81a)$$

Uurides laengu plahvatuse toimet tahkes keskkonnas, teeb O. E. Vlassov erinevalt G. I. Pokrovskist lihtsustuse (ülesande lahenduse lihtsustamiseks esimeses lähenduses), et keskkond ei ole kokkusurutav tingimusel, kui puuduvad tangentsiaalpinged. Peale selle oletatakse, et keskkonna osakesed liiguvad teatud aja jooksul ainult inertsi mõjul, enne kui keskkonna naaberkihtide takistus mõju avaldab.

Antud lihtsustusi saab kasutada märja pinnase, betooni ja kaljuste kivimite puhul.

O. E. Vlassov soovitab määrata väljapaiskelaengu suurust valemiga

$$Q = qW^3 \left(\frac{1+n}{2}\right)^{\frac{9}{4}}, \qquad (82)$$

kus q on lõhkeaine erikulu, mis määratakse katseliselt.

Keskkonna purustamine löögi mõjul on seega tingitud pingetest, mis tekivad keskkonnas lööklaine läbimisel. Nende pingete suurus on võrdeline lööklaine impulsi suurusega.

Konstantse lõhkeaine laengu kaalu puhul muutub keskkonnas tekkivate pingete suurus kauguse muutumisega plahvatuse tsentrist paraboolselt, kusjuures parabooli astendaja on seda suurem, mida suurem on keskkonna deformatsioon nende pingete mõjul.

Kolmandasse gruppi kuuluvad teooriad, mis põhinevad keskkonna poolt plahvatuse toimele avaldatavate mitmesuguste reaktsiooni liikide arvestamisel. Selle teooria alused esitas M. M. Frolov ning seda on edasi arendatud P. M. Brodski, prof. A. F. Suhhanovi, V. J. Kartševski ja S. D. Osnovini töödes. Selle teooria järgi kulutatakse laengu plahvatuse energia kaht liiki töö sooritamiseks: kivimi massiivist lahtimurdmiseks (see energia hulk on võrdeline pinnaga, mida mööda toimus kivimiosa massiivist lahtimurdmine) ning lahtimurtava kivimi inertsi ületamiseks (see

energia hulk on võrdeline kivimi massiivist lahtimurduva osa mahuga).

Purustamise protsess on tingitud kivimi massi inertsist, mis tekib laengut ümbritsevale kivimile löökkoormusena rakendatud, teda läbiva lööklaine survest, kusjuures, mida suurem on koormuse rakendamise kiirus, seda suurem on tema poolt tekitatav kivimi massi kiirendus ning seda suurem on ka tekkiv inertsjõud ja selle poolt tekitatavad pinged, järelikult on seda suurem ka kivimi purustuse aste. Koormuse rakendamise kiirus oleneb lõhkeaine laengu detonatsioonikiirusest, mille määrab plahvatuse energia suurus.

Lahtimurtud kivimi täiendavaks purustamiseks tuleb võtta suurem laeng. Laengu suurendamisel võib purustatud kivim paiskuda plahvatuse lehtrist välja, s. o. selline laeng toimib väljapaiskelaenguna, mille plahvatuse toime näitaja on üle ühe. Kobestuslaengu plahvatuse toime näitaja on alla ühe, kuid ta võib olla võrdne või suurem ühest, kui plahvatusega taotletakse kivimi suuremat purustamise astet.

Kobestuslaengu kaal koos kivimi purustamise astme arvestusega määratakse valemiga:

$$Q = f(d)_q \cdot (q_1 S + q_2 \cdot V) = f(d)_q \cdot q \cdot V, \qquad (83)$$

kus q_1 on lõhkeaine erikulu massiivist lahtimurtava kivimi 1 m² pindala kohta kg;

S — kivimi lahtimurdmise pindala (plahvatuse lehtri külgpindala) m²;

q_2 — lõhkeaine erikulu 1 m³ purustatava kivimi raskusjõu ületamiseks kg;

V — purustatava kivimi maht m³;

q — summaarne lõhkeaine erikulu kobestuslaenguks 1 m³ purustatava kivimi kohta, mis kulutatakse sidumisjõu ületamiseks lahtimurde pinnal ja lahtimurtava kivimi ruumala raskusjõu ületamiseks;

$f(d)_q$ — koefitsient, mis arvestab kivimi purustamise astet plahvatuse toime näitajast olenevalt.

Koefitsient $f(d)_q$ määratakse valemiga

$$f(d)_q = \frac{(\mathrm{tg}^2\alpha + 1)^2}{4\,\mathrm{tg}^2\alpha}, \qquad (84)$$

kus α on pool lehtri tippnurgast.

Suuruste q_1 ja q_2 väärtused on toodud prof. A. F. Suhhanovi kivimite klassifikatsiooni skaalas lõhatavuse järgi.

Väljapaiskelaengute arvutus. Väljapaiskelaengute all mõistetakse suuri koondatud kamberlaenguid, mis on määratud tranšee-, kaeviku-, kanali- jm. kujuliste suurte süvendite moodustamiseks.

Arvutuste juures oletatakse, et laengu suurus on võrdeline lõhatava kivimi ruumalaga ja teda võib avaldada valemiga

$$Q = qVk, \tag{85}$$

kus Q on laengu kaal kg;

q — lõhkeaine erikulu normaalsete väljapaiskelaengute puhul, mis sõltub kivimi kõvadusest ja lõhkeaine võimsusest kg/m^3;

V — lõhatava kivimi ruumala m^3;

k — lehtri kuju, seega ka plahvatuse toime näitaja suurust arvestav koefitsient.

Asetades valemisse (85) V väärtuse valemist (74), saame

$$Q = qW^3n^2k. \tag{86}$$

Normaalse väljapaiskelehtri puhul, kui $n=1$ ja koefitsient $k=1$, avaldub normaalse väljapaiskelaengu kaal valemiga

$$Q_n = qW^3. \tag{87}$$

Avaldus n^2k valemis (86), mis on plahvatuse toime näitaja n funktsiooniks, tähistatakse $f(n)$. Seda arvestades võtab valem (86) kuju

$$Q = qW^3 f(n)$$

ehk

$$Q = Q_n f(n). \tag{88}$$

Valem (88) on üldjuhuvalemiks ja seda kasutatakse nii väljapaiskelaengute kui ka kobestuslaengute arvutuseks, ainult q ja $f(n)$ väärtused on erinevad.

Väljapaiskelaengute (näitaja n on 0,8 kuni 3 ja W kuni 15 m) arvutuseks määratakse $f(n)$ väärtus M. M. Boreskovi empiirilise valemiga

$$f(n) = 0{,}4 + 0{,}6\,n^3$$

ja väljapaiskelaengu kaal valemiga (81) või (81a):

$$Q = qW^3\,(0{,}4 + 0{,}6\,n^3).$$

Kui $n=1$, siis sulgudes olev avaldus võrdub 1 ja valem (81) saab kuju $Q_n = qW^3$.

Katselisel teel määratud q väärtused võetakse teatmetabeleist. Lisas II on toodud lõhkeaine erikulu suurused normaalseile väljapaiskelaenguile ja kobestuslaenguile lõhkamisel 300 cm^3 töövõimega ammoniidiga.

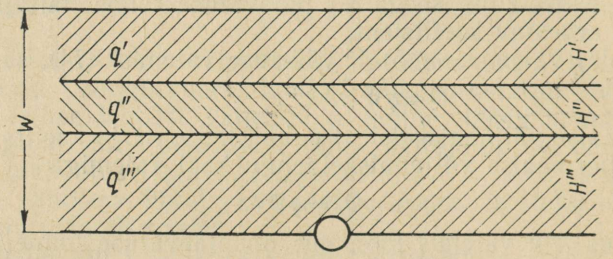
Mõne teise lõhkeaine kasutamisel tuleb q väärtus korrutada paranduskoefitsiendiga $e_x = \frac{300}{p_x}$, kus p_x on kasutatava lõhkeaine töövõimsus.

Valemi (81) järgi arvutatud väljapaiskelaengu suurust tuleb vaadelda orienteeruvana ja seda tuleb täpsustada (täpsustada

tuleb ka q väärtust) esimeste lõhkamiste tulemuste järgi. Vastutusrikaste lõhkamiste projekteerimisel teostatakse antud kivimis eelnevalt mõned prooviplahvatused q väärtuse täpsustamiseks.

Kui lõhkamine toimub mitmesuguse kõvadusega kivimeis (joon. 59), siis määratakse keskmine kaalutud q_k väärtus

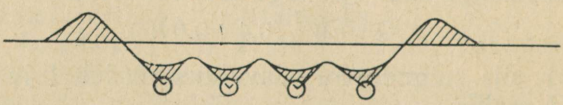
$$q_k = \frac{q'H' + q''H'' + q'''H'''}{H' + H'' + H'''}.$$



Joon. 59. Lõhkeaine erikulu määramise skeem ebaühtlases kivimis lõhkamisel.

Väljapaiskavat lõhkamist kasutatakse peamiselt mitmesuguse otstarbega kraavide ja tranšeede (melioratsiooniks, kasulike kaeviste paljandamiseks ja töötlemiseks lahtistel töödel, raudteede rajamisel jne.) ning väikeste kanalite rajamisel.

Kraavide ja tranšeede rajamisel paigutatakse laengud üksteisest niisugusele kaugusele, et nende ühisel toimel tekiks enamvähem tasase põhjaga kraav või tranšee, s. o. et laengute paiknemiskohtade vahele jääksid väiksemad purustamata kivimi künkad (joon. 60).



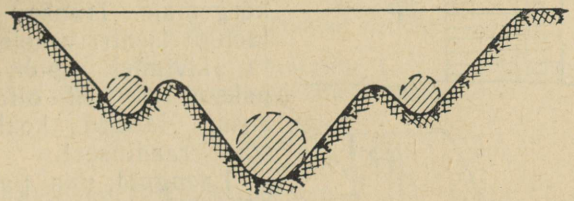
Joon. 60. Lehtri kuju lähislaengute lõhkamisel.

Praktikas on leitud, et laengute vahe peab olema

$$a = 0{,}5\ (n+1)\ W,$$

kus a on ühise toimega väljapaiskelaengute vaheline kaugus m;
n — on plahvatuse toime näitaja;
W — vähima vastupanu joon ehk laengu paigutuse sügavus m.

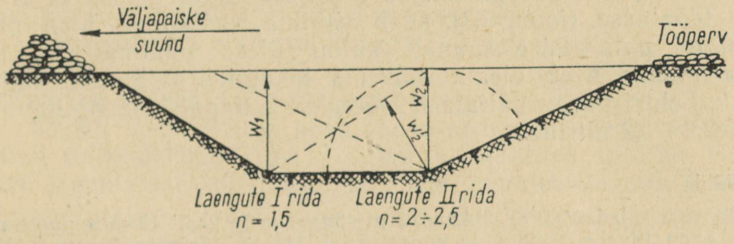
Laiade tranšeede rajamisel ei paigutata laengud ühte, vaid mitmesse ritta piki tranšee telge, kusjuures nad asetsevad malekorras. Kui on nõutav piki- või ristlõikes erineva sügavusega tranšee rajamine, siis kasutatakse astmelist laengute paigutust (joon. 61).



Joon. 61. Astmeliselt paigutatud lähislaengud.

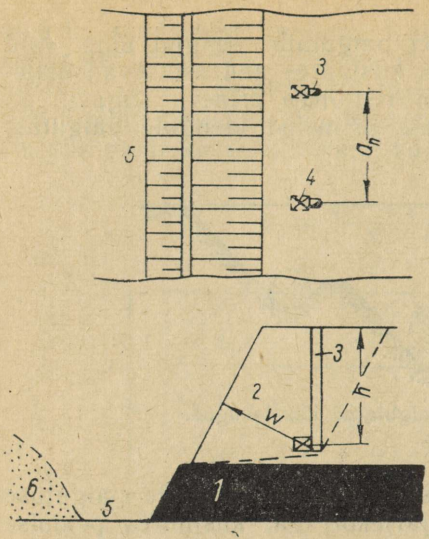
Plahvatuse suunatud toime saavutatakse laengute paigutuse skeemiga ja nende lõhkamise järjekorraga, kusjuures peamise laengu vähima vastupanu joon on suunatud tranšee selle serva poole, kuhu tuleb paisata lõhatud kivimi põhimass.

Selle saavutamiseks paigutatakse laengud piki tranšee telge 2—3 ritta ja read lõhatakse järjestikku 2—3-sekundiliste vahedega. Esimeseks lõhatakse aukude rida, mis paikneb tranšee sellele äärele lähemal, kuhu tuleb paisata kivim. Laengute suurused ei ole ühesugused, vaid suurenevad reast ritta. Laengute kaalu arvutamiseks võetakse esimese rea laengutele $n = 1—1,5$, järgmistele aga $n = 2—2,5$.



Joon. 62. Suunatud toimega väljapaiskelaengute skeem.

Suunatud väljapaiskelaengute toime skeem on kujutatud joon. 62. Esimese rea laengute plahvatuse tulemusena on sel juhul teise rea laengute vähima vastupanu joone suunaks W_2', mis on lühem kui W_2. Sellepärast paisatakse kivim tunduvalt suurema jõuga vasakule poole. Momendil, kui esimese rea laengute poolt väljapaisatud kivim ei ole veel jõudnud alla langeda, paisatakse ta teise rea laengute plahvatusega vasakule.



Joon. 63. Allapaiskelaengute toime skeem:

1 — maavara kiht; *2* — paljandusaste; *3* — šurf; *4* — laeng kambris; *5* — tööala; *6* — allapaisatud kivimi oletatav puistang.

Kuna suure n väärtusega väljapaiskelaengud avaldavad pehmetes kivimites (pinnases) tunduvat mõju sügavusse, siis tuleb nad paigutada tranšee põhja projekteeritud nivoost kõrgemale. Tranšee põhja ja laengu tsentri vahele tuleb jätta kivimist «puhver», mille paksus ei tohi olla väiksem antud laengu kokkusurumissfääri raadiusest.

Laenguid, mis paigutatakse mäe nõlvasse selleks, et sealt kivimit lahti murda ja plahvatuse jõuga alla mäe jalamile paisata, nimetatakse allapaiskelaenguteks. Samuti nimetatakse allapaiskelaenguteks ka neid laenguid, millede abil kattekivimeid paisatakse karjääri aherkivimi astmest kaevandatud alasse.

Kui allapaiskelõhkamist kasutatakse paljandamistöödel lahtiselt kaevandatava maavara kihilt aheraine kõrvaldamiseks, siis tuleb laengud paigutada maavara kihist mõnevõrra kõrgemale, et laengute ja kihi vahele jääks aherainest «puhver». Et aheraine paisatakse plahvatusega karjääri väljatöötatud alasse ja ei langeks tööalasse (joon. 63), peab vähima vastupanu joon olema suunatud paiskamise suunas kaldu üles. Vähima vastupanu joone pikkus peab olema väiksem laengute paigutuse sügavusest h. Lehtri nurga näitaja n võetakse allapaiskelaengute arvutusel 0,9—1,2 piirides.

Näide

On vaja rajada 500 m pikkune, 5 m sügavune ja pealt 15 m laiune tranšee; kivimiks on liivane kiltkivi kategooriaga VIII—IX «Sojuzvzrõvpromi» skaala järgi. Kõvaduskoefitsient Protodjakonovi järgi $f=5$.

Arvutuse käik:

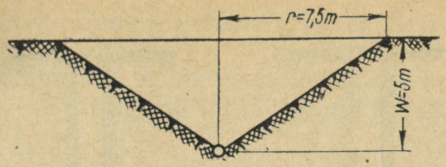
1. Ehitame joonisel tranšee ristlõike ja määrame plahvatuse toime näitaja n suuruse (joon. 64). Tranšee rajamiseks võib laengud paigutada ühte ritta, võttes näitaja $n=1{,}5$.

2. Määrame ühe laengu suuruse M. M. Boreskovi valemiga (81), võttes lõhkeaineks ammoniidi nr. 9 ja $q=1{,}4$ kg/m³:

$$Q=qW^3\,(0{,}4+0{,}6n^3)=1{,}4\cdot 5^3\,(0{,}4+0{,}6\cdot 1{,}5^3)=425\text{ kg}.$$

3. Määrame laengutevahelise kauguse

$$a=0{,}5\,(n+1)\,W=0{,}5\,(1{,}5+1)\,5=6{,}25\text{ m}.$$



Joon. 64. Tranšee ristlõige.

4. Määrame piki tranšee telge paigutatud laengute arvu

$$N = \frac{L}{a} = \frac{500}{6{,}25} = 80.$$

5. Määrame summaarse lõhkeaine kulu

$$\Sigma Q = Q N = 425 \cdot 80 = 34\,000 \text{ kg}.$$

6. Määrame laengukambri ruumala

$$V_k = \frac{Q}{\Delta} = \frac{0{,}425}{0{,}9} \approx 0{,}5 \text{ m}^3.$$

Kui laengukamber on kuiv, võib laadimist teostada pulbrilise ammoniidiga ja laadimistiheduseks võtta 0,9. Märgades kambrites, kus lõhkeaine tuleb niiskuse vastu isoleerida, võetakse laadimistihedus 0,7—0,8.

Lõhketööde teostamine (väljapaiskamiseks). Väljapaiskelaengute paigutamiseks rajatakse šurfid või šurfid koos kambritega. Šurfide ristlõiked on ristkülikukujulised, mõõtmetega 1×1 m või 1×1,2 m. Kuivades šurfides võib väikesed lõhkeainelaengud paigutada šurfi põhjale. Suurte laengute puhul ja ka põhjavee korral rajatakse laengute paigutamiseks šurfi juurde kambrid (joon. 65).

Põhjavee esinemise puhul tehakse kambrite põrandad vee voolamiseks väikese langusega šurfi suunas, šurfi põhi aga tehakse kambri põrandast 0,5—1 m võrra sügavamale.

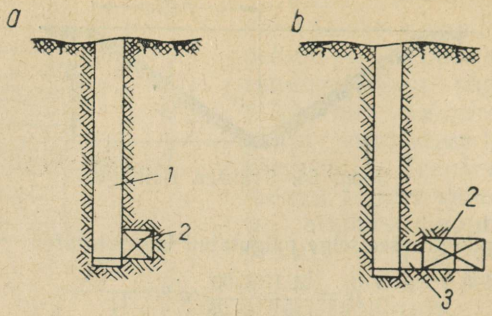
Laengukambri *2* väikese ruumala puhul rajatakse ta vahetult šurfi *1* juurde (joon. 65, a), kambri suurte mõõtmete puhul paigutatakse ta teatud kaugusele šurfist ja ühendatakse käiguga *3* (joon. 65, *b*). Kambri kuju peab olema selline, et laeng oleks võimalikult rohkem koondatud. Laengu koondatuse suurust iseloomustab koondatuse koefitsient K_k. Maksimaalne laengu koondatus saavutatakse keraja kuju puhul. Sellise kujuga kambri ja laengu koondatuse koefitsient K_k võrdub 1, iga teisekujulise laengu K_k on alla ühe.

Selle koefitsiendi väärtus määratakse valemiga

$$K_k = \frac{0{,}62 \sqrt[3]{V_k}}{R_k},$$

kus V_k on kambri ruumala (või laengu ruumala) m³;

R_k — kaugus laengu tsentrist kaugeima punktini.



Joon. 65. Kambrite paigutuse skeem šurfide lähedal.

Väljapaiskelaengute K_k väärtus peab olema vähemalt 0,41. Šurfid ja kambrid tuleb toestada vastavalt nõuetele.

Kambrite laadimisel pulbriliste lõhkeainetega lastakse need šurfi kas tõstetoobritega või 20×20 cm ristlõikega puittorusid mööda. Laengukambri täitmisel lõhkeainega paigutatakse laengusse detoneerivad lööklaengud. Väikestes (kaaluga 1—2 t) laengutes paigutatakse kaks lööklaengut laengu keskele. Suurte laengute, pikkade kambrite ja keeruka kujuga (ristikujulised, T-kujulised jm.) kambrite puhul suurendatakse lööklaengute arvu ja nad paigutatakse laengusse mitmesse kohta. Lööklaengul peab olema kõva kest, seepärast võetakse tavaliselt tühi ammoniidi kast, täidetakse see trotüüliga või hästi peenestatud kuiva ammoniidiga. Keskele pannakse kaks elektridetonaatorit, mille mõlema külge peab siduma 5—6 kapseldetonaatorit; kast suletakse kaanega, elektridetonaatorite juhtmed aga viiakse läbi ava välja. Kui lõhkamine toimub detoneeriva nööriga, siis pannakse kasti kaks suure sõlmega lõppevat detoneeriva nööri haru. Elektridetonaatorite juhtmed viiakse kambrist välja ja ühendatakse paralleelsete rühmadena, millede külge ühendatakse šurfi tõmmatud 2 paari juhtmeid. Vigastuste eest kaitsmiseks pannakse šurfis olevad juhtmed puidust renni, mis on kinnitatud kambrile lähimasse šurfi nurka.

Pärast laadimist suletakse kamber puitkilbiga ja šurf täidetakse topismaterjaliga. Šurfi põhja puistatakse pehme pinnase- (liiva, savi, mustmulla) kiht, mis peab ulatuma kambrit sulgeva kilbi ülemisest servast kõrgemale. Pärast seda võib šurfi täita ka selle rajamisel väljavõetud kaljuse kivimiga.

Lõhkamise elektrivõrk või detoneeriva nööri liin peab olema kahekordne (dubleeritud), et vältida tõrkeid, kui üks liin saab vigastada. Miinijaam luuakse pealttuule külge väljapoole ohtliku tsooni piire. Kui lõhatakse laenguid, mille üldkaal on üle 100 t, siis tuleb mürgituste vältimiseks varustada ohtliku tsooni piiridel valves olevad inimesed gaasimaskidega.

1936. a. tehti Korkinos pruunsöekihi avamistranšee rajamisel suur väljapaiskav lõhkamine.

Lõhkeaine (ammoniit ja ammooniumsalpeeter) kulu oli sealjuures 2,25 kg 1 m^3 väljapaisatud pinnase (tihe märg savi) kohta, kokku aga 1808 t.

Harjutusülesanded

1. Määrata väljapaiskelaengute suurused järgmistes tingimustes: $W=5$, 10, 15 m; $n=0{,}8$; 1,2; kivimite kategooria «Sojuzvzrõvpromi» astmiku järgi (vt. lisa III) on III ja VII.

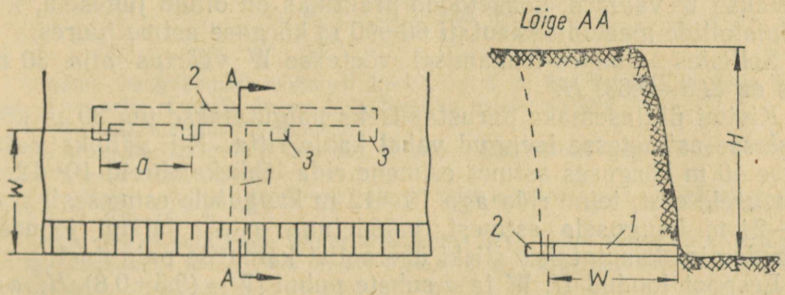
2. Arvutada laengute hulk ja kaal ning laengukambrite maht 300 m pikkuse, pealt 60 m laiuse ja 10 m sügavuse tranšee rajamisel VI kategooria pinnasesse.

3. Määrata umbkaudselt purustus- ja kokkusurumistsooni raadiuste pikkused. Plahvatav laeng on 10 kg ammoniiti nr. 9, mis on paigutatud 10 m sügavusele III ja X kategooria pinnasesse.

§ 33. Kobestuslaengute arvutus ja lõhketöö miinistollide abil

Laengute suuruse ja laengukambrite paigutuse arvutuse metoodika. Miinistollide meetod kujutab endast kamberlaengutega lõhkamise viisi erijuhust ja seda kasutatakse lahtistel töödel kuni 20 m kõrguste astmetega karjäärides.

Laengute paigutamiseks rajatakse astmetesse stollid *1* (joonis 66) külg-galeriidega *2* ja laengukambritega *3*. Stollide ja galeriide ristlõike mõõtmed on 1,2×1,5 m või 1,5×1,8 m. Kambrite suurus oleneb laengute suurusest ja laadimise tihedusest.



Joon. 66. Laengute paigutuse skeem miinistollidega lõhkamisel.

Kivimi purustamise skeem miinistollidega on järgmine: laengu plahvatusega purustatakse kivim kobestussfääri piirides ja pressitakse välja (joon. 66), kobestussfääri peal olev kivim praguneb ning vappub plahvatusest, vajub oma raskuse mõjul alla ning tükeldub tekkinud pragude pindu mööda. Kivim puruneb seda suu-

rematéks tükkideks, mida kõvem on kivim ja mida suurem on vähima vastupanu joon (W) ning laengutevaheline kaugus (a).

Suured pangad purustatakse lõhkeaukudesse paigutatavate või väliste laengutega väiksemateks tükkideks, mis annavad ekskavaatoriga koristada.

Vähima vastupanu joon võetakse piirides (0,5—0,8) H, kus H on astme kõrgus. Kui kivimid ei ole kihilised ega lõhelised või kui lõhed esinevad üheaegselt nii horisontaal- kui ka vertikaalsuunas, tuleb võtta keskmine W väärtus $W=0{,}65\ H$.

Kui domineerivad horisontaalsed kihistuspinnad või lõhed, siis võetakse W väärtus suurema piiri ($W=0{,}8H$) lähedal; kui aga domineerivad vertikaalsed, astme rindega paralleelsed lõhed, siis võetakse W väärtus väiksem ($W=0{,}5\ H$). Astme rindega ristiolevate vertikaalsete lõhede puhul on soovitav võtta keskmine W väärtus ($W=0{,}65\ H$) nagu monoliitseiski kivimeis.

Laengutevaheline kaugus $a=(0{,}7—1)\ W$. Kui kivimis puudub selgesti eraldatav kihilisus või lõhelisus, siis on soovitav võtta $a=0{,}8\ W$. Sama a väärtus on soovitav võtta sel juhul, kui kihilisus või lõhelisus on ühesugune mõlemas suunas, nii paralleelselt kui ka risti astme rindega. Kui kihtide või lõhede suund on paralleelne astme rindega, siis laengutevaheline kaugus on soovitav võtta võrdne W-ga või selle lähedane. Astmega ristiolevate kihtide või lõhede korral on soovitav võtta $a=(0{,}65—0{,}7)\ W$.

Tuleb silmas pidada, et W ja a suurendamisega muutub kivimi purustamine ebaühtlasemaks ja maksimaalsete tükkide mõõtmed suurenevad. Laengu lähedal purustatakse kivimit tugevasti, mida kaugemal aga laengust — seda vähem.

Mida suurem on astme kõrgus, seda väiksem (lähemal 0,5-le) võetakse W väärtus. Lõhketööde praktikas on olnud juhuseid, kus miinistollide meetodit kasutati 60—90 m kõrguse astme juures.

Sellistes astmetes lõhkamisel võetakse W väärtus alla 30 m, mis on (0,5—0,33) H.

Kivimi ühtlasemaks purustamiseks paigutatakse üle 30 m kõrgustesse astmetesse laengud vahel kahte ritta. Nii näiteks rajatakse 40 m kõrguses astmes esimene rida lõhkekambreid 10—12 m kaugusele eest, teine rida aga 10—12 m kaugusele esimesest, s. o. 20—24 m kaugusele astmest, mõõdetuna astme jalami joonest. Sagedamini kasutatakse siiski ühterealist kambrite paigutust.

Eespool toodud H, W ja a suhete puhul [$W=(0{,}5\div0{,}8)\ H$, $a=(0{,}8\div1)\ W$] võib valemeid arvutada nn. ruumala valemiga

$$Q=q_nV=q_nWHa, \tag{89}$$

kus q_n on kobestuslaengute lõhkeaine erikulu miinistollide meetodil ning on määratud praktika andmeil või normatiivide järgi kg/m³,

V — ühe laengu poolt purustatav kivimi maht m³.

Arvutuse tulemusse tuleb suhtuda kui orienteerivasse suurusesse, mida tuleb täpsustada esimeste lõhkamiste andmetega.

Näide.

Arvutada kobestuslaengute kaal miinistollides, oodatav purustatud kivimi hulk, lõhkeaine kulu 1 m³ kivimi kohta ja ka vajalike kaeveõõnsuste ruumala, mis tuleb rajada. Lähteandmed: astme kõrgus $H=30$ m, pikkus mööda ee joont $L=130$ m, lõhatav kivim on lubjakivi, kõvaduse koefitsiendiga prof. M. M. Protodjakonovi astmiku järgi $f=8$, lõhkeaine (ammoniit nr. 9) erikulu on praktika andmeil 0,30—0,35 kg/m³.

1. Võtame vähima vastupanu joone võrdseks

$$W=0{,}65\ H=0{,}65\cdot 30\approx 20\ \text{m}.$$

2. Laengutevahelise kauguse võtame:

$$a=0{,}8\ W=0{,}8\cdot 20=16\ \text{m}.$$

3. Lõhkeaine erikulu võtame praktika andmeil

$$q_p=0{,}32\ \text{kg/m}^3.$$

4. Leiame ühe laengu kaalu valemiga (89)

$$Q=q_n\ WHa=0{,}32\cdot 20\cdot 30\cdot 16=3072\ \text{kg}.$$

5. Määrame kambrite arvu N ja nende kubatuuri V_k

$$N=\frac{L}{a}=\frac{130}{16}\approx 8.$$

Laengu tiheduse juures 0,8 võrdub laengukambri ruumala

$$V_k=\frac{3070}{0{,}8}\approx 3{,}8\ \text{m}^3.$$

Võtame laengukambri mõõtmed $1{,}6\times 1{,}6\times 1{,}5$ m; kui kambrit on vaja toestada, tuleb selle ruumala suurendada toestiku paksuse võrra.

6. Arvutame miinistollide arvu.

Nii stolli kui ka galerii laiuseks võtame 1,5 m. Stolli pikkus on $W+1{,}5+0{,}8=20+1{,}5+0{,}8=22{,}3$ m.

Kui ühest stollist rajatakse ainult kaks kambrit, siis on galerii pikkus $16-1{,}5+2\cdot 0{,}8=16{,}1$ m.

Ühest stollist rajatavate kambrite suurema arvu puhul suureneb galerii pikkus iga lisakambri kohta (mis on üle kahe) 16 m võrra, kuid see-eest väheneb stollide arv.

Võtame 2 stolli, mõlemad 4 kambriga; siis galerii pikkus on

$$32{,}2+4\cdot 16=96{,}2\ \text{m}.$$

7. Määrame rajatava kaeveõõnsuse ruumala.

Kaheksa laengukambri ruumala on $3{,}8\cdot 8\approx 30{,}4$ m³, stollide ja galeriide ruumala $(22{,}3\times 2+96{,}2)\cdot 1{,}5\cdot 1{,}8\approx 381$ m³ ning kokku 411,4 m³.

Lisades 10% rajamise ebatäpsuste arvel, saame ruumalaks 452 m³.

8. Oodatav purustatud kivimi maht on $9600\cdot 8=76\,800$ m³. Laengute summaarne kaal on $3072\cdot 8=24\,576$ kg.

Tööde teostamine. Enne stollide rajamist eemaldatakse astmelt üleripe ja lahtised kivid. Stolli suudmesse püstitatakse umbes 5 m ulatuses välistoestik, et kaitsta töölisi kivimitükkide eest.

Lõhkeaukude puurimine toimub elektri-keerdpuurmasinate või suruõhupuurvasaratega. Kaeveõõnsuste suuna peab andma markšeider, ning rajamise käigus kontrollitakse, kas võetud suund on õige.

Kivimi koristamine toimub kas käsitsi või skreeperiga. Transport toimub kerget tüüpi konveieritega.

Kui laenguid lõhatakse kambreis, siis ei toimu kivimi laialipaiskumist. Plahvatus tekitab ainult laia algmurde astme jalamil. Kõrgemal asuv kivimi massiiv ainult praguneb, vappub ja alla vajudes puruneb tükkideks. Kivimi varingu laius ei ületa (2—2,5) *H*.

Antud viisi juures esialgne lõhkeaine kulu ei ole suur. Varisenud kivimis on aga palju suuri tükke ning nende täiendaval lõhkamisel tõuseb lõhkeaine kulu esialgseni.

Selle viisi kasutamine on ratsionaalne, kui esi (aste) on kõrge (üle 20 m) ja kui kivimi struktuur soodustab kivimi purunemist niisugusteks tükkideks, mis valdavas enamuses ei ületaks ekskavaatori kopa mahtu. Niisugune soodus struktuur esineb aga harva. Seepärast eelistatakse suurtes mehhaniseeritud karjäärides kasutada puuraukude meetodit, mille juures kivim purustatakse ühtlasemalt ja peenemaks kui miinistollide meetodiga.

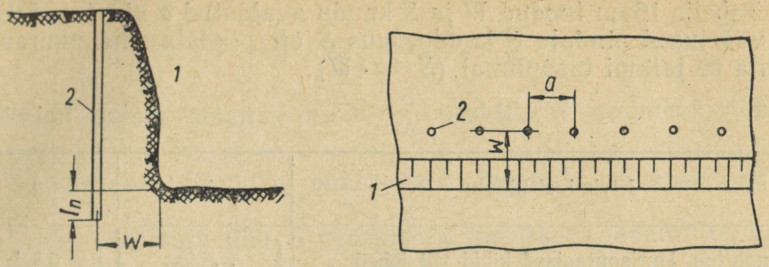
§ 34. Kobestuslaengute arvutus ja lõhketööd puuraukude abil

Laengute suuruse ja puuraukude paigutuse arvutamise metoodika. Puuraukudega lõhkamise viisi kasutatakse üle 5—7 m kõrgustes etes; kõige otstarbekohasem on seda kasutada 10 kuni 20 m kõrgustes etes.

Selle lõhkamisviisi olemus seisab järgmises (joon. 67). Lõhatavasse astmesse *1* puuritakse laengute paigutamiseks puuraugud *2*. Kõige sagedamini tehakse puuraugud vertikaalsed, harvemini kallakud või horisontaalsed. Puuraukude läbimõõt on 75 kuni 310 mm. Mida kõvem on kivim ning mida kõrgem on aste, seda suurema läbimõõduga on puuraugud.

Pehmete kivimitega karjäärides kasutatakse 100 kuni 150 mm läbimõõduga puurauke, kõvemaid kivimeid (lubjakivi, graniit, rauamaagid) töötlevais karjäärides kasutatakse 200 mm ja suurema läbimõõduga puurauke.

Puuraukude puurimiseks kivimitesse, mille kõvaduskoefitsient $f<4$, kasutatakse keerdpuurimise pinke. Kõvemate kivimite puhul kasutatakse kõis-löök- ja näritspuurpinke. Tegelik puuraugu läbimõõt kõis-löökpuurimisel tuleb nominaalsest suurem (puuraugu seinte kulumise tõttu peitli liikumisel).



Joon. 67. Puuraukude paigutus astmes.

Puuraugud paigutatakse ühte, harvem kahte ritta, paralleelselt ee rinnaga. Tavaliselt laetakse need pulbriliste lõhkeainetega. Padruneeritud lõhkeaineid kasutatakse sel juhul, kui puuraugud on märjad, lõhkeaine aga hügroskoopne, niiskust kartev.

Et tagada ekskavaatori seisakuteta tööd mitmeks päevaks, lõhatakse üheaegselt mitukümmend puurauku piki astet (100—300 m).

Kuna puuraukude meetodi kasutamisel on vähima vastupanu joon lühem ja laengute vahekaugus väiksem, siis ka kivimi purustamine on ühtlasem ja suurte, mittegabariitsete tükkide hulk palju väiksem kui kamberlaengute kasutamise korral. Seepärast on suurtes mehhaniseeritud karjäärides kõige enam levinud puuraukudega lõhkamise viis. Mittegabariitsete tükkide hulk (ekskavaatori kopa maht 3 m³) ei ületa tavaliselt 5—10% lõhatud massist.

Kivimi paremaks purustamiseks astme põhjas ja «künniste» (purustamata või osaliselt purustatud kivimi lademed astme põhjas, mida ei saa koristada ekskavaatoriga) likvideerimiseks puuritakse puuraugud astme põhjast sügavamale.

Puuraugu puurimist allapoole astme põhja nimetatakse ülepuurimiseks. Ülepuurimise sügavus oleneb kivimi kõvadusest ja W suurusest ning võetakse piirides $l_{üp} = (0{,}2—0{,}4)\ W$, kus W on arvutuslik vastupanujoon, s. o. puuraugu kaugus vabapinnast astme jalami tasapinnal.

Juhul kui astme jalamis on pehmem kivimikiht, mis puruneb kergesti, siis võib jätta ülepuurimise tegemata. Ülepuurimist ei tehta ka siis, kui astme all on aherkivim, mis võib reostada toodetavat maavara.

Kompaktseis kivimeis tuleb puuraukude omavaheline kaugus võtta $a = 0{,}8\ W$. Samasugune a ja W suhe peab olema ka horisontaalsete või selge suunata kihistuspindade ja lõhedega kivimites.

Ee rindega rööbiti kulgevate vertikaalsete kihtide puhul võetakse $a \geqslant W$, ee rindele risti kulgevate kihtide ja lõhede puhul $a < 0{,}8\ W$.

Tabelis 16 on toodud W ja S kaudu avaldatud a väärtused ning W väärtused pindala S kaudu, kus S on pindala ühe puuraugu kohta ee jalami tasapinnal ($S=a\cdot W$).

Tabel 16

Kivimi struktuur	W	a
Monoliitne. Horisontaalsed kihid või lõhed . Suund ei ole selgelt eraldatav	$1{,}1\sqrt{S}$	$0{,}8\ W$; $0{,}9\sqrt{S}$
Vertikaalsed kihid või lõhed rööbiti ee rindega	$\leqslant\sqrt{S}$	$\geqslant W$
Vertikaalsed kihid või lõhed risti ee rindega	$\geqslant 1{,}3\sqrt{S}$	$\approx 0{,}6\ W$

S väärtust võib määrata valemiga

$$S=k\frac{\gamma}{q_m}, \tag{90}$$

kus k on koefitsient, mis praktiliste andmete põhjal madalates astmetes (kõrgusega umbes 10 m) võrdub 0,6 ja kõrgetes astmetes (umbes 20 m) 0,7;

γ — puuraugu laengu 1 m kaal kg;

q_m — lõhkeaine kulu 1 m³ lõhatava kivimi kohta massiivis.

Puuraugu laengu 1 m kaal määratakse valemiga

$$\gamma=\frac{\pi D^2}{4}\Delta_l, \tag{91}$$

kus D on puuraugu läbimõõt m;

Δ_l — laadimistihedus (kg/m³), pulbrilistel ammoniitidel võetakse 900—950 kg/m³ ja padruneerituil 700—800 kg/m³.

Valemis (90) esineva q_m väärtuse võib võtta lisast VII.

Valem (90) on saadud järgmiselt: määrates laengu suuruse puuraugus lõhkeaine erikulu q_m järgi ja lõhatava kivimi mahu $V=WaH=SH$, saadakse

$$Q=q_mSH.$$

Määrates puuraugu laengu kaalu laengu pikkuse ja puuraugu laengu 1 m kaalu järgi, saadakse

$$Q=\gamma l_l.$$

Kuna võrrandite vasakud pooled on võrdsed, siis

$$q_mSH=\gamma l_l,$$

kust

$$S=\frac{l_l}{H}\cdot\frac{\gamma}{q_m}\text{ ehk }S=k\frac{\gamma}{q_m}.$$

Nagu varem öeldud, on $k=\frac{l_l}{H}$ praktiliste andmete põhjal 0,6—0,7.

Soovitatakse järgmist puuraukude laengute arvutuse järjekorda.

Leides valemiga (90) S väärtuse ja kasutades tabelit 16, määratakse W ja a väärtused.

Määranud tabelist 16 W ja a väärtused, leitakse ühe puurauguga lõhatava kivimi maht ($V=WaH$) ja pärast seda määratakse puuraugu laeng valemiga

$$Q=q_mV. \tag{92}$$

Puuraugu laengu suuruse järgi arvutatakse laengu pikkus valemiga

$$l_l=\frac{Q}{\gamma}. \tag{93}$$

Puuraugu pikkus arvutatakse valemiga

$$l_p=H+l_{üp}.$$

Topise pikkus määratakse valemiga

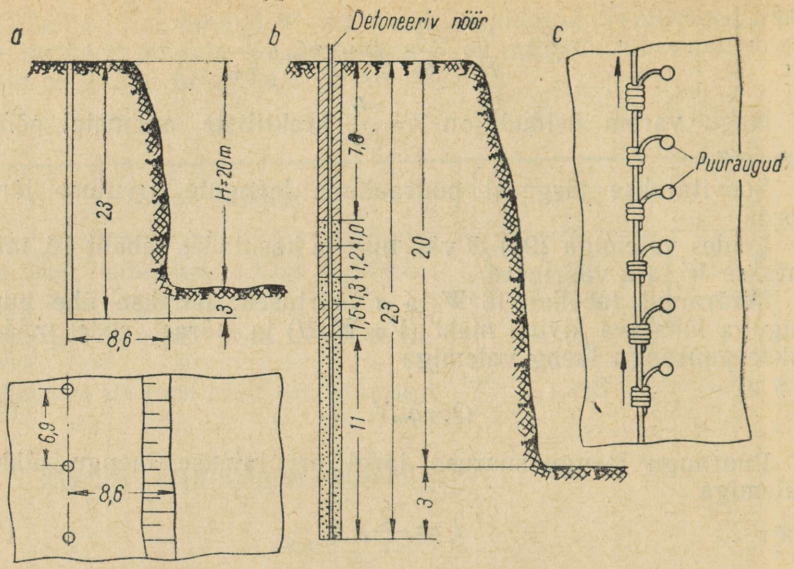
$$l_t=l_p-l_l\,. \tag{94}$$

Kui valemiga (94) leitud topise pikkus osutub väiksemaks kui 0,8 W, siis tuleb W või a väärtus võtta väiksem, et vähendada puurauguga lõhatava kivimi mahtu ja puuraugu laengut. Vastasel juhul annab puuraugu laengu ülemine osa kivimi suure laialipaiskumise. Kui topise pikkus on üle 1,2 W, tuleb suurendada laengu pikkust, sest vastasel juhul purustatakse halvasti astme ülemist osa.

Laengu suurust puuraugus võib suurendada kahel viisil: võtta suurem W või a väärtus, millega koos suurenevad lõhatava kivimi maht ning laengu kaal ja pikkus, või siis kasutada hajutatud laengut, s. o. jagada laeng 2—4 osaks, pannes üksikute osade vahele 0,5 kuni 1,5 m pikkused inertsed vahetopised.

Näide.

Määrata puuraukude paigutus astmel ja nende arv, arvutada laengute kaal, purustatava kivimi maht ja lõhkeaine kulu 1 m³ kohta järgmistel tingimustel: astme kõrgus $H=20$ m; ees rinde pikkus 150 m; lõhatav kivim on lubjakivi, kõvaduse koefitsiendiga $f=8$ prof. M. M. Protodjakonovi järgi; puuraukude nominaalne läbimõõt 200 mm, faktiline 220 mm; puuraugud on kuivad (joon. 68); lõhkeainena kasutatakse pulbrilist ammoniiti nr. 9.



Joon. 68. Skits kobestuslaengute arvutuseks:
a — astme vertikaalne lõige; *b* — laengu paigutuse skeem puuraugus; *c* — detoneerivast nöörist kahekordse lõhkevõrgu skeem.

1. Määrame lõhkeaine erikulu 1 m³ kivimile lisa VII tabeli järgi. Võtame XI—XII kategooria kivimitele

$$q_m = 0{,}415 \text{ kg/m}^3.$$

2. Arvutame laengu 1 m kaalu puuraukudes valemiga

$$\gamma = \frac{\pi D^2}{4} \Delta_l = \frac{\pi}{4} 0{,}22^2 \cdot 950 = 36{,}1 \text{ kg/m}.$$

3. Leiame S väärtuse valemiga

$$S = k \frac{\gamma}{q_m} = 0{,}7 \frac{36{,}1}{0{,}415} \approx 61 \text{ m}^2.$$

4. Kasutades tabelit 16, leiame a ja W väärtused

$$W = 1{,}1 \sqrt{S} = 11 \sqrt{61} \approx 8{,}6 \text{ m}$$
$$a = 0{,}8\, W = 0{,}8 \cdot 8{,}6 \approx 6{,}9 \text{ m}.$$

5. Määrame ühe puuraugu lõhatava kivimi mahu

$$V = Wa\, H = 8{,}6 \cdot 6{,}9 \cdot 20 \approx 1190 \text{ m}^3.$$

6. Arvutame puuraugu laengu kaalu

$$Q = q_m V = 0{,}415 \cdot 1190 \approx 490 \text{ kg}.$$

7. Määrame laengu pikkuse puuraugus

$$l_l = \frac{Q}{\gamma} = \frac{480}{36{,}1} \approx 13{,}3 \text{ m}.$$

8. Määrame puuraugu sügavuse, võttes ülepuurimise pikkuseks

$$l_{üp} = 0{,}35\,W = 0{,}35 \cdot 8{,}6 = 3 \text{ m};$$

$$l_p = H + l_{üp} = 20 + 3 = 23 \text{ m}.$$

9. Määrame puuraugu laadimata osa pikkuse, mis täidetakse topisega

$$l_t = l_p - l_l = 23 - 13{,}3 = 9{,}7 \text{ m}.$$

Topise pikkus 9,7 m on küllaldane, sest see võrdub 1,1 W. Kui antud topise pikkuse puhul mittegabariitseid panku on palju, siis võib laengut hajutada, pannes vahele kaks inertsest materjalist vahetopist, nagu on näidatud joonisel 68. Siis laengu pikkus suureneb 2,7 m võrra, topise pikkus aga võrdub 7 m ehk 0,8 W.

10. Puuraukude üldarv on

$$N = \frac{L}{a} = \frac{150}{6{,}9} \approx 22.$$

11. Määrame lõhkamisvahendite kulu ühe puuraugu kohta.

Hajutatud laengute puhul on otstarbekam kasutada detoneeriva nööriga lõhkamist (elektrilise lõhkamise puhul tuleb igasse laengu osasse panna 2 elektridetonaatorit, s. o. laengu kohta 6 elektridetonaatorit, mis teeb elektrilise süütevõrgu montaaži ja puuraukude laadimise ja topistamise keerukaks). Igasse puurauku viiakse kaks detoneeriva nööri lõiku, nende otsad, mis ulatuvad 0,5—1 m puuraugust välja, ühendatakse kahe detoneeriva nööri magistraalliini külge, mis pannakse piki puuraukude rida. Võttes 10% teoreetilisest pikkusest ühendusteks ja kõverusteks, saame detoneeriva nööri kuluks ühe puuraugu kohta

$$L_n = 1{,}1 \cdot 2(a + l_p + 1) \approx 1{,}1 \cdot 2(6{,}9 + 23 + 1) = 68 \text{ m}.$$

12. Määrame detoneeriva nööri kulu 1 m³ lõhatud kivimi kohta

$$l_n = \frac{L_n}{V} = \frac{68}{1190} = 0{,}057 \text{ m/m}^3.$$

13. Määrame puuraukude kulu 1 m³ kivimi kohta

$$l'_p = \frac{23}{1190} = 0{,}0193 \text{ m/m}^3.$$

Neid puuraukude parameetreid ja laengute kaale tuleb vaadata orienteerivatena, mida tuleb täpsustada esimeste lõhkamiste tulemuste järgi.

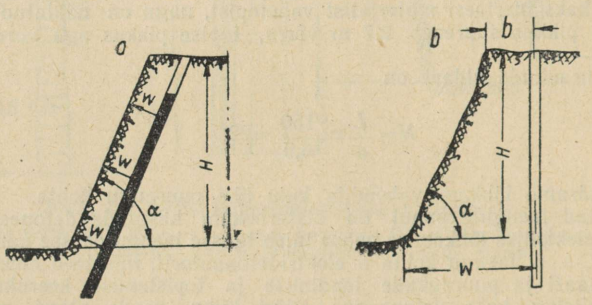
Kallakate ja vertikaalsete puuraukude laengute arvutuse iseärasused väikese kaldenurgaga astmetes. Kõvades ja monoliitsetes kivimites on astme esi peaaegu vertikaalne: selle alumine osa, jalamilt $\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$ astme kõrguseni, on vertikaalne ja ainult ülemine

osa on lõhketöödel tekkinud pragude tõttu kallak. Astme kaldenurk α (astme ülemist ja alumist serva läbiva kaldjoone ja selle horisontaalse projektsiooni vahel) on kõvades ja monoliitsetes kivimites tavaliselt 80° ümber.

Pehmetes ning tugevalt lõhelistes kivimites algab kallakus jalami lähedalt või jalamilt endalt ja astme kaldenurk võib väheneda kuni 60°.

Selliste astangute lõhkamisel on otstarbekohane puurida astangu nõlvaga paralleelsed kallakud puuraugud (joon. 69,*a*). Puuraukude paigutuse parameetrite ja laengute arvutus kallakute puuraukude puhul toimub ülaltoodud metoodika põhjal järgmiste parandustega:

arvutuslik vastupanujoon W võetakse astme jalamilt risti puurauguga;



Joon. 69. Puuraukude paigutus väikese kaldenurgaga astmes.

lõhatava kivimi maht määratakse valemiga

$$V = W\,a\,\frac{H}{\sin\alpha};$$

puuraugu topise pikkus l^t peab olema $(1 \div 1{,}5)\,W$.

Vertikaalsete puuraukude puhul väikese kaldenurgaga astmeis (joon. 96, *b*) määratakse W (vähima vastupanu joone) suurus valemiga

$$W = H\,ctg\alpha + b, \qquad (95)$$

kus H on astme kõrgus m;

α — astme nõlva kaldenurk;

b — kaugus astme ülemisest servast puurauguni, mis puurimistööde ohutuks teostamiseks võetakse 2—3 m (joon. 69, *b*).

Kuna arvutuslik vähima vastupanu joon tuleb seejuures üsna suur, siis vähendatakse laengutevahelist kaugust, et nad suudak-

sid ületada kivimi vastupanu tervikust eraldamisele. Puuraukudevahelist kaugust (a) vähendatakse, nii et see moodustab (0,6—0,3) W. Kuid sellise W ja a vahelise suhte juures halveneb kivimi purustamine.

Kui kallakutes astmetes vertikaalsete puuraukude puhul võtta $a=0{,}8\ W$, siis ühe puuraugu poolt lõhatava kivimi maht ja vajalik laengu suurus suurenevad tunduvalt. Niisugustel juhtudel moodustatakse puuraugus astme alumisel tasapinnal väikse laengu lõhkamisega laiendus (katel) suurema laengu paigutamiseks. Katla moodustamiseks kasutatava laengu suurus oleneb kivimi kõvadusest ja vajalikust katla suurusest.

Katla moodustamise laeng võetakse kuni 2 m pikkune. Kui ühekordne lõhkamine ei moodusta küllaldast katla ruumala, siis korratakse lõhkamist 2 või 3 korda.

Katla moodustamise laeng lõhatakse elektridetonaatori või detoneeriva nööriga. Laengu peale pannakse 2—4 m pikkuselt peenikest killustikku. Pärast katla moodustamist puhastatakse puurauk purustatud kivimist puurpingi torupangega (väikeste katelde puhul aga kerge torupangega käsitsi). Pärast seda laetakse katel ja osa puurauku põhilise laenguga.

Väikese kaldenurgaga astme puhul on eelistatavam kasutada kallakuid puurauke.

Lõhketööd puuraukude abil. Pärast laengute arvutust ja puuraukude paigutuse parameetrite (W, a, $l_{üp}$) määramist märgitakse kindlaks puuraukude asukohad. Praktikas tuleb sageli puurimise hõlbustamiseks nihutada puuraugu suuet märgitud punktist kõrvale. Puuraukude paigutusvõrgu muutmine 5% võrra ei nõua veel laengute ümberarvutust. Suurema muutmise puhul tuleb laengud arvutada uuesti.

Kui puuraugud on puuritud, mõõdetakse suurusi a, W ja kõigi puuraukude sügavusi (l_p) ning täpsustatakse laengu suurust. Enne laadimist koostatakse iga puuraugu kohta skits, millele kantakse laengu paigutus. Samuti kantakse skitsile laengu osade kaal ja pikkus ning inertsete vahetopiste ja topise pikkus.

Topise materjal tuleb aegsasti toimetada puuraukude juurde.

Pulbriliste lõhkeainetega laadimisel peenestatakse neid (kui esineb paakumist) puust kastides. Alguses lastakse puurauku kaks detoneeriva nööri liini ja seejärel puistatakse lõhkeainet. Pärast seda kui puurauku on puistatud umbes 30—40 kg lõhkeainet, lastakse puurauku mõõtenöör, mille otsa on seotud pliist või pronksist raskus, ja mõõdetakse laetud osa kõrgus.

Pärast lõhkeainega laadimist puistatakse puurauku topiseks inertset materjali. Puuraugu laadimise ja topistamise ajal tuleb jälgida, et ei vigastataks detoneeriva nööri liine.

Pärast puuraukude laadimise lõpetamist tõmmatakse piki aukude rida kaks detoneeriva nööri liini ja seotakse nende külge puuraukudest väljaulatuvad detoneeriva nööri otsad. Magistraal-

liinid lõhatakse kas kahe elektridetonaatoriga või kahe sütikuga.

Enne laadimise algust peavad kõik mehhanismid ja masinad (puurpingid, ekskavaatorid jne.) olema viidud ohutusse kaugusse.

Lõhatava ee eest tuleb kõrvaldada raudteed kivimi oodatava varisemise pindala ulatuses (kivimi varisemise laius on (1,5—2,5) H, ning seda mõõdetakse uuest, pärast lõhkamist moodustuvast astme nõlvast).

Enne lõhkamist lahkuvad kõik inimesed ohtlikust tsoonist (vähemalt 200 m) ja varjuvad varjendeis või muis kohtades, mis on kaitstud laialilendavate kivimikildude eest. Ohtliku tsooni piiridele pannakse punased lipud, juurdesõiduteedele aga piketid.

Puuraukudega ning katel- ja kamberlaengutega lõhkamisel, kui laadimiseks kulub rohkesti aega, lubatakse inimesi, kes ei ole laadimisega seotud, ohtlikust tsoonist välja saata enne löökpadrunite laengusse paigutust.

Esimene, hoiatav signaal antakse enne laadimise algust või löökpadrunite laengusse panemist.

Kui lõhketööde eest vastutav isik on veendunud, et inimesed on lahkunud ohtlikust tsoonist varjendeisse ja valve on välja pandud, alustatakse laadimist. Teine signaal (tavaliselt kahe 100 g padruni plahvatus 2-minutilise vahega) antakse enne lõhkamist.

15 minutit pärast lõhkamist tulevad minöörid ja vaatavad ee üle. Kui kõik laengud on plahvatanud, siis antakse kolmas, lõpusignaal.

Jaoskonna ülem või valvetehnik võtab kõigepealt kasutusele abinõud ee ohutuks muutmiseks: rippuvate tükkide kõrvaldamiseks, mis võivad alla variseda. Tehnilise juhtkonna esindaja või minöör-meister lubab töölisi tulla lõhkamise paika peale seda, kui on kindlaks tehtud, et töö lõhkamise kohal on ohutu.

Harjutusülesanne

Arvutada laengud, koostada puuraukude paigutuse skeem ja laengu skeem puuraugus järgmistel tingimustel: astmete kõrgused vastavalt 10 m, 15 m ja 20 m; kivimi kõvaduse koefitsient prof. M. M. Protodjakonovi järgi f=5, 10, 15; kivimi struktuur: monoliitne, horisontaalselt kihiline, dislotseeritud; puuraukude läbimõõt 150 ja 200 mm.

§ 35. Lõhkeaukudega lõhkamine ja «mittegabariitide» purustamine

Lõhkeaukudega lõhkamisel on kaks teisendit — tavaliste lõhkeaukudega lõhkamine ja katel-lõhkeaukudega lõhkamine. Lõhkeaukudega lõhkamist kasutatakse neil juhtudel, kui ei ole võimalik kasutada puuraukudega lõhkamise viisi.

Tavaliselt kasutatakse lõhkeauke väikese astme kõrguse — kuni 3 m — puhul, leiupaiga selektiivsel kaevandamisel, kui üksi-

kud kihid on õhukesed. Lõhkeaugud puuritakse kuni 75 mm, sagedamini aga 30—50 mm läbimõõduga.

Astme kõrgusest ja kivimi kõvadusest olenevalt võetakse vähima vastupanu joon piirides $W = (0{,}4—0{,}8)\ H$ (koefitsiendi väiksem piir kehtib kõrgematele astmetele ja kõvematele kivimitele, suurem — madalamatele astmetele ja pehmetele kivimitele). Nii näiteks võetakse kõvades kivimites 1 kuni 3 m kõrguse astme juures $W = 0{,}7$ kuni 1 m, pehmetes kivimites 0,9 kuni 1,5 m. Lõhkeaugud puuritakse 0,1—0,3 m ülepuurimisega. Lõhkeaukude-vaheline kaugus $a = (1{,}2—1{,}4)\ W$. Vaatamata kõrgendatud $\frac{a}{W}$ suhtele, puruneb kivim lõhkeaukudega lõhkamisel peenemaks ja ühtlasemalt kui puuraukudega lõhkamisel. See on tingitud tihedamast laengute paigutusest. Kivimitükkide suurus ei ületa 35—45 cm. Lõhkeaine kulu on lõhkeaukudega lõhkamise viisi puhul tavaliselt kõrgem kui puuraukudega lõhkamisel. Tööde maksumus 1 m^3 kivimi kohta on lõhkeaukudega kõrgem kui puuraukudega; katel-lõhkeaukudega on see vahepealne.

Lõhkeaukude laengute arvutamisel võib kasutada samu valemeid mis puuraukude laengute arvutamiselgi. Lõhkeaine erikulu (kg/m^3) võib määrata «Sojuzvzrõvpromi» normatiivide järgi (lisa III), võib aga arvutada ka M. M. Protodjakonovi valemiga (111).

Lõhkeaugud täidetakse tavaliselt lõhkeainega $^2/_3$ ulatuses nende pikkusest, ülejäänud osa täidetakse toppematerjaliga.

Peale selle kasutatakse lõhkeaukudega lõhkamise viisi mittegabariitsete pankade purustamiseks puuraukudega või miinistollidega lõhkamisel. Gabariitsete tükkide mõõtmed olenevad ekskavaatori kopa ja purustaja sööteava mõõtmetest (kui lõhatud kivim lastakse läbi purustaja). Maksimalne gabariitsete tükkide mõõde ei tohi ületada $0{,}8\ \sqrt[3]{E}$, kus E — ekskavaatori kopa maht m^3. Tükid, mis on suuremad, kuuluvad mittegabariitsete hulka.

Olenevalt nende mõõtmetest, puuritakse mittegabariitseisse pankadesse üks või mitu lõhkeauku. Lõhkeaugu pikkus ei ületa $^2/_3$ niisuguse panga paksusest. Lõhkeauk laetakse 0,3—0,5 pikkuse ulatuses, ülejäänud osa täidetakse toppematerjaliga.

Mittegabariitsete pankade peenestamisel lõhkeaukudega on lõhkeaine kulu 1 m^3 kivimi kohta umbes viis korda väiksem kui kivimi massiivi purustamisel.

Lõhkeauke lõhatakse nii tulega süütamise kui ka elektrilisel teel.

Sageli kasutatakse mittegabariitide purustamiseks välislaenguid. Selle viisi juures on lõhkeaine kulu kaheksa kuni kümme korda suurem kui lõhkeaukudega lõhkamisel, kuid selle-eest langeb ära lõhkeaukude puurimise vajadus. Välislaeng paigutatakse panga sellele küljele, kus ta paksus on väiksem. Soovitav on kasutada laengu paigutuseks loomulikke lohke. Kõige sagedamini

kasutatakse välislaenguiks pulbrilist lõhkeainet. Pulbrilise lõhkeaine laeng puistatakse kohale (koonusekujuliselt) mõõtkruusiga või kühvliga ning sellesse pannakse elektridetonaator või sütik. Seejärel kaetakse laeng paksu (mitte alla laengu kõrguse) toppematerjali kihiga. Välislaenguid võib lõhata tulega süütamise teel või elektriga. Tulega süütamise puhul peab lõhkamise järjekord olema selline, et varem plahvatavad laengud ei paiskaks laiali ega «puhuks ära» laenguid, mis peavad plahvatama hiljem.

Kui välislaeng tuleb paigutada panga kitsale servale, siis on otstarbekas anda talle kumulatiivne kuju.

Katel-lõhkeauke kasutatakse astmetes kõrgusega $H=4—10$ m. Vähima vastupanu joon võetakse võrdseks $W=0{,}8\,H$, lõhkeaukude-vaheline kaugus $a=(1—1{,}1)\,W$, ülepuurimine $l_{üp}=0{,}1\,W$.

Katel-lõhkeaukude laenguid võib arvutada samal meetodil kui miinistollide laenguidki, sest mõlemal juhul on laengud koondatud ja asuvad astme põhja tasapinnal. Võib ka kasutada «mahu» valemit (92). Siis q_m väärtus võetakse «Sojuzvzrõvpromi» normatiivide järgi (lisa IX).

Et 6 m kõrgustes astmetes teha X—XVI kategooria kivimitesse põhilaengu jaoks küllaldase suurusega katelt, tuleb lõhata 2—3 korda.

Pärast iga lõhkamist (katla moodustamiseks) puhutakse lõhkeauk suruõhuga läbi, et jahutada ja puhastada seda peenest kivimist. Järgnev laadimine ei toimu enne kui 15 minutit pärast esimest lõhkamist, et lõhkeaugu seinad jõuaksid jahtuda.

Katel-lõhkeaukudesse põhilaengu paigutamisel ei laeta mitte üksnes katelt, vaid ka silindriline lõhkeaugu osa $^2/_3$ ulatuses selle pikkusest. Sageli tehakse veel teine katel ka lõhkeaugu keskele, et paremini purustada kivimit astme ülemises osas.

Katel-lõhkeauke lõhatakse elektridetonaatoritega või detoneeriva nööriga.

LAENGUTE ARVUTUS JA LÕHKETÖÖD MAA ALL

§ 36. Laengute arvutus ja lõhkeaukude paigutus kaeveõõnsuste rajamisel ühe vaba pinna puhul

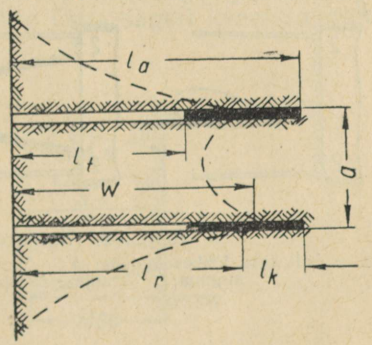
Lõhkeaukude paigutuse põhiprintsiibid. Kaeveõõnsuste rajamisel ühtlastes kivimites (kveerišlaagid, šahtid jms.) on tööeed valdavas enamikus ühe vaba pinnaga. Laengute kivimisse paigutamiseks puuritakse sinna lõhkeaugud, mis on suunatud risti või kaldu ee pinnaga. Laengu pikkus moodustab lõhkeaugu pikkusest $^1/_3$ kuni $^2/_3$ (harva kuni $^4/_5$). Topisena kasutatakse savi ja liiva segu vahekorras 1 : 1 või 3 : 1, sõmeŕat šlakki jm.

Lõhkeaugus olev laeng, eriti kui lõhkeauk on risti ee pinnaga ja vähima vastupanu joon ühtib lõhkeaugu teljega, purustab kivimit ainult oma eesmises osas. Lõhkeaugu põhjaosa, mõnikord isegi suures ulatuses, jääb purustamata kivimisse karikakujulisena.

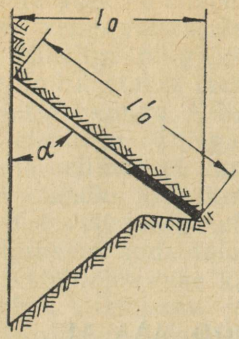
Lõhkeaukudesse üksteise lähedale paigutatud laengute koosmõjul tuleb «karika» pikkus l_k väiksem kui üksiku laengu lõhkamisel (joon. 70); see oleneb kivimi kõvadusest, lõhkeaukude vahekaugusest, lõhkeauku paigutatud laengu läbimõõdust ja lõhkeaine võimsusest.

Sõltuvalt sellest, et lõhkeaukudesse paigutatud laengud ei purusta kivimit kogu augu pikkuses, kujuneb ee edasinihe, s. t. rajamissamm l_r lõhkamise tulemusel lõhkeaugu sügavusest l_a väiksemaks.

Lõhkeaugu sügavuseks nimetatakse lõhkeaugu pikkuse (l'_a) projektsiooni kaeveõõnsuse teljele (joon. 71), s. t.



Joon. 70. Vaba pinnaga perpendikulaarsetes lõhkeaukudes asetsevate laengute toime:
l_t — topise pikkus; a — lõhkeaukude vahekaugus; W — kaugus laengu keskelt vaba pinnani.



Joon. 71. Vaba pinnaga nurga all $\alpha<90°$ puuritud lõhkeaugus asuva laengu toime.

$$l_a = l_a' \cdot \sin \alpha. \quad (96)$$

Rajamissammu suhet lõhkeaugu sügavusse

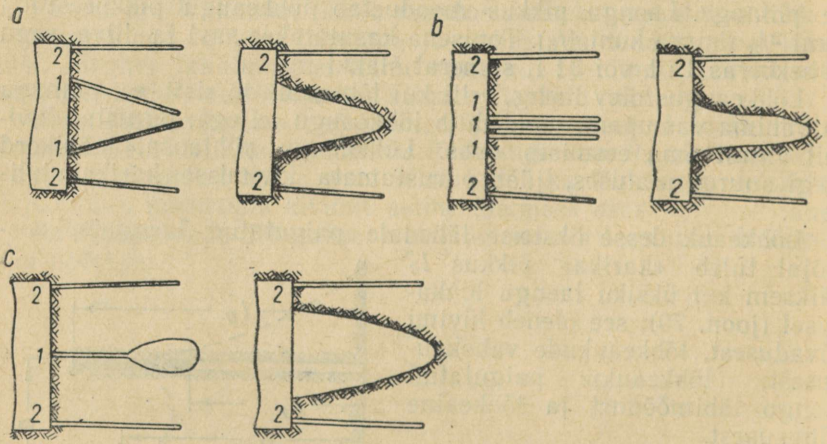
$$\frac{l_r}{l_a} = \eta \quad (97)$$

nimetatakse lõhkeaugu kasutuskoefitsiendiks.

Lõhkeaugu kasutuskoefitsienti võib suurendada ees teise, täiendava vaba pinna moodustamisega algmurde abil.

Algmurde võib moodustada rea kaldu asetsevate lõhkeaukude (joon. 72, *a*), paralleelsete lähislõhkeaukude (joon. 72, *b*) või 1 või 2 katel-lõhkeaugu (joon. 72, *c*) lõhkamise teel.

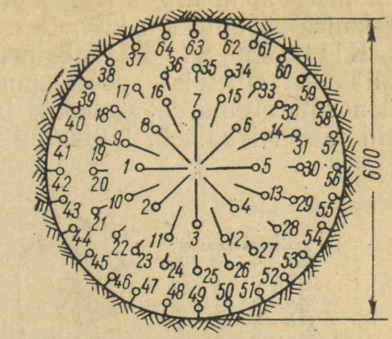
Oma kujult jaotatakse algmurded kolme põhitüüpi: 1) lehtrikujulised ja püramidaalsed, 2) kiilukujulised, 3) pilukujulised ja prismalised.

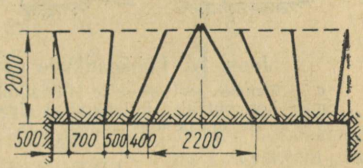


Joon. 72. Algmurde moodustamise viisid:
a — kallakate lõhkeaukudega; *b* — paralleelsete lähislõhkeaukudega; *c* — katel-lõhkeauguga; *1* — algmurde-lõhkeauk; *2* — järelmurde-lõhkeauk.

Lehtrikujuline algmurre vertikaalse šahti ees moodustatakse 5—8 lõhkeaugu lõhkamisel, mis on asetatud ringjoonele ning koonduvad kaldu ringi tsentrisse (joon. 73). Algmurde-lõhkeaukude lõhkamise järel teise vaba pinna olemasolul teostatakse teise rea järelmurde-lõhkeaukude lõhkamine, mis

laiendavad algmurdelehtrit. Pärast järelmurde-lõhkamist lõhatakse kolmanda rea lõhkeaugud ja pärast seda neljanda rea kontuurlõhkeaugud, mis annavad kaeveõõnsuse seinale vajaliku kontuuri. Lehtrikujulisi algmurdeid kasutatakse peaasjalikult kaevanduste ümmarguse põiklõikega vertikaalšahtide rajamisel mitmesuguse kõvadusega kivimites.

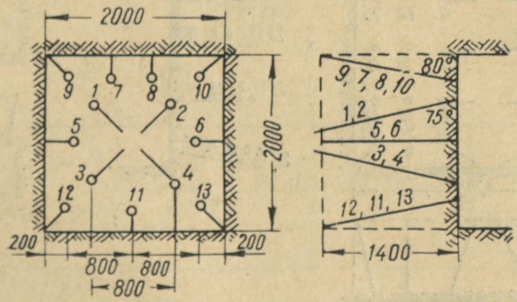




Joon. 73. Lõhkeaukude paigutusskeem vertikaalse šahti ees lehtrikujulise algmurde moodustamisel:

1—8 — algmurde-lõhkeaugud; *9—36* — järelmurde-lõhkeaugud; *37—64* — kontuurlõhkeaugud.

Püramidaalne algmurre kujutab enesest lehtrikujulise algmurde erikuju. Algmurre moodustatakse kolme-nelja lõhkeaugu lõhkamisega, mis on asetatud kolmnurga või ruudu tippudesse ja on suunatud kaldu tsentrisse. Joon. 74 on näidatud püramidaalset algmurret moodustavate lõhkeaukude paigutuse skeem keskmise kõvadusega kivimites. Nelja algmurde-lõhkeaugu lõhkamise järel tekib püramiidikujuline lehter, mis moodustab teise täiendava vaba pinna, soodustades järelmurde- ja kontuurlõhkeaukude plahvatuse tööd. Kaeveõõnsuse suure ristlõike puhul ja samuti ka kõvemates kivimites paigutatakse algmurde- ja kontuurlõhkeaukude vahele mitu järelmurde-lõhkeauku. Seda algmurret kasutatakse üsna sageli kveeršlaagide

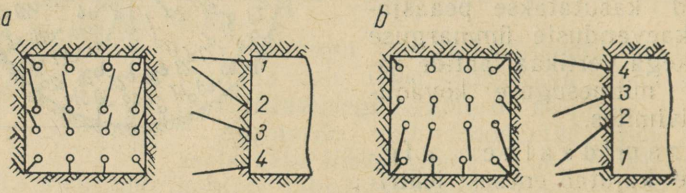


Joon. 74. Lõhkeaukude paigutusskeem kveeršlaagi ees püramidaalse algmurde moodustamisel:

1—4 — algmurde-lõhkeaugud; *5—13* — järelmurde-lõhkeaugud.

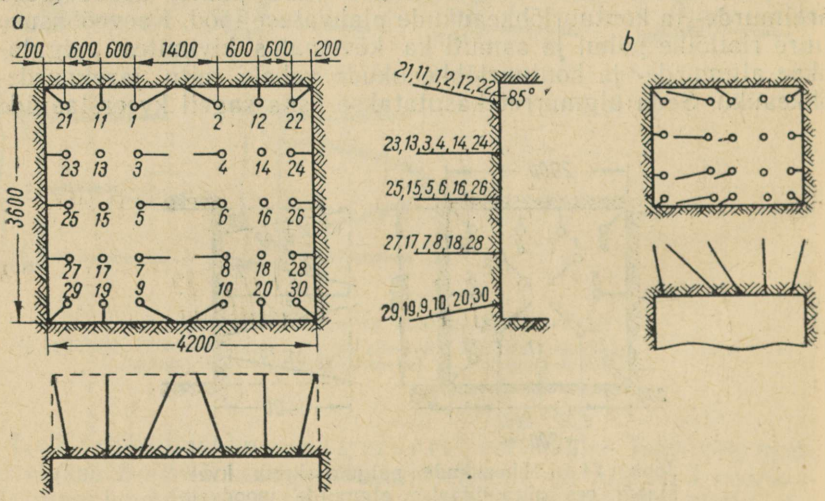
rajamisel kompaktsetes, monoliitsetes, äärmiselt kõvades kuni keskmise kõvadusega kivimites.

Kiilukujuline algmurre moodustatakse 3—4 paari kallakult teineteise poole puuritud lõhkeaukude lõhkamisega. Olenevalt algmurde asetusest ja kaldest, eristatakse horisontaalseid ja vertikaalseid kiilukujulisi algmurdeid.



Joon. 75. Lõhkeaukude paigutusskeemid kveerslaagis:
a — ülemise horisontaalse kiilukujulise algmurde moodustamisel; *b* — alumise horisontaalse kiilukujulise algmurde moodustamisel; *1* ja *2* — algmurde-lõhkeaugud; *3* ja *4* — järelmurde-lõhkeaugud.

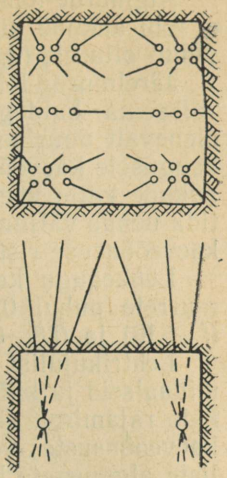
Horisontaalseid kiilukujulisi algmurdeid kasutatakse peamiselt kveerslaagides, ülemist algmurret (joon. 75, *a*) kasutatakse kivimite kalde puhul ee poolt, alumist (joon. 75, *b*) kivimite kalde puhul ee poole. Võrdlemisi kitsastes, kuid kõrgetes kaeveõõnsustes kasutatakse mõnikord tsentraalset horisontaalset algmurret, mille puhul algmurde-lõhkeaugud asetatakse ee keskele.



Joon. 76. Lõhkeaukude paigutusskeemid vertikaalse kiilukujulise algmurde moodustamisel.

Vertikaalseid kiilukujulisi algmurdeid kasutatakse välisstrekkide rajamisel järskudes kihtides, kambrite ja kveerslaagide rajamisel. Vertikaalne kiilukujuline algmurre võib olla tsentraalne (joon. 76, *a*) või külgmine (joon. 76, *b*). Algmurde-lõhkeaugud puuritakse pehmematesse kivimikihtidesse. Kui üks kaeveõõnsuse külg on selgelt väljendatud klivaažiga, siis võib vertikaalset külgmist algmurret moodustada ühe algmurde-lõhkeaukude rea abil.

Algmurde kuju ja selle asetus, kaldenurkade suurus ja algmurde-lõhkeaukude arv oleneb nii kivimite struktuurist ja kõvadusest kui ka lõhkeaukude puurimise hõlpsusest. Nii tuleb väikese ristlõikega kaeveõõnsustes vähendada algmurde-lõhkeaukude kallet või nende pikkust. Lõhkeaukude puurimisel raskete sammaspuurvasaratega on vaja kõikidest lõhkeaukude asetussuundadest valida selline, mille puhul samba ümberpaigutuste arv on minimaalne (joon. 77).



Joon. 77. Lõhkeaukude paigutusskeem vertikaalse kiilukujulise algmurde moodustamiseks lõhkeaukude puurimisega kahest samba asendist.

Tabelis 17 on toodud algmurde-lõhkeaukude asetusparameetrid kiilukujuliste algmurrete puhul.

Tabel 17 on koostatud lõhkeaine jaoks töövõimega $p=350—380$ cm³ padrunite läbimõõdu $d=32$ mm puhul. Padrunite teistsuguse läbimõõdu d_x või teistsuguse töövõime p_x korral võib kaugust algmurde-lõhkeaukude paaride vahel leida valemist

$$a_x = a \frac{d_x}{32} \sqrt{\frac{p_x}{380}} \quad . \tag{98}$$

Tabel 17

Kõvaduskoefitsient prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi	Kaugus *a* algmurde-lõhkeaukude paaride vahel meetrites	Kaldenurk kraadides kuni	Minimaalne algmurde-lõhkeaukude arv
4—6	0,5	70	4
kuni 10	0,4	65	6
„ 16	0,3	60	6
kuni 20	0,2	55	8

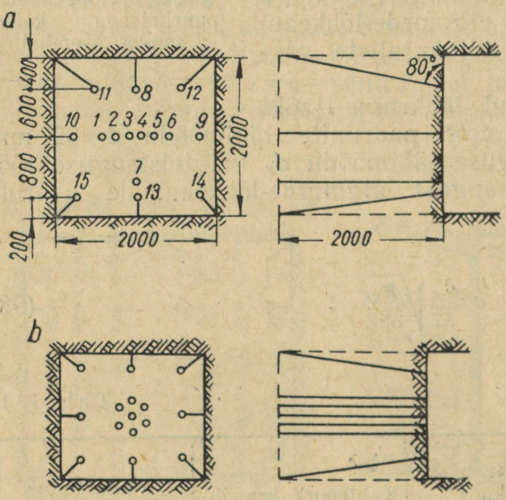
Algmurde-lõhkeaukudele vajaliku kaldenurga kindlustamiseks ei tohi aukude pikkus kiilukujuliste ja püramidaalsete algmurrete puhul olla üle (0,5—0,6) B, kus B on kaeveõõnsuse laius.

Järelmurde-lõhkeaugud puuritakse algmurde-lõhkeaukudest väiksema kaldega, kontuurlõhkeaukude suudmed paigutatakse, olenevalt puurimistingimustest ja kivimite kõvadusest, 10—20 cm kaugusele kaeveõõnsuse laest, külgedest ja põhjast. Kontuurlõhkeaukude kalle võetakse vastassuunaline, kuid seejuures tuleb vältida nende väljumist kaeveõõnsuse kontuurist, et mitte suurendada kaeveõõnsuse ristlõiget üle projekteeritud mõõtmete.

Lõhkeaugu kasutuskoefitsient on lehtri- ja kiilukujuliste algmurrete puhul 0,7—0,8 kõvades ja äärmiselt kõvades kivimites ($f \geqslant 10$) ja 0,8—0,9 keskmise kõvadusega kivimites ($f=6$) [1].

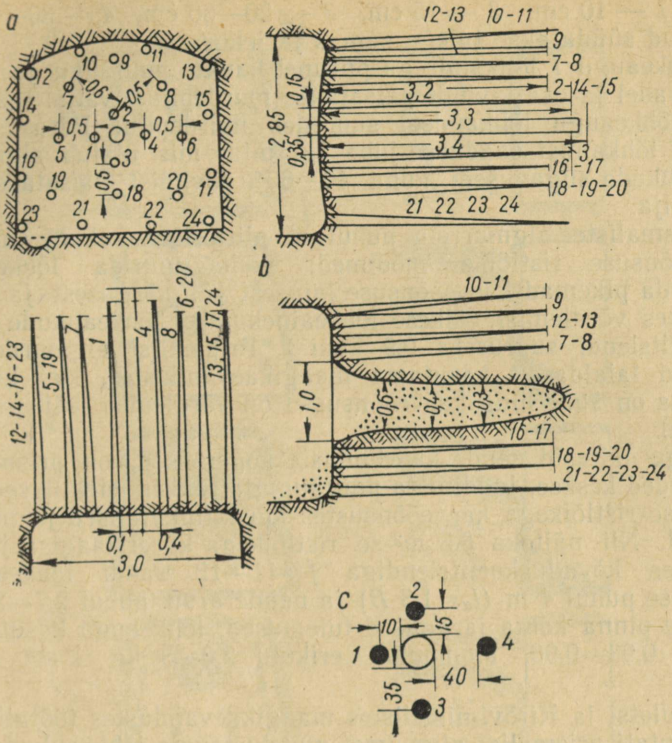
Lehtrikujulisi algmurdeid kasutatakse šahtide rajamisel, püramidaalseid ja kiilukujulisi algmurdeid kveeršlaagide ja välisstrekkide rajamisel. Gaasiohututes kveeršlaagides, strekkides ja tõuskaeveõõnsustes võib kasutada peale püramidaalsete ja kiilukujuliste algmurrete ka teisi algmurdeid (pilukujulisi, prismalisi, algmurdeid katel-lõhkeaukudega).

Pilukujuline algmurre moodustub mitme paralleelse lõhkeaugu lõhkamisel, mis on paigutatud 1 või 2 ritta (joon. 78, *a*). Olenevalt kivimite kõvadusest võetakse kauguseks lõhkeaukude vahel 5—15 cm. Lõhkeaugud laetakse üle ühe. Laadimata lõhkeaugud loovad täiendavad vabad pinnad, mis soodustavad naabruses asuvate laengute mõju. Pilukujulist algmurret kasutatakse keskmise kõvadusega kivimites väikese ristlõikega kaeveõõnsuste rajamisel, kus kallakute lõhkeaukudega algmurrete moodustamine pole võimalik või ei ole efektiivne.



Joon. 78. Lõhkeaukude paigutusskeem:
a — pilukujulise algmurde puhul; *b* — prismalise algmurde puhul; *1—6* — algmurde-lõhkeaugud.

[1] Sellised lõhkeaugu kasutuskoefitsiendi väärtused saadakse küllalt võimsa ja brisantse lõhkeaine kasutamisel (dünamiit, ammoniidid nr. 7 ja 6). Väikese võimsusega lõhkeainete puhul, mida kasutatakse gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes, on lõhkeaugu kasutuskoefitsient väiksem.



Joon. 79. Lõhkeaukude paigutusskeem prismalise algmurde moodustamiseks tsentris asuva laadimata puuraugu kasutamisega:

a — lõhkeaukude paigutusskeem; *b* — ee seisukord pärast algmurde-lõhkeaukude *1—4* lõhkamist; *c* — algmurde-lõhkeaukude paigutus.

Prismalist algmurret kasutatakse kivimites alatès keskmisest kõvadusest kuni äärmiselt kõvadeni väikese ja keskmise ristlõikega kaeveõõnsustes (4—8 m²). Prismaline algmurre (joon. 78, *b*), nagu pilukujulinegi, moodustatakse 5—6 paralleelse lähislõhkeaugu lõhkamisel, mis on kõige sagedamini asetatud ee tsentrisse.

Häid tulemusi annab prismaline algmurre vaba puurauguga ja algmurde-lõhkeaukude lõhkamisega järjekorras (joon. 79). Sel juhul puuritakse ligikaudu ee keskele puurauk läbimõõdus 80—100 mm; puurauk jääb laadimata. Puuraugu ümber, sellest erinevatele kaugustele puuritakse 3—4 normaalse läbimõõduga algmurde-lõhkeauku. Kaugus puuraugu ja algmurde-lõhkeaukude vahel oleneb kivimi kõvadusest ja lõhkeaine kvaliteedist. Ammoniidi, töövõimega 280 cm³, kasutamisel ja kivimite kõvaduskoefitsiendi $f=8—12$ puhul on kaugus puuraugust lõhkeaukudeni järg-

mine: *1* — 10 cm, *2* — 15 cm, *3* — 20—30 cm, *4* — 30—40 cm. Laengud süüdatakse tulega samas järjekorras.

Lõhkeaugu *1* lõhkamisega puruneb kivim puuraugu ja lõhkeaugu vahel ja osa kivimit paisatakse murdepilust välja. Iga järgmise lõhkeaugu lõhkamisel suureneb murdepilu. Pärast lõhkeaugu *4* lõhkamist saadakse juba lai pilu, mis ulatub algmurdelõhkeaukude sügavuseni, kuna 40—60% kivimist paisatakse sellest välja.

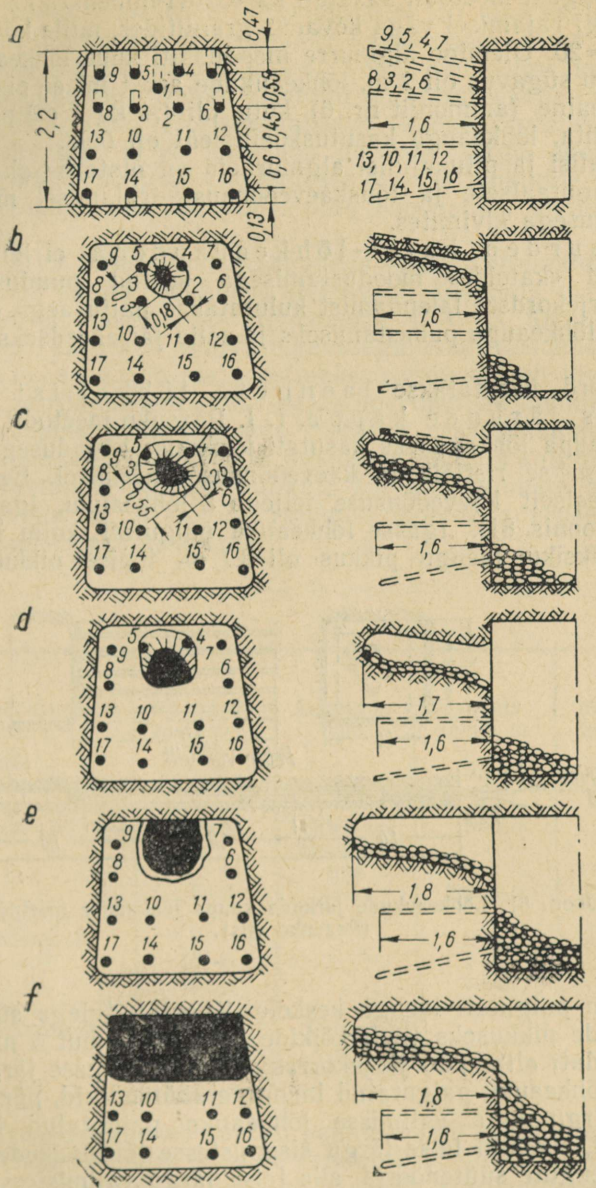
Prismaliste algmurrete puhul ei piira lõhkeaukude sügavust kaeveõõnsuse ristlõike mõõtmed; võib puurida lõhkeaugud 1,5 korda pikemad kaeveõõnsuse laiusest või kõrgusest ja saada seejuures võrdlemisi väikese lõhkeainekuluga lõhkeaukude kasutuskoefitsiendi suuruseks 0,9 kuni 1. Prismalisi algmurdeid on hakatud laialdaselt kasutama maagikaevandustes, kus kivimite kõvadus on suur ning kaeveõõnsused on võrdlemisi väikese ristlõikega.

Nagu näitasid nende kaevanduste kogemused, on prismalised algmurded keskse, laadimata puurauguga rohkem efektiivsed isegi keskmise ristlõikega kaeveõõnsustes kui kiilukujulised ja püramidaalsed. Nii näiteks 8,5 m²-se ristlõikega kveeršlaagi rajamisel kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f = 11—12$ saadi lõhkeaukude sügavuse puhul 4 m ($l_a = 1{,}3\ B$) ja nende arvu puhul 2,7—3 auku 1 m² ee pinna kohta järgmised tulemused: lõhkeaugu kasutuskoefitsient 0,93—0,96, ammoniidi erikulu 2,6—3 kg 1 m³ kivimi kohta.

Inguletsi ja Kirovi-nimelistes maagikaevandustes töötati välja ja juurutati prismalist algmurret moodustavate lõhkeaukude asetuse ja lõhkamise teised viisid, kasutamata tsentraalset puurauku. 3—6 algmurde-lõhkeauku paiknesid paralleelselt ee ülemises osas ja puuriti ee pinna suhtes kaldega 75—80° suunaga ülespoole (joon. 80). Need laeti peaaegu kogu oma pikkuses (laadimata jäi 15—20 cm pikkune osa lõhkeaugu suudmest).

Ammoniidipadrunitele tehti pikuti lõiked sisse ja tihendati lõhkeaugus laadimisvardaga. Löökpadrun asetati augu põhjast arvates teisena. Süütamine viidi läbi tulega.

Esimese algmurde-lõhkeaugu lõhkamise järel moodustus kogu augu pikkuses silindriline katel. Lõhkegaaside survega paisati purustatud kivim sellest välja. Seda soodustasid ka lõhkeaugu kalle ja löökpadruni asetus, mille puhul lööklaine ja gaaside juga on suunatud lõhkeaugu suudme poole. Ülejäänud algmurde-lõhkeaugud lõhati numbrite järjekorras, laiendades järjekindlalt murdeava (joon. 80). Lõhkamisel pehmetes ja keskmise kõvadusega maakides saadi selle viisiga Inguletsi kaevanduses lõhkeaugu kasutuskoefitsiendiks 1. Lõhkeaine kulu ja lõhkeaukude arv oli aga 20—30% suurem, kui see oleks võinud olla samades kivimites kiilukujulise algmurde ja lõhkeaukude väiksema pikkuse puhul.



Joon. 80. Inguletsi maagikaevanduses kasutatav lõhkeaukude paigutusskeem paralleelsete, kaldega puuritud algmurde-lõhkeaukude järjestikuse lõhkamisega (ee pindala 4,6 m², maagi kõvaduskoefitsient 3—4):

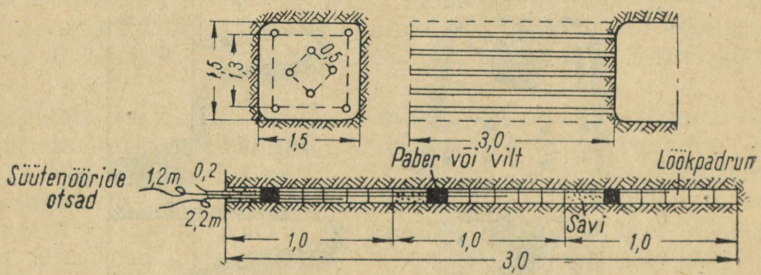
a — lõhkeaukude paigutus; *b* — esi pärast lõhkeaugu *1* lõhkamist; *c* — esi pärast lõhkeaukude *1* ja *2* lõhkamist; *d* — esi pärast lõhkeaukude *1—3* lõhkamist; *e* — esi pärast lõhkeaukude *1—5* lõhkamist; *f* — esi pärast lõhkeaukude *1—9* lõhkamist.

Samasugust meetodit kasutati ka Kirovi-nimelises kaevanduses kveeršlaagi rajamisel väga kõvades graniitides, mille kõvaduskoefitsient $f=20$. Ülemine algmurre moodustati kuue lõhkeaugu abil. Lõhkeaugu sügavus oli 2 m, lõhkeaukude arv 1 m² ee pinna kohta 4,4. Lõhkeaine (ammoniit nr. 6) kulu oli 4,4 kg 1 m³ purustatud kivimi kohta, lõhkeaugu kasutuskoefitsient oli 0,98.

Prismalisi ja pilukujulisi algmurdeid on otstarbekohane kasutada horisontaalsete ja tõuskaeveõõnsuste rajamisel mitte väga suure sitkusega kivimites.

Algmurded katel-lõhkeaukudega ei leia laiemat kasutamist «katelde» moodustamisega seotud puuduste tõttu. Pärast järjekordset laiendamist kulutatakse palju aega ee tuulutamiseks, lõhkeaugu puhastamiseks ja selle järjekordseks laadimiseks.

Mõnikord kasutatakse laengute lõhkamist lõhkeaukudes järkude kaupa. I. I. Pazenko meetodit laengute järkude kaupa lõhkamiseks kasutati keskmise kõvadusega maagikihis 2,25 m²-se ristlõikega kaeveõõnsuse rajamisel. Eesse puuriti paralleelselt kaeveõõnsuse teljega 8 lõhkeauku, igaüks 3 m pikkune (joonis 81). Igasse lõhkeauku paigutati kolm iseseisvat laengut. Üksiku laengu pikkus oli 0,7 m, topise pikkus 0,3 m.



Joon. 81. Lõhkeaukude järkude kaupa lõhkamise meetod (Pazenko viis).

Löökpadrun paigutati laengu keskele. Kasutati tulega süütamist. Süütenööride pikkuseks võeti kõikide laengute puhul 3 m. Süütenöörid süüdati alltoodud järjekorras: alguses esimese järgu nelja sisemisse lõhkeauku paigutatud laengute süütenöörid, pärast seda esimese järgu nelja välimisse lõhkeauku paigutatud laengute süütenöörid, seejärel teise järgu sisemistesse lõhkeaukudesse paigutatud laengute süütenöörid, siis teise järgu välimistesse lõhkeaukudesse paigutatud laengute süütenöörid jne. Esimese järgu sisemistesse (algmurde-) lõhkeaukudesse paigutatud laengute lõhkemise järel tekkis algmurre sügavusega 1 m; pärast esimese järgu välimiste lõhkeaukude lõhkamist saadi ee edasinihe 1 m võrra jne.

Tänu laengute asetusele järkude kaupa oli lõhatavate kivimite sulutusaste 3-meetriste lõhkeaukude kasutamisel sama suur kui meetripikkuste lõhkeaukude puhul, kuna lõhkeaugu kasutuskoefitsient oli suurem. Pazenko meetodit on otstarbekohane kasutada tõuskaeveõõnsustes. Horisontaalsetes kaeveõõnsustes järkude kaupa lõhkamisel ei või kasutada üle kahe järgu, löökpadrunid tuleb paigutada laengute kaugemasse otsa, et lööklaine oleks suunatud lõhkeaugu suudme poole ning soodustaks kivimi eemalepaiskamist.

Suure arvu erinevate viitaegadega elektridetonaatorite puhul võib järkude kaupa lõhkamist efektiivselt kasutada vertikaalšahtide rajamisel lõhkeaukude sügavusega 4—6 m. Samuti on otstarbekohane kasutada lühiviittegevusega elektridetonaatoreid.

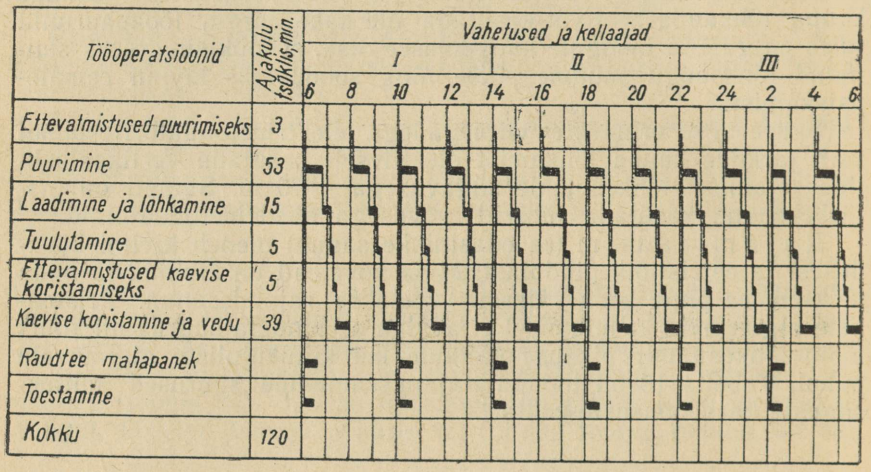
R a j a m i s s a m m (ee edasinihke samm) oleneb kivimi kõvadusest ja ee ristlõikepindalast. Mida kõvemad on kivimid ja mida väiksem ee pind, seda väiksem võetakse rajamissamm. Prismaliste algmurrete kasutamisel ei avalda ee pindala suurus nii suurt mõju lõhkeaukude pikkuse valikule kui kiilukujuliste algmurrete puhul. Tabelis 18 on toodud rajamissammude suurused mitmesuguste kaeveõõnsuste kohta.

Tabel 18

Kaeveõõnsuse nimetus	Kõvaduskoefitsient	Algmurde tüüp	Rajamissamm m	Keskmine lõhkeaukude kasutuskoefitsient
Šahtid (S=20—50 m²)	12—6	Lehtri- või kiilukujuline	1,2—2,5	0,8—0,9
Samad	6—3	Sama	2,0—3,0	0,8—0,9
Horisontaalsed ja kallakkaeveõõnsused S=4—12 m²)	12—6	„	1,2—2	0,8—0,9
Samad	6—3	„	2—3	0,8—0,9
Horisontaalsed ja tõuskaeveõõnsused	20—6	Prismaline	2—4	0,9—1,0

Rajamissamm oleneb samuti rajamistööde organiseerimise viisist ja mehhanismidest. Šahtide rajamisel võetakse käesoleval ajal tsükli kestuseks 6 tundi, harvem 12 tundi. Horisontaalsete kaeveõõnsuste rajamisel võetakse tsükli kestuseks 2 vahetust (2 tsüklit ööpäevas), üks vahetus (3—4 tsüklit ööpäevas) ja 0,5—0,25 vahetust (2—4 tsüklit vahetuses). Mida lühem on tsükkel, seda väiksem on ka rajamissamm. Tsükli kestus saadakse järgmiste protsesside

kestuse põhjal: lõhkeaukude puurimine, nende laadimine ja lõhkamine, ee tuulutamine, lahtimurtud kivimi koristamine, kaeveõõnsuse toestamine ja raudtee mahapanek. Mõningaid nendest töödest võib teha üheaegselt (joon. 82), teisi järgemööda.



Joon. 82. Kveerŝlaagi rajamisel Tšehhoslovakkias kasutatud tööde organiseerimise tsükligraafik (4 tsüklit 8-tunnilise vahetuse jooksul).

Puurimis-lõhketööde kompleksi arvutamisel võib rajamissammu valida tabelist 18 või graafikust (joon. 83), mis on koostatud Donbassi kiirrajamismeetodeid arvestades. Nagu graafikust nähtub, kõigub lõhkeaukude ratsionaalne sügavus šahtide rajamisel väga suurtes piirides. Graafiku koostamisel on arvestatud ajakulu (taandatuna 1 m šahti rajamisele) ainult puurimis-lõhketöödeks. Kui arvestada ka ajakulu teistele töödele (kivimi laadimine jm.), siis lõhkeaukude ratsionaalse sügavuse piirid mõningal määral kitsenevad.

Laengute arvutus. Lõhkeaukudesse paigutatavate laengute arvutus viiakse läbi nn. mahu valemi järgi:

$$Q_r = qSl_r = qSl_a\eta, \qquad (99)$$

kus Q_r on lõhkeaukudesse paigutatavate laengute summaarne kaal rajamissammu kohta kogu ee ulatuses kg,

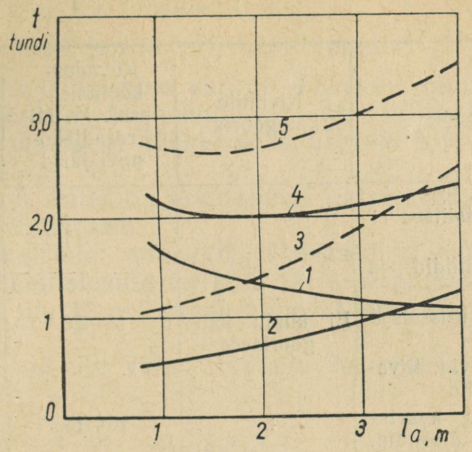
q — lõhkeaine erikulu kg/m^3,

S — ee pindala m^2,

l_r — rajamissammu pikkus, s. t. ee edasinihe lõhkamise tagajärjel m,

l_a — lõhkeaugu sügavus m,

η — lõhkeaugu kasutuskoefitsient.



Joon. 83. Graafikud lõhkeaukude ratsionaalse sügavuse määramiseks šahtide rajamisel:

1 — lõhketöödele kuluv aeg rajatava šahti 1 m kohta olenevalt lõhkeaukude sügavusest; *2* — puurimistööde kestus kiltkivides; *3* — sama liivakivides; *4* — puurimis-lõhkamistööde kestus kiltkivides rajatava šahti 1 m kohta; *5* — sama liivakivides.

Lõhkeaine erikulu 1 m³ kivimi kohta oleneb kivimi kõvadusest ja selle sulutuse astmest, lõhkeaine võimsusest ja reast teistest faktoritest. Lõhkeaine erikulu suuruse määramiseks kasutatakse empiirilisi valemeid. Need valemid ei arvesta aga looduslike tingimuste mitmekesisust ning tehnilise iseloomuga faktoreid, mis mõjutavad lõhkeaine erikulu. Seepärast annab arvutus empiiriliste valemite järgi ühtedes tingimustes küllaltki täpseid lõhkeaine erikulu väärtusi, teistes aga vajalikest suurustest tunduvalt kõrvalekalduvaid.

