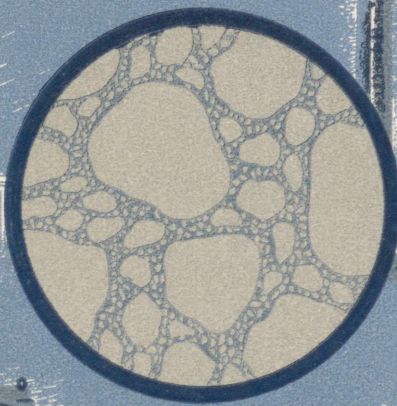


POPULAARTEADUSLIK  
SARI

A. TŠUIKO

EBATAVALINE  
KIVI



A-16558 II

A. V. TŠUIKO

# EBATAVALINE KIVI

(BETOON)



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

TALLINN 1955

Originaali tiitel:

A. B. Чуйко  
Необыкновенный камень  
(бетон)

Государственное издательство  
технико-теоретической литературы  
Москва 1953

Tõlkinud E. Soonurm

LUGEJALE.

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

*Tallinn,*

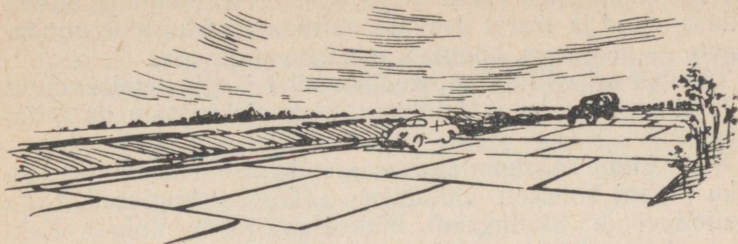
*Pärnu mnt. 10*

*Eesti Riikliku Kirjastuse*

*populaarteadusliku kirjanduse toimetus*

2





## SISSEJUHATUS

Vaevalt küll leidub tänapäeval kedagi, kes ei oleks kuulnud betoonist või raudbetoonist. Betoonist ja raudbetoonist rajatakse kõrg- ja martäänahjude, valtsimis- masinate ja mehaaniliste haamrite, presside ja tööpinkide vundamendid.

Betooni kasutatakse veetornide, estakaadide ja sildade, maanteede ja lennuväljade, staadionide ja tuletornide ehitamisel. Hoonete vundamendid, postid, talad, trepipedestid, rõdud, aknalauad — kõiki neid tehakse nüüd betoonist ja raudbetoonist.

Erilistes hoonete valmistamise tehastes valmistatakse nüüd raudbetoonist terved hoonete osad: seinad, laed, trepi marsid. Ehitusplatsil tuleb need osad vaid kokku monteerida ja maja ongi valmis.

Moskvas ja teistes meie maa linnades ehitatakse kõrghooneid. Nende hoonete vundamentidesse paigaldatakse kümneid tuhandeid kuupmeetreid betooni. Kõrghoonete skeletiks on tavaliselt teraskarkass, mis on kogu ehituse toeks. Kuid niisuguses majas ei kannu teraskarkass koormust üksinda, vaid koos teda tihedalt ümbritseva raudbetooniga.

Sügavale Moskva alla on rajatud kümneid kilomeetreid metroo tunneleid. Maa-alused tunnelid ja maä-aluste jaamade karkassid on tehtud raudbetoonist.

Tuhandeid kilomeetreid raudbetoonitorusid on maapõue asetatud veevarustuse ja kanalisatsiooni jaoks. Reas linnades on jõesängid kätketud hiiglasuurtesse raudbetoonitorusse.

Erinevalt teistest ehitusmaterjalidest võib betoon kivistuda vee all. See suurepärase betooni omadus võimaldab

ehitada tuletornide vundamente, kaiehitusi, muule ja dokke, sillasambaid ja merel asuvate naftapuurimistornide vundamente — otse vees, kümnete meetrite sügavusel.

Tänapäeval ehitatakse raudbetoonist isegi merelaevu.

Eriti suur on betooni tähtsus hüdroelektrijaamade ehitamisel.

NSV Liidu rahvamajanduse arendamise viienda viisaastaku plaani kohaselt ehitatakse säärased hiiglased nagu Kuibõševi ja Stalingradi hüdroelektrijaam Volgal, Kahhovka hüdroelektrijaam Dnepril, rida suuri hüdroelektrijaamu Kaamal, Irtõšil, Neemenil ja teistel jõgedel. Nende hüdrojaamade elektrienergia kindlustab meie sotsialistliku tootmise kiireima arengu ja tõstab veel kõrgemale nõukogude rahva heaolu.

Hüdroelektrijaamade ehitamine nõuab palju betooni. Ainuüksi Kuibõševi hüdroelektrijaama ehitamisel tuleb seda materjali kahe-kolme aasta jooksul paigaldada üle 6 miljoni kuupmeetri. Iga tund paigaldatakse siin ligikaudu 1000 kuupmeetrit betooni. See teeb peaaegu 700 kg sekundis — päris «betoonijõgi»!

Peaaegu polegi säärast ehitusala, kus tänapäeval betooni ei kasutataks.

Mida kujutab siis endast see suurepärane ehitusmaterjal? Missugused on tema omadused? Kuidas teda valmistatakse? Missuguseid betoone üldse esineb?

## I. MIS ON BETOON

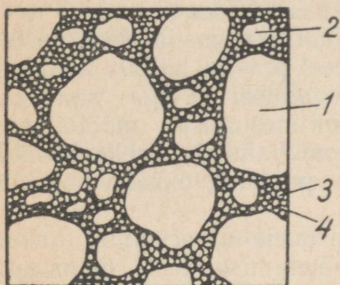
### KUNSTKIVI

Betoon on kunstlik kivi. Tema sisemist ehitust vaadeldes võib näha, et betoon koosneb kujult ja mõõtmeilt erinevatest kividest ja liivateradest, mis on omavahel liidetud spetsiaalse kunstliku kiviliimiga — tsementiga ehk, nagu tavaliselt räägitakse, kunstliku sideainega. Kuid samasuguse struktuuriga on ka mõned looduslikud kivid, näiteks liivakivid, konglomeraadid, bretšad. Liivakivi koosneb peamiselt väikestest liivateradest, konglomeraat suurematest ümarikest kiviosakestest — kruusast ja kivirähast — ning bretša — murenenud teravakandilistest kiviosakestest. Kõik need osakesed on kokku tsementeeritud mitmesuguste looduslike sideainetega — saviga, lubjaga, kipsiga, räni-

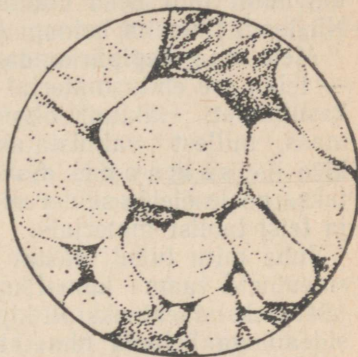
oksüüdiga jne. Järelikult konglomeraat, liivakivi ja bretsša on looduslikud betoonid.

Joonisel 2 on näidatud loodusliku konglomeraadi struktuur. Nagu näete, on see peaaegu samasugune kui betoonil (joon. 1).

Looduslikes tingimustes kulub kivide tekkeks miljoneid aastaid. Betoon aga valmistatakse ainult mõne päeva, sageli isegi mõne tunni jooksul!



Joon. 1. Betooni struktuur. 1 ja 2 — jämedad ja peened kruusaterad; 3 — liivaterad; 4 — tsementliim.



Joon. 2. Loodusliku konglomeraadi struktuur.

Betoon on ehitusmaterjalina tuntud alates kaugest minevikust. Juba 3600 aastat enne meie ajaarvamist ehitati Egiptuses Nimuse betoonpüramiid. On säilinud Babüloonia betoonehituste jäänuseid. Betooni kasutasid muistsed kreeklased ja kartaagolased.

Tunduv osa suurest Hiina müürist, mis püstitati III sajandil enne meie ajaarvamist, on samuti ehitatud betoonist.

Betooni kasutati ka vanas Roomas. Roomlaste poolt meie ajaarvamise algul püstitatud kuulus Panteon kaeti 40-meetrilise läbimõõduga betoonkupliga. Betooni kasutati teede ja linnamüüride ehitamisel. Roomlased kasutasid betooni isegi veealustes ehitustes, milledest osa on säilinud tänapäevani: muul Pozzulis Napoli lähedal, niinimetatud Caligula sild ja teised.

Mehhikos on leitud hoonete betoonvundamente, mis on ehitatud mitu tuhat aastat tagasi.

Ammu alustati betooni kasutamist ka meie kodumaa territooriumil. Muistses Urartu riigis kasutati juba VIII sajandil enne meie ajaarvamist betooni Argištihiinili (praeguse Armaviri) linna ehitamisel.

Kuid tsementi neil aegadel veel ei olnud. Betooni valmistamiseks kasutati algul savi, hiljem, ehitustehnika arenedes, aga kipsi ja lupja.

Segades savi rohuga või õlega, märkasid muistsed ehitajad, et säärasest massist on kerge teha kive: päikese käes kuivanult olid need elamute ehitamiseks küllalt tugevad. Nii loodi lihtsaim betooni liik — s a v i b e t o o n.

Meie maa stepipiirkondades — Ukrainas ja Kesk-Aasias — leiab see ehitusmaterjal ka veel praegu küllalt laialdast kasutamist. Hakitud õlgede segamisel saviga saadakse mass, millest valmistatakse mitmesuguste mõõtmetega kive — s a m a a n e. Savibetooni valmistamiseks kasutatakse peale õle ja savi veel liiva, puulehti, okkaid, kõrkjaid ja teisi taolisi materjale.

Juba mitu tuhat aastat enne meie ajaarvamist hakati sideaineid saama kunstlikult, põletamise teel. Esimeseks sääraseks sideaineks oli kipskivist saadud k i p s. Niisuguse sideainega betooni nimetatakse k i p s b e t o o n i k s.

Hiljem, kui õpiti valmistama lupja, kasutati seda sideainena uue betooniliigi — l u b i b e t o o n i valmistamiseks.

Kuid kõigil neil sideainel — savil, kipsil, lubjal — on olulisi puudusi.

Savi paisub vihma käes kiiresti ja savibetoonist kivid purunevad.

Selles suhtes ei ole paremad ka teised sideained — kips ja lubi. Kipsbetoon kivistub, kõveneb ainult õhus; ta kardab vett ja vihma käes puruneb järk-järgult. Samad puudused on ka lubibetoonil.

Seepärast ei levinudki minevikus savi, kipsi ja lubja baasil valmistatud betoon ehitusmaterjalina kuigi laialdaselt.

Tõsi, juba muistses Venes oskasid ehitajad saada ka h ü d r a u l i l i s i sideaineid, s. t. aineid, mis on võimelised tugevnema vees. Näiteks lisati lubjale juba tuhat aastat tagasi niinimetatud t e l l i s e j a h u — peeneks tambitud tellist või savinõude peeneks tambitud kilde. Sel juhul on lubi võimeline kivistuma ka vees.

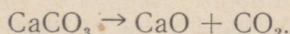
Vaatleme, mis seejuures toimub.

Põletamisel muutub lubjakivi põletatud lubjaks. Kui

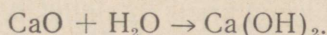
põletatud lubjakivi üle kallata veega, siis kivi korruga «elustub»: ta soojeneb, mureneb ja hakkab sõna tõsisel mõttes keema, paisates seejuures endast välja kuumi auru- ja gaasid. Seepärast nimetatakse põletatud lubjakivi kustutamata lubjaks (toorlubjaks) ja mõnikord ka «elusaks» lubjaks.

See toimub kõik järgmistel põhjustel.

Lubjakivi (paekivi) — ehk teisisi kaltsiumkarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) — on kolme elemendi — kaltsiumi, süsiniku ja hapniku keemiline ühend. Põletamisel (ligikaudu  $900^\circ$  juures) lendub paekivist süsihappegaas ( $\text{CO}_2$ ) ja saame kaltsiumoksüüdi ( $\text{CaO}$ ) ehk kustutamata lubja:



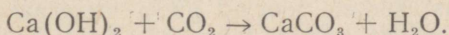
Säärase lubja ülekallamisel veega ehk, nagu sageli räägitakse, lubja kustutamisel ühineb ta keemiliselt veega:



Tekib valge peenike pulber — pulberlubi või, kui vett on palju, valge lubjatainas (lubjavikk).

Kustutamata lubja kustutamisel eraldub suurel hulgal varjatud keemilist energiat. Seepärast hakkabki kivi kustutamisel nagu keema.

Õhu käes lubjatainas kivistub. Imades õhust süsihappegaasi, muutub  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  uuesti  $\text{CaCO}_3$ -ks:



Vesi aurub seejuures järk-järgult.

Kuid õhus on süsihappegaasi väga vähesel hulgal (alla 0,04% mahust) ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  muutumine kaltsiumkarbonaadiks ( $\text{CaCO}_3$ ) toimub väga aeglaselt. Seepärast laguneb isegi pikemat aega õhu käes seisnud lubimört vees ikkagi, kuna suurem osa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -st jääb muutumatuks. Uuesti veega küllastudes kaotab ta sidevõime.

Kui me aga lubjale lisame peenestatud tellist, s. o. teiste sõnadega, põletatud savi, siis nende ainete segu omandab võime kivistuda vees. See toimub tänu sellele, et seejuures tekib keeruka koostisega keemiline ühend, millesse kuuluvad kaltsiumoksüüd ( $\text{CaO}$ ), alumiiniumoksüüd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ja ränioksüüd ( $\text{SiO}_2$ ).

Kuid ka tellisepuruga segatud toorlubi ei andnud vajaliku tugevusega betooni. Aja jooksul ta purunes üsna kiiresti.

Teadlastel tuli palju vaeva näha, enne kui nad leidsid erakordselt tugeva ja pikaalalise kunstkivi loomiseks kohase liimi.

Selliseks liimiks osutus t s e m e n t.

Selle leiutas Venemaal J. Tšelijejev möödunud sajandi algul.

Mida kujutab siis endast see ebatavaline kiviliim?

## KIVILIIM

Tänapäeva betoon valmistatakse kolmest põhilisest koostisosast: t s e m e n d i s t, v e e s t ja k i v i - t ä i t e m a t e r j a l i s t.

Täitematerjale kasutatakse jämedaid ja peeneid. Jämedaks täitematerjaliks on kruus või killustik, mis moodustab betooni skeleti. Jämeda täitematerjali vahele jaotub peenike — liiv. Ülejäävad tühemed täidetakse kiviliimiga — veega segatud tsemendiga.

Betooni põhiosaks on t s e m e n t. Mida suurem on tema liimimisvõime, mida tugevamini ta nakkub täitematerjali pinnaga, seda tugevam on betoon.

Mis on siis tsement?

Kuidas ta liimib liiva ja väikesed kivitükikesed üheks tervikuks — betooniks?

Paljude aastasadade jooksul püüti mineraalse<sup>1</sup> sideaine saamiseks kasutada puhast lubjakivi. Kuid XVIII sajandi algul tegid ehitajad kindlaks, et savilisand lubjakivis annab põletatud lubjale omaduse kivistuda vees. Niisugusest lubjakivist valmistatud veekindlat sideainet nimetati XVIII sajandil «simendiks» ehk tsemendiks.

On säilinud Peeter I poolt isiklikult kirjutatud korraldus Moskva linna komandandile:

«Härra polkovnik ja komandant. Selle kirja saamisele saada siia viivitamatult kaks-kolm tunni tsementi. Peeter. Sankt-Petersburg, maikuu 22. päeval 1710.»

<sup>1</sup> Mineraalseteks sideaineteks nimetatakse mitmesugustest kivimitest saadud liimaineid — savi, kipsi, lupja, tsementi.

Orgaanilisteks sideaineteks seevastu nimetatakse aga tisléri-liimi, tõkatit, bituumenit, mitmesuguseid tõrvu jt.

XVIII sajandi lõpul panid Venemaal akadeemik V. M. Severgini tööd teadusliku aluse tsemendi valmistamisele merglist — kivimist, mis peale lubjakivi sisaldab tunduval hulgal savilisandeid. Hiljem, aastatel 1818—1822, tõestas grupp Peterburi Teede Instituudi õppejõude, et tsementliim peab koosnema kaltsiumoksüüdiga ( $\text{CaO}$  ehk nn. põletatud lubjaga) keemiliselt seotud ränioksüüdiga ( $\text{SiO}_2$ ), alumiiniumoksüüdiga ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ja raudoksüüdiga ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Samadel aastatel alustati Peterburi lähedal tsemendi valmistamist lubjakivi ja savi kunstlikult valmistatud segust.

Tõelise revolutsiooni sideainete arengus teostas vene ehitaja J. Tšelijev, kes möödunud sajandi 20-ndate aastate algul sai tsementi savi ja lubja segu põletamise teel kuni paakumiseni.

Hiljem tegi väga palju kiviliimi tootmise arendamiseks ja täiustamiseks meie kaasmaalane prof. A. R. Šuljatšenko. Teda peetakse õigustatult Vene tsemenditööstuse isaks. Šuljatšenko juhtimisel ehitati Volski tsemenditehas, üks suurimaid meie maal.

Pärast tootmismeetodite täiustamist ja tsemendi kvaliteedi parandamist muutus tsement XIX sajandi teisel poolel peamiseks sideaineks betooni valmistamisel. Ja sellest ajast ongi betoon jäänud asendamatuks ehitusmaterjaliks.

