

2. III 1948

P
1459

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
PUBLICATIONS FROM THE TALLINN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Seeria A nr. 25

1947

L. JÜRGENSON JA V. KAMSEN

CASAGRANDE SADESTUSANALÜÜSI
TEOSTAMINE PEENEVARRELISE
AREOMEETRIGA

С СОКРАЩЁННЫМ ПЕРЕВОДОМ НА РУССКИЙ ЯЗЫК:

ПРОВЕДЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ПО КАЗАГРАНДЕ ПРИ ПОМОЩИ ТОНКОСТЕРЖНЕ-
ВОГО АРЕОМЕТРА



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“

ARK

2/9748

A-1459

TALLINNA POLÛTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
PUBLICATIONS FROM THE TALLINN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Seeria A nr. 25

1947

L. JÜRGENSON JA V. KAMSEN

CASAGRANDE SADESTUSANALÜÜSI
TEOSTAMINE PEENEVARRELISE
AREOMEETRIGA

С СОКРАЩЁННЫМ ПЕРЕВОДОМ НА РУССКИЙ ЯЗЫК:

ПРОВЕДЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ПО КАЗАГРАНДЕ ПРИ ПОМОЩИ ТОНКОСТЕРЖНЕ-
ВОГО АРЕОМЕТРА

Kohustuslik kontrollieksemplar



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU, 1947



~~A-12231~~

ARHIIVKOGU

Ehitiste püstitamiseks vajame andmeid ehitamisel häiritava pinnase omaduste kohta. Pinnase ehituslikud omadused sõltuvad üsna oluliselt terastikulise koosseisu väikesemõõtmelistest koostisosadest. Viimaste sisaldumisprotsendi ja suuruse määramise praktilisemaid viise on areomeetriline sadestusmenetlus, mille täiustamine omab seega rakenduslikku tähtsust, seda enam, et ta võiks leida rakendamisevõimalusi muudelgi erialadel.

Käesolevas töös on toodud kirjeldus Tallinna Polütehnilises Instituudis väljatöötatud peene varre ja väikese pirniga sadestusanaliüüsi areomeetrist, selle kalübrimise viisist kaalu abil ja korrelatsiooni skaalade koostamisest ning on antud ülevaade arvutuse käigust nendega sadestusanaliüüsi tegemisel. Töö põhineb A. Casagrande uurimustel ja valemitel, mille tulemised on antud töökäigu selgituseks.

Peeneteralise materjali analüüsimine Casagrande menetlusel.

Terakestest koosneva materjali terasuuruste analüüsimisel on kõige tarvitavamaks vahendiks neljakandiliste aukudega traatsõel. Terasuuruseks nimetatakse seejuures sõela ava suurust, millest antud terake veel vaevu läbi mahub.

Sõelanalüüsi praktiliseks piiriks on aga tera suurus 0,075 mm, mis vastab kõige peenemale tarvitusel olevale metallisõelale. Sellest tihedamaid metallisõelu on praegu ebapraktiline ehitada. Siidist sõelaga on võimalik mõõta veelgi peenemaid terasuurusi (kuni 0,044 mm), kuid see on juba võrdlemisi õrn ning kallis riist ja on ainult harukordseid praktikas tarvitusel.

Peenemate terasuuruste mõõtmiseks on tegelikus elus kõige soodsamaks menetluseks sadestusanalüüs, milles terade suurused määratakse nende langemiskiiruse järgi mingis vedelikus, tavaliselt vees. Terasuuri on võrdlemisi lihtne määrata mõõtemikroskoobiga, kuid seejuures on väga tülikas saada pilti sellest, miline on terasuuruste jaotus antud materjalis, s. o. kui suure protsendi terade kogukaalust moodustavad antud suurusega terad. Terasuuruste jaotuse määramine aga ongi analüüsi peaülesanne ja seepärast ei saa mikroskoopi vahetult rakendada.

Mida suurem on tera ja mida suurem on materjali erikaal, seda suurem on ta kaal ja järelikult ka tera langemiskiirus vedelikus. Teisest küljest mõjutab vedelikus hõljuva terakese tegelikult mõjuvat kaalu ning langemiskiirust veel vedeliku erikaal. Kolmandaks oleneb terakese poolt ületatav takistus ning seega ka sadestumiskiirus vedeliku viskoossusest. Viimane on omakorda sõltuv vedeliku temperatuurist.

Seose tera suuruse ja muude tegurite vahel annab Stokes'i seadus, mis ongi sadestusanalüüsi teoreetiliseks põhialuseks.

$$\text{Stokes'i seaduse kohaselt on } d = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1} \frac{L}{T}}, \quad (1)$$

kus d — sadestuva terakese läbimõõt mm,
 n — suspensioonivedeliku (tavaliselt vee) viskoossus $\frac{\text{g sec}}{\text{cm}^2}$,
 G — teramaterjali erikaal g/cm^3 ,
 G_1 — vedeliku erikaal g/cm^3 ,
 L — sadestusteeikonna pikkus cm,
 T — teekonnale L vastav ajavälde minuteis.

See seadus oletab, et üksik kerakujuline tera langeb vabas piiramatuse veekogus, teistest segamatult. Et aga tegelikkuses on terakeste kuju harva täpselt kerakujuline, siis tuleb sadestusanalüüsi rakendamisel terad liigitada nende sadestumiskiiruse järgi ja tera suuruseks nimetada kerakujulise tera läbimõõtu, mis sadestub antud terale võrdse kiirusega.

Areomeeteranalüüsi puhul kasutatakse sadestumiskiiruse ning suspensiooni erikaalu mõõtmiseks stopperit ja areomeetrit. Areomeetri pinni sügavus veepinnast määrab tera langemistee pikkuse, millest saab iga antud ajavahemiku kohta tuletada sellele vastava terasuuruse Stokes'i seaduse abil. Teiseks määrab areomeetriga mõõdetav suspensiooni erikaal vees hõljuvate terade koguse, millest saab tuletada vaateväljast juba välja langenud terade protsenti nende kogukaalust.

Bouyoucos'i areomeeteranalüüsi puhul kasutatakse mõõtmisteks areomeetrit, mille jaotused otseselt annavad vees hõljuvate terakeste kaalu ühe liitri suspensiooni kohta teatud sügavusel veepinnast. Et sellist jaotust saada otseselt areomeetri varrél, selleks tuleb luua teatud oletusi ja tingimusi. Need on aga üldiselt kõik küllaltki lähedal tegelikule olukorrale, välja arvatud terade langemistee pikkus, mis tuleb arvutuse tegemisel arvestada vastava korrektuurteguriga.

Casagrande areomeeteranalüüsis mõõdab areomeeter suspensiooni erikaalu. Olenevalt areomeetri mõõtmeist tuleb Stokes'i valem lahendada kas nomograafiliste diagrammide abil või arvutada arvlükatil. Vajaliku töö lihtsustamiseks on soodus kasutada Bauer'i tabelleid, kus on juba välja arvatud kõik valemi osad, mis olenevad ainult füüsikalistest teguritest — erikaalust, temperatuurist ja, sõltuvalt viimasest, ka viskoossusest. Casagrande uurimused näitasid, et Stokes'i valemil põhinev areomeeteranalüüs on väga praktiline ja seejuures küllaltki täpne menetlus terasuuruste jaotuste määramiseks, kui terasuurused on 0,2—0,0002 mm piirides. Suuremate kui 0,2-mm terade puhul ei ole menetlus rakendatav ja samuti ka peenemate kui 0,2- μ terade puhul. Areomeeteranalüüsi tegemisel tuleb oletada, et kogu areomeetri pinni maht on koondatud areomeetri pinni keskohta, s. o. et sellest tasapinnast all- ja ülalpool asetsevate suspensioonikihtide mõjud areomeetrile tasa-

kaalustavad üksteist vastastikku. See oletus ja veel muudki vead on aga üldmõjus praktiliselt lubatavais piirides.

Pinnasematerjalide analüüsimisel on suspensioonivedelikuks tavaliselt destilleeritud vesi. Koaguleeruvate pinnaste puhul tuleb sellele lisada koaguleerumist takistavaid kemikaale, tavaliselt paar tilka vesiklaasilahust.

Materjalide analüüsimisel, mis vees lahustuvad või oma koostist muudavad, nagu näiteks portlandtsement, tuleb kasutada mingit neutraalset vedelikku, nagu seda on tsemendi puhul petrooleum. Seejuures tuleb muidugi arvesse võtta erinevusi erikaalus ja viskoossuses.

Areomeetriga tehtava sadestusanalüüsi käik on tavaliselt järgmine. Umbes 30-grammine uuritava pinnase proov lastakse enne põhjalikult läbi liguneda ja segatakse siis destilleeritud veega võimalikult ühtlase koostisega suspensiooniks, kogumahuga 1000 cm³. Eriti peeneteraliste pinnaste puhul on soovitatav segada mehhaanilise segajaga. Suspensioon valatakse liitrilisse klaassilindrisse, kus segamist jätkatakse otsast kummikorgiga või peopesaga suletud silindri üles-alla (180°) kallutamisega.

Segamise seisma jätmisel lastakse käiku stopper.

Suspensiooni segamine peab olema niivõrd põhjalik, et terade jaotus vedelikus oleks võimalikult ühtlane teima alguse hetkel, s. o. ajal, mil lõpeb segamine ja käiku lastakse ajamõõtja.

Terad hakkavad nüüd põhja valguma. Oletuste kohaselt on võrdse suurusega terade langemiskiirus võrdne ja olenematu muudest teradest. Mida suurem on tera, seda suurem on ka ta langemiskiirus.

Koos terade väljalangemisega hakkab vähenema suspensiooni erikaal, mida mõõdame areomeetriga teatud ajavahemikel pärast teima algust. Areomeetriga mõõdetud erikaaludest saabki arvutada, milline kaaluprotsent teri on veel vaateväljas hõljumas.

Teiseks on tarvis teada sellele kaaluprotsendile vastav terasuurus. Kuna analüüs põhineb oletusel, et kogu areomeetri pirni maht on koondu nud pirni keskpunkti, siis jääb määravaks vaateväljaks suspensiooni kiht pirni mahu keskpunktile vastaval sügavusel, nn. efektiivsel sügavusel L , allpool suspensiooni veepinda. Teades sügavust L võime Stokes'i seaduse abil iga antud ajavälte T jaoks arvutada tera läbimõõdu, mis, langedes pinnalt, on jõudnud antud sügavuseni, teiste sõnadega, võime arvutada terasuurse, mis vaateväljast on juba välja langenud. Terad, mis on vaadeldava teraga ühesuurused, kuid algasid teekonda veepinna all asetsevaist kihtidest, on kõik juba vaateväljast mööda jõudnud, samuti ka kõik terad, mis on suuremad ning langevad kiiremini. Teima algul vaateväljas hõljunud peenemadki terad on siit alla vajunud ja lahkunud,

kuid pealpool olevaist kihtidest tulevad uued pidevalt jälle asemele. Teras-
tiku koostis vaateväljas muutub seetõttu ikka ainult ühes suunas: järk-
järgult lahkuvad siit jämedamad terad. Peenemate terade hulk ja suhteline
koostis jääb vaateväljas muutumatuks pealpool asetsevaist kihtidest
allavalgvate terade tõttu.

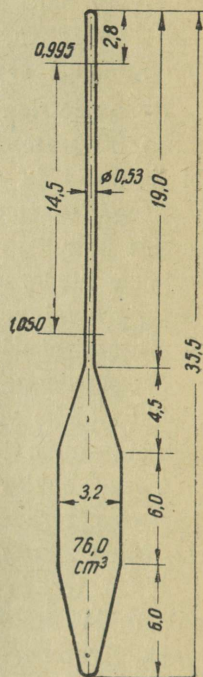
Võttes areomeetri lugemite ajavahemikuks $\frac{1}{2}$ min. kuni 24 tundi teima
algusest, saab Casagrande areomeetriga määrata terade kaaluprotsendid ja suurused 0,075 kuni
0,0015 mm piirides.

Terade kogukaal tuleb määrata kaalumisega. Selleks tuleb suspensiooni vesi pärast areomeetriga
mõõtmiste lõpetamist kallata aurustuskaussi, välja kuivatada kuumutuskaupis ja enne kaalumist jahutada
eksikaatoris. Kui on lubatav proovi kuivatamine enne analüüsi tegemist, siis on lihtsam ta kaaluda enne vee
lisamist.

Casagrande areomeetri kuju ja suurus on kuju-
tatud joonisel 1. Selleks et klaasvarre sisse mahuks paberist erikaaluskaala, peab ümariku varre jämedus
olema vähemalt 4—5 mm piirides. Analüüsis on tarvis, et areomeetri lugemid vastaksid erikaalule
0,995—1,030 ja oleksid seejuures veel kergesti ja kiiresti loetavad mitteläbipaistvas suspensioonis, mis
nõuab 12—15 cm pikkust skaalat. Siit järeldub, et pirni maht peab olema vähemalt 60—70 cm³.

Analüüsi täpsuse, kiiruse ja hõlpsuse seisukohalt on soovitatav võimalikult väiksem ja lühem areomeetri
pirn. Seda nimelt seepärast, et see vähem segab suspensiooni areomeetri sissepanekul ja väljavõtmisel,
kogub vähem väljasadestunud teri pirni pealispinnale ja kergitab oma väiksema mahu tõttu ka vähemal
määral suspensiooni veepinda. Lühema pirni puhul on ka paremini täidetud nõue, et ta maht koonduks
pirni keskkoha — meie vaatevälja asupaika.

Pealpoelses osas on suspensiooni erikaal väiksem. Seega on väiksem ka väljatõrjesurve areomeetri pirnile. Suurema kauguse tõttu veepin-
nast on suspensiooni erikaal allpool vaatevälja nivood suurem ja see-
tõttu on suurem ka erisurve areomeetri pirnile. On ilmne, et lühema
pirni puhul on enam eeldusi, et need kaks tegurit teineteist paremini
tasakaalustavad.



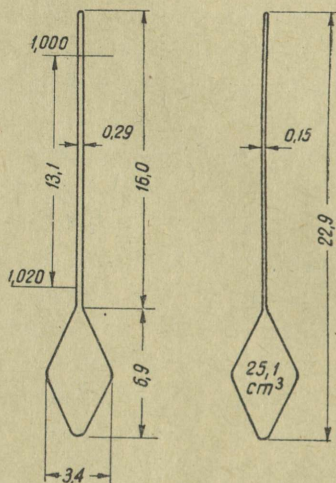
Joon. 1. Näide sadestusanalüüsi areomeetri tüüpilistest mõõtetest. Mõõtmised cm-tes.

Hea analüüsiareomeeter peaks seega olema 1) hästi peene varrega, mis, andes lugemisel küllaldase täpsuse, lubaks kasutada väikest ning minimaalselt suspensiooni segavat pirni, mis kitsendaks vähem sadestuspinda ja tõstaks võimalikult vähe veepinda, 2) lühikese pirniga, mis paremini tasakaalustaks erikaalude erinevuse mõju all- ja ülalpool pirni keskpunkti ja annaks ühtlasi ka lühikese sadestustee pikkuse (veepinnast vaateväljani), mis lühendab analüüsi teostamise aega.

Peenevarreline sadestusanalüüsi areomeeter.

TPI uurimuste eesmärk oli selgusele jõuda ülaltoodud põhimõtete rakendamisvõimaluste kohta tegelikkuses. Peatumata vähem rahuldavaid tulemusi andnud katsetustel, esitame siinkohal väljatöötatud klaasareomeetri kirjelduse. Areomeeter on kujutatud joonisel 2.