Seetõttu tuleb empiiriliste valemite järgi arvutamisel saadud lõhkeaine erikulu väärtusele vaadata kui orienteerivale, mida tuleb täpsustada katselõhkamistega antud kaeveõõnsuses.

Lõhkeainete erikulu võib võtta ka praktiliste andmete alusel või vastavalt lisale X (end. NSV Liidu Söetööstuse Ministeeriumi normatiivid). Kuid ka neid andmeid peab vaatama kui orienteerivaid, mida tuleb täpsustada antud kaeveõõnsuse jaoks esimeste lõhkamiste tulemuse põhjal.

Empiirilistest valemitest toome prof. Protodjakonovi valemid. Need paistavad silma oma lihtsuse poolest ja annavad rahuldavaid tulemusi võrdlemisi laiades kivimite kõvaduse ja ee pindala piirides, kui lõhkeaukude pikkus ei ole üle 0,5—0,6 kaeveõõnsuse laiusest ja seejuures mitte üle 2—2,5 m.

Tabel 19

Kivimid	Kivimite kategooria	Kõvadus-koefitsient prof. M. M. Protodjakonovi järgi	q_1 suurus kg/m³
Väga kõvad kvartsiitsed liivakivid Väga kõvad graniidid ja gneisid Basalt ja teised kristalsed kivimid Eriti kõvad lubjakivid, liivakivid ja dolomiidid	Ei kuulu kategooriasse	15—20	1,2—1,5
Tihedad graniidid, kvartsliivakivid ja dioriidid. Peeneteralised monoliitsed liivakivid ja lubjakivid, gneisid	I	10—15	1,0—1,1
Mitte kõva graniit, tihedad liiva- ja lubjakivid. Rähad, kõvad marmorid ja dolomiidid	II	8	0,7—0,8
Kõvad saviliiva- ja liivakiltkivid. Kildastunud ja saviliivakivid. Kõvad savikiltkivid püriidi suletistega Pehmed liiva- ja lubjakivid	III	4—6	0,4—0,6
Keskmise kõvadusega savi- ja süttsisaldavad kiltkivid, tihe mergel Nõrgad liivakiltkivid	IV	2—3	0,2—0,3
Lõhelised, kobestatud lubjakivid ja dolomiidid. Nõrgad savi- ja süttsisaldavad kiltkivid. Antratsiit, kõva kivisüsi	V	2	0,15

Ühe vaba pinnaga ete jaoks esitas prof. M. M. Protodjakonov lõhkeaine erikulu määramiseks kaks valemit:

$$q = 0{,}4e\left(\sqrt{0{,}2f} + \frac{1}{\sqrt{S}}\right)^2 \qquad (100)$$

ja

$$q = 0{,}4e \cdot 2{,}7\sqrt{\frac{f}{S}} \approx 1{,}1e\sqrt{\frac{f}{S}}, \qquad (101)$$

kus S on ee pindala m²,

f — kivimite kõvaduskoefitsient,

e — töövõime koefitsient, mis võrdub $\frac{525}{p}$ (p on seatinaploki laienemine valitud lõhkeaine puhul, 525 — seatinaploki laienemine M. M. Protodjakonovi poolt standardseks lõhkeaineks võetud 93%-lise dünamiidi puhul).

Teist valemit (101) on arvutamisel lihtsam kasutada, kuid see on esimesest ebatäpsem.

Mõlemad valemid annavad lähedased tulemused, kui kivimite kõvaduskoefitsiendid on kuni 12 ja ee pindala 6—12 m². Ee pindala puhul üle 12 m² annab teine valem väiksemad q väärtused.

Lõhkeaine erikulu võib arvutada ka prof. N. M. Pokrovski valemi järgi:

$$q = q_1 f v e, \qquad (102)$$

kus q_1 on normaalne lõhkeaine erikulu (lõhkeaine hulk, mis on vajalik 1 m³ kivimi väljapaiskamiseks plahvatuse mõjul), mis oleneb kivimite omadustest (tabel 19);

f — kivimite struktuurikoefitsient (tabel 20);

v — lõhatava kivimi sulutuskoefitsient;

e — lõhkeaine töövõime koefitsient,

Tabel 20

Kivimite iseloomustus	f
Sitked, elastsed, poorsed	2
Dislotseeritud, korrapäratu lasuvustingimustega ja väikeste pragudega	1,4
Kiltja tekstuuriga ja muutuva kõvadusega, kihilisusega risti lõhkeaukude suunale	1,3

$$e = \frac{380}{P},$$

kus P on kasutatava lõhkeaine töövõime, 380 — N. M. Pokrovski poolt standardseks lõhkeaineks võetud 62%-lise dünamiidi töövõime.

Kivimi sulutuskoefitsient iseloomustab lõhkamisele kuuluva kivimiosa asetust vaba pinna suhtes, mille poole liigub lõhatav kivim. Kahe vaba pinna puhul soovitab N. M. Pokrovski sulutuskoefitsiendi väärtuseks võtta $v = 1{,}2—1{,}5$.

Ühe vaba pinna puhul soovitab ta võtta

$$v = \frac{12{,}5}{\sqrt{S}}, \qquad (102, a)$$

kus S on ee pindala m^2.

Meie vaatlustulemuste kohaselt ja praktika andmete põhjal mõjutab sulutuskoefitsiendi suurust mitte ainult ee pindala suurus, vaid ka lõhkeaukude sügavus. Seetõttu on ühe vaba pinnaga ete jaoks sulutuskoefitsienti parem määrata valemist

$$v = \frac{3 l_a}{\sqrt{S}}. \qquad (102, b)$$

Seda valemit võib kasutada kveerslaagi-tüüpi horisontaalsetes kaeveõõnsustes, kui suhe $\frac{l_a}{\sqrt{S}}$ on 0,5 kuni 1,5 piirides. Teiste kaeveõõnsuste tüüpide jaoks võib sulutuskoefitsiendi võtta tabelist 21.

Tabel 21

Kaeveõõnsuse nimetus	$\frac{l_a}{\sqrt{S}}$	Sulutus-koefitsient v
Ühe vaba pinnaga horisontaalsed kaeveõõnsused kiilu- ja lehtrikujulise algmurde puhul	0,5—0,7	1,7—2
	0,7—1,0	2,0—2,5
	1,0—1,2	2,5—3
	1,2—1,5	3—4
Vertikaalšahtid kiilu- ja lehtrikujulise algmurde puhul	0,5—0,7	2—2,5
Kahe vaba pinnaga kaeveõõnsused (strekid, tõstekallakud, bremsbergid):		
vaba ee ja aluspinnaga	—	1,6
vaba ee ja laega	—	1,2
vaba ee ja küljega	—	1,4
Ühe vaba pinnaga strekkide (tõstekallakute, bremsbergide) söe-eed 1,8—2 m rajamissammu puhul:		
kihi paksus 0,7—1 m	—	4
kihi paksus 1—1,3 m	—	3

Laengute arvutuse kord on järgmine.

1. Valitakse lõhkeaine ja lõhkamisvahendid vastavalt looduslikele mäetehnilistele tingimustele (kivimi kõvadus, veerohkus ees, metaani ja plahvatusohtliku tolmu esinemine või puudumine).

2. Määratakse kindlaks rajamissammu suurus, algmurde kuju, lõhkeaukude kasutuskoefitsient ja sügavus olenevalt kivimi kõva-

dusest, kaeveõõnsuse mõõtmetest ja tööde organiseerimise skeemist (tsükli kestusest).

3. Määratakse rajamissammu ulatuses lõhatavate kivimite maht:

$$V_r = S \cdot l_r.$$

4. Määratakse lõhkeaine erikulu q kg/m³.

5. Leitakse lõhkeaukudesse paigutatavate laengute summaarne kaal valemi (99) järgi.

6. Arvutatakse ühe laengu keskmine kaal

$$q_1 = \frac{\pi d^2 l_a k_t \Delta}{4 \sin \alpha}, \qquad (103)$$

kus l_a on lõhkeaugu sügavus m,

α — lõhkeaugu kaldenurk ee pinna suhtes kraadides,

k_t — lõhkeaugu täitekoefitsient, s. t. laengu pikkuse suhe lõhkeaugu üldisse pikkusse. k_t väärtuseks võetakse püramidaalsete ja kiilukujuliste algmurrete korral 0,3—0,4 algmurde-lõhkeaukude jaoks ja 0,4—0,6 järelmurde-lõhkeaukude jaoks. k_t keskmise väärtusena kogu ee kohta võib nende algmurrete puhul kasutada suurust 0,4—0,5. Prismaliste ja pilukujuliste algmurrete puhul võetakse k_t kõikide lõhkeaukude jaoks 0,7—0,8. Gaasi- ja tolmuohtlikes kaeveõõnsustes võetakse k_t vastavalt ohutustehnika eeskirjadele (tabel 22);

Tabel 22

Lõhkeaugu pikkus[1] l'_a cm	Minimaalne topise pikkus cm	Laengu pikkus cm	Lõhkeaugu täitekoefitsient[2] $k_t = \frac{l}{l'_a}$
65	30	kuni 30	kuni 0,5
65—90	0,5 l'_a	mitte üle 0,5 l'_a	mitte üle 0,5
üle 90	0,33 l'_a	mitte üle 0,67 l'_a	kuni 0,67

d — padruni läbimõõt meetrites; kui padruneid lõhkeaugus tihendatakse, siis tuleb võtta tihendatud padruni läbimõõt; pulbrikujulise lõhkeaine puhul — lõhkeaugu läbimõõt;

[1] Lõhkeauke pikkusega alla 65 cm ei lubata kasutada.

[2] Lõhkamisel sões ei tohi täitekoefitsient olla üle 0,5.

Δ — lõhkeaine padruneerimistihedus (kg/m³), mis võetakse vastavalt lisale I; pulbrikujulise lõhkeaine puhul on Δ laadimistihedus.

Lõhkeaukude kaldenurgad α ee pinna suhtes on 70—90° piires. Et enamik lõhkeauke on järelmurde-lõhkeaugud, siis kogu komplekti keskmine α väärtus tuleb 80—85° piires, sin α väärtus 0,98—0,99, s. t. lähedane ühele. Sellest olenevalt saab valem lõhkeauku paigutatava laengu keskmise kaalu arvutamiseks kuju

$$q_l = l_a k_t \frac{\pi d^2}{4} \Delta. \tag{104}$$

7. Määratakse lõhkeaukude arv

$$N = \frac{Q_r}{q_l}. \tag{105}$$

Avaldades $Q_r = qSl_a$ ja võttes q_l valemist (104), saame

$$N = \frac{4qS\eta}{\pi d^2 \Delta k_t} = \frac{1{,}27qS\eta}{d^2 \Delta k_t}. \tag{106}$$

Seda valemit kasutatakse harilikult sel puhul, kui rajamissamm või lõhkeaugu sügavus pole eelnevalt määratud.

8. Edasi valitakse algmurde tüüp ja lõhkeaukude paigutusskeem. Algmurde tüüp valitakse olenevalt kivimi kõvadusest, selle struktuurist, ee mõõtmetest ja konfiguratsioonist ning rajamissammust.

Lõhkeaukude paigutusskeem tehakse mastaabis kolmes projektsioonis. Lõhkeaukude paigutusskeemide koostamisel võib valemi (106) järgi leitud lõhkeaukude arvu korrigeerida ja muuta, lähtudes nende otstarbekamast paigutusest ees.

Lõhkeaukude paigutusskeemi valimisel tuleb kõigepealt kohale paigutada algmurde-lõhkeaugud, pärast seda ülejäänud pinnale teised lõhkeaugud (järelmurde- ja kontuurlõhkeaugud). Ühe lõhkeaugu kohta tulev kivimi maht peab olema algmurde-lõhkeaukude jaoks 3—4 korda väiksem kui järelmurde-lõhkeaukude jaoks. Algmurde-lõhkeaugud tehakse 10—20 cm võrra teistest pikemad.

9. Määratakse lõhkeaukude arv 1 m² ee pinna kohta:

$$n = \frac{N}{S}. \tag{107}$$

See näitaja tuuakse sageli teatmetabelites ning ta võimaldab otsustada lõhkeaukude arvutuse õigsuse üle.

10. Arvutatakse lõhkeaukude summaarne pikkus $\Sigma l'_a$ kas graafiliselt lõhkeaukude paigutusskeemilt või arvutuste teel, lähtudes lõhkeaugu sügavusest ja kaldenurgast.

11. Määratakse puurmeetrite arv (lõhkeaugu pikkus m-tes) 1 m^3 lõhatava kivimi kohta:

$$l_v = \frac{\Sigma l'_a}{V_r}. \qquad (108)$$

Seda näitajat võib nimetada puurmeetrite erikuluks või puurimise erikuluks. See näitaja koos lõhkeaine erikuluga on tähtsaks ja iseloomustavaks tehnilis-ökonoomiliseks näitajaks.

12. Määratakse lõhkeaine, lõhkamisvahendite ja puurmeetrite kulu 1 m kaeveõõnsuse rajamiseks:

a) lõhkeaine kulu

$$q = \frac{Q_r}{l_r}; \qquad (109)$$

b) lõhkamisvahendite kulu arvutatakse olenevalt lõhkeaukude arvust ja lõhkamisviisist ning lisatakse 10% täiendavateks vajadusteks (kraavi rajamine, seinte ja põhja silumine jne.). Erinevate lõhkamisvahendite arv, mis kulutatakse ühel lõhkamisel (ühe rajamissammu kohta), jagatuna rajamissammu pikkusega, annab nende materjalide kulu 1 m kaeveõõnsuse rajamiseks;

c) puurmeetrite erikulu

$$l = \frac{\Sigma l'_a}{l_r}. \qquad (110)$$

Teostatud arvutuste järgi koostatakse puurimis-lõhketööde pass. See pass kujutab enesest tehnilist dokumenti, mis on eeskirjaks puurijatele lõhkeaukude puurimisel ja minööridele lõhkeaukude laadimisel ja lõhkamisel.

Näited

Näide 1. Arvutada laengute suurused ja lõhkeaukude arv kveerišlaagide rajamisel, anda lõhkeaukude paigutusskeem, avaldada põhilised tehnilised näitajad ja koostada puurimis-lõhketööde pass.

Andmed: kveerišlaagi kõrgus 2,5 m; laius alt 4,4 m; ülevalt 3,6 m; kivimiks on kõva liivakiltkivi ($f=5$); kivimite langus ee suunas; kaevandus kuulub gaasisisalduselt II kategooriasse ja on tolmuohtlik.

1. Lõhkeainena kasutame (kooskõlas ohutustehnika eeskirjadega) kaitseammoniiti AП-2 ja hetktegevusega elektridetonaatoreid.

2. Määrame rajamissammu, lõhkeaukude sügavuse ja lõhkeaukude kasutuskoefitsiendi.

Kasutades tabelit 22, võtame $l_r=2$ m ja lõhkeaukude kasutuskoefitsiendi 0,8. Keskmine lõhkeaugu sügavus

$$l_a = \frac{l_r}{\eta} = \frac{2}{0{,}8} = 2{,}5 \text{ m}.$$

3. Purustatud kivimi maht

$$V_r = S \cdot l_r = 10 \cdot 2 = 20 \text{ m}^3.$$

4. Lõhkeaine erikulu leiame prof. N. M. Pokrovski valemist (102)

$$q = q_1 f v e.$$

Eelnevalt määrame:

$q_1 = 0{,}5$ kg/m³ (vt. tabel 19)
$f = 1{,}3$ (vt. tabel 20)

$$e = \frac{380}{p} = \frac{380}{285} = 1{,}33.$$

Koefitsient, mis iseloomustab purustatava kivimi sulutust

$$v = 2{,}4,$$

kuna

$$\frac{3 l_a}{\sqrt{S}} = \frac{7{,}5}{\sqrt{10}} = 2{,}4.$$

Asetades valitud väärtused valemisse (102), saame:

$$q = 0{,}5 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}33 \cdot 2{,}4 \approx 2 \text{ kg/m}^3.$$

Ammoniidi AП-1 jaoks on normatiivide järgi (lisa X) q väärtus 2,07 kg/m³. Ammoniidi AП-2 jaoks on ta võrdne $2{,}07 \times \frac{260}{285} = 1{,}80$ kg/m³. Erinevus arvutusliku ja normatiivse q suuruse vahel on 0,20 kg/m³ ehk ligikaudu 10%. Valime $q = 1{,}8$ kg/m³. Lõhkeaine kulu võib täpsustada ees teostatavate esimeste lõhkamiste põhjal.

5. Lõhkeaine kulu rajamissammu kohta

$$Q_r = q V_r = 1{,}8 \cdot 20 = 36 \text{ kg}.$$

6. Määrame lõhkeaukude arvu ees valemi järgi

$$N = \frac{1{,}27 q S \eta}{d^2 \Delta k_t} = \frac{1{,}27 \cdot 1{,}8 \cdot 10 \cdot 0{,}8}{0{,}036^2 \cdot 1000 \cdot 0{,}5} \approx 28 \text{ lõhkeauku}.$$

7. Ühte lõhkeauku paigutatava laengu keskmine suurus

$$q_l = \frac{Q_r}{N} = \frac{36}{28} \approx 1{,}3 \text{ kg}.$$

8. Vastavalt ülesande tingimustele (kivimite langus ee suunas) võtame lõhkeaukude paigutusskeemi alumise kiilukujulise algmurdega ja lõhkeaukude kolme seeriaga: algmurde-lõhkeauke — 12, järelmurde-lõhkeauke — 5, kontuurlõhkeauke — 11.

9. Lõhkeaukude arv 1 m² ee pinna kohta $n = 2{,}8$.

10. Lõhkeaukude summaarse pikkuse leiame valemist

$$l'_a = \frac{l_r}{\eta \sin \alpha}.$$

Alumise rea algmurde-lõhkeaugud ja kõik kontuurlõhkeaugud, välja arvatud nurkmised, on kaldega 85° (vt. joon. 84). Iga augu pikkus võrdub

$$\frac{2}{0{,}8 \sin 85°} = \frac{2}{0{,}8 \cdot 0{,}996} \approx 2{,}5 \text{ m}.$$

Nurkmised kontuurlõhkeaugud omavad kalde kahes projektsioonis ja iga augu pikkuseks kujuneb

$$\frac{2}{0{,}8 \sin^2 85^\circ} \approx 2{,}5 \text{ m.}$$

Teise rea algmurde-lõhkeaukude pikkus on

$$\frac{2}{0{,}8 \sin 70^\circ} = \frac{2}{0{,}8 \cdot 0{,}94} = 2{,}66 \approx 2{,}65 \text{ m.}$$

Järelmurde-lõhkeaukude pikkus on

$$\frac{2}{0{,}8 \sin 80^\circ} = \frac{2}{0{,}8 \cdot 0{,}985} = 2{,}54 \approx 2{,}55 \text{ m.}$$

Algmurde-lõhkeaukude üldpikkus on $2{,}65 \cdot 6 + 2{,}5 \cdot 6 = 30{,}9$ m, järelmurde-lõhkeaukudel — $2{,}55 \cdot 5 = 12{,}75$ m, kontuurlõhkeaukudel — $2{,}5 \cdot 11 = 27{,}5$ m.
Summaarne pikkus

$$\Sigma l'_n = 30{,}9 + 12{,}75 + 27{,}5 = 71{,}15 \text{ m.}$$

Lõhkeaugu keskmine pikkus on

$$\frac{71{,}15}{28} = 2{,}54 \text{ m.}$$

11. 1 m³ purustatud kivimi kohta tulev puurmeetrite arv

$$l_v = \frac{71{,}15}{20} = 3{,}56 \text{ m.}$$

12. Puurimise kulu ja lõhkematerjalide kulu 1 m kaeveõõnsuse kohta moodustab:

lõhkeaine kulu $q = \frac{Q_r}{l_r} = \frac{36}{2} = 18$ kg/m;

elektridetonaatorite kulu $\frac{28}{2} = 14$ tk. 1 m kohta ehk $\frac{28}{20} = 1{,}4$ tk. 1 m³ kivimi kohta;
puurimiskulu 1 m kaeveõõnsuse kohta

$$l = \frac{\Sigma l_a}{l_r} = \frac{71{,}15}{2} = 35{,}6 \text{ m.}$$

Nende tehniliste näitajate ja planeeritud töömahu järgi koostatakse puurimis-lõhketööde kompleksi kulude eelarve ja nõudmine vajalikele materjalidele.
Teostatud arvutuste alusel koostatakse antud ee kohta puurimis-lõhketööde pass (joon. 84).

Näide 2. Arvutada laengute suurused ja lõhkeaukude arv vertikaalšahti rajamisel, anda lõhkeaukude paigutusskeem ja tuua välja põhilised tehnilised näitajad.

Andmed: šahti läbimõõt toestatult 8 m; rajamisel 9,15 m; kivimiks on keskmise kõvadusega liivakivi ($f = 6$); kivimite kalle — 15°; vee juurdevool — keskmine.

1. Valime lõhkeaine ja lõhkamisvahendid. Olemasolevatest veekindlatest lõhkeainetest on parimad lõhkeomadused 62%-lisel külmakindlal dünamiidil. Valime lõhkeaineks dünamiidi 45 mm-se läbimõõduga padrunites (padruni kaal 550 g, pikkus 25 cm, tihedus padrunites 1,4 g/cm³).
Lõhkamisvahenditena kasutatakse šahtides hetktegevusega elektridetonaatoreid algmurde-lõhkeaukude jaoks ja viittegevusega elektridetonaatoreid ülejäänud lõhkeaukude jaoks.
2. Kooskõlas graafikuga (vt. joon. 83) võtame lõhkeaugu pikkuseks 1,8 m ja lõhkeaugu kasutuskoefitsiendiks 0,85.

Kombinaat
Trust
Kaevandus
Jaoskond

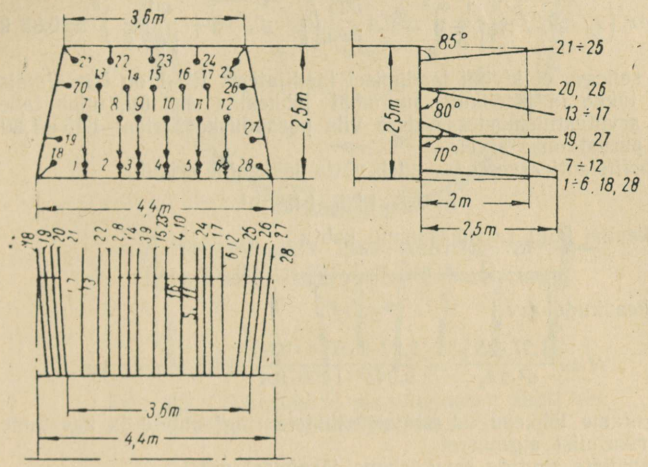
Näitajad		Ühik	Arv
Kategooria	gaasi järgi – teine	–	
	tolmu järgi – ohtlik	–	
Kaevetöönsuse ristlõige	rajamisel	m^2	10
	toestamisel	m^2	7
Kõvaduse kategooria Protodjakonovi järgi	söel —	—	—
	aherkivimil $f=5$	—	—
Puurmasinad	tüüp – elektri-sammaspuurmasin	—	—
	arv	tk.	2
Puurkroonid, lõiketerad	tüüp, läbimõõt PP	mm	40
	arv	tk.	28
Lõhkeaukude arv tsüklis	söes	tk.	—
	aherkivimis	tk.	28
Puurmeetreid tsüklis	söes	m	—
	aherkivimis	m	71,15
Puurmeetreid ühe rajamismeeri kohta	söes	m	—
	aherkivimis	m	35,6
Lõhkeaugu kasutuskoefitsient	söes	–	–
	aherkivimis	–	–
Lõhkeaine mark	AP-2	—	—
Lõhkeaine kulu	tsüklis	kg	36
	1m kohta	kg	18
Detonaatori mark	hetkelegevusega elektri-detonaator	—	
Detonaatori kulu	tsüklis	tk.	28
	1m kohta	tk.	14
Süütemasina tüüp BMK-3/50		—	—
Topise pikkus lõhkeaugus		m	0,85
Välistopise suurus	lõhkeaugu kohta	kg	10
	tsüklis	kg	280
Ee edasinihe ühel lõhkamisel		m	2
Söe toodang tsüklis		t	—
Aherkivimi hulk tsüklis		m^3	20

Jaoskonnaülem
Ventilatsiooniülem

Joon. 84. Kveeršlaagi puurimis-lõhke-

Kinnitan
Kaevanduse peainsener
(Allkiri)

Lõhkeaukude paigutusskeem



Üheaegselt lõhatavate laengute numbrid	Lõhkeaukude pikkused m	Kaldenurk		Laengute suurused lõhkeaukudes, kg	Lõhkamise järjekord
		vertikaali suhtes	horisontaali suhtes		
1÷6	2,5	85°	90°	1,2	Üheaegselt
7÷12	2,65	70°	90°	1,4	I järjekorras
13÷17	2,55	80°	90°	1,4	Üheaegselt II järjekorras
18, 28	2,5	85°	85°	1,3	
19,20, 26,27	2,5	90°	85°	1,2	Üheaegselt
21,25	2,5	85°	85°	1,2	III järjekorras
22,23,24	2,5	85°	90°	1,2	

tööde pass (arvutuse juurde).

Rajamissamm sel juhul on:

$$l_r = l_a \cdot \eta = 1{,}8 \cdot 0{,}85 = 1{,}53 \text{ m}.$$

3. Purustatava kivimi maht

$$V_r = S l_r = \frac{\pi D^2}{4} l_r = \frac{3{,}14 \cdot 9{,}15^2}{2} 1{,}53 = 100 \text{ m}^3.$$

4. Määrame lõhkeaine erikulu normatiivide järgi (lisa X): $q = 0{,}80$ kg/m³, prof. M. M. Protodjakonovi valemi järgi:

$$q = 0{,}4e \left(\sqrt{0{,}2f} + \frac{1}{\sqrt{S}} \right)^2 = 0{,}4 \frac{525}{380} \left(\sqrt{0{,}2 \cdot 6} + \frac{1}{\sqrt{65{,}4}} \right)^2 = 0{,}83 \text{ kg/m}^3.$$

Seoses sellega, et kivimi laadimisel laadijatega БЧ-1 on kiirrajamisel vaja väiksemaid tükke ja järelikult suuremat lõhkeaine erikulu, tuleb tabeli andmetesse ja arvutustulemustesse sisse viia paranduskoefitsient 1,15—1,30 kivimi peenemaks purustamise arvel.

Seda koefitsienti arvestades tuleb võtta lõhkeaine erikulu

$$q = 0{,}8 \cdot 1{,}25 \approx 1 \text{ kg/m}^3.$$

5. Lõhkeaine kulu rajamissammu kohta

$$Q_r = q V_r = 1 \cdot 100 = 100 \text{ kg}.$$

6. Lõhkeaukude arv

$$N = \frac{1{,}27 \cdot q S \eta}{d^2 \Delta k_t} = \frac{1{,}27 \cdot 1 \cdot 65{,}4 \cdot 0{,}85}{0{,}045^2 \cdot 1400 \cdot 0{,}4} \approx 62 \text{ lõhkeauku}.$$

7. Paigutame lõhkeaugud kontsentrilistele ringjoontele ja kasutame tsentraalset lehtrikujulist algmurret.

Kontsentriliste ringide arvu leiame järgmisel viisil.

Võttes ühe lõhkeaugu kohta tuleva ee pinna

$$S_1 = \frac{65{,}4}{62} \approx 1{,}05 \text{ m}^2$$

ruudukujulise, leiame selle külje pikkuse: $a = \sqrt{1{,}05} = 1$ m. Selle suuruse ($a = 1$ m) võtame keskmiseks kauguseks lõhkeaukude vahel mööda ringjoont ja ringide vahel.

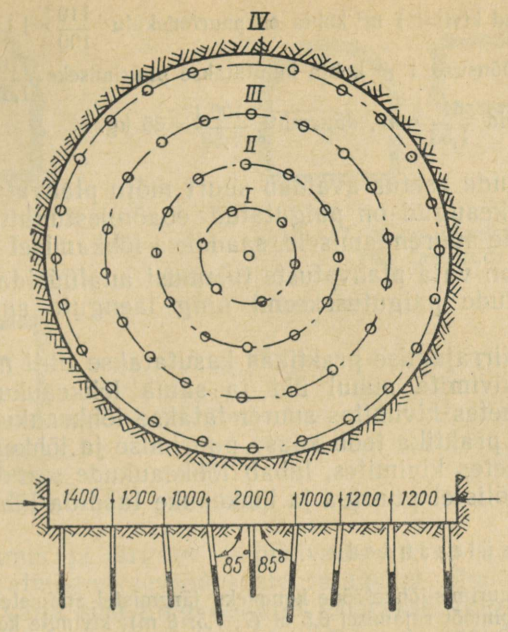
Ringide arvuks kujuneb

$$\frac{D - 0{,}4}{2a} = \frac{8{,}75}{2} = 4{,}3.$$

Paigutame lõhkeaugud neljale kontsentrilisele ringjoonele ja ühe lõhkeaugu keskele. Esimeses järjekorras lõhatakse algmurde-lõhkeaugud: tsentraalne lõhkeauk ja esimesel ringil paiknevad lõhkeaugud, seejärel teise, siis kolmanda ja lõpuks neljanda rea lõhkeaugud.

Sellist lõhkamise järjekorda kasutades lõhkevad esimese ringi lõhkeaukude laengud ühe vaba pinna tingimustes. Teise ringi lõhkeaukudel on juba teine täiendav vaba pind, kuid see on üsna väike ja pealegi täitub see purustatud kivimiga. Seetõttu lõhkevad teise ringi lõhkeaugud suurema sulutusega. Kolmanda ja neljanda ringi lõhkeaukudel on väiksem sulutus. Nii peab laengute ja lõhkeaukude kontsentratsioon (nende arv 1 m³ lõhatava kivimi kohta) olema kõige suurem esimese ringi lõhkeaukudel ja kõige väiksem viimase ringi omadel.

Üks lõhkeaukude paigutamise ratsionaalseid variante on näidatud joonisel 85. Peamised selle variandi parameetrid on toodud tabelis 23.



Joon. 85. Lõhkeaukude paigutusskeem šahti ees (arvutuse juurde).

Lõhkeaukude arvu ringidel määrame nii, et see oleks sobiv märkimiseks ja lähedane arvutatule (62 lõhkeauku). Märkimiseks ja paigutamiseks on sobivad arvud 6, 12, 18 ja 24. Lõhkeaukude üldine arv koos tsentraalse lõhkeauguga on 61. Laengu suuruseks lõhkeaugus on 3 padrunit ehk 1,65 kg. Laeng rajamissammu kohta on 100,1 kg (tsentraalsesse lõhkeauku paigutame 2 padrunit).

8. 1 m² ee pinna kohta tuleb $\frac{61}{64,5} = 0,95$ lõhkeauku.

9. Lõhkeaukude summaarne pikkus on $1,8 \cdot 61 = 110$ m.

Tabel 23

Ringi nr.	Ringi raadius R m	Lõhkeaukude vahekaugus a ringil m	Lõhkeaukude arv ringil $\frac{2\pi R}{a}$	Korrigeeritud lõhkeaukude arv	Ühe lõhkeaugu kohta tulev ligikaudne kivimi maht m³
I	1,0	1,0	6+1	6+1	0,7
II	2,0	1,0	12	12	1,2
III	3,2	1,0	20	18	1,7
IV	4,4	1,0	28	24	1,9
			67	61	

10. Lõhatud kivimi 1 m³ kohta on puurimiskulu $\frac{110}{100}=1{,}1$ puurmeetrit.

11. Kaeveõõnsuse 1 m kohta kulutatakse puurimiseks $\frac{110}{1{,}53}=72$ puurmeetrit, detonaatoreid $\frac{61}{1{,}53}=40$, dünamiiti $\frac{100{,}1}{1{,}53}=65$ kg.

Lõhkeaukude asetus avaldab suurt mõju plahvatuse efektiivsusele. Kui lõhkeaugud on paigutatud ebaõnnestunult, siis, vaatamata laengute suurendamisele, saadakse lõhkamisel nõrk efekt.

Seetõttu on vaja plahvatuste tulemusi analüüsida ja selle põhjal lõhkeaukude paigutusskeemi ning laengute suurusi täpsustada.

Šahtide kiirrajamise praktikas kasutatakse tihti nii kõvade kui ka pehmete kivimite puhul üht ja sama lõhkeaukude paigutusskeemi. Pehmetes kivimites suurendatakse lõhkeaukude sügavust. Ehkki selline praktika toob kaasa puurimise ja lõhkeaine mõninga ülekulu pehmetes kivimites, lubab lõhkeaukude standardne paigutus rajamistöölistel puurida ja lõhkeauke laadida lühema ajaga.

Harjutusülesanded

Arvutada puurimis-lõhketööde kompleks järgmistel andmetel:

1. Šahti läbimõõt rajamisel 6,5 m (7; 7,5; 8 m), kivimite kõvaduskoefitsient $f=4$, 6, 8.

2. Kveeršlaagi mõõtmed 2,53×2,43; 3,03×2,43; 4,13×2,47; 2,5×4. Kivimite kõvaduskoefitsient $f=6$ (12, 8, 4).

§ 37. Laengute arvutus ja lõhkeaukude paigutus kaeveõõnsuste rajamisel astmelise eega

Lõhkeaukude paigutus ja laengute suuruse arvutus ettevalmistuskaeveõõnsuste rajamisel söes

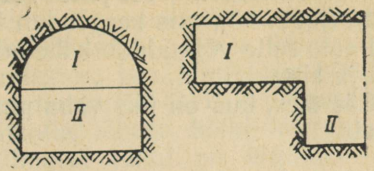
Suure ristlõikega (üle 18—20 m²) kaeveõõnsuste rajamisel jagatakse kaeveõõnsuse esi kaheks või rohkemaks iseseisvaks eeks, paigutades need astmetena (joon. 86, 87). Eelnev esi I omab ühe vaba pinna, järgnev esi II — kaks vaba pinda.

Eelnevas ees, millel on üks vaba pind, on lõhkeaukude paigutus ja laengute arvutus analoogiline eeltooduga.

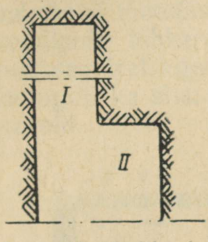
Järgnevas ees, millel on kaks vaba pinda, kasutatakse lõhkeaukude paigutuseks ja laengute arvutuseks teisi valemeid ja norme. Lõhkeaugud paigutatakse paralleelselt ühe vaba pinnaga — kas paralleelselt kaeveõõnsuse teljega (joon. 88, *a*) või järgneva ee pinnaga (joon. 88, *b*, *c*).

Kaeveõõnsuste rajamisel ebaühtlastes kivimites jaotatakse esi kahte ossa, olenemata mõõtmetest: eelnev esi, mis liigub edasi



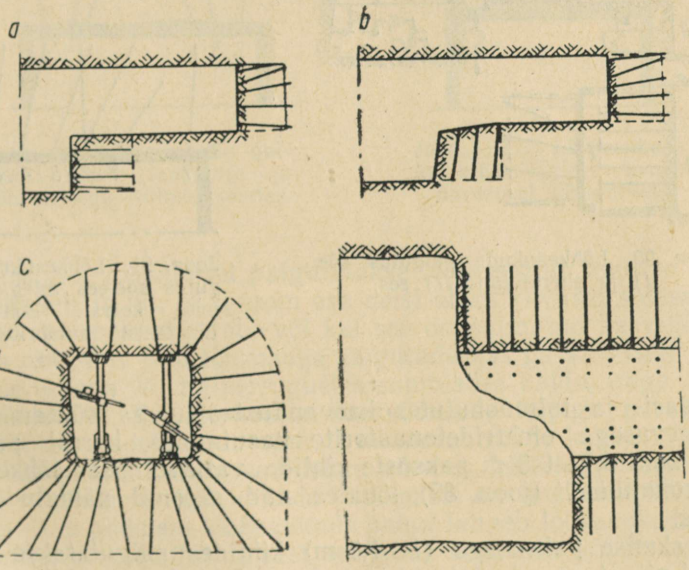


Joon. 87. Horisontaalseteks astmeteks jaotatud esi.



Joon. 86. Vertikaalseteks astmeteks jaotatud esi.

nõrgemas kivimis, ja järgnev — püsivamas kivimis. Nii näiteks võetakse ettevalmistuskaeveõõnsuste rajamisel õhukestes söekihtides alguses välja süsi ning seejärel lõhatakse külgkivimid, mis harilikult on söest kõvemad. Söe esi liigub ees, moodustades eel-

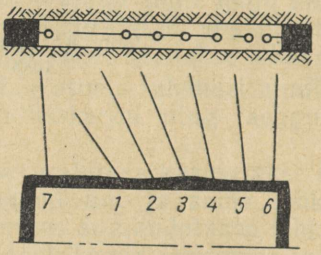


Joon. 88. Lõhkeaukude paigutus järgnevas ees:
a — nende puurimisel järgnevast eest; *b*, *c* — puurimisel eelnevast kaeveõõnsusest.

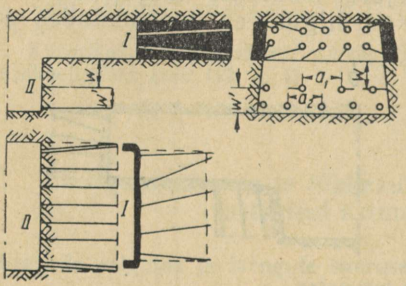
neva ee. Aherkivimi esi jääb maha ja omab seetõttu kaks vaba pinda (joon. 90), mis kergendab lõhketöid.

Peale selle võimaldab kahe eega kaeveõõnsus võtta eraldi välja süsi ja aherkivimid.

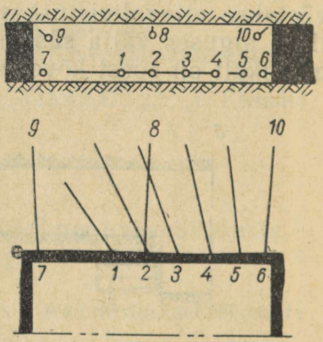
Söe etes, kus on üks vaba pind, paigutatakse lõhkeaugud järgmiselt.



Joon. 89. Lõhkeaukude lehvikukujuline paigutus söe-ees.



Joon. 90. Lõhkeaukude paigutus söe (*I*) ja aherkivimi (*II*) ees.



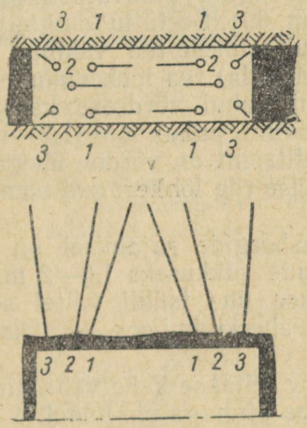
Joon. 91. Lõhkeaukude paigutus söe-ees tulega süütamise korral. Lõhkeaugud lõhatakse numbrite järjekorras.

Gaasi- ja tolmuohututes kaevandustes tulega süütamisel või viittegevusega elektridetonaatorite kasutamise korral paigutatakse kuni 0,7—0,8 m paksuste kihtide väljavõtmisel lõhkeaugud lehvikukujuliselt (joon. 89), lõhates nad skeemil näidatud järjekorras.

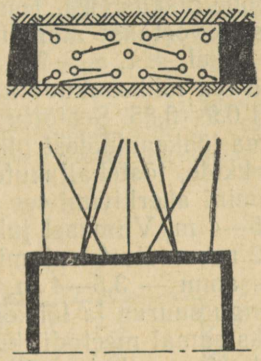
Keskmise paksusega (1—1,5 m) kihtides paigutatakse lõhkeaugud nii, et moodustub tsentraalne või külgmine kiilukujuline algmurre (joon. 90); kuni 3 m laiuse ee puhul kasutatakse ainult külgmist algmurret, suurema laiuse puhul tsentraalset.

Kui alumises (või ülemises) kihi osas asub nõrgem süsi, siis paigutatakse sellesse lehvikukujuline lõhkeaukude rida. Kõvemas söes puuritakse mõned järelmurde-lõhkeaugud (joon. 91).

Gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes, kus lõhata on võimalik ainult hetktegevusega elektridetonaatorite abil, paigutatakse lõhkeaugud nii, et neid oleks võimalik lõhata kõiki korraga või seeriatena kahe-kolme võttega. Viimasel juhul on algmurre otstarbekohane moodustada ee keskele (joon. 92). Pärast algmurde-lõhkeaukude lõhkamist laetakse ja lõhatakse järelmurde-lõhkeaugud, seejärel aga kontuurlõhkeaugud. Samal viisil paigutatakse lõhkeaugud ka siis, kui kasutatakse lühiviittegevusega elektridetonaatoreid.



Joon. 92. Lõhkeaukude paigutus nende laadimise ja lõhkamisega kolmes seerias.



Joon. 93. Lõhkeaukude paigutus söe-ees nende üheaegsel lõhkamisel.

Üheaegsel lõhkamisel paigutatakse lõhkeaugud kogu ee ulatuses ühtlaselt ja nii, et suurem osa neist oleks klivaaži suhtes risti. Kui klivaaži pole märgata või kui see on suunatud kaeveõõnsuse teljega risti, siis võib lõhkeauke paigutada kas paralleelselt kaeveõõnsuse teljega või mitmesugustes suundades kaldu, nagu näidatud joonisel 93. Kui klivaaž on kaeveõõnsuse teljega paralleelne, tuleb lõhkeaukudele anda samuti mitmesuunaline kalle.

Lõhkeaukude kasutuskoefitsient söe-ees küllaldaše arvu kuni 2—2,5 m pikkuste lõhkeaukude lõhkamisel on tavaliselt 0,9.

3,5—4 m pikkuste lõhkeaukude puhul langeb lõhkeaukude kasutuskoefitsient kuni 0,8-ni, sest sel juhul suureneb lõhatava keskkonna sulutus ja väheneb lõhkeaukude kalle.

Kaht vaba pinda omavas järeleliikuvas aherkivimi-ees paigutatakse lõhkeaugud kõige sagedamini paralleelselt kaeveõõnsuse

teljega. Olenevalt lõhatavate kivimite kõvadusest ja paksusest paigutatakse nad ühte või mitmesse ritta. Lõhkeaukude paigutamisel ühte ritta võetakse nendevaheline kaugus ja vähima vastupanu joone pikkus ligikaudu võrdsed. Õhukese kihi puhul (vähima vastupanu joone pikkus on väike), kui lõhkeaukude arv ees pole suur, võib kaugus lõhkeaukude vahel olla 1,5—2 korda suurem vähima vastupanu joone pikkusest.

Kui lõhkeaugud paigutatakse mitmesse ritta ja lõhatakse järgemööda, siis võetakse kaugused ridade vahel ning kaugused ridades lõhkeaukude vahel ligikaudu võrdsed, sest järgmistes ridades olevate laengute plahvatustingimused peaaegu ei erine esimese rea laengute plahvatustingimustest. 2—3 rea üheaegsel lõhkamisel on teise ja kolmanda rea laengute plahvatustingimused ebasoodsamad kui esimesel real (joon. 89). Seetõttu kaugus ridade vahel (W') võetakse 20% väiksem kui esimese rea vähima vastupanujoone pikkus (W). Teise (ja kolmanda) rea lõhkeaukude vahekaugus a_2 võetakse monoliitse kivimi puhul võrdseks kaugusega ridade vahel, s. t. $a_2 \approx W'$; kihilise kivimi puhul $a_2 = (1{,}2—1{,}5)W'$; esimese rea lõhkeaukude kasutuskoefitsient on võrdne ühega, teisel real 0,9—0,85. Seetõttu peavad teise rea lõhkeaugud olema esimese rea lõhkeaukudest pikemad.

Strekkide, tõstekallakute ja bremsbergide rajamisel on kõige sagedamini aherkivimi-ees lõhkeaukude pikkuseks 1,8—2 m, harvem 3,5—4 m. Viimasel juhul võetakse ühe tsükli vältel söe-ees välja 2 normaalset rajamissammu, aherkivimi-ees — üks pikk rajamissamm — 3,5—4 m.

Laengu suurus ja lõhkeaukude arv leitakse kahe vaba pinnaga ete jaoks samal meetodil kui ühe vaba pinnaga ete puhul.

Lõhkeaine erikulu võib määrata prof. M. M. Protodjakonovi valemi järgi, mis on tema poolt esitatud kahe vaba pinnaga ete jaoks:

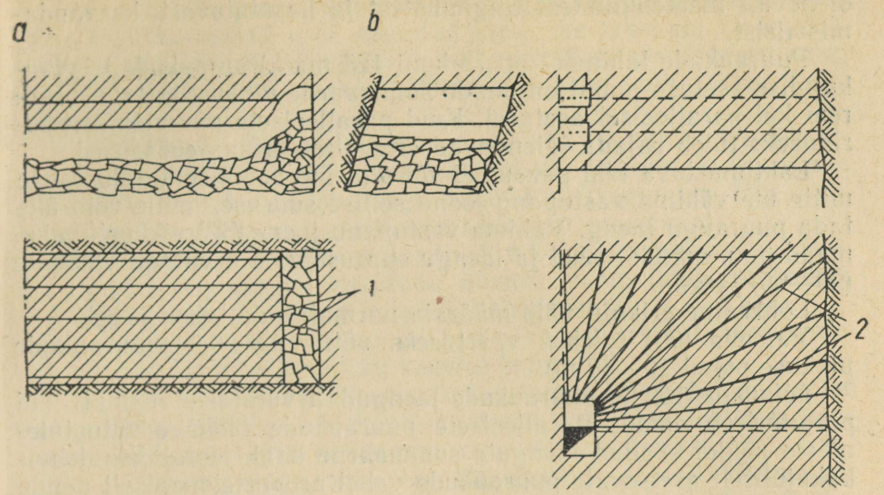
$$q = 0{,}15e\sqrt{f}\left(\sqrt{0{,}2f} + \frac{1}{B}\right), \qquad (111)$$

kus B on keskmine aherkivimi-ee laius (pikkus), mis on mõõdetud paralleelselt vaba pinnaga, mille suunas toimib kivimi kobestus laengu mõjul. Ülejäänud tähised on samad mis valemis (101).

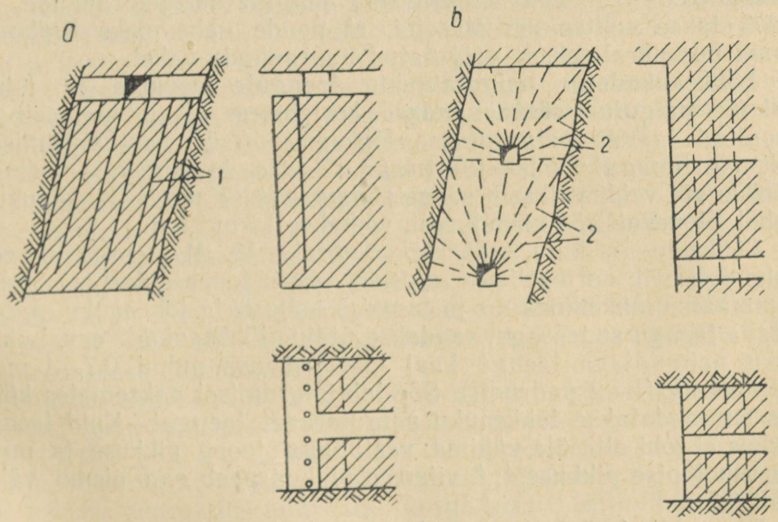
Võib kasutada ka prof. N. M. Pokrovski valemit.

Laengute arvutus koristustööde etes

Laengute arvutus maakide lahtimurdmisel puuraukudega. Käesoleval ajal kasutatakse maakide kaevandamisel laialdaselt sügavaid puurauke. Puuraugud võivad lahtimurtava maagi kihis paikneda paralleelselt või lehvikukujuliselt, lahtimurtav kiht ise võib olla horisontaalne (joon. 94), vertikaalne (joon. 95) või kallak,



Joon. 94. Maagi lahtimurdmine horisontaalsete kordade kaupa paralleelsete (*a*) ja lehvikukujuliselt (*b*) asetatud puuraukude puhul:
1 — paralleelsed puuraugud; *2* — lehvikukujuliselt asetsevad puuraugud.



Joon. 95. Maagi lahtimurdmine vertikaalsete kordade kaupa sügavate paralleelsete (*a*) ja lehvikukujuliselt paigutatud (*b*) puuraukudega.

olenevalt mäetehnilistest tingimustest ja kasutatavast kaevandamisviisist.

Puuraukude läbimõõt on 75 kuni 125 mm. Puuraukude lehvikukujulise asetuse puhul on nende summaarne pikkus 30—40% suurem kui paralleelsel asetusel. Kuid paralleelsete puuraukude puurimiseks tuleb rajada täiendavad ettevalmistuskaeveõõnsused.

Lahtimurtava kihi paksus ei või olla üle poole selle laiusest ja mitte üle vähima vastupanu joone sellise suuruse, mille võib ületada puuraugu laeng. Vähima vastupanu joone (W) pikkust, vahemaad puuraukude vahel ja laengu suurust võib arvutada valemite (90—95) järgi.

Lõhkeaine erikulu võib määrata normatiivide tabeli järgi.

Valemis (90) tuleb k väärtuseks võtta 0,8—0,9 (puuraukude pikkuse puhul 10—30 m).

Lehvikukujuliste puuraukude laengud arvutatakse samuti kui paralleelsete omad. Paralleelsete puuraukude jaoks arvutustulemuste põhjal saadud laengute summaarne kaal jaotatakse lehvikukujuliselt asetsevate puuraukude vahel proportsionaalselt nende pikkusega, arvestades täitekoefitsiendiks 0,6—0,7. Selline on teoreetiline laengu pikkus. Lehvikukujuliste puuraukude laadimisel suurendatakse igas teises või kolmandas puuraugus laengu pikkust naaberpuuraukude arvel, viies täitekoefitsiendi kuni 0,8—0,85. Viimastes, tervikuäärsetes puuraukudes peab täitekoefitsient olema 0,85—0,9. Lehvikukujuliselt paigutatud puuraukude arv määratakse sellise arvestusega, et nende vahe oleks ligikaudu sama mis paralleelselt paigutatud puuraukude vahel.

Lõhkeaukudesse paigutatavate laengute arvutus ja lõhkeaukude paigutus söekaevanduse koristusees. Soonimismasinaga soonitud laavas paigutatakse lõhkeaugud söe lahtimurdmiseks risti ee rinnaga või 60—70° nurga all. Nende sügavus võetakse võrdne või veidi väiksem soone sügavusest. Kaugus lõhkeaukude vahel, olenevalt söe kõvadusest, võetakse 1 kuni 3 m.

Lõhkeaine erikulu määratakse prof. M. M. Protodjakonovi valemiga või normatiivide alusel. Arvutades seejärel ee jaoks summaarse lõhkeainekulu ja jagades selle ühte lõhkeauku paigutatava laengu suurusega, saadakse üldine lõhkeaukude arv. Lõhkeauku paigutatava laengu kaal kihi paksuse puhul 0,7—1 m on 0,2—0,4 kg (1—2 padrunit). Söe lahtimurdmisel paksemates kihtides suurendatakse lõhkeauku paigutatavat laengut. Kuid laengu pikkus ei tohi olla üle vähima vastupanu joone pikkuse ja mitte suurem topise pikkusest; * viimase pikkus peab aga olema vähemalt 0,5 m.

Et soonitud süsi ei puruneks enne lõhkamist ega suleks soont, tuleb soonesse lüüa puitpakud.

Kihi vajumine pole soovitav kahel põhjusel.

---

* Autori poolt märgitud laengu pikkust piiravad tingimused ei ole põhjendatud. *Tõlkija.*

Soonitud kihi osa vajumisel soon sulgub, üleval laes aga tekib lõhe. Et lõhkeaugud olid asetatud üles, lae lähedale (joon. 97), tungivad lõhkamisel lõhkegaasid kergesti ülemisse lõhesse ning ei mõju vajalikul määral söe põhimassile, mis asub lõhkeaukude reast allpool.

Kui lõhkeauke lõhatakse allavajunud kihi puhul suure gaasieralduvusega kihtides, võib see põhjustada ülemist ja tagumist lõhet täitva metaani ja õhu segu plahvatuse (tagumine lõhe tekkis allavajunud kihi osa eraldumisel üldisest massiivist).

Suure gaasieralduvuse puhul tuleb 0,7—1,3 m paksustes kihtides ohutuse tagamiseks kasutada ülemist soont (laealust soont), lõhkeaugud aga puurida alla, põhja lähedusse.

Koristusete tehnilis-ökonoomilised näitajad arvutatakse tavaliselt 1 tonni toodetud kasuliku kaevise kohta.

Gaasiohututes kaevandustes kasutatakse laengute süütamist tulega või viitsüütega elektridetonaatorite abil. Gaasiohtlikes kaevandustes kasutatakse hetktegevusega elektridetonaatoreid. Seejuures lõhatakse vastavalt lae tingimustele 1—10 lõhkeauku. Samuti võib kasutada lühiviittegevusega elektridetonaatoreid.

Võitlus tolmu vastu söe lahtimurdmisel. Kihtides, kus eraldub palju tolmu, soovitatakse söe lahtimurdmisel massiivi niisutada vee pumpamise teel surve all lõhkeaukudesse. Lõhkeaugud, läbimõõduga kuni 75 mm, puuritakse risti või 45° nurga all ee rindega. Nende sügavus on 1,5—2 m (mõnikord kuni 4 m). Veesurve võetakse 4 kuni 15 atü, vee kulu 100—300 l lõhkeaugu kohta, pumpamise kestus 15—20 minutit. Kaugus lõhkeaukude vahel võetakse 3—4 m. Vett pumbatakse remondivahetuses igasse lõhkeauku järgemööda, harvem lõhkeaukude gruppi üheaegselt. Söemassiivi niisutamise tõttu väheneb õhu tolmusisaldus 50—70%.

Belgias ja Inglismaal on tehtud katseid suruda vett söemassiivi lõhkeaine abil. Ühe katsete seeria puhul pumbati vesi lõhkeauku atmosfäärirõhul, teise seeria puhul 12—15 atü rõhu all. Paremaid tulemusi andis teine variant.

Söe kaevandamisel tehti kindlaks, et vesi tungis lõhkeaugu põhjast 1,5 m sügavusele ning niisutas sütt hästi ning ühtlaselt. See meetod sobib nii söe lahtimurdmiseks kui ka samaaegselt õhu tolmusisalduse alandamiseks.

Samuti tehti katseid 12 kuni 50 m pikkuste puuraukude lõhkamisega, mis puuriti eega paralleelselt, eelnevusega 2 m. Laengud kaaluga 200—400 g paigutati 1,2 m kaugusele üksteisest ja kinnitati detoneeriva nööri külge. Nöör pandi lõhkema detonaatoriga, mis asetses puuraugus hüdroluku korgi taga. Laengud lõhati üheaegselt vee pumpamisega puurauku 15—20 atü rõhu all.

Veega täidetud puur- või lõhkeaukudes asetsevate laengute lõhkamisel tekib vähem tolmu ning tõuseb lõhketööde ohutus gaasi- ja tolmuplahvatuste suhtes. Samuti suurendab veega täitmine laadimistihedust ja soodustab söe purunemist.

Näide 1. Arvutada streki puurimis- ja lõhketööde kompleks söe- ja aherkivimi-ee jaoks. Kaevandus kuulub gaasiohult II kategooriasse, strekk rajatakse savikiltkivisse kõvaduskoefitsiendiga $f=4$ põhja süvendamisega, söe kõvaduskoefitsient $f_s=1{,}5$. Kihi paksus on 1 m, kaldenurk on 5°. Streki kõrgus rajamisel on 5 m, laius ülevalt 2,7 m, alt 3,5 m (joon. 96).

1. Lõhkeainena kasutame söes lõhkamisel kaitseammoniiti nr. 8 ja aherkivimis kaitseammoniiti АП-2. Detonaatorid — hetktegevusega elektridetonaatorid.

2. Rajamissammud võtame söes ja aherkivimis võrdsed — 1,8 m, lõhkeaukude pikkuseks söes valime 2 m, aherkivimis 1,8 m ülemises reas ja 2 m alumistes ridades; lõhkeaugu kasutuskoefitsiendi väärtuseks võtame söes 0,9, aherkivimis ülemise rea lõhkeaukude kohta 1 ja alumiste ridade kohta 0,9.

3. Määrame lõhatavate massiivide mahu:

söel

$$V_s=S_s l_r=2{,}85\cdot 1{,}8=5{,}1\ \text{m}^3,$$

aherkivimil

$$V_a=5\cdot 1{,}8=9\ \text{m}^3.$$

4. Lõhkeaine erikulu söe-ees prof. M. M. Protodjakonovi valemi järgi võrdub

$$q=0{,}4e\left(\sqrt{0{,}2f}+\frac{1}{\sqrt{S}}\right)^2=0{,}4\frac{525}{240}\left(\sqrt{0{,}2\cdot 1{,}5}+\frac{1}{\sqrt{2{,}80}}\right)^2=1{,}16\ \text{kg/m}^3.$$

Lõhkeaine erikulu aherkivimi-ees prof. M. M. Protodjakonovi valemi järgi

$$q=0{,}15e\sqrt{f\cdot}\left(\sqrt{0{,}2f}+\frac{1}{B}\right)=0{,}15\frac{525}{285}\sqrt{4}\left(\sqrt{0{,}2\cdot 4}+\frac{1}{3{,}25}\right)^2\approx 0{,}66\ \text{kg/m}^3.$$

Valime $q=0{,}70$ kg/m³.

5. Lõhkeaine kulu rajamissammu kohta võrdub:

söe-ees

$$Q_s=qV_s=1{,}16\cdot 5{,}1=5{,}8\ \text{kg};$$

aherkivimi-ees

$$Q_a=qV_a=0{,}70\cdot 9=6{,}3\ \text{kg}.$$

6. Ühte lõhkeauku paigutatava laengu keskmise suuruse arvutame tingimustel, et lõhkeaugu täitekoefitsient, kooskõlas ohutustehnika eeskirjadega, peab olema mitte üle 0,5. Seetõttu

$$q_l=\frac{l_a k_t \pi d^2 \Delta}{4}=\frac{2\cdot 0{,}5\cdot 3{,}14\cdot 0{,}032^2\cdot 1000}{4}=0{,}8\ \text{kg}.$$

Aherkivimi-ees võib laeng täita kuni $^2/_3$ lõhkeaugu pikkusest, kusjuures topise pikkus peab olema vähemalt 75 cm. Järelikult ei või laengu pikkus ülemise rea lõhkeaukudes olla rohkem kui 105 cm, alumise rea omades mitte üle 125 cm. Valime lõhkeauku paigutatava laengu keskmiseks kaaluks aherkivimeis 0,9 kg.

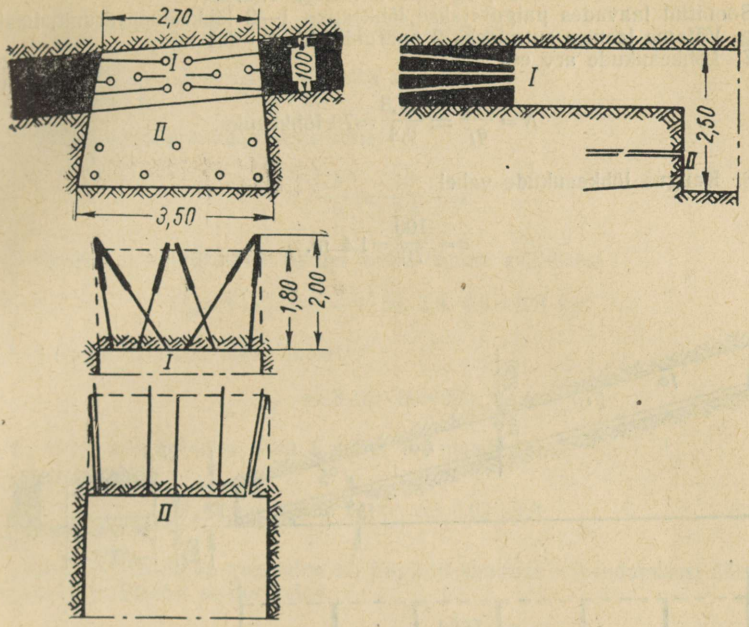
7. Vajalik lõhkeaukude arv võrdub:

söe-ees

$$N=\frac{Q}{q_l}=\frac{5{,}8}{0{,}8}\approx 8\ \text{lõhkeauku},$$

aherkivimi-ees

$$N=\frac{6{,}3}{0{,}9}=7\ \text{lõhkeauku}.$$



Joon. 96. Lõhkeaukude paigutusskeem streki söe- (*I*) ja aherkivimi- (*II*) ees (arvutuse juurde).

8. Söe-ees paigutame lõhkeaugud joon. 96 toodud skeemi järgi ning lõhkame need üheaegselt.

Aherkivimi-ees paigutame lõhkeaugud kahte ritta ning lõhkame nad samuti üheaegselt.

Näide 2. Arvutada puurimis- ja lõhketööde kompleks söekaevanduse koristusee jaoks, kus kasutatakse soonimismasinat. Ee pikkus on 100 m, kihi paksus 0,85 m, soone sügavus 1,8 m, söe kõvaduskoefitsient $f=1,5$ (III kõvadusklass end. NSV Liidu Söetööstuse Ministeeriumi normide kogu järgi), kaevandus on gaasiohtlik.

1. Lõhkeaineks valime kaitseammoniidi nr. 8 ja detonaatoriteks hetktegevusega elektridetonaatorid.
2. Lõhkeaukude pikkuse söes võtame võrdseks soone sügavusega $l_a=1,8$ m.
3. Lõhkeaine erikulu Protodjakonovi valemi järgi

$$q=0,15e\sqrt{f}\left(\sqrt{0,2f}+\frac{1}{B}\right)=0,15\frac{525}{240}\sqrt{1,5\cdot}\left(\sqrt{0,2\cdot 1,5}+\frac{1}{100}\right)=0,22\ \text{kg/m}^3.$$

4. Ühes tsüklis lõhatava söe maht kogu laava pikkuse kohta $V=(0,85-0,15)\cdot 1,8\cdot 100=125$ m³ (0,85 m — kihi paksus, 0,15 m — soone kõrgus).
5. Lõhkeaine kulu tsüklis

$$Q=qV=0,22\cdot 125=27,5\ \text{kg}.$$

6. Määrame lõhkeauku paigutatava laengu suuruse.

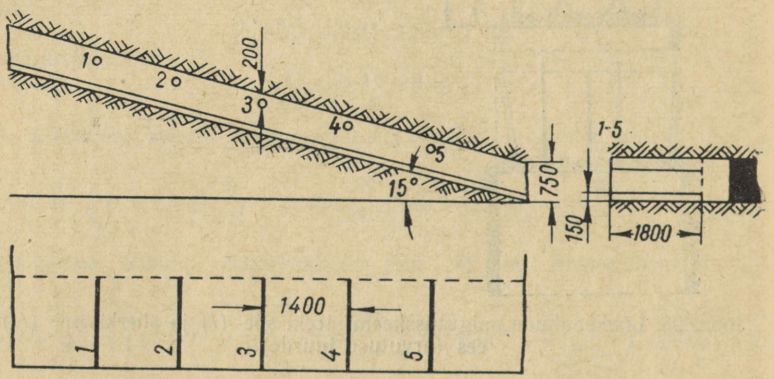
Soonitud laavades paigutatakse lõhkeauku 1—2 lõhkeainepadrunit, kaaluga 200 g. Võtame laengu suuruseks 2 padrunit ehk $q = 0{,}4$ kg.

7. Lõhkeaukude arv ees

$$N = \frac{Q}{q_l} = \frac{27{,}5}{0{,}4} \approx 70 \text{ lõhkeauku.}$$

8. Kaugus lõhkeaukude vahel

$$a = \frac{100}{70} = 1{,}4 \text{ m.}$$



Joon. 97. Lõhkeaukude (*1—5*) paigutusskeem laavas.

Näide 3. Arvutada puurimis- ja lõhketööde kompleks maagi lahtimurdmiseks horisontaalsete kihtidena (vt. joon. 94). Kambri laius $b = 10$ m, pikkus $l = 30$ m, maagi kõvaduskoefitsient M. M. Protodjakonovi järgi $f = 8$, puuraugu läbimõõt on 75 mm. Lõhkeainena kasutatakse teralist dinaftaliiti töövõimega 320 cm³.

1. Lõhkeaine erikulu leiame tabelist lisas VII

$$q_m = 0{,}42 \cdot \frac{280}{320} = 0{,}37 \text{ kg/m}^3.$$

2. Laengu kaal 1 m puuraugu kohta

$$\gamma = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \Delta = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}075^2}{4} \cdot 850 = 3{,}8 \text{ kg/m.}$$

3. Ühe puuraugu kohta tulev kihi ristlõikepindala

$$S = k\frac{\gamma}{q_m} = 0{,}9\,\frac{3{,}8}{0{,}37} = 9{,}2 \text{ m}^2.$$

4. Leiame vähima vastupanu joone pikkuse ja puuraukude vahekauguse (vt. tabel 16), oletades, et maak on tihe:

$$W = 1{,}1\sqrt{S} = 1{,}1\sqrt{9{,}2} = 3{,}3 \text{ m},$$

$$a = \frac{S}{W} = \frac{9{,}2}{3{,}3} = 2{,}8 \text{ m}.$$

5. Määrame puuraukude arvu kihis:

$$N = \frac{b}{a} = \frac{10}{2{,}8} = 4.$$

6. Puurauku paigutatava laengu kaalu leiame avaldisest

$$Q_p = N \cdot l_p \cdot \gamma \cdot k = 4 \cdot 30 \cdot 3{,}8 \cdot 0{,}9 = 408 \text{ kg}.$$

7. Leiame lõhatava kihi ruumala:

$$V_k = 3{,}3 \cdot 10 \cdot 30 = 990 \text{ m}^3.$$

8. Arvutame lõhkeaine kulu 1 m³ ja 1 t maagi kohta:

$$q_e = \frac{408}{990} = 0{,}41 \text{ kg/m}^3 \text{ või } 0{,}09 \text{ kg/t}.$$

Lõhkeaine erikulu suurenemine oli tingitud kauguse vähendamisest äärmiste puuraukude ja kambri seinte vahel.

Harjutusülesanded

Arvutada puurimis- ja lõhketööde kompleks:

1) bremsbergi rajamisel kõrgusega 2,6 m, laiusega ülevalt 3,8 m ja alt 4,6 m; söe kõvaduskoefitsient $f = 2$, aherkivimi kõvaduskoefitsient $f = 5$—6, kihi paksus 0,7—1,3 m.

2) streki rajamisel kõrgusega 2,8 m, laiusega ülevalt 3,5 ja alt 4,5 m; kihi paksus on 1 m; 0,7 m; 1,3 m; söe kõvaduskoefitsient $f = 1{,}2$—2; aherkivimi kõvaduskoefitsient $f = 3, 4, 6$.

§ 38. Lõhketööd

Lõhkeaukude puurimine ees toimub vastavalt antud ee jaoks koostatud puurimis- ja lõhketööde passile. Minöör peab enne laadimist kontrollima lõhkeaukude sügavust ja nende paigutuse õigsust. Kui need ei vasta passi nõuetele, siis ei tohi minöör lõhkeauke laadida. Lõhkeaukude pikkust mõõdetakse 2—2,5 m pikkuse ja 32 mm jämeduse laadimisvarda abil. Iga 10 cm järel on laadimisvardal sälgud ning iga 0,5 ja 1 m järel erilised sisselõiked. Sügavamate lõhkeaukude mõõtmiseks ja laadimiseks kasutatakse kokkupandavaid laadimisvardaid.

Lõhkeaugud peab puurimisjahust puhastama puurija. Kui aga minöör leiab halvasti puhastatud augu, siis ei tohi lõhkeauku laadida enne lõhkeaugu puhastamist.

Lõhkeaugu puhastamiseks kasutatakse laadimisvarda otsa kin-

nitatud kühvlit või harja. Suruõhu või veetorustiku olemasolul puhutakse lõhkeauk läbi suruõhuga või uhutakse veega.

Enne lõhkeaukude laadimist peab minöör eemaldama eest töölised ja andma esimese (hoiatava) signaali.

Mäemeister või brigadir paneb lõhketööde kohale viivatesse kaeveõõnsustesse välja valvepostid.

Lõhkeaukude laadimisel jälgib minöör laadimisvardal olevate märkide järgi, et padrunid paigutuksid tihedalt ning et lõhkeauk ei ummistuks ja padrun ei jääks kinni. Kui kaevandus ei ole gaasiega tolmuohtlik, võib löökpadruni paigutada laengu mis tahes kohale. Plahvatuse mõju on efektiivsem, kui löökpadrun on paigutatud lõhkeaugu põhja lähedusse (sel puhul paigutatakse ta teise padrunina põhjast). Olenemata löökpadruni asukohast (põhja või suudme läheduses), tuleb detonaator suunata põhjaga laengu poole, sest sellisel paigutusel tagatakse paremini detonatsiooni edasiandmine. Kui löökpadrun paigutatakse laengu keskele (pikkade laengute puhul), on otstarbekohane varustada löökpadrun kahe detonaatoriga; sel juhul peavad detonaatorid olema ühendatud sidumisnööriga või paelaga ning nende põhjad asetatud vastupidistesse suundadesse. On vaja, et initsieeriv impulss antaks elektrisütikust või süütenöörist mõlemale detonaatorile. Ühe süüteallika tõrke korral lõhkevad mõlemad detonaatorid teisest süüteallikast saadava impulsi mõjul.

Löökpadrunite valmistamine toimub vahetult ees lõhkeaukude laadimise käigus.

Topisena kasutatakse niisutatud savi ja liiva segu, liiva või põlevkivipuru, kusjuures viimased suunatakse lõhkeauku pneumaatilise topistaja abil. Allapoole suunatud lõhkeaukude puhul on parem kasutada sõmerat šlakki.

Lõhkeaukude laadimise ja topistamise lõppedes kontrollib minöör, kas läheduses ei ole töölisi ning kas juurdepääsuteed on valve all. Seejärel annab ta teise (lõhkamis-) signaali ning asub lõhkeaukude lõhkamisele.

Tulega süütamise puhul võib süütenööre süüdata ainult üks minöör, kusjuures tal on õigus süüdata kuni 16 süütenööri (suurema arvu süütenööride puhul kasutatakse süütepadruneid grupiviisiliseks lõhkamiseks). Pärast süütenööride süütamist minöör varjub ja teeb kindlaks plahvatuste arvu. Kui kõik laengud lõhkesid, võib minöör tulla varjumiskohast välja, kuid eesse võib ta minna alles pärast viimase tuulutamist. Kui kõiki pauke ei olnud võimalik lugeda, ei tohi minöör varjumiskohast väljuda enne 15 minuti möödumist viimasest paugust.

Tulega süütamine on lubatud gaasi- ja tolmuohutute kaevanduste horisontaalsetes ja kallakutes (kaldenurk mitte üle 30°) kaeveõõnsustes.

Tulega süütamisel laavades kaldenurgaga kuni 18° ei piirata

süütenööride arvu tingimusel, et minöör asuks lõhkevast laengust vähemalt 30 m kaugusel ja liiguks vastu värsket õhujuga.

Lõhkeaukude elektrilisel süütamisel kontrollib minöör pärast teist signaali varjumiskohast süütevõrgu korrasolekut ja, olles selles veendunud, süütab laengud. Kui plahvatus on toimunud, võib minöör varjendist väljuda (viittegevusega elektridetonaatorite puhul 5 minutit pärast plahvatust). Enne varjendist väljumist tuleb magistraaljuhtmed vooluallika küljest lahti ühendada. Kui plahvatust ei toimunud, lubatakse varjendist väljuda mitte enne viit minutit hetktegevusega ja mitte enne 15 minutit viittegevusega elektridetonaatorite puhul.

Magistraaljuhtmetel peab olema veekindel isolatsioon ja need tuleb asetada nii, et nad ei puutuks kokku metallesemetega ning et nad oleksid eemal elektrivõrgust. Nende pikkus peab olema lõhketöödel laavades vähemalt 50 m ja ettevalmistuskaeveõõnsustes vähemalt 75 m.

Pärast lõhkamist ja ee tuulutamist peab minöör ee üle vaatama. Kui minöör teeb vaatluse teel kindlaks, et kõik laengud plahvatasid, annab ta kolmanda signaali (lõpusignaal) ning töölised tulevad ette tagasi. Kui minöör teeb kindlaks, et kõik laengud ei plahvatanud, peab ta sellest teatama tehnilisele järelevalvele ja asuma tõrgeslaengute likvideerimisele. Juhul kui pole võimalik lõhkamise täielikkust määrata, peab kasulikku kaevist või aherkivimit koristama oletatava tõrke kohas minööri järelevalvel.

Niipea kui avastatakse tõrgeslaeng, eemaldab minöör eest töölised ning asub seda likvideerima.

Tõrgeslaenguid likvideeritakse järgmiselt. Lõhkeaugu suudmest võetakse 20 cm pikkuselt topis välja ja laadimisvarda abil tehakse kindlaks lõhkeaugu suund. Sellega paralleelselt 30 cm kaugusele puuritakse üks või mitu uut lõhkeauku ja pärast laadimist lõhatakse. Uus lõhkeauk peab olema paigutatud sellisesse kohta, et selle lõhkamisel puruneks kivim tõrgeslaengu ümbert. Kivim koristatakse ettevaatlikult ja korjatakse ära purustatud lõhkeaugust väljatulnud lõhkeainepadrunid.

Lõhketöödel vertikaalšahtides on mõningad erinevused. Puurimise lõppedes suletakse lõhkeaugud puitvaiadega, et nad ei täituks puurmudaga ega jääks vee all kadunuks (vertikaalšahti esi on sageli üleni veega kaetud). Puurinstrument ja mehhanismid tõstetakse šahtist välja, jättes ette ainult 1—2 läbipuhumistoru.

Seejärel lastakse šahti lõhkeaine ja sellest eraldi löökpadrunid, mis valmistatakse maa peal erilises ruumis, mis peab olema šahtist vähemalt 50 m kaugusel. Ees võivad olla ainult minöörid ja rajamistöölised, kellel on «Ühtne minööri raamat».

Lõhkeaukude suure arvu tõttu laevad neid 5—8 inimest, kaasa arvatud minöörid.

Tööd toimuvad vahetustehniku järelevalvel. Iga lõhkeauk tuleb enne laadimist läbipuhumise teel puurmudast puhastada. Kui lõhkeauk täitub mudaga kiiresti, asetatakse sellesse pärast läbipuhumist lehter, mille kaudu viiaksegi läbi laadimine. Igale rajamislülile (2—3 inimest) eraldatakse alatiseks kindel ee osa. Iga lõhkeauk suletakse pärast laadimist uuesti puitvaiaga. Nendele vaiadele riputatakse ka monteeritav elektriline süütevõrk. Vahetustehnik jälgib tööde vastavust nõuetele ja vabanenud minööride õigeaegset ülestõstmist šahtist. Tööde lõpetamise momendiks ei tohi šahti jääda rohkem kui 2—4 inimest, kaasa arvatud tehnik. Elektrilise süütevõrgu kontrollimise järel ühendatakse see süütekaabliga ja inimesed tõstetakse šahtist üles. Pärast inimeste eemaldamist tõstetornist lülitab vanemminöör sisse voolu ja teostab lõhkamise.

Pärast lõhkamist ja tuulutamist laskuvad vahetustehnik ja minöör šahti ee ülevaatuseks ning selle viimiseks ohutusse seisukorda.

Lõhketöödel peab gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes minöör ette saabumisel eelkõige kontrollima gaasi kontsentratsiooni ja värskelt sadestunud tolmu plahvatusohtlikkust.

Lõhkeauke ei tohi laadida, kui ees või kaeveõõnsuses kuni 20 m kauguseni eest avastatakse 1% või rohkem metaani. Kui kaevandus on tolmuohtlik, peab esi ja kaeveõõnsus 20 m ulatuses olema niisutatud või tolmuga üle puistatud. Väävli- või sulfiidse tolmu plahvatuse suhtes ohtlikes kaevandustes peavad esi ja kaeveõõnsuse küljed 10 m ulatuses olema veega hästi niisutatud.

Niisutamine ja veetõkete kasutamine vähendab mitte ainult tolmu tekkimist ja tolmu plahvatusohtu, vaid ka plahvatusel tekkivate mürgiste gaaside hulka (2—3 korda).

Gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes võib kasutada ainult kaitselõhkeaineid ja hetk- või lühiviittegevusega elektridetonaatoreid. Löökpadrun tuleb paigutada lõhkeauku viimasena. Elektridetonaatori põhi peab olema suunatud lõhkeaugu põhja, s. t. laengu poole. Mingil muul viisil ei ole lubatud löökpadrunit ja elektridetonaatorit paigutada.

Kihtides, mis on ohtlikud ootamatute söe- ja gaasipursete poolest, lubatakse nii avamisel kui ka horisontaalsete ja kallakute kaeveõõnsuste rajamisel (ülevalt allapoole) kasutada ainult raputuslaengutega lõhkamist. See lõhketööde meetod erineb tavalisest selle poolest, et raputuslaengutega lõhkamisel kasutatakse kaitselõhkeaineid kaitsekestades.

Lõhkeaukude arv, nende paigutus ja sügavus ning laengu suurus peavad raputuslaengutega lõhkamisel olema sellised, et lõhkamisel oleks saavutatud hea söe või aherkivimi lahtimurdmine kogu ee ulatuses, eriti kaeveõõnsuse ristlõike ülemistes nurkades. Kõik laengud tuleb süüdata üheaegselt.

Raputuslaengud lõhatakse vähemalt 200 m kauguselt eest.

Enne lõhketöid eemaldatakse antud jaoskonnast kõik töölised, eriti ohtlikel juhtudel aga kogu kaevanduse tiivast. Esi vaadatakse üle mitte varem kui 30 minutit pärast lõhkamist, rakendades erilisi ettevaatusabinõusid.

Raputuslaengutega lõhkamise eesmärgiks on esile kutsuda degaseerimist või gaasi ja söe väljapaiskamist ee massiivist ajal, kui ees ja kaeveõõnsuses pole töölisi. Need tööd viiakse läbi antud kaevanduse kohta spetsiaalselt koostatud instruktsiooni järgi.

PUURIMISTÖÖD

IX PEATÜKK

LÕHKEAUKUDE KEERDPUURIMINE

§ 39. Keerdpuurimise tööprintsiip

Lõhke- ja puuraukude puurimiseks kivimeisse võib kasutada mitmesugust moodust: keerd-, löök-, löök-keerd- ja termopuurimist. Kõige enam on levinud kaks esimest viisi, kusjuures löökpuurimist kasutatakse peamiselt kõvade ja keskmise kõvadusega kivimite ning keerdpuurimist pehmemate kivimite puhul, mille kõvaduskoefitsient prof. M. M. Protodjakonovi järgi ei ole üle 10.

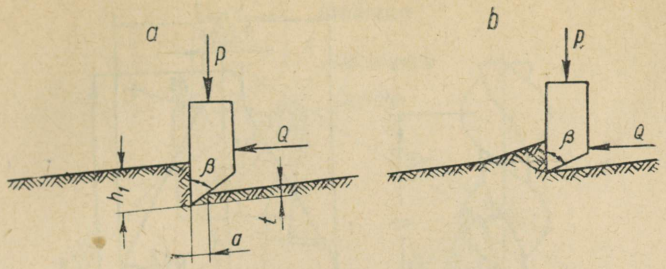
Löök-keerdpuurimist kasutatakse puuraukude puurimiseks kõvadesse ja väga kõvadesse kivimitesse. Termopuurimine võeti kasutusele alles hiljuti ega ole seepärast veel laialdasemalt rakendatud.

Tööriistaks keerdpuurimisel on spiraalne puurvarras. Puurvarda ühes otsas on lõiketera, mis puurib lõhkeauku, teises otsas aga puuripära, mis kinnitatakse puurmasina padrunisse.

Keerdpuurimisel on lõiketeral üheaegselt kaks liikumist — ümber oma telje pöörlev ja ettenihe piki telge. Käsipuurmasinatega puurimisel tekitatakse pöörlev liikumine mehaanilisel teel, ettenihe aga töölise jõuga, mis antakse edasi puurile puurmasina kere ja padruni kaudu. Sammaspuurmasinatega puurimisel tekitatakse nii lõiketera pöörlev kui ka ettenihkeliikumine mehaanilisel teel.

Keerdpuurimise tööprintsiip seisab järgmises. Ettenihet tekitava jõu P (joon. 98,*a*) mõjul tungib lõiketera kivimisse, purustades seda survega. Pöörlevat liikumist tekitava jõu Q mõjul lõikab lõiketera kivimist laastu (joon. 98,*b*). Purustatud kivim kõrvaldatakse lõhkeaugust puurvarda keermega.

Erinevalt löökpuurimisest purustab lõiketera keerdpuurimisel kivimit peamiselt lõikamisega ja vähesel määral muljumisega. Kuna aga kivimi lõiketugevus on tunduvalt väiksem kui pindsurvetugevus, siis on energia erikulu (energiakulu lõhkeaugu ruumala või pikkuse ühiku kohta) keerdpuurimisel väiksem kui löökpuurimisel. Seetõttu et keerdpuurimisel puuritakse kivimit pidevalt, löökpuurimisel aga katkendlikult (puur purustab kivimit



Joon. 98. Lõiketera kivimisse tungimise skeem.

ainult löögi momendil), on keerdpuurimine teatud tingimustes suurema tootlikkusega kui löökpuurimine.

Järelikult on keerdpuurimine nii energia erikulu kui ka puurimiskiiruse poolest efektiivsem löökpuurimisest. See järeldus on õige ainult puurimisel paraja kõvadusega kivimites. Kõvades kivimites ei suuda lõiketerale mõjuv staatiline jõud ületada kivimi survetugevust ja lõiketera ei tungi kivimisse. Sellisel juhul lõiketera kivimit ei lõika, vaid kulub ja nürineb lõhkeaugu ee pinnal. Selline puurimine pole tootlik ning seepärast kõvades kivimites keerdpuurimist ei kasutata.

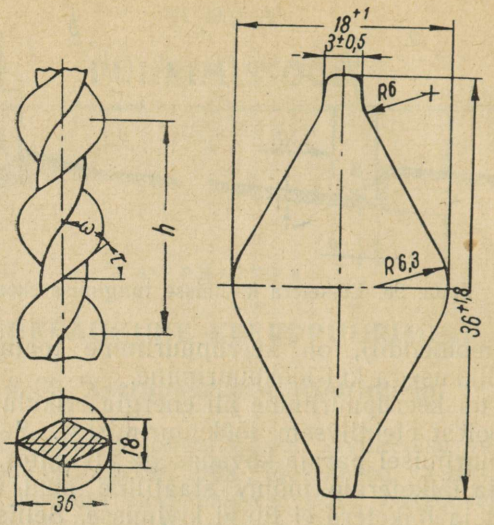
§ 40. Puurinstrument

Puurvardad. Puurvarraste valmistamiseks kasutatakse süsinikteraseid У8, У9 ja У10. Neist terasemarkidest valtsitakse 5—7 m pikkused ümardatud nurkadega rombikujulise põiklõikega 18×36 mm latid (joon. 99). Latid keeratakse kuumas olekus selliselt, et nende servad moodustavad keerme. Selle keerme abil kõrvaldatakse puurimisel peenestatud kivim lõhkeaugust.

Sammaspuurmasinatga puurimiseks valmistatakse puurvardad 0,7 kuni 5 m pikkused, kusjuures iga järgnev puurvarras on eelmisest 0,7 m pikem. Käsipuurmasinatega puurimisel kasutatakse 1,2 ja 3 m pikkusi puurvardaid.

Puurvarda ühes otsas on saba selle kinnitamiseks puurmasina padrunisse ja teises otsas pesa lõiketera kinnitamiseks.

Et saada korrapärase ristlõikega sirgeid lõhkeauke ja kõrvaldada puurimisel puurjahu, peab puurvarda keerme samm olema 60—90 mm ning lõiketera ja puurvarda läbimõõtude suhe 1,10 ÷ 1,20. Hõõrdudes vastu lõhkeaugu seina, puurvarras kulub ning see suhe pidevalt suureneb. Kulunud puurvardad, millel see suhe ulatub 1,4-ni, muutuvad töökõlbmatuks. Nad kõrvaldavad halvasti puurjahu, võivad puurjahuga lõhkeauku kinni kiiluda ning lõhkeauk tuleb puurimisel ebakorrapärane, looklev, mis raskendab tema laadimist.



Joon. 99. Puurvardaks keeratud teraslatt.

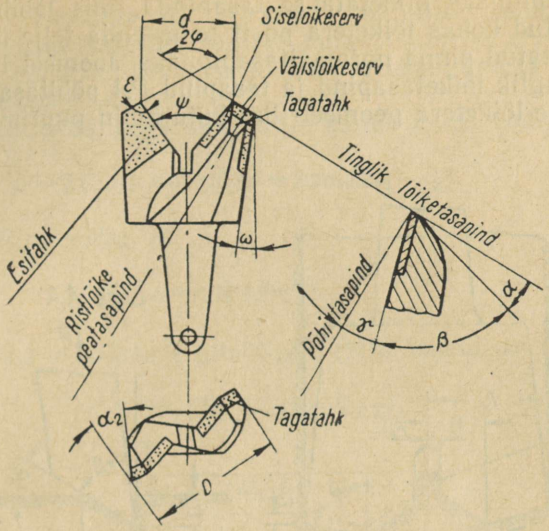
Lõiketerad. Vahetatavad lõiketerad sepistatakse või stantsitakse samadest süsinikterase sortidest millest puurvardadki. Lõiketeral on kaks lõikeharu ja pära puurvardaga ühendamiseks. Mõlema haru töötahud armeeritakse 3÷4 mm paksuse kõvasulamist plaadiga. Lõiketerade armeerimiseks kasutatakse volframkarbiidi ja koobaldi metallkeraamilisi sulameid BK-6 ja BK-8, vastavalt 6 ja 8%-lise koobaldisisaldusega. Need sulamimargid omavad suurt kõvadust, kuid nad ei ole küllalt sitked, mispärast neid kasutatakse ainult keerdpuurimisel.

Kõvasulamist plaadid taluvad 8 kuni 15 teritust, olenevalt lõiketera nürinevuse astmest.

Lõiketera geomeetriline kuju, nagu metalli kõvadus ja sitkuski, mõjutab suurel määral puurimiskiirust ning lõiketera vastupidavust kulumisele ja purunemistele.

Eristatakse järgmisi lõiketera geomeetrilise kuju elemente (joon. 100): lõiketera tipunurk ε — nurk, mis moodustub lõiketera välis- ja siselõikeserva lõikumisel; lõiketera otsnurk 2φ — nurk, mis moodustub välislõikeservade pikenduste lõikumisel; lõiketera lahunurk ψ — nurk, mis asub lõike harude siselõikeservade pikenduste vahel; D — lõiketera läbimõõt; d — haru tippude vaheline kaugus.

Vaadeldes lõiketera ristlõiget lõikeservaga ristiolevas tasapinnas, tuleb peale selle eristada veel järgmisi lõiketera geomeetrilisi elemente: lõikenurk β — nurk, mis moodustub lõiketera esi- ja tagatahkude vahel; taganurk α — nurk lõiketera tagatahu ja



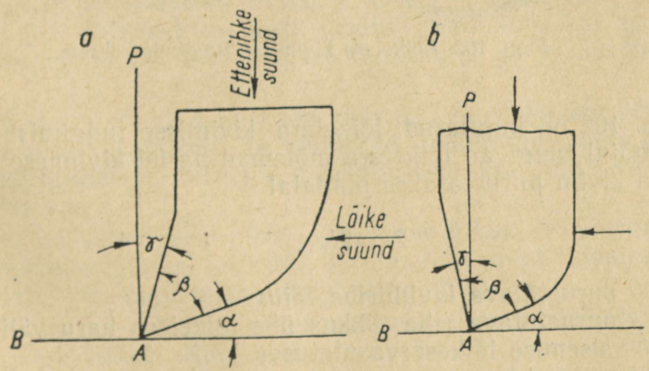
Joon. 100. Vahetatav puuri lõiketera.

tingliku lõiketasapinna vahel; esinurk γ — nurk lõiketera esitahu ja põhitasapinna vahel. Nurk γ loetakse positiivseks (märgiga +), kui ta on paremal pool tasapinda PA (joon. 101,*a*), ja negatiivseks, kui see on tasapinnast PA vasakul (joon. 101,*b*).

Nurkade summa

$$\alpha+\beta+\gamma=90°. \tag{112}$$

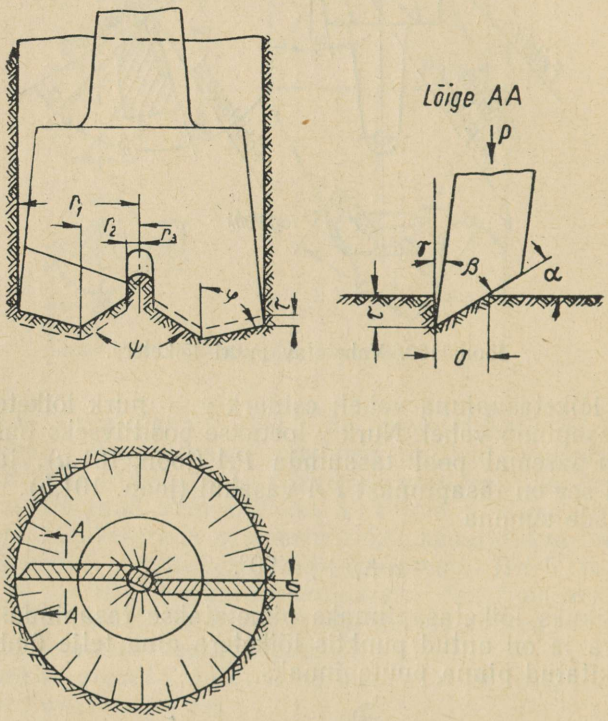
Tinglikuks lõiketasapinnaks nimetatakse tasapinda, mis läbib lõikeserva ja on antud punktis lõiketera oma telje ümber pöörlemisel tekitatud pinna puutepinnaks.



Joon. 101. Positiivse (*a*) ja negatiivse (*b*) teritusnurgaga lõiketera.

Põhitasapinnaks nimetatakse tasapinda, mis läbib lõikeserva ning on antud kohas lõiketera poolt tema enda telje ümber pöörlemisel tekitatud pinna normaaltasapinnaks. Joonisel 101 on tasapind *BA* tinglik lõiketasapind ja tasapind *PA* põhitasapinnaks.

Vaatleme lõiketera geomeetrilise kuju mõju puurimise efektiivsusele.



Joon. 102. Lõiketera kivimisse tungimise skeem.

Joon. 102 on kujutatud lõiketera kivimisse tungimise skeem. Jõu *P* mõjul tungivad lõiketera mõlemad harud kivimisse sügavusele τ ja kivim purustatakse pindalal

$$2s = 2la, \tag{113}$$

kus a — purustatava kivimiriba laius;

l — purustatava riba pikkus ühe lõiketera haru välimise ja sisemise lõikeserva ulatuses.

Pikkus

$$l = l_1 + l_2 = (r_1 - r_2) + (r_2 - r_3). \tag{114}$$

Välimise lõikeserva all on kivim ruumilises pingeolukorras. Kivimi survetugevust võib sellises pingeolukorras arvestada kaks korda suuremana kui sisemise lõikeserva osas, kus ta on tavalise lineaarsurve olukorras.

Arvestades seda, peab lõiketerale mõjuv jõud P võrduma

$$P=2(2\sigma_s l_1 a+\sigma_s l_2 a)=2a\sigma_s(2l_1+l_2). \tag{115}$$

Joon. 102 on näha, et

$$a=\tau \operatorname{tg}(\beta+\gamma). \tag{116}$$

Asendades a väärtuse avaldisest (116) valemisse (115), saame

$$P=2\tau\sigma_s(2l_1+l_2)\operatorname{tg}(\beta+\gamma), \tag{117}$$

kust

$$\tau=\frac{P}{2\sigma_s(2l_1+l_2)\operatorname{tg}(\beta+\gamma)}. \tag{118}$$

Valemist (118) järgneb, et antud kivimi tugevuse ja lõiketerale mõjuva survejõu puhul suureneb lõiketera kivimisse tungimise sügavus ning järelikult ka puurimise kiirus vastavalt sellele, mil määral vähenevad harude lõikeservade summaarse projektsiooni pikkus, välislõikeserva projektsiooni pikkus (konstantse pikkuste summaarse väärtuse l_1+l_2 juures) ja nurgad β ning γ.

Võib soovitada järgmisi lõiketera teritusnurki:

kõvade aherkivimite puurimisel lõiketera teritusnurk $\beta=60$—$65°$; väga kõvade süte puurimisel 50—60°; keskmise kõvadusega süte puurimisel 45—50°;

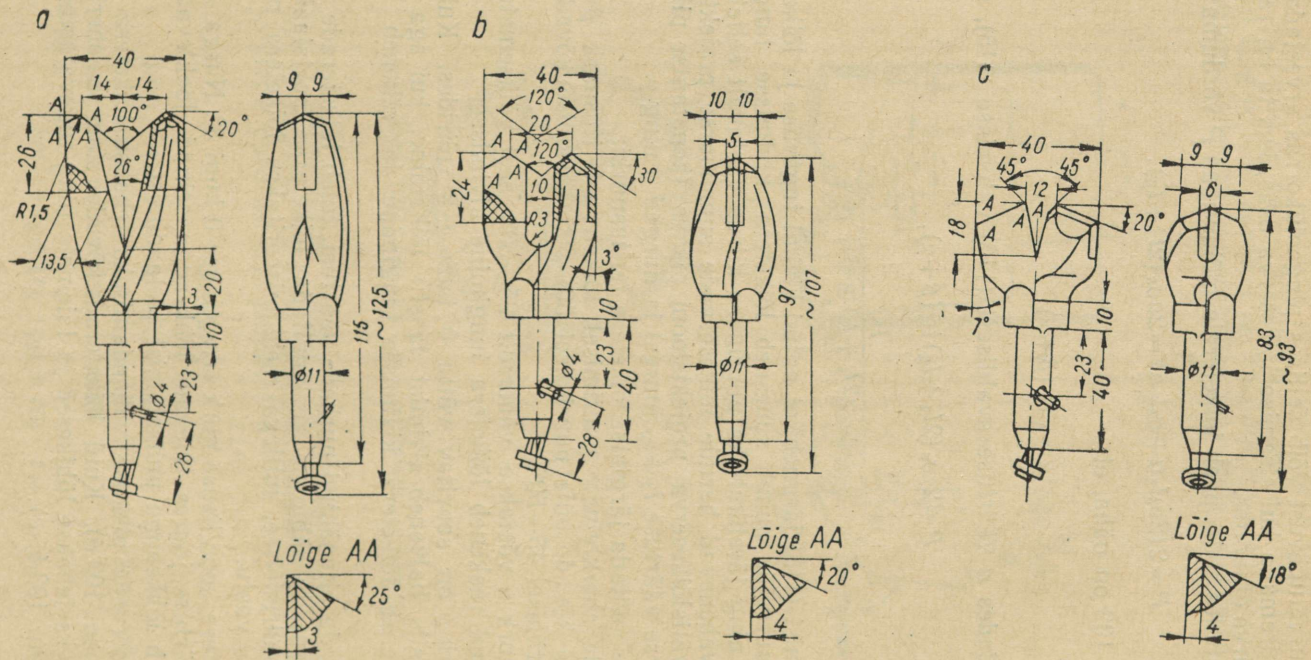
taganurk α võetakse vähemalt 25—30°, sest väiksemate nurkade puhul raskeneb lõiketera tungimine kivimisse;

esinurk γ on soovitav võtta 0 kuni $-5°$ piirides. Kui nurk $\gamma<-5°$, siis halveneb kivimist laastu lõikamine, kui aga $\gamma>0°$, siis raskeneb lõiketera kivimisse tungimine ja väheneb laastu paksus.

Et saada ettenähtud nurkade väärtusi, tuleb lõiketerade teritamisel kasutada šabloone ja kinnitada lõiketerad spetsiaalseisse kinnituspadruneisse, millega mehhaniseeritakse lõiketera nihutamine käia vastu.

Lõiketera koonilisuse nurk ω võetakse 0 kuni 3°. Nurga ω suurema väärtuse juures tulevad lõhkeaugu seinad looklevad, mis raskendab lõhkeaugu puhastamist ja laadimist.

Lõikeservade pikkuse vähendamiseks tehakse lõiketera harud kitsad (joon. 103,*a*). Kuid lõiketerad kõvade süte ja aherkivimi puurimiseks tehakse lühikesed ja laiemate ning tugevamate harudega (joon. 103,*b*, *c*).



Joon. 103. Lõiketerad keerdpuurimiseks:

a — sõe puurimiseks РУ-1; *b* — sõe puurimiseks РУ-2; *c* — aherkivimi puurimiseks РП.

§ 41. Lõhkeaukude puurimine elektriliste käsipuurmasinatega

Käsipuurmasinad jaotatakse kasutatava energialiigi järgi elektrilisteks ja pneumaatilisteks. Kuna elektrienergia on umbes 15 korda odavam pneumaatilisest energiast, siis kasutatakse elektripuurmasinaid tunduvalt rohkem kui pneumaatilisi. Viimaseid kasutatakse eriti ainult gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes, kus elektrimasinate kasutamine etes on keelatud.

Elektri- ja suruõhu-keerdpuurmasinad jaotatakse kaalu, võimsuse ja tööasendis hoidmise viisi järgi käsi- ja sammaspuurmasinateks. Käsipuurmasinaid kasutatakse lõhkeaukude puurimiseks söekihtidesse, antratsiiti, kipsi, kaalisoola, savikiltkividesse ja teistesse kivimitesse, mille kõvaduskoefitsient $f<3$—4 prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi. Sammaspuurmasinaid kasutatakse kivimite puhul kõvaduse koefitsiendiga $f=4\div10$.

Elektri-käsipuurmasinate ehitus ja tööprintsiip. Elektri-käsipuurmasinad on 14 kuni 22 kg raskused, mootori võimsusega 1,3—1,7 kW. Pöörlemine mootorilt puurvardale kantakse üle kahe- või üheastmelise reduktori abil. Üheastmelise reduktoriga elektripuurmasin (elektripuurmasin ЭР-4) on kiirema käiguga. Selle spindel teeb 710—1200 pööret minutis. Kaheastmelise reduktoriga puurmasinad on aeglasema käiguga. Nende spindel teeb 300 kuni 500—700 pööret minutis, kuid nende pöördemoment on vastavalt suurem (180—280 kgcm) ja seepärast võib neid kasutada kõvemate süte ja pehmete kiltkivide puurimiseks.

Elektri-puurmasina pöördemoment määratakse valemiga

$$M=\frac{102\cdot60\cdot100\,N_{sp}}{2\pi n}, \qquad (119)$$

kus M — pöördemoment kgcm;
N_{sp} — võimsus spindlil kW;
n — spindli pöörete arv minutis.

Spindli pöörete arvu saab muuta reduktori hammasrataste vahetamisega.

Elektri-käsipuurmasinate tehnilised andmed on toodud lisas XI.

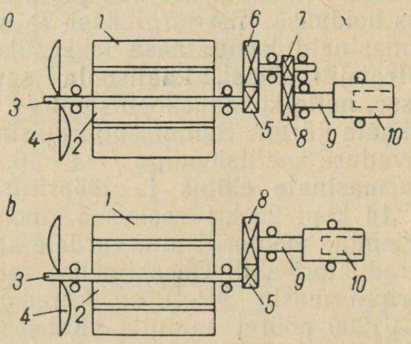
Elektri-käsipuurmasin koosneb järgmistest peamistest osadest: lühisrootoriga asünkroonmootor, käiviti, ventilaator mootori jahutamiseks ja reduktor pöörlemise ülekandmiseks puuripadrunile. Kõik need osad asuvad tugevas silumiinist keres.

Joonisel 104 on toodud kahe- (*a*) ja üheastmelise (*b*) reduktoritega käsipuurmasinate kinemaatilised skeemid.

Elektri-käsipuurmasina ЭБР-19 (joon. 105) ehitus on järgmine. Ribistatud silumiinkeres *8* asuvad elektrimootori staator *7* ja rootor *9*, mis on eraldatud reduktorist vahekaanega *10*. Rootori võll pöörleb kuullaagreil. Võlli tagumisele otsale on elektrimoo-

tori kere pinna jahutamiseks kinnitatud ventilaator *11*. Ventilaator on kaetud tagumise kaanega *12*.

Eesmises otsas on rootori võllile kinnitatud rootori hammasratas *2*, mis annab pöörlemise vahehammasrataste *3* ja *4* kaudu üle spindli hammasrattale *5*. Viimane on kinnitatud kruviga spindli *6* külge, mis pöörleb kuullaagril. Reduktor ja spindel on kaetud kattega *1*. Spindli eesmise osa külge on kinnitatud padrun, milles on õõs puuripära jaoks.



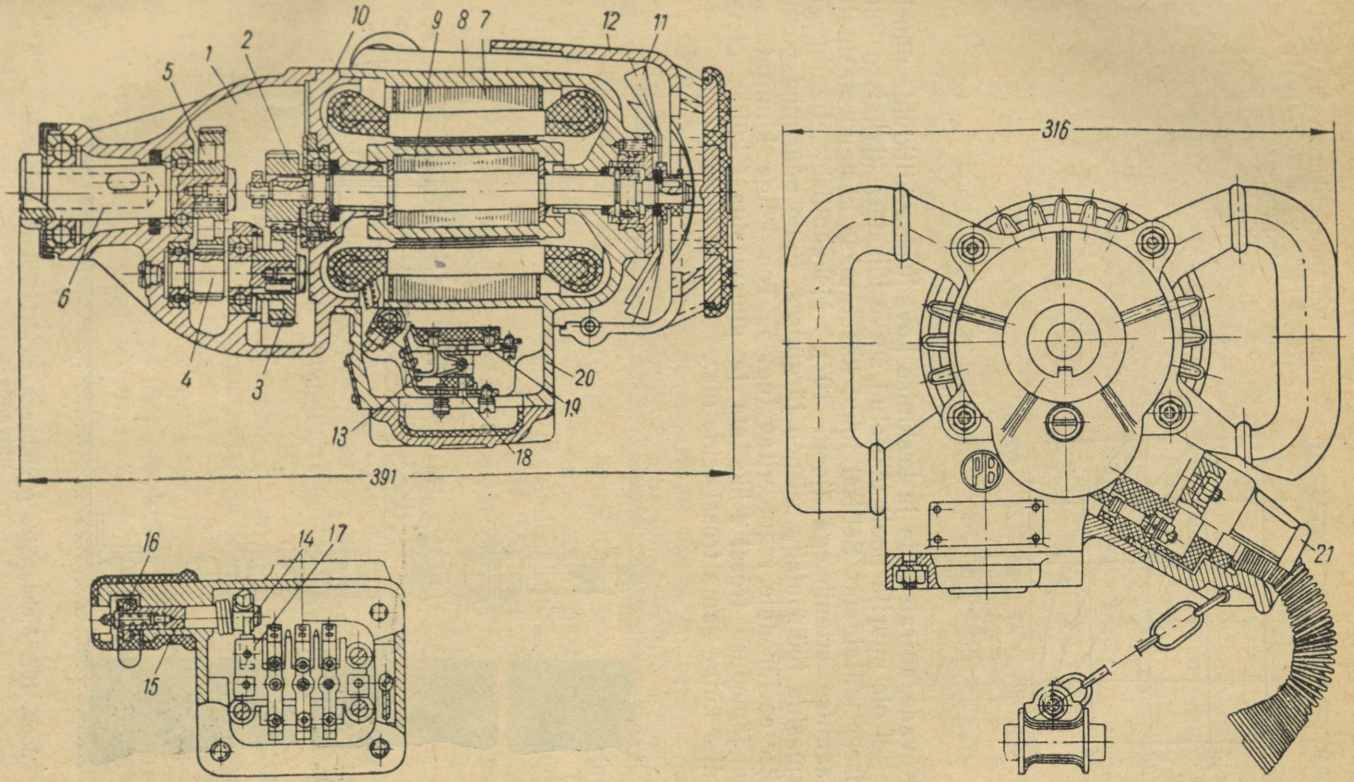
Joon. 104. Elektri-käsipuurmasinate kinemaatilised skeemid:

1 — elektrimootori staator; *2* — rootor; *3* — rootori võll; *4* — ventilaator; *5* — rootori hammasratas; *6*, *7* — vahehammasrattad; *8* — spindli hammasratas; *9* — spindel; *10* — puuripadrun.

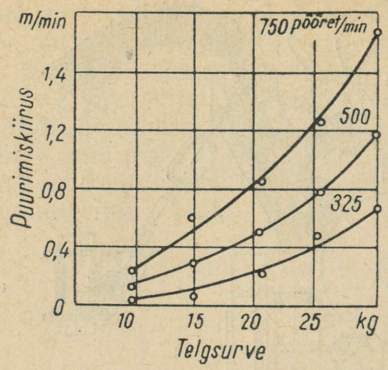
Lüliti *13* on monteeritud elektrimootori all asuvasse karpi *20*. Elektrivool antakse käivitisse painduva kummikaabliga, mis suunatakse lüliti karpi läbi muhvi *21*.

Puurmasina kere küljes on kahel pool käepidemed, milledest puurija hoiab töötamisel masinat. Paremasse käepidemesse on monteeritud lüliti link, millele vajutamisel (parema käe peopesa või sõrmedega) annab käepidemes ja käiviti karbis asuv kangide (*14*, *15*, *16* ja *17*) süsteem liikumise edasi käivitile. Seega sulguvad liikuvad *18* ning liikumatud *19* kontaktid ja vool läbib staatori mähised. Kui lingile vajutamine lõpetatakse, liiguvad kangid vedru survel tagasi lähteasendisse ja vool lülitub välja.

Et puuri lõiketera tungiks kivimisse, on lõhkeaukude puurimisel vaja pidevalt käsipuurmasinale peale suruda. Mida tugevamini surutakse puurmasinale (lõiketerale) ja mida teravam on lõiketera, seda paksema laastu eraldab see ühe pöörde jooksul. Puurimiskiirus sõltub surve suurusest terale ja puuri pöörete arvust. Joon. 106 on toodud V. G. Mihhailovi järgi puurimiskiirus ЭР-3-tüüpi puurmasinaga antratsiidi puurimisel, olenevalt pöörete arvust ja telgsurvest.

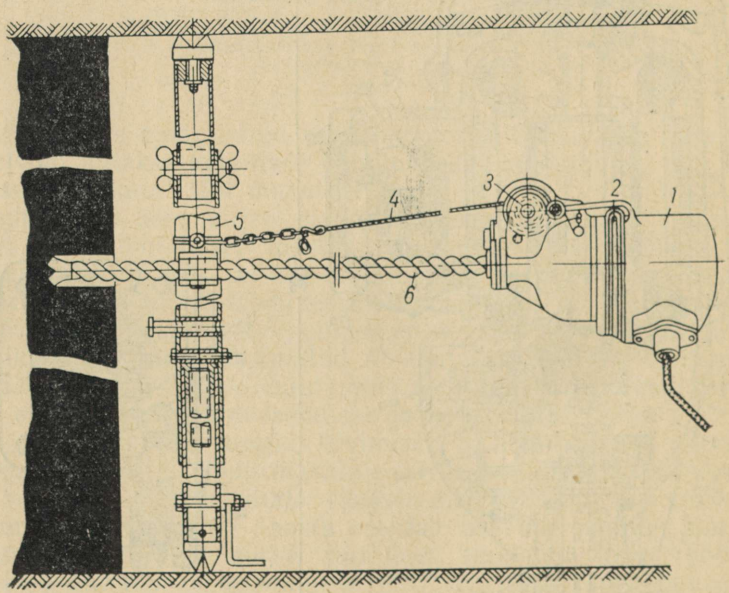


Joon. 105. Elektri-käsipuurmasin ЭБР-19.



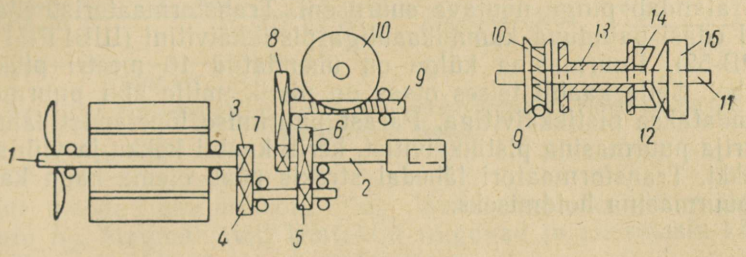
Joon. 106. Puurimiskiiruse sõltuvuse kõverad lõiketera pöörete arvust ja telgsurvest.

Kõvade antratsiitide ja keskmise kõvadusega kiltkivide puurimisel ei ole puurija poolt tekitatud surve lõiketera kivimisse tungimiseks küllaldane. Sellisel juhul kasutatakse käsipuurmasinaid mehaanilise ettenihkega (joon. 107). Mehaanilise ettenihkega puurmasina tööprintsiip seisneb järgmises. Enne puurimist püstitatakse ee lähedale reguleeritav tugi *5*. Toe külge kinnitatakse 3 mm jämeduse trossi *4* üks ots ja puurmasina *1* küljes oleva trumli *3* külge sama trossi teine ots.



Joon. 107. Mehaanilise ettenihkega elektri-käsikeerdpuurmasina üldvaade.

Puurija hoiab puurmasinat käepidemetest *2* ja surub 20—30 kg jõuga käepidemetele ning puurmasina tagumisele kaanele. Juhul kui rakendatud jõud pole küllaldane ja puur *6* tungib kivimisse halvasti, lülitab tööline sisse mehaanilise ettenihke. Trummel *3* hakkab pöörlema ning pingutab trossi *4*. Trossi pinge tekitab puurvardale ja lõiketerale täiendava survejõu, mis ulatub kuni 100 kg. Ettenihkemehhanismi ja töölise poolt rakendatavate jõudude mõjul tungib lõiketera paremini kivimisse ja purustab seda.



Joon. 108. Mehaanilise ettenihkega elektri-käsikeerdpuurmasina kinemaatiline skeem.

Käsipuurmasina ЭРП-5 kinemaatiline skeem on toodud joon. 108. Mootori võllilt *1* antakse pöörlemine üle spindlile *2* hammasratastest *3, 4, 5, 6* koosneva reduktori abil. Spindli lisahammasrattalt *7* antakse pöörlemine edasi teovõllil *9* asuvale hammasrattale *8* ja sealt trumli võllile *11* kinnitatud teorattale *10*. Teoratas *10* pöörleb koos võlliga *11* ja sellele kinnitatud hõõrdsiduriga *15*. Samal võllil *11* asetseb vabalt trummel *13* koos hõõrdsiduriga *14*. Seibi *15* abil on võimalik hõõrdsidurit *12* suruda vastu sidurit *14*. Sel juhul võlli *11* pöörlemine kandub sidurite *12* ja *14* kaudu trumlile *13*. Trumli pöörlemisel keritakse tross trumlile ja puurmasina ettenihe toimub mehaaniliselt.

Mehaanilise ettenihkega puurmasinaid on sobiv kasutada täitestrekkides, kus toe ühest asukohast on võimalik puurida mitu lõhkeauku. Ka kasutatakse neid puurmasinaid rajamistöödel kiltkivide ja kõvade süte puurimisel.

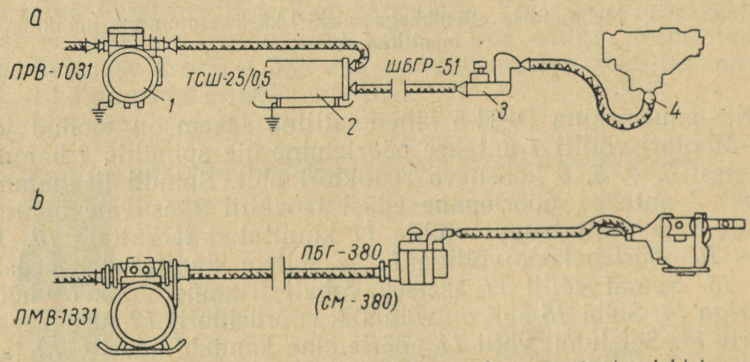
Puurmasina ЭРП-5 puurimiskiirus antratsiidi ja savikiltkivi puurimisel on 500—740 mm/min. Puurija töötootlikkus vahetuses savikiltkivide puurimisel täitestrekis on 50—60 jm lõhkeauku.

Käsipuurmasinatega ЭР-5 ja ЭБР-19Д puurimisel keskmise kõvadusega söesse on puurija töötootlikkus 80—100 jm lõhkeauku vahetuses. Töö hea organiseerimise ja laia töörinde puhul ulatub töötootlikkus keskmise kõvadusega söe puhul 200—250 jm lõhkeauku vahetuses.

Elektrienergia kanalisatsioon. Elektrivool juhitakse käsipuurmasinaisse painduva kummikaabliga ГРШС 3×2,5+1×1,5 või

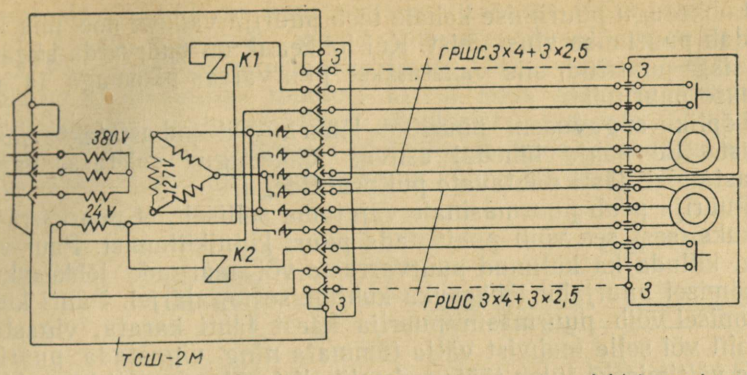
ГРШ 3×4+1×2,5 (4-juhtmeline kaabel, neljas juhe on maandamiseks, juhtme ristlõige on 2,5 või 4 mm²).

Kaugjuhtimise seadmeteta käsipuurmasinate (ЭР-4, ЭР-5, ЭРП-5, ЭБР-19) elektrienergiaga varustamise skeem on kujutatud joonisel 109,*a*. Transformaatorikambrist juhitakse 380 V (või 220 V) pingega vool kaabliga tööette. Enamus eemasinaid töötab sellise pingega. Ohutustehnika nõuete järgi tuleb käsipuurmasinaid toita 127 V-se vooluga. Seepärast pannakse ee lähedale strekki üles ТСШ-2,5 kVA tüüpi liikuv (jalastel) transformaator, mis alandab pinge nõutava suuruseni. Transformaatorist viiakse vool edasi painduva kummikaabliga pistikkäivitini (ШБГР-51 või ШРВ-52). Puurmasina külge on ühendatud 10 meetri pikkune kaabel. Selle kaabli teises otsas on pistik, mille abil puurmasin ühendatakse pistikkäivitiga. Pärast puurimise lõpetamist lahutab puurija puurmasina pistikkäivitist, kerib kaabli kokku ja viib selle strekki. Transformaatori lähedal strekis peab olema kapp kaabli ja puurmasina hoidmiseks.



Joon. 109. Käsi- (*a*) ja sammas- (*b*) keerdpuurmasinate elektrienergiaga varustamise skeem:
1 — käiviti; *2* — transformaator; *3* — pistik-käiviti; *4* — elektri-käsikeerdpuurmasina kaabliava

Kaugjuhtimisega töötavate puurmasinate ЭБР-6Д ja ЭБР-19Д elektrivooluga toitmine toimub veidi erinevalt (joon. 110). 380 V-se pinge alandamiseks 127 V-seks kasutatakse transformaatorit ТСШ-2М. Transformaatori täiendav sekundaarmähis annab 24 V pingega voolu. Sellelt mähiselt töötavad kaks transformaatori keres asuvat magnetkäivitit. Transformaator ТСШ-2М võib üheaegselt toita kahte puurmasinat. Puurmasin ühendatakse transformaatoriga kuuesoonelise kaabliga ГРШС 3×4+3×2,5. Kolm selle kaabli soont (4 mm² ristlõikega) juhivad 127 V pingega voolu otse mootori staatori mähistele, kaks soont (2,5 mm² ristlõikega) toovad 24 V pingega voolu puurmasina lüliti kontaktidele. Lülitile vajutamisel kontaktid sulguvad, 24 V pingega vool



Joon. 110. Kahe kaugjuhtimisega käsikeerdpuurmasina elektrienergiaga varustamise skeem.

liigub mööda juhtimissooni ning läbib magnetkäiviti mähised K_1 või K_2. Magnetkäiviti kontaktid sulguvad ja puurmasin käivitub. Kuues kaablisoon on maandamiseks.

Puurmasina ühendamiseks transformaatorist tuleva kaabliga kasutatakse pistik-ühendusmuhvi CM-5. Muhvi CM-5 pistikkarp on ühendatud transformaatorist tuleva kaabliga ja pistikhark elektripuurmasina küljes oleva kaabli lõiguga.

Kaugjuhtimise paremused on järgmised:

madalapingeline (24 V) puurmasina lüliti on töökindlam ja vastupidavam;

puurijat ei ähvarda elektrilöögi oht;

kui puurmasin on välja lülitatud, jääb kaabel 24 V pinge alla.

Lõhkeaukude puurimine. Enne töö algust peab puurija puurmasina üle vaatama ja kontrollima, et kõik puurmasina osad oleksid tugevalt ühendatud, mutrid pingutatud ning ventilaatori õhu sisse- ja väljavoolu avad keres puhtad.

Pärast välist ülevaatust proovitakse puurmasinat tühikäigul, mille juures ta peab töötama ühtlase nõrga müraga. Pärast puurmasina proovimist lülitatakse vool välja ja lahutatakse transformaatorist. Siis toimetatakse puurmasin ette, tõmmatakse kaabel koos pistikkäivitiga või ühendusmuhviga järele ja ühendatakse puurmasina külge. Kaabel tuleb toestiku külge üles riputada.

Puurija peab töötama kummikinnastes ja -jalanõudes. Ees peab olema puurvarraste komplekt (teine, varukomplekt hoitakse strekis kastis) ja küllaldane teritatud lõiketerade tagavara.

Lõhkeaugu puurimist alustatakse lühikese puurvardaga. Üle 1 m pikkust puurvarrast puurimise alguses ei soovitata kasutada. *

* Praktikas alustatakse pehmemate kivimite, nagu süsi, põlevkivi jne. puurimist kohe lõhkeaugupikkuse puurvardaga. (*Tõlkija märkus.*)

Lõhkeaugu puurimise kohale teeb puurija väikese nõo, mis kergendab puurimise alustamist. Kui lõhkeauk on puurvarda sügavuses sisse puuritud, siis vahetatakse puurvarras pikemaga ja jätkatakse puurimist.

Lõpliku sügavuseni puuritud lõhkeaugud puhastatakse puurjahust. Ee põhja lähedal asuvad lõhkeaugud suletakse pärast puhastamist hästi nähtavate puitpruntidega.

Puurija peab puurmasinale vajutama selliselt, et puurvarras ei nõtkuks, sest see võib põhjustada puuri kinnikiilumist. Puur võib kinni kiiluda ka kulunud puurvarraste või märgade lõhkeaukude puurimisel puurjahu lõhkeauku kuhjumise tagajärjel. Puuri kinnikiilumisel võib puurmasin puurija käest lahti karata, vigastada kaablit või selle muhvist välja tõmmata ning vigastada puurijat. Selle vältimiseks tuleb töötada hoolikalt ja õigeaegselt kõrvaldada puuri kinnikiilumise oht.

Puurimisel tuleb puurmasinat sagedasti sisse ja välja lülitada. Selliseid lülitamisi võib vahetuses esineda vahel 500—700. Sageli oksüdeeruvad selle tagajärjel lüliti kontaktid, mis võib mootorit rikkuda. Selle vältimiseks tuleb kord nädalas puurmasina lülitit remontida, kontaktid üle vaadata ning puhastada.

Üks kord kahe nädala järel kontrollitakse reduktorit ning lisatakse määrdeainet või vahetatakse. Iga 4—6 nädala järel antakse puurmasinad mehaanikatöökotta plaaniliseks ennetusremondiks. Remontimisel võetakse puurmasin lahti, reduktor ja laagrid pestakse puhtaks ja määritakse uuesti. Kõik kulunud puurmasina osad tuleb vahetada uutega. Pärast kokkupanemist proovitakse puurmasinat tühikäigul ja koormusega.

Mehaanikatöökojas peetakse kõigi puurmasinate kohta arvestuskaarte, kuhu märgitakse plaaniliste ülevaatuste ja ennetusremontide tähtajad.

Pärast ülevaatust ja remonti kantakse kaardile sooritatud remondi kirjeldus ja kuupäev.

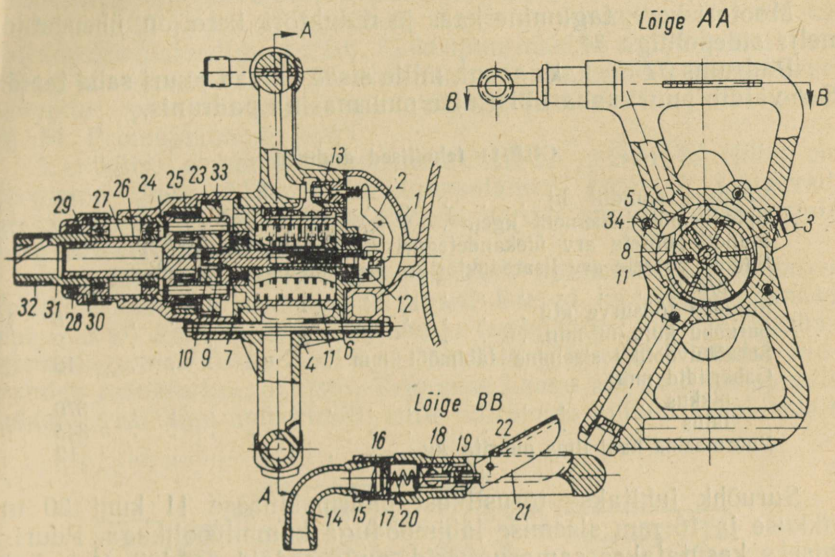
Puurmasinate tööea pikendamiseks ja remontidevahelisel perioodil nende töökõlblikkuse tagamiseks on vaja puurmasinad kinnistada puurijatele või tööbrigaadi brigadirile. See tagab puurmasinate parema ekspluateerimise ja hooldamise.

§ 42. Lõhkeaukude puurimine pneumaatiliste käsipuurmasinatega

Pneumaatilised käsipuurmasinad on ette nähtud lõhkeaukude puurimiseks gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandustes ning järske kihte kaevandavais kaevandustes, kus kõik masinad ees töötavad suruõhuenergiaga.

Lõhkeaukude puurimiseks söes ja pehmetes kiltkivides kasutatakse pneumaatilisi käsipuurmasinaid СПР-11. Pneumaatiline

puurmasin СПР-11 on konstruktsioonilt sama tüüpi, kuid täiuslikum varem kasutusel olnud pneumaatilisest puurmasinast СГ-2. Pneumaatiline puurmasin (joon. 111) koosneb järgmistest osadest: pneumaatilise mootori kerest koos kahe käepidemega; rotatsioontüüpi pneumaatilisest mootorist; tagumisest kaanest reguleerimisseadme osadega; reduktorist koos spindliga eraldi keres, mis käib mootori kere esiserva külge; käivitist.



Joon. 111. Suruõhu-käsikeerdpuurmasin СПР-11.

Ülemise kaane *1* all on määrdetoosid *3* ja reguleerimisseadme hoob *2*.

Mootori keres *4* on tagumise *6* ja eesmise *7* kaane vahel staator *5* ning võllil *9* rootor *8*. Rootori *8* võll on staatori telje suhtes paigutatud ekstsentriliselt. Rootoris on kuus pikisoont, milles paiknevad vabalt tekstoliidist plaadid ehk töölabidad *11*. Eespoolses otsas on rootori võllile kinnitatud hammasratas *10*, mis annab pöörlemise edasi planetaarreduktorile. Võlli tagumisele otsale on kinnitatud tsentrifugaalregulaator *12*, mis hoova *2* abil nihutab puurmasina mootorisse suruõhu sissevoolu reguleerimise klappi *13*. Klapp kaitseb rootorit üleliigse pöörete arvu suurenemise eest tühikäigul.

Suruõhk juhitakse torustikust kummivooliku abil puurmasina käepideme külge mutriga *16* kinnitatud torupõlvisesse *14*. Käiviti koosneb plaadiga *22* varustatud lingist *21*, puksis *19* asuvast ventiilist *18*, vedrust *20*, vedru kübarast *17* ja võrgust *15*. Lingile *21*

vajutamisel surub ventiil *18* vedru *20* kokku, liigub õhuvoolu vastassuunas ja avab seega suruõhule pääsu silindrisse ja rootori töölabidatele *11*.

Rootori pöörlemine kantakse hammasrattaga *10* üle reduktorile. Reduktor koosneb: kerest *23*, reduktori puksist *24*, hammasvõõst *25*, kahest astmelisest hammasrattast *33*, spindlist *26*, vaheseibist *27*, tihendist *28*, surveseibist *29*, üle-mutrist *30* ja padrunist *31* kattega *32*.

Mootori kere, tagumine kaas ja reduktori kere on ühendatud nelja sidepoldiga *34*.

Padrunis *31* on kaks soont, mille sisse käivad puuri saba tapid. See väldib puuri saba libisemise puurmasina padrunis.

СПР-11 tehnilised andmed

Võimsus spindlil hj	2
Spindli pöördemoment kgcm	492—278
Spindli pöörete arv ülekandeteguri (2,7 puhul p/min.	290
Spindli pöörete arv lisareduktoriga, ülekandeteguri 7,2 puhul p/min.	515
Suruõhu töösurve atü	5
Suruõhu kulu m³/min.	2
Suruõhuvooliku sisemine läbimõõt mm	16
Gabariidid mm:	
pikkus	370
laius	345
Puurmasina kaal ilma puurita kg	12

Suruõhk juhitakse torustikust puurmasinasse 11 kuni 30 m pikkuse ja 16 mm sisemise läbimõõduga kummivoolikuga. Puurimiseks kasutatakse samasuguseid puurvardaid ja lõiketeri kui elektri-käsipuurmasinate puhulgi.

Keskmise kõvadusega söesse 42 mm läbimõõduga lõhkeaukude puurimisel, kui spindli pöörete arv on 515 p/min ja suruõhu surve 5 atü, on puurimiskiirus 500—750 mm/min.

§ 43. Lõhkeaukude puurimine elektriliste sammaspuurmasinatega

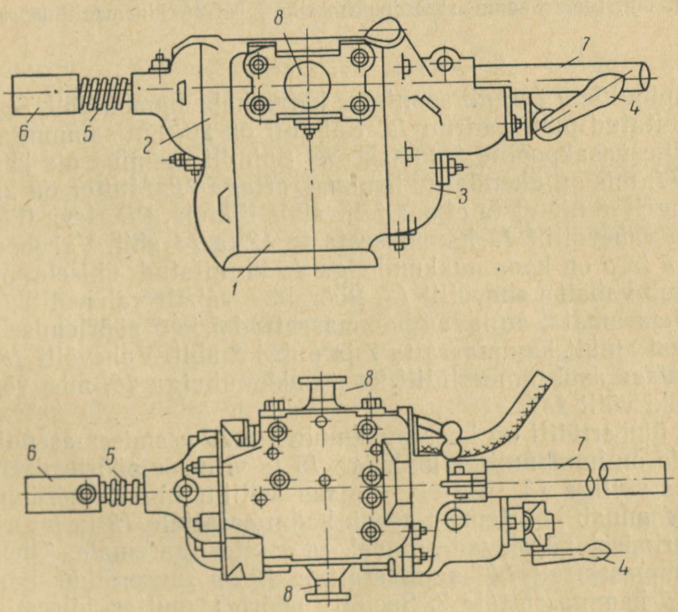
Sammas-puurmasinate kasutamisala ja konstruktsioon. Elektrisammaspuurmasinaid kasutatakse horisontaalseis ja kallakutes kaeveõõnsustes lõhkeaukude puurimiseks kivimitesse, mille kõvaduskoefitsient $f=3—10$ prof. M. M. Protodjakonovi järgi. Selliste kivimite edukaks puurimiseks on vaja suruda lõiketerale 200 kuni 1000—1200 kg-se jõuga. Elektrilistes sammaspuurmasinais saadakse selline jõud mehaanilisel teel. Puurimisel kinnitatakse need puurmasinad samba külge. Elektriline puurmasina sammas kujutab endast torudest tehtud raami, mida saab vajaduse järgi teha pikemaks või lühemaks.

Elektriliste sammaspuurmasinate kaal on 70 kuni 130 kg, võimsus 2 kuni 4,5 kW, pöördemoment puuripadrunil 500 kuni 4500 kgcm, padruni pöörete arv 56 kuni 1000 pööret minutis ja puuri ettenihe 0,9 kuni 5 mm/p., olenevalt kivimi kõvadusest.

Kõige enam on levinud elektripuurmasinad ЭБК, ЭБК-3А ja ЭКМ-2. Konotopi tehase sammaspuurmasinad ЭБК on üheraskused (120 kg) ja ühetüübilised, kuid varustatud erinevate elektrimootoritega nii pöörete arvu (2950 ja 1450 pööret minutis) kui ka võimsuse (2,7 ja 2,5 kW) poolest. Need on kivimite puurimiseks kõvaduskoefitsiendiga $f<10$. Elektripuurmasina ЭКМ-2 kaal on 65 kg ja võimsus 2 kW. Elektripuurmasinaid ЭКМ-2 kasutatakse kivimite puurimiseks, mille kõvaduskoefitsient $f<6$ prof. M. M. Protodjakonovi järgi.

Elektriliste sammaspuurmasinate ЭБК-2А ja ЭБК-3А ehitus on järgmine (joon. 112). Alumiiniumsulamist keres *1* asetsevad elektrimootor, rootor, spindel ehk käigukruvi, spindli edasi-tagasikäigu ümberlüliti ja kontroller.

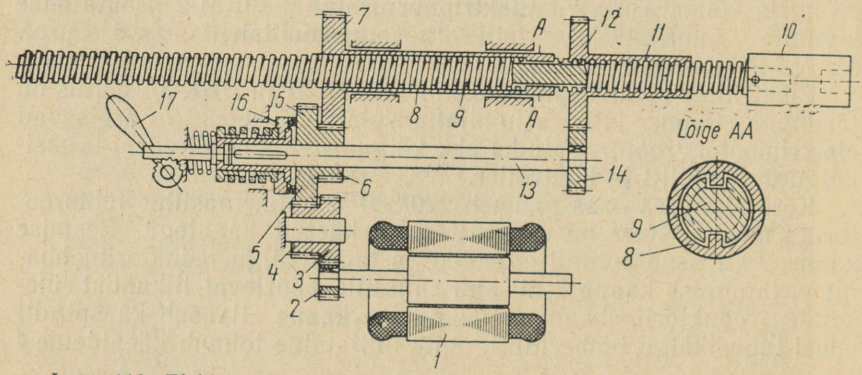
Kere alumises osas paikneb 220/380 V kolmefaasiline lühisrootoriga mootor. Kere on eest ja tagant kaetud kaantega. Eesmise kaane *2* all asub spindli ettenihke ja tagasikäigu reduktorimehhanism, tagumise kaane *3* all aga spindlile pöörlevat liikumist ülekandev reduktorimehhanism. Tagumise kaane all asub ka spindli edasi-tagasikäigu ümberlüliti, mille lülitamine toimub käepideme *4*



Joon. 112. Elektri-sammaskeerdpuurmasin ЭБК-2А.

abil. Spindel *5* läbib kere ülemise osa. Spindli eesmise otsa külge on kinnitatud puuripadrun *6*. Spindli tagumine osa on puurija ohutuseks kaetud kaitsetoruga *7*. Elektripuurmasina külgedele on kahelt poolt kinnitatud tapid *8*, mille abil elektripuurmasin kinnitatakse sambale.

Elektripuurmasina kinemaatiline skeem on toodud joonisel 113. Mootorilt *1* antakse pöörlemine rootori hammasratta *2* ja kahe paari hammasrataste *3—4* ning *5—6* abil edasi spindli hammasrattale *7*. Viimane on kinnitatud puksile *8*, mis kannab pöörlemise



Joon. 113. Elektri-sammaskeerdpuurmasina ЭБК-2А kinemaatiline skeem.

edasi spindlile *9* spindli soontesse käiva kahe hamba abil. Spindlile on kinnitatud puuripadrun *10*. Spindlil on 20 mm sammuga kahekäiguline vasakpoolne trapetskeere. Spindli eesmine ots käib läbi mutri *11*, mis on ühendatud hammasrattaga *12*. Mutter on kinnitatud laagrisse nii, et ta ei saa telje sihis liikuda. Pöörleva liikumise saab ta vahevõllilt *13* hammasrataste *12* ja *14* abil. Vahehammasrattad *5* ja *6* on koos nukkmuhviga *15* kinnitatud ühisele puksile, mis istub vabalt vahevõllil *13*. Pööreldes vabalt vahevõllil *13* teda kaasa haaramata, annavad hammasrattad *5* ja *6* pöörlemise spindlile edasi ainult hammasratta *7* ja puksi *8* abil. Vahevõlli *13* tagumises otsas asub ümberlüliti koos nukkmuhviga *16*, mis võib liikuda piki võlli *13*.

Kui ümberlüliti on koos nukkmuhviga *16* eesmises asendis, siis muhv *16* on hambumises muhviga *15* ja viimase pöörlemisel pöörleb koos võlliga *13*. Eesmises otsas võllile kinnitatud hammasratas *14* annab pöörlemise edasi hammasrattale *12* ja mutrile *11*.

Puurimisel pöörlevad spindel ja mutter paremale. Ülekandearv hammasrattalt *14* hammasrattale *12* on suurem kui hammasrattalt *6* hammasrattale *7*. Seetõttu pöörleb mutter kiiremini kui spindel ja sunnib seda liikuma ette (vasakpoolne keere).

Nii saab pöörlev spindel samaaegselt ettenihkelise liikumise ja puuri lõiketera tungib kivimisse.

Spindli tagasiliikumiseks on vaja mutrit *11* pidurdada. See saavutatakse sel teel, et ümberlüliti nukkmuhv lahutatakse hambumisest ja tõmmatakse tagasi vastu kere tagumist kaant ning sellega pidurdatakse. Võlli *13* pöörlemine koos hammasratastega *14* ja *12* ning mutriga *11* seega tõkestatakse ja jätkates pöörlemist liigub spindel kiiresti tagasi.

Kui ümberlüliti nukkmuhv *16* on lahutatud nukkmuhvist *15*, kuid ei ole surutud vastu kere kaant, siis pööreldes spindel ei liigu telje sihis ei edasi ega tagasi. See on spindli tühikäiguasend. Ümberlüliti ja muhvi *16* viimine tühi- või tagasikägu asendisse toimub käepideme *17* abil.

Spindli ettenihkekiirus V_{sp}, (mm/min) määratakse valemiga

$$V_{sp} = t(n_m - n_{sp}), \qquad (119a)$$

kus t — spindli kruvi samm;
n_m — mutri pöörete arv minutis;
n_{sp} — spindli pöörete arv.

Elektripuurmasina ЭБК-2А spindli pöörete arv on 119 kuni 424 p/min ja ettenihkekiirus 100 kuni 1260 mm/min, maksimaalne spindli käigu pikkus 890 mm. Spindli pöörete arvu ja ettenihkekiiruse muutmine toimub hammasrataste vahetamisega reduktoris.

Ümberlüliti siduri libisemise vältimiseks kõvade kivimite (f=8—10) puurimisel on sidur varustatud tugeva vedruga, mis tagab spindli normaalse ettenihke teljesuunalise jõuga kuni 1100 kg. Olenevalt puuritava kivimi kõvadusest on neli teljesuunalise jõu reguleerimise intervalli: 100—150; 250—350; 500—600 ja 850—1100 kg. Toodud jõu väärtuste saamiseks määratakse vedru surve kas vedru kokkusuruva mutri asendi või surutud vedru kõrguse järgi.

Ettenihkejõu esimest intervalli soovitatakse kasutada pehmete kiltkivide, teist kõvade kiltkivide, kolmandat keskmise kõvadusega liivakivide (f=6 prof. M. M. Protodjakonovi järgi) ja neljandat kõvade liivakivide (f=8—10) puurimisel. Soovitatav spindli pöörete arv on 600—400 p/min kiltkivide ja 300—200 liivakivide puurimisel.

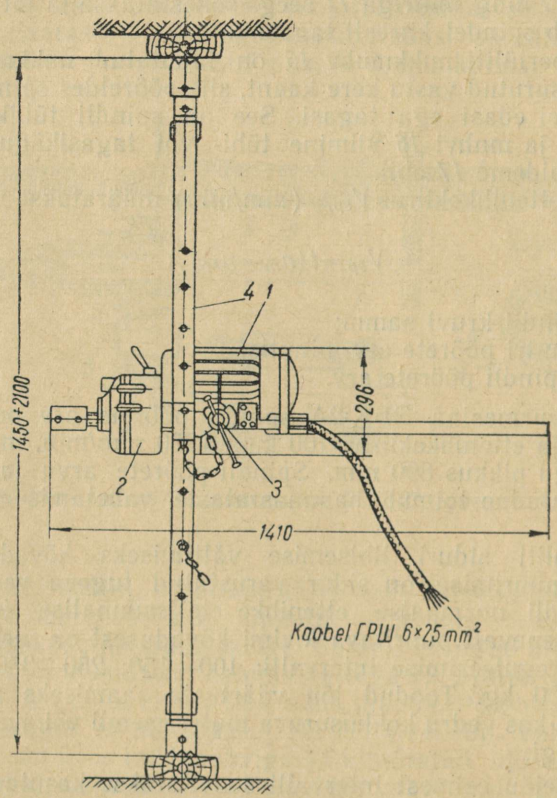
Elektripuurmasinad ЭБК-2А ja ЭБК-3А lastakse välja plahvatuskindlas keres.

Nende elektripuurmasinate puuduseks on suur kaal (120 kg, elektripuurmasina paigaldamiseks ja ümberseadmiseks on vaja kaht töölist). Ka puudub võimalus töötamisel reguleerida telgsurvet ja pöörete arvu.

Elektriline sammaspuurmasin ЭКМ-2 on tunduvalt kergem kui

ЭБК-2А, kuid telgsurve ja pöörete arvu reguleerimise võimalus käigu ajal puudub samuti.

Sammaspuurmasina ЭКМ-2 (joon. 114) tööprintsiip on sama mis puurmasinal ЭБК-2А, kuid konstruktiivselt erineb ta viimasest tunduvalt. Ülekanne elektrimootorilt spindlile on kaheastmeline (mitte nagu masinal ЭБК-2А, millel see on kolmeastmeline).



Joon. 114. Sammaskeerdpuurmasin ЭКМ-2:
1 — elektrimootor; *2* — vahetatav reduktor; *3* — tapid puurmasina kinnitamiseks sambale; *4* — sammas.

Ettenihkemutter on ühendatud teda vedava hammasrattaga hõõrdketaste abil ning ümberlülitis puudub sidur.

Konstruktiivsete erinevuste tõttu on elektripuurmasin ЭКМ-2 kergem ja töötamiseks sobivam ning laialdaselt kasutusel kaeveõõnsuste (strekkide, tõstekallakute jne.) rajamisel. Hammasrataste vahetamisega on võimalik muuta spindli pöörete arvu 155 kuni 455 minutis ja spindli ettenihet 99 kuni 273 mm/min.

Konotopi tehas «Krasnõi metallist» valmistas seeriatootmiseks

uut tüüpi elektri-sammaspuurmasina ЭСГП-3, mille tööpõhimõte erineb tunduvalt varemkirjeldatuist. Uues elektripuurmasinas ЭСГП-3 (elektripuurmasin hüdraulilise ettenihkega, kolmas mudel) luuakse surve spindlile hüdraulilisel teel. Surve suurust võib tööprotsessis muuta 200 kuni 1500 kg ja spindli ettenihke kiirust vastavalt kivimi kõvadusele 0 kuni 1500 mm/min.

Spindli pöörete arv on 130 kuni 760 pööret minutis, kusjuures on olemas 9 vahepealset kiiruse astet. Pöörete arvu muutmine toimub hammasrataste vahetamisega reduktoris, kuid töötades saab spindli pöörete arvu reduktori ümberlüliti abil kaks korda suurendada või vähendada.

Elektripuurmasina ЭСГП-3 kaal on 80 kg ja mootori võimsus 2,5 kW.

Ehituse Mehhaniseerimise Peavalitsuse Kuznetski tehases toodetakse hüdraulilise ettenihkega elektripuurmasinaid ПЭБ-2 aheraines puurimiseks lõhkeaugu uhtumisega veega. Selle puurmasina tööprintsiip on analoogiline eelmise masinaga. Surve kolvile hüdraulilises silindris tekitatakse veega (aga mitte õliga nagu puurmasinas ЭСГП-3). Sellega üheaegselt voolab vesi läbi õõnsa spindli ja puurvarda lõhkeauku, uhub sealt välja peenestatud kivimi ja jahutab lõiketera. Selles seisab puurmasina ПЭБ-2 suur eelis. Puuduseks on suur kaal (134 kg).

Hüdraulilise ettenihkega elektripuurmasinate (ЭСГП-3 ja ПЭБ-2 tüüpi) konstruktsiooni edasisel täiustamisel võivad nad välja tõrjuda käesoleval ajal kasutuselolevad puurmasinad.

Elektriliste sammaspuurmasinate tehnilised andmed on toodud lisas XII.

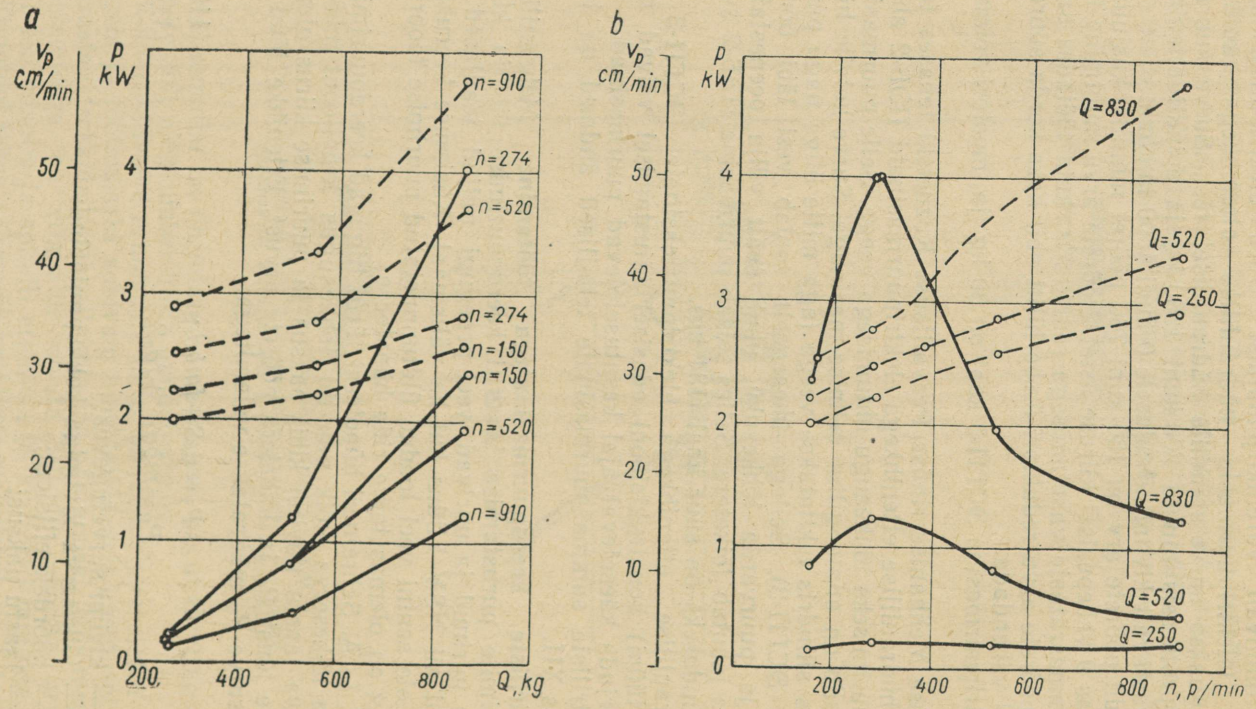
Elektriliste keerdpuurmasinatega töötamine. Mehaanilisel teel kivimite purustamise ja eriti keerdpuurimise teooria küsimusi on uurinud ja uurivad veel praegugi paljud teadlased ja insenerid nii NSV Liidus kui ka välismaal. Küsimuse keerukuse tõttu ei ole senini veel loodud üldtunnustatud puurimise teooriat, olgugi et on olemas terve rida hüpoteese.

Prof. L. A. Schreineri hüpoteesi järgi liiguvad keerdpuurimisel lõiketera lõikeserva kõik punktid lõhkeaugus kruvijoont mööda. Lõigatava laastu (kivimi kihi) paksus ja puurimise kiirus oleneb ettenihke jõust P_1 ja lõiketera pöörete arvust. Ettenihke jõud P_1 ja lõikesurve P_2 määratakse valemitega:

$$P_1 = \sigma_s S + f m b \sigma_s; \qquad (119b)$$

$$P_2 = m b \sigma_l + f \sigma_s S, \qquad (119c)$$

kus σ_s — kivimi survetugevus;
S — lõikeserva kivimiga kokkupuutepind;
f — hõõrdekoefitsient;
b — laastu paksus;
σ_l — kivimi lõiketugevus;



Joon. 115. Puurimiskiiruse (pidev joon) ja tarbitud võimsuse (punktiir) sõltuvuse kõverad:
a — telgjõu suurusest; *b* — pöörete arvust.

$$m = \frac{1}{\sin \beta' (\sin \beta - f \cos \beta)},$$

kus β — nurk lõiketera esitahu ja kivimi lõikepinna vahel, aga $\beta' = 90 - \beta$.

Lõiketera edasiliikumise konstantse kiiruse puhul ei ole kontaktpind lõiketera esitahul kivimi rabeduse tõttu konstantne. Pärast iga laastuelemendi lahtilõikamist on kontakt väike. Lõiketera pöörlemisel esitahk muljub kivimit ja seetõttu suureneb laastu paksus ning kasvab laastu reaktsioonjõud muljumisele. Kui see reaktsioonjõud ületab oma suuruselt kivimi lõiketugevuse, siis toimub uue laastuelemendi eraldumine.

Puurimiskiirus oleneb paljudest teguritest, millest peamisteks on surve lõiketerale, lõiketera pöörete arv minutis, kivimi kõvadus, lõiketera kuju ja materjal ning purustatud kivimi eemaldamise viis.

Joonisel 115 on toodud puurimiskiiruse sõltuvuse kõverad peeneteralise liivakivi puurimisel telgsurvest Q, pöörete arvust n ja kasutatud võimsusest P (Дон УГИ uurimuste andmeil).

Diagrammil (joon. 115) on toodud puurimiskiiruse olenevus Дон УГИ uurimuste andmeil telgsurvest Q, pöörete arvust n ja kasutatud võimsusest P peeneteralise liivakivi puurimisel. Diagrammilt on näha, et puurimiskiirus kasvab pöörete arvu suurenemisega, kuid seda ainult teatud piirini. Maksimaalne puurimiskiirus saavutati pöörlemiskiirusel 274 pööret minutis (võib võtta vahemiku 250—300 pööret minutis) ja telgjõu puhul 520 ja 830 kg. Kui pöörete arv on suurem või väiksem, siis puurimiskiirus väheneb ja energiakulu lõhkeaugu pikkuse või ruumala ühiku kohta suureneb.

Kui lõiketera pöörete arvu juures 150—910 p/min suurendada survet 200 kg-lt 900 kg-le, siis puurimiskiirus suureneb tunduvalt. Kõige järsemini tõuseb puurimiskiirus telgsurve suurenemisest lõiketera pöörete arvu juures 274 p/min.

Katsetatud telgjõu väärtuste juures ei esinenud kõvera murdepunkte. Savikiltkivide puurimisel tekib kõvera murdepunkt 200 kg-se surve juures, antratsiidi puurimisel surve juures 60 kg ja 110 kg (joon. 116). Vähim energiakulu vastab esimesele neist punktidest.

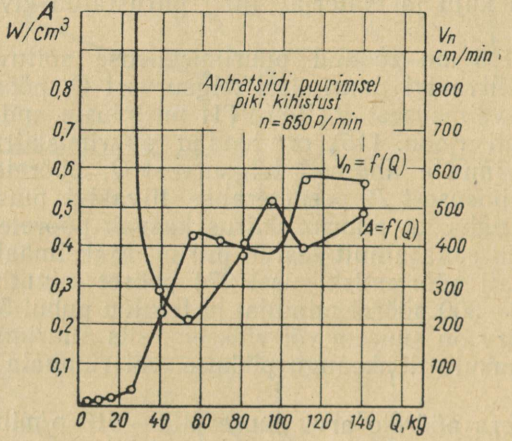
Selleks et vältida puurimiskiiruse graafikul murdepunkte, tuleb muuta pöörete arvu, telgsurvet, lõiketera kuju ja purustatud kivimi kõrvaldamise viisi.

Ratsionaalse puurimisrežiimi määramisel võib juhinduda tabelis 24 toodud orienteerivatest andmetest.

Elektri-sammaspuurmasinatega töötamine. Elektri-sammaspuurmasinaid ЭБК-2А, ЭБК-3А ja ЭКМ-2 võib lõhkeaukude puurimisel kinnitada vertikaalsele või horisontaalsele sambale või manipulaatorile.

Tabel 24

Kivimi nimetus	Kõvadus-koefitsient f	Lõiketera pöörete arv minutis	Telgjõud lõiketerale kg	Puurimiskiirus cm/min
Kivisüsi ja antratsiit	1,5—2	600—1500	30—60	200—600
Savikiltkivi	3—4	600—400	250—400	200—150
Keskmise kõvadusega liivakivi	6	400—300	500—600	100
Kõva liivakivi . . .	8—10	300—250	900—1100	30—50

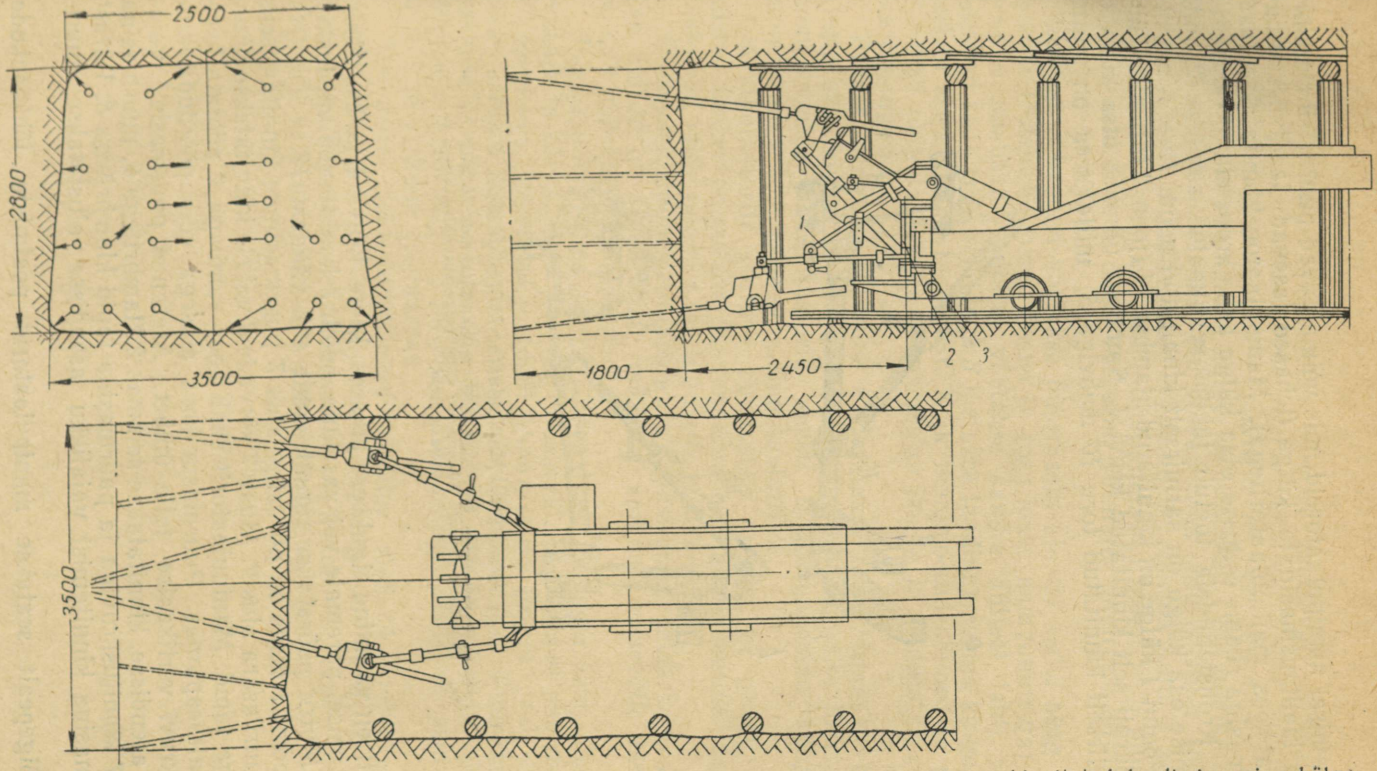


Joon. 116. Puurimiskiiruse ja 1 cm³ lõhkeaugu puurimiseks kuluva energia sõltuvus telgjõust Q.

Sambale kinnitatud elektripuurmasinaga puurimisel tuleb samba püstitamise koht valida nii, et ühest samba asendist saaks puurida võimalikult rohkem lõhkeauke, sest samba ümberpaigutamine on seotud ajakuluga (20—40 minutit).

Kuni 3 m laiustes kaeveõõnsustes, kus lõhkeaugud paiknevad horisontaalsete ridadena (ülemine või alumine kiilukujuline algmurre), võib kasutada horisontaalset sammast. Sambal on otstes kaks distantskruvi, millega sammas keeratakse kaeveõõnsuste seinte vahele kinni. Alt toetavad sammast kaks tuge. Ühele horisontaalsele sambale võib kinnitada kaks elektripuurmasinat, kas metallist klambrite või peenikese terastrossi abil.

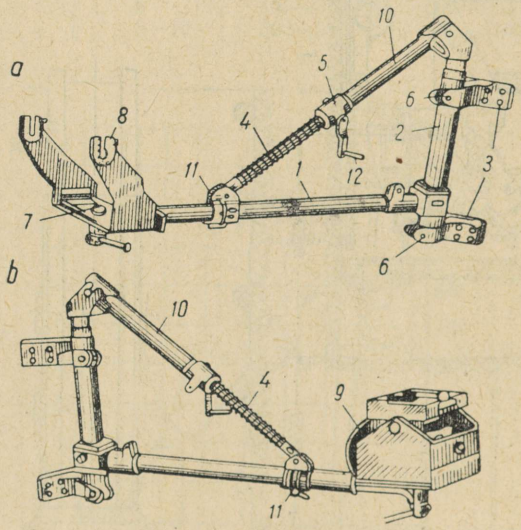
Käesoleval ajal kasutatakse elektri-sammaspuurmasinatega



Joon. 117. Lõhkeaukude puurimine manipulaatoritelt elektri- keerdpuurmasinatega, mis on kinnitatud laadimismasina külge.

töötamisel manipulaatoreid, mis võimaldavad puurmasinaid kinnitada laadimismasinate külge (tehased lasevad laadimismasinaid välja koos manipulaatoritega). Manipulaator kinnitatakse laadimismasina raami esimese otsa külge kahe kronsteini *3* (joon. 117) abil. Kronsteinidele toetub lühike vertikaalne sammas *2*, mille alumise osa külge on šarniirselt kinnitatud poom *1*.

Poomi *1* külge on kinnitatud klamber *11* (joon. 118), mille külge on šarniirselt kinnitatud kruvi *4*. Samba *2* ülemise otsa külge on šarniirselt kinnitatud toru *10* muhviga *5*, mille sees on mutter.



Joon. 118. Manipulaator МБИ-5у:
a — pööratava alusega elektri-keerdpuurmasinale; *b* — pööratava alusega automaatse ettenihkega suruõhu puurvasaratele.

Mutril on välimine tigukeere ja sees keere kruvi *4* jaoks. Mutri pöörlemisel paremale või vasakule poom *1* kas tõuseb või laskub alla. Mutrit pööratakse tiguülekande abil vändast *12*.

Poomi *1* otsas on pööratav alus *7* puurmasinate kinnitamiseks või puurvasara alus *9*. Aluse *7* kõrvade *8* vahele kinnitatakse puurmasina tapid. Manipulaatorit saab koos sambaga *2* pöörata horisontaaltasapinnas. Puurmasin koos alusega võib pöörduda kinnituskruvi vertikaalse telje ümber. Asetanud puurmasina vajalikku asendisse, kinnitatakse sammas *2* klambritega *6*, puurmasina alus *7* kinnituskruviga ja puurmasina tapid klambritega *8*. Pärast puurmasina kinnitamist vajalikku asendisse alustatakse puurimist.

Kõigepealt seatakse manipulaatorid pealmiste lõhkeaukude

puurimiseks. Pärast puuritakse allpool asetsevad lõhkeaugud. Kõige alumise rea lõhkeaukude puurimiseks pööratakse puurmasin koos alusega ümber poomi *1* pikitelje nii, et puurmasin ripub poomi all. Laadimismasina külge kinnitatakse kaks manipulaatorit; kummalegi poole üks. Nii võivad kaks puurmasinat töötada ees üheaegselt. Manipulaator võimaldab puurida kuni 3 m kõrgust ja 2,5 m laiust ett. Kahe manipulaatori puhul võib puuritav esi olla kuni 5 m laiune. Väikseim võimalik puurimiskõrgus ee põrandast on 100 mm.

Pärast puurimist võetakse puurmasin aluselt maha ning lahutatakse tõstemehhanism (kruvi ja toru koos muhvimutriga) poomist ja sambast. Seejärel võetakse samba küljest lahti poom. Sambad koos kronsteinidega *3* jäetakse laadimismasina külge, sest nad ei sega kivimi laadimist. Kõik mahavõetud sõlmed ja puurmasinad paigutatakse laadimismasina koppa ja sõidutatakse ohutusse kaugusse.

Pärast laengute lõhkamist sõidutatakse laadimismasin ette ja alustatakse kivimi laadimist. Pärast kivimi laadimise lõpetamist monteeritakse manipulaatorid uuesti laadimismasina külge ja puurmasinad kinnitatakse manipulaatoritele.

Manipulaatorite suureks puuduseks on see, et poomi tuleb käsitsi ümber paigutada. Kavandatud on hakata tootma manipulaatoreid, mille poomi saab liigutada mehaaniliselt.

Enne elektripuurmasinatega töö alustamist tuleb kontrollida, kas mutrid on pingutatud; määrida spindel, vahevõlli laagrid, spindli puksid ja ettenihkemutter.

Pärast puurmasina välist ülevaatust ja määrimist ühendab puurija ta käivitiga ja proovib tühikäigul. Veendunud puurmasina korrasolekus, alustatakse tööd. Puurmasina juures peab olema puurvarraste komplekt otsapandud lõiketeradega. Puurvarraste pikkuse erinevus ei tohi olla üle 70—80 cm, sest spindli käik on 890 mm. Lõhkeaugu puurimise alustamisel võetakse esimeseks 0,5—1 m pikkune puurvarras.

Keskmine elektri-sammaspuurmasina ЭБК-2А tootlikkus on savikiltkivis ($f=4$) 25—40 m vahetuses, liivakivis ($f=6$) 15—25 m vahetuses. Hea töö organiseerimise puhul puurivad kvalifitseeritud puurijad vahetuses kuni 70—120 m lõhkeauku.

X PEATÜKK

LÕHKEAUKUDE LÖÖKPUURIMINE

§ 44. Löökpuurimise tööprintsiip

Lõhkeaukude puurimisel kivimitesse, mille kõvaduskoefitsient $f=6$ prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi, kasutatakse enamasti löökpuurimist. Löökpuurimist kasutatakse ka väiksema kõvadusega kivimites.

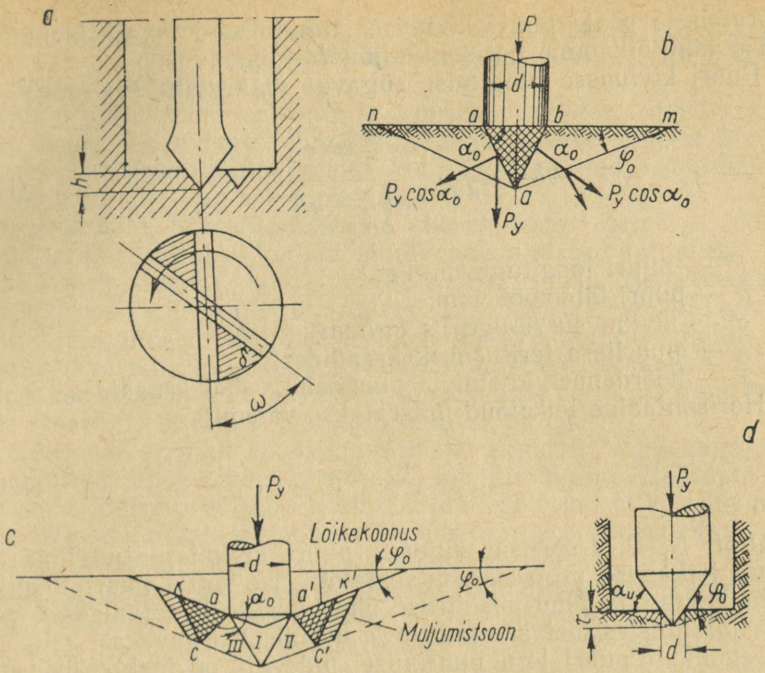
Tööriistaks löökpuurimisel on puur. See on 22—32 mm jämedune terasvarras, mille ühes otsas on saba ja teises otsas teritatud teraga puuripea. Löökpuurimise tööprintsiip seisneb järgmises. Löögist puurile tungib tera kivimisse sügavusele h (joon. 119,*a*). Pärast esimest lööki keeratakse puuri teatud nurga võrra ja antakse puuri saba pihta uus löök. Seejuures kivimisse tungides tekitab tera uue vao eelmise lähedal.

Küllaldase löögi tugevuse ja tera kivimisse tungimise sügavuse h juures lõigatakse teise vao tekkimise momendil lahti kahe teineteise kõrval asetseva vao vahel olev kivimi sektor δ. Kõikide kivimi sektorite δ purustamine toimub nii lõhkeaugu põhjas kui ka külgedel eelmise vao suunas.

Tekkiv puru kõrvaldatakse lõhkeaugust veega uhtumisega või puhutakse välja suruõhuga.

Suurem osa kivimist purustatakse löökpuurimisel tera kivimisse tungimisel survekoormuse mõjul ja ainult vähene osa purustatakse lõikega (vastandlikult sellele, mis toimub keerdpuurimisel). Kuna kivimi survetugevus on 7—10 korda suurem lõiketugevusest, siis energia erikulu löökpuurimisel on tunduvalt suurem kui keerdpuurimisel (keskmise kõvadusega ja pehmemates kivimites, kus keerdpuurimine on kasutatav).

Nagu näha joon. 119,*a*, kaetakse tunduv osa lõhkeaugu ee pinnast tsentri lähedal korduvate puuritera löökidega, mis põhjustab kivimi üleliigse peenestamise. Mida väiksem on iga löögi järel puuri pöördenurk ω, seda suurem osa lõhkeaugu ee pindalast kaetakse kasutute korduvate löökidega. Kuid puuri pöördenurk ω ei või olla liiga suur, sest siis ei purune kivimi sektorid δ lõikele. Peab silmas pidama, et nurga ω suurenemisega ei suurene



Joon. 119. Kivimi purustamine löökpuurimisel:
a — kivimi purustamise skeem N. S. Uspenski järgi; *b*, *c*, *d* — kivimi purustamise protsessi staadiumid I. A. Ostrouško skeemi järgi.

mitte üksnes lõike summaarne pindala (lõikepind lõikeaugu põhjas ja külgedel), vaid muutub ka lõikejõu suund. Nurga suurenemisega ei suunata tunduvat osa puurtera põskede poolt tekitatavast lõikejõust eelmise vao poolt tekitatud vaba pinna poole, vaid lõhkeaugu külgpinna poole, kus kivim on suure surve all. Sellisel juhul kivim ei tööta lõikele, vaid survele, mille ületamine nõuab suuremat jõudu.

Kivimi purustamisprotsessi keerulisuse tõttu löökpuurimisel puudub käesoleva ajani selle kohta üldtunnustatud teooria. Rida nõukogude ja välismaa teadlaste poolt loodud hüpoteese ja teooriaid valgustavad üksikuid küsimusi, kuid ei haara täielikult kogu kivimi purustamise mehhanismi.

Mõningate mainitud teooriate lühike ülevaade tuuakse allpool.[1]

1. Prof. N. S. Uspenski teooria alused. See teooria, mis on üks esimesi, töötati välja 1903. a. Selle teooria järgi tungib peitlikujuline puur jõu *P* mõjul iga löögi ajal kivimisse sügavusele *h* (joon. 119, *a*). Teise ja järgnevate löökide ajal toimub vastavalt puuri

[1] Teooriad on toodud V. K. Butšnjovi järgi (vt. Энциклопедический справочник «Горное дело», том 4).

pööramisele peale puuri kivimisse tungimise ka kahe kivimisektori δ lahtilõikamine horisontaaljõu H toimel.

Puuri kivimisse tungimise sügavus määratakse valemiga

$$h = \frac{P}{2d\sigma} \cdot \frac{\cos\frac{\alpha}{2}\cos\varphi}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}+\varphi\right)}, \qquad (120)$$

kus P — puuri löögitugevus kg;
d — puuri läbimõõt mm;
σ — kivimi survetugevus kg/mm^2;
α — puuritera teritusnurk kraadides;
φ — hõõrdenurk kivimi ja puuritahu vahel kraadides.

Horisontaalne lõikejõud määratakse valemiga

$$H = \frac{P}{2}\cot\left(\frac{\alpha}{2}+\varphi\right). \qquad (120a)$$

Prof. N. S. Uspenski kujutas puuri kivimisse tungimise ja kivimi lõikamise protsessi lihtsustatult. Ta võttis puuri löögijõu vastu kivimit ja puurimiskiiruse ühe puuriga konstantseiks, sest tema järeldustes loetakse puuritera ideaalselt teravaks.

Tegelikult puuri tera puurimisel pidevalt nürineb. Nürinenud tera ja kivimi struktuuri mõju ning terase ja kivimi elastsed omadused ja teised puurimisel mõjuvad faktorid muudavad puurimisprotsessi iseloomu tunduvalt keerulisemaks. Mõned neist täiendavaist faktoreist võttis arvesse V. A. Tsaritsõn oma töös puurimisteooria üle.

2. N. E. Tšerkassovi ja K. B. Šljapini teooria alused. Autorid lähtuvad libisemise teooriast ja oletavad, et kivimi purustamine puuri löögi mõjul koosneb üksteisele järgnevaist purustamise ja lõikamise protsessidest. Nende protsesside parameetrid olenevad kivimi füüsikalis-mehaanilistest omadustest, puuripea geomeetriast ja puurmasina töörežiimist. Puuripead vaatlevad autorid kiiluna või kiilude kogumikuna (olenevalt puuripea kujust) ja oletavad, et kivimisse tungides puur üheaegselt surub seda tera külgtahkudega kokku. Surumise alguses kivimit puuri tera juures tihendatakse ja purustatakse. Puuri süvenemisel surutakse osa kivimist välja ja see libiseb mööda tera tahke. Seejuures tekib peenestatud kivimi ja tera tahkude vahel hõõrdumine, mis suureneb hetkeni, mil kivim lahti lõigatakse. Üheaegselt kasvab kivimi vastupanu puuri sissetungimisele.

Lõikehetkel väheneb järsult kivimi vastupanu puuri sissetungimisele seetõttu, et puuritera ja kivimi vaheline kontaktpind ning hõõrdejõud vähenevad, sest sel hetkel ei esine takistust purustatud kivimi väljatõrjumisele tihendusetsoonist. Iga kivim lõiga-

takse survejõu mõjumise suuna suhtes kindla nurga all. Lõikenurk ongi üks peamistest konstantidest, mis iseloomustab kivimi purustamistugevust.

Kivimi purunemise iseloomu ja suurust puuri tera otstel autorid ei vaatle. Lõhkeaugu läbimõõt on alati natuke suurem puuri tera pikkusest, järelikult toimub kivimi purustamine suuremas ulatuses kui puuri tera serva pikkus.

3. Prof. L. A. Schreineri teooria alused. Autor oletab, et löökpuurimisel purustatakse kivimit ainult puuri sissetungimisest ja et muid purustavaid faktoreid ei ole. Sel juhul iseloomustab kivimi tugevust dünaamiline kõvadus, s. o. kivimi tugevus puuri tera sissetungimisele löögilise iseloomuga välisjõu rakendamisel. Kivimite (kvartsiitide ja lubjakivide) dünaamiline kõvadus, mida mõõdetakse kgm/cm^3, on arvuliselt umbes 1000 korda väiksem kui nende staatiline kõvadus, mida mõõdetakse kg/cm^2.

Lõhkeaugu ee pind on löökpuurimisel konarlik, mille tagajärjel kivimi vastupanu puuri survele on muutuv suurus. Hõõrdumise osatähtsus löökpuurimisel on mitu korda väiksem kui keerdpuurimisel, mis suurendab kivimi purustamise protsessi kasutegurit ja vähendab puuri kulumist.

4. I. A. Ostrouško teooria alused. Kui silindrilisele stantsile mõjub välisjõud, siis satub selle all olev kivim ruumalas *aob*, mida autor nimetab surve peatsooniks (joon. 119, *b*), ruumilise surve olukorda. Selle tagajärjel toimub ruumalas *aob* kivimi muljumine koos samaaegse kivimi lõikamisega ruumalas *nom*. Surve pearuumala moodustamine toimub kivimi terviklikkuse rikkumise tagajärjel nihetest, mis tekivad ruumilises surveolukorras ruumala moodustavatel pindadel.

Pärast esimese lõikeruumala eraldumist tungib silindriline stants sügavamale materjalisse ja avaldab mõju vabanenud pinnale. Alguses toimub stantsi all surutud materjali tihenemine, seejärel aga kujuneb uus surve peatsoon *I* (joon. 119, *c*), mis on piiratud surve abitsoonidega (*II* ja *III*) ja lõiketsoonidega *kac* ja *k'a'c'*. Nende tsoonide väljasurumisega kaasneb teatud kivimikoguse muljumine väljaspool lõikekoonuse piire. Pärast teist tsüklit järgneb kolmas jne. Väikeste lõikeruumalade eraldumine kestab nii kaua, kuni instrumendi külgservad on saavutanud täpse kontakti kivimiga; pärast seda toimub suure lõikeruumala eraldamine.

Kivimi purustamine puuripea teraga on vaadeldud kivimi purustamise protsessi erijuhuks. Puuritera lõikeserva vaadeldakse ümardatud servadega pinnana. Puuritera all moodustuvad surve peatsoonid ja toimub lõiketsoonide eraldamine.

Nurgad α_0 ja φ_0 ei olene puuripea teritusnurgast ja on määratud üksnes kivimi omadustega.

Puuripea teritusnurk ja järelikult ka puuripea tahkude kaldenurk α_i (joon. 119, *d*) avaldab tunduvat mõju kivimi purustamise

efektile. Kui $\alpha_i < \alpha_o$, siis pärast esimese ja järgnevate lõiketsoonide eraldamist kasvab puuripea kontaktipind kivimiga. Puuripea kivimisse tungimisega kaasneb purustatud kivimi korduv kokkusurumine ja selle peenestamine.

Kui $\alpha_i = \alpha_o$, siis suurte lõiketsoonide eraldamisel täidab puuripea terav osa täielikult pea survetsooni ülesannet. Instrumendi tahkude kaldenurga edasisel suurendamisel ($\alpha_i > \alpha_o$) suureneb puuripea kivimisse tungimise sügavus igas purustamistsüklis.

Kivimi purustamise protsessi lõhkeaugu (puuraugu) ees seletab autor analoogiliselt prof. N. S. Uspenski teooriale.

Autor ei arvesta korduvatel löökidel lõhkeaugu tsentris pindalade kattumisest tingitud töökulu vähenemist (vt. joon. 119, *a*) ja loeb, et lõigatavate sektorite pindala, arvestades külgmisi pindu, võib määrata valemiga

$$S = 0{,}0044 b^2 \omega + 0{,}0175 b \tau \omega, \qquad (120b)$$

kus S — sektorite lõikele töötav pind koos külgpindadega;
ω — puuri pöördenurk;
τ — puuripea kivimisse tungimise sügavus;
b — puuripea tera pikkus.

Kivimi lõiketugevuse ületamiseks sektorite lõikamisel peab puuripeale mõjuma jõud, mis võrdub $\frac{P_y}{2}$.

Võimsuse kulu puurimisel leitakse valemist

$$N = \frac{P_y a \tau n}{2 \cdot 60 \cdot 75 \eta_k \eta_i \eta_t}, \qquad (120\,c)$$

kus P_y — puurile mõjuv telgjõud;
a — puuripea lõiketerade arv;
n — puuri löökide arv minutis;
η_k — puuri nürinemise koefitsient;
η_i — puuripea teritusnurga ja konstruktsiooni koefitsient;
η_t — puuri liikumisele mõjuvate takistuste koefitsient.

Koefitsiendid η_k ja η_i arvestavad tööd, mis kulutatakse lahtilõigatud kivimi peenestamiseks.

Kivimi ruumilise purustamise töö määratakse valemiga

$$A = \frac{\sigma_0}{\frac{\mu}{1-\mu}} \left(1 + 4 \frac{\tau}{b}\right) \frac{1}{\eta_k \eta_i \eta_t}, \qquad (120\,d)$$

kus σ_0 — kivimi purunemistugevus;
μ — Poisson'i koefitsient.

Erijuhul, kui $b = \infty$ ja koefitsiendid $\eta_k = \eta_i = \eta_t = 1$, on purustamise töö

$$A = \frac{\sigma_0}{\frac{\mu}{1-\mu}}.$$

See töö avaldis vastab kivimi purustamisele vabapinnal puuriga, mille $\alpha_i < \alpha_0$.

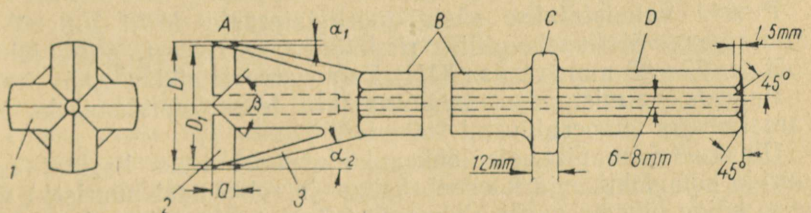
Prof. Ostrouško teooria on põhjalikumalt välja töötatud kui teised teooriad ja arendatud kuni arvuliste väärtuste kasutamiseni. Kuid ka see teooria ei haara kivimi purustamise protsessi täielikult ega käsitle seda küllaldase täpsusega. Muuhulgas ei see ega ka teised teooriad ei valgusta seaduspärasusi, mis kehtivad puurimisel hambuliste lõiketeradega ja T-kujuliste puuripeadega, mis tagavad suure puurimiskiiruse ja levivad üha enam.

Puuripea tööpinna kujust oleneb ka lõhkeaugu ristlõike kuju. Nii näiteks on peitlikujuliste puuripeade kasutamisel lõhkeaugu ristlõikel sfäärilise kolmnurga kuju, ristikujuline puuripea annab lõhkeaugu põiklõikele viisnurga kuju. Kaksikpeitli-, V- ja T-kujuliste puuripeadega puuritavad lõhkeaugud on ümmarguse ristlõikega (selliste lõhkeaukude laadimine on kergem ja laengu tihedus neis on suurem kui kolmnurkse ristlõikega lõhkeaukudes).

§ 45. Puurid

Ühes tükis puurid. Lõhkeaukude löökpuurimisel kasutatakse ühes tükis ja vahetatavate puuripeadega puure.

Joonisel 120 on kujutatud ristikujulise peaga puur. Puur koosneb: puuripeast ehk kroonist *A*, puurivarrest *B* ja puurisabast *C*. Puurisaba käib puurvasara puuripadrunisse ning ta pikkus ja läbimõõt peavad vastama puurvasara padruni mõõtmeile.

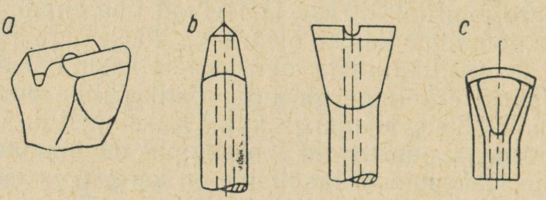


Joon. 120. Ristikujulise peaga puur.

Puuripea elemendid on: lõikeharud *1* (ristikujulisel puuripeal on 4 lõikeharu), lõiketerad *2* ja puuripea kere *3*. Lõiketera kõrgus on 4—8 mm, olenevalt puuripea läbimõõdust. Puuripea külgpind on kooniline, kusjuures koonilisus on kahesugune (α_1 ja α_2). Lõiketera kohal on nurk $\alpha_1 = 5—7°$, kere kohal aga $\alpha_2 = 14—15°$. Puuriharude väikse koonilisuse tõttu lõiketera kohal kulub puuripea külgpind aeglasemalt ja kulumine ($D—D_1$) pole suur.

Puuripea läbimõõt peab olema 1,3—2,5 korda suurem puurivarre läbimõõdust. Väiksema puuripea ja puurivarre läbimõõtude suhte puhul jääb puurimispuru läbipääsuks liiga väike vahe. Suurema suhte puhul väheneb puuripea tugevus. Lõiketera teritusnurk β võetakse 70—110° piirides, kõige sagedamini kasutatakse standardset teritusnurka $\beta = 90°$.

Ristikujulisi puuripäid kasutatakse lõhelistes kivimites. Peale selle kasutatakse sellistes kivimites kaksikpeitlikujulisi (joon. 121, *a*) ja *Z*-kujulisi puuripäid. Kompaktseis kivimeis kasutatakse peitlikujulisi puuripäid sirge (joon. 121, *b*), ümardatud (joon. 121, *c*) ja odakujulise lõiketeraga.



Joon. 121. Puuripeade kujud:
a — kaksikpeitel; *b* — sirge teraga peitel; *c* — ümardatud teraga peitel.

Piki telge läbib puuri 6—9 mm jämedune kanal, mille kaudu juhitakse vesi või suruõhk lõhkeauku selle puhastamiseks peenestatud kivimist (puurjahust). Kui puurjahu eraldatakse lõhkeaugust imemisega läbi puurikanali, siis suuremate peenestatud kivimi osakeste vabaks läbipääsuks peab kanali läbimõõt olema üle 9 mm (9—13 mm).

Puurid valmistatakse süsiniktööriistateraste У-7, У-8, У-9 ümmarguse või kuuekandilise ristlõikega varrastest, mille läbimõõt on 22—32 mm (vt. lisa XIII). Terasvarraste pikkus on 5—7 m.

Puuride valmistamisel kuumutatakse teras sepistamiseks ja stantsimiseks temperatuurini 900—1100°.

Üle 1—1,5 m pikkuste lõhkeaukude puurimiseks kasutatakse puuride komplekti, mis koosneb kahest ja rohkemast puurist. Esimese, kõige lühema puuri pikkus on 0,7—1 m. Iga järgmine puur võetakse eelmisest 0,7—1 m võrra pikem. Iga komplekti kuuluva puuri puuripea läbimõõt on 2—3 mm väiksem eelmise lühema puuri pea läbimõõdust. Puuride arv komplektis oleneb kivimi kõvadusest ja lõhkeaugu pikkusest. Kui lõhkeaugud laetakse 32 mm jämeduste lõhkeainepadrunitega, siis lõhkeaugu läbimõõt peab põhjas olema vähemalt 35—36 mm. Arvestades puuripea kulumist vastu lõhkeaugu seinu, peab viimase, kõige pikema puuri pea algläbimõõt olema vähemalt 38 mm. Kui lõhkeauke laaditakse 45 mm jämeduste padrunitega, peab viimase puuri pea läbimõõt olema

50 mm. Esimese, kõige lühema puuri pea läbimõõt arvutatakse valemiga

$$D_1 = D_n + \Delta(n-1), \qquad (120\ e)$$

kus D_n — puuri komplekti viimase (kõige pikema) puuri pea läbimõõt;

Δ — komplekti samm ehk kahe teineteisele järgneva puuripea läbimõõtude vahe ($\Delta = 2 \div 3$ mm);

n — puuride arv komplektis.

Terasvarraste tükeldamisel puuride valmistamiseks tuleb arvestada lühenemist puuripeade ja puurisabade sepistamise arvel ja ette näha vastavad pikkuse tagavarad. Andmed toorvarraste pikkuse määramiseks on toodud lisas XIII a.

Puuripeadega ühes tükis valmistatud puure kasutatakse käesoleval ajal harva ja ainult pehmemate kivimite ($f<6$) puurimisel. Kõvade kivimite puurimisel kasutatakse mõningates maagikaevandustes ühes tükis valmistatud ja kõvasulamist plaadikestega armeeritud puuripeadega puure. Selliste puuride valmistamine ja nende armeerimine kõvasulamitega toimub kaevanduste puuriteritustöökodades.

Vahetatavate puuripeadega puurid. Kivimites kõvadusega $f>6$ kasutatakse vahetatavate puuripeadega puure. Neil on see eelis, et nürinenud puuripead on puurivarrest kergesti eraldatavad ja neid võib eraldi saata teritamiseks töökotta. Tänu sellele muutub puuride transporteerimine kaevanduses tunduvalt kergemaks ja odavamaks.

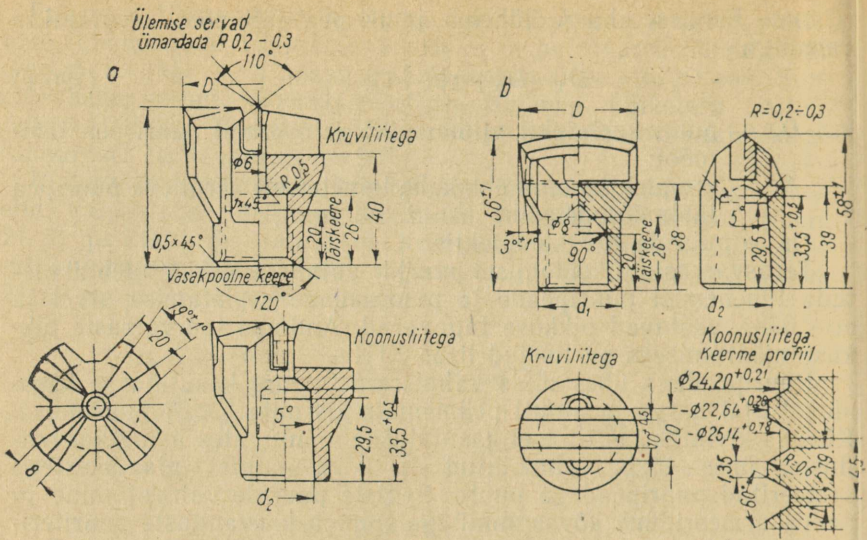
Mida kõvem ja abrasiivsem on kivim, seda suurem on puuride kulu, järelikult seda kasulikum on kasutada vahetatavate puuripeadega puure.

Vahetatavate puuripeade ühendamine puurvardaga toimub keerme- või koonusliitega (joon. 122).

Keermeliite puhul toimub puuripeade puurvardale kinnikeeramine ja lahtivõtmine tugevama ühenduse saavutamiseks võtmega. Puuripeal ja puurvardal on vasak keere, sest puuri pöörlemine puurimise protsessis toimub paremalt vasakule. Kui aja jooksul keermeliide muutub lõdvaks, siis raiutakse puurvarda otsast tükk maha ja lõigatakse puurvardale uus keere ning taastatakse seega puuripea tugev ühendus puurvardaga.

Koonusliite puhul tehakse puuripeasse silindrilise keermestatud õõnsuse asemel siledate seintega kooniline õõnsus koonuse tipunurgaga 2°30′—5°. Puurvarda ots töödeldakse sama nurgaga. Puuripea pannakse puurvarda otsa ja lüüakse paar korda vastu kivimit. Seega kiilutakse puuripea puurvarda koonuse otsa kinni ja ta püsib puurimisel seal hästi.

Puurvarda küljest lahtivõtmiseks kasutatakse tõmmikut (joon. 123). Puuripea *5* lahtivõtmiseks asetatakse puurvardale *6* seib *4*. Pärast seda pannakse puur tõmmikusse *1* ja kiilutakse kinni kii-



Joon. 122. Puuripead:

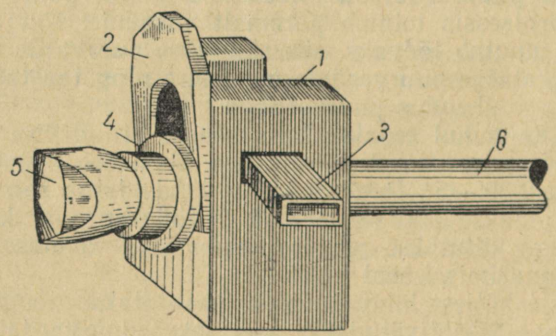
a — kiiljate plaadikestega ristikujuline; *b* — prismaliste plaadikestega peitlikujuline.

luga *3*. Seibi *4* ja tõmmiku *1* esiseina vahele lüüakse kiil *2*. Seib *4* toetub vastu puuripead ja lükkab selle puurvarda *6* küliest lahti.

Puuripea kooniline ühendus puurvardaga on sama töökindel ja tugev kui keermeliide, kuid lihtsam valmistada.

Puuripead tehakse kas legeeritud tööriistaterasest 7X või süsinikterasest sissejoodetud kõvasulamist lõiketeradega.

Legeeritud terasest 7X puuripäid töödeldakse pärast valmimist termiliselt, mis võimaldab neid ilma karastamiseta vähemalt 3 korda teritada. Hiljem tuleb karastada pärast iga teritust. Pärast 5—6 teritust on puuripea täielikult kulunud.



Joon. 123. Puuripeade lahtilööja.

Terasest 7X valmistatud vahetatavad puuripead on kaks korda vastupidavamad (kuni nürinemiseni võib puuripeaga puurida kaks korda rohkem jooksvaid meetreid lõhkeauku) kui terasest У8 või У9 valmistatud ühes tükis puuridega. Tehased valmistavad mitmesuguste standardmõõtmetega vahetatavaid peitli- ja ristikujulisi puuripäid.

Terasest 7X valmistatud vahetatavaid puuripäid on otstarbekas kasutada kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f<8$. Kõvemate kivimite puurimiseks ei ole sellised puuripead küllalt vastupidavad. Sellistes kivimites tuleb kasutada kõvasulamist lõiketeradega vahetatavaid puuripäid.

Kõvasulamitega armeeritud vahetatavad puuripead on laialt kasutusel väga erinevate kõvadustega kivimite puurimisel. Mida kõvem on kivim, seda kasulikum on selliste puuripeade kasutamine.

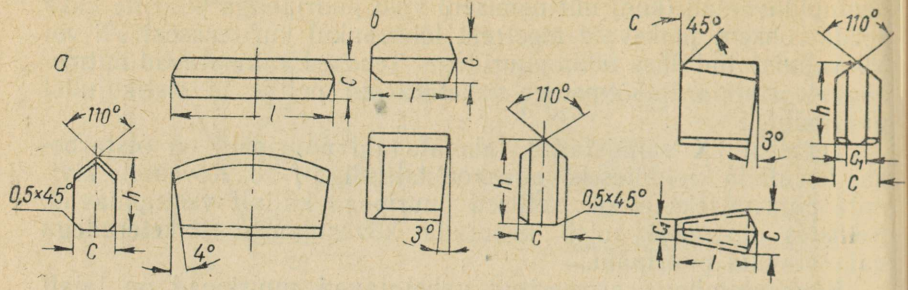
Tehased lasevad välja peitli-, risti-, V- ja T-kujulisi vahetatavaid puuripäid keerme- või koonusliitega. Nende valmistamiseks kasutatakse terast У8А või 45. Puuripeadesse stantsitakse, freesitakse, hööveldatakse või puuritakse sooned. Soontesse pannakse täpselt sobitatud kõvasulamist plaadid ja seejärel joodetakse need pronksi või vasega kinni.

Kõvasulamist plaatide valmistamiseks kasutatakse volframi ja koobaldi metallkeraamilisi sulameid ВК, kusjuures komponentide sisalduse suhe võib olla erinev. Volfram on sulami koostises volframkarbiidina, mis sisaldab 93,8% volframit ja 6,2% süsinikku. Volfram annab ВК sulamile kõvaduse. Koobalt on sideaineks. Koobaldisisalduse suurendamine teeb sulami sitkemaks, kuid sulami kõvadus väheneb. Puuripeade ja lõiketerade armeerimiseks kasutatakse sulameid ВК-6, ВК-8, ВК-9, ВК-10, ВК-11, ВК-15, ВК-6В, ВК-8В. Sulami number vastab koobaldisisaldusele protsentides.

Sulamid ВК-6 ja ВК-8 ei talu löökkoormusi ja sellepärast kasutatakse neid ainult lõiketerade armeerimiseks keerdpuurimisel. Sulameid ВК-9 ja ВК-10 kasutatakse puuripeade armeerimiseks käsipuurvasaratega puurimisel, kui puuritava kivimi kõvaduskoefitsient $f<10$. Sulamit ВК-11 kasutatakse käsipuurvasaratega ja kergete sammaspuurvasaratega puurimisel, kui kivimi kõvaduskoefitsient $f<14$. Sulamit ВК-15 kasutatakse kõvemate kivimite ja raskemate puurvasaratega puurimisel.

Volfram-koobaldi kõvasulamid on kõrge temperatuurikindlusega ja nad säilitavad oma mehaanilised omadused isegi väga kõrgel temperatuuril (1000° ümber).

Sulameid ВК lastakse välja prisma- (joon. 124, *a*) ja kiilukujuliste (joon. 124, *b*, *c*) plaatidena ning kangikestena. Plaatide mõõtmed on järgmised: kõrgus $h=18$ mm, paksus $C=8$ ja 10 mm, pikkus $l=36$—49 mm (joon. 124, *a*) või 18—20 mm (joon. 124, *b*, *c*). Täisplaatide kaal on 62 kuni 98 g, olenevalt nende pikkusest ja



Joon. 124. Kõvasulamist plaadikesed puuripeade jaoks.

paksusest; prismaliste poolplaatide kaal on 30 kuni 40 g. Kiilukujuliste plaatide õhema otsa paksus C_1 on kaks korda väiksem paksema otsa paksusest (joon. 124, *c*), mis on 10 või 12 mm. Kiilukujuliste plaatide õhem ots jääb pesades puuripea telje poole, paksem osa aga väljapoole, kus tera puurimisel kulub kõige rohkem.

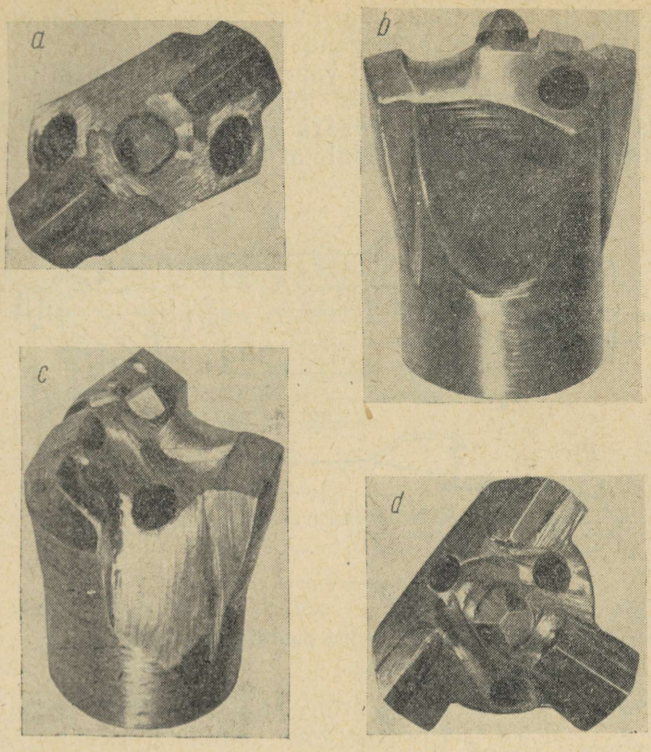
Kiilukujuliste plaatidega puuripeade armeerimine on mõnevõrra keerukam kui prismaliste plaatidega puuripeade armeerimine, kuid kiilukujulised plaadid on kõvasulami kulu poolest ökonoomsemad. Puuripea armeerimisel lühikeste prismaliste ja kiilukujuliste plaatidega jäetakse keskele ava suruõhu või vee pääsemiseks lõhkeauku sealt puurjahu kõrvaldamiseks. Puuripea otsas asetsev ava on ratsionaalsem kui külgedel asuvad avad.

BK sulamist plaatidega armeeritud vahetatavad puuripead peavad vastu 8—10 teritust. Armeeritud puuripea puurib ühe terituse kohta 30—50 korda rohkem jm lõhkeauku kui tavaline karastatud terasest puuripea ja tagab kõrgema puurimise kiiruse.

Kõvasulamist plaatide või pulkadega armeeritud hambulise lõiketeraga puuripead (joon. 125, *a, b*) on ratsionaalsemad. Lõiketera hambulise kuju ja kõvasulamist pulkade ebakorrapärase paigutuse tõttu langeb korduvate löökide alla tunduvalt väiksem osa lõhkeaugu eest ja kivimit pihustatakse vähem. Selle tagajärjel suureneb puurimise kiirus 30—40%, võrreldes puurimise kiirusega tavaliste peitlikujuliste lõiketeraga puuripeade kasutamisel.

Häid tulemusi on saavutatud kõvasulamist plaatide või pulkadega armeeritud T-kujuliste (joon. 125, *c, d*) puuripeadega puurimisel. T-kujuline puuripea murrab kivimit nii lõhkeaugu eest kui ka seintest paremini lahti. Nende puuripeade töökiirus puurimisel on 40—50% kõrgem kui pideva lõiketeraga peitlikujulistel puuripeadel.

Pulkadega armeeritud hambulistel puuripeadel on kõvasulami kasutamise protsent kõrgem kui plaatidega armeeritud peitlikuju-



Joon. 125. Uued puuripeade tüübid:
a — kõvasulamist pulgaga (keskel) ja kahe plaadikesega armeeritud peitlikujuline hambulise teraga puuripea; *b* — sama, kuid armeeritud nelja pulgakesega; *c* — kuue kõvasulamist pulgaga armeeritud T-kujuline hambulise teraga puuripea; *d* — sama, kuid armeeritud ühe pulgaga ja kolme plaadiga.

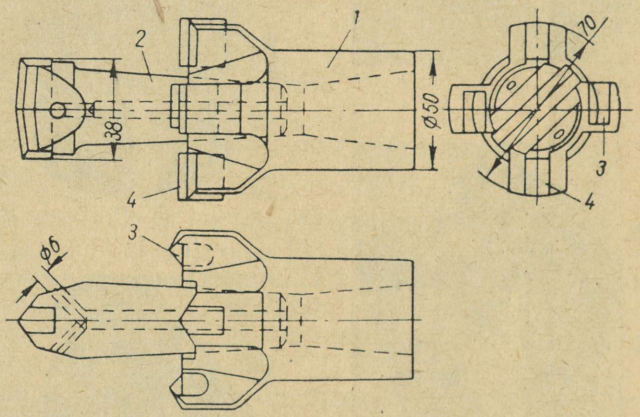
listel puuripeadel. Kõvasulami kulu 1 jm lõhkeaugu kohta on kaks korda vähem.

Kõvadesse kivimitesse suure läbimõõduga (60—75 mm) lõhkeaukude ja kuni 110 mm läbimõõduga puuraukude puurimisel kasutatakse astmelisi puuripäid (joon. 126). Selline puuripea koosneb päris puuripeast *1* ja eelnevast lõiketerast *2*. Päris puuripeal on neli paralleelset lõiketera, millest kaks külgmist lahtimurdvat lõiketera *3* on 3—5 mm kõrgemad kui kaks läbimõõdu suunas paiknevat kivimit peenestavat lõiketera *4*. Eelnev lõiketera ulatub 50—70 mm puuripeast ettepoole välja ja ühendatakse viimasega koonilise kiilliitega. Puurvardaga ühendatakse puuripea samasuguse lukuga.

Suure läbimõõduga lõhkeaukude ja puuraukude kolmeastmeline puurimine kergendab puuripea tööd, väldib kivimi liigset

peenestamist ja suurendab puurimise kiirust. Lõiketerade paralleelne paigutus puuripeas kergendab nende teritamist.

Kõvasulamitega armeeritud vahetatavaid puuripäid tuleb õigeaegselt teritada ning vältida, et lõiketera tipu pind ei nürineks laiemaks kui 2—2,5 mm. Ülemäära nürinenud puuripead vähendavad puurimise kiirust ja kõvasulami kulu tõuseb.



Joon. 126. Astmeline puuripea НИГРИС.

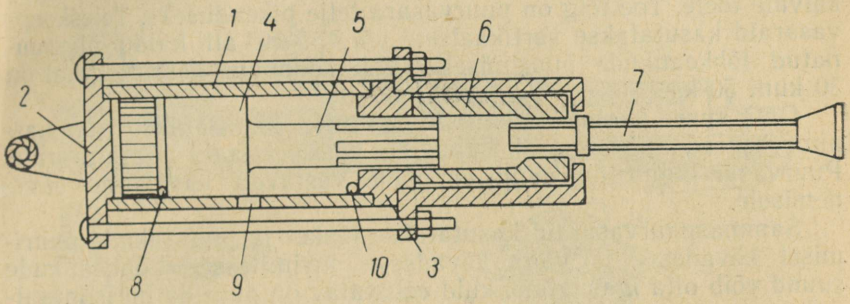
Puurvardad kõvasulamiga armeeritud puuripeade jaoks tehakse terasest У7 või У8 *. Puurvarraste komplekt oleneb lõhkeaugu sügavusest. Kuni 1,5 m sügavuste lõhkeaukude puurimine toimub kogu pikkuses ühe puuriga. Sügavamad lõhkeaugud puuritakse puuride komplektiga, mis koosneb erinevate pikkustega puurvarrastest, milledele varem on otsa pandud erinevate läbimõõtudega puuripead. Kivimi kõvadusest ja abrasiivsusest olenevalt võetakse kahe teineteisele järgneva puuripea läbimõõtude vahe 0,5—1,5 mm piirides. Käsipuurvasaratega puurimisel on kahe teineteisele järgneva puurvarda pikkuste vahe umbkaudu 1 m. Mehaanilise ettenihkega varustatud puurvasaratega (teleskoop- ja sammaspuurvasarad) puurimisel ei või kahe järgneva puurvarda pikkuste vahe olla suurem kui mehaanilise ettenihutaja või teleskoopseadme käigu pikkus.

§ 46. Üldandmed pneumaatilistest puurvasaratest

Lõhkeaukude löökpuurimiseks kasutatakse lööktegevusega pneumaatilisi perforaatoreid, mida kutsutakse puurvasaraiks.

* Kõrgsagedusega (3000—4000 lööki minutis) puurvasaratega puurimisel on otstarbekohane kasutada tugevamat terast.

Puurvasara töö põhimõte on järgmine (joon. 127). Vasara silindris, mis on tagant kaetud kaanega *2* ja eest vaherõngaga *3*, asub kolb *4* koos kolvivarrega *5*. Kolvivarre ots käib pöördepuksi *6* sisse, kuhu teiselt poolt käib puuri *7* saba. Läbi ava *8* lastakse silindrisse suruõhk 5—7 atü rõhu all. Suruõhk rõhub kolvi tagumisele pinnale ja sunnib kolbi liikuma suure kiirusega ettepoole.



Joon. 127. Puurvasara skeem.