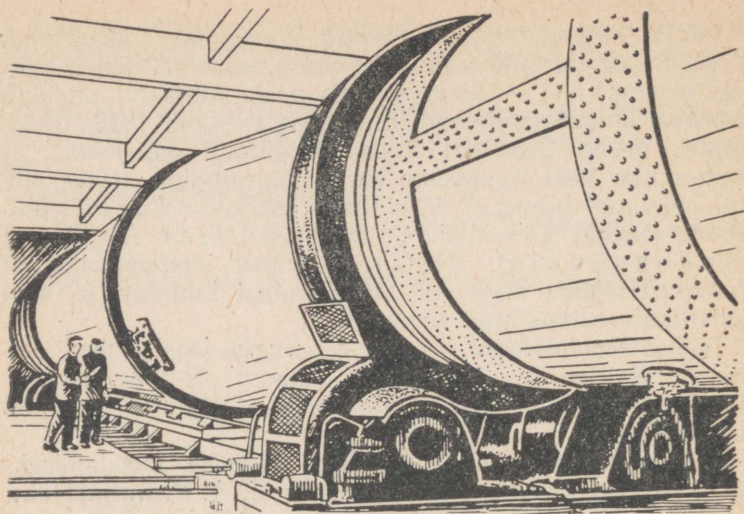
Tänapäeval valmistatakse tsementi järgmiselt.

Kiviliimi valmistamiseks võetakse segu, mis koosneb kolmest osast (kaaluliselt kuivaine kohta) lubjakivist ja ühest osast savist. Niisugust segu esineb vahel ka looduses. Need on nn. lubjamerglid. Sääraste kivimite leiukohtades — Novorossiiski rajoonis, Amvrossijevka jaama juures Donbassis ja teistes kohtades — asuvad meie suurimad tsemenditehased.

Kuid lubjamerglite leiukohti esineb siiski harva. Hoopis sagedamini leiavad geoloogid lubjakivi, mis sisaldab savi nõutud hulgast kas rohkem või vähem. Seepärast tuleb tsemendi valmistamisel niisugustest lubjakividest lisada neile kas puhast lubjakivi (näiteks kriiti) või savi.

Enamikus tsemenditehastes kasutataksegi kunstlikke segusid. Mõnikord võetakse savi asemel ka diatomiiti, treeplit, savikaid kiltkive, samuti kõrgahjušlakki või põlevkivikoksi, millised keemilise koosseisu poolest on lähedased savile.

Segu valmistamisel peenestatakse ja segatakse lubjakivi



Joon. 3. Tsemendi valmistamisel kasutatava põletusahju välisvaade.

ning savi hoolikalt. Saadud segu juhitakse hiiglasuurde aeglaselt pöörlevasse põletusahju. Ahi kujutab endast metallsilindrit, mille pikkus on kuni 150 meetrit ja läbimõõt ligikaudu 4 meetrit. Silinder asetseb peaaegu horisontaalselt, väikese kallakuga väljumisava suunas. Väljumisavast juhitakse suruõhuga töötava võimsa düüsi abil ahju pidevalt kütust — naftat või söetolmu.

Ahju kallakusest ja pöörlemisest tingitult liigub lubjakivi ja savi segu oma raskuse mõjul pidevalt tulele vastu, ise seejuures üha enam kuumenedes. Sedamööda, kuidas segu piki ahju edasi liigub, teeb ta läbi järgmised muutused. 100°-lise kuumuse juures kaotab segu niiskuse. 450—500°-lise temperatuuriga tsooni läbimisel põlevad segus ära orgaanilised lisandid — loomse ja taimse päritoluga ained — ning eemaldub savis sisalduv keemiliselt seotud vesi. Ligikaudu 900°-lise temperatuuri juures algab lubjakivi ( $\text{CaCO}_3$ ) lagunemine põletatud lubjaks ( $\text{CaO}$ ) ja süsihappegaasiks ( $\text{CO}_2$ ), kusjuures viimane eemaldub koos kütuse põlemisel tekkinud gaasidega. Seejärel hakkab põletatud lubi umbes 1200—1300°-lisel temperatuuril ühinema teiste, toorsegu koostisse kuuluvate ainetega: ränioksüüdiga

( $\text{SiO}_2$ ), alumiiniumoksüüdiga ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ja raudoksüüdiga ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Lõpuks 1400—1500° juures algab paakumine, s. o. toorsegu osaline sulamine, ja lõpeb samuti  $\text{CaO}$  ühinemine  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ja  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -ga.

Põletamise lõppedes moodustub paakunud kõva mass — niinimetatud klinker<sup>1</sup> — rohekashallid või tumehallid pähkli- või hernesuurused terad.

Uurimised mikroskoobiga selgitasid, et klinker koosneb lubjakivi ja savi paakumise tulemusena kujunenud neljast põhilisest mineraalst. 75% klinkrist moodustavad niinimetatud aliit ja beliit — põletatud lubja ja ränioksüüdi keemilised ühendid.

Aliidis on põletatud lubi ühinenud ränioksüüdiga trikaltsiumsilikaadi kujul (ränioksüüdi nimetatakse keemias ka silikaadiks) —  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  — ja beliidis dikaltsiumsilikaadi kujul —  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Peale selle leidub klinkris veel põletatud lubjast ja alumiiniumoksüüdist koosnevat mineraali  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , mida nimetatakse trikaltsiumaluminaadiks, ja põletatud lubjast, alumiiniumoksüüdist ning raudoksüüdist koosnevat mineraali  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Et klinker koosneb  $\frac{3}{4}$  ulatuses kaltsiumsilikaatidest, siis nimetatakse temast saadud tsemendi silikaattsemendiks (portlandtsemendiks).

Trikaltsiumsilikaat ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) tekib tavaliselt 1700°-lise temperatuuri juures, kuid tsemendiahjudes ei ületa temperatuur 1500 kraadi. See ongi põhjuseks, miks kiviliimi valmistamisel ei tohi võtta ainult ränioksüüdi ja lubja, vaid tuleb kasutada ka savi. Nimelt leidub savis ränioksüüdi kõrval alumiinium- ja raudoksüüdi, mis sulades alandavad ränioksüüdi ja lubja segu paakumise temperatuuri.

Aliidiga ja beliidiga sarnanevaid mineraale looduses ei leidu, sest looduslikkudes tingimustes on nad äärmiselt ebapüsivad ja kergesti lagunevad.

Klinkris võib nimetatud mineraalide suhe olla mitmesugune. Sellest sõltuvalt muutuvad tsemendi omadused. Nii näiteks soodustab suur aliidisisaldus tsemendis kiiresti suure tugevusega betooni tekkimist. Säärane tsement kivistub madalate temperatuuride juures suhteliselt hästi. Seepärast on parem kasutada talvel aliitsemienti.

---

<sup>1</sup> Ehitustehnikas nimetatakse klinkriks ka erilist suure tugevusega telliskiviliiki.

Kuid klinker ei ole veel tsement.

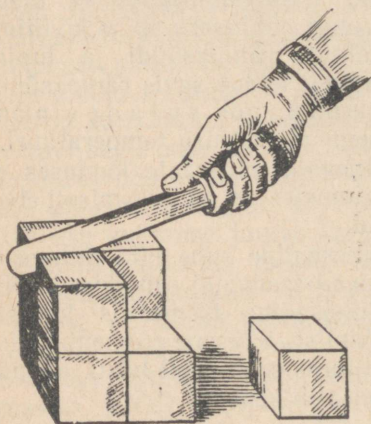
Et tulisest klinkrist head tsementi saada, püütakse teda kiiresti jahutada. Selleks otstarbeks paigutatakse ahjude juurde erilised pöörlevad trumlid — jahutusseadmed. Nendes jahutatakse 900—1200°-lise temperatuuriga klinkrit õhujugade abil. Läbinud jahutusseadme, jõuab klinker lattu. Mõne aja järel juhitakse ta sealt veskisse, kus ta malmkuulidega purustatakse peeneks pulbriks. Klinkri jahvatamisel lisatakse talle kuni 3% kipsi ja kuni 15% mitmesuguseid niinimetatud hüdraulilisi lisandeid — diatomiiti ja mitmesuguse kõvadusega treepelit. Need lisandid parandavad tsemendi kvaliteeti ja alandavad tootmiskulusid.

Nii saadakse tsement. See on hall, puutumisel väga pehme ja peenike pulber. Kui teda sõeluda sõelal, millel on 10 000 augukest ühel ruutsentimeetril, siis üle 60% tema teradest (kaalu järgi) läbib sõela.

Tuntakse palju erinevaid tsemente. Ühed kivistuvad kiiresti, teised aeglaselt. Kõige vastutusrikkamate betoonehituste püstitamiseks määratud tsement annab suure sidumisvõimega liimi ja järelkult ka suure tugevusega betooni. Teised tsemendid annavad väiksema tugevusega betoone.

Hüdrotehniliste ehituste jaoks toodetakse üht liiki tsementi, teede ehituse jaoks — teist, ehitusmörtide jaoks — kolmandat. Ja kõikide nende tsementide erinevus sõltub sellest, missuguses vahekorras on tsemendis eespool vaadeldud neli põhilist mineraali.

Mida peeneteralisem on tsement, seda paremaks teda peetakse, seda suurema liimimisvõimega ta on. See on arusaadav. Mida suurem on osakeste pind, seda täielikumalt ja energilisemalt toimuvad sideainete füüsikalised-keemilised protsessid. Huvitavat näidet selle kohta, kuidas suureneb reaktsioonikiirus olenevalt jahvatuse peensusest, võib näha, võrreldes



Joon. 4. Materjali tükeldamisel suureneb tema pind.

kivisöetüki ja kivisöetolmu põlemist. Kui 500 grammi raskuse kivisöetükikese põlemiseks kulub aega 30 minutit, siis sama grammide hulk kivisöetolmu põleb 0,4 sekundi jooksul — 4500 korda kiiremini!

Kõva keha tükeldamisel suureneb tema pind tunduvalt. Ühe kuupsentimeetri mistahes aine pealispind on 6 ruutsentimeetrit. Kui aga tükeldada see aine 1000 osaks, siis nende osakeste kogupindala on juba 60 ja miljoniks osaks tükeldamisel koguni 600 ruutsentimeetrit. Sedasama kuupsentimeetrit ainet võib edasise jahvatamise teel peenestada niivõrd, et tema pinda mõõdetakse tuhandete ja kümnete tuhandete ruutsentimeetritega. Säärase ülipeene jahvatuse puhul kiireneb reaktsioon mitmekordselt.

Üks kuupsentimeeter tsemendipulbrit sisaldab mitu miljonit tsemenditerakest. Nende kogupindala mõõdetakse tuhandete ruutsentimeetritega. See ongi põhjus, miks peeneks jahvatatud tsemendil on suur liimimisvõime.

Milles peitub siis tsemendi liimimisvõime saladus?

Segades tsemendipulbrit veega, saame tsemenditainas, mis on paks ja sitke nagu hapukoor.

Kui säärasesse «hapukoosesse» lasta nõel, siis ei kohta see vajumisel mingit vastupanu. Nii on aga ainult alguses. Kahekolme tunni pärast muutub tsemenditainas tihedamaks. Seda tsemenditainas tihenenud olekut nimetatakse tsemenditardumise alguseks. Edaspidi tungib nõel ikka vähem ja vähem tainasse. Pärast 8—10 tundi on tainas niivõrd tardunud, et nõel tungib temasse veel ainult 1 millimeetri võrra. See on tsemenditardumise lõpp. Tsemenditainas on muutunud tsemmentkiviks.

Kui tsemmentkivi asetada vette, siis ta ei ligune pehmeks, vaid muutub hoopis tugevamaks.

Savi segamisel veega saame segu, kus saviosakesed on kattunud paksu veekilega. Säärase segu kuivamisel aurab vesi välja algul suurtest pooridest ja seejärel väikestest — kapillaaridest. Kõvad osakesed liginevad üksteisele ja savi kivistub. Seejuures liidab ta ka kõik temaga segatud osakesed.

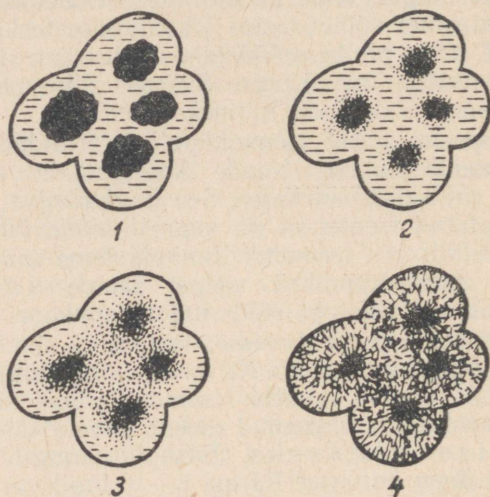
Kui aga savi niisutada, siis lõhub vesi uuesti ühendused tema osakeste vahel ja savist kunstkivi puruneb.

Hoopis teisiti on lood tsemendi kivistumisel.

Tsemendi asetamisel vette algab vee ja tsemenditerakeste vahel keemiline reaktsioon, keemiline vastastikune mõjusutus. Seejuures lagunevad tsemendi koostisse kuuluvaist

mineraalidest ühed (näiteks alii) lihtsamateks keemilisteks ühenditeks, mis seovad vett, teised aga ühinevad veega, ise seejuures keemiliselt lagunemata. Reaktsiooni tagajärjeks on see, et vee ja tsemenditerakeste kokkupuute pindadel tekivad lahustuvad reaktsiooni saadused.

Lahustudes paljastavad nad tsemenditera järgmise kihi. See kiht satub nüüd omakorda kokkupuutesse veega, mille tagajärjel tekkivad ühendid lahustuvad jälle tsemenditera



Joon. 5. Joonisel on näidatud, kuidas tsemenditainas järk-järgult muutub tsementkiviks.

1 — tsemenditerad veega segamise algperioodil; 2 — tsemenditerade lahustumise algus; 3 — tsementliimi — geeli tekkimise periood; 4 — kristalliseerumisperiood.

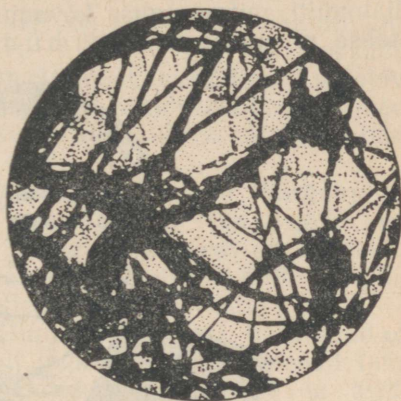
ümbritsevas vedelikus. See toimub seni, kuni vedelik muutub küllastatud lahuseks. Pärast seda lõpeb reaktsiooni saaduste lahustumine ja nad hakkavad eralduma peente kristallidena.

Iga tsemenditera ümber moodustub niinimetatud geel — sültjas liimitaoline mass (joon. 5). Mida vähem on geel veega lahjendatud, seda suurem on tema liimimisvõime. Tekkinud geel hakkab omavahel kokku liimima tsemendi-

terakesi või täitematerjalidega segudes ka liiva-, kruusa- ja killustikuteri.

Kuid sellega protsess veel ei lõpe. Tsemenditerakeste sisemuses jätkub tsemendi mineraalide ja teri ümbritsevas

süldis sisalduva vee keemiline ühinemine, mille tõttu tsementliim järkjärgult veest vabaneb. Tsementliim pakseneb, kaotab liikuvuse ja hakkab t a r d u m a. Seejuures lähevad kaltsiumhüdroksüüd  $[Ca(OH)_2]$  ja trikalsiumhüdroalumiinaat  $(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O)$  vähe püsivast kolloidsest olekust üle püsivamasse — kristal- ssesse olekusse. Selle tagajärjel tekkivad väga väikesed kristallikesed tungivad ikka rohkem ja rohkem läbi geeli ning kasvavad kokku. Tse-



Joon. 6. Nii näeb välja kivistunud tsement elektronmikroskoobi all. Selgesti on näha tekkinud kristallid.

mentliim üha pakseneb ja ikka rohkem tekib temas kristalle. Nii muutub sültjas tsementliim järkjärgult tugevaks kiviks.

Betooni valmistamisel segatakse vedel tsemenditainas täitematerjaliga. Tungides betoonisegu kõikidesse tühemettesse, liimib tsemenditainas täitematerjali üheks tervikuks. Mõödub mõni aeg ja kivistunud tsementkivi seob täitematerjali tugevaks monoliidiks.

Seejuures toimub täitematerjali ja tsementkivi pinnakihtides leiduvate mineraalide vahel veel keemiline reaktsioon, mille tagajärjel tekib rida uusi keemilisi ühendeid. Need ühendid liidavad täitematerjali veel tugevamini tsementliimiga.

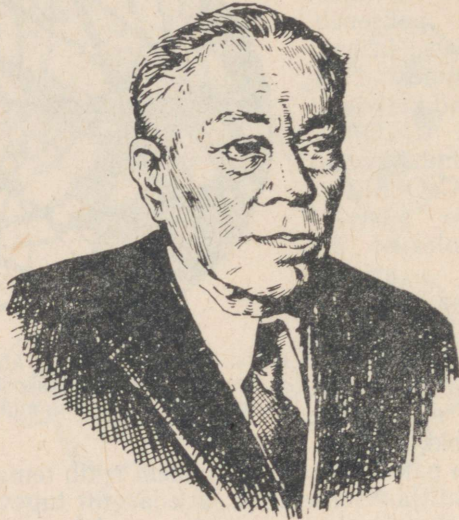
Tsement (ja seega ka betoon) tugevneb, «kogub jõudu» aastate ja sageli isegi aastakümnete vältel. Kogu selle aja jooksul tungib vesi ikka sügavamale tsemenditeradesse ja põhjustab neis lahustumis-, sülditekkimis- ning kristalliseerumisprotsesse.

Nii seletub tsemendipulbri ebatavaline omadus muutuda vees kiviks!