Areomeetri vars on valitud lapergune ja ainult nii suur, et peen pabeririba sisse mahuks ning et pirni paigutatav ballast läbi läheks. Bai-

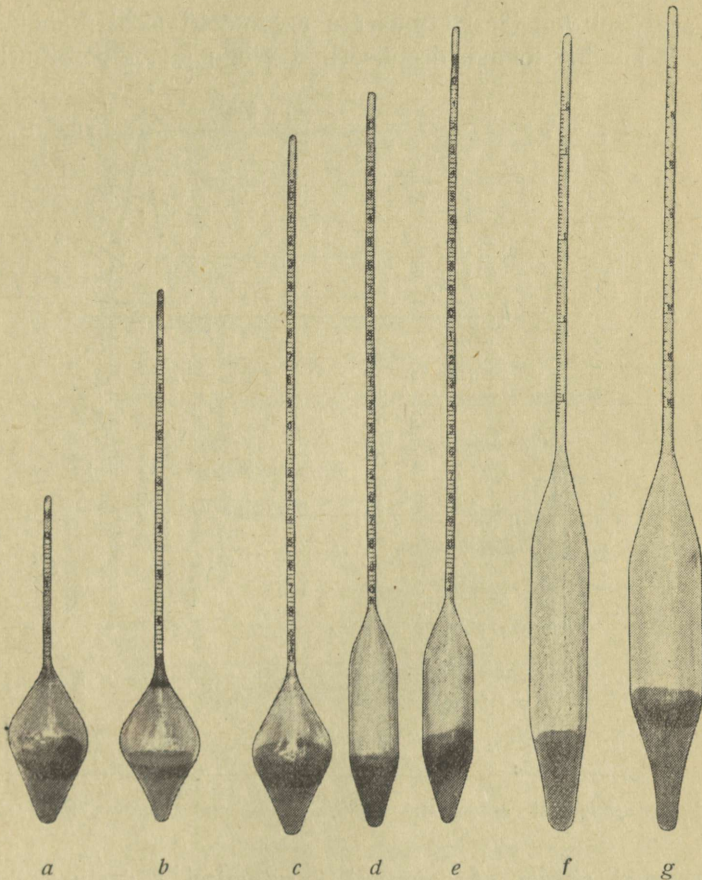


Joon. 2. Näide peenevarrelise sadestusanalüüsi areomeetri mõõtmetest. Varre kuju on lapergune. Mõõtmed — cm.

lastiks on valitud peen rauapuru ja selle kokkutsementimiseks peen kirjalaki puru, mis kuumutamisel sulab ja ballasti paika kinnitab.

Varre väike põiklõike pind ($0,037 \text{ cm}^2$) lubab teha ka pirni lühikese ja väikese mahuga. Ülesvõttel joonisel 3 c kujutatud areomeetri pirni maht on $27,4 \text{ cm}^3$ ja pirni pikkus 7,0 cm. Mainime võrdluseks, et TPI seniste areomeetrite pirni maht on 70 cm^3 ja pirni pikkus 16 cm, läbimõõt 30 mm. Areomeetri erikaalujaotuste märkimine toimub tavaliselt

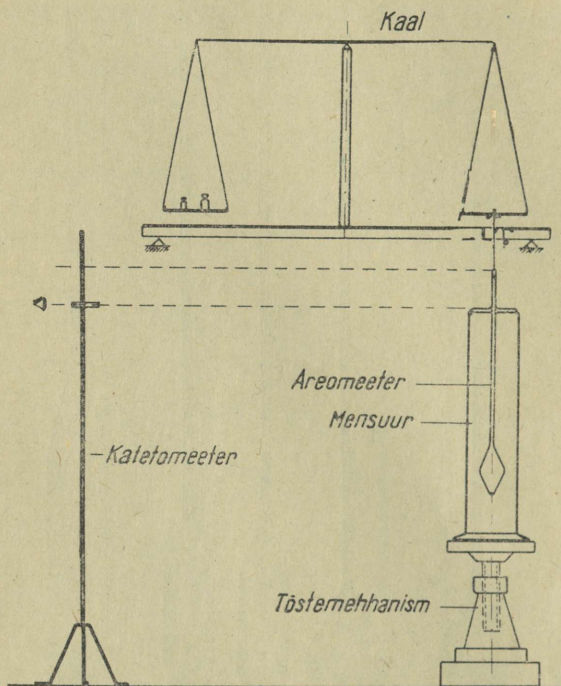
tööstuses. Võrdlemised ja laboratoorne kontroll näitab aga, et siin sageli esineb suuri vigu. Seepärast oli püüdeks seegi töö suunata laboratooriumi ja teostada see kaalumisel, mis kõikidest lihtsamaist mõõtmisviisidest annab suurima täpsuse.



Joon. 3. Ülesvõtte sadestusanalüüsi areomeetritest. Esimesed viis on peene varrega areomeetrid, viimased kaks — tavalised sadestusanalüüsi areomeetrid.

Kaliibrimiseks on tarvis määrata areomeetri maht, alates allotsast kuni varre tipuni. See menetlus on kujutatud joonisel 4. Areomeeter riputatakse niidi abil laboratooriumi kaalu otsa ja, mõõtes teatud sügavuseni vette lastud areomeetri kaalu, määratakse maht allotsast kuni varre tipuni. Joonisel 2 kujutatud areomeetri mahu diagramm on näidatud joonisel 5.

Areomeetri pikkuse ja veesoleku sügavuse, s. o. veepinna seisu määramine toimub pikksilmaga varustatud katetomeetri abil. Selleks et veepinna seisu täpselt määrata, on veenõu täidetud veidi üle servade, nii et veepinna seis on pikksilmas näha otseselt, mitte aga läbi klaasnõu seinu. Lisaks areomeetri igale sügavusele vastava erikaalu lugemi määramisele saab sel teel täpselt määrata areomeetri pinni mahukeskpunkti asukohta. Mõõtmine toimub destilleeritud veega ja temperatuuril 20° C.

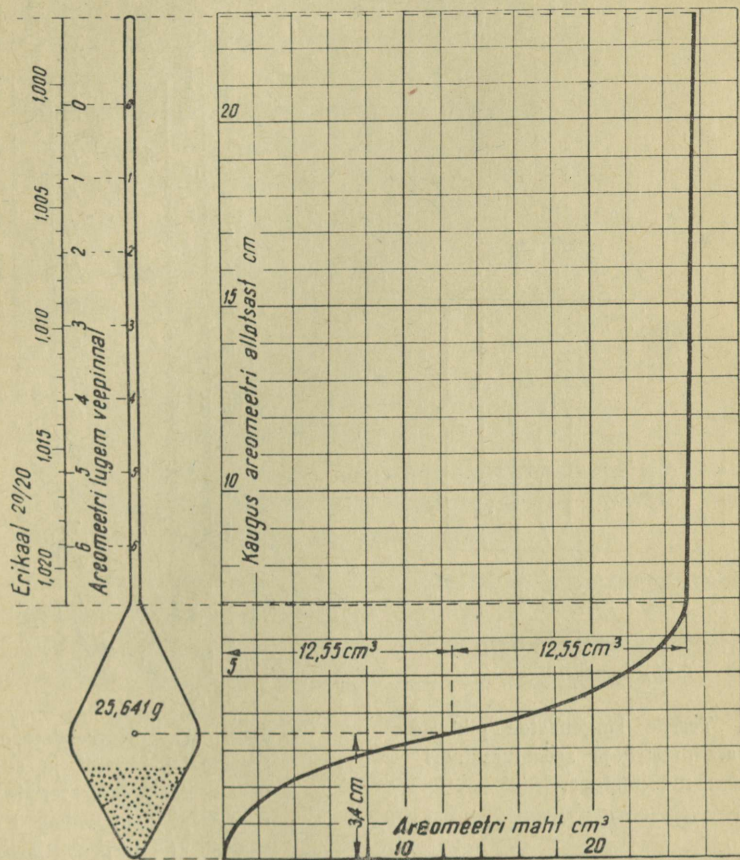


Joon. 4. Sadestusanalüüsi areomeetri kalibreerimise skeem kaalu ja katetomeetri abil.

Areomeetri skaala. Areomeetri kasutamisel sadestusanalüüsis on väga tähtis, et skaala oleks kiiresti ja hõlpsasti loetav ka siis, kui areomeeter läbipaistmatus suspensioonis veidi tiirleb. Kõige soodsam skaala oleks nivelleerimislati põhimõttel tehtud värviline jaotus parajate vahede ja lihtsate arvudega.

Kõige praktilisemaks osutus lihtne skaala kahemillimeetriste jaotustega, milles iga vahelduv 10-mm vahe on värvitud punaseks või hele-roheliseks. Paberile joonestatud skaala kinnitatakse varre sisepinna külge kirjalakiga, pärast seda kui ballasti lisamisega on areomeetrile antud paras kaal, s. o. kui erikaalule 1,00 vastav veepind on viidud areo-

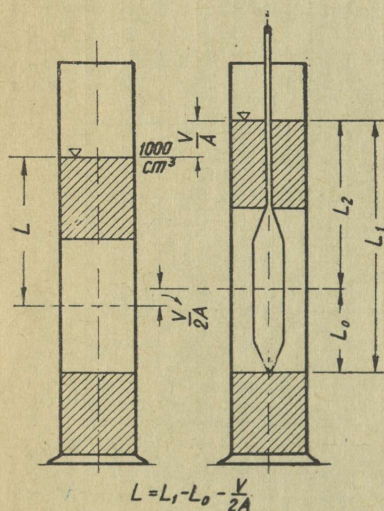
meetri varre tipp lähedale. Seejärel tuleb kohe varre tipp kinni joota. Nõnda saab täiesti välja lülitada võimalik viga skaala kinnitamisel kindlale erikaalule vastavasse paika ja samuti ka võimalik viga erikaalu kriipsude jaotamisel, sest kinnitatud skaala meelevaldselt tehtud jaotuste tähendus määratakse juba areomeetri suletud olekus.



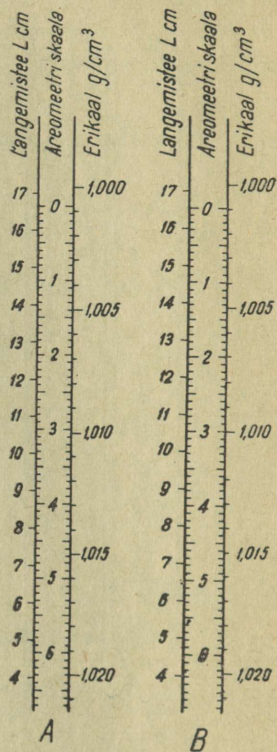
Joon. 5. Areomeetri mahu diagramm alumisest otsast kuni ülemiseni. Vasakul on näidatud areomeetri lugemitele (või antud veepinna seisule) vastav erikaalude skaala.

Areomeetri lugemite korrelatsioon erikaaluga ja efektiivse sügavusega (L) on praktiliselt kõige hõlpsamini teostatav graafilises skaalas. Skaalal joonisel 5 on toodud side areomeetri lugemi ja sellele vastava vedeliku erikaalu vahel. Nii näiteks vastab areomeetri seisule 3,05 erikaal 1,010.

Sadestusanalüüsis on aga terastiku kaalu protsentide arvutamiseks tarvis ainult erikaalu erinevust ühest (1,000), s. o. ainult erikaalu väljendava arvu murdosa (antud juhtumil 0,010). Asja lihtsustamiseks võibki seepärast diagrammile kanda ainult need arvud. Teiseks on tera-



Joon. 6. Terade langemistee pikkuse L seos areomeetri ja sadestussilindri mõõtetega.



Joon. 7. Korrelatsiooniskaala areomeetri lugemi ja suspensiooni erikaalu ning terade langemistee pikkuse vahel. Esimesel skaalal (A) peab areomeetri lugemi võtma veepinnalt, teise skaala (B) puhul tuleb lugem võtta otse meniski tipust. Viimasel juhtumil ei vaja meniski tipust võetud lugem enam korri-geerimist.

suuruse arvutamiseks tarvis teada, milline oli igal antud hetkel terakese teekonna pikkus suspensiooni algpinnalt kuni tasemeni, kus asetseb areomeetri pirni mahukeskpunkt (efektiivne sügavus L). See võimaldab

arvutada vaateväljast, s. o. areomeetri mahupunktile vastavast tasapinnast väljalangenud suurima terakese langemiskiiruse L/T ja sellest siis terasuuruse.

Peame silmas pidama, et ainult juhtumil, kui suspensiooni pind areomeetri sissepanekul ei kerki (s. o. kui areomeetri maht on väga väike võrreldes sadestussilindri põiklõikega), on L võrdne pikkusega veepinnalt kuni pirni keskpunktini, s. o. $L = L_1 - L_0$. Tegelikult kerkitab suspensiooni pind areomeetri sisselaskmisel suuruse võrra $V_p : A$, kus V_p — areomeetri pirni maht cm^3 ,

A — sadestussilindri põiklõike pind cm^2 .

Selle suuruse võrra pikeneb areomeetri pirni ümber asetsev suspensiooni samm, ja kui jätta tähele panemata areomeetri varre maht, siis võib öelda, et pool sellest pikenemisest (s. o. $\frac{V_p}{2A}$) toimub pealpool pirni mahupunkti ja pool allpool (joon. 6).

Antud juhtumil on seega $L = L_1 - L_0 - \frac{V_p}{2A}$. Vastavad L väärtused ongi märgitud korrelatsiooniskaalale joonisel 7.

Analüüsi teostamisel on vajalik, et tarvitatavad sadestusanumad oleksid kõik võimalikult võrdse siseläbimõõduga (s. o. võrdse A -ga) silindrid. Suurus A tuleb tingimata märkida skaalale, et mitte teha vigu erineva suurusega sadestusanuma kasutamisel.

Meniski korrektuur. Areomeetri kaliibrimisel võetakse lugemid ikka vedeliku pinna kõrguselt ja vedeliku pinnale vastav lugem annab õige erikaalu. Areomeetri varre pinna ja vedeliku pinna vahel mõjuvate kapillaartungide tõttu tõuseb aga vedeliku pind areomeetri varre ümber veidi kõrgemale, moodustades veepinnas väikese kõveriku, nn. meniski. Selgete vedelikkude puhul ei tee see nähtus suuremat raskust, sest lugemit saab kergesti võtta vee pinnalt, s. o. meniski jalalt. Sogane pinnasesuspensioon pole aga läbipaistev ja areomeetri lugemit saab võtta ainult meniski tipult, mis on umbes 1—1,2 mm kõrgemal vedeliku pinnast. Nii erikaalu kui ka efektiivse sügavuse peame aga arvutama vedeliku pinnalt ja seetõttu tuleb areomeetri lugem korrigeerida, võttes lugemi skaalal meniski tõusu võrra madalamalt.

Joonisel 7 on toodud kaks korrelatsiooniskaalat, millest esimesel juhul (A) on skaala koostatud nii, et lugemid tuleb võtta veepinnalt. Et see sogase suspensiooni puhul on võimatu, siis tuleb skaala lugeda meniski tipust, kuid tehtud viga parandada vastava (meniski) korrektuuriga. Teine skaala (B) on koostatud nii, et erikaalu ja langemistee pikkuse õiged (veepinnale korrigeeritud) suurused vastavad areomeetri

lugemitele meniski tipus. Sel juhul jääb ära vajadus meniski korrek-
tuuri tegemiseks.

Korrelatsioonitabelid on laboratooriumi praktikas sageli otstarbe-
kamad kasutada kui skaalad. Igakordse skaalalt lugemise ja vahede
hindamise asemel on laborantidel mugavam ja aega säästvam üks kord
koostada skaala alusel tabel ja võtta korrelatsiooni andmed otse tabe-
list. See viis vähendab ka vigade tegemise võimalusi.

Tabel 1.

Näide areomeetri lugemite korrelatsioonitabelist (väljavõte).

Areomeeter R-111; $V = 25,1 \text{ cm}^3$, $A = 28,8 \text{ cm}^2$, $L_0 = 3,4 \text{ cm}$.

Areomeetri lugem	L	r'
...
...
3,00	10,6	0,0100
3,05	10,5	0,0101
3,10	10,4	0,0103
3,15	10,3	0,0105
3,20	10,2	0,0106
3,25	10,1	0,0108
3,30	10,0	0,0109
3,35	9,9	0,0111
3,40	9,8	0,0112
3,45	9,7	0,0114
3,50	9,6	0,0115
3,55	9,5	0,0117
3,60	9,4	0,0118
3,65	9,3	0,0120
3,70	9,2	0,0121
3,75	9,1	0,0123
...
...

Tabelis 1 on toodud näide seda laadi tabelist areomeetri kohta,
mille skaalat kujutab joonis 7.

Casagrande areomeeteranalüüsi valemid ja Baueri tabelid.

Temperatuuri korrektuur. Taya kohaselt toimub areomeetri kaliibrimine toatemperatuuris $+20^{\circ}\text{C}$. Vee erikaal loetakse seejuures võrdseks ühega. Areomeetri skaalapaberile ongi selle asjaolu tähistamiseks pandud märk $20^{\circ}/20^{\circ}$. Tegelikult on aga vee erikaal võrdne ühega $+4^{\circ}\text{C}$ juures ja tõeline erikaal on $R = r_c \cdot G_c$, kus G_c — vee erikaal kaliibrimise temperatuuril ja r_c — meniskile parandatud erikaalu lugem samal temperatuuril.

Analüüside tegemisel on aga vee temperatuur erinev kaliibrimise temperatuurist ja seetõttu on erinev ka areomeetri pirni maht. Et aga pirni erinev maht välja tõrjub erineva koguse suspensiooni, siis ei näita riist enam õiget erikaalu. Kui suspensiooni temperatuur mõõtmisel erineb kaliibrimise temperatuurist, siis on tõeline erikaal

$$R = \frac{r_t G_c}{1 + (t - t_c) E},$$

kus r_t — skaala lugem mõõtmise temperatuuril t ,

E — areomeetri pirni (klaasi) mahuline paisumistegur,

$t - t_c$ — temperatuuri erinevus kaliibrimise temperatuurist.

Suspensiooni erikaal on ikka suurem kui 1,0, näiteks 1,024, mille võime kirjutada $1 + 0,024$. Arvutuse hõlbustamiseks on soodsam üles märkida ainult erikaalu erinevus ühest, s. o. erikaalu arvu murdosa. Kui märkida $r_t = 1 + r'$, siis saame temperatuurile korrigeeritud erikaalu valemiks

$$R = \frac{(1 + r') G_c}{1 + (t - t_c) E}.$$

Analüüsi tulemuseks on tarvis kaht tegurit: esiteks terasuurst D ja teiseks sellest terasuurstest peenema fraktsiooni kaalu protsentides

terade kogukaalust. Kui vaateväljas on veel järel W grammi teri ühes cm^3 , siis on terade maht $\frac{W}{G}$, kus $G =$ terade erikaal.

Suspensiooni ühes cm^3 on seega mahu järgi teri $\frac{W}{G} \text{ cm}^3$ ja vett $1 - \frac{W}{G} \text{ cm}^3$. Kaaluliselt sisaldab suspensiooni üks cm^3 W grammi teri ja $(1 - \frac{W}{G}) G_1$ grammi vedelikku [kus $G_1 =$ vedeliku (vee) erikaal] ning kaalub järelikult $W + (1 - \frac{W}{G}) G_1$ grammi. Suspensiooni tõeline erikaal on seega $R = W + G_1 - \frac{WG_1}{G}$; siit leiame $W = \frac{G}{G - G_1} (R - G_1)$. Igal antud hetkel mõõdab areomeeter suspensiooni erikaalu, s. o. suuruse R efektiivsel sügavusel L allpool vedeliku pinda, ja sellest saamegi ülaltoodud valemi abil arvutada antud sügavusel ja antud hetkel järele jäänud terade kaalu W , s. o. terade kaalu, mis on peenemad kui antud sügavusest juba mõõdavalgunud terad (suuruselt suuremad kui D). Selle peenema fraktsiooni kaal tuleb aga väljendada protsentides terade üldkaalust (w).

Kui teima algul oli kuupsentimeetris w grammi teri ja aja T möödumisel on efektiivsügavusel L järele jäänud veel W g/cm^3 , siis on peenema fraktsiooni kaal $P = \frac{W}{w} \cdot 100$ protsenti algkaalust. Asendades siin suuruse W ülaltoodud valemiga, saame

$$P = \frac{100}{w} \frac{G}{G - G_1} (R - G_1).$$

Lülitades valemisse temperatuuri mõjule korrigeeritud avaldise

$$R = \frac{(1 + r') G_c}{1 + (t - t_c) E}, \text{ saame}$$

$$P = \frac{100}{w} \frac{G}{G - G_1} \left(\frac{r' G_c}{1 + (t - t_c) E} + \frac{G_c}{1 + (t - t_c) E} - G_1 \right).$$

Nimetades tegurid $\frac{G_c}{1 + (t - t_c) E} = C$ ja

$$\frac{G_c}{1 + (t - t_c) E} - G_1 = F,$$

saame tegelikuks kasutamiseks lõppvalemi

$$P = \frac{100}{w} \frac{G}{G - G_1} (r'C + F).$$

Saadud valemi rakendamisel võib tegurid C ja F võtta vastavaist E. Baueri arvatatud *) tabelleist või diagrammidest (vt. tabelid 2, 3 ja 4). Tegur C on tegelikult niivõrd lähedal ühele, et see praktiliselt võetuna skaala lugemit ei muuda.

Avaldis terasuuruse kohta oli $D = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1} \frac{L}{T}}$, mille võib kirjutada

$$D = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1}} \cdot \sqrt{\frac{L}{T}} = B \cdot \sqrt{\frac{L}{T}}.$$

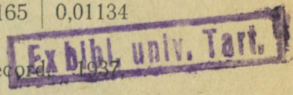
Selles valemis on vedeliku viskoossus suuresti sõltuv temperatuurist. Pinnaste analüüsides on suspensioonivedelikuks tavaliselt ikka vesi ja seetõttu võib iga antud terakeste erikaalu ja temperatuuri jaoks koostada tabel B väärtuste kohta (vt. tabel 2). Terasuuruste arvutamisel tuleb

Tabel 2.

Suurused $B = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1}}$ olenevalt temperatuurist ja terakeste erikaalust G .

Tempera- tuur °C	Terakeste erikaal G								
	2,40	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,90
16	0,01558	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01338
17	0,01538	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01320
18	0,01519	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01303
19	0,01499	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01362	0,01342	0,01323	0,01287
20	0,01481	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01272
21	0,01463	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01257
22	0,01446	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01242
23	0,01429	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01227
24	0,01412	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01213
25	0,01396	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01199
26	0,01381	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218	0,01185
27	0,01365	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01172
28	0,01350	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01159
29	0,01335	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178	0,01146
30	0,01321	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01134

*) E. Bauer, Hydrometer Computations. Engineering News Record, lk. 662—664.



Tabel 3.
Vee erikaal ja viskoossus ning korrektuurtegurite C ja F suurused sõltuvalt temperatuurist *).

Klaasi mahulise paisumise tegur on võetud $E = 0,000025$.

Tempera- tuur ° C	Vee erikaal g/cm ³	Vee viskoossus g sec/cm ²	Korrektuur- tegur C	Korrektuur- tegur F
16	0,998 9705	0,011 111	0,998 3341	-0,000 6
17	8029	0,010 828	3092	-0,000 5
18	6244	559	2842	-0,000 3
19	4347	299	2592	-0,000 2
20	2343	050	2343	0,000 0
21	0233	0,009 810	2093	+0,000 2
22	0,997 8019	579	1844	+0,000 4
23	5702	358	1594	+0,000 6
24	3286	142	1345	+0,000 8
25	0770	0,008 937	1095	+0,001 0
26	0,996 8158	737	0846	+0,001 2
27	5451	545	0596	+0,001 5
28	2652	360	0347	+0,001 8
29	0,995 9761	180	0097	+0,002 0
30	6780	007	0,997 9848	+0,002 3

Tabel 4.

Suurused $\frac{G}{G - G_1}$ sõltuvalt terakeste erikaalust (G^{**}).

G	$\frac{G}{G - G_1}$	G	$\frac{G}{G - G_1}$
2.35	1.738	2.65	1.604
2.40	1.712	2.70	1.587
2.45	1.688	2.75	1.570
2.50	1.665	2.80	1.554
2.55	1.643	2.85	1.539
2.60	1.623	2.90	1.525

tegur B võtta tabelist ja arvutuslükatil korrutada samas arvutatud suurusega $\sqrt{\frac{L}{T}}$.

*) Väärtused on esitatud Baueri poolt arvutatud täpsusega. Teguri C suurus on niivõrd lähedal ühele, et tegelikes arvutustes võib seda võtta ühega võrdsena.

**) Tabel on arvutatud oletusel, et vee temperatuur on 20° C. Temperatuuri kõikumiste mõju antud tegurile on niivõrd väike, et seda võib tähele panemata jätta.

Areomeeteranalüüsi teostamiseks vajalik aeg sõltub kõige peenema mõõdetava tera suuruselt ja areomeetri pirni sügavusest veepinnalt. Viimane määrab langemistee pikkuse ja seega ka antud hetkel mõõdetava terakese suuruse.

Teima algul on soovitatav tarvitada võimalikult suure sügavusega areomeetrit, et esimene mõõdetav terake oleks võimalikult suur. Selleks sobivad areomeetrid on näidatud joonistel 3 *c*, *d* ja *e*, millede pirni sügavus puhtas vees on 20—25 cm.

Teima lõpul on aga soovitatav just võimalikult väike pirni sügavus, et viimase lugemiga kätte saada veel võimalikult väike terasuurus. Selleks on soodne väikese sügavusega areomeeter (joon. 3 *a* ja *b*), mille kaal on reguleeritud nii, et pirni sügavus oleks võimalikult väike (antud juhtumil 8—15 cm). Analüüsi teostamiseks vajaliku ajavälte kohta eri tüüpi areomeetritega annab pildi järgmine võrdlus. Oletame, et meil on ülesanne määrata 2,7 erikaaluga pinnase terakoostis kuni ühemikronilise (0,001 mm) suuruseni. Sellise tera sadestuskiirus temperatuuril 20° C on 0,0745 cm/min. ja vajalik aeg analüüsiks joonisel 3 *e* kujutatud areomeetriga 4500 min. ning joonisel 3 *a* pildistatud areomeetriga 1500 min.

Analüüsi edaspidiseks kiirendamiseks oleks tarvis uurimusi veelgi madalamalt veesistuvate, s. o. väiksemate areomeetritega. Selleks on aga kõigepealt tarvis vähendada varre põiklõike pinda. Senistes sellisuunalistes katsetes pole aga meil õnnestunud vart enam peenemaks teha, sest skaala paigutamine varre peenesse õõnsusse muutub raskeks. Näib, et vart saaks tunduvalt peenemaks teha ainult siis, kui jaotusskaala asetada varre pinnale. See aga nõuab erilist valmistamist, sest varre pind peab olema pestav ja sile, et peened kübemed külge ei jääks ning areomeetri kaalu ei muudaks. Võrdlemisi lihtsa lahenduse saame, kui üldse loobume varrele kinnitatud skaalast. Varre võib siis teha kuitahes peene, kaliibrida analüütilisel kaalul eespoolkirjeldatud viisil ja kasutamisel tarvitada areomeetri asendi määramiseks (s. o. lugemi võtmiseks) välist mõõteriista. Selleks võiks olla kas mensuuri servale riputatud skaala või veepinna mõõtmise mikromeeter.

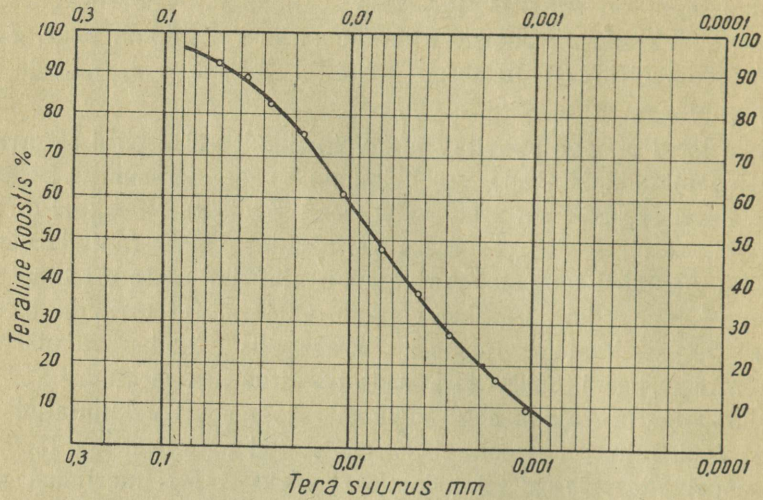
Areomeeteranalüüsi arvutuse käigu selgituseks eespoolkirjeldatud menetlusel esitame arvutusnäite.

Prooviks võetud pinnase kuivkaal on 25,5 g; pinnase erikaal — 2,70.

Pärast seda, kui suspensioon on hästi segi loksutatud, on võetud areomeetri lugemid 0,5, 1, 2, 5, 15, 45 min., 2 ja 5 tunni järel pärast sadestumise algust. Areomeetri lugemid soovitatud ajavahemike järel on valitud nii, et minimaalse lugemite arvuga võib välja joonestada terajaotuse kurvi terasuuruste vahemikus 0,07—0,002 mm. Kui on tarvis

määrata veelgi peenemaid osiseid, siis tehakse hilisemad määtmised 1—2 korda päevas. Suspensiooni temperatuuri määdetakse kord esimese 15 min. jooksul ja hiljem iga lugemi ajal.

Määteandmed on kantud tabelisse 5.



Joon. 8. Tabelis 5 analüüsitud pinnase terasuuste diagramm.

Tabel 5.

Näide areomeeteranalüüsi arvutamisest.

Areomeeter R-111.

Pinnase kuivkaal 25,5 g; $w = 0,0255 \text{ g/cm}^3$; $G = 2,70 \text{ g/cm}^3$.

$$P = \frac{100}{0,0255} \cdot 1,587(r'C + F) = 6223 \cdot (r'C + F) (\%).$$

$$D = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1}} \cdot \sqrt{\frac{L}{T}} = B \cdot \sqrt{\frac{L}{T}} \text{ (mm)}.$$

$^{\circ}\text{C}$	T min.	Areom. lugemid	r'	L	B	$\sqrt{\frac{L}{T}}$	D mm	$r'C + F$	P %
19,5	0,5	4,60	0,0149	7,4	0,01353	3,85	0,0521	0,0148	92,0
19,5	1	4,40	0,0143	7,8	0,01353	2,80	0,0379	0,0142	88,5
19,5	2	4,10	0,0133	8,4	0,01353	2,05	0,0278	0,0132	82,2
19,5	5	3,70	0,0121	9,2	0,01353	1,36	0,0184	0,0120	74,6
19,5	15	2,95	0,0098	10,7	0,01353	0,846	0,0115	0,0097	60,3
19,7	45	2,25	0,0077	12,1	0,01349	0,519	0,00700	0,0076	47,2
20,0	120	1,65	0,0059	13,3	0,01344	0,333	0,00448	0,0059	36,7
20,0	300	1,10	0,0043	14,4	0,01344	0,219	0,00295	0,0043	26,7
20,0	1020	0,55	0,0026	15,5	0,01344	0,123	0,00165	0,0026	16,2
20,0	2400	0,20	0,0016	16,2	0,01344	0,082	0,001100	0,0016	9,9

Areomeetri lugemitele vastavalt on tabelist 1 määratud erikaalude murdosad r' ja langemistee pikkused L . Tabelist 2 on olenevalt temperatuurist ja pinnase erikaalust määratud B väärtused. Tabelist 3 leiame C ja F väärtused. Teades neid suurusid, saab arvutada terasuurust D ja peenema osa kaalu protsentides kogukaalust. Terasuuruste jaotuse diagramm antud pinnase jaoks on kujutatud joonisel 8.

Проведение гранулометрического анализа по Казагранде при помощи тонкостержневого ареометра.

Строительные свойства грунтов существенно зависят от присутствия в них мелких фракций. Одним из наиболее удобных способов определения количества и размеров мелких частиц является ареометрический анализ, усовершенствование которого имеет, следовательно, определённое практическое значение.

В настоящей работе описаны: 1) выработанный в Таллинском политехническом институте тип ареометра для гранулометрического анализа грунтов с тонким стержнем и малым объёмом луковицы, 2) метод калибрования ареометра при помощи весов, 3) составление корреляционных графиков и 4) их практическое применение. Работа базируется на исследованиях и формулах А. Казагранде. Вывод формул приведён для полноты изложения.

Закон Стокса.

Проведение гранулометрического анализа при помощи ареометра по методу А. Казагранде основано на законе Стокса:

$$d = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1} \frac{L}{T}},$$

где d — диаметр зерна в мм,
 n — вязкость жидкости суспензии (обычно воды),
 G — удельный вес материала зерна,
 G_1 — удельный вес жидкости,
 L — длина пути осаждения в см,
 T — соответствующий пути L промежуток времени в мин.

Этот закон предполагает, что отдельная шаровидная частица осаждаётся в свободной, неограниченной жидкой среде, независимо от других. Ввиду того, что в действительности частицы грунта оказываются точно шаровидными лишь в исключительных случаях, применение ареометрического анализа позволяет подразделить частицы по скорости их осаждения и считать величиной частицы диаметр шаровидной частицы, осаждающейся со скоростью, равной скорости данной частицы.

При ареометрическом анализе, для измерения скорости осаждения и объёмного веса суспензии служат секундомер и ареометр. Расстояние от поверхности жидкости до центра луковицы ареометра определяет длину пути осаждения частицы. По нём можно определить для каждого промежутка времени соответствующий ему диаметр частицы по закону Стокса. Во-вторых, измеряемый ареометром удельный вес суспензии определяет количество взвешенных в воде частиц, что позволяет вычислить вес частиц, уже выпавших из поля наблюдения в долях общего веса пробы.

В ареометрическом анализе по Казагранде ареометром измеряется удельный вес суспензии. В зависимости от размеров ареометра, вычисление по формуле Стокса производится с помощью номограмм или логарифмической линейки. Для упрощения необходимой при этом работы удобно пользоваться таблицами Бауэра, в которых вычислены все части формулы, зависящие только от физических факторов — удельного веса, температуры и, соответствующей последней, вязкости. Исследования Казагранде показали, что базирующийся на формуле Стокса ареометрический анализ весьма практичен и достаточно точен для определения размеров частиц в пределах от 0,2 до 0,0002 мм. Метод неприменим для частиц размером свыше 0,2 мм, так же как и для частиц меньше 0,2 μ . При проведении ареометрического анализа предполагается, что весь объём ареометра сосредоточен в центре луковицы, т. е. что влияние на ареометр слоёв суспензии ниже и выше этой плоскости взаимно уравнивается. Это предположение, как и некоторые другие неточности, по своему общему влиянию оказываются в практически допускаемых пределах.

Очевидно, что погрешность от допущения взаимного уравнивания воздействия слоёв суспензии, находящихся над и под плоскостью центра луковицы ареометра, тем меньше, чем короче луковица.

Меньшие размеры луковицы вместе с тем вызывают меньшее возмущение суспензии при вынимании из неё ареометра и обуславливают при этом меньшее колебание отметки поверхности суспензий; меньше также площадь осаждения на ареометр частиц грунта. Уменьшение луковицы требует для сохранения точности отсчётов соответственно более тонкого стержня ареометра.

Целью исследований, проведённых в Таллинском политехническом институте, было практическое применение указанных выше соображений. Разработанный в результате опытов тип ареометра представлен на рис. 2.

Стержень ареометра избран сплюснутый и минимального сечения, достаточного только для загрузки балластом луковицы и для помещения в него узкой полоски бумаги. В качестве балласта применены мелкие опилки железа, а для их цементирования порошок сургуча, который плавится при нагревании и закрепляет балласт.

Малое сечение стержня ($0,037 \text{ см}^2$) позволяет применять короткую и малого объёма луковицу. Представленный на рис. 2. ареометр имеет объём луковицы $27,4 \text{ см}^3$ и длину луковицы $7,0 \text{ см}$. Отметим для сравнения, что применявшиеся в ТПИ ареометры (рис. 1) имели объём луковицы 70 см^3 и длину луковицы 16 см при диаметре 30 мм .

Разметка шкалы удельного веса ареометров производится обычно на заводе. Сравнения и лабораторный контроль показывают, что при этом допускаются большие ошибки. Поэтому было признано желательным проводить разметку в лаборатории и производить это методом взвешивания, что даёт наибольшую точность сравнительно с прочими несложными способами.

Калибрование ареометра. Для калибрования необходимо определить объём ареометра от нижнего конца до верхнего. Это осуществлялось способом, изображённым на рис. 4. Ареометр подвешен при этом нитью к лабораторным весам, и при определении веса погружённого до известной глубины в воду ареометра получается диаграмма объёма ареометра от низа до верха. Рис. 5 изображает диаграмму объёма, представленного на рис. № 2 ареометра.

Определение длины ареометра и его погружения в воду, т. е. уровня воды, производится с помощью снабжённого подзорной трубой катетометра. Для точного определения уровня воды сосуд заполняется водой выше верха, так что поверхность воды видна непосредственно, а не сквозь стекло сосуда. Наряду с определением отсчёта удельного веса, соответствующего каждому погружению ареометра, этим же способом можно определить высоту центра объёма луковицы ареометра. Замеры производятся с дистиллированной водой и при температуре $= 20^\circ$. Для успешного использования ареометра при анализе грунтов весьма существенно, чтобы шкала была удобно и быстро читаема, даже если ареометр слегка вертится в непрозрачной суспензии. Наиболее приемлемой следует поэтому считать шкалу, изготовленную по примеру нивелировочной рейки с попеременно цветными делениями и простыми числами.

Самой практичной была признана простая шкала с двухмиллиметровыми делениями, в которой каждый следующий за белым промежуток в 10 мм окрашен в красный или яркозелёный цвет. Начерченная на бумаге шкала прикрепляется сургучом к внутренней поверхности стержня после придачи ареометру необходимого веса добавлением балласта, т. е. когда поверхность воды, соответствующая удельному весу $1,000$, подведена к верхушке стержня. Затем верхний конец стержня заплавляется. Это позволяет совершенно исключить погрешность от прикрепления шкалы в соответствии с определённым удельным весом, а также от нанесения на шкалу делений по удельному весу, так как значения произвольно принятых делений шкалы определяются после закупорки ареометра.

Корреляция отсчётов ареометра с удельным весом и эффективным погружением (L) практически удобнее всего осуществима с

помощью графической шкалы. На шкале рис. 5 приведена зависимость между отсчётом ареометра и соответствующим объёмным весом жидкости. Так, например, стоянию ареометра 3,05 соответствует удельный вес 1,010.

При анализе осаждения необходимо знать только разность данного удельного веса и единицы (1,000), т. е. только дробную часть удельного веса (в данном примере 0,010). Для упрощения на диаграмму и следует нанести только эти числа. Во-вторых, для вычисления величины частиц необходимо в каждый данный момент знать длину пути частицы от первоначальной поверхности суспензии до уровня, где располагается центр объёма луковицы ареометра (эффективное погружение L). Это позволяет вычислить скорость L/T наибольшей частицы, выпавшей из поля наблюдения (т. е. из слоя, находящегося на уровне центра объёма ареометра), и по ней — величину частицы.

При этом следует иметь в виду, что только в случае, когда поверхность суспензии не повысится при погружении в неё ареометра (т. е. когда объём ареометра мал сравнительно с сечением сосуда осаждения), L будет равно расстоянию от поверхности воды до центра луковицы, т. е. $L = L_1 - L_0$. В действительности поверхность суспензии при погружении ареометра повысится на величину V_p/A , где V_p объём луковицы ареометра в см^3 и A — площадь сечения цилиндра осаждения в см^2 .

На эту величину удлинится находящийся вокруг луковицы ареометра столб суспензии, и (если пренебречь объёмом стержня ареометра) можно сказать, что половина этого удлинения (т. е. $\frac{V_p}{2A}$) произойдет выше центра объёма луковицы, а половина — ниже (рис. № 6). В данном случае, таким образом, $L = L_1 - L_0 - \frac{V_p}{2A}$. Соответствующие значения L и нанесены на шкалу корреляции.

При проведении анализов необходимо, чтобы цилиндры осаждения имели по возможности равный внутренний диаметр (т. е. равное A). Величину A необходимо обозначить на шкале, чтобы не допустить погрешностей от применения различных по величине цилиндров осаждения.

Корректурa мениска. При калибровании ареометра отсчёты производятся обычно по поверхности жидкости, и отсчёт, соответствующий поверхности жидкости, даёт правильный удельный вес. Вследствие действия капиллярных сил, вокруг стержня ареометра образуется мениск приподнятой этими силами жидкости. Взмученная суспензия грунта непрозрачна, и отсчёт возможен только по верху мениска, что на 1—1,2 мм выше поверхности жидкости. Так как объёмный вес и эффективное погружение надлежит вычислять относительно уровня поверхности жидкости, отсчёт ареометра следует сразу же корректировать, принимая отсчёт шкалы ниже на высоту поднятия мениска. На рис. 6 приведены две корреляционных

шкалы, из которых на нижней (*B*) удельный вес отнесён непосредственно к верху мениска — в данном случае на 1 мм выше поверхности жидкости, и соответствующая поправка введена в шкалу эффективной глубины. Для шкалы *A* поверхностью отсчётов удельного веса принята поверхность жидкости, как это принято в практике. При проведении анализа с отсчётом по верху мениска шкалу корреляции следует до употребления считать на 1 мм ниже.

Таблицы корреляции в лабораторной практике часто удобнее, чем шкалы. Вместо отсчётов по шкале и оценки расстояний лабораториям удобнее и быстрее составить на основании шкалы таблицу и принимать данные корреляции из таковой. Это уменьшает и вероятность ошибок.

Выписка из таблицы корреляции к ареометру, шкала которого изображена на рис. 6, приведена в таблице 1. Отсчёты сделаны по верху мениска, но *L* и *r'* корригированы на поверхность жидкости.

Корректурa температуры. Калибрование ареометра производится обычно в комнатной температуре $+20^{\circ}$, и удельный вес воды считается при этом равным единице. Для обозначения этого обстоятельства на шкале ареометра пишется $20^{\circ}/20^{\circ}$. В действительности же объёмный вес воды равен единице при $+4^{\circ}\text{C}$ и истинный объёмный вес равен $R = r_c \cdot G_c$, где G_c — объёмный вес воды при температуре калибрования, а r_c — исправленный на мениск отсчёт удельного веса при той же температуре.

При проведении анализов температура воды отличается от температуры калибрования, и поэтому отличен и объём луковицы ареометра. Так как различный объём луковицы вытеснит различное количество суспензии, то прибор не покажет удельный вес правильно. Если температура суспензии при замерах отличалась от температуры калибрования, то истинный удельный вес равен

$$R = \frac{r_t \cdot G_c}{1 + (t - t_c)E},$$

где r_t — отсчёт шкалы при температуре анализа,

E — коэффициент объёмного расширения луковицы ареометра (стекла),

$t - t_c$ — разность температур анализа и калибрования.

Удельный вес суспензии всегда больше 1,0, например 1,024, что можем записать $1 + 0,024$. Для упрощения вычислений удобнее написать только часть числа, отличающуюся от единицы, т. е. десятичную дробь. Если обозначить $r_t = 1 + r'$, то получим формулу исправленного на температуру удельного веса

$$R = \frac{(1 + r') \cdot G_c}{1 + (t - t_c)E}.$$

Конечной целью анализа являются две величины. Во-первых, размер частиц *D* и, во-вторых, вес фракции, меньшей этого раз-

мера в процентах от общего веса частиц. Если в зоне наблюдений ещё осталось W граммов частиц на один см^3 , то объём частиц равен $\frac{W}{G}$, где G удельный вес этих частиц.

В одном см^3 суспензии, таким образом, содержится частиц $\frac{W}{G}$ см^3 и воды $(1 - \frac{W}{G})$ см^3 . По весу один см^3 суспензии содержит W граммов частиц и $(1 - \frac{W}{G}) G_1$ граммов жидкости, где G_1 удельный вес жидкости — воды. Истинный удельный вес суспензии, таким образом, равен $R = W + G_1 - \frac{WG_1}{G}$, откуда $W = \frac{G}{G - G_1} (R - G_1)$.

Если в начале опыта в кубическом сантиметре содержалось w граммов частиц и по истечении времени T на эффективной глубине погружения L осталось ещё W г/см³, то вес более мелкой фракции равен $p = \frac{W}{w} \cdot 100\%$ от первоначального. Подставив здесь значение из выведенной выше формулы, получим $P = \frac{100}{w} \frac{G}{G - G_1} (R - G_1)$.

Вводя исправленное на влияние температуры выражение

$$R = \frac{(1 + p') G_c}{1 + (t - t_c) \cdot E},$$

получим

$$P = \frac{100}{w} \frac{G}{G - G_1} \left(\frac{r' G_c}{1 + (t - t_c) E} + \frac{G_c}{1 + (t - t_c) E} - G_1 \right).$$

Обозначив выражения

$$\frac{G_c}{1 + (t - t_c) E} = C$$

и

$$\frac{G_c}{1 + (t - t_c) E} - G_1 = F,$$

получим окончательную формулу для практического применения:

$$P = \frac{100}{w} \frac{G}{G - G_1} (r' C + F).$$

Применяя эту формулу, множители C и F можно получить по соответствующим таблицам Е. Бауэра (табл. № 2, 3 и 4) или по диаграммам. Множитель C по значению фактически настолько близок к единице, что он практически не меняет отсчётов шкалы.

Выражение размера частиц было $D = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1} \frac{L}{T}}$,

что можно записать в виде $D = \sqrt{\frac{30}{980} \frac{n}{G - G_1}} \sqrt{\frac{L}{T}} = B \cdot \sqrt{\frac{L}{T}}$.

Содержащаяся в данной формуле вязкость жидкости зависит в значительной степени от температуры. При анализах грунта жидкостью суспензии служит обычно вода, и поэтому для каждого данного удельного веса частиц и данной температуры можно составить таблицу значений B .

При вычислении размера частиц множитель B можно взять из таблицы и помножить с помощью логарифмической линейки на величину $\sqrt{\frac{L}{T}}$.

Пример расчёта приведён в таблице 5. График гранулометрического состава анализируемого грунта изображён на рис. 7.

Объяснения к рисункам.

Рис. № 1 показывает типичный ареометр Казагранде для гранулометрического анализа и рис. № 2 тонкостержневый ареометр. На фотографии рис. № 3 показаны типичные ареометры для гранулометрии грунтов. Первые пять — ареометры с тонким стержнем. Последние два — обыкновенные лабораторные ареометры. Последние четыре ареометра имеют цилиндрическую луковицу, первые три — луковичеобразную. Первый (самый короткий) ареометр употребляется для последнего определения (в конце опыта). Рис. № 4 показывает схему проведения калибрования ареометра при помощи лабораторных весов и катетометра. Рис. № 5 показывает диаграмму объёма ареометра от нижнего конца до верхнего и шкалу объёмных весов, соответствующую данному погружению ареометра. Рис. № 6 показывает связь между эффективной глубиной L и измерениями ареометра и сосуда.

На рис. № 7 показана шкала корреляции между шкалой ареометра, удельным весом суспензии и эффективной глубиной L . На первой шкале удельный вес и величина L отсчитываются, как обычно, от уровня поверхности суспензии. На второй шкале величина L и удельный вес суспензии отсчитываются от верха мениска, а необходимая поправка учтена в шкале.

Sisukord.

	Lk.
Peeneteralise materjali analüüsimine Casagrande menetlusel	3
Peenevarreline sadestusanalüüsi areomeeter	8
Casagrande areomeeteranalüüsi valemid ja Baueri tabelid	15
Проведение гранулометрического анализа по Казагранде при помощи тонко- стержневого ареометра	22
Закон Стокса	22
Объяснения к рисункам	28

Vastutav toimetaja

V. Polonski.

Tehniline toimetaja

H. Kohu.

Ladumisele antud 19. IX 47.
Trükkimisele antud 14. II 48.
Paberi kaust 67×95. 1/16. Trüki-
poognaid 1 7/8. Autoripoognaid
1,5. Arvestuspoognaid 1,71. MB
01088. Laotihedus trpg. 47 200.
Tiraaž 1200. Trükikoja telli-
mus nr. 1848.
Trükikoda „Hans Heidemann“,
Tartu, Vallikraavi t. 4.

Hind rbl. 2.—

Л. Юргенсон и В. Камсен.
Проведение гранулометриче-
ского анализа по Казагранде
при помощи тонкостержневого
ареометра.

На эстонском языке.
Эгосиздат „Научная Литера-
тура“, Tartu.

Rbl. 2.—

25

179