

Tie- ja vesirakennushallitus 1970

**MAARAKENNUSALAN  
TUTKIMUS- JA  
SUUNNITTELUOHJEITA**

**osa II**

B04.04

Tvh 2.660

# MAARAKENNUSALAN TUTKIMUS- JA SUUNNITTELUOHJEITA

osa II

## **laboratoriotutkimukset**

Tämä kirja on toinen osa viisiosaisesta sarjasta, jonka muodostavat:

- I maaperä ja sen tutkimismenetelmät
- II laboratoriotutkimukset
- III tutkimustöiden suunnittelu ja järjestely
- IV geoteknillinen suunnittelu ja perustamismenetelmät
- V materiaalit, massojen käyttö ja työmenetelmät

MAAVALIOMUUTOS  
TUTKIMUS  
2000  
1970

## OSA II. SISÄLLYSLUETTELO

1.	MAALABORATORIOTUTKIMUKSET .....	7
1.1	Näytteiden säilytys ja esikäsittely .....	8
1.11	<i>Näytteiden säilytys</i> .....	8
1.12	<i>Laboratoriokokeiden suoritusjärjestys</i> .....	8
1.13	<i>Häiriintymättömien näytteiden poistaminen purkeista</i> .....	9
1.14	<i>Häiriintymättömien näytteiden muotoilu</i> .....	10
1.2	Raeominaisuudet .....	11
1.21	<i>Rakeisuus</i> .....	11
1.211	Kuivaseulonta .....	11
1.212	Pesuseulonta .....	13
1.2121	Pieni pesuseulonta areometrikokeen yhteydessä .....	13
1.2122	Varsinainen pesuseulonta .....	13
1.213	Areometrikoe .....	14
1.22	<i>Tiheys ja ominaispaino</i> .....	21
1.221	Pyknometrimenetelmä .....	21
1.222	Vedessä punnitseminen .....	24
1.23	<i>Humuspitoisuus</i> .....	25
1.231	Polttomenetelmä .....	25
1.232	NaOH-menetelmä .....	26
1.233	Kolorimetrimenetelmä .....	26
1.3	Rakenneominaisuudet .....	30
1.31	<i>Tilavuuspaino</i> .....	30
1.32	<i>Vesipitoisuus</i> .....	31
1.33	<i>Tiivistettävyy</i> s .....	34
1.331	(Proctor-koe) .....	34
1.34	<i>Konsistenssi</i> .....	36
1.341	Juoksuraja .....	36
1.3411	(Casagranden koputuskoe) .....	36
1.342	Kieritysraja .....	39
1.343	Plastisuusluku .....	39
1.344	Hienousluku .....	40
1.4	Hydrauliset ominaisuudet .....	40
1.41	<i>Vedenläpäisevyys</i> .....	40
1.411	Vakiopainekoe .....	40
1.412	Muuttuvapainekoe .....	43
1.42	<i>Kapillaarisuus</i> .....	47
1.5	Leikkauslujuus .....	50
1.51	<i>Puristuskoe</i> .....	50
1.52	<i>Kartiokoe</i> .....	53
1.6	Kokoonpuristuvuus .....	67
1.61	(Ödometrikoe) .....	67

2.	PÄÄLLYSTELABORATORIOTUTKIMUKSET	75
2.1	Kiviainestutkimukset	76
2.11	Näytteenotto	76
2.12	Raeominaisuudet	78
2.121	Rakeisuus	78
	Kuivaseulonta	78
	Pesuseulonta	79
2.122	Tiheys ja ominaispaino	80
	Vedessä punnitseminen	80
	Avopyknometrinenetelmä	81
2.123	Humuspitoisuus	82
2.124	Muotoarvo	82
2.125	Murtopintaluku	83
2.13	Rakenneominaisuudet	84
2.131	Tilavuuspaino	84
	Kaatomenetelmä	84
	Normiminenetelmä	85
2.132	Vesipitoisuus	86
2.14	Lujuusominaisuudet	87
2.141	Los Angeles -luku	87
2.142	Haurausarvo	87
2.143	Puristuslujuus	90
2.144	Hioutuvuus	92
2.15	Laboratoriomenetelmien luotettavuuden tarkistus	92
2.2	Päällystetutkimukset	93
2.21	Näytteenotto	93
2.211	Päällystenäytteet	93
2.212	Massanäytteet	94
2.22	Sideainepitoisuus	95
2.221	Keinutislausmenetelmä	96
2.222	Keinusuodatusmenetelmä	97
2.223	Sentrifugiminenetelmä	98
2.224	Shoksllett-menetelmä	98
2.23	Rakeisuus massanäytteestä	100
2.231	Kuivaseulonta	100
2.232	Pesuseulonta	101
2.24	Massan tiivistyvyys	101
2.241	Marshall-menetelmä	101
2.242	Puristusmenetelmä	102
2.25	Koekappaleen rakenneominaisuudet	102
2.251	Tilavuuspaino	102
2.252	Ominaispaino	103
2.253	Tyhjätila	104
	Tyhjätilan määrittäminen laskemalla	104
	Vedenimeytymisluvun määrittäminen	105
2.254	Marshall-lujuus	106
2.26	Päällysteen massamäärä ja paksuus	107
2.27	Tarttuvuus	108

3.	KENTTALABORATORIOT .....	111
4.	LABORATORION TURVALLISUUSOHJEET .....	117
4.1	Yleisiä ohjeita .....	118
4.2	Paloturvallisuus .....	119
4.3	Myrkyt ja syövyttävät aineet .....	120
4.4	Koneet ja sähkölaitteet .....	121
4.5	Ensiapu .....	122
	LIITTEET .....	123
	TEKIJÄT .....	153

# 1. MAALABORATORIOTUTKIMUKSET



# 1.1 Näytteiden säilytys ja esikäsitteleminen

## 1.11 NÄYTTEIDEN SÄILYTYS

Usein maanäytteitä joudutaan suuren näytemäärän tai mahdollisten myöhemmin tehtävien lisäkokeiden takia säilyttämään laboratoriossa ennen kokeiden suorittamista. Häiriintymättömät näytteet on varastoitava siten, että niiden rakenne ja vesipitoisuus säilyy mahdollisimman muuttumattomana. Säilytyshuoneen lämpötilan tulee olla riittävän alhainen (+ 6... + 10° C). Säilytyspaikan lämpötila ei kuitenkaan saa olla alle + 3... + 4° C. Näytteiden kuivumisen ehkäisemiseksi säilytyshuoneen ilman tulee olla riittävän kostea (suhteellinen kosteus 85...100 %). Häiriintymättömät maanäytteet eivät saa jäätyä, koska jäätyminen rikkoo maalajin rakenteen. Näytepurkit ja -pussit on ehdottomasti pidettävä suljettuina kosteushuoneessakin. Jos kyseessä ovat sellaiset häiriintyneet näytteet, joista ei määritetä vesipitoisuutta, tai näytteiden kuivumisesta ei ole muuten haittaa, voidaan ne säilyttää huoneen lämpötilassa. Tällöin niiden kuivausaika ennen laboratoriokokeiden aloittamista lyhenee ja näytteiden käsittely nopeutuu.

Häiriintymättömiä näytteitä sisältävät näytepurkit on säilytettävä pystyasennossa. Purkit on järjestettävä varastohuoneeseen siten, että niiden nimilaput ovat näkyvissä. Säilytyksen aikana on näytteiden tarpeetonta siirtelyä vältettävä. Erityisesti on varoitava täräyttelemästä tai pudottamasta näytteitä. Jos näytteen otaksutaan säilytyksen aikana jostakin syystä häiriintyneen, on tästä tehtävä merkintä tutkimuslomakkeisiin.

Sen jälkeen kun kaikki ko. näytesarjasta tehtäväksi merkityt laboratoriokokeet on suoritettu, poistetaan jäljelle jääneet näytteet kosteushuoneesta. Ennen sitä on kuitenkin ehdottomasti varmistauduttava siitä, ettei näytteitä enää tarvita sellaisiin määrittäksiin, jotka edellyttäisivät näytteiden säilyttämistä. Yleensä on hyvä säilyttää jäljelle jääneitä näytteitä kosteushuoneessa niin kauan, kunnes kaikki ko. tutkimukseen liittyvät selvitykset on tehty. Tämänkin jälkeen saattaa olla tarpeen säilyttää joitakin näytteitä vielä kauemmin. Tällöin näytteet voidaan kuitenkin siirtää kuiviin säilytystiloihin, koska niitä ei muutaman viikon kosteushuoneessakaan tapahtuneen säilytyksen jälkeen voida enää pitää häiriintymättöminä, ellei näytteitä ole käsitelty erityisesti pitkäaikaista säilytystä varten. Jos näytteitä aiotaan säilyttää häiriintymättöminä useita viikkoja, ne on laitettava ilmatiiviisiin purkkeihin, jotka eivät syövy. Kannet tiivistetään kastamalla purkit sulaan parafiiniin. Jos näytteiden tulee mahdollisia myöhemmin tapahtuvia tutkimuksia varten säilyä luonnonkosteina, niitä on säilytettävä kosteushuoneessa.

## 1.12 LABORATORIOKOKEIDEN SUORITUSJÄRJESTYS

Jotta maanäytteitä ei tuhlattaisi tarpeettomasti, on ennen näytteiden

purkeista pois ottamista tehtävä suunnitelma siitä, mitä kokeita mistäkin purkista tehdään ja missä järjestyksessä eri kokeet suoritetaan. Häiriintyneistä maanäytteistä tehtävien laboratorioskokeiden suoritusjärjestyksellä ei ole sanottavaa merkitystä, vaan kokeet tehdään tarpeen määräämässä järjestyksessä. Jos näytteestä aiotaan määrittää sen vesipitoisuus, se on kuitenkin näytteen kuivumisen takia suoritettava mahdollisimman pian näytteen laboratorioon tuomisen jälkeen ja ennen muita kokeita. Sellaiset määritykset, joissa näytteen hapettumisesta on haittaa, on tehtävä mahdollisimman pian näytteiden laboratorioon saapumisen jälkeen.

Maalajin luokitteluominaisuuksilla on usein merkitystä kokoonpuristuvuus- ja lujuusominaisuuksien määrittämiseksi tehtävien kokeiden suoritukseen. Tästä syystä jokaisesta häiriintymättömästä näytteestä tulisi ensin tutkia luokitteluominaisuudet, joita ovat tilavuuspaino, vesipitoisuus, plastiset ominaisuudet, tiheys, humuspitoisuus sekä rakeisuus. Vasta tämän jälkeen tehdään kokoonpuristuvuus- ja lujuusmääritykset.

Em. tutkimusjärjestystä noudatettaessa näytteitä jouduttaisiin usein säilyttämään verrattain kauan ennen kuin varsinaisia häiriintymättömiä näytteitä edellyttäviä kokeita päästäisiin tekemään. Koska näyte säilytyksen aikana saattaa häiriintyä ja tutkimus saattaa olla kiireellinen, ei em. tutkimusjärjestystä käytännössä voida aina noudattaa. Häiriintymättömien näytteiden tutkimusjärjestys joudutaankin käytännössä yleensä laatimaan

sellaiseksi, että näytteistä tehdään (tai ainakin aloitetaan) pitkäaikaiset kokeet ensimmäiseksi ja samanaikaisesti suoritetaan luokitteluominaisuuksien määrittäminen. Luokitteluominaisuuksista puolestaan määritetään ensimmäiseksi ne, joilla on merkitystä muita kokeita suoritettaessa.

Edellä selostettua tutkimusjärjestystä ei voi aina noudattaa. Mm. silloin, kun näyte on niin pieni, ettei jokaisessa määrityksessä voi käyttää uutta näytettä, on näytteestä ensin tehtävä ne kokeet, joissa tarvitaan häiriintymätöntä näytettä. Sen jälkeen, kun em. kokeet on tehty, voidaan näytteestä suorittaa muut määritykset.

### 1.13 HÄIRIINTYMÄTTÖMIEN NÄYTEIDEN POISTAMINEN PURKEISTA

Häiriintymättömiä maanäytteitä on aina käsiteltävä erittäin varovasti ja huolellisesti. Näytteiden vesipitoisuuden säilyttämiseksi olisi niiden käsittely suoritettava kokonaan kosteushuoneessa. Näytteen käsittelyaika näydepurkista ulos ottamisen jälkeen ennen varsinaista koetta on supistettava mahdollisimman lyhyeksi.

Näytteen poistaminen purkista tapahtuu erityisen ulostyöntäjän avulla, joka voi olla joko käsikäyttöinen tai kone. Näytteen pään, jota vasten ulostyöntäjän työntölevy asetetaan, on oltava kohtisuora purkin pituusakselia vastaan. Ulostyöntäjä olisi mieluiten asennettava pystysuoraan asentoon. Jos ulostyöntäjä on vaaka-

## 1.14 HÄIRIINTYMÄTTÖMIEN NÄYTTEIDEN MUOTOILU

suorassa, on näytettä poistettaessa huolehdittava koko ajan siitä, että purkin ulkopuolella oleva näytteen osa on tuettu. Näytteen ulos työntäminen on suoritettava samaan suuntaan, mihin näyte on liikkunut purkkiin "mennessään". Koska näyte ulos työnnettäessä puristuu kokoon eniten työntämistä aloitettaessa (Iepokitka > liikekitka), on työntämisen tapahduttava ilman tarpeettomia pysähdyksiä ja tasaisella nopeudella. Kun tarvittava näytemäärä on otettu, on purkki heti suljettava tiiviisti, ettei vesi pääse haihtumaan jäljelle jääneestä näytteestä.

Näytteiden leikkaamiseen käytetään yleensä lankasahaa, jonka teränä käytetään esim. ohutta pianonkieltä. Jos näytteessä on ohuita juuria, on edullisempaa käyttää ohutteräistä terävää veistä. Näytteessä havaitut maalajierot, maalajien kerrallisuus, halkeamat yms. on merkittävä a.o. laboratoriotutkimuslomakkeisiin.

Näytepurkista ulos työnnettyä näytettä siirreltäessä se on asetettava ns. näytekehtoon. Näyte voidaan sijoittaa kehtoon suoraan ulos työnnettäessä. Kehdon pohjalle on asetettava ohut muovikalvo, joka liukuu kehdon pohjaa myöten näytteen työntyessä ulos purkista. Tällöin ei näyte pääse hankautumaan kehdon seinämiä vasten. Jos näytettä joudutaan siirtämään kädessä, on se kuljetettava kämmenellä eikä sormenpäillä. Ihon ja näytteen välissä on aina käytettävä ohutta muovikalvoa tms. Näytteen koskettua paljain sormin on vältettävä, koska näytteen vesipitoisuus tällöin muuttuu.

Häiriintymätön maanäyte olisi pyrittävä saamaan lopulliseen muotoonsa suoraan purkista ulos työnnettäessä. Tämä vaatii kuitenkin erityisiä laitteita, joita ei aina ole käytettävissä. Tavallisesti näytteen muotoilu tapahtuu tarkoitukseen valmistetun kehyksen avulla. Muotoilu suoritetaan lankasahalla, jolla leikataan näytteestä kehysten ulkopuolelle jäävät osat pois. Jäykkää tai kerrallista savea leikkattaessa on varottava, ettei näyte lohkeile. Liian ohuet lastut pyrkivät jäämään kiinni näytteeseen. Liian paksumat lastut saattavat lohkaista näytteen. Suurten näytteiden pienentäminen on suoritettava vähitellen.

Häiriintymättömistä näytteistä suoritettavissa laboratoriokekeissa käytettävän näytteen yleisin muoto on suora lieriö. Näytteen poikkileikkausta ei saa tehdä ympyräksi vaan monikulmioksi, jonka sivut ovat 3...5 mm. Jos näytteen pintaa pyöristetään liiaksi, saattaa näyte häiriintyä. Jos näytteen leikkauspinnassa esiintyy hiekka- tai sorarakeita, ne on jätettävä paikoilleen. Näytteen päät on tasattava niin, että ne ovat kohtisuorassa näytteen sivuja vastaan. Näytteen leikkaaminen määräpituuteen tapahtuu parhaiten em. näytekehdoissa, jossa näytteen päät tasataan kohtisuoriksi näytteen pituusakselia vastaan.

Näytteen muotoilu on aina suoritettava huolellisesti ja mahdollisimman nopeasti ja siten, ettei näytteen

rakenne muutu. Näytteestä suoritettavat laboratoriokokeet on tehtävä välittömästi näytteen muotoilun jäl-

keen, jotta maalajin vesipitoisuus ei ehdi muuttua.

## 1.2 Raeominaisuudet

### 1.21 RAKEISUUS

#### 1.211 KUIVASEULONTA

##### Välineet

- seulasarja, seulojen koot 0.074; 0.125; 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8; 16; 32 ja 64 mm
- tärytin
- lämpökaappi
- näytteenjakaja
- vaaka, mittaustarkkuus 1 g
- punnitusvuokia
- nailonharja
- pehmeä sivellin

##### Näytteen esikäsitteleminen

Karkearakeiset maalajit ja murskaustuotteet lajittelevat kuljetuksen aikana värinän vaikutuksesta. Tällaiset näytteet on tämän vuoksi homogenisoitava ennen seulontaa jakamalla ne osiin joko ns. neliöimismenetelmällä tai erityisellä näytteenjakajalla. Neliöiminen suoritetaan seuraavasti:

Näyte kaadetaan tasaiselle pinnalle, jossa se sekoitetaan huolellisesti ja kootaan tämän jälkeen kasaksi. Kasa jaetaan kahdella toisinaan vastaan koh-tisuoralla viillolla neljään osaan. Kak-si ristikkäin olevaa osaa poistetaan. Jäljelle jäävät kaksi osaa sekoitetaan ja kasataan. Näyte jaetaan edelleen neljään osaan em. tavalla. Menettelyä

jatketaan kunnes on saatu seulontako-keeseen sopiva näytemäärä.

Näytteenjakajaa käytettäessä labora-torioon saapunut näyte kaadetaan ja-kajan lävitse. Toinen puoli kahtia jakautuneesta näytteestä poistetaan. Toinen puoli kaadetaan edelleen näy-teenjakajan lävitse. Menettelyä jatke-taan, kunnes on saatu seulontako-keen sopiva näytemäärä.

Mikäli hiekka-, sora- tai moreeni-näyte ei sisällä runsaasti karkeampaa kiviainesta, ei varsinaista jakamista ole välttämätöntä suorittaa. Tällöin-kin on näyte sekoitettava huolellisesti ennen seulontaan tarvittavan näytteen ottamista. Jakaminen on kuitenkin suoritettava aina, milloin voidaan epäillä tapahtuneen lajittumista näy-teen kuljetuksen aikana.

Seulontaan tarvittavan näytteen määrän on yleensä oltava grammoina ilmaistuna noin puolet siitä määrästä, joka saadaan, kun suurin raekoko (mm) kerrotaan luvulla 100. Seulot-tavan näytteen määrän on kuitenkin oltava vähintään 500 g.

Seulontakokeeseen valmistettu näyte kuivataan lämpökaapissa. Kuivaus-lämpötila ei saa ylittää + 105° C hie-norakeisia maalajeja tutkittaessa. Kui-vatukseen käytettävän ajan on yleensä oltava vähintään 4...5 tuntia. Hie-norakeisten näytteiden on mieluum-min annettava kuivua yli yön. On

vältettävä kuivattamasta liian suuria näytemääriä, sillä tämä hidastaa työtä. Näytteen annetaan jäähtyä ennen seulomista.

Hiekan, soran ja murskeen kuivatus voidaan suorittaa myös nopeammin ja korkeammassa lämpötilassa (150...200° C). Kuivatusaika on tällöin tavallisesti 1...2 tuntia.

### Kokeen suoritus

Näytteen jäähdytyä punnitaan kokeeseen tarvittava näytemäärä. Punnittu näyte kaadetaan seulasarjaan. Seulasarja asetetaan täryttimeen, jossa sitä tärytetään vähintään 10 minuutin ajan. Tärytyksen jälkeen punnitaan kullekin seulalle jäänyt näytteen osa yhden gramman tarkkuudella. Seulaa tyhjennettäessä on sitä varovasti tärytettävä, jotta näyte kokonaisuudessaan "karisee" punnitusvuokaan. Seulonnan tehokkuus ja tärytysajan riittävyys voidaan tarkistaa täryttämällä seulaa käsin pöydälle levitetyn paperin päällä. Jos tässä käsittelyssä seulan läpäisee vielä yli 1 % ko. seulalle jääneen aineksen kokonaismäärästä, on tärytysaika ollut liian lyhyt ja seulonta on uusittava.

Jos seulottava näyte on suuri (yli 2 kg), on seulonta suoritettava 2...3 osaseulontana. Jos maalaji on hietapitoista, on näyte seulottava vähintään kahtena osaseulontana, sillä liian suuri hietapitoinen näyte tukkii hienimpien seulojen aukot.

Koska pieniaukoiset seulat ovat arkoja vahingoittumaan, on niitä aina käsiteltävä varovasti. Suuriaukoisten seulojen puhdistus suoritetaan parhaiten harjaamalla kevyesti nailon- tai

jouhiharjalla. Hienempien seulojen (0.074 ja 0.125) puhdistus suoritetaan kopauttelemalla puulla varovasti seulan reunan paksunnokseen seulakankaan langanpäiden kohdalle tai puhdistamalla seula jouhisiveltimellä kevyesti yhteen suuntaan pyyhkien. Seulat voidaan puhdistaa myös paineilmalla.

### Tulokset

Eri seuloille jääneet, punnitut näytemäärät merkitään laboratorion työlomakkeen "seulalle jäi" sarakkeeseen (liite 1 a). Tämän jälkeen lasketaan kullekin seulalle jääneen aineksen prosenttimäärä koko näytteen painosta. Seuraavaan sarakkeeseen lasketaan kunkin seulan läpäisseen aineksen prosenttimäärä.

Käyräpohjan pystysuorille raekokoviivoille merkitään seulakokoja vastaaville kohdille ko. läpäisyprosentit. Saadut pisteet yhdistetään viivalla. Maalajille annetaan nimi ns.  $d_{50}$ -menetelmän mukaan.

Jos näyte sisältää yli 10 % ns. hienoainesta (alle 0.074 mm), on näytteestä suoritettava seulonnan lisäksi areometrikoe. Koe tehdään alle 2 mm aineksesta 100 g suuruisella näytteellä.

Seulasarjaan kaadetun näytteen ja seulonnan jälkeen laskettujen osapainojen summan erotus (seulontatappio) saa olla korkeintaan 1 % seulontasta määrästä. Seulontatappio saa näinollen olla esim. yhden kilon suuruisesta näytetä tutkittaessa korkeintaan 10 g. Jos seulontatappio on suurempi, on suoritettava uusi seulonta. Jos seulontatappio on pienem-

pi kuin 1 %, pyöristetään prosentti-summa sataan korjaamalla virhe suurimpien läpäisyprosenttilukujen kohdilla.

## Virhelähteet

Rikkonaiset seulat aiheuttavat virheitä seulontatulokseen. Tämän vuoksi on seulaverkot tarkistettava riittävän usein. Virheitä aiheutuu myös huolimattomasta punnituksesta. Jos punnitustappio nousee yli yhden prosentin punnittavasta määrästä, on seulonta suoritettava uudestaan.

## 1.212 PESUSEULONTA

### Pieni pesuseulonta areometrikokeen yhteydessä

Jos areometrimittauksessa ensimmäistä (1 min.) lukemaa vastaavan läpäisyprosentin arvo on pienempi kuin 90 %, on näytteestä areometrikokeen jälkeen suoritettava ns. pieni pesuseulonta. Tämä seulonta suoritetaan siten, että areometrilieriössä oleva näyte lietteineen kaadetaan korkeareunaiselle 0.074 mm pesuseulalle ja pestään juoksuttamalla vettä jatkuvasti seulan läpi. Seulalle jäänyt aines kuivataan kuivauskaapissa ja seulotaan kuivana seulasarjalla, johon kuuluvat 0.074, 0.125, 0.25, 0.5, 1 ja 2 mm seulat. Seulonnan tulosten perusteella piirretään rakeisuuskäyrän yläpää.

### Varsinainen pesuseulonta

Jos kysymyksessä on sellainen maa-laji (esim. moreeni), joka sisältää karkeiden lajitteiden lisäksi myös hie-

noainesta, ei kuivaseulonnalla saada yleensä oikeata rakeisuuskäyrää. Tästä syystä on näyte pestävä (pesuseulottava) ennen kuivaseulontaa. Pesuseulonta voidaan suorittaa esim. seuraavalla tavalla:

Pesuvatiin kaadetaan yhden kilon suuruinen kuiva näyte. Vatiin laske-taan lisäksi 3...4 litraa vettä. Näytteen annetaan seistä vedessä niin kauan, että kaikki kokkareet hajoavat. Kokkareiden hajoamisen edistämiseksi voidaan veteen lisätä pieni määrä esim. natriumpyrofosfaattia.

Näytteen hajottua sekoitetaan sitä jäykällä siveltimellä tai harjalla. Samentunut vesi kaadetaan korkeareunaisen 0.074 mm pesuseulan lävitse. Pesuseulan suojaamiseksi voidaan sen päälle asettaa esim. 0.5 tai 1 mm seulaverkko. Näytteeseen lisätään vettä, joka sekoitetaan. Samentunut vesi kaadetaan jälleen seulalle. Menetelyä jatketaan, kunnes vesi ei enää samene. Seulalle kertynyt aines pestään juoksuttamalla vettä seulan läpi ja kallistelemalla samalla seulaa. Pesu voidaan suorittaa myös tätä tarkoitusta varten tehdyssä laitteessa vesipaineen avulla.

Pesuvadissa ja seulalla olevat näytteet yhdistetään ja asetetaan kuivauskaappiin. Kuivunut näyte punnitaan. Pesun aiheuttamaa painon vähennystä sanotaan "pesutappioksi".

Kuivunut näyte seulotaan kuivaseulonnalla. Jos näyte sisältää hienoainesta (alle 0.074 mm) yli 10 %, on alkuperäisestä kuivasta näytteestä suoritettava lisäksi areometrikoe hienoaineksen raekoon määrittämiseksi. Koe suoritetaan alle 2 mm aineksesta

100 g suuruisella näytteellä. Jos hienoainekseen määrä on alle 10 %, on areometrikokeen suorittaminen harkittava kussakin tapauksessa erikseen.