Kirjeldatud tsementide kivistumise teooria on välja töötanud 20-ndatel aastatel akad. A. A. Baikov ja seda on edasi arendanud prof. V. F. Zuravljov ja A. J. Seikin.

Eespool me jutustasime silikaattsemendist kui kõige levinumast. Kuid peale selle tuntakse ka kiviliimi teisi liike.

Kui tsemendile lisatakse üle 15% hüdraulisi lisandeid (diatomiiti, mitmesuguse kõvadusega treepelit), siis nimetatakse niisugust tsementi hüdrauliliste lisandi-



A. A. Baikov.

tega silikaattsemendiks (nimetatakse ka puzzolaantsemendiks).

Kiviliimi saadakse ka kõrgahjušlakkidest, mille koostisse kuuluvad tavaliselt samad keemilised ühendid kui harilikul silikaattsemendilgi. Et šlakk omandaks kiviliimi omadused, selleks jahutatakse teda kõrgahjust väljumisel kiiresti veega või jahutatud õhuga. Šlakk tardub seejuures teradena. Neist teradest saadaksegi pärast jahvatamist tsement.

Esimese maailmasõja ajal märkasid sakslased, et prantslased õõ jooksul taastasid päevasel pommitamisel purustatud betoonkindlustused. Pealetungil edasi liikudes parandasid nad purustatud raudbetoonsillad väga kiiresti. Oli selge, et prantslased kasutasid mingisugust uut, erakordselt

kiiresti kivistuvat tsementi. Selle tsemendi tootmist hoiti suures saladuses ja alles hiljem saadi teada, mis tsement see on. Tänapäeval tuntakse teda aluminaattsemendi nime all. Selle tsemendi koostises on 40—47% alumiinium-oksüüdi, 40—46% kaltsiumoksüüdi ja kõigest 6—10% räni-oksüüdi.

Aluminaattsemendi tootmisel on tooraineks alumiiniumi-maak (boksiit) ja lubjakivi. Mida vähem on boksiidis kõrvallisandeid, seda parem tsement saadakse. Lubjakivi peab olema eriti puhas, minimaalse ränioksüüdi- ja magneesiumoksüüdi-sisaldusega. Need lisandid on aluminaattsemendile kahjulikud.

Aluminaattsementi saadakse elektri- või kõrgahjudes sulatamise teel. Seepärast nimetatakse teda sageli veel sulatatud tsemendiks. Niisugune tsement on võimeline juba ööpäeva jooksul andma sellise tugevuse, mille tavaline silikaattsement omandab alles kuu aja pärast!

Tänapäeval kasutatakse aluminaattsementi, mille hind on veel küllalt kõrge, peamiselt avariitöödel: purunenud tam- mide, dokkide ja torude parandamisel, sildade ja teede remontimisel jne.

Nagu teada, rajatakse nafta tootmisel sageli mitme tuhande meetri sügavusi puurauke<sup>1</sup>. Seejuures täitub puur- auku ümbritsev torukujuline ruum peaaegu alati veega. Vesi on naftast raskem ja valgudes puuraugu põhja ras- kendab ta tugevasti nafta ammutamist. Seepärast täide- takse puurauku ümbritsev ruum vettpidava massiga — ta- t a m p o n e e r i t a k s e. Selleks otstarbeks toodab meie tsemenditööstus erilist tsementi — t a m p o o n t s e- m e n t i.

Selliseid tsemente on mitut liiki. Kui temperatuur puur- augus ei ületa 40°, siis kasutatakse niinimetatud «külmade» puuraukude tsementi. 70—80°-lise temperatuuri puhul augus kasutatakse «kuumadele» puuraukudele määratud tampoontsemente. Nõrku kivimeid läbivate puuraukude tamponeerimisel kulub pragude täiteks palju tsementliimi. Seepärast kasutatakse sel puhul kiulist tsementi (a s b e s t t s e m e n t i). See on erilise koostisega silikaat- tsement, millele jahvatamisel on lisatud umbes 3% asbesti- kiude. Tamponeerimisel ummistavad asbestikiud praod ja tõkestavad sellega tsementliimi voolamist nendesse.

<sup>1</sup> Lähemalt selle kohta vaata brošüürist Д. А. Катренко, Чёрное золото, «Научно-популярная библиотека», Гостехиздат.

Tavalisel silikaattsemendil on üks puudus — tal on tume värvus. Seepärast on hoonete fassaadide ja ruumide sise-pindade arhitektuuriliseks viimistlemiseks loodud erilised valged ja värvilised dekoratiivtsemendid.

Tumeda värvuse annavad tsemendile peamiselt raudoksüüdid. Seepärast kasutatakse valge tsemendi saamiseks toorainet, mis sisaldab seda lisandit väga vähe.

Valge tsemendi klinkri põletamine toimub kõrge-  
mas temperatuuris. Pöörlevast ahjust väljumisel juhitakse klinker spetsiaalsesse aparati — valgendajasse. Seal mõjustatakse teda kaks-kolm minutit generaatori-  
gaasiga ja pärast seda jahutatakse hapnikuta keskkonnas. Seejuures muutub raudoksüüd teiseks ühendiks, tsement aga lumivalgeks.

Värvilisi tsemente saadakse valge klinkri jahva-  
tamisel koos mineraalsete värvainetega — ookruga, raua-  
mennikuga (annab kreemi ja punase varjundi), mangaani-  
maagiga (pruun värvus), ultramariiniga (sinine) jne.

Valgeid ja värvilisi tsemente kasutatakse kunstmarmori valmistamisel.

Nõukogude teadlased teevad suurt tööd tsementide kvali-  
teedi parandamiseks.

Mida kestmam on tsemendi ja vee vastastikune toime, seda tugevam tuleb tsementkivi. Siiski eraldub aliidi ja vee vastastikusel toimel vaba lubi —  $\text{Ca(OH)}_2$ . Kui betoon asub vee all, siis võib voolav vesi vaba lubja kergesti välja pesta. Tsementkivi muutub poorseks ja betooni tugevus väheneb. Selle vältimiseks lisatakse tsemendile (klinkri jahvatamisel veskites) varem mainitud hüdraulilisi lisandeid. Hüdraulilisi lisandeid on looduslikke ja kunstlikke. Looduslikeks lisandideks peetakse vulkaanilisi (vulkaaniline tuhk, pimss, trass, tuff) ja settekivimeid (diatomiit, treepel) ning kunstlikeks lisandideks muistses Venes kasutatud tellise-  
jahu jt.

Need lisandid sisaldavad niinimetatud aktiivset räni-  
hapendit, mis vee juuresolekul on võimeline ühinema vaba lubjaga ja moodustama vees lahustumatu keemilise ühendi.

Ehituspraktikas on teada juhtumeid, kus väävliühendeid sisaldava vee toimele betoon praguneb. Selle nähtuse põhju-  
seks on asjaolu, et väävliit sisaldavad ained moodustavad tsementkiviga erilise ühendi batsille meenutavate peente nõelte näol. Sageli neid nimetataksegi «tsementibatsilli-  
deks». «Batsilli» arenedes suureneb tema maht tunduvalt.

Tsemendi paisumine lõpeb betoonile kõige saatuslikumalt — betoon puruneb. Vee mõjul muutub «tsemendibatsill» betoonist väljavoolavaks vedelaks valgeks limaks. Saabub betooni «valge surm».

Nõukogude teadlased, V. V. Mihhailov ja teised, püstitasid ülesande — luua tsement, mis ei kardaks «tsemendibatsilli». Ülesanne lahendati edukalt. 1942. aastal loodigi niisugune tsement. See on tsement, millele tehakse noores eas «batsilli» kaitsesüstimine. Noores eas «põdedes» muutub tsement «nakkuse» suhtes immuunseks. «Tsemendibatsill» tekib tsemendi kivistumise perioodil. Tänu sellele tsementkivi kivistudes paisub ja ühtlasi tiheneb. Õhus kivistumisel ei esine kahanemist, s. t. maht ei vähene.

Esmakordselt kasutati p a i s u v a t tsementi 1943. aastal hitlerlaste poolt purustatud raudbetoonehituste taastamisel. Tühemed ehitustes täideti paisuvast tsemendist valmistatud betooniga. Kivistudes kasvas säärane betoon tihedasti kokku raudbetoonehituse vana osaga. 1948. aastast alates hakati paisuvat tsementi kasutama metroo tunnelite tihendamisel. 10—15 minuti jooksul pärast paisuva tsemendi kasutamist kindlustati tunnelile täielik veetihedus.

Praegu kasutatakse paisuvat tsementi edukalt mitmesuguste masinate kinnitamisel vundamentidele, betoon- ja raudbetoonkonstruktsioonide pragude, tühemete ja avade täitmisel.

Tsemendipulber on väga tundlik õhus sisalduva niiskuse ja süsihappe suhtes. Ladudes hoidmisel kattub ta koorikuga, mis sisaldab tsemendi ja õhu niiskuse ning süsihappe vastastikusel toimel tekkinud kaltsiumkarbonaati ja kaltsiumhüdrosilikaati. Seejuures tsemendi aktiivsus, s. o. tema võime materjale tugevasti ühendada, alaneb tunduvalt. Eriti suur on tsemendi aktiivsuse kadu tema transportimisel veeteed mööda või lahtiselt raudteevagunites ja autodes.

Nõukogude teadlased M. I. Higerovitš ja B. G. Skramtajev valmistasid tsemendi, mis kaitseb end atmosfääri niiskuse vastu. Seda tsementi nimetatakse h ü d r o f o o b s e k s, s. t. «vett eemaletõukavaks».

Uut tsementi saadakse tavalise klinkri jahvatamisel koos erilise ainega — h ü d r o f o o b s e l i s a n d i g a, näiteks naftaseebi või oleiinhappega. Need ained katavad tsemenditerakeste pinna õhukese kilega ja kaitsevad sel viisil neid niiskumast, just nagu rasvamääre katab ja kaitseb lindude sulgi märgumast. Betooni valmistamist kile ei sega, sest

betonisegu segamisel betoonisegistis kistakse ta kruusa, killustiku ja karedate liivaterade poolt täielikult maha.

Kestval hoidmisel ja transportimisel suurematele kaugustele säilitab hüdrofoobne tsement peaaegu täielikult oma aktiivsuse. Ta ei muutu tükiliseks ega kleepu kokku isegi vihma kätte sattudes.

Peale nimetatud tsementide on nõukogude teadlased loonud rea teisi tsemente, mis erinevad üksteisest oma omaduste poolest, nagu plastifitseeritud, kolme komponendiga (hüdraulilise ning peenliiva lisandiga hüdrotehniline tsement), mittekahanev, happekiindel tsement jne.

Tsementide alal on teadusele väga palju andnud nõukogude teadlased S. I. Družinin, V. A. Kind, V. N. Jung, P. P. Budnikov, S. D. Okorokov ja teised.

### BETOONI OMADUSED

Tänapäeval esineb palju erinevaid betoone: raskeid ja kergeid, tihedaid ja poorseid. Neist me jutustame oma raamatukeses edaspidi. Siinkohal aga tutvume kõige enam levinud tavalise betooni — raske tsementbetooni omadustega. Säärase betooni valmistamiseks kasutatakse looduslikku liiva ja kruusa ning rasketest kivimitest — graniidist, paekivist või kvartsiidist killustikku.

Kõigepealt räägime betooni tugevusest. Tugevus, see kõikide ehitusmaterjalide põhiline omadus, on võime vastu panna välisjõududele, ise seejuures purunemata. Seepärast on vaja osata tugevust mõõta ja väljendada teda mingisuguste arvudega. Ei või lihtsalt öelda, et see materjal on tugev, aga too mitte. Aga kui palju tugevam? Kuidas seda teada saada?

Kuidas mõõdetakse siis betooni tugevust? Betooni tugevuse määramiseks valmistatakse 20-sentimeetriliste küljepikkustega betoonkuubikud ja surutakse siis neid eriliste pressidega. Surumine kestab tavaliselt kuni kuubiku purunemiseni.

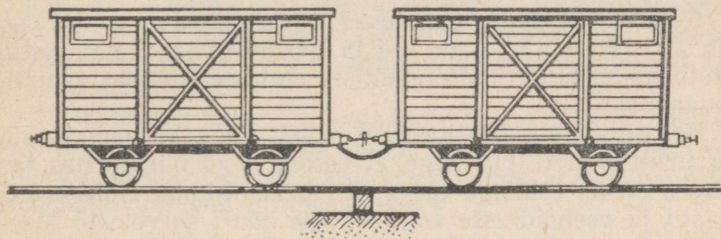
Betooni survetugevus määratakse katsekeha ristlõike pinnaühiku kohta tuleva purustava koormuse suurusega. Teda mõõdetakse kilogrammides ruutsentimeetri kohta ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Olenevalt survetugevusest jaotatakse betoon reaks mar-

kideks. Näiteks betooni mark «100» tähendab, et tema tugevus ei tohi olla vähem kui  $100 \text{ kg/cm}^2$ . Teiste sõnadega, betoonist margiga «100» valmistatud 20-sentimeetrilise küljepikkusega kuubik peab purunematult taluma koormist  $100 \times 20 \times 20 = 40\,000$  kilogrammi ehk 40 tonni. See on peaaegu kahe suure kaubavaguni kaal (joon. 7).

Ehitustegevuses kasutatakse mitmesuguseid betoonimärke — alates «50» kuni «600» ja rohkem.

Hoonete vundamentides kasutatakse betoone tugevusega 50 kuni  $100 \text{ kg/cm}^2$ . Hüdrotehniliste ehituste — tammide, lüüside, kaide ehitamisel kasutatakse betooni tugevusega



Joon. 7. Betoonkuubik, mille mõõtmed on  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ , võib purunematult taluda kahe kaubavaguni kaalu.

100 kuni  $200 \text{ kg/cm}^2$ , monteeritavate või kiirmeetodil ehitatavate raudbetoonkonstruktsioonide puhul aga veel tugevamaid.

Millest oleneb siis betooni tugevus? Mispärast ühtedel betoonidel on väga suur tugevus, ütleme  $600\text{--}700 \text{ kg/cm}^2$ , teistel ainult  $50 \text{ kg/cm}^2$ ?

Betooni tugevus oleneb peamiselt täitematerjali ja tsementkivi tugevusest. Mida tugevamad need on ning mida tugevamini seotakse täitematerjal tsementliimiga, seda tugevam on ka betoon ise.

Agasiiinjuures on veel huvitavat ja tähtsat. Kui tellise, puidu, raua ja looduslike kivide tugevus aja jooksul ei muutu, siis betoon on võimeline pikema aja vältel ise tugevema. Äsja valmistatud betoon sarnaneb raske vedelikuga. Teda võib isegi pumpadega pumbata. Seepärast nimetataksegi värsket betooni mitte betooniks, vaid *b e t o o n i s e g u k s*. Hiljem see segu kivistub ja muutub kiviks. Kui betoon on veel «noor», siis kasvab tema tugevus kiiresti;

hiljem, «mehestumisel», tugevnemise kasvu kiirus aeglustub, kuid tugevnemine ei lakka paljude aastate, sageli isegi aastakümnete jooksul. Kui näiteks võtta ühekuuse betooni tugevus võrdseks 100 protsendiga, siis poole aasta pärast on see juba 150, 2 aasta pärast 200, 5 aasta pärast aga 225 protsenti.

Betoon ei karda vee ega õhu mõju. See on väga hinnatav omadus. Nagu teada, puruneb enamik ehitusmaterjale atmosfääriliste mõjustuste tõttu võrdlemisi kiiresti. Puit näiteks mädaneb ja puruneb, raud roostetab niiske õhu käes jne.

Betooni võib valmistada väga tihedana, ilma tühemeteta ja pragudeta, nagu ühest kivist valatuna.

Kõik need betooni omadused — tugevus, veekindlus, tihedus — teevad ta parimaks ja asendamatuks ehitusmaterjaliks hüdrotehniliste ehituste, näiteks tammide rajamisel.

Betoonitammid püstitatakse sageli väga kõrged — 200 ja enam meetrit. On selge, et betoon peab niisugustes tammides olema eelkõige tugev. Ta peab taluma ehituse oma kaalu ja veehoidlasse kogutud vee suurt survet. 45 meetri kõrgune veesammas rõhub betooni jõuga 1000 tonni tammi iga jooksva meetri kohta! Peale selle mõjuvad tammile lainete löögid, jäätekkimise ja -lagunemise ajal aga jääsurve ja -löögid.

Veehoidlas olev vesi püüab suure surve tõttu kogu aeg tammist läbi immitseda, läbi tungida. Seda nähtust nimetatakse filtratsiooniks. Läbi betoonitammide tungides vesi lahustab ja kannab välja tsementkivi koostisosakesi, eelkõige vaba lupja  $\text{Ca(OH)}_2$ . See esialgu mittemärgatav nähtus võib viia katastroofiliste tagajärgedeni — isegi tammi purunemiseni. Taolisi juhtumeid on esinenud korduvalt.

1923. aastal ehitati Põhja-Itaalias betoonitamm. Tammi paigaldatud betooni ei kontrollitud küllaldaselt. Umbes kuu aega pärast tööde lõpetamist algasid vihmajärged. Veehoidla täitus ülemäära ja kogu tammi keskmine osa varises kokku. Veehoidla vesi tormas alla. Toimus kohutav katastroof, kus hukkus 500 inimest.

Kuidas betoon veekindlaks tehakse, sellest jutustatakse üksikasjaliselt edaspidi.

Betoonil on veel üks väärtuslik omadus — ta on k ü l m a k i n d e l.

Nagu teada, paisub vesi külmudes. Sattudes kivi pooridesse, purustab ta järk-järgult isegi kõige kõvemad kivid. Tihe kunstkivi — betoon — on selles suhtes väga püsiv.