Etteliikumise lõpul annab kolvivars löögi puurisaba pihta, mille tagajärjel puurkroon tungib kivimisse. Pärast lööki väljub silindri tagumises osas olev õhk läbi väljalaskeava *9* atmosfääri ja õhujaotusklapp suleb suruõhule juurdepääsu läbi ava *8* ning avab juurdepääsu avale *10*. Selle tagajärjel liigub kolb koos kolvivarrega tagasi lähteasendisse. Tagasikäigu kestel pöördepuks *6* ja puur *7* pöörduvad 15—36° nurga võrra, mille tagajärjel järgmise löögi ajal puuripea tera annab löögi kivimile juba teises kohas.

Kuna puurimise tingimused (kivimi kõvadus, lõhkeaukude pikkus ning läbimõõt jne.) on väga mitmesugused, siis toodetakse puurvasaraid erinevate tehniliste näitajatega, laias võimsuse, kaalu ja mõõtmete diapasoonis.

Pneumaatiliste puurvasarate peamised tehnilised näitajad kõiguvad järgmistes piirides:

vasara kaal kg	10—110
kolvi kaal kg	1,5—6
kolvi käik mm	40—90
kolvi läbimõõt mm	45—100
löögi töö kgm	3—30
löökide arv minutis	1500—5000
suruõhu kulu taandatuna 1 atü rõhule m^3/min	1,6—5

Puurvasarad liigitatakse käsi-, teleskoop- ja sammaspuurvasaraiks. Need grupid erinevad üksteisest konstruktsiooni ning ka kaalu ja mõõtmete poolest.

Käsipuurvasarad kaaluvad 10 kuni 30 kg. Sellise vasaraga puurides hoiab tööline seda käes. Toelt või aluselt puurides hoiab tööline puurvasarat toel ja surub ee poole. Käsipuurvasaraid kasutatakse vertikaalselt allasuunatud, horisontaalsete ja kallakute lõhkeaukude puurimiseks.

Teleskooppuurvasarad erinevad käsivasaraist selle poolest, et nende silinder on kinnitatud pneumaatilisele teleskoopiliselt lahtikäivale toele. Toe telg on puurvasara telje pikenduseks. Teleskoopvasaraid kasutatakse vertikaalsete või 45—90° all kaldu ülessuunatud lõhkeaukude puurimiseks. Teleskooppuurvasarate kaal on 30 kuni 50 kg.

Oma suure kaalu (38 kuni 70 kg) tõttu kinnitatakse sammaspuurvasarad liugraami abil sambale või spetsiaalsele puurkärule. Puurvasar liigub liugraamil ee poole vastavalt lõhkeaugu süvenemisele.

Sammaspuurvasaraid kasutatakse lõhke- ja puuraukude puurimisel kõvadesse ja väga kõvadesse kivimitesse. Lõhkeaukude suund võib olla igasugune, kuid eelistatav on puurida horisontaaltasapinna suhtes +45° kuni —45° nurga all suunatud lõhkeauke.

§ 47. Käsipuurvasarad

Ehitus. Käsipuurvasarad liigitatakse kergeteks, kaaluga 10 kuni 17 kg; keskmisteks, kaaluga 17 kuni 25 kg, ja rasketeks, kaaluga 25 kuni 30 kg.

Tutvume Leningradi tehase «Pnevmatika» raske käsipuurvasara ОМ-506Л ehitusega (joon. 128). Puurvasar koosneb järgmistest peamistest sõlmedest: silindrist koos kolviga, silindri tagumisest kaanest ning eesmisest kestast, õhujaotusseadmest ja pöördemehhanismist.

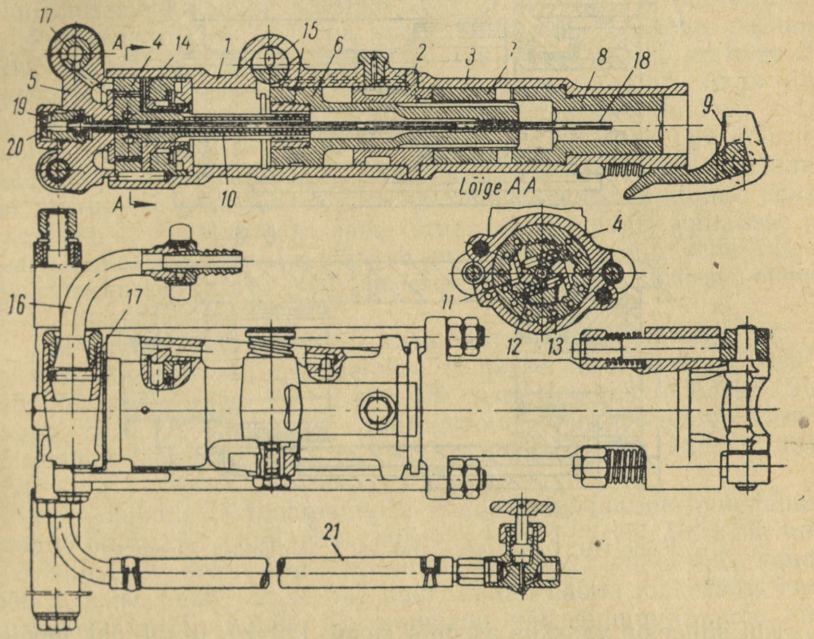
Puurvasara silinder *1* on eestpoolt suletud vaherõngaga *2* ja kestaga *3*.

Silindri tagumises osas asuvad õhujaotuskarp ja kärisrõngas *4*. Silinder on suletud tagumise kaanega *5*.

Silindris liigub kolb *6*. Kolvivars läbib vaherõnga *2*, pöördepuksi *7* ja ulatub kolvi äärmises eesmises asendis puuripadruni *8* laiendatud ossa. Puuripadruni eesmisse, kitsasse ossa pannakse puurisaba. Kolvi etteliikumisel küünib kolvivars ettekäigu lõpul puurisabani ja annab löögi puurvardale, mille tagajärjel puuripea tungib kivimisse. Puuri hoidklamber *9* haarab puuri altpoolt vööd ja takistab puuri väljakukkumist padrunist kolvi löögi tagajärjel (puuri vahetamisel tõmmatakse klamber kõrvale).

Tagasiliikumisel pöördub kolb oma telje ümber teatud nurga võrra. Seejuures pöörab kolvivars tappide abil puksi *7*, mis omakorda on ühendatud nukkidega puuripadruniga *8* ja pöörab seda koos puurvardaga.

Kolvi pööramine tagasikäigul toimub mehhanismi abil, mis koosneb kärisrõngast ja pöördepoldist *10* koos kärisrõngas *4* asetseva kärispeaga. Kärispeas asetsevad kaks kärislinki *11*, mis surutakse vedrude *12* ja tihvtide *13* abil vastu kärisrõnga hambaid. Kärislingid võimaldavad keermetatud poldil pöörduda ainult ühes suunas, puurija poolt vaadatuna vastupäeva.

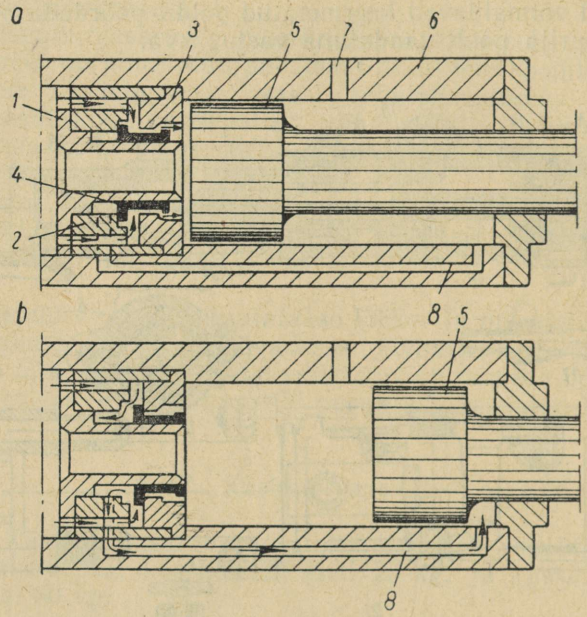


Joon. 128. Puurvasar OM-506Л.

Polt *10* läbib õhujaotuskarbi puksi *14* ning ulatub silindrisse ja kolvi õõnde läbi mutri *15*. Poldile on lõigatud väga suure keermesammuga (600—800 mm) sooned. Kolvi õõnde on kinnitatud samasuguse keermega mutter 15. Kolvi liikumisel ette libiseb mutter oma keermega mööda poldi keeret ja pöörab polti. Kolvi tagasikäigul (tühikäigul) püüab mutter pöörata polti vastupidises suunas, kuid kärisrõnga hambaile toetuvad lingid ei lase polti pöörduda. Seepärast pöördub mööda poldi keeret libisedes mutter koos kolviga, mille külge ta on kinnitatud. Kolvivars pöörab pöördepuksi *7* ja puuripadrunit *8*.

Kolvi paneb silindris liikuma suruõhk, mis voolab läbi torupõlve *16* ja õhukraani *17* ava tagumises kaanes olevasse ringkanalisse. Sealt liigub õhk läbi kärisrõngas *4* olevate avade õhujaotuskarpi.

Õhujaotuskarp (joon. 129) koosneb puksist *1*, karbi kerest *2*, karbi kaanest *3* ja ääriksiibrist (klapist) *4*. Pöördepolti, mis käib läbi puksi *1* silindri *5* õõnde, pole skeemil näidatud.



Joon. 129. Puurvasara OM-506Л õhujaotuse skeem.

Kui siiber on vasakus asendis (joon. 129, *a*), liigub õhk mööda nooltega näidatud kanaleid silindri *6* vasakusse ossa ja paneb kolvi *5* liikuma ettepoole (paremale). Kui kolb liigub paremale, väljub silindri parempoolses osas olev õhk läbi väljalaskeava *7* atmosfääri. Edasisel liikumisel suleb kolb väljalaskeava, seejärel aga avaneb ava vasakult poolt. Suletud väljalaskeava tõttu surub paremale liikuv kolb silindri parempoolses osas oleva õhu kokku. Selle tagajärjel suureneb rõhk kanalis *8* ja siibri äärikust vasakul olevas rõngakujulises ruumis. Kuid siibri paremale liigutamiseks pole see rõhk küllaldane, sest paremalt poolt avaldab õhk siibrile suuremat survet.

Kui kolb liigub teisele poole väljalaskeava, siis voolab õhk vasakpoolsest silindri osast välja ja rõhk silindris alaneb. Samal momendil alaneb rõhk õhujaotuskarbis paremal pool siibri äärikut ja osutub väiksemaks survest vasakul pool siibrit, ning siiber liigub paremale (joon. 129, *b*). Suruõhu juurdevool vasakpoolsesse silindri osasse lõpeb ja õhk liigub kanalisse *8* ning sealt silindri parempoolsesse ossa. Kui kolb tagasikäigul liigub väljalaskeava

taha vasakule, siis suruõhk parempoolsest silindri osast voolab atmosfääri ja rõhk siibrile vasakult osutub väiksemaks kui paremalt. Siiber liigub uuesti vasakpoolsesse asendisse (siibri käigu pikkus on 0,4—0,6 mm) ja kolb liigub ette. Enne edasikäigu lõppu annab kolvivars löögi vastu puurisaba.

Õhujaotuse põhimõte on kõigil puurvasarail ühesugune, kuid õhujaotusmehhanismide konstruktsioonid on väga mitmesugused.

Puurvasaral OM-506Л on seade lõhkeaukude veega uhtumiseks. Tagumisse kaande *5* (vt. joon. 128) on puuritud mutriga *20* kaetud süvend, kuhu on kinnitatud peenike terastoru *18* ja nippel *19*. Vesi juhitakse toru *21* abil kaanes olevasse kanalisse ning voolab sealt niplisse *19* ja torusse *18*. Toru ulatub läbi pöördepoldi *10* ja kolvi telgkanalite kuni puuripadrunini. Puuri asetamisel padrunisse peab toru ots 25—30 mm pikkuselt ulatuma puuri kanalisse. Nii satub vesi läbi toru voolates puuri kanalisse ja sealt lõhkeauku, kus ta märgab puurjahu ja uhub selle välja. Puurvasarasse antava vee surve peab suruõhu survest olema 1—2 atü võrra madalam.

Kui puurvasarat OM-506Л kasutatakse läbipuhumisega puurimiseks, siis uhtetoru asendatakse lühikese terasvardaga, mille läbimõõt peab olema 1—1,5 mm väiksem toru läbimõõdust. See tagab suruõhu normaalse juurdevoolu läbi kolvivarre kanali lõhkeaugu läbipuhumiseks ja väldib samal ajal õhu kadusid niplist.

Lõhkeaukude läbipuhumine ja nende puhastamine puurjahust toimub puurvasara töötamisel suruõhu kadude arvel. Suruõhk tungib silindrist kolvivarre tapisoonte ja kolvi telgkanali kaudu pöördepuksi. Sealt voolab õhk puuri kanali kaudu lõhkeauku, kust ta puurjahu välja puhub. Kui puurjahu väljapuhumine pole küllaldane ja see koguneb puuri alla ning pehmendab sellega lööke kivimi pihta, siis kasutab puurija täiendavat läbipuhumist, sulgedes väljalaskeava kraani. Selle tagajärjel katkeb õhujaotus ja puurvasar lakkab töötamast. Kogu suruõhk voolab silindrist pöördepuksi, sealt puuri kanalit mööda lõhkeauku ning toimub viimase intensiivsem läbipuhumine.

Puurvasarate võimsus ja tootlikkus. Kolvi löögijõud, löökide arv ajaühikus ja puurvasara võimsus sõltuvad suruõhu survest ning puurvasara konstruktiivsetest omadustest.

Kolvi töö töökäigul ehk löögi energia

$$A = Pl = pFl = \frac{pl\pi d^2}{4}, \qquad (121)$$

kus P — kolvile töökäigul mõjuv jõud kg;
l — kolvikäigu pikkus cm;
p — suruõhu rõhk silindris kg/cm²;
F — kolvi pindala cm²;
d — kolvi läbimõõt cm.

Kolvi löökide arv minutis

$$n = \frac{60}{T} = \frac{60}{t + t_0}, \tag{122}$$

kus T — kolvi töö ja tühikäigu aegade summa sek;
t — töökäigu aeg sek;
t_0 — tühikäigu aeg sek;
kolvi töökäigu aeg

$$t = \sqrt{\frac{2l}{j}}, \tag{123}$$

kus j — kolvi kiirendus töökäigul cm/sek^2.
Kolvi kiirendus töökäigul

$$j = \frac{P}{m} = \frac{pF}{m} = \frac{pFg}{B} = \frac{981\,pF}{B}, \tag{124}$$

kus m — kolvi mass kgsek^2/cm;
B — kolvi kaal kg;
g — raskuskiirendus, $g = 981$ cm/sek^2.
Asendades j väärtuse avaldusest (124) valemisse (123)

$$t = \sqrt{\frac{2lB}{gpF}} = \sqrt{\frac{8lB}{g\pi pd^2}}. \tag{125}$$

Analoogiliselt eeltoodule avaldub kolvile eestpoolt mõjuv jõud tühikäigul

$$P_0 = pF_0 = p \cdot F \cdot k, \tag{126}$$

kus k — ühest väiksem koefitsient, kuna $F_0 < F$, sest et kolvi pindala eespool on kolvivarre ristlõike pindala võrra väiksem.
Kolvi kiirendus tühikäigul

$$j_0 = \frac{P_0}{m} = \frac{pFk}{m} = kj.$$

Kolvi tühikäigu aeg

$$t_0 = \sqrt{\frac{2l}{j_0}} = \sqrt{\frac{2l}{kj}} = t\sqrt{\frac{1}{k}}. \tag{127}$$

Asendades valemis (122) t ja t_0 väärtused, saame

$$n = \frac{60\,p^{\frac{1}{2}}d}{0{,}051\,l^{\frac{1}{2}}B^{\frac{1}{2}}(1 + k^{-\frac{1}{2}})}. \tag{128}$$

Kolvi poolt 1 minuti jooksul sooritatud töö leitakse valemist

$$A_{min} = A \cdot n = \frac{60\, p l \pi d^2}{4t(1 + k^{-\frac{1}{2}})} \approx$$

$$\approx \frac{922\, d^3 p^{\frac{3}{2}} l^{\frac{1}{2}}}{B^{\frac{1}{2}}(1 + k^{-\frac{1}{2}})}. \qquad (129)$$

Puurvasara võimsus

$$N = \frac{A_{min}}{60 \cdot 75 \cdot 100} \approx \frac{0{,}0021\, d^3 p^{\frac{3}{2}} l^{\frac{1}{2}}}{B^{\frac{1}{2}}(1 + k^{-\frac{1}{2}})} \text{ hj.} \qquad (130)$$

Valemitest (121), (128) ja (130) on näha, et puurvasara võimsusele ja kolvi löögienergiale avaldavad kõige suuremat mõju kolvi läbimõõt ja suruõhu rõhk silindris. Suruõhu rõhk silindris on 1,5—2 korda madalam rõhust suruõhu torustikus. See on tingitud suruõhu kadudest läbi kolvivarre soonte ja kolvis oleva kanali, õhu hõrenemisest silindris ja ka õhu liikumise takistusest kraanis, kanalites ja siibrikarbis. Koefitsient, mis iseloomustab suruõhu rõhu langust silindris, võrreldes rõhuga torustikus, oleneb erinevat tüüpi puurvasarate konstruktiivsetest iseärasustest ja ka suruõhu rõhust. Puurvasara võimsuse ja kolvi löögienergia arvutus suruõhu rõhu järgi torustikus ei ole täpne ilma rõhu alanemise arvestamiseta silindris. Puurvasara võimsuse ja võimaliku tootlikkuse üle võib selliste arvutuste alusel otsustada väga ligikaudselt.

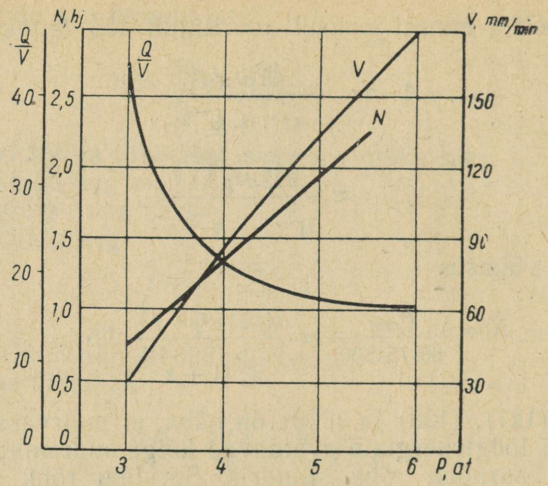
Puurvasara tootlikkus määratakse puurimiskiiruse järgi eksperimentaalselt.

Puurimiskiirus kasvab koos suruõhu rõhu tõusuga kõikidel puurvasaratel, kuid mitte ühesuguselt.

Peale selle oleneb puurimiskiiruse suurenemine kõrgendatud suruõhu rõhu juures sellest, kui kõva on puuritav kivim.

Suruõhu kulu puurimisel oleneb puurvasara konstruktsioonist ja suruõhu rõhust. Suruõhu rõhu suurenemisega õhukulu tõuseb, kuid vähem kui puurimiskiirus. Seetõttu väheneb suruõhu erikulu (suruõhu kulu lõhkeaugu 1 m kohta) (joon. 130). Kui näiteks suruõhu rõhk tõuseb 5 atmosfäärilt kuni 7 atü, väheneb suruõhu erikulu 15—20%. Käesoleval ajal töötavad puurvasarad tavaliselt 5 atü survega. Kasulikum oleks tõsta rõhk suruõhutorustikus 7 atü-le.

Käsipuurvasarate tüübid. Puurvasara võimsus ja tootlikkus olenevad nii löögi tugevusest kui ka löökide arvust minutis (valem 129). Seni toodeti Nõukogude Liidus puurvasaraid löökide arvuga minutis kuni 1900. Nüüd on konstrueeritud puurvasarad P-10, P-20, PC-3 jt. löökide arvuga minutis 3000 kuni 5000 ja



Joon. 130. Suruõhu rõhu (p, atü) mõju puurvasara võimsusele (N, hj) puurimiskiirusele (v, mm/min.) ja suruõhu erikulule ($\frac{Q}{V}$), kui puuritakse vertikaalset lõhkeauku graniiti, mille kõvadus $f=14$.

löögitööga 5—6 kgm. Mõningaid neist vasaraist on juba tööstuslikult katsetatud ja asutud nende seeriaviisilisele tootmisele.

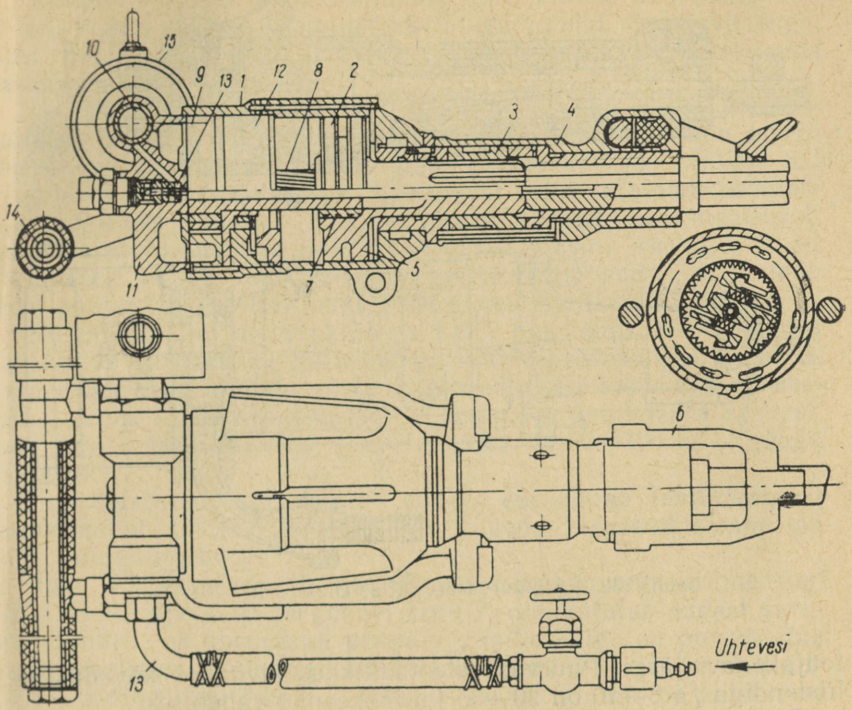
Joon. 131 on toodud tehase «Kommunist» kõrgsagedusega puurvasara ПР-23 skeem.

Puurvasara tehnilised andmed

puurvasara kaal kg	24
löökide arv minutis	3000
löögienergia kgm	5,0
tehniline puurimiskiirus (kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f=8$—10 prof. Protodjakonovi järgi)	390
suruõhu rõhk atü	5—6
suruõhu kulu m³/min.	4,3

Puurvasar ПР-23 on ette nähtud kõvadesse kivimitesse kuni 65 mm jämeduste ja 4 m sügavuste lõhkeaukude puurimiseks veega uhtumisega. Oma konstruktsioonilt sarnaneb puurvasar perforaatoriga ПА-23, kuid ta silindri läbimõõt on suurem ja kolvikäik kaks korda väiksem. Puurvasara tööpõhimõte on analoogiline ülalkirjeldatuga.

Välismaal on viimase 10 aasta jooksul loodud terve rida täiustatud kergeid puurvasaraid. Rootsis valmistatakse üsna tootlikke puurvasaraid «Atlas-Diesel» RH-754-1W (joon. 132). Puurvasara kaal on 24 kg; võimsus 2,7 hj; löögienergia 4,4 kgm; kolvi löökide arv minutis 2800, puurimiskiirus kivimeis kõvadus-



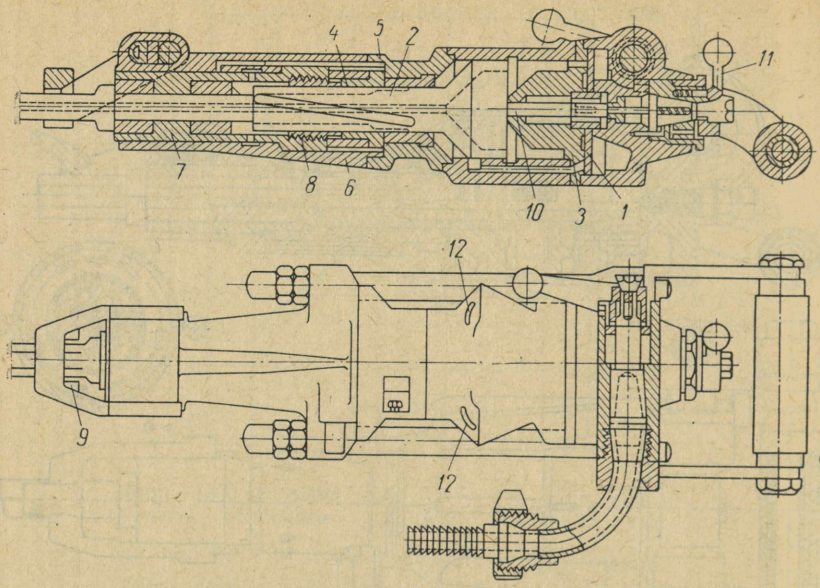
Joon. 131. Kõrgsagedusega puurvasar ПР-23:

1 — silinder; *2* — kolb; *3* — pöördemuhv; *4* — kest; *5* — kolb lõikes; 6 — puurihoidja; *7* — pöördemutter; *8* — pöördepolt; *9* — kärismehhanism; *10* — õhu juurdevoolu kanal; *11* — puurvasara kaas; *12* — õhujaotusmehhanism; *13* — uhtevee toru; *14* — käepide; *15* — määrdekarp

koefitsiendiga $f=4—6$ on 350—370 mm/min. Seda tüüpi puurvasarail puudub eraldi pöördepolt. Puurvasara RH-754-1W õhujaotusmehhanismis on liblikklapp *1*. Kolvi peas on õõnsus *2* ja silindri kaanel töökambri mahu säilitamiseks vastav väljaulatuv osa *3*. Kolvivarrel on kaks sirget ja kaks vintsoont. Kärisrõngas *5* koos mutriga *4* asub pöördepuksi *7* kere *6* ülemises osas. Pöördepuksi on keeratud kahe tapiga varustatud mutter *8*. Kere *6* külge on kinnitatud puuri hoideklamber *9*. Vesi juhitakse puurvasarasse läbi toru *10* ja kraani *11*. Silindri seinte paksendeis on väljalaskeavad *12*.

Nõukogude Liidus valmistatavate ja mäetööstuses kasutatavate käsipuurvasarate tehnilised andmed on toodud lisas XIV.

Puurvasaraid РПМ-17А ja ПР-30 kasutatakse horisontaalseis ja kallakutes kaeveõõnsustes kuni 2 m sügavuste lõhkeaukude puurimiseks kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga $f=8—10$ prof. Pro-



Joon. 132. Käsipuurvasar «Atlas-Diesel» RH-754-1W.

todjakonovi järgi. Puurvasarate tootlikkus kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f=8—10$ on 20—30 jm lõhkeauku vahetuses.

Puurvasaraid ПА-23 ja ПР-30 kasutatakse horisontaalsetes ja kallakutes kaeveõõnsustes kuni 3 m sügavuste lõhkeaukude puurimiseks kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga $f=12—16$. Puurvasarate tootlikkus kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f=14—16$ on 25—30 jm lõhkeauku vahetuses.

Neid puurvasaraid võib kasutada ka vertikaalšahtide rajamisel.

Puurvasaraid ПР-23, ПР-25, ОМ-506, ПР-35, ПР-30К, ПР-38 ja ПР-30ЛЦ kasutatakse horisontaalseis kaeveõõnsustes ja vertikaalšahtides kuni 3—4 m sügavuste lõhkeaukude puurimiseks kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga f kuni 16—20. Nende puurvasaratega horisontaalseis kaeveõõnsustes puurimisel kasutatakse tugesid ja automaatse ettenihkega sambaid. Puurmasina tootlikkus kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f=14—16$ on 25 kuni 45 jm lõhkeauku vahetuses.

Konkreetseis mäetehnilistes tingimustes määratakse puurija töötootlikkus normide kogumiku järgi. Ligikaudsetes orienteerivates arvutustes võib kasutada lisade III ja XIV tabelite andmeid. Siinjuures tuleb arvestada, et ühe puurvasara tootlikkuse kasv või kahanemine teise vasara suhtes on kuni 60% nende vasarate puurimiskiiruste vahest (katselisel puurimisel saadud puurimiskiirused 1 minutis on toodud lisas XIV).

Käsipuurvasarate toed. Kallakute lõhkeaukude puurimine vertikaalsahtides raskete käsipuurvasaratega toimub tavaliselt tugedeta. Sealjuures toetub puurvasar puurile ja surub sellele oma raskusega.

Horisontaalsetes ja kallakutes kaeveõõnsustes tuleb horisontaalsete ja horisondi suhtes kaldu suunatud lõhkeaukude puurimisel kogu puurvasara raskus hoida üleval kätega. Tööliste töö kergendamiseks kasutatakse käesoleval ajal käsipuurmasinate ülalhoidmiseks tugesid, mis kujutavad endast pneumaatiliselt lahtilükatavaid sambaid ja võtavad vastu masina raskuse. Toelt puurimisel surub puurija puurvasarat vastu puuri ja suunab teda; puurvasara raskus kandub seejuures täielikult üle toele.

Kiirekäiguliste puurvasaratega käelt puurimine ei ole tervist kahjustava vibratsiooni tõttu üldse võimalik. Kiirekäiguliste puurvasaratega saab töötada ainult pneumaatiliselt toelt, mis on asetatud kaldu, et ta mitte üksnes ei kannaks puurvasara raskust, vaid suruks seda ettenihke saavutamiseks ka 50—100 kg-se jõuga vastu ett.

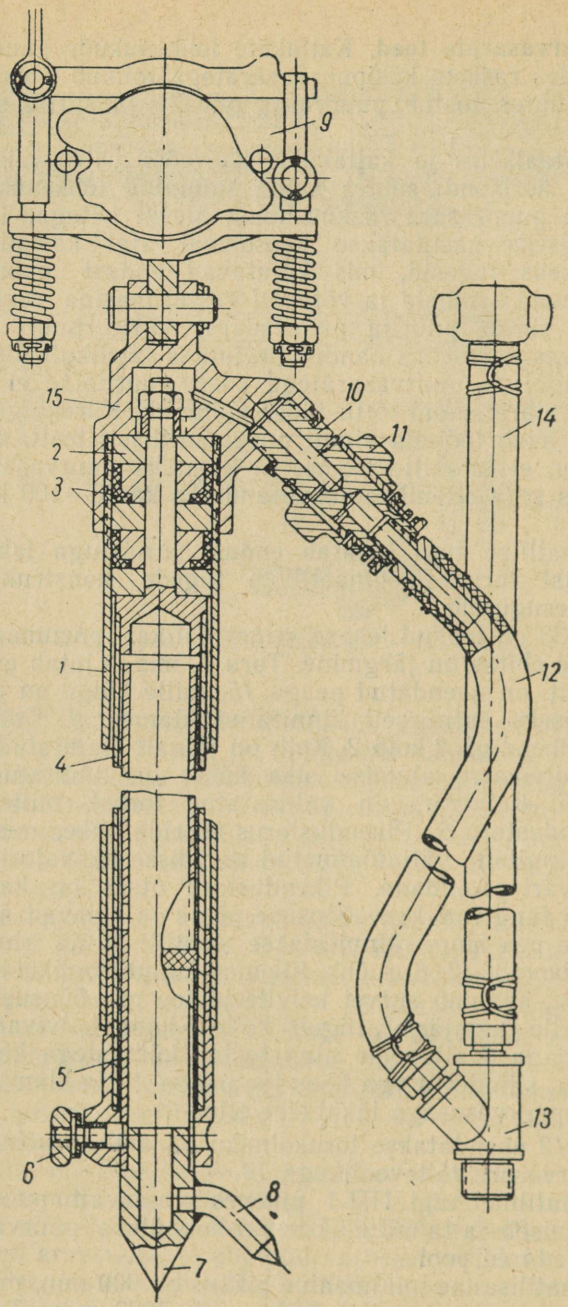
Pneumaatiline tugi kujutab endast suruõhuga lahtilükatavat teleskoopilist toru. Pneumaatiliste tugede konstruktsioone on väga mitmesuguseid.

Joon. 133 on toodud tehase «Pnevmatika» pneumaatiline tugi ПП-1. Selle ehitus on järgmine. Toru *1*, mis kujutab endast suruõhu silindrit, on ühendatud peaga *15*, mille külge on puurmasina paigaldamiseks šarniirselt kinnitatud klamber *9*. Torus *1* liigub kahe nahktihendiga *3* kolb *2*. Kolb on jäigalt kinnitatud kolvivarre *4* külge. Kolvivarre alumise otsa külge on kinnitatud võru fiksaatoriga *6*. Kolvivars on valmistatud torust, mille sisse käib teine, pikendustoru *5*. Pikendustorus on rida auke, mis võimaldavad seda kinnitada väljatõmmatud asendisse fiksaatori *6* abil. Nii saab kolvivart pikendada. Pikendustoru otsas on kaks küünist *7* ja *8*, mis tungivad kaeveõõnsuse põhja ja hoiavad ära toe libisemise. Toe pea külge kinnitatakse ventiili *10* ja ringkraani *11* abil kummivoolik *12*. Suruõhk, liikudes kummivoolikust *12* toe pea *15* õõnsusse, avaldab survet kolvile ja toe pea õõnsuse ülemisele pinnale. Selle tagajärjel liigub kolb *2* koos kolvivarrega *4* ja pikendustoruga *5* allapoole ning toetub küünistega kaeveõõnsuse põhja vastu, silinder *1* aga koos toe peaga *15* ja klambri *9* vahele kinnitatud puurvasaraga lükatakse ette.

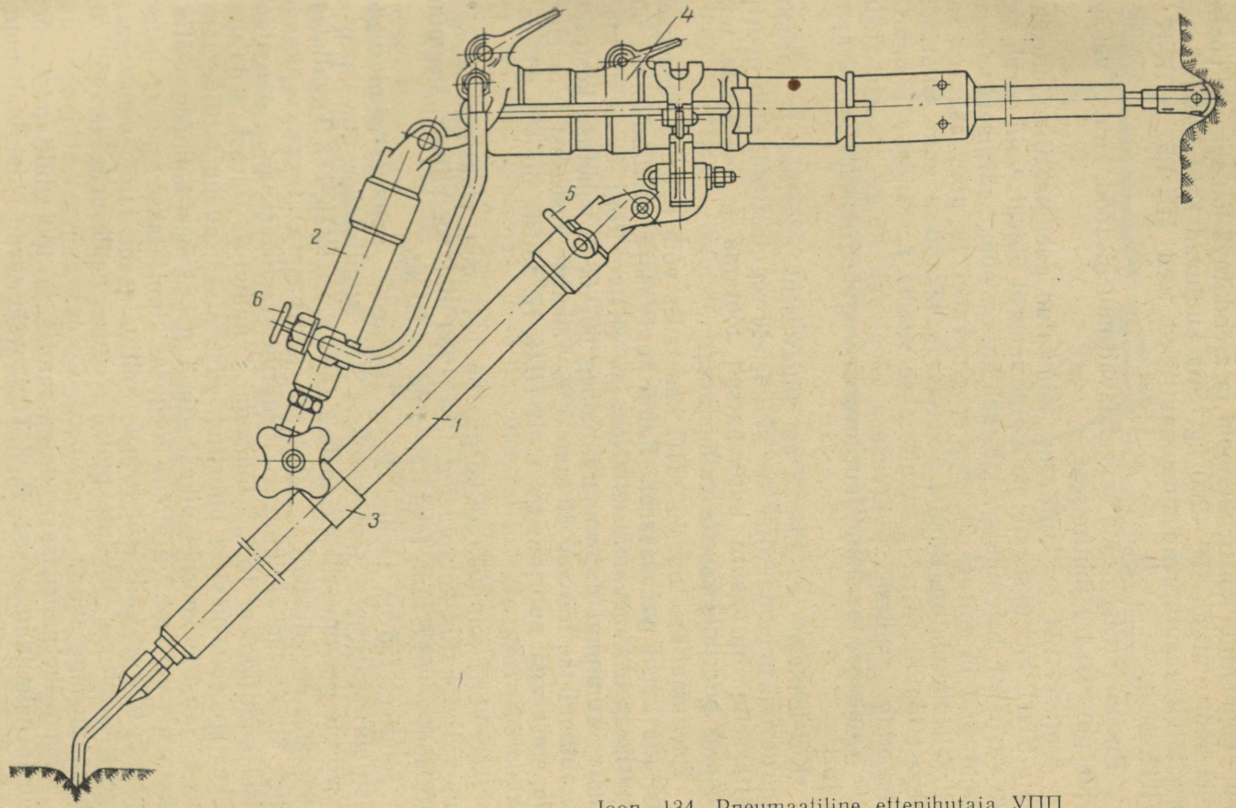
Voolik *12* ühendatakse torukolmiku *13* abil suruõhutorustikust tuleva puurvasara toitevoolikuga *14*.

Pneumaatiline tugi ПП-1 pikeneb vastavalt puurvasara ee poole liikumisele ja ta mitte üksnes ei hoia üleval puurvasarat, vaid surub ka seda ee poole.

Pneumaatilise toe minimaalne pikkus on 900 mm, maksimaalne (väljalükatud varre ja pikendustoruga) 2200 mm. Toe kaal on 12 kg, 5 atü suruõhu rõhu juures arendatav jõud on 90 kg.



Joon. 133. Tehase «Pnevmatika» pneumaatiline tugi ПП-1.



Joon. 134. Pneumaatiline ettenihutaja УПП.

Peale seda tüüpi pneumaatiliste tugede on olemas veel teisi, mis põhinevad samal printsiibil kui ППП-1, kuid erinevad üksikute elementide konstruktsiooni ja arendatava jõu suuruse poolest, mis võib ulatuda 150—200 kg. Siia kuuluvad Krivoi-Rogi basseinis laialt kasutatavad pneumaatilised toed ППП-1,5, ППК-17 ja ППК-21 jt.

Pneumaatilised toed kergendavad puurija tööd, kuid ei vabasta teda puurvasara juhtimisest.

Joonisel 134 on kujutatud täiustatud pneumaatiline ettenihutaja УПП, mis üksnes ei hoia puurvasarat üleval, vaid surub seda ka vastu ett. Ettenihutaja koosneb kahest pneumaatilisest sambast (peatugi *1* ja abitugi *2*), mis on omavahel ja puurvasaraga šarniirselt ühendatud. Samba *2* kolvivars lükatakse enne puurimise algust lõpuni välja ja kinnitatakse samba *1* silindrile klambri *3* abil ning šarniirselt puurvasara käepideme külge. Pneumaatilise toe sambasse suruõhu juurdevoolu reguleerimiseks on kraanid *5* ja *6*.

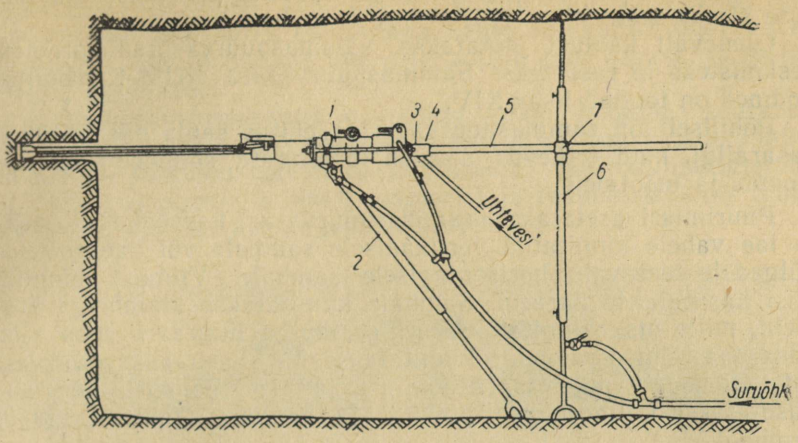
Kui lõhkeauk on 20—25 cm sügavuseni puuritud ja suruõhu juurdevool pneumaatilise toe silindrisse reguleeritud, võib puurija jätta selle puurvasara automaatselt töötama ja ise asuda teist vasarat puurimiseks ette valmistama.

Pneumaatilisi tugesid УПП kasutades võib puurija üheaegselt töötada kahel puurvasaral. Kahe puurvasara teenindamisel ühe puurija poolt kaevanduses «Novaja» (Krivoi-Rogi bassein) moodustas kummagi puurvasara tööaeg 60—66% vahetuse kestusest ja automaatse töö aeg 37 kuni 52% vahetuse kestusest. Võrreldes ühe vasaraga puurimisega toelt ППК-17, tõusis puurija töötootlikkus 34—76%.

Toe УПП minimaalne kõrgus on 1140 mm, maksimaalne kõrgus väljalükatud kolvivarrega — 1900 mm, toe silindri sisemine läbimõõt — 51,5 mm, tekitatav jõud — 80 kg.

Joonisel 135 on toodud P. I. Tšaikovski poolt esitatud seade käsipuurvasaratega töötamiseks. Siin kinnitatakse puurvasar *1* tavalisele pneumaatilisele toele *2* (ППП-1 või ППК-17). Tavalistest pikemate ühenduspoltide abil on puurvasara tagumise kaane külge kinnitatud äärikmuhv *3*. Puurvasara tööasendisse paigaldamisel kinnitatakse toru *5* lõhisega *4* muhvi *3*. Pärast seda, kui lõhkeaugu suue on sisse puuritud, püstitatakse pneumaatiline sammas *6*. Sammas koosneb pikast silindrist ja kahest kolbidega väljalükatavast vardast. Vajalikus kõrguses kinnitatakse samba *6* külge muhv *7*, millest käib läbi toru *5*. Selline seade tagab puurvasara tugeva kinnituse, tekitab puurile suure pealesurve ja säilitab lõhkeaugu õige suuna.

Pärast ühe puurvasara paigaldamist ja tööle lülitamist asub puurija paigaldama teist. P. I. Tšaikovski seade võimaldab puurvasarate tööd paremini automatiseerida kui pneumaatiline ette-



Joon. 135. Puurvasara monteerimine pneumaatilisele ettenihutajale ja sambale P. I. Tšaikovski meetodi järgi.

nihutaja УПП ja võimaldab puurijal teenindada 2—3 puurvasarat.

Puurvasarate niisuguse paigaldamise keerukuse tõttu tuleb seda kasutada ainult kõvade kivimite (kõvaduskoefitsiendiga $f>8$—10) puhul, kus puurimiseks kulub rohkem aega kui puurvasarate paigaldamiseks. Lõhkeaukude puurimisel P. I. Tšaikovski meetodil kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga $f=10$—16 oli maagikaevanduses «Bolševik» 2—3 puurvasaral töötava puurija töötootlikkus 2—2,8 korda kõrgem kui tavalisel viisil puurimisel ühe puurvasaraga pneumaatiliselt toelt ППК-17.

Käsipuurvasarate kasutamine lõhkeaukude puurimisel kõvadesse kivimitesse pneumaatiliste ettenihutajatega on otstarbekohane ainult sellistes kaeveõõnsustes, kus puudub võimalus kasutada suurema võimsusega puurvankritele monteeritud sammaspuurvasaraid. Üle 8 m² ristlõikega kaeveõõnsustes on soovitav kasutada väga kõvades kivimites puurvankreid võimalikult suurema arvu puurvasaratega, et kiiresti sooritada kogu ee pinna puurimist.

§ 48. Sammaspuurvasarad

Sammaspuurvasarad on käsipuurvasaratest suurema võimsusega ja raskemad. Neid kasutatakse horisontaalsete ja kallakate kaeveõõnsuste rajamisel keskmise kõvadusega ja kõvades kivimites. Lõhkeaukude puurimiseks monteeritakse nad sammastele või puurvankritele. Puuritavate lõhkeaukude pikkus on 2 kuni 5 m. Maagi lahtimurdmiseks koristustöödel kasutatakse sammaspuur-

Peale seda tüüpi pneumaatiliste tugede on olemas veel teisi, mis põhinevad samal printsiibil kui ППП-1, kuid erinevad üksikute elementide konstruktsiooni ja arendatava jõu suuruse poolest, mis võib ulatuda 150—200 kg. Siia kuuluvad Krivoi-Rogi basseinis laialt kasutatavad pneumaatilised toed ППП-1,5, ППК-17 ja ППК-21 jt.

Pneumaatilised toed kergendavad puurija tööd, kuid ei vabasta teda puurvasara juhtimisest.

Joonisel 134 on kujutatud täiustatud pneumaatiline ettenihutaja УПП, mis üksnes ei hoia puurvasarat üleval, vaid surub seda ka vastu ett. Ettenihutaja koosneb kahest pneumaatilisest sambast (peatugi *1* ja abitugi *2*), mis on omavahel ja puurvasaraga šarniirselt ühendatud. Samba *2* kolvivars lükatakse enne puurimise algust lõpuni välja ja kinnitatakse samba *1* silindrile klambri *3* abil ning šarniirselt puurvasara käepideme külge. Pneumaatilise toe sambasse suruõhu juurdevoolu reguleerimiseks on kraanid *5* ja *6*.

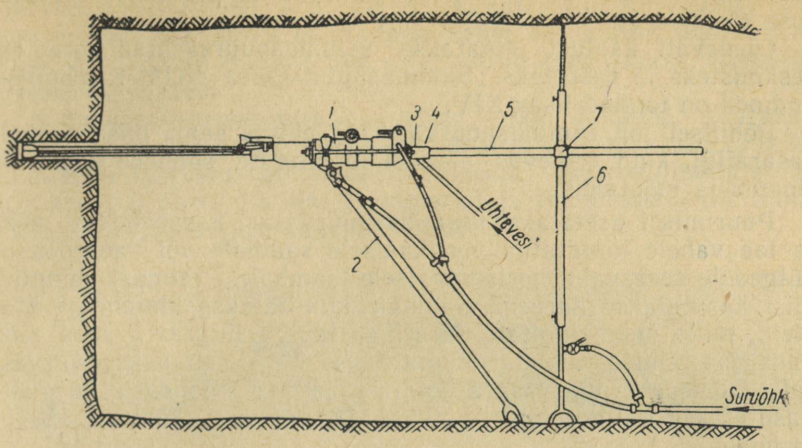
Kui lõhkeauk on 20—25 cm sügavuseni puuritud ja suruõhu juurdevool pneumaatilise toe silindrisse reguleeritud, võib puurija jätta selle puurvasara automaatselt töötama ja ise asuda teist vasarat puurimiseks ette valmistama.

Pneumaatilisi tugesid УПП kasutades võib puurija üheaegselt töötada kahel puurvasaral. Kahe puurvasara teenindamisel ühe puurija poolt kaevanduses «Novaja» (Krivoi-Rogi bassein) moodustas kummagi puurvasara tööaeg 60—66% vahetuse kestusest ja automaatse töö aeg 37 kuni 52% vahetuse kestusest. Võrreldes ühe vasaraga puurimisega toelt ППК-17, tõusis puurija töötootlikkus 34—76%.

Toe УПП minimaalne kõrgus on 1140 mm, maksimaalne kõrgus väljalükatud kolvivarrega — 1900 mm, toe silindri sisemine läbimõõt — 51,5 mm, tekitatav jõud — 80 kg.

Joonisel 135 on toodud P. I. Tšaikovski poolt esitatud seade käsipuurvasaratega töötamiseks. Siin kinnitatakse puurvasar *1* tavalisele pneumaatilisele toele *2* (ППП-1 või ППК-17). Tavalistest pikemate ühenduspoltide abil on puurvasara tagumise kaane külge kinnitatud äärikmuhv *3*. Puurvasara tööasendisse paigaldamisel kinnitatakse toru *5* lõhisega *4* muhvi *3*. Pärast seda, kui lõhkeaugu suue on sisse puuritud, püstitatakse pneumaatiline sammas *6*. Sammas koosneb pikast silindrist ja kahest kolbidega väljalükatavast vardast. Vajalikus kõrguses kinnitatakse samba *6* külge muhv *7*, millest käib läbi toru *5*. Selline seade tagab puurvasara tugeva kinnituse, tekitab puurile suure pealesurve ja säilitab lõhkeaugu õige suuna.

Pärast ühe puurvasara paigaldamist ja tööle lülitamist asub puurija paigaldama teist. P. I. Tšaikovski seade võimaldab puurvasarate tööd paremini automatiseerida kui pneumaatiline ette-



Joon. 135. Puurvasara monteerimine pneumaatilisele ettenihutajale ja sambale P. I. Tšaikovski meetodi järgi.

nihutaja УПП ja võimaldab puurijal teenindada 2—3 puurvasarat.

Puurvasarate niisuguse paigaldamise keerukuse tõttu tuleb seda kasutada ainult kõvade kivimite (kõvaduskoefitsiendiga $f>8$—10) puhul, kus puurimiseks kulub rohkem aega kui puurvasarate paigaldamiseks. Lõhkeaukude puurimisel P. I. Tšaikovski meetodil kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga $f=10$—16 oli maagikaevanduses «Bolševik» 2—3 puurvasaral töötava puurija töötootlikkus 2—2,8 korda kõrgem kui tavalisel viisil puurimisel ühe puurvasaraga pneumaatiliselt toelt ППК-17.

Käsipuurvasarate kasutamine lõhkeaukude puurimisel kõvadesse kivimitesse pneumaatiliste ettenihutajatega on otstarbekohane ainult sellistes kaeveõõnsustes, kus puudub võimalus kasutada suurema võimsusega puurvankritele monteeritud sammaspuurvasaraid. Üle 8 m² ristlõikega kaeveõõnsustes on soovitav kasutada väga kõvades kivimites puurvankreid võimalikult suurema arvu puurvasaratega, et kiiresti sooritada kogu ee pinna puurimist.

§ 48. Sammaspuurvasarad

Sammaspuurvasarad on käsipuurvasaratest suurema võimsusega ja raskemad. Neid kasutatakse horisontaalsete ja kallakate kaeveõõnsuste rajamisel keskmise kõvadusega ja kõvades kivimites. Lõhkeaukude puurimiseks monteeritakse nad sammastele või puurvankritele. Puuritavate lõhkeaukude pikkus on 2 kuni 5 m. Maagi lahtimurdmiseks koristustöödel kasutatakse sammaspuur-

vasaraid kuni 15—20 m pikkuste puuraukude puurimiseks alakorruse strekkidest.

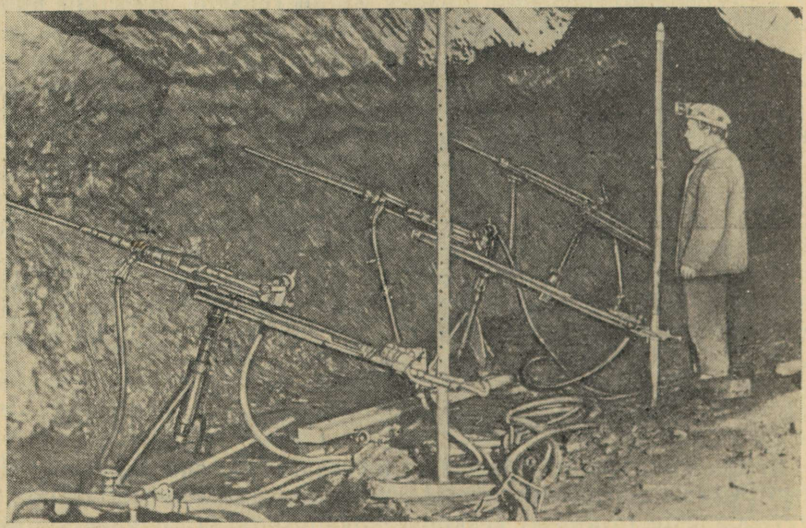
Olenevalt kaalust jaotatakse sammaspuurvasarad kergeteks, keskmisteks ja rasketeks. Sammaspuurvasara KLM-4 tehnilised andmed on toodud lisas XIV.

Põhiliselt on sammaspuurvasarate ehitus sama mis käsipuurvasarailgi, kuid erinevus seisneb mõningate sõlmede konstruktsioonis ja mõõtmeis.

Puurimisel asetatakse sammaspuurvasar kaeveõõnsuse põhja ja lae vahele kinnitatud vertikaalsele sambale või kaeveõõnsuse külgedele toetuvale horisontaalsele sambale. Viimast kinnitusviisi kasutatakse harvem. Sambale kinnitatakse klambriga kronstein, mille otsa kinnitatakse erilise tapiga liugraam koos puurvasaraga. Ühele sambale kinnitatakse tavaliselt kaks puurvasarat. Olenevalt puurvasara kaalust ja kaeveõõnsuse kõrgusest kasutatakse mitmesuguse pikkuse ja kaaluga (70 kuni 120 kg) sambaid.

Sammaspuurvasar kinnitatakse liugraamile, mis kujutab endast metallist raami kahe juhtlatiga. Liugraamid on kas käsitsi ettenihkega (ettenihkekruvi keeratakse käsitsi) või mehaanilise ettenihkega.

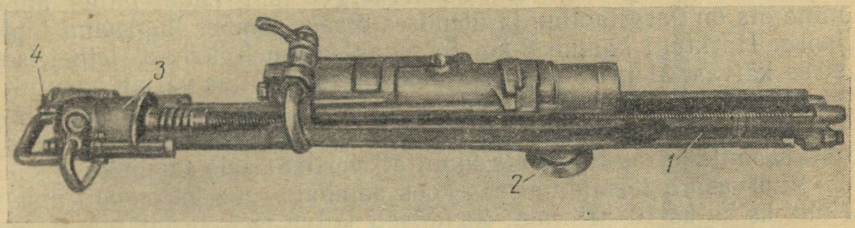
Mehaanilise ettenihkega liugraami kaal on 30—40 kg; puurvasara ettenihke pikkus liugraamil kuni 900 mm. Käesoleval ajal



Joon. 136. Mehaaniliste ettenihutajatega puurvasarate monteerimine harkpukkidele ja sammastele (üks puurija teenindab kahte või kolme puurvasarat).

kasutatakse enamasti mehaanilise ettenihkega liugraame. Üks puurija võib sealjuures teenindada kahte või kolme puurvasarat (joon. 136). Kahte inimest on vaja ainult puurvasara ja samba ümberpaigutamisel.

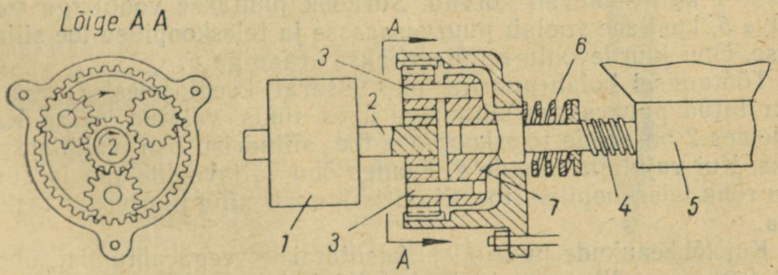
Sammaspuurmasinatest on kõige enam levinud puurvasar KLM-4 (joon. 137). See vasar on varustatud liugraamiga, millel on ettenihe (suruõhu-rotatsioonettenihutaja). Mehaaniline ettenihutaja koosneb pneumaatilisest mootorist ja reduktorist, mis annab pöörleva liikumise üle liugraami kruvile.



Joon. 137. Mehaanilise ettenihutajaga sammaspuurvasar KLM-4:
1 — liugraam; *2* — liugraami kinnitustapp; *3* — mehaanilise ettenihutaja pneumaatiline turbiin; *4* — käivituskraani käepide.

Pöörlemise ülekannet rootorilt ettenihkekruvile selgitab joon. 138 toodud skeem. Rootorilt *1* ja rootorivõllilt *2* antakse pöörlemine edasi planetaarreduktori satelliithammasrataste võllidele *3* ja veopeale *7*. Veopea annab pöörlemise edasi liugraami ettenihkekruvile *4*, mis läbib puurvasara küljes oleva mutri *5* ja sunnib puurvasarat liikuma liugraamil ee poole. Vedru *6* on puurvasara töötamisel kruvile ülekanduvate löökide amortiseerimiseks.

Pneumaatilisse mootorisse antavat õhu hulka saab reguleerida kraaniga ja koos sellega ka puurvasara ettenihkekiirust. Mida pehmem on kivim, seda suurem on puurimiskiirus ja seda suurem peab olema ka puurmasina liugraami ettenihke kiirus.



Joon. 138. Puurvasara mehaanilise ettenihutaja kinemaatiline skeem.

On olemas ka mehaanilisi ettenihutajaid, kus liugraami ettenihkemehhanism koosneb kahest teineteise sisse käivast torust, mis lükatakse pneumaatiliselt lahti nagu pneumaatilistes sammasteski.

Mehaanilise ettenihkega sammaspuurvasarate kasutamine võimaldab tõsta puurijate töötootlikkust. Puuraukude puurimisel kambritevahelistesse tervikutesse trusti «Dzeržinskugol» kaevandustes teenindavad puurijad kahte või kolme puurvasarat (vt. joon. 136). Puurvasarate püstitamiseks kasutati sambaid ja harktugesid. Harktugi kujutab endast kerget tungrauda, millel alumine ots on hargitaoline ja ülemises otsas klamber liugraami tapi jaoks. Harktugi kaalub 8 kg. Sammas koosneb kahest teineteise sisse käivast 31 ja 25 mm läbimõõduga torust, mis väljatõmmatult kinnitatakse tööasendisse poldi ja ülemise toru otsas oleva distantskruviga. Samba kaal on 12 kg. Liugraami eesmine ots toetus harkraamile ja tagumine ots kinnitati vertikaalsele sambale.

Puurvasara teisaldamiseks koos sambaga uue lõhkeaugu puurimiseks kulus 10—15 min. (tavaliselt kulub raskete puurvasarate teisaldamiseks 30—45 minutit). Töötamisel 2—3 puurvasaraga oli puhas puurimise aeg 0,5—0,66 vahetuse kestusest, s. o. peaaegu samapalju kui ühe puurvasaraga töötamisel, kuid puurija tootlikkus kasvas 2,5—2,8 korda. Puuraukude puurimine toimus pikendatavate puurvarrastega.

Lühikeste lõhkeaukude puurimisel, kui puurvasaraid tuleb tihti ühe augu juurest teise juurde kanda, on soovitav monteerida puurvasarad puurvankritele.

§ 49. Teleskooppuurvasarad

Teleskooppuurvasarad koosnevad puurvasarast ja teleskoobisarnaselt pikendatavast toest, mille külge on vasar monteeritud. Teleskoopilise ettenihkega puurvasar sarnaneb oma ehituselt põhijoontes käsipuurvasaraga.

Puurvasara silinder *1* (joon. 139) on ühendatud teleskoopilise toe peaga *2* kahe ühenduspoldi *3* abil, mis läbivad puurvasara kesta *4* küljes olevad kõrvad. Suruõhk juhitakse voolikuga torupõlve *5*, kust see voolab puurvasarasse ja teleskoopilise toe silindrisse. Õhu juurdevoolu reguleeritakse kraaniga *6*.

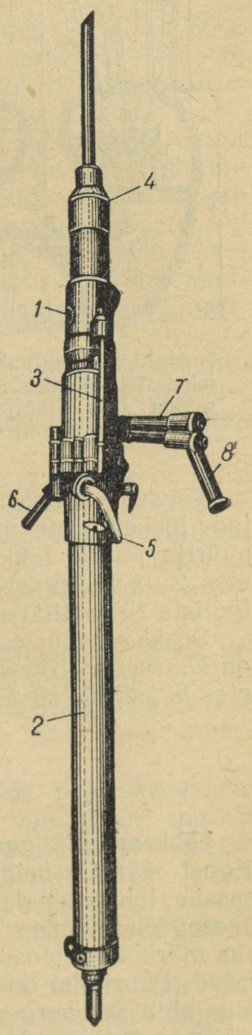
Töötamisel hoiab puurija puurvasarat käepidemest *7*, mis on kinnitatud puurvasara silindriga ühes tükis valatud aasa. Käepidemes *7* on seade teleskoopilise toe silindrist õhu väljalaskmiseks. Kui vajutada nupule *8*, avaneb õhu väljavooluklapp ja suruõhu rõhk teleskoopilise toe silindris langeb ning puurvasar laskub alla.

Kui lõhkeaukude puurimisel kasutatakse veega uhtumist, ühendatakse veevoolik spetsiaalse stutsi külge, millest vesi voolab puurvasara tagumises osas olevasse õõnsusse ja läbi tsentraalse

toru puurikanalisse. Sisselaskekraani *6* võib asetada kolme või nelja asendisse.

Puurvasara ТП-4 suruõhukraani saab fikseerida nelja asendisse. Peale kahe äärmise on veel kaks vahepealset asendit. Esimeses neist on suruõhu juurdevool puurvasarasse ja teleskoopi suletud ja teleskoop on atmosfäärist isoleeritud. Teises vahepealses asendis on suruõhu juurdevool avatud ainult teleskoopi.

Enne puurimise algust pannakse puurvasara padrunisse puur; teleskoopiline tugi on seejuures allalastud asendis. Pärast seda pannakse puurvasar ees tööasendisse ja antakse talle puurimiseks vajalik suund. Nüüd keeratakse suruõhukraan teise vahepealsesse asendisse. Toe teleskoopiline mehhanism tõstab puurvasara üles ja puur toetub vastu kivimit. Pöörates käepidet edasi, alustatakse puurimist nõrkade löökidega. Kui puur on tunginud mõne sentimeetri sügavusele kivimisse, keeratakse kraan täiesti lahti ja puurimine toimub normaalsel režiimil. Kui lõhkeauk on puuritud puuri täies pikkuses, keeratakse kraan kinni. Sellega suletakse suruõhule pääs puurvasarasse ja toe teleskoobi silindrisse ja viimane ühendatakse atmosfääriga. Puurvasara raskusega surutakse toe silindris olev õhk atmosfääri ja tugi lüheneb. Esimene puur võetakse puurvasara padrunist välja ja järgmise pikema puuri puuripea lükatakse lõhkeauku. Puurisaba pannakse puurvasara padrunisse ja jätkatakse puurimist.

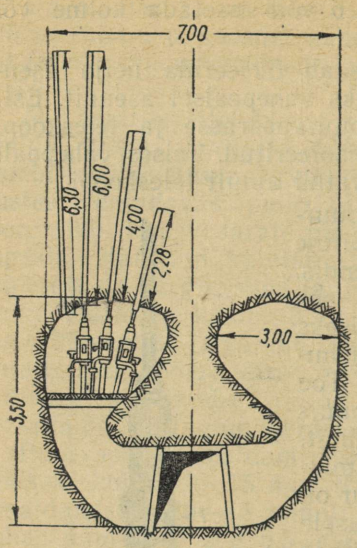


Joon. 139. Teleskoopilise puurvasara ТП-4 üldvaade.

Kõige enam levinud teleskooppuurvasarate tehnilised andmed on toodud lisas XV.

Teleskooppuurvasaraid kasutatakse rajamis- ja koristusetes ülessuunatud lõhkeaukude puurimiseks.

Maagikaevandustes (joon. 140) teenindab puurija sageli kahte või kolme teleskooppuurvasarat üheaegselt. Selline tööviis, mis on tuntud Jankini meetodina, võimaldab kvalifitseeritud töölisi (puurijaid) vabastada mõningate abioperatsioonide sooritamisest, mis tehakse valvelukk-



Joon. 140. Puuraukude puurimine teleskoopiliste puurvasaratega (üks puurija teenindab kolme puurvasarat).

sepa ja puurikandja poolt. Nad toimetavad puurid, puurvasarad, voolikud jne. ette, õlitavad puurvasaraid, ühendavad nad suruõhutorustiku külge ja proovivad neid tühikäigul.

Puurija alustab puurimist abitööliste poolt ettevalmistatud puurvasaraga ja pärast selle töö reguleerimist paneb tööle teise puurvasara, siis kolmanda ja nii kuni 3—4 vasarat. Kui viimase puurvasaraga on lõhkeaugu suue sisse puuritud, lõpetab esimene puurvasar oma töö ja puurija tuleb selle juurde tagasi, et panna otsa pikem puur. Mitme puurvasaraga töötamisel kasutab puurija tööpäeva täielikumalt ja saavutatakse kõrgem tootlikkus.

Jankini meetod on laialdaselt levinud mitmete kaevandamisviiside juures, kus puurimistööde maht laealuse kihi lahtimurdmiseks koristustöödel on suur.

Tõusvate kaeveõõnsuste etes kasutavad kvalifitseeritud puurijad lõhkeaukude puurimisel Jankini-Semivolosi meetodit. Üks puurija puurib lõhkeaugud järjest mitmes ees, töötades kõigis etes 2—3 puurvasaraga. Selle meetodi juures on puurija ja abitööliste töötootlikkus 3—5 korda kõrgem tavalisest.

Söekaevandustes teleskooppuurvasaraid ei kasutata. Kuid need on kohased polttoestiku ankrute alla aukude puurimiseks rajamisetes ja šahtide süvendamisel alt üles.

§ 50. Lõhkeaukude puurimine

Lõhkeaukude puurimine käsipuurvasaratega. Enne puurimise algust märgib brigadir ees vastavalt puurimise ja lõhketööde passile lõhkeaukude suudmete asukohad. Kui puurimine toimub üheaegselt eelmise lõhkamisega lahtimurtud kivimi laadimisega, siis märkimine teostatakse vabal eeosal, kust kivim on juba koristatud. Puurimist on otstarbekohane alustada suunavate šabloonide abil. See kergendab puurimise algust ja kindlustab vajaliku lõhkeaugu suuna. Horisontaalsete ja kallakute lõhkeaukude puurimisel käsipuurvasaratega tuleb kasutada pneumaatilisi tugesid ja ettenihutajaid.

Horisontaalsete kaeveõõnsuste kiirrajamisel Põhja-Uraali boksiidikaevandustes kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f=6—8$ organiseeris rajaja Minzaripovi brigaad töö selliselt, et puurimine peaaegu täielikult ühtis ajaliselt kivimi laadimise ja toestamise protsessidega. Kivimi laadimine toimus masinaga ПМЛ-5 ja puurimine käsipuurvasaratega ОМ-506. Töö oli organiseeritud graafiku kohaselt 2—3 tsüklit vahetuses. Rajamise samm oli 1,4—1,6 m ja rajamiskiirus 240—300 m kuus.

Šahtide kiirrajamisel Donbassis ühtis puurimine ajaliselt 85% ulatuses kivimi laadimisega (puuriti puurvasaratega ОМ-506, kivim laaditi laadijatega БЧ-1), seejuures saavutati rajamiskiirus 60—80 m kuus ja mõningatel juhtudel 150, 200 ja 240 m.

Ees töötavate puurvasarate suure arvu ja intensiivse kivimi laadimise puhul on nende operatsioonide üheaegne sooritamine raskem. Sellisel juhul sooritatakse nad järgemööda. Kaeveõõnsuse rajamiskiirus seejuures ei lange, sest ees töötavate masinate arv on suur. Nii saavutati 1954. a. mais ühes Tšehhoslovakkia kaevanduses kveeršlaagi rajamiskiirus 870,5 m kuus. 10,5 m^2 pindalaga ees töötas 12 puurvasarat. Kivimi laadimine toimus masinaga ПМЛ-5, mille kopa maht oli 0,3 m^3.

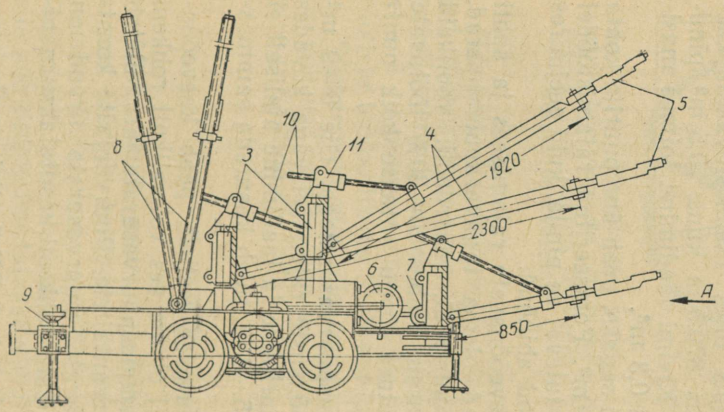
Et puurijad töötades üksteist ei segaks, peab ühe puurija kohta tulev ee pind olema umbes 2—3 m^2. Forsseeritud rajamistöödel võib vähendada ühe puurija kohta tulevat ee pinda, kuid seejuures tuleb ette näha töö ohutust tagavad abinõud.

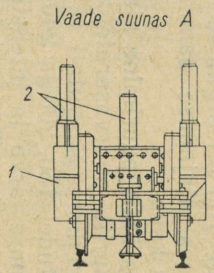
Horisontaalsete ning kallakkaeveõõnsuste rajamisees ja šahti rajamisees või ee lähedal peavad olema tagavarapuurvasarad, küllaldane tagavara puure või puuripäid, määrdeõli, voolikuid jms. Varuks peab olema puurvasaraid umbes 20—30% töötavate puurvasarate arvust. Pärast vahetuse lõppu antakse kõik puurvasarad kontrollimiseks töökotta.

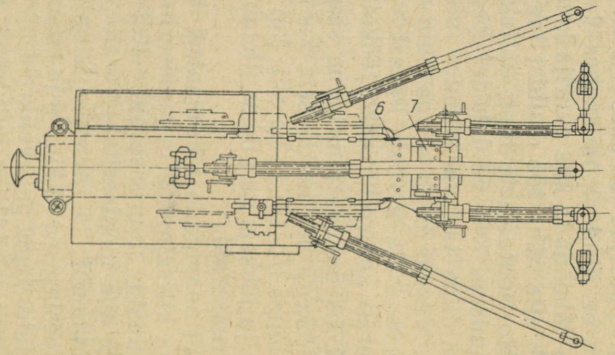
Lõhkeaukude puurimine sammaspuurvasaratega. Üle 8—9 m^2 ristlõikega horisontaalsete kaeveõõnsuste rajamisel väga kõvades kivimites ($f>12$) ja ka siis, kui puurimine ja laadimine ajaliselt ei ühti ja lõhkeaugu pikkus ületab 2,5—3 m, tuleb kasutada sammaspuurvasaraid.

Et saavutada minimaalset puurimise kestust, peab kaeveõõnsuste kiirrajamise organiseerimisel olema ees võimalikult rohkem töötavaid puurvasaraid. Kui sammaspuurvasarate arv ületab 2—3, siis monteeritakse nad puurvankritele. Puurvankrite konstruktsioonid ja nendele kinnitatavate puurvasarate arvud on mitmesugused (2 kuni 8 ja enam). Üsna rohkesti kasutatakse manipulaatoritega puurvankreid.

Joonisel 141 on kujutatud puurvanker БК-5 viiele puurvasarale. Puurvankri raamile *1* on kinnitatud viis massiivset telge *2*, millede külge on monteeritud manipulaatorite *4* silindrid *3*. Manipulaatorite otstes on šarniirsed pöördepead puurvasarate liugraamide kinnitamiseks. Puurvasarad ja automaatsed ettenihutajad







Joon. 141. Puurvanker БК-5.

on voolikutega ühendatud suruõhujaotajaga *6*. Suruõhujaotaja torustutside küljes on määrdetoosid automaatseks õlitamiseks. Läbides automaatse määrdekarbi haarab suruõhk kaasa väiksed õlipiisad ja kannab need puurvasarasse ja ettenihutajasse. Nii toimub puurvasara automaatne määrimine töö ajal. Puurvankril asub ka veejaotaja (veepaak *7*), mille külge on ühendatud lõhkeaukude uhtumiseks puurvasaratesse juhitava vee voolikud.

Puurvanker kinnitatakse ees kaeveõõnsuse lae ja põhja vahele sammaste *8* ja tungraudade *9* abil. Manipulaatorid koos puurvasaratega tõstetakse tiguseadme *10* ja mutri *11* abil üles ja seatakse ülemiste lõhkeaukude puurimiseks tööasendisse. Pärast ülemiste aukude puurimist lastakse manipulaatorid madalamale allpool paiknevate lõhkeaukude puurimiseks jne. Puurvankrit teenindavad *2* puurijat koos kahe abiga.

Puurvankrite tehnilised andmed on toodud tabelis 25.

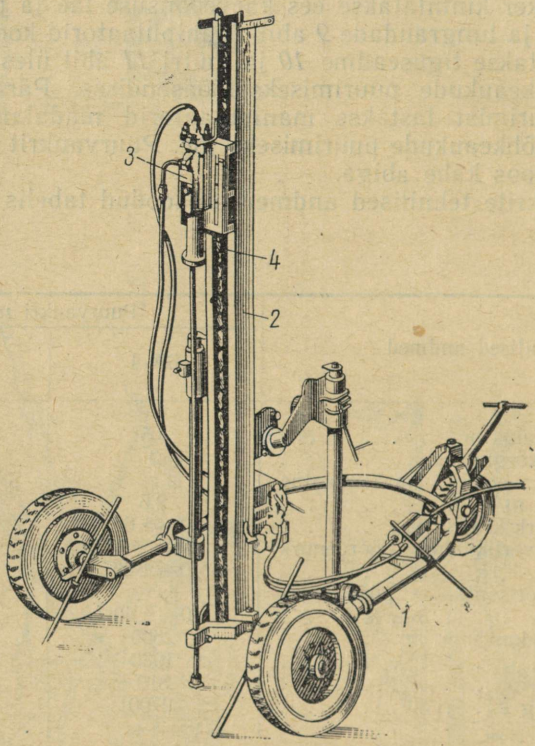
Tabel 25

Tehnilised andmed	Puurvankri mark	
	БК-4	БК-5
Puuritava ee laius m	5,5	4,5
Puuritava ee kõrgus m	3	3,6
Manipulaatori poomi maksimaalne tõstekõrgus m	2,5	2,7
Poomi tõstenurk kraadides	0—±60	0—±60
Puurvasara vertikaalne pöördenurk kraadides	0—±60	0—±60
Puurvasara horisontaalne pöördenurk kraadides	0—±40	0—±60
Puurvankri pikkus mm	2600	3400
Laius mm	1930	1010
Kõrgus mm	810	984
Vankri kaal kg	2700	1500

Sammaspuurvasaratega puurimisel sambailt kulutatakse ettevalmistus-lõpetusoperatsioonidele (puurvasara ja samba paigaldamine ja mahavõtmine) ja samba ning puurvasara teisaldamiseks kuni 20—25% tööajast. Puurvankritelt puurimisel kulutatakse ettevalmistus-lõpetusoperatsioonidele ja puurvasarate ümberpaigutamisele 8—12% koguajast, s. o. kaks korda vähem. Näiteks kulutati Taštagoli maagikaevanduses sambailt puurimisel ettevalmistus-lõpetusoperatsioonidele kuni 100 minutit vahetuses, puurvankreilt puurimisel aga umbes 37 minutit.

Hästi organiseeritud töö puhul kulub neil põhitööks (lõhkeaukude puurimine) vähemalt 60—70% vahetuse kestusest või puurimise koguajast.

Tuleb nentida, et meil olemasolevad puurvankrite tüübid on rasked ja nõuavad manipulaatorite ja puurvasarate ümberpaigutuseks üsna suurt füüsilist jõudu. Vaja on hüdraulilise või pneumaatilise manipulaatorite liigutamisega puurvankreid, et üks puurija suudaks juhtida kahte-kolme või enam puurvasarat ja neid kiirelt ümber paigutada.



Joon. 142. Puurvanker karjääridele:
1 — käiguosa; *2* — juhtlatid *3* — puurvasar; *4* — mehaaniline kett-ettenihutaja.

Sammaspuurvasaratega puuraukude puurimisel lahtistel töödel asetatakse puurvasarad kolmjalgadele, horisontaalseile sammastele või kolmerattalistele puurvankritele.

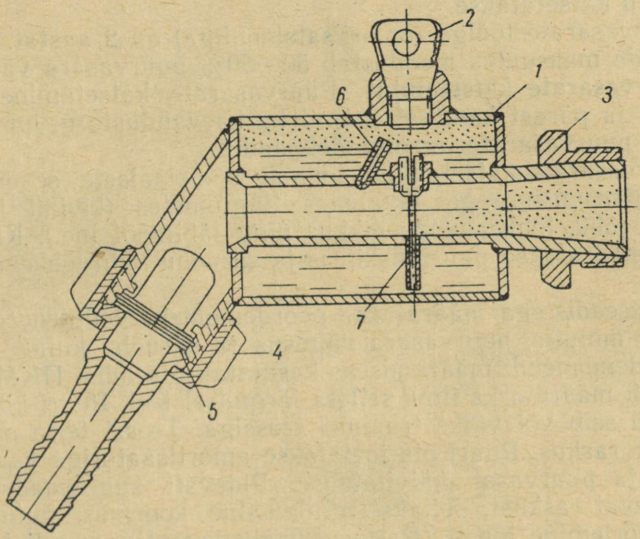
Raskete sammaspuurvasaratega kolmerattalisi puurvankreid kummiratastel kasutatakse vertikaalsete, horisontaalsete ja kallakute puuraukude puurimiseks. Puurvankril on mast ja automaatne kett-ettenihutaja (joon. 142).

Puurvasarate hooldamine. Kõik puurvasara liikuvad osad peavad töö ajal olema hästi õlitatud. Määrimiseks kasutatakse

industriaalõli 12, 20, 30 ja 45 (endise nimetusega värtnaõli 2 ja 3, masinaõli «Л» ja «С»).

Puurvasarate määrimine toimub kahel viisil.

Õli valatakse sellekohase ava kaudu puurvasara silindri määrdetoosi ja see suletakse korgiga (joon. 128). Puurvasara töötamisel haarab suruõhk määrdetoosist õli kaasa ja õlitab kõiki liikuvaid osi (klapp, kolb, pöördepuks). Vahetuse jooksul täidetakse määrdetoosi 2—3 korda.



Joon. 143. Automaatne määrdetoos ФАМ:
1 — kere; *2* — kork; *3* — mutter; *4* — kaelusmutter; *5* — õhufiltri võrk; *6* — õhukanal (0,5 mm); *7* — õliklapp.

Puurvasarat võib õlitada ka automaatse määrdetoosi abil, mis ühendatakse 2—3 m kaugusel puurvasarast suruõhuvooliku külge või vahetult puurvasara külge. Automaatse määrdekarbi maht tagab õlitamise kogu vahetuse kestel. Läbides automaatse määrdetoosi tsentraaltoru (joon. 143), tungib suruõhk läbi kanali *6* õlireservuaari ja tekitab seal rõhu, mis surub õli läbi õliklapi *7* tsentraaltorusse. Läbi toru voolav õhk haarab õli emulsioonina kaasa ja kannab selle puurvasara õhujaotusmehhanismi ning silindrisse. Nii tagatakse puurvasara automaatne määrimine kogu vahetuse kestel. Õli kulub vahetuses 210—270 g ja puhastusnarmaid 120—150 g.

Iga puurvasar kinnistatakse kas puurijale või brigadirile. Pärast tööd annab puurija puurvasara töökotta, kus seda pestakse petrooleumiga, puhutakse läbi ja õlitatakse. Üks kord nädalas tuleb puurvasar järelevaatuseks ja kulunud osade vahe-

tamiseks lahti võtta. Töökojas peetakse kõigi puurvasarate kohta arvestuskaarte, kuhu kantakse puurvasara tüüp, mark, tehasening inventarinumbrid, ekspluatatsiooni andmise kuupäev, remontide kuupäev ja iseloom. Remontida tuleb kaevanduse peamehaaniku poolt kinnitatud graafiku järgi.

Jooksvat remonti tehakse puurvasaratele iga 1,5—2 kuu tagant, kapitaalremonti — 3—6 kuu tagant.

Remondi kvaliteedi ja puurvasarate korrasoleku kontrollimiseks neid katsetatakse.

Puurvasarate tööiga (amortisatsiooniiga) on 2 aastat. Aastane remontide maksumus moodustab 50—60% puurvasara väärtusest.

Puurvasarate katsetamine. Puurvasarate katsetamine toimub tehastes ja pärast kapitaalremonti ka kaevanduste gruppi teenindavates puurvasarate remonditöökodades.

Puurvasarate katsetamine toimub spetsiaalsete seadiste abil ning katsepuurimisega tavalistes tingimustes (kivimi kõvadus, suruõhu rõhk, lõhkeaukude pikkus ning läbimõõt jne.). Katsepuurimisel määratakse puurimiskiirus ja suruõhu kulu lõhkeaugu 1 m kohta.

Katseseadistega määratakse pöördemoment, löögienergia, löökide arv minutis, puurvasara võimsus ja suruõhu kulu.

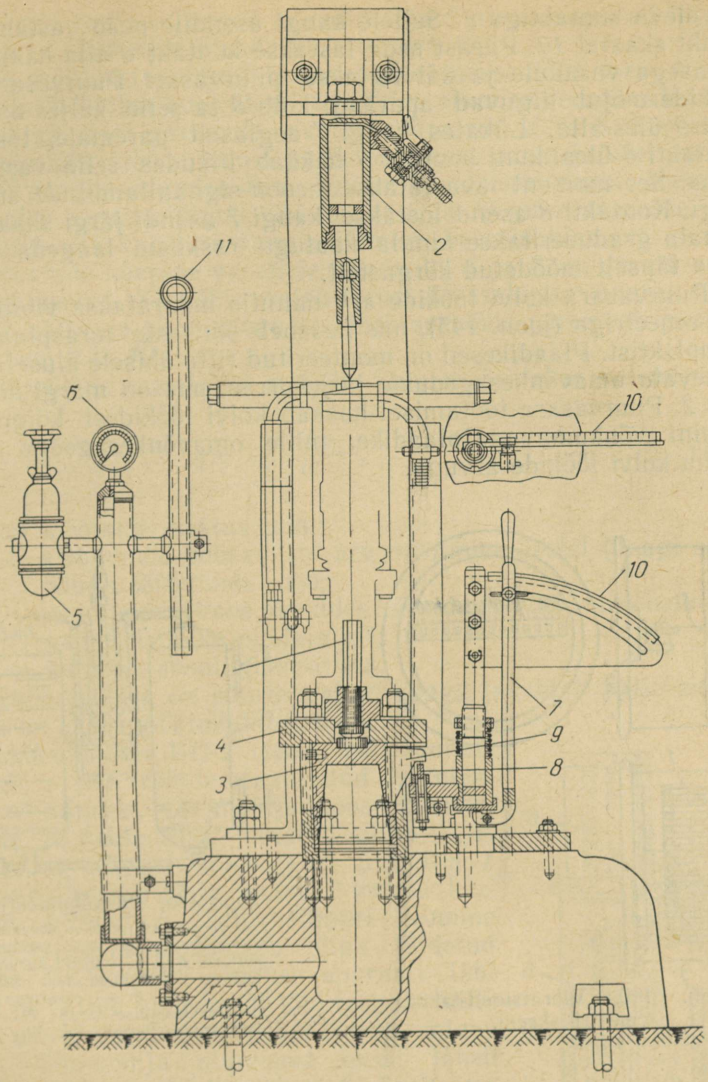
Pöördemomendi määramiseks kasutatakse seadist ПКМ-5, kuid seda võib määrata ka ilma selleta järgmisel teel. Puuri külge kinnitatakse seib või väike trummel trossiga. Trossi teise otsa kinnitatakse raskus. Puuri ots toetatakse amortisaatoriga varustatud pesasse ja puurvasar käivitatakse. Pidevalt suurendades trossi otsas olevat raskust, leitakse minimaalne koormus, mille juures puuri pöörlemine lõpeb. Raskuse kaalu korrutis trumli läbimõõduga annab pöördemomendi maksimaalse väärtuse.

Löögi töö määratakse puhver-, deformatsioon- või pidurapparaadiga. Puhveraparaadi töö põhimõte seisab kolvilöögi edasiandmises kalibreeritud vedrule, mille kokkusurumise järgi määratakse löögi töö.

Deformatsiooniaparaatide töö põhineb kas silindrilise proovikeha kokkusurumisel puurvasara kolvilöökide mõjul või ümmarguse teraskuuli surumisel pehmest terasest plaati. Löögijõud (õigemini ühe löögi töö) määratakse proovikeha lühenemise või plaadile jääva teraskuuli jälje suuruse järgi. Mõlemal juhul võrreldakse kindla kaaluga raskuse poolt kindlalt kõrguselt kukkumisel tekitatud deformatsiooniga katsestendil.

Puur- ja piikvasarate löögi töö mõõtmiseks kasutatakse joon. 144 kujutatud töömõõtjat ЭРД-3. Puurvasar paigutatakse löökraua *1* sabale ja kinnitatakse töömõõtja samba külge suruõhutungrauaga *2*. Puurvasara töötamisel antakse selle kolvi löögid löökraua *1* kaudu edasi kolvile *3*, mis hoitakse töömõõtja silindris kaane *4* abil.

Töömõõtja silindris kolvi *3* all on suruõhk. Suruõhu surve



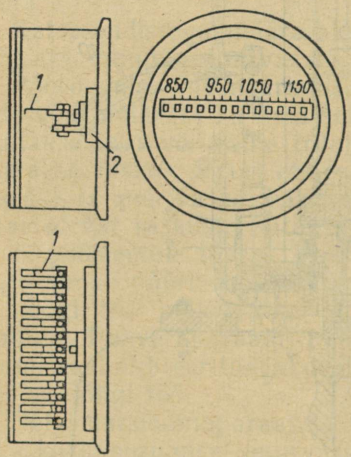
Joon. 144. Töömõõtja ЭДР-3.

hoitakse reduktsioonklapi *5* abil konstantne ja kontrollitakse manomeetriga *6*. Puurvasara kolvi löögi mõjul laskub seadme kolb suruõhu takistust ületades alla.

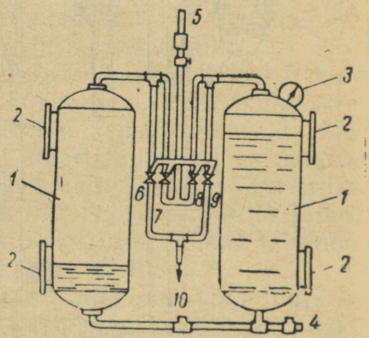
Kui kolb on ülemises asendis ja toetub vastu kaant *4*, pööratakse kang *7* paremale ja ühendatakse seega kontakt *8* kolvi kül-

jes oleva kontaktiga *9*. Sellele kangi asendile peab vastama nullpunkt skaalal *10*. Pärast seda lastakse kontakt *8* alla kangi liigutamisega vasakule ja käivitatakse puurvasar. Puurvasara kolvi löökide mõjul liiguvad aparaadi kolb *3* ja selle küljes olev kontakt *9* üles-alla. Lükates kangi *7* aeglaselt paremale, tõstetakse kontakti *8* üles, kuni kontakt *9* hakkab liikudes selle vastu puutuma. See moment avastatakse neoon-signaallambi *11* süttimise järgi. Kontakti *8* asend loetakse kangi *7* asendi järgi skaalalt *10*. Skaala gradueeritakse kindla kaaluga raskuste langeda laskmisega täpselt mõõdetud kõrgustelt.

Puurvasara kolvi löökide arv minutis määratakse vibratsioontahhomeetriga (joon. 145), mis koosneb õhukeste terasplaadikeste komplektist. Plaadikesed on monteeritud ritta ühisele alusele nende erinevate omavõnkesageduste järjekorras, mis on märgitud skaalale *2*. Puurvasara töötamisel hakkab kolvi löökidest kõige tugevamini võnkuma see plaadike, mille omavõnkesagedus langeb kokku kolvi löökide arvuga.



Joon. 145. Vibratsioon-tahhomeetri skeem.



Joon 146. Paakõhumõõtja:

1 — reservuaarid; *2* — veeseisuklaas; *3* — manomeeter; *4* — veetoru; *5* — õhutoru; *6* ja *9* — torud suruõhu juhtimiseks reservuaaridest puurvasarasse; *7* ja *8* — reservuaaridesse suruõhu laskmise torud; *10* — puurvasarasse mineva suruõhu toru.

Puurvasara poolt kulutatav suruõhu hulk määratakse mitut tüüpi õhumõõtjatega. Kasutusel on paak- ja ujukõhumõõtjad.

Paakõhumõõtja (joon. 146) koosneb kahest reservuaarist, mis on omavahel ühendatud torude süsteemiga. Kumbki paak on varustatud manomeetriga *3* ja veeseisuklaasiga *2*. Kraanid *6*, *7*, *8* ja *9* on koondatud ühte sõlme ja neid keeratakse ühisest käepidemest. Kraanid on nii ühendatud, et käepideme pööramisel ühele poole kraanid *6* ja *8* avanevad ning *7* ja *9* sulguvad. Käepideme pööra-

misel teisele poole sulguvad kraanid *6* ja *8* ning avanevad *7* ja *9*. Puurvasara õhuvoolik ühendatakse toruga *10*.

Enne mõõtmiste algust lastakse paakidesse läbi toru *4* vett. Üks paak täidetakse kuni ülemise ja teine alumise veeseisuklaasini. Pöörates käepidet paremale, avatakse kraanid *6* ja *8*. Seejuures voolab suruõhk mööda toru *5* parempoolsesse paaki ja vesi parempoolsest paagist alumise toru kaudu vasakusse paaki. Vasakus paagis olev suruõhk liigub läbi torude *6* ja *10* puurvasarasse. Kui vesi tõuseb vasakpoolses paagis ülemise veeseisuklaasini, pööratakse kraanide käepide vasakule. Kraanid *6* ja *8* sulguvad ning *7* ja *9* avanevad. Suruõhk voolab torust *5* vasakusse paaki, surudes vett välja, ja puurvasarasse läheb suruõhk paremast paagist läbi torude *9* ja *10*.

1 ata rõhule taandatud suruõhu kulu määratakse valemiga

$$q = \frac{nhFp}{t}, \qquad (131)$$

kus t on mõõtmise kestus min.;

n — käepideme pööramiste arv mõõtmise kestel (paagi suruõhuga täitumiste arv);

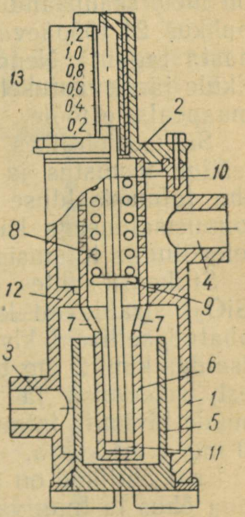
h — vee nivoode vahe paakides käepideme pööramise hetkel m;

F — paagi ristlõike pindala m^2;

p — suruõhu absoluutsurve ata.

Paakõhumõõtja on suurte gabariitidega ja võtab palju ruumi, kuid ta on suure mõõtmistäpsusega.

Ujukõhumõõtja ВП-2 (joon. 147) annab vahetult 1 ata rõhule taandatud suruõhu kulu m^3 minutis. Õhumõõtja koosneb vaheseinaga *12* kahte ossa jaotatud silindrist *1*. Silinder on suletud kaanega *2*. Silindris *1* asetseb vaheseina *12* ja kaane *2* vahele kinnitatud silinder *6*. Selle silindri alumine osa on peenem ja asetseb õliga täidetud anumas *5*. Suruõhk antakse aparaati läbi toru *3* ja väljub aparaadist läbi toru *4*, mille külge on kinnitatud puurvasarasse minev voolik. Õhumõõtja alumisest osast läheb suruõhk läbi ava *7* silindrisse *6*. Seejuures rõhub õhk varda *10* külge kinnitatud kolvi *9* alumisele pinnale ja sunnib kolbi kerkima üles. Samal ajal rõhub suruõhk anumas *5* oleva õli pinnale, mille tagajärjel õli tungib läbi põhjas oleva ava silindrisse *6* ja rõhub varda *10* külge kinnitatud kolvile *11* ning tõstab seda ülespoole (koos sellega summutab silindrisse *6* voolanud õli kolvi *10*



Joon. 147. Ujuk-õhumõõtja ВП-2.

võnkeid). Tõustes koos vardaga *10*, avab kolb *9* avaused *8* ja laseb suruõhu silindrist *6* silindrisse *1* ja sealt torusse *4*. Suruõhu kulu on võrdeline kolvi tõusu kõrgusega ning seda loetakse skaalalt *13* kolvi küljes oleva varda *10* otsa kohalt.

Õhumõõtja skaalalt loetakse 1 ata rõhule taandatud suruõhu kulu m^3/min teatud kindla suruõhu surve juures. Kui suruõhu surve erineb aparaadile märgitust, siis tuleb kasutada paranduskoefitsiente. Mõõtmise täpsus on $\pm 0{,}05$ m^3/min.

Ujukõhumõõtjaid valmistatakse kahes gabariidis. Väikesed, õhu kulu mõõtmiseks 0,3 kuni 3 m^3/min, ja suured 1,5 kuni 10 m^3/min.

§ 51. Võitlus tolmuga puurimis- ja lõhketöödel

Puurimine, lõhkamine, laadimine ja mõned teised tööd kaevandustes tekitavad palju tolmu. Tolmune õhk põhjustab tööliste kopsude haigestumist pneumokonioosi, mis on kutsehaigus. Olenevalt tolmu koostisest, on sel haigusel mitmesugused nimetused. Nii näiteks nimetatakse söetolmust põhjustatud haigestumisi antrakoosiks, räni (SiO_2) sisaldava maagi tolmust põhjustatud haigust silikoosiks. Silikoosi vastu peetakse võitlust haigestumise võimalusi vältivate, profülaktiliste abinõudega. Silikoosi haigestumisele mõjuvad õhu tolmusisaldus, tolmuosakeste suurus ja tolmuses atmosfääris viibimise aeg. Ohutu tolmuses keskkonnas viibimise aeg oleneb organismi kaitsevõimest.

Eriti silikoosiohtlikes kaevandustes ja etes töötavaile töölistele on meie seadusandlusega ette nähtud 6-tunniline tööpäev ja lisapuhkus 24 tööpäeva ulatuses, mis antakse kahes osas (iga poole aasta tagant). Nende ettevõtete töölised alluvad igakuisele arstlikule järelevaatusele ja kui avastatakse haigestumine, viiakse üle maapealsele tööle.

Silikoosiohtlikes kaevandustes peavad olema tolmuvastase režiimi teenistus ja tolmulaboratooriumid. Nende ülesandeks on õhu tolmusisalduse kontroll tehnilise järelevalve korras, kõrge tolmusisaldusega kaeveõõnsuste avastamine ja abinõude kasutuselevõtmine tolmusisalduse vähendamiseks.

Silikoosi suhtes eriti ohtlikud on üle 10% vaba ränihapendit (SiO_2) sisaldavad kivimid. Ohutustehnika eeskirjade nõudeil on lubatud selliseid kivimeid kaevandavate kaevanduste õhu tolmusisaldus kuni 2 mg tolmu 1 m^3 õhus. Olenevalt tolmu hügieenilisest iseloomust ja tehnoloogiliste protsesside iseärasusest, on muude kivimite tolmu lubatud sisaldus kaevanduse õhus 2 kuni 10 mg 1 m^3 kohta.

Eriti ohtlikud on alla 5 μ suurused tolmuosakesed, mis püsivad kaua õhus ja tungivad kergesti kopsudesse.

Tolmu vastu võitlemise abinõudeks on kaevanduse hea tuulutus küllaldase õhujoa kiirusega (mitte alla 0,5 m/sek tolmutekke

kohtades), et kõrvaldada väikesi tolmuosakesi kaevandusest, tolmu setitamine selle niisutamisega tekkekohtades või tolmu kõrvaldamine tolmuimemisseadmetega.

Võitlus tolmu vastu puurimisel. Mida kõvem on puuritav kivim, seda rohkem tekib puurimisel tolmu. Puurija töökohal on õhu 1 cm^3-s leiduvate alla 1 μ tolmuosakeste arv kõvade kivimite puurimisel kuni 50 000, keskmise kõvadusega kivimite puurimisel 10 000—15 000 ja pehmete kivimite puurimisel 1000—2000.

Vett sisaldavate kivimite puurimisel tekib tolmu tunduvalt vähem (5—20 korda). Tolmu tekkele mõjub ka suruõhu surve puurvasaras. Nii näiteks on suruõhu 6,5 atü rõhu puhul tolmuosakeste arv ligikaudu kaks korda väiksem kui 4,5 atü rõhul. Elektrikeerdpuurmasinatega puurimisel tekib tolmu tunduvalt vähem.

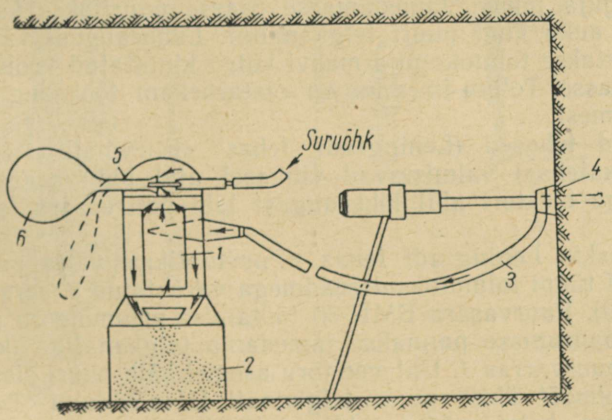
Silikoosiohtliku tolmuga etes peavad puurijad kasutama individuaalseid tolmukaitsevahendeid, tolmutorbikuid (laialt on levinud filtreerivad tolmutorbikud PH-16 ja PH-21). Koos sellega tuleb kasutada tehnilisi tolmutõrje-abinõusid ning kuiva tolmu kõrvaldamist ja märgpuurimist.

Kuiv tolmukõrvaldamine on vähe efektiivne ja seda võib kasutada ainult etes, kus mingisugustel põhjustel ei saa kasutada märgpuurimist.

Tolmu kõrvaldamine võib olla individuaalne ja tsentraliseeritud.

Individuaalset tüüpi tolmupüüdja koosneb tavaliselt tolmukogujast, mis võtab vastu lõhkeaugust puurimisel väljuva tolmu, tolmukogujat tolmueraldajaga ühendavast imivoolikust, filtreerivast tolmueraldusseadmest, tolmupunkrist ja tõmmet tekitavast ejektorist.

Joonisel 148 on kujutatud tolmupüüdja СПН-5, mis koosneb tsüklontüüpi tolmueraldajast *1*, punkrist *2*, tolmukogujast *4*,



Joon. 148. Tolmupüüdja СПН-5

ühendavast voolikust *3*, tsüklonis tõmmet tekitavast ejektorist *5* ja kahekordsest riidest kotitaolisest filtrist *6*.

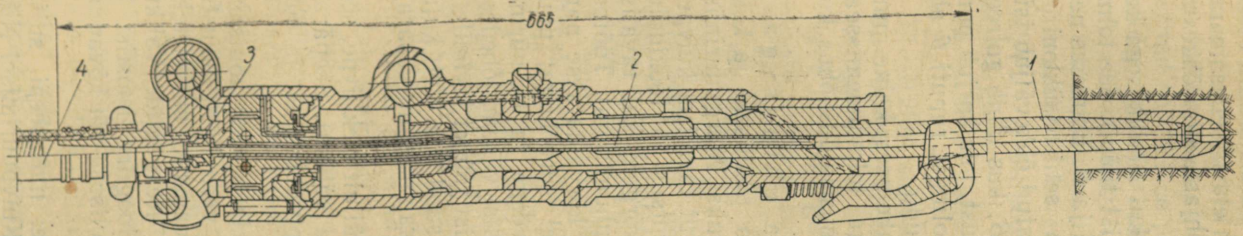
Õhujoa kiirus tolmukogujas ja voolikus peab vastama lõhkeaugust väljuvale ja ebatiheduste tõttu väljast sisseimetava õhu hulgale. Õhujoa kiirus voolikus võetakse vähemalt 15 m/sek. Tolmu põhimass filtreerub tsüklonis ja setib punkrisse. Kõige peenemad tolmu fraktsioonid püütakse kinni riidest filtris *6*. On olemas tolmukõrvaldajate tüüpe, kus peale riidest filtrite kasutatakse veel kombineeritud filtreid riide ja veega (tolmupüüdja НИГРИ). Peale СПН-5 tüüpi tolmupüüdja kasutatakse veel lihtsustatut kuiva tolmupüüdjat УСПН-5. See koosneb tolmukogujast, tolmu äravoolu voolikust, ejektori torust ja riidest filtrist. Tolmukogujast tuleva toru külge ühendatakse voolik, mille teine ots ühendatakse ejektori toruga. Ejektori toru teises otsas (surveots) on riidest filter, mis kujutab endast kahe- või kolmekordset velvetonist nr. 472 või puuvillasest samšist nr. 468 õmmeldud kotti. Riide karvane pool on õmmeldud sissepoole. Ejektor kujutab endast 0,5 m pikkust ja 45 mm jämedust toru, mille sees on düüs. Düüsi ots on suunatud toru surveotsa poole. Düüsi väljalaske ava on 2—2,5 mm. Ejektor tekitab õhuhõrenduse 200—220 mm vs. ja kulutab suruõhku 0,4 m^3/min.

Tavalistes kasutamistingimustes ei ole lõhkeaugu suudmelt tolmu imevate tolmupüüdjatega saavutatud suuremat efekti kui märgpuurimisel märgavate reagentidega.

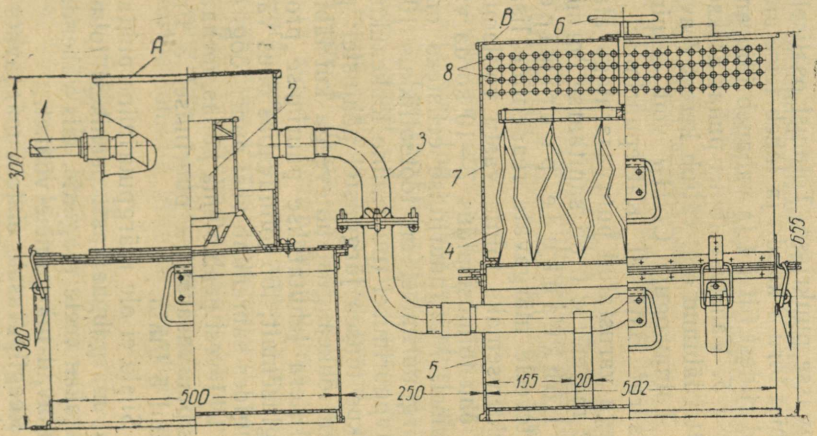
On olemas veel teine kuiv tolmukõrvaldamise viis, kus tolmu ei imeta mitte lõhkeaugu suudmelt, vaid läbi puuri telgkanali lõhkeaugu põhjast. Puuri telgkanal peab olema sel juhul 9—13 mm läbimõõduga. Tolm imetakse välja kas külgmuhvi või puurvasara tsentraalse toru kaudu. Esimesel juhul töödeldakse puuri saba ja kaeluse vahele suurema läbimõõduga osa, mille peale pannakse tolmukoguja muhv. Jämedamasse osasse puuritakse külje pealt 1 või 2 auku kuni puuri telgkanalini. Lõhkeaugust väljaimetud tolm juhitakse tolmukoguja muhvi külge kinnitatud voolikuga tolmupüüdjasse. Tolmu imemine on otstarbekam lõhkeaugu põhjast kui suudmest.

Mõned tehased (Leningradi tehas «Pnevmatika», Kõštõmi mehaanikatehas) valmistavad viimasel ajal puurvasaraid tolmu imemisega ejektori abil lõhkeaugust läbi puurvasara tsentraalse toru.

Nii laskis Leningradi tehas «Pnevmatika» välja puurvasara ОМ-506Л tüüpi tolmuimemisseadmega varustatud vasara БМП-30 (joon. 149). Puurvasara БМП-30 töötamise põhimõte on järgmine. Vasara padrunisse pannakse jämedama telgkanaliga (kuni 12—13 mm) puurvarras *1*. Uhtevee toru asemel käib puuri sisse toru *2*, mille läbimõõt ühtib puuri telgkanali läbimõõduga. Toru läbib kolvi varre, kolvi, pöördepoldi ja lõpeb puurvasara tagumisse kaande monteeritud ejektoris *3*. Tagumises kaanes oleva toru külge



Joon. 149. Puurvasar БМП-30 (puurvasar ОМ-506 ejektorseadmega tolmu äraimemiseks).



Joon. 150. Tolmukoguja СПН-7.

kinnitatakse voolik *4* tolmu kõrvaldamiseks. Suruõhu kulu ejektoris on 0,7 m³/min, hõrendus 220 kuni 625 mm elavhõbedasammast.

Kuna tolm imetakse välja lõhkeaugu põhjast, siis lõhkeaugu suudmest tolmu ei välju.

Tolmune õhk läheb ejektorist mööda voolikut *1* (pikkusega kuni 100 m) tolmupüüdjasse СПН-7 (või mõnd teist tüüpi). See tolmupüüdja (joon. 150) koosneb kahest anumast *A* ja *B*. Esimeses neist asub tsüklon *2*. Tsüklonis eraldatav tolm setib tsükloni all olevasse punkrisse. Tolmust osaliselt puhastatud õhk väljub tsüklonist toru *3* kaudu ja läheb teise anumasse *B*, kus läbib gofreeritud riidest filtri *4* ja vabaneb ülipeenest tolmust, mis korjub punkrisse *5*. Vahetuse lõpus puhastatakse filter tolmust raputi *6* abil. Filtri läbinud õhk väljub kerest *7* avade *8* kaudu.

Tolmukoguja СПН-7 võib teenindada vahetuses kahte puurvasarat БМП-30. Katsepuurimisel ejektoriga tolmuimemisseadmega varustatud puurvasaratega alanes tolmusisaldus õhus kuni 2,2 mg/m³, s. t. oli sanitaarse normi lähedal.

Lõhkeaukude puurimine veega uhtmisega ja uhteveele märgavate reagentide lisamine on põhiliseks ja kõige efektiivsemaks tolmu vastu võitlemise abinõuks. Märgpuurimisel on õhu tolmusisaldus 7—10 korda väiksem kui tavalisel kuivpuurimisel. Märgpuurimise eelisteks on veel lihtsus ja töökindlus. Märgpuurimisel on töötootlikkus 10—30% kõrgem kui tavalisel kuivpuurimisel (puurimine lõhkeaukude läbipuhumisega). Töötootlikkus tõuseb järgmistel põhjustel: puurjahu kõrvaldatakse paremini lõhkeaugust uhteveega kui läbipuhumisel suruõhuga; puuri lõiketera jahutatakse puurimise protsessis veega ja ta nürineb aeglasemalt; töö tolmuvabas õhus väsitab töölist vähem, lõhedesse tungides suurendab vesi puuri löögi mehaanilist toimet kivimile.

Uhtevesi peab olema puhas, mehaaniliste lisanditeta. Vett kulub käsipuurvasaratega puurimisel 3 l/min. ja sammaspuurvasarate puhul 5 l/min.

Siiski ei ole märgpuurimine puhta veega küllalt efektiivne, sest vesi märgab halvasti peenikest tolmu (2 μ ja vähem). Seepärast lisatakse veele reagente, mis vähendavad ta pindpinevust ja suurendavad märgamise võimet.

Reeglipäraselt ei tohi märgavate reagentide lahuste kontsentratsioon ületada 0,1—0,5%. Tuleb kasutada vees hästi lahustuvaid, inimorganismile kahjutuid ja odavaid reagente, mis ei tekitaks torude ning puurseadmete korrosiooni. Reagentide valikul tuleb arvestada ka kivimite keemilis-mineraloogilist koostist ja uhtevee sooladesisaldust. Uhtevee suure happelisuse või kõvaduse puhul tuleb vesi neutraliseerida.

Tolmu märgavate lisanditena kasutatakse: naftaseepi, sulfanooli, Petrovi kontakti, ОП-7, ОП-10, ДБ jt. Kuivpuurimisel Nikitovka elavhõbedamaagi kaevandustes 90% ränihapendit sisaldavatesse liivakividesse oli puurija läheduses 1 cm³ õhus 37 900

tolmuosakest. Märgpuurimisel tavalise veega märgus 65—70% (kaalu järgi) üle 2 μ jämedusest tolmust ja 1 cm^3 õhus oli kuni 6100 tolmuosakest. Uhtumisveele 0,1% naftaseebi ja 0,05% kaltsineeritud sooda (vee pehmendamiseks) lisamisel langes õhu tolmusisaldus kuni 400 osakeseni 1 cm^3 õhus, s. o. 15 korda. Mõningais Altai ja Krivoi-Rogi kaevandustes annab naftaseep väiksema efekti, õhu tolmusisaldus langeb ainult kaks-kolm korda. Arvatavasti mõjub seal vee karedus.

NSVL TA Silikoosi Vastu Võitlemise Komisjon soovitab järgmisi märgajaid:

0,1—0,25% naftaseepi ja 0,25% soodat, vee kareduse puhul alla 2°;

0,1—0,25% sulfanooli, kuni 4° karedusega veele;

0,1—0,25% ebaionogeenset märgajat ДБ, igasuguse kareduse astme juures.

Suur hulk märgamisreagente mitte üksnes ei alanda õhu tolmusisaldust, vaid koos sellega aitavad kaasa puurimiskiiruse tõusule. Seepärast nimetatakse niisuguseid reagente kivimite kõvaduse alandajateks.

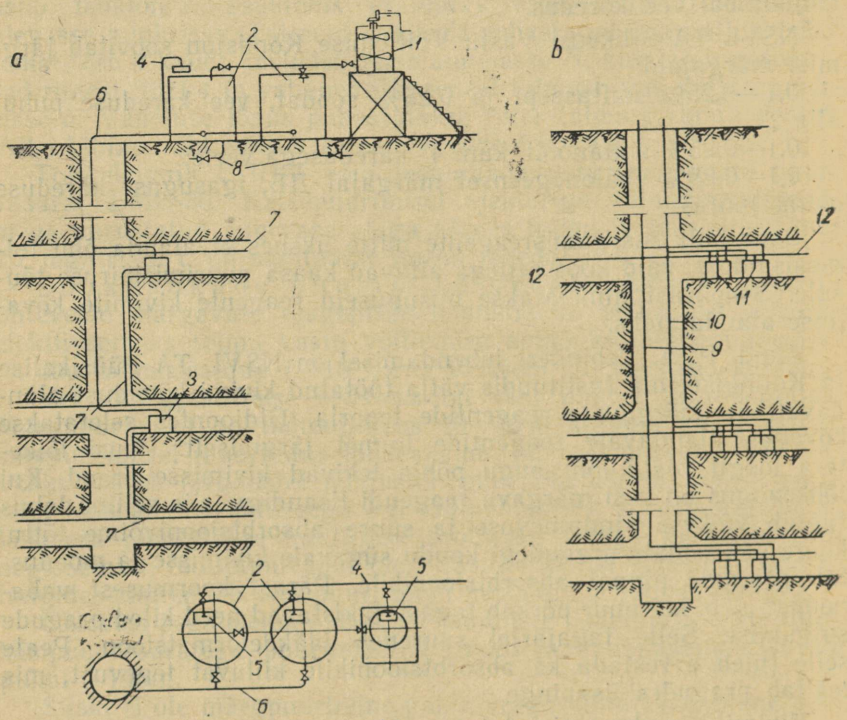
Akad. P. A. Rebinderi juhendamisel on NSVL TA Füüsikalise ja Kolloidkeemia Instituudis välja töötatud kivimi kõvadust alandavate ja märgavate reagentide teooria. Üldjoontes seletatakse kõvadust alandavate reagentide toimet järgmiselt. Puuri lõiketera löögil vastu lõhkeaugu põhja tekivad kivimisse praod. Kui lõhkeaugus on vesi märgava reagendi lisandiga, siis selline lahus tungib väikese pindpinevuse ja suure absorbtsioonivõime tõttu, kõige väiksemate pragudegi kaudu sügavale kivimisse ja moodustab pragude pinnal absorbtsioonikile. Pärast koormusest vabanemist, s. o. kui puur põrkab tagasi, takistavad need kiled pragude sulgumist. Selle tagajärjel suureneb jääkdeformatsioon. Peale selle tuleb arvestada ka absorbtsioonikile kiiluvat tegevust, mis tekitab pragudes lisapinge.

Kivimi kõvaduse alandajate mõju on eriti märgatav kõvade kivimite puurimisel. Nii näiteks on V. K. Butšnjovi andmeil puurimiskiirus veega uhtmisel 17% kõrgem kui kuivpuurimisel, naftaseebi ja sooda lisamisel uhteveele aga 55% kõrgem. Kivimi kõvadust alandavateks reagentideks on naatriumkloriid (NaCl), alumiiniumkloriid ($AlCl_3$), kaltsineeritud sooda (Na_2CO_3) ja orgaanilistest ainetest mitmesugused tehnilised seebid. Need on universaalsed ja kõige efektiivsemad kõvaduse alandajad, mis kõlbavad igasugustele kivimitele, nende mineraloogilisest koostisest olenemata. Nende kasutamisel lisatakse veele aluseid. Kloriidid on efektiivsed peamiselt purskekivimeis, aluselised elektrolüüdid aga karbonaatseis kivimeis.

Kivimi kõvadust alandavate reagentide lahused valmistatakse järgmiselt. Alguses valmistatakse reagendi kontsentreeritud

lahus ja seejärel lisatakse seda lahust optimaalse kontsentratsiooni saavutamiseks vajalikul hulgal uhtevee paakidesse.

Uhtevee või uhtelahuste toimetamine ette võib toimuda kahel viisil. Suure puurimistööde mahu juures, kui puuritakse mitmes ees ja üheaegselt töötab palju puurvasaraid, on otstarbekas vesi või lahus juhtida etesse torustikuga, nagu on näidatud joon. 151, a.



Joon. 151. Uhtelahusega tsentraalse varustamise skeem:

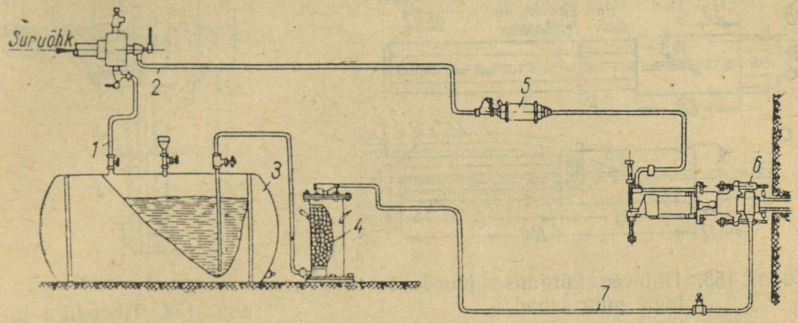
a — veevarustustorustikuga; *b* — suruõhu survega; *1* — lahuse segaja; *2* — reservuaarid; *3* — survepaagid; *4* — veetorustik reservuaaride toitmiseks; *5* — filtrid; *6* — survepaakidest tulev torustik; *7* — etesse suunduv veetorustik; *8* — veekraanid; *9* — lahuse torustik; *10* — suruõhutorustik; *11* — paagid; *12* — etesse suunduv lahuse torustik.

Kui ei ole võimalik paigutada survepaake vahehorisontidele, siis paigutatakse need töötavaile horisontidele ja surve tekitatakse neis suruõhuga, nagu näidatud joon. 151, b.

Kui ees töötavate puurvasarate vähese arvu tõttu torustiku kasutamine pole otstarbekas, siis toimetatakse vesi või uhtelahus eesse ratastel asuvate paakidega. Kui puurimine toimub üheaegselt kaevise laadimisega, siis raudtee vabastamiseks paigutatakse uhtevee paak kaeveõõnsuse seina äärde (joon. 152). Vastavalt ee

edasiliikumisele kantakse paaki aeg-ajalt edasi. Vesi tuuakse paaki aamide või vagonettidega.

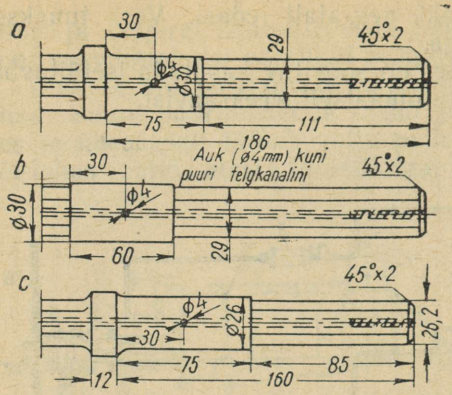
Suure vee juurdevooluga etes on soovitav kasutada isetäituvat paaki KPP3, mis täidetakse automaatselt veekraavist.



Joon. 152. Vee liikumise skeem liikuvast paagist uhtemuhviga puuri:
1 — 13 mm läbimõõduga õhuvoolik; *2* — 19 mm läbimõõduga õhuvoolik; *3* — veepaak; *4* — vee mehaanilistest lisanditest puhastamise filter; *5* — automaatne määrdekarp; *6* — puurvasar; *7* — veevoolik.

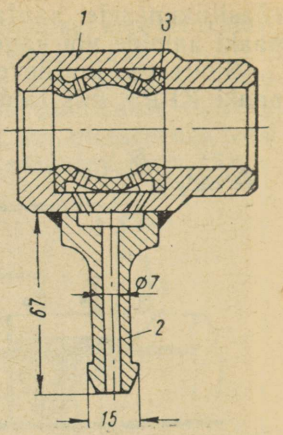
Vesi juhitakse lõhkeauku kas läbi puurvasara või puurile pandava muhvi abil. Esimesel juhul juhitakse vesi kummivoolikuga puurvasara tagumise kaane avasse, kust ta läbi uhtetoru voolab puuri kanalisse. 3—5 l/min vee läbilaskmiseks peab uhtetoru väljavooluava läbimõõt kõige peenemas kohas olema üle 3—4 mm. Et vältida uhtevee sissetungimist puurisabast puurvasarasse, peab uhtetoru ulatuma puuri kanalisse vähemalt 25 mm sügavusele. Vee surve puurvasaras peab olema 1—2 atü madalam suruõhurõhust, vastasel juhul tungib vesi puurvasara silindrisse. Veekraan keeratakse lahti 0,5—1 sekundit enne õhukraani avamist. Sogase vee kasutamisel võivad puurvasara tsentraaltoru ja kaanes olevad kanalid ummistuda ja loputusvee pealevool katkeda. Sügavate lõhkeaukude puurimisel ei voola vesi lõhkeauku, vaid tungib puurvasarasse, mis häiriks puurvasara tööd. Peale selle satub sel viisil uhtumisel lõhkeauku suruõhku. See põhjustab uhtevee aeratsiooni, mis halvendab vee märgavaid omadusi.

Teise viisi kasutamisel juhitakse vesi vahetult puuri. Selle viisi juures kasutatakse veejuhtimise muhvidega puure. Loputusvee külgmise juurdevoolu puhul tehakse puuri saba 60—75 mm võrra harilikust pikem. Kaeluse juurest sepistatakse puurisaba jämedamaks (joon. 153) ning töödeldakse hoolikalt treipingil. Puuri kanali ava sabas needitakse kinni ja jämedamasse ossa puuritakse küljelt augud kuni puuri tsentraalkanalini. Jämedama osa peale pannakse kummitihendiga uhtemuhv (joon. 154). Vesi voolab muhvi külge ühendatud voolikust läbi tihendis olevate avade ja puuri-



Joon. 153. Uhtevee külgmise juurdevooluga puurisabad:

a — puurvasarale OM-506; *b* — teleskoopilisele puurvasarale; *c* — puurvasaratele PП-17A ja PПM-17A.



Joon. 154. Tihendiga uhtemuhv:

1 — muhvi kere; *2* — toru stüts; *3* — tihend.

saba külgedes olevate aukude puuri telgkanalisse ja sealt lõhkeauku. Puurvasara puuri hoideklambrit pikendatakse nii, et see haaraks puuri kaeluse.

Uhtevee juhtimisel otse puuri (puurvasarast mööda) on võrreldes juhtimisega läbi puurvasara omad eelised ja puudused. Eelised seisavad järgmises:

on võimalik uhtuda igasuguse pikkusega lõhkeauke, kusjuures tolmu märgamine muutub paremaks ja õhu tolmusisaldus langeb;

ei ole vaja reguleerida vee ja suruõhu survet; suruõhku ei satu lõhkeauku ega vett puurvasarasse.

Puuduseks on:

lisaseadmete vajadus;

keerukam puurisabade valmistamise protsess;

suurem ajakulu puuride vahetamiseks puurimisel.

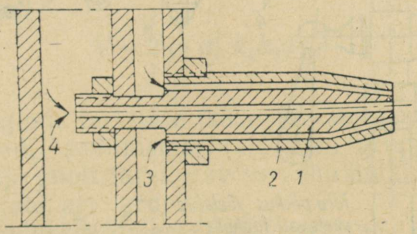
Siiski on sellel viisil eeliseid rohkem kui puudusi ja ta levib üha rohkem nii välismaal kui ka NSV Liidus.

Võitlus tolmuga lõhketöödel. Tolmu vastu võitlemise vahenditena lõhketöödel kasutatakse piserdamist, vesitõkkeid ja udustamist.

Vee piserdamist teostatakse mitmesuguse konstruktsiooniga mehaaniliste ja suruõhk-piserdajatega. Joon. 155 on toodud suruõhk-piserdaja, milles vesi pihustatakse suruõhuga. Suruõhu rõhk peab olema piserdajasse juhtimisel vähemalt 4 atü.

Piserdajad lülitatakse töösse 5—10 minutit enne ja nad töötavad 10—20 minutit pärast lõhkamist. Peale tolmu märgamise vähendab veega piserdamine mürgiste plahvatusgaaside hulka

(lämmastikhapendid ühinevad veega, moodustades lämmastik- ja lämmastikushappe, ning sadenevad õhust välja). Mida suurem on veepiiskade kiirus ja mida pehmem vesi, seda paremini setivad tolmuosakesed. Veepiiskade liikumisel tolmupilvele vastu setib kuni 50% tolmust. Tolmu ja veepiiskade ühesuunalisel liikumisel setib kuni 25% tolmust. Tolmu ja veepiiskade kohtumisel täisnurga all setib kuni 44% tolmust.



Joon. 155. Suruõhk-veepiserdaja skeem:
1 — sisemine toru; *2* — välimine toru; *3* — suruõhu sisseandmine; *4* — vee sisseandmine.

Ohutustehnika eeskirjad nõuavad söetolmuohtlike kaeveõõnsuste piserdamist enne lõhkamist veega, millele on lisatud märgavat reagenti ДБ. Piserdatakse esi ja kaeveõõnsust 20 m ulatuses eest.

Mitmejoalisi piserdajaid, mis võivad anda kuni 14 m² ristlõikega vesitõkke, kasutatakse lõhketöödel harva ja, arvestades nende töö intensiivsust ja suurt veekulu, piiratakse nende töö kestust 6—10 minutiga. Nad kulutavad 17 kuni 40 m³ vett tunnis rõhul 4 atü.

Hästi setitavad tolmu ka udust tõkked. Selliste tõkete loomiseks kasutatakse udustajaid.

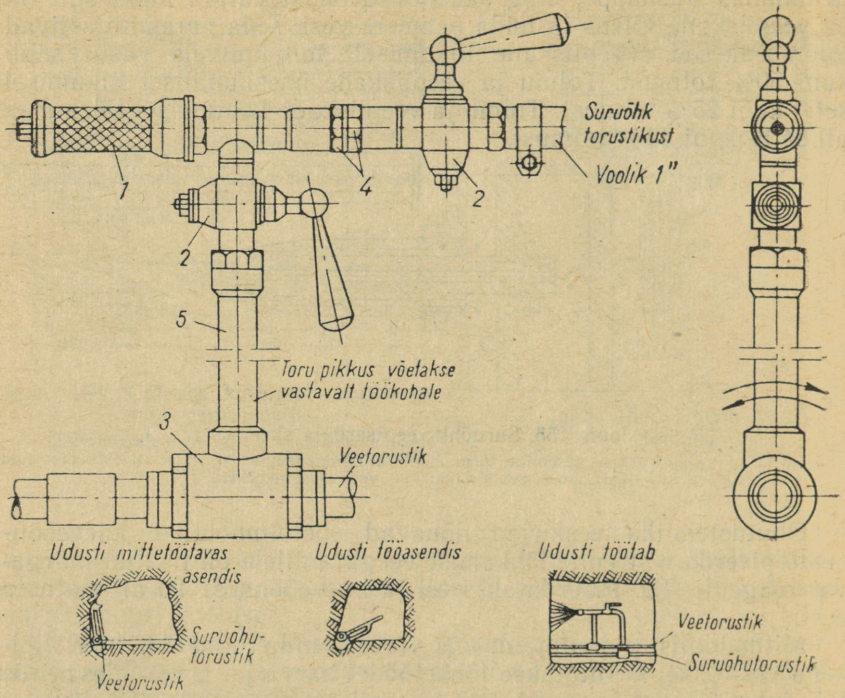
Udustaja TOH-4 (joon. 156) ühendatakse vahetult veemagistraaltorustiku külge. Udustaja koosneb pihustajast *1*, kahest kraanist *2*, muhvist *3*, tagasivooluklapist *4*, veetorust *5* ja stutsist suruõhuvooliku kinnitamiseks.

Udupilve läbimõõt on 1—3,5 m ja pikkus 3—15 m. Veeosakeste suurus on 10—50 μ. Vee kulu 3—5 atü rõhul on 5 l/min, suruõhu kulu 2,5 m³/min.

Lõhketöödel asetatakse udustaja 20—25 m kaugusele eest. Kui töötab kaks udustajat, siis teine asetatakse eest 40—50 m kaugusele.

Udude ja tolmumärgavate lisandite mõju tolmu settimise kiirusele lõhketöödel illustreerivad hästi Nigrizoloto uurimuste tulemused, mis on toodud tabelis 26.

Mõjuvateks vahenditeks õhu tolmusisalduse alandamiseks silikoosiohtlikes etes on veega piserdamine, vesitõkked ja udust tõkked lõhketöödel ning märgpuurimine.



Joon. 156. Nigrizoloto udustaja-piserdaja TOH-4.

Tabel 26

Tolmu setitamise viis	Tolmuosakeste arv 1 cm^3 õhus pärast lõhkamist		
	15 min.	30 min.	2 tundi
Tolmu ei setitata	34600	12600	6900
Vee udu	8300	3100	900
Petrovi kontakti lisandiga vee udu . .	7300	2700	700
Sulfanooli lisandiga vee udu	6200	1800	600
Sulfaatse aluse lisandiga vee udu . .	5200	1700	500

§ 52. Ete varustamine suruõhuga

Kompressorjaamad. Puurvasarate ja teiste pneumaatiliste masinate tööks vajalik suruõhk toodetakse kompressoritega.

Enamik kaevanduste kompressorjaamu on varustatud kaheastmeliste kolbkompressoritega. Statsionaarseid vertikaalkompresso-

reid valmistatakse tootlikkusega 3, 6, 10, 20 ja 40 m³/min suruõhku rõhul 8 atü. Statsionaarseid horisontaalkompressoreid valmistatakse tootlikkusega 8—100 m³/min. Liikuvate kompressorjaamade tootlikkus on 3 kuni 9 m³/min.

Kompressorjaama tootlikkus peab olema 25—50% suurem kui summaarne suruõhu kulu.

Tarbijate summaarne suruõhu kulu arvutatakse valemiga

$$V = \sum_{1}^{z} q_i n_i k_1 k_2 a \qquad (132)$$

kus z — ühesuguste tarbijate (käsi- ja sammaspuurvasarad, piikvasarad, laadimismasinaid jne.) gruppide arv;

q_i — tarbija poolt tarvitatav suruõhu hulk;

n_i — tarbijate arv grupis;

k_1 — paranduskoefitsient, mis arvestab kulumist (piik- ja puurvasaratel võetakse $k_1 = 1{,}15$);

k_2 — paranduskoefitsient, mis arvestab suruõhu kadusid torustikus; «Tehnilise ekspluatatsiooni eeskirjade» järgi nõutakse, et suruõhu kaod ei tohi ületada 20%; seda arvestades võib võtta $k_2 = 1{,}20$;

a — tarbijate töö üheaegsust arvestav koefitsient; «Tehnilise ekspluatatsiooni eeskirjadega» soovitatavad a väärtused puur- ja piikvasaraile on toodud tabelis 27.

Tabel 27

Vasarate arv	a väärtus
Kuni 10	1—0,85
11—30	0,85—0,75
31—60	0,75—0,65
üle 60	0,65

Teiste tarbijate (puuriterituspingid, pneumaatilised mootorid) töö üheaegsuse koefitsient võetakse vastavalt nende tegelikule koormusele.

Kompressorite üldarv ja nende tootlikkus valitakse niisuguse arvestusega, et kompressorjaamas oleks reservis üks kompressor või rohkem, tootlikkusega 25—50% kogutoodangust.

Kompressori mootori võimsus on ligikaudu 7 kW minuti-tootlikkuse 1 m³ kohta.

Elektrienergia kulu on ligikaudu 0,1 kWh 1 m³ kompressorisse imetava õhu kohta.

1 m³ suruõhu maksumus oleneb suurel määral elektrienergia

hinnast, mis moodustab 50—60% suruõhu üldisest maksumusest. Elektrienergia hinna puhul 14 kop. kWh eest on 1 m^3 suruõhu maksumuseks 2,8 kop.

Kompressorist (või kompressorjaamast) läheb suruõhk suruõhukogujasse. Tolmu, tahma jne. osakeste eraldamiseks läbib kompressorisse imetav õhk eelnevalt filtri.

Kompressoris kokkusurutud õhk liigub suruõhukogujasse mööda toru, mis on varustatud vee- ja õlieraldajaga koos väljalaskekraaniga. Suruõhukoguja peab olema varustatud ülesurvekaitseklapiga, manomeetriga, kraaniga vee ja õli väljalaskmiseks ja luugiga suruõhukoguja kontrollimiseks ja puhastamiseks.

Õli, vesi ja pori tuleb võimalikult sageli lasta kraanist välja. Suruõhukoguja ja kompressorist tulev torustik tuleb kaks korda aastas puhastada ja pesta soodalahusega. Torustikus või õhukogujas tekkiv õlikoorik võib olla plahvatuste põhjuseks.

Suruõhutorustikud. Suruõhukogujast viiakse torustik šahti suudmeni ja sealt mööda šahti, kveerslaage ja strekke eteni. Suruõhutorustik monteeritakse 0,003—0,005 kallakuga õhu liikumise suunas. Torustiku tõusu- ja keerukohtadesse asetatakse vee- ja õlieraldajad. Kuna kaeveõõnsused lähevad šahti juurest tõusu suunas, siis šahti juurde kaevandusõue asetatakse väikesed õhukogujad vee- ja õlieraldajaga.

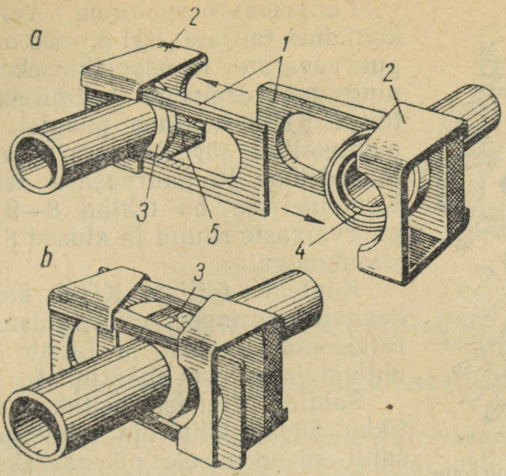
Temperatuuri kõikumiste mõju kõrvaldamiseks peab torustik olema varustatud pikenemise kompensaatoriga. Torustiku hargnemiskohtadesse asetatakse sulgeventiilid (kui torustiku läbimõõt on kuni 50 mm) või siibrid (suurema läbimõõdu puhul).

Torud ühendatakse omavahel keevitamisega, äärikutega või muhvidega. Äärikutega ühendamisel kasutatakse klingeriidist, papist või kummist tihendeid. Sagedasti teisaldatavad suruõhutorustiku lõigud (näiteks ee lähedases alas) ühendatakse kiirestilahutatavate liidetega (joon. 157).

Torustikust juhitakse suruõhk puurvasaratesse 10—20 m pikkuste ja 22—25 mm läbimõõduga kummivoolikutega. Voolikuid võib ühendada omavahel kahepoolsete niplitega või keermetatud niplite ja ühendusmuhvidega (joon. 158, *a, b*). Suruõhu torustiku külge ühendatakse voolik koonilise nipliga (joon. 158, *c*). Veel parem on kasutada mõlemat liiki ühendusteks Rott-tüüpi nukkmutreid. Voolikud kinnitatakse nipleile võruklambritega või seotakse 1,5—2 mm jämeduse lõõmutatud terastraadiga. Vooliku sisepinna poolt tekitatava suure takistuse tõttu ei tohi vooliku pikkus ületada 50 m.

Kui torustiku otsa külge lülitatakse 2—4 voolikut, siis monteeritakse torustiku otsa torukolmik vastava arvu ventiilide ja stutsidega. Sellist torustutsidega kolmikut voolikute ühendamiseks torustikuga kutsutakse õhujaotajaks.

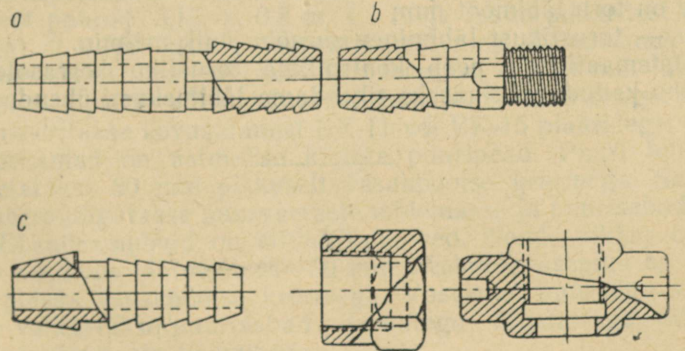
Šahtide rajamisel, kus väiksel ee pindalal töötab palju puurvasaraid, tehakse õhujaotajad suure läbimõõduga torust, mille



Joon. 157. Kiiresti lahutatav suruõhutorustiku kiilliide:

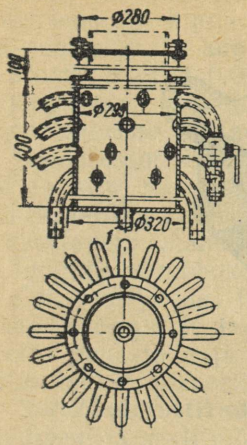
a — torud koos kiilude ja klambritega; *b* — kiilliide ühendatud kujul; *1* — ovaalse avaga kiil; *2* — kiilu paksema otsa külge keevitatud klamber; *3* — äärik; *4* — ringsoon; *5* — ääriku rõngad.

külge keevitatakse stutsid voolikute ühendamiseks (joon. 159). Selline suruõhujaotaja riputatakse kas pingutusraami alla või ee lähedale. Viimasel juhul antakse suruõhk pingutusraami juures lõppevast torustikust 2—3 painduva 62,5 mm läbimõõduga kummitoruga suruõhujaotajateni ja sealt vasarateni 22—25 mm jämeduste kummivoolikutega.



Joon. 158. Niplid:

a — kahepoolne; *b* — keermetatud, koos ühendusmuhviga; *c* — kooniline, koos ühendusmuhviga.



Joon. 159. Õhujaotusseade.

Гипрошахтостроимаш valmistas partii konteiner-toitjaid КП-8, mis on ette nähtud puurvasarate transportimiseks ja suruõhu ning määrdeainega toitmiseks. Konteiner-toitja КП-8 koosneb paagist, millesse on monteeritud suruõhujaotaja ja automaatne määrdetoos 16 puurvasara teenindamiseks. Konteinerisse on tehtud 8—9 m pikkused puurvarraste riiulid ja alused 8 puurvasarale voolikutega.

Konteiner-toitjate КП-8 kasutamine lühendab puurimise ettevalmistus-lõpetusoperatsioonide kestust ja tagab puurvasarate ühtlast ja pidevat määrimist.

Šahtide rajamisel hoitakse suruõhutorustikku üleval köite ja vintsiga. Vastavalt šahti süvenemisele pikendatakse torustikku ülalt ja lastakse allapoole. Statsionaarsed torustikud kinnitatakse šahtis armatuurí põiktalade külge võruklambritega.

Horisontaalsetes ja kallakutes kaeveõõnsustes kinnitatakse suruõhutorustik riiskadega kaeveõõnsuse toestiku külge. Magistraalliinide läbimõõt on 100—300 mm. Vastavalt torustiku hargnemisele kaeveõõnsusi mööda kahanevad torude läbimõõdud. Torustik arvutatakse survelangule, mis ei tohi ületada 0,3—0,6 atü 1 km kohta. Torustiku läbimõõt arvutatakse nomogrammide või valemite abil (viimane moodus on tunduvalt keerukam). Orienteeruvalt võib suruõhutorustiku läbimõõdu määrata valemiga

$$d = 20\sqrt{v},$$

kus d on toru läbimõõt mm;

v — torustikust läbiminev suruõhu hulk m³/min.

Süstemaatiliselt peab kontrollima torustiku korrasolekut ja suruõhu kadude vältimiseks tihendama läbilaskvad ühenduskohad.

XI PEATÜKK

PUURAUKUDE PUURIMINE

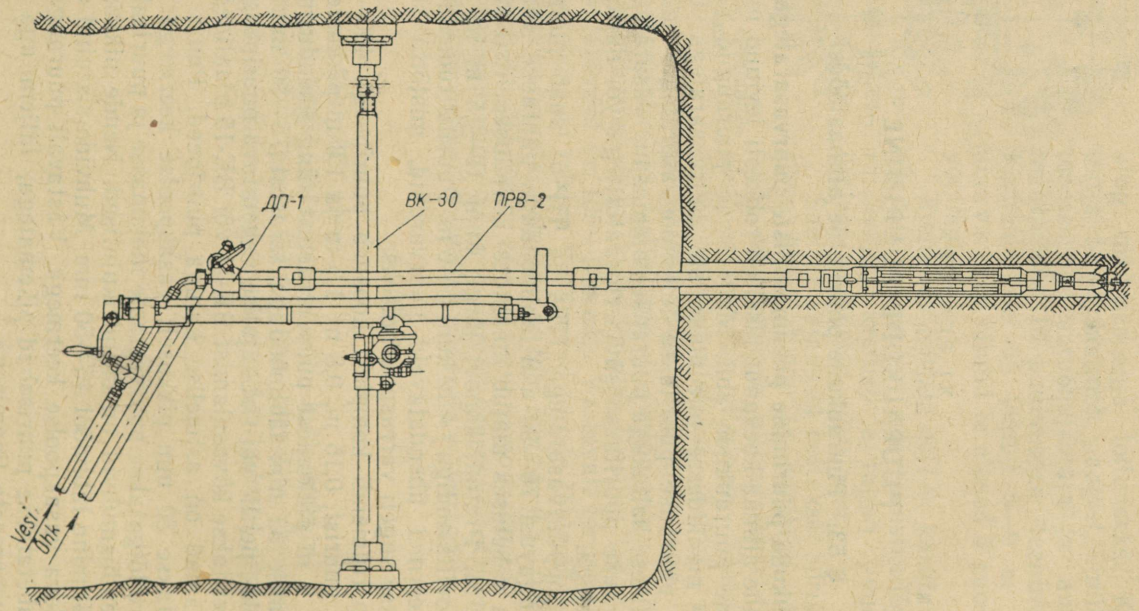
§ 53. Puuraukude puurimine allmaatöödel

Puuraukude puurimine pneumaatiliste puurvasaratega. Maagivarapaikade allmaa-kaevandamisel on rohkesti levinud maagi lahtimurdmine puuraukude abil. Madalamad puuraugud puuritakse kõvadesse maakidesse pneumaatiliste puurvasaratega. Ülespoole suunatud puurauke puuritakse teleskoopvasaratega, horisontaalseid ja väikese kallakuga puurauke sammaspuurvasaratega. Sügavaid puurauke puuritakse süviperforaatoritega või näritspeadega puurpinkidega.

Teleskooppuurvasaratega ТП-4 ja ПР-51 saab puurida kuni 6—8 m sügavusi 70—90 mm läbimõõduga puurauke. Puurvasara tootlikkus vahetuses ulatub maakides kõvaduskoefitsiendiga $f=6$ (prof. M. M. Protodjakonovi järgi) kuni 10—15 m ja maakides kõvaduskoefitsiendiga $f=12$ kuni 4—6 m. Puurinstrumendina kasutatakse keermel ühendatavaid puurvardaid, mistõttu seda viisi nimetatakse sageli varraspuurimiseks.

Puurinstrumendi komplekt koosneb puuripeaga 400—600 mm pikkusest puurist, 0,15 m, 0,8 m, 1,3 m ja 1,8 m pikkustest puurisabadest, 2 m pikkustest puurvarrastest ning ühendusmuhvidest. Puur tehakse 32 mm läbimõõduga terasest 75—90 mm läbimõõduga noole-, peitli- või ristikujulise vahetatava puuripeaga. Puuripea armeeritakse kõvasulamist ВК-11 või ВК-15 plaatidega. Kõige otstarbekamad on astmelise kujuga puuripead. Puuri teine ots keermetatakse 80 mm pikkuselt vasakpoolse keermega. Samasugune keere lõigatakse puurvarraste mõlemasse ja puurisabade ühte otsa. Ühendusmuhvid on silindrikujulised. Nende pikkus on 160 mm ja välimine läbimõõt 45—50 mm. Muhvide sisepind on varustatud pideva vasakpoolse keermega. Vastavalt puuraugu süvenemisele vahetatakse puurisabad pikematega, hiljem aga pikendatakse puurvarraste lisamisega.

Puurinstrumendi pikendamise hõlbustamiseks kasutatakse vardahoidjaid või erilisi tugesid, mille külge kinnitatakse vardahoidjad ja puurvasara ettenihkeseade.



Joon. 160. Puurimisseade puurimiseks süviperforaatoriga ПШ-20

Puurinstrumendi pikkuse ja kaalu suurenemisega kahaneb puuripea löögi tugevus vastu puuraugu põhja. Koos sellega väheneb ka puurimise tootlikkus. Aja kulu puuraugu pikkuse ühiku puurimiseks kasvab koos puuraugu pikkusega ja seda kiiremini, mida suurem on puuraugu läbimõõt. Puurinstrumendi kaalu vähendamiseks kasutatakse sageli puurvarrastena 42 mm välisläbimõõduga toru. Torust puurvardad ühendatakse omavahel niplitega.

Torust puurvarrastega tõuseb sammaspuurvasaratega puuritavate puuraukude sügavus. Nii näiteks ulatus Dzeržinski-nimelises maagikaevanduses puuraukude sügavus kõvades kivimites 25 m. Siiski oli sellise sügavuse juures puurvasara tootlikkus väga madal.

Tavaliselt puuritakse sammaspuurvasaratega kuni 10—12 m pikkusi ja 70—90 mm läbimõõduga puurauke.

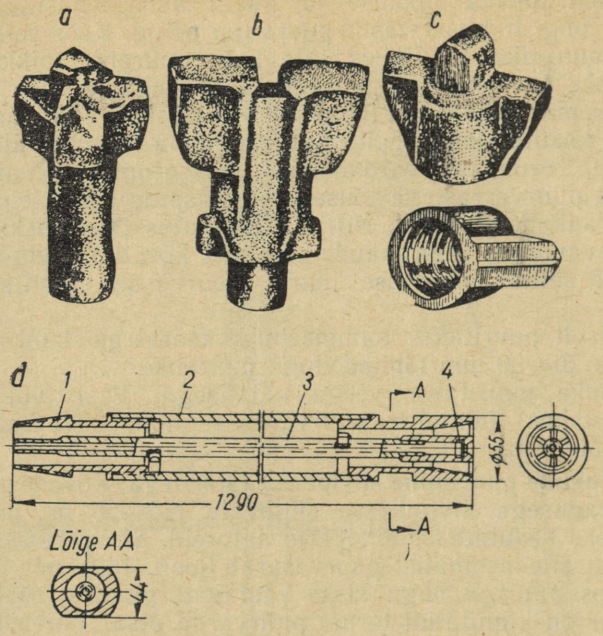
Puurauke puuritakse veega uhtmisega. Vesi (või märgava reagendi lahus) juhitakse puurvardasse uhtemuhvi kaudu puurvasarat läbimata.

Puuraukude puurimine süviperforaatoritega. Kõvadesse ja keskmise kõvadusega kivimitesse sügavate (10—50 m) puuraukude puurimiseks kasutatakse süviperforaatoreid. Süviperforaator kujutab endast siledaseinalist puurvasarat (joon. 160), mis puurimisel läheb koos puuriga augu sisse vastavalt viimase süvenemisele. Puurvasar on kinnitatud torust puurvarda otsa. Varrast pikendatakse vastavalt edasinihkele. Puurvasar on varustatud lühikese astmelise peaga puuriga (joon. 161). Puuripea läbimõõt on 10—20 mm suurem puurvasara läbimõõdust. Puurisaba on kinnitatud puurvasara padrunisse nii, et see võib liikuda piki telge 20 mm ulatuses. Puuri pööramine toimub süviperforaatoreis nagu tavalistes puurvasaraiski kärismehhanismi abil.

Krivoi Rogi tehase süviperforaatoril ПШ-20 on kaks silindrit ja kolbi. See kinnitatakse kahekordsest torust varda otsa. Sisemist toru mööda voolab puuraugu uhtevesi ja kahe toru vahelises rõngakujulises ruumis puurvasara jaoks suruõhk. Viimane varras kinnitatakse hoidja ДП-1 abil sammaspuurvasara samba mehaanilise või käsitsi ettenihkega liugraamile. Puurvasar kaalub 20 kg, ettenihutaja 32 kg ja sammas 30 kg. Puurimise sügavus on 50 m. Puuripea läbimõõt 90 mm. Kivimis, mille kõvaduskoefitsient $f = 10$, on puurimiskiirus 50 mm/min.

150 mm läbimõõduga puuraukude puurimiseks laskis tehas välja süviperforaatori ПШ-50. Perforaatori kaal on 50 kg ja välisläbimõõt 140 mm. Perforaator kinnitatakse torust vardale, mida mööda antakse ka tööks vajalik suruõhk. Uhtevesi antakse perforaatorisse kummivoolikuga. Puurimise kiirus kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f = 10$ on 45—50 mm.

Peale pöördemehhanismidega varustatud süviperforaatorite on meil laialt kasutusel süviperforaatorid koos pöördepinkidega. Siin pöörleb puur koos puurvasaraga. Viimane saab pöörleva ja ette-



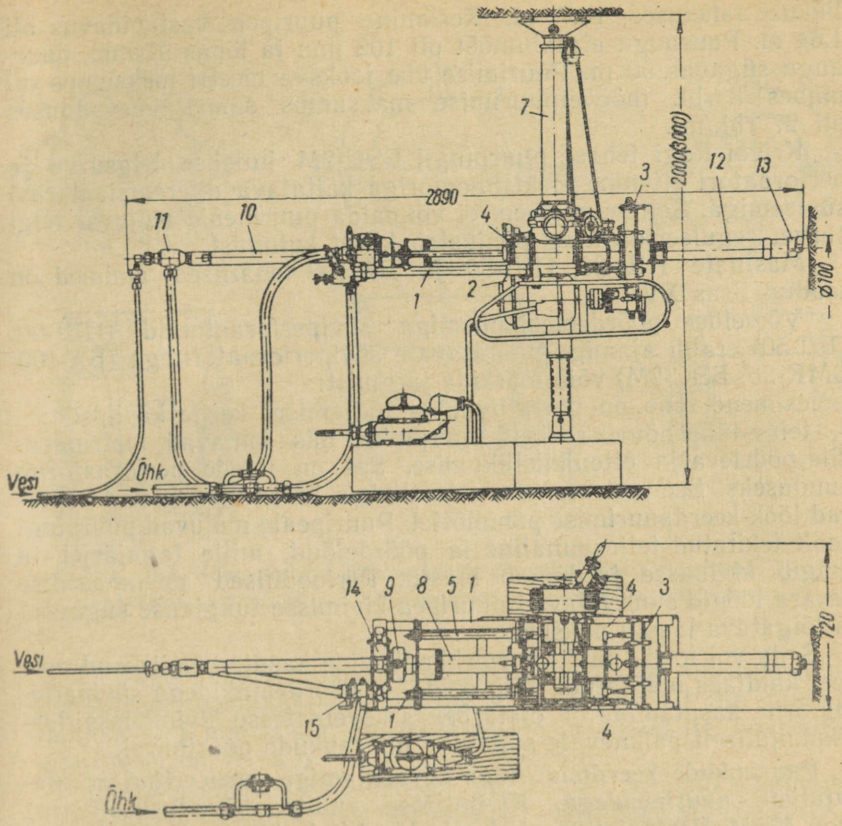
Joon. 161. Puurinstrument süviperforaatoritele:
a — kolmeharuline puuripea keskel etteulatuva peitliga; *b* — neljaharuline puuripea kahe etteulatuva haruga; *c* — kaheharuline puuripea etteulatuva peitliga keskel ja äravõetava sabaga; *d* — kahetoruline puurvarras; *1* — otsik; *2* — õhutoru; *3* — veetoru; *4* — tihendusrõngas.

nihkeliikumise varraste kaudu kaeveõõnsuse ees olevalt puurpingilt.

Joonisel 162 on kujutatud puurpink süviperforaatoriga БА-100. Ta koosneb terasraamist *1*, millele on monteeritud elektrimootor *2* koos reduktoriga *3* ja kaks automaatset ettenihutajat *4* koos varrastega *5*, mis on omavahel ühendatud plaadiga *6*. Raam *1* liigub sambal *7* ja seda saab kinnitada igasugusesse kõrgusesse. Horisontaal- ja vertikaaltasapindades saab raami pöörata igasuguse nurga võrra.

Mootorilt kantakse pöörlemine reduktori abil torukujulisele spindlile. Spindli pöörete arv on 156 p/min. Spindli *8* otsas on pakkidega padrun *9*, mis hoiab kinni puurvarrast *10*. Varda tagumises otsas on kahekordne tihendmuhv *11*, mille abil vesi juhitakse puurvarda keskmisse torusse ja suruõhk välimisse. Puurvarraste eesmisse otsa kinnitatakse perforaator *12* puuripeaga *13*.

Surve puuripeale ja varraste ettenihe toimub automaatsete ettenihutajatega *4*. Läbides automaatsete ettenihutajate silindreid, surub suruõhk kolbe koos varrastega *5* ja plaadiga 6 ette-



Joon. 162. Puurpink süviperforaatoriga БА-100.

poole. Plaat *6* nihutab ettepoole spindlit *8*. Ettenihke pikkus on 400 mm. Pärast seda, kui spindel koos puurvarrastega on liikunud ettenihke sammu võrra, katkestatakse puurimine, vabastatakse padruni *9* pakid ja spindel tõmmatakse tagasi. Puurvardad haaratakse muhviga uuest kohast ja jätkatakse puurimist. Vertikaalsete või kalduolevate puuraukude puurimisel kinnitatakse puurvardad vardahoidjaga *14*, et nad padruni *9* vabastamisel ei langeks puuraugust välja. Ettenihutajad tekitavad kuni 600 kg telgsurve. Ettenihkesurve on reguleeritav suures ulatuses.

Juhtpuldile *15* on monteeritud kraanid perforaatori käivitamiseks ja automaatsete ettenihutajate töö juhtimiseks.

Mikrokvartsiiti, kõvaduskoefitsiendiga $f=16—18$ prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi, puuraukude puurimisel Gubkininimelises maagikaevanduses oli masina БА-100 keskmine toot-

likkus vahetuses 13,7 m. Keskmine puuripea vastupidavus oli 1,64 m. Puuraugu algläbimõõt oli 103 mm ja lõpus 97 mm, puuraugu sügavus 50 m. Puurimise ühe jooksva meetri maksumus oli umbes 8 rbl. (höövelpuurimise maksumus samas kaevanduses oli 27 rbl./m).

Krivoi Rogi tehase puurpingil БЭС-2М luuakse telgsurve ja perforaatori ettenihe elektrimootoriga käitatava diferentsiaalkruvi süsteemiga. Selline süsteem ei võimalda puuripeale mõjuvat telgsurvet reguleerida ning põhjustab kiiret kulumist.

Masinate ПШ-20, ПШ-50 ja БА-100 tehnilised andmed on toodud lisas XV.

Võrreldes pöördemehhanismiga süviperforaatoreid (ПШ-20, ПШ-50) eraldi ajamiga pööratavate süviperforaatoritega (БА-100, БМК-26, БЭС-2М) võib märkida järgmist:

esimene tüüp on portatiivne ja töötamisel kerge käsitseda;

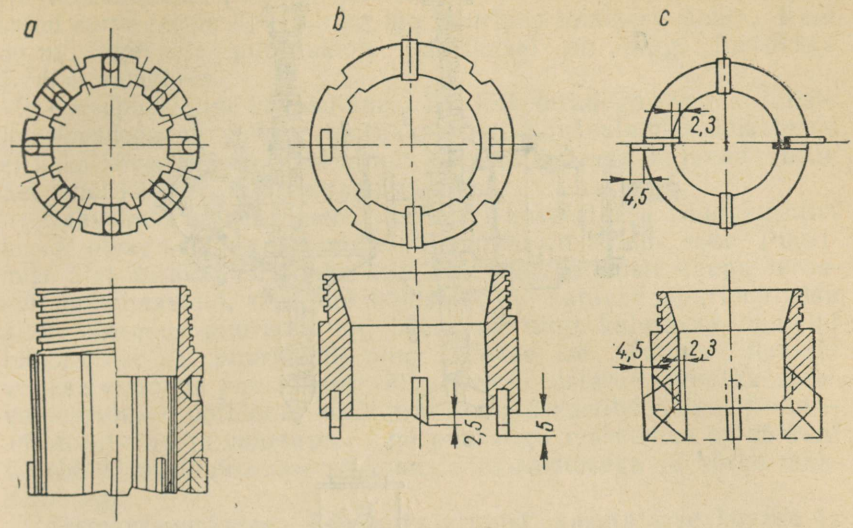
teine tüüp nõuab raskeid puurpinke, mis annavad instrumendile pöörleva ja ettenihkeliikumise. See on nende perforaatorite puuduseks. See-eest on nende tootlikkus kõrgem, sest nad töötavad löök-keerdpuurimise põhimõttel. Puuripeale mõjuvad puurpingi poolt tekitatud teljesuunaline ja pöördejõud, mille tagajärjel ta tungib kivimisse ja lõikab laastu. Perioodilised pneumaatilise vasara löögid suurendavad puuripea kivimisse tungimise sügavust ja lõigatava laastu paksust.

Seda või teist tüüpi puurmehhanismide kasutamispiirkond pole veel kindlaks määratud. Võib öelda, et pöördepinkidega süviperforaatorite kasutamine on otstarbekas kõvematesse kivimitesse lehvikukujuliselt paiknevate sügavate puuraukude puurimisel.

Puuraukude keerdpuurimine kõvasulamiga armeeritud rõngakujuliste puuripeadega. Kivimitesse, mille kõvaduskoefitsient prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi pole üle 6—10, saab puurida auke keerdpuurimisega kõvasulamist lõiketeradega armeeritud terasest rõngakujuliste puuripeadega (joon. 163). Puuripea keeratakse terasest südamiktoru otsa, mille läbimõõt on võrdne puuripea läbimõõduga ja pikkus 1 kuni 4,5 m. Südamiktoru on puursüdamiku väljatõstmiseks. Südamiktoru ühendatakse torudest puurvardaga. Torude pikkus on 1,5—4,5 m ja nad ühendatakse omavahel niplitega.

Torud saavad pöörleva ja ettenihkeliikumise puurpingilt ja sunnivad puuripead tungima kivimisse ja puurima rõngakujulist auku. Torude teise otsa pannakse tihendkarp, mille kaudu antakse torudesse pidevalt vett. Vesi toob peenestatud kivimi puuripea alt välja. Vesi koos selles hõljuva puurjahuga voolab puuraugust välja torude ja puuraugu seinte vahelt.

Pärast südamiktoru täitumist murtakse puursüdamik augu põhja küljest lahti ja kõrvaldatakse puuraugust. Selleks katkestatakse puurimine ja puuraugust tõstetakse välja puurtorud ning südamiktoru koos puursüdamikuga.



Joon. 163. Kõvasulamist lõiketeradega rõngakujulised puuripead: *a* — kaheksakandiliste; *b* — ristkülikukujuliste; *c* — rombiliste lõiketeradega.

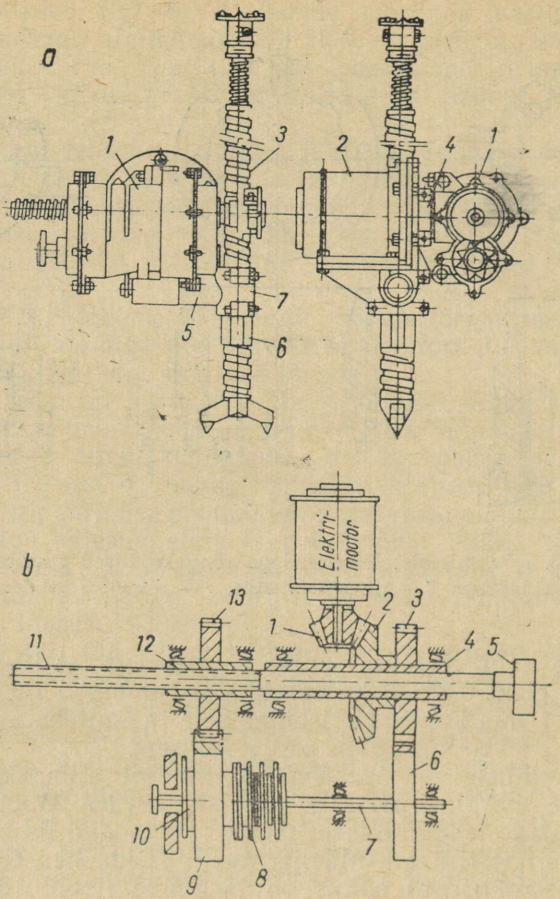
Uhtevee kulu võetakse sellise arvestusega, et ülestuleva veejoa kiirus oleks 0,25—0,30 m/sek, s. o. umbes 1 l/min puuripea läbimõõdu 1 mm kohta. Horisontaalsete ja kallakate puuraukude puurimisel on vee kulu 3—4 korda väiksem.

Rõngakujuliste puuripeadega puurimisel allmaakaevandustes kasutatakse puurpinke НИГРИ-4, ГП-1, БД, КА-2М-300, ЗИВ-150 jt. (puurpinkide tehniline iseloomustus on toodud lisas XVI).

Puurpingi НИГРИ-4 (Mäe ja Maagi Teadusliku Uurimise Instituudi konstruktsioon) ehitus on järgmine (joon. 164, *a*). Sambale *3* kinnitatakse rõngasklambriga *7* ja mutriga *6* plaat-kronstein *5*. Plaadil asub elektrimootor *2* koos pöörde-ettenihkemehhanismiga *1*. Viimase kere on ühendatud elektrimootori kere eesmise kaanega rõnga *4* abil, mis võimaldab pöörata sõlme *1* ümber elektrimootori telje (sõlme 1 ja elektrimootori teljed on risti). See võimaldab puurida puurauke horisondi suhtes igasuguse nurga all.

Pingi kinemaatiline skeem on toodud joon. 164, *b*. Kooniliste hammasrataste paari *1* ja *2* abil antakse pöörlemine elektrimootorilt puksile *4* ja spindlile *11*, mille eesmises otsas on hoidepadrun *5*. Puurvardad läbivad seest õõnsa spindli *11* ja kinnitatakse sellesse padruniga *5*.

Edasinihke saavad spindel ja puurvardad järgmisel viisil. Hammasrattailt *3* ja *6* antakse pöörlemine vahevõllile *7*, edasi läbi hõõrdesiduri *8* hammasrattaile *9* ja *13* ning spindli mutrile *12*.



Joon. 164. Puurpink НИГРИ-4:
a — pingi üldvaade; *b* — kinemaatiline skeem.

Mutter pöörleb spindlist kiiremini ja sunnib seda ette liikuma. Kui spindel on lükatud kogu oma pikkuses välja, peatatakse pink ja väljastatakse puurvardad padrunist *5*. Pärast seda lülitatakse välja hõõrdsidur *8* ja lülitatakse sisse hõõrdpidur *10* ning käivitatakse mootor. Seejuures pidur *10* takistab hammasrataste *9* ja *13* ning mutri *12* pöörlemist. Pööreldes pidurdatud mutris liigub spindel *11* kiiresti tagasi, puurvardad aga jäävad paigale. Kui spindel on liikunud lõpuni tagasi, peatatakse mootor, puurvardad pigistatakse padrunisse kinni ja, andes spindlile edasikäigu, jätkatakse puurimist.

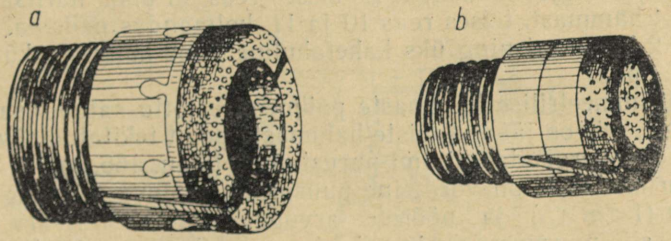
Kivimite puhul, mille kõvaduskoefitsient $f=6$, peab puurpingi

(ja vertikaalsetes puuraukudes ka puurtorude raskuse) poolt tekitatud surve olema 80—120 kg iga puuripea lõiketera kohta. Kuni 30 m sügavuste puuraukude puurimisel on pingi tootlikkus 5—8 m vahetuses.

Keerdpuurimine kõvasulamist BK lõiketeradega rõngakujuliste puuripeadega on väikese tootlikkusega. Kõvasulamist lõiketerad ei lõika kõva kivimit, vaid ainult käiavad seda ja kuluvad ruttu. Sel juhul kasutatakse teemantpuurimist.

Haavelpuurimine. Haavelpuurimisel kasutatakse rõngakujulist tasase otsaga puuripead, mille välisküljel on kaldne soon. Puurimise ajal antakse puurauku koos uhteveega annuste kaupa teras- või malmhaavleid, mis läbi kaldse soone satuvad puuripea otsa alla. Veeredes puuripea all, hõõruvad ning kulutavad haavlid kivimit (ja ka puuripead) ning kuluvad ise. Kulunud haavlid viiakse veejoaga puuraugust välja koos purustatud kivimiga. Haavelpuurimise tootlikkus kivimites kõvaduskoefitsiendiga $f=14—18$ on 1,8—3,0 m vahetuses. 1 jm puuraugu maksumus on 25 kuni 60 rbl. Haavelpuurimine on madala tootlikkusega ja kõrge maksumusega.

Teemantpuurimine. Teemantpuurimist kasutatakse kõvade ja väga kõvade kivimite puhul, kus ei ole enam võimalik kasutada kõvasulamist lõiketeradega rõngakujulisi puuripäid. Kivimites, mille kõvaduskoefitsient $f>12$ prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi, kasutatakse rõngakujulisi teemant-puuripäid, väiksema kõvadusega kivimites kasutatakse puuripäid, mis ei ole õõnsad (joon. 165).



Joon. 165. Teemant-puuripead:
a — rõngakujuline; *b* — seest täis.

Puuripea välisläbimõõt on 36—85 mm ja lõikerõnga paksus 8 mm. Teemantpuuriga armeerimine toimub järgmiselt. Vase, volframi ja alumiiniumi pulbrilisse segusse lisatakse peeni tehnilisi teemante 30—40% segu üldhulgast. Teemantide hulk puuripeas on 4—6 karaati. Kasutatakse peenikesi teemante, 100—400 tk. ühes karaadis. Segu puistatakse vormi ja pressitakse kõrgendatud temperatuuril. Selle tagajärjel teemandid paakuvad kõvasse

metallisulamisse. Lõikerõngas joodetakse pronksiga rõngakujulise puuripea külge. Puurimisel kulub metallisulam kiiremini kui teemandid ja viimased, ulatudes puuripeast välja, purustavad kivimit. Puurimisel uhutakse puurauku pidevalt veega. Kuni täieliku kulumiseni saab puuripeaga puurida kõvadesse kivimitesse kuni 60 m puurauku. Puuritavate kivimite kõvaduskoefitsiendi $f=14$ puhul on puurimise tootlikkus kuni 10 m vahetuses.

Kuni viimase ajani kasutati NSV Liidus teemantpuurimist harva. Seoses suurte teemandileiupaikade avastamisega Jakuutias võib oodata teemantpuurimise suuremat levikut.

Puuraukude keerdpuurimine näritspeadega. Näritspäid kasutatakse puuraukude puurimisel kõvadesse ja väga kõvadesse kivimitesse. Selle puurimisviisi juures ei purustata kivimit lõikamisega nagu tavaliselt keerdpuurimisel, vaid ta muljutakse ja purustatakse näritspea hammastega.

Joon. 166, *a* on kujutatud kahe näritsaga puuripea ДШ-7-126. Ta on varustatud kahe koonusekujulise näritsaga *2*, mis on kinnitatud pöidade *1* külge tappide ja kuulidega veeretugedega. Kuulid pannakse veeretugedesse läbi pöias olevate avade, mis suletakse sõrmtapiga *4*. Puuripea ülemises otsas on kooniline keermestatud tapp, mille abil ta ühendatakse õõnsa puurvardaga. Puurvardalt saab puuripea pöörleva ja ettenihke-liikumise ning antakse uhtevett puurauku.

Mõlemad näritsad on armeeritud kõvasulamist ВК-11 või ВК-15 14 mm kõrguste ja 12 mm läbimõõduga hammastega. Kõvasulamist hambad on paigutatud näritsatele ebasümmeetriliselt muutliku sammuga. Kummassegi näritsasse on joodetud 32 hammast nelja ringjoont mööda. Esimeses reas on ühel näritsal 15 ja teisel 14 hammast, teises reas 10 ja 11, kolmandas mõlemal 4, neljandas 2 hammast ning üks kahetahuline lame hammas kummagi näritsa tipus.

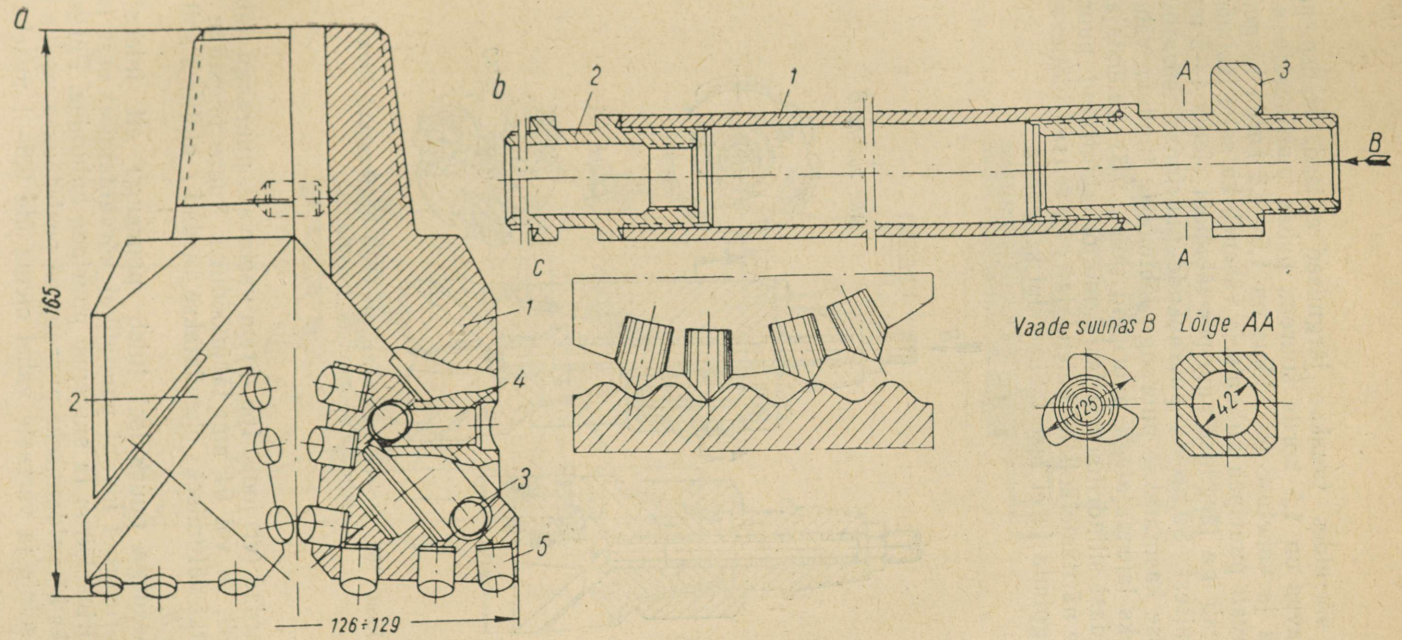
Ebasümmeetrilise hammaste paiknemise tõttu satub osa neist harjadele, mis on jäänud teiste hammaste poolt tekitatud süvendite vahele. See kergendab kivimi purustamist (joon. 166, *c*).

Puurimiskiirus on võrdeline puuripeale mõjuva telgjõuga astmes m ($1<m<3$) ja pöörete arvuga. Kui pöörete arv tõuseb üle 200, siis puurvarraste ja -pingi suure vibratsiooni tõttu puurimiskiiruse juurdekasv kahaneb ning langeb ka puuripea vastupidavus.

Puuripea vastupidavus, s. o. puuraugu pikkus jm. kuni puuri nürinemiseni muutub võrdeliselt telgsurvega.

Kõvade ja väga kõvade kivimite puurimisel soovitatakse võtta puuripea pöörlemiskiirus 50—150 pööret minutis ja telgsurve 30—40 kg puuripea läbimõõdu iga mm kohta.

Lõheliste kivimite puurimisel on otstarbekas kasutada kolme näritsaga puuripäid. ВНИИЦВЕТМЕТ soovitab kasutada selliseid puuripäid ka kompaktseis kivimeis, kusjuures kahenäritsaliste

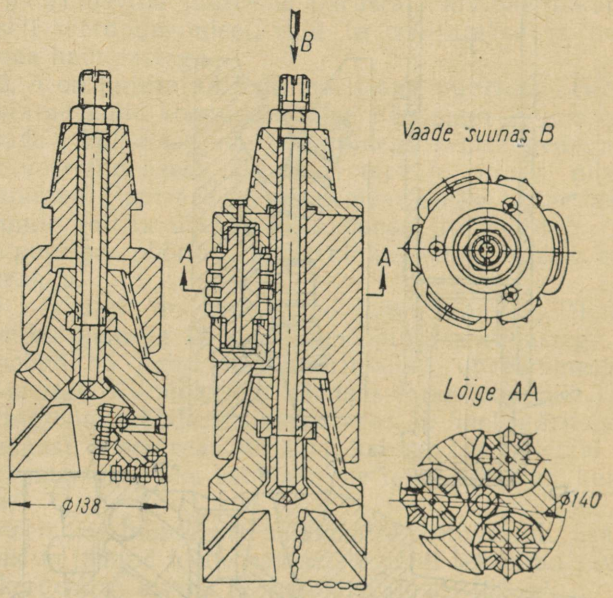


Joon. 166. Närits-puuripea ja puurvarras:

a — kahe näritsaga pea ДШ-7-126; *b* — puurvarras tugikaelusega: *1* — puurvarras; *2* — ühendusnippel; *3* — tugikaelusega ühendusnippel; *c* — näritsas ebasümmeetriliselt asetsevate hammaste tegevus puuraugu ees.

peadega võrreldes tuuakse järgmised eelised: sellise puuripea vastupidavus on 1,5 korda suurem, puhas puurimiskiirus tõuseb 1,2 korda ja vahetuse tootlikkus on 1,6—1,8 korda kõrgem.

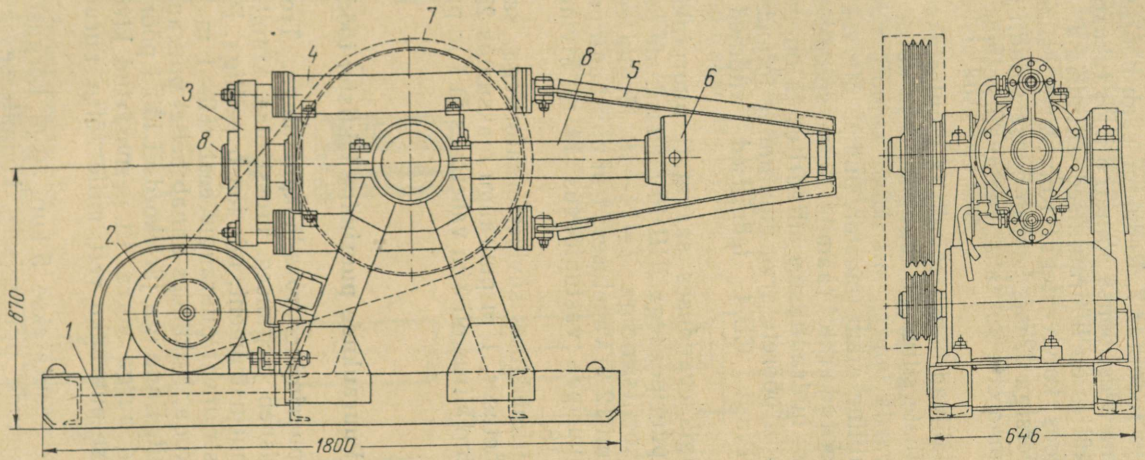
Vastavalt puuripea kulumisele väheneb ka selle läbimõõt. Seepärast peab iga järgmise puuripea läbimõõt olema 4—5 mm väiksem eelmisest. Sügavate puuraukude puurimisel abrasiivsetesse kivimitesse kasutatakse puuraugu läbimõõdu tunduva vähenemise vältimiseks laiendajatega puuripäid (joon. 167). Laiendajad kujutavad endast silindrilisi näritsaid, mis on kinnitatud puuripeasse kooniliste näritsate kohale. Laiendajatega näritsad töötlevad puuraugu külgpinda ja ei lase läbimõõdul kahaneda.



Joon. 167. Kolme näritsaga pea ДШ-10 (vasakul ilma laiendajata, paremal laiendajaga).

Puurvardad (vt. joon. 166, *b*) on vastavalt puuraugu läbimõõdule kas 89, 76 või 64 mm läbimõõduga. Suure telgsurve mõjul tekkiva nõtke vältimiseks ühendatakse vardad *1* niplite *2* abil tugikaelustega *3*.

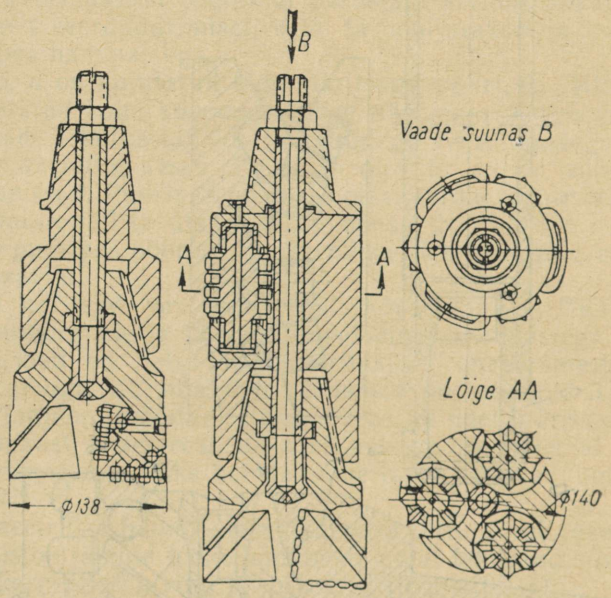
Näritspeadega puurimisel tuleb puuraugu ett intensiivselt uhtuda. Purustatud kivimi puudulikul kõrvaldamisel eest langeb järsult puurimiskiirus ja suureneb puuripea kulumine. Purustatud kivimi heaks kõrvaldamiseks puuraugust peab tõusva veejoa kiirus puuraugu seinte ja varraste vahel olema üle 0,8—1 m/sek. Hori-



Joon. 168. Puurpink СБ-4.

peadega võrreldes tuuakse järgmised eelised: sellise puuripea vastupidavus on 1,5 korda suurem, puhas puurimiskiirus tõuseb 1,2 korda ja vahetuse tootlikkus on 1,6—1,8 korda kõrgem.

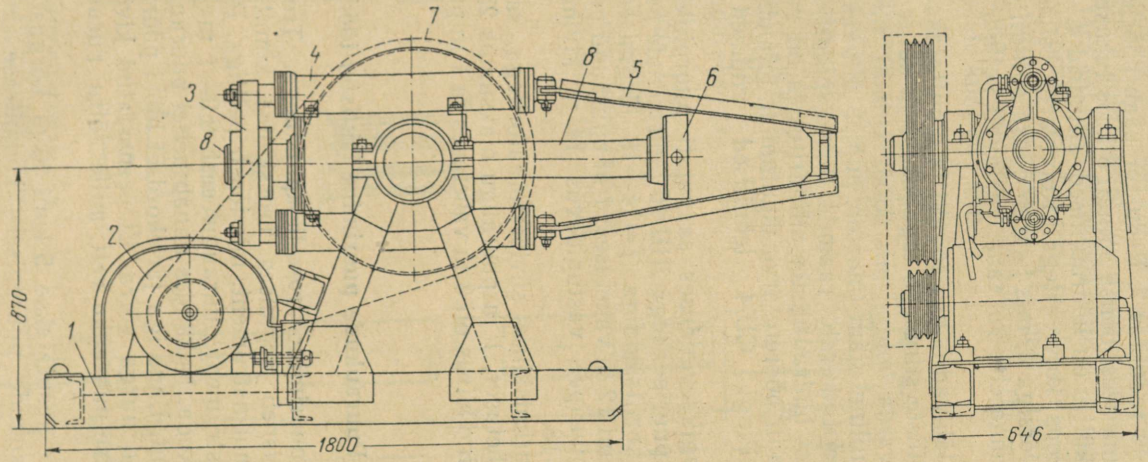
Vastavalt puuripea kulumisele väheneb ka selle läbimõõt. Seepärast peab iga järgmise puuripea läbimõõt olema 4—5 mm väiksem eelmisest. Sügavate puuraukude puurimisel abrasiivsetesse kivimitesse kasutatakse puuraugu läbimõõdu tunduva vähenemise vältimiseks laiendajatega puuripäid (joon. 167). Laiendajad kujutavad endast silindrilisi näritsaid, mis on kinnitatud puuripeasse kooniliste näritsate kohale. Laiendajatega näritsad töötlevad puuraugu külgpinda ja ei lase läbimõõdul kahaneda.



Joon. 167. Kolme näritsaga pea ДШ-10 (vasakul ilma laiendajata, paremal laiendajaga).

Puurvardad (vt. joon. 166, *b*) on vastavalt puuraugu läbimõõdule kas 89, 76 või 64 mm läbimõõduga. Suure telgsurve mõjul tekkiva nõtke vältimiseks ühendatakse vardad *1* niplite *2* abil tugikaelustega *3*.

Näritspeadega puurimisel tuleb puuraugu ett intensiivselt uhtuda. Purustatud kivimi puudulikul kõrvaldamisel eest langeb järsult puurimiskiirus ja suureneb puuripea kulumine. Purustatud kivimi heaks kõrvaldamiseks puuraugust peab tõusva veejoa kiirus puuraugu seinte ja varraste vahel olema üle 0,8—1 m/sek. Hori-



Joon. 168. Puurpink СБ-4.

sontaalsete ja kallakute puuraukude puurimisel on vee kulu 3—4 korda väiksem.

Näritspeadega puurimiseks kasutatakse puurpinki СБ-4, mille ehitus on järgmine (joon. 168). Pingi raamile *1* on kinnitatud elektrimootor *2* ja reduktor *7*. Reduktor saab pöörlemise mootorilt ja paneb pöörlema seest õõnsa spindli *8* koos lukustuspadruniga *6*. Reduktori kere küljes on hüdraulilised silindrid *4*. Silindrites liiguvad kolvid koos kolvivartega. Kolvivarte esimesed otsad on ühendatud traaversiga *3*, mis haarab õõnsa spindli eesmise osa ja sunnib seda liikuma ette või taha, vastavalt kolbide liikumise suunale.

Puurvardad läbivad õõnsa spindli ja kinnitatakse selles padruniga *6*. Hüdrauliliste silindrite tagumise otsa külge on šarniirselt kinnitatud puurvarda hoidja, mis hoiab spindli tühikäigul puurvardaid. Hüdrauliline ajam (mootor, pump, õlipaak ja juhtimise kraan) on monteeritud eraldi raamile. Surve spindlile ja puuripeale oleneb õli survest hüdraulilistes silindrites ja on muudetav suurtes piirides. Spindli pöörete arvu muutumine toimub rihmarataste vahetamisega. Pingi СБ-4 tehnilised andmed on toodud lisas XVI.

Sokolnõi maagikaevanduses saavutati puurpinkidega СБ-4 ja kolme näritsaga puuripeadega ДШ-10 puuraukude puurimisel kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga $f=14—18$ järgmised tulemused: puurimiskiirus kuni 12 m vahetuses; 1 m puuraugu puurimise maksumus 25 rbl.; puuripea vastupidavus 14 m kivimites $f=14$ ja 4 m kivimites $f=18$.

Keskmine puurimiskiirus süviperforaatoritega samas kaevanduses oli 8 m vahetuses, 1 m puuraugu maksumus 25 rbl. Haavelpuurimise keskmine kiirus oli 3 m vahetuses ja 1 m puuraugu maksumus 52 rbl.

§ 54. Puuraukude puurimine lahtistel töödel

Puuraukude puurimine tross-löökpinkidega. Tross-löökpuurimise põhimõte seisneb järgmises. Trossi otsa kinnitatakse raske (500—2000 kg) puurinstrument, mis lõpeb peitliga. Puurpingi abil tõstetakse puurinstrument puuraugu eest 0,9—1 m kõrgusele ja lastakse alla kukkuda. Kukkudes annab peitel puuraugu eele löögi ja purustab kivimit. Enne iga järjekordset lööki pööratakse puurinstrumenti teatud nurga võrra. Et peenestatud kivim ei segaks puurimist, juhitakse puurauku vett, mille tõttu purustatud kivim muutub pulbriks.

Tross-löökpinke kasutatakse 5 kuni 30 m kõrguste astmetega karjäärides puuraukude puurimiseks kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga $f>3$. Pehmetesse kivimitesse ($f=3—5$) puuritakse 150 mm läbimõõduga puuraugud, kõvematesse kivimitesse ($f\geqslant$) 200—

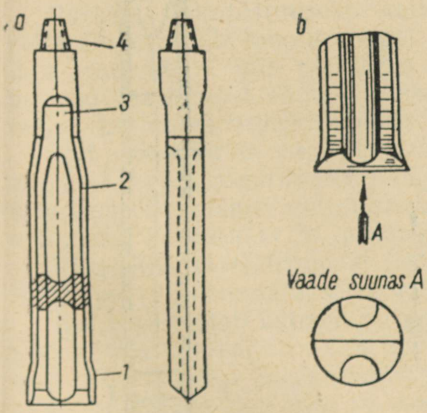
250 mm läbimõõduga (väiksema läbimõõduga puuraukudesse ei mahu küllaldase raskusega puurinstrument).

Puurinstrumendi komplekt, mida nimetatakse puraskiks, koosneb peitlist, vardast ja trossi lukust.

Peitel (joon. 169) on 1,5 kuni 0,7 m pikkune. Peitli varre läbimõõt on 0,75—0,80 nominaalsest puuraugu läbimõõdust (peitlipea läbimõõt või tera pikkus). Peitlipea võib olla kas meisli- või ristikujuline või eri profiiliga. Esimest neist kasutatakse kompaktseis kivimeis ja teisi lõhederikkais kivimeis. 1500 mm pikkuse peitli kaal on 115 kg (puuraukudele 150 mm läbimõõduga) kuni 320 kg (puuraukudele kuni 300 mm läbimõõduga).

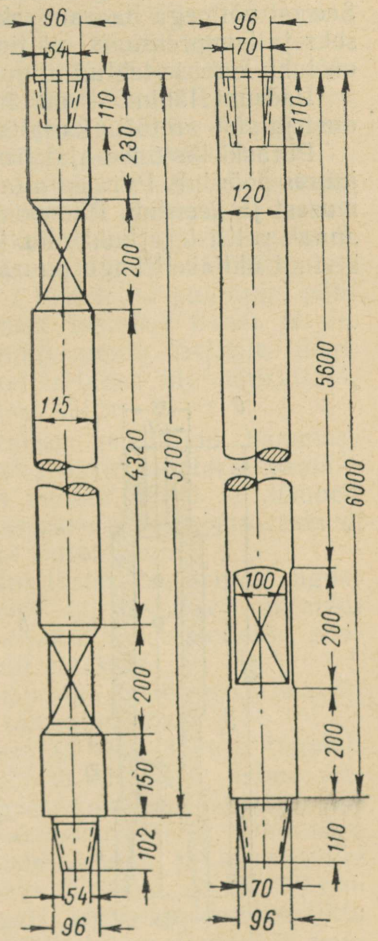
Varras (joon. 170) on puraski kaalu suurendamiseks ja ühendatakse peitliga koonilise keermetatud lukuga. Varda pikkus on 4—10 m, läbimõõt 0,65—0,80 puuraugu nominaalsest läbimõõdust ja ta kaalub 400 kuni 2400 kg. Varda ülemine ots ühendatakse trossi luku alumise otsaga.

Trossilukk (joon. 171, *a*) ühendatakse padruni (joon. 171, *b*) abil trossiga. Tross kinnitatakse järgmiselt. 19—26 mm jämedune



Joon. 169. Tross-löökpuurimise peitlid.

a — peitel lõhedeta kivimite puurimiseks; *b* — peitel lõhelise kivimi puurimiseks; *1* — peitlipea; *2* — peitlivars; *3* — võtmepesa; *4* — keermestatud koonus.



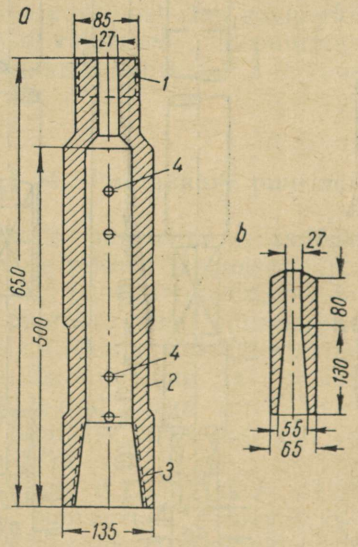
Joon. 170. Puraski varras.

terastross pistetakse läbi luku selle kaela poolt. Lukust läbipistetud trossi otsa pannakse padrun. Padrunist läbitulnud tross seotakse 200 mm kaugusel otsast traadiga kinni ja ots harutatakse üksikuteks traatideks. Traadid keeratakse kõveraks ja pistetakse padruni koonilisest otsast sisse (padruni seinte ja trossi vahele). Seejuures tekib sõlm. Pärast seda tõmmatakse tross koos sellele kinnitatud padruniga tagasi ja padrun asub oma kohale trossiluku kanalis.

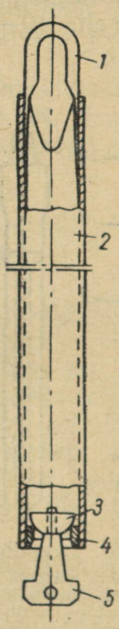
Trossiluku pea *1* (joon. 171) on väljastpoolt keermetatud. Sellega kergendatakse trossi katkemise korral ta haaramist püüderiistaga. Luku alumises otsas on vardaga ühendamiseks kooniline keere. Keermest kõrgemal on luku kere ruudukujulise ristlõikega *2*. See on võtmega haaramiseks vardaga ühendamisel. Õhu väljumiseks ja kompressiooni vältimiseks padruni liikumisel luku kanalis on luku keresse tehtud augud *4*.

Padruni läbimõõt on 3—5 mm väiksem luku kanali läbimõõdust ja võib seetõttu kanalis vabalt pöörelda.

Puraski tõstmise ajal tross venib ja keerdub lahti. Purask seejuures pöördub. Puraski allalangemise alguses vabaneb tross koormusest ja keerdub. Padrun keerleb lukus koos trossiga. Seetõttu annab peitli tera kukkudes löögid erinevais asendeis ja purustab kivimit ühtlaselt kogu puuraugu ee pinnal.



Joon. 171. Trossilukk.



Joon. 172. Torupang.

Aeg-ajalt (pärast 0,5—2 m puurimist) puurimine katkestatakse, purask tõstetakse puuraugust välja ja puurauk puhastatakse pulbrist, mille järel puurimist jätkatakse.

Puuraugu puhastamine toimub torupangega (joon. 172), mis lastakse alla sanga *1* külge kinnitatud trossiga. Toetudes vastu puuraugu ett, tõstab varras *5* üles klapipesale *4* toetuva klapi *3* ja pulp täidab toru *2*. Puuraugust väljatõstetud torupang viiakse puuraugu kohalt kõrvale. Pulbi väljalaskmiseks tõstetakse klapp üles konksu abil, mis pistetakse varda silma.

Tross-löökpuurimise pinkidest on kõige enam levinud Magnitogorski tehase pink БУ-2-20.

Puurpingi БУ-2-20 tehnilised andmed on toodud lisas XVII.

Pingi kinemaatiline skeem on toodud joonisel 173. Pöörlemine antakse elektrimootorilt *11* edasi rihmajami *10* abil peavõllile *14*. Võllilt *14* antakse pöörlemine edasi kas läbi hõõrdsiduri *18* töötrumlile *9* või läbi hõõrdsiduri *19* hammasrattale *12*, millel on vända sõrmtapp *17*, või hõõrdseibide *20* ja *21* kaudu torupangetrumlile *13* või (pingi liikumisel) roomikute tähtratastele.

Puurimise ajal antakse peavõllilt pöörlemine edasi väntmehhanismi hammasrattale *12*. Hammasratta *12* pöörlemisel paneb vändatapi *17* poolt ringiaetav keps *15* kiikuma balanssiiriraami *7*, kusjuures ratas *6* tõuseb ja laskub alla. Ratta *6* allalaskumisel tõmmatakse tross *2* pingule ja purask *1* tõstetakse puuraugu põhjast üles. Balanssiiriratta ülesliikumisel lastakse trossi järele, purask langeb puuraugu ee pinnale ning annab kivimile löögi. Tross *2* on kinnitatud töötrumlile *9*, kust ta läheb üle juhtratta *8*, balanssiiriratta *6* ja mastiratta *3* puraski külge.

Puraski väljatõstmiseks katkestatakse puurimine hammasratta *12* peavõllilt lahutamisega. Pärast seda ühendatakse peavõlliga trummel *9*, mis pööreldes kerib endale trossi ja tõmbab puraski puuraugust välja. Puurauku lastakse purask oma raskuse mõjul, kusjuures trumlit *9* pidurdatakse lintpiduriga.

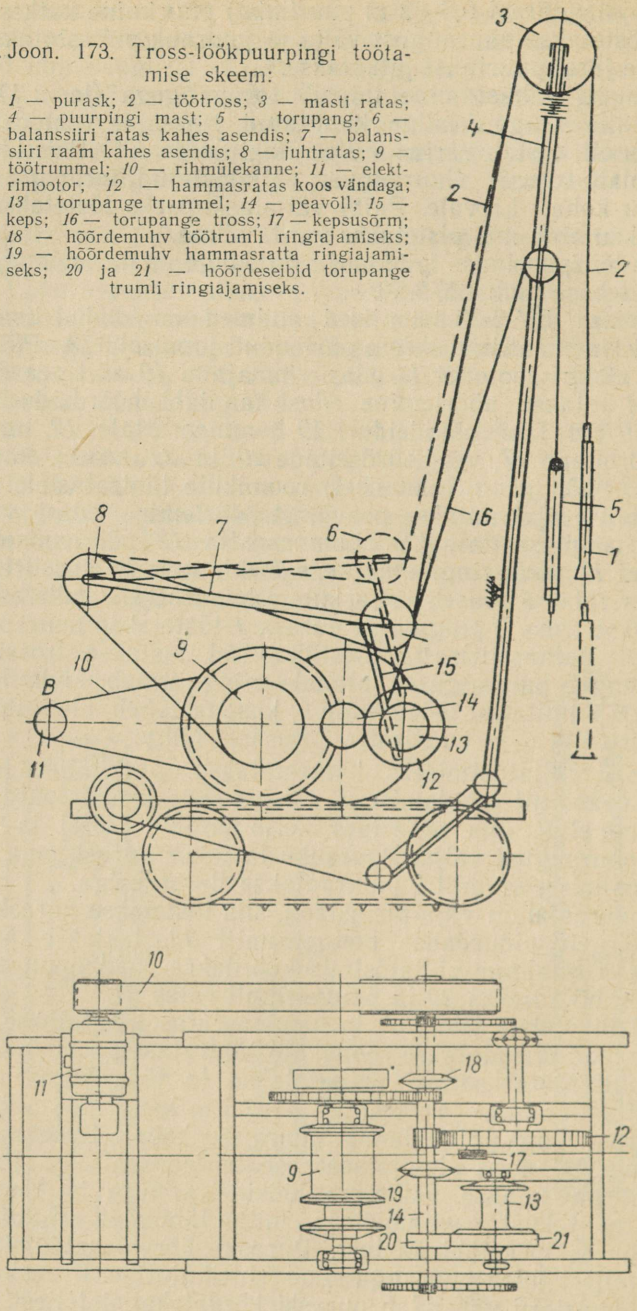
Kui puurauku on vaja puhastada, siis tõstetakse purask august välja. Kergelt pidurdades pangetrumlit *13*, lastakse puurauku torupang. Torupange väljatõstmiseks viiakse kokkupuutesse peavõllil olev hõõrdratas *20* ja pangetrumli ratas *21*.

Pingi liikumisel trummel ja hammasratas lahutatakse peavõllist ja peavõll ühendatakse roomikute tähtratastega.

Kui pink töötab astmel, paigutatakse ta töö ohutuse tagamiseks risti astme eega ja vähemalt 3—2,5 m kaugusele astme servast. Pärast pingi paigaldamist puuraugu kohale tõstetakse pingi raam tungraudadega üles ja seatakse horisontaalseks. Puuraugu puurimist alustatakse väiksema löökide arvuga ja kasutatakse 1,2—1,5 m pikkust suunamistoru, mille läbimõõt on 30—50 mm suurem puraskipea läbimõõdust. Puraski kõrvalekaldumise tõttu suudme teljest tuleb puuraugu suue lehtrikujuline. Puraskile pandud suunamistoru vähendab puraski kõrvalekallet teljest ja aitab

Joon. 173. Tross-löökpuurpingi töötamise skeem:

1 — purask; *2* — töötross; *3* — masti ratas; *4* — puurpingi mast; *5* — torupang; *6* — balanssiiri ratas kahes asendis; *7* — balanssiiri raam kahes asendis; *8* — juhtratas; *9* — töötrummel; *10* — rihmülekanne; *11* — elektrimootor; *12* — hammasratas koos vändaga; *13* — torupange trummel; *14* — peavõll; *15* — keps; *16* — torupange tross; *17* — kepsusõrm; *18* — hõõrdemuhv töötrumli ringiajamiseks; *19* — hõõrdemuhv hammasratta ringiajamiseks; *20* ja *21* — hõõrdeseibid torupange trumli ringiajamiseks.



kaasa kiiremale üleminekule lehtrilt silindrile. Pärast puuraugu puurimist 1—1,5 m sügavuseni kinnitatakse toru augu suudmesse ja minnakse üle normaalsele puurimisrežiimile. Puurimise ajal jälgib puurpingi tööline trossi pinget ja vastavalt puuraugu süvenemisele vabastab töötrumli piduri ning, lastes tal natuke pöörduda, annab trossi järele.

Puurimise ajal valatakse puurauku vett. Vee kulu on 20 kuni 120 l 1 jm puuraugu kohta. Vee kulu sõltub kivimi füüsikalis-mehaanilistest omadustest ja eriti selle kõvadusest ja struktuurist. Kompaktses lõhedeta kivimis saadakse 30—60 l vee kulu juures 1 m puuraugu kohta paks pulp, 60—90 l vee kulu juures keskmise paksusega pulp ja 90—120 l juures vedel pulp.

Mida rohkem on puuraugus pulpi ja mida paksem see on, seda rohkem on takistatud puraski langemine ja seda väiksem on löögi tugevus. Vedel pulp ja sagedane augu puhastamine ei ole siiski otstarbekas järgmistel põhjustel: sagedal augu puhastamisel suureneb abioperatsioonide hulk ja puhta puurimisaja protsent ning pingi tootlikkus vahetuses langevad; suured kivimitükid langevad vedelast pulbist välja puuraugu põhja ja pihustatakse seal peitliga täiendavalt, mille tõttu puhas puurimiskiirus langeb.

Igal konkreetsel juhul tuleb katseliselt leida kõige ratsionaalsem pulbirežiim. Praktikas kasutatavad keskmised pulbirežiimid on järgmised:

keskmise kõvadusega ja kõvades kivimites puhastatakse puurauku iga 0,5—1 m järel, vee kulu on 50—80 l/m;

alla keskmise kõvadusega kivimites puhastatakse iga 1,5—2 m järel, vee kulu on 30—60 l/m;

väga lõhestatud kivimites puhastatakse puurauku iga 3—5 m järel ja vee kulu on üle 80 l/m, sest osa pulpi voolab ära lõhesid mööda.

Pehmetes kivimites kulub puuraugu puhastamiseks kuni 30% puhtast puurimisajast, väga kõvades kivimites umbes 10%. Keskmiselt vältab puuraugu puhastamine 4 minutit, puraski vahetamine 18 minutit, pingi liikumine ühe augu juurest teise juurde 25—30 minutit; vahetuse vastuvõtmine-üleandmine ning pingi ülevaatamine ja määrimine 30 minutit.

Tööpink töötab kahes vahetuses, kolmandas vahetuses tehakse profülaktilist ülevaatust ja remonti.

Puraski kaal peab olema seda suurem, mida suurem on puuraugu läbimõõt ja kivimi kõvadus. Praktika põhjal on puraski kaalu määramiseks välja töötatud järgmine kriteerium:

$$Q = qD, \tag{133}$$

kus Q on puraski kaal kg;

q — puraski kaal lõiketera pikkuse 1 mm kohta, mis peab olema pehmete kivimite ($f=3$) puurimisel 2 kg/mm, kesk-

miste kivimite (f=4—8) puhul 3—4 kg/mm ja kõvade kivimite puhul 4—6 kg/mm;

D — puuraugu nominaalne läbimõõt mm.

Tegelik puuraugu läbimõõt on kõvades kivimites 5—10%, keskmise kõvadusega kivimites 15—20% ja pehmetes kivimites 20—30% suurem nominaalsest läbimõõdust (seinte kulumise tõttu).

Puurpingi mootori võimsus määratakse valemiga

$$N = \frac{Q h n k}{0{,}5 \cdot 60 \cdot 102\, \eta}, \qquad (134)$$

kus Q on puraski kaal kg;

h — puraski tõstekõrgus m;

n — löökide arv minutis;

k — võimsuse tagavarakoefitsient kinnijäänud puraski lahtitõmbamiseks, võetakse 1,3—1,5;

η — puurpingi ülekannete kasutegur, võetakse 0,8—0,9;

0,5 — koefitsient, mis arvestab, et puraski tõstmine toimub umbes poole puurimise perioodi kestel.

Jaoskonnas (või kogu karjääris) vajalike puurpinkide arv määratakse valemiga

$$N = \frac{v \cdot K_r}{2\, LV}, \qquad (135)$$

kus v on jaoskonna (või karjääri) toodang m³;

V — 1 m puuraugu kohta lõhkamisel saadav kivimi hulk m³;

L — puurpingi tootlikkus vahetuses (määratakse normide kogumiku järgi) m;

K_r — puurpinkide tagavarakoefitsient, mis arvestab nende seisakut kapitaal- ja keskmise remondi ajal, võetakse 1,2—1,3.

Puurpingi tootlikkust vahetuses võib määrata järgmistest tingimustest.

Löögi töö puraski langemisel võrdub

$$A = \frac{mV^2}{2} = \frac{Q 2jh}{2g} = \frac{5{,}6\, Qh}{9{,}81} = 0{,}57\, Qh \text{ kgm},$$

kus m on puraski mass,

Q — puraski kaal kg,

h — puraski langemis- (tõste-) kõrgus m,

g — vabalangemise kiirendus, 9,81 m/sek²,

j — puraski langemise kiirendus (olenevalt pulbi hulgast ja kontsentratsioonist kõigub 4,8 kuni 6,4 m/sek²); võetud j=5,6 m/sek².

Sellest lähtudes on puraski töö 1 minuti kestel

$$A_{min} = An = 0{,}57\ Qhn \text{ kgm},$$

kus n on puurpingi löökide arv minutis.

Jagades puraski töö puuraugu ee pinnaga ja puurimise eritööga, saame puurimise kiiruse minutis

$$l = \frac{A_{min}}{aS} = \frac{An}{aS} \text{ m/min}.$$

Teoreetiline puurpingi tootlikkus vahetuses

$$L = Tl\eta = \frac{480\ An\ \eta}{aS} = \frac{480 \cdot 0{,}57\ Q\ h\ n\ \eta}{a\ \frac{\pi d^2}{4}}.$$

Võttes puhta puurimisaja koefitsiendi väärtuseks selle keskmise $\eta = 0{,}55$, siis puurpingi tootlikkus vahetuses

$$L = \frac{190\ Q\ h\ n}{ad^2} \text{ m}, \qquad (136)$$

kus S on puuraugu ee pind m²;

T — vahetuse kestus 480 min.;

d — puuraugu nominaalne läbimõõt m;

a — puurimise eritöö, s. o. töö, mis kulub 1 m³ puuraugu puurimiseks kgm/m³. Antud puurimisviisi ja meisli, risti- ning sõrakujulise peitli puhul võib võtta $a \approx (25000 \div 30000)\ \sigma_s$ kgm/m³ ehk $a \approx (25000 \div 30000)\ 100\ f$ kgm/m³; kus σ_s on kivimi survetugevus kg/cm² ja f — kivimi kõvaduskoefitsient prof. M. M. Protodjakonovi järgi.

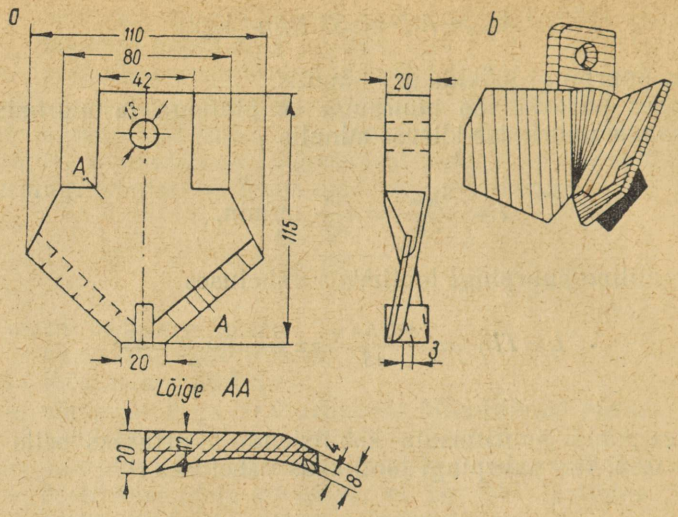
Lubjakivi (kõvaduskoefitsiendiga $f = 8$) puurimisel on puurpingi БУ-2 tootlikkus vahetuses 10—12 m. 200 mm läbimõõduga puuraugu jooksva meetri maksumus on 25—30 rbl.

Puurpinki БУ-2 kasutatakse 200—230 mm läbimõõduga puuraukude puurimiseks kõvadesse kivimitesse. Suurema läbimõõduga puuraukude ja kõvematesse kivimitesse puurimisel kasutatakse puurpinki БС-1 (vt. lisa XVII).

Puuraukude puurimine keerd-puurpinkidega. Söekarjäärides on puuraukude keerdpuurimine kergete puurpinkidega laialt levinud nii söes kui ka kivimeis kõvaduskoefitsiendiga kuni 4—5 prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi.

Puurimisinstrumendina kasutatakse kahe või kolme (lõhelistes kivimites) labaga kõvasulamist plaadikestega armeeritud lõiketerasid (joon. 174).

Puurvardad valmistatakse torust. Toru *1* ümber keeratakse kruvijoont mööda ja keevitatakse kinni teraslint *2* (joon. 175).



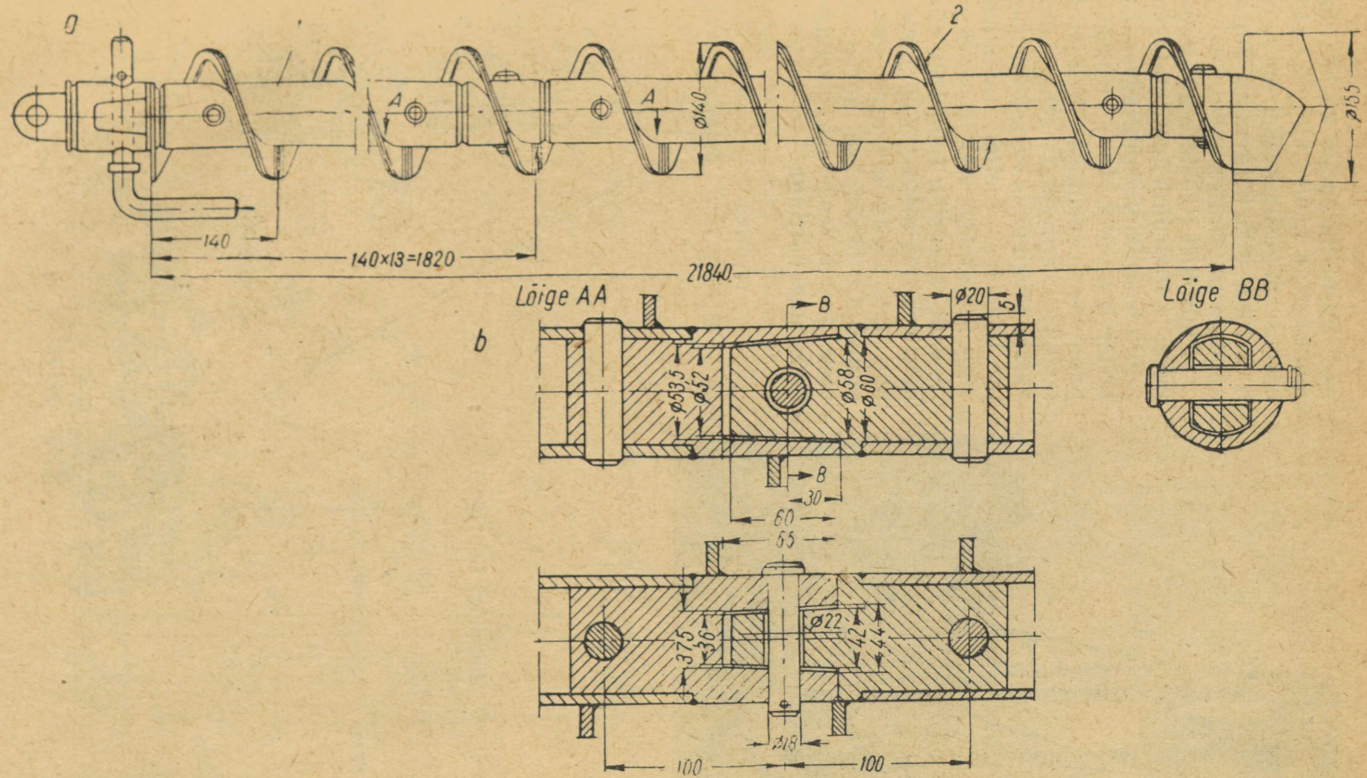
Joon. 174. Puurinstrument pinkidele БС-110/25 ja ПБС-110: *a* — kahe labaga puuripea; *b* — kolme labaga puuripea.

Puurvarda mõõtmed sõltuvad puuritava augu läbimõõdust ja puurpingi masti kõrgusest. Puurpinkidega ПБС-110 ja БС-110/25 puuritakse kuni 110 mm läbimõõduga ja 25 m sügavusi puurauke. Nendel puurpinkidel kasutatakse 2 m pikkusi puurvardaid, mis on tehtud 51 mm läbimõõduga torust. Teo keermed tehakse 20—25 mm laiusest lintterasest. Teo keerme samm on 60—80 mm. Teo läbimõõt peab lõiketera läbimõõdust olema 10—15 mm võrra väiksem.

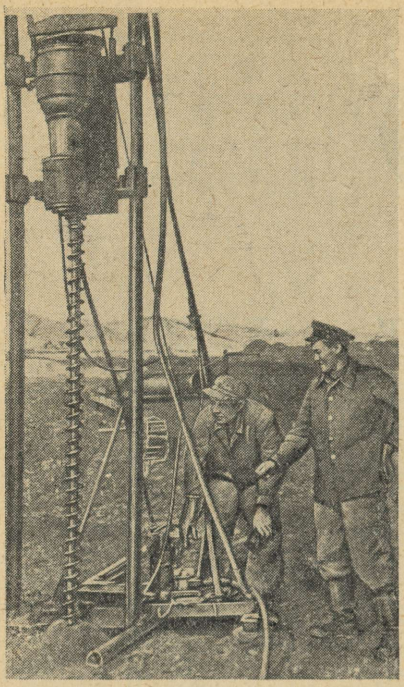
150 mm läbimõõduga puuraukude puurimiseks tehakse puurvardad 75 mm jämedustest ja 3—4 m pikkustest torudest. Teo läbimõõt on 140 mm ja samm 120 mm.

Vertikaalsete ja kallakute puuraukude puurimiseks on kõige enam levinud puurpingid ПБС-110 ja БС-110/25.

Karpinski masinaehitustehas valmistab puurpinke ПБС-110 (joon. 176) 35—50 mm jämedustest torudest. Pingi ehitus on järgmine. Puurpink on paigutatud kahele jalasele, mis on otstelt ja keskelt ühendatud põiktaladega. Jalaste eesmisel otsal asetseb mast. Masti torud on ülemises otsas ühendatud põikplaadiga, mille külge on kinnitatud trossi ots ja plokk. Masti toetavad külgedelt ja tagantpoolt kaldtoed. Tagumiste kaldtugede küljes on käsivints. Masti torude vahel liigub vintsi ja trossi abil puuragregaat. See koosneb elektrimootorist ja reduktorist koos puurvarraste padruniga. Elektrimootor ja reduktor on monteeritud ühisele raamile, mille külge on kinnitatud masti torusid mööda libisevad juhtrõn-



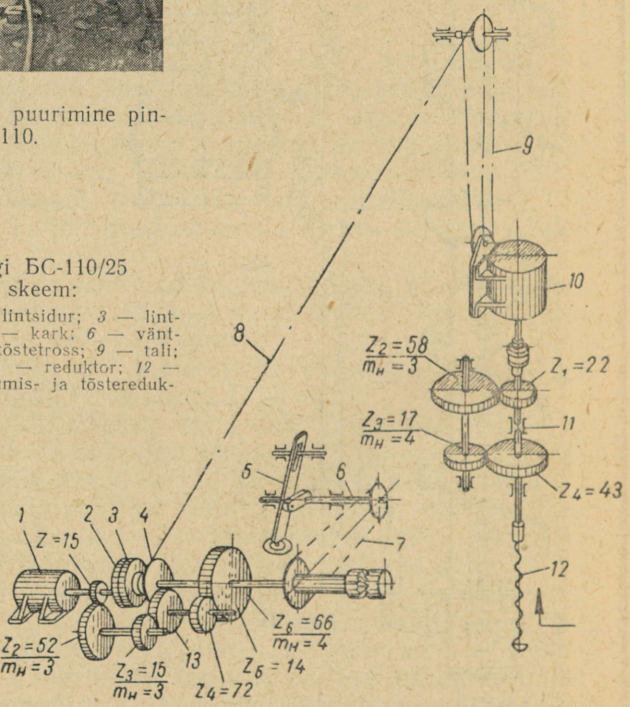
Joon. 175. Puurvarras (*a*) ja lukud (*b*) puurvarraste ühendamiseks.



Joon. 176. Puuraukude puurimine pingiga ПБС-110.

gad. Torni paremale küljele on monteeritud käiviti kilp. Jalaste eesmise põiktala keskel on suunav toru, mis kergendab augu suudme puurimist.

Puurimist teostatakse järgmiselt. Puurpink paigutatakse puurimiskohale, puuragregaat tõstetakse üles ja puurvarras pannakse padrunisse. Seejärel lastakse agregaat alla, kuni varras läheb suunavasse torusse ja lõiketera toetub kivimile, ning lülitatakse vool sisse. Agregaadi raskusjõu toimel tungib lõiketera kivimisse. Kui puurauk on varda pikkuses sisse puuritud, tõstetakse agregaat üles ja puurvarrast pikendatakse uue vardaga.



Joon. 177. Puurpingi БС-110/25 kinemaatiline skeem:

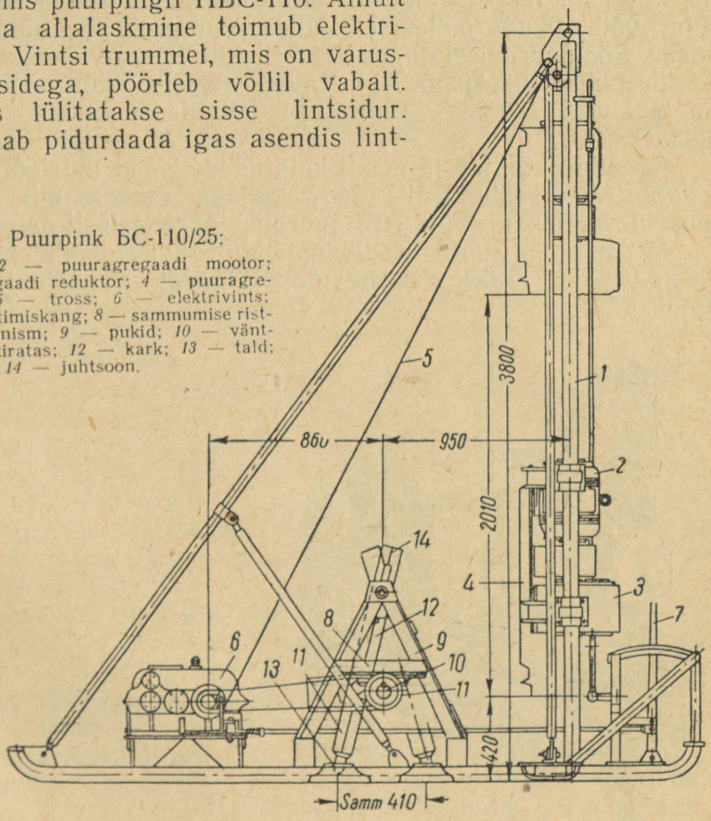
1 — elektrimootor; *2* — lintsidur; *3* — lintpidur; *4* — trummel; *5* — kark; *6* — väntvõll; *7* — kett; *8* — tõstetross; *9* — tali; *10* — elektrimootor; *11* — reduktor; *12* — puurvarras; *13* — sammumis- ja tõstereduktor.

Teo keermega puuraugust väljaveetav kivim roogitakse labidaga kõrvale. Kui puurauk on puuritud projekteeritud sügavuseni, lastakse puuraugu puhastamiseks puurjahust puurvarrast pöörelda väljalülitatud ettenihkega 1—2 minutit. Soovitav on enne seda valada puurauku 1—2 pange vett, et tuua paremini välja puurjahu ja tugevdada puuraugu seinu.

Üksikute puurvarraste lahtivõtmisel hoitakse varraste august väljatõstmise ajal puurvarraste komplekt ülal erilise hargiga, mis pannakse varda keermete vahele.

Vahetuse jooksul puuritakse puurpingiga söesse 120—150 m puurauku. Pinki teenindab kaks töölist. Puurpinki nihutatakse edasi kas käsitsi või pingi käsivintsi abil. Puurpink kaalub umbes 500 kg.

Seda tüüpi moderniseeritud puurpinki sammuva käigumehhanismiga ning elektrivintsiga tõstmiseks ja allalaskmiseks toodetakse margina БС-110/25. Selle kinemaatiline skeem on toodud joon. 177 ja üldvaade joon. 178. Puurimisprotsess selle pingiga on sama mis puurpingil ПБС-110. Ainult tõstmine ja allalaskmine toimub elektrivintsi abil. Vintsi trummel, mis on varustatud puksidega, pöörleb võllil vabalt. Tõstmiseks lülitatakse sisse lintsidur. Trumlit saab pidurdada igas asendis lint-



Joon. 178. Puurpink БС-110/25:
1 — mast; *2* — puuragregaadi mootor; *3* — puuragregaadi reduktor; *4* — puuragregaadi raam; *5* — tross; *6* — elektrivints; *7* — vintsi juhtimiskang; *8* — sammumise ristpea-väntmehhanism; *9* — pukid; *10* — väntvõll; *11* — ketiratas; *12* — kark; *13* — tald; *14* — juhtsoon.

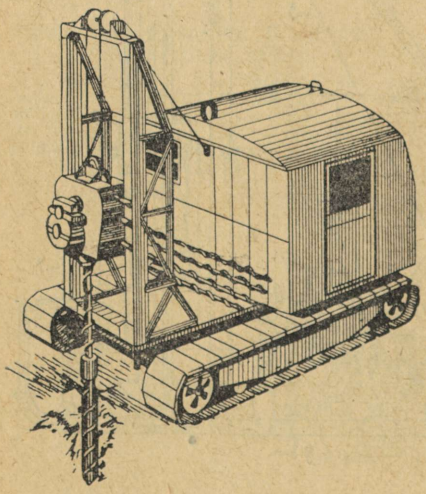
piduri abil. Siduri ja piduri lülitamine on blokeeritud ja toimub kangiga *7*. Vintsil ja sammuval mehhanismil on ühine mootor. Reduktorit ühendab käigumehhanismiga kettülekanne.

Sammuv mehhanism *8* on järgmise ehitusega. Puurpingi jalaste külge on ühendatud kaks pukikujulist raami *9*. Nende ülemised otsad on ühendatud võlliga. Keskel on raamide küljes põiktoed, mille küljes on väntvõlli *10* laagrid. Võlli otsas on ketiratas *11*, mis elektrimootori abil paneb väntvõlli pöörlema. Pööreldes tõstab väntvõll üles ja laseb alla kargu *12*, mis on laagri kaudu kinnitatud võlli vändale. Kargu alumises otsas on šarniirselt kinnitatud tald *13*. Kargu ülemises otsas on juhtsoon *14*, millest käib läbi pukke *9* ühendav võll.

Kui väntvõll laseb pöörlemisel kargu *12* alla ja sellele toetub, siis tõstab ta puki *9* koos pingiga üles ja viib seda edasi. Edasisel pöörlemisel tõstab võlli vänt kargu *12* üles, tõstab selle pingi liikumise suunas edasi ja paneb uuesti maha. Nii toimub pingi sammumine. Kui pink on üles tõstetud, siis võib seda käsitsi pöörata ja seega liikumise suunda muuta. Liikumise kiirus on 0,3 km/h. Pink võib liikuda mõlemas suunas. Puurpinki teenindab üks inimene. Sõe puurimisel on pingi tootlikkus 150 m vahetuses, savikiltkivide puhul 30—50 m. Puuritavate aukude pikkus on kuni 25 m ja läbimõõt 110 mm. Puurpingi tehnilised andmed on toodud lisas XVIII.

Ühendusdetailide ja masti kaldtugede konstruktsiooni mõninga muutmisega saab tornile anda kallaka asendi, mis võimaldab puurida kallakaid (kuni 70°) puurauke paralleelselt astme seinaga.

150 mm ja suurema läbimõõduga puuraukude puurimiseks kasutatakse rasket roomikutel liikuvat puurpinki БСУ-150 (joon. 179).



Joon. 179. Puurpingi БСУ-150 üldvaade.

Vahelduva kõvadusega kivimites kasutatakse puuraukude puurimiseks kombineeritud puurpinke. Need on tavalised tross-löökpuurpingid, mis on keerdpuurimisele üleminekuks varustatud järgmiste rakistega. Puurpingi masti külge kinnitatakse kaks juhttoru, mida mööda keerdpuurimise agregaat liigub üles-alla. Agregaat ripub torupange trossi otsas ning teda tõstetakse üles ja lastakse alla torupange trumliga.

Kui kohatakse kõvu kivimeid, viiakse puurpink üle löökpuurimisele. Selleks võetakse keerdpuurimise agregaat koos juhttorudega maha ja tõstetakse pingi raami külge tehtud kronsteinidele. Torupange tross võetakse puuragregaadi küljest lahti ja seotakse torupange külge. Pärast seda alustatakse harilikku löökpuurimist.

Karpinski masinaehitustehas valmistab ПВБ-150 tüüpi keerdpuurimise seadmeid tross-löökpuurimise pinkidele БУ-2.

Horisontaalsete ja horisondi suhtes ±12° nurga all kallakute puuraukude puurimiseks kasutatakse puurpinki «Sibirjak». See pink on monteeritud veoauto ГАЗ-51 raamile. Puurvarrastele pöörleva ja ettenihkeliikumise andmine ning ka puurpingi edasiliikumine toimub pingi raamile monteeritud kolmelt elektrimootorilt. Pingiga puuritakse kuni 200 mm läbimõõduga ja 20 m pikkusi puurauke.

Ülalkirjeldatud puurpinkide tehnilised andmed on toodud lisas XVIII.

Kõiki ülalmainitud puurpinke (välja arvatud kombineeritud pingid) ja puurinstrumenti kasutatakse puuraukude puurimiseks kivimitesse, mille kõvaduskoefitsient on kuni 4—5.

Keerdpuurimisel kõvematesse kivimitesse tuleb kasutada võimsamaid ja raskemaid puurpinke ning puurinstrumendina näritspäid. Kõvadesse kivimitesse puuritakse lõhketöödeks puurauke sammas-puurpinkidega.

1957. a. katsetati karjäärides edukalt iseliikuvat keerdpuurmasinat БМВС-1. Masin on valmistatud traktori С-80 baasil. Kõvadesse kivimitesse puurib masin puurauke näritspeadega ja pehmematesse kahe- ja kolmelabaliste lõiketeradega. Kõvades kivimites saavutas masin kõrgema tootlikkuse kui puurpink БУ-2. Masin БМВС-1 võib puurida vertikaalseid ja kallakaid 150 kuni 225 mm läbimõõduga puurauke. On asutud masina seeriaviisilisele tootmisele.

Välismaal on levinud puurpingid «Joy» 58-BH. Pink kaalub 22 t ja liigub roomikutel. Puurpink töötab 37 kW elektrimootori jõul. Surve andmine puurile ja puuraugu puhastamine puurjahust toimub suruõhuga. Puurpink on varustatud 15,6 m³/min. tootlikkusega kompressoriga, mis töötab 90 kW elektrimootorilt ja 3,7 kW elektrimootoriga tsentrifugaaltolmupüüdjaga. Masti kõrgus võimaldab kasutada 12 m pikkusi puurvardaid. Telgjõud lõiketerale on 12—16 t, pöörete arv 40—80 minutis. Porfüürides ja

kvartsiitides on saavutatud keskmine puurimiskiirus 9,4 m/h. Puuraugu läbimõõt on 185—187 mm, sügavus 7—12 m. Puurinstrumendina kasutatakse kolme näritsaga pead.

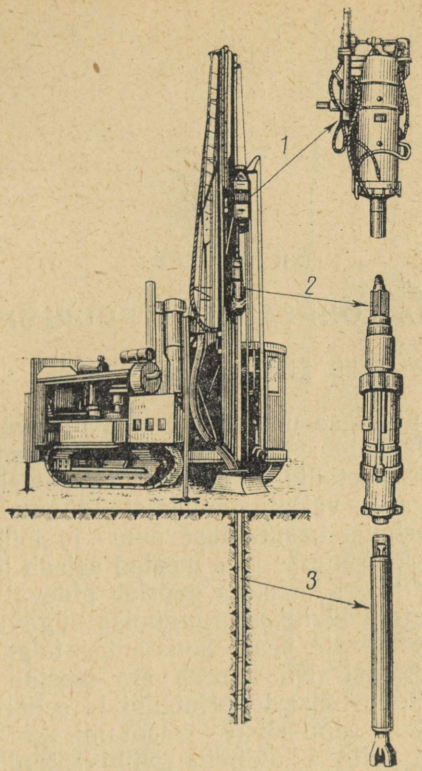
Käesoleval ajal on Ameerika Ühendriikides ja teistes maades pealmaatöödel kõige rohkem levinud «Bucyrus Erie» tüüpi puurpingid 29-T, 42-T ja 50-T puraski kaaluga 1200 ja 2700 kg. Puuraugu läbimõõt on 228—300 mm. Nende puurpinkide konstruktsioon on täiustatud ja mõnevõrra erinev puurpinkidest БУ-2 ja БС-1. Nii kasutatakse puurpingi «Bucyrus Erie» kiireks paigaldamiseks kolme hüdraulilist tungrauda; peitlite otsa- ja mahakeeramine toimub erilisel pöördkettal automaatselt. Peitlile mõjuva jõu suuruse fikseerimiseks kasutatakse hüdraulilisi indikaatoreid.

Löökpuurimise pinkide kõrval on laialt levinud iseliikuvad pingid «Bucyrus Erie» 50K. Kaevanduse Calaveras (USA) andmeil oli keskmise ja üle keskmise kõvadusega kivimites näritspeaga puurimisel puurpingiga «Bucyrus Erie» 50K tootlikkus 45,3 m ja trosslöökpuurimisel pingiga «Bucyrus Erie» 29-T vastavalt 5 m vahetuses.

Ameerika Ühendriikides kasutatakse 50—80 mm läbimõõduga ja 7—10 m sügavuste puuraukude puurimisel ka iseliikuvaid puurvankreid suruõhupuurvasaratega. Nii näiteks kasutatakse vasemaagi kaevanduses «Utah» ja Nevada osariigis roomikuil liikuvaid sammaspuurvasaraga puurvankreid. Puurvasar töötab 11 m^3/min. tootlikkusega individuaalselt kompressorist saadava suruõhuga. Kompressor ja 93 hj võimsusega diiselmootor on monteeritud puurvankrile. Porfüüridesse puurimisel on tootlikkus 5—6 m/h. Maagikaevanduses «Utah» oli üldise puurimistööde 800 m ööpäevase mahu juures maagi saagis 1 m puuraugu kohta 100 t.

Puurvankritega võrreldes on roomikuil liikuv «Quarrymaster»-tüüpi puuragregaat täiuslikum. See agregaat kujutab endast iseliikuvat masinat, mis on varustatud võimsa suruõhupuurvasaraga, suunava mastiga ja kahe à 11 m^3/min. tootlikkusega kompressoriga. Puurvasara kolvi läbimõõt on 200 mm ja löökide arv minutis 200. Puuritakse kõvasulamiga armeeritud ristikujuliste puuripeadega. Puuraugud on 152 mm läbimõõduga ja kuni 20 m sügavused. Ettenihe antakse puurvasarale mootorilt. Puurimise tootlikkus on kõvadesse kivimitesse kuni 2—3 m/h ja pehmetesse kuni 25 m/h. «Quarrymaster»-tüüpi puurseadmeid kasutatakse Manono tinamaagi kaevanduses (Kongo), Borvou tsingimaagi kaevanduses (Kanada), New Cornelia maagikaevandustes (USA) ja mujal.

Viimasel ajal on peale puurpinkide «Quarrymaster» välja lastud uut tüüpi puurvasaratega agregaadid «Challenger» ja «Drillmaster». Iseliikuv agregaat «Challenger» on monteeritud kolmerattalisele diiselmootoriga varustatud šassiile. Puurvasar, mille kolvi läbimõõt on 133 mm, on monteeritud 10 m kõrgusele mas-



Joon. 180. Universaalne puurpink «Drillmaster»:

1 — keerdagregaat; *2* — löögiagregaat; *3* — süviperforaator.

tile. Puurpingi tootlikkus Mesabi maagikaevanduses graniitidesse puurimisel on 18 m vahetuses. Firma «Ingersoll-Rand» universaalne «Drillmaster»-tüüpi puurpink (joon. 180) on varustatud suure võimsusega perforaatoriga, suruõhuvasaraga, puuri pööramise seadisega ja teda võib kasutada puurimiseks tavaliste ja näritspeadega.

XII PEATÜKK

UUED PUUR- JA LÕHKEAUKUDE PUURIMISE MEETODID

§ 55. Löök-keerdpuurimine

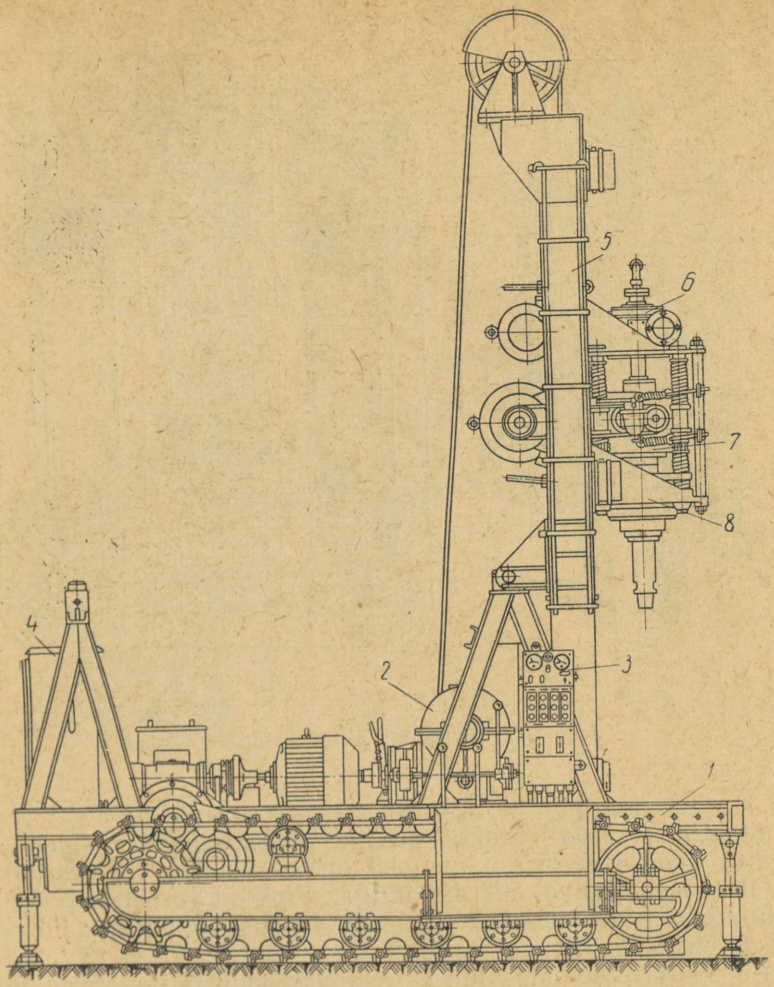
Praktikas kasutatakse uutest puur- ja lõhkeaukude puurimise meetoditest ainult kahte: löök-keerd- ja termopuurimist. Lõhkeaukude puurimise meetodid elektrisädemega, elektro-hüdrauliline ja ultraheliga on alles väljatöötamise staadiumis.

Löök-keerdpuurimist kasutatakse puur- ja lõhkeaukude puurimiseks kõvadesse kivimitesse. See meetod seisab järgmises. Kõrge telgsurve all olev puuri lõiketera pöörleb pidevalt ja lõikab kivimist laastu. Lõiketera kivimisse tungimise sügavuse suurendamiseks rakendatakse terale peale konstantse telgsurve veel teljesuunalisi löökkoormusi. Nii haarab see meetod üheaegselt nii keerd- kui ka löökpuurimise tööprintsiibi ja eelised.

Ettepanek löök-keerdpuurimise kasutamiseks tehti juba kaua aega tagasi, kuid selle elluviimine viibis tunduvalt vastavate masinate loomise keerukuse tõttu. Nüüd on need masinad loodud ja nende tööstuslik katsetamine andis väga häid tagajärgi.

Joon. 181 on toodud puuraukude löök-keerdpuurimise pingi УВБ-25 üldvaade. Pink on monteeritud roomikutele. Raamil *1* asetsevad mootorid, tõste- ja allalaskevints *2*, juhtimispult *3*, juhtimissõlm *4*, metallist mast *5*, mida mööda liigub pöörlemis-sõlmest *6*, vibrovasarast *7* ja vankrist *8* koosnev puuragregaat.

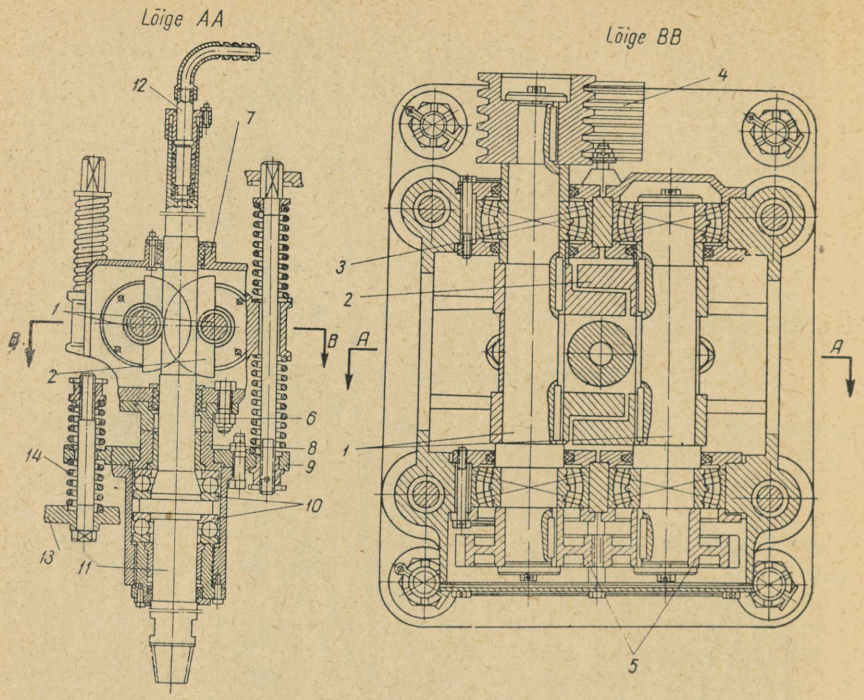
Vibrovasara konstruktsioon on toodud joon. 182. Kahele võllile *1* on paarikaupa kinnitatud neli debalanssiiri *2*. Võllide otsad asetsevad terasest valatud korpuses paiknevais sfäärilistes kuullaagrites *3*. Elektrimootorilt kantakse pöörlemine debalanssiiride võllidele kiilrihmajamiga *4* ja sünkroniseerivate hammasratastega *5*. Debalanssiiride pöörete arvu (vibreerimise sagedust) saab muuta kiilrihmarataste vahetamisega. Vibratsioonijõu suurust saab muuta debalanssiiride vahetamisega. Vibrovasara pinn *6* on jäigalt ühendatud ta korpusega *7* ja annab löögid vaheplaadi *9* külge kinnitatud alasile *8*. Tugilaagrite *10* kaudu antakse vibratsioon alasilt *8* edasi õõnsale spindlile *11* ja puurtorudele, mis on spindliga ühendatud koonilise keermega. Spindli ülemise otsa



Joon. 181. Löök-keerdpuurimise pink УВБ-25.

külge on tihendkarbi *12* abil ühendatud voolik, mille kaudu antakse vett puuraugu uhtumiseks. Uhtumisvee pumbana kasutatakse tigupumpa BHM-18-2.

Vibrovasar on vaheplaadi *9* ja vedruamortisaatori *14* abil ühendatud vankriga *13*. Piki masti liigub vibrovasar vankri *13* ja vintsi trossi abil. Masti saab töö ajal paigutada horisondi suhtes 60—90° nurga all. Sel viisil saab puurpingiga puurida nii vertikaalseid kui ka kallakuid puurauke.



Joon. 182. Puurpingi УВБ-25 vibrovasar.

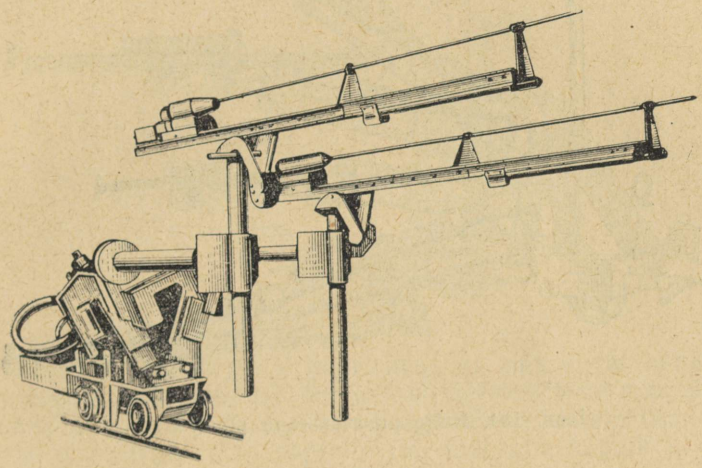
Staatiline surve antakse puurile puuragregaadi kaaluga ja kinnise köiesüsteemiga vintsiga. Survet puurile reguleeritakse vintsisse monteeritud hõõrdesiduriga. Pink on varustatud survemõõtjaga. Elektrimootorite juhtimine toimub nuppudega juhtpuldilt *3* (vt. joon. 181).

Puurpingi proovimudelite katsetamisel puuriti 15—25 m sügavusi ja 140 mm läbimõõduga puurauke graniitidesse, mille kõvaduskoefitsient $f = 14—18$ prof. M. M. Protodjakonovi astmiku järgi. Keskmine puhas puurimiskiirus oli seejuures 2,8 m/h, s. o. 2 korda suurem kui tross-löökpuurimise pinkide puhas puurimiskiirus. Puurinstrumendina kasutati seeriaviisil toodetavaid kolme näritsaga puuripäid ja spetsiaalseid Geoloogia ja Maavarade Kaitse Ministeeriumi Keskkonstruktsioonibüroo konstrueeritud puuripäid. Tavalised näritspead pidasid vastu 5—7 m puurimist, keskkonstruktsioonibüroo puuripead aga 15—20 m.

Lääne-Saksamaal alustati 1953. a. puurvankrite tootmist, mis on varustatud ühe või kahe löök-keerdpuurvasaraga (joon. 183). Puurvasaratega liugraame kandvad poomid liiguvad hüdraulili-

Puurpingi УВБ tehnilised andmed

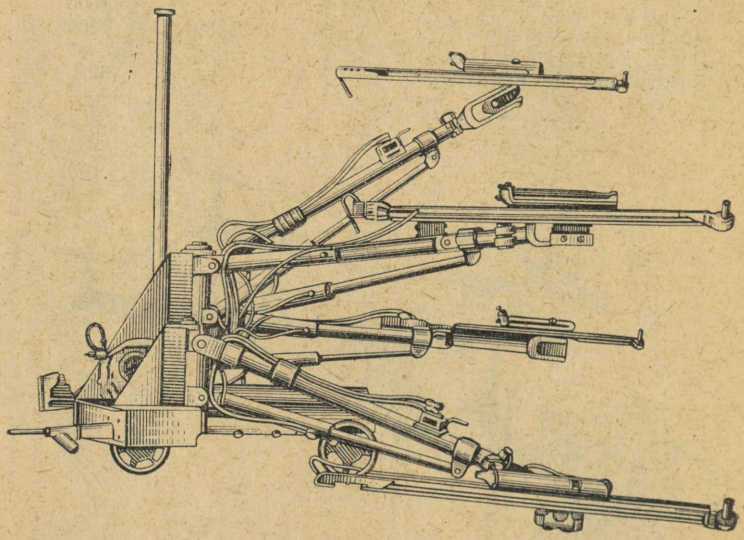
Puurimise sügavus m	25
Puuraugu läbimõõt mm	150
Surve puurile kg	kuni 4500
Maksimaalne vibratsiooni jõud kg:	
vibrovasaral	5000
vibraatoril	10000
Võngete arv minutis	1480; 1750; 2000
Puuri pöörete arv minutis	27—40
Elektrimootorite koguvõimsus kW	32,5.



Joon. 183. Kahe keerd-löökpuurvasaraga varustatud puurvanker «Nüsse und Grefer» lõhkeaukude puurimiseks.

selt. Iga puurvasar on varustatud kolme suruõhumootoriga. Automaatse ettenihutaja 3,5 hj mootor annab puurvasarale koos puuriga ettenihke ja tagab surve puurile 800—1500 kg piirides. Teine 8 hj võimsusega mootor paneb puuri pöörlema kiirusega 100 kuni 350 p/min., olenevalt kivimi iseloomust. Kolmas mootor on puurisabale löökide andmiseks sagedusega kuni 3400 lööki minutis. Õieti öeldes on see kiirekäiguline puurvasar puuri sõltumatu pööramisega ja võimsa automaatse ettenihutajaga. Puurinstrumendina kasutatakse kahe kõvasulamplaadikesega armeeritud peitlikujulisi puuripäid. Plaadikesed on ebasümmeetriliselt teritatud; ühel poolel on teritusnurk 15—20° (esinurk), teisel poolel 70—80° (taganurk). Puurimisel kasutatakse intensiivset uhtumist; vesi juhitakse sisse puuri küljelt. Lõhkeaukude sügavus on kuni 3,3 m. Tootlikkus on 2—3 korda kõrgem kui keerd- või löökpuurimisel. Keerd-löökpuurimise masinate kasutamine alles algab.

Ühe tugisambaga puurvanker neljale puurvasarale on kujutatud joon. 184. Kodumaisest БК-tüüpi masinast erineb see puurvanker väikeste mõõtmete ja tugisamba ning puurvasarate tugede hüdraulilise liigutamise poolest.



Joon. 184. Nelja puurvasaraga puurvanker.

§ 56. Termopuurimine

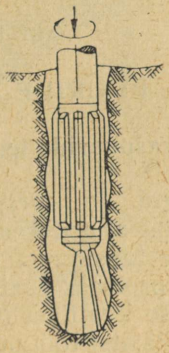
Tehakse vahet kahe termilise puurimise meetodi vahel: kivimi sulatamine ja osaline väljapõletamine ning kivimi purustamine pragunemisega kuumutamisel tekkivate kõrgete termiliste pingete tõttu.

Esimesel viisil sulavad 1400—1800° sulamistemperatuuriga kivimid kõrge temperatuuriga (2000—2200°) soojusallika mõjul. Selline soojusallikas luuakse raua põletamisega hapnikukeskkonnas. Puuritakse «hapniku piigiga», s. o. rauast toruga, mida lükatakse lõhkeauku vastavalt kivimi sulamisele põleva toru otsa ees. Vedel šlakk ja hangunud šlaki terad tuuakse lõhkeaugust välja üleliigse hapnikuga ja osaliselt gaasiliste põlemisproduktidega. Moskva Mäeinstituudi poolt sooritatud katsed näitasid, et see puurimise meetod on suuõhupuurvasaratega puurimisest kasulikum ainult kivimite puurimisel, mille kõvaduskoefitsient $f > 15$ prof. M. M. Protodjakonovi skaala järgi.

Teise termopuurimise meetodi arengu perspektiiv on laiem kui

esimesel ja seda kasutatakse juba puuraukude puurimiseks kõvadesse ja väga kõvadesse kivimitesse, kuid siiski väga piiratud ulatuses.

Puurinstrumendina kasutatakse puurtorudest sammast, mille otsas on reaktiivpõleti (joon. 185). Mööda puurtorusid antakse põletisse petrooleumi ja hapniku segu. Petrooleumi ja hapniku segu põlemisel reaktiivpõletis 20—40 atü rõhu all tekib kuni 2000—3000° temperatuur. Kuumutatava kivimi pinnale paisatakse



Joon. 185. Reaktiivpõleti puuraukude termiliseks puurimiseks.

põleti düüsis paisunud gaasi juga kiirusega, mis ületab helikiiruse (1500—1800 m/sek piirides). See kutsub kivimis esile suured temperatuuripinged, mille tõttu kivim praguneb väikesteks osadeks ja kantakse gaasidega (põlemisproduktid, üleliigne hapnik ja põleti jahutusvee aurud) puuraugust välja.

Kivimi sulamist, millega kaasneb puurimiskiiruse järsk langemine, välditakse temperatuuri ja gaasijoa kiiruse reguleerimisega.

Mõned põleti konstruktsioonid annavad mitu gaasijuga, mis põleti pöörlemisel tagab kivimi ühtlase kuumenemise puuraugu kogu ee pinnal, ning puuraugu külgsein tuleb peaaegu tasane.

Puuraukude puurimise kiirus väga kõvadesse kivimitesse (kõvaduskoefitsiendiga $f=15—20$ prof. M. M. Protodjakonovi järgi) on 8—24 m/h, keskmiselt 8—12 m/h. Materjalide kulu 50—85 mm läbimõõduga puuraukude ühe meetri kohta on: hapnikku 4—5 m^3, petrooleumi 1—3 kg ja vett 60 l.

Maagikaevanduses «Babbitt» (USA) on termopuurimisega puuritud umbes 10 000 m puurauku kuni 240 mm läbimõõduga. Hapniku kulu oli 900 l ja petrooleumi kulu 0,35 l puuraugu 1 m kohta.

XIII PEATÜKK

PUURIDE TERITAMINE

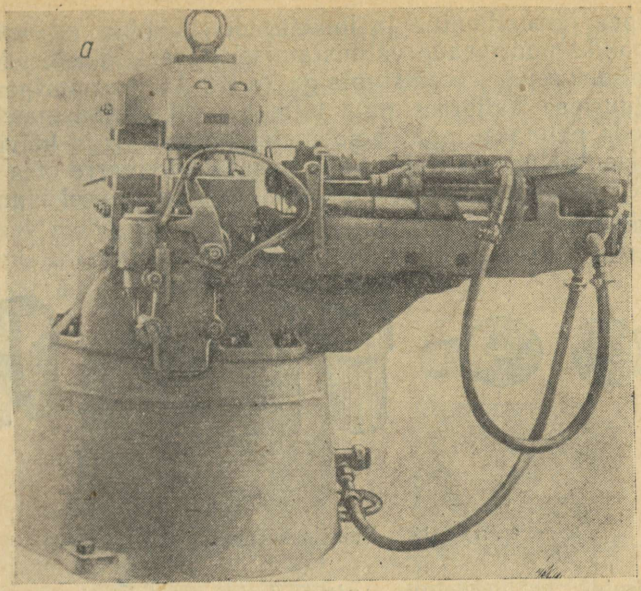
§ 57. Teraspuuride teritamine ja karastamine

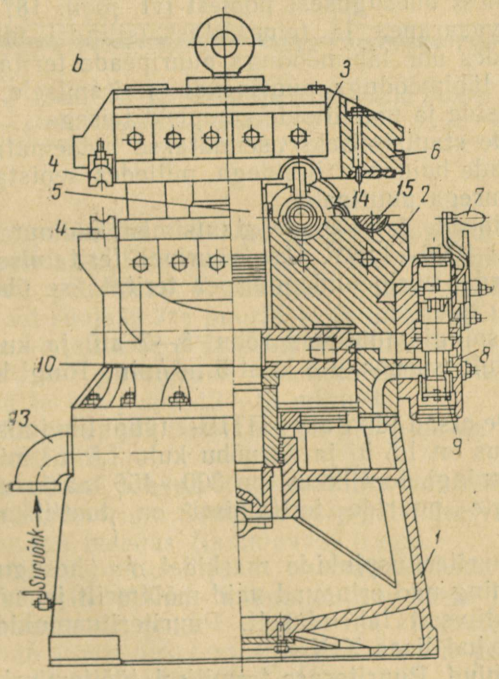
Puuriterituspingid ja teritamise protsess. Puuripeade ja -sabade valmistamist puuriterase varrastest ning vanade puuride nürinenud lõiketera taastamist nimetatakse puuride teritamiseks. Puuride teritamise protsess peab olema mehhaniseeritud, sest töötootlikkus ja terituse kvaliteet on mehaanilisel teritamisel tunduvalt kõrgemad kui käsitsi töötamisel.

Mehaaniline puuride teritamine toimub puuriterituspingil, mis kujutab endast kolmest erineva ehituse ja otstarbega suruõhuvasarast koosnevat agregaati. Agregaadi põhisõlmeks on vertikaalselt töötav suruõhuvasar, mille silindri külge on kinnitatud teised kaks tunduvalt väiksemamõõtmelist vasarat.

Vertikaalselt töötav suruõhuvasar (joon. 186) koosneb suruõhu reservuaarist *1*, silindrist, kolvist *10* koos kolvivarrega *5*, kolvivarre *5* otsa kinnitatud vasarapeast *6*. Silindri küljel on õhujaotuskarp *8* ja selle sees siiber *9*. Reservuaari tuleb õhk läbi toru *13*. Reservuaarist läheb õhk õhujaotuskarpi *8*, siit aga, olenevalt siibri asendist, juhitakse õhk kas peavasara silindri ülemisse või alumisse poolde või kahe teise vasara (*11* ja *12*) silindritesse. Siibrit juhitakse vändaga *7*. Peavasar teostab järgmisi operatsioone: kuumutatud terase raiumine noaga *4*, puuripea külgpindade stantsimine vormstantsidega, puuripea kalibreerimine kalibreerimisstantsidega, puurvarda kinnihoidmine matriitsidega *14* puuripea otsa stantsimise ajal, puurvarda kinnihoidmine matriitsidega *15* torniga puuri telgkanali läbilöömise ajal. Stantsid ja matriitsid kinnitatakse alusele *2* ja vasara peasse plaatide *3* ja poltide abil.

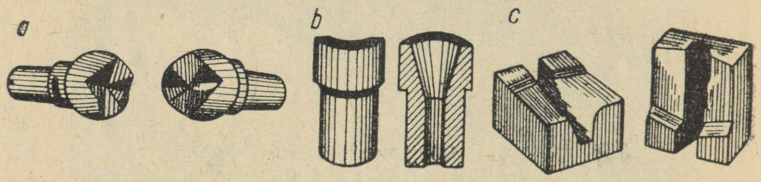
Esimene horisontaalne suruõhuvasar *11* asetseb hoidematriitside *14* vastas. Selle kolvivarre otsas on tempel-pinn (joon. 187,*a*). Templi löökide mõjul puurteras jämendub ja täidab matriitsi *14* (joon. 187,*b*) õõnsuse. Nii moodustub puuripea ja üheaegselt lüüakse templiga lõiketerad.





Joon. 186. Puuriterituspink БСГ-1:
a — üldvaade; *b* — skeem.

Puuripea jämendamine ja lõiketerade löömine on esimeseks operatsiooniks puuripeade valmistamisel. Pärast lõiketerade stantsimist valmistatakse vormstantsiga (joon. 187,*b*) puuripea lõikeharud. Puuripea kalibreerimine toimub kalibreerimismatriitsides. Pärast seda pannakse puur hoidematriitsidesse *15* ja käivitatakse teine horisontaalne vasar *12*. Selle vasara kolvivarre otsa on kinnitatud terasest torn, millega taastatakse stantsimisel kinnitaotud kanal puuripeas.



Joon. 187. Puuriterituspingi rakised.

Vormimis-, kalibreerimis- ning hoidestantsid ja -matriitsid koosnevad kahest ühesugusest poolest (vt. joon. 187), millest üks kinnitatakse vasarapea ja teine alasi (silindri ülemise serva) külge. Lõpetades ühe läbimõõduga puuripeade teritamise ja minnes üle teise läbimõõduga puuripeade teritamisele, vahetatakse vormimisstantside ja matriitside komplekt teisega.

Puurisabade stantsimiseks asendatakse hoidematriitsid *14* eriliste puurisabade hoidematriitsidega, milledes sepistatakse kaelus ja kindla pikkusega puurisaba.

Enne puuripeade ja -sabade stantsimist kuumutatakse vastav puuri osa kuni 1000—1150°. Uue puuripea teritamiseks kuumutatakse kaks korda, nürinenud puuripea teritatakse ühekordse kuumutamisega.

Puuriterituspingid töötavad rõhul 5—7 atü ja kulutavad 1 at rõhule taandatult suruõhku 3 kuni 5 m^3/min. Pingi kaal on 1,8—2,2 t.

Puurisabade otsad lihvitakse ПТШ-1 tüüpi lihvimispingil. Pingi mootori võimsus on 1,5 hj ja suruõhu kulu 1,5 m^3/min.

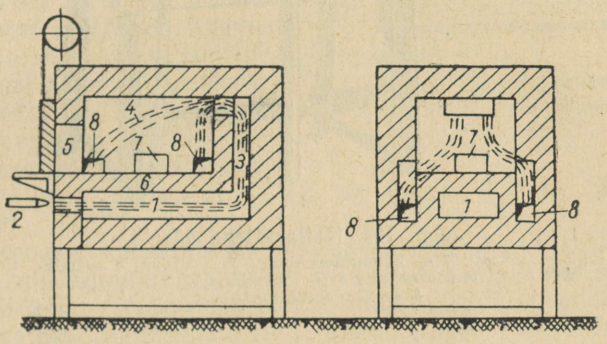
Puuriterituspingi tootlikkus on 300—450 taastatud puuripead vahetuses. Uute puuride teritamisel on tootlikkus vahetuses 250—300 tk.

Kõikidel puuriterituspinkide markidel on ühesugune tööprintsiip ja ehitus ning nad erinevad vaid mõõtmeilt ja mõningate sõlmede konstruktiivselt lahenduselt. Puuriterituspinkide tehnilised andmed on toodud lisas XIX.

Kuumutusahjud. Puuriterase termilisel töötlemisel kasutatakse puuride kuumutamiseks naftaküttega ja elektrilisi kamberahjusid

kuumutamise automaatse kontrolliga. Käesoleval ajal on enam levinud naftaküttega ahjud.

Joon. 188 on toodud naftaküttega kamberahju skeem vahetatavate puuripeade kuumutamiseks. Ahju kamber *1* on seest vooderdatud tulekindlate tellistega ja pealt kaetud soojusisolatsiooni kihiga ja metallist kestaga. Ahju ühel küljel on madalsurvepihusti *2*. Sellesse voolab paagist, mis on põrandast 1,5—2 m kõrgemal, mööda toru masuut või nafta. Pihustisse juhitakse suruõhku, mis pihustab nafta või masuudi, ja kütuse ülipeened piisad puhutakse ahju kambrisse, kus nad põlevad.



Joon. 188. Naftaküttega kamberahju skeem:
1 — põlemiskamber; *2* — pihusti; *3*, *8* — suitsulõõrid; *4* — kuumutuskamber; *5* — laadimisava; *6* — põrand; *7* — puuripead.

Kambris *1* põlemisel tekkivad gaasid suunduvad läbi kanali kuumutuskambrisse. Siin asetsevad läbi laadimisava *5* põrandale *6* pandud puuripead *7*. Läbides kuumutuskambri annavad kuumad gaasid soojuse ära puuridele ja lahkuvad läbi avade horisontaalseisse kanalitesse *8* ja sealt korstnasse.

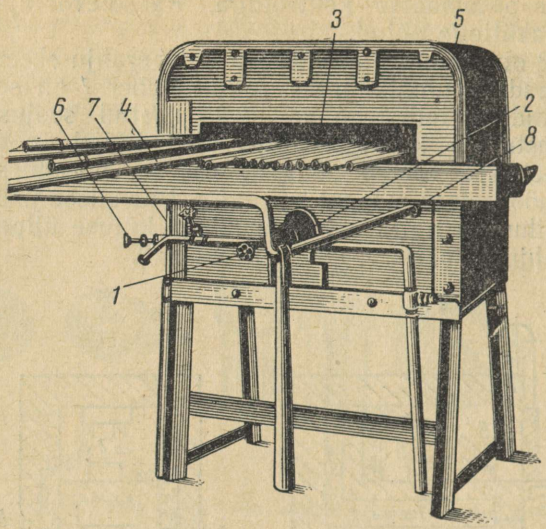
Süsinikterasest puuripeade kuumutamine kestab 9—10 minutit, legeeritud terase puhul 12—13 minutit.

Tehase «Kommunist» naftaküttega ääs puuride kuumutamiseks on toodud joon. 189.

Ahjud ja ääsid peavad temperatuuri kontrollimiseks olema varustatud püromeetriga. Süsiniku väljapõlemise vältimiseks tuleb puure kuumutada heledas (taandavas) leegis.

Elektrilistel kuumutusahjudel on naftaküttega ahjudega võrreldes rida eeliseid: ühtlane kuumutamine, kerge ja täpne temperatuuri reguleerimine, puhtus jt. Puuride kuumutamine ahju tööruumis toimub kuumutuselementidega, mis on pandud tööruumi väljaulatuvatele tulekindlaile tellistele.

Maagitööstuse ettevõtete puuriteritustöökodades kasutatakse



Joon. 189. Naftaküttega ääs:
1 — pihusti; *2* — kuumutuskamber; *3* — kumm; *4* — puurid; *5* — tõmbekorsten; *6* — avardaja; *7* — õhujahuti; *8* — õhujahuti toru.

puuride kuumutamiseks teiste vahendite kõrval elektrilisi kuumutusahje ЭП-1 järgmiste tehniliste andmetega:

kuumutamistemperatuur teritamiseks °C	1150
kuumutamistemperatuur karastamiseks °C	720—830
tunni jooksul kuumutatavate puuride arv	60
tööruumi mõõtmed mm	800×220×120
elektrivoolu pinge V	220—380
elektrienergia kulu 1 puuri kohta kWh	0,7
installeeritud võimsus kW	42
võimsuse astmed kW	14 ja 42
kuumutuselementide pindkoormus kW/cm²	1,66 ja 0,56
ahju mõõtmed mm	
pikkus	1240
laius	640
kõrgus	1430
ahju kaal (ilma puurihoidjata ja jaotuskapita) kg	830

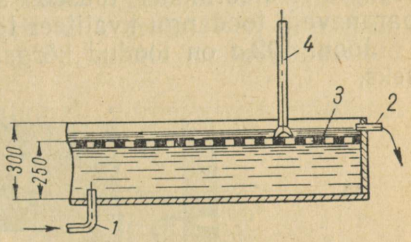
Pärast teritamist puurid normaliseeritakse.

Puuride karastamine. Kindla temperatuurini kuumutatud puuriterase kiiret jahutamist nimetatakse karastamiseks. Karastamist kasutatakse terase kõvaduse suurendamiseks ja mõningate struktuuri iseärasuste säilitamiseks, mis on kõrgel temperatuuril püsivad ja tugevad, kuid aeglasel jahtumisel muutuvad.

Karastamiseks kuumutatakse terast kuni 780—830°, s. o.

10—50° üle kriitilise temperatuuri, mille juures teras läheb tahke sulami faasi ja kaotab oma magnetilised omadused. Sellise temperatuurini kuumutatud puur karastatakse.

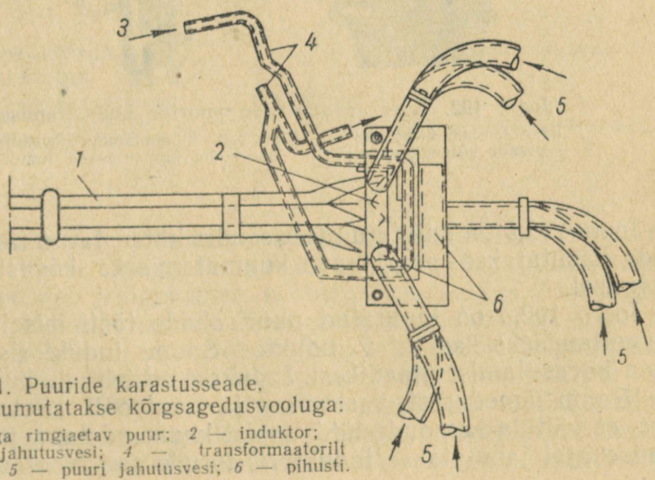
Puuripäid karastatakse metallist või betoonist vannides, 18—20° temperatuuriga voolavas vees. Vesi juhitakse vanni põhja lähedalt (joon. 190). Ülevoolutoru *2* asetseb 25—30 cm vanni põhjast kõrgemal. Veepind vannis seisab ülevoolutoru tasapinnal. Puurid pannakse vanni perforeeritud võrgule *3* vertikaalselt. Võrk on 8—17 mm allpool veepinda. Võrgu sügavust muudetakse olenevalt puuripea läbimõõdust (puur pistetakse vette kahekordse lõiketera pikkuse sügavusele). Vanni mõõtmed olenevad karastatavate puuride arvust, pikkus on 1—2 m, laius 0,5 m ja kõrgus 0,3—0,5 m.



Joon. 190. Karastusvann:
1 — veetoru; *2* — ülevoolutoru; *3* — võrk; *4* — puur.

Puurisabasid karastatakse vesijahutusega õlivannis. Puurisaba pannakse nii sügavale vanni, et ta kaelus oleks 2 cm allpool õli pinda. Õli temperatuur peab olema umbes 20°. Õliaurude kõrvaldamiseks kaetakse vann kaanega ja varustatakse tõmbeventilatsiooniga. Karastamiseks kasutatakse naftat või masinaõli.

Viimasel ajal hakkab levima puuride karastamine kõrgsagedusvooluga (joon. 191). Seadme 40 kW võimsuse puhul teostatakse kuumutamine ja karastamine 30 sek. vältel, kusjuures karastatud kiht ulatub 7—8 mm sügavuseni.

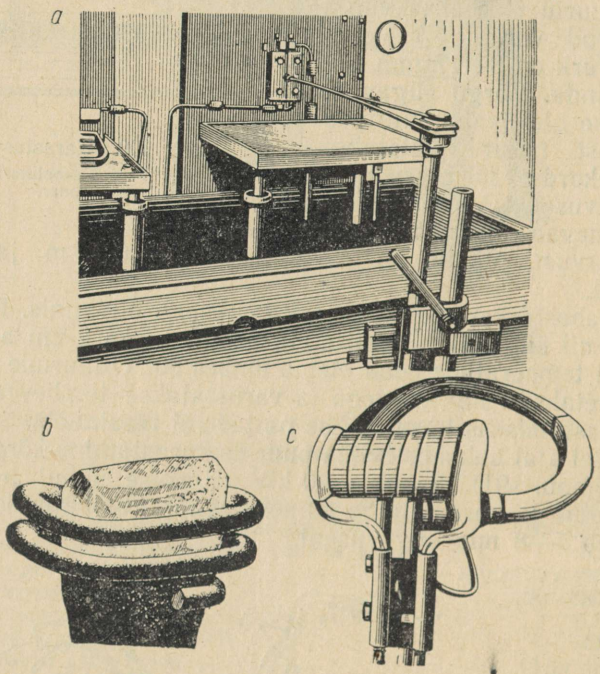


Joon. 191. Puuride karastusseade, milles neid kuumutatakse kõrgsagedusvooluga:
1 — mootoriga ringiaetav puur; *2* — induktor; *3* — induktori jahutusvesi; *4* — transformaatorilt tulevad juhtmed; *5* — puuri jahutusvesi; *6* — pihusti.

Kõrgsagedusseade on suure tootlikkusega ja seda võib kasutada peale puuride ka teiste tööriistade ja detailide kuumutamiseks ja karastamiseks.

Kõrgsagedusseadmete kasutamine mõnede Altai maagikaevanduste puuriteritustöökodades selgitas paljusid selle viisi eeliseid: tööliste töötootlikkus tõuseb, sanitaar-hügieenilised tingimused paranevad, toodangu kvaliteet tõuseb ja tööde maksumus alaneb.

Joon. 192,*a* on toodud kõrgsagedusseade puuride kuumutamiseks.



Joon. 192. Kõrgsagedusseade puuride kuumutamiseks:
a — seadme üldvaade; *b* — puuripea kuumutamine kõvasulamist plaadi külgejootmisel; *c* — puurisaba kuumutamise induktor.

Joon. 192,*b* on kujutatud tööasendis lihtsustatud tüüpi induktor, mida kasutatakse puuripeade kuumutamiseks kõvasulamplaatide jootmisel.

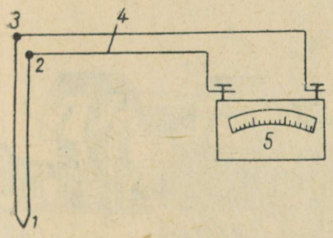
Joon. 192,*c* on kujutatud puurisabade töötlemisel puuriterase kuumutamiseks kasutatav induktor. Samas induktoris saab külge joota kõvasulamist plaadikesi. Induktor on tehtud õhukese seinaga 6—15 mm jämedusest vasktorust ja seestpoolt kaetud lehtasbestiga, et vältida keerdude lühistamist kuumendatava puuriga. Töötamise ajal jahutatakse induktorit torude sees voolava veega.

Kõvasulamist plaatide jootmisel kuumutatakse puuripäid umbes 2 minutit. Elektrienergia kulu on umbes 0,5 kWh 1 kg kuumutatava metalli kohta.

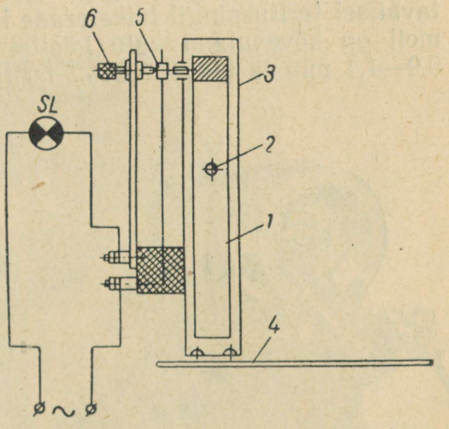
Kontroll-mõõteriistad. Puuriteritustöökojas peavad olema püromeetrid temperatuuri kontrollimiseks kuumutusahjudes ja magnetindikaatorid puuri temperatuuri kontrollimiseks enne karastamist. Püromeeter (joon. 193) koosneb ahju asetatavast termopaarist, kaablist ja galvanomeetrist, mille skaala on gradueeritud Celsiuse kraadides.

Puuriteritustöökodades kasutatakse püromeetreis järgmisi termopaare:

plaatina-iriidiumplaatina	temperatuuridele kuni	1600°
nikkel — (nikkel + koobalt)	„	1300°
plaatina — roodiumplaatina	„	1200°
nikkel — kroomnikkel	„	1100°
nikkel — raud	„	1000°
nikkel — konstantaan	„	900°
kroomnikkel — konstantaan	„	900°



Joon. 193. Termoelektrilise püromeetri skeem:
1 — jootekoht; *2*, *3* — juhtmete otsad; *4* — vaskjuhtmed; *5* — millivoltmeeter.



Joon. 194. Magnetilise indikaatori skeem.

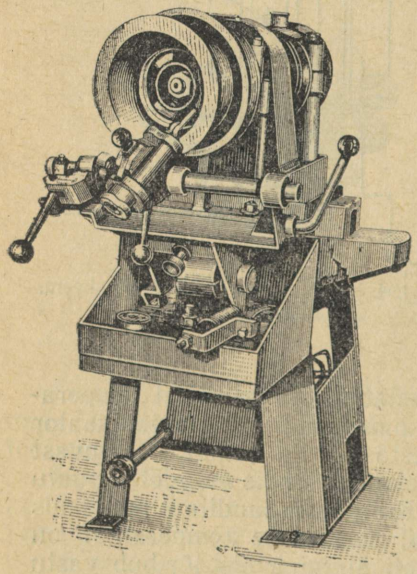
Magnetindikaatori töö põhineb asjaolul, et kriitilisel temperatuuril kaotab teras magnetilised omadused. Magnetindikaator (joon. 194) koosneb valgevasest kestast *3* ja teljele *2* toetuvast hoburauakujulisest magnetist *1*. Tasakaaluasendis magnet ei puutu vastu kesta *3*. Kesta all on laudi *4*. Kui panna laudile *4* puur, mis ei ole kaotanud magnetilisi omadusi, s. o. mille temperatuur on alla kriitilist (alla 750°), siis magneti alumine ots tõmbub vastu kesta seina, ülemine ots aga kaldub vasakule. Seejuures ühineb kontakt *5* kruviga *6*, seetõttu elektriline ahel sulgub ja süttib sig-

naallamp *SL*. Kui aga kuumutamise temperatuur vastab kriitilisele temperatuurile, siis magnet ei tõmbu kesta külge, vaid jääb endisesse asendisse ja lamp *SL* ei sütti põlema.

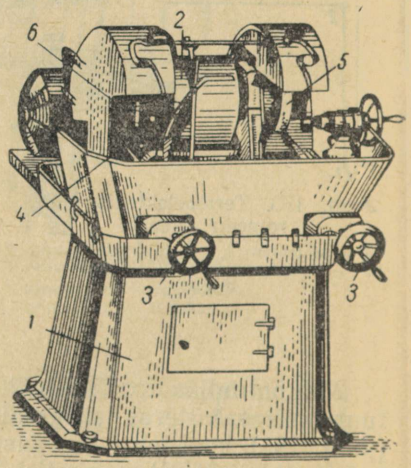
§ 58. Lõiketerade ja puuripeade teritamine

Kõvasulamplaatidega armeeritud vahetatavaid puuripäid ja keerdpuurimise lõiketeri teritatakse puuriteritamise pinkidel. Lõiketeri soovitatakse teritada pottkäiaga terituspingil 3CP-2 (joon. 195). Teritusketta ette raamile on kinnitatud seade lõiketerade hoidmiseks. Lõiketerad kinnitatakse vahetatavatesse (iga lõiketera tüübi jaoks) padrunitesse, mis annavad lõiketerale kindla asendi ja võimaldavad teritada lõiketeri ettenähtud nurga all. Pingi tootlikkus on 150—200 lõiketera vahetuses. Pottkäi on valmistatud rohelisest karborundist teralisusega 36—34 ja kõvadusega CM-2.

Nagu näitas kombinaadi «Rostovugol» kaevanduste praktika, on lõiketerade tööiga pingiga 3CP-2 teritamisel 60% kõrgem kui tavalisel terituspingil lõiketerade käsitsi hoidmisega. Katsete andmeil on kõvasulami kulu käsitsi teritamisel ühe terituse kohta 0,9—1,1 mm ja pingil 3CP-2 teritamisel 0,62 mm.



Joon. 195. Lõiketerade terituspink 3CP-2.



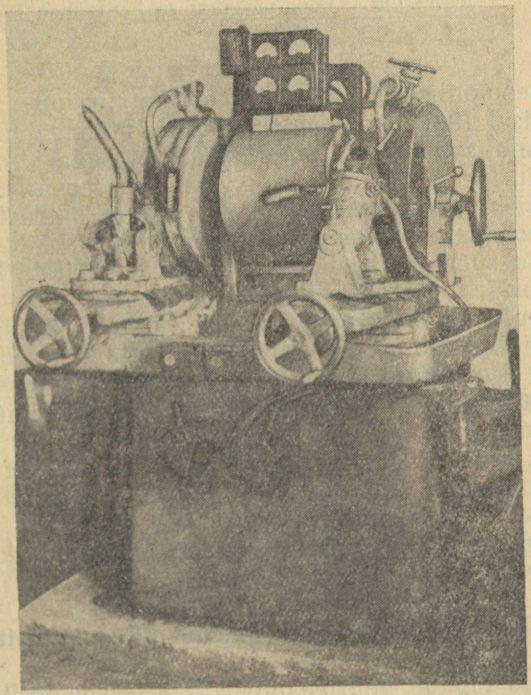
Joon. 196. Puuripeade terituspink 3C-1:

1 — alus; *2* — spindlipea; *3* — suportid; *4* — eriprofiiliga karborundketas ristikujuliste puuripeade teritamiseks; *5* — silindriline ketas peitlikujuliste puuripeade teritamiseks; *6* — käiaketaste teritamisseade.

Kõvasulamist plaatidega armeeritud puuripäid soovitatakse teritada puuriteritamispingil 3C-1 (joon. 196). See pink on varustatud kahe terituskettaga. Üks kettaist *4* on eriprofiiliga ja ette nähtud ristikujuliste puuripeade teritamiseks. Teine abrasiivketas *5* on silindriline ja on peitlikujuliste puuripeade teritamiseks. Abrasiivketaste vastas on puuripeade kinnitamiseks ja nende vajaliku nurga all ketaste vastu nihutamiseks suportid *3*. Teritamine toimub pideva jahutusemulsiooni juurdevooluga. Emulsiooni antakse pingil asetseva pumbaga. Pumpa käitab 0,15 kW võimsusega elektrimootor. Emulsiooni kulu on 15 l/min. Veega jahutamisel on vee kulu 20—40 l/min. Emulsioonipaagi maht on 75 l.

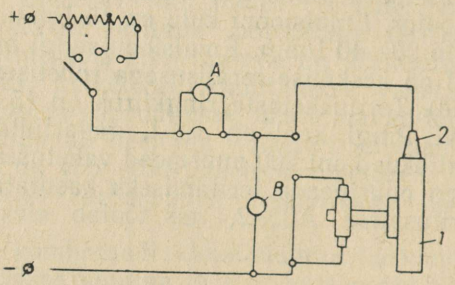
Terituskettad on keskmise teralisusega rohelisest karborundist (extra karborund). Teritusketaste ringkiirus on 15 m/sek, mootori võimsus 2,7 kW. Pingi kaal on 1,2 t, gabariidid 1200×1500× ×1500 mm, tootlikkus kuni 200 puuripead vahetuses.

Kõvasulamiga puuripeade teritamiseks kasutatakse ka anood-mehaanilist terituspinki A3K-2, mis töötab elektromehaanilisel põhimõttel.



Joon. 197. Anood-mehaaniline terituspink A3K-2.

Terituspingil АЗК-2 on kaks metallist teritusketast, mida aetakse ringi elektrimootoriga. Üks ketastest on eriprofiiliga, ristikujuliste puuripeade jaoks ja teine, silindriline, peitlikujuliste puuripeade teritamiseks (joon. 197). Ketaste tööpinda on lõigatud sügavad hambad. Ketaste vastas on suportid puuripeade kinnitamiseks, nende ettenihkeks ja vajaliku nurga all teritamiseks. Teritamine toimub pidevas elektrolüüdijoas, mis antakse individuaalse elektrimootoriga varustatud pumbaga.



Joon. 198. Anood-mehaanilise teritamise elektriline skeem.

Anood-mehaanilise teritamise tööprintsiip on järgmine (vt. skeemi joonisel 198). Pöörlev hambulise pinnaga metallketas *1* ühedatakse alalisvooluahela negatiivse poolusega ja on katoodiks. Teritatav puuripea *2* ühendatakse sama ahela positiivse poolusega ja on anoodiks. Teritatavat pinda kastetakse ohtrasti elektrolüüdiga, mis moodustab puuripea ja ketta vahele kile. Puuripeale antava voolu suurest tihedusest tingituna tekitab kile takistus anoodi (puuripea) pinnal suure soojuseeraldumise ja õhukese metallikihi sulamise teritatava puuripea pinnal. Sulanud produkt tid kõrvaldatakse töötsoonist pöörleva ketta (katoodi) hammastega. Metalli eraldamise kiirus (kogus) ja teritatava pinna siledus oleneb voolutihedusest. Mida suurem on see, seda kiiremini läheb teritamine ja konarlikum on teritatav pind. Mida väiksem on voolutihedus, seda siledam on teritatav pind, kuid teritamine kulgeb aeglasemalt.

Teritamise alguses antakse puuripeale 40—50 A vool, teritamise lõpuks alandatakse voolutugevust 20 amprini. Elektrolüüdina kasutatakse vesiklaasi lahust.

§ 59. Puuriteritustöökodade tehniline varustus

Ruumi, kus toimub puuripeade ja lõiketerade teritamine ning puuride teritamine ja karastamine, nimetatakse puuriteritustöökojaks.

Kaevandustes luuakse puuriteritustöökojad mehaanikatöökodade lähedusse või nendega ühte hoonesse. Puuriteritustöökoja kõrval asetseb tavaliselt ka puurimisseadmete remonditöökoda. Väikseks remondiks ja kulunud detailide vahetamiseks uutega peab töökoda olema sisustatud lukksepa-töölauaga. Töökojas peab olema ka koht puurvasarate petrooleumiga pesemiseks ja vastav sisustus (puurvasarate kapitaalremonti ja remondijärgset katsetamist sooritatakse suurtes tsentraliseeritud töökodades). Töökojas on ka riiulid puurvasarate hoidmiseks.

Puuriteritustöökojad peavad olema varustatud järgmiste seadmetega:

sepääs teraslattide kuumutamiseks nende tükeldamise eel;

kõrgsagedusvoolu-seade, elektriline või naftaküttega kuumutusahi puuride kuumutamiseks enne teritamist ja karastamist;

puuriterituspink koos selle juurde kuuluva täieliku tööriistade komplektiga;

karastusvannid puuripeade ja -sabade jaoks;

lubjakast puuride lõõmutamiseks;

pingid puuripeade teritamiseks (А3К-2 või 3С-1), lõiketerade teritamiseks (3СР-2) ja puurisabade lihvimiseks (ПТШ-1);

kontroll-mõõteaparatuur;

alused nüride ja teritatud puuride jaoks;

kapid puuripeade ja lõiketerade jaoks;

alasi;

lukksepa-töölaud koos tööriistadega.

Seadmete hulk ja töökoja pindala olenevad toodangust ning puuride kulust.

Seadmed peavad olema töökojas paigutatud selliselt, et puuride liikumine ühelt töökohalt teisele toimuks operatsioonide järjekorras vooltootmise kujul.

Käesoleval ajal, kus puurimiseks kasutatakse kõvasulamiga armeeritud vahetatavaid puuripäid ja lõiketeri, omab peatähtsust puuripeade teritamine abrasiivketastega. Puuride teritamine stantsimisega ja karastamine on kõrvalise tähtsusega ja väikese mahuga. See määrabki vajalike töökoja seadmete hulga.

§ 60. Peitliteritustöökoja tehniline varustus

Peitlid valmistatakse süsinikterasest С-63 (võib kasutada ka teisi sorte). Puuriterase lattide läbimõõt peab olema 0,75—0,80 nominaalsest puuraugu läbimõõdust.

Peitlite teritamine toimub peitliterituspinkidega (sageli teritatakse peitleid ka käsitsi).

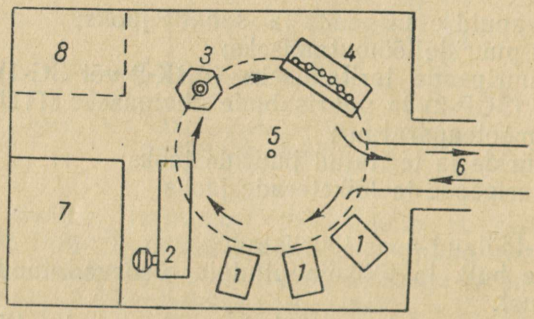
Enne teritamist kuumendatakse peitleid elektri- või muhvelahjudes või sepääsidel. Karastamiseks kuumutatakse peitleid kas samades ahjudes või soolavanniga elektriahjudes, kus kuumutus-

keskkonnaks on sulatatud keedusool. Tuleb märkida, et soolavanne võib kasutada kuumutamiseks nii enne karastamist kui ka terase noolutamisel.

Noolutamisel kasutatakse kaalium- ja naatriumsalpeetri segu, mis on kuumutatud temperatuurini 220—400°. Keedusoola sulamistäpp on 770°. Et sool külmade puraskite sissekastmisel ei hanguks, selleks kuumutatakse puraskid enne liivavannis kuni 300—350° temperatuurini.

Noolutamisel kasutatakse puraskite kuumutamiseks salpeetri ja keedusoola kõrval ka õli. Õlidest kasutatakse määrdeõlisid: 12, 20, 30, 45 jt. Õliga töötamisel peab maksimaalne temperatuur olema 20—40° madalam õli leektäpist.

Teritustöökoja seadmed peavad asetsema selliselt, et ei esineks liigset ega vastassuunalist puraskite transportimist.



Joon. 199. Puraskite teritustöökoda.

Joon. 199 on toodud teritustöökoja seadmete üks asetusskeemidest. Puraskite transport toimub raudteest alates mööda monorelssi *6*. Nürid peitlid kuumutatakse kamberahjudes *1* temperatuurini 1000—1100° ning lähevad seejärel terituspinki *2*. Teritamine tuleb katkestada temperatuuril 850—800°. Kui selleks ajaks teritamine ei ole lõpetatud, kuumutatakse puraskit ahjus *1* uuesti.

Magnitogorski tehase terituspink ДС-1 teritab vahetuses 25—30 puraskit; pinki teenindavad kaks töölist — sepp ja abitööline.

Teritatud purask asetatakse elektriküttega soolavanni *3*, kus ta kuumutatakse karastamistemperatuurini (kuni magnetiliste omaduste kadumiseni). Pärast kuumutamist läheb purask karastamiseks veevanni *4*, kus ta 5—10 sekundi jooksul kiiresti jahtub, ning jahutatakse seejärel veereservuaaris lõplikult.

Peale ülaltoodu on töökojas veel kompressor *7*, elektroodsoolaahju transformaator *8* ja tugimast *5* konsoolkraana jaoks, mille abil puraskeid töökojas transporditakse.

Novosibirski tehas «Trud» toodab terituspinke ДП3-300. Need

on ette nähtud puraskipeade töötlemiseks freesimisega. Töödeldavate puraskite läbimõõt on 200—300 mm. Pingi tootlikkus on 60 tk. vahetuses.

*

Puurimis- ja lõhketööde tehnika ja organiseerimine võib lähemal ajal areneda järgmistes suundades.

1. Lõhkeainete ja lõhkamisvahendite täiustamine ja odavamaks muutmine; uute kaitselõhkeainete leiutamine, mis oleksid töökindlamad ja ohutumad olemasolevaist. Sama tähtis ülesanne on laiendada lühiviittegevusega elektridetonaatorite tootmist ja nende hinda alandada.

2. Puur- ja lõhkeaukude puurimise masinate ja instrumendi täiustamine ja uute tüüpide loomine:

kõikides mäetööstuse ettevõtteis, mis kaevandavad kivimeid kõvaduskoefitsiendiga üle 6 prof. M. M. Protodjakonovi järgi, üle minna pneumaatiliste ettenihutajatega kiirekäigulistele puurvasaratele;

konstrueerida ja juurutada suure ettenihkepikkusega (kuni 2—3 m) automaatseid ettenihutajaid sammaspuurvasaraile;

luua mehaanilise poomide liigutamisega ja kaugjuhtimisega puurvankrid;

löökpuurimist teostada ainult lõhkeaukude uhtumisega või kuiva tolmukõrvaldamisega;

konstrueerida ja välja lasta elektrilised ja pneumaatilised sammaspuurmasinad, mille pöörete arvu, telgjõudu ja ettenihke kiirust saab muuta käigul.

3. Puurimis- ja lõhketööde meetodite täiustamine, et tõsta nende efektiivsust ja ohutust ning alandada maksumust ja tööjõu kulu toodanguühiku kohta.

Selleks tuleb:

kivimites, mille kõvaduskoefitsient on alla 8, puurida elektriliste ja pneumaatiliste keerdpuurmasinatega, ning juhul, kui pole võimalik teostada kuivpuurimist, uhtuda lõhkeauke veega;

šahtide rajamisel kivimitesse kõvaduskoefitsiendiga kuni 6 minna üle keerdpuurimisele pneumaatiliste keerdpuurmasinatega ja puuraukude veega uhtumisega;

tolmuohtlikes kaevandustes juurutada lõhkeaukude lõhkamist surve all hüdrotopisega, muutes selle meetodi küllalt töökindlaks, efektiivseks ja ohutuks;

tööde ohutuse tõstmiseks ja sanitaarhügieeniliste tingimuste parandamiseks kasutada tolmu- ja gaasiohtlikes kaevandustes vesi- ja udutõkkeid.

4. Teaduslike uurimistööde arendamine kivimite purustamise alal plahvatusega ja edasine kivimite plahvatusega purustamise teooria väljatöötamine.

5. Kivimite purustamise protsessi uurimine lõhke- ja puuraukude puurimisel.

6. Uute füüsikalis-mehaaniliste puur- ja lõhkeaukude puurimise meetodite uurimine, termilise ja löök-keerdpuurimise meetodite täiustamine ja täiustatud seadmete loomine nende meetoditega puurimiseks.

Selle loeteluga ei ole kaugeltki haaratud kõik need suurearvulised ja mitmekülgsed ülesanded, mis seisavad mäetööstuse töötajate ees puurimis- ja lõhketööde täiustamise alal.

XIV PEATÜKK

ANDMEID LÕHKETÖÖDEST EESTI NSV-s

§ 61. Puurimis- ja lõhketööd Eesti NSV põlevkivikaevandustes

Tähtsamad geoloogilised ja mäetehnilised tingimused

Põlevkivi esineb Eesti NSV-s suurel maa-alal väikeses sügavuses (10—50 m) püsivate omadustega, peaaegu horisontaalselt lebavate õhukeste lähiskihtide rühmana. Põlevkivikihtide vahel on õhukesed lubjakivi vahekihid; all ja peal on paksud lubjakiviladem ed.

Põlevkivikihte märgitakse tähtedega (A, B, C jne.) tähestiku järjekorras alt ülespoole (joon. 200). Tootlikuks (kaevandamiskõlblikuks) loetakse kihtide rühma A-st kuni F-ini. Selle kihtide kompleksi üldpaksus ühes paekivi vahekihtidega on 3,00—3,20 m. Vahekihtide kogupaksus on 0,5—0,6 m. Ühelt m^2 saadakse 2—2,5 tonni põlevkivi.

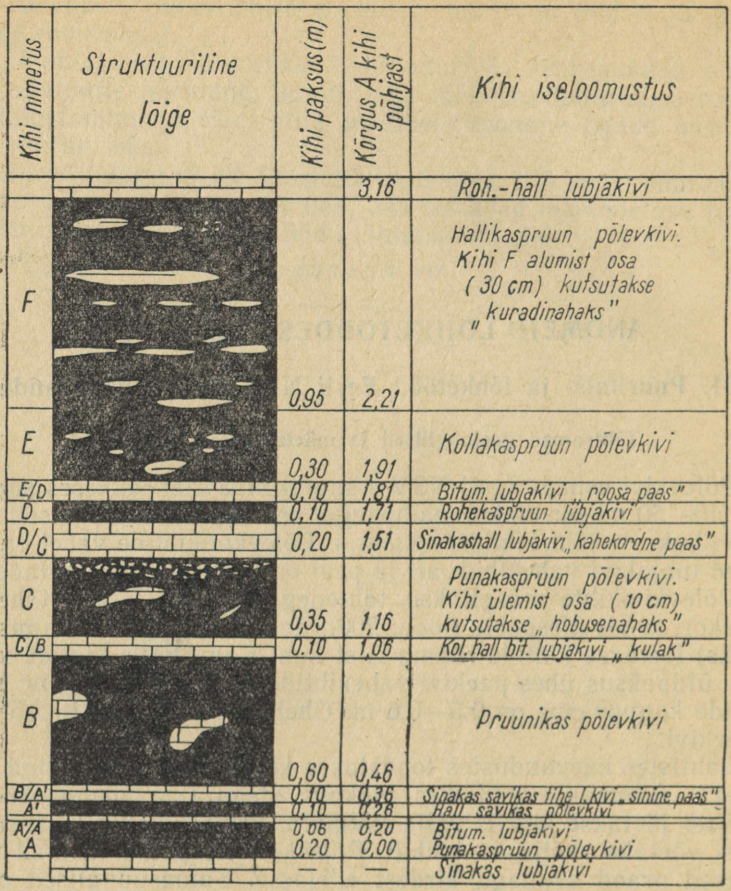
Lahtistes kaevandustes toodetakse kõiki eespool märgitud kihte (A—F). Allmaakaevandustes pikkade etega (laavadega) kaevandamisel jäetakse kiht F välja võtmata, kambriviisilisel kaevandamisel võetakse välja ka kiht F. Põlevkivi leiupaika läbivad vertikaalsed praod suunaga kirdest edelasse. Samasuunalised on ka vanaaegsed karstid.

Eesti põlevkivi on kivisöest kõvem ($f \approx 3$ Protodjakonovi järgi). Põlevkivikihtides esineb lubjakivi konkretsioone, mis on põlevkivist tunduvalt kõvemad ning raskendavad lõhkeaukude puurimist.

Tootliku kompleksi põhjas (kihi A all) ja laes (kihi F peal) on keskmise kõvadusega lubjakivid ($f \approx 5$—6). Sama kõvad on ka vahekihid.

Põlevkivikihid on tugevalt seotud lubjakivi vahekihtidega, kuid lõhketööde mõjul eraldub suurem osa lubjakivi põlevkivist. Halvemini eraldub lubjakivist kiht D ning suurem osa põlevkivi sellest üsna õhukesest (10 cm) kihist satub aherkivimi hulka selle kõrvaldamisel.

Kihtide kalle on üsna väike, keskmiselt 15′ (3 meetrit 1 km kohta) lõuna suunas. Seepärast peetakse kaevandamispraktika seisukohast Eesti NSV põlevkivi leiupaika horisontaalseks. Igas



Joon. 200. Läbilõige Eesti NSV põlevkivileiupaigast.

mõeldavas suunas kihtipidi rajatud kaeveõõnsustes võib kasutada rööbastransporti.

Peamiseks kaevandamisviisiks allmaakaevandustes on pikk lank-kaevandamisviis koristusete (laavade) pikkusega 70—90 m ja ee kõrgusega 2,20—2,30 m (kiht F jäetakse lakke). Lae hoidmiseks laotakse kaevandatud alasse täiteribad. Laava edasiliikumise järel neid pikendatakse. Materjal selleks saadakse aherkivimi vahekihtidest, mis lõhatakse ühes põlevkivikihtidega.

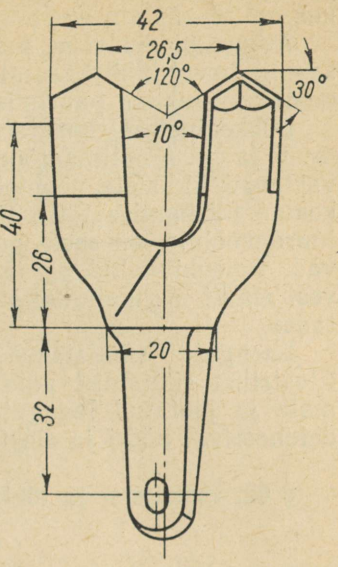
Koristusete laed on üsna püsivad; tugede vahekaugus reas on 1,4—1,5 m ja ridade vahe 0,9—1,0 m. Talasid kasutatakse

ainult karstide või vertikaalsete pragude esinemise korral. Strekkides toestatakse ainult lage talade vahekaugusega 1—1,5 m. Lagede läbivajumisi on esinenud ainult karstide piirkonnas, kus puudus täiendav toestik.

Käesoleval ajal levib meie põlevkivikaevandustes kamberkaevandamisviis, mis võimaldab koristustööde täielikku mehhaniseerimist. Kamberkaevandamisel võetakse tootlik kompleks välja täies paksuses (A—F). Võimalik kambri laius on 10—12 m ja tervikute laius nende vahel 3 m.

Kõik kaevanduste mehhanismid ja masinad töötavad elektrienergiaga. Suruõhuenergiat Eesti NSV põlevkivikaevandustes ei kasutata.

Lõhkeaukude puurimiseks kasutatakse käsi-elektripuurmasinaid ЭБР-19. Puuripead (joon. 201) armeeritakse kõvasulamiga. Samade puuripeadega puuritakse lõhkeauke ka lubjakividesse veekraavide rajamisel. Lubjakivisse puurimisel langeb puurimiskiirus 3—4 korda ja sama palju suureneb ka puuripeade kuluvus.



Joon. 201. Kõvasulamiga armeeritud puuripea.

Lõhkeaukude puurimine käsipuurmasinaga nõuab puurijalt palju füüsilist jõudu ja suuri kogemusi. Puurimise töönormid on paigutatud tabelisse 28.

Tabel 28

Puurimisnormid ja nende täitmine põlevkivikaevandustes

Lõhkeaukude puurimise koht	Puurimisnorm vahetuses m	Normi täitmine %
Laavad	250	100—130
Tervikute likvideerimine	200	—
Kambrid	200	100—120
Strekid	170—200	110—120
Kraavide rajamine	60	100—110
Lakke puurimine	45	—

Puurvardad on keeratud rombikujulise ristlõikega teraslatist ning vasakpoolse keermega. Päripäeva pööreldes toovad keermed

puuripea poolt lahtilõigatud puru august välja. Puurvarraste pikkus on 15—20 cm võrra suurem kõige sügavamast lõhkeaugust.

Augud põlevkivisse puuritakse puurvarrast vahetamata. Lühikesi puurvardaid kasutatakse ainult veekraavide rajamisel ja madalate aukude puurimisel Viivikonna karjääris.

Lõhkeainetest kasutatakse ammoniite, peamiselt ammoniiti nr. 6 ja nr. 7 allmaatöödel ja B-3 lahtistes kaevandustes. Need vastavad üldistele nõuetele, kuid märgades kohtades esineb lõhkeaine niiskumise tõttu tõrkeid. Vaatamata üldiselt suurele vee juurdevoolule, on meie põlevkivikaevanduste eed võrdlemisi kuivad. Põlevkivikihid on üsna veekindlad. Lõhkeaukudesse tungib vesi ainult augu suudmest, lõhede tõttu ja karstide esinemise kohtades.

Laenguid süüdatakse allmaakaevandustes lahtise tulega. Elektrilist süütamist pole senini veel kasutusele võetud. Suuremate ja jaotatud laengute lõhkamiseks karjäärides kasutatakse detoneerivat nööri ja elektrisüütamist.

§ 62. Puurimis- ja lõhketööd horisontaalsete kaeveõõnsuste rajamisel

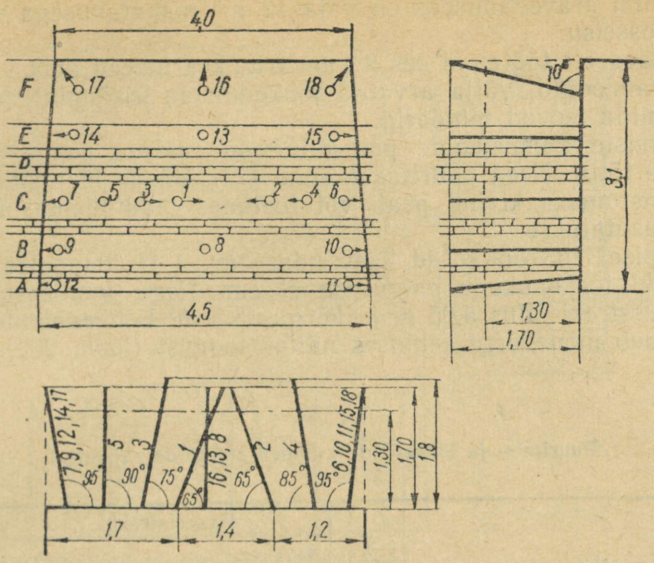
Eesti põlevkivikaevandustes, välja arvatud šahtid ja šurfid, on kõik kaeveõõnsused horisontaalsed. Neid rajatakse puurimis- ja lõhketöödega ilma soonimismasinaid kasutamata. Kõik kaeveõõnsused on suunatud kihtipidi, mistõttu kivimid etes jäävad pikkadel vahemaadel muutumatuks.

Peaveostrekid ja paneelveostrekid rajatakse sellise ristlõikega, mis võimaldab neisse paigutada kaks rööbasteed ja raja inimeste liiklemiseks. Nende kaeveõõnsuste ristlõiked olenevad eelkõige liikuva koosseisu (vagonetid, elektrivedurid) gabariitidest.

Kuni käesoleva ajani on veostrekke rajatud laiusega 4,0; 4,5 ja 5,0 m. (Viimane on laiem kui tegelik vajadus ja eeskirjade nõuded). Nende rajamiskõrgus võrdub tootlike kihtide kompleksi paksusega (A—F). Seega on nad 0,4—0,5 m nõutavatest kõrgemad, kuid nii saavutatakse püsiv ja tasane lagi. Veostrekkide keskmine ristlõige on 14—15 m². Kuna strekkide lae- ja külgkivimid on põlevkivikaevandustes suure püsivusega, siis liigne ristlõige kõrguse arvel ei tõsta märkimisväärselt toestamise kulusid. Nõutavast laiemate kaeveõõnsuste rajamine ei ole soovitav.

Joonisel 202 on esitatud lõhkeaukude paigutuse skeem paneelveostreki rajamisel kaevanduses nr. 2. Tabelisse nr. 29 on paigutatud tähtsamad andmed selle skeemi kohta.

Jooniselt 202 selgub, et algmurre saadakse lõhkeaukude *1* ja *2* abil. Seda laiendatakse lõhkeaukude *3*—*7* laengutega ee laiuseni. Sellist algmurde moodustamisviisi C-kihti kasutatakse Eesti NSV põlevkivikaevandustes laialdaselt iga liiki kaeveõõnsuste rajamisel.



Joon. 202. Lõhkeaukude paigutuse skeem paneelveostreki rajamisel kaevanduses nr. 2.

Laengud paigutatakse lõhkeaukudesse järgmiselt: lõhkeaukudesse *1* ja *2* — 1,2 kg; *4—7* — 1,0 kg; *8—10* ja *13—18* — 0,8 kg ning *11* ja *12* — 0,6 kg. Algmurdelaengute kaal võetakse suurem seepärast, et need asuvad raskemates tingimustes ja peavad tekitama võimalikult sügavama murde, millest oleneb antud laenguteseeria tulemus.

Laengute süütamine toimub joonisel esitatud numbrite järjekorras. B- ja A-kihtidesse paigutatud laengud lõhatakse enne kui kõrgemal olevad. Lõhkeaugud *3* ja *4* on 1,8 m sügavused, kõigi ülejäänute sügavus on 1,7 m.

Süütenööride pikkus on 2,0 m. Kuna minööril ei ole lubatud kitsas ees üheaegselt süüdata rohkem kui 16 laengut, siis toimub lõhkamine kahes järgus. Esimeses järgus süüdatakse ainult 2 laengut, mis on märgitud järjekorranumbritega 1. ja 2. Vastava aja (15 min.) möödumise ja ee tuulutamise järel süüdatakse numbrite järjekorras kõik ülejäänud 16 laengut.

Kahes järgus lõhkamine nõuab vähemalt 20—30 minutit lisaaega.

Laengute ühe seeria lõhkamisega murtakse lahti 18 m³ mäemassi (tervikus). Seega kulutatakse ühe m³ lahtimurdmiseks 0,880 kg lõhkeainet (ammoniiti nr. 7).

Põlevkivi saadakse tsüklis umbes 11,5 tonni ja kobestatud

aherkivimi äravedamiseks on vaja 12 m^3 mahutavusega vagonettide koosseisu.

Üheaegselt töötavad ees 2 kaevurit, kes teevad kõik vajalikud tööoperatsioonid, välja arvatud lõhkeaukude laadimine ja lõhkamine, mida teevad minöörid.

Ülemiste lõhkeaukude puurimine on raskem nende suurema kõrguse tõttu. Need puuritakse enne koristamise lõpetamist, seistes koristamata kivimi peal või toetudes laadimismasinale, kui seda kasutatakse.

Joonisel 203 on antud kaevanduse nr. 4 II idapoolse paneelveostreki lõhkeaukude paigutuse skeem. Nagu joonisest selgub, on selle streki laius 5,05 m ja kõrgus 3,3 m. Lõhkeaukude paigutus erineb mõnevõrra eelmises näites toodust (joon. 202).

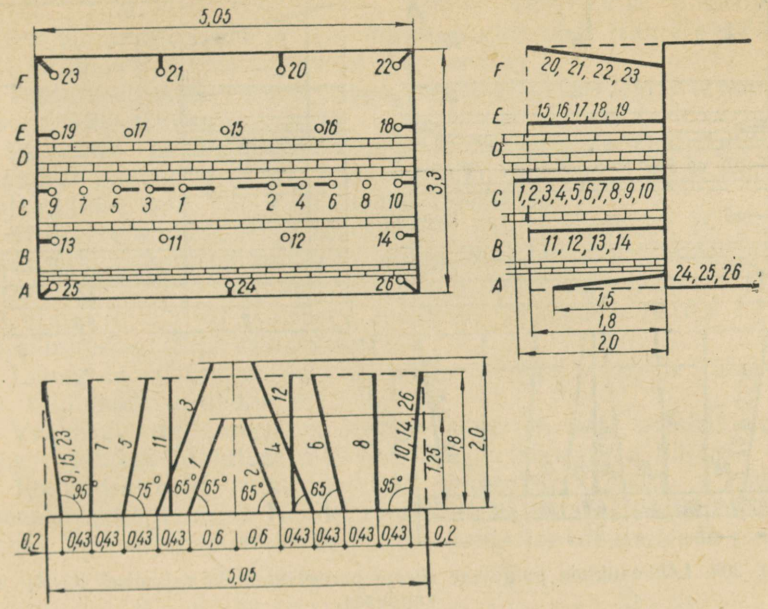
Tabel 29

Puurimis- ja lõhketööde andmed strekkide rajamisel

Näitajad	Mõõtühik	Paneelstrekid			Tuulutusstrekk
		Kaevandus nr. 2	Kiviõli kaevandus	Kaevandus nr. 4	Kaevandus nr. 4
Kaeveõõnsuse ristlõige (rajamisel)	m^2	13,2	12,8	16,5	7,7
Puurmasina tüüp	—	ЭПБ-19			
Lõhkeaugu läbimõõt	mm	42	42	42	42
Lõhkeaukude arv (tsüklis)	—	18	20	26	16
Puurmeetrite arv (tsüklis)	m	30,8	36	45,3	28,1
Lõhkeaugu kasutuskoefitsient	—	0,8	0,8	0,8	0,8
Lõhkeaine tüüp	—	ammoniit nr. 6 või 7			
Lõhkeaine kulu (tsüklis)	kg	16,8	16,4	17,8	16,2
Ee edasiliikumine ühest lõhkamisest	m	1,36	1,4	1,44	1,44

Algmurre tehakse horisontaalse soonena kogu ee laiuselt C-kihti. Algsüvend saadakse kahekordsete laengutega (lõhkeaugud *1—4*). Üldse puuritakse ette 26 lõhkeauku, kasutades nende laadimiseks 17,8 kg lõhkeainet. Laengute suurused on järgmised: lõhkeaukudes *1, 2, 25* ja *26* — 0,4 kg; *3—8, 15, 22, 23* — 0,8 kg; *9, 10, 18, 19* — 1,0 kg; *11—14, 16, 17, 20, 21* —0,6 kg ja lõhkeaugus *24* 0,2 kg.

Laengud süüdatakse lahtise tulega üheaegselt 2 minööri poolt, kes jagavad ee vertikaalse joonega keskelt pooleks. Vasakpoolne minöör süütab numbrite järjekorras kõik paaritut numbrit kandvad laengud *1—25* ja parempoolne minöör — kõik paarisnumbrit kandvad laengud *2—26* (joon. 203).



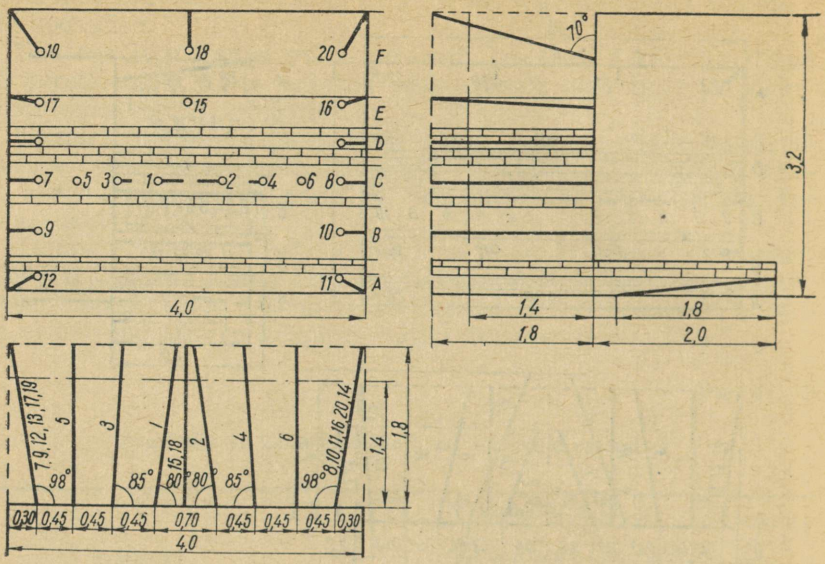
Joon. 203. Lõhkeaukude paigutus II idapoolse paneelveostreki rajamisel kaevanduses nr. 4.

Süütenööride pikkus laengutes on 2,0 m. Süütamisvahendina kasutatakse viltuste sisselõigetega süütenööri pikkusega mitte üle 1,4 m (0,6 m lühem kõige lühemast detonaatori süütenöörist).

Suure arvu laengute süütamine lahtise tulega on kitsas ees ebamugav ja ohtlikum kui laias ees (laavas). Süütenööride põlemisel tekib palju tihedat suitsu, mis kiirelt katab ee rinna ja takistab süütamise ajal järgmiste süütenööride leidmist, ning suureneb võimalus, et üksikud laengud jäävad süütamata. Soodsam oleks kasutada süütepadruneid.

Mäemassi (tervikus) murtakse lahti ühes tsüklis 24 m³. Lõhkeainet kulub 1 m³ kohta 0,78 kg (vt. tabel 29).

Joonisel 204 on antud lõhkeaukude paigutuse skeem paneelveostreki rajamisel Kiviõli kaevanduses. Streki ristlõige rajamisel on 12,8 m². Ette puuritakse 20 lõhkeauku sügavusega 1,8 m. Nende laadimiseks kulutatakse 16,4 kg lõhkeainet. Lõhkeaukudes *1—8* ja *15—20* on laengute suuruseks 1,0 kg ning lõhkeaukudes *9—14* 0,4 kg. Laengud süüdatakse üldise korra kohaselt — numbrite järjekorras. Ülejäänud andmed on tabelis 29. Selle küllaltki suure ristlõikega streki (12,8 m²) rajamisel kasutatakse huvitavat lõhkeaukude paigutust. Esinevad ainult algmurde ja kontuurlõhkeaugud peale ühe (nr. 15) kihis E.



Joon. 204. Lõhkeaukude paigutuse skeem paneelveostreki rajamisel Kiviõli kaevanduses.

Nagu selgub jooniselt 204, kasutatakse Kiviõli kaevanduses strekkide rajamisel vahel astmelist ett. Kiht A ja selle peal olev pae vahekiht jäetakse üldisest eest 2—2,5 m ulatuses tahapoole. Seda, umbes 0,4 m kõrgust astet puuritakse ja lõhatakse üheaegselt eespool oleva eega. Astme lahtimurdmiseks piisab kahest laengust á 0,4 kg. Passis on ette nähtud laengute *1* ja *2, 9* ja *10, 11* ja *12* ning *13* ja *14* üheaegne süütamine süütepadrunite abil. Seega süütamiste arv ei ületa 16.

Astmeline esi õigustab end antud juhul kõrgete kaeveõõnsuste rajamisel. Astme pealt on soodsam puurida ülemisi lõhkeauke ning siluda kaeveõõnsuse külgi ülemises osas. Astmeline esi takistab laadimismasina tööd ja seepärast ei ole soovitav kasutada astet mehhaniseeritud etes.

Tuulutusstrekid (sageli nimetatakse neid veestrekkideks) rajatakse rööbiti veostrekkidega. Nende rajamisel jäetakse *F*-kiht lakke. Seega kujuneb rajamiskõrguseks 2,2—2,3 m.

Tuulutusstrekkide laiused olenevad peamiselt eeskirjade nõuetest, veekraavide laiusest ja vajalikust õhuhulgast. Nende laiused määratakse kindlaks vastavalt vajadusele iga kord eraldi.

Mõnel pool on tuulutusstrekke rajatud laia eega. Niisugusel juhul eraldatakse lahtimurtud mäemassist (põlevkivi ühes aherkivimiga) aherkivim käsitsi kohapeal ja paigutatakse ribana kaeveõõnsuse ühte äärde. Ee laius võetakse selle riba laiuse võrra

suurem. Niisugune rajamisviis eeldab põlevkivist aherkivimi käsitsi väljaeraldamist ja laiendisse paigutamist. Käesoleval ajal selle rajamisviisi kasutamine ei ole soovitav.

Tuulutusstrekid, samuti nagu veostrekidki, rajatakse puurimis- ja lõhketööde abil.

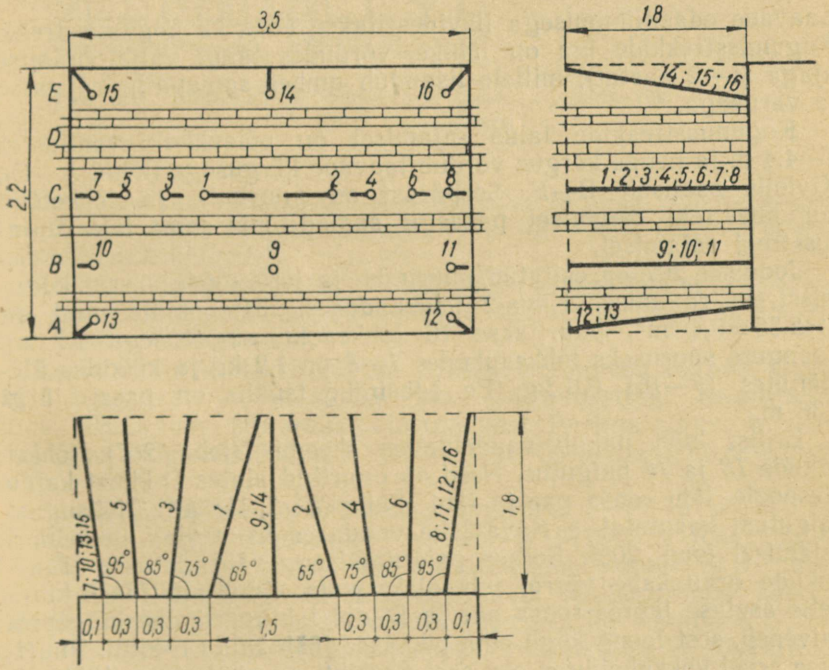
Puurimis- ja lõhketööde skeem I läänepoolse tuulutusstreki rajamisel kaevanduses nr. 4 on esitatud joonisel 205 ja tähtsamad andmed selle kohta on toodud tabelis 29.

Streki rajamisristlõige on 7,7 m². Ette puuritakse 16 lõhkeauku sügavusega 1,8 m. Kõik lõhkeaugud (*1—11*) kihtides C ja B laetakse 1,2 kg suuruste laengutega. Lõhkeaukudesse *12* ja *13* paigutatakse 0,3 kg suurused laengud, lõhkeauku *14* 0,6 kg ja ülejäänutesse (*15* ja *16*) 0,9 kg.

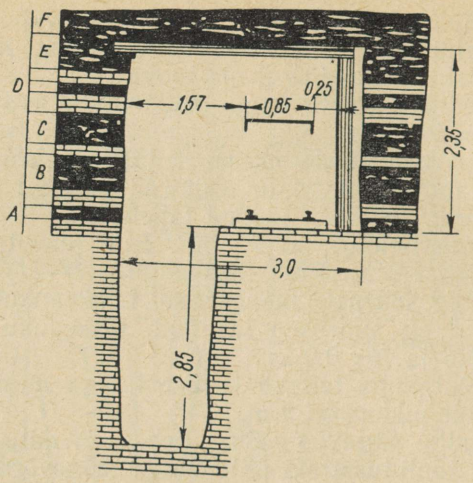
Laengute süütamine toimub lahtise tulega numbrite järjekorras. Süütenööride pikkus on 2 m.

Veekraav, mille sügavus mõnes kohas on mitu meetrit (joon. 206), rajatakse tuulutusstreki ühte äärde mõnevõrra hiljem.

Kogumisstrekid rajatakse risti paneelstrekkidega — ühest paneelstrekist teiseni. Nende rajamisega jaotatakse paneel lankideks. Iga kogumisstrekk teenindab kahte laavat (laavade paari).



Joon. 205. Lõhkeaukude paigutuse skeem I läänepoolse tuulutusstreki rajamisel kaevanduses nr. 4.



Joon. 206. Sügav veekraav (Kukruse kaevandus).

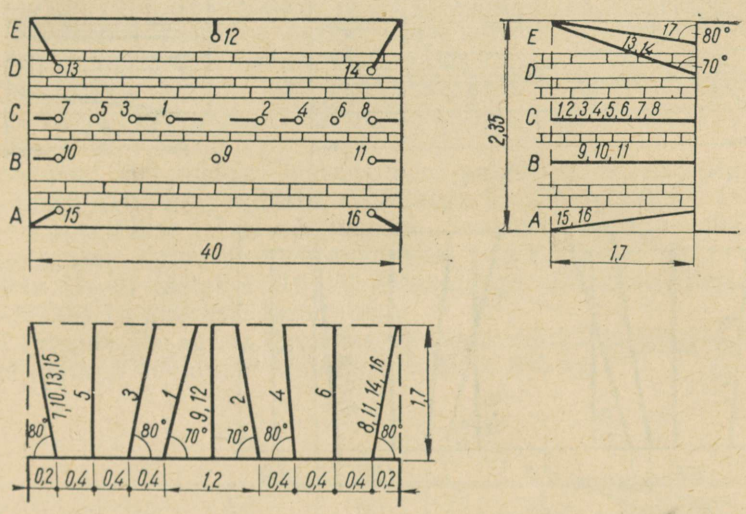
Laavade edasiliikumisega likvideeritakse koos ka kogumisstrekk. Kogumisstrekkide iga on lühike, võrdudes langi väljatöötamise ajaga (1—2 aastat), millele lisandub umbes samapalju rajamise ja varuaega.

Kogumisstrekkide laius rajamisel on põlevkivikaevandustes 4—4,4 m ja nende kõrgus võrdub laavade kõrgusega (kihid A—E), Kiviõlis osaliselt B—F. Seepärast on puurimis- ja lõhketööd kogumisstreki rajamisel peaaegu samad mis sama laia tuulutusstreki rajamisel.

Joonisel 207 on esitatud puurimis- ja lõhketööde skeem kogumisstreki rajamisel Käva-2 kaevanduses. Ette, mille pind on $4 \times 2{,}35 = 9{,}4$ m², puuritakse 16 lõhkeauku sügavusega 1,7 m. Laengute suuruseks lõhkeaukudes *1—8* on 1,2 kg ja kõikides ülejäänutes (*9—16*) 0,6 kg. Ee edasinihe tsüklis on passi järgi 1,36 m.

Erilist huvi pakub vaadeldavas skeemis (joon. 207) lõhkeaukude *13* ja *14* paigutus. Need on puuritud alates D-kihist kaldu ülespoole läbi roosa pae ja läbi E-kihi kuni lae alla. Niisugust paigutust kasutatakse Käva-2 kaevanduses ka mujal (lõikelõõri rajamisel joon. 209). Sellise paigutamisega vähendatakse lõhkeaukude arvu kahe võrra, mis oleks vaja olnud puurida E-kihti. Selle asetuse juures roosa pae ja D-kihi lahtimurdmine külgepidi halveneb, sest laeng kogu oma pikkuses jääb kaldu E-kihti. Puurimise arvel kokkuhoidu ei ole, sest paekihti puurimisel on tööjõudlus 3—4 korda madalam kui põlevkivisse puurimisel. Puurimis- ja

lõhketööde passi koostaja on püüdnud leida parimat lõhkeaukude paigutust tingimusel, et lõhkeaukude arv ei ületaks 16, millega väljditakse aegaviitvat kahekordset süütamist (eeskirjade kohaselt ei ole lubatud kitsas ees korraga süüdata üle 16 laengu). Antud lahendust võib lugeda paremaks kui joonisel 205 esitatut.



Joon. 207. Puurimise ja lõhketööde skeem kogumisstreki rajamisel Käva kaevanduses.

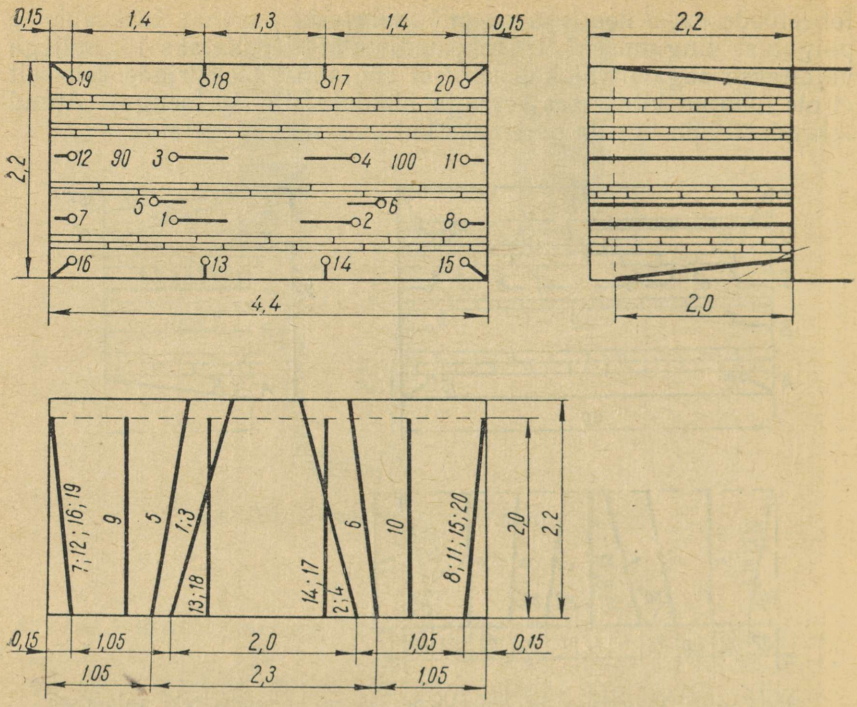
Laengute suurendamisega lõhkeaukudes *13* ja *14* võib vajaduse korral saavutada rahuldava roosa pae ja D-kihi lahtimurdmise kaeveõõnsuse külgedelt.

Alumiste laengute (*15* ja *16*) süütamine viimastena ei ole soovitav, sest lõhkemise momendil lamavad siis nende peal kõik kõrgemalt lahtimurtud kivimid.

Kaevanduse nr. 4 minööri sm. Alksise ettepaneku kohaselt koostatud puurimis- ja lõhketööde pass kogumisstreki rajamiseks (joon. 208 ja tabel 30) andis häid tulemusi. Parima algmurde saamiseks on paigutatud kihti B neli ja kihti C kaks algmurde-lõhkeauku.

Laengud süüdatakse kahes järgus: esiteks *1—16* ja pärast ee tuulutamist ning korrastamist laetakse ja lõhatakse lõhkeaugud *17—20*. Kahe meetri sügavuseni puuritud lõhkeaukude abil murti lahti 1,68—1,78 m sügavuselt. Seega saadi lahtimurdmise koefitsiendiks 0,84—0,89, mis on tunduvalt kõrgem kui keskmine (0,7—0,8). Iga 1 m² kivimi lahtimurdmiseks kulutati 1,23 kg lõhkeainet (ammoniit nr. 7).

Selle passi kohaselt tehti puurimis- ja lõhketöid kaevanduses



Joon. 208. Lõhkeaukude paigutus kogumisstreki 63-64 rajamisel.

Tabel 30

Tähtsamad andmed joonisel 208

Lõhkeaugu nr.	Lõhkeaukude pikkused m	Kaldenurk kraadides		Laengute suurused kg	
		Vertikaal-pinna suhtes	Horisontaal-pinna suhtes		
1, 2, 3, 4	2,2	75	—	4×1,2=4,8	
5, 6	2,2	80	—	2×1,2=2,4	
7, 8, 11, 12	2,0	95	—	4×1,0=4,0	
9, 10	2,0	—	—	2×1,0=2,0	
13, 14	2,0	—	95	2×0,8=1,6	
15, 16	2,0	95	95	2×1,0=2,0	
	Kokku teises järjekorras			16	16,8
17, 18	2,0			2×0,8=1,6	
19, 20	2,0			2×1,0=2,0	
	Kokku esimeses järjekorras			4	3,6

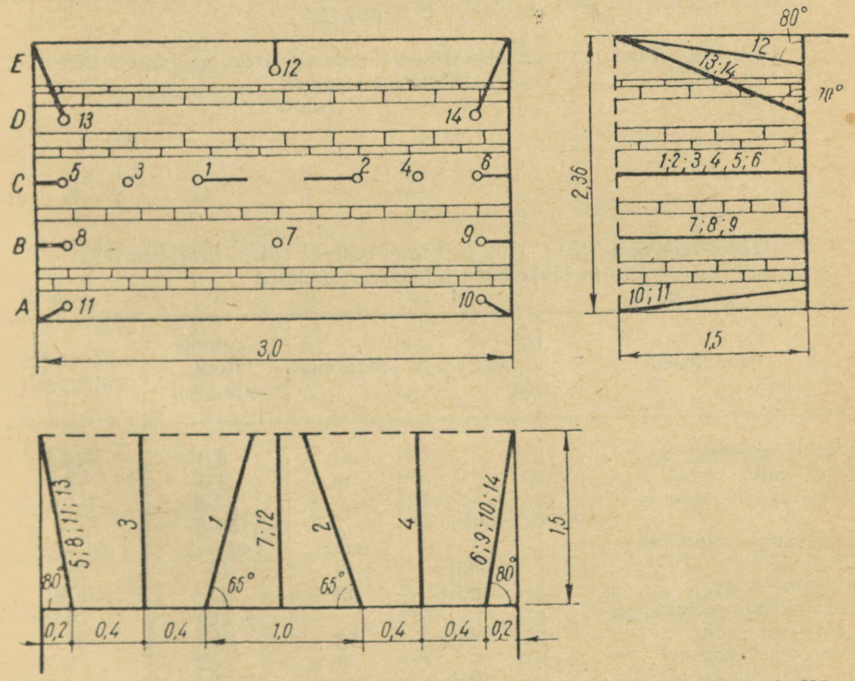
nr. 4 kogumisstreki 63—64 rajamisel kiirmeetodil jaanuaris 1960. a., kus saadi rekordiline rajamiskiirus 225 m kuus.

Alglõõrid (lõikelõõrid) rajatakse kihtipidi kohtades, kust alustatakse koristustöid pikkade etega (laavadega). Alglõõri ühe külje väljavõtmisega moodustatakse uus koristusesi (laava).

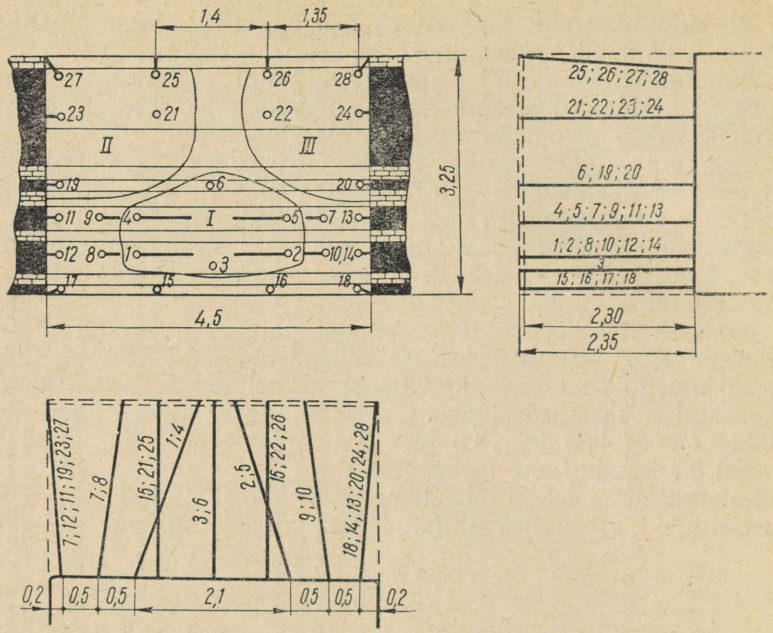
Alglõõr rajatakse avatava laava kõrgune, laius aga ei ole kindlalt piiritletud, mistõttu alglõõride rajamislaiused põlevkivikaevandustes suuresti erinevad. 1959. aasta esimesel poolel oli alglõõride rajamislaiuseks Käva kaevanduses 3 m, kaevanduses nr. 2 3,2 m, Kiviõli kaevanduses 3,5 m, kaevanduses nr. 10 6,5 m ja kaevanduses nr. 4 7,2 m.

Joonisel 209 näeme lõhkeaukude paigutuse skeemi alglõõri rajamisel Käva kaevanduses, ristlõikega $3 \times 2{,}36 = 7{,}08$ m². Lõhkeaugud puuritakse 1,5 m sügavuseni. Suurimad laengud (0,8 kg) paigutatakse algmurde lõhkeaukudesse *1* ja *2*. Teised lõhkeaugud C-kihis (*3—6*) laetakse 0,6 kg lõhkeainega ja kõik ülejäänud (*7—14*) 0,4 kg suuruste laengutega.

Laengute ühe seeria lõhkamisega liigub esi 1,2 m edasi. Lõhkeainet kulub 1 m³ kivimi lahtimurdmiseks 0,845 kg.



Joon. 209. Puurimise ja lõhketööde skeem laava alglõõri rajamisel Käva kaevanduses.



Joon. 210. Puurimise ja lõhketööde skeem veostreki rajamisel. Põlevkivi Instituudi ettepanek.

Tabel 31

Paneel-veostreki (joon. 210) **ja kogumisstreki** (joon. 211) **puurimis- ja lõhketööde tähtsamad andmed**

Nimetused	Näitajad	Mõõtühik	Kogumis-streki rajamisel	Veostreki rajamisel
Streki ristlõige		m^2	8,8	14,6
Streki laius		m	4,0	4,5
Kõvaduse kategooria	põlekivi	f	2—4	1—3
	aherkivim	f	5—8	5—8
Lõhkeaugu läbimõõt		mm	40—42	40—42
Lõhkeaukude arv	tsüklis	tk	19	28
Puurimise arv	tsüklis	m	45,6	67,0
Lõhkeaukude kasutegur			0,93	0,96
Lõhkeaine kulu	tsüklis	kg	19,6	28,2
Puurimise sügavus		m	2,35	2,35
Ee edasiliikumine	tsüklis	m	2,2	2,30

Ka siin on äärmised ülemised lõhkeaugud puuritud läbi roosa pae. Nähtavat vajadust selleks ei ole, sest 14 lõhkeaugu asemel võiks kasutada 16, puurides lõhkeaugud nii D- kui ka E-kihti.

Viimasel ajal on levinud kitsaste alglõõride kasutamine. Sellega saadakse suurem rajamiskiirus ja kulutuste kokkuhoid.

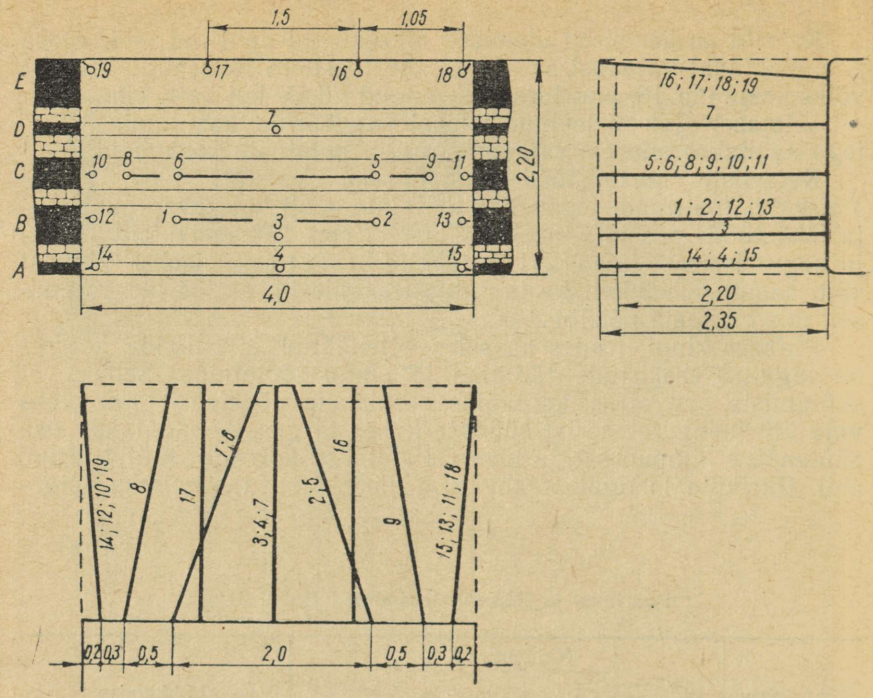
Katseliste uurimistööde tulemusena koostati 1960. aastal Põlevkivi Instituudi teaduslike töötajate poolt huvitavad puurimis- ja lõhketööde passid paneel-veostreki (joon. 210 ja tabelid 31, 32) ja kogumisstreki (joon. 211 ja tabelid 31, 33) rajamiseks. Viimast võib kasutada edukalt ka tuulutusstrekkide ja alglõõride rajamisel, mis on sama põiklõikega.

Pidades kinni nendes passides ettenähtud lõhketööde korrast on tagatud eeskirjade täitmine ja ohutu töötamine. Selleks et süütamiste arv oleks kooskõlas eeskirjade nõuetega ja ei oleks vaja üht laengute seeriat süüdata kahes järgus, koondatakse osa süütenööre kimpudesse ja need süüdatakse korraga süütepadruni abil. Üksikute laengute plahvatuse järjekorra tagamiseks lõiga-

Tabel 32

Puurimis- ja lõhketööde andmed (joon. 210)

Lõhkeaugu nr. nr.	Lõhkeaugu pikkus m	Kaldenurk °		Laengu suurus kg	Lõhkamise järjekord
		vertikaalpinna suhtes	horisontaalpinna suhtes		
1, 2, 4, 5	2,5	0	70	1,4	I
3	2,5	0	90	1,0	
6	2,4	0	90	1,2	
7, 9	2,4	0	80	1,4	Süüdatakse numbrite järjekorras
8, 10	2,4	0	80	1,0	
11, 13	2,4	0	85	1,2	
12, 14	2,4	0	85	1,0	
15, 16	2,35	0	90	0,8	
17, 18	2,35	5	85	0,8	
19, 23	2,35	0	85	0,8	II järjekord grupis 19, 21, 23, 25, 27
21	2,35	0	90	0,8	
25	2,35	5	90	0,8	
27	2,35	5	85	0,8	
20, 24	2,35	0	85	0,8	III järjekord grupis 20, 22, 24, 26, 28
22	2,35	0	90	0,8	
26	2,35	5	90	0,8	
28	2,35	5	85	0,8	



Joon. 211. Puurimise ja lõhketööde skeem kogumisstreki rajamisel. Põlevkivi Instituudi ettepanek.

Tabel 33

Puurimis- ja lõhketööde andmed (joon. 211)

Lõhkeaugu nr.	Lõhkeaugu pikkus m	Kaldenurk °		Laengu suurus kg	Lõhkamise järjekord
		vertikaal-pinna suhtes	horison-taalpinna suhtes		
1, 2	2,5	70	0	1,4	Süüdatakse esimesena padruni abil
3	2,4	90	0	1,0	
4	2,4	90	0	0,6	
5, 6	2,5	70	0	1,4	Süüdatakse numbrite järjekorras
7	2,4	90	0	1,2	
8, 9	2,4	80	0	1,4	
10, 11	2,4	85	0	1,2	
12	2,4	85	0	0,8	
13	2,35	85	0	0,8	
14, 15	2,35	85	0	0,6	
16, 17, 18, 19	2,35	85	0	0,8	

takse kimpu ühendatud süütenöörid vastavalt üksteisest pikemaks.

Kas passis ettenähtud suur kasutegur jääb püsima ka massilisel kasutamisel, näitab praktika. See võib mõnevõrra langeda, sest katsetööd tehakse kõrgekvaliteediliselt teaduslike töötajate juuresolekul ja tulemused on seega keskmistest kõrgemad. Üleminek Põlevkivi Instituudi poolt koostatud puurimis- ja lõhketööde passide kasutamisele tõstab lõhkeaukude kasutegurit tunduvalt. Uute passide kasutusele võtmisel tuleb arvestada ka kohalikke mäetehnilisi ja geoloogilisi tingimusi üksikutes kaevandustes.

§ 63. Puurimis- ja lõhketööd veekraavide rajamisel

Kaevandustes rajatakse veekraavid vee juhtimiseks pumbajaamadesse. Kraavid peavad olema kaldega vee juhtimise suunas 1—3 m 1 km kohta. Mida suurem on ärajuhitava vee hulk ja mida suurem on kraavi sügavus, seda suurem on kraavi ristlõige.

Eesti NSV põlevkivikaevandustes tuleb rajada üsna sageli sügavaid, suure ristlõikega veekraave selleks, et saada vajalikku kallet vee äravoolu jaoks ja läbi lasta suurt hulka vett. Veekraavide rajamine kõvadesse lubjakividesse nõuab suuri kulutusi ning palju tööjõudu puurimis- ja lõhketöödeks ning lahtimurtud kivimite kõrvaldamiseks. Sügavate veekraavide rajamisel on laengute süütamine lahtise tulega ohtlikum kui mujal.

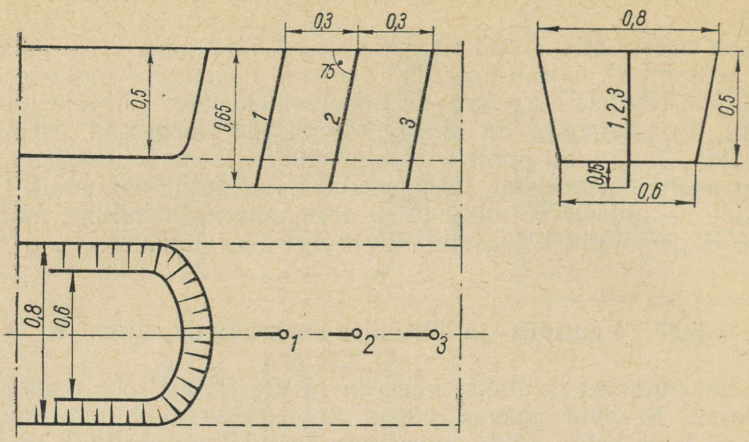
Veekraavid rajatakse lubjakividesse. Lõhkeaugud puuritakse elektri-käsipuurmasinaga ЭБР-19. Puurimiskiirus on palju väiksem kui põlevkivisse puurimisel.

Parema ettekujutuse saamiseks puurimis- ja lõhketööde kohta veekraavide rajamisel esitatakse allpool mõned näited.

1. Kiviõli kaevanduses rajatakse madalad (0,5 m) veekraavid ühe rea 0,65 m sügavuste lõhkeaukude puurimisega kraavi telgjoonele (joon. 212). Laengute suurus on 0,4 kg. Lõhkeainet kulub 1 m^3 kraavi kohta 1,56 kg. Passi järgi on kraavi laius põhjast 0,6 m ja pealt 0,8 m (vt. tabel 34).

2. Kaevanduses nr. 4 rajatakse 0,5 m sügavused veekraavid kahe rea lõhkeaukude puurimisega malekorras (joon. 213). Laengute suurus on 0,15 kg. Lõhkeaine kulu 1 m^3 kraavi kohta on 1,13 kg (vt. tabel 34).

3. Käva-2 kaevanduses rajatakse 2,0 m sügavusi veekraave, mille rajamisskeem koos lõhkeaukude paigutusega on esitatud joonisel 214. Kraav rajatakse tuulutusstrekki, laiusega pealt 1,1 m ja põhjast 0,8 m. Nõutav sügavus (2 m) saadakse 6-kordse puurimise ja lõhkamisega. Iga kord puuritakse 0,4 m sügavused lõhkeaugud kaldega 80° kraavi kalda suunas. Laengute suurus on 0,3 ja 0,2 kg. Lõhkeaine kulu 1 m^3 kraavi kohta on 5,0 kg (vt. tabel 34).

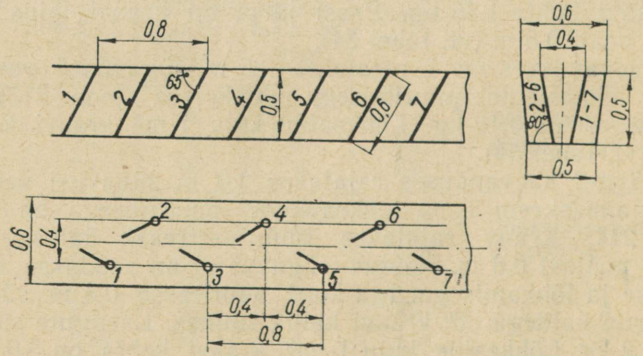


Joon. 212. Madala veekraavi rajamine lõhketööde abil Kiviõli kaevanduses.

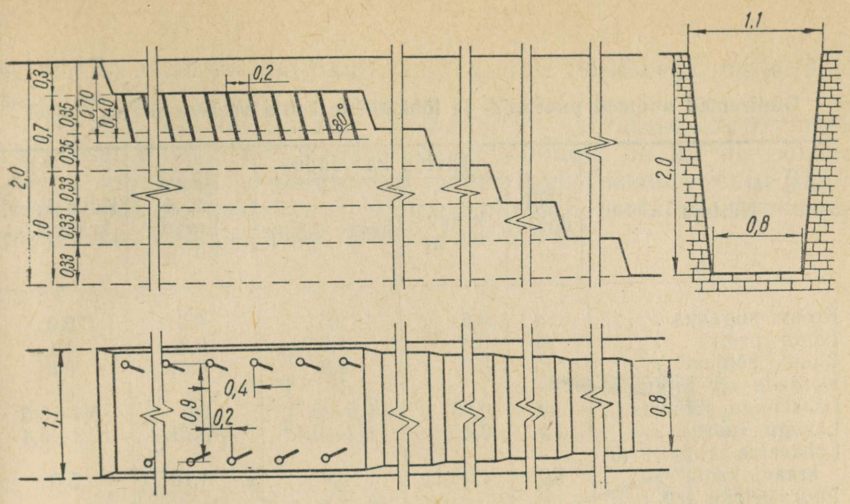
4. Kiviõli kaevanduses rajatakse 2,5 m sügavused veekraavid 5-kordse puurimise ja lõhkamisega (joon. 215). Esimese lõhkamisega saadakse kraavi sügavuseks 0,4 m, teisega süvendatakse 0,6 m ja iga järgmise korraga 0,5 m võrra.

Esimese, ülemise korra lõhkeaugud laetakse 0,2 kg suuruste laengutega, kõigi ülejäänud laengute suuruseks on 0,4 kg. Lõhkeaine kulu 1 m³ kraavi kohta on 2,9 kg (vt. tabel 34).

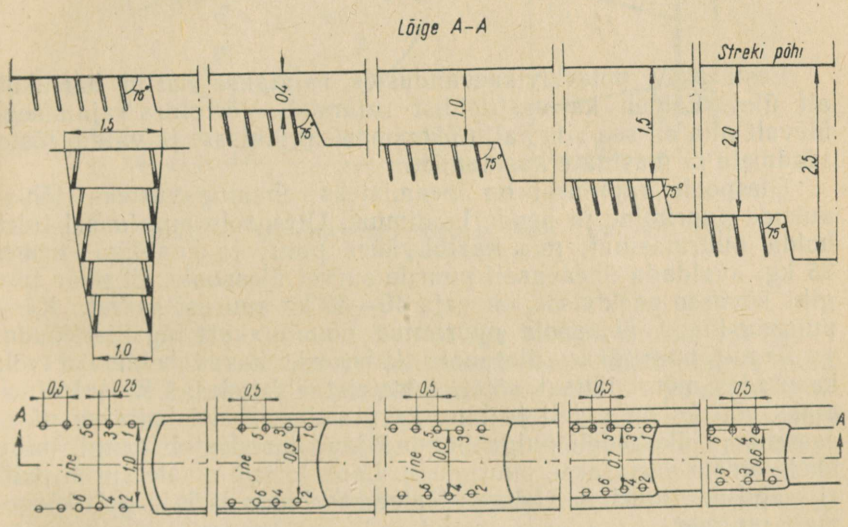
Viimasel ajal katsetatakse masinaid kraavide rajamiseks soonimise ja puurimise teel. Esialgsed andmed on lootustäratavad. Võib arvata, et sügavaid kraave rajatakse lähemas tulevikus meie põlevkivikaevandustes masinatega ilma lõhketöödeta.



Joon. 213. Madala veekraavi rajamine lõhketööde abil kaevanduses nr. 4.



Joon. 214. Sügava veekraavi rajamine puurimis-lõhketööde abil Käva kaevanduses.



Joon. 215. Sügava veekraavi rajamine lõhketööde abil Kiviõli kaevanduses.

§ 64. Puurimis- ja lõhketööd šurfide rajamisel

Šurfid rajatakse eelkõige tuulutuse otstarbel. Neid kasutatakse ka tagavaraväljapääsudeks või veetorustiku juhtimiseks maa peale.

Tabel 34

Olulisemad andmed puurimis- ja lõhketööde kohta veekraavide rajamisel

Näitaja	Mõõt-ühik	Kiviõli kaevandus		Kaev. nr. 4 kraav 0,5 m	Käva kaev. kraav 2,0 m
		kraav 0,5 m	kraav 2,5 m		
Kraavi sügavus . . .	m	0,5	2,5	0,5	2,0
Laius pealt	m	0,8	1,5	0,6	1,1
Laius põhjast . . .	m	0,6	0,8	0,5	0,8
Kordade arv rajamisel	—	1	5	1	6
Lõhkeaugu sügavus .	m	0,65	0,6—0,7	0,6	0,4—0,5
Laengu suurus . . .	kg	0,4	0,2—0,4	0,15	0,2—0,4
Lõhkeaine kulu 1 m^3 kraavi kohta . . .	kg	1,56	2,9	1,13	5,0
Puurmeetrite arv 1 m^3 kraavi kohta . . .	m	—	5,6	—	6,9
Puurmasina tüüp . .			ЭБР-19		

Eesti NSV põlevkivikaevandustes rajatakse šurfid harilikult alt üles. Esineb ka vastupidist rajamist. Võrreldes rajamisega ülevalt alla on see viis palju ökonoomsem, lihtsam ja väldib tõsteseadmete ja masinate kasutamist.

Ülespoole rajamisel on peamisteks ebamugavusteks lõhkeaukude puurimine ja nende laadimine. Ülespoole puurimisel tuleb hoida puurmasinat, mis kaalub ühes puuri ja kaabliga umbes 25 kg, avaldada üheaegselt puurile survet ülespoole. Et puur tungiks kõvasse paekivisse, on vaja 40—50 kg suurust survet. Käispuurmasinaga ülespoole puurimine nõuab suurt füüsilist jõudu.

Sageli puuritakse ülespoole kahekesi, kas vaheldumisi või, kasutades mõnd lihtsat võtet, teineteist abistades. Üheks levinumaks võtteks on redeli ja laua kasutamine. Redel hoitakse püstasendis ja üle redeli pulga pandud laud moodustab kangi, mille ühele otsale asetatakse puurmasin. Laua teisele otsale surub puurija abiline. Puurimise käigus tõstetakse lauda järk-järgult kõrgemale pulgale.

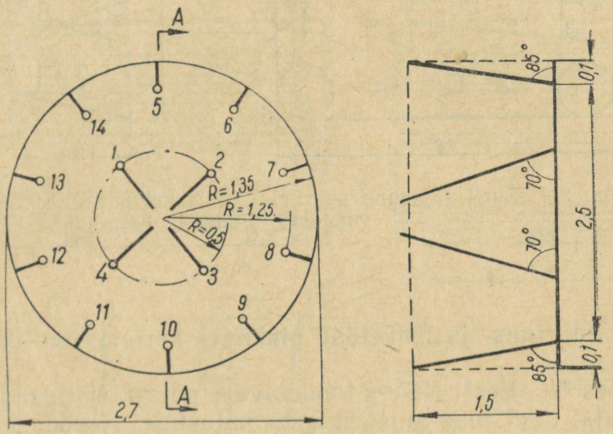
Paekivisse puurimisel alt üles on norm 45 m vahetuses (Käva, 1959. a.).

Järsult ülessuunatud lõhkeaukudest libisevad lõhkeainepadrunid enne välja, kui topis jõutakse ette lükata. Et padrunid kohal püsiksid, määritakse nende külgi saviga või kasutatakse mõnda muud võtet.

Šurfide rajamisel peab kasutama elektrilist laengute süütamist, sest redelite kasutamine ohutusse paika minemisel pärast laengute süütamist on keelatud.

Šurfid rajatakse harilikult ringikujulise ristlõikega, mille läbimõõt on 1,5—3,0 m.

Joonisel 216 on esitatud lõhkeaukude paigutuse skeem surfi rajamisel Käva-2 kaevanduses. Surfi läbimõõt on 2,7 m. Lõhkeaugud, arvult 14, on paigutatud kahte ringi. Sisemise ringi (läbimõõt 1 m) moodustavad 4 koonusekujuliselt asetatud algmurdelõhkeauku. Välimise ringi läbimõõt on 2,5 m.



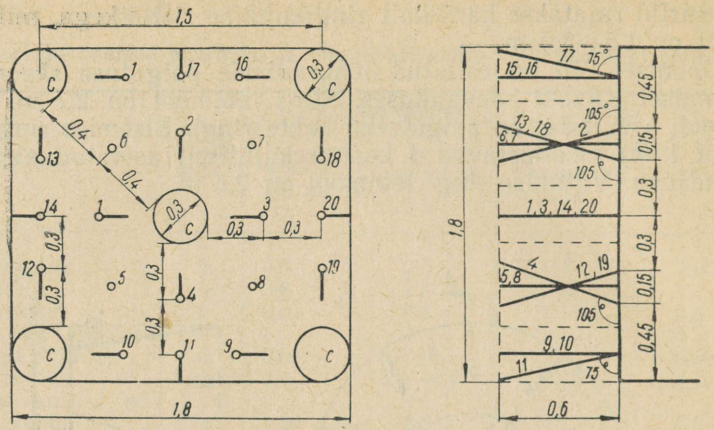
Joon. 216. Lõhkeaukude paigutus šurfi rajamisel Käva kaevanduses.

Lõhkeaugu sügavus on 1,5 m ja iga laengu suurus 1,0 kg.

Paremaks tuulutuseks ja lahtimurdmiseks kasutatakse mõnikord šurfide rajamisel eelnevaid puurauke, mis on puuritud maapinnalt kuni põlevkivikihini sügavpuurimise pinkidega. Ühe šurfi ristlõikes võib olla mitu auku. Aukude läbimõõt on harilikult 250—400 mm.

Joonisel 217 näeme lõhkeaukude paigutuse skeemi šurfi rajamisel Kiviõli kaevanduses, kus kasutatakse viit eelnevat sügavpuurauku läbimõõtudega 300 mm. Lõhkeaugud (arvult 20) sügavusega 0,7 m on suunatud väikese kaldega puuraukude poole. Šurfi ristlõige on 3,2 m², laengute suurus on 0,4 kg.

Passis ettenähtud korra kohaselt toimub lõhkamine neljas järgus. Alguses laetakse ja lõhatakse lõhkeaugud *1—4*. Pärast tuulutamist laetakse ja lõhatakse teine järk (lõhkeaugud *5—8*). Edasi tuulutatakse ja korratakse lõhkamist veel kaks korda. Arusaadavalt kulutatakse lõhketöödele sel puhul liiga palju aega ja protsess ise on tülikas.



Joon. 217. Šurfi rajamine puurimis- ja lõhketöödega Kiviõli kaevanduses: c-sügavpuuraugud.

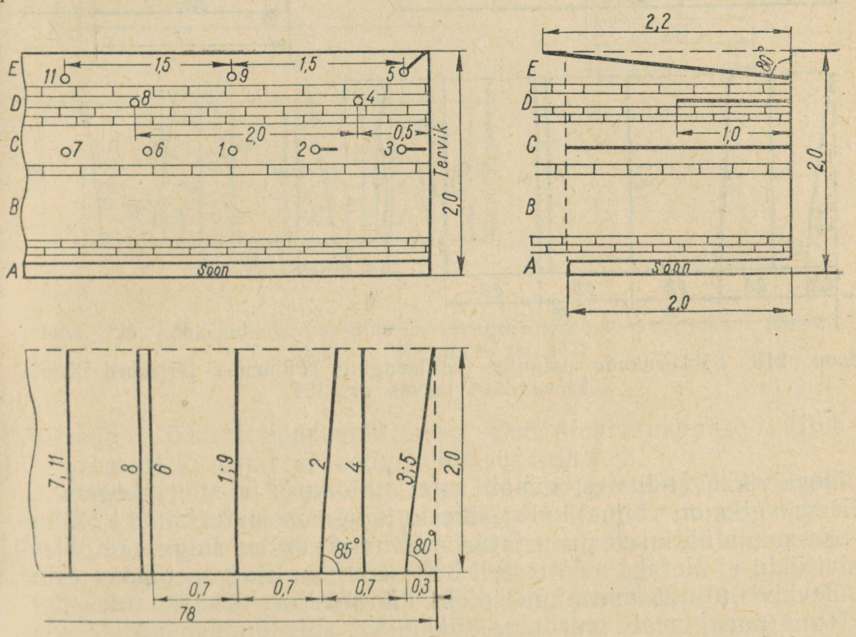
§ 65. Puurimis- ja lõhketööd pikkades koristusetes (laavades)

Umbes $^{9}/_{10}$ Eesti NSV-s toodetavast põlevkivist saadakse käesoleval ajal veel maa-alustest kaevandustest. Nendes kasutatakse põhiliselt pikklank-kaevandamisviisi, mis võimaldab edukalt rakendada soonimismasinaid ja ee-konveiereid. Võrreldes endise ruumtervik-kaevandamisviisiga, mida kasutati esimestel sõjajärgsetel aastatel, tõstis soone sisselõikamine lõhketööde efekti; madala konveieri asetamine vahetult piki ett võimaldas tunduvalt tõsta tööviljakust. Kuid kahjuks ei kergendanud see veel kaevurite füüsilist tööd. Tähtsamad tööliigid, nagu põlevkivi konveierile laadimine ja aherkivimi kõrvaldamine ei oma selle kaevandamisviisi juures veel selgeid mehhaniseerimise väljavaateid. Nende oluliste puuduste pärast on juba hakatud seda hiljuti veel progressiivseks tunnustatud kaevandamisviisi uuega asendama. Selleks on kambriviisiline kaevandamine, mis käesoleva tehnika arenemise astmel võimaldab kõik tööprotsessid mehhaniseerida.

Pikklank-kaevandamisviisi hakati 1946. aastast alates kasutama kombinaadis «Eesti Põlevkivi». Alguses oli koristusee (laava) pikkus 50 m. Söetööstusest saadud soonimismasinad ja konveierid olid meie tingimuste jaoks nõrgad. Hiljem, võimsamate konveierite ja soonimismasinate saamisel, pikendati esi 80—90 meetrini. Soone sügavust, mis alguses oli 1,5 m, suurendati 1,8—2 meetrini. Lähtudes kõigi koristustöö liikide paremast organiseerimisest ning arvestades kasutusel olevate masinate võimsust, loetakse käesoleval ajal optimaalseks ee pikkuseks umbes 80 m ja

soone sügavuseks 1,8 m. Masinate võimsuse ja tootlikkuse muutumine võib oluliselt neid keskmisi arve muuta.

Soon tehakse ee põhja peale A-kihti ja kohtades, kus A-kihti välja ei võeta, B-kihti (osaliselt Kiviõli kaevanduses). Lõhkeaugud puuritakse põlevkivikihtidesse käsipuurmasinatega ЭБР-19 soone sügavuselt. Lõhkeaukude kasutuskoefitsient on 0,9—1,0. Kihti F välja ei võeta; see jäetakse lakke ja ta moodustab üsna püsiva lae koristusalas.

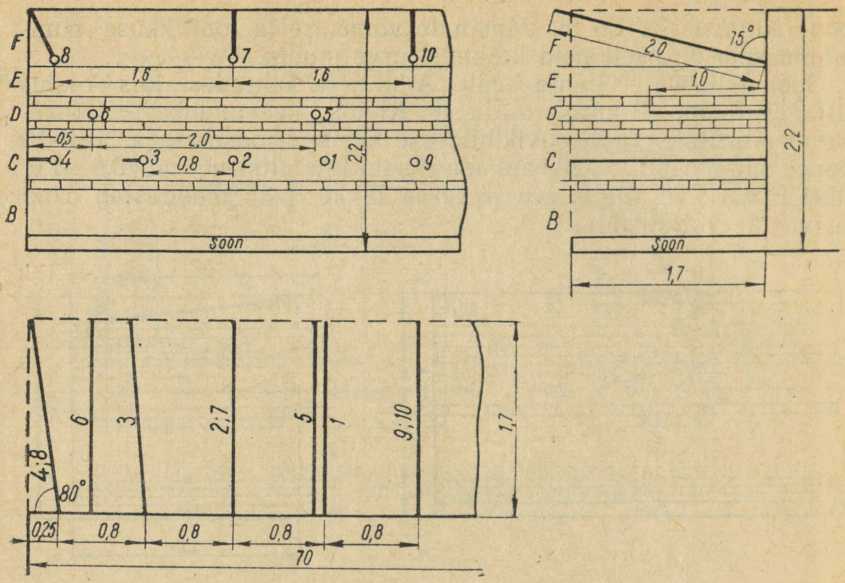


Joon. 218. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord laavas nr. 105 Kiviõli kaevanduses.

Võrdlemisi suur ee kõrgus (2,0—2,3 m) ja kõvad aherkivimi vahekihid tingivad suure lõhkeaukude arvu (150—200 ee kohta) ja nõuab nende oskuslikku paigutust. Lõhkeauke puuritakse 3 või 4 rida (vt. joonised 218—224).

Lõhkeaine tarvidus on võrdlemisi suur — 80—125 kg tsüklis. Ühe tonni toodetud põlevkivi kohta kulutatakse keskmiselt 300—400 g lõhkeainet. Lõhkeainena kasutatakse ammoniiti nr. 6 või nr. 7. Siinjuures tuleb arvestada, et küllaltki suur osa selle lõhkeaine võimsusest kulutatakse kõvade aherkivimi vahekihtide purustamiseks, mida lahtimurtavas mäemassis on mahult 30—35%.

Laengute suuruse valik ja nende oskuslik paigutus etes, kus esinevad mitmesuguse kõvadusega kivimid, nagu see on eesti



Joon. 219. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord Kiviõli kaevanduse laavas nr. 104.

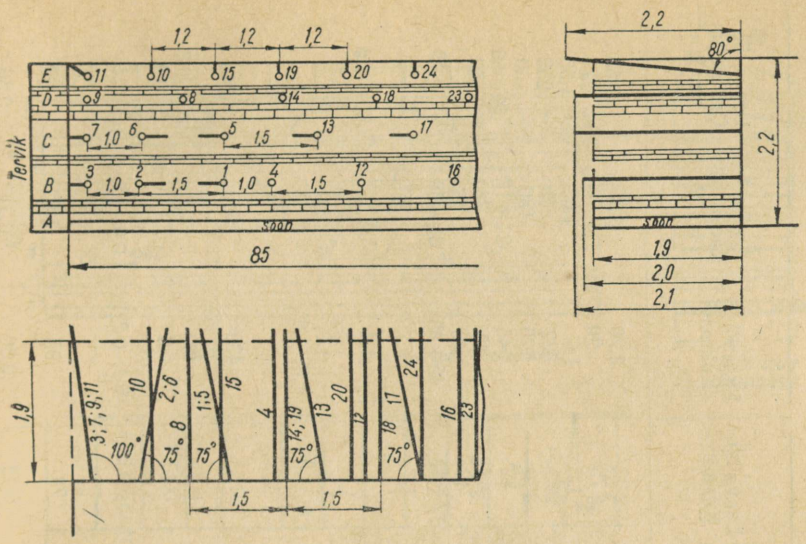
põlevkivikaevandustes, nõuab asjatundlikkust ja suuri kogemusi. Eesmärgiks on võimalikult väikeste tööjõu ja materjalide kulutustega saada ühtlaselt purustatud mäemassi, milles suuremad põlevkivitükid ei ületaks mõõtmetelt 300—400 mm ning seejuures peene põlevkivi (0—25 mm) hulk oleks minimaalne. Vahekihtide aherkivim (paas) peab murduma tükkideks, mis on kaevuritele jõukohased riitadesse paigutamiseks. Aherkivimi liiga peeneks purustamine ei ole samuti soovitav. Peen aherkivim satub põlevkivi hulka ja alandab selle väärtust. Selle käsitsi kõrvaldamine on aegaviitev töö.

Lõhkeaugud puuritakse põlevkivikihtidesse, kuid nii, et rohkem laenguid satuks kõvemate paekivi vahekihtide lähedusse. Aherkivimisse puurimine nõuaks 3—4 korda rohkem aega ja kulutusi.

Laavades on puurija töönormiks 250 m lõhkeauku vahetuses. Seda normi ületatakse 10—20% võrra.

Soonimismasinaga tehakse piki ett põhja juurde 1,6—2,0 m sügavune ja 0,14 m kõrgune sisselõige — soon selleks, et lõhkamisel murduks põlevkivi sügavamalt lahti väiksema lõhkeaine kulutusega.

Pärast soonimist võib esi vajuda. See tekitab ee kivimites pragusid ja nihkeid. Nihete piirkonnas olevatesse lõhkeaukudesse ei



Joon. 220. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord kaevanduse nr. 10 laavas nr. 157.

lähe sageli lõhkeainepadrunid sisse. Osa plahvatusgaase väljub läbi pragude kasutult ja laengu võimsus väheneb.

Nende puuduste kõrvaldamiseks lüüakse iga 2—2,5 m tagant soonde pakud ja lõhkeaugud puuritakse tagapool soonimismasinat. Lõhkeaugud puuritakse horisontaalsete ridadena kogemuste alusel väljakujunenud skeemide kohaselt.

Joonisel 218 on esitatud Kiviõli kaevanduse laava 105 puurimis- ja lõhketööde skeem. 78 m pikkuses laavas puuritakse 207 lõhkeauku, neist E-kihti 58 sügavusega 2,2 m, D-kihti 39 sügavusega 1 m ja C-kihti 110 sügavusega 2 m. Soone sügavus on 2 m. Ühe tsükli lõhkeaukude laadimiseks kulub 126 kg ammoniiti. Toodangut saadakse tsüklis 268 tonni. Iga tonni toodetava põlevkivi kohta kulutatakse 0,47 kg lõhkeainet (vt. tabel 35).

Joonisel 219 on esitatud puurimis- ja lõhketööde skeem laavas 104. Selle skeemi kohaselt toodetakse Kiviõli kaevanduses põlevkivi kihtidest B, C, D, E ja F, jättes seejuures A-kihi välja võtmata. Laava pikkus on 70 m ja soone sügavus 1,7 m. Lõhkeauke puuritakse 3 rida: C-kihti 88 sügavusega 1,7 m, D-kihti 35 sügavusega 1 m ja F-kihti 44 sügavusega 2,0 m. Tsüklis saab toodangut 240 tonni.

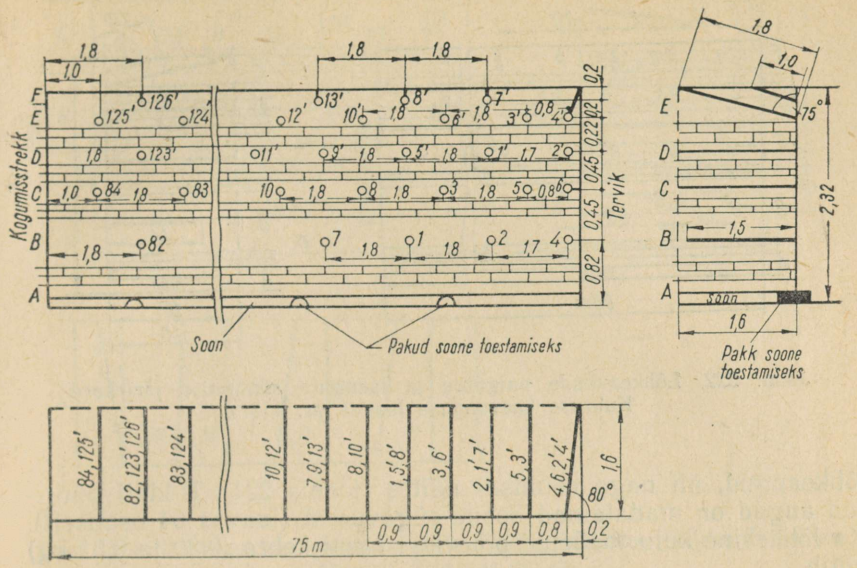
Üldine lõhkeaine kulu on 102 kg, mis teeb iga toodetud põlevkivi tonni kohta 0,43 kg.

Ee kõrgus on 2,2 m. Ülemine vähemkvaliteetne osa F-kihist jäetakse lakke (vt. tabel 35).

Tabel 35

Andmed puurimis- ja lõhketööde kohta laavades

Näitaja	Mõõt-ühik	Laava 105 Kiviõli	Laava 104 Kiviõli	Laava 157 Kaev. nr. 10	Laava 39 Käva-2	Laava 115 Kukruse	Laava 64 Kaevandus nr. 2	Laava 55 Kaevandus nr. 2
Kihi paksus	m	2,00	2,20	2,20	2,32	2,20	2,23	1,55
Laava pikkus	m	78	70	85	75	90	75	75
Soone sügavus	m	2	1,7	1,95	1,6	1,6	1,95	1,55
Toodang tsüklis	t	268	240	356	280	322	345	255
Lõhkeaukude arv	tk.	207	167	242	210	225	130	150
neist kihis *B*	tk.	—	—	57	42	45	21+17	50+50
„ *C*	tk.	110	88	57	42	45	38	50
„ *D*	tk.	39	35	57	42	45	38	—
„ *E*	tk.	58	—	71	42+42	45+45	38+38	—
„ *F*	tk.	—	44	—	—	—	—	—
Lõhkeaukude sügavus kihis *B*	m	—	—	2,0	1,5	1,4	2,0; 1,5	1,6; 1,6
„ *C*	m	2,0	1,7	2,1	1,6	1,8	2,2	1,6
„ *D*	m	1,0	1,0	2,1	1,6	1,8	2,0	—
„ *E*	m	2,2	—	2,2	1,8; 1,0	1,8; 1,0	2,2; 0,7	—
„ *F*	m	—	2,0	—	—	—	—	—
Puurmeetrite arv (tsüklis)		373	273	510	315	432	338	243
Laengute suurused kihis *B*	kg	—	—	0,6	0,3	0,3	0,6	0,6; 0,8
„ *C*	kg	0,7	0,7	0,6	0,45	0,9	1,0	0,4
„ *D*	kg	0,2	0,4	0,6	0,45	0,3	0,45	—
„ *E*	kg	0,8	—	0,2	0,45; 0,2	0,4; 0,2	0,6; 0,2	—
„ *F*	kg	—	0,8	—	—	—	—	—
Lõhkeaine kulu (tsüklis)	kg	126	102	120	78	95	107	90
Lõhkeaine kulu 1 t kohta	kg	0,47	0,43	0,33	0,28	0,30	0,31	0,36



Joon. 221. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord Käva kaevanduse laavas nr. 39.

1', 2' . . . . . — teise minööri süütamise järjekord.

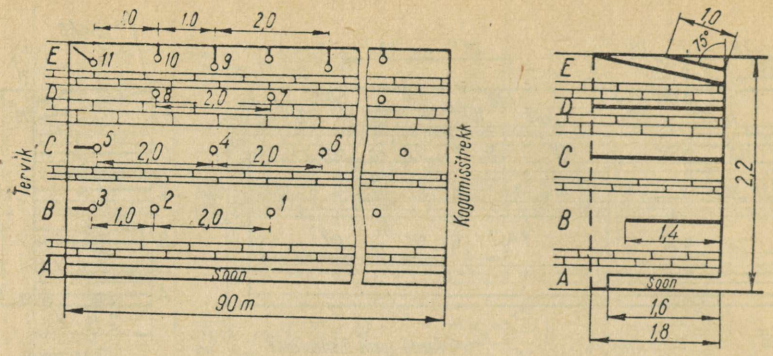
Joonisel 220 näeme laava 157 puurimis- ja lõhketööde skeemi, mis on koostatud lähtudes kaevanduse nr. 10 töö praktikast. Kaevandatakse kihte A, B, C, D, E. Nende paksus ühes lubjakivi vahekihtidega on siin 2,2 m. Laava pikkus on 85 m, soone sügavus 1,95 m. Lõhkeaugud, arvult 242, on paigutatud 4 ritta. Nende laadimiseks vajatakse 120 kg lõhkeainet, mis teeb 0,33 kg iga toodetud põlevkivi tonni kohta (vt. tabel 35).

Puurimis- ja lõhketööde skeem Käva-2 kaevanduses laava 39 kohta on antud joonisel 201. 75 m pikkusesse laavasse puuritakse 210 lõhkeauku sügavusega 1,0—1,8 m. Selleks et E-kihti paremini laest lahti murda, puuritakse sellesse kihti 2 aukude rida; alumise rea augud sügavusega 1,8 m ulatuvad lahtimurtava riba sügavuses lae alla, teise rea augud, sügavusega 1 m, ulatuvad lae alla lahtimurtava riba keskosas.

Lõhkeaukude vahe ridades on 1,8 m. Ee kõrgus on 2,32 m ja soone sügavus 1,6 m. Tsüklis saadakse 280 tonni põlevkivi; iga tonni toodangu kohta kulub 0,28 kg lõhkeainet (vt. tabel 35).

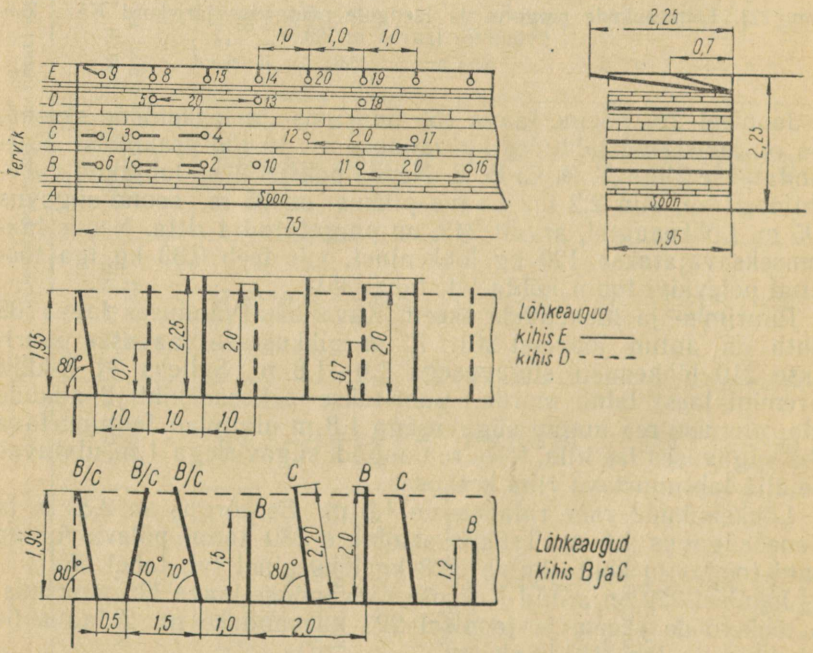
Joonisel 222 on antud Kukruse kaevanduse laava 115 puurimis- ja lõhketööde skeem ja joonisel 223 kaevanduse nr. 2 laava 64 puurimis- ja lõhketööde skeem.

Lõhkeaukude paigutuses on nendel skeemidel palju ühist. Mõlema skeemi kohaselt puuritakse E-kihti lae alla kahesugused

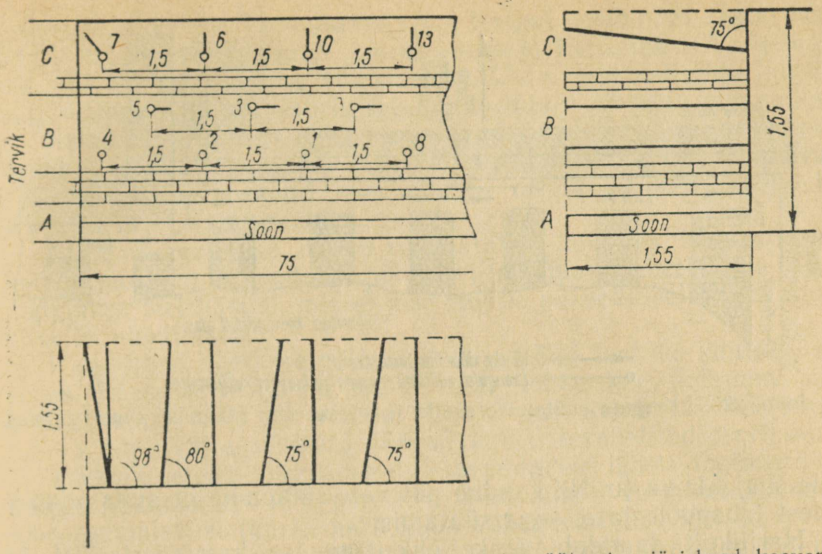


Joon. 222. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord Kukruse kaevanduse laavas nr. 115.

Lõhkeaugud, nii nagu eelmises näites (joonis 221), B-kihti puuritud augud on madalamad soone sügavusest (laavas 64 osaliselt). Ka lõhkeaine kulu toodetud põlevkivi tonni kohta (0,30 ja 0,31 kg) ühtib.



Joon. 223. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord kaevanduse nr. 2 laavas nr. 64.



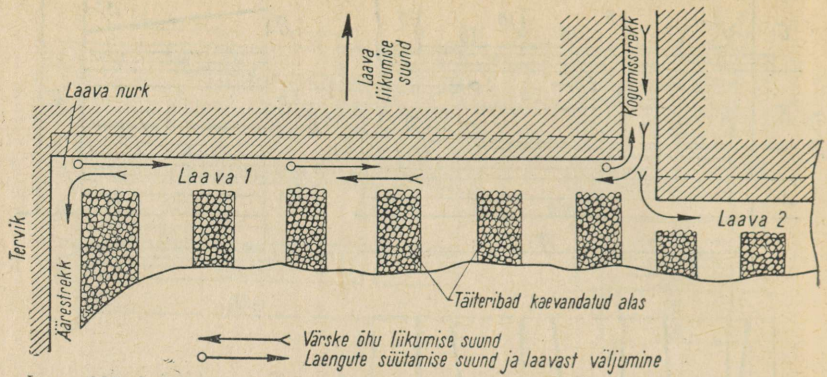
Joon. 224. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord kaevanduse nr. 2 laavas nr. 55.

Nende laavade toodangu võrdlusel (vt. tabel 35) selgub täiel määral soone sügavuse tähtsus. Laava 115, mille pikkus on 90 m ja soone sügavus 1,6 m, annab tsüklis 322 tonni toodangut, kuid laavast 64, mille pikkus on 75 m, soone sügavus aga 1,95 m, saadakse 345 tonni põlevkivi.

Joonisel 224 on esitatud kaevanduse nr. 2 laava 55 puurimis- ja lõhketööde skeem (andmed tabelis 35). Selle skeemi kohaselt kaevandati põlevkivikihtide tootliku kompleksi alumist osa, kihte A, B ja C üldise paksusega ühes aherkivimi vahekihtidega 1,55 m. Soone sügavuseks võeti 1,55 m ja lõhkeaugud puuriti kolmes reas, sügavusega 1,6 m. Lõhkeaukude vahekaugus reas võeti 1,5 m ja nad paigutati nii, et lubjakivi vahekihid lõhkamisel paremini puruneksid. Koristamine oli kavandatud mehhaniseerida soonimis-laadimismasinaga. Kuna masin sageli riknes, siis kasutati käsitsi laadimist. Kaevur-laadijate töö tootlikkus ees kõrgusega 1,55 m oli madalam kui etes, kus töötades võib vabalt seista.

Parima ülevaate saamiseks puurimis- ja lõhketöödest maa-alustes kaevandustes põlevikivi tootmisel oli esitatud skeeme erinevatest kaevandustest. Üldiselt võib märkida, et koristustööde osas on puurimis- ja lõhketööde skeemid välja kujunenud.

Nagu eespool märgitud, süüdatakse laengud lahtise tulega. Süütenööri pikkus iga laengu jaoks on 2 m. Laengud süüdatakse skeemidel märgitud numbrite järjekorras, liikudes seejuures värs-



Joon. 225. Laengute süütamise suund ja värske õhu liikumise suund laavas.

kele õhujoale vastu. Nii kandub põlevate süütenööride suits minööridest tahapoole ja ei sega süütamist.

Harilikult suundub värske õhk laavasse kogumisstrekist ja väljub äärestrekkidest. Seepärast alustatakse laengute süütamist äärestreki vastas olevast laava nurgast ja suundutakse kogumisstreki poole (vt. joon. 225). Et laava nurk korralikult lahti murduks, paigutatakse laengud seal erinevalt ja kasutatakse sellele vastavat süütamise järjekorda (joon. 218—224).

Süütamist toimetavad harilikult kaks minööri üheaegselt, kusjuures alumiste laenguridade süütaja liigub mõnevõrra eespool. Lõpetades süütamise, väljuvad minöörid kogumisstreki kaudu ohutusse kaugusesse.

§ 66. Puurimis- ja lõhketööd kambrites

Kamberkaevandamisviis ei ole Eesti NSV kaevandustes veel täielikult välja kujunenud. Selle kaevandamisviisi elemendid, nagu kambrite laius ja sissejäetavate tervikute suurused, võivad meie oludes veel tunduvalt muutuda. Senised katsetööd on näidanud, et kuni 10 m laiused kambrid püsivad sisse varisemata ja 3 m laiused tervikud nende vahel ei ole näidanud purunemise tundemärke.

Kamberkaevandamisviisidel on meie oludes suuri eeliseid. Vastavate masinatega varustatult võimaldab see täielikult mehhaniseerida maa-alust põlevkivitootmist ja seega järsult tõsta tööviljakust.

Mehhaniseeritud tootmisel antakse kaevandusest välja põlevkivi ühes vahekihtide aherkivimiga. Seda mäemassi tuleb enne tarbijatele saatmist rikastada, s. t. eraldada põlevkivist väärtusetu aherkivim. Mehhaniseeritud rikastamise puudumine on seni

pidurdanud kamberkaevandamisviisi levikut. 1960-ndal aastal lasti käiku 10-nda kaevanduse juures esimene katseline rikastusvabrik, mis on aga väikese võimsusega. Uute rikastusliinide juurdeehitamisega võib see vabrik rahuldada ainult 10-ndat kaevandust.

Kamberkaevandamisviisi katsetamist alustati kaevanduses nr. 2. Kui olid selgunud selle kaevandamisviisi eelised, avati 1959. a. kamberjaoskond kaevanduses nr. 10 ja 1960. aastal ka Käva ja nr. 4 kaevandustes.

Peale kaevanduse nr. 10 rikastatakse kõikides kaevandustes kamberjaoskonnas toodetud põlevkivi (mäemass) aherkivimi väljanoppimise teel käsitsi, mis ei lase mõjule pääseda selle kaevandamisviisi efektiivsust.

Kambritest võetakse põlevkivi välja kõigi tootlike kihtide paksuses. Võetakse välja ka kiht F, mida teiste kaevandamisviiside puhul senini välja ei võetud. Ee kõrgus kambrites on seega 3,1—3,3 m. Välja võtmata jäävad kambritevahelised tervikud.

Pikkade etega (laavadega) kaevandades läheb tootmistööde käigus kaduma 40—45% põlevkivi tööstuslikest varudest. Kamberkaevandamisviisi juures need kaod vähenevad 25—30%-le.

Kaevandamistööd kambrite etes sarnanevad strekkide rajamisega. Põlevkivi ühes aherkivimi vahekihtidega murtakse lahti lõhkamise teel, laaditakse masinate abil transpordivahenditele ja veetakse kaevandusest välja.

Lõhkeaukude arv, nende sügavus, paigutus ja laengute suurus kambrite etes valitakse nii, et lahtimurtud mäemass oleks kohane masinatega laadimiseks ja kulutused seejuures oleksid minimaalsed. Tükkide suurus ei või ületada laadimismasinate ja transpordivahendite võimalusi.

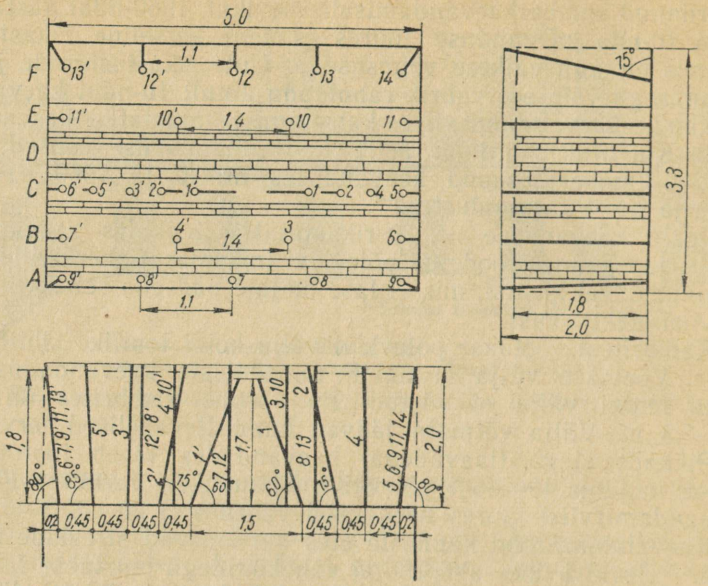
Kambri laiust, kaevandamise variante ja puurimis- ja lõhketööde passe on viimase paari aasta jooksul mitu korda vahetatud. Käivad otsingud, kuna asi on uudne. Allpool esitatakse neli puurimis- ja lõhketööde varianti kambrite jaoks.

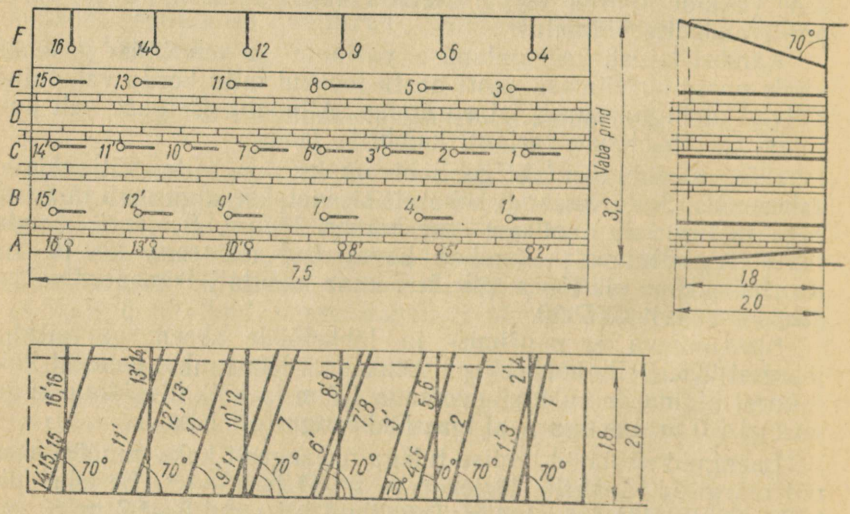
1958. aastal loeti kõige sobivamaks kambrite väljavõtmist kahes osas. Selle variandi kohaselt sisenetakse alguses 5 m laiuse eega ja liigutakse sellega kuni kambri lõpuni. Seejärel laiendatakse tagasitulevalt kamber kavatsetud laiuseni (8—10 m). Kambri pikkus oli 100 m piirides, kuna kasutati transpordivahendiks konveierit СТР-30.

Sissemineva ee puurimis- ja lõhketööde skeem on esitatud joonisel 226. Selle kohaselt puuritakse 27 lõhkeauku, nendest kaks esimest algmurde auku sügavusega 1,7 m ja kõik ülejäänud sügavusega 2,0 m. Laengu kaal igas lõhkeaugus oli 1 kg.

Laenguid süütasid lahtise tulega üheaegselt kaks minööri skeemil märgitud numbrite järjekorras 1—14 ja 1′—13′. Ee edasinihe tsüklis passi järgi on 1,8 m. Tegelikult oli see 1,6—1,7 m.

Lõhkeaugud läbimõõduga 40—42 mm puuritakse elektri-käsipuurmasinaga ЭБР-19. Kõrge ee tõttu on ülemiste aukude puuri-





Joon. 227. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord kaevanduse nr. 2 kambri laiendamisel (tagasitulev).

mine raskendatud. Neid puuritakse lahtimurtud põlevkivi pealt, mis on küllaltki ebamugav, või laadimismasina peale toetudes. Puurija töönorm oli 150 m lõhkeauku vahetuses.

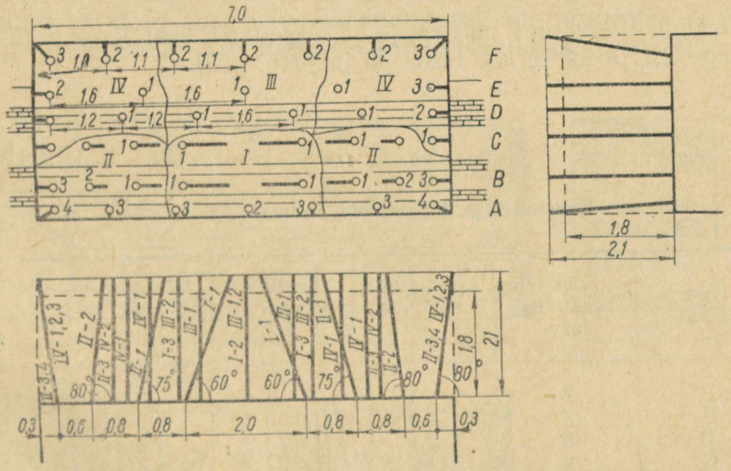
Kambrid laiendati tagasitulevalt 7,5 m pikkuste järkude viisi. Järku puuriti 32 lõhkeauku sügavusega kuni 2 m. Nende paigutus on antud joonisel 227. Laengute suuruseks oli 1,0 kg. Ee edasinihe ühe laengute seeria lõhkamisest saadi 1,6—1,7 m. Kolme lõhkamisega võis laiendada kambrit 5 m võrra.

Laenguid süütavad üheaegselt 2 minööri, liikudes kambri suudme poole. Üks nendest süütab alumisi laengute ridasid, teine ülemisi.

Arvestades suure laengute seeria süütamise ohtlikkust ja ebamugavust, koostati 1959. aastal Põlevkivi Instituudis * kambrite jaoks kohasemad puurimis- ja lõhketööde passid kahes variandis.

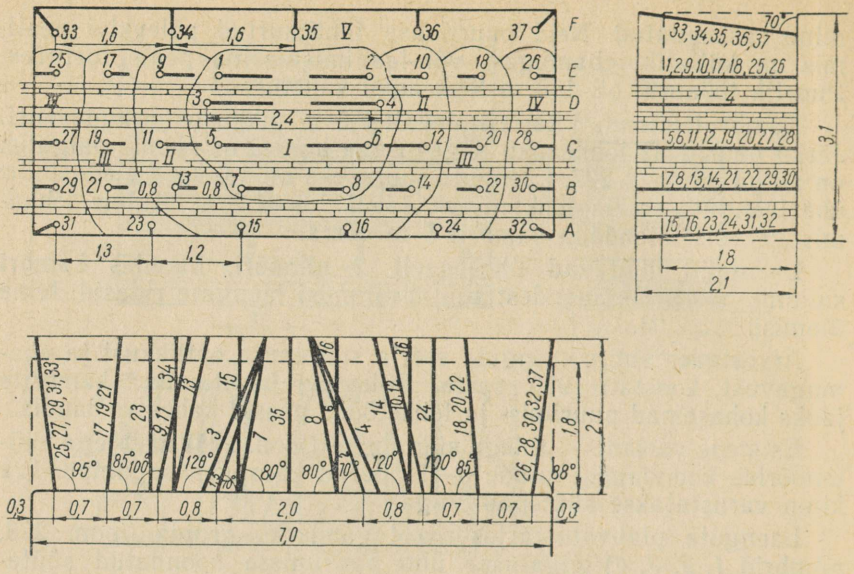
Esimene variant — tulega süütamine (joon. 228) näeb ette süütenööride koondamist kuude 6—7 nöörist koosnevasse kimpu. Iga kimp varustatakse süütepadruniga.

Laengute plahvatusjärjekorra tagamiseks grupis (joon. 228, numbrid *1*, *2*, *3*, *4*) lõigatakse ühte padrunisse koondatud süütenöörid erineva pikkusega. Gruppide (I—V) plahvatusjärjekorra tagamiseks võetakse iga järgmise grupi süütamiseks ettenähtud süütenöör eelmisest 15 cm võrra pikem.



Joon. 228 Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord kambris süütenööride kimpudesse koondamisega. Põlevkivi Instituudi ettepanek.

* Eesti NSV Rahvamajanduse Nõukogu Põlevkivi ja Keemiatööstuse Valitsuse Põlevkivi Tootmise ja Ümbertöötamise Teadusliku Uurimise Instituut (Põlevkivi Instituut).



Joon. 229. Lõhketööde skeem kambris lühiviite (millisekundiliste) detonaatorite kasutamisel. Põlevkivi Instituudi ettepanek.

Kambri laius on 7 m. Ette puuritakse tsüklis 41 lõhkeauku sügavusega 2,1 ja 2,2 m (vt. tabel 36 ja joon. 228).

Tabel 36

Puurimis- ja lõhketööde andmed (joon. 228)

Kihi tähis	Lõhkeaukude arv	Lõhkeaugu sügavus m	Laengu kaal kg	Lõhkeaine kulu kg	Süütenööri kulu m
F	7	2,1	1,0	7	21,0
E	5	2,1	1,0—1,2	1,2—4	15,0
D	6	2,1	1,0—1,2	2,4—4	18,0
C	8	2,1—2,2	1,0—1,2	2,4—6	24,0
B	8	2,1—2,2	1,0—1,2	2,4—6	24,0
A	7	2,1	1,0	7	21,0
Kokku	41	83,3	—	39,4	123,0

Teine variant näeb ette viie viivitusastmega lühiviittegevusega elektridetonaatorite kasutamist (joon. 229 ja tabel 37). Lõhkeaukude arv on 37, nende sügavus ja laengute kaal vastavad tabeli 36 andmetele.

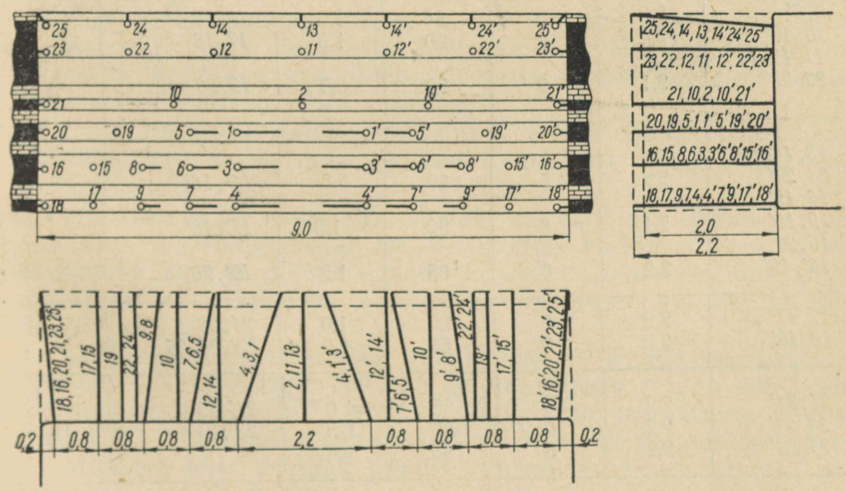
Need variandid tagavad normaalsed töötingimused ja ohutuse. Kahjuks ei ole nende passide kohaselt katsetöid tehtud. Iseäranis huvitav on lühiviittegevusega detonaatorite kasutamine maa-alustes tingimustes.

Tabel 37

Lõhketööde passiandmed (joon. 229)

Lõhkamise järjekord	Lõhkeaukude arv	Lõhkeaukude numbrid	Viivitus msek	Detonaatori tüüp
I	8	*1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8*	0	ЭД-8-56
II	8	*9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,*	25	ЭД-К3-25
III	8	*17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24*	50	ЭД-К3-50
IV	8	*25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32*	75	ЭД-К3-75
V	5	*33, 34, 35, 36, 37*	100	ЭД-К3-100

Katselise uurimistöö tulemusena koostasid 1960. a. Põlevkivi Instituudi töötajad sm. Talve juhendamisel uue puurimis- ja lõhketööde passi kambriviisilise kaevandamise jaoks (joon. 230).



Joon. 230. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord kambris. Põlevkivi Instituudi ettepanek.

Kambrisse laiusega 9 m ja kõrgusega 3,35 m puuritakse 47 lõhkeauku 2,2 m sügavuseni (vt. tabel 38). Nurkadelähedased laengud koondatakse 4 kimpu. Süüdatakse lahtise tulega kahe minööri poolt. Teine minöör süütab laengud, millede numbrite juures on märge. Lõhkamise tulemusena liigub esi edasi 2 m (edasiliikumise koefitsient 0,91). See on märkimisväärne tulemus, mis saadi pikemaajalise katsetamise tagajärjel.

Tabel 38

Lõhkeaukude iseloomustus, laengute suurus ja süütamise järjekord (joon. 230)

Lõhkeaugu nr.	Lõhkeaugu pikkus m	Kalde nurgad kraad.		Laengu suurus kg	Süütamise järjekord	
		horisontaalpinnale	vertikaalpinnale		Laengud	Grupid
1, 1′	2,3	0	70	1,4	*1, 1′, 2, 3, 3′*	Süüdatakse numbrite järjekorras
2	2,1	0	90	1,2	*4, 4′, 5, 5′*	
3, 3′	2,3	0	70	1,2	*6, 6′, 7, 7′*	
4, 4′	2,3	0	70	1,2	*8, 8′, 9, 9′*	
5, 5′, 6, 6′	2,2	0	80	1,2	*10, 10′, 11*	
7, 7′	2,2	0	80	1,0	*12, 12′, 13*	
8, 8′	2,2	0	85	1,2	*14, 14′*	
9, 9′	2,2	0	85	1,0	*15, 16*	I
10, 10′	2,1	0	90	1,0	*17, 18*	
11, 12, 12′						
22, 22′	2,1	0	90	0,8	*19, 20*	
13, 14, 14′						I′
24, 24′	2,2	5	90	0,8	*15′, 16′*	
15, 15′						
19, 19′	2,1	0	90	1,2	*17′, 18′*	
16, 20,						
16′, 20′	2,2	0	85	1,2	*19′, 20′*	
17, 17′	2,2	0	90	1,0	*21, 22*	II
18, 18′	2,2	0	85	1,0	*23, 24, 25*	
21, 21′	2,2	0	85	1,0	*21′, 22′*	II′
23, 23′	2,2	0	85	0,8	*23′, 24′*	
25, 25′	2,2	5	85	0,8	*25*	

§ 67. Puurimis- ja lõhketööd Viivikonna põlevkivikarjääris

Kaevandamistööd Viivikonna põlevkivikarjääris liiguvad üldiselt lõunakaare suunas. Samas suunas langevad ka kivimite kihid, keskmiselt 3 m võrra 1 km kohta. Seega kasvab põlevkivikihte katvate aherkivimite paksus karjääris pidevalt.

Põlevkivi katvad kivimid jagunevad kahte ossa. Pinnakivimid (2—3 m) on pudedad ja kergelt ammutatavad. Nende all kuni põlevkivini on üsna kõvad lubjakivid (paas). Viimaste kõvadus Protodjakonovi skaala järgi on 4 kuni 6, mistõttu nende kõrvaldamisel tuleb teha lõhketöid.

Lubjakivide paksus karjääris suureneb pidevalt põlevkivi languse tõttu ja käesoleval ajal on see juba 5—6,5 m.

Viivikonna karjääris kasutatakse kaevandamisviisi kattekivimite vahetu ületõstmisega kaevandatud alasse. Lahtimurtud kattekivimid tõstetakse ekskavaatori abil üle põlevkiviastme kaevandatud alasse — puistangusse. See on ökonoomseim kattekivimite kõrvaldamise viis. Puistangusse paigutatavate kivimite mahu suurenemisega peab neid kaugemale ja kõrgemale puistama, sest vastasel korral vajuvad nad põlevkiviastme peale. Ekskavaatorite puistamiskauguse piiride ületamisel kasutatakse korduvat edasitõstmist või konveieritega varustatud transpordivahendeid, (liikuvad sillad, konsoolkonveierid jne.).

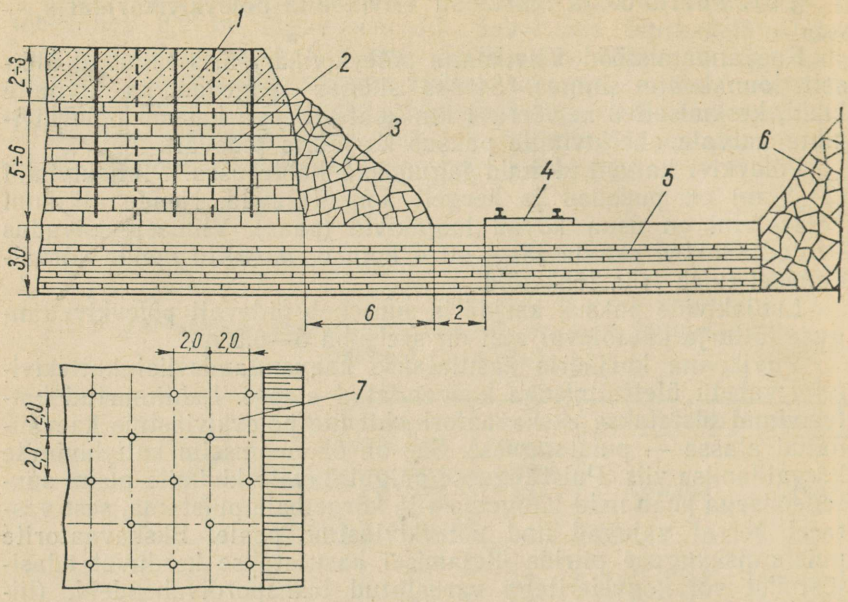
Viivikonna põlevkivikarjääris kasutatavad ekskavaatorid ei tule enam toime kattekivimite puistangusse paigutamisega. Mindi üle kahekordsele ümbertõstmisele, kuid ikkagi variseb aherkivim põlevkiviastme vastu ja isegi peale (joon. 231).

Raudtee põlevkivi äraveoks, mis võiks olla karjääri põhjas, on tõstetud põlevkiviastme peale, mispärast põlevkivi koristamise ekskavaator töötab ülemise laadimisega, see vähendab tootlikkust 25—30%. Kohtades, kus aherkivim variseb põlevkiviastme peale, jääb osa põlevkivist välja võtmata.

Uued vahendid aherkivimi puistangusse toimetamiseks on Viivikonna karjääris hädavajalikud. Selleks ehitatakse erilist konsoolkonveierit.

Viivikonnas on loobutud pudedate kattekivimite eraldi kõrvaldamisest. Käesoleval ajal on Viivikonna karjääris kaks astet: aherkivimi aste ja põlevkivi aste. Aherkivimi aste koosneb pudedatest pinnase kivimitest 2—3 m ja kõvadest lubjakividest 5—6,5 m (joon. 231).

Lubjakivide kobestamiseks puuritakse 4—5 rida vertikaalseid puurauke läbimõõduga 110 mm ja kaugusega ridade vahel 2—2,5 m. Aukude vahe reas on 2 m. Puuritakse keerdpuurimise pingiga СВБ-2 läbi pudeda peaaliskihi, mille ülemises osas on turvas ja alumises osas savikad liivad. Puurimise käigus seguneb osa puurpuru pudeda materjaliga augu ülemises osas ning augu seinte sissevarisemist ei esine.



Joon. 231. Ristlõige Viivikonna põlevkivikaevanduse karjäärist.

1 — pudedad pinnasekivimid; *2* — lubjakivid; *3* — lahtimurtud kivimiriba, mis on jäetud raudtee kaitseks; *4* — raudtee; *5* — põlevkiviaste; *6* — aherkivimi puistang; *7* — puuraukude paigutus.

Puuripead ja puurvardad on konstrueeritud ja valmistatud Viivikonnas. Nende täiustamisega on tõstetud puurimise tootlikkust 100—120 m-le vahetuses. Iga 45—50 m puuraugu lubjakivisse puurimiseks kulub keskmiselt üks puurtera.

Muutumatu kõvadusega kivimite korral olenevad puuraukude tihedus ja laengute suurus lõhatava astme kõrgusest. Viivikonna karjääri puurimis- ja lõhketööde andmetest selgub, et mida madalam on lõhatav kiht, seda tihedamini paigutatakse puuraugud ja seda väiksemad on laengud. Kui kihi paksus on 3—5 m, siis on puuraukude vahe reas 2 m ja ridade vahe 2 m. Suurema kõrguse juures suurendatakse puuraukude ridade vahe 2,5 meetrini. Suurem puuraukude vahekaugus võib tekitada palju mittegabariitseid tükke.

Lubjakivimi purustamiseks Viivikonna põlevkivikarjääri aherkivimiastmes kulutatakse keskmiselt 500—600 g lõhkeainet (ammoniiti) 1 m^3 kohta.

Keskmine lõhkeaine kulunorm 1 m^3 kivimi purustamiseks väheneb laengute suurenemisega.

Laengud aherkivimiastmes lõhatakse detoneeriva nööri abil.

Lõhatav lubjakivi ei ole paksuses ühtlase kõvadusega, see-

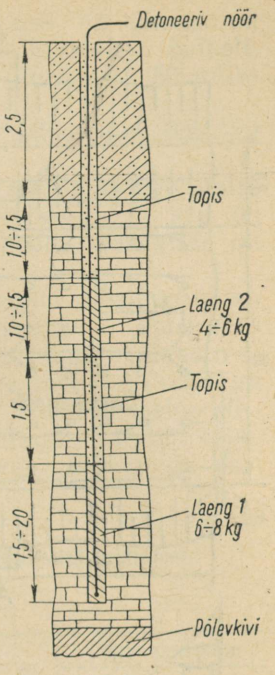
pärast jaotatakse laeng puuraugus kahte ossa (joon. 232). Jaotamata laengud nendes paikades ei purusta vajalikul määral lubjakivi ülemises osas. Laengust vaba puuraugu osa täidetakse topisega.

Selleks et aherkivimiastme lõhkamisel lahtimurtavad kivimid ei paiskuks raudteele, jäetakse astme ette 5—6 m laiune varem kobestatud kivimite riba *3* (joon. 231).

Ekskavaator, mis koristab kobestatud lubjakivi puistangusse, liigub põlevkiviastme peal. Sama ekskavaator tõstab ka lülideks jaotatud raudtee *4* kiirelt uude kohta endast tahapoole. Ühekordse tõstmisega ei ulata ekskavaator aherkivimit puistangusse paigutama ja seda tuleb teistkordselt edasi tõsta.

Põlevkiviastme moodustab tootlik põlevkivikiht, mis koosneb kihtidest A—F ja nende vahel olevatest lubjakivi vahekihtidest. Selle kompleksi üldine paksus Viivikonnas on 3,0—3,1 m.

1959. aastal loobuti ajutiselt A-kihi väljavõtmisest ja käesoleval ajal kaevandatakse ainult kihte B, C, D, E ja F kahes variandis — koos aherkivimi vahekihtidega ja selektiivselt. Selektiivsel tootmisel jaotatakse põlevkiviaste kolmeks alaastmeks ja võetakse need välja eraldi.



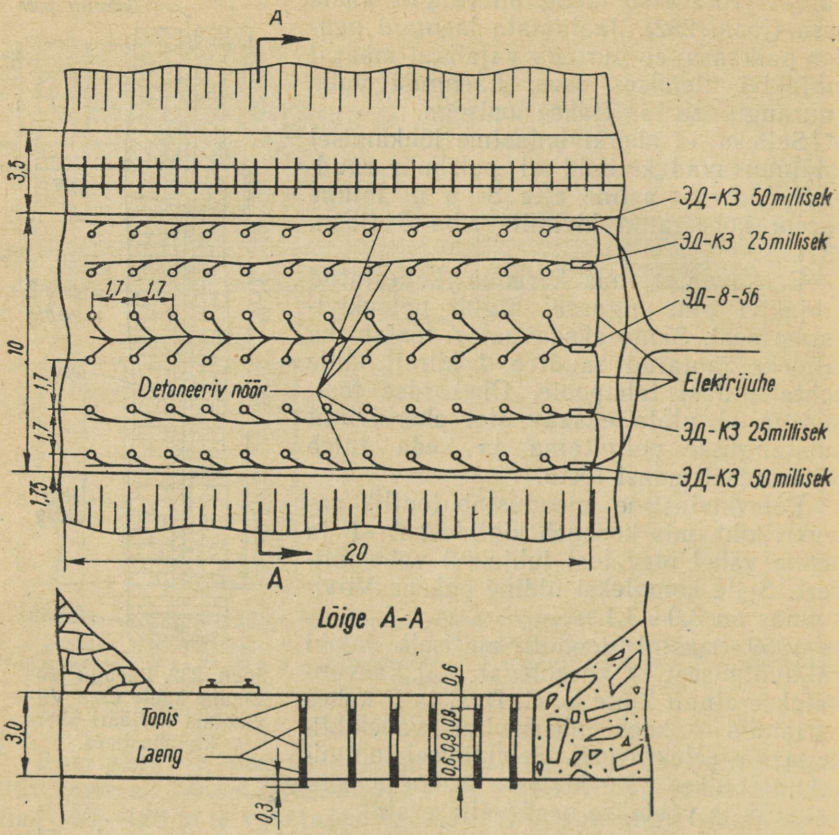
Joon. 232. Laengu jaotamine kahte ossa Viivikonna karjääri aherkivimiastmes.

Esimene alaaste, mille paksus on 1 m ja mis koosneb põlevkivikihtidest E ja F, läheb toodangusse. Teise alaastme moodustavad kaks lubjakivikihti (kahekordne paas ja roosa paas) ning nende vahel olev õhuke põlevkivikiht D (vt. läbilõiget joon. 200). Selle alaastme üldine paksus Viivikonna kaevandusvälja piirides on 0,3—0,4 m. See alaaste kõrvaldatakse aherkivimipuistangusse.

Kolmas alaaste, üldise paksusega 1,3 m, koosneb põlevkivikihtidest B ja C ning nende vahel asuvast lubjakivi vahekihist. See alaaste läheb toodangusse ühes lubjakivi vahekihiga.

Nagu eespool kirjeldatust selgub, on tööd põlevkiviastmes selektiivse tootmise korral keerukad ja masinate kasutamine ei saa olla selle juures täiuslik.

Igas alaastmes puuritakse, lõhatakse ja koristatakse eraldi. Seda kõike tehakse selleks, et kõrvaldada paas põlevkivist tootmisprotsessi ajal. Põlevkiviastme väljavõtmisel korraga on toot-



Joon. 233. Puuraukude asetus ja lõhkevõrgu skeem lühiviitelisel lõhkamisel Viivikonna karjääri põlevkiviastmes.

misprotsess võrratult lihtsam, kuid põlevkivi kvaliteet seejuures alaneb suurema lubjakivisisalduse tõttu.

Rikastuse katseseadeldise — valikpurustuse trumli — käikulaskmisega hakati Viivikonnas selle jaoks tootma ühes lõigus põlevkivi summaarselt kogu astme paksuses. Põlevkivi-aste kobestatakse lõhketöödega kogu paksuses, kasutades lühiviittoimega detonaatoreid (joon. 233).

Põlevkiviastmesse, mille kõrgus (paksus) on 3,0 m, puuritakse vertikaalsed 110 mm läbimõõduga augud laengute paigutamiseks. Korraga lõhatakse plokk 10×20 m. Sellesse plokki puuritakse 72 puurauku ja need paigutatakse vahekaugusega 1,7 m reas ja ridade vahel. Laengu suurus 8 kg jaotatakse kaheks osaks, nii et alumine osa on mõnevõrra väiksem (vt. joon. 233).

Iga laengut läbib detoneeriv nöör ja nad ühendatakse ridade

viisi. Ridade otstes on elektridetonaatorid, mis on ühendatud süütevõrguga. Keskmised kaks rida laenguid lõhatakse hetkeliselt, järgmistel on viide 25 millisekundit ja äärmistel 50 millisekundit.

Iga toodetud põlevkivi tonni kohta kulub lõhkeainet 0,94 kg ja detoneerivat nööri 0,57 m.

Lühiviittoimega elektridetonaatorite kasutamisel esineb palju vähem ülegabariitseid tükke, paiskumine on väiksem ja see on suunatud ploki keskkoha poole, s. t. sinnapoole, kus viide on väiksem.

Selektiivsel tootmisel puuritakse lõhkeaugud käsipuurmasinaga ЭБР-19 vertikaalselt malekorras. Lõhkeaukude vahe reas on igas alaastmes 1 m ja ridade vahe 1 m, ainult alaastmes B—C on ridade vahe 1,2 m. Kasutatakse lõhkeainet B-3 (vahel ka ammoniiti nr. 6 ja nr. 7). Laengute suurused ja teised iseloomustavad andmed selektiivselt kaevandamise kohta on esitatud tabelis 39. Topisega täidetakse kogu laengust vaba lõhkeaugu osa.

Tabel 39

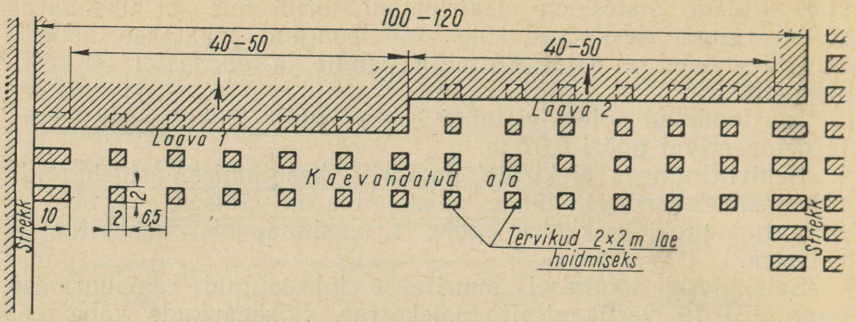
Puurimis- ja lõhketööde andmed põlevkivi selektiivsel tootmisel Viivikonna karjääris

Alaastmed	Paksus m	Toodang 1 m^2 kohta t	Lõhkeaukude vahe reas m	Ridade vahe m	Augu sügavus m	Laengu suurus kg	Lõhkeaine kulu	
							tonni kohta	1 m^3 kohta
B — C	1,35	1,62	1,0	1,2	1,35	0,6	0,30	—
C — E	0,3	0,3 m^3	1,0	1,0	0,40	0,2	—	0,66
E — F	1,0	1,1	1,0	1,0	1,30	0,5	0,45	—

§ 68. Puurimis- ja lõhketööd Maardu fosforiidikaevanduses

Tootlik fosforiidikiht, paksusega 0,9 m, lebab Maardu kaevandusvälja piirides ligikaudu horisontaalselt. Kaevandatav kiht kujutab endast tsementeerunud obuluskarbikeste ja liiva segu (kõvaduskoefitsiendiga $f=4$ Protodjakonovi järgi). Fosforiiti kaevandatakse allmaa- ja lahtisel meetodil.

Allmaa-kaevandamisviis on lähedane umbkaevandamisviisile laava-korrus, millesse olulisi muudatusi on tekitanud kihi horisontaalne asend ja väga hästi säilivad kaeveõõnsused.



Joon. 234. Fosforiidimaagi kaevandamise skeem Maardu allmaakaevanduses.

Strekkidevahelise terviku laius on 100—120 m. Seda tervikut valmistatakse ette ühe streki rajamisega (sest eelmine strekk on säilinud) ja kaevandatakse välja pika eega, mis on jaotatud kaheks 40—50 m pikkuseks laavaks (joon. 234). Üks laava eelneb teisele mõne meetri võrra. Nendevaheline ühendus on korralik ja seda kasutatakse teiseks väljapääsuks läbi naaberlaava.

Fosforiidimaak murtakse lahti lõhkamisega, soonimismasinat kasutamata. Lahtimurtud maak laaditakse ee konveierile käsitsi ja juhitakse strekil olevatesse vagonettidesse.

Lage käsitsetakse tulbakujuliste 2×2 m ristlõikega tervikute sissejätmisega. Tulpade read jäetakse rööbiti ee rinnaga, vahekaugusega 6,5 m. Tulpade vahed reas on samuti 6,5 m.

Tulpade vahede väljavõtmise ajal muutub laava paljudeks 6,5 m laiusteks ja kuni 2,5 m sügavusteks niššideks. Seejärel eraldatakse niššide ete laiendamisega tulbad tervikust ja konveier kantakse uue tulbarea taha. Edasi püsib laava sirgena, kuni uue tervikute-rea sissejätmiseni.

Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise kord laavas on antud joonisel 235; ka tervikute vahede väljavõtmisel säilib peamiselt samasugune asetus ja kord.

Lõhkeaukude arv 40 m pikkuses laavas on 115, nende keskmine sügavus 1,5 m ja laengu kaal 0,6 kg. Edasinihe tsüklis on 1,25 m. Lõhkeainet (ammoniiti nr. 7) kulub 1 tonni toodetud fosforiidimaagi kohta 0,55—0,57 kg.

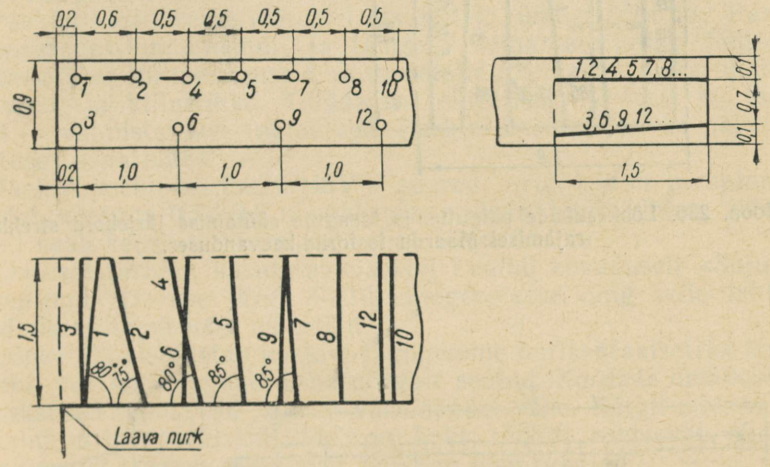
Puuritakse elektri-käsipuurmasinatega ЭБР-19, puurimisnormid on antud tabelis 40.

Laengud süüdatakse lahtise tulega, kusjuures süütenööri pikkus on 1,65 m. Algmurde soon moodustatakse ülemiste lõhkeaukude rea abil (joon. 235).

Strekid Maardu fosforiidikaevanduses rajatakse alumise (põhja) süvendiga. Vastasel korral ei saaks strekil olevat vagonetti laavakonveieriga laadida. Streki rajamisel lõhatakse korraga

Puurimisnormid Maardu fosforiidi-allmaakaevanduses.

Kihi paksus m	Puurimisnorm arvestatuna toodetud maagile tonnides	Ligikaudne puurmeetrite arv m
üle 1,10	76	114
1,10—0,90	70	105
0,89—0,80	61	9
0,79—0,70	55	82
0,69—0,60	50	75



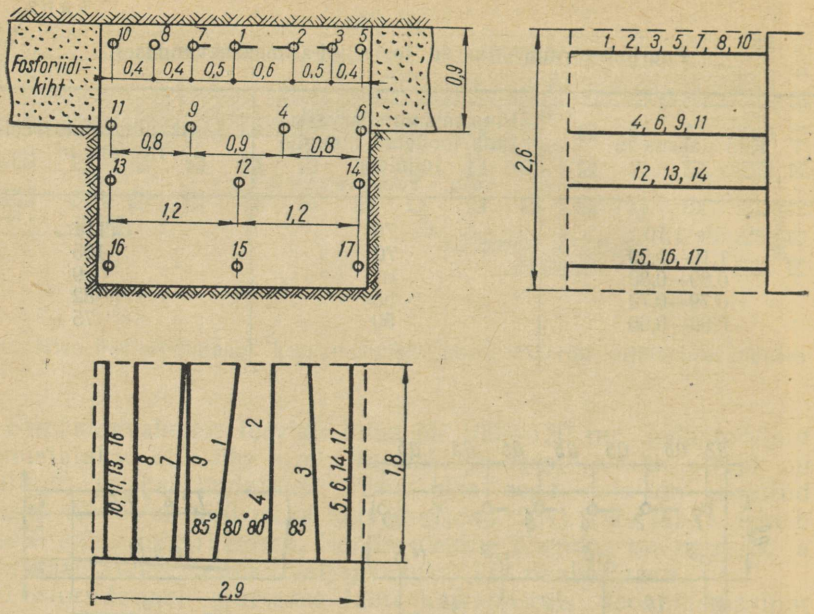
Joon. 235. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord Maardu fosforiidikaevanduse laavas.

nii maak kui ka aherkivim. Maak seguneb aherkivimiga ja veetakse ühes sellega kaevandusest välja.

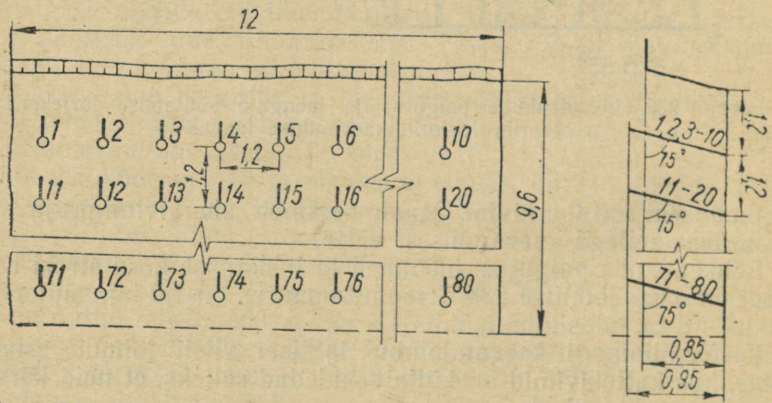
Lõhkeaukude paigutus, mõõtmed ja lõhkamise kord streki rajamisel on näha joonisel 236. Laengute suurus on 1,0 kg, süütenööri pikkus 1,8 m, edasinihe tsüklis 1,5 m.

Fosforiidimaagi kaevandamine lahtisel viisil toimub esialgu kohas, kus kattekivimid on küllalt pudedad selleks, et neid kõrvaldada ilma lõhkamiseta.

Fosforiidikiht kobestatakse lõhkamisega. Lõhkeaugud puuritakse käsipuurmasinaga ЭБР-19. Lõhkeaukude sügavus on 0,9 m, kaugus ridades ja ridade vahel 1,2 m. Laengute suurus on 0,5 kg,



Joon. 236. Lõhkeaukude paigutus ja laengute süütamise järjekord strekkide rajamisel Maardu fosforiidikaevanduses.



Joon. 237. Lõhkeaukude paigutus Maardu karjääris fosforiidikihi kobestamisel.

kui kasutatakse lõhkeainena ammoniiti nr. 6 ja nr. 7. Ühe lõhkamise seeriaga on ette nähtud süüdata 80 laengut, mis on paigutatud 8 ritta à 10 laengut (joon. 237). Sellega valmistatakse ette $9,6 \times 12,0 \times 0,85 = 98$ m³ maaki ekskavaatoriga koristamiseks. Kõik laengud lõhatakse korraga detoneeriva nööri abil. Ühe tonni toodetud maagi kohta kulutatakse lõhkeainet 0,17 kg ja detoneerivat nööri 1,09 m.

§ 69. Puurimis- ja lõhketööd paemurdudes

Paekivi kasutamine ja tootmine

Peale põlevkivi on tähtsamaks maavaraks Eesti NSV-s paekivi (lubjakivi). Seda maavara on kasutatud ehitusmaterjalina meie maal juba iidsest ajast. Käesoleva seitseaastaku suurejoonelise ehitusplaani täitmisel on paekivi tootmisel suur tähtsus.

Paekivi kasutatakse ehitustel otseselt ja ümbertöötatult. Paas on peamiseks vundamendi- ja tähtsaks seinamaterjaliks. Sellest valmistatakse mitmesuguseid ehitusdetaile (trepiastmed, karniisid, ilustused) ja killustikku. Tähtsamad sideained — lubi ja tsement — valmistatakse lubjakivist. Paekivi kasutatakse ka paberitööstuses üsna ohtralt.

Paekivivarud on Eesti NSV-s suured, neid leidub maapinna lähedal, kaetuna 0,5—2,0 m paksuse pudeda kivimikihiga, mida sageli saab kergesti kõrvaldada ilma lõhketöödeta.

Ehitusotstarbeks kasutatav paekivi kuulub kõvaduselt «Sojuzvzrõvpromi» jaotuse järgi 8—10 kategooriasse ning selle lahtimurdmiseks tuleb teha lõhketöid.

Lõhketöid soodustab paekivi jagunemine horisontaalseteks kordadeks, mis on omavahel üsna nõrgalt seotud. Kordade omadused ja paksused muutuvad suurtel vahemaadel vähe. Kõigil suurematel lahtimurtud paekivitükkidel on kaks rööbiti asetsevat pinda ning samast korrast pärinevad tükid on ühepaksused.

Eespool märgitud omadused ja teatud kihtide suur ilmastikukindlus soodustavad lubjakivi kasutamist ehitusmaterjalina kohtades, kus soojapidavus ei ole olulise tähtsusega.

Kordadeviisi eraldumine soodustab lubjakivi käsitsi lahtimurdmist, mida kasutatakse mõnel pool veel käesoleval ajalgi.

Suuremates karjäärides, mis asuvad tööstuskeskuste lähedal ja paekivi ümbertöötavate tehaste juures, on tootmistööd mehhaniseeritud.

Ülevaade paemurdudes kasutatavatest puurimis- ja lõhketööde meetoditest

Killustiku valmistamiseks ja tehnoloogiliseks otstarbeks toodetav paekivi murtakse lahti 4—7 m kõrguste astmetena, kasuta-

des vertikaalseid 106—150 mm jämedusi puurauke. Aukude sügavus on 10% suurem astme kõrgusest. Laengute suurus oleneb eteantud kivimite mahust. Ühe m^3 kivimi lahtimurdmiseks kulutatakse 0,450—0,700 kg lõhkeainet.

Lõhkamisel on tähtsamaks nõudeks vältida ülegabariitseid tükke. Ülegabariitsete tükkide purustamiseks lõhatakse neid veelkordselt. Selleks puuritakse neisse 100—150 mm sügavused lõhkeaugud, mis laetakse 0,075—0,100 kg laengutega. Sageli kasutatakse ka pealepandavaid laenguid.

Lahtimurtud kivim koristatakse ja laaditakse veovahenditele ekskavaatorite abil.

Ehituspaas murtakse lahti väikeste laengutega lõhkeaukude meetodil. 38—40 mm jämedused ja 1—2 m sügavused lõhkeaugud puuritakse käsipuurvasaratega (ОМ-506, ПА-23). Puuripead on karastatud terasest ristikujulise teraga.

Paetüki külje pikkus peab olema 300—500 mm piirides. Sellest väiksemad tükid lähevad killustiku valmistamiseks, suuremaid peab aga veel lõhkuma. Seda tehakse peamiselt käsitsi, sest lõhkeainete kasutamine tekitab üleliigseid purustusi ja hulgaliselt mittesoovitavaid pragusid.

Tükktoodete valmistamiseks murtakse lõhketööde abil lahti suuremaid paeplaate, mis peavad olema ilma pragudeta. Pihustava toime vältimiseks ja pragude arvu vähendamiseks kasutatakse selleks püssirohtu. Lõhkeaugud sügavusega 1—3 m puuritakse ainult murdejoonele ja harilikust tihedamini.

Lõhketööde ülesandeks on eraldada murdejoontpidi paeplaatide pakk üldmassist ja seda horisontaalpinnas mõnevõrra nihutada. Nihutamist soodustavad õhukesed savikihid, mis esinevad paekihtide vahel. Lõhkeaugud puuritakse teatud savikihini, mis on selleks kõige soodsam.

Ehituspae tootmine ja iseäranis tükktoodete jaoks kivide lahtimurdmine on seotud käsitsi töötamisega. Nendes karjääri osades on ee edasinihe aeglasem ja toodang ühe meetri töörinde kohta väiksem kui killustikpae tootmisel, kus kõik tööd on mehhaniseeritud.

Suur osa Tallinnas kasutatavast paekivist toodeti senini Lasnamäe paemurdudes, kus käesoleval ajal on veel kaks karjääri.

Puurimis- ja lõhketöid nendes karjäärides on korraldatud ühteviisi. Mõlemas karjääris kasutatakse ühesugust puurimis- ja lõhketööde skeemi.

Lasnamäe karjäärides toodetakse paekivi killustikutehaste jaoks, ehituspaasi ja toorkive ehitusdetailide valmistamiseks.

Killustikutehase jaoks toodetakse paekivi 3,5—5 m kõrguste astmetena skeemi kohaselt, mis on esitatud joonisel 238, kus keskmine astme kõrgus on 4,2 m. Sellele astme kõrgusele vastavad järgmised näitajad: puuraugu sügavus 4,5 m, läbimõõt 108 mm,

laengu kaal 18 kg ja pikkus 2,5 m, lõhkeaine erikulu 1 m^3 lubjakivi kohta 0,6 kg.

Augud puuritakse puurpinkidega БМК-26 vertikaalsetena mitmes reas. Puuripea läbimõõt on 105 mm, puurimiskiirus 25—35 m vahetuses.

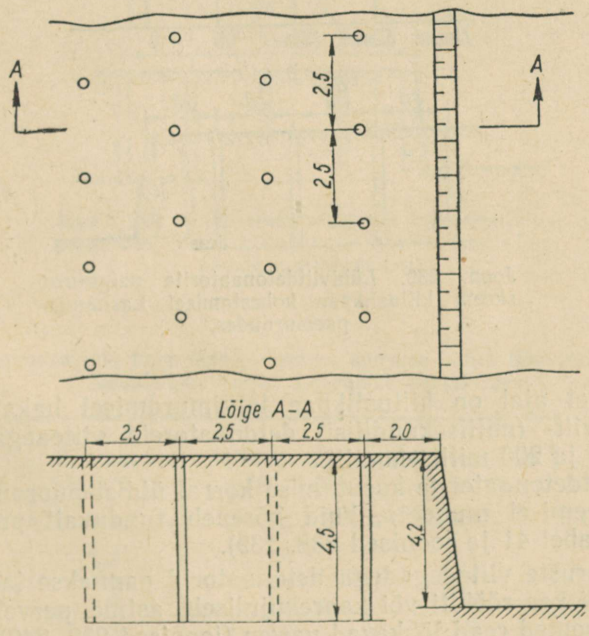
Lõhkeaine (ammoniit nr. 6 või veekindlad ammoniidid B-3 ja ЖВ) tuuakse laadimispaigale (karjääri) vabrikupakendis, paberkottides ja puistatakse puuraukudesse vastavas koguses.

Laengute süütamiseks kasutatakse kas elektridetonaatoreid või detoneerivat nööri. Löökpadrunid elektridetonaatoritega valmistatakse padruneeritud lõhkeainest ja paigutatakse laengu ülemisse ossa. Süütamisel detoneeriva nööriga paigutatakse sõlmiline detoneeriv nöör läbi laengu kogu tema pikkuses. Süütevõrku ei dubleerita. Detoneerivat nööri kulub 7,5 m iga puuraugu kohta.

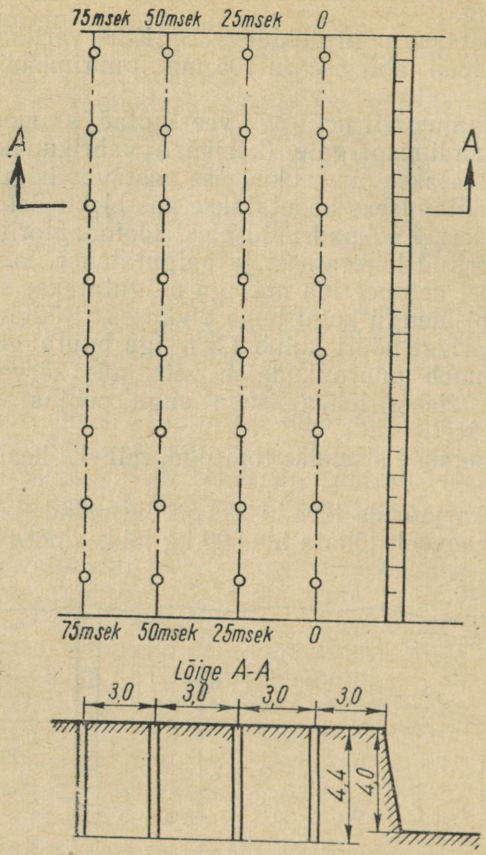
Sageli koguneb puuraukudesse vett, mis kõrvaldatakse kas väikese laengu (200 g) lõhkamisega augu põhjas või suruõhuga väljapuhumise teel.

Laengud kaetakse sisemise topisega, milleks kasutatakse puurpuru.

Lasnamäe karjääride läheduses on elumajad ja seepärast ei lubata neis üheaegselt lõhata üle 600 kg lõhkeainet.



Joon. 238. Puuraukude paigutus killustikpae tootmisel Lasnamäe paemurdudes.



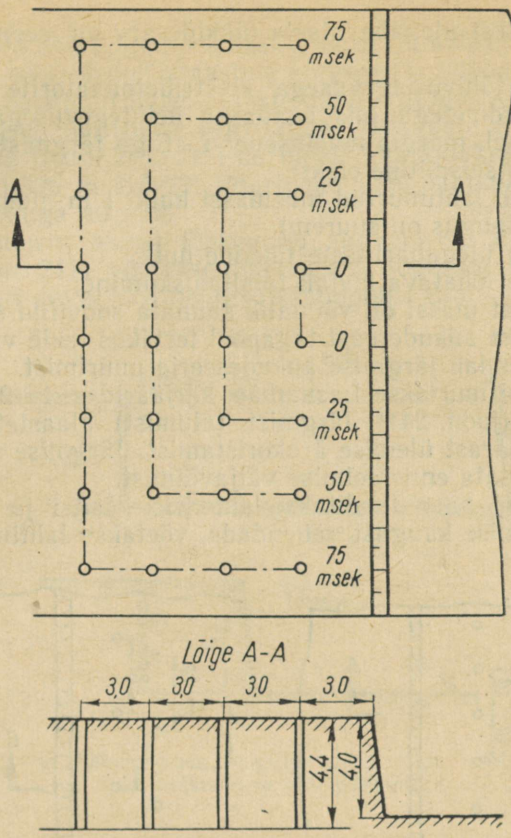
Joon. 239. Lühiviitdetonaatorite paigutuse skeem killustikpae kobestamisel Lasnamäe paemurdudes.

Viimasel ajal on killustikpae lahtimurdmisel hakatud kasutama lühiviit- (millisekundilisi) detonaatoreid viiteaegadega 25, 50, 75, 150 ja 200 millisekundit.

Lühiviitdetonaatorite kasutamise korral üldist puuraukude paigutuse skeemi ei muudeta, kuid hõreneb tunduvalt puuraukude võrk (vt. tabel 41 ja joonised 238, 239).

Ühesuuruste viiteaegadega detonaatorid pannakse laengutesse ridade viisi kas rööbiti või kaarekujuliselt astme pervele nii, et pervele lähemad read lõhkevad varem (joonised 239, 240).

Mäeinsener L. Eigo, kes korraldas neid katsetöid Lasnamäe karjääris, loeb kaarena asetatud ridade kasutamist (joon. 240)



Joon. 240. Lühiviitdetonaatorite kaarekujulise paigutuse skeem killustikpae kobestamisel Lasnamäe paemurdudes.

Tabel 41

Andmed puuraukude paigutuse ja laengu suuruse kohta lühiviitdetonaatorite kasutamise korral Lasnamäe karjäärides

Astme kõrgus m	Puuraugu sügavus m	Aukude vahe ridades m	Aukude ridade vahe m	Laengu suurus kg
2,5	2,7	2,3	2,3	10
3,0	3,0	2,6	2,6	12
3,5	3,8	2,8	2,8	14
4,0	4,4	3,0	3,0	16
4,5	4,9	3,3	3,3	18
5,0	5,5	3,4	3,4	21

soodsamaks, sest ülegabariitsete tükkide arv on seejuures veelgi väiksem.

Võrreldes lühiviittegevusega elektridetonaatorite kasutamise efektiivsust andmetega, mis saadakse hetktegevusega detonaatorite kasutamisel, märgib mäeinsener L. Eigo järgmist:

1) väheneb seismiline efekt;

2) suureneb lahtimurtud mäemassi hulk 1 m puuraugu kohta (aukude vahekaugus on suurem);

3) väheneb ülegabariitsete tükkide hulk;

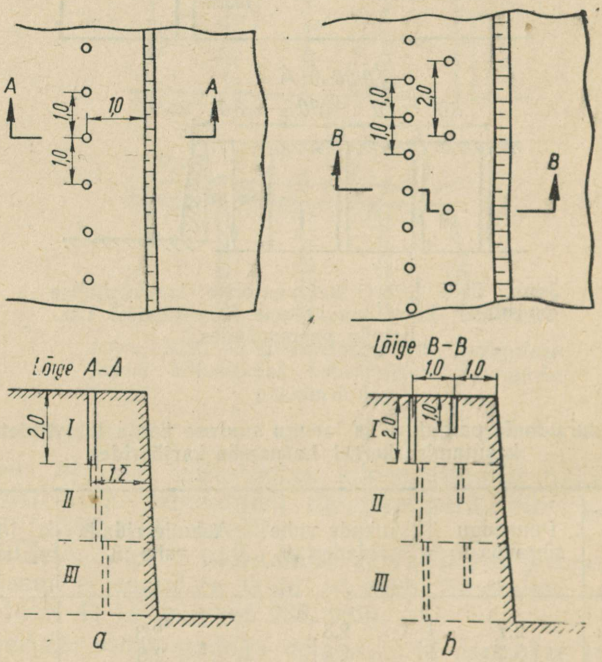
4) väheneb lõhatava kivimi laialipaiskumine;

5) lõhatavat massi on võimalik suunata soovitud suunas;

6) viimasest aukudereast tagapool tervikus tekib vähem pragusid, mis kergendab järgmise aukudeseeria puurimist.

Ehituspaasi murtakse Lasnamäe karjäärides 1—2 m kõrguste alaastmetena (joon. 241). Järgmist (alumist) alaastet puuritakse ja lõhatakse pärast ülemise ärakoristamist. Järgmise riba kaevandamist ei alustata enne eelmise väljavõtmist.

Lahtimurtud paas laaditakse autodele käsitsi ja konteinerite abil. Et kandmise kaugust vähendada, võetakse lahtimurtava riba

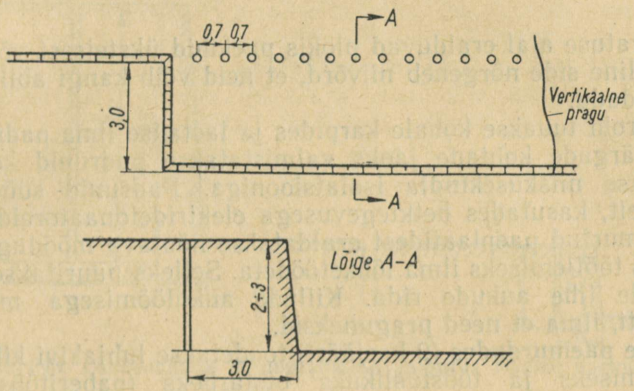


Joon. 241. Lõhkeaukude paigutus ehituspaas lahtimurdmisel Lasnamäe paemurdudes.

I—III — alaastmed; *a* — ühe rea lõhkeaukudega; *b* — kahe rea lõhkeaukudega.

laiuseks 2 m. Lõhkeaugud puuritakse ühte või kahte ritta niisuguse sügavusega, mis võrdub alaastme kõrgusega. Ülepuurimine ei ole vajalik, sest harilikult lõpeb alaaste hästi eralduva kihiga. Esimese rea lõhkeaugud puuritakse hõredamini ja sageli ainult alaastme ülemisse ossa (joon. 241, *b*). Puurimisel kasutatakse suruõhupuurvasaraid OM-506 ja ПА-23. Puuripead valmistatakse ristikujulistena läbimõõduga 40 mm.

Laengu suurus oleneb lõhkeaugu sügavusest. Lasnamäe karjäärides (joon. 241) võetakse iga meetri lõhkeaugu kohta 200 g padruneeritud ammoniiti nr. 6 või ammoniiti B-3.



Joon. 242. Lõhkeaukude paigutus paeplaatide lahtimurdmiseks tükktoodete valmistamiseks.

Ühtlasemaks lahtimurdmiseks paigutatakse sügavamatesse lõhkeaukudesse 2 laengut — üks augu põhja ja teine keskele. Korraga lõhatakse 30—80 laengut hetktegevusega elektridetonaatorite abil.

Trepiastmete ja teiste mehaaniliselt töödeldavate tükktoodete jaoks murtakse lõhketööde abil lahti suuri paekiviplaate. Selleks puuritakse lahtimurdmise joonele harilikust tihedam (0,7 m vahedega) lõhkeaukude rida (joonis 242). Lõhkeaugud, sügavusega 2—3 m, peavad ulatuma kohani, kus paekihtide vahel on õhuke savikiht, mis eraldab ülemisi paekihte alumistest. Lõhkeaukude rida lõpeb vertikaalse prao juures, mis lõikavad astet (joonis 242).

Seega on lahtimurtaval plokil peale kolme vaba pinna kaks pinda tervikuga nõrgalt seotud (all savikiht, otsas pragu). Kuues pind, mis seob plokki tervikuga tagumiselt küljelt, murtakse plahvatuse hetkel lahti piki lõhkeaukude rida ja kogu plokk, mis koosneb mitmest paekihist (korrast), liigub astme perve poole. Püssirohulaengud valitakse nii, et lahtimurtav plokk liiguks ainult

30—150 mm võrra. Laengute suuruse olenevus lõhkeaukude sügavusest on toodud tabelis 42.

Tabel 42

Laengu suuruse olenevus lõhkeaugu sügavusest

Lõhkeaugu sügavus m	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Laengu suurus kg	0,3	0,6	0,9	1,15	1,50

Plahvatuse ajal eralduvad plokis paekihid üksteisest või nende omavaheline side nõrgeneb niivõrd, et neid võib kangi abil üksteisest eraldada.

Püssirohi tuuakse kohale karpides ja laetakse ilma padruneerimata. Märgade kohtade jaoks valmistatakse padrunid kohapeal ja kaetakse niiskusekindla isolatsiooniga. Padrunid süüdatakse elektriliselt, kasutades hetktegevusega elektridetonaatoreid.

Lahtimurtud paeplaatidest eraldatakse nõutava mõõduga tükid edasiseks töötlemiseks ilma lõhketöödeta. Selleks puuritakse murdmisjoonele tihe aukude rida. Kiilude aukulöömisega murtakse tükid lahti, ilma et need praguneksid.

Padise paemurdudes (2 karjääri) toodetakse lubjakivi killustiku valmistamiseks ja tööstuslikuks otstarbeks (paberitööstusele), samuti toodetakse seal ehituspaasi.

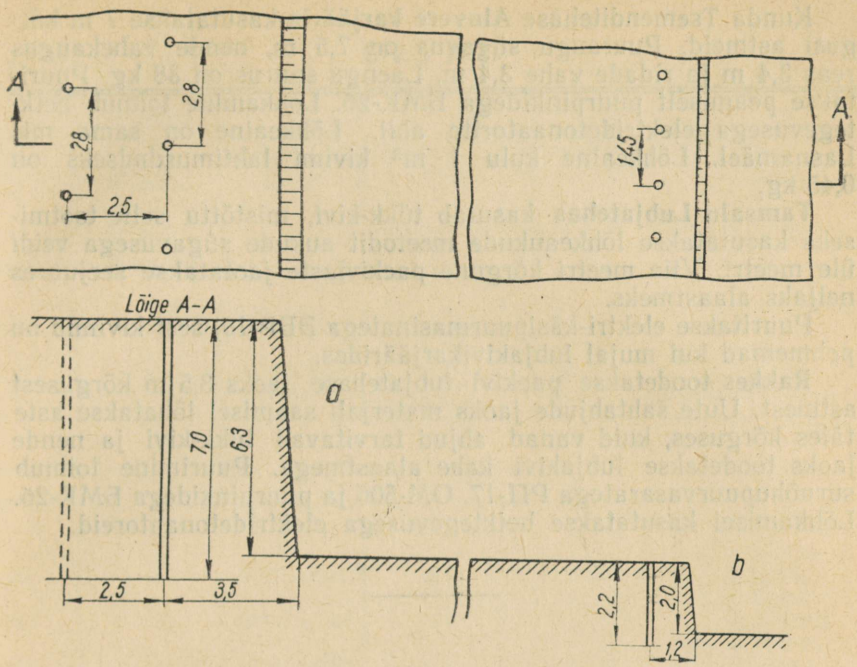
Puurimis- ja lõhketööde korraldamine Padise karjäärides sarnaneb põhiliselt sellega, mis on eespool märgitud Lasnamäe karjääride kohta.

Padisel toodetakse ehituspaasi tootlike paekihtide alumisest osast 2,0 m kõrguse astmena. Teised astmed on veidi kõrgemad kui Lasnamäel (joon. 243). Olulisemad puurimis- ja lõhketööde andmed on antud tabelis 43.

Tabel 43

Andmed puurimis- ja lõhketööde kohta Padise karjäärides

Kasutatavad meetodid	Sügavpuuraukude meetod	Lõhkeaukude meetod
Astme kõrgus m	6,3	2,0
Augu sügavus m	7,0	2,2
Laengu kaal kg	34	1,20
Lõhkeaine kulu 1 m^3 kohta	0,565	0,300
Laengu pikkus m	4,3	1,2
Ühe laengu poolt lahtimurtav kivimi maht m^3	60,0	4,0
Puurmeetrite arv 1 m^3 kohta	0,12	0,55



Joon. 243. Lõhkeaukude ja puuraukude paigutus Padise paemurrus.

Sügavpuuraukude laengud lõhatakse detoneeriva nööriga ja lõhkeaukude laengud hetktegevusega elektridetonaatorite abil. Padise karjäärides kasutatakse ka lühiviittegevusega elektridetonaatorite abil lõhkamist. Andmed nende kasutamise kohta on toodud tabelis 44.

Tabel 44

Puurimis- ja lõhketööde andmed lühiviittegevusega detonaatorite kasutamisel Padise karjäärides

Näitaja	Mõõt-ühik	Arv	Näitaja	Mõõt-ühik	Arv
Astme kõrgus . .	m	5,5	Lõhkeaine kulu 1 m³		
Puuraugu sügavus .	m	6,5	tootmiseks . . .	kg	0,67
Puuraukude vahe .	m	3,5	Puurmeetrite arv		
Kaugus astme jalamilt esimese reani	m	3,5	1 m³ tootmiseks .	m	0,14
Ridade vahe . . .	m	2,1	Auguridade arv .	—	2
Puuraugu läbimõõt	mm	106	Viiteaeg		
Laengu kaal . . .	kg	35	I rida	msek	0
			II rida	msek	50

Kunda Tsementitehase **Aluvere karjääris** kasutatakse 7 m kõrgusi astmeid. Puuraugu sügavus on 7,5 m, nende vahekaugus reas 3,4 m ja ridade vahe 3,4 m. Laengu suurus on 38 kg. Puuritakse peamiselt puurpinkidega БМК-26. Lõhkamine toimub hetktegevusega elektridetonaatorite abil. Lõhkeaine on sama mis Lasnamäel. Lõhkeaine kulu 1 m^3 kivimi lahtimurdmiseks on 0,45 kg.

Tamsalu Lubjatehas kasutab tükk-kivi, mistõttu selle tootmiseks kasutatakse lõhkeaukude meetodit aukude sügavusega veidi üle meetri. Viie meetri kõrgune paekiviaste jaotatakse seejuures neljaks alaastmeks.

Puuritakse elektri-käsipuurmasinatega ЭБР-19, sest kivimid on pehmemad kui mujal lubjakivikarjäärides.

Rakkes toodetakse paekivi lubjatehase jaoks 3,5 m kõrgusest astmest. Uute šahtahjude jaoks materjali saamisel lõhatakse aste täies kõrguses, kuid vanad ahjud tarvitavad tükk-kivi ja nende jaoks toodetakse lubjakivi kahe alaastmega. Puurimine toimub suruõhupuurvasaratega ПП-17, ОМ-506 ja puurpinkidega БМК-26. Lõhkamisel kasutatakse hetktegevusega elektridetonaatoreid.

Tööstuslike lõhkeainete nimestik

Lõhkeaine nimetus	Brisantsus mm	Töövõime cm³	Detonatsioonikiirus m/sek	Detonatsiooni edasiandmine cm	Plahvatusgaaside maht l/kg	Plahvatussoojus kcal/kg	Plahvatustemperatuur °C	Padruneerimistihedus g/cm³	Padruni läbimõõt mm	Padruni kaal g	Garanteeritud kõlblikkuse aeg
I. Lõhkeained kasutamiseks ainult lahtistel töödel											
Ammoniit nr. 9 (pulbriline)	10	300	2500—3500	2	930	845	—	0,9 puistetihedus	—	—	6 kuud
Ammoniit nr. 10 (pulbriline)	11	300	3000—3500	2	915	824	—	0,95 puistetihedus	—	—	6 kuud
Trotüül (pulbriline)	16	270—300	4000	10	—	1000	—	0,9 —1,0	—	—	üle 10 aasta
Trotüül (pressitud)	24	270—300	5700	7(10)	—	1000	—	1,45—1,55	—	300	„ 10 „
II. Lõhkeained kasutamiseks lahtistel ja allmaatöödel (välja arvatud gaasi- ja tolmuohtlikud kaevandused)											
A. Lõhkeained keskmise kõvadusega kivimite lõhkamiseks kuivades ja niisketes etes											
Ammoniit nr. 6 (pulbriline)	14	360	3600—4200	5	893	1030	—	1,0 —1,15	31—32	200; 300	6 kuud
Ammoniit nr. 6 (teraline)	14	360	3600—4200	4	893	1030	—	1,0 —1,15	31—32	200; 300	6 „
Ammoniit nr. 6 (pressitud)	20	360	5000—5500	6	893	1030	—	1,25—1,35	34—35	195	6 „
Teraline dinaftaliit	15	320	3500—4500	5	920	952	—	1,0 —1,15	31—32	200; 300	6 „
Ammoniit nr. 7	13	350	3600—3900	4	1050	962	—	1,00—1,10	31—32	200; 300	6 „
B. Veekindlad lõhkeained kasutamiseks keskmise ja üle keskmise kõvadusega kivimites											
Ammoniit B-3	15	370	3850	3(3)	908	980	—	1,0 —1,10 1,25—1,35	31—32 —	200; 300 —	6 kuud
Ammoniit nr. 6-ЖВ	14	360	3600—4200	5(3)	893	1025	—	1,0 —1,15	31—32	200; 300	6 „
Ammoniit nr. 7-ЖВ	13	350	3600—3900	4(3)	1050	960	—	1,00—1,1	31—32	200; 300	6 „
Dinaftaliit «П»	15	320	3500—4500	3(2)	—	950	—	1,0 —1,15	31—32	200; 300	6 „
C. Veekindlad lõhkeained kasutamiseks kõvades ja väga kõvades kivimites											
Kaljude ammoniit nr. 1 (padruneeritud)	18	450	4000—4500	6(4)	838	1270	—	1,00—1,1	31—32	200	6 kuud
Kaljude ammoniit nr. 1 (pressitud)	22	450	5300—5700	4(3)	838	1270	—	1,45—1,50	35—36 44—45	250 400	6 „ 6 „
Kaljude ammoniit nr. 1-ЖВ (padruneeritud)	18	450	4000—4500	7(5)	827	1300	—	1,00—1,1	31—32	200	6 „
Kaljude ammoniit nr. 1-ЖВ (pressitud)	23	450	6000	5(5)	827	1300	—	1,45—1,50	35—36 44—45	250; 400	6 „
Kaljude ammoniit nr. 2 (pressitud)	25	420	6500	8(3)	—	1166	—	1,55—1,65	35—36 44—45	250; 400	6 „

Lõhkeaine nimetus	Brisantsus mm	Töövõime cm^3	Detonatsioonikiirus m/sek	Detonatsiooni edasiandmine cm	Plahvatusgaaside maht l/kg	Plahvatussoojus kcal/kg	Plahvatustemperatuur °C	Padruneerimistihedus g/cm^3	Padruni läbimõõt mm	Padruni kaal g	Garanteeritud kõlblikkuse aeg
Kaljude ammoniit nr. 2-ЖВ	25	420	6500	7(6)	—	1166	—	1,55—1,65	35—36 44—45	250; 400	6 kuud
Veekindel ammonaal BA-2	16	400	4000	4(3)	—	1166	—	1,0 —1,1	31—32 35—36	200; 250	6 „
Veekindel ammonaal BA-4	16	400	4000	4(3)	—	1166	—	1,0 —1,1	31—32	200; 250	6 „
Veekindel ammonaal BA-8	16	400	4000	4(3)	—	1166	—	1,0 —1,1	35—36	200; 250	6 „
62%-line külmakindel dünamiit	16	380	2500—7000	6	634	1170	—	1,40—1,45	31—32 44—45	200; 550	Naatriumsalpeetriga 6, kaaliumsalpeetriga 8 kuud

III. Kaitselõhkeained kasutamiseks gaasi- ja tolmuohtlikes kaevandus(ei ole lubatud kasutada söes vapustavateks laenguteks ning etes, kus esineb suflaa gaasieraldumine)

A. Lõhkeained kasutamiseks söe ja aherkivi koristus- ja ettevalmistustööde etes

Ammoniit nr. 8	11	240	2500—3400	3	750	680	1750	1,0 —1,15	36	200; 250; 300	4 kuud
Veekindel ammoniit ПЖВ-20	13	260	3000—3600	4(2)	710	798	2060	1,0 —1,15	36	200; 250	4 „
Veekindel pobediit ВП-1	13	265	3000—4000	6(3)	764	812	2070	1,15—1,25	36	200; 250; 300	6 „
Pobediit ПУ-2	11	250	2600—3500	4	695	796	2075	1,0 —1,10	36	200; 250; 300	6 „

B. Lõhkeained kasutamiseks ainult aherkivimites

Ammoniit АП-1	13	260	3200—3600	4	728	788	2000	1,0 —1,15	36	200; 250; 300	4 kuud
Veekindel ammoniit АП-4ЖВ	13	285	3200—4000	4(3)	756	852	2350	1,0 —1,15	36	200; 250; 300	4 „
Ammoniit АП-2	13	285	3300—4000	4	762	854	2370	1,0 —1,15	36	200; 250; 300	4 „
Veekindel ammoniit АП-5ЖВ	14	320	3300—4000	5(3)	785	890	2375	1,0 —1,15	36	200; 250; 300	4 „
Pobediit nr. 6	14	325	4000—4500	8	755	850	2200	1,0 —1,10	36	200; 250 300	6 „
Veekindel pobediit ВП-2	14	320	4000—4800	6(5)	790	906	2400	1,15—1,25	36	200; 250	6 „

Lõhkeaine nimetus	Brisantsus mm	Töövõime cm^3	Detonatsioonikiirus m/sek	Detonatsiooni edasiandmine cm	Plahvatusgaasi side maht l/kg	Plahvatussoojus kcal/kg	Plahvatustemperatuur °C	Padruneerimistihedus g/cm^3	Padruni läbimõõt mm	Padruni kaal g	Garanteeritud kõlblikkuse aeg
IV. Lõhkeained kasutamiseks vapustavaks lõhkamiseks ja etes. kus esineb suflaarne gaasieraldumine											
Lõhkeained kaitsekestas П-8	14 (tuum)	285 (tuum)	4400 (tuum)	4	—	856 (tuum)	—	1,0 —1,15 (tuum)	27 (tuum) 36 (kestaga)	132 225	6 kuud
V. Kaitselõhkeained kasutamiseks väävli- ja naftakaevandu ling muudel mäetöödel, kus esinevad väävlitolm ja bensiiniaurud											
A. Lõhkeained kasutamise väävlikaevandustes											
Väävli-ammoniit nr. 1	10	220	—	5	—	650	1360	0,95—1,05	31—32	150; 200	6 kuud
Väävli-ammoniit nr. 2	8	150	—	4	—	—	—	0,95—1,05	31—32	150; 200	6 „
B. Lõhkeained kasutamiseks nafta- ja muud kaevandustes, kus esinevad bensiiniaurud											
Naftaammoniit nr. 1	9,5	200	—	5	—	—	—	0,95—1,05	30—32	100; 150; 200	6 kuud
Naftaammoniit nr. 2	11	230	—	5	—	687	—	0,95—1,05	30—32	100; 150; 200	6 „
Veekindel naftaammoniit nr. 3	13	220	—	3(2)	—	700	—	1,1 —1,5	30—32	200	6 „

Märkused: 1. Ammoniiti АП-5ЖВ on lubatud kasutada ainult I ja I kategooria kaevandustes.
2. Veekindlate ammoniitide kohta on sulgudes näidatud detonatsiooni edasiandmine pärast vees hoidmist.
3. Detonatsiooni edasiandmine trotüüli puhul on antud (sulgudes) 32 ja 45 mm läbimõõduga padrunite kohta.

Lõhkeaine erikulu kg/m³ normaalsete väljaviskelehtrite ja kobestuslehtrite moodustamise korral (lõhkeaine töövõime — 280—300 cm³)

Kõvaduskoefitsient *f* Protodjakonovi järgi	Kivimi kategooria «Sojuzvzrõvpromi» skaala järgi	Lõhkeaine erikulu *q* väärtused (ammoniit nr. 10)	
		normaalse väljapaiskelehtri moodustamisel	kobestuslaengute jaoks miinistollides ja šurfides
0,3	I	0,85	
0,5	II	0,95	
0,5	III	1,0	
0,6	IV	1,05	
0,8—1,0	V	1,05	0,35
1,5—2	VI	1,05	0,35
3—4	VII	1,35	0,45
5—6	VIII	1,35	0,45
5—6	IX	1,50	0,50
5—6	X	1,50	0,50
8—10	XI	1,80	0,60
8—10	XII	1,95	0,65
12—14	XIII	2,10	0,70
12—14	XIV	2,4	0,80
16—20	XV	2,55	0,80
16—20	XVI	2,70	0,80

Lisa III

«Sojuzvzrõvpromi» 1955. a. kivimite klassifikatsioon puuritavuse järgi (puurvasar OM-506)

Kivimite kõvaduskategooria	Puurimisaeg 1 m lõhkeaugu kohta min.	Kivimite kõvaduskategooria	Puurimisaeg 1 m lõhkeaugu kohta min.
I	—	IX	7,40— 8,50
II	—	X	8,60—10,30
III	—	XI	10,40—12,10
IV	—	XII	12,20—13,80
V	kuni 3,7	XIII	13,90—16,30
VI	3,80—4,99	XIV	16,40—18,60
VII	5,00—6,10	XV	18,70—21,20
VIII	6,20—7,30	XVI	21,30—26,6 ja enam

Märkus.

Puurmasina PП-17 kasutamisel tuleb ajakulu arvestamisel võtta parandus-koefitsiendi suuruseks 1,25.

Kivimite klassifikatsioon rajamistööde jaoks söetööstuse ettevõtetes

Kivimite kategooria kõvaduse järgi	Tootmisviis	Kivimite nimetus	1 m³ kivimi keskmine kaal massiivis kg	Kobestuskoefitsient	Kõvaduskoefitsient prof. Protodjakonovi skaala järgi	Puhas puurimisaeg 1 m lõhkeaugu puurimiseks puurvasaraga PП-17 minutit	
						min.	max.
Kategooriata	Lõhketööd	Eriti kõvad kvartsiidid; džespiliidid, gabrodiabaas, gabrodioriit. Eriti kõvad porfüriidid. Oliviinbasalt, andesiit, sarvkivi, diabaas, ülikõva dioriit.	2900	2,2	20—25	—	—
		Eriti kõva peeneteraline graniit. Räni. Ülikõvad kompaktsed kvartsiitsed liivakivid, ülikõvad ränistunud lubjakivid	3100—3300	2,2	17—18	—	—
			3000	2,2	15—16	üle 26,5	
I	"	Keskmise terasuurusega graniidid, kompaktsed kvartsiitsed liivakivid, kvartsiidid, diabaasid, kõvad gneisid, porfüriit, kõva trahüüt, süeniit. Peeneteralised monoliitsed kvartsistunud liivakivid. Eriti kõvad kompaktsed lubjakivid, eriti kõva marmor . . .	2700—3000	2,2	12—14	—	—
			2700—2900	2,2	10—11	21,7	26,5
II	"	Kõva lubitsemendiga konglomeraat. Kõvad ränitsemendiga liivakivid. Kõvad kaltsedonid, dolomiidid ja lubjakivid	2700—2900	2,0	8—9	—	—
		Serpentiniit, suureteraline graniit ja süeniit	2600—2800	2,0	7	17,8	21,7

Kivimite kategooria kõvaduse järgi	Tootmisviis	Kivimite nimetus	1 m³ kivimi keskmine kaal massiivis kg	Kobestuskoefitsient	Kõvaduskoefitsient prof. Protodjakonovi skaala järgi	Puhas puurimisaeg 1 m lõhkeaugu puurimiseks puurvasaraga PP-17 minutit	
						min.	max.
III	Lõhketööd	Kõvad argilliidid ja aleuroloodid, liivakad savikiltkivid, sideriit, magnesiit, talgistunud serpentiniit, tihe lubjakivi	2800	2,0	6	—	—
		Graniidid, gneisid, süeniidid ja teised massiivsed ning purskekivimid, mis on tugevalt mineraliseerunud või murenenud	2500	2,0	5	—	—
		Mergliline lubjakivi, savine liivakivi, vilgukiltkivi, dolomiidid	2200—2300	2,0	4—5	12,2	17,8
IV	Lõhketööde ja piikvasaratega	Keskmise kõvadusega savi- ja süttsisaldavad kiltkivid, tihe mergel, nõrgad liivakiltkivid, nõrgad lubjakivid ja dolomiidid	—	—	—	—	—
		Antratsiit, kõva kivisüsi, nõrk konglomeraat ja liivakivi, keskmise kõvadusega argilliit ja aleuroliit	1400—1500	1,8	2	10,3	12,2
V	„	Nõrgad savikiltkivid, kõva ränisavi, väga nõrgad murenenud lubjakivid ja dolomiidid, keskmise kõvadusega kivisüsi, kõva pruunsüsi.	1400—2000	1,4	1,5—2,0	—	—
		Tihedad karbonaatsed savid, tihe kriit, keskmise kõvadusega mergel, kips, kõva kivisool	1900—2600	1,8	1,5	7,1	10,3

Kivimite kategooria kõvaduse järgi	Tootmisviis	Kivimite nimetus	1 m³ kivimi keskmine kaal massiivis kg	Kobestuskoefitsient	Kõvaduskoefitsient prof. Protodjakonovi skaala järgi	Puhas puurimisaeg 1 m lõhkeaugu puurimiseks puurvasaraga PΠ-17 minutit	
						min.	max.
VI	Piikvasaratega	Pehme kivisüsi, kivistunud löss, pehme mergel, pehme ränisavi, pruunsüsi, karbonaatne savi, treepel, pehme kivisool, poorne kips	—	—	—	—	—
		Raske savi, moreenne liivsavi, rasvane savi ja raske liivsavi, mis sisaldab kuni 10% veerkive või rähka; kriidisarnased nõrgad kivimid (mergel, ränisavi jt.)	—	1,4	—	—	—
		Tsementeerunud ehituspraht	1200—1950	1,8	1,0—1,5	alla 7,1	
VII	Käsitsi	Kerge savi, liivsavid, saviliivad, löss, veerkivid, kruus, rähk	1600—1800	1,8	0,9	—	—
		Liiv, vesiliiv, mullakiht	1500	—	0,6	—	—
		Pude lubituff, tuff ja teised nõrgad kivimid	1100	—	0,4	—	—

Ühtne kivimite klassifikatsioon puuritavuse järgi

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
1	Ülimal määral raskesti puuritavad	Äärmiselt tihe liitunud sulfiidideta kvarts. Tihedad jaspised ja mikrokvartsiidid. Oliviin- ja labradorbasaldid. Ülimal määral tihedad küünekivid	12	31	83	32
2	„	Äärmiselt tihedad kvartsiidid, raudsarvkivid, basaldid, diabaasid, kvartsporfüürid, pragudeta keratofüürid ilma mingite murenemis- ja lahustumisjälgedeta. Sulfiidide sisalduseta väga tihe kvarts	15	40	67	25
3	„	Äärmiselt tihedad kvartsid, porfüriidid, magnetiidid, raudsarvkivid, andesiidid, basaldid ja diabaasid kildalisuse jälgedega, värsked peeneteralised graniidid, süeniidid, kulda, inglistina, molübdeeni ja volframit sisaldav tihe soonkvarts. Ülimal määral tihedad monomineraalsed maagita skarnid	20	50	50	20

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
4	Väga raskesti puuritavad	Väga tihedad ja sitked kvartsiidid, raud-sarvkivid, andesiidid, basaldid ja diabaasid. Peeneteraline graniit. Väga tihedad peeneteralised dioriidid, granodioriidid, süeniidid. Tihedad granopürokseensed mineraliseerunud (volfram-, molübdeen- jt.) skarnid	26	60	40	17
5	„	Kvartsporfüür. Ülimal määral tihe peeneteraline magnetiitrauamaak. Porfüriit. Tihedad andesiidid. Basaldid ja diabaasid. Graniitgneisid. Tihe sulfiididega soonkvarts. Ülimal määral tihedad peeneteralised kvartseerunud liivakivid. Tihedad gneisid ja trahüüdid. Keskmiseteralised graniidid ja süeniidid. Värsked plaatinasisaldusega duniidid. Granaatpürokseensed skarnid kaltsiidi ja teiste mineraalidega.	30	75	33	13
6	„	Äärmiselt tihe magnetiit-hematiitrauamaak. Tihedad pragudeta kvartsiidid. Väga tihe räniliivakivi. Ränistunud lubjakivid. Väga tihe ühtlaseteraline				

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
		kroomimaak. Kulda sisaldav kvartsistunud beresiit. Ränistunud limoniidid. Nõrgalt murenenud kivimid: trahüüdid, süeniidid, andesiidid, basaldid, porfüriidid, diabaasid, proterobaasid, suureteralised gneisid, granodioriidid, dioriidid, peridotiidid, kvarts-turmaliinsed kivimid, kvartsporfüürid, keratofüürid, gabro, pürokseniidid. Vilku ja inglistina sisaldavad pegmatiidisooned. Ränitsemendiga purskekivimite konglomeraat. Väga tihedad ränistunud kloriit-, seritsiit-, vilk- jt. kiltkivid. Tihedad peeneteralised plii-tsingi ja antimonimaagid koos kvartsiga. Püriit. Murenenud skarnid. Tihedad vase-nikli-maagid.	40	90	25	11
7	Raskesti puuritavad	Väga tihedad lubjakivid. Tihe suureteraline graniit ja graniitsed kivimid. Väga tihe suureteraline sitke magnetiit-hematiitne rauamaak. Tihedad kvartsiitliivakivid. Suureteraline süeniit. Väga tihedad ränistunud dolomiidid. Väga tihedad limoniidid.				

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
8	Raskesti puuritavad	Pentlandiitsed ja pürrotiinsed vaseniklimaagid. Püriidi, kalkopüriidi, pürrotiini ja teiste sulfiidide poolest rikkad kloriitkiltkivid. Tihedad serpentiniidid. Porfüürsed vasemaagid. Sulfiidsed plii-tsingimaagid. Dolomitiseerunud ja nõrgalt skarnistunud lubjakivid. Niklit sisaldavad serpentiniidid. Lubitsemendiga ja tardkivi veeristega konglomeraadid.	50	110	20	9
		Marmor. Tihedad lubjakivid, liivakivid, dolomiidid, kalkopüriit, hematiit-martiitne rauamaak, kompaktsed beresiidid. Tihe ühtlaseteraline kromiidimaak serpentiniitides. Nõrgalt murenenud dioriidid, graniidid, gabrod, süeniidid, diabaasid, proterobaasid, andesiidid, lipariidid, kvartsporfüürid. Vilgu- ja kloriitkiltkivid. Seritsiitkiltkivid tunduva kvartsisisaldusega. Vaske sisaldavad arkoossed liivakivid. Elavhõbedamaagid.	65	130	15	8

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
9	Üle keskmise puuritavusega	Liivakivid, dolomiidid, murenenud graniidid, gneisid, süeniidid, gabrod, dioriidid, räni-turmaliinsed kivimid. Nõrgalt murenenud pragulised mineraliseerunud kvartsiidid. Tugevasti murenenud diabaasid, proterobaasid, andesiidid, amfiboliidid, lipariidid, kvartsporfüürid. Kromiidimaagid serpentiniitides. Sulfiidide ülekaaluga kvartsi-soonmaagid. Kvarts-karbonaatsed kivimid. Sideriit. Magnesiit. Talgistunud serpentiniit. Lubjakivi. Tihedad kulda sisaldavad barüüdid. Nõrgalt murenenud mineraliseerunud kvartsiit. Martiitsed maagid. . . .	85	160	12	6
10	„	Nõrgalt murenenud beresiidid. Apatiit-nefeliinsed maagid. Tihedad boksiidid. Kvartsisisalduseta talk-kloriitsed, talkseritsiitsed, kloriit-seritsiitsed, seritsiitsed ja teised kiltkivid. Liivakad kiltkivid.	110	200	9	5
11	Keskmise puuritavusega	Lubitsemendiga liivakivi, lubjakivi. Murenenud ja tugevasti lõhelised mineraliseerunud kvartsiidid. Murenenud püriitsed maagid. Boksiidid. Kildastunud liivakivid. Suureteralised				

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
12	Keskmise puuritavusega	sulfiidsed plii-tsingimaagid. Murenenud duniidid, peridotiidid ja serpentiniit. Murenenud beresiidid. Poorsed limoniidid. Räni- ja räni-lubitsemendiga settekivimite ja veeristega konglomeraadid. Tihe savikiltkivi. . Tugevalt murenenud põhikivimid: dioriidid, graniidid, süeniidid, porfüürid, gabrod, beresiidid. Tugevalt murenenud sulfiidsed kvartsisooned. Murenenud vilk-, kloriit-, seritsiitkiltkivid. Raudkübar. Tihe antratsiit	150	250	7	4
13	Alla keskmise puuritavusega	püriidi suletistega. . . . . Tugevalt murenenud mineraliseerunud kvartsiidid. Kriit, harilik mergel, täielikult murenenud liivakivi, kruus ja rähk lubitsemendiga, kivine pinnas. Täielikult murenenud (kaoliniseerunud) põhikivimid: graniidid, dioriidid, süeniidid, porfüriidid jt. Savikad suureteralised liivakivid. Murenenud poorsed lubjakivid. Külmunud tihedad savid. Tihedad antratsiidid. Tihedad kivisõed püriidi suletistega. Bituumsed ja sõekad kiltkivid. Savikiltkivi. Kivisool.	200	300	5	3,3
			250	350	4	2,9

Klass	Kivimite puuritavuse aste	Kivimid	Lõhkeaugu edasinihe 1 min. puurimisaja jooksul mm		1 m lõhkeaugu puhas puurimisaeg minutit	
			teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel	teraspuuridega puurimisel	kõvasulamiga BK-15 armeeritud puuridega puurimisel
14	Alla keskmise puuritavusega	Killustikuline pinnas. Täielikult murenenud söe sisaldusega, bituminoossed, talk-kloriitsed ja vilgukiltkivid. Tserussiitsed maagid. Kaoliniseerunud murenemisproduktid. Peeneteraline apatiidimaak. Lahustunud püriit. Murenenud püriidipuru. Tihedad kivisöed. Antratsiidid. Lubisavitsemendiga settekivimite ja kruusa konglomeraadid. Tihe sitke kuiv (kõvakskuivanud) savi.	325	400	3,1	2,5
15	Kergesti puuritavad	Kips. Nõrkade settekivimite konglomeraadid savitsemendiga. Külmunud suureteraline liiv, tihe, vähe vett sisaldav muda. Selgeltväljenduva klivaažiga kivisöed. Klivaažita pruunsöed. Liivakas savi.	425	500	2,4	2
16	„	Pimsskivi, treepel, tuff ja pehmed kriiti sisaldavad kivimid. Rauamaak. Täielikult murenenud killustikulised kivimid. Murenenud pruunsöed. Pehme liivakas savi. Löss.	550	600	1,8	1,7

Erinevate autorite ning ametkondade poolt esitatud kivimite klassifikatsioonide võrdlus

A. F. Suhhanovi klassifikatsioon puuritavuse ja lõhatavuse järgi	Kivimite klassifikatsioon Protodjakonovi järgi		Kategooria «Giredmedi» ühtse klassifikatsiooni järgi	Kategooria «Sojuzvzrõvpromi» järgi	Klassid «Glavzoloto» järgi	Grupid Krivoi Rogi klassifikatsiooni järgi	Kategooria «Glavmedi» järgi	«Sahtostroi» kategooria	Kategooria ühtsete töönormide klassifikatsiooni järgi
	kategooria	kõvaduskoefitsient							
1	—	24	0	—	11	I	—	—	XI
2	—	22	I	—		II	—	—	XI
3	I	20	I	XVI		III	X		X
				—	10		IX	Kategooriata	
4	—	18	II	XV—XVI		IV	VIII		X
5	—	15	III	XV		V	VII	—	IX
6	II a	12	IV	XIII—XIV	9	VI	VI	I	IX
7	III	10	V	XI—XII		VII	V	I	VIII
8	III a	8—9	VI	XI—XII	8	VIII	IV	II	VIII
9	IV	6—7	VII—VIII	IX—X		IX	III	II	VII
10	IV a	5	IX	VIII—IX	7	X	II	III	VI
11	V	4	X	VII		XI	I	III	VI
12	V a	3	XI	VII	6	XII	—	IV	V
13	VI	2	XII	VI		XIII—XIV	—	IV	V
14	VI a	1,5	XIII	VI	5	XV—XVI	—	V	IV
15	VII	1,0	XIV—XV	V		XVII—XVIII	—		III
16	VII a	0,8	XVI	V	4	XIX—XX	—	VI	II
—	VIII	0,6	XVII	IV	3	—	—	—	II
—	IX	0,5	XVIII	II—III	2	—	—	—	I
—	X	0,3	XIX	I	1	—	—	—	—

Lisa VII

Ammoniidi nr. 9 erikulu kg/m³ puuraukude lõhkamisel (lõhkeaine töövõime 280 cm³)

Kivimi kõvaduskoefitsient «Sojuzvzrõvpromi» 1955. a. skaala järgi	Astme kõrgus 7—20 m
IX—X	0,35
XI	0,40
XII	0,45
XIII	0,50

Lisa VIII

Ammoniidi nr. 9 erikulu kg/m³ lõhkeaukude lõhkamisel astmetes

Astme kõrgus m	Kivimi kõvaduskategooria «Sojuzvzrõvpromi» 1955. a. skaala järgi						
	IV—VI	VII—VIII	IX—X	XI	XII	XIII	XIV—XVI
1	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
1,5	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
2—6	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55

Lisa IX

Ammoniidi nr. 9 erikulu (kg/m³) katel-lõhkeaukudes

Kulutuse otstarve	Kivimi kõvaduskategooria «Sojuzvzõvpromi» 1955. a. skaala järgi									
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV—XVI
A. Katellaenguks . . .	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
B. Katla moodustamiseks	0,0015	0,0055	0,020	0,020	0,023	0,05	0,057	0,065	0,072	0,14
Kokku	0,2515	0,2555	0,32	0,32	0,373	0,40	0,457	0,515	0,572	0,69

Lõhkeaine erikulu (q, kg/m³) allmaatöödel (e… Sõetööstuse Ministeeriumi normatiivsed andmed)

Kivimite nimetus ja iseloomustus	Kategooria Protodjakonovi järgi	Kõvadus-koefitsient Protodjakonovi järgi	Lõhkeaine mark	Kaeveõõnsuse ristlõige rajamisel m²									
				horisontaalne ja kallak-kaeveõõnsus				vertikaalšaht					
				4—6	7—9	10—11	13—15	16—20	21—25	26—30	31—36	36—40	41—45
Eriti kõvad, tihedad ja sitked kvartsiidid, andesiidid, basaldid ja diabaasid. Peeneteraline graniit. Väga tihedad peeneteralised dioriidid ja granodioriidid. Eriti suure kõvadusega muud kivimid . .	I	18—20	62%-line külmakindel … namiit	4,36	4,00	3,70	3,40	3,12	2,91	2,54	2,36	2,20	2,00
			Ammoniit nr. 6 ja 7 (pressitud)	4,80	4,40	4,07	3,74	3,43	3,20	2,79	2,60	2,42	2,20
			Teraline dinaftaliit nr. … ja ammoniidid nr. 6 … 7 (padruneeritud)	4,80	4,40	4,07	3,74	3,43	3,20	2,79	2,60	2,42	2,20
Väga kõvad graniitsed kivimid. Kvartsporfüür. Väga kõva graniit, ränikiltkivi. Ülalmainituist pehmemad kvartsiidid. Kõige kõvemad liiva- ja lubjakivid. Väga kõvad rauamaagid	II	13—15	62%-line külmakindel … namiit	3,63	3,31	3,04	2,88	2,70	2,40	2,20	2,10	1,90	1,70
			Ammoniidid nr. 6 … (pressitud)	4,0	3,64	3,35	3,17	2,97	2,68	2,42	2,31	2,09	1,87
			Teraline dinaftaliit … ja ammoniidid nr. … 7 (padruneeritud)	4,0	3,64	3,35	3,17	2,97	2,68	2,42	2,31	2,09	1,87
Tihe graniit ja graniitsed kivimid. Väga kõvad liiva- ja lubjakivid. Ränistunud maagisooned. Kõva konglomeraat. Kõvad rauamaagid. Kõva lubjakivi. Mitte kõva graniit. Kõva liivakivi, marmor ja dolomiit. Kaltsedon	III—III a	8—10	62%-line külmakindel … namiit	2,74	2,50	2,30	2,15	1,96	1,80	1,60	1,47	1,36	1,26
			Ammoniidid nr. 6 ja 7 (pressitud)	3,01	2,75	2,56	2,37	2,16	1,98	1,76	1,62	1,50	1,40
			Teraline dinaftaliit … ja ammoniidid nr … ja 7 (padruneeritud)	3,01	2,75	2,56	2,37	2,16	1,98	1,76	1,62	1,50	1,40
			АП-1	3,92	3,58	3,29	3,07	2,80	2,57	2,29	2,10	1,95	1,80
			Ammoniit nr. 8 ja pob… diit nr. 6	4,66	4,25	3,91	3,65	3,33	3,06	2,72	2,50	2,31	2,14
Harilik liivakivi, keskmise kõvadusega rauamaagid. Liivakiltkivid, kildastunud liivakivid. Lõheline kvartsiit. Murenenud graniidid, gneisid ja süeniidid. Räni-karbonaatsed kivimid. Nõrgalt murenenud mineraliseerunud kvartsiit .	IV—IV a	5—6	62%-line külmakindel … namiit	1,70	1,58	1,45	1,36	1,23	1,10	1,02	0,93	0,86	0,80
			Ammoniidid nr. 6 ja 7 (pressitud)	1,87	1,74	1,60	1,50	1,35	1,21	1,12	1,02	0,95	0,88
			Teraline dinaftaliit nr. … ja ammoniidid nr. … ja 7 (padruneeritud)	1,87	1,74	1,60	1,50	1,35	1,21	1,12	1,02	0,95	0,88
			АП-1	2,43	2,26	2,07	1,95	1,76	1,57	1,46	1,33	1,23	1,15
			Ammoniit nr. 8 ja pob… diit nr. 6	2,90	2,68	2,46	2,31	2,09	1,87	1,73	1,58	1,46	1,36
Kõva savikiltkivi. Mitte kõva liivakivi ja lubjakivi. Pehme konglomeraat	V—V a	3—4	62%-line külmakindel … namiit	1,04	0,96	0,90	0,84	0,78	0,70	0,64	0,59	0,54	0,51
			Ammoniidid nr. 6 ja 7 (pressitud)	1,14	1,06	1,00	0,93	0,86	0,77	0,70	0,65	0,60	0,56
Mitmesugused pehmed kiltkivid. Tihe mergel, ränitsemendiga ja settekivimite veeristega konglomeraadid, tugevasti murenenud põhikivimid: dioriidid, graniidid, süeniidid, gabrod ja porfüriidid. Kompaktsed antratsiidid kaltsedoni suletistega			Teraline dinaftaliit nr. … ja ammoniidid nr. … ja 7 (padruneeritud)	1,14	1,06	1,00	0,93	0,86	0,77	0,70	0,65	0,60	0,56
			АП-1	1,49	1,37	1,29	1,20	1,12	1,00	0,92	0,84	0,77	0,73
			Ammoniit nr. 8 ja pob… diit nr. 6	1,77	1,63	1,53	1,43	1,33	1,20	1,10	1,00	0,92	0,87

Lisa X järg

Kivimite nimetus ja iseloomustus	Kategooria Protodjakonovi järgi	Kõvadus-koefitsient Protodjakonovi järgi	Lõhkeaine mark	Kaeveõõnsuse ristlõige rajamisel m²									
				horisontaalne ja kallak-kaeveõõnsus				vertikaalšaht					
				4—6	7—9	10—11	13—15	16—20	21—25	26—30	31—36	36—40	41—45
Pehme kiltkivi, väga pehme lubjakivi, kriit, kivisool, kips, külmunud maapind. Antratsiit. Harilik mergel. Purunenud liivakivi. Tsementeeritud veerkivid ja kivine maapind. Killustikune maapind. Purunenud kiltkivi. Paakunud veerised, kõva kivisüsi. Kõva savi. Sütt sisaldavad kiltkivid . . .	VI—VI a	2—1,5	62%-line külmakindel d namiit	0,64	0,58	0,54	0,50	0,46	0,42	0,38	0,34	0,32	0,30
			Ammoniidid nr. 6 ja 7 (pressitud)	0,70	0,64	0,60	0,55	0,51	0,46	0,42	0,37	0,35	0,33
			Teraline dinaftaliit nr. ja ammoniidid nr. 6 ja (padruneeritud)	0,70	0,64	0,60	0,55	0,51	0,46	0,42	0,37	0,35	0,33
			АП-1	0,92	0,83	0,77	0,72	0,66	0,60	0,54	0,49	0,46	0,43
			Ammoniit nr. 8 ja pol diit nr. 6	1,09	0,98	0,92	0,85	0,78	0,71	0,65	0,58	0,54	0,51

Lisa XI

Elektrilised k keerdpuurmasinad

Nimetus	Mõõtühik	Puurmasi margid							
		ЭБР-7/3	ЭР-12 (kaug-juhti-misega)	ЭР-4	ЭР-5	ЭРП-5	ЭБР-19Д	СЭР-19Д	ЭБР-61,4
Mootori võimsus	kW	—	—	0,9	1	1	1,2	1,2	1,4
Pooletunniline võimsus spindlil	kW	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4
Puurmasina kasutegur		0,66	0,72	0,74	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71
Elektrivoolu sagedus (3-faasine)	Hz	150	50	50	50	50	50	50	50
Pinge	V	127	127	127	127	127	127	127	127
Voolutugevus	A	—	8,5	7,0	8,5	8,5	10,7	10,7	—
Mootori pöörete arv	p/min.	9000	2750	2750	2750	2750	2660	2660	2660
						330	338	338	338
Spindli pöörete arv	p/min.	670	580	710	500	500	690	690	690
						500			
Ettenihe	mm/min.	—	—	—	—	740	—	—	—
						266			
Pöördemoment spindlil	kgcm	—	170	120	185	178	—	—	—
Põhimõõtmed:									
pikkus (ilma puurita) . . .	mm	—	400	325	370	400	414	414	414
laius	mm	—	315	316	316	316	316	316	316
kõrgus	mm	—	215	224	224	250	230	230	230
Kaal (ilma kaabli ja puurita) .	kg	8,8	13,5	14,7	17,7	21,5	18	19	20
Hind	rbl.	—	—	39	42	59	41	—	51,6
Valmistaja		Vahruševi-nimeline Toms Elektromehaanikatehas		Konotopi tehas «Krasnõi Metallist»					

Elektrilised sammaskeerdpuurmasinad

Nimetus	Mõõtühik	Puurmasinate margid			
		ЭБК-2А	ЭБК-5	ЭКМ-2	ЭСГП-3А
Tarbimisvõimsus	kW	3,7	—	2,8	—
Võimsus mootori võllil	kW	2,7	4,2/1,8	2,0	2,5
Puurmasina kasutegur	—	0,88	0,83	—	—
Mootori pöörete arv	p/min.	2930	3000/1500	2715	2715
Spindli pöörete arv [1]	p/min.	116—310	120/60—420/210	150	220—770
Ettenihkekiirus	mm/min.	187	369/184	93	2500
Ettenihke maksimaalne tööjõud	kg	600	1500	—	1500
Pöördemoment spindlil	kg cm	1020	—	940	—
Spindli käigu pikkus (ЭСГП-3 ettenihkekolvi käik)	mm	950	890	950	900
Kaal (ilma kaabli ja sambata)	kg	120	—	75	100
Samba kaal	kg	35	—	—	—
Põhimõõtmed:					
pikkus	mm	1490	1430	1406	1560
laius	mm	382	407	470	420
kõrgus	mm	360	360	297	308
Hind	rbl.	175,5	—	200	860

[1] Toodud on minimaalsed ja maksimaalsed suurused

Puuriterase kuju, mõõtmed ja kaal

Kuju	Läbimõõt [1] mm	Telgkanali läbimõõt mm	Õõnsa terasvarda 1 m kaal kg
Ümmargune	22±0,5	6,5	2,83
	25±0,5	7,2+1,2	3,40
	32±0,75	9 −0,8	6,56
Kuuekandiline	22±0,5	6,5	2,99
	25±0,5	7,2+1,2	3,59
	32±0,75	9 −0,8	6,93

[1] Kuuekandilisel terasel ristlõike sisse joonestatud ringi läbimõõt.

Lisa XIII a

Terase tooriklattide pikkus puuride valmistamiseks

Teraslati läbimõõt mm	Tooriklati pikkus puuripära sepistamiseks				Tooriklati pikkus ristikujulise puuripea sepistamiseks olenevalt puuripea läbimõõdust mm										
	käsipuurvasaratele		sammas-puur-vasaratele	teleskoopi-listele puur-vasaratele	29	32	35	38	41	44	47	50	54	57	60
	82 mm puuri-sabaga	108 mm puuri-sabaga													
22	178	203	—	152	10	16	22	38	50	64	85	105	133	160	—
25	172	197	203	152	—	10	16	22	29	35	44	50	60	82	110
32	—	—	120	152	—	—	—	—	13	16	19	25	32	38	44

Märkus. Tooriklati üldpikkuse leidmiseks tuleb puurisaba ja -pea sepistamiseks vajalike pikkuste summale lisada puurvarda pikkus vastavalt lõhkeaugu pikkusele.

Puurvasarad

Nimetus	Mõõt-ühik	Puurvasarad: Käsipuurvasarad: РП-17А	МБМ-18	РПМ-17А	ПА-23	ПР-35	Puurvasarad: Roomikpuurvasarad: ОМ-506Л	ПР-30К	ПР-30ЛЦ	БМП-30	МБМ-31	ПР-10	ПР-20	ПР-23	ПР-25	Sammas-puur-masin КЦМ-4
Kaal	kg	16,2	18	18,8	23	28	30	30	31	30	31	10	21,6	24,5	29	39,7
Pikkus	mm	550	650	570	620	638	600	620	650	665	670	450	550	550	—	760
Puurisaba mõõtmed	mm	22×82	—	22×82	25×108	25×10	25×108	25×108	—	—	108	22×82	25×108	25×108	—	32×97
Suruõhuvooliku läbimõõt	mm	16	16	16	19	19	19	25	25	25	19	—	25	25	—	25
Veevooliku läbimõõt	mm	—	13	13	13	13	13	13	—	—	13	—	—	—	—	13
Kolvi läbimõõt	mm	60	—	60	68	72	63,5	76	—	—	—	62	76	100	85	76
Kolvi käik	mm	48	—	48	60	65	65	74	—	—	—	25	45	32	35	75
Kolvi kaal	kg	1,7	—	1,7	1,86	2,25	2,0	2,7	—	—	—	—	1,74	2,28	—	2,9
Suruõhu rõhk	atü	5	5	5	5	5	4—5	4,5—5,5	5	5—7	5	5	5	5	5	5
Kolvi löökide arv min.		1700	1700	1700	1865	169(	1700	1750	1650	1700—1840	1700	3750	2700	3000	3100	1750
Puuri pöörete arv	p/min.	198	—	198	162	160	75	127—135	—	—	—	170	45	60	—	200
Kolvi löögienergia	kgm	2,5	2,5	2,5	5,88	5	4	5,8—7,6	5,8	4—6	4	1,6	4,5	5,0	5,6	10,2
Maksimaalne pöördemoment	kgcm	50	—	50	85	130	85	140—210	135	85—140	—	50	140	185	250	—
Suruõhu kulu	m³/min.	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0	2,35	2,4	2,4	2,8—3,3	2,8	—	2,4	2,0	3,5	4,3	3,2	4,0
Uhtevee kulu	l/min.	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—
Uhtevee rõhk	atü	2—3	—	2—3	2—3	2—3	2—3	2—3	—	—	—	—	—	—	—	—
Puurimiskiirus $p=5$ atü ja $f=8$—10 puhul	mm/min.	100	—	100	150	250	220	230	—	—	—	130	265	390	216	380
Hind	rbl.	38,8	49,7	38,8	66,0	70,0	53,7	—	83,0	70,0	61,7	—	—	—	—	278,3

Teleskoopilised puurvasarad ja süviperforaatorid

Nimetus	Mõõtühik	Teleskoopiliste puurvasarate margid				Süviperforaatorite margid	
		ПТ-4	ПТ-30	ПР-51	ПТ-45	ПШ-20	ПШ-50
Kaal	kg	44,5	30	51	45	20	50
Pikkus (sisselükatud teleskoobiga)	mm	1427	1480	1580	1450	760	738
Vasara kolvi läbimõõt	mm	76	68	76	76	60/58	110/112
Kolvi käik	mm	74	—	55	54	55	43
Kolvi löökide arv	lööki/min.	1650—1750	1890	1630	1650	1700	2400
Puuri pöörete arv	p/min.	127—135	160	50	40	100	80
Löögienergia	kgm	5,8—7,6	3,55	3,5	4,5	6	16
Pöördemoment	kg cm	140—210	100	145	165	90	500
Võimsus	hj	2,0—2,7	1,5	2,82	3,0	—	—
Suruõhu rõhk	atü	4,5—5,5	5	5	5—7	3	5
Suruõhu kulu	m^3/min.	2,8—3,8	2,45	3,6	3,6	3,2	10
Suruõhuvooliku läbimõõt	mm	25—19	19	25	19	—	—
Uhteveevooliku läbimõõt	mm	13	13	13	13	—	—
Puuriterade läbimõõt	mm	25	25	25	25	—	—
Teleskoobi silindri läbimõõt	mm	61	46	80	46—65	—	—
Puuripea läbimõõt	mm	65	56	67	67	90	150
Teleskoobi käigu pikkus	mm	615	650	580	600	—	—
Maksimaalne ettenihkejõud	kg	165	80	175	175	—	—
Maksimaalne lõhkeaugu (puuraugu) pikkus	m	6	3	8	10	50	50
Puurimiskiirus ($f=8-10$)	mm/min.	270	260	—	280	50	50
Perforaatori välisläbimõõt	mm	—	—	—	—	80	140

Puuraukude puurimise pingid

Nimetus	Mõõt-ühik	Puurpinkide margid							
		БД (Min-jailo)	НИГРИ-4	БЭС-2М *	БМК-2 *	СБ-4 **	СВБ-1	ВСШ-1 **	БА-100 *
Puurimise sügavus	m	40	50	50	35	50	—	50	50
Puuraugu läbimõõt	mm	85—120	36—76	115	106	100—150	108—152	125	100
Elektrimootori võimsus	kW	3,5	5,8	5,8	1,7	14+2,7	10	11	—
Mootori pöörete arv	p/min.	1000	1450	1450	1420	—	—	750	—
Spindli pöörete arv	„	187	580	51	22	100	180	100—250	156
Ettenihke pikkus	mm	300	520	700	1300	530	400	500	400
Ettenihkekiirus:									
edasikäigul	mm/min.	11	0—1208	704	—	3200	—	180 kuni	25 000
tagasikäigul	„	—	0—3625	416	—	1700	—	—	—
Pneumaatilise löökuri pikkus	mm	—	—	650	—	—	—	—	—
Läbimõõt	mm	—	—	106	90	—	—	—	85
Löökuri silindri läbimõõt	mm	—	—	72	65	—	—	—	58
Kolvi käigu pikkus	mm	—	—	100	—	—	—	—	—
Löökide arv minutis	—	—	—	1150	1750	—	—	—	1700
Löögi töö	kgm	—	—	8,5	3,6	—	—	—	9
Suruõhu kulu	m^3/min.	—	—	3,0	3,5+1	—	—	—	3
Pingi mõõtmed: pikkus	mm	1160	1030	465	—	—	1550	2150	—
laius	mm	410	600	810	—	—	800	1400	—
kõrgus	mm	960	1700—2000	1900—2000	—	—	1100—1550	1750—2250	—
Kaal	kg	223	180	400	420	1000+280	1000	2435	300
Puuraugu kaldenurk horisondi suhtes	kraad	—	0—360	0—360	0—360	—	—	0—360	—
Uhtevee kulu	l/min.	—	30	—	20	—	—	—	—

* Süviperforaatoritega puurpingid.
** Näritspuurimise pingid.

Karjäärides kasutatavad tross-löökpuurimise pingid

Nimetus	Puurpinkide margid		
	БС-1	«Uralets» БУ-2-20	УКС-20 с
Pingi raami pikkus m	7	6	5,8
Pingi raami laius m	3,48	2,7	1,8
Pingi kõrgus allalastud mastiga m	3,8	3,5	2,8
Pingi kõrgus ülestõstetud mastiga m	15	12	12,3
Pingi pikkus sõidul m	7,0	11	8
Masti kõrgus pingi raamist kuni töö-ratta keskpunktini m	15,1	11,6	12
Elektrimootori võimsus kW	40,0 (75,0)	18,7	25,5
Puraski maksimaalne kaal kg	1700*/2700**	1300	1000
Pingi kaal ilma puraskita t	20,8	11,1	6,2
Maksimaalne võimalik puuraugu sügavus m	300	300	300
Maksimaalne võimalik puuraugu läbimõõt mm	300	300	150—500
Puraski löökide arv minutis	48—52	52—56	40—50
Puraski tõstekõrgus m:			
maksimaalne	1,2	1,10	1,0
minimaalne	0,6	0,45	0,45
töötamisel	0,90	0,95	1,0
Töötrossi läbimõõt mm	22—26	19,5	19,5
Torupange trossi läbimõõt mm	14,0	13,0	13,0
Ülekanne elektrimootorilt töövõllile	kiilrihmaga	lamerihmaga	—

* 40 kW elektrimootori võimsuse puhul.

** 75 kW elektrimootori võimsuse puhul.

Lisa XVIII

Karjäärides kasutatavad keerdpuurimise pingid

Nimetus	Puurpinkide margid				
	ПБС-110	БС-110/25	БСУ-150	Kombineeritud	«Sibirjak»
Pingi kaal kg	495	1100	5000	—	3700
Puuragregaadi mootori võimsus kW	7,8—10	10	17	32	25
Mootori pöörete arv minutis	1450	1450	970	—	—
Teo pöörete arv minutis	220	220	148; 304	133	151; 257
Pingi liikumismootori võimsus kW	puudub	2,8	9,1	—	—
Liikumiskiirus km/h	—	0,25	1,5	—	—
Puurimissügavus m	25	25	25	24	20
Puuraugu läbimõõt mm	110	110	150	150	150—200
Tootlikkus söesse puurimisel m/vah.	120—150	150—180	150—180	130	60—80
Kiltkividesse $f=4$ puurimisel	—	30—50	30—50	55	—
Puurpingi mõõtmed m:					
pikkus	3,3	3,2	—	—	4,7
laius	2,0	2,0	—	—	2,1
kõrgus	3,7	3,8	—	—	2,1

Lisa XIX

Puuriterituspingid

Nimetus	Pinkide margid				
	Б-50	Б-А	БСГ-1	БЗС-1	БСТ-1
Maksimaalne puuriterase läbimõõt mm	48	32	48	48	50
Maksimaalne puuripea läbimõõt mm	92	65	90	90	90
Pingi kaal kg	1780	—	2180	1800	1800
Mõõtmed plaanis m	1,2×1,5	1,04×1,43	1,10×1,3	1,1×1,3	1,08×1,6
Pingi kõrgus m	1,365	1,38	1,5	1,5	1,47
Normaalne suruõhu rõhk atü	5—7	5—7	5—7	5—6	5—7
Suruõhu kulu m^3/min.	3—4	2—3	3—4	3—4	3—4
Puuride teritamise tootlikkus tunnis	60—70	50—60	60	60	60

ORIGINAALI KOOSTAMISEL KASUTATUD KIRJANDUS

1. Ассонов В. А. Взрывные работы, Углетехиздат, 1956.
2. Ассонов В. А., Росси Б. Д. Справочник по буровзрывным работам, т. I. Взрывные работы. Углетехиздат, 1949.
3. Ассонов В. А., Басов Д. Л., Давыдов С. А., Марченко Л. Н., Романов В. Г., Росси Б. Д. Взрывные работы на металлических рудниках, Металлургиздат, 1950.
4. Барон Л. И., Васильев Г. А., Докучаев М. М., Красноперов А. А. Взрывные работы. Промстройиздат, Москва, 1953.
5. Будников М. А., Левкович Н. А., Быстров И. В., Сиротинский В. Ф., Шехтер Б. И. Взрывчатые вещества и пороха, Оборонгиз, 1955.
6. Бучнев В. К. Буровзрывные работы, Углетехиздат, 1955.
7. Единые правила безопасности при ведении взрывных работ, Металлургиздат, 1957.
8. Каменка Б. И. Буровзрывные работы на открытых разработках, Углетехиздат, 1951.
9. Марченко, Л. Н. Оксиликвиты на открытых горных работах, Углетехиздат, 1955.
10. Мельников Н. В. Добыча ископаемых открытым способом, Углетехиздат, 1948.
11. Мельников Н. В. Бурение скважин и шпуров на открытых разработках, Углетехиздат, 1953.
12. Миндели, Э. О. Анализ буровзрывных работ при проходке вертикальных стволов шахт, Углетехиздат, 1955.
13. Мостков В. М. Основы теории пневматического бурения, Углетехиздат, 1952.
14. Покровский Н. М. Проведение горных выработок, Углетехиздат, 1954.
15. Павлов К. В. Горные работы, Металлургиздат, 1957.
16. Взрывные работы на металлических рудниках, Сборник статей, Металлургиздат, 1950.
17. Сборник норм выработки на горные работы для шахт Донбасса, Углетехиздат, 1954.
18. Справочник по горнорудному делу т. I и II, Металлургиздат, 1952.
19. Таран М. И. Буровзрывные работы на открытых разработках, Металлургиздат, 1951.
20. Теория и практика буровзрывных работ в горной промышленности (Сборник трудов совещания по буровзрывным работам), Углетехиздат, 1953, Харьков.
21. Тотров Г. В. Горные машины, Металлургиздат, 1952.
22. Турута Н. У. Буровзрывные работы, Металлургиздат, 1954.
23. Шетлер Г. А., Фейгин Л. М., Зинченко Е. М. Альбом по буровзрывным работам, Углетехиздат, 1953.
24. Энциклопедический справочник «Горное дело» том 4, Углетехиздат, 1958 г.

XIV PEATÜKI KOOSTAMISEL KASUTATUD KIRJANDUS

1. М. С. Газизов и А. М. Аллик. Сланцедобывающая промышленность Эстонской ССР. Углетехиздат, 1959 г.
2. К. Р. Саарест. 225 метров штрека в месяц. Горючие сланцы, Таллин 1960.
3. L. Eigo. Lühiviitega lõhkamine Eesti NSV mäetööstuses. Tehnika ja Tootmine nr. 11, 1959.
4. L. Kalman. Mäetööd. Eesti Riiklik Kirjastus, 1950.

SISUKORD

Sissejuhatus 3

I OSA. LÕHKEAINED JA LÕHKETÖÖD 7

I peatükk. **Lõhkeainete teooria** 7

§ 1. Plahvatus, lõhkeaine, plahvatuse reaktsioonid 7
§ 2. Hapnikubilanss ja mürgised plahvatusgaasid 9
§ 3. Plahvatusgaaside hulga määramine 10
§ 4. Plahvatuse soojushulga määramine 12
§ 5. Plahvatustemperatuuri määramine 15
§ 6. Plahvatusgaaside surve 17
§ 7. Plahvatuse kiirus 20
§ 8. Detonatsiooniteooria küsimused 28
§ 9. Lõhkeaine töövõime, brisantsuse ja ohutuse võrdlevad määramisviisid 39
§ 10. Gaasi- ja tolmuohutute lõhkeainete teooria 42
§ 11. Gaasi- ja tolmuohutute lõhkeainete proovimismeetodid. 47

II peatükk. **Lõhkeained.** 50

§ 12. Lõhkeainete klassifikatsioon 50
§ 13. Plahvatavad keemilised ühendid 50
§ 14. Tööstuslikud ammooniumsalpeetrilised lõhkeained 55
§ 15. Nitroglütseriinsed lõhkeained 59
§ 16. Oksülikviidid ja teised lõhkeained 61
§ 17. Lõhkeainete proovimine ladudes 63

III peatükk. **Lõhkamisvahendid.** 66

§ 18. Lõhkamisvahendid tulega süütamisel 66
§ 19. Lõhkamine detoneeriva nööri abil 73
§ 20. Elektriline süütamine 74
§ 21. Andmeid elektridetonaatorite (elektrisütikute) teooriast 78
§ 22. Elektridetonaatorite ühendamisviisid ja elektri-süütevõrkude arvutus 82

IV peatükk. **Lõhkamistarbed** 91

§ 23. Mõõte- ja kontrollriistad 91
§ 24. Voolualikad elektridetonaatorite süütamiseks 94
§ 25. Lühiviitsüütega lõhkamine; selleks kasutatavad vahendid . . . 104
§ 26. Elektri-süütevõrkude juhtmestik 105

V peatükk. **Lõhkematerjalide hoidmine ja transportimine** 108

§ 27. Lõhkematerjalide hoidmine 108
§ 28. Lõhkematerjalide arvestus. Lõhkematerjalide ettevalmistus . . . 118
§ 29. Lõhkematerjalide hävitamine 120
§ 30. Lõhkematerjalide transportimine 122

VI peatükk. **Kivimite mehaanilised omadused ja klassifikatsioon** . . 125

VII peatükk. **Laengute arvutus ja lõhketööde teostamine lahtistel mäetöödel** 129

§ 31. Laengu plahvatuse toime kivimis 129
§ 32. Väljapaiskelaengute arvutus ja lõhketööde teostamise viisid . . 135
§ 33. Kobestuslaengute arvutus ja lõhketöö miinistollide abil . . . 145
§ 34. Kobestuslaengute arvutus ja lõhketöö puuraukude abil 148
§ 35. Lõhkeaukudega lõhkamine ja «mittegabariitide» purustamine . . 156

VIII peatükk. **Laengute arvutus ja lõhketööd maa all** 159

§ 36. Laengute arvutus ja lõhkeaukude paigutus kaeveõõnsuste rajamisel ühe vaba pinna puhul 159
§ 37. Laengute arvutus ja lõhkeaukude paigutus kaeveõõnsuste rajamisel astmelise eega 184
§ 38. Lõhketööd 195

II OSA. PUURIMISTÖÖD 200

IX peatükk. **Lõhkeaukude keerdpuurimine** 200

§ 39. Keerdpuurimise tööprintsiip 200
§ 40. Puurinstrument 201
§ 41. Lõhkeaukude puurimine elektriliste käsipuurmasinatega . . . 207
§ 42. Lõhkeaukude puurimine pneumaatiliste käsi-keerdpuurmasinatega . 214
§ 43. Lõhkeaukude puurimine elektriliste sammaspuurmasinatega . . 216

X peatükk. **Lõhkeaukude löökpuurimine** 228

§ 44. Löökpuurimise tööprintsiip 228
§ 45. Puurid 233
§ 46. Üldandmed pneumaatilistest puurvasaratest 240
§ 47. Käsipuurvasarad 242
§ 48. Sammaspuurvasarad 255
§ 49. Teleskooppuurvasarad 258
§ 50. Lõhkeaukude puurimine 260
§ 51. Võitlus tolmuga puurimis- ja lõhketöödel 270
§ 52. Ete varustamine suruõhuga 280

XI peatükk. **Puuraukude puurimine** 285

§ 53. Puuraukude puurimine allmaa-töödel 285
§ 54. Puuraukude puurimine lahtistel töödel 298

XII peatükk. **Uued puur- ja lõhkeaukude puurimise meetodid** . . 314

§ 55. Löök-keerdpuurimine 314
§ 56. Termopuurimine 318

XIII peatükk. **Puuride teritamine** 320

§ 57. Teraspuuride teritamine ja karastamine 320
§ 58. Lõiketerade ja puuripeade teritamine 328

§ 59. Puuriteritustöökodade tehniline varustus 330
§ 60. Peitliteritustöökoja tehniline varustus 331

XIV peatükk. **Andmeid lõhketöödest Eesti NSV-s** 335

§ 61. Puurimis- ja lõhketööd Eesti NSV põlevkivikaevandustes . . . 335
Tähtsamad geoloogilised ja mäetehnilised tingimused 335
§ 62. Puurimis-lõhketööd horisontaalsete kaeveõõnsuste rajamisel . . 338
§ 63. Puurimis- ja lõhketööd veekraavide rajamisel 351
§ 64. Puurimis- ja lõhketööd šurfide rajamisel 353
§ 65. Puurimis- ja lõhketööd pikkades koristusetes (laavades) . . . 356
§ 66. Puurimis- ja lõhketööd kambrites 364
§ 67. Puurimis- ja lõhketööd Viivikonna põlevkivikarjääris 371
§ 68. Puurimis- ja lõhketööd Maardu fosforiidikaevanduses 375
§ 69. Puurimis- ja lõhketööd paemurdudes 379

Lisad 389

Kasutatud kirjandus 422

Таранов, Петр Яковлевич
БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ
На эстонском языке
Оформление Г. Панта

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское Шоссе, 10

*

Toimetaja H. Märtson
Kunstiline toimetaja R. Tungla
Tehniline toimetaja N. Põldvere
Korrektor H. Nassar

Ladumisele antud 16. V 1961. Trükkimisele antud 13. IX 1961. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 26,75. Arvutuspoognaid 27,01. Trükiarv 2000. Tellimise nr. 4866. Hans Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. III

Hind rbl. 1.26

3—9

Rbl. 1.26

A-24050

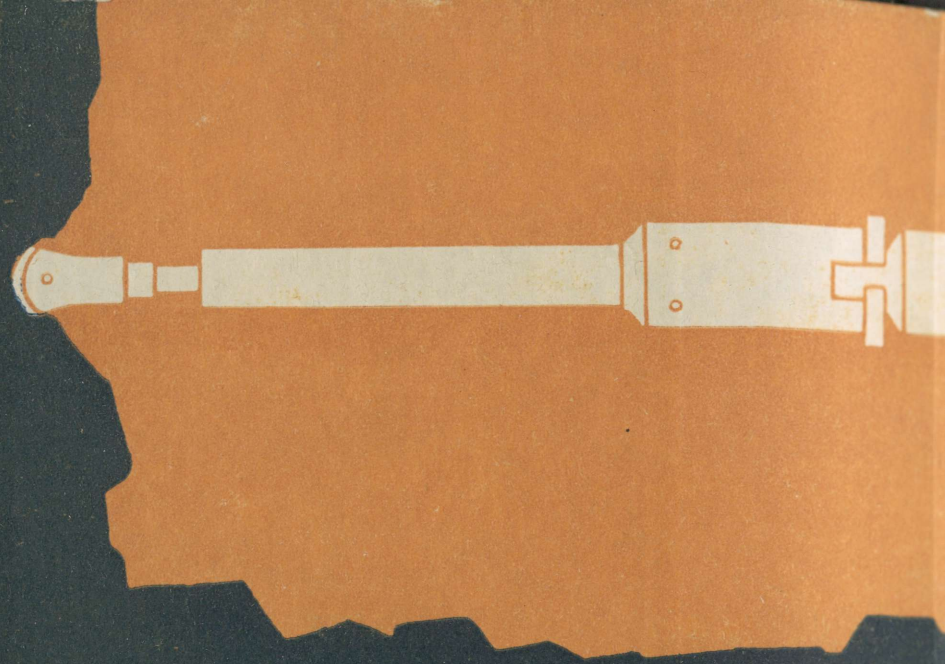
TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00359079 3

Rbl. 1.26

A-24050

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00359079 3

PUURIMIS- JA LÕHKETÖÖD



P. TARANOV

PUURIMIS- JA LÕHKETÖÖD