Em. menetelmä soveltuu tavanomaisiin tutkimuksiin. Jos hienoainekseen määrä ja laatu halutaan selvittää mahdollisimman tarkasti, on pesun yhteydessä irtoava liete otettava talteen ja areometrikoe suoritettava tästä lietteestä.

### 1.213 AREOMETRIKOE

Hienorakeisten maalajien, kuten savien ja hiesujen, rakeisuus voidaan määrittää käytännön tarkoituksiin riittävällä tarkkuudella areometrimenetelmällä. Areometrikokeessa mitataan tietyn alkukoostumuksen omaavan lietteen tiheyttä eri ajankohtina.

#### Välineet

- areometri, mitta-alue 1.000 ... 1.050
- sekoitin
- areometrilasit, sisähalkaisija 60 mm, korkeus 440 mm
- vaaka, punnitustarkkuus 0.1 g
- kuivauskaappi
- lämpömittari
- sekuntikello
- laskutaulukot (kuvat 2 ja 3)
- natriumpyrofosfaattia ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 10 \text{H}_2\text{O}$ )
- tislattua vettä
- alkoholia (esim. propyleenia)

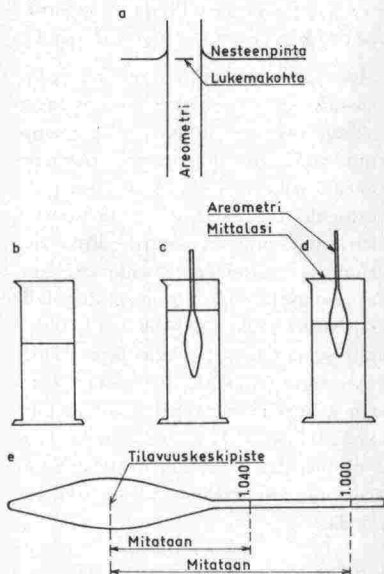
#### Areometrin lukeminen

Pintajännityksen johdosta nesteen pinta käyristyy lasin pintaa vasten

areometrin mitta-asteikon vierellä. Tämä vaikeuttaa areometrin lukemista. Kirkaan nesteen tiheyttä mitattaessa voidaan lukeminen suorittaa katsomalla hieman pinnan alapuolelta, mutta sameaa nestettä tutkittaessa on lukema arvioitava (kuva 1 a). Mitasta suoritettaessa on huolehdittava siitä, ettei areometri kosketa areometrilasin seiniin eikä pohjaan laskeutuneeseen lietteeseen.

#### Areometrin tarkistus

Uusi areometri on ennen käyttöönottoa tarkistettava, sillä yhden tai kahden tuhannesosan mittavirheet



Kuva 1:

Areometri.

a. areometrin lukeminen

b...e. tilavuuskeskipisteen määrittäminen

ovat areometrissä tavallisia. Tarkistaminen suoritetaan upottamalla areometri + 16° C lämpöiseen tislattuun veteen. Virheetön areometri osoittaa tällöin lukemaa 0.999. Jos areometrin asteikko ei ulotu tähän lukemaan saakka, on lukema arvioitava. Jos areometrin lukema poikkeaa em. arvosta, on poikkeama otettava huomioon läpäisyprosenttia laskettaessa.

### Areometrin kalibrointi

Jokaista areometriä varten on laadittava erillinen raekokotaulukko (kuva 2). Tämän taulukon laatimista varten on tunnettava areometrin sukkulan tilavuuskeskipisteen uppouman (etäisyys nesteeseen pinnasta) ja areometrin lukeman välinen vuorosuhde, joka määritetään seuraavasti:

Mittalieriöön kaadetaan vettä, jonka määrä luetaan lieriön asteikosta (kuva 1 b). Areometri asetetaan lieriöön niin syväälle, että sukkula peittyi kokonaan veteen (kuva 1 c). Areometrin ollessa tässä asennossa luetaan vedenpinnan korkeus lieriön mitta-asteikosta. Saatujen lukemien erotus on sukkulan tilavuus. Areometri asetetaan tämän jälkeen sellaiseen korkeuteen (kuva 1 d), että veden pinta asettuu lieriössä edellä havaittujen lukemien keskiarvon kohdalle. Veden pinta osoittaa tällöin areometrin sukkulan tilavuuskeskipisteen sijainnin.

Uppoumavirhe aiheutuu siitä, että nestepatsas ”pitenee” mitta-astiassa kun areometri asetetaan siihen. Uppoumavirhe lasketaan kaavan (1) avulla.

$$(1) \delta = 0.64 \frac{V}{d^2}$$

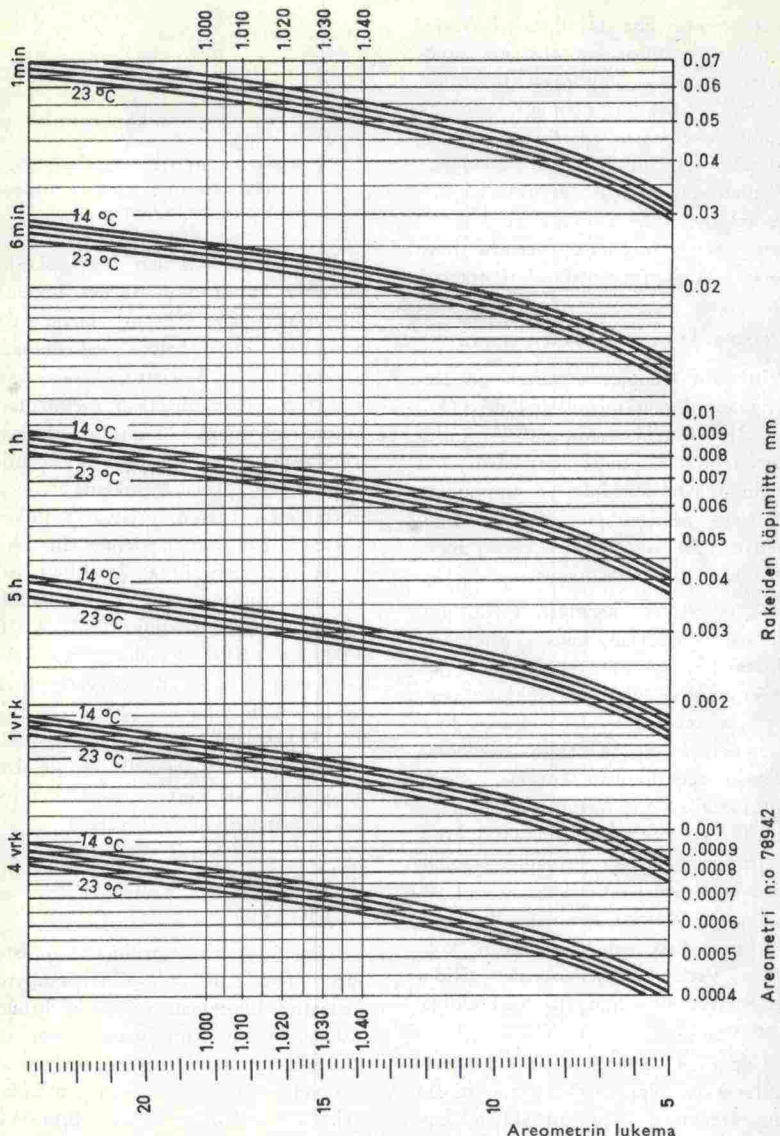
- $\delta$  uppoumavirhe (cm)  
 $V$  areometrin sukkulan tilavuus (cm<sup>3</sup>)  
 $d$  sen astian sisähalkaisija, jossa areometrimittaukset tullaan suorittamaan (cm)

Areometrin sukkulan tilavuuskeskipisteestä mitataan etäisyydet lukemaviivoihin 1.000 ... 1.040 (kuva 1 e). Saaduista etäisyyksistä vähennetään uppoumavirhe. Korjattuja etäisyyksiä vastaavat pisteet haetaan raekokotaulukon vasemmassa reunassa olevasta asteikosta (kuva 2). Näihin kohtiin kirjoitetaan vastaavat lukema-arvot ja piirretään vaakasuorat viivat taulukon ylitse. Viivoitusta täydennetään jakamalla lukemien 1.000 ja 1.040 väli neljään yhtäsuureen osaan, jolloin saadaan areometrilukemia 1.010, 1.020 ja 1.030 vastaavat viivat. Asteikkoa tarkennetaan edelleen piirtämällä siihen lukemia 1.015, 1.025 ja 1.035 vastaavat viivat. Raekokotaulukko on laadittava erikseen jokaista areometriä ja mittauksissa käytettävää areometrilasikokoa varten.

### Peptisaattoriliuoksen valmistus

Väkevä peptisaattoriliuos valmistetaan siten, että 44.6 g natriumpropyofosfaattia liuotetaan vajaaseen litraan tislattua vettä. Kun liukeneminen on tapahtunut, lisätään liuokseen tislattua vettä niin paljon, että sen kokonaistilavuudeksi tulee yksi litra. Väkevistä liuoksesta laimennetaan näytekohtainen käyttöliuos lisäämällä





Kuva 2:  
 Areometrin raekokotaulukko.

950 ml tislattua vettä 50 ml:aan em. väkevää liuosta. Näytekohtainen laimea liuos voidaan valmistaa myös liuottamalla 2.23 g natriumpyrofosfaattia yhteen litraan tislattua vettä.

### Näytteen esikäsittely

Kuivauskaapissa + 105° C lämpötilassa kuivattu näyte hienonnetaan posliiniupokkaassa tai analyysimyllyssä siten, ettei siihen jää yli yhden millimetrin kokkareita. Hienonnettaessa on varottava rikkomasta mineraalirakeita, ettei maalajin rakeisuus muuttuisi. Hienonnettua näytettä (savea, hiesua jne.) punnitaan 50 g. Jos näyte on ilmakeivää (noin viikon avoimessa laatikossa laboratoriossa paloiteltuna kuivunutta), punnitaan sitä 52 g. Moreenia ja muuta karkeampaa ainesta punnitaan 100 g.

Jos ko. karkeahko näytemäärä on niin suuri, että siitä voidaan suorittaa varsinainen pesuseulonta, suoritetaan pesuseulontaan liittyvä areometrikoe alle 2 mm aineksesta. Jos näyte ei riitä pesuseulontaan, suoritetaan areometrikoe näytteestä sellaisenaan poistaen kuitenkin karkeat lajitteet (yli 2...5 mm). Areometrikokeet on, mikäli mahdollista, pyrittävä järjestämään sarjoina, joihin kuuluu 5...10 näytettä.

Näytteen kuivattaminen ennen areometrikoeita voi muuttaa savikolloideja. Kuivatun näytteen savirakeiden liettyminen eli erottuminen voi myös jäädä epätäydelliseksi. Tämän johdosta areometrikoe voidaan tarvittaessa tehdä myös kosteasta näytteestä. Näytteen käsittely ennen varsinaista koetta suoritetaan tällöin seuraavasti:

Jos tutkittavana on häiriintynyt luonnonkosteä näyte, sekoitetaan näyte huolellisesti muovipussissa. Näytteestä otetaan osanäyte vesipitoisuuden määrittystä varten ja näytteen loppuosaa säilytetään huolellisesti suljetussa pussissa (mieluiten kosteusluoneessa). Jos kysymyksessä on häiriintymätön näyte, leikataan areometrikokeessa tutkittavan näytteen vierestä osanäyte vesipitoisuuden määrittämistä varten. Jos vesipitoisuus ja rakeisuus määritetään häiriintymättömien näytteiden muotoilujätteistä, on areometrikokeeseen varattavat jätteet suljettava välittömästi muotoilun jälkeen muovipussiin.

Areometrikoe on tehtävä mahdollisimman nopeasti vesipitoisuusmäärittäksen jälkeen siten, että näytteen vesipitoisuus ei muutu. Kokeeseen tarvittavan luonnonkosteän näytteen paino lasketaan kaavan (2) avulla.

$$(2) W_m = W_k + \frac{W_k w}{100}$$

$W_m$  areometrikokeeseen punnittava luonnonkosteä näytemäärä (g)

$W_k$  näytteen paino kuivana (50 tai 100 g)

$w$  näytteen vesipitoisuus (paino-% kuiva-aineksesta)

Punnittu "uunikuiva" näyte (50 g) ja liuos (50 ml väkevää peptisaattoriliuosta + 950 ml tislattua vettä) kaadetaan areometrilaasiin.

Jos kysymyksessä on luonnonkosteä näyte, voidaan tämä punnituksen yhteydessä sijoittaa muovikalvon päälle, jolta näyte huuhdotaan mittalasiin

valmiiksi tehdyllä liuoksella areometrilasiin.

Luonnonkosteata näytettä tutkittaessa on otettava huomioon näytteen sisältämä vesimäärä. Tällöin lieriöön tuleva nestemäärä sisältää aina 50 ml väkevää peptisaattoriliuosta, näytteen sisältämän vesimäärän ja tarvittavan määrän tislattua vettä (lietteen nestemäärän on aina oltava 1 000 ml).

Areometrilasi suljetaan kumitulpalalla. Näytettä sekoitetaan vähintään 30 minuuttia ja näyte jätetään seisomaan yli yön. Välittömästi seuraavana aamuna aloitetaan toinen sekoitusvaihe, joka kestää myös vähintään puoli tuntia. Nesteen pinnalle mahdollisesti kertyvä vaahto poistetaan alkoholiin kastetulla lasisauvalla.

### Mittaukset

Toisen sekoitusvaiheen jälkeen areometrilasit nostetaan tukevalle pöydälle ja sekoitetaan välittömästi ennen mittausten aloittamista käsisekoitimella. Sekoitus voidaan suorittaa myös areometrilasia kallistelemalla. Tällöin areometrilasin suu suljetaan esim. kämmenellä. Sekoittamisen lopettamishetki, joka on sama kuin kokeen alkamishetki, merkitään työlomakkeeseen (liite 1 a). Koe on yleensä aloitettava kello 9 ja 9.30 välillä, jotta se valmistuisi virka-aikana.

Kun kokeen alkamisesta on kulunut noin 50 sekuntia, lasketaan areometri varovasti lieriöön. Lukeminen suoritetaan silloin, kun sekoituksen lopettamisesta on kulunut tasan yksi minuutti. Areometri nostetaan lietteestä ja huuhdotaan kastamalla se tislattuun veteen. Seuraavat mittauk-

set suoritetaan sen jälkeen, kun kokeen alkamisesta on kulunut 6 minuuttia, 1 tunti, 5 tuntia ja 1 vuorokausi.

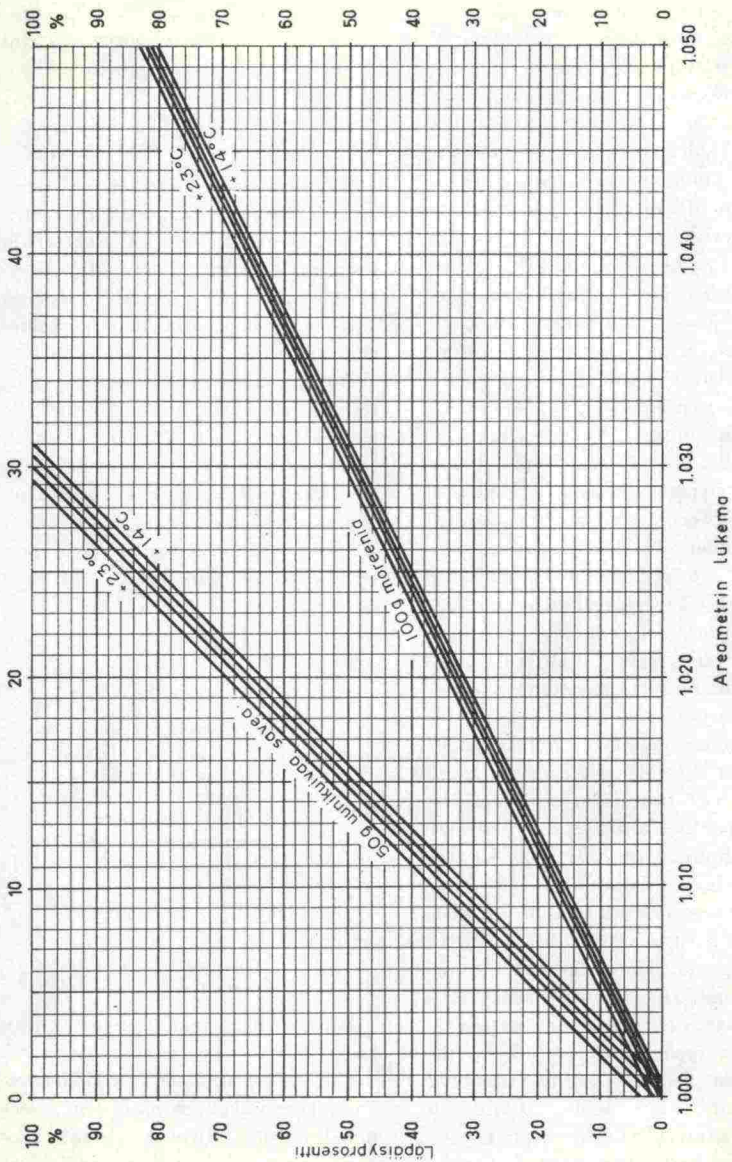
Areometrilasiin ei saa koskea kokeen aikana ja sitä on suojeltava tärinältä. Lietteen lämpötilan mittaus suoritetaan kokeen alkamishetkellä sekä jokaista areometrimittausta tehtäessä. Lämpötilan mittaus on suoritettava lietettä sekoittamatta varovasti lietteen pintaosasta.

### Tulokset

Areometrilukema merkitään laboratorion työlomakkeessa (liite 1 a) olevaan areometrin lukemasarakkeeseen. Raesuuruus määritetään raekokotaulukosta (kuva 2), jossa on jokaista havaintoaikaa vastaava käyräparvi. Jokaisessa parvessa on neljä käyrää, jotka vastaavat lietteen lämpötiloja + 14, + 17, + 20 ja + 23° C. Kuvan 3 avulla määritetään eri raekokoja vastaavat läpäisyprosentit. Läpäisyprosenttien ja vastaavien raekokojen perusteella piirretään rakeisuuskäyrä lomakkeen käyräpohjalle.

### Humuspitoiset maalajit

Humus aiheuttaa maarakeiden ”kaguloitumista”, jolloin areometrimittausten perusteella piiretty rakeisuuskäyrä osoittaa maa-aineksen todellista karkearakeisemmaksi. Humuspitoisuus voidaan areometrikokeen yhteydessä todeta mm. siitä, että neste muuttuu ruskehtavaksi. Vähäinenkin humuspitoisuus aiheuttaa sekoituksen aikana vaahton muodostumista liuoksen pinnalle.



Kuva 3:  
Areometrin läpisyprosenttitaulukko.

Humuspitoisuuden ollessa alle 1... 2 %, ei koaguloitumisen aiheuttamalla virheellä ole yleensä sanottavaa merkitystä. Jos humuspitoisuus on yli 2 %, ei areometrikoeita voida yleensä suorittaa ilman humuksen poistoa. Humus voidaan poistaa esim. vetyperoksidikäsittelyllä, joka suoritetaan seuraavasti:

Koe aloitetaan aamulla, jolloin areometrilaseihin punnitaan em. näytettä joko kuivaa tai kostea näytettä. Kuivan näytteen päälle kaadetaan tislattua vettä (20...30 ml) niin, että näyte kostuu. Vesimäärä merkitään muistiin. Tämän jälkeen lasisiin lisätään 15...35 ml 30...35 % vetyperoksidiliuosta ( $H_2O_2$ ) 5 á 10 ml erissä ja näytettä sekoitetaan lasisauvalla. Jos humuspitoisuus on 2...6 %, riittää tavallisesti 15...20 ml vetyperoksidia. Jos humuspitoisuus on suurempi, on käytettävä enemmän. Lisättävä vetyperoksidimäärä on kirjoitettava muistiin. Tapahtuvassa reaktiossa vapautuu lämpöä, minkä johdosta areometrilasit jossain määrin lämpenevät.

Kun lasit ovat jäähtyneet, lisätään niihin peptisaattoriliuosta 75 ml, jos humuspitoisuus on 2...6 % ja 100 ml, jos humuspitoisuus on suurempi. Ennen työajan päättymistä lisätään lasisiin tislattu vesi ja liete sekoitetaan (ensimmäinen sekoitusvaihe on 30 minuuttia). Tislattua vettä lisätessä on otettava huomioon myös ennen vetyperoksidikäsittelyä lisätty vesimäärä, vetyperoksidista vapautuva vesimäärä (= puolet käytetystä  $H_2O_2$ -määrästä) sekä peptisaattoriliuoksen määrä. Liuoksen kokonais-

tilavuuden on oltava yksi litra. Seuraavana aamuna sekoitetaan näytettä 30 minuuttia (toinen sekoitusvaihe).

### Seulonta- ja areometri- käyrien yhdistäminen

Kun samasta näytteestä on tehty varsinainen pesuseulonta ja areometrikoe ja kun tulokset on laskettu ja piirretty, todetaan usein, etteivät rakeisuuskäyrät ole suoraan toistensa jatkeina. Rakeisuuskäyrien korjaaminen suoritetaan tällöin seuraavasti:

Areometrikokeen perusteella piirrettyä käyrää jatketaan, kunnes se leikkaa raekokoa 0.074 mm vastaavan pystysuoran viivan. Pesuseulontakäyrän jatko-osalta valitaan mielivaltaisen raekoko, jonka läpäisyprosentti merkitään  $x$ :lla. Korjattu läpäisyprosenttiarvo lasketaan kaavan (3) avulla (kuva 4).

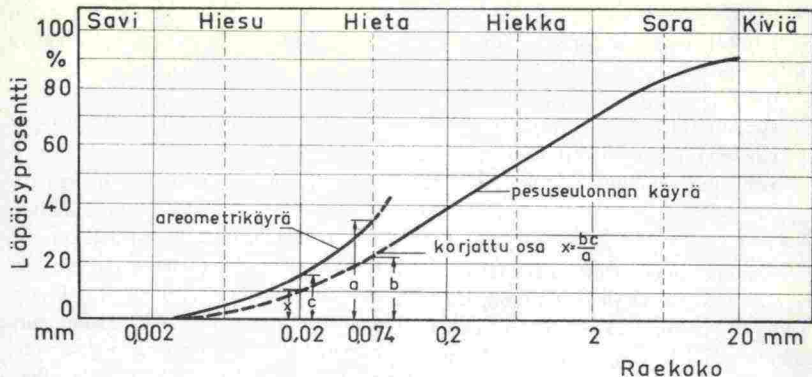
$$(3) x = \frac{bc}{a}$$

- $x$  korjattu läpäisy-%
- $a$  areometrikäyrän läpäisy-%  
0.074 mm kohdalla
- $b$  seulontakäyrän läpäisy-%  
0.074 mm kohdalla
- $c$  areometrikäyrän läpäisy-%  
laskettavan raekoon kohdalla

Läpäisyprosentti korjataan 3...4 raekoon kohdalla.

### Virhelähteet

Areometrimenetelmä perustuu Stokesin lakiin, jossa laskeutuvat mineraalirakeet otaksutaan pallonmuotoisiksi. Hienorakeisten maalajien rakeet muodostuvat kuitenkin yleensä suomumaisista mineraaleista, joilla on



Kuva 4:  
Seulonta- ja areometrikäyrien yhdistäminen.

pienempi laskeutumisnopeus kuin pallon muotoisilla rakeilla. Tästä aiheutuu ns. menetelmävirhe. Lietteen lämpötilan vaihtelu sekä lietteeseen kohdistuva värinä saattavat myös aiheuttaa virheitä. Lämpötilan vaihtelu ei saisi olla enempää kuin  $\pm 2^\circ \text{C}$ . Eräänä virhetekijänä esiintyy se, että suhteistuneista maalajeista joudutaan suorittamaan sekä seulonta- että areometrikoe, ja näistä saadut rakeisuuskäyrät joudutaan yhdistämään. Huolellisesti suoritetuissa rakeisuusmäärityksissä ovat yli 5 % virheet yleensä kuitenkin harvinaisia.

## 1.22 TIHEYS JA OMINAISPAINO

Tiheydellä tarkoitetaan maalajin mineraaliaineksen massan suhdetta sen tilavuuteen. Tiheys lasketaan kaavan (4) avulla.

$$(4) \gamma_s = \frac{W_k}{V_k}$$

$\gamma_s$  maalajin tiheys ( $\text{g/cm}^3$  tai  $\text{t/m}^3$ )  
 $W_k$  kiinteän aineksen paino (g)  
 $V_k$  kiinteän aineksen tilavuus ( $\text{cm}^3$ )

Maalajin ominaispainolla tarkoitetaan mineraaliaineksen painon suhdetta sen tilavuuteen. Ominaispaino on painovoiman paikallisesta arvosta riippuva suure, mutta lukuarvoltaan yleensä sama kuin tiheys.

Tiheys on suomalaisissa kivennäis-maalajeissa yleensä lähes vakio. Erot johtuvat pääasiassa mineraalikoostumuksessa esiintyvistä vaihteluista. Eloperäisissä maalajeissa humuksen määrä vaikuttaa tiheyden arvoon.

## 1.221 TIHEYDEN MÄÄRITTÄMINEN PYKNOMETRILLÄ

### Välineet

- numeroituja pyknometrejä, joiden painot on punnittu 0.01 g tarkkuudella
- vaaka, punnitustarkkuus 0.01 g

- vakuumieksikaattori
- termostaatilla varustettu kuivauskaappi
- tislattua vettä
- lämpömittari, tarkkuus 0.1° C
- näytteen hienonnuvälineet
- vesihaude tai bunsenlampu

## Näyte

Pyknometrinen menetelmä käytetään tilavuusmittauksessa yleensä silloin, kun näytteen maksimiraekoko on pienempi kuin 4 mm. Jos näytteessä on 4 mm suurempia rakeita, seulotaan kuivattu näyte 4 mm seulalla. Yli 4 mm suuristen rakeiden tilavuus määritetään vedessä ja ilmassa punnitsemalla.

Näytteen koko riippuu pyknometrin koosta taulukon 1 mukaisesti.

*Taulukko 1. Näytteen koon riippuvuus pyknometrin tilavuudesta.*

Pyknometrin tilavuus (cm <sup>3</sup> )	Näytteen paino kuivana (g)
50	10 ... 15
100	15 ... 30
250	40 ... 75

## Pyknometrin kalibrointi

Pyknometrin tilavuus muuttuu lämpötilan muuttuessa. Tämän vuoksi on pyknometrit kalibroitava. Kalibroivat pyknometrit täytetään neljässä eri lämpötilassa (+15° C ... +25° C) tislattulla vedellä ja asetetaan vesihauteeseen niin pitkäksi ajaksi, että tislattun veden ja pyknometrin lämpötilat tulevat yhtä suuriksi kuin vesihauteen lämpötila. Täysi pyknometri kuivataan huolellisesti ulkopinnalta ja punnitaan 0.01 g tarkkuudella. Tulokset yhdistetään ns. kalibrointikäyräksi,

joka osoittaa pyknometrin ja veden painon ( $W_a$ ) lämpötilassa  $T$  (kuva 5).

Kokeen suoritus kuivasta näytteestä

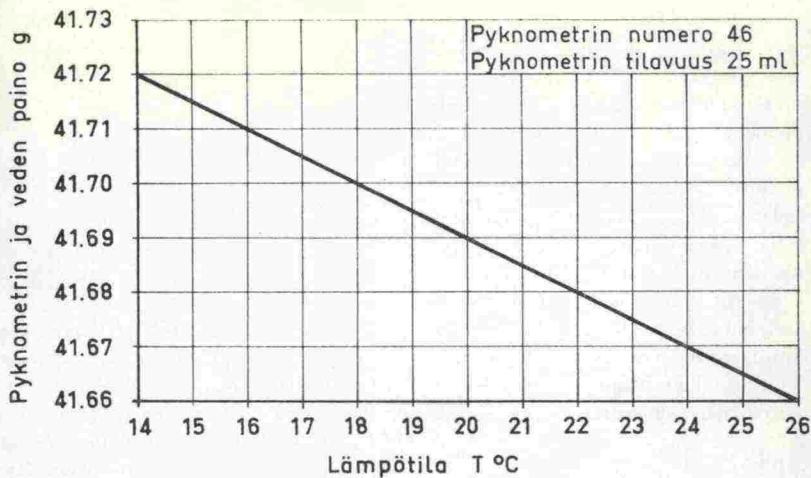
Näyte, joka on kuivattu samalla tavalla kuin vesipitoisuutta määritettäessä, jauhetaan hienoksi rakeita rikkomatta ja jäädytetään huoneen lämpötilaan. Hienonnettu näyte kaadetaan pyknometriin, jonka paino tunnetaan. Kuiva näyte ja pyknometri punnitaan 0.01 g tarkkuudella. Punnitustuloksista lasketaan kuivan näytteen paino ( $W_k$ ). Pyknometriin lisätään tislattua vettä niin, että näyte peittyi veteen. Tämän jälkeen pyknometriä ja näytettä lämmitetään vesihauteessa tai bunsenlampulla, kunnes ilma poistuu näytteestä (yleensä noin puolen tunnin ajan).

Jos näytteen raekoko on suurempi kuin 0.02 mm ja jos se ei sisällä huumusta, voidaan näytteen lämmittäminen korvata asettamalla pyknometri eksikaattoriin alipaineeseen 15 ... 30 minuutiksi.

Pyknometri näytteinen jäädytetään esim. vesialtaassa huoneen lämpötilaan ja täytetään huoneen lämpötilalla tislattulla vedellä mittamerkkiin asti. Täysi pyknometri kuivataan ulkopinnalta huolellisesti ja punnitaan 0.01 g tarkkuudella ( $W_b$ ). Pyknometrissä olevan veden lämpötila mitataan 0.1° C tarkkuudella.

Kokeen suoritus kosteasta näytteestä

Luonnonkosteaa, vedellä kyllästetty näyte kaadetaan pyknometriin, joka



T °C	$\rho_{WT}$	T °C	$\rho_{WT}$	T °C	$\rho_{WT}$	T °C	$\rho_{WT}$
1	0.9999	11	0.9996	21	0.9980	31	0.9954
2	1.0000	12	0.9995	22	0.9978	32	0.9951
3	1.0000	13	0.9994	23	0.9976	33	0.9947
4	1.0000	14	0.9993	24	0.9973	34	0.9944
5	1.0000	15	0.9991	25	0.9971	35	0.9941
6	1.0000	16	0.9990	26	0.9968	36	0.9937
7	0.9999	17	0.9988	27	0.9965	37	0.9934
8	0.9999	18	0.9986	28	0.9963	38	0.9930
9	0.9998	19	0.9984	29	0.9960	39	0.9926
10	0.9997	20	0.9982	30	0.9957	40	0.9922

Kuva 5:  
Pyknometrin kalibrointi.



täytetään tislattulla vedellä ja suljetaan. Näytteen sisältämä ilma poistetaan em. tavoilla. Pyknometri näytteen punnitaan vedessä 0.01 g tarkkuudella. (Ennen kokeen aloittamista on vedellä täytetyn pyknometrin paino punnittu vedessä ( $W_w$ )). Pyknometrin lämpötila mitataan 0.1° C tarkkuudella. Tämän jälkeen näyte pyknometreineen kuivataan 105° C lämpötilassa ja jäädytetään eksikaattorissa. Jäähdyttämisen jälkeen pyknometri ja kuiva näyte punnitaan 0.01 g tarkkuudella. Punnitustuloksista lasketaan kuivan näytteen paino ( $W_k$ ).

#### Tulokset

Tiheys lasketaan määrittymenelmästä riippuen kaavojen (5) ja (6) avulla.

Tulokset ilmoitetaan (liite 1 b) 0.01 t/m<sup>3</sup> tarkkuudella.

#### 1.222 TIHEYDEN MÄÄRITTÄMINEN VEDESSÄ PUNNITSEMALLA

Tiheys määritetään vedessä punnitsamalla silloin, kun näytteen sisältämä

$$(5) \text{ kuiva näyte } \gamma_s = \frac{W_k}{W_k - (W_b - W_a)} \gamma_{wT}$$

$$(6) \text{ märkä näyte } \gamma_s = \frac{W_k}{W_k - (W_u - W_w)} \gamma_{wT}$$

- $\gamma_s$  maalajin tiheys (g/cm<sup>3</sup> tai t/m<sup>3</sup>) lämpötilassa +4° C  
 $\gamma_{wT}$  veden tiheys mitatussa lämpötilassa (g/cm<sup>3</sup>) (ks. kuva 5)  
 $W_b$  pyknometrin, näytteen ja veden paino (g)  
 $W_a$  vedellä täytetyn pyknometrin paino (g)  
 $W_w$  vedellä täytetyn pyknometrin paino vedessä punnittuna (g)  
 $W_u$  pyknometrin, näytteen ja veden paino vedessä punnittuna (g)  
 $W_k$  kuivan näytteen paino (g)

pienin raekoko on yli 4 mm. Näytteen suuruus on tällöin noin 0.5 kg.

#### Välineet

- vaaka, punnitustarkkuus 0.1 g
- 2 mm seula verkkoa
- kuivauskaappi
- lämpömittari

#### Kokeen suoritus

Näyte kuivataan 105° C lämpötilassa ja punnitaan huoneen lämpötilassa 0.1 g tarkkuudella ( $W_k$ ). Sen jälkeen näyte upotetaan veteen. Näytettä sekoitetaan, kunnes ilmakuplat ovat poistuneet kiviaineksen pinnalta. Näyte asetetaan veden alla olevaan taarattuun verkkoon ja punnitaan 0.1 g tarkkuudella ( $W_m$ ). Veden lämpötila mitataan 0.1° C tarkkuudella.

#### Tulokset

Tiheys lasketaan kaavan (7) avulla.

$$(7) \gamma_s = \frac{W_k}{W_k - W_m} \gamma_{wT}$$

$\gamma_s$  maalajin tiheys (g/cm<sup>3</sup> tai t/m<sup>3</sup>) lämpötilassa +4° C

$\gamma_{WT}$  veden tiheys mitatussa lämpötilassa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (ks. kuva 5)

$W_k$  kuivan näytteen paino (g)  
 $W_m$  näytteen paino vedessä punnittuna (g)

Tulokset ilmoitetaan (liite 1 b)  $0.01 \text{ t}/\text{m}^3$  tarkkuudella.

## 1.23 HUMUSPITOISUUS

### 1.231 POLTTOMENETELMÄ

Polttomenetelmä soveltuu vain hienorakeisten maalajien humuspitoisuuden määrittämiseen.

#### Välineet

- polttouuni tai heijastinkuumentaja
- kuivauskaappi
- vaaka, punnitustarkkuus vähintään 0.1 g
- eksikaattori
- kvartsiupokkaita
- pihdit

#### Kokeen suoritus

Tutkittava ilmakeiva näyte hienonetaan. Näytettä kaadetaan kvartsiupokkaaseen noin 10...12 g. Näyte kuivataan kuivauskaapissa korkeintaan  $+105^\circ\text{C}$  lämpötilassa vähintään 5 tunnin ajan. Jos näyte sisältää runsaasti humusta, saa lämpötila kuivauskaapissa olla korkeintaan  $+60^\circ\text{C}$ . Kuivauksen jälkeen upokas jäädytetään eksikaattorissa (vähintään 20 minuttin ajan) ja punnitaan.

Upokas asetetaan polttouuniin tai heijastinkuumentajaan, jossa sitä heikutetaan noin  $800^\circ\text{C}$  lämpötilassa vä-

hintään yhden tunnin ajan. Kuumentajan lämpiämisaika ei sisälly mainittuun aikaan. Kuumennuksen jälkeen nostetaan upokas pihdeillä eksikaattoriin jäähtymään vähintään 30 minuttin ajaksi, minkä jälkeen se punnitaan.

#### Tulokset

Heikutushäviö lasketaan kaavan (8) avulla.

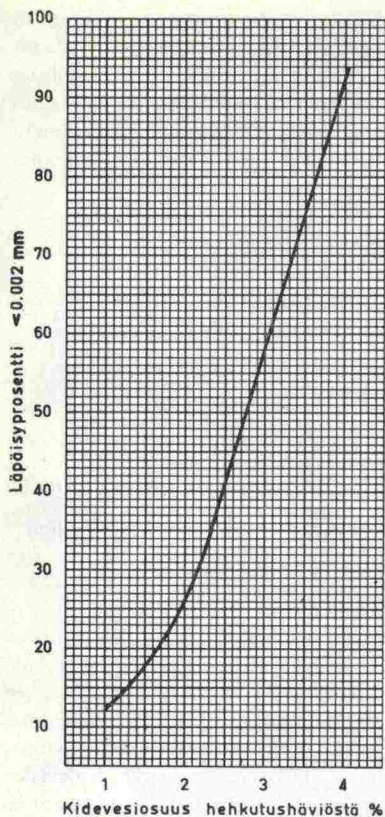
$$(8) H_h = 100 \frac{W_k - W_h}{W_k - W_t}$$

$H_h$	heikutushäviö (%)
$W_k$	astian ja näytteen paino kuivana (g)
$W_h$	astian ja näytteen paino heikutettuna (g)
$W_t$	astian paino (g)

Kitkamaalajien heikutushäviö on tavallisesti likipitään yhtä suuri kuin humuspitoisuus. Savien ja hiesujen humuspitoisuus saadaan siten, että heikutushäviöstä vähennetään haihtuneen kideveden määrä. Kideveden määrä ( $K_v$ ) arvioidaan näytteen sisältämän savilajitteen määrän perusteella (kuva 6). Savipitoisuus määritetään areometrikokeen perusteella.

#### Virhelähteet

Polttomenetelmässä on haihtuneen kideveden ja kalsiumkarbonaatin hajoessa haihtuneen hiilidioksidin osuutta vaikea arvioida tarkasti. Edelleen humusainekset saattavat tutkittavissa näytteissä olla epätasaisesti jakautuneina.



Kuva 6:  
Kideveden määrän arvioiminen.

### 1.232 NaOH-MENETELMÄ

Menetelmä soveltuu karkearakeisiin maalajeihin.

#### Välineet

- värittömiä lasipulloja tai -purkkeja
- natriumhydroksidia (NaOH, pa)
- väritaulukko

### Kokeen suoritus

Tutkittavaa luonnonkosteaa soraa tai hiekkaa kaadetaan lasipulloon noin 5 cm paksuinen kerros. Pulloon lisätään 3-prosenttista natriumhydroksidiliuosta niin paljon, että nesteen pinta tulee noin 8 cm astian pohjan yläpuolelle. Seosta ravistetaan voimakkaasti ja se jätetään seisomaan vuorokaudeksi.

### Tulokset

Vuorokauden kuluttua määritetään pullossa olevan nesteen väri. Neste on sitä tummempaa mitä enemmän maalaus sisältää humusta. Humuspitoisuus arvostellaan seuraavan asteikon mukaan (kuva 7).

- |                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| Humuspitoisuus = | 0, liuos väritön             |
| „                | = I, liuos vaalean keltainen |
| „                | = II, liuos punakeltainen    |
| „                | = III, liuos vaalean ruskea  |
| „                | = IV, liuos tumman ruskea    |

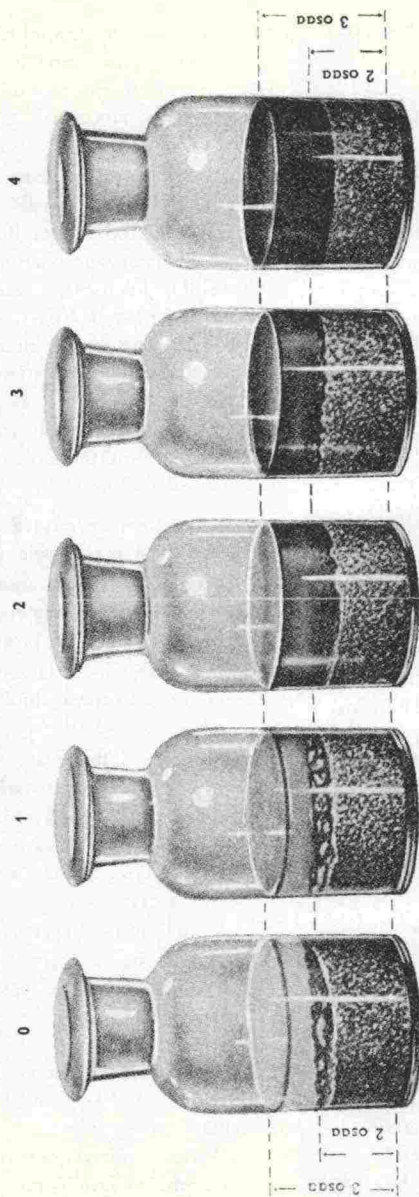
NaOH-menetelmää käytetään tavallisesti betonin kiviaineksen humuspitoisuuden määrittämiseen.

### 1.233 KOLORIMETRI-MENETELMÄ

Menetelmä soveltuu hienorakeisiin maalajeihin.

#### Välineet

- kolorimetri
- vaaka, punnitustarkkuus 0,01 g
- kartiodekanterilaseja (500 ml)
- kaliumdikromaattia ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , pa)



Kuva 7:  
 Betonisoran humuspitoisuus ja käyttökelpoisuus NaOH-menetelmällä.  
 0. ja 1. kelvoinen sora  
 2. huono sora (voidaan mahdollisesti käyttää sementtirikkaassa seoksissa)  
 3. ja 4. kelvoton sora.

- väkevää rikkihappoa ( $H_2SO_4$ , pa)
- tislattua vettä
- vertailumaalajia
- suojavälineet (kumiesiliina, kumi-  
käsiineet, suojalasit)

### Kokeen suoritus

Tutkittava, kuivattu näyte jauhe-  
taan hienoksi ja sitä punnitaan kartio-  
dekanterilaseihin humuspitoisuudesta  
riippuen taulukossa 2 esitetyt määrät.

*Taulukko 2. Kolorimetrimenetelmässä  
tarvittavan näytteen määrän riippu-  
vuus näytteen humuspitoisuudesta.*

Näytteen määrä (g)	Arvioitu humus- pitoisuus (%)
3	0... 3
1	3... 10
0,5	10... 20
0,2	20... 60

Dekantereihin lisätään 20 ml 1,75  
-n  $K_2Cr_2O_7$  -liuosta, joka valmistetaan  
liuottamalla 86 g  $K_2Cr_2O_7$  tislattuun  
veteen niin, että liuoksen kokonais-  
tilavuudeksi tulee yksi litra. Dekan-  
tereihin lisätään  $K_2Cr_2O_7$ -liuoksen jäl-  
keen jatkuvasti sekoittaen 40 ml  
väkevää rikkihappoa ( $H_2SO_4$ ).

Liuoksen annetaan seistä 15 minu-  
tin ajan, jonka jälkeen siihen lisä-  
tään tislattua vettä 200 ml ja liuos  
sekoitetaan uudestaan. Tämän jälkeen  
liuos saa seistä yli yön.

Varsinaisten tutkittavien näytteiden  
lisäksi valmistetaan ns. vertailuliuk-  
set, jotka sisältävät tunnetun määrän  
humusta. Nämä liukset valmistetaan  
siten, että vertailumaalajia, jonka hu-  
muspitoisuus tunnetaan (määritetty  
esim. titraamalla), punnitaan dekan-  
terilaseihin esim. 100, 200, 500, 1 000

ja 2 000 mg ja käsitellään samoin  
kuin tutkittavaa näytettä. Samalla  
valmistetaan myös ns. sokea näyte,  
jossa on ainoastaan reagenssit  
( $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 +$  tislattu vesi).

Em. liuossarjojen seistystä yli yön  
ne mitataan kolorimetrillä. Laite ka-  
libroidaan tällöin sokeaa liuosta käyt-  
tämällä nollalukemaan jokaisen mittauk-  
sen välillä. Jokaisesta nesteliuksesta  
otetaan lukemat kaksi kertaa ja tu-  
lokset lasketaan näiden lukemien kes-  
kiarvon perusteella. Mittauksissa on  
noudatettava laitteen käyttöohjeita.

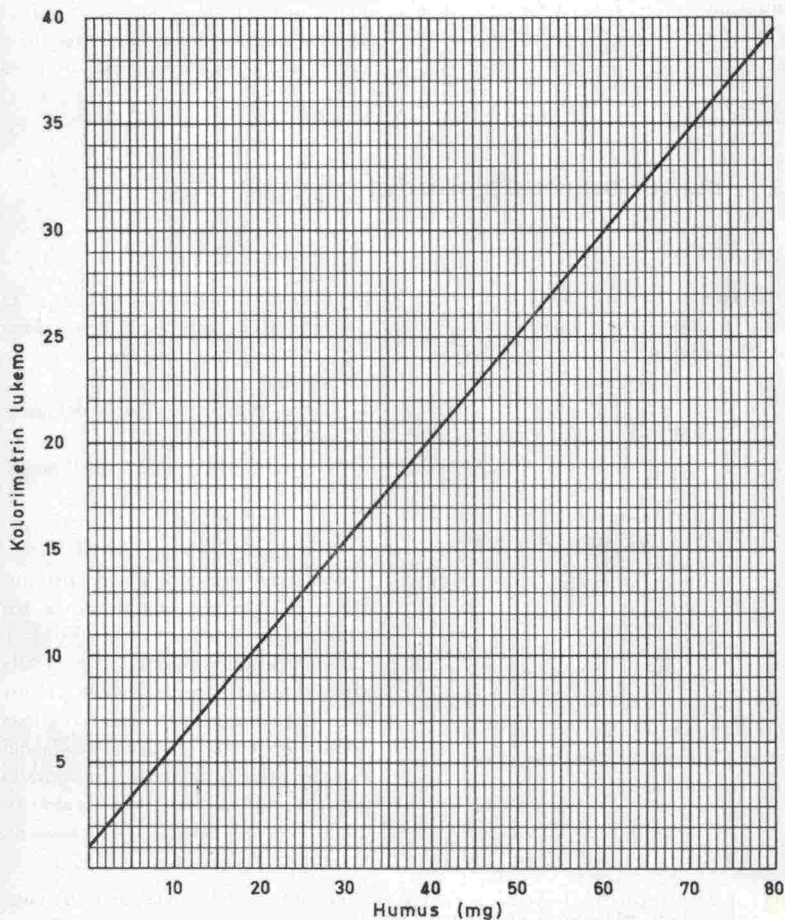
Näytteen käsitelyssä ja mittauk-  
sissa on kiinnitettävä huomiota seu-  
raaviin seikkoihin:

- Kokeessa on käytettävä ainoastaan  
analyttisiä reagensseja (pa).
- Kokeessa on varmistauduttava sii-  
tä, että kaikki käytettävät lasi-  
astiat ovat puhtaita ja kuivia.
- Siirrettäessä liuoksia astiasta toi-  
seen on varottava liuoksen vaah-  
toamista.
- Näytteessä ilmenevät ilmakuplat  
ovat usein synnä epätarkkuuksiin.
- Käytettävät ainemäärät on mitat-  
tava tarkasti. On varottava näyt-  
teen läikkymistä sitä astiasta toi-  
seen kaadettaessa.
- Koeputkien tai kyvetien on olta-  
va optisesti puhtaita. Niitä on  
käsiteltävä vain reunasta kiinni  
pitäen, jotta niihin ei tulisi sor-  
menjälkiä kohtaan, josta valonsäde  
kulkee. Putken ulkopuoli on pyy-  
hittävä puhtaaksi, mikäli näytettä  
läikkyy yli.
- Kokeita suoritettaessa on käytet-  
tävä em. suojavälineitä.

## Tulokset

Vertailumaasarjan antamien kolorimetrin lukemien avulla piirretään käyrä, jonka ordinaattana ovat kolorimetrin lukemat ja abskissana näitä

lukemia vastaavat humusmäärät milligrammoina (kuva 8). Liuoksissa olevat humusmäärät saadaan laskemalla, kun tunnetaan vertailumaan humusprosentti.



Kuva 8:  
Kolorimetrin lukema — humusmäärä.

Tutkittavien näytteiden kolorimet-  
rin lukemien avulla voidaan saadulta  
käyrältä lukea kunkin näytteen sisäl-  
tämän humuksen määrä milligram-  
moina. Humusprosentti saadaan jaka-  
malla tämä mg-määrä dekanteriin  
punnitun koko maamäärän painolla  
ja kertomalla osamäärä sadalla (lii-  
te 3).

## 1.3 Rakenneominaisuudet

### 1.31 TILAVUUSPAINO

Maalajin tilavuuspainolla tarkoite-  
taan luonnontilaisen maamassan pai-  
non ja tilavuuden suhdetta. Tilavuus-  
paino lasketaan kaavan (9) avulla.

$$(9) \gamma = \frac{W_m}{V}$$

$\gamma$  tilavuuspaino ( $t/m^3$ )  
 $W_m$  luonnontilaisen näytteen  
paino (g)  
 $V$  luonnontilaisen näytteen tila-  
vuus ( $cm^3$ )

Maalajin kuivatilavuuspainolla tar-  
koitetaan näytteen kuivan maamassan  
painon ja alkuperäisen tilavuuden suh-  
detta. Kuivatilavuuspaino lasketaan  
kaavan (10) avulla.

$$(10) \gamma_d = \frac{W_k}{V}$$

$\gamma_d$  kuivatilavuuspaino ( $t/m^3$ )  
 $W_k$  kuivan näytteen paino (g)  
 $V$  luonnontilaisen näytteen  
tilavuus ( $cm^3$ )

## Virhelähteet

Kolorimetrillä humusta määritet-  
täessä aiheutuu virheitä pääasiassa  
värityttömien humusaineiden vuoksi.  
Nämä humusaineet eivät tule mää-  
rityksessä esille. Koetulosten hajon-  
taa aiheuttaa myös se, että humus-  
ainekset saattavat tutkittavissa näyt-  
teissä olla epätasaisesti jakautuneina.

## Välineet

- tilavuudeltaan tunnettu astia tai  
välineet astian tilavuuden määrit-  
tämistä varten (esim. työntö-  
tulkki)
- vaaka, punnitustarkkuus vähintään  
0,1 g
- vesipitoisuuden määrittävävälineet

## Näyte

Maalajin luonnontilainen tilavuus-  
paino määritetään laboratoriossa häi-  
riintymättömästä näytteestä. Kitka- ja  
moreenimaalajien luonnontilaista tila-  
vuuspainoa ei yleensä voida määrit-  
tää laboratoriossa, koska ko. maa-  
lajeista on erittäin vaikeaa saada häi-  
riintymättömiä näytteitä. Em. maala-  
jien luonnontilainen tilavuuspaino on  
tämän vuoksi määritettävä maastossa  
volymetrin avulla.

Hienorakeisten maalajien tilavuus-  
paino voidaan määrittää usealla eri  
menetelmällä. Näytteen koko riippuu  
menetelmästä. Moreeneja ja karkea-

rakeisia maalajeja tutkittaessa on näytteen oltava, rakeisuudesta riippuen, vähintään 2...5 kg painoinen. Tilavuuspaino on yleensä pyrittävä määrittämään mahdollisimman suurista näytteistä.

Tilavuuspainon määrittäminen näytepurkin avulla

Koekuopasta tai mäntäkairalla otettu täysi näytepurkki punnitaan ilman kansia 0,1 g tarkkuudella. Näytteen poistamisen jälkeen huolellisesti puhdistettu tyhjä purkki punnitaan 0,1 g tarkkuudella ja sen halkaisija sekä korkeus mitataan 0,1 mm tarkkuudella. Mittaukset suoritetaan vähintään kolmesta eri kohdasta. Laskelmissa käytetään mittausten keskiarvoa. Purkin pohjan pinta-ala lasketaan kaavan (11a) ja purkin tilavuus kaavan (11b) avulla. Tilavuus merkitään lomakkeeseen (liite 1b).

$$(11a) A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$(11b) V = \frac{\pi}{4} D^2 h$$

A	pinta-ala (cm <sup>2</sup> )
V	purkin tilavuus (cm <sup>3</sup> )
D	pohjan halkaisija (cm)
h	purkin korkeus (cm)
$\pi$	= 3,1416

Mikäli näytepurkki ei ole täysi, leikataan näytteen päät tasaisiksi kohtisuoraan purkin seinämiä vastaan. Lisäksi mitataan purkin tyhjän tilan pituus vähintään kolmesta kohdasta 0,1 mm tarkkuudella.

Tilavuuspaino lasketaan kaavan (12) avulla.

$$(12) \gamma = \frac{W_m - W_t}{V}$$

$\gamma$	tilavuuspaino (t/m <sup>3</sup> )
$W_m$	astian ja näytteen paino (g)
$W_t$	astian paino (g)
V	näytteen tilavuus (cm <sup>3</sup> )

Tilavuuspainon määrittäminen näytepurkeista on yksinkertaisempaa, jos numeroitujen purkkien tilavuudet ja painot on etukäteen mitattu ja taulukoitu. Näytepurkkien avulla voidaan määrittää likimääräisesti myös karkearakeisten maalajien luonnontilainen tilavuuspaino, jos näytteet on otettu koekuopasta.

## Tulokset

Tulokset ilmoitetaan yksikkönä t/m<sup>3</sup>. Luonnontilainen tilavuuspaino lasketaan kaavan (12) ja kuivatilavuuspaino joko kaavan (10) tai kaavan (13) avulla.

$$(13) \gamma_a = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

$\gamma_a$	kuivatilavuuspaino (t/m <sup>3</sup> )
$\gamma$	tilavuuspaino (t/m <sup>3</sup> )
w	vesipitoisuus (%)

Tulokset merkitään lomakkeeseen (liite 1b).

## 1.32 VESIPITOISUUS

Maalajin vesipitoisuudella tarkoitetaan luonnontilaisesta maamassasta kuivatettaessa poistuvan veden painon suhdetta kuivatun maa-aineksen pai-



noon kun kuivatus tapahtuu 105°C lämpötilassa. Vesipitoisuus ilmoitetaan prosentteina kuiva-aineksen painosta ja se lasketaan kaavan (14) avulla.

$$(14) w = 100 \frac{W}{W_k}$$

w vesipitoisuus (%)  
W näytteen sisältämän veden paino (g)  
W<sub>k</sub> kuivatun näytteen paino (g)

### Välineet

- termostaatilla ja tuuletuksella varustettu kuivauskaappi
- vaaka (punnitustarkkuus taulukossa 3)
- eksikaattori

*Taulukko 3. Vesipitoisuuden määrittämiseen tarvittavan näytemäärän riippuvuus halutusta tarkkuudesta, maalajista ja tutkimuksen tarkoituksesta.*

Haluttu tarkkuus (%)	Punnituksen tarkkuus (g)	Vaakatyyppi	Tarpeellinen näytemäärä (g)			Tutkimuksen tarkoitus
			w = 4...15 % hiekkä, sora	w = 10...30 % hiesu, hieta	w ≥ 30 % savi	
0.1 1	0.001 0.001	Analyysivaaka	30 3	10 1	5 0.5	Tieteellinen tutkimus
0.1 1 5	0.01 0.01 0.01		300 30 6	100 10 2	50 5 1	
1 5	0.1 0.1		Siirtopainovaaka	300 60	100 20	
1 5	1 1	Pikavaaka tai talousvaaka	3 000 500	1 000 200	500 100	
1 5	1 5		15 000 3 000	5 000 1 000	2 500 500	

— numeroituja lämmönkestäviä punnituslaseja

### Näyte

Maalajin vesipitoisuus on määritettävä mieluummin häiriintymättömästä näytteestä. Näytteitä on kuljetuksen ja varastoinnin aikana säilytettävä siten, ettei niiden vesipitoisuus muutu. Näytteen koko riippuu maalajista ja halutusta tarkkuudesta taulukossa 3 esitetyllä tavalla.

### Kivennäismaalajien vesipitoisuuden määrittäminen

Luonnonkosteaa näyte punnitaan numeroidussa astiassa (kansineen). Punnituksen tarkkuus riippuu näytteen koosta (taulukko 3). Näyte on valit-

tava siten, että sen vesipitoisuus edustaa ko. maakerroksen todellista vesipitoisuutta. Näyte ja astia (ilman kantta) siirretään välittömästi punnituksen jälkeen kuivauskaappiin, jossa termostaatin avulla pidetään jatkuvasti korkeintaan  $+105 \pm 5^\circ\text{C}$  lämpötilaa.

Kuivausaika riippuu maalajin rakeisuudesta sekä näytteen koosta. Näytettä on kuivatettava niin kauan, ettei sen paino muutu. Lämpötilan ollessa  $+105^\circ\text{C}$  on lyhin kuivausaika hiekkänäytteitä tutkittaessa 2...4 tuntia. Savinäytteitä on kuivatettava tavallisesti yli yön. Karkearakeiset maalajit voidaan kuivattaa em. korkeammassakin lämpötilassa ( $150 \dots 200^\circ\text{C}$ ). Kuivausaikaa voidaan tällöin lyhentää. Jos on syytä epäillä, ettei näyte ole ehtinyt kuivua, on se varsinaisen kuivausajan päätyttyä punnittava ja asetettava takaisin kuivauskaappiin. Näytettä kuivataan edelleen 2...3 tuntia ja sen punnitukset uusitaan. Mikäli tällöin havaitaan näytteen painon vielä pienentyneen, on kuivattamista jatkettava. Välipunnituksia jatketaan kunnes näytteen paino ei pienene.

Kuivunut näyte asetetaan eksikaattoriin, jossa sen annetaan jäähtyä huoneenlämpöiseksi. Tämän jälkeen näyte punnitaan. Välipunnituksia tehtäessä ei näytettä tarvitse jäähdyttää.

### Eloperäisten maalajien vesipitoisuuden määrittäminen

Koe suoritetaan samalla tavalla kuin kivinäismaalajinäytteiden vesipitoisuuden määrittäminen. Runsaasti hienoa sisältävien näytteiden korkein sallittu kuivauslämpötila on  $+60^\circ\text{C}$ .

Näytteitä on yleensä kuivatettava vähintään yli yön. Karkearakeiset maalajit voidaan kuivattaa korkeammassakin lämpötilassa ja lyhyempänä aikana. Kuivausaika riippuu humuksen laadusta ja määrästä. Näytteen painon pienenemistä on tämän vuoksi tarvittaessa tarkkailtava välipunnituksilla. Kuivattu näyte jäähdytetään eksikaattorissa huoneenlämpöiseksi ja punnitaan.

### Tulokset

Vesipitoisuus lasketaan kaavan (15) avulla.

$$(15) w = 100 \frac{W_m - W_k}{W_k - W_t}$$

- $w$  vesipitoisuus (%)
- $W_m$  kostean näytteen ja astian (kansineen) paino (g)
- $W_k$  kuivatun näytteen ja astian (kansineen) paino (g)
- $W_t$  astian (kansineen) paino (g)

Tulokset merkitään joko tätä koetta varten ladittuun lomakkeeseen (liite 1b) tai sen kokeen lomakkeeseen, jonka yhteydessä näytteen vesipitoisuus tutkitaan. Kaikkien punnitusten tulokset on merkittävä lomakkeisiin.

### Virhelähteet

Taulukosta 3 käy ilmi, että tulosten tarkkuus riippuu mm. näytteen koosta, punnituksen tarkkuudesta ja suurimmasta rackoosta. Yleensä riittää hienorakeisia maalajeja tutkittaessa 1% tarkkuus. Karkearakeisissa maalajeissa, joiden vesipitoisuus on yleensä pieni, on tulos sitä vastoin esitettävä

0,5 % tarkkuudella. Tuloksissa mahdollisesti esiintyvät virheet saattavat johtua mm. näytteen kuivumisesta ennen vesipitoisuuden määrittystä tai näytteen epätäydellisestä kuivumisesta. Varsinkin humuspitoisia näytteitä on kuivatettava riittävän kauan, jotta kaikki vesi ehtii poistua näytteestä.

### 1.33 TIIVISTETTÄVYYS

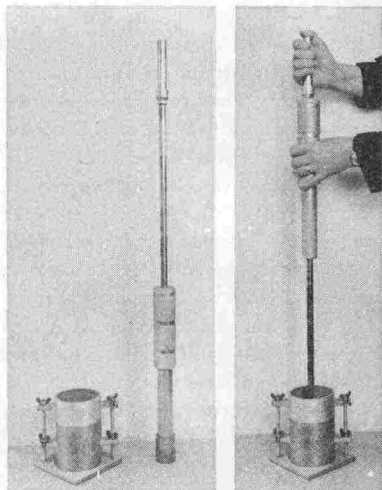
Proctor-tiiviydellä tarkoitetaan määrättyllä tiivistämismenetelmällä (Proctor-kojeella) saavutettavaa maalajin suurinta kuivatilavuuspainoa. Maanäytteen vesipitoisuutta Proctor-tiiviydessä sanotaan optimivesipitoisuudeksi.

Proctor-koetta käytetään maarakenteiden tiivistämistyön tarkkailussa. Tiivistämisvaatimus esitetään tavallisesti ns. tiiviyssasteena, jolla tarkoitetaan tiivistetyn maan kuivatilavuuspainon suhdetta (%) Proctor-tiiviyteen. Määrättyllä tiivistämistyöllä saavutettu kuivatilavuuspaino lasketaan maastossa volymetrillä mitatun tilavuuden ja laboratoriossa määritetyn vesipitoisuuden perusteella.

#### Välineet (kuva 9)

- koesylinteri
- Proctor-vasara
- sylinterin alusta ja kaulus
- juntausalusta
- teräsviivain
- vaaka 0...15 kg, tarkkuus 5 g
- vesipitoisuuden määrittämiseen tarvittavat välineet
- (rakeisuuden määrittämiseen tarvittavat välineet).

Pohjoismaissa käytetään yleisesti ns. parannettua Proctor-menetelmää, jossa näytteen tiivistämiseen käytettävä työ on suurempi kuin alkuperäisessä Proctor-menetelmässä. Parannetussa Proctor-menetelmässä maalaji sullotaan viitenä kerroksena astiaan, jonka halkaisija on 10,2 cm (4"), korkeus 11,7 cm (4 5/8") ja tilavuus  $944 \pm 8 \text{ cm}^3$ .



Kuva 9:  
Proctor-kokeen välineet.

Sullonta suoritetaan 4.54 kg painoisella vasaralla, jota pudotetaan 25 kertaa 45.7 cm (18") korkeudesta jokaisen kerroksen päälle. Mikäli maalaji sisältää karkeita (16...32 mm) lajitteita, suoritetaan koe astiassa, jonka halkaisija on 15.2 cm (6"), korkeus 11.4 cm (4.5") ja tilavuus 2024 ± 20 cm<sup>3</sup>. Jokainen kerros tiivistetään tällöin em. vasaraa käyttäen 55 pudotuksella.

### Näyte

Kokeessa tarvitaan tutkittavaa maalajia noin 25 kg, joka riittää tavallisesti 5...8 eri vesipitoisuudella tehtävän kokeen suorittamiseen. Näytteestä otetaan edustava osanäyte rakeisuuden määrittämistä varten. Näytteestä seulotaan yli 16 mm (tai suurempaa muottia käytettäessä yli 32 mm) rakeet ja näyte punnitaan. Jäljelle jäänyt näyte sekoitetaan huolellisesti ja jaetaan noin 3 kg (suurempaa muottia käytettäessä 5 kg) eriin.

Ennen kokeen aloittamista on silmämääräisesti arvioitava maalajin optimivesipitoisuus. Taulukossa 4 on esitetty eri maalajien optimivesipitoisuuksien likirvot. Tiivistettävien näytteiden vesipitoisuudet valitaan siten,

että ne vaihtelevat noin 2% välein arvioitujen optimivesipitoisuuksien kummallakin puolella. Näytteeseen lisättävää vesimäärää arvioitaessa on otettava huomioon näytteen vesipitoisuus, joka voidaan määrittää esim. karbidometrillä.

### Kokeen suoritus

Tutkittavasta maalajista valmistettu 2...3 kg suuruinen näyte sulotetaan sylinteriin viitenä kerroksena. Kerrosten paksuuden on oltava tiivistettyinä 2.5...3.0 cm. Jokainen kerros tiivistetään 25 (suurempaa muottia käytettäessä 55) iskulla. Vasaran alapään sijaintia näytteen pinnalla muutetaan joka iskun välillä siten, että näyte tiivistyy mahdollisimman tasaisesti. Vasaran on annettava pudota vapaasti ylimmästä asennostaan.

Kun näyte on sullottu, poistetaan kaulus ja näytteen yläpinta tasataan teräsviivaimella (kuva 9) ja näyte punnitaan. Punnituksen jälkeen sylinteristä otetaan osanäyte vesipitoisuuden määrittämistä varten. Vesipitoisuus voidaan määrittää myös koko näytteestä. Koe toistetaan 5...8 eri vesipitoisuudella.

*Taulukko 4. Karkearakeisten maalajien optimivesipitoisuuksien ja Proctor-tiiviyksien likiarvot.*

Maalaji	Optimivesipitoisuus (%)	Proctor-tiiviyys (t/m <sup>3</sup> )
Sr ja SrMr .....	5...10	2.0...2.2
Hk ja kHt .....	5...15	1.7...2.2
hHt ja Hs .....	15...25	1.6...1.8
Sa .....	20...30	1.4...1.7
HkMr, HtMr ja HsMr .....	5...10	2.0...2.3

## Tulokset

Kokeen suorittamisen jälkeen lasetaan lomakkeelle (liite 4 b) näytteen kuivapaino ( $W_k$ ), märkätilavuuspaino ( $\gamma$ ) ja kuivatilavuuspaino ( $\gamma_d$ ) lomakkeessa esitettyjen kaavojen avulla.

Optimivesipitoisuus ja Proctor-tiiviys määritetään tämän jälkeen siten, että koetulokset piirretään koordinaatistoon, jonka pystyakselilla on kuivatilavuuspaino ja vaak akselilla vesipitoisuus. Kun havaintopisteiden kautta piirretään käyrä, esittää käyrän huippu Proctor-tiivyyttä ( $\gamma_{d \text{ maks}}$ ) ja sitä vastaava vesipitoisuus optimivesipitoisuutta. Jos koetuloksissa on paljon hajontaa, on tarvittaessa suoritettava lisäkokeita, joissa näytteen vesipitoisuus on lähellä optimivesipitoisuutta. Esimerkki käyrän piirtämisestä on esitetty liitteessä 4 b.

Jos tutkittava maalaji sisältää yli 16 mm suuruisia rakeita (tai suurempaa muottia käytettäessä yli 32 mm rakeita), ne on otettava huomioon lopullista Proctor-tiivyyttä määrittäessä. Jos kiviaineksen suurin rae koko on pienempi kuin 32 mm (tai suurempaa muottia käytettäessä 64 mm) ja yli 20 mm suurempien rakeiden määrä ei ole yli 30 %, lasketaan muunnettu Proctor-tiiviys ( $\gamma'_{d \text{ maks}}$ ) kaavan (16) avulla.

(16)

$$\gamma'_{d \text{ maks}} = \frac{100 \gamma_{d \text{ maks}} \gamma_s}{100 \gamma_s - k (\gamma_s - \gamma_{d \text{ maks}})}$$

$\gamma'_{d \text{ maks}}$  muunnettu Proctor-tiiviys  
( $t/m^3$ )

$\gamma_{d \text{ maks}}$  Proctor-tiiviys ( $t/m^3$ )

$\gamma_s$  maa-aineksen tiheys  
( $g/cm^3$ )

k ylisuurten ( $> 16$  mm tai  $> 32$  mm) rakeiden määrä  
(% koko aineksen määrästä)

## 1.34 KONSISTENSSI

### 1.341 JUOKSURAJA

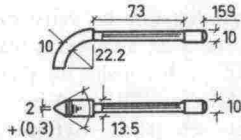
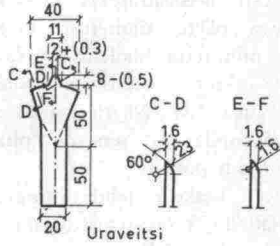
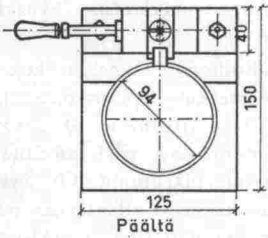
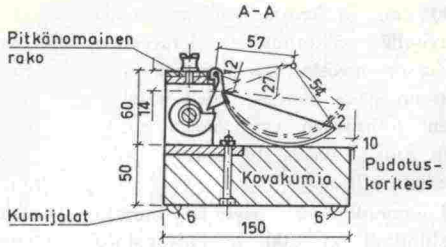
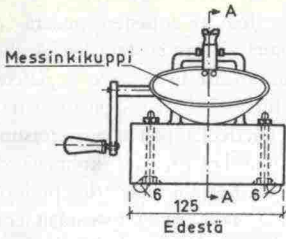
Jos maalajin vesipitoisuus on suurempi kuin ns. juoksurajaa vastaava vesipitoisuus, on maalaji juoksevassa tilassa. Jos vesipitoisuus on juoksurajaa pienempi, mutta kieritysrajaa suurempi, on maalaji plastisessa tilassa. Juoksurajaa vastaavassa vesipitoisuudessa Casagranden koputuskojeessa näytteeseen uraveitsellä vedetty rako menee umpeen 25 pudotuksella 13 mm matkalla.

## Välineet

- Casagranden koputuskoje (kuva 10)
- uraveitsi (kuva 10)
- maanäytteen hienonnusvälineet
- maanäytteen sekoitusvälineet
- 0.5 mm seula
- tislattua vettä
- vesipitoisuuden määrittämisvälineet

## Kokeen suoritus

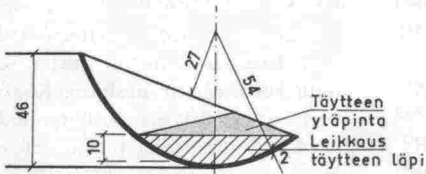
Seuraava menetelmä soveltuu juoksurajan määrittämiseen vain koheesio- ja silttimaalajien kohdalla, missä ei ole 0.5 mm suurempia rakeita. Ennen kokeen aloittamista on tarkistettava, että kojeen maljan putouskorkeus on



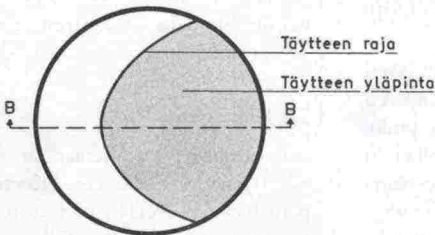
Uranmuokausväline

Kupin paino 200 g

Mitat millimetrejä



B-B



Koputusmaljan täyttäminen

Kuva 10:  
Casagranden koputuskoje.

1.00 cm. Korkeutta voidaan säätää erityisellä säätöruuvilla. Uraveitsen mitat on myöskin tarkistettava aina, kun on syytä olettaa niiden muuttuneen kolhaisujen ym. vuoksi enemmän kuin kuvassa 10 esitetyt poikkeamat sallivat.

Luonnonkosteaa näytettä otetaan posliinikulhoon 100 g kuivapainoa vastaava määrä. Näyte sekoitetaan huolellisesti tasalaatuisiksi massaksi. Tutkittava näyte sijoitetaan kojeen maljaan niin, että huolellisesti tasoitettun kerroksen paksuus on keskellä 1 cm (kuva 10). Näytteessä ei saa olla ilmakuplia, ja sen on oltava kiinni maljan pohjassa.

Näytteen keskelle tehdään uraveitsellä tasaisella, keskeytymättömällä vedolla rako, joka jakaa näytteen kahtia. Rakoa vedettäessä on veitsi pidettävä kohtisuorassa asennossa maljan pohjaa vastaan. Jos malja on täytetty oikein, tekee uraveitsen laippa n. 40 mm levyisen jäljen näytteen pintaan. Rakoa vedettäessä ei näyte saa repeillä eikä liukua astian pohjaa pitkin. Kuvassa 10 esitettyä laitetta käytettäessä on kammen kiertonopeus kaksi kierrosta sekunnissa. Kiertäminen voidaan suorittaa myös koneellisesti.

Koetta suoritettaessa lasketaan näytteeseen vedetyn raon sulkeutumiseen (13 mm matkalla) tarvittavien pudotusten määrä. Jos rako ei sulkeudu 50 iskulla, on koe uusittava kosteammalla näytteellä. Raon on sulkeuduttava siten, ettei näyte repeile eikä liu'u maljan pohjalla.

Koe suoritetaan uudestaan samalla näytteellä (jonka vesipitoisuus on

yhtä suuri kuin ensimmäisessä kokeessa). Jos pudotusten määrä on yhtä suuri kuin ensimmäisellä kerralla, merkitään tämä arvo lomakkeeseen (liite 5). Koe on uusittava samalla näytteellä (sama vesipitoisuus) niin monta kertaa, että kolmella peräkkäisellä kerralla havaitut pudotusten määrät poikkeavat toisistaan enintään kolmella. Näiden kolmella perättäisellä kokeella saatujen pudotusten keskiarvo merkitään lomakkeeseen (liite 5).

Välittömästi viimeisen kokeen jälkeen otetaan koputuskojeen maljassa olevasta näytteestä n. 10...15 g suuruisen osanäyte siltä kohdalta, mistä rako on sulkeutunut. Osanäyte sijoitetaan kannella suljettavaan punnituslasiin vesipitoisuuden määrittämistä varten. Jäljelle jäänyt näyte pannaan takaisin sekoituskulhoon.

Kulhossa olevaan näytteeseen lisätään tislattua vettä ja edellä selostettu koemenettely uusitaan. Koe suoritetaan neljällä eri vesipitoisuudella siten, että tarvittavat pudotusten määrät ovat noin 35, 28, 20 ja 17...15. Mikäli pudotusten lukumäärä on yli 50 tai alle 10, on koe uusittava eri vesipitoisuudella (näytteen vesipitoisuutta muuttaen).

## Tulokset

Koetulokset kirjoitetaan liitteessä 5 esitettyyn lomakkeeseen. Koetulosten perusteella piirretään pudotusten määrän ja vesipitoisuuden välinen vuorosuhde liitteen 5 mukaiseen puolilogaritmiseen koordinaatistoon. Pisteiden kautta piirretään parhaiten em. vuoro-

suhdetta kuvaava suora. Tämä suora leikkaa 25 pudotusta vastaavan pystysuoran viivan juoksurajan kohdalla. Hienorakeisten maalajien juoksuraja ilmoitetaan prosenttin tarkkuudella.

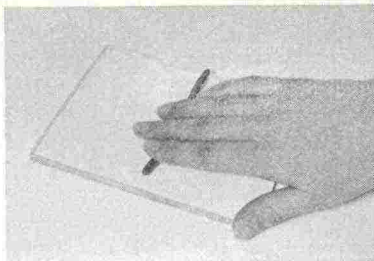
### 1.342 KIERITYSRAJA

#### Välineet

- sekoituskuppi
- lasilevy tai muu sileä levy, joka ei ime vettä
- Ø 3 mm mallitanko
- vesipitoisuuden määrittävävälineet

#### Kokeen suoritus

Juoksurajan määrittämisen yhteydessä käsitellystä homogeenisesta maanäytteestä otetaan neljä noin 15 g suuruista osanäytettä. Osanäytteestä muodostetaan pallo, joka kierretään sormilla lasilevyn päällä 3 mm paksuksi rihmaksi (kuva 11). Rihman paksuus arvioidaan vertaamalla sitä ”mallitankoon” (mallitangon paksuuden on oltava 3.00 mm). Kieritysnopeuden on oltava noin 80...90 edestakaista ”rullausta” minuutissa. Kieritys on tehtävä siten, että näyte on koko pituudeltaan yhtä paksu. Saatu rihma paloitellaan ja muodostetaan uudestaan palloksi ja kieritetään jälleen 3 mm paksuiseksi rihmaksi. Koetta jatketaan, kunnes rihma murtuu 3 mm paksuisena. Murtuneet palaset pannaan välittömästi punnituslasiin, joka suljetaan kannella. Tämän jälkeen määritetään niiden vesipitoisuus. Koe tehdään neljänä osanäytteenä.



Kuva 11:  
Kieritysrajan määrittäminen.

#### Tulokset

Koetulokset merkitään liitteessä 5 esitettyyn lomakkeeseen. Osanäytteistä määritettyjen suurimman ja pienemmän vesipitoisuuden ero saa olla korkeintaan 2...3 prosenttiyksikköä. Jos jonkin osanäytteen vesipitoisuus poikkeaa muiden näytteiden vesipitoisuudesta enemmän, ei sitä oteta huomioon kieritysrajaa laskettaessa. Kieritysraja ilmoitetaan määritettyjen vesipitoisuuksien keskiarvona prosenttin tarkkuudella liitteessä 5 olevalla lomakkeella.

### 1.343 PLASTISUUSLUKU

Plastisuusluvulla tarkoitetaan juoksurajaa ja kieritysrajaa vastaavien vesipitoisuuksien erotusta. Plastisuusluku lasketaan kaavan (17) avulla.

$$(17) I_p = w_L - w_p$$

$I_p$  plastisuusluku (%)  
 $w_L$  juoksuraja (%)  
 $w_p$  kieritysraja (%)



## 1.344 HIENOUSLUKU

Maalajin hienousluvulla tarkoitetaan sitä vesipitoisuutta, missä 60 g/60° kartio painuu täysin häiriintyneeseen näytteeseen 10 mm. Hienousluku on yleensä likipitään yhtä suuri kuin maalajin juoksuraja.

Hienousluku lasketaan kartiokokeen tulosten perusteella kaavan (18) avulla.

$$(18) F = a w$$

F maalajin hienousluku (%)  
a vertailuluku, joka riippuu käytetyn kartion painumasta vaivattuun maanäytteeseen

w kartiokokeen yhteydessä määritetty vesipitoisuus (%)

Vertailuluku a saadaan taulukosta 8 (kohta 1.52) vaivattuun näytteeseen pudotetun kartion painuman kohdalta. Vertailuluku valitaan siten, että sitä vastaava hienousluku sattuu sen sarakkeen ilmoittamien raja-arvojen väliin, mistä ko. vertailuluku on otettu.

Hienousluku ilmoitetaan tuloslomakkeessa (liite 6) prosentin tarkkuudella.

## 1.4 Hydrauliset ominaisuudet

### 1.41 VEDENLÄPÄISEVYYS

Maalajin vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan Darcyn lain (kaava 19) mukaan maassa virtaavan veden nopeutta, kun hydraulinen putous (i) on yksi. Vedenläpäisevyys ilmoitetaan tavallisesti vedenläpäisevyyserkertoimen k avulla.

$$(19) v = k i$$

v veden nopeus (cm/s)  
k vedenläpäisevyyserkoin (cm/s)  
i = H/h hydraulinen putous  
putous  
H putoushäviö  
h vastaava virtausmatka

Kaava (19) on voimassa ns. laminaarisen (pyörteettömän) virtauksen alueella.

### 1.411 VEDENLÄPÄISEVYYDEN MÄÄRITYS VAKIO-PAINEELLA

#### Välineet

- koesylintereitä (esim. halkaisija d = 15.2 cm, korkeus noin 15 cm)
- vakiopainelaitteisto
- mittalaseja
- sekuntikello
- lämpömittari
- Proctor-sulloin

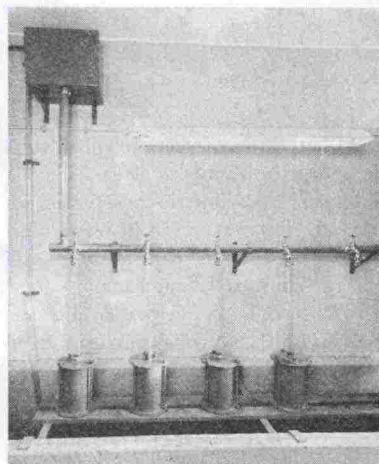
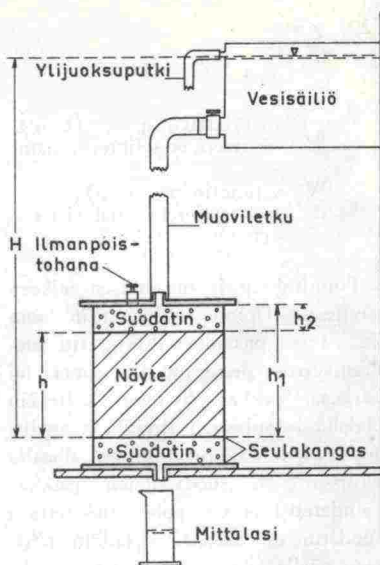
Koe voidaan tarvittaessa suorittaa myös em. pienemmässä tai suuremmassa sylinterissä.

#### Näyte

Vakiopainekoetta käytetään lähinnä karkearakeisten maalajien (karkea

hieta, hiekka, sora) ja moreenien vedenläpäisevyyserkertoimen määrittämiseen. Näyte tiivistetään haluttuun tiiviyteen yleensä parannettua Proctor-menettelmää käyttäen. Ennen tiivistämistä poistetaan näytteestä tavallisesti 32 mm suuremmat rakeet. Tiivistämisenergian on oltava kutakin tiivistettävää kerrosta kohti yhtä suuri kuin parannetussa Proctor-kokeessa. Käytettäessä  $\varnothing 15.2$  cm sylinteriä tiivistetään kukin kerros tällöin 55 Proctor-vasaran iskulla.

Ennen näytteen tiivistämistä sivelään sylinterin sisäseinät ohuesti bitumilla tms., jotta näytteen huokoisuus ei seinän vieressä muodostuisi suuremmaksi kuin sen keskiosassa. Jos vesi virtaa kokeen aikana näytteen lävitse ylhäältä alaspäin, asetetaan sylinterin pohjalle, suodatinmateriaalin rakeisuudesta riippuen, 0.25...1.0 mm seulakangas, jonka päällä on 2...3 cm paksuinen suodatinkerros. Suodatinkerroksena käytetään kosteata lajittunutta soraa tai karkeaa hiekkaa. Suodattimen vedenläpäisevyyden on oltava aina suurempi kuin tutkittavan materiaalin. Suodattimen päälle asetetaan 0.125 mm seulakangas. Suodatinkerroksen yläpinnan etäisyys  $h_1$  (cm) (kuva 12 a) sylinterin yläreunasta mitataan ja sylinteri punnitaan. Tämän jälkeen näyte tiivistetään sylinteriin ja sylinteri punnitaan uudelleen. Punnituksen jälkeen mitataan näytteen yläpinnan etäisyys  $h_2$  (cm) (kuva 12 a) sylinterin yläreunasta. Tiivistetyn näytteen korkeuden ( $h$ ) on oltava vähintään 10 cm. Näytteen märkätilavuuspaino laskeaan kaavan (20) avulla.



Kuva 12:  
Vedenläpäisevyyden määrittäminen vakio-  
painekokeena.

$$(20) \gamma = \frac{W_1 - W_2}{\frac{\pi d^2}{4} (h_1 - h_2)}$$

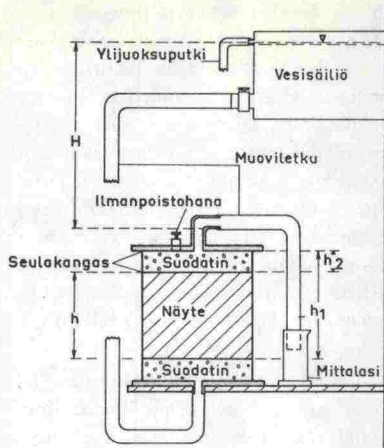
$\gamma$  märkätilavuuspaino ( $t/m^3$ )  
 $W_1$  näytteen ja sylinterin paino (g)  
 $W_2$  sylinterin paino (g)  
 $d$  näytesylinterin halkaisija (cm)

Punnituksen ja mittauksen jälkeen näytteen yläpinnalle levitetään noin 2...3 cm paksuinen kostutettu suodatinkerros pesuseulottua soraa tai karkeaa hiekkaa. Sylinteri täytetään vedellä ja suljetaan tiiviillä kannella. Jos veden virtausuunta on alhaalta ylöspäin, on suodattimien paikkaa vaihdettava, ts. em. pohjalle asetettava suodatin on asetettava tällöin näytteen päälle ja päälle asetettava suodatin vuorostaan näytteen alle (kuva 13).

### Kokeen suoritus

Kun sylinteri on kytketty vakio-painelaitteistoon, lasketaan siihen vettä ja sylinterin kannessa oleva hana aukaistaan. Koesylinteriä ravistetaan varovasti, jotta sylinterissä oleva ilma pääsee poistumaan. Kun ilmakuplia ei enää esiinny, suljetaan hana.

Sylinteristä tulevan putken alle asetetaan mittalasi, jolla mitataan näytteen lävitse virrannut vesimäärä (kuvat 12 a ja 13). Ennen varsinaisen kokeen aloittamista juoksetetaan näytteen läpi vettä, kunnes näytteeseen on muodostunut tasainen virtaustila. Varsinaisen kokeen aikana näytteen lävitse valutetaan vettä 30...50 cm<sup>3</sup>. Vesimäärä ja sen lämpötila sekä ve-



Kuva 13:

Vedenläpäisevyyden määrittäminen vakio-painekokeena, veden virtausuunta alhaalta ylöspäin.

den valumiseen kulunut aika kirjoitetaan laboratoriolomakkeeseen (liite 7). Vesimäärän mittaus toistetaan vähintään kolme kertaa.

Kokeen suorittamisen jälkeen määritetään näytteen vesipitoisuus. Näytteen kuivatilavuuspaino lasketaan kaavan (21) avulla.

$$(21) \gamma_a = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

$\gamma_a$  kuivatilavuuspaino ( $t/m^3$ )  
 $\gamma$  märkätilavuuspaino ( $t/m^3$ ) (kaava 20)  
 $w$  vesipitoisuus (%)

Kokeessa käytettävä painekorkeus riippuu maalaajista. Hydraulisen putouksen (i) on hyvin vettäläpäisevissä

kitkamaalajeissa oltava 5...20. Pu-  
tousken on yleensä oltava sitä pie-  
nempi mitä paremmin maalaji läpäi-  
see vettä. Heikosti läpäisevissä maala-  
jeissa (esim. moreenit) joudutaan ta-  
vallisesti käyttämään suurempaa pai-  
nekorkeutta kuin kitkamaalajeissa.  
Erittäin heikosti vettäläpäisevissä maala-  
jeissa on vesi tarvittaessa "puristet-  
tava" paineen avulla näytteen lävitse.  
Erittäin hyvin vettäläpäiseviä maala-  
jeja tutkittaessa mitataan paine vähin-  
tään kahden havaintoputken avulla  
kuvassa 14 esitetyllä laitteistolla.

Tulosten laskeminen ja  
virhelähteet

Käsitellään kohdassa 1.412.

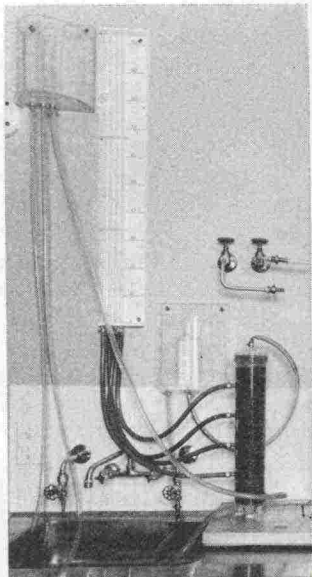
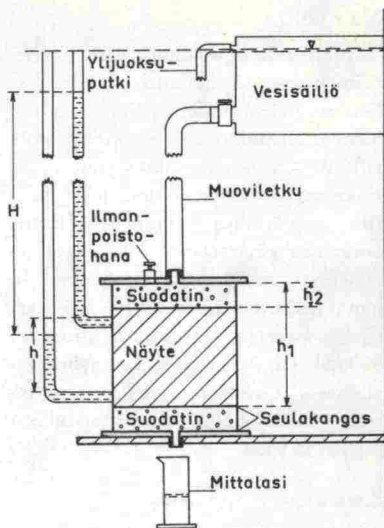
#### 1.412 VEDENLÄPÄISEVYYDEN MÄÄRITYS MUUTTUVALLA PAINEKORKEUDELLA PROCTOR- TAI CBR-SYLIN- TERISSÄ

##### Välineet

- läpäisevyyskoetta varten valmis-  
tettu Proctor- tai CBR-sylinteri  
( $\varnothing$  10.2 cm, korkeus 11.7 cm)
- sulloin
- byretti
- statiivi
- sekuntikello
- lämpömittari

Kuva 14:

Vedenläpäisevyyden määrittäminen vakio-  
paineekokeena vesipaineen havainto-  
putkia käyttämällä.



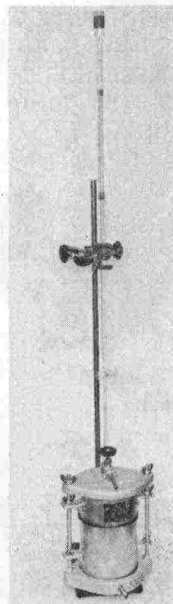
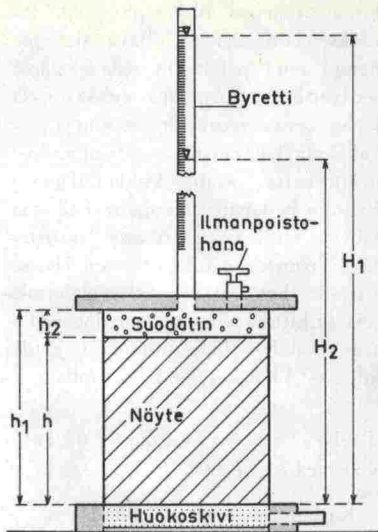
## Näyte

Muuttuvaa painekorkeutta käytetään pääasiassa heikosti vettäläpäisevien maalajien vedenläpäisevyysskertoimen määrittämiseen. Sylinterin pohjalle asetetaan huokoskivi (tai suodatinkerros). Näyte sullotaan sylinteriin samalla tavalla kuin vakiopainekorkeutta käytettäessä. Näytteestä on ennen tiivistämistä poistettava 16 mm karkeimmat rakeet. Näytteen päälle asetetaan kostutettu suodatinhiekkerros. Tyhjä tila sylinterin yläosassa täytetään vedellä ja sylinterin kansi kiinnitetään paikoilleen (kuva 15 a).

## Kokeen suoritus

Byretti asetetaan paikoilleen ja siitä juoksetetaan näytteeseen vettä. Kannessa oleva hana avataan, jotta sylinterissä oleva ilma pääsee poistumaan. Ilman poistumisen jälkeen hana suljetaan ja byretti täytetään vedellä nollalukemaan asti. Kokeen aikana veden annetaan virrata byretistä näytteen läpi. Sekuntikellolla mitataan se aika, joka kuluu esim. 20 cm<sup>3</sup> vesimäärän valumiseen näytteen lävitse. Mittaustulokset merkitään lomakkeeseen (liite 8). Mittaus suoritetaan vähintään kolme kertaa. Veden lämpötila byretissä mitataan ja merkitään lomakkeeseen.

Näytteen märkä- ja kuivatilavuuspainot lasketaan samalla tavalla kuin vakiopainekorkeudella tehtävän ko-



Kuva 15:

Vedenläpäisevyyden määrittäminen muuttuvapainekokeena Proctor- tai CBR-sylinterissä.

keen yhteydessä. Hienorakeisista maa-  
lajeista voidaan vedenläpäisevyyskoe  
muuttuvaa painekorkeutta käyttäen  
suorittaa myös lasisylinterissä (kuva  
16).

## Tulokset

Vakiopainekorkeutta käytettäessä  
vedenläpäisevyyskerroin ( $k_T$ ) laske-  
taan kaavan (22) avulla.

$$(22) k_T = \frac{Q h}{t A H}$$

- $Q$  näytteen lävitse ajassa  $t$   
virrannut vesimäärä ( $\text{cm}^3$ )  
 $t$  havaintoaika (sekuntia)  
 $h$  näytteen korkeus (cm)  
 $A$  näytteen pinta-ala ( $\text{cm}^2$ )  
 $H$  painekorkeus (cm)

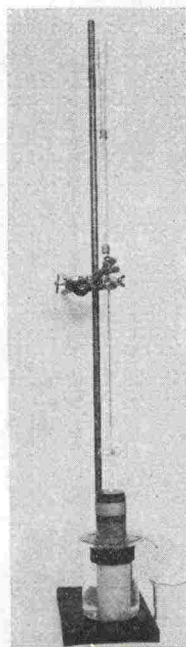
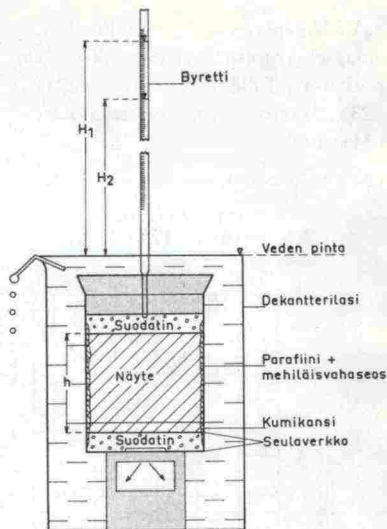
Muuttuvaa painekorkeutta käytet-  
täessä vedenläpäisevyyskerroin laske-  
taan kaavan (23) avulla.

$$(23) k_T = 2,3 \frac{a h}{A t} \log \frac{H_1}{H_2}$$

- $H_1$  vedenpinnan alkulukema  
(cm)  
 $H_2$  vedenpinnan loppuluke-  
ma (cm)  
 $a$  byretin poikkileikkauksen  
pinta-ala ( $\text{cm}^2$ )

Jos vedenläpäisevyyskerroimen arvo  
pienenee huomattavasti perättäisissä  
kokeissa, on ensimmäiseksi saatua  
arvoa pidettävä oikeana.

*Kuva 16:*  
*Vedenläpäisevyyden määrittäminen muuttu-*  
*vapainekorkeuksella lasisylinterissä.*

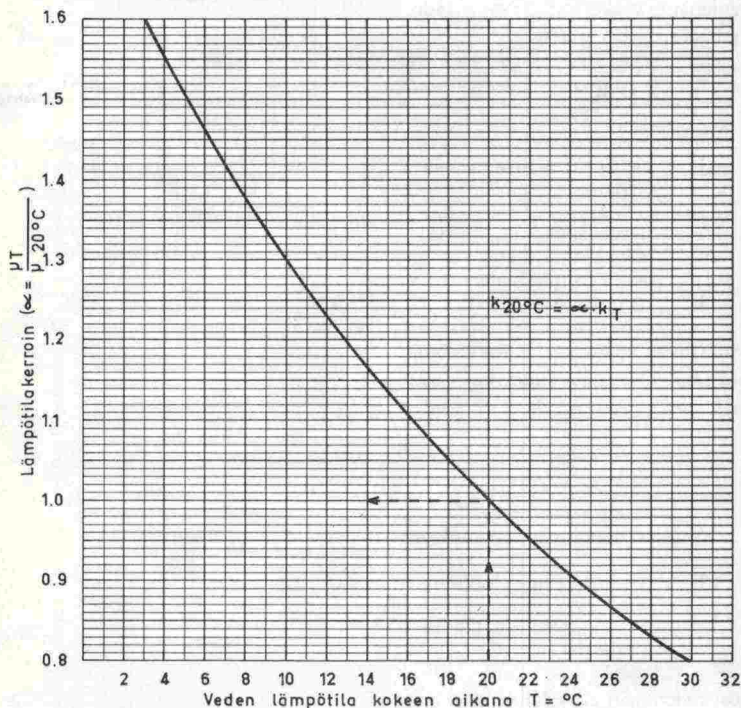


Vedenläpäisevyyserroin ilmoitetaan aina, ellei toisin määrätä, 20°C lämpötilassa. Tällöin kaavoilla (22) ja (23) lasketut arvot korjataan kaavan (24) avulla.

$$(24) k_{20^{\circ}\text{C}} = \alpha k_T$$

$\alpha$  korjauskerroin  
(kuva 17)

Edellä mainituilla kaavoilla 22 ja 23 saadaan vedenläpäisevyyserroimen ( $k_T$ ) arvo muodossa  $k_T = x \cdot 10^{-y}$ . Tulos voidaan ilmoittaa myös muodossa  $k_T = 10^{-z}$ , jolloin muunnoslaskelma suoritetaan kaavan (25) avulla.



$k_{20^{\circ}\text{C}}$  = vedenläpäisevyys lämpötilassa 20 °C

$k_T$  = vedenläpäisevyys lämpötilassa T

$\mu_{20^{\circ}\text{C}}$  = veden viskositeetti lämpötilassa 20 °C

$\mu_T$  = veden viskositeetti lämpötilassa T

$\alpha$  = lämpötilakerroin

Kuva 17:  
Vedenläpäisevyyden lämpötilakorjaus.

$$(25) k_T = x \cdot 10^{-y} = 10 \cdot (y - 10x)$$

Vedenläpäisevyyškertoimen arvo vaihtelee eri maalajeissa likipitään taulukossa 5 esitetyissä rajoissa.

### Virhelähteet

Jos vedenläpäisevyys pienenee samalla näytteellä koetta toistettaessa, on tähän yleensä syynä se, että näytteestä kulkeutuu veden mukana hienoainesta suodatinkerroksen ja näytteen rajapintaan. Tällöin em. rajapintaan muodostuu huonosti vettä läpäisevä kerros. Jos näin tapahtuu, on painekorkeus liian suuri tai suodattimen materiaali on liian hienorakeinen. Jos vedenläpäisevyys suurenee koetta toistettaessa, on tähän tavallisesti syynä liian karkearakeinen suodatinmateriaali.

Virhettä saattaa aiheutua myös siitä syystä, että vesi pääsee virtaamaan näytteen ja sylinterin seinän välistä helpommin kuin näytteen läpi. Tällöin kokeen perusteella laskettu vedenläpäisevyyškertoimen on liian suuri. Näytteessä mahdollisesti tapahtuva sisäinen eroosio saattaa myös aiheuttaa

virheitä koetuloksiin. Näytteessä ja laitteissa oleva ilma aiheuttaa myös virheitä.

## 1.42 KAPILLAARISUUS

Kapillaarisuudella tarkoitetaan sitä etäisyyttä, johon maan huokosissa oleva vesi nousee esim. vapaan pohjavedenpinnan yläpuolelle pintajännityksen sekä maaraakeiden ja veden välisen adheesion vaikutuksesta.

### Välineet

- kapillaarimetri (kuva 18)
- suodatinpaperia
- maanäytteen sekoitusastia
- sulloin

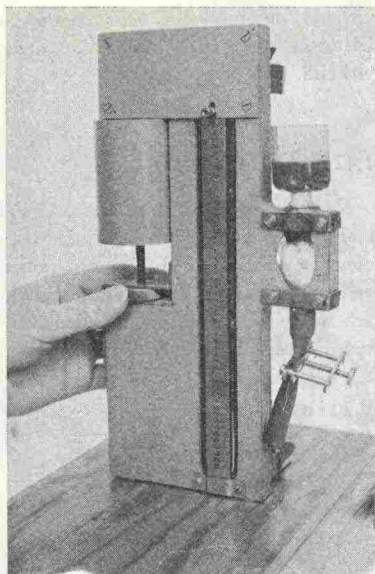
### Kokeen suoritus

Häiriintynyttä maanäytettä, josta on poistettu 2 mm karkeimmat rakeet, otetaan 200...250 g (noin 10 kertaa kokeessa tarvittava määrä). Näyte kyllästetään vedellä. Vettä ei kuitenkaan saa erottua näytteen pintaan. Näytteen annetaan seistä kostutettuna

Taulukko 5. Vedenläpäisevyyškertoimen ( $k$ ) likarvot eri maalajeissa.

Maalaji (raekoko)	$k$ (cm/s)
	Raja-arvot
Sora (2...20 mm) .....	1 ...10 <sup>-2</sup>
Hiekka (0.2...2 mm) .....	1 ...10 <sup>-4</sup>
Karkea hietta (0.06...0.2 mm) .....	10 <sup>-1</sup> ...10 <sup>-4</sup>
Siltti (0.002...0.006 mm) .....	10 <sup>-3</sup> ...10 <sup>-7</sup>
Savi (< 0.002 mm) .....	10 <sup>-6</sup> ...10 <sup>-10</sup>
Moreeni .....	10 <sup>-4</sup> ...10 <sup>-8</sup>





Kuva 18:  
Kapillaarimetri.

esim. muovikelmun alla vähintään puoli tuntia ennen kokeen aloittamista.

Kapillaarimetrin palkeen mäntä kierretään yläasentoonsa. Tämän jälkeen letku suljetaan ja näytelasi, jonka on oltava hiotulta kohdalta hyvin rasvattu, täytetään puoliksi vedellä. Yleensä käytetään  $\varnothing 28$  mm näytelasia. Hiekan kapillaarisuutta tutkittaessa käytetään kuitenkin  $\varnothing 35$  mm näytelasia. Näytteen alle tuleva kannatinverkko kostutetaan ja asetetaan paikoilleen. Sen jälkeen asetetaan suodatinpaperi verkon päälle. Verkon ja suodatinpaperin väliin ei saa jäädä ilmakuplia. Hiekan kapillaarisuutta tutkittaessa näytelasin pohjalle asetetaan kaksi verkkoa, joista tiheämpi

päällimmäiseksi. Tiheämmän verkon päälle asetetaan suodatinpaperi. Verkon ja näytelasin seinämän välinen rako tiivistetään kumirenkaalla.

Suodatinpaperin asettamisen jälkeen vedenpinta näytelasissa lasketaan suodatinpaperin tasolle. Näyte tiivistetään lasiin neljänä kerroksena. Kunkin kerroksen paksuus on noin 0,5 cm. Tiivistettäessä ei näytteeseen saa jäädä ilmakuplia. Jos näytteen pinnalle ilmaantuu vapaata vettä, se imetään pois alipaineen avulla. Sopiva alipaine on hiekkaa tutkittaessa noin 5 cm, karkeaa hietaa tutkittaessa 10...40 cm. Moreenia tutkittaessa on käytävä 20...100 cm vesipainetta. Kuvassa 18 esitetyssä kapillaarimetrissä manometrin asteikon lukemat tarkoittavat vesipainetta desimetreinä. Imun aikana alipaine pidetään vakiona ja näytteen yläpintaa sullotaan kevyesti. Imeminen on lopetettava, kun alipaine pysyy vakiona paljemutteria kiertämättä. Samalla näytteen pinta muuttuu himmeäksi (kiinteäksi) ja veden tippuminen näytelasista lakkaa. Manometri palautetaan 0-asentoon avaamalla letkukiristin. Mäntä kierretään yläasentoonsa ja letku suljetaan.

#### Kapillaarisuuden likimääräinen määrittäminen

Ennen kokeen suorittamista arvioidaan kapillaarisuus likimääräisesti. Näytteeseen kehitetään tällöin niin suuri alipaine, että ilma tunkeutuu sen lävitse. Alipaineen nostaminen on tapahduttava seuraavasti:

0	→	140 cm	2.5 cm/10 s
140	→	190 cm	5 cm/30 s
190	→		5 cm/60 s

Jos näytteen kapillaarisuus tiedetään likimäärin, voidaan alipaine nostaa alussa em. nopeammin, kunnes lähestytään likimääräistä kapillaarisuuden arvoa. Samalla kun manometristä seurataan paineen suuruutta, on tarkkailtava myös ilman tunkeutumista näytteeseen. Ilman tunkeutuminen näytteen lävitse voidaan todeta mm. seuraavasti:

- 1) vaaleat ilmaläikät näytteen sivuilla kasvavat ja ulottuvat lopulta näytteen läpi
- 2) vettä alkaa tippua näytelasista
- 3) näytteen alle syntyy kuplia
- 4) paine elohopeamanometrissä laskee

Suurin manometrin osoittama painelukema merkitään muistiin. Tämä lukema ilmaisee maalajin kapillaarisen nousukorkeuden likiarvon.

### Kapillaarisuuden tarkka määrittäminen

Samasta maalajista tiivistetään uusi näyte näytelasiin samalla tavalla kuin esikokeessa. Pääkokeessa alipainetta nostetaan nopeasti (noin 10 cm vesi-

painetta 5 sekunnissa) noin 80 %:iin esikokeella saadusta kapillaarisuuden arvosta. Tämän jälkeen alipainetta lisätään 1.5 minuutin väliajoin 5 cm erissä ja näytettä tarkkaillaan jatkuvasti. Hiekan kapillaarisuutta määritettäessä saadaan alipainetta lisätä noin 1 cm 10 sekunnissa.

Ilman tunkeutuminen maanäytteen lävitse todetaan esikokeen yhteydessä mainituista ilmiöistä. Suurin havaittu manometrin lukema ilmaisee maalajin kapillaarisen nousukorkeuden. Mikäli pääkokeessa saatu arvo poikkeaa huomattavasti esikokeella saadusta arvosta, on suoritettava lisäkokeita.

### Tulokset

Taulukossa 6 on esitetty eri maalajien kapillaarisuuksien likiarvot.

### Virhelähteet

Kapillaarimetrillä määritetyissä tuloksissa esiintyvät virheet johtuvat mm. seuraavista syistä:

- 1) Näyte sisältää aina jonkin verran ilmaa, jota ei voida poistaa.

Taulukko 6. Kapillaarinen nousukorkeus ( $h_c$ ) eri maalajeissa.

Maalaji	Raekoko (mm)	Kapillaarinen nousukorkeus
Karkea hiekka .....	2...0.6	3...10 cm
Hieno hiekka .....	0.6...0.2	10...30 cm
Karkea hieta .....	0.2...0.06	30...100 cm
Hieno hieta .....	0.06...0.02	1...3 m
Hiesu .....	} 0.02...0.006 0.006...0.002	3...10 m
Savi .....		10...30 m
	< 0.002	30... (300) m

2) Ilman tunkeutuminen näytteen läpi tapahtuu maalajin suurimpien huokosten kautta. Kapillaarinen nousukorkeus riippuu kuitenkin ratkaisevimmin maalajin pienimmistä huokosista. Tämän vuoksi

kapillaarimetriellä määritetty nousukorkeus on yleensä pienempi kuin luonnossa esiintyvä maalajin kapillaarinen nousukorkeus.

3) Liian nopea kokeen suoritus suurentaa kapillaarisuuden arvoa.

## 1.5 Leikkauslujuus

### 1.51 PURISTUSKOE

Puristuskokeen avulla määritetään siltti- ja koheesiomaalajien leikkauslujuus ja kimmomoduuli. Puristuskoea käytetään myös ns. jäännöslujuuden määrittämiseen.

Puristuskokeessa sylinterinmuotoista maanäytettä kuormitetaan pysyvuoralla kuormalla (kuva 19) siten, että näytteen muodonmuutosnopeus on vakio. Käytännön suunnittelua varten tehtävissä kokeissa muodonmuutosnopeus (painumisnopeus) on 1 % näytteen alkuperäisestä korkeudesta minuutissa. Liitteessä 9 esitetystä esimerkistä muodonmuutosnopeus on ollut kuitenkin em. pienempi, sillä näyte on painunut esim. 2 % ( $= \epsilon$ ) kahdessa minuutissa 40 sekunnissa.

#### Välineet

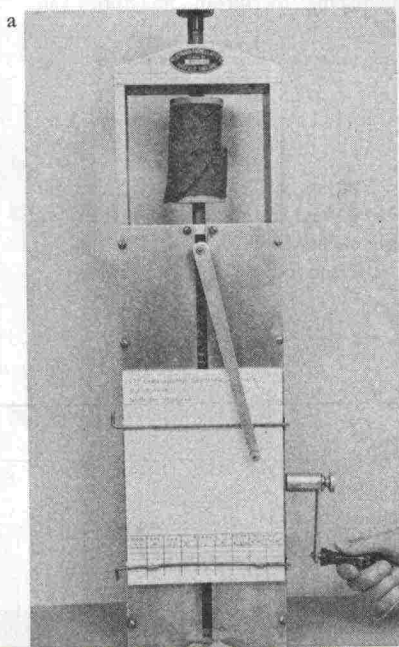
- puristuskoe (kuva 19 a ja b) tai kolmiaksaalikoje (kuva 19 c)
- näytteen muotoiluvälineet
- vesipitoisuuden määrittämiseen tarvittavat välineet

Kuva 19:

Leikkauslujuuden mittaaminen  
a. ja b. puristuskoeita  
c. kolmiaksaalikoje.

#### Näyte

Puristuskokeella tutkittavan maanäytteen on oltava ehdottomasti häiriintymätön. Näytteen häiriintyminen vaikuttaa puristuskokeen tuloksiin herkemmin kuin muiden lujuskokeiden tuloksiin. Tutkittavan näytteen



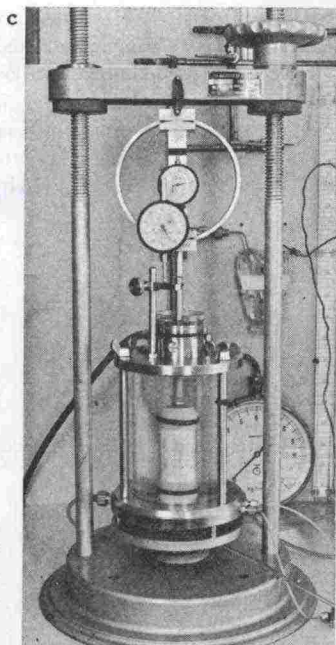
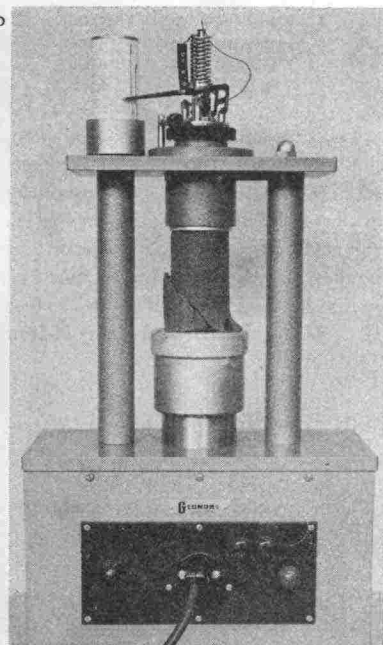
halkaisija on tavallisesti 36...42 mm ja korkeus kaksi kertaa niin suuri kuin halkaisija. Koe voidaan suorittaa myös suuremmilla maanäytteillä. Puristuskoe on tehtävä mahdollisimman nopeasti sen jälkeen, kun näyte on otettu näytekupista, ettei sen luonnollinen vesipitoisuus muutu. Puristuskokeessa kuormitetun näytteen vesipitoisuus määritetään kokeen suorituksen jälkeen.

### Kokeen suoritus

Tutkittava näyte muotoillaan varovasti halutun suuruiseksi ( $H = 2D$ ) ja punnitaan. Näyte asetetaan kuormituslaitteeseen, jossa sen kuormitusta lisätään tasaisella nopeudella.

Näytteen muodonmuutosnopeuden on yleensä oltava noin 1 % näytteen korkeudesta minuutissa. Koska muodonmuutosnopeus vaikuttaa koetuloksiin, on nopeus aina ilmoitettava koetulosten yhteydessä. Puristuskokeella saadaan yleensä sitä suurempi lujuusarvo mitä suurempi on kokeessa käytetty muodonmuutosnopeus. Kuvassa 19 a ja b esitetyissä laitteissa piirturi piirtää muodonmuutos-kuormituskäyrän. Kolmiakksiaalikojetta käytettäessä (kuva 19 c) muodonmuutoksen ja kuormituksen suuruus on havaittava kokeen aikana säännöllisin väliajoin.

Liitteessä 9 on esitetty havaintolomake kolmiakksiaalikojeella suoritettavaa puristuskoeita varten. Kuormi-



tus- ja muodonmuutosmittakellojen havainnot tehdään tavallisesti noin 30 sekunnin väliajoin. Kokeen valmistuttua havaintolomakkeen kääntöpuolelle piirretään näytteen murtumistapa esittävä piirros, johon merkitään astelevyllä mitattu murtumiskulma, jolla tarkoitetaan murtumistason ja vaakatason välistä kulmaa.

## Tulokset

Jos puristuskoe on tehty piirturilla varustetulla kojeella (kuva 19 a ja b), tulokset lasketaan kutakin kojetta varten erikseen laadittujen taulukoiden ja käyrien avulla. Jos puristuskoe on tehty kolmiaksiaalikojeella, muutetaan kuormitusrenkaan mittakellon lukemat kalibrintikäyrän avulla kuormituksiksi (P). Havaintolomakkeen (liite 9) painumasarakkeeseen lasketaan muodonmuutuskellon lukemista kokoonpuristuma ( $\Delta h$ ) ja suhteellinen muodonmuutos ( $\epsilon$ ) kaavan (26 a) avulla. Näytteen korjattu pinta-ala lasketaan kaavan (26 b) avulla.

$$(26 a) \epsilon = 100 \frac{\Delta H}{H_0}$$

$$(26 b) A_k = 100 \frac{A_0}{100 - \epsilon}$$

$A_k$  korjattu pinta-ala (cm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon$  muodonmuutos (%)  
 $H_0$  näytteen korkeus kokeen alussa (cm)  
 $\Delta H$  näytteen painuma (cm)  
 $A_0$  näytteen poikkileikkauspinta-ala kokeen alussa (cm<sup>2</sup>)

Puristusjännitys lasketaan kaavan (27) avulla.

$$(27) \sigma = \frac{P}{A_k}$$

$\sigma$  puristusjännitys (kp/cm<sup>2</sup>)  
 $P$  kuormitus (kp)

Tulokset piirretään  $\sigma$ — $\epsilon$  koordinaatistoon liitteessä 10 esitettyllä tavalla. Leikkauslujuus lasketaan kaavan (28) ja kimmomoduuli kaavan (29) avulla.

$$(28) s_p = \frac{\sigma_m}{2}$$

$s_p$  leikkauslujuus (kp/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_m$  puristusjännityksen maksimiarvo (murtolujuus) (kp/cm<sup>2</sup>)

$$(29) E = \frac{s_p}{\epsilon_{50}}$$

$E$  kimmomoduuli (kp/cm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon_{50}$  puristusjännitystä ( $\sigma_m/2$ ) vastaava muodonmuutos (%/100)

Leikkausjännityksen ja kimmomoduulin arvot kirjoitetaan lomakkeeseen (liite 9). Jos puristuskokeen avulla halutaan määrittää myös ns. jäännöslujuus, on koetta jatkettava kunnes saavutetaan jännitys-muodonmuutuskäyrän vaakasuora osa (liite 10). Jäännöslujuus lasketaan kaavan (30) avulla.

$$(30) s_j = \frac{\sigma_j}{2}$$

$s_j$  jäännöslujuus (kp/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_j$  puristusjännitys käyrän vaakasuoralla osalla (kp/cm<sup>2</sup>)

Jännitys-muodonmuutuskäyrässä ei aina esiinny vaakasuoraa osaa. Jään-

nöslujuuden määrittäminen ei ole tällöin mahdollista.

## Virhelähteet

Silmävaraisen tarkastelun perusteella häiriintymättömältä näyttävä näyte saattaa olla häiriintynyt jo näytettä otettaessa. Näyte voi häiriintyä myös käsiteltäessä. Puristuskokeella määritetty leikkauslujuus on tämän vuoksi yleensä pienempi kuin esim. maastossa siipikairauksella määritetty leikkauslujuus. Näytteen käsittely ja muotoilu on suoritettava erittäin varovasti. Jos näytteen muodonmuutosnopeus on liian suuri, saadaan puristuskokeella liian suuria lujuusarvoja. Koe on tämän vuoksi tehtävä siten, ettei em. muodonmuutoksen ylärajaa (1 % näytteen korkeudesta minuutissa) ylitetä.

## 1.52 KARTIOKOE

Kartiokokeella määritetään hienorakeisten maalajien leikkauslujuus. Koe perustuu kartion painuman ja leikkauslujuuden väliseen kokemusperäiseen vuorosuhteeseen. Hansbon (1957) mukaan leikkauslujuuden ja kartion painuman vuorosuhde voidaan esittää kaavan (31) avulla.

$$(31) s_k = K \frac{Q}{h^2}$$

$s_k$  leikkauslujuus  
 $Q$  kartion paino  
 $h$  kartion painuma  
 $K$  kerroin, joka riippuu lähinnä kartion kärkikulmasta sekä maalajin sensitiivisyydestä ja lisäksi näytteenottolaitteesta.

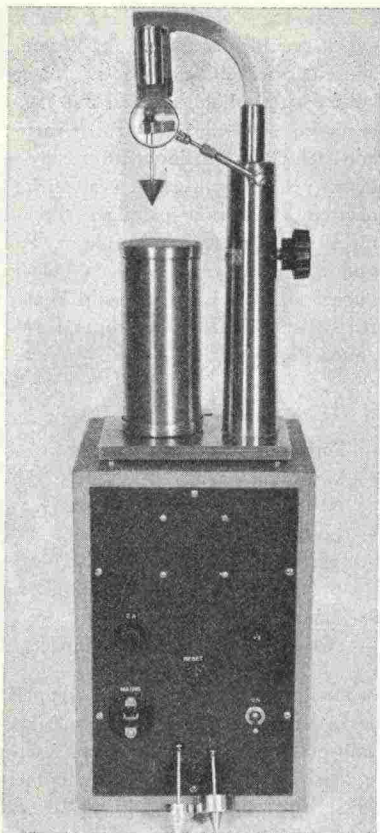
Kartiokoe soveltuu maalajeihin, joissa on hienoa hietaa karkeampia lajitteita korkeintaan 30 %. Kartiokokeen avulla voidaan määrittää myös maalajin sensitiivisyys. Tätä varten koe tehdään häiriintymättömästä ja täysin häiriintyneestä (vaivatusta) näytteestä. Kartion painuma riippuu myös maalajin vesipitoisuudesta. Painumien perusteella voidaan tämän vuoksi arvioida myös maalajin konsistenssi ns. hienouslukua (kohta 1.344) apuna käyttäen.

## Välineet

- kartiokoje (kuva 20)
- kartiot 400 g/30°; 100 g/30°; 60 g/60° ja 10 g/60°
- posliiniupokas
- sekoitusveitsi
- pyöreäpohjainen metallikuppi
- lankasaha
- vesipitoisuuden määrittävävälineet

Kartiokojeita on useita tyyppejä, jotka eroavat toisistaan lähinnä kartion pudotusmekanismin osalta. Kartio voidaan kiinnittää yläasentoon esimerkiksi mekaanisella lukitsijalla tai sähkömagneetin avulla.

Kartiokokeen painuma-asteikon lukemat on tarkistettava vähintään kahdesti vuodessa. Tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että asteikon lukema on nolla kartion ollessa yläasennossaan. Kartioiden mitat on myös tarkistettava. Kartion paino saa poiketa nimellispainosta korkeintaan  $\pm 1$  %. Kartion kärjen on oltava oikean muotoinen ja kartio on vaihdettava uuteen, jos sen kärki on kulunut enemmän kuin

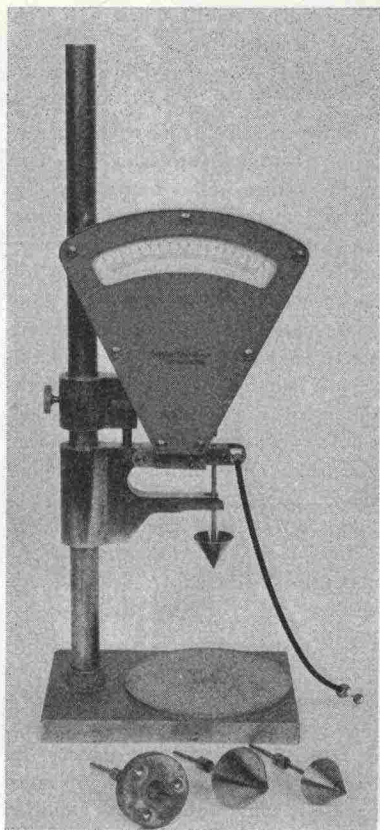


Kuva 20:  
Kartiokoje.

kuvassa 21 mainitut suurimmat poikkeamat sallivat. Jos kartion kärki on murtunut, ei kartiota saa käyttää.

### Näyte

Kartiokokeessa tutkittavan näytteen on oltava häiriintymätön. Jos näytteestä halutaan määrittää vain hie-

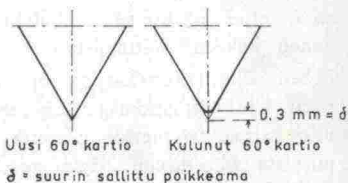
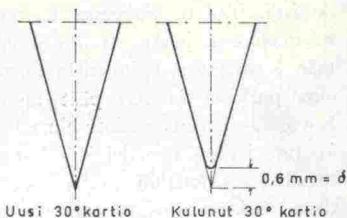
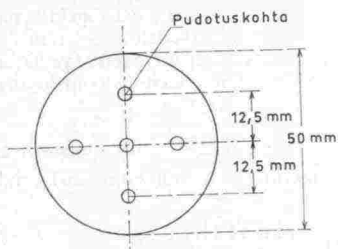


nousluku, voidaan koe suorittaa häiriintyneestä näytteestä. Näytteen vesipitoisuuden on kuitenkin aina vastattava luonnollista vesipitoisuutta.

### Kokeen suoritus

Näyte työnnetään ulos purkista (noin 2 cm) ja sen pää tasataan

Kartion pudotuskohdat halkaisijaltaan 50 mm:n suuruiseseen näytteeseen



Kuva 21:  
Kartion pudotuskohdat ja kartion mitat.

lankasahalla purkin pään tasalle. Purkki asetetaan pudotusalustalle. Sopivaksi arvioitu kartio asetetaan pudotuslaitteeseen. Tavallisesti koe aloitetaan 60 g/60° kartiolla. Taulukossa 7 on esitetty eri kartioiden käyttöalueet.

Taulukko 7. Kartioiden käyttöalueet.

Kartio	Kartion painuma (mm)
400 g/30° .....	4.0...13
100 g/30° .....	4.0...13
60 g/60° .....	4.0...13
10 g/60° .....	4.0...13

Yleensä on pyrittävä käyttämään kartiota, jonka painuma on mahdollisimman keskellä taulukossa esitettyjä painuma-alueita. Koe joudutaan usein suorittamaan kahdella eri kartiolla.

Kartio lasketaan säätöruuvien avulla alas siten, että sen kärki koskettaa näytteen pintaa. Kartio irroitetaan laukaisijalaitteen avulla ja sen painuma luetaan asteikolta välittömästi pudotuksen jälkeen (ennenkuin kartio painuu hitaasti näytteeseen). Painuma kirjoitetaan lomakkeeseen (liite 6) ja koe uusitaan samalla kartiolla viisi kertaa. Pudotuskohtien on oltava riittävän kaukana toisistaan, näytteen reunoista ja näytteessä mahdollisesti esiintyvistä epähomogeenisuuksista kuten halkeamista tms. Kuvassa 21 on esimerkki pudotuskohtien sijainnista halkaisijaltaan 50 mm suuruisessa näytteessä.

Kartiokoe olisi yleensä pyrittävä suorittamaan siten, että tutkittava näyte on pudotuksia tehtäessä näytepurkissa. Kokeen suorittaminen em. tavalla ei ole kuitenkaan aina mah-



dollista. Tällöin kokeessa käytettävä näytteen osa, jonka on oltava vähintään 3 cm pitkä, työnnetään varovasti ulos purkista ja sen päät tasataan. Näyte asetetaan pudotusalustalle ja koetta jatketaan edellä selostetulla tavalla. Jos kartion pudotukset tehdään purkista ulos työnnettyyn näytteeseen, on erityisesti huolehdittava siitä, ettei näyte pääse kuivumaan ennen kokeen aloittamista.

Sen jälkeen kun kartiota on pudotettu häiriintymättömään näytteeseen viisi kertaa, työnnetään näytettä ulos purkista 3...4 cm. Näyte asetetaan posliiniupokkaaseen ja vaivataan homogeneiseksi massaksi. Vaivaaminen on tehtävä mahdollisimman nopeasti, ettei näytteen vesipitoisuus ehdi muuttua. Tällä tavalla häiritetty näyte sijoitetaan pyöreäpohjaiseen metallikuppiin ja sen pinta tasoitetaan esim. näyteleikkurilla. Vaivatun näytteen kartiokoe tehdään samalla tavalla kuin luonnontilaisen näytteen koe.

Kartiokokeen yhteydessä on aina määritettävä vesipitoisuus näytteen siitä osasta, joka on vaivattu häirityn näytteen kartiokoetta varten.

## Tulokset

Havaitut painumat sekä kokeessa käytetyt kartiot merkitään lomakeeseen (liite 6). Tuloksia laskettaessa viidestä painuman arvosta suurin ja pienin jätetään huomioon ottamatta. Kolmen jäljelle jääneen arvon perusteella lasketaan keskimääräinen painuma. Käytetyn kartion ja em. keskimääräisen painuman perusteella haetaan taulukosta 8 leikkauslujuus

( $S_k$ ). Maalajin sensitiivisyys lasketaan kaavan (32) avulla.

$$(32) S_t = \frac{S_k}{S_{kr}}$$

$S_t$  sensitiivisyys  
 $S_k$  häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus ( $t/m^2$ )  
 $S_{kr}$  häiriintyneen (vaivatun) näytteen leikkauslujuus ( $t/m^2$ )

Sensitiivisyys ilmoitetaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella.

## Virhelähteet

Koetta suoritettaessa on kiinnitettävä huomiota mm. siihen, ettei kartio liiku (heiluu) ennen pudotusta ja että se on kohtisuorassa asennossa näytteen pintaa vastaan ja lisäksi siihen, että sen kärki on näytteen pinnassa. Näytteessä esiintyvät epähomogeenisuudet, mm. suuret rakeet ja halkeamat aiheuttavat virheitä koetuloksiin. Näytteen mahdollisesta kerallisuudesta ja muista koetuloksiin vaikuttavista havainnoista on aina tehtävä muistiinpanot havaintolomakkeeseen.

Taulukko 8. Kartiokokeen taulukot.

Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_k(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vaivattu näyte				Lujuusluku $H_1$
			Vertailulukua				
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Liej» > 90	
<b>400 g/30°</b>							
4.0	24.5						
5	20.0						
5.0	16.0						
5	13.3						
6	12.8						
7	12.4			1.84	2.28	2.68	2 200
8	12.1			1.82	2.27	2.67	1 950
9	11.8			1.81	2.26	2.67	1 750
6.0	11.6			1.81	2.25	2.66	1 600
1	11.3			1.78	2.24	2.65	1 470
2	11.0			1.77	2.22	2.64	1 350
3	10.7			1.76	2.21	2.63	1 240
4	10.5			1.75	2.20	2.62	1 140
6.5	10.1			1.73	2.19	2.62	1 040
6	9.8			1.72	2.18	2.61	960
7	9.6			1.71	2.16	2.60	885
8	9.3			1.70	2.16	2.59	820
9	9.0			1.69	2.14	2.58	760
7.0	8.7			1.68	2.13	2.58	700
1	8.4			1.67	2.12	2.57	650
2	8.1			1.65	2.11	2.56	605
3	7.8			1.64	2.11	2.56	565
4	7.5			1.62	2.08	2.54	525
7.5	7.3			1.62	2.07	2.54	495
6	7.0			1.61	2.04	2.53	465
7	6.8			1.59	2.01	2.49	435
8	6.6			1.59	1.99	2.44	410
9	6.4			1.58	1.96	2.43	390
8.0	6.2			1.58	1.96	2.38	370
2	6.0			1.57	1.93	2.34	350
3	5.8			1.56	1.92	2.30	332
8.5	5.6			1.54	1.89	2.27	315
6	5.4			1.54	1.87	2.25	299
8	5.2			1.52	1.86	2.22	284
9	5.0			1.52	1.84	2.20	270

	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailuluku a				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
9.0	4.8			1.51	1.82	2.18	257
1	4.7			1.50	1.81	2.16	245
3	4.5			1.49	1.80	2.13	234
4	4.4			1.48	1.78	2.11	224
9.6	4.3			1.47	1.77	2.08	215
7	4.1			1.46	1.76	2.06	207
8	4.0		1.62	1.46	1.75	2.05	200
10.0	3.9		1.60	1.45	1.73	2.03	193
1	3.8		1.58	1.45	1.72	2.01	186
3	3.7		1.56	1.43	1.70	1.98	180
4	3.6		1.55	1.43	1.69	1.97	174
10.6	3.5		1.54	1.42	1.68	1.96	168
7	3.4		1.52	1.41	1.67	1.95	162
8	3.3		1.51	1.40	1.66	1.93	156
11.0	3.2		1.50	1.39	1.65	1.92	151
1	3.1		1.49	1.39	1.64	1.89	146
3	3.0		1.47	1.38	1.62	1.88	141
4	2.9		1.46	1.37	1.61	1.87	136
11.6	2.8		1.45	1.37	1.61	1.86	132
7	2.7		1.45	1.36	1.60	1.85	128
8	2.6		1.43	1.35	1.59	1.84	124
12.0	2.5		1.42	1.35	1.58	1.83	120
1	2.4		1.42	1.34	1.57	1.82	116
3	2.3		1.41	1.34	1.56	1.81	113
4	2.2		1.40	1.33	1.55	1.80	110
12.6			1.39	1.33	1.55	1.79	107
7	2.1		1.39	1.33	1.54	1.78	104
8			1.38	1.32	1.53	1.77	101
13.0	2.0		1.37	1.32	1.52	1.76	98.5
<b>100 g/30°</b>							
4.0	4.78			1.53	1.88	2.23	299
1	4.62			1.52	1.86	2.21	284
2	4.46			1.51	1.85	2.19	270
3	4.32			1.50	1.84	2.17	257
4	4.19			1.49	1.82	2.15	245

	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_k(t/m^2)$	Vaivatusnäytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailuluku a				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
4.5	4.06			1.48	1.81	2.13	234
6	3.94			1.47	1.79	2.11	224
7	3.84			1.46	1.78	2.09	215
8	3.74			1.45	1.77	2.07	207
9	3.64		1.62	1.44	1.75	2.05	200
5.0	3.55		1.60	1.43	1.74	2.03	193
1	3.46		1.58	1.43	1.73	2.01	186
2	3.38		1.56	1.42	1.71	2.00	180
3	3.30		1.55	1.42	1.70	1.98	174
4	3.22		1.53	1.41	1.69	1.96	168
5.5	3.14		1.52	1.40	1.68	1.94	162
6	3.07		1.51	1.40	1.67	1.93	156
7	3.00		1.50	1.39	1.65	1.91	151
8	2.93		1.49	1.38	1.64	1.90	146
9	2.86		1.47	1.38	1.63	1.88	141
6.0	2.79		1.46	1.37	1.62	1.87	136
1	2.73		1.45	1.37	1.61	1.86	132
2	2.67		1.44	1.36	1.60	1.85	128
3	2.61		1.43	1.35	1.59	1.83	124
4	2.55		1.42	1.35	1.58	1.82	120
6.5	2.49		1.41	1.34	1.57	1.81	116
6	2.43		1.40	1.34	1.56	1.80	113
7	2.37		1.40	1.33	1.55	1.79	110
8	2.31		1.39	1.33	1.55	1.78	107
9	2.25		1.38	1.33	1.54	1.77	104
7.0	2.19		1.38	1.32	1.53	1.76	101
1	2.13		1.37	1.32	1.52	1.75	98.5
2	2.07		1.36	1.31	1.51	1.74	95.5
3	2.02		1.35	1.31	1.50	1.73	92.5
4	1.97		1.35	1.30	1.50	1.72	90.0
7.5	1.92		1.34	1.30	1.49	1.71	87.5
6	1.87		1.33	1.30	1.48	1.71	85.0
7	1.83		1.33	1.29	1.47	1.70	82.5
8	1.79		1.32	1.29	1.47	1.69	80.0
9	1.75		1.32	1.28	1.46	1.68	78.0

Kartion painuma (mm)	Häiriinty- mätön näyte	Vaivattu näyte					
	Häiriinty- mättömän näytteen leikkaus- lujuus $s_k(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkaus- lujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailuluku a				Lujuus- luku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
8.0	1.71		1.31	1.28	1.46	1.67	76.0
1	1.67		1.31	1.28	1.45	1.66	74.0
2	1.63		1.30	1.27	1.45	1.65	72.0
3	1.59		1.30	1.27	1.44	1.65	70.0
4	1.55		1.29	1.27	1.43	1.64	68.0
8.5	1.52		1.28	1.26	1.43	1.63	66.0
6	1.49		1.28	1.26	1.42	1.62	64.0
7	1.46		1.27	1.25	1.42	1.62	62.0
8	1.43		1.27	1.25	1.41	1.61	60.5
9	1.40		1.26	1.25	1.40	1.60	59.1
9.0	1.37		1.26	1.25	1.40	1.59	57.8
1	1.34		1.25	1.24	1.39	1.58	56.5
2	1.31		1.25	1.24	1.38	1.58	55.2
3	1.28		1.24	1.24	1.38	1.57	53.9
4	1.25		1.23	1.23	1.37	1.56	52.7
9.5	1.22		1.23	1.23	1.36	1.55	51.5
6	1.19		1.22	1.23	1.36	1.55	50.3
7	1.16		1.22	1.23	1.35	1.54	49.1
8	1.13		1.21	1.22	1.34	1.53	48.0
9	1.10		1.21	1.22	1.33	1.52	46.9
10.0	1.08		1.20	1.22	1.33	1.51	45.8
1	1.06		1.20	1.22	1.32	1.50	44.7
2	1.04		1.20	1.21	1.32	1.49	43.6
3	1.02		1.19	1.21	1.31	1.49	42.6
4	1.00		1.19	1.20	1.30	1.48	41.6
10.5	0.980		1.18	1.20	1.30	1.47	40.7
6	0.960		1.18	1.20	1.29	1.46	39.8
7	0.940		1.17	1.20	1.29	1.46	38.9
8	0.920		1.17	1.19	1.28	1.45	38.0
9	0.900		1.17	1.19	1.28	1.44	37.1
11.0	0.880						
1	0.862						
2	0.848						
3	0.835						
4	0.822						

	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailuluku a				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
11.5	0.809						
6	0.796						
7	0.783						
8	0.770						
9	0.757						
12.0	0.744						
1	0.731						
2	0.718						
3	0.706						
4	0.694						
12.5	0.682						
6	0.670						
7	0.660						
8	0.650						
9	0.640						
13.0	0.630						
<b>60 g/60°</b>							
4.0	0.890	1.130	1.26	1.25	1.40	1.58	57.5
1	0.840	1.07	1.25	1.24	1.38	1.57	55.1
2	0.795	1.02	1.23	1.24	1.37	1.56	52.7
3	0.765	0.97	1.22	1.23	1.36	1.55	50.3
4	0.735	0.93	1.21	1.22	1.34	1.53	48.0
4.5	0.710	0.89	1.20	1.22	1.33	1.51	45.9
6	0.685	0.85	1.20	1.21	1.32	1.49	43.9
7	0.660	0.81	1.19	1.20	1.31	1.48	42.0
8	0.637	0.78	1.18	1.20	1.30	1.47	40.2
9	0.616	0.75	1.17	1.19	1.29	1.46	38.5
5.0	0.595	0.72	1.16	1.19	1.28	1.44	36.9
1	0.576	0.69	1.16	1.18	1.27	1.43	35.6
2	0.558	0.66	1.15	1.18	1.26	1.42	34.4
3	0.542	0.64	1.15	1.17	1.25	1.41	33.3
4	0.526	0.62	1.14	1.17	1.24	1.40	32.2
5.5	0.512	0.60	1.14	1.16	1.24	1.39	31.2
6	0.498	0.57	1.13	1.16	1.23	1.38	30.2
7	0.486	0.55	1.13	1.15	1.22	1.37	29.3
8	0.474	0.53	1.13	1.15	1.21	1.37	28.4
9	0.463	0.51	1.12	1.14	1.21	1.36	27.5

Kartion painuma (mm)	Häiriinty- mätön näyte	Vaivattu näyte					Lujuus- luku H <sub>1</sub>
	Häiriinty- mättömän näytteen leikkaus- lujuus s <sub>k</sub> (t/m <sup>2</sup> )	Vaivatun näytteen leikkaus- lujuus s <sub>k</sub> r(t/m <sup>2</sup> )	Vertailuluku a				
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
6.0	0.452	0.50	1.12	1.14	1.20	1.35	26.7
1	0.441	0.48	1.11	1.13	1.19	1.34	25.9
2	0.430	0.47	1.11	1.13	1.19	1.33	25.1
3	0.419	0.45	1.10	1.12	1.18	1.32	24.3
4	0.408	0.44	1.10	1.12	1.17	1.32	23.5
6.5	0.397	0.43	1.10	1.11	1.17	1.31	22.8
6	0.386	0.41	1.09	1.11	1.16	1.30	22.1
7	0.375	0.40	1.09	1.10	1.16	1.29	21.4
8	0.364	0.39	1.08	1.10	1.15	1.28	20.8
9	0.354	0.38	1.08	1.10	1.15	1.27	20.2
7.0	0.344	0.37	1.08	1.09	1.14	1.27	19.7
1	0.334	0.36	1.07	1.09	1.14	1.26	19.2
2	0.324	0.35	1.07	1.09	1.13	1.25	18.7
3	0.315	0.34	1.07	1.08	1.13	1.24	18.2
4	0.306	0.33	1.06	1.08	1.12	1.23	17.8
7.5	0.298	0.32	1.06	1.07	1.12	1.22	17.4
6	0.290	0.31	1.05	1.07	1.11	1.21	16.9
7	0.282	0.30	1.05	1.07	1.11	1.20	16.5
8	0.274	0.29	1.05	1.06	1.10	1.19	16.1
9	0.268	0.29	1.04	1.06	1.10	1.18	15.7
8.0	0.260	0.28	1.04	1.06	1.09	1.17	15.4
1	0.254	0.27	1.04	1.05	1.09	1.16	15.1
2	0.248	0.27	1.04	1.05	1.08	1.15	14.8
3	0.244	0.26	1.03	1.05	1.08	1.14	14.4
4	0.238	0.26	1.03	1.04	1.07	1.13	14.1
8.5	0.233	0.25	1.03	1.04	1.07	1.12	13.8
6	0.227	0.25	1.03	1.04	1.06	1.11	13.5
7	0.222	0.24	1.02	1.03	1.06	1.10	13.2
8	0.218	0.23	1.02	1.03	1.05	1.09	12.8
9	0.214	0.23	1.02	1.03	1.05	1.08	12.5
9.0	0.210	0.22	1.02	1.03	1.04	1.08	12.2
1	0.206	0.22	1.02	1.02	1.04	1.07	11.9
2	0.202	0.21	1.01	1.02	1.03	1.06	11.7
3	0.198	0.21	1.01	1.02	1.03	1.05	11.5
4	0.194	0.20	1.01	1.02	1.02	1.05	11.3

	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_k(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailuluku a				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
9.5	0.190	0.20	1.01	1.01	1.02	1.04	11.0
6	0.186	0.19	1.01	1.01	1.02	1.03	10.8
7	0.182	0.19	1.01	1.01	1.01	1.02	10.6
8	0.178	0.19	1.00	1.01	1.01	1.02	10.4
9	0.174	0.18	1.00	1.00	1.00	1.01	10.2
10.0	0.170	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	10.0
1	0.167	0.18	1.00	1.00	1.00	0.99	9.8
2	0.164	0.17	1.00	1.00	0.99	0.98	9.6
3	0.161	0.17	1.00	0.99	0.99	0.97	9.4
4	0.158	0.17	1.00	0.99	0.98	0.96	9.25
10.5	0.155	0.16	0.99	0.99	0.98	0.96	9.05
6	0.152	0.16	0.99	0.99	0.97	0.95	8.90
7	0.149	0.16	0.99	0.98	0.97	0.94	8.75
8	0.146	0.15	0.99	0.98	0.97	0.93	8.60
9	0.143	0.15	0.99	0.98	0.96	0.93	8.40
11.0	0.140	0.15	0.99	0.98	0.96	0.92	8.25
1	0.137	0.15	0.98	0.97	0.95	0.92	8.10
2	0.135	0.14	0.98	0.97	0.95	0.91	7.95
3	0.133	0.14	0.98	0.97	0.95	0.91	7.80
4	0.131	0.14	0.98	0.97	0.94	0.90	7.65
11.5	0.129	0.14	0.98	0.96	0.94	0.90	7.55
6	0.127	0.13	0.98	0.96	0.94	0.90	7.40
7	0.125	0.13	0.98	0.96	0.93	0.89	7.30
8	0.123	0.13	0.98	0.96	0.93	0.89	7.15
9	0.121	0.13	0.98	0.95	0.93	0.88	7.05
12.0	0.119	0.12	0.97	0.95	0.92	0.88	6.95
1	0.117	0.12	0.97	0.95	0.92	0.87	6.80
2	0.115	0.12	0.97	0.95	0.92	0.87	6.70
3	0.113	0.12	0.97	0.94	0.91	0.86	6.60
4	0.111	0.12	0.97	0.94	0.91	0.86	6.45
12.5	0.109	0.11	0.97	0.94	0.91	0.85	6.35
6	0.107	0.11	0.97	0.94	0.90	0.85	6.25
7	0.105	0.11	0.96	0.93	0.90	0.85	6.15
8	0.103	0.11	0.96	0.93	0.90	0.84	6.10
9	0.101	0.11	0.96	0.93	0.90	0.84	6.00
13.0	0.100	0.11	0.96	0.93	0.89	0.83	5.90



	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vaivattun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailuluku a				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Liej» > 90	
10 g/60°							
4.0	0.160	0.190					
1	0.150	0.180					
2	0.138	0.171					
3	0.130	0.165					
4	0.124	0.157					
4.5	0.120	0.150					
6	0.115	0.143					
7	0.110	0.137					
8	0.106	0.130					
9	0.102	0.124					
5.0	0.100	0.120					
1	0.096	0.116					
2	0.092	0.111					
3	0.089	0.106					
4	0.086	0.103					
5.5	0.083	0.099					
6	0.080	0.096					
7	0.077	0.092					
8	0.074	0.089					
9	0.072	0.086					
6.0	0.069	0.083	0.93	0.89	0.86	0.77	4.42
1	0.067	0.081	0.93	0.88	0.85	0.76	4.29
2	0.065	0.078	0.93	0.88	0.85	0.76	4.17
3	0.063	0.076	0.93	0.87	0.84	0.75	4.05
4	0.061	0.073	0.92	0.87	0.84	0.74	3.94
6.5	0.059	0.071	0.92	0.87	0.83	0.74	3.83
6	0.057	0.069	0.92	0.86	0.83	0.73	3.72
7	0.056	0.067	0.91	0.86	0.82	0.72	3.62
8	0.054	0.065	0.91	0.85	0.81	0.72	3.52
9	0.052	0.063	0.91	0.85	0.80	0.71	3.42
7.0	0.051	0.061	0.91	0.84	0.80	0.71	3.32
1	0.050	0.060	0.90	0.84	0.79	0.70	3.23
2	0.048	0.058	0.90	0.84	0.78	0.70	3.14
3	0.047	0.056	0.90	0.83	0.78	0.69	3.06
4	0.045	0.055	0.90	0.83	0.77	0.69	2.98

	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_k(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailulukua a				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesus» 30...38	»Savi» 38...90	»Lieju» > 90	
7.5	0.044	0.053	0.90	0.83	0.77	0.69	2.91
6	0.043	0.052	0.90	0.82	0.76	0.68	2.84
7	0.042	0.051	0.89	0.82	0.76	0.68	2.77
8	0.041	0.049	0.89	0.82	0.75	0.68	2.70
9	0.040	0.048	0.89	0.81	0.75	0.68	2.63
8.0	0.039	0.047	0.89	0.81	0.75	0.67	2.57
1	0.038	0.046	0.89	0.80	0.74	0.67	2.51
2	0.037	0.045	0.88	0.80	0.74	0.67	2.45
3	0.036	0.044	0.88	0.80	0.73	0.67	2.40
4	0.035	0.042	0.88	0.79	0.73	0.67	2.34
8.5	0.035	0.041	0.88	0.79	0.72	0.67	2.29
6	0.034	0.040	0.88	0.79	0.72	0.66	2.24
7	0.033	0.039	0.88	0.78	0.72	0.66	2.19
8	0.032	0.038	0.87	0.78	0.71	0.66	2.14
9	0.032	0.038	0.87	0.78	0.71	0.66	2.09
9.0	0.031	0.037	0.87	0.78	0.71	0.65	2.05
1	0.030	0.036	0.87	0.78	0.71	0.65	2.00
2	0.030	0.035	0.87	0.77	0.70	0.65	1.96
3	0.029	0.035	0.87	0.77	0.70	0.65	1.92
4	0.028	0.034	0.87	0.77	0.70	0.64	1.88
9.5	0.028	0.033	0.87	0.77	0.69	0.64	1.84
6	0.027	0.033	0.86	0.77	0.69	0.64	1.80
7	0.027	0.032	0.86	0.76	0.69	0.63	1.76
8	0.026	0.031	0.86	0.76	0.69	0.63	1.73
9	0.026	0.031	0.86	0.76	0.68	0.63	1.70
10.0	0.025	0.030	0.86	0.76	0.68	0.63	1.66
1	0.025	0.029	0.86	0.76	0.68	0.63	1.63
2	0.024	0.029	0.86	0.76	0.68	0.62	1.60
3	0.024	0.028	0.86	0.75	0.67	0.62	1.57
4	0.023	0.028	0.85	0.75	0.67	0.62	1.54
10.5	0.023	0.027	0.85	0.75	0.67	0.62	1.51
6	0.022	0.027	0.85	0.75	0.67	0.62	1.48
7	0.022	0.026	0.85	0.75	0.66	0.61	1.45
8	0.021	0.026	0.85	0.74	0.66	0.61	1.42
9	0.021	0.025	0.85	0.74	0.66	0.61	1.40

	Häiriintymätön näyte	Vaivattu näyte					
Kartion painuma (mm)	Häiriintymättömän näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vaivatun näytteen leikkauslujuus $s_{kr}(t/m^2)$	Vertailulukua				Lujuusluku $H_1$
			»Hieta» < 30	»Hiesu» 30...38	»Savi» 38...90	»Liejus» > 90	
11.0	0.021	0.025	0.85	0.74	0.65	0.61	1.37
1	0.020	0.024	0.85	0.74	0.65	0.60	1.35
2	0.020	0.024	0.85	0.74	0.65	0.60	1.32
3	0.020	0.023	0.84	0.73	0.65	0.60	1.30
4	0.019	0.023	0.84	0.73	0.64	0.60	1.28
11.5	0.019	0.023	0.84	0.73	0.64	0.60	1.26
6	0.019	0.022	0.84	0.73	0.64	0.59	1.24
7	0.018	0.022	0.84	0.72	0.63	0.59	1.22
8	0.018	0.021	0.84	0.72	0.63	0.59	1.20
9	0.018	0.021	0.83	0.72	0.63	0.59	1.18
12.0	0.017	0.021	0.83	0.72	0.63	0.58	1.16
1	0.017	0.020	0.82	0.72	0.62	0.58	1.14
2	0.017	0.020	0.83	0.71	0.62	0.58	1.12
3	0.017	0.020	0.83	0.71	0.62	0.58	1.10
4	0.016	0.019	0.83	0.71	0.61	0.58	1.08
12.5	0.016	0.019	0.83	0.71	0.61	0.57	1.07
6	0.016	0.019	0.83	0.71	0.61	0.57	1.05
7	0.016	0.019	0.83	0.70	0.61	0.57	1.03
8	0.015	0.018	0.82	0.70	0.60	0.57	1.02
9	0.015	0.018	0.82	0.70	0.60	0.57	1.00
13.0	0.015	0.018	0.82	0.70	0.60	0.56	0.98

## 1.6 Kokoonpuristuvuus

Ödometri (kuva 22) on laite, jossa jäykän renkaan sisällä olevaa sylinterinmuotoista maanäytettä kuormitaan siten, ettei se pääse laajenemaan sivusuuntaan.

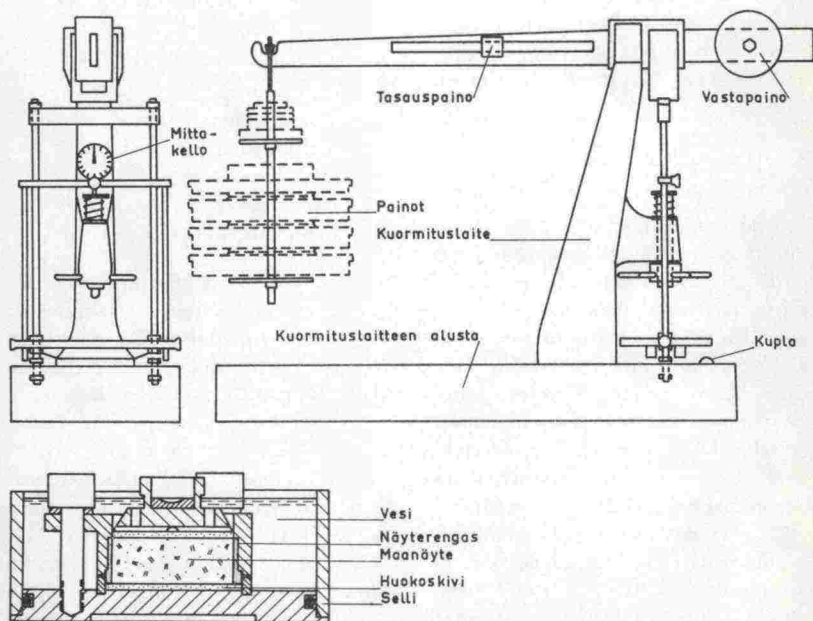
Ödometrikokeen avulla määritetään laboratoriossa maalajien painumisominaisuudet kuormitettujen maakerrosten konsolidoitumisesta aiheutuvan painuman ja painumisnopeuden arvioimista varten. Ödometrikokeen avulla määritetään myös maakerrosten konsolidoitumistila (ylikonsolidoi-

tunut, normaalisti konsolidoitunut, alikonsolidoitunut).

### Näyte

Näissä ohjeissa käsitellään vain hienorakeisten maalajien (Sa, Hs, Lj jne.) ödometrikokeen suorittamiseen liittyviä yksityiskohtia. Em. maalajien painumisominaisuudet määritetään ödometrikokeessa häiriintymättömistä näytteistä.

Näytteitä on säilytettävä ennen tutkimusten aloittamista kosteassa ja vii-



Kuva 22:  
Ödometri.

leässä varastossa siten, ettei näytteiden vesipitoisuus muutu säilytyksen aikana (ks. kohta 1.1). Näytteet on pyrittävä tutkimaan mahdollisimman nopeasti ottamisen jälkeen. Näytteiden säilytysaika ennen koetta ei yleensä saa olla neljää viikkoa pitempi.

Näytteitä on käsiteltävä varovasti siten, ettei niiden luonnontilainen rakenne muutu. Näytteet poistetaan purkeista erityisen laitteen (ulostyöntäjän) avulla. Näytteen tilavuus ei saa poistamisen yhteydessä muuttua. Jos samasta näytteestä tutkitaan myös leikkauslujuus, on purkkiin jätettävä tätä varten riittävä määrä häiriintymätöntä näytettä. Yleensä olisi samasta näytepurkista tehtävät kokeet pyrittävä järjestämään siten, että näyte voidaan poistaa purkista kokonaisuudessaan heti purkin avaamisen jälkeen.

### Tutkittavien näytteiden määrä

Ödometrikoe tehdään suunnittelijain tai työnvalvojan määräämistä näytteistä. Samasta tutkimuspisteestä otetuista näytteistä tehtävien ödometrikokeiden määrä arvioidaan siten, että kaikkien ko. tutkimuspisteen kohdalla esiintyvien maakerrosten painumisominaisuuksista saadaan luotettava ja selvä kuva. Ylimmistä maakerroksista (0...5 m) otetuista näytteistä ödometrikoe tehdään tavallisesti 0.7...1.5 metrin syvyyserein. Mikäli suunnittelija ei toisin määrää, voidaan syvemmältä (>5 m) otettujen näytteiden tutkimisilheyttä harventaa 1.5...2.5 metriksi. Suurin tutkimussyvyys on määritettävä ko. rakenteen

perustamistavan (maavarainen, paalutus jne.) edellyttämällä tavalla.

### Luokitteluominaisuudet

Niistä näytteistä, joista tehdään ödometrikoe, on tutkittava myös ns. luokitteluominaisuudet. Luokitteluominaisuudet olisi määritettävä mieluummin ennen ödometrikokeen aloittamista. Käytännöllisistä syistä em. ominaisuuksien määrittämiseen tarvittavat kokeet joudutaan kuitenkin usein suorittamaan samanaikaisesti ödometrikokeen aloittamiseen liittyvien toimenpiteiden kanssa.

Ödometrissä tutkittavista näytteistä määritetään tavallisesti seuraavat luokitteluominaisuudet (mikäli ei ole toisin määrätty):

- rakeisuus
- humuspitoisuus
- plastiset ominaisuudet (juoksuraja, kieritysraja, plastisuusluku)
- vesipitoisuus
- tilavuuspaino
- tiheys (tarvittaessa)

Vesipitoisuus ja tilavuuspaino määritetään ödometrissä tutkittavasta näytteestä punnitsemalla näytteen paino ennen ödometriin asettamista ja välittömästi sen jälkeen, kun näyte on poistettu ödometristä ja lisäksi sen jälkeen, kun näyte on kuivattu kuivauskaapissa. Tulokset ja laskelmat esitetään painumakokeen (ödometrikokeen) laskulomakkeella (liite 11). Luokitteluominaisuuksien tutkimiseen käytettävän näytteen osan on oltava kaikilta ominaisuuksiltaan samanlainen kuin ödometrissä tutkittava näyte.

## Valokuvaus

Hienorakeiset maalajit ovat usein rakenteeltaan kerrallisia. Maakerrosten rakenne ja geologinen syntytyapa on tunnettava geoteknillisessä suunnittelussa mm. varmuuskertoimen arvoa määrättäessä ja painumalaskelmien luotettavuutta arvioitaessa. Kerrallisuus ja muut rakenneominaisuudet tulevat usein selvästi esille halkaistujen ja kuivatettujen näytteiden valokuvista. Näytteiden valokuvaaminen on tämän vuoksi usein tarkoituksenmukaista. Valokuvaus tehdään suunnittelijan tai työn valvojan erikseen antamien ohjeiden mukaisesti.

## Silmävaraiset havainnot

Jos koetta aloitettaessa todetaan, että näyte on rikkoutunut, suoritetaan siitä ödometrikoe ainoastaan tutkimusta valvovan henkilön erillisen määräyksen perusteella. Havaintolomakkeeseen on aina merkittävä näytteen osittainkin rikkoutuminen.

Koetta aloitettaessa määritetään silmävaraisesti näytteen maalaji, joka merkitään painumahavaintolomakkeeseen (liite 11). Erityistä huomiota on kiinnitettävä maalajin geologiseen syntytypaan, homogeenisuuteen, kerrallisuuteen ja näytteessä mahdollisesti esiintyviin eloperäisiin jätteisiin ja muihin silmävaraisesti näkyviin ominaisuuksiin, jotka saattavat vaikuttaa kokeen lopputulokseen. Silmävaraisista havainnoista kirjoitetaan tarvittaessa erillinen selostus.