Betoon on ka tulekindel materjal. Temperatuuri muutus tema tugevust peaaegu ei mõjosta. Tulekahjude puhul, kus temperatuur tõuseb sageli 1000 kraadini, kaotab metall oma tugevusest õige tunduvalt. Betoonil on aga väike soojajuhtivus (peaaegu 50 korda väiksem kui terasel), ta kuumeneb ainult pinnalt ja seepärast peaaegu ei kaotagi oma mehaanilist tugevust.

Lõpuks ei saa märkimata jätta ka seda, et betooni pind on kergesti töödeldav. Talle võib anda väga ilusa välimuse, mis ei jää maha marmorist. Selleks kasutatakse marmoripuru, mitmesuguseid värvaineid ja värvilisi sideaineid.

Järelikult on betoon oma omaduste poolest teistest ehitusmaterjalidest parem. Ta on tugev, vettpidav; ei karda vett, tuld ega külma. See on tõesti ebatavaline kivi, tänapäeva tähelepanuväärseim ehitusmaterjal.

#### ARMEERITUD BETOON

Nagu igal kivil, nii on ka betooni tugevus alati kõige suurem survejõudude mõjumisel. Betooni tugevus tõmbele ja paindele on märgatavalt väiksem. Et tõsta betooni kvaliteeti, selleks paigutatakse temasse terasvardad — armatuur.

Võtame näiteks betoontala, mille pikkus on 2 m, kõrgus 25 cm ja laius 18 cm. Tala kaalub ligikaudu 200 kg. Kui tala on valmistatud betoonist margiga «200», siis on ta võimeline taluma ainult 400-kilogrammelist koormust.

Et tala ei puruneks, selleks peab koormus olema veel kaks-kolm korda väiksem. Säärast koormuse vähendamist nimetatakse tugevuse tagavaraks ja arvu, mis näitab, mitu korda on purustavat koormust vähendatud, — tugevuse tagavara teguriks.

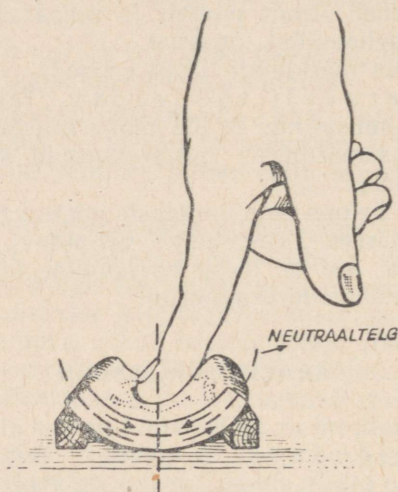
Tugevuse tagavara peab olema seda suurem, mida ebaühtlasem on materjal oma siseehituselt. Seepärast võetakse betooni puhul tugevuse tagavara teguriks 3.

Seega võime oma tala koormata ainult 130—140 kilogrammiga, s. t. ta võib ohutult kanda ainult kahe inimese kaalu.

Kui aga asetame samasse talasse armatuurina kuus terasvarrast, siis muutub pilt kohe järsult. Tala võib kanda juba 12 korda suuremat koormust. Ta talub näiteks auto raskust.

Asetades niiviisi betoontalasse kuus terasvarrast kogu-kaaluga umbes 20 kilogrammi, suurendame tala tõmbetu-gevust paindel mitmekordselt.

Terasarmatuur nagu «relvastaks» betooni. Armeeritud



Joon. 8.

betoon (s. o. armatuuriga varustatud betoon) töötab hästi mitte ainult survel, vaid ka tõmbel ja paindel.

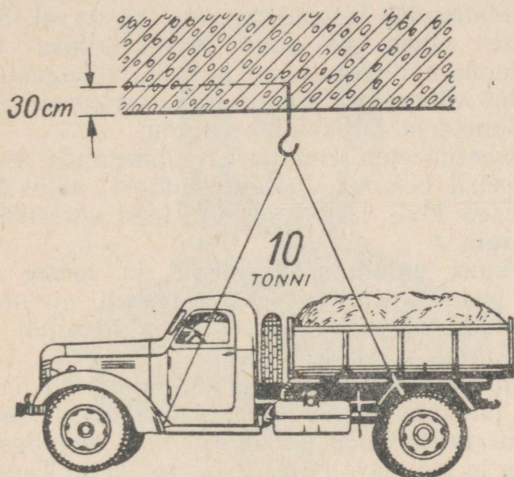
Terasvarrastega armeeritud betooni nimetatakse raudbetooniks. Tõsi küll, tänapäeval kasutatakse raudbetoonis peamiselt terast ja seepärast oleks õigem teda nimetada terasbetooniks.

Kuidas siis betooni «relvastatakse»?

Võtame tavalise kustutuskummi ja tõmbame tema paksuse keskkohale joone (joon. 8). Vajutage kummile nii, nagu on näidatud joonisel. Ülemises osas tõmbub kumm kokku ja alumises venib. Keskosas, kuhu joone tõmbasime, kummi pikkus ei muutu. Seepärast joont, mis jaotab kummi kaheks — surutud ja tõmmatud osaks, nimetatakse neutraaljooneks ehk neutraalteljeks.

Nähtus, mida me jälgisime kummi paindumisel, esineb igas ehitusmaterjalis. Seejuures võrdub allpool neutraal- telge tekkiv tõmbejõud survejõuga. Selle tagajärjel puru- nevad väikese tõmbegevusega materjalist valmistatud konstruktsioonid paindel kergesti.

Et saavutada betoonkonstruktsiooni ülemises (surve- tsoon) ja alumises (tõmbe-tsoon) osas ühesugust tugevust, selleks tugevdatakse, armeeritakse alumist osa sinna suurt



Joon. 9.

tõmbegevust omavate terasvarraste asetamise teel. Arma- tuurterase tõmbegevus on ligikaudu 200 korda betooni omast suurem.

Betooni ja terase koostöö on võimalik tänu nende järg- mistele omadustele.

Õhu käes kivistumisel betoon mahult väheneb. See oma- dus oleneb peamiselt tsementliimist, mille maht tsement- kiviks muutumisel väheneb.

Kui asetame värskesse betooni terasvardad, siis surub betoon kivistudes end armatuuri ümber. Armatuuri nake betooniga on seda suurem, mida karedam ja suurem on tema pind ja mida tihedam on betoon. Aja jooksul betooni ja terase vaheline nakkejõud suureneb.

See jõud on väga suur. 3-sentimeetrilise läbimõõduga

armatuurterasest valmistatud konksu külge, mis on 30 sentimeetri pikkuselt sisse betoneeritud, võiks riputada koormaga veoauto (joon. 9).

Raudbetooni erakordse tugevuse saladus peitub seega oskuses kasutada betooni suurt tugevust survel ja armatuurterase suurt tugevust tõmbel. Nake betooni ja terase vahel tagab seda, et need kaks erinevat materjali töötavad koormuse all ühise tervikuna.

Armatuur raudbetoonis, tänu oma tugevale nakkele betooniga, suurendab betooni tugevust ka survel. Seepärast armeeritakse sageli ka suuri survekoormusi kandvaid konstruktsioone, näiteks sambaid ja vaiu. Niisugustes konstruktsioonides võimaldab armatuuri kasutamine vähendada nende mõõtmeid ja järelikult ka kaalu.

Üks ruutsentimeeter armatuuri ristlõikepinda asendab 15 ruutsentimeetrit betooni. Just sellepärast näivadki raudbetonehitused kivi- ja betonehitustega võrreldes kergemana ja ilusatena.

Temperatuuri muutumisel betooni ja terase pikkused muutuvad peaaegu võrdselt. Kui see nii ei oleks, siis häviks raudbetooni soojenemisel kahe materjali vaheline nakkejõud kiiresti.

Samal ajal aga kaitseb betoon kui suhteliselt halb sooja-juht terast järskude temperatuurimuutuste eest. Sel on eriti suur tähtsus tulekahjude puhul. Ehituste metalloosad kaarduvad tules ja muudavad oma esialgset kuju. Tugeval kuumenemisel metall pehmeneb, kaotab oma tugevuse ja pole võimeline enam kandma isegi oma kaalu, rääkimata siis veel temal lasuvast koormusest.

Tänu oma väikesele soojajuhtivusele kaitseb aga betoon hoone teraskarkassi tulekahju puhul. Näiteks 1000—1100° puhul tõuseb betoonis 5 cm sügavusel asetseva armatuuri temperatuur umbes 1,5 tunni jooksul kõigest 400°-ni. Säärane temperatuur alandab küll metalli mehaanilist tugevust, kuid mitte palju.

Betoon kaitseb sissebetoneeritud terast ka roostetamise (korrosiooni) eest. See toimub siiski ainult neil juhtudel, kui betoon on küllalt tihe ja ümbritseb armatuuri vähemalt 2 cm paksuse kaitsekihina. On teada juhtumeid, kus tsemendiga kaitstud terasvardad polnud roostetanud, hoolimata 50-aastasest merepõhjas seisemisest!

Raudbetoon on võrdlemisi noor ehitusmaterjal. Ta ilmus alles XIX sajandi lõpul. Raudbetooni hakati meie maal

kasutama umbes 60 aastat tagasi raudteel viaduktide, sildade, reservuaaride, lagede jne. ehitamisel. Suured teened on sellel alal Teede Instituudi professoril N. A. Belejubskil. Tema juhtimisel teostati 1891. aastal Peterburis esimesed katsed eesmärgiga kontrollida raudbetooni kasutamise võimalust mitmesugustel ehitusaladel. 1904. aastal ehitati N. A. Belejubski näpunäidetal Nikolajevisse maailma esimene raudbetoonmajakas.



N. A. Belejubski.

Tänapäeval kasutatakse raudbetooni laialdaselt paljudel ehitusaladel — kaldaäärsete, tammide, lüüside, dokkide ja teiste hüdrotehniliste ehituste püstitamisel.

Raudbetoonita ei saa läbi ka maa all — seal kasutatakse teda šahtide ja stollide kindlustamisel.

Isegi merelaevu ehitatakse nüüd raudbetoonist.

Eriti suur tähtsus on sel materjalil sillaehituses. Tänu raudbetoonile ehitatakse meie maal praegu kaarsildu, mille ava ulatub kuni 230 meetrini.

## II. BETOONI SÜND

### TUGEVUSE RETSEPT

Konstruktor-masinaehitaja teab uut masinat luues alati ette, missuguse tugevusega tuleb tema masina see või teine detail. Detaili valmistamiseks võtab ta vajalike, varem tuntud omadustega materjali.

Täpselt samuti peab ka ehitaja teadma tema poolt valmistatava betooni omadusi: kas see tuleb püsiv, kas see puruneb vees ja kuidas sellele mõjub külm.

Juba 1895. aastal tegi Sõjaväeinseneride Akadeemia professor I. G. Maljuga kindlaks, et betooni tugevus oleneb vee ja tsemendi vahekorrast. See on niinimetatud betooni tugevuse põhiline seadus.

Missuguses vahekorras tuleb siis valida betooni koostismaterjale, selleks et ette teada, missuguse betooni me saame, milline tuleb tema tugevus, veepidavus ja külma-kindlus? Kuidas mõista betooni tugevuse põhilist seadust?

Betoonisegu koostisse, nagu juba teate, kuuluvad tsement, vesi ja täitematerjalid. Tsementliimi kivistumisel osa vett aurub. Tema koha tsementkivis hõivavad nüüd õhumullid. Neid on seda rohkem, mida vesisem oli liim. Mida rohkem on aga tsementkivis sääraseid tühemeid, seda halvemini nakkub ta täitematerjaliga ja seda nõrgem tuleb betoon.

Järelikult on vaja tugeva betooni saamiseks võtta vett võimalikult vähe, s. t. kasutada väikest vee ja tsemendi suhet.

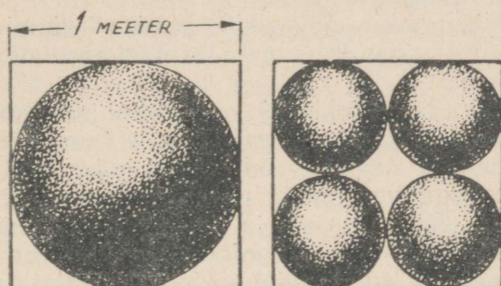
Kuid teiselt poolt peavad tugeva ja tiheda betooni moodustamiseks tema osakesed tungima üksteisele võimalikult lähemale. Selleks peab aga betoonisegu olema küllalt plastiline, omama vajalikku liikuvust.

Kui betoonisegu sisaldab vett 4—6% tema koostisosade kuivkaalust, siis on segu kobe. Väliselt sarnaneb ta äsja kaevatud niiske mullaga. Veesisalduse suurendamisel tõuseb betoonisegu plastilisus. Kuid seejuures, nagu rääkisime, halveneb betooni kvaliteet.

Kuidas siis suurendada betoonisegu plastilisust, ilma et seejuures betooni tugevus alaneks? Seda võib saavutada täitematerjalide vahele tsementliimist paksu kile loomise teel. Säärane kile vähendab teradevahelist hõõrdumist ja terad paigutuvad nüüd üksteise suhtes kergesti. Kuid tse-

ment on betooni kõige kallim ja kõige vähem püsiv koostisosa. Seepärast püütakse betoonisegude koostamisel võtta alati ainult minimaalne tsemendihulk, mis on vajalik tugeva betooni saamiseks. Selleks püütakse täitematerjalide segu koostada võimalikult tihedana.

Kui täitematerjali terad on ühesuurused, siis jääb nende vahele (olenematult nende mõõtmetest) väga palju tühja ruumi — umbes 50%. Seepärast ongi täitematerjalid tavaliselt erineva terajämedusega. Killustiku või kruusaterade



Joon. 10. Ühemeetrilise küljepikkusega kasti mahub üks ühemeetrilise või 8 poolemeetrilise läbimõõduga kera. Tühemete maht on mõlemal juhul 47,6%.

vahele poetunud liivaterad suurendavad segu tihedust. Võib koostada segu, milles tühemeid on ainult 19%.

Betoonisegu plastilisust määratakse erilise õõnsa koonusega. Koonus täidetakse betooniseguga ja seda tihendatakse. Pärast koonuse äravõtmist segu vajub. Mida rohkem ta vajub, seda suurem on segu plastilisus. Ehitajad kasutavad kõige sagedamini segu, mille vajumine on 3—5 cm.

Betoonisegu koostise retsept näeb välja nii:

$$R_{28} = 170; K.v. = 4,5 \text{ cm}; R_{ts} = 400;$$

$$T_s = 290 \text{ kg}; 1 : 2,34 : 4,1; \frac{V}{T_s} = 0,53.$$

Retsepti loetakse järgmiselt. Et saada tsemendist margiga «400» betooni, mille survetugevus 28 päeva vanuselt on 170 kg/cm<sup>2</sup> ja plastilisus (K. v. — koonuse vajumine) 4,5 cm, selleks tuleb vee ja tsemendi suhteks valida 0,53. Säärase betooni jaoks vajatakse tsementi 290 kg, liiva

$2,34 \times 290 = 678$  kg, killustikku  $4,1 \times 290 = 1190$  kg ja vett  $0,53 \times 290 = 154$  liitrit<sup>1</sup>.

Kuid betooni tugevus ei olene ainult võetud koostisosade hulgast. Suur tähtsus on ka nende kvaliteedil.

Me juba rääkisime, et mida parem on tsement, s. t. mida suurem on tema liimimisvõime, seda tugevam tuleb betoon. Nüüd kõneleme sellest, missugused peavad olema täitematerjalid ja vesi.

Raske betooni täitematerjaliks kasutatakse tavaliselt mitmesuguseid kivimeid.

Kivimid jaotatakse olenevalt nende tekkimise viisist t a r d -, s e t t e - ja m o o n d e - ( m e t a m o r f s e t e k s ) k i v i m i t e k s <sup>2</sup>.

T a r d k i v i m i d tekkisid sula laava (magma) tardumise tulemusena sügaval maapõues või maapinnal, kus laava jahtumisel moodustusid terved mäemassiivid. Need kivimid on väga tugevad ja püsivad. Nende hulka kuuluvad graniit, dioriit, basalt ja teised. Iga kivim koosneb seejuures mitmest erinevast mineraalst — kvartsist, põldpaost, vilgust ja reast teistest mineraalidest. Enamikul juhtudel on need mineraalid püsivad ja purunevad väga aeglaselt. Alles miljonite aastate jooksul toimub nende järkjärguline purunemine — murenemine.

Tardkivimite purunemise ja samuti rea teiste looduslike protsesside tulemusena tekivad s e t t e k i v i m i d — savid, liivad, lubjakivid. Savi ja liiv tekkisid peamiselt põldpaost koosneva graniidi purunemise (murenemise) tulemusena. Lubjakivid aga, koosnedes peamiselt kaltsiumkarbonaadist, moodustusid esijoones iidsetes meredes elutsenud loomade skelettide jäänustest. Need jäänused (merikarbid jne.) kleepusid vees lahustunud kaltsiumkarbonaadi mõjul kokku ja muundusid tugevaks kiviks — lubjakiviks.

Mägede tekkimise protsessis maapõue sügavusse sattunud settekivimid muudavad suure rõhu ja kõrge temperatuuri mõjul oma struktuuri, tihenevad ja sulavad osaliselt. Selle tulemusena tekivad m o o n d e - ( m e t a m o r f s e d ) k i v i m i d — liivakivid, kvartsiidid, marmorid, kiltkivid ja teised.

<sup>1</sup> Sellest materjalikogusest saab valmistada 1 m<sup>3</sup> soovitud kvaliteediga betooni. Tõlk.

<sup>2</sup> Lähemalt selle kohta vaata brošüüridest Г. И. Бушинский, Происхождение полезных ископаемых ja А. П. Лебедев, А. В. Елифанцева, О чём рассказывают камни, «Научно-популярная библиотека», Гостехиздат.

Betooni täitematerjale nimetatakse sageli inertseiks, s. t. ükskõikseiks, tsementliimiga mittereageerivaiks. See pole õige. Suuremal või vähemal määral kutsuvad peaaegu kõik täitematerjalidena kasutatavad kivimid tsemendis leiduvate ainetega esile keemilisi reaktsioone. Ja mida suurem on vastastikune mõjustus, seda lähedasemad on täitematerjalide ja tsementliimi omadused, seda parem on nende vaheline nake ja seda kõrgem betooni kvaliteet.

Täitematerjalidest oleneb betooni üks olulisemaid karakteristikuid — tema kaal. Massiivsete tammide ehitamiseks vajatakse rasket betooni, mis suudaks taluda määratud veesurvet. Näiteks kaalub ehitatava Kuibõševi hüdroelektrijaama tamm ligikaudu 15 miljonit tonni. Teistel juhtudel on aga parem eelistada kerget ja tugevat betooni raskele.

Missugune peab olema betooni jämeagregaat — kruus ja killustik?

Jämeagregaadiks püütakse valida neid täitematerjale, mis oleksid kaks-kolm korda tugevamad betoonist endast. Eriti hoolikalt valitakse täitematerjali hüdrotehnilise betooni valmistamiseks. Kui tavalise betooni jaoks peab jämeagregaaadi survetugevus olema vähemalt  $400 \text{ kg/cm}^2$ , siis külmakindla hüdrotehnilise betooni jaoks ei tohi see olla alla  $800 \text{ kg/cm}^2$ .

Hüdrotehnilise betooni valmistamiseks määratud jämeagregaadil uuritakse eelnevalt külmakindlust. Teda külmatakse korduvalt (50—100 korda) kuni  $-20^\circ$ -ni. Kui kivi tugevus pärast säärast katsetamist ei vähene üle 25%, siis võib kivi kasutada jämeda täitematerjalina külmades rajoonides ehitatavate hüdrotehniliste ehituste jaoks. Vähesed kivimid aga rahuldavad sääraseid nõudeid. Parimateks osutuvad graniit ja mõned lubjakivi liigid.

Stalingradi hüdroelektrijaama ehitustel kasutatakse tugevaimat tumehalli lubjakivi. Osaliselt kasutati samasugust kivi ka V. I. Lenini nimelise Volga—Doni kanali ehitamisel.

Kuibõševi hüdrojaama ehitajatel õnnestus ehituskoha lähedalt leida hüdrotehnilise betooni jaoks täiesti kõlblikku lubjakivi. Sellest lubjakivist katsekehad asetati spetsiaalsetesse kambritesse. Temperatuuri ja niiskust reguleerides said teadlased kunstlikult kõikidele aastaagadele vastavad tingimused.

Katsed näitasid selle materjali väga häid omadusi.

Peenagregaat — liiv — koosneb suuremalt osalt kvartsi-teradest. Nagu teada, on kvarts aga tugevamaid ja püsiva-

maid mineraale. Kuid missugune liiv on betooni jaoks parim: kas jõe-, mere- või mäeliiv, või see, mida leiame kuristikest? Erinevad nad ju kõik üksteisest.

Mäeliiva leitakse kivimite, näiteks graniidi või dioriidi murenemise kohtades. Ta koosneb mitmesuguse suurusega kandilistest teradest. Kuristikuliiv — see on veega kohalekantud mäeliiv, mille terad on seejuures mõnevõrra siledamaks kulunud. Jõeliiva terad on juba ümariku kujuga. Ka mereliiv koosneb ümarikest ja siledaist teradest.

Millise liivaga saadakse parima kvaliteediga betoon?

Tsementkivi liitub kõige paremini teravanurgaliste, karedapinnaliste täitematerjalidega. Ja nagu juba rääkisime, saadakse suurim nakkejõud siis, kui tsementliimi ja täitematerjali pindade vahel tekib keemiline reaktsioon. Seejuures tekivad ühendid, mis tungivad sügavale agregaadi terade pinnal olevatesse pragudesse.

Seepärast on karedapinnaline mäe- või kuristikuliiv soovitatavam kui jõe- või mereliiv.

Alati pole see siiski nii. Sageli leidub mäe- ja kuristikuliivas betoonile kahjulikke lisandeid — vilku, väävlit sisaldavaid aineid (väävelrähka, kipsi), samuti ka šavi, tolmu, orgaanilisi aineid ja teisi.

Ohukestest ja siledatest lehekestest koosnev vilk nakkub väga halvasti tsementliimiga. Pealegi puruneb ja mureneb ta kergesti.

Väävlit sisaldavad ained, nagu juba mainitud, annavad tsementliimiga erilisi ühendeid, niinimetatud «tsemendibatsille».

Orgaanilised ühendid (näiteks mullas leiduvad huumushapped) astuvad tsemendiosakestega keemilisse ühendusse, mis põhjustab tsementkivi purunemist.

Liivateri ümbritsevad saviosakesed takistavad terade kokkuliitmist tsementliimiga. Pealegi paisuvad saviosakesed vees, mis samuti soodustab betooni purunemist.

Seepärast enne mistahes liiva kasutamist kontrollivad ehitajad teda laboratooriumis. Kui liiv sisaldab kahjulikke lisandeid lubatust rohkem, siis ta praagitakse või püütakse teda neist lisandest vabastada spetsiaalsetes masinates — liivapesijates — pesemise teel.

Sageli on looduslik liiv väga peenike. Ka niisugune liiv ei rahulda ehitajaid. Säärasest liivast betooni valmistamine nõuab suurel hulgal tsementi.

Ja tihti esineb olukord, kus geoloogid otsivad keset

liivamerd ehitajatele vajalikku liiva, kuid siiski ei leia. Näiteks kulutasid geoloogid palju jõudu liiva otsimiseks ehitatavate Kuibõševi ja Stalingradi hüdroelektrijaamade piirkonnas, kuid siiski ei leidnud vajalikku.

Tugeva ja kõrgekvaliteedilise betooni valmistamiseks ei kõlba ka iga vesi. Kõik looduslikud veed sisaldavad tavaliselt mitmesuguseid aineid. Paljud neist mõjuvad kahjulikult betooni kivistumise protsessi, hävitades tsementkivi.

Tavaliselt püütakse betooni valmistamiseks kasutada joomiseks kõlblikku vett. Aga mõnikord tuleb kasutada ka mere-, pinnase- või soovett. Enne niisuguse vee kasutamist uuritakse teda keemialaboratooriumis. Hapet sisaldav vesi ei kõlba betooni jaoks. Ebakohaseks peetakse ka vett, mis sisaldab tunduval hulgal kipsi või teisi väävelhappesoolasid.

Merevee kasutamine alandab betooni tugevust. Peale selle tekivad säärase betooni pinnale «laigud» — soolakirmed, mis rikuvad krohvi. Seepärast ei lubata elamute betoonseinte ehitamisel kasutada merevett.

Nõukogude teadlased N. M. Beljajev, B. G. Skramtajev, N. A. Popov, S. A. Mironov ja teised lõid uue teaduse — betooni tehnoloogia, mis võimaldab ehitajatel valmistada soovitud omadustega betooni.

Vaatleme nüüd, kuidas valmistatakse betoonisegu betoonitehases.

### KILLUSTIKU- JA BETOONITEHASTES

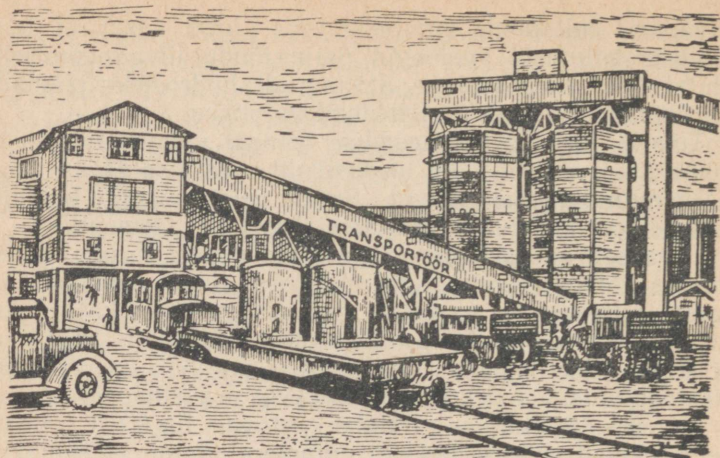
Pika ja keerulise tee läbivad tsement ja täitematerjalid enne, kui nad betoonitehase betoonisegistis kohtudes moodustavad betoonisegu.

Me jutustasime juba sellest, kuidas valmistatakse kivi-liimi — tsementi. Tutvume nüüd jämeagregaadi — killustiku valmistamisega.

Pole lihtne hankida kivi, millest valmistatakse killustikku. Looduslik kivi ladestub tavaliselt pinnasekihi all. Tema paljastamiseks kõrvaldavad ekskavaatorid pinnase, avades sellega lademe. Paljastatud kaljusse puuritakse puuraugud kivi lõhkamiseks. Lõhkamisel muudetakse kalju kivivareks, niinimetatud mäemassiks.

Ekskavaatorid laadivad mäemassi autodesse-isetühjenda-jaisse.

Üksteise järel saavad ekskavaatori juurde masinad, täituvad kividega ja suunduvad killustikutehasesse. Siin juhitakse kivid võimsasse lõugpurus-



Joon. 11. Automaat-betoonitehase välisvaade.

tisse. Teineteise suhtes teatava nurga all ülesseatud kaks ribilist plaati — lõuga — moodustavad kurgu, millest allpool asetseb väljumisava. Üks lõugadest seisab paigal, teine liigub edasi-tagasi, nagu mäletsemisliigutusi jäljendades. Kivid lastakse purustisse ülalt ja purustatuina kukuvad nad alla.

Niisugune purusti «närib puruks» kive, mille maht on kuni üks kuupmeeter.

Purustatud kivi sorteeritakse, tarbe korral teostatakse täiendav peenpurustamine, sorteeritakse uuesti ja suunatakse lattu.

Killustikutehas purustab ööpäevas kuni kümme tuhat kuupmeetrit kive. Ta asendab 80 000 inimese tööd, tehases töötab aga ainult 20—30 inimest.

Katkematu kivivooluna läheb killustik liikuvatel lintidel — transportööridel punkritesse — piki raudteeliini ehitatud suurtesse koonilistesse kastidesse. Punkrite alla antakse raudterong. Punkrite luugid avanevad ja killustik voolab platvormvagunitele.

Kivikarjääris pinnasega kaetud kaljust kuni killustiku laadimiseni platvormidele ei puuduta inimese käsi kivi! Kõik operatsioonid teostatakse masinatega. Inimene ainult juhib mehhanismide tööd.

Iga päev väljub tehases 4—5 täiekoosseisulist rongi, mis suunduvad betoonitehasesse.

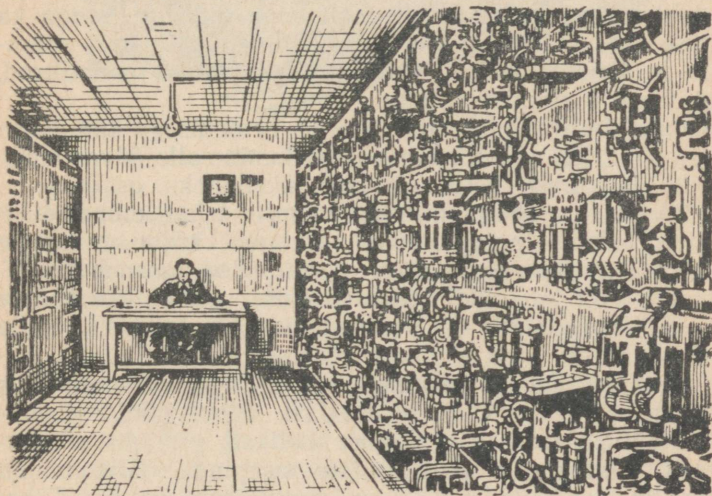
Tsemenditehastest veetakse siia kiviliimi.

Betoonitehase segamistsehh meenutab torni (joon. 11). Kõik mehhanismid on siin asetatud üksteise kohale. See pärast on torni kõrgus tavaliselt 30—40 m. See on kümnekorruselise maja kõrgus. Segamistsehhiga külgneb kaldgalerii. Sinna on paigutatud transportöör, mis annab kullustikku, kruusa ja liiva tehase kõige ülemisse — punkriosakonda. See on nagu betoonitehase ladu mõnetunniliseks tööks vajalike materjalide tagavaraga.

Siiasamasse punkriosakonda antakse suruõhu abil õhurustike kaudu ka tsement.

Laboratooriumi retseptile vastava betooni valmistamiseks on punkrite alla asetatud betoonisegu koostisosi doseerivad automaatkaalud. Kuiva segu valmiskaalutud koostisosad puistatakse betoonisegistisse. Samaaegselt antakse siia yett. Võimsad elektrimootorid panevad betoonisegisti pöörlema. Segamise kestust jälgivad erilised aparaadid — ajareleed. Relee signaali järgi laadivad betoonisegidid valmis betoonisegu jaotuspunkritesse.

Betoonisegu valmistamine on täielikult automatiseeritud.



Joon. 12. Betoonitehase tsemenditsehhi juhtimispuht.

Samal ajal kui ühte betoonisegistit täidetakse, toimub teises segamine ja kolmas annab juba valmis betooni. Betooni valmistamise aega mõõdetakse minutitega. Betoonisegisti täitmine nõuab 5—8 sekundit, segamine 2—2,5 minutit ja väljalaadimine 20—25 sekundit.

Betoonitehas vajab ühes vahetuses 460 vagunit killustikku, liiva ja tsementi. Sellise betoonihulga käsitsi valmistamiseks oleks vaja 1500 inimest. Tehases aga saadakse hakkama 9 inimesega — operaatoriga.

Volga—Doni kanali ehitamisel paigaldati ligikaudu 3 miljonit kuupmeetrit betooni. Seal töötas mitu säärast automaat-betoonitehast.

Tänapäeval on kunstkivi — betooni tootmiseks loodud veelgi võimsamaid automaattehaseid.

Kuibõševi hüdroelektrijaama ehitamisel töötab praegu kolm automaat-betoonitehast. Nende igaühe tootlikkus on 6000 kuupmeetrit betooni ööpäevas. Mitu säärast tehast on veel monteerimisel.

### BETOONI PAIGALDAMISEST

Niisiis, betoon on valmis. Jääb veel tema paigaldamine betoonehitusse.

See ei ole kaugeltki lihtne ülesanne. Sõltub ju betooni paigaldamise viisist suurelt osalt tema tugevus, seega ka ehituse iga. Eriti käib see hüdrotehniliste ehituste — tamide ja lüüside kohta; need peavad olema monoliitsed, nagu ühest kivitükist valatud.

Betoneerimisel tuleb iga valatud betoonisegu-kiht katta uuega enne, kui algab tsemendi tardumine allajäävas kihis. Selleks jagatakse betoonehitused üksikuteks osadeks — p l o k k i d e k s. Iga plokki maht on mitu tuhat kuupmeetrit.

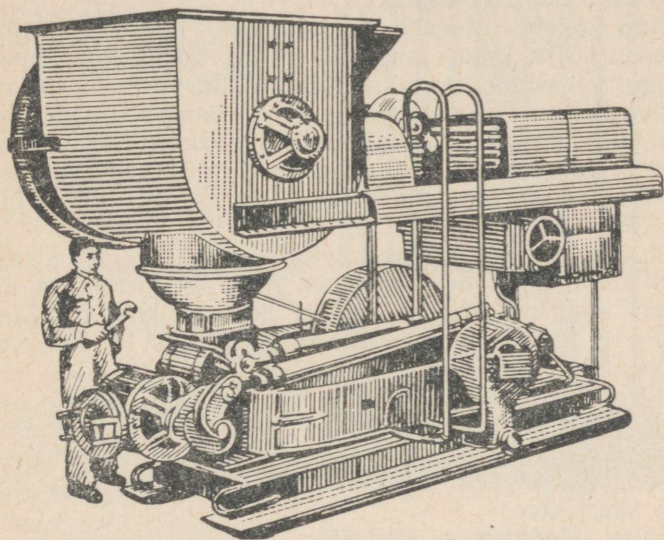
Enne betooni paigaldamist asetavad kraanad kohale r a k e t i s e, tulevase ehituse vormi. See koosneb tavaliselt puit- või metallkilpidest. Seejärel asetatakse kohale ehituse teras-skelett — a r m a t u u r i k a r k a s s, mille terasvardad on enne hoolikalt roostest puhastatud.

Asetatakse kohale seadmed betoonisegu etteandmiseks — p u n k r i d ja v i b r o l o n d i d. Ploki põhi vabastatakse ehitusprahist ja pestakse hoolikalt puhtaks. Samaaegselt niisutatakse puitraketiste sisepindu. Erikomisjon kontrollib, kas plokid on betooni vastuvõtuks valmis. Tähelepanelikult vaatlevad komisjoni liikmed plokki: kas põhi on puhas, hoolikalt pestud ja kuivatatud, kas karkassi var-

dad on korralikult puhastatud, kuidas nad on kinnitatud ja kas ei ole raketises kuskil avausi.

Kivise aluse (või juba betoneeritud alumise bloki) pealispind kaetakse enne betoonisegu esimese kihi paigaldamist õhukese tsementmördi-kihiga, mis suurendab betooni naket alusega.

Nüüd on kõik valmis betoonisegu vastuvõtmiseks betoonitehasest. Teda tuuakse kohale mitmel viisil: i s e t ü h-



Joon. 13. Betoonipump C-252.

jendajatega, platvormvagunitele asetatud konteineritega või transportööridega.

Viimasel ajal kasutatakse segu transportimiseks uut, täiuslikumat viisi. Spetsiaalsed betoonipumbad (joon. 13) pumpavad tunnis kuni  $50 \text{ m}^3$  betooni 350 m kaugusele.

Üksteise järel lähenevad betoneeritavale plokile mootorvedurid platvormidega. Kraana võtab platvormilt konteineri betooniseguga ja laseb selle kiiresti plokki. Konteineri luuk avaneb ja segu langeb plokki koonusetaolise hunnikuna. Nüüd tuleb see tasandada ja seejärel tihendada.

Plokis asuvad suurtes kummisaabastes ja -kinnastes tööliised — betoneerijad. Käes on neil kujult suurtükimürsku

meenutavad elektrivibraatorid. Vibraatorisse (metallist kaitsekesta) on asetatud väike elektrimootor, mille võlli otstele on kinnitatud raskused. Nende raskuste massikese ei ühti mootori teljega. Seetõttu ei saa elektrimootori telg sujuvalt pöörelda. Ta väriseb, vibreerib. Mootori võlli külge kinnitatakse soovitava kujuga, näiteks noa-, nõela- või nuiakujuline töötav otstükk.

Kui vibraator suruda betoonisegusse, siis kandub tema värin ümbritsevale segule.

Nagu teada, tiheneb raputamisel igasugune sõmer materjal (liiv, jahu, tangud). Sama toimub ka betooniseguga. Vibraatori tegevuse mõjul ületavad segu osakesed nendevahelised hõõrdejõud ja segu valgub plokis laiali nagu raske vedelik. Jämeagregaadi osakesed libisevad üksteisel ja paigutuvad kõige tihedamini. Kõik tühemed nende vahel täituvad tsementmördiga, mis surub segus oleva õhu välja.

Vibraatoritega hästi tihendatud betoonis jaotuvad agregaadi terad kogu betoonimassis ühtlaselt. Terad on igast küljest ümbritsetud tsementliimi õhukese kilega. Säärane betoon on tunduvalt tugevam, külmakindlam ja veetihedam kui käsitsi paigaldatud betoon.

Vibreerimise lõppedes ilmub betoonimassi pinnale vedel tsemenditainas — tsementdippiim. Kui betoonisegu pind nii jätagi, siis jääb see koht kõige nõrgemaks. Et tugevdada selle kihi sidet uue ploki betooniga, asetatakse kihti suuri kive.

Suure jõudlusega vibraator tihendab tunnis 6—8m<sup>2</sup> betooni. Sageli ühendatakse vibraatorid 16-kaupa pakettvibraatoriks (joon. 14).

Kohe pärast betoonisegu paigaldamist algab betooni kivistumine. Sel perioodil vajab betoon soojust ja vett nagu õrn soojust armastav taim. On ka arusaadav, mis pärast. Betooni tugevnemine oleneb ju sellest, kuidas kivistub tsement. Aga tsement kivistub ja tugevneb ainult soojas ja niiskes keskkonnas. Seepärast hoolitsetakse kahel esimesel nädalal betooni eest hoolikalt: kastetakse veega, kaitstakse tuule eest, varjatakse päikese eest roguski ja märja saepuruga, talvel aga soojendatakse.

Oli aeg, kus talvel katkestati ehitustööd peaaegu täielikult. Alles paarkümmend aastat tagasi valitses veel arvamus, et betoonitööde teostamine talvel on lubamatu. Külmedes muutub vesi jääks ja kiviliimi tekkimine katkeb.

Kui betoon külmutada va-  
rases, «noores» eas, siis  
purustab jää paljud tse-  
mentliimi äsjakujunenud  
kristallikesed.

Nõukogude teadlased  
S. A. Mironov, V. M. Med-  
vedjev, I. G. Sovalov ja tei-  
sed töötasid maailmas esi-  
mestena välja ja juurutasid  
laidlaselt praktikasse tal-  
vise betoneerimise meeto-  
did.

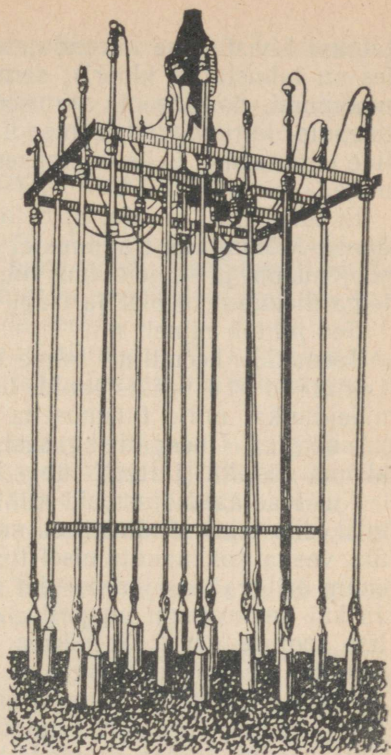
Nendest ühe — ter-  
mosmenetluse koha-  
selt soojendatakse betooni-  
segu enne plokki paigalda-  
mist. Segu temperatuur  
alaneb aeglaselt. Jahtumise  
jooksul jõuab betoon oman-  
dada tunduva, niinimetatud  
kriitilise tugevuse.  
Nüüd võib lasta betooni ka  
külmuda, kartmata, et ta  
pärast sulamist laguneks.

Teise meetodi kohaselt  
soojendatakse betooni,  
mähkides teda spetsiaalses-  
se, niinimetatud termo-  
aktiivsesse raketisse

nagu «kasukasse». See raketis kujutab endast kahekihilist  
«särki», millesse on asetatud jahvatatud kustutamata lubi.  
Niisutamisel eritab lubi, nagu juba öeldud, palju soojust.

Alates 1932. aastast kasutatakse betonehituste püstita-  
misel elektrisoojendust. Värske betoon osutub  
elektrivoolu pooljuhiks<sup>1</sup>. Voolu läbimisel ta soojeneb.

Betooni kivistumist talvel võib kiirendada ka juba XIX  
sajandi lõpul professor N. N. Ljamini poolt esitatud spet-  
siaalsete ainete — kivistumise keemiliste kii-  
rendajate lisamisega betoonisegule. Tänapäeval kasu-



Joon. 14. Pakettvibraator.

<sup>1</sup> Juhtide ja pooljuhtide kohta vaata lähemalt brošüürist Э. И. Ад-  
рович. Электрический ток, «Научно-популярная библиотека», Гос-  
техиздат.

tatakse kivistumise kiirendajatena klooritud vett (vett, milles on lahustatud kloori), samuti kloorkaltsiumi, kloorammooniumi, keedusoola ja soolhappe vesilahuseid. Need lisandid kiirendavad tsemendi koostises olevate mineraalide lagunemist. Selle tulemusena kiireneb ka betooni valmine.

Ei tule siiski arvata, et betooni peab talvel alati soojendama. Mõningatel tingimustel on betoon võimeline end ise soojendama ja soojendama nii, et ehitajad sageli kardavad tema ülekuumenemist ja isegi «soojalööki».

See juhtub nimelt nii.

Tsemendi keemiline toime kuulub niinimetatud eksotermiliste reaktsioonide hulka, s. t. sääraste reaktsioonide hulka, mille tulemusena eritub tunduval hulgal soojusenergiat. Ühest niisugusest reaktsioonist me juba rääkisime siis, kui jutt oli lubja kustutamisest.

Kui teadlased alustasid klinkrimineraalide lähemat uurimist, siis tehti kindlaks, et neist mineraalidest eritab igaüks veega kokkupuutumisel tunduval hulgal soojust. Kõige enam eritavad soojusenergiat trikaltsiumaluminaat ja aliit. Ja kui betoonisegu on palju, siis ta soojenebki eksotermilise soojuse arvel. Seepärast massiivsete betoonkonstruktsioonide ehitamisel talvel vett ja täitematerjali ette ei soojendata ega betooni sisse ei «mähita», sest tal hakkab selletagi palav. Aga suvel tuleb ehitajail säärastel juhtudel tihti mõelda, kuidas alandada betooni temperatuuri massiivi sisemuses. Kui seda ei tehta, võib betoon üle kuumeneda ja praguneda.

See ongi veel üks põhjus, miks massiivsed betoonehitused püstitatakse osade kaupa, plokkidena. Seda selleks, et iga plokk ümbritsevas õhus tugevamini jahtuks.

Peale selle kasutatakse niisugustel juhtudel betooni valmistamiseks erilisi tsemente, mis vähem sisaldavad rohkesti soojusenergiat eritavaid mineraale. Selliseid tsemente täiendatakse ka lisanditega, mis on võimelised koos klinkrimineraalide ja veega andma tsementliimi ilma soojust eraldamata.

Betooni teekond on lõppenud... Möödub mõni päev ja vedel betoonisegu muutub monoliitseks kiviks. Väike kuumik, küljemõõtmega ainult 10 sentimeetrit, võib kanda koormust 20—30 tonni, s. o. umbes 500 inimese kaalu.

Kuid betooni elu kulgeb pidevas võitluses ümbritseva keskkonnaga. Seepärast tuleb betooni kaitsta. Selle üles-

ande kallal töötavad maailma kõikide maade teadlased ja insenerid.

Missugused betooni kaitsmise viisid on tänapäeval teada?

### KUIDAS BETOONI KARASTATAKSE

Kui soovitakse, et metallist detail oleks pika eaga, siis kõvendatakse, karastatakse tema pinda. Seejuures kaetakse metall nagu õhukese, aga tugeva soomuskattega, mis kaitseb teda ebasoodsate mõjude eest.

See printsiip on looduses hästi tuntud. Et kaitsta midagi nõrka, purunevat, on vaja teda ümbritseda soomusega — tugevama pinnaga.

Suure kunstniku poolt aastasadu tagasi maalitud maal särab oma värvide esialgses värskuses. Näib, et veel eile nad lebasid paletil ja alles täna kanti lõuendile. Neid kaitses õhuke kiht läbipaistvat õhutihedat lakki, millega pilt on kaetud.

Lahendus pakub end ise: ka betooni pinda tuleb kaitsta tugeva kattega nagu soomusrüüga.

See on seda vajalikum veel sellepärast, et just kõigepealt purunev, pindmine betoonikiht on ise kõige nõrgem ja poorsem. Seda nimelt järgmisel põhjusel. Et betoonisegu valguks ehitusse tihedalt, selleks vibreeritakse teda. Seejuures muutub segu nagu vedelamaks ja täidab paremini kõik raketise nurgad. Kuid segu vibreerimisel hakkavad ehituse puitraketised võnkuma ja muutuvad omapäraseks pumbaks. Tänu sellele tõuseb betoonimassi sügavamatest kihtidest raketise juurde lakkamatult vett. Betoonisegu kivistumisel see aurub, ja ehituse pindmine osa, mis peaks olema kõige tihedam, tuleb poorne ja nõrk.

Kuidas karastatakse betooni pinda?

Tänapäeval on mitmeid erinevaid viise betoonehituste pinna tugevdamiseks.

Toome järgnevalt ühe neist meetodeist.

Liigne vesi eemaldatakse betoonist niinimetatud v a a k u u m p u m p a d e abil. Pumpadest väljuvad kilpidega lõppevad kummivoolikud. Kilbid, täpsemalt öeldes kaanid, kinnituvad imemisjõul betooni pinnale ning imevad sealt liigse vee ja õhu. Vakuumeerimise lõppedes muutub betooni pinnakiht tihedaks kivitaoliseks koorikuks. Vakuumeerimi-

sega töödeldud betoonipind nagu «karastub» ja betoonehituse iga pikeneb tunduvalt.

Huvitava meetodi betoonehituste kaitsmiseks leidis nõukogude teadlane V. D. Žurin. Ta tegi ettepaneku kasutada mitte puitraketist, vaid spetsiaalsetes tehastes valmistatavat raudbetoonraketist. Raketis ehitatakse kõrgendatud tugevuse ja veetihedusega raudbetoonplaadidest koorikutes, mis on piiratud puitraamidega. Iga plaat kujutab endast 8—10 cm paksust raudbetoonlehte.

Kui betoon mašiivis on kivistunud ja plaadi-kooriku betooniga tugevasti kokku kasvanud, siis eemaldatakse raudbetoonplaate ümbritsevad puitraamid, kuna vuugid plaatide vahel täidetakse paisuva tsemendiga. Raudbetoonist soomusrüü on valmis.

Kuid betooni vakuumeerimise ja soomustamisega tugevdatakse ja kaitstakse ainult tema pinda, mis pole aga sageli küllaldane. Hüdrotehnilistes ehitustes peab betoon olema kaitstud mitte ainult väljast, vaid ka seestpoolt.

Säärase betooni kogu mass peab olema mitte ainult tugev, vaid ka väga tihe, vettpidav ja külmakindel. Seepärast püütakse tema valmistamisel kulutada võimalikult vähe vett, sest pärast betooni tardumist aurab liigne vesi välja ja tema kohale jäävad tühemed. Veehoidla täitmisel hakkab vesi läbi nende tühemete immitsema ja betoon purunema.

Praktika näitas, et betoonisegu veesisaldus peab olema 55—60% tsemendi kaalust. Ühe kuupmeetri betooni valmistamiseks vajatakse ligikaudu 300 kilogrammi tsementi ja 180 liitrit vett. Osa sellest veest, umbes 60 liitrit, ühineb tsemendiga keemiliselt; teine osa hoitakse adsorptsioonijõududega betoonis liiva-, killustiku- ja tsemenditerade pinnal ning lõpuks kolmas osa, ligikaudu 50—70 liitrit, aurub, jättes enda asemele tühemed. Seega on kivistunud betoonis alati 5—7% tühemeid.

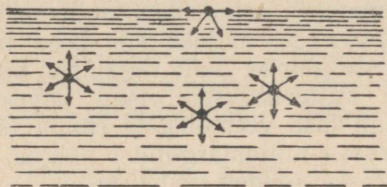
Vibreerimine tihendab betoonisegu tunduvalt, kuid ka pärast seda säilib segu harva püsivana. Kuni kivistumiseni toimub raskusjõu mõjul segu koostisosade sisemine kihistumine.

Sellise kihistumise tagajärjel koguneb jämeagregaadi ja liivaterade alla vesi. Pärast vee aurumist jäävad siia tühemed, mille kaudu hiljem hakkab vesi läbi imbuna.

Betoonisegu kihistumise vältimiseks hakkasid ehitajad- tehnoloogid segule lisama selliseid hüdraulilisi lisandeid

nagu näiteks treepel, mis ühtlasi seob betooni kivistumisel eralduvat vaba lupja (vt. lk. 18). Treepeli lisamisega väheneb nii segu kihistumine kui ka betooni veepidavus.

Kuid teisest küljest vähendab sääraste ainete kasutamine betooni külmakindlust ja see on muidugi halb. Siis leiti teine väljapääs: betoonisegusse hakati lisama niinimetatud pindaktiivseid aineid. Nagu tühised kroomi-, nikli- või vanaadiumilisandid terases tõstavad oluliselt tema kvaliteeti, nii parandavad ka pindaktiivsed ained isegi väga väikestes annustes — 0,01—0,2% tsemendi kaalust — betoonisegu ja kivistuva betooni omadusi märgatavalt.



Joon. 15. Pinnal asuvad aineosakesed omavad jääkenergiat.

Näib, et keha pinnaosakesed millegi poolest ei erine sisemistest osakestest. Veetilk, metallikristall, tsemenditera näivad meile seest- ja väljastpoolt ühesugustena. Tegelikult on aga nii vee kui ka metalli ja tsemendi pindmistel kihtidel erinevad omadused. Keha pinnal olevad aineosakesed käituvad teisiti kui aine sees peituvad osakesed. Nad on võimelised teisi osakesi mõjutama, neid juurde tõmbama. Seda nähtust nimetatakse adsorptsiooniks.

Elus puutume adsorptsiooninähtusega väga sageli kokku.

Miks näiteks ei tilgu vihmaga presenttelk läbi? Põhjus on selles, et kõik telgiriide poorid on riide poolt adsorbeeritud õhuga suletud nagu korkidega. Tarvitseb vihmast läbiimbunud kangast vaid puudutada, kui õhkkork puruneb ja telk hakkab läbi jooksma.

Peamiselt adsorptsioonijõudude abil seovad ka hüdraatilised lisandid lubja vees lahustumatuks ühendiks — kaltsiumhüdrosilikaadiks.

Vee pindpinevus on väga tundlik vees leiduvate kõrvalainete suhtes. Kui lahustunud aine vähendab vedeliku pindpidevust, siis nimetatakse säärast ainet selle vedeliku

suhtes pindaktiivseks. Niisuguse aine lihtsaimaks näiteks on seep. Vesi, milles on seepi lahustatud, omab ainult tühist pindpinevust. Just sellepärast loksutamisel seebivette sattunud õhumullid pinnale ujudes tõstavad kergesti enda järele vedeliku pinna ja moodustavad vahu.

Betoonis kasutatavad pindaktiivsed ained — naftaseep, oleiinhape ja teised — on küllalt keeruka keemilise koostisega. Nende molekulid kujutavad endast nagu pikka süsinikuaatomitest ketikest, mis kogu pikkuses on ümbritsetud vesinikuaatomitega. Ühest otsast lõpeb säärane molekul kolme vesinikuaatomiga. See molekuli ots ei ole aktiivne, ta ei tõmbu teiste osakeste ligi. Seevastu molekuli teine, niinimetatud polaarots tungib energiliselt teiste aatomite ja molekulide, näiteks kõvakeha pinnal olevate molekulaarosakeste juurde. Selle tagajärjel pöörduvad ketikese molekulide mitteaktiivsed otsad lahuse poole nagu turris karvad ega lase veemolekule endile läheneda. Just selles peitubki rasva mittemärgumise põhjus. Nimelt sellepärast on teda raske nõudelt maha pesta.

Betoonisegusse lisatud pindaktiivsed ained adsorbeeruvad tsemenditera pinnal ja astuvad ühendusse tsemendis leiduvate leelistega, mille tõttu tekivad vees lahustuvad seebid. Betoonisegu valmistamisel lähevad nad vahule ja neis tekivad väikesed õhumullikesed, mis on ümbritsetud tugeva pindaktiivsest ainest kilega.

Õhumullikesed suurendavad betoonisegu töödeldavust (plastilisust) ja vähendavad tema kihistumist. See aga võimaldab vähendada vee hulka betoonisegus, mis suurendab betooni tugevust ja püsivust.

Aga kuidas siis nii? — küsite teie. Alles räägiti sellest, et läbi betooni tühemete nõrgub vesi ja purustab betooni, nüüd aga soovitatakse kasutada aineid, mis soodustavad õhumullikeste suurenemist betoonis?

Asi seisab selles, et õhk, mis koos pindaktiivsete ainetega on väikeste mullikeste kujul betoonisegusse viidud, jaotub ühtlaselt kogu massis. Tänu sellele ei teki betoonis läbiminevaid käike, mis tavaliselt liigse vee puhul betoonimassis esinevad.

Kivistavas tsemendis olevad hüdrofoobsed pindaktiivsed ained katavad betooni seestpoolt erilise hüdrofoobse kilega, mis kaitseb betooni sisepinda vee mõju eest. See aga suurendab betooni püsivust ja pikaealisust.

Pindaktiivsete ainete mõju betooni omadustele on uuri-

nud akadeemik P. A. Rebinder, prof. V. F. Žuravljov, B. G. Skramtajev, V. V. Stolnikov, A. V. Satalkin ja teised nõukogude teadlased.

## VEEALUNE BETONEERIMINE

Betoonist ehitatakse kõrgele üle maapinna ulatuvaid ja sügavale vee alla minevaid ehitusi.

Kuival maal valatakse betoon lihtsalt vormidesse, kus ta kivistub. Aga mis teha vee all?

Betoonisegu otse vette paigaldada pole lubatav. Tema koostisosad vajuksid ebaühtlaselt: liiv ja tsement — aeglasemalt, killustik või kruus — kiiremini. Selle tagajärjel jääks sideaine — tsement — hõljuvasse olekusse, samal ajal kui betooni karkassi moodustav jämeagregaat vajub alla. Otse läbi veekihi paigaldatud betoon tuleb kobe ja nõrk.

Et veealune betoneerimine toimuks edukalt, on vaja leida niisugune töömeetod, mille puhul värske betoon ei puutuks veega kokku.

Aga kuidas seda teha? Esimesel pilgul näib ülesanne võimatuks, kuid insenerid lahendasid selle siiski.

Praegu kasutatakse meie ehitustel kaht veealuse betoneerimise viisi. Kuni 20 m sügavuseni teostatakse betoonitõid vertikaalselt liikuva toru abil. Teise — «tõusva valu» meetodiga võib betooni paigaldada tunduvalt suurematele sügavustele.

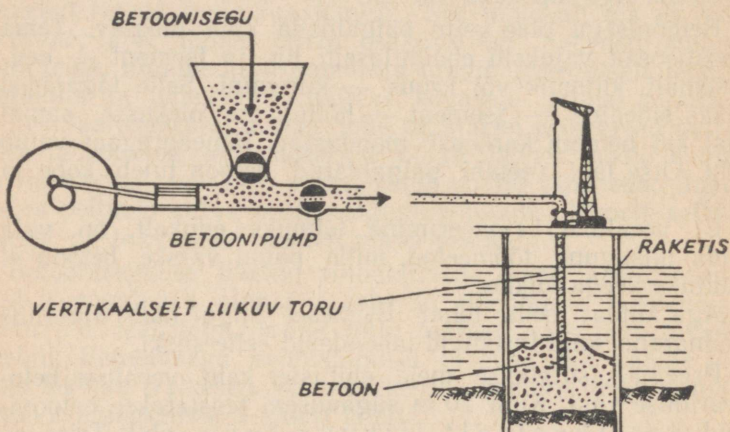
Tutvume nende meetoditega.

Nagu juba mainisime, kuulub iga püstitatava betoonehituse juurde puidust «särk» — raketis. Betoon valatakse sinna nagu vormi.

Vee all betoneerimiseks püstitatav raketis haarab endasse ehituse kogu veealuse osa ja ulatub üle veepinna. Kui raketis on tuukri abil põhja asetatud, võib sinna juhtida betoonisegu. Selleks varustatakse veest väljaulatuv raketise osa platvormiga, kuhu monteeritakse vajaliku pikkusega toru, mis koosneb 25—40 cm läbimõõduga ja 1—2 m pikkustest lülidest. Selle metallist londi tõstmine ja allalaskmine toimub vintsi abil. Lonti mööda surubki spetsiaalumpump betooni veealusesse ehitusse.

Toru veepealses osas asetseb vastuvõtulehter, mis on varustatud betoonisegu juurdevoolu kiirust reguleeriva ven-

tiiliga. Lehtri kurku asetatakse torusse sissepääsu sulgev liigendklapp. Enne betoneerimise algust pannakse torusse kotiriidest kork. Seejärel lastakse toru vette, kuni kaeviku põhjani. Toru ülemine ots suletakse ja lehter täidetakse betooniseguga. Pärast klapi avamist sööstab betoon torusse, täidab selle ja surub sealt korgiga nagu kolviga vee välja. Samal ajal täidetakse lehter ääreni uue betooniportsjoniga. Nüüd tõstetakse toru ettevaatlikult ning toru suudme ümbrusse tekib betooni kuhil. Seejärel täidetakse



Joon. 16. Veealune betoneerimine vertikaalselt liikuva toru meetodiga.

toru uuesti betooniseguga, ja kui lehteris hakkab segu pind tõusma, lastakse toru kiiresti alla, betooni sisse. Nüüd on betoonisse surutud toru töövalmis. Tuleb ainult jälgida, et betooni tase torus oleks kogu aeg veepinnast kõrgemal.

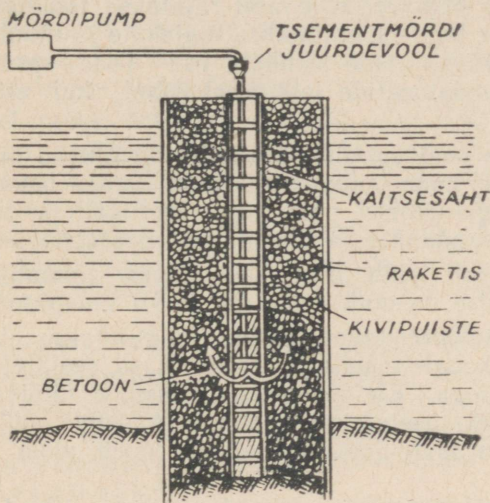
Veealusesse konstruktsiooni paigaldatav betoonisegu peab olema hästi töödeldav, kergesti laiali voolama ja ühtlaselt täitma kogu betoneeritava konstruktsiooni pindala. Betoonisegu juurdeandmine veealusesse massiivi ei tohi katkeda minutikski. Seisak võib põhjustada betooni kihistumist.

Torust väljudes valgub betoon kergesti laiali mööda raketise põhja. Seda soodustab pumba töötamisel tekkiv toru vibreerimine.

Koos veealuse ehituse kasvamisega tõstetakse järk-järgult ka toru, kuid nii, et toru alumine ava oleks pidevalt betoonimassi sees.

Erilist tähtsust omab veelusel betoneerimisel betooni transportimine tema valmistamise kohalt paigaldamise kohani. Transport tuleb organiseerida nii, et betoonisegu ei kihistuks teel. Samuti peab segu torust väljavoolamise kiirus olema kooskõlas toru vertikaalsuunas liikumise kiirusega.

Kui betoneeritava massiivi pind tõuseb juba üle veepinna, tõstetakse toru betoonisegust välja ja veepealse osa betoneerimine jätkub tavalisel viisil.



Joon. 17. Betoneerimine «tõusva valu» («kivipuiste») meetodiga.

Kaasaja ehituspraktikas tuleb sageli püstitada veeluseid ehitusi enam kui 20 m sügavusel. Neil juhtudel raskendaksid betoonijuhtme liialt pikad torud tööd. Seepärast teostatakse veelust sügavbetoneerimist teisiti.

Valmis raketis täidetakse valatava massiivi kogu kõrguses kivide, kruusa ja vajaduse korral ka terasarmatuuriga. Seejärel valatakse «kivipuiste» spetsiaalse toru kaudu üle tsementmördiga. See mördiga üleujutamine peab toimuma pidevalt. Seejuures tuleb suurte pindade betoneerimist teostada mitme betoonilondi kaudu, millede vahekaugus ei tohi ületada 10 meetrit.

Veelune sügavbetoneerimine toimub spetsiaalse m ö r d i

p u m b a abil. Töötades tekitab see vaheldumisi survet ja vaakuumi. Kui pumbas tekib vaakuum, siis imeb see mördimassi punkrist pumpa; kui aga surve, siis katkeb mördi juurdevool punkrist. Nüüd tormab tsementmört pumbakambrist survetorustikku mööda vastuvõtulehtrisse, kus ta läbi londi voolab betoneeritava massiivi veealusesse ossa.

Surve mõjul täidab tsementmört kivipuiste tühemed, tõrjudes sealt vee välja. Kivistudes liimib mört veealused kivid tugevasti kokku.

Veealuse betoneerimise abil rajatakse tänapäeval merepuurtornide tugesid, ehitatakse majakate ja muulide vundamente, raudteesildade sambaid jne. Teda kasutatakse ka hoonete vundamentide ladumisel juhul, kui esineb palju põhjavett.

Veealuse betoneerimise meetodid on lihtsad ja ökonoomsed. Nad ei nõua betoonisegu valmistamist betoonitehases; plokki paigaldamisel pole vaja keerukat ja töömahukat betooni tasandamise ja tihendamise operatsiooni.

Loomulikult tekib mõte, kas poleks võimalik veealuse betoneerimise meetodeid üle kanda ka maapinnale.

Võib. Betoneeritavas plokis paigutatakse algul, nagu tavaliselt, kohale raketis ja teraskarkass, seejärel täidetakse plokk kividega. Kividevahelised tühemed täidetakse kruusaga. Plokki asetatakse voolikud ja nende abil juhitakse tsementliim kivipuistesse. Sellega lõpeb ploki betoneerimine.

Uut lahusbetoneerimise viisi kasutatakse juba hüdrotehniliste ehituste ehitamisel.

### III. MISSUGUSEID BETOONE ESINEB

#### RASKE JA KERGE BETOON

Betooni põhimassi moodustavad täitematerjalid. Mida raskem on täitematerjal, seda suurem on ka betooni enese kaal.

Olenevalt kaalust jagunevad betoonid kolme gruppi: rasked, kerged ja mullbetoonid.

Ehitustegevuses on kõige enam levinud rasked ehk tavalised betoonid.

Üks kuupmeeter rasket betooni kaalub kuni 2,5 tonni ja

rohkem, s. t. ligikaudu niisama palju kui looduslikud kividki — graniit, paas, dolomiit.

Kui betooni valmistamisel kasutatakse täitematerjalina (agregaadina) terasepuru või rasket kivimit — bariiti, siis saadakse eriti rasked betoonid, mille kuupmeeter kaalub kuni 3 tonni. Neid betoone kasutatakse ainult erijuhtudel. Näiteks bariitliiva ja -killustikuga betooni (bariitbetooni) kasutatakse röntgenikabinettides (vaheseinte ja lagede ehitamiseks) seatina-isolatsiooni asemel.

Terasepuruga betooni (terasbetooni) kasutatakse seal, kus betoonilt nõutakse suurt vastupanu kulumisele: betoonpõrandate, astmete, teede, kanali- ja punkriseinte voodriplaatide jne. valmistamisel.

Tavalisel, raskel betoonil on, nagu juba rääkisime, palju väärtuslikke omadusi: suur tugevus, pikk iga, vee- ja külmakindlus, küllaldane tulekindlus. Teda valmistatakse peamiselt materjalidest, mida võib kohata peaaegu igal pool. Kuid sel betoonil on ka rida puudusi. Tal on suur mahukaal (ega ilmaegu teda nimetata raskeks), ta peab vähe sooja ja summutab halvasti heli, temasse on raske naela lüüa.

Neid puudusi võib vähendada, kasutades betooni valmistamisel kergeid agregate. Kerge betooni saamiseks kasutatakse šlakke, purustatud tellist ja kergetest kivimitest, näiteks tufist<sup>1</sup> või pimsist valmistatud killustikku (tufist või pimsist valmistatud betooni nimetatakse tuff- või pimssbetooniks).

Kuupmeeter kerget betooni kaalub kaks-kolm korda vähem kui tavaline betoon.

Kergeid betoone nimetatakse ka soojadeks seetõttu, et nende betoonide valmistamiseks kasutatavates agregaatides on suurel arvul õhuga täidetud poore. Õhk aga, nagu teada, on halb soojajuht. Seepärast on niisugustest täitematerjalidest valmistatud betoonid suure soojapidavusega. See kergete betoonide omadus on väga hinnatav ja seepärast kasutatakse neid laialdaselt elamuehituses.

Betooni valmistatakse ka ainult jämeagregaadist — kruusast või killustikust, ilma liivata. See on veel üks kerge betooni eriliik — korebetoon. Liiva tavalist kohta täidab seal õhk.

Liivata korebetooni hakati meil kasutama alles hiljuti —

<sup>1</sup> Tuff — vulkaanilise päritoluga kivim.

1950. aastal — sanatooriumide ja elamute ehitamisel Musta mere rannikul. Korebetoonist seinad krohvitakse tavaliselt seest- ja väljastpoolt.

Sel betoonil on soojajuhtivus väiksem kui tavalisel, raskel betoonil. Seepärast võivad liivata betoonist valmistatud seinad olla ligikaudu kaks korda õhemad kui tavalisest betoonist seinad.

Kvaliteedilt parim korebetoon saadakse 1—2-sentimeetri- lise läbimõõduga kruusa- või killustikuteradest.

Et säärases betoonis puudub liiv, siis võimaldab tema kasutamine ehitustegevuses säästa tsementi — kõige kallimat koostisosa betoonis. Kui liita kõikide ühes kuupmeetris betoonis olevate killustiku- või kruusaterade pind, siis saadakse ligi 200 m<sup>2</sup>. Sama mahu puhul ulatub liivaterade üld- pind 5000 m<sup>2</sup>-ni, s. t. on 25 korda rohkem. Siit on selge, mispärast korebetooni valmistamiseks kulub tunduvalt vä- hem tsementi: tuleb ju tavalise betooni valmistamisel kogu agregaadid pind katta tsementliimiga.

On veel üks liik betooni — selles pole üldse jämeagre- gaati. Säärast betooni nimetatakse p e e n e t e r a l i s e k s ehk sagedamini e h i t u s m ö r d i k s.

Peeneteralist betooni kasutatakse ehitustehnikas eriti laialdaselt. Tellishoonete ehitamisel seotakse tellised oma- vahel mördikihiga. Kui krohvitakse hoonete seinu — seest või väljast, — jälle kasutatakse mörti.

Olenevalt sellest, kus peeneteralist betooni kasutatakse, valmistatakse teda erinevatest koostisosadest. Hoonete seinte ladumisel kasutatakse ühte liiki sideaineid — kõige sagedamini õhk-sideaineid, mis kivistuvad ainult õhus (savi, lubi, kips); vundamentide ladumisel teist liiki — hüdrauli- lisi sideaineid, mis on võimelised kivistuma mitte ainult õhus, vaid ka vees.

Seinte ja vundamentide ladumisel kasutatavates mörti- des tarvitatakse kõige sagedamini tavalist jõe-, mäe- või kuristikuliiva. Teistel juhtudel kasutatakse kergete kivimite (pimsi ja tufi) või räbu peenestamisel saadud niinimetatud kergeteid ehk sooje liivu.

Tavaliselt nõutakse mördilt väikest tugevust — 10—25 kg/cm<sup>2</sup>. Säärase tugevusega mördi saamiseks on vaja võrdlemisi vähe tsementi. Kuid vähese tsemendihul- gaga valmistatud mört laotub tellistele halvasti ja kihistub kergesti, eritades seejuures vett. Seepärast lisatakse mörti- desse peale tsemendi veel spetsiaalseid lisandeid — p l a s-

tifikatooreid, peeneteraliste betoonide plastilisust, töödeldavust suurendavaid aineid. Neid lisandeid on kahe-  
suguseid: anorgaanilised, disperseed, mis väga  
peentest osakestest koosnedes hoiavad hästi vett ning moo-  
dustavad töödeldava, plastilise taina, ja orgaanilised  
— pindaktiivsed ained, milledest rääkisime varem.

Sääraste lisandite kasutamine säästab tsementi, lupja ja  
teisi sideaineid. See on väga suure tähtsusega, sest müüri-  
ja krohvimördid on üheks kõige levinumaks ehitusmaterja-  
liks.

Peale tavaliste mörtide tuntakse veel spetsiaalseid —  
akustilisi, veetihedaid, happekindlaid ja  
värvilisi ehitusmörte.

Kontserdisaalides, teatrites ja kinosaalides kasutatakse  
erilisi akustilisi, poorse pinnaga krohve. Seda liiki krohv  
on hea helisummutaja.

Juhul, kui puidust või tavalisest betoonist ehitused vaja-  
vad vee- või tulekaitset, kaetakse nende pind suuremat tihe-  
dust, vee- ja tulekindlust omavate peeneteraliste betooni-  
dega. Et tihedat kattepinda saada, selleks kantakse neid  
mörte kaitstavale pinnale suruõhu abil 2—5-atmosfäärilise  
surve all. Mört paisatakse välja erilise mehhanismi —  
tsemenidikahuri abil kiirusega ligi 100 m sekundis.  
Sel viisil seinapinnale kantud mört ei lase vett läbi isegi  
20-atmosfäärilise surve puhul. Tema survetugevus on väga  
kõrge — ligi 500 kg/cm<sup>2</sup>.

Hoonete fassaadid, aga mõnikord ka siseseinad, viimist-  
letakse sageli spetsiaalsete värviliste peeneteraliste betooni-  
dega — punase, valge, kollase, pruuni, rohelise, sinise või  
mustaga. Selleks kasutatakse mitmesuguseid värvaineid:  
valgeid ja värvilisi tsemente, mangaanülihapendit, umbrat,  
muumiat, mennikut, kroomhapendit.

Lõpuks tutvume täiesti eriliste betoonidega — mullbetoo-  
nidega, kus üldse puudub kivi-täitematerjal. Nad koosnevad  
vahu- või gaasimullikestega küllastatud tsementkivist.

Praegu kasutatakse ehitustehnikas kaht liiki mullbetoone  
— vahtbetoone ja gaasbetoone.

#### KIVISTUNUD VAHT

Kujutlege, et teile anti niisugune ülesanne: eraldada  
liivaks jahvatatud seatinamaagist puhas seatina. Kuidas  
seda teha?

Appi tulevad mullid. Needsamad mullid, mida lapsed armastavad puhuda seebivahust.

Seebimulli eluiga ei ole pikk. Ega asjatult räägita mingite kavade või lootuste luhtumise puhul, et need lõhkesid kui seebimullid. Ja nimelt niisugused mullid pani inimene enda heaks töötama.

Et mõista, kuidas nad töötavad, selleks vaatleme, mida kujutab endast seebimull ja mis on seebivaht.

Vedeliku või kõvakeha pinnakihi iga osake omab mõningat potentsiaalenergia<sup>1</sup> ülejääki, võrreldes keha sees olevate osakestega. Pinnakihi kõikide osakeste jääkpotsentsiaalenergia summat nimetatakse pinnaenergiaks.

On teada, et mingi vedelikukoguse, näiteks tilga tasakaaluks on vajalik, et tema pinnaenergia oleks minimaalne ehk, teiste sõnadega, et vedeliku välispind oleks minimaalne. Just seepärast ongi vihma- ja kastetilgad kerakujulised. Keral on antud mahu puhul kõige väiksem pind. Ideaalse kerakuju võtmist takistab tilkadel ainult neile mõjuv raskusjõud.

Tilkade kerajas kuju räägib sellest, et vedeliku pinnakihti võib võrrelda pingule tõmmatud õhukesest kummist membraaniga. Et see nii on, seda on kerge tõestada näidetega elust.

Kõik tunnevad vesivapsikut, veepinnal jooksvat veeputukat. Selle putuka jalad vajuvad küll pisut vee pinnakihti, kuid ei läbi seda. Seepärast räägitakse teaduses, et vedeliku igas suunas ühtlaselt pingutatud pinnakiht omab p i n d p i n e v u s t.

Veel on küllalt suur pindpinevus. Kui segame vett piiritusega, siis on saadud segul juba väiksem pindpinevus. Mis pärast siis?

Piiritusel on pindpinevus tunduvalt väiksem kui veel. Segamisel asenduvad pinnakihi veeosakesed piirituseosakestega. Seejuures vaba energia väheneb.

Nagu juba varem mainisime, vähendab ka seep vee pindpinevust.

Just sellepärast imeb seebivesi loksutamisel kergesti

---

<sup>1</sup> Potentsiaalenergia — keha olekust sõltuv varjatud energia; ta võib avalduda teatavatel tingimustel. Potentsiaalenergia näitena võib tuua ülestõmmatud kellapommi energia. Alla vajudes paneb pomm liikuma kella mehhanismi. Seejuures muutub pommi varjatud potentsiaalenergia kineetiliseks energiaks, s. o. liikumisenergiaks.

endasse suurel hulgal kõige pisemaid õhumullikesi. Üles kerkides moodustavad need mullikesed vedeliku pinnal seebivahu — haprad kerakujulised kiled. Tekkides libisevad mullikesed üksteisel niikaua, kuni saavutavad tasakaalu. Seebivahu iga mull koosneb õhukesest veekihist, mis on igast küljest ümbritsetud väga õhukese seebikihiga. Õhusurve vahumullides on alati suurem kui väljaspool neid. Seepärast on mullid ikka «pingul».

Kui väärtmetallidest ja kivimitest koosnev maak jahvata-pulbriks ja seejärel läbi segada (segisti või suruõhu abil) veega, millele on pisut lisatud vee pindpinevust vähendavat ja vahtu tekitavat õli, siis liiguvad maagiosakesed koos vahuga. Vahutavat segu rahule jättes näeme, et metalli- ja kiviosakesed (lubjakivi, kvartsiit) käituvad nüüd vahu suhtes erinevalt.

Kiviosakeste külge liubub vesi paremini kui õli. Seepärast nad sadestuvad põhja. Metalliosakesed aga, vastupidi, kleepuvad hästi õliga. Tänu sellele liubuvad nad õhumullikeste külge ja ujuvad koos nendega pinnale. Vaht kogutakse ja koos sellega ka metall.

Mullikeste abil maagist värviliste metallide eraldamise protsess kannab nimetust *flotatsioon*.

Mullikesed on inimese truud abilised. Me kasutame nende teeneid mitte ainult väärtmetallide saamiseks maagist. Kui me käsi peseme, toob mullidest koosnev vaht naha vaoketest mustusetükikesed välja ja kannab nad ära.

Ka ehitajad pöörduvad mullikeste poole abi saamiseks.

Kui segada vahtu tekitava aine vesilahust tsemendiga, siis, nagu flotatsiooni puhulgi, kleepuvad tsemenditerad vahukooriku pinnale. Saadakse vahust ja tsementliimist koosnev plastiline, hapukooretaoline vahune mass. Seda-mööda, kuidas tsementliim kivistub, tardub ka see mass, moodustades mullilise ehitusmaterjali — kivistunud vahu ehk vahtbetooni.

Kuni 90% kogu vahtbetooni mahust hõivavad õhumullid. Seepärast nimetataksegi vahtbetooni veel mullbetooniks.

Vahtbetooni valmistamiseks kasutatavad vahtu tekitavad ained peavad andma suurel hulgal peent, püsivat ja ühtlaselt jaotunud õhumullikestega vahtu.

Et mullid hästi töötaksid, selleks peavad nad olema sitked ja tugevad. Koormatuna tsemendi- või maagiterakestega peavad mullid kandma ka nende raskust, ise see-juures purunemata. Selleks on tarvis vahtu tugevdada, et

ta ei püsiks seebivahu moodi ainult minuti, vaid niikaua, kui inimesele on vaja.

Palju tuli keemikutel töötada mullikeste tugevuse kallal, et tõsta nende töövõimet. Akadeemik P. A. Rebinderi ja teiste nõukogude teadlaste uurimisi kroonis lõpuks edu.

Et kiled püsiksid võimalikult kauemini, selleks lisatakse vahtbetooni valmistamisel niinimetatud stabilisaatoreid (liimi, tärklis, želatiini, raua- ja alumiiniumsooli jne.). Kilede tugevust tõstetakse mineralisaatorite abil. Mineralisaatoritena kasutatakse tuhka, söetolmu ja savi. Vahukile külge kleepudes need ained nagu soomustavad teda, tõstavad tema tugevust ja sitkust.

Niisugune vaht on purunemist kartmata võimeline endal kandma kõvu osakesi kuni tugeva skeleti moodustumiseni kivistuvast õhumullidega tsement-liiv- või lubi-liivmördist

Vahtbetooni valmistamiseks segatakse tsemenditainast varem tehtud püsiva ja tugeva vahuga. See protsess teostub spetsiaalses vahtbetoonisegistis. Segisti koosneb kolmest trumlist, mis on varustatud pöörlevale võllile asetatud segamislavidatega. Kõik võllid pannakse liikuma ühe elektrimootori abil. Üks trumlitest on vahu, teine tsemenditaina valmistamiseks ning kolmas vahu ja taina segamiseks.

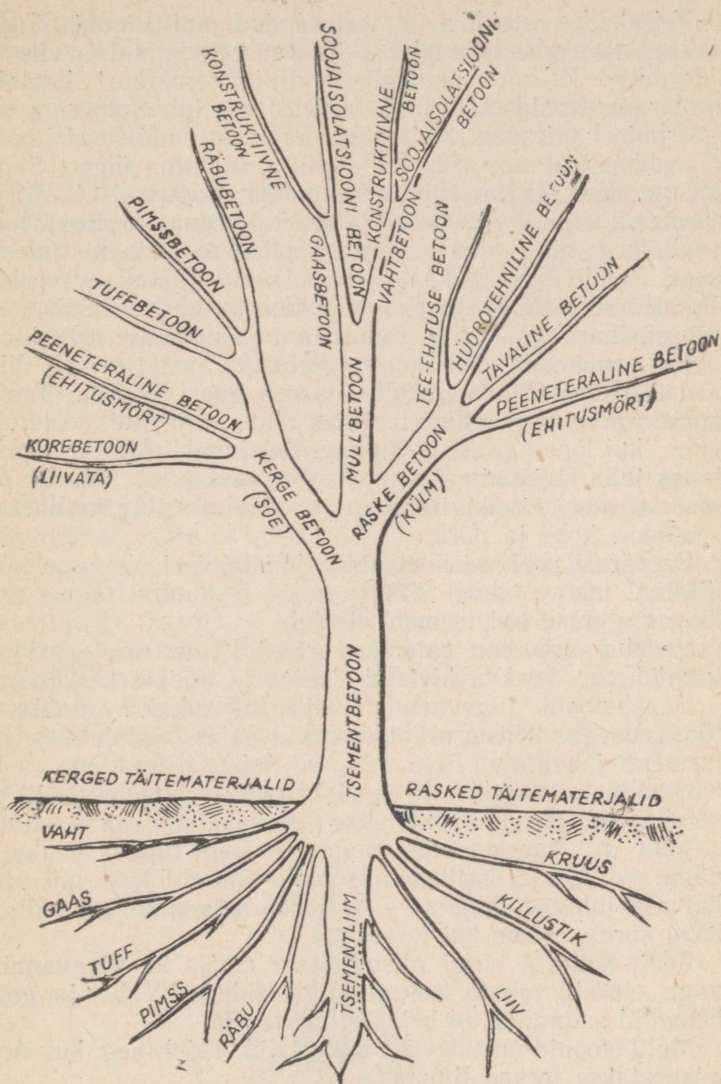
Valmis segu valatakse vormi, kus ta ka kõvastub, moodustades kivistunud vahust vajalike mõõtmetega detaile.

Selline on vahtbetooni saamise mehaaniline viis.

Mullbetoonid leiavad ehitustehnikas küllalt laialdast kasutamist. Neist tehakse hoonete seinu, vaheseinu ja -lagesid; neid kasutatakse külmutushoonete ja kunstjää-tehaste ehitamisel, aurukambrite ja kuivatite isoleerimisel jne.

Hästi kaitseb mullbetoon hoonete seinu kondensvee tekkimise eest. Seepärast kasutatakse teda kõrgendatud niiskusega tsehhides — tekstiili- ja paberivabrikutes, õlletehastes jne.

Kvaliteedilt parim on niinimetatud autoklaavitud vahtbetoon — betoon, mida valmistatakse autoklaavis, tihevalt sulguvas kõrge rõhu all kuumutamiseks määratud katlas. Säärases betoonis asendatakse osa tsemendi jahvatatud liivaga või kasutatakse tsemendi asemel lubja ja jahvatatud liiva segu. Viimasel juhul nimetatakse seda betooni autoklaavitud vahtsilikaadiks.



Joon. 18. Tsementbetoonide «sugupuu».

## GAASBETON

Teisel, keemilisel teel saadud mullbetooni nimetatakse gaasbetooniks. Tema valmistamise viis on järgmine. Et anda betoonile mullilist struktuuri, lisatakse mineraalsele sidematerjalile aineid, mis lubjalahusega reageerimisel eritavad vesinikku, hapnikku või teisi gaase. Gaasid paisutavad tsemendi- või lubjatina üles. Sageli kasutatakse selleks alumiiniumpulbrit koguses 0,1—0,25% tsemendi kaalust. Tsemendi ja vee kokkupuutel erituva lubja vesilahuse ning alumiiniumi vahelise reaktsiooni tulemusena tekib tsemenditainast paisutav gaas — vesinik. Tsemenditainale süsihappe- või kloorisoolade lisamisel eritub süsihappegaas, mis samuti annab mullilise massi.

Kui tsemendi tardumine aeglustub, mis esineb liialt vedela tsemenditaina puhul, siis osa gaasi lendub. Teisest küljest võib liiga paksus tainas alata tsemendi tardumine enne, kui lõpeb gaasi eritumine. Sel juhul tekkiv gaas, kohates juba kivistuma hakanud segu vastupanu, murrab end massist läbi. Poolkivinenud mass lõheneb ning mullbetoon saadakse kobe ja nõrk.

Seepärast peab gaasbetooni valmistamisel olema tsemenditainat teatav kindel sitkus; gaasi tekkimine tainas peab lõppema enne, kui tsement tardub.

Vedel gaasbetoon valatakse gaasi eritumise algperioodil vormidesse. Seal ta kivistub soojas ja niiskes keskkonnas.

Gaasbetooni tugevnemist võib kiirendada autoklaavis töötlemisega. Niisuguse töötlemise puhul asendatakse osa tsementi jahvatatud liiva, räbu või teiste lisanditega.

Omaduste poolest on gaasbetoon vahtbetooni lihane vend ja sellepärast kasutatakse teda seal, kus vahtbetoonigi.

Vaht- või gaasbetoonist majas on isegi tugeva pakasega väga soe. On ju mullbetoonis palju õhumullikesi, mis väga halvasti juhivad soojust — 40 korda halvemini kui tellis ja 2500 korda vähem kui teras.

Peale selle ei tungi niisugusesse majja ka tänavamüra, nagu oleksid seinad kaetud sulgkottidega. Vaht- ja gaasbetoonid summutavad heli suurepäraselt.

Mullbetoonid on tuleviku materjalid. Tuleb aeg, kus neist püstitatakse terved linnad.

## LÖPPSÕNA

Grandioossed on meie maal ehitustegevuse mastaabid, enneolematult lühikesed uute tööstusettevõtete püstitamise tähtajad.

Uute vabrikute, tehaste, elektrijaamade ehitamiseks vajatakse kümneid miljoneid kuupmeetreid betooni.

Nõukogude rahvas ehitab metallurgiakombinaate ja hüdroelektriijaamu, rajab metrootunneleid, raudtee- ja maanteemagistraale, püstitab kõrghooneid ja kultuuri-paleesid. Ja kõikjal on vaja betooni.

Vene teadlased I. G. Maljuga ja N. A. Beleljubski tegid ära suure töö teaduse arendamisel betooni alal. Kuid tänu nõukogude teadlaste N. M. Beljajevi, K. S. Zavrijevi, B. G. Skramtajeви, N. A. Popovi, V. V. Mihhailovi, S. A. Mironoyi, A. J. Dessovi, A. V. Volženski, V. V. Stolnikovi, O. A. Geršbergi ja teiste töödele on see teadus suurima arengu saavutanud alles meie ajal.

Tsemendi ja betooni tootmisel kasutatav nõukogude tehnika areneb pidevalt. Täienevad ja paranevad tsementide ja betoonide liigid ja omadused.

Betoon, nagu kõik teisedki ehitusmaterjalid — raud, teras, malm, looduslik kivi, tellis, puit —, aja jooksul «raugastub», kattub pragudega ja puruneb järk-järgult. Sügavalt mõista betooni elu, tema omadusi ja haigusi, õppida pikendama tema elu — nende ülesannete kallal töötavadki nõukogude teadlased.

Meie teadlaste ühine loominguline töö annab viljakaid tulemusi.

Nõukogudemaa betoonehitused jäävad püsima aastasadeks.



## SISUKORD

Sissejuhatus . . . . .	3
I. Mis on betoon . . . . .	4
Kunstkivi . . . . .	4
Kiviliim . . . . .	8
Betooni omadused . . . . .	20
Armeeritud betoon . . . . .	23
II. Betooni sünd . . . . .	28
Tugevuse retsept . . . . .	28
Killustiku- ja betoonitehastes . . . . .	33
Betooni paigaldamisest . . . . .	36
Kuidas betooni karastatakse . . . . .	41
Veealune betoneerimine . . . . .	45
III. Missuguseid betoone esineb . . . . .	48
Raske ja kerge betoon . . . . .	48
Kivistunud vaht . . . . .	51
Gaasbetoon . . . . .	56
Lõppsõna . . . . .	57

A. B. Чуйко  
Необыкновенный камень  
На эстонском языке  
Эстонское Государственное Издательство,  
Таллин, Пярну маantee 10

\*

Toimetaja H. Rehema.  
Tehniline toimetaja E. Plaks.  
Korrektorid E. Künarpu ja  
E. Toots.  
Ladumisele antud 14. III 1955.  
Trükkimisele antud 27. IV 1955.  
Paber 54×84, 1/16. Trükipoog-  
naid 3,75. Formaadile 60×92  
kohaldatud trükipoognaid 3,08.  
Arvutuspoognaid 3,23. Trükiarv  
5000. MB-07476. Tell. nr. 1451.  
Trükikoda «Kommunist», Tallinn,  
Pikk 2.

Hind rbl. 1.20.

3—3

Rbl. 1.20.

A-16558  
"

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00498139 7