

POPULAARTEADUSLIK
SARI

A. S. FJODOROV

TULIÖHK



219630

A-16558 IV

A. S. FJODOROV
TEHNILISTE TEADUSTE KANDIDAAT

TULIÕHK
(HAPNIK)



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1952

Originaali tiitel:

А. С. Фёдоров
ОГНЕННЫЙ ВОЗДУХ
(кислород)

Государственное издательство
технико-теоретической литературы
Москва 1950 Ленинград

Tõlkinud H. Johannes.

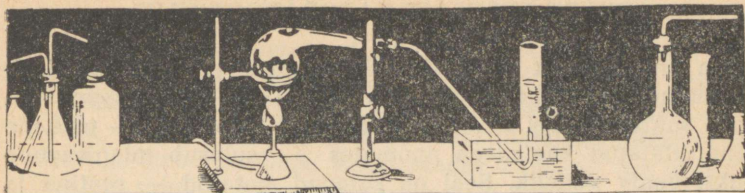
LUGEJALE

Populaarteadusliku kirjanduse toimetus palub hinnangud ja arvamused teose kohta, samuti teoses kasutatud terminoloogia kohta saata aadressil:

*Tallinn, Pärnu mnt. 10
Eesti Riikliku Kirjastuse
populaarteadusliku kirjanduse toimetus.*

2





SISSEJUHATUS

„Tuliõhk“ on raamat hapnikust — looduses kõige laialdsemalt levinud keemilisest elemendist. Hapnikku kohtame kõikjal. Teda leidub õhus ja vees, peaaegu kõigis mineraalides, ta on taime- ja loomaorganismide vältimatuks koostisosaks.

Hapnik on elu aluseks maakeral. Atmosfääris, kus seda gaasi ei leidu, pole võimalik taimede ja loomade olemasolu, välja arvatud ehk väike osa kõige lihtsamaid baktereid.

Hapnikuta on mõeldamatu valdav osa tehnilisi protsesse. Atmosfääris leiduva või tooraineis esineva hapniku abil toimub suure hulga keemiliste ainete saamine, kütuse põlemine ja metallide sulatamine.

Kuid vähe sellest. Hapnikku kasutatakse nüüd spetsiaalselt mitmesugustes tootmiseseadistes. Juba paljusid aastaid tarvatakse teda raskesti sulavate metallide ja sulamite keevitamisel ning lõikamisel. Hulgalised uurimised on näidanud, et hapniku abil saab tunduvalt kiirendada mitmesuguseid tehnoloogilisi protsesse.

Metallurgia ahjudesse, keemiatööstuse aparaatidesse, odava tahke kütuse gasifitseerimise seadistesse juhitud täiendavad hapnikukogused mitte ainult tõstavad toodangu väljalaset, vaid parandavad ka tema kvaliteeti.

See ongi põhjuseks, miks hapnik leiab üha enam kasutamist tööstuses, ja hapniku saamiseks vajalike seadiste tootmine on muutunud masinaehitustööstuse suureks eriharuks.

Selles raamatus jutustatakse lühidalt hapniku omadustest, õhust hapnikku tootvate tööstuslike seadiste ehituse ja töötamise põhimõtetest, aga samuti ka sellest, kuidas kasutatakse hapnikku üksikutes rahvamajandusharudes.

SUURE TEADLASE LABORATOORIUMIS

On juba kaugelt üle kesköö. Vilkuv rasvalambileek heidab suitsunud laevõlvile tontlikke varje. Vaevalt hõõguvad veel söed suures koldes keset tuba. Klaasist retortides — pikkade kinnisulatatud kaeladega anumates — sulpsub mingisugune paks, veniv vedelik. Seal on sulanud metallid — seatina ja tina. Tundide viisi tuel hõõgudes muutuvad nad rabadaks teraliseks massiks — hapendiks.

Pingilt tõuseb väsinult pikačasvuline ja laiaõlgne inimene. Osavalt haarab ta raudnäpitsatega ühe retortidest, viib selle laua juurde ja asetab ettevaatlikult kaalukaasile. Teisel kaalukaasil on pronksist vihid. Need tasakaalustasid retordi koos sisuga katse alguses.

Aeglaselt, nagu vastu tahtmist, liigub kaalu osuti. Sekundid tunduvad piinavalt pikkadena. Osuti hälbed jäävad vähemaks ja viimaks peatub ta peenike ots skaalal märgi „null“ juures. Üks katse on jällegi lõpetatud. Vaatamata kestvale tuel kuumutamisele ei muutunud tina sisaldava kinnisulatatud anuma kaal. Sama kinnitavad ka teise, kolmanda, kümnenda retordi kaalumised... Samasugune tulemus saadi eile, üleile, möödunud nädalal... — Jah, nüüd on kõik selge!

Erutatult lükkab uurija kaalu kõrvale ja avab paksu raamatu. Kastnud hanesule tinti, kirjutab ta kiiresti:

„... Katsetati tihedalt kinnisulatatud anumatega, et kindlaks teha, kas suureneb metalli kaal ainult kuumusest. Nende katsete varal selgus, et kuulsa Robert Boyle'i arvamised on väärad, sest ilma välisõhu juurdepääsuta kuumutatud metalli kaal jääb endiseks.“

Need read kirjutas 1756. aastal Mihhail Vassiljevitsš Lomonossov, kuulus vene teadlane, kes pani aluse kodumaisele teadusele ja kes avastas rea kaasaegse keemia ja füüsika tähtsaid seadusi.

Põlemise nähtused äratasid keemikutes suurt huvi juba palju aastaid enne Lomonossovit. Sel ajal eksisteeris põlemisest väga primitiivne ja sügavalt ekslik „teooria“. See „teooria“ kinnitas, et kõik kehad sisaldavad erilist põlevat ainet — flogistoni. Selle „teooria“ pooldajad kinnitasid, et flogiston kaalub „vähem kui mitte midagi“, s. o. tal on negatiivne kaal.

Kütuse põlemise või metallide kuumutamise juures lahkub flogiston kehast ja sellepärast ongi põlemisproduktide kaal suurem esialgsest kaalust. Lomonossovi kaasaegseile tundus niisugune põlemisnähtuste seletus veenvana ja usutavana.

Lomonossov ei saanud aga nõustuda fantastilise flogistoni olemasoluga. Ta oletas, et põlemisest ja põletamisest võtab osa tavaline õhk. Suur teadlane teostaski seatina ja tina kuumutamiseiga katseid selleks, et tõestada seda uut oletust.

Mis toimub metalliga, mida kuumutatakse retordis? Osa õhust ühineb metalliga, moodustades hapendi. Kui retort on tihedalt suletud, siis seejuures metalli kaal ei muutu. Piisab aga ainult sellest, et avada retort, kui sellesse kohisedes tungib välisõhk ja täidab selle osa retordis olnud õhu ruumalast, mis kulus metalli hapendiks muutmiseks. Seejuures aga retordi sisu kaal pisut suureneb.

Nende katsetega näitas Lomonossov mitte ainult õhu osatähtsust põlemise juures, vaid tegi ka kindlaks, et ainete keemilisel muundumisel „niipalju kui ühelt kehalt ära võetakse, antakse teisele juurde.“ See aine kaalu jäävuse seadus sai kaasaegse keemia aluseks. Suur vene teadlane jõudis kolmekümne aasta võrra ette sama seaduse „avastamisest“ prantsuse keemiku Lavoisier' poolt.

○ KUIDAS AVASTATI HAPNIK

Mitu aastat pärast M. V. Lomonossovi surma sooritas noor rootsi keemik Karl Scheele järgneva katse. Ta asetas kolbi tükikese fosforit ja sulges selle tihedalt korgiga. Seejärel lähendas ta kolvile põleva küünla. Hetke pärast süttis fosfor kolvi soojendamisest heledalt põlema ja kolb täitus paksu suitsuga, mis sadestus kiiresti kolvi seintele valgete härmatistaoliste helvetena.

Kui kolb oli jahtunud, pööras Scheele ta ümber ja, asetanud kolvi kaela vette, avas ettevaatlikult korgi. Vesi tungis kiiresti kolbi ja täitis ühe viiendiku selle mahust.

Noor keemik proovis ka teisi aineid põletada kinnistes nõudes. Tulemus oli muutumatult sama: üks viiendik nõusse suletud õhust kadus kuhugi ja see osa täitus veega. Õhus aga, mis pärast põlemist kolbi järele jäi, polnud võimalik enam põlema süüdata mitte üksnes küünalt, vaid isegi kergesti süttivat fosforit. Sinna paigutatud hiir suri kiiresti lämbumisurma.

See kõik viis Scheele mõttele, et meid ümbritsev õhk pole hoopiski lihtaine, nagu tol ajal oli harjutud mõtlema, vaid et see kujutab endast vähemalt kahe erineva aine segu. Seda osa õhust, mis jäi kolbi pärast fosfori või mingisuguse teise aine põlemist, nimetas Scheele surnud, kõlbmatuks õhuks ja ka-

dunud õhku, mis põlemist soodustas — elusaks ehk „tuliõhuks“.

Peagi õppis Scheele „tuliõhku“ saama puhtal kujul, eraldi kõlbmatust. Ta raputas klaasist retorti salpeetripulbrit ja kuumendas seda tulel. Salpeeter sulas, eraldades imepäraselt gaasi, milles süttis heledalt põlema vaevu hõõguv peerg.

Nii avastati 1772. aastal uus keemiline element, „tuliõhk“, mis on hädavajalik põlemiseks ja hingamiseks. Hiljem nimetati see h a p n i k u k s.

LOODUSE ÄÄRETUS VARAAIDAS

Loodus on erakordselt rikas hapnikust. Hapnik on kõige levinenum keemiline element. Pääaegu kogu maakoor koosneb mitmesuguste elementide ühendeist hapnikuga. Rauamaak näiteks on raua ja hapniku keemiline ühend. Jõeliiv koosneb hapnikust ja ränist, savi sisaldab alumiiniumi ja hapnikku.

Määratu suures koguses on hapnikku ka vees. Tonni vee kohta tuleb 890 kg hapnikku ja 110 kg sellega keemiliselt seotud vesinikku. Ja lõpuks, nagu me juba teame, sisaldab õhk mahult ühe viiendiku osa hapnikku, see aga on uskumatult suur kogus. Kui kogu maakera atmosfääris olev hapnik muuta vedelikuks, siis kattuks kogu maakera pind, juurde arvatud mäed ja tasandikud, mered ja ookeanid, rohkem kui kahe meetri paksuse külma helesinise vedelikukihiga.

Hapniku saamise vana meetod salpetri kuumutamise teel on juba ammu läinud minevikku. Hapniku tootmine on muutunud iseseisvaks ja suureks tööstusharuks. Kõikides maailma maades töötavad spetsiaalsed hapnikutehased, mis kasutavad toorainena õhkkonna lõputuid hapniku varusid.

◉ KUIDAS SAADA HAPNIKKU ÕHUST

Õhk ei ole üksikute gaaside keemiline ühend. Nüüd on teada, et ta on lämmastiku, hapniku ja niinimetatud haruldaste gaaside — argooni, neooni, krüptooni, ksenooni ja heeliumi — segu. Peale selle sisaldab õhk veel väga vähesel määral vesinikku ja süsihappegaasi.

Peamiseks õhu koostisosaks on lämmastik, mis moodustab rohkem kui $\frac{3}{4}$ õhu üldisest mahust. Ühe viiendiku õhust moodustab „tuliõhk“ — hapnik. Teiste gaaside jaoks jääb ainult ühe sajandiku suurune osa.

Kuidas siis eraldada neid gaase ja saada õhust puhast hapnikku?

30 aastat tagasi kasutati võrdlemisi laialdaselt hapniku keemilist saamisviisi. Selleks kasutati metalli baariumi ühendit hapnikuga — baariumhapendit. Sellel ainel on huvitav omadus. Tumepunase hõõguseni (umbes kuni 540 kraadini) kuumendatud baariumhapend ühineb energiliselt õhuhapnikuga, moodustades seejuures uue, hapniku poolest rikkama aine — baariumülihapendi. Edasisel kuumutamisel baariumülihapend aga laguneb, eraldab hapnikku ja muutub uuesti baariumhapendiks. Selle juures püütakse hapnik kinni ja kogutakse erilis-tesse nõudesse — balloonidesse, baariumülihapendit aga jahutatakse kuni 540 kraadini, et see uuesti omandaks võime siduda õhuhapnikku.

Sellisel viisil töötavad hapnikuseadised andsid mitu kuupmeetrit gaasi tunnis, kuid samal ajal olid nad kallid, kohmakad ja ebamugavad. Peale selle kaotas baariumhapend töötades aja jooksul oma neelavad omadused ja teda tuli sageli vahetada.

See kõik viis selleni, et aja jooksul keemiline hapniku saamisviis õhust tõrjuti välja teiste, täiuslikumate poolt.

Palju lihtsamalt saab hapnikku eraldada õhust sel juhul, kui õhk on eelnevalt muudetud vedelikuks.

Hariliku atmosfäärilise rõhu juures on vedelal õhul äärmiselt madal temperatuur — miinus 192 kraadi, see tähendab 192 kraadi alla vee külmumise temperatuuri. Kuid õhu koostisse kuuluvate üksikute gaaside veeldumistemperatuurid pole ühesugused. Vedel lämmastik näiteks keeb ja aurub miinus 196° temperatuuri juures, hapnik aga miinus 183° temperatuuri juures. See 13 kraadiline vahe võimaldab lahutada vedela õhu teda moodustavateks gaasideks.

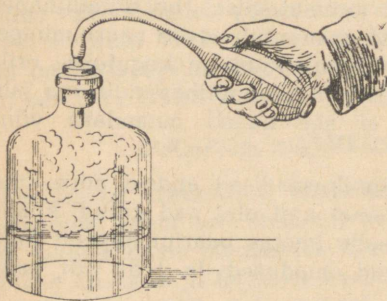
Kui valada vedelat õhku mingisugusesse anumasse, hakkab ta kohe energiliselt keema ja aurub väga kiiresti. Kõigepealt aurub peamiselt lämmastik ja vedel õhk rikastub üha rohkem hapnikuga. See protsess ongi õhu lahutamiseks kasutatavate spetsiaalsete aparatuuride töö aluseks.

Käesoleval ajal kasutataksegi hapniku tööstuslikuks saamiseks peamiselt vedelat õhku. Selleks aga, et õhku viia vedelasse olekusse, on teda tarvis jahutada väga madala temperatuurini. Seepärast nimetataksegi kaasaegset vedela õhu saamise meetodit sügavjahutuse meetodiks.

Õhu sügavjahutus toimub erilistes masinates. Enne aga, kui jutustada nende masinate tööst, peame me tutvuma mitme lihtsa füüsikalise nähtusega.

PISUT FUUSIKAT

Kas teil on olnud kunagi juhust pumbata õhku jalgratta õhukummidesse? Kui on olnud, siis olete te kindlasti pööranud tähelepanu ka sellele, et kummid seejuures veidi soojenevad.



Joon. 1. Katse, mis näitab gaasi jahutamist tema paisumise puhul.

tame käega ballooni. Seejuures surutakse pudelis olev õhk kokku ja ta soojeneb. Oodake vähe ja laske balloon kiiresti lahti. Õhk paisub endise mahuni, ning vedeliku kohal olev ruum täitub uduga (joon. 1). Millest see tekkis? Paisudes õhk jahtus ja osa veest tekkinud aurust kondenseerus — muutus üliväikesteks veetilgakesteks.

Aga miks siis õhk paisudes jahtub?

Kui gaasi kokkusurumiseks teeb tööd inimene või masin, siis paisumisel teeb tööd gaas ise temas oleva soojusenergia kulul. Niisugune soojusenergia muundumine tööks, millele kaasneb temperatuuri langus, on samuti looduses laialt levinud.

Igasuguse kokkusurutud gaasi paisumine võib toimuda kahel viisil. Näiteks võib võtta kokkusurutud õhuga täidetud ballooni ja siis pikkamööda kraani kaudu õhu välja lasta. Misugust tööd gaas niisugusel juhul teeb? Ta teeb tööd molekulide vaheliste tõmbetungide ning õhu molekulide vastu kraani seinale hõõrdumise ületamiseks. Kuid siiski pole sellisel viisil võimalik saavutada suurt gaasi jahtumist. Ta sooritab liiga vähe mehaanilist tööd.

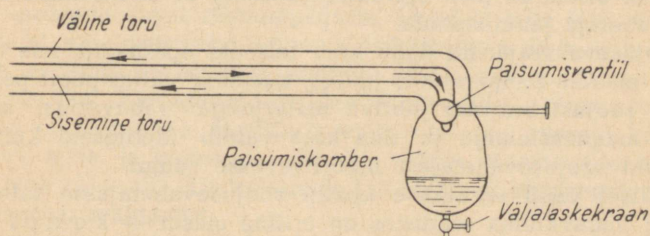
Proovime nüüd sama paisunud õhku kasutada väikese õhumootori kolvi liikumapanemiseks. Sel juhul gaas, tehes juba

küllaldaselt mehaanilist tööd, jahtub niivõrd, et meie mootor peaaegu silmapilkselt kattub härmatisega, töötanud õhk aga väljub temast suitseva joana: õhu temperatuur langeb niivõrd palju, et temas sisalduv niiskus kondenseerub, muutudes üli- väikesteks veetilksadeks.

Need kaks kokkusurutud gaasi paisumisviisi — lihtne paisumine ja paisumine tunduva välise surve ületamisega — ongi gaaside, seehulgas ka õhu, veeldamise kaasaegsete tööstuslike meetodite aluseks.

UHEST LIHTSAST, KUID TAHTSAST APARAADIST

Me juba teame, et vedela õhu temperatuur normaalse atmosfäärilise rõhu juures on eriti madal. Kui püüda saavutada niisugust temperatuuri õhu hariliku paisumise teel, siis tuleb seda eelnevalt kolossaalsete rõhkudeni kokku suruda. See põhjustab suuri kulusid ja oleks tehnilistel põhjustel vaevalt läbiviidav.



Joon. 2. Nii on ehitatud lihtsaim gaaside jahutamise aparaat — soojusevahetaja.

On olemas küllaltki lihtne aparaat, milles võib gaasi tugevasti jahutada, ilma et oleks tarvis kasutada suurt rõhku. See aparaat — soojusevahetaja — on hädavajalik osa iga nüüdisaegse masina juures, mis on ette nähtud suure külma saamiseks.

Lihtsaim soojusevahetaja koosneb kahest metalltorust, mis on asetatud teine teise sisse (joon. 2). Sisemist toru mööda läheb kokkusurutud õhk erilise kraani juurde, mida nimetatakse paisumisventiiliks. Väljudes ventiilist kambriksse, õhk paisub. Õhurõhk langeb seejuures atmosfäärilise rõhuni, temperatuur langeb aga mitme kraadi võrra. Seejärel lahkub jahutatud õhk paisumiskambrist ja, suundudes mööda soojusevahetaja välist toru väljapääsu poole, ümbritseb ta

sisemist toru järgmise kokkusurutud õhu annusega ning annab sellele osa oma külmusest. Uued kokkusurutud õhu annused, mis saavad soojusevahetajasse sisemist toru mööda, on paisumismomendiks tunduvalt jahenenud, kuid kambris langeb nende temperatuur veelgi madalamale.

Soojusevahetaja töötamisel muutub paisuva õhu temperatuur iga minutiga üha madalamaks. Lõpuks saabub moment, mil osa paisuvast õhust muutub vedelaks. Vedel õhk koguneb paisumiskambri alumisse ossa ja seda võib sealt välja lasta erilise kraani kaudu. Nii võimaldab soojusevahetaja, oma lihtsusest erandlik aparaat, järk-järgult otsekui automaatselt alandada paisuva õhu temperatuuri vajaliku piirini, millal saabub moment, kus õhk muutub vedelikuks.

Praktiliselt on aga soojusevahetaja ehitatud tunduvalt keerukamalt. Soojusevahetaja sisemuses on ühe toru asemel hari-likult terve süsteem pikki ning peenikesi torusid, mis on valmistatud vasest — soojust hästi juhtivast metallist. Vahel tehakse sisemine toru spiraalikujulisena, et suurendada soojusevahetaja jahutuspinna.

Soojusevahetaja, nii nagu kõik teisedki aparaadid, mis töötavad madala temperatuuri juures, kaetakse väljastpoolt paksu korra soojust halvasti juhtiva materjaliga: räbuvatiga, süsihapu magneesiumiga jt. See kate väldib üleliigseid külma- kadusid soojusevahetajast ümbritsevasse ruumi.

Millisel viisil surutakse kokku soojusevahetajasse tulevat õhku? Sügavkülma seadistes on eriline masin — k o m p r e s s o r, milles võib õhku kokku suruda rõhuni, mis ületab 200-kordselt atmosfäärilise rõhu. Tavaliselt ehitatakse see mitmeastmelise kolbkompressorina. See koosneb viiest või kuuest kolbidega silindrist. Õhk, minnes mööda erilisi torusid ühest silindrist teise, surutakse järk-järgult astmete kaupa kokku. Esimeses silindris tõuseb õhu rõhk 6—7 atmosfäärini, teises see suureneb kuni 20 atmosfäärini jne. Lõpuks, viimases silindris tõuseb surve 200—250 atmosfäärini.

Surumise juures õhk muidugi soojeneb, seepärast jahutatakse teda igast silindrist väljumise juures spetsiaalsetes jahutajates.

ÕHU PUHASTAMINE

Õhus on alati igasuguseid ebasoovitavaid lisandeid — liiva, suitsu, tolmu jne. Nende lisandite sattumine kompressorisse võib esile kutsuda selle hõõrduvate osade enneaegse läbikulu-

mise. Seepärast varustatakse sisselasketoru spetsiaalsete filtritega, mis püüavad kinni need tahked osakesed.

Kuid õhus on veel teisi kahjulikke lisandeid, milledest pole võimalik vabaneda filtreerimise teel. Need on — süsihappegaas ja veeaur.

Iga kuupmeeter õhku sisaldab vähemalt 0,7 grammi süsihappegaasi, mis tahkub juba umbes miinus 80-kraadisel temperatuuril.

Kaasaegseid sügavkülma-seadiseid läbivad hiiglasuured õhu hulgad, mida võib mõõta sadade ja isegi tuhandete kuupmeetritega tunnis. Õhus sisalduv tühine süsihappegaasi kogus võib osutada tõsiselt ohtlikuks jahutusaparaatidele, sest jahutusaparaate läbib mõne tunni jooksul kümneid kilogramme seda gaasi. Süsihappegaas, muutudes madala temperatuuri juures kõvadeks jäätükkideks, võib lühikese aja vältel torustiku tihedalt ummistada ja seadise töökõlblmatuks muuta. Siis tuleb vedela õhu tootmine katkestada, seadist soojendada ja terve torustik läbi puhuda.

Et eraldada õhust süsihappegaasi, lastakse teda läbi sööbekaaliumi või -naatriumi lahuse. Süsihappegaas ühineb keemiliselt leelise ja lahusest eraldub juba süsihappegaasist vabanenud õhk. Niisugune pesemine viiakse läbi erilises aparatis — sk r a b e r i s. Harilikult ehitatakse see aparaat kompressori teise ja kolmanda silindri vahele. Skraberisse tuleb õhk juba rõhu all, mis tunduvalt kiirendab ja kergendab süsihappegaasi eraldamist.

Atmosfääri õhus veel kahjulikumaks lisandiks on niiskus. Harilikes tingimustes sisaldab üks kuupmeeter õhku umbes 20 grammi veeauru. Õhu kokkusurumise juures muutub suur osa nendest aurudest veeks. Nende aurude püüdmiseks on mitmeastmelises kompressoris ehitatud iga silindri järele veeeraldajad. Kuid need ei vabasta veel õhku täielikult niiskusest ja see võib viia tõsiste ebameeldivusteni.

Kui vee jäägid satuvad soojusevahetaja külma torusse, siis muutuvad nad jääks, mis põhjustab kui mitte just avarii, siis kindlasti masina seismajäämise. Seepärast lastakse kompressoris kokkusurutud õhk läbi tervest reast balloonidest, mis on täidetud hästi niiskust imavate ainetega — sööbenaatriumiga, kaltsiumkloriidiga, sööbekaaliumiga jne. Läbides niisuguse keemilise kuivataja, osutub õhk juba täiesti kuivaks.

Suuremates seadistes eraldatakse kokkusurutud õhu niiskuse jäägid külmutamisel erilistes jahutajates miinus 40—45 kraadi juures. Harilikult on niisugusel seadisel kaks jahutajat.

Sel ajal kui üks jahutaja töötab, teine soojeneb ja vabaneb jääst.

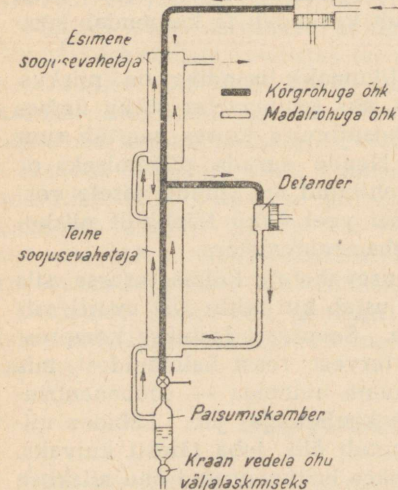
Nüüd on õhk läbinud kõik need aparaadid. Ta on puhastatud mehaanilistest lisanditest, süsihappegaasist ja veeaurust. Tema temperatuuri võib nüüd takistamatult alandada, riskeerimata rikkuda sügavkülma-seadist.

SUGAVKULMA-MASINAD

Sügavkülma-seadeldise tähtsamateks osadeks on kompressor, mis surub õhu kokku, paisumisseadis, mis on ette nähtud selle jahutamiseks, ning soojusevahetaja, mille abil õhk veeldub.

Me teame juba, et õhk võib jahtuda palju rutem siis, kui panna teda paisumise juures tööle, näiteks õhumootori kolvi käimapanemiseks. Niisugune jahutus viiakse läbi seadistes, mis omavad peale kokkusuruva kompressori ja jahutava soojusevahetaja veel paisumismasina — detanderi.

Detander on ehitatud samuti nagu kõik kolbmasinad. See on silinder kolviga, kuid detanderis käivitatakse kolb mitte auruga, vaid kokkusurutud õhuga.



Joon. 3. Vedela õhu saamiseks vajaliku seadise printsiipaalne skeem.

Vaatame joonist 3. Mitmeastmeline kompressor surub kokku puhastatud atmosfääri-õhku. Esimese soojusevahetaja sisemisest torust väljuv suruõhk jaguneb kaheks osaks. Üks osa, umbes neli viiendikku kogu õhust, juhitakse detanderisse ja käivitab paisudes selle kolvi. Õhk jahtub seejuures tunduvalt. Seejärel möödub ta mõlema soojusevahetaja sisemistest torudest, ning andes ära oma külma vastutulevatele värsketele õhuhulkadele, lahkub masinast. Teine õhuosa, veel rohkem jahutatud teises soojusevahetajas, juhitakse ventiili

kaudu paisumiskambrisse ja hiljem koos detanderist tuleva õhuga välja. Peagi saabub moment, kus paisumiskambrisse juhitud kokkusurutud õhk saavutab veeldumistemperatuuri ja osa sellest muutub helesiniseks vedelikuks. Kui seda vedelikku on kogunenud küllaldane hulk, avatakse kraan ning vedel õhk lastakse välja. Õhu töö detanderis ei lähe kaotsi. Detanderi kolb võib käima panna dünamomasina. Kuid kõige sagedamini kantakse detanderi mehaaniline energia üle õhku kokku suruva kompressori võllile. Sellisel viisil saab kompressor tagasi osa energiast, mis on kulutatud õhu kokkusurumiseks, see aga vähendab energia kulu õhu veeldamisele.

KULMA SÄILITAMINE

Me teame juba, et soojusevahetaja võimaldab saada üsna madalaid temperatuure, mis on tarvilikud õhu ja teiste gaaside veeldamiseks. Sellega aga ei piirdu soojusevahetaja osa sügavkülma-seadistes.

Harilikult muudetakse vedelaks võrdlemisi väike osa paisunud õhust. Madalate temperatuurideni tuleb aga jahutada kogu seadisesse tulev õhk. Kui poleks soojusevahetajat, siis lahkaks mitteveeldunud õhk seadisest umbes —190 kraadi juures ja viiks endaga kaasa suure hulga kallihinnalist külma. Kuid tänu soojusevahetajale lahkub paisunud õhk sügavkülma-seadisest temperatuuri juures, mis väga vähe erineb atmosfääri õhu temperatuurist. Kaasaegsetes seadistes ei ületa see temperatuuride vahe harilikult 4—5 kraadi. See tähendab, et selle mõne sekundi jooksul, mis paisunud õhk vajab soojusevahetaja ja seadise teiste aparaatide läbimiseks, tõuseb tema temperatuur —192 kraadilt peaaegu teda ümbritseva keskkonna temperatuurini. Peaaegu kogu külma, mille õhk sai detanderis ja paisumiskambris, annab ta üle tagasiteel vastutulevale õhuvoolele.

Seadise kõikide aparaatide hoolikas isolatsioon ei lase külmal minna atmosfääri. Niisugune külma säilitamine võimaldab saada rohkem vedelat õhku ja vähendada tema veeldamiseks vajaliku energia kulu.

KÕRGRÕHULT MADALRÕHULE

Laialdaselt levinud seadised vedela õhu saamiseks nõuavad kogukate kolbkompressorite kasutamist, millistes atmosfääri õhk surutakse kokku mitmekümne ja isegi sadade atmosfää-

rideni. Seepärast on loomulik, et sügavkülma-seadiste tootlikkus on piiratud kõigepealt kompressorite mõõtmete tõttu. Väga raske on ehitada keerukat kolbkompressorit, mis annab suure hulga kõrgrõhulist õhku.

Kõrge rõhuni kokkusurutud õhu kasutamisel on ka teisi olulisi puudusi. Kõik sügavkülma-seadiste detailid — torud, armatuur jne. — peavad omama suurt vastupidavust ja seepärast tehakse paljud nendest detailidest massiivsetena. Nende valmistamiseks tuleb kulutada rohkesti kõrgekvaliteetseid metalle.

Käesoleva sajandi algul hakkasid levima turbiinmehhanismid, milledes tähtsamate osade edasi-tagasi liikumine asendus pöörlemisega. Väikeste mõõdetega ja kõrge tootlikkusega turbokompressorid osutusid tunduvalt paremateks ja mugavamateks kogukatest kolbmasinatest neil juhtumel, kui õhku oli tarvis kokku suruda võrdlemisi väikeste rõhkudeni, 6—10 atmosfääri. Paljud metallurgid mäletavad hiiglasuuri kolbkompressoreid lähedasest minevikust, milliseid kasutati õhu puhumiseks kõrgahjudesse. Nüüd on need keerulised ja inetud mehhanismid asendatud turbo-õhupuhujatega, mis võtavad vähe ruumi ja on erakordselt kindlad töös.

Turbiinmasinate ilmumine viis teadlased mõttele luua sügavkülma-seadised, mis töötaksid madala õhurõhu juures. Umbes 50 aastat tagasi püüdis inglise füüsik Rayleigh kasutada turbiini külma saamiseks. Kuid sellest ei tulnud midagi välja. Turbiinmehhanismil, mis asendas kolb-paisumismasinat — detanderit — oli äärmiselt madal kasutegur. Sellega polnud võimalik saada nii palju külma, kui seda oli tarvis õhu ökonoomseks veeldamiseks.

Nõukogude akadeemik P. L. Kapitsa analüüsis hoolikalt Rayleigh' ja teiste uurijate ebaõnnestumisi. Tal õnnestus kindlaks teha nende vead. Kõik turbiinmasinate arvutused osutusid rakendatavaks vaid töötamisel auruga. Auruturbiini tingimustes olid energia kaod, mis olenevad auru tihedusest, niivõrd väikesed, et neile ei pööratud üldse tähelepanu. Kuid külmutusturbiini uurimised näitasid, et sügavkülma tingimustes need kaod tugevasti kasvavad. Õhk, mis on jahutatud madala temperatuurini, muutub niivõrd tihedaks, et ta sarnaneb mõnede füüsikaliste omaduste poolest rohkem vedelikule kui aurule. Kõik see viis mõttele suhtuda madala temperatuurini jahutatud õhku mitte kui gaasi, vaid nagu vedelikku. Seepärast oli ka P. L. Kapitsa poolt konstrueeritud turbodetander ehitatud veeturbiini, mitte aga auruturbiini eeskujul.

Esimene turbiini tüüpi külmutusmehhanismide kontrollkatse andis paljutõotavaid resultate. Pisitillukesel turbiinil, mis ehitati 1938. aastal NSV Liidu Teaduste Akadeemia Füüsikaliste Probleemide Instituudis, oli ainult 8-sentimeetrilise diameetriga rootor. Ta kaalus mõned kilogrammid, kuid andis tunnis 30 liitrit vedelat õhku. Võimalus veeldada õhku üksnes madalrõhuseadise kasutamisega oli tõestatud. Turbiinmehhanismidele avanes uus kasutusala. Turbiin sai eluõiguse sügavkülma tööstuses.

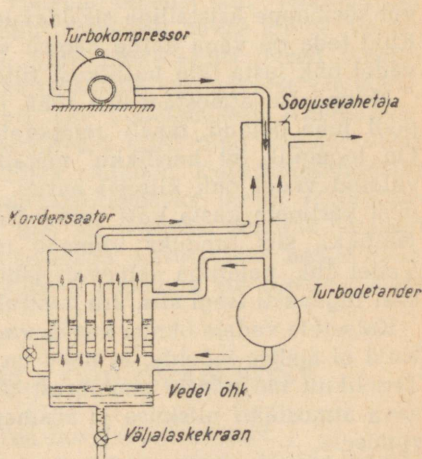
Kuidas siis töötavad külmutusseadised, mis kasutavad ainult madala rõhuga õhku?

MADALRÕHU-KULMUTUSSEADIS

Sügavkülma-seadise skeem, mis kasutab madala rõhuga õhku, on kujutatud joonisel 4. Turbokompressor, mis käitatakse elektrimootoriga, imeb sisse atmosfääri õhku ja surub seda kokku 5—6-atmosfäärilise rõhuni. Kokkusurutud õhk juhitakse soojusevahetajasse, kus ta seadisest väljuva külma õhuga jahutatakse miinus 155—160 kraadini.

Läbinud soojusevahetaja, jaotub õhk kahte ossa. Peamine osa kokkusurutud õhust läheb paisumisturbiini — turbodetanderisse, kus õhk paisub ja teeb tööd — käivitab dünamomasina või paneb pöörlema turbokompressori. Seejuures jahtub õhk veel rohkem ning lahkeb turbodetanderist miinus 185—187-kraadilise temperatuuri juures, suundudes kondensaatorisse.

Teine külma õhu osa tuleb soojusevahetajast otse kondensaatorisse, sattudes torude vahele, mida mööda liigub veel külmem õhk turbodetanderist. Paisudes ja jahtudes kondensaatori torude vahelises ruumis, muutub osa kokkusurutud õhust



Joon. 4. Madalrõhuga õhku kasutava sügavkülma-seadise skeem.

vedelikuks ning juhitakse kraani kaudu vedela õhu reservuaari. Kuid peamine õhuhulk, mis ei veeldunud, juhitakse kondensaatorist soojusevahetajasse, kus ta annab oma külma ära kokkusurutud õhu uutele hulkadele, mis lähevad turbokompressorist detanderisse ja kondensaatorisse.

Madalrõhu-külmutusseadised on kompaktsed. Kolbkompressorite asendamine turbokompressoritega võimaldab mitmekordselt suurendada ümbertöödeldava õhu hulka ning sellega tunduvalt tõsta seadiste tootlikkust. Kuid mõned madalrõhu-seadiste osad pole veel küllalt täiuslikud ja sellepärast on praegu vedela õhu saamisel niisugustes seadeldistes elektrienergia kulu mõnevõrra suurem kui vana süsteemi masinates. Siiski võib loota, et edaspidine madalrõhu-sügavkülmaseadiste täiustamine lubab toota vedelat õhku suuremal hulgal sama ja isegi väiksema energiakuluga kui kõrgrõhuseadiste juures.

KUIDAS VALTIDA VEDELA ÕHU AURUMIST

Nüüd me teame, kuidas saadakse vedelat õhku. Avame töötava sügavkülmaseadise äravoolukraani, asetanud enne selle alla mingisuguse anuma. Kohe sööstub anumasse tiheda valge auruga ümbritsetud kihisev juga ja see täitub peaaegu läbi-
paistva helesinise, veele sarnase vedelikuga.

Vahel on vedel õhk hägune, meenutades piima. See tähendab, et õhu kuivatamine ja puhastamine süsihappegaasist polnud küllalt hoolikalt läbi viidud. Vähimategi külmunud vee või süsihappe kristallide sisaldavus teeb vedela õhu häguseks. Kuid teda on väga kerge hägust vabastada. Piisab sellest, kui vedel õhk lasta läbi harilikust filterpaberist.

Normaalse atmosfäärilise rõhu juures vedel õhk, nagu eespool juba öeldud, omab temperatuuri 192 kraadi alla nulli. On loomulik, et harilikku metallist või klaasist anumasse valatud vedel õhk kiiresti aurub. Kui oleks võimalik külmumist kartmata kasta käsi vedelasse õhku ja hiljem puudutada jäätükki, siis tunduks viimane meile uskumatult kuumana! Vedel õhk, valatuna eelnevalt jahutatud vaskkastrulisse, keeb seal tugevasti isegi siis, kui kastrul asetada jääle.

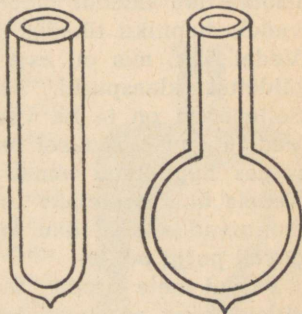
Katsetele vedela õhuga kaasnevad alati tihedad valged aurud. Kuid ei maksa mõelda, et need on lenduva vedela õhu aurud. Tegelikult me näeme omapärast udu, mis tekkis tänu ümbritseva atmosfääri niiskuse ja süsihappegaasi kiirele kondenseerumisele.

Kuidas siis aeglustada vedela õhu aurumist? Ilmselt tuleb see ebaharilikku vedelikku sisaldav anum hoolikalt eraldada

ümbritsevast õhust. Kui vedela õhuga täidetud purk ümbritse-
 seda räbuvati või vildiga, siis ta aurumine aeglustub. Aga
 isegi niisuguses anumates ei saa vedelat õhku kaua hoida, sest
 ka vill ja vatt juhivad soojust, kuigi halvasti.

Kõige täiuslikumaks soojuse isolaatoriks on ... tühjus.
 Juba 60 aastat tagasi hakati vedelate gaaside säilitamiseks
 valmistama spetsiaalseid kahekordsete seintega anumaid
 (joon. 5). Seinte vahel olev õhk
 pumbati välja alumise ava kaudu,
 mille järel see hoolikalt kinni
 sulatati. Niisugustes anumates vä-
 henes aurumine tunduvalt.

Kuid soojus ei levi mitte üksi
 kehade soojusejuhtivuse tõttu.
 Meie planeet näiteks saab soojus-
 energiat Päikeselt soojuskiirte
 näol. Aga kiirgusenergia pääseb
 takistamatult vedela õhu juurde
 ka läbi anuma tühja kesta. Ta
 neeldub klaasseintes ja antakse
 edasi vedelikule. Kuidas kaitsta
 vedelat õhku soojuskiirte mõju
 eest?



Joon. 5. Kahekordsete sein-
 tega anumad vedela õhu
 hoidmiseks.

Palju aastaid tagasi teadlased märkasid, et kehad erinevad
 oma võimelt neelata soojuskiiri. Tumeda ja tuhmi pinnaga
 kehad neelavad tunduvalt rohkem soojust kui läikivad ja
 heledad. Sellepärast püüavadki inimesed suvel kanda valget
 rõivastust — see peegeldab hästi päikesekiiri. Need tähele-
 panekud aitasid leida lihtsa kaitseabinõu soojuskiirte vastu. Pii-
 sab anuma sisemiste seinte pindade hõbetamisest. Anuma pee-
 gelpind peegeldab temale langevaid kiiri, ning vedelat õhku
 võib niisugustes anumates hoida nädalaid. Kuid klaasanumaid
 kasutatakse vedelate gaaside säilitamiseks ainult laboratoo-
 riumides. Tööstuspraktikas, kus on tegemist tonnide ja isegi
 kümnete tonnide vedelate gaasidega, kasutatakse nende säili-
 tamiseks ja veoks teisi seadiseid. Nendega me tutvume pisut
 hiljem.

○ MÕNEDEST VEDELA ÕHU OMADUSTEST

Vedela õhuga võib teha rea huvitavaid katseid.

Täidame klaaspurgi veega ja valame sinna juurde natuke
 vedelat õhku. Kohe näeme, et vedel õhk hakkab tormiliselt

keema. Selles pole midagi imelikku. Vesi purgis mõjub vedelale õhule samuti nagu hõõguvtuline pliit temale valatud veele.

Vedelast õhust, mis on valatud veega täidetud klaaspurki, moodustuvad liikuvad kuulikesed. Alguses nad liuglevad vee pinnal, kuid hiljem, vaatamata kiirele aurumisele, vajuvad vette. See huvitav nähe on väga lihtsalt seletatav. Vedela lämmastiku tihedus moodustab umbes 0,9 vee tihedusest, aga vedela hapniku tihedus on 1,12 korda suurem vee tihedusest. Vedel õhk, mis on äsja saadud seadisest ja valatud veega täidetud klaaspurki, sisaldab suurel hulgal lämmastikku. Sellepärast on ta ka veest kergem ning ujub vee pinnal. Vedela õhu aurumisel lendub kõigepealt lämmastik, mis võrreldes hapnikuga omab madalama veeldumistemperatuuri. Vedela õhu järelejääv osa rikastub pidevalt hapnikuga. Peagi muutuvad vedela õhu kuulikesed veest raskemaks ning langevad purgi põhja.

Paljud meie poolt tarvitatavaist ja meid ümbritsevaist aineist ning esemeist, jahutatuna vedela õhu temperatuurini, omandavad uued ebaharilikud omadused. Painduv kummitoru muutub pärast vedelasse õhku kastmist hapraks nagu klaas ja puruneb kergesti haamrilöögist. Vedelas õhus külmutatud lilled muutuvad õhukese, elegantse portselani sarnaseks ja tolmustuvad kõige vähemagi raputamise juures.

Kehade uusi, sügava jahutamiseega esilekutsutud omadusi kasutatakse laialdaselt praktilises elus. Korki, puuvilja või liha on harilikes tingimustes raske peenendada, peale niisutamist vedela õhuga aga muutuvad nad kergesti pulbriks. Kuid niipea kui need kehad saavad tagasi oma hariliku temperatuuri, pöörduvad tagasi ka nende endised omadused.

Mõningaid omadusi muudavad ka paljud metallid, mis on kastetud vedelasse õhku. Pehmest tinast valmistatud ja vedelas õhus külmutatud spiraal muutub niisama elastseks kui terasspiraal. Pehmest lehttraast valmistatud balloon, täidetuna vedela õhuga, omandab samasuguse hapruse nagu on klaaspuudelil. Vaatamata hapruse suurenemisele madalate temperatuuride juures suureneb metallide vastupidavus katkemisele. Vedelas õhus külmutatud raudtraat kannatab kaks korda suuremat koormust kui hariliku temperatuuri juures.

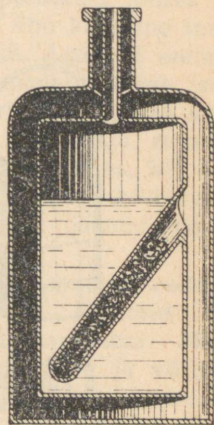
Huvitav on märkida, et mõned ained ei muuda vedela õhuga külmutamisel oma elastsust. Nende hulka kuuluvad rasvast vabastatud nahk, punane vask, roostevabad terased ja mõned teised materjalid. Neid materjale kasutataksegi madala temperatuuri juures töötavate seadiste valmistamiseks.

Õppides tundma mitmesuguste ainete omadusi madalate temperatuuride juures, pöörasid uurijad tähelepanu puusöe huvitavale iseärasusele. Hästi ärapõlenud ja kuivatatud süsi absorbeerib suurepäraselt väga madalate temperatuuride juures gaase. Neid puusöe omadusi kasutatakse tugevasti hõrendatud atmosfääri ehk, nagu räägitakse, vaakuumi (õhutühja ruumi) saamiseks.

Oletame, et mingisugusest spetsiaalsest seadisest, näiteks geissleri torust, mida kasutatakse elektrilaengu uurimiseks õhutühjas ruumis, on tarvis kõrvaldada atmosfääri õhku. Selleks on küllaldane, kui toru siseruum ühendada puusöega täidetud anumaga, mis on asetatud vedelasse õhku. Külmutatud süsi imeb endasse kiiresti pea-aegu kogu torus oleva atmosfääri õhu. Nii-suguse lihtsa võttega on võimalik saada miljondike ja isegi kümnete miljondike atmosfääri osadega mõõdetavat õhu hõrendumise astet. Puusöe mainitud omadust kasutatakse täiusliku soojuseisolatsiooni — tühja ruumi — loomiseks anumates, mis on ette nähtud vedelate gaaside säilitamiseks ja veoks. Niisugused anumad tehakse metallist ja neil on kaks seina. Anuma sisse- sisse seina tehakse metallist toruke, millesse raputatakse puusütt (joon. 6). Anuma täitmisel vedela õhuga hoiab süsi automaatselt hõrendust, vaatamata sellele, et atmosfääri õhku võib sisse tungida läbi metallis olevate pooride. Ajajooksul söe imamisvõime väheneb, ta nagu küllastuks gaasist. Anum tuleb täita uue söega. Puusöe endisi omadusi on aga kerge taastada: süsi eraldab imatud gaasi 100—200-kraadilisel kuumutamisel madala rõhu juures. Nii võib üht ja sama söehulka kasutada palju kordi.

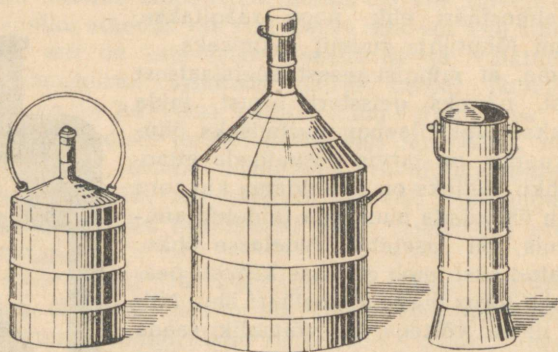
Anumad, mis on varustatud puusöega ja ette nähtud vedela õhu säilitamiseks, mahutavad 5 kuni 25 liitrit ja vahel isegi rohkem (joon. 7). Tunni aja vältel aurub niisugusest anumast vähem kui kahesajandik osa selles sisalduvast vedelikust.

Vedelat õhku kasutatakse tehnika paljudes valdkondades, eriti aga seal, kus on tarvilikud väga madalad temperatuurid.



Joon. 6. Metall-
anum vedela õhu
hoidmiseks. Sisemi-
ses torus on süsi,
mis säilitab vaa-
kuumi.

Masinaehituses on sagedasti tarvis asetada üht detaili tihedalt teisele, näiteks turbiini terasketast selle võllile. Varem, aga mõnel pool ka praegu veel, kuumutati ketast. Temperatuuri tõusmisel metall paisub ja ava kettas suureneb. Kuumutatud ketast oli kerge asetada võllile ja jahtudes jäi ta sinna tihedalt kinni. Kuid turbiini või teiste masinate kogukate



Joon. 7. Niisuguseid anumaid, mahutavusega 5 kuni 25 liitrit, kasutatakse laialdaselt vedela õhu säilitamiseks ja edasitoimetamiseks.

rataste kuumutamine kujutab endast keerukat ning vastutusrikast operatsiooni. Ebaõige kuumutamine võib põhjustada ketta kõverdumist või selle mehaaniliste omaduste halvenemist.

Palju lihtsam on seesugust kohalepaigutamist läbi viia vedela õhu kasutamisega. Turbiini võrdlemisi peenike võll jaheneb kiiresti selle ülikülma vedeliku toimetel, ning tema mõõtmed vähenevad järsult. Niisuguses seisukorras on väga kerge asetada võlli ratta või ketta avasse. Mõne aja möödudes metalli temperatuur tõuseb, võlli läbimõõt suureneb ja ketas kinnitub tugevasti võllile.

HUVITAVATEST, KUID VAHEKASULIKEST PROJEKTIDEST

Me juba õppisime vedelat õhku säilitama spetsiaalsetes anumates. Kuid need anumad on alati avatud ja vedeliku aarud lenduvad vabalt atmosfääri. Ümbritsevast ruumist tulev

soojus kulutatakse vedeliku aurustamiseks. Seetõttu jääb vedela õhu temperatuur kuni selle täieliku aurumiseni enam-vähem konstantseks — umbes miinus 190 kraadi.

Mis juhtub siis, kui valada vedelat õhku anumasse ja kordida see tihedalt kinni kruvitava korgiga? Vedelik hakkab auruma ja rõhk anumal kasvab. Samal ajal koguneb anumasse soojusevaru ja vedela õhu temperatuur hakkab tõusma. Lõpuks jõuab ta —140 kraadini. Selle temperatuuri juures ei saa õhk enam olla vedelas olekus. See on õhu kriitiline temperatuur, mil kogu vedelik muutub gaasiks. Aga kui anumal temperatuur muutub võrdseks välisõhu temperatuuriga, siis kasvab rõhumine temas kuni 800 atmosfäärini! See on ka arusaadav. Vedela õhu tihedus on umbes 800 korda suurem gaasilise õhu tihedusest hariliku temperatuuri juures. Sel viisil meie anum, kui ta senini pole veel purunenud kildudeks, muutub kardetavaks mürsuks, millesse pole jäänud enam ainustki tilka vedelat õhku.

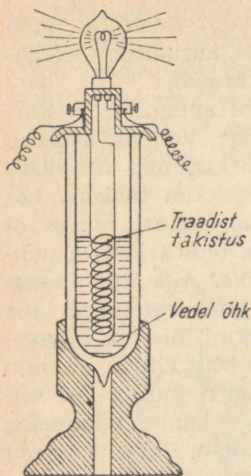
Mitukümmend aastat tagasi tehti katseid kasutada vedelat õhku metallpadrunite täitmiseks. Padrunid lõhkesid sel momendil, kui rõhk nendes jõudis teatud suuruseni. Neid kasutati kaevandustöödel. Ebamugava käsitlemise ja võrdlemise väikese lõhkejõu tõttu ei saavutanud need padrunid levikut.

Kinnises anumal vedela õhu aurumisel tekkivad kõrged rõhud viisid leiutajad mõttele luua spetsiaalsed, vedela õhuga töötavad mootorid. Niisuguseid mootoreid ka ehitati omal ajal. Näiteks demonstreeriti Pariisi näitusel 1900. aastal vedela õhuga liikumapandavat sõidukit. Need sõidukid aga ei leidnud praktikas kasutamist. Põhjust pole raske kindlaks teha. Selleks, et isegi väikese ajavahemiku jooksul saada ühehobusejõulist võimsust, on tarvis aurustada vähemalt 5 kg õhku. Siit on selge, et vedela õhu kasutamine jõuallikana ei ole kasulik. Energiakulutused selle saamiseks ei tee end tasa.

Huvitav on ka teine vedela õhu kasutamisega seotud projekt. Puhtate metallide elektriline takistus väheneb madalatel temperatuuridel tugevasti. Seda on kerge tõestada lihtsa katsega.

Koostame elektrilise ahela (joon. 8) akumulaatorist, hõõglambist ja vasktraadipoolist niisuguse takistusega, et lamp ahela sulgemisel ainult veidi hõõguks. Asetades pooli vedelasse õhku, väheneb järsult vasktraadi takistus ja lamp hakkab heledalt põlema.

Omaval ajal püüti ka seda huvitavat nähet ära kasutada. Ühe



Joon. 8. Vedela õhu temperatuurini jahutatud elektrijuhtme takistus väheneb järsult. Ahelasse lülitatud lamp süttib heledalt põlema.

projekti järgi olid vasest elektrijuhtmed paigutatud vedela õhuga täidetud korpusesse. Selle projekti autorite mõtte kohaselt võis elektrienergia kokkuhoidu juhtmete takistuse vähendamise tõttu kasutada vedela õhu saamiseks ja aurumisest tekkivate kadude pidevaks katmiseks. Peale selle oleks elektrilise takistuse vähenemine võimaldanud tunduvalt vähendada nende ristlõikepinda, mis omakorda oleks kokku hoidnud suure hulga vaske.

Kuid ka see projekt osutub ebareaalseks. Vedela õhu kasutamine elektrijuhtmete jahutamiseks pole mitte üksnes tehniliselt raskesti läbiviidav, vaid see on ka ebaökoonoomne. Vedela õhu saamiseks kulub tunduvalt rohkem energiat sellest, mida saab kokku hoida juhtmete takistuse vähenemise arvel.

Võib nimetada terve rea rahvamajanduse harusid, kus vedel õhk on muutunud hädatarvilikuks. Väga laialdaselt kasutatakse teda mitmesugustes uurimislaboratuuriumides. Kuid need pole

peamised vedela õhu tarvitajad. Terve atmosfäärilise õhu veeldamisega tegeleva tööstusharu põhiülesandeks on hapniku tootmine. Peamiselt selleks töötavadki arvukad sügavkülmasaadised kõigis maailma maades.

○ PUHTA HAPNIKU SAAMINE

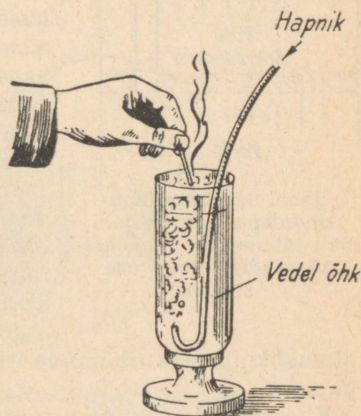
Lugeja mäletab, et atmosfääri õhus esineval lämmastikul ja hapnikul on erinev keemistemperatuur. Vedel lämmastik hakkab keema ja auruma 196 kraadi juures alla nulli, hapniku keemistemperatuur on aga 13 kraadi võrra kõrgem ja ta hakkab vedelast õhust auruma hiljem kui lämmastik. Sellepärast sisaldavadki keeva vedela õhu aurud rohkem lämmastikku kui auruv vedelik ise. Tänu lämmastiku intensiivsele aurumisele muutub vedela õhu koostis pidevalt.

Täielikult vabaneda lämmastikust ja saada puhast hapnikku aurumise teel pole aga siiski võimalik: lämmastikku jääb isegi auruva vedela õhu viimasesse tilka. Kuid puhas hapnik on hädatarvilik paljudes teadus- ja tööstusalastes protsessides. Seepärast kerkis teadlaste ette ülesanne lahutada õhk võimalikult täiuslikumalt hapnikuks ja lämmastikuks. See ülesanne lahendati edukalt.

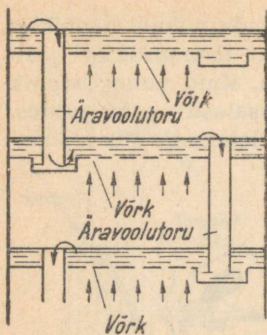
Teadlased teostasid järgneva katse. Vedela õhuga täidetud anumasse (joon. 9) juhiti klaasitoru kaudu gaasilist hapnikku. Gaasimullikesed tõusid üles ja nad koguti katseklaasi. Missugune oli uurijate imestus, kui gaasiga täidetud katseklaasi pistetud põlev tikk silmapilkselt kustus! Katseklaasis oli põlemist takistav lämmastik. Kuidas see võis toimuda? Miks muutusid hapnikumullikesed ootamatult lämmastikuks?

Kõiges oli süüdi lämmastiku ja hapniku veeldumistemperatuuride vahe. Gaasiline hapnik, sattudes vedelikku madalama temperatuuriga kui on tema enda aurumistemperatuur, muutub ise vedelikuks. Seejuures temaga kaasa tulnud soojuse arvel aurub vedelast õhust osa lämmastikku, mis lahkub vedelikust gaasimullikestena. See huvitav nähe viis teadlased nõnda nimetatud rektifikatsiooniparaadi loomisele, mis kujutab endast seadist vedela õhu lahutamiseks.

Rektifikatsiooniparaat kujutab endast kõrget metallkolonni, mis on varustatud suure hulga spetsiaalsete võrkude või kuplikestega taldrikutega. Niisuguse võrestatud taldrikutega kolonni tegevuse skeem on toodud joonisel 10. Iga taldrik on varustatud äravoolutoruga, mida mööda vedelik voolab ülenniselt taldrikult alumisele. Lämmastikku ja hapnikku sisaldavad vedela õhu aurud tõusevad üles, läbides võrkude peeni aukusid ning takistades ühtlasi vedelat õhku tilkumast läbi nende aukude. Aurudes sisalduv hapnik kondenseerub pidevalt. Selle tulemusena koguneb taldrikutele vedelikku, mille liigne osa valgub alla mööda äravoolutorusid.



Joon. 9. Hapniku läbilaskmisel vedelast õhust eraldub gaas, mis kustutab põleva tiku. See on lämmastik.



Joon. 10. Rektifikatsiooniparaadi (vedela õhu lahutamise spetsiaalse seadise) tegevuse skeem.

ulatuslikult elektrilampide täitmiseks ja ka teistes tööstusharudes.

Kaasaegsed rektifikatsiooniparaadid annavad kuni 99,9-protsendilise lämmastikuisaldusega gaasi ja peaaegu niisama puhast hapnikku.

HAPNIKUPAAGID

Hariliku atmosfäärilise rõhu juures on vedela hapniku temperatuur ainult 9 kraadi võrra kõrgem vedela õhu temperatuurist. Seepärast võib kõiki vedela õhu säilitamiseks ettenähtud anumaid samahästi kasutada ka vedela hapniku jaoks.

Vedelat hapnikku kasutatakse palju laialdasemalt kui vedelat õhku. Tuleb säilitada ja vedada kümneid tonne vedelat hapnikku. Siin aga pole sobivad anumad, mis mahutavad väikese hulga vedelat õhku. Neid asendavad spetsiaalsed paagid.

Paagi tähtsaimaks osaks on valgest vasest valmistatud anum, mis on harilikult kerakujuline. Selline õõnes kera riputatakse kettidega lehtterasest kokkukeevitatud korpuse sisse. Valgest vasest kera ja korpuse vaheline ruum täidetakse soojust halvasti juhtiva ainega — räbuvati või süsihappu magneesiumiga.

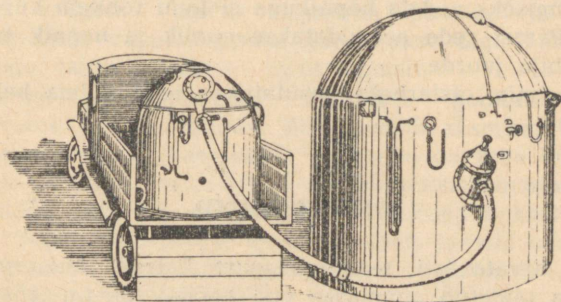
Paagi kera säilitatav vedel hapnik aurub pidevalt. Kui aga kera tihedalt sulgeda, hakkab rõhk kera katkestamatult kasvama, mis lõpptulemusena viib anuma lõhkemiseni. Et seda ei juhtuks, on hapnikupaagi ülemine osa varustatud erilise toruke-

Mida pikem on aurumullikeste tee vedelikus ja mida rohkem on taldrikuid rektifikatsiooni-kolonnis, seda puhtam on selle ülemisest osast väljuv lämmastik, ning seda vähem on lisandeid vedelasse olekusse jäävas hapnikus kolonni alumises osas. Seepärast kujutavad kaasaegsed kolonnid õhu lahutamiseks endast suuri 5—6-meetrilisi ja kõrgemaid ehitisi, mis on varustatud kümnete taldrikutega.

Spetsiaalsed seadised rektifikatsiooniparaadis võimaldavad vedelat õhku lahutada mitte ainult lämmastikuks ja hapnikuks, vaid ka eraldada õhust ühe tähtsa koostisosa — argooni. Seda gaasi kasutatakse laia-

sega, mida mööda auruv hapnik lahkub atmosfääri või juhitakse spetsiaalsetesse hoidlatesse — gasoholderitesse.

Iga hapnikupaak on varustatud vedeliku taseme näitaja ja manomeetriga, mille abil saab jälgida rõhku sisemises anum. Kuid sellest on vähe. Paagil on veel olemas kaitseventiil. Kui rõhk paagis tõuseb ettenähtust kõrgemaks, avaneb ventiil automaatselt ja laseb osa gaasist välja.



Joon. 11. Autole asetatud transportpaagi täitmine vedela hapnikuga.

Kuid ka sellega ei piirdu hapnikupaagi kaitseeadised. Harilikult on paagid veel varustatud kaitsemembraaniga. Juhul kui rõhk paagi sisemuses ületab normaalse poolteise kuni kahe atmosfääri võrra, kaitseventiil aga millegipärast ei avane, puruneb membraan ja väldib sellega avarii, mis oleks olnud möödapääsematu.

Hapnikupaake ehitatakse mitmesuguste mõõtmetega. Need võivad mahutada vedelat hapnikku mõnest kilogrammist kuni mitmekümne tonnini.

Paake kasutatakse mitte üksi vedelate gaaside säilitamiseks, vaid ka veoks. Need asetatakse kas veoautodele või raudteevagunitele (joon. 11).

Transportpaakides võib vedelat hapnikku vedada kaugete vahemaade taha. Teel muidugi osa hapnikust aurub. Uhetonnise mahutavusega vedela hapniku paagis ei ületa kaod harilikult tunni jooksul 3—4 kg hapnikku. Mõnel juhul saab auruvat hapnikku kinni püüda. Spetsiaalsed kompressoriid süruvad auruva gaasi väikestesse terasballoonidesse.

Paagi täitmine vedela hapnikuga on haruldaselt lihtne. Hapnikutehases toimub see järgnevalt.

Tehasesse saabub veoauto tühja paagiga. Tühi transportpaak ühendatakse painduva vooliku abil paagiga, milles säilitatakse hapnikku. Ventili keeramisega suletakse tihedalt toru, mis ühendab paagi sisemust atmosfääriga. Auruv hapnik ei leia endale väljapääsu ja rõhk paagi ülemises osas suureneb. Paisuv gaas rõhub vedelikule ja sunnib seda mööda voolikut voolama tühja paaki. Poolteisetonnise transportpaagi täitmiseks vedela hapnikuga ei kulu rohkem kui 10—15 minutit. Pärast seda eemaldatakse voolik ja hapnik toimetatakse tarbija juurde.

Kus ja mis otstarbeks kasutatakse seda külma helesinist vedelikku?

OKSÜLIKVIIDID

Lugeja arvatavasti teab niisugust katset: kui gaasilise hapnikuga täidetud anumasse viia hõõguv peerg, siis süttib viimane pimestavalt heleda leegiga ja põleb kiiresti ära. Hapnik toetab aktiivselt põlemist. Kui aga süüdata tikutulega tükk vedelas hapnikus immutatud sütt, puud või vatti, on leek veelgi heledam.

Harilikes tingimustes aurub vedel hapnik väga kiiresti. Seejuures muutub iga liiter vedelikku peaaegu 800 liitriks gaasiliseks hapnikuks. Puhta hapniku atmosfääris põlevad süsinik ja süsinikurikkad ained ära peaaegu silmapilkselt nagu püssirohi, moodustades seejuures suure hulga gaasilisi põlemisprodukte. Kui selline põlemine viia läbi suletud anum, siis kasvab rõhk väga kiiresti, toimub tugevajõuline plahvatus ja anum puruneb väikesteks tükkideks.

Sel viisil omandavad vedelas hapnikus immutatud urbsed põlevad ained plahvatusvõime. Neid aineid nimetatakse oksülikviitideks. Oksülikviidid annavad samasuguse jõuga plahvatuse kui dünamiitki.

Nõukogude Liidus võeti oksülikviidid tarvitusele juba esimesel stalinlikul viisaastakul Dnepri hüdroelektrijaama ehituse juures, samuti apatiidi lademete kaevandamisel Hibiinides, Kounradi vasekaevandustes ja teistes kaevandusettevõtetes. Suure Isamaasõja aastatel asendasid oksülikviidid mõnedes kaevandustes harilikke ammoonium-salpeeterlõhkeaineid. Tänu sellele anti rindele rohkem lõhkeainet, mis oli hädatarvilik vaenlase purustamiseks.

Kuidas kasutatakse hapnikku lõhketööl mäetööstuses?

ÕLED, MIS VÕIVAD PLAHVATADA

Oksülikviidi põhiosiseks on absorber — mingisugune pooriline aine, mis sisaldab palju süsinikku ja imab endasse hästi hapnikku. Eriti hinnaline absorber on tahm. See sisaldab kuni 99 protsenti puhast süsinikku ja imab endasse vedelat hapnikku rohkem kui ükski teine aine. Väga hästi imavad endasse vedelat hapnikku puusüsi ja saepuru. Oksülikviitide valmistamiseks kasutatakse õlgi, heina, kuiva pilliroogu, taiga turvast — turbasammalt.

Absorber peenendatakse, segatakse hoolikalt erilistes pöörlevates metalltrumlites. Nii muutub absorber ühtlaseks, mis tõstab tema lõhkeomadusi. Kui segu on juba küllaldaselt peen ja ühtlane, suundub see pakkimismasinasse. Nende masinatega täidetakse paberist või kartongist kestad absorberiga. Sageli kasutatakse kestaks paberi asemel odavat riidet.

Kui absorber valmistatakse õlgedest või puidust, siis pressitakse ta lihtsalt brikettideks.

Vähe aega enne lõhketööde algust, kui purustatavasse kivimitesse on tehtud juba rida sügavaid avausi — puurauke, asuvad töölised padrunite immutamisele vedela hapnikuga. Absorberiga täidetud padrunid paigutatakse termosesse — spetsiaalsetesse anumatesse kahekordsete seintega, millede vahel on halvasti soojust juhtiva aine kiht. Seejärel täidetakse termosel vedela hapnikuga.

Algul on hapniku ja absorberi temperatuuride vahe väga suur, mille tõttu hapnik keeb ja aurub ägedasti. Kui temperatuurid ühtlustuvad, hakkab vedelik imbuma aine pooridesse ning padrunid muutuvad rasketeks, kõvadeks ja külmadeks. Niisuguseid padruneid ei tohi enam puudutada palja käega, sest käsi võib külmuda. Oksülikviidid võetakse termosel välja eriliste näpitsate või konksudega.

Padrunitesse varem tehtud spetsiaalsetesse aukudesse pannakse kapslid või elektrilised süütepadrunid, ning oksülikviidid lastakse ettevaatlikult puuraukudesse.

Oksülikviitlõhkeaineid kasutavad töölised töötavad karmelt. Nende käsutuses on väga vähe aega. Vedel hapnik lendub padrunitest kiiresti ning nende lõhkemisvõime nõrgeneb järk-järgult. Oksülikviidi „eluiga“ pole pikk. Väikesed padrunid kaotavad plahvatamisvõime juba 15—20 minuti jooksul pärast immutamist. Suurte oksülikviidipadrunite „elutegevust“ mõõdetakse mõnede tundidega.

Omavahel elektrijuhtmestikuga ühendatud puuraukude

laadimine on lõpetatud. Kõlab signaal. Töölised lähevad varjendisse. Veelkord signaal ja siis kerge vajutus nupule.

Tugevajõuline plahvatus paneb õhu vappuma. Igasse kaarde kümnete meetrite kaugusele lendavad kivimi- ja pinnasetükid. Maa sisemus avaneb. Mõne minuti pärast saabuvad plahvatuskohale ekskavaatorid ning algab hinnaliste maapõuevarade väljakaevamine.

Kõikide maailma maade kaevandustes kasutatakse oksülikviitide abi. Nende kasutamisala laieneb pidevalt. Ent see pole juhuslik. Sagedasti osutub oksülikviitide kasutamine tunduvalt tulusamaks kui harilikkude lõhkeainete kasutamine.

Oksülikviidid on odavad. Neid võib valmistada käepäraselt olevatest kohalikest materjalidest. Lõhkamistööd oksülikviitidega on kaks korda odavamad kui võrdlemisi odava lõhkeaine ammonaaliga. Ühe kilogrammi oksülikviidi saamiseks kulub poolteist kuni kaks kilogrammi vedelat hapnikku. Aga niisuguse hulga vedela hapniku saamiseks kulub ainult umbes neli kilovatt-tundi. Samapalju energiat tarvitab 10 tunni jooksul harilik elektripliit.

Absorberpadrunite säilitamine ja vedu on, samuti nagu vedela hapnikugi vedu, täiesti hädaohutu. Plahvatada võib ainult hapnikuga immutatud padrun. On aga hapnik padrunist aurunud, muutub see kohe hädaohutuks. Selle soodsa omaduse poolest erinevad oksülikviidid teistest lõhkeainetest.

Mäe-lõhketöödel laetakse lõhkeainega korraka palju puurauke. Otsekohe pärast plahvatuse möödumist pole võimalik kindlaks teha, kas kõik padrunid on plahvatanud. Esineb juhuseid, et mitte kohe plahvatanud ammonaalilaengud plahvatavad alles siis, kui ekskavaator töötab maagi koristamisel. Oksülikviitide puhul niisugust hädaohtu pole. Mitteplahvatanud oksülikviidid kaotavad kiiresti oma plahvatamisvõime ja muutuvad täiesti hädaohutuiks.

Peale selle pole oksülikviitide tarvitamisel vaja suure hulga tahkete lõhkeainete transporteerimist kauge maa taha. Oksülikviite võib toota otse kaevandustööde kohal. Toorainet nende jaoks — puitu, sütt, õlgi, turvast — leidub läheduses alati, vedelat õhku aga võib kohale vedada tonnide kaupa spetsiaalsetes raudteetsisternides või toota kohapeal otse õhust.

Kuid see pole veel kõik. Oksülikviidid võimaldavad küllaltki hinnaliste keemiliste produktide (näiteks salpeetri) kokkuhoidu, mis on vajalikud põlluväetiste valmistamisel ja asendamatud ka teistes rahvamajandusharudes.

○ KUIDAS VEDEL HAPNIK UUESTI GAASIKS MUUDETAKSE

Vaatlesime juba mitut vedela hapniku kasutamist. Kuid veel rohkem on tööstusele vajalik gaasiline hapnik.

Gaasilist hapnikku võib saada otse sügavkülma-seadistest. See aga pole alati otstarbekas. Tarbijad eelistavad sageli tuua hapnikutehasest vedelat hapnikku ja muuta see tarbimiskohal gaasiks.

Võtame näiteks tööstuses laialtlevinud metallide keevitamise ja lõikamise. Gaasiline hapnik tuuakse keevitustööde kohale spetsiaalsetes balloonides. Harilikult ei ületa niisuguse ballooni mahtuvus 40—60 liitrit. Et balloon mahutaks rohkem gaasilist hapnikku, surutakse viimane kokku 150 atmosfäärini. 40-liitiline balloon mahutab sellise rõhu juures juba kuus kuupmeetrit gaasilist hapnikku.

Kokkusurutud gaaside veoks kasutatavad balloonid peavad olema väga vastupidavad. Need valmistatakse massiivsetest jooteõmblusteta terastorudest. Sellised balloonid on väga kallid, sest teras peab olema kõrgekvaliteetne. Tühi 40-liitiline balloon kaalub umbes 80 kilogrammi — seega 9 korda rohkem kui selle sees olev gaas. Kujutlege vaid, et hapnikku peab vedama kaugete vahemaade taha. Siin peituvadki vedela hapniku eelised.

Tuhat kuupmeetrit gaasilist hapnikku kaalub vähem kui poolteist tonni. Et mahutada sellist gaasihulka, on tarvis 167 ballooni üldkaaluga... 13 tonni. Nende veoks on tarvis terve platvormvagon või siis 9 poolteisetonnist veoautot.

Hoopis teine lugu on vedela hapniku veoga. Poolteisetonnine kogus mahub vabalt kergesse reservuaari mahtuvusega 1300 liitrit, ning toimetatakse edasi ühel veoautol.

Kuid vedela hapniku eelised ei piirdu ainuüksi ökonoomsusega veol. Vedel hapnik ei sisalda niiskust, mida harilikult sisaldab gaas. Niiskuse puudumine aga tõstab tunduvalt keevitustööde kvaliteeti.

Siiski, ka vedela hapniku transportimine pole puudusteta. Vedel hapnik aurub pidevalt. Selle puudusega saab võidelda. Vedela hapniku tsisternid on varustatud kompressoritega, mis pumpavad aurava gaasi balloonidesse. Kuid ka sel juhul, kui vedel hapnik aurub lihtsalt atmosfääri, on seda siiski kauge vahemaa taha kasulikum vedada kui gaasilist hapnikku.

Kuidas muuta vedelat hapnikku uuesti gaasiks? Selleks kasutatakse erilisi aparate — gaasistajaid. Niisuguse

aparaadi reservuaari valatud vedel hapnik aurub kiiresti ja läheb 10—15-atmosfäärilise rõhu all mööda torusid keevitamiskohale.

On olemas ka spetsiaalseid gaasistajaid, milledes auruga gaasi rõhk tõuseb kuni 150 atmosfäärini. Selliseid gaasistajaid kasutatakse meile juba tuttavate balloonide kiireks täitmiseks hapnikuga.

„TULIÕHK“ ... VEEST

170 aastat tagasi avastasid teadlased esmakordselt huvitava nähte: kui hapustatud veega täidetud vannist lasta läbi elektrivoolu, siis vette pistetud ja vooluallikaga ühendatud metallist plaatidel eralduvad mingisuguste gaaside mullikesed. Seda protsessi nimetati elektrolüüsiks, see tähendab lagundamiseks elektril abil.

Elektrolüüsil laguneb vesi oma koostisosadeks — hapnikuks ja vesinikuks. Hapnik eralduvab seejuures positiivsel plaadil — elektrodil, vesinik aga negatiivsel.

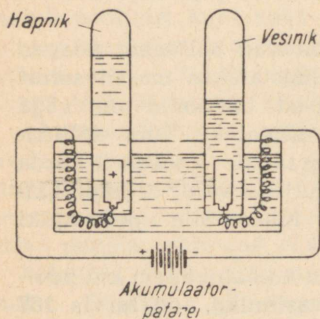
Vee elektrolüüsi ei kasutatud kaua aega praktikas. Tol ajal olid ainsateks elektrienergia allikateks galvaani elemendid ja vool oli kallihinnaline. Alles möödunud sajandi lõpul, kui leiutati dünamo, mis annab suurel hulgal

odavat elektrienergiat, hakati vesiniku ja hapniku saamiseks kasutama elektrolüüsi. Seda teostatakse järgnevalt.

Suurde elektrolüüsivanni valatakse vesi, millele lisatakse veidi hapet või leelist. See lisand suurendab vee elektrijuhtivust. Vette asetatud metallplaatidele juhitakse akumulaatorist või elektrivõrgust alalisvool. Plaatide kohale on asetatud spetsiaalsed anumad vesiniku ja hapniku kogumiseks (joon. 12).

Viimasel ajal ehitatakse vee elektrolüüsi jaoks seadiseid, mis töötavad kõrge, kuni 200-atmosfäärilise rõhu all. Niisuguste seadistega saadud gaasid lähevad otse, ilma lisarõhu rakendamiseta balloonidesse.

Selline hapniku saamisviis on aga seotud suurte elektriener-



Joon. 12. Elektrivooluga vett lagundava elektrolüüsivanni ehituse skeem.

gia kulutustega. Et saada 1 kuupmeeter hapnikku, on tarvis kulutada 10—12 kilovatt-tundi elektrienergiat. Sellepärast neil juhtudel, kui on tarvis saada ainult hapnikku, elektrolüüsi ei kasutata. Seevastu kasutatakse seda meetodit seal, kus on tarvis puhas vesinikku. Sel juhul „tuliõhk“ eraldatakse ja teda kasutatakse kõrvalproduktina.

Eriti palju elektrolüüsiseadiseid töötab keemiatööstuses, kus vesinik ja hapnik on vajalikud sünteetilise ammoniaagi saamiseks, mis läheb väetiste ja mitmesuguste keemiliste ainete valmistamiseks. Peale selle on nad vajalikud kunstlike kivide, läbipaistva kvartsi, tugevate sulamite, elektripirnide jne. valmistamisel.

METALLIDE TÖÖTLEMINE LEEGIGA

Eriti laialdaselt kasutatakse hapnikku mitmesuguste metallide ja sulamite keevitamisel ning lõikamisel.

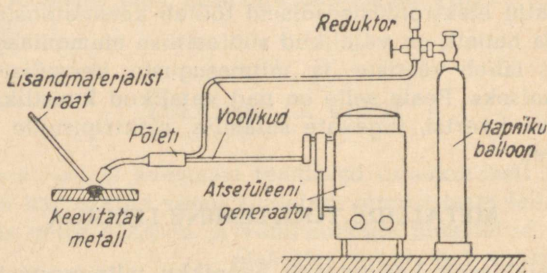
Iga põlev aine põleb hapnikus energiliselt ja eraldab seejuures palju soojust. See on ka arusaadav: kui mingi aine põleb õhus, läheb palju soojust kasutult kaduma lämmastiku soojendamiseks, see aga, nagu me juba teame, moodustab neli viiendikku atmosfäärist. Hoopis teine on lugu, kui põlemine toimub puhtas hapnikus. Sel juhul läheb tunduvalt rohkem eralduvat soojust leegi temperatuuri tõstmiseks ning põlemine toimub kiiresti ja täielikult.

Põlevgaasi — vesiniku, atsetüleeni või valgustusgaasi — põlemisel puhtas hapnikus tekib väga kõrge temperatuur: üle 3 000 kraadi! Niisuguse temperatuuri juures sulavad isegi kõige raskemini sulatatavad metallid. Sellepärast kasutatakse metallide keevitamisel hapniku-atsetüleenipõleti leeki. See põleti koosneb kahest torust, mis lõpevad ühise otsaga. Üks toru on ühendatud hapnikuballooniga, teist mööda aga juhitakse põlevgaase. Kõige sagedamini on see atsetüleen — süsiniku ja vesiniku ühend, mida saadakse vee toimel erilisse keemilisse ainesse — kaltsiumkarbiidi. Atsetüleeni saadakse otse keevitamise juures niinimetatud atsetüleeni generaatorist. Tekkiv gaas läheb voolikut mööda põletisse (joon. 13). Samasse on asetatud ka hapnikuballoon. Mõistagi on 150-atmosfääriline rõhk, mille all hapnik on ballooni suletud, tööks liiga suur. Seepärast madaldatakse see 3—4 atmosfäärini spetsiaalses aparaadis — reduktooris.

Mõnikord veetakse atsetüleen kohale samuti balloonides nagu hapnik, kokkusurutult kuni 15 atmosfäärini. Balloonid

erinevate gaasidega omavad erineva värvuse, mis väldib eksistuse töö juures ja kergendab vajaliku gaasiga täidetud ballooni leidmist.

Kuidas siis toimub gaaskeevitamine? Põleti leek juhitakse keevitavale kohale. Kõrge temperatuuri mõjul sulavad



Joon. 13. Hapnik-atsetüleeni keevitamise seadise töötamise skeem.

metalli pinnad kiiresti ning liituvad jahtudes üheks. Harilikult kasutatakse metallide keevitamisel mingisugust lisandmaterjali. See on metallplaat või -traat, mis sulades annab vajaliku hulga metalli kokkukeevitatavate esemete vahel oleva vahe täitmiseks.

Samuti kasutatakse hapnikku metallide lõikamisel. Seadis metallide lõikamiseks — lõikepõleti — erineb keevituspõletist ainult selle poolest, et tal on veel lisakanal, mida mööda juhitakse puhast hapnikku. Kui gaasipõleti leek kuumutab metalleseme pinnaosakest, avaneb lõikepõleti kanal ja hõõguvale metallile suundub peenike hapnikujuga. Selles joas metall sulab ja põleb kiiresti, kusjuures osa sellest puhutakse välja ning moodustub peen ja kitsas pragu, mis jagab metallitüki kaheks osaks. Isegi suured, 1 meetri paksusega teraskangid lõigatakse „tuliõhu“ joaga kergesti läbi.

On olemas gaaslõikemasinad, mis jaotavad tükkideks hiiglasuured terasvalutükid ja lõikavad lehtmestallist välja mitmesuguse kujuga esemeid. Paljud niisugused masinad töötavad täiesti automaatselt. Nad annavad sadasid ühesuguseid detaile, ilma et oleks tarvis pidevat järelevalvet.

Hapnikujoaga võib puhastada ka metallesemete pinda. Sageli on terasvalutükkide pinnas väikesed mõrad, räbuga rikutud kohad jne. Edaspidisel valu ümbertöötlemisel võivad need

vead põhjustada sellest toodetavate esemete juures parandamatuid rikkeid. Kuni viimase ajani kõrvaldati need vead pealmise kihi väljaraiumise teel pneumaatiliste meislitega. See oli väga raske, suurt füüsilist tööd nõudev tegevus.

Nüüd aga tuleb ka siin appi hapnik. Algul kuumutatakse terasvalutüki vigastatud kohta hapniku-atsetüleenileegiga, seejärel põletatakse metalli pealmised kihid puhta hapniku joas, ning valutüki välisest veast ei jää jälgegi järele.

Hapnikuleegiga puhastamist kasutatakse ka kõrgekvaliteetsest instrumenditerasest valutükkide eelneval töötlemisel. Enne töötlemist valtspingil või sepiressil lähevad niisugused valutükid harilikult koorimisele metallilõikamispinkidel. Trei- või hõõvelpinkidel võetakse valutüki pinnalt maha kas õhem või paksem metallikiht.

Hapnik „koorib“ valutüki palju kiiremini kui tööpink. Juba on hakatud selleks kasutama spetsiaalseid masinaid — isesõitvad vankrikesed lõikepõletite ridadega. Niisugune masin, liikudes piki valutükki, lõikab ära vajaliku metallikihi terves tema laiuses.

Kõige keerulisemad ja huvitavamad mitmeleegilised lõikepõletid koorivad suurel hulgal toorterast nende töötlemisel suurtel valtspinkidel — bluumingutel. Hõõguma kuumutatud terasvalutüki haaravad kõigist äärtest kümned lõikepõleti hapnikujoad enne tema suunamist bluumingu pöörlevate valtside alla. Ühe minuti vältel puhastavad need kuni 20 jooksvat meetrit valutükki.

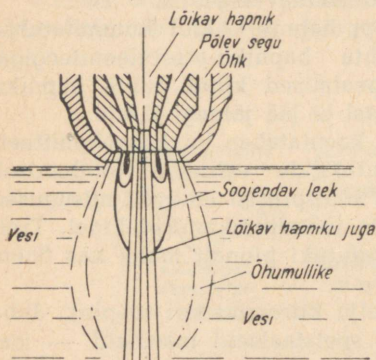
Kaasaegsetes tehastes asendavad hapnikuga keevitamine ja lõikamine üha sagedamini metallide stantsimist, valamist ja isegi mehaanilist töötlemist tööpinkidel. Seejuures saadakse kiiresti kõrgekvaliteetseid tooteid tühiste metallikadude juures.

VARAD MEREDE JA JÕGEDE PÕHJAST

Merede ja jõgede põhjas on palju metalli. Sõja ajal uputati palju laevu, nii suuri kui väikesi, vaenlase poolt lasti õhku sajad terasest sillad. Need ummistavad jõesängi ning tõkestavad sissepääsu merekäärudesse ja lahtedesse.

Ei jõudnud veel vaikida viimased lasud lahinguväljadel, kui meie maal algas juba suur ülesehitustöö. Nõukogude inimesed töötavad väsimatult selleks, et tõsta üles ja seada korda uppunud laevu, neid aga, mis on vananenud või mida pole enam võimalik parandada, ümber sulatada tulevaste ehituste jaoks.

Vettelangenud sildade keeruliste kandekonstruktsioonide lahtivõtmiseks kulub palju tööd. Kõigis nendes töodes tuleb inimesele jälle appi imeline „tuliõhk“, mis lõikab metalli vee all.



Joon. 14. Kaitse-õhumullikesega veealuse autogeense lambi peaskeem.

Kuidas see protsess vee all toimub? Miks osutub vesi, mis on võimeline kustutama suuri tulekahjusid, nii võimetuks pisikese lõikepõleti hapnikuleegi suhtes?

Igaüks teab, et vesi ja õhk on täiesti erinevad ained. Vesi on õhust 850 korda tihedam. On selge, et põleti düüsist väljavoolav gaaside juga kohtab vees suurt takistust. Vesi juhib soojust 25 korda paremini kui õhk. Seepärast jahtub soojendatud ese vees tunduvalt kiiremini kui õhus. Lõpuks neelab vesi soojust 4 korda rohkem kui temaga kaaluliselt võrdne kogus õhku. Vees pole võimalik saada normaalset ja püsivat vaba leeki ega kuumutada veesolevat metallest. Seetõttu pole ülesanne kerge. Kuidas õnnestus teadlastel seda lahendada?

Esimesed põletid hapnikuga lõikamiseks vee all olid ümbritsetud põlemisproduktide eraldamiseks avausi omava spetsiaalse karbiga ja liikuva kaanega. Karp põletiga asetati vette ja suruti vastu lõigatavat metalli. Siis avaness karbi kaas ning leek hakkas kuumutama metalli. Et vesi ei saaks tungida karp ja kustutada leeki, suunati sellesse pidevalt suruõhku, mis kaitses heledalt põlevat leeki vee eest.

Hiljem selgus, et metallide veealuseks lõikamiseks pole karp hädatarvilik. Ilmusid spetsiaalsed hapniku-lõikepõletid, mis moodustavad leegi ja lõikekoha ümber kaitsva õhumulli.

Niisugune lõikepõleti omab kolm nn. suuosa — kolm kontsentriselt paigutatud avaus (joon. 14). Tsentraalsest avausest juhitakse välja lõikava hapniku juga. Keskmine rõngakujuline avaus on hapniku-atsetüleeni põlevsegu etteandmiseks. Lõpuks surutakse välimise avause kaudu välja suruõhku, mis moodustab heledalt põleva hapnikuleegi ümber kaitsemullikesena. Nii sai võimalikuks metallilõikamise protsess vee all.

Väikese laeva pardal valmistuvad tuukrid tööks. Seadis veealuseks lõikamiseks on korras, kõikide voolikute ja ühenduste hermeetilisus on kontrollitud. Tuuker-lõikaja, riietunud tuukri-ülrikonda, võtab kätte lõikepõleti ja laskub vette.

Harilikult süüdatakse lõikepõleti juba enne tema vetteviimist. Kuid teda võib süüdata ka vee all. Selleks kasutatakse metallilist naatriumi või spetsiaalseid pulbreid kaltsiumi fosforühendeist, mis on võimelised põlema ka vees. Vajalikul hetkel veega kokku puutudes süttivad need pulbrid iseenesest ning süütavad lõikepõleti. Kõige sagedamini kasutatakse lõikepõleti süütamiseks vee all abi-gaasipõletit, mis lastakse vette juba põlevana. Lõpuks võib sel eesmärgil kasutada ka elektrilisi süütajaid, mis annavad vee all elektrisädeme, millest piisab lõikepõletist tuleva põlevsegu süütamiseks.

Tuuker jõudis oma töökohale. Tema ees on purustatud silla terassõrestik. Ta asetab lõikepõleti lõigatava metalltala äärele ja alustab metalli kuumutamist. Mööduvad mõned sekundid. Lõikamise kohal tekivad väikesed sädemed. Saabus hetk lõikava hapniku ventiili avamiseks. Terav „tuliõhu“ juga suundub metallile. Lõikekohal tekib hele valgus ja seda ümbritseb sädemetevihk. Aeglaselt ning ühtlaselt nihutab tuuker oma lõikamisinstrumenti ja jaotab osadeks silla teraskonstruksioonid, mis on plahvatuse mõjul kägardunud. Pärast seda tuuakse need veest välja ja lähevad kas uute ehituste jaoks või saadetakse ümbersulatamisele. Jõgi vabaneb laevatamiseks.

Nii aitab hapnik merede ja jõgede põhjast välja tõsta tuhandeid tonne kodumaale vajalikku metalli.

KÕIGE „MUGAVAM“ KÜTUS

Üheks tähtsamaks materjaliks, milleta inimene läbi ei saa, on kütus. Süsi ja nafta panevad liikuma vedurid ja laevad, koks on vajalik malmi sulatamisel. Söes, naftas, turbas leiduv energia muudetakse elektrijaamades elektrienergiaks, mille abil valgustatakse meie elumaju, töötavad arvukad tööpingid ja mehhanismid.

Selleks et mõista, et kolmest kütuse liigist — tahkest, vedelast ja gaasilisest — on viimane kasutamiseks kõige mugavam, pole tarvis olla suur eriteadlane energeetika alal. Tõepoolest, tahket kütust on tarvis vedada kohale, siis ajada ahju. Põlemisel annab ta suurel hulgal tuhka, mis tuleb ahjust tin-

gimata kõrvaldada ja katlamajast välja vedada. Vedelal kütusel on palju eeliseid. Naftat võib kohale juhtida mööda torusid ning spetsiaalsete pihustitega ahju pritsida. Kuid vedel kütus on kalleim kütuse liik. Naftast võib saada bensiini, petrooleumi ja teisi väga väärtuslikke aineid. Nafta töötlemine on kasulikum kui selle põletamine kütusena. Aga pöördume nüüd loodusliku põlevgaasi juurde. Gaasi võib samuti torusid mööda edasi juhtida. Tema põlemine ahjus toimub ühtlaselt ja täielikult, ei jäta tuhka, samuti ei teki suitsu ega tahma. Gaasileeki on väga kerge reguleerida lihtsalt kraani keeramisega. Põlevgaasi võib eelnevalt soojendada ahjust tulevate heitgaasidega. Sel juhul annab ta veel rohkem soojust.

Kõik need gaasilise kütuse eelised sundisid teadlasi ja leiutajaid juba ammu tegelema tahke kütuse gaasiks muutmise meetodite otsimisega. Nende tööd kroonis edu. Nüüdisajal on söe, turba ja teiste tahke kütuse liikide gaasistamine tehnika poolt juba omandatud.

Gaasiline kütus leiab viimasel ajal ikka laialdasemat kasutamist, tõrjudes kõrvale teised kütuse liigid. Gaasiga köetakse ahjusid, kus sulatatakse kõrgekvaliteetset terast. Paljud suured masinaehitustehased töötavad täielikult ainult gaaskütetel, mida saadakse kas põlevkivist, turbast või madalat sorti sütest. Väikestes gaasigeneraatorites puuklotsikestest toodetud põlevgaas paneb liikuma autod ja traktorid, hoides seega kokku palju hinnalist bensiini. Suurtes linnades kasutatakse laialdaselt gaasi majade kütmiseks, pliitide kütmiseks köökides ja paljudeks teisteks elu-olustikulisteks otstarveteks. Lõpuks võib põlevgaasist saada kunstlikku vedelkütust — sünteetilist bensiini.

Milles seisneb tahke kütuse gaasistamine? Millisel viisil saab kivisöe või turbatükke muuta põlevgaasiks?

KUIDAS KIVISÖEST SAADAKSE PÕLEVGAASI

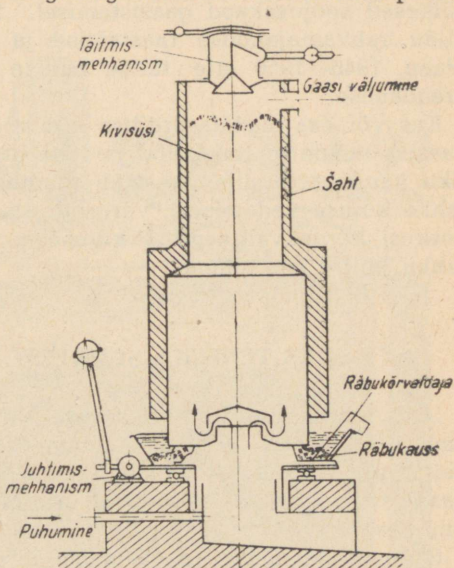
Igaüks meie lugejaist on istunud kas põleva ahju või lõkke juures ja jälginud, kuidas tuleleek hävitab puuhalge. Puu põleb eraldades soojust. Kõik kütuses sisalduv süsinik ühineb õhuhapnikuga ning moodustab süsihappegaasi.

Toimub aga hoopis midagi muud, kui põletamine viia läbi õhu üsna piiratud juurdepääsuga. Sel juhul ei põle süsinik täielikult ära. Uhinedes õhuhapnikuga, moodustab ta hapniku-

vaesema ühendi — süsihapendi, gaasi, mis võib ise põleda. Selles seisabki tegelikult kütuse gaasistamine.

Kütuse gaasistamisel kasutatakse erilisi aparate — gaasigeneraatoreid. Ühed gaasigeneraatorid ehitatakse põlevgaasi saamiseks kivisöest, teised — põlevkivi ümbertöötamiseks, kolmandad aga turba gaasistamiseks. Tutvume ühe gaasigeneraatori ehitusega, mis on ette nähtud kivisöe gaasistamiseks (joon. 15).

See on suur silinder, mis on seest vooderdatud tulekindlate telliskividega. Silindri ülemise osa — šahti — kaudu laetakse generaatorisse süsi. Aparaaadi allosas asub pöörlev plaanrest, mis aitab kõrvaldada söe põlemisel tekkivat jääki — šlakki. Alt aga juhitakse sisse põlemiseks vajalik õhupuhumus.



Joon. 15. Kivisöe gaasistamiseks ette nähtud gaasigeneraatori läbilõige.

Gaasistamist võib läbi viia õhu läbipuhumisega, kuid sel juhul sisaldab põlevgaas palju lämmastikku. Teatavasti aga lämmastik ei põle ega soodusta põlemist, vaid esineb kahjuliku ballastina, mis tunduvalt halvendab põlevgaasi kvaliteeti. Šahti võiks juhtida puhast hapnikku, kuid sel juhul tekiks selles liiga kõrge temperatuur ja gaasistamise käik oleks häiritud. Seepärast juhitakse gaasigeneraatorisse reeglina koos vähese hulga õhu või hapnikuga veeauru. Seejuures tekkivad gaasid sisaldavad uusi põlevaid elemente: vesinikku ning vesiniku ja süsiniku ühendeid — niinimetatud süsivesinikke. Nendest ühenditest rikastunud gaas põleb niisama hästi kui looduslik gaas või bensiin ja annab palju soojust.

Tahke kütteaine gaasistamisel läheb osa sellesse suletud soojusenergiast tagastamatult kaduma, sest et osa süsinikku

põleb täielikult ära, moodustades süsihappegaasi. Kuid vaatamata sellele on gaasilise kütuse saamine ja kasutamine väga kasulik. Põlevgaasi kasutamise eelised katavad rikkalikult väikesed soojusekaod gaasistamisel. Sellepärast nägigi NSV Liidu rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaan 1946—1950 ette tahke kütuse gaasistamise laialdase arendamise.

Kas või osa madalasordilise söe või turba ümbertötamine gaasiks nende tootmiskohal ja selle gaasi edasiandmine torustiku kaudu tarbijaile vabastab raudteetranspordi suure hulga tahke kütuse vedamisest, varustab aga meie linnu ja tööstuskeskusi kõrgekvaliteedilise kütusega, mis põlemisel ei tekita tuhka, suitsu ega tahma.

UKS TEHNIKA SUURTEST VÕITUDEST

„Üks tehnika suurtest võitudest“ — nii nimetas V. I. Lenin oma 1913. aastal „Pravdas“ ilmunud artiklit, mis oli pühendatud söe maa-alusele gaasistamisele, see tähendab põlevgaasi tootmisele otse sügaval maapõues olevatest kivisöekihtidest.

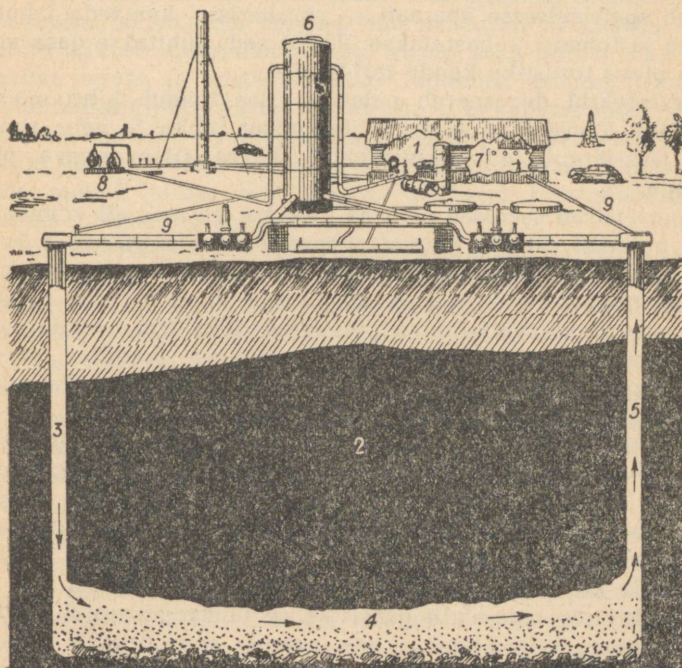
Hiilgav maa-aluse gaasistamise idee kuulub suurele vene keemikule, kuulsa elementide perioodilise süsteemi loojale D. I. Mendelejevile. Rohkem kui pool sajandit tagasi kirjutas Mendelejev: „Tõenäoliselt saabub aja jooksul niisugune ajajärk, mil sütt maa seest välja kaevama ei hakata, vaid osatakse sealsamas, maa sees, muuta põlevgaasideks ja need saadetakse torusid kaudu suurtesse kaugustesse.“

Paljud teadlased olid haaratud söe maa all gaasistamise mõttest, kuid see suurepärase idee viidi praktiliselt ellu alles Nõukogude Liidus.

Juba ammu enne Suurt Isamaasõda sooritasid nõukogude teadlased suure hulga katseid põlevgaasi saamiseks maa all süüdatud kivisöe kihtidest. Söe maa-aluse gaasistamise katsejaamad töötasid Donbassis, samuti ka Moskva-lähedases kivisöebasseinis. Need suurt ja pingutavat tööd nõudvad katsed võimaldasid kindlaks teha, kuidas toimub maapõues nähtamatu ja keeruline kivisöekihi gaasistamisprotsess, et seejärel gaasistamise alal üle minna praktilisele tööle.

Nõukogude insenerid töötasid välja nõndanimetatud gaasistamise voolumeetodi. See ei nõua rasket maa-alust tööd ja on teostatav järgmiselt.

Maasse tehakse sügavpuurimismehhanismide abil kaks avaust — tootmisava (joon. 16). Algul need avased läbivad maapinna ülemised leetkihid — liiva ja savi. Siis jõuavad nad kivisöekihini ja läbivad selle. Maa all on tootmisavad oma-



Joon. 16. Kivisöe maa-aluse gaasistamise jaama skemaatiline kujutus. 1 — kompressorid, mis suruvad maa alla hapnikuga rikastatud õhku; 2 — kivisöe kiht; 3 ja 5 — vertikaalsed tootmisavad; 4 — horisontaalne tootmisava; 6 — skraber — aparaat, kus gaas puhastatakse tolmust ja jahutatakse; 7 — juhtimisseadised; 8 — skraberisse suunatava vee pumbad; 9 — gaasijuhtmed.

vahel ühendatud kitsa koridoriga, kus toimubki söe gaasistamine.

Kivisöekiht süüdatakse elektrivooluga hõõguma aetud traat-spiraaliga, mis lastakse maa alla. Uhe tootmisava kaudu hakatakse maapinnalt sisse puhuma õhku või, mis veel parem — hapnikku. Õhuvool (muuseas, sellepärast nimetataksegi seda

gaasistamisviisi voolumeetodiks) uhub kivisöekihi hõõguvat alumist pinda. Hapnik ühineb kivisöe süsinikuga, andes uue, meile juba tuttava põlevgaasi — süsinikhapendi.

Põlevgaas tõuseb mööda teist tootmisava maapinnale ja läheb spetsiaalsesse aparaati — skraberisse, kus teda jahutatakse ja tolmust puhastatakse. Pärast seda juhitakse gaas maa sees oleva torustiku kaudu tarbijatele.

Kivisöekiht degaseerub pidevalt. See toimub kihti mööda alt üles. Kivisöekihi asemele jääb pisut tuhka ja vaba ruum, mis järk-järgult täitub kivisöekihti katva sissevariseva pinnasega.

Spetsiaalsed seadised nii maa peal kui ka maa all võimaldavad pidevalt jälgida gaasistamisprotsessi. Elektrilised püromeetrid näitavad igal momendil gaasistatava kivisöekihi pinna temperatuuri, gaasianalüsaatorid aga määravad maapõuest väljatuleva põlevgaasi koostise. Nende seadiste andmete põhjal reguleerib gaasijaama tehniline personal protsessi, kas suurendades või vähendades maa alla puhutava hapniku, vahel aga ka veeauru hulka.

Fašistlik vallutussõda katkestas ajutiselt meie tähtsamate, Donbassis asuvate maa-aluste gaasistamisjaamade töö. Need jaamad hävitati vaenlase poolt. Kuid ka sõja-aastatel ei jäänud töö maa-aluse gaasistamise alal minutikski seisma. Moskva-lähedase kivisöebasseini jaam „Podzemgaz“ andis tehastele kümneid miljoneid kuupmeetreid põlevgaasi.

Töö kivisöe maa-aluse gaasistamise täiustamise alal jätkub. Meie maa rahvamajanduse ees avaneb suur tulevik. Vaatamata palju jõukulu nõudvate tööprotsesside mehhaniseerimisele nõuab kivisöetööstus suuri inimtööjõu kulutusi. Tootes sütt laskub inimene sadade meetrite sügavusele maa alla. Keeruliste masinate abil tükeldab ta söekihi, tõstab söe maapinnale, puhastab seda, sorteerib ja veab laiali üle kogu maa. Seejuures jääb hulk sütt maa alla. Paljusid kivisöekihte aga ei kaevandata üldse, sest nad on liiga õhukesed: nendes ei mahu töötama inimene ja tema mehhanismid.

Söe maa-alune gaasistamine vabastab inimese raskest maa-alusest tööst, aitab ära hoida suuri kadusid kivisöe tootmisel ja annab võimaluse kasutada isegi kõige õhemaid kivisöekihte.

Gaasi tootmine maa-alusest kivisöekihtidest nõuab suurel hulgal hapnikku, mis kiirendab gaasistamisprotsessi ja võimaldab saada täisväertuslikku põlevgaasi.

HAPNIKU PUHUMINE METALLURGIAS

Hapnik soodustab põlemist aktiivselt. Tähendab, kõigepealt on teda otstarbekohane kasutada nende protsesside juures, mis on seotud põlemisega, kõrgete temperatuuride saamiseks. Peale tahke kütuse gaasistamise on niisuguseks protsessiks veel malmi, terase ja teiste metallide tootmine. Hapniku kasutamine metallurgias tekitab selles vanas ja tähtsas tööstusharus täieliku tehnilise revolutsiooni. Kõrgahju või terasesulatamisahju juhitud „tuliõhk“ mitte üksnes suurendab väljasulatatava metalli hulka, vaid lubab ka tunduvalt lihtsustada metallurgia-agregaatide ehitust.

Metallurgia-ahjudes, kus sulatatakse malmi ja terast, esinevad kõrged temperatuurid. Sellepärast nimetaski suur vene teadlane D. I. Mendelejev metallurgiat kõrgete temperatuuride keemiaks. Näib, et ükski tööstusharu ei tarvita nii palju kütust ja hapnikku kui metallurgia. Kaasaegne suur metallurgia-tehas, mis toodab aastas miljon tonni terast, nõuab kaks miljonit tonni sütt ja rohkem kui kolm miljartrit kuupmeetrit hapnikku.

Käesoleva ajani juhitakse metallurgia-ahjudesse õhku. Kuid õhus on lämmastikku neli korda rohkem kui hapnikku. See tähendab, et koos kolme miljardi kuupmeetri hapnikuga läheb läbi meie tehase sulatusahju mitte vähem kui kaksteistkümmend miljartrit kuupmeetrit lämmastikku. See lämmastik esineb metallurgilisel tootmisel kahjuliku ballastina. Kui palju soojust tuleb kulutada niisuguse suure hulga lämmastiku kasutuks soojendamiseks! Kui kõrgahju juhitava lämmastiku hulka vähendada, siis kasvab temperatuur tunduvalt, kiiremini põlevad ära lisandid, kiiremini lõpeb metalli sulatamine.

Et saavutada kõrgahjus vajalikku temperatuuri, tuleb õhku eelnevalt soojendada 700—800 kraadini. Selleks on olemas võimsad õhupuhumismasinad, mis suruvad õhu suurtesse, kuni 20 meetrit kõrgetesse tornidesse — kauperitesse, mis asuvad iga kõrgahju kõrval. Suuruselt on kauper kõrgahjust ainult veidi väiksem. Kõrgahjust lahkuvate gaasidega soojendatavad kauperid annavad oma soojuse edasi õhule. Kauperist väljunud tuline õhk läheb mööda torustikku kõrgahju.

Metallurgid on kindlaks teinud, et õhu puhumisega kõrgahju võib selles saada kuni 2000-kraadilist temperatuuri. Kui aga puhumisel suurendada hapniku hulk kolmekordseks, siis tõuseb temperatuur kõrgahjus kuni 3000 kraadini ja isegi kõr-

gemale. Ahju puhutava õhu eelsoojendamine osutub juba siis mittetarvilikuks, kui see sisaldab 30% hapnikku.

Enne sõda, 1940. aasta septembris, alustas NSV Liidus tööd katsekõrgahi, mis töötas suurendatud hapnikuhulgaga. Ahi andis ööpäeva jooksul kuni kakssada tonni malmi, s. o. 2—2,5 korda rohkem kui samade mõõtmetega harilik kõrgahi, koos sellega vähenes ka kütuse — koksi — kulu. Seega avanesid metallurgia ees uued hiilgavad perspektiivid. Avanes võimalus mitte üksnes järsult tõsta sulatusahjude tootlikkust, vaid ka tunduvalt lihtsustada kõiki metallurgia-agregaate.

Tööstus ei nõua metallurgidelt mitte ainult harilikku malmi, mis läheb ümbertöötamiseks teraseks ja valatud esemete valmistamiseks. Tööstusele on vajalikud ka nõndanimetatud ferrosulamid — spetsiaalset sorti malmid. Need sisaldavad räni, mangaani, kroomi ja teisi lisandeid rohkem kui harilik malm ja lähevad spetsiaalsete kvaliteetsete teraste sulatamiseks.

Mõningate ferrosulamite tootmine harilikes kõrgahjudes on äärmiselt raske toiming. Kõrgahjus on tarvis saavutada eriti kõrget temperatuuri, see tingib suure kütusekulu. Peale selle ei õnnestunud mõnda spetsiaalset malmisorti kõrgahjus üldse saada (näiteks metallurgia jaoks väga vajalikku silikomangaani).

Hapnik võimaldab saada kõrgahjus igasugust praktiliselt vajalikku temperatuuri. Tähendab, töötades hapniku puhumisega, võib kõrgahjus sulatada iga sorti malmi ja peale selle saada veel väärtuslikku raskesti sulavat räbu. Seda räbu võib aga töödelda heaks ehitusmaterjaliks — portland-tsementiks.

Üks kõrvalproduktidest kõrgahju töötamisel on kõrgahju-gaas. See sisaldab umbes 30 protsenti süsinikhapendit ja on seepärast põlevgaas.

Harilikku kõrgahjugaasi kasutatakse kauperite ja aurukatelde kütmisel. Seda juhitakse torustikku mööda ka terasesulatusahjudesse, kuid põletatakse ainult segus kalli koksigaasiga, mida saadakse süte koksistamisel. Nii saadakse terase sulatamiseks vajalik temperatuur. On iseenesest mõistetav, et kui kõrgahjudesse puhutakse vähem lämmastikku, siis osutub ka kõrgahjust väljatulev gaas väärtuslikumaks kütuseks. Sellepärast osutubki hapniku puhumisel töötava kõrgahju gaas suurepäraseks kütuseks terasesulatusahjudele. Teda võib kasutada ka mõningate kallihinnaliste keemiliste produktide valmistamiseks. Niisugusest kõrgahjugaasist saab miljoneid kuup-

meetreid koksigaasi, mida võib kasutada kunstliku vedelkütuse ja teiste produktide saamiseks.

Niisama kasulik on hapniku puhumine ka terase sulatamisel. Kõrgahju sarnaselt hapnikuga töötavad terasesulatamise martäänahjud ei nõua gaasi eelkuumutamist. Kaasaegsete martäänahjude kõige keerulisemaks ja kallimaks seadiseks on regeneraator, mis on ette nähtud ahju puhutava õhu kuumutamiseks. See osutub antud juhul mittetarvilikuks. Hapniku puhumine annab terasesulatusahjus vajaliku temperatuuri.

Hapniku puhumisel on väga kerge reguleerida martäänahju temperatuuri: hapnikusisalduvuse suurendamiseks või vähendamiseks piisab ainult ventiili keeramisest. Nüüdisaegsete martäänahjude regeneraatoreid soojendatakse ahjust lahkuvate gaaside soojuse arvel. Nii tuuakse tunduv osa väljuvast soojusest uute õhuhulkadega ahju tagasi. Kuidas aga kasutada seda hiiglasuurt soojuse hulka, mis lahkub koos kuumade gaasidega hapniku puhumisega töötavast ahjust? Teatavasti pole regeneraatorid siin vajalikud.

Osutub, et kaasaegne tehnika on võimeline lahendama ka seda ülesannet. Hapniku puhumisega töötavad terasesulatusahjud võivad seda soojust edasi anda katelseadeldistele auru tootmiseks. Aur aga on vajalik igasugusele tehasele nii kütteks kui ka auruhaamri ja mitmesuguste teiste mehhanismide liikumapanemiseks. Auruenergia võib tehase elektri jaamas muuta elektrienergiaks. On välja arvatud, et hapniku puhumisega ahjus saadakse iga tonni terase kohta tonn auru, mis on suureks panuseks metallurgiatehase energiamajandusse.

On võimalik, et hapniku kasutamine terasevalmistamistööstuses viib selleni, et meie metallurgia-ettevõtted omandavad hoopis teise ilme.

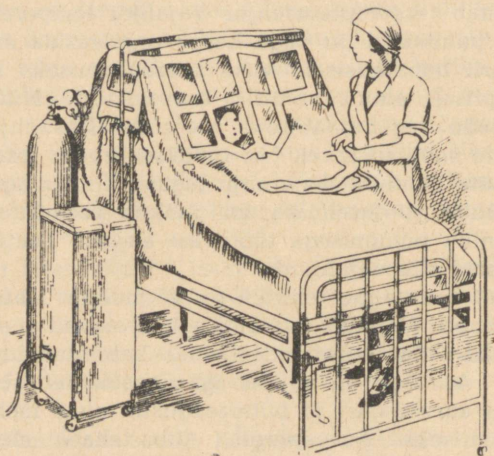
Akadeemik I. P. Bardin ütleb: „Perspektiivid hapniku kasutamiseks metallurgias pole mitte õhulossid, vaid teaduse kindlused, mida on tarvis vallutada. Kuid me teame, et pole olemas niisuguseid kindlusi, mida ei vallutaks eesrindliku teadusega varustatud tehnika.“

❧ HAPNIK TÖÖSTUSES JA ELUS

Selles raamatus me võisime peatuda ainult mõningatel näidetel hapniku praktilisest kasutamisest. Tegelikult on aga „tuliõhu“ kasutamisala märksa suurem.

Tänapäeva tehnika üheks tähtsamaks ülesandeks on tehnolo-

loogiliste protsesside igakülgne kiirendamine. Võib julgesti öelda, et rõhuv osa kaasaegse tehnika protsessidest põhineb hapniku kasutamisel. Kütuse põlemine mistahes ahjus, sise-põlemismootori töötamine, suur hulk keemilisi protsesse on mõeldamatud hapnikuta. Kõikides nendes protsessides esineb hapnik enamasti atmosfääri õhu koostisosana. Hapniku hulga kunstlikul suurendamisel õhus kulgevad protsessid märksa kiiremini,



Joon. 17. Hapnikutelk lastehaiglas.

Juba praegu kasutatakse hapnikku suure eduga keemiatööstuses. See võimaldab saada näiteks tunduvalt suuremat lämmastikhappe hulka ja tõsta selle kangust. Katsed näitavad, et samal teel võib saada rohkem väävel- ja fosforhapet, kaltsiumkarbiidi, soodat ja teisi tähtsaid keemilisi produkte.

Värvilises metallurgias võib hapniku kasutamisega suurendada vase, nikli ja teiste metallide toodangut. Võib arvata, et hapniku puhumisega metallurgia-ahjud võimaldavad saada ilma suurte elektrienergia kulutusteta väärtuslikke alumiiniumisulameid.

Kuid hapnikku ei kasutata mitte ainult tööstuses. Ta leiab laialdast kasutamist ka arstiteaduses ja lennuasjanduses.

Elusa organismi olemasolu hapnikuta on mõeldamatu. Isegi rahulikus olekus tarvitab inimese organism minuti jooksul kuni 0,3 liitrit hapnikku. Töötades aga kasvab hapnikutarvidus 10 ja rohkem korda.

Juba ammu kasutatakse hapnikku arstiteaduses arstimisvahendina. Harilikult kaasneb hingamis- ja vereringeorganite normaalse tegevuse häiretega ikka nõndanimetatud organismi „hapnikunälg“. Haigele ei jätku hapnikku. Niisugusel juhul suurendatakse kunstlikult hapniku hulka õhus või siis lastakse haigel hingata puhast hapnikku.

Koos üldtuntud hapnikuga täidetud „patjadega“ seatakse nüüd haiglates sisse ka spetsiaalsed hapnikupalatid — tihedalt suletavad ruumid, kus hapniku hulk hoitakse vajalikul kõrgusel. Vahel aga kasutatakse raviasutustes kokkupandavaid hapnikutelke (joon. 17).

Samuti tekib hapnikunälg inimestel, kes on laskunud mere-sügavusse või on tõusnud suurtesse kõrgustesse. Sellega kaasneb tugev peavalu, unisus ja vahel isegi meelemärkuse kaotus. Nüüd võtavad lendurid kõrglennule minnes kaasa spetsiaalsed hapnikuaparaadid hingamiseks. 4,5—5 km kõrgusel, kui hapniku hulk õhus juba väheseks osutub, kinnitavad nad näole kummimaski ja hingavad sisse hapnikku, mida nad võtsid kaasa väikeses balloonis. Nüüdisaegsed kõrglennud said võimalikuks ainult tänu hapnikule, mida meeskond kasutab hingamiseks.

TULEVIKU METALLI-KEEMIAKOMBINAAT

Unistame pisut tulevikust...

Aasta 195... Meie auto kihutab linnast välja mööda läikivat asfaltmaanteed. Eemal, puude varjus vilksatavad nägusad eluhooned. Kiiresti tõuseb masin märke ning ootamatult avaneb meie ees hiiglasliku tehase panoraam. Lehvikuna lähtuvad temast raudteelindid. Pisikesed elektrivedurid veavad neil pikki ronge. Ainult see elustab pilti. Tehas ise aga tundub olevat tegevusetu. Ei kerki suitsu määratu suurte kõrgahjude tornide kohal ega pole kuulda raskete haamrite lööke terase pihta.

Me saabume metalli-keemiakombinaadi territooriumile. Selle südameks on hapnikujaam (joon. 18). Siin pöörlevad suure kiirusega, ent peaaegu täiesti kätatult võimsad turbokompressorid. Need annavad suruõhku hapnikuseadistele, mis toodavad tunnis sadu tuhandeid kuupmeetreid hapnikku. Maasse pandud torustikku mööda juhitakse siit hapnik kõrgahjudesse ja keemiatsehhidesse.

Saabub järjekordne rong maagi ja koksiga. Rong juhitakse mahalaadimisestakaadile. Siin pööratakse vagunid automaat-

selt ümber, valades nende sisu punkrisse. Laiad kallaktorud ühendavad punkri kõrgahju ülemise osaga. Torusid mööda liiguvad vahetpidamatult üles transportööride kopad särdamispanusega (maak ja koks).

Kombinaadi tööd juhib kõrge kvalifikatsiooniga vahetusinsener. Koos oma abilistega asub ta tehase südames — hästi varustatud kontrolljaama ruumis. Siia ulatuvad sajad mitmesuguste mõõteriistade juhtmed nii metallurgia-agregaatidelt kui ka tooraine ja valmisprodukti ladudest. Igal momendil on siin teada, kui palju on veel punkrites toorainet, missugune on temperatuur kõrgahju erinevates osades, kui palju on kogunenud ahjude põhja vedelat malmi, missugune on kõrgahjude gaaside koostis. Kui kontrolljaama mõõteriistad märgivad ära protsessi väiksemagi kõrvalekaldumise normist, süttib kohe signaallamp. Vahetusinsener, kasutades telefoni, annab edasi vajalikud korraldused vastava agregaadi juhtkonna kabiini.

Üks kord 3—4 tunni jooksul lastakse kõrgahjust välja malmi. See valatakse mahukatesse anumatesse, kust ta pideva joana valgub edasi nõndanimetatud rafineerimisrenni. Siin toimub malmi läbipuhumine hapnikuga, siia lisatakse ained, mis vääristavad terast — kroom, nikkel, molübdeen. Metallis sisalduvad kahjulikud lisandid põlevad välja, vedel malm aga muutub teraseks.

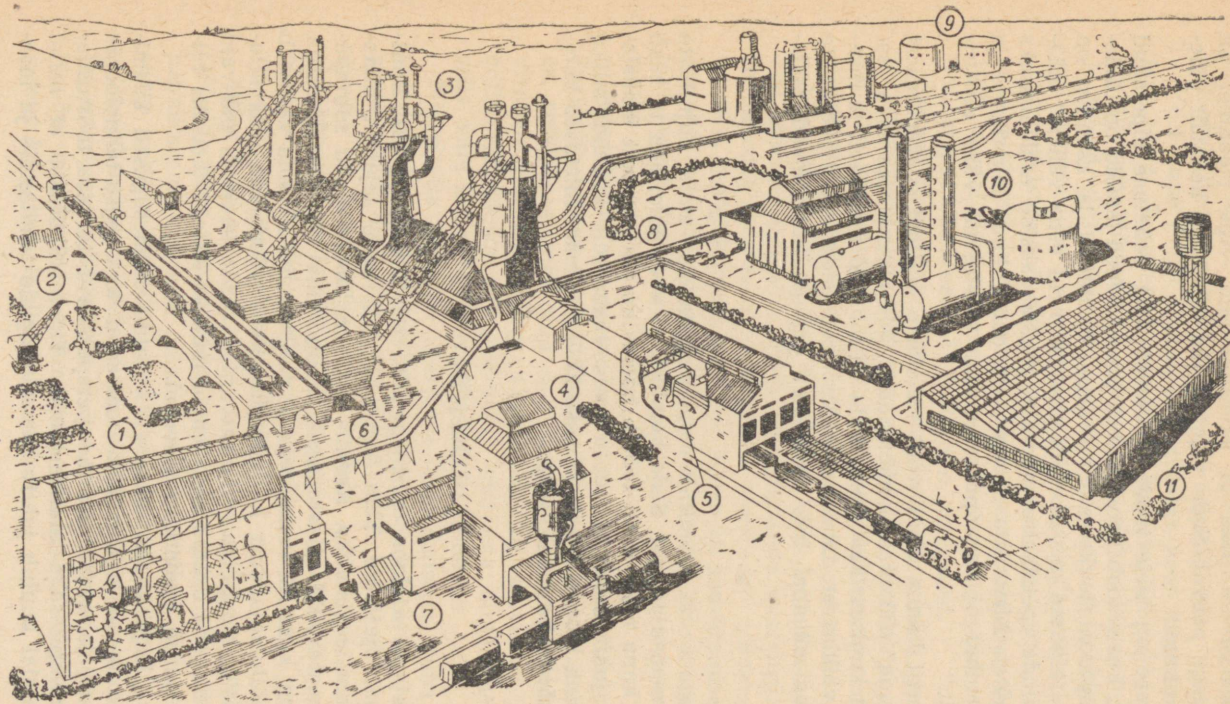
Osa metallist juhitakse edasi pidevalt vormidesse valavale konveierile. Teras täidab vormid ja tahkestub nendes. Teine osa vedelast terasest läheb tulekindlast materjalist renni mööda valtsimispingile. Teras tahkestub valtsimispingi pöörlevate võllide vahel ja muutub rööbasteks ning taladeks.

Jahtunud kõrgahjuräbu peenendatakse, pakitakse kottidesse või tünnidesse ja saadetakse maa suurimatele ehitustele. See on ehitustsement.

Pika, terastgedele asetatud torustikuga on kõrgahjud ühendatud tehase keemia- ja energeetikatsehhidega. Kõrgahjugaas paneb liikuma kombinaadi elektri- ja hapnikujaama gaasiturbiinid. Sama gaas läheb tehase elumajade ja kasvuhoonete kütmiseks, kus isegi talvisel ajal valmib juurvili.

Kuid peamine mass kõrgahjugaasist juhitakse kombinaadi keemiatsehhidesse. Siin muudetakse gaas sünteetiliseks piirituseks, kunstlikuks vedelkütuseks, ammoniaagiks. Iga päev veetakse tehasesst ära mitu rongi tsisternidega, mis on täidetud nende hinnaliste ainetega.

Hilisõhtul lahkume tehasesst. Saabuv pimedus varjab tee



Joon. 18. Nii näeb välja lähemas tulevikus metalli-keemiakominaat. 1 — hapnikujaam; 2 — maagi ladu; 3 — kõrgahjud; 4 — siin valmib teras; 5 — valtspink; 6 — gaasiturbiinidesse minev gaas; 7 — tsemenditehas; 8 — gaasijuhe; 9 — ammoniaagitehas; 10 — sünteetilise bensiini tehas; 11 — tehase kasvuhooned.

ääres kasvavaid puid ja suvitusasulaid. Aga maanteel on valge nagu päeval. Seda valgustavad tuhanded heledalt põlevad torukesed.

„Ka see on meie toode,“ kõneleb äsja vahetuse lõpetanud insener, kes sõidab koos meiega linna. „Need lambid on täidetud krüptooni ja ksenooni seguga. Krüptoon ja ksenoon on väga haruldased gaasid. Õhk sisaldab neid üsna vähesel määral. Ehitada spetsiaalset aparati nende gaaside eraldamiseks pole mõtet. Meie aga saame neid gaase koos hapnikuga ja meie lambid on vastupidavad ning tarvitavad vähe elektrienergiat.“

Olemegi linnas. Kaua veel vahetame muljeid suurepärasest „tuliõhuga“ töötavast kombinatsioonist. Me meenutame seda rasket, ent kuulsusriikast teed, mida on läbinud teadlased ja insenerid väikestest laboratoorsetest seadistest kuni võimsate hapnikumasinate, mis on saanud gigantse kombinatsiooni südameks.

Niisugune on metalli-keemiakombinatsioonist meie kujutluste järgi joonistatud pilt. Seda kombinatsiooni veel pole, aga ta saab olema, kuna meie maal töötab bolševike partei poolt innustatud ja juhitud nõukogude rahvas väsimatult kommunistliku ühiskonna loomisel, kus inimese kõik parimad unistused muutuvad tõeliseks reaalsuseks.

LÖPPSÕNA

Me elame ajaloos ennenägematu tehnilise progressi kuulsusrikkal ajajärgul. Täie õigusega võib meie sajandit nimetada keemiasajandiks. Keemia abil on loodud uued suurepärased materjalid: plastmassid, sünteetiline kautšuk, kunstlik kiudaine, kunstlik vedelkütus ja palju muud. Keemia varustab meie põllumajandust kõrgekvaliteetsete väetistega, mis aitavad tõsta maapinna viljakust ning saada suuri ja püsivaid saake. Keemia osutub nõukogude inimese kätes võimsaks relvaks looduse ümberkujundamisel.

Paljud hapniku kasutamisele rajatud mitmesugused keemilised protsessid suurendasid veel enam kaasaegse tehnoloogia võimalusi ja avasid avarad perspektiivid tervete tööstusharude edaspidiseks arendamiseks. Tuleb rõhutada, et sellel tehnikaalal kuulub juhtiv osa nõukogude teadlastele ja inse-

neridele. Nemat olid „tuliõhu“ kasutamise initsiaatoriteks tehnoloogiliste protsesside intensiivistamiseks.

Veel enne Suurt Isamaasõda tõestas noor nõukogude teadlane M. A. Šapovalov praktiliselt hapniku kõrgahju puhumise efektiivsust. Nõukogude insenerid V. A. Matvejev, P. V. Skafa ja teised viisid ellu kuulsa vene keemiku D. I. Mendelejevi suurepärase idee kivisöe maa-alusest gaasistamisest.

Silmapaistva töö eest hapniku kasutamise alal terasesulatamise protsessi intensiivistamiseks martäänahjudes autasustati 1948. aastal Stalini preemiaga metallurgiatööstuse spetsialistide gruppi akadeemik I. P. Bardini juhtimisel.

Samuti autasustati 1948. aastal Stalini preemiaga tselluloosipaberitööstuse töötajate gruppi (M. G. Eliašberg ja teised) hapniku kasutamisele rajatud sulfiit-tselluloosi tootmise intensiivistamise meetodi väljatöötamise ja juurutamise eest.

Nii siin loetletud kui ka teised tööd hapniku kasutamise alal kinnitavad veelkordselt, et nõukogude sotsialistliku korra tingimustes kasutatakse teaduse saavutusi rahvamajanduse edasise, veelgi kiirema tehnilise progressi saavutamiseks. Nõukogude teadlaste pingutused on suunatud rahva hüvanguks. Meil teenib teadus kommunismi võidu maailma-ajaloolist eesmärki.

Hoopis teine aga on teaduse olukord kapitalistlikes maades. Seal esineb teadus kapitalistlike monopolide palgalisena, ning on sellepärast määratud degradatsioonile, haletsemisväärsele virelemisele. Kapitalism püüab teaduse saavutusi kasutada mitte rahulikeks eesmärkideks, töörahva elutaseme tõstmiseks, vaid kui sõjarelva inimeste hävitamiseks.

Nii oli ka hapniku praktilise kasutamisega. Juba esimese maailmasõja ajal valmistasid prantsuse, hiljem aga ka saksa spetsialistid lennukipomme, mis olid täidetud orgaanilise ainega — absorberiga — ja vedela hapnikuga. Niisuguseid oksülikviitidega laetud pomme kasutati laialdaselt positsioonisõja perioodil, kui saadi korraldada vedela õhu juurdevedu rindelähedastesse lennubaasidesse.

Olles juba oma hävingu äärel, kasutasid kiskjalikud saksa fašistid teise maailmasõja viimasel perioodil veel kord hapnikku surmatoova relva loomiseks. Nagu teada, kasutati saksa raketmürskudes „V-2“ põlevainena piiritust, põlemisprotsessi maksimaalseks kiirendamiseks aga vedelat hapnikku. Iga niisugune raketmürsk vajab viis tonni vedelat hapnikku! Nende mürskudega pommitasid sakslased mitmesaja kilomeetri kauguselt Inglismaa rannikut.

Kuid see kõik ei päästnud saksa fašiste. Nad ei pääsenud teenitud karistusest. See peaks olema Ameerika ja Inglismaa sõjaavantüüride harrastajatele ähvardavaks hoiatuseks, kes ka praegu püüavad kasutada teaduse saavutusi uue sõja valla-päästmiseks.

*

Sellest ajast kui Venemaal Tentelevi keemiatehases esimesena lasti käiku väikene hapnikuseadis, pole möödunud veel 40 aastatki. See seadis andis kõigest 20 kuupmeetrit hapnikku tunnis. Enne Suurt Oktoobrirevolutsiooni oli tsaari-Venemaal ainult 18 niisugust hapnikuseadist. Mingist enam-vähem tõsisest hapniku praktilisest kasutamisest tööstuses ei saanud sel ajal juttugi olla.

Stalinlike viisaastakutega on meie maal loodud esmaklassiline masinaehitustööstus. Me lõime kaasaegsete sügavkülma-seadiste tööstuse, mis võimaldab toota vedelat hapnikku. Ent nende masinatega ei piirdu veel meie hapnikutööstuse mehhaaniline park. Alati pole kasulik kasutada vedelat hapnikku: selle äravedamisel hapnikutehasest me viime ju ühtlasi ära ka suure hulga külma, mille saamiseks kulutati palju elektri-energiat.

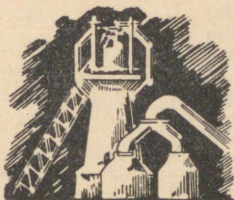
Sellepärast kasutataksegi vedela hapniku seadiste kõrval ka masinaid, mis annavad hapnikku kohe gaasi näol. Niisugused masinad aga tarvitavad palju vähem energiat.

Tehtud pole veel hoopiski mitte kõik. Kõrgahjude ja terasesulatamisahjude ning keemia- ja gaasitehaste üleviimiseks hapnikuga puhumisele on tarvis suuri, võimsaid hapnikuseadiseid. Igaüks neist hakkab andma tunnis kümneid tuhandeid kuupmeetreid odavat „tuliõhku“. Niisuguste seadiste loomisel töötavad nõukogude konstruktorid, ja pole kahtlust, et nende tööd kroonib edu.

Meie maa arendamise sõjajärgseil aastail pühendatakse erilist tähelepanu tööstuse edasisele mehhaniseerimisele ja elektrifitseerimisele, samuti aga ka uute tehnikaharude arendamisele. Üheks nendest harudest on hapnikutööstus. Hapniku laiaulatuslik kasutamine avab rahvamajandusele perspektiivid tunduvalt intensiivistada tehnoloogilisi protsesse, suurendada tehaste ja vabrikute tootlikkust.

Sellepärast oligi NSV Liidu rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaanis 1946—1950 ette nähtud hapniku juurutamine mitmesugustes tehnoloogilistes tootmisprotsessides, eelkõige aga metalli- ja keemiatööstuses.

Nõukogude rahvas viib edukalt ellu stalinlikud viie aasta plaanid. Mõõduvad veel mõningad aastad ja atmosfääri õhust hapnikku tootvad agregaadid muutuvad iga ettevõtte hädavajalikuks koostisosaks. „Tuliõhk“ aitab meie maa tööstuses teostada edasist tehnilist progressi.



TRÜ Raamatukogu

SISUKORD

◦ Sissejuhatus	3
◦ Suure teadlase laboratooriumis	4
◦ Kuidas avastati hapnik	5
Looduse ääretus varaaidas	6
◦ Kuidas saada hapnikku õhust	6
Pisut füüsikat	8
Uhest lihtsast, kuid tähtsast aparaadist	9
◦ Õhu puhastamine	10
Sügavkülma-masinad	12
Külma säilitamine	13
Kõrgrõhult madalrõhule	13
Madalrõhu-külmutusseadis	15
Kuidas vältida vedela õhu aurumist	16
Mõnedest vedela õhu omadustest	17
Atmosfääri miljondikud osad	19
Huvitavatest, kuid vähekasulikest projektidest	20
Puhta hapniku saamine	22
Hapnikupaagid	24
Oksülikviidid	26
Õled, mis võivad plahvatada	27
Kuidas vedel hapnik uuesti gaasiks muudetakse	29
„Tuliõhk“	30
Metallide töötlemine leegiga	31
Varad merede ja jõgede põhjast	33
Kõige „mugavam“ kütus	35
Kuidas kivisöest saadakse põlevgaasi	36
Üks tehnika suurtest võitudest	38
Hapniku puhumine metallurgias	41
Hapnik tööstuses ja elus	43
Tuleviku metalli-keemiakombinaat	45
Lõppsõna	48

Toimetaja R. Mägi.

Kaane kujundus V. Toots.

Tehniline toimetaja E. Plaks.

Korrektorid A. Kiho ja H. Sinilaid.

Ladumisele antud 17. V 1952. Trükkimisele antud 5. VII 1952. Paber 54×84 sm, 1/16. Trükiarv 5000. Trükipoognaid 3,25. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 2,67. Arvutuspoognaid 3,13. Tellimise nr. 998. MB-13542. Trükikoda „Punane Täht“, Tallinn, Pikk 54/58.

На эстонском языке.

Hind 95 kop.

95 kop.