## Välineet

Ödometrejä on useita eri tyyppisiä. Kuvassa 22 on esitetty Suomessa

yleisesti käytössä oleva malli, joka soveltuu lähinnä hienorakeisten maalajien tutkimiseen. Ödometrin pääosat ovat:

- kuormituslaite alustoineen
- painot
- vedenpitävä selli
- näyterengas
- huokoskivet
- mittakello

Näytteen käsittelyyn ja muotoiluun tarvitaan lisäksi apuvälineitä (muotoilulaite, leikkuri jne).

Ödometrin kuormituslaitteen tarkkuuden on oltava  $\pm 1\%$  nimelliskuormasta. Tärkein kuormituslaitteelle asetettava vaatimus on se, että kuormitusta voidaan lisätä kohdistamatta näytteeseen iskuja (dynaamisia kuormituksia).

Ödometrin selli on tiivistettävä vedenpitäväksi siten, että tutkittava näyte voidaan kokonaisuudessaan upottaa veden alle.

Näyterengaan (ja näytteen) pienin sallittu korkeus on 12.5 mm. Renkaan korkeuden on oltava kuitenkin vähintään kymmenen kertaa niin suuri kuin tutkittavan näytteen suurin rae-koko. Rutiiniluontoisissakin tutkimuksissa näytteen poikkileikkauksen pinta-alan on oltava vähintään 10 cm<sup>2</sup>, mieluummin kuitenkin 15...20 cm<sup>2</sup>. Suurempiakin näytteitä voidaan käyttää, jos on käytettävissä niiden ottamiseen tarvittavat välineet. Ödometrikokeen tulosta on yleensä pidettävä sitä luotettavampana, mitä suurempi on näytteen halkaisijan ja korkeuden suhde. Toisaalta on huomattava, että em. näytteen korkeuden minimiarvoa.

(12.5 mm) on pidettävä absoluuttisena miniminä, sillä korkeuden pienentyessä näytteen päiden epätasaisuudesta aiheutuva virhe kasvaa.

Kuivakuorikerroksesta otettujen näytteiden tutkimiseen käytettävän ödometrin näyterenkaan halkaisijan olisi yleensä oltava suurempi kuin kuivakuoren alapuolelta otettujen näytteiden tutkimiseen käytettävän ödometrin renkaan halkaisijan. Halkaisijan on oltava sitä suurempi mitä enemmän kuivakuorikerroksessa esiintyy halkeamia.

Näyterenkaan on oltava niin jäykkä, että sen halkaisijan muutos suurimman käytettävän kuormituksen johdosta on korkeintaan 0.03 %. Rengas on valmistettava syöpymättömästä materiaalista. Renkaan sisäpinta on tasoitettava ja kiilloitettava ja se on näytteen asentamisen yhteydessä voideltava ohuesti renkaan ja maan välistä kitkaa pienentävällä aineella.

Näytteen yläpintaan asennettavan huokoskiven (kuva 22) halkaisijan on oltava 0.25...0.50 mm pienempi kuin näyterenkaan halkaisija. Huokoskivien vedenläpäisevyyden on oltava suurempi kuin tutkittavan näytteen vedenläpäisevyys. Huokoskivet on puhdistettava kiehuvaassa vedessä jokaisen kokeen jälkeen. Kivet on koetta aloitettaessa kostutettava siten, ettei näytteestä imeydy vettä kiviin eikä kivistä näytteeseen.

Painuman mittaamiseen käytettävän mittakellon tarkkuuden on oltava vähintään 0.01 mm. Ennen kokeen aloittamista on tarkistettava, että kellon akseli pääsee vapaasti ja esteettömästi liikkumaan.

## Havaintolomakkeet

Koetta aloitettaessa täytetään painumahavaintolomakkeen ja laskulomakkeen yläosa (liitteet 11 ja 12). Molempiin lomakkeisiin merkitään seuraavat tiedot:

- tutkimus
- näytteenottoaika
- syvyys
- laboratorionumero
- laite (ödometrin numero)
- näytteen korkeus kokeen alussa
- poikkileikkauksen pinta-ala

Edellä olevat tiedot on kirjoitettava lomakkeisiin ennen ödometrikokeen aloittamista. Kaikkiin ödometrikoekoiden tuloksia käsitteleviin piirustuksiin on aina merkittävä tutkimus, näytteen syvyys ja laboratorionumero sekä tutkimusten suorittajan nimi (tai puumerkki).

## Näytteen muotoilu ja kokeen aloitus

Näyte on muotoiltava niin nopeasti (työtä välillä keskeyttämättä), ettei sen vesipitoisuus muutu muotoilun aikana. Tarvittaessa on muotoilu suoritettava kosteushuoneessa. Rengas painetaan varovasti näytteeseen ja näytteen päät tasoitetaan leikkurilla renkaan päiden määräämälle tasolle. Näytteen pintaa ei saa paikata muotoilujätteillä eikä sitä saa tasoittaa veitsellä. Näytteen muotoilu ja käsittely on suoritettava erittäin varovasti siten, ettei näytteen luonnollinen rakenne rikkoudu. Ödometrikoetta ei saa koskaan tehdä muotoilun yhtey-

dessä rikkoutuneesta näytteestä. Jos näyte rikkoutuu, on se vaihdettava ehjään näytteeseen.

Renkaan sisätilavuuden määräämään kokoon muotoiltu näyte punnitaan varovasti renkaineen. Mittaustulokset merkitään laskulomakkeeseen (liite 12).

Näyte asetetaan ödometrin selliin, joka asennetaan edelleen kuormituslaitteeseen. Kuormituslaite on aina ennen kokeen aloittamista tarkistettava (tasapainotettava) siten, että näytteen kuormitus on nolla mittakellon osoittaessa aloituslukemaa (10.000 mm tai 0.000 kuvassa 22 olevaa ödometrimallia käytettäessä).

Kuormituslaitteen alusta asennetaan vaakasuoraan asentoon vesivaa'an tai alustassa olevan "kuplan" avulla. Em. tarkistukset on tehtävä joka kerta koetta aloitettaessa.

## Kuormitukset

Näytettä kuormitetaan kolmessa eri vaiheessa, joita sanotaan ensimmäiseksi kuormitusvaiheeksi, palauttamisvaiheeksi ja toistokuormitusvaiheeksi. Kuormitusten ohjearvot eri kuormitusvaiheissa on mainittu alla olevassa luettelossa. Ohjearvoista saadaan poiketa  $\pm 25\%$ , mikäli se on ödometrin rakenteen tai käytettävissä olevan painosarjan vuoksi välttämätöntä. Ohjearvoista poikkeavia kuormituksia käytettäessä on kuitenkin huolehdittava erityisesti siitä, että kuormituksen suuruus kaksinkertaistuu ensimmäisessä kuormitusvaiheesta jokaisesta kuormituksen lisäyksestä.

Ensimmäinen kuormitusvaihe:

1. 0.060 kp/cm<sup>2</sup>
2. 0.125 „
3. 0.250 „
4. 0.50 „
5. 1.00 „
6. 2.00 „
7. 4.00 „
8. 8.00 „

Palauttamisvaihe:

9. 1.00 kp/cm<sup>2</sup>
10. 0.125 „

Toistokuormitusvaihe:

11. 0.50 kp/cm<sup>2</sup>
12. 2.00 „
13. 8.00 „

Edellä lueteltua kuormitusarjaa (1...13) käytetään normaalisti ja ylikonsolidoituneissa hienorakeisissa maalajeissa silloin, kun näytteet on otettu kuivakuorikerroksen alapuolelta ja kun näytteenotto syvyys on pienempi kuin 5.0 metriä. Kuormitusta 1 (0.060 kp/cm<sup>2</sup>) käytetään vain erittäin vesipitoisia ja pehmeitä maalajeja tutkittaessa.

Kuivakuorikerroksen alapuolelta yli 5.0 metrin syvyydestä otettujen näytteiden kuormittaminen aloitetaan (ensimmäisessä kuormitusvaiheessa) aina kuormituksella 2 (0.125 kp/cm<sup>2</sup>). Kuormitusarja muodostuu tällöin kuormituksista 2...13.

Palauttamis- ja toistokuormitusvaiheiden kuormitusten ohjearvot ovat, ellei toisin ole määrätty, edellä mainittujen arvojen mukaiset. Näytteenotto syvyys ei siis vaikuta näissä kuormitusvaiheissa käytettävien kuormitusten suuruuteen.

Silmävaraisten havaintojen ja kairusten perusteella selvästi ylikonsoli-



doituneesta kuivakuorikerroksesta otettujen näytteiden kuormitukset on lueltu alla.

Ensimmäinen kuormitusvaihe:

1. 0.25 kp/cm<sup>2</sup>
2. 0.50 ”
3. 1.00 ”
4. 2.00 ”
5. 4.00 ”
6. 8.00 ”
7. 16.00 ”

Palauttamisvaihe:

8. 2.00 kp/cm<sup>2</sup>
9. 0.50 ”
10. 0.25 ”

Toistokuormitusvaihe:

11. 1.00 kp/cm<sup>2</sup>
12. 2.00 ”
13. 8.00 ”
14. 16.00 ”

Kuormituksia 7 ja 14 (16.00 kp/cm<sup>2</sup>) käytetään vain erittäin voimakkaasti ylikonsolidoituneesta kuivakuoresta otettuja näytteitä tutkittaessa. Heikosti kehittyneestä kuivakuorikerroksesta otettuja näytteitä tutkittaessa käytetään samoja kuormituksia kuin normaalisti konsolidoituneiden näytteiden tutkimisessa.

Normaalisti konsolidoituneita näytteitä tutkittaessa voidaan palauttamis- ja toistokuormitusvaiheet jättää suorittamatta, jos näytteen konsolidoitumistila voidaan luotettavasti selvittää ensimmäisen kuormitusvaiheen perusteella tai muilla menetelmillä. Palauttamis- ja toistokuormitusvaiheet jätetään suorittamatta kuitenkin vain silloin, kun siitä on työ määräyksessä erikseen mainittu. Kuivakuorikerrok-

sesta ja sen alapuolelta otettuja ylikonsolidoituneita näytteitä on aina kuormitettava ensimmäisen kuormitusvaiheen lisäksi myös palauttamisvaiheen ja toistokuormitusvaiheen mukaisilla kuormilla. Tämän vuoksi on näytteen konsolidoitumistila aina selvitettävä kokeen aikana.

### Havaintoajat

Ensimmäisen kuormitusvaiheen aikana luetaan näytteen kokoonpuristuminen (painuminen) kuormituslisäyksen jälkeen seuraavina ajanhetkinä: 6, 12, 18 ja 30 sekuntia, 1, 2, 4, 8, 15 ja 30 minuuttia, 1, 2, 4, 8 ja 24 tuntia.

Jokaisen kuormituksen vaikutusajan pituus ensimmäisessä kuormitusvaiheessa on yleensä 24 tuntia. Kuormitusajan on oltava sitä pitempi mitä suurempi on näytteen korkeus ja mitä pienempi on tutkittavan maallajin vedenläpäisevyys. Varsinkin silttimaalajeja tutkittaessa voidaan kuormitusaikaa kuitenkin lyhentää, jos kokeen aikana todetaan, että primääripainuman ja sekundääripainuman ylimenokohta (liite 14) voidaan luotettavasti määrittää 24 tuntia lyhyemmän kuormitusajan perusteella. Tämän vuoksi on ns. määrävien kuormitusten painumahavaintojen perusteella piirrettävä aikapainumakäyrät jo kokeen aikana. Kuormitusajan on kuitenkin aina oltava vähintään 2 tuntia. Kuormitusta voidaan lisätä vasta, kun on todettu näytteen painumisnopeuden olevan pienempi kuin 0.01 mm tunnissa. Vuorokautta pitempää kuormitusaikaa joudutaan käyttämään varsinkin humuspitoisia

maalajeja tutkittaessa. Tällöin on pisin kuormitusaika kuitenkin korkeintaan 48 tuntia, ellei toisin määrätä. Epäselvissä tapauksissa on kuormitusajan pituudesta ja muista kokeeseen liittyvistä yksityiskohdista neuvoteltava suunnittelijan kanssa.

Kuormituksen palauttamisvaiheessa näytteen korkeuden muuttumista (näytteen laajenemista) seurataan edellä luetellut täydellisen havaintosarjan edellyttämällä tavalla vain siinä tapauksessa, että työmääräyslomakkeessa on tästä asiasta erikseen huomautettu. Palauttamisvaiheessa lyhin kysymykseen tuleva kuormitusaika on yleensä 2 tuntia. Kuormitusta saadaan vähentää kuitenkin vasta, kun on todettu näytteen korkeuden kasvavan korkeintaan 0.01 mm tunnissa.

Toistokuormitusvaiheessa kuormitusaikojen suhteen noudatetaan samoja ohjeita kuin palauttamisvaiheessa.

### Kokeen lopettaminen

Kokeen valmistumisen jälkeen näyte puretaan ödometristä ja asetetaan kuivatusastiaan. Näyte punnitaan kosteana ja asetetaan kuivauskaappiin. Kuivumisen jälkeen näytteen kuivapaino määritetään tavalliseen tapaan. Mittaustulokset merkitään painumakokeen laskulomakkeeseen (liite 12). Näytteen purkamisvaiheessa ödometri puhdistetaan seuraavaa koetta varten.

### Tulokset

Ödometrikokeen tulokset voidaan käsitellä useilla eri tavoilla. Seuraavassa esitetään vain yksinkertaisimmat koetulosten laskutavat, jotka aina

suoritetaan laboratoriossa ilman erillistä määräystä.

Ödometrikokeen perusteella määritetään ko. näytteen edustaman maakerroksen konsolidoitumistila, kokoonpuristuvuusmoduuli (tai sitä vastaavat suunnittelusuureet) ja lisäksi ns. konsolidaatiokerroin.

Luonnontilaiset maakerrokset ovat joko ali-, normaalisti tai ylikonsolidoituneessa tilassa. Konsolidoitumistilan tunteminen on välttämätön edellytys painumalaskelman onnistumiselle. Ödometrikokeen tarkoituksenmukaista suorittamista varten olisi konsolidoitumistila tunnettava jo ennen kokeen suorittamista. Konsolidoitumistila voidaan arvioida likimääräisesti luokitteluominaisuuksien ja leikkauslujuuden sekä eräissä tapauksissa myös kairaustulosten perusteella. Konsolidoitumistilan arvioiminen kuuluu suunnittelijalle tai työn valvojalle. Laboratoriotutkimusten suorittajan on noudatettava em. henkilöiden konsolidoitumistilan luotettavaa määrittämistä varten mahdollisesti antamia lisäohjeita. Kokoonpuristuvuusmoduulin (tai sitä vastaavien suunnittelusuureiden) määrittämistä varten painumahavaintolomakkeeseen (liite 11) kirjoitettujen lukemien perusteella lasketaan kunkin kuormituksen viimeisen havainnon perusteella näytteen painuma ( $\epsilon$ ) prosentteina näytteen korkeudesta kokeen alussa. Tulokset siirretään painumakokeen laskulomakkeelle (liite 12). Kuormituksen ( $\sigma$ ) ja painuman ( $\epsilon$ ) välinen vuorosuhde piirretään suoraviivaiseen koordinaatistoon liitteessä 13 esitetyllä tavalla. Samaan koordinaatistoon

voidaan piirtää korkeintaan kahden näytteen tulokset. Koordinaatiston mittakaavat on valittava (tapaus tapaukselta) lähinnä suurimman kokeessa käytetyn kuormituksen aiheuttaman painuman perusteella siten, että piirretyn käyrän avulla voidaan helposti arvioida mielivaltaisen kuormituksen aiheuttama painuma ( $\epsilon$ ). Piirustukseen on merkittävä koordinaatiston mittakaavan lisäksi tutkimus, näytteen syvyys sekä näytteen laboratorionumero.

Painumisnopeutta laskettaessa tarvittavan konsolidaatiokertoimen määrittämiseksi piirretään ns. aika-painumakäyrä vähintään kahden määräävän kuormituksen aikana tehtyjen havaintojen perusteella liitteen 14 mukaiseen puolilogaritmiseen koordinaatistoon. Primääripainumaa 0 % ja 100 % vastaavat mittakellon lukemat määritetään em. liitteessä esitetyllä tavalla. Konsolidaatiokerroin lasketaan kaavan (33) avulla.

$$(33) c_v = 0.0492 \frac{h^2}{t_{50}}$$

$c_v$  konsolidaatiokerroin  
( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$h$  näytteen keskimääräinen korkeus ko. kuormituksen aikana (cm)

$t_{50}$  50 %:n primäärikonsolidoitumiseen kokeessa kulunut aika (sekuntia)

Varsinkin humuspitoisissa maalojeissa primääripainuman ja sekundääripainuman ylimenokohdan (100 %) määrittäminen ei ole aina mahdollista liitteessä 14 esitetyllä tavalla. Tällöin on aikapainumakäyrä piirrettävä myös liitteessä 15 esitetyllä

tavalla  $\sqrt{\text{aika-painuma}}$ -koordinaatistoon (Taylorin menetelmä). Konsolidaatiokertoimen laskemiseen tarvittava aika  $t_{50}$  määritetään liitteen 15 mukaisesti ja  $c_v$  lasketaan kaavan (33) avulla. Jos ajan  $t_{50}$  määrittäminen ei onnistu Taylorin menetelmälläkään, on määräävien kuormitusten vaikutusaikaa pidennettävä. Pidenntystä havaintoajasta on neuvoteltava tutkimusten valvojan kanssa.

Edellä esitetyt konsolidaatiokertoimen laskumenetelmät soveltuvat lähinnä normaalisti konsolidoituneisiin maalajeihin ts. niihin maalajeihin, joissa painumisnopeus voidaan laskea klassillisen konsolidaatioteorian perusteella. Ylikonsolidoituneiden maalojeiden painumisnopeutta ei yleensä voida laskea em. tavalla määritetyn konsolidaatiokertoimen avulla.

## Lukua 1 koskevaa kirjallisuutta

- DIN 18122, Bl. 1. Baugrund. Untersuchung von Bodenproben. Zustandsgrenzen (konsistenzgrenzen). Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze. Entwurf März 1967. Berlin und Köln.
- Hansbo, S. A. New Approach to the Determination of the Shear Strength of Clay by the Fall-cone Test. Ivar Häggströms Boktryckeri Ab, Stockholm 1957.
- Kallstenius, T. Studies on Clay Samples Taken with Standardpiston Sampler. Ivar Häggströms Boktryckeri Ab, Stockholm 1963.
- Keinonen, L. On the Sensitivity of Water-Laid Sediments in Finland and Factors Including Sensitivity. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Julkaisu n:o 77. Helsinki 1963.
- Schultze, E., ja H. Muhs, Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Berlin/Heidelberg 1967.

## 2. PÄÄLLYSTELEBORATORIO- TUTKIMUKSET

## 2.1 Kiviainestutkimukset

Kiviaineksella tarkoitetaan tässä yhteydessä vaativiin rakennustarkoituksiin käytettäviä murskattuja tai luonnon lajittelemia kivennäisaineksia. Luonnosta saatavat sellaisinaan tai jalostettuina käytettävät kiviainekset ovat kalliota, lohkareita ( $\varnothing > 200$  mm), someroa ( $\varnothing 20 \dots 200$  mm), soraa ( $\varnothing 2 \dots 20$  mm) tai hiekkaa ( $\varnothing 0.2 \dots 2$  mm). Lohkareet jaetaan tavallisesti luokkiin: "ylisuuret" lohkareet  $\varnothing$  yli 1 000 mm,  $\varnothing 1\,000 \dots 300$  mm ja  $\varnothing 300 \dots 200$  mm. Samoin kivet jaetaan luokkiin:  $\varnothing 200 \dots 60$  mm ( $\varnothing 200 \dots 64$  mm) ja  $\varnothing 60 \dots 20$  mm ( $\varnothing 64 \dots 20$  mm).

Louhe on kalliosta räjäyttämällä irroitettua kiviainesta. Murske on louheen murskaustuote, jonka yläraja on määrätty. Sepeli on murskeesta seulomalla erotettu lajite.

Murskesora on someroa tai kivistä soraa murskattaessa saatu, ylärajaltaan määrätty tuote. Sorasepeli on murskasorasta seulomalla saatu lajite.

Seuleeksi nimitetään kahden seulan väliin jäänyttä kiviainesta. Lajitteella tarkoitetaan seulomalla kiviaineksesta erotettua osaa, jonka ylä- ja alaraja on määrätty: ylärajaa karkeampaa ainesta lajite saa sisältää korkeintaan 5 %, ja alarajaa hienompaa korkeintaan 15 %. Koko lajitteen on läpäistävä seula, jonka läpäisyaukon sivun pituus on 20 % ylärajaa pitempi, alarajaa pienemmistä rakeista enintään 5 % koko lajitteen painosta saa läpäistä seulan, jonka aukko on puolet alarajasta.

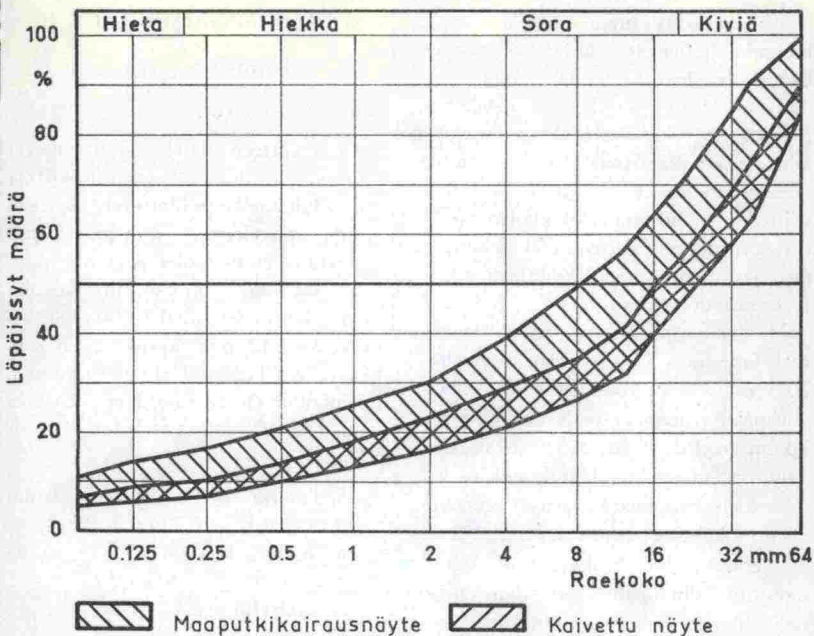
Sirote on pintakäsittelyihin ja karkeuksiin käytetty luja, murskattu tai luonnon lajite. Täytejauhe eli filleri on kiviainesta, josta 80 % läpäisee 0.074 mm seulan.

Kiviainesnäytteiden rakeisuus-, vesipitoisuus-, tilavuuspaino-, ja ominaispainomäärityksiin soveltuvat jokseenkin samat menetelmät kuin irtomaalajeillekin (ks. kohdat 1.2 ja 1.3). Koska määrityksissä on kuitenkin pieniä eroja, ja koska määritykset usein tehdään eri laboratorioissa eri henkilöiden toimesta, selostetaan menetelmät tässäkin yhteydessä.

### 2.11 NÄYTTEENOTTO

Luonnon lajittelemien kiviainesesiintymien näytteenottoa on selostettu osassa I. Tässä yhteydessä käsitellään päällystekiviainesten näytteenotossa esiintuvia erikoiskysymyksiä. Soraja someroesiintymien laatua tutkitaan yleensä koekuoppien avulla. Jos niistä otetaan näytteitä maaputki- tms. tehokairoilla, saattavat kivet ja pikkulohkareet särkyä sekä antaa harhauttavan kuvan aineksen rakeisuudesta ja murskauskelpoisuudesta (kuva 23).

Edustavan näytteen saa ottamalla osanäytteet kalliopaljastumaan tehdystä tasavälisestä ruudukosta. Kallion rapautuneen pintakerroksen mukaanottoa on vältettävä. Jos kalliosta esiintyy vain yhtä kivilajia, riittää luonnollisesti yksi näyte, kahdesta kivilajista voidaan kummastakin ottaa oma osanäyteensä ja sekoittaa nämä



Kuva 23:  
Kiviaineksen murskautuminen näytteenottimessa.

oikeissa paljousuhteissa, useampia kivilajeja sisältävästä kalliosta on parasta ottaa ruudukkonäyte. Osanäytteet voidaan joskus irroittaa kalliosta kangella, mutta yleensä ne on otettava räjäyttämällä. Tällöin on parasta porata valittuihin paikkoihin 25... 30 cm syvyiset reiät, ladata ne kevyesti, so. n. 50 g 25 % dynamiittia reiän pohjalle, ja sen päälle hiekkaa sekä laukaista yksi kerrallaan. Kallion päälle asetetulla dynamiitista leivotulla miinalla tai kivipommilla ei kunnon kappaleita tahdo irrota, ontelopanos taas pyrkii murentamaan ki-

veä. Aivan räjäytyspesän vierestä tah- too kivi murentua, ja sen ottamista osanäytteeseen on vältettävä, jotta laboratoriotutkimus ei antaisi todellisuutta vastaamatonta huonoa tulosta.

Jos laboratorioon lähetetään näyte murskaamattomana, on sen suuruudeltaan oltava vähintään 30 kg, 0... 20 mm murskenäytteen vähintään 20 kg ja 6... 20 mm lajinäytteen 10 kg. Kalliosta otettujen osanäytteiden yhteispainon on oltava näin ollen vähintään 120 kg, jotta siitä saataisiin sekoittamalla ja neliöimällä irroitetuksi riittävä määrä.

Murskaamalla otetaan näyte mieluiten sellaisesta kohdasta, jossa materiaali liikkuu, esim. hihnalta, määrävälein hihnan koko leveydeltä pyyhkäisten. Siiloissa kiviaines pyrkii lajittumaan. Varastokasoista ja auton lavoilta otetaan 5...7 näytettä tasavälisestä ruudukosta noin puolen metrin syvyydeltä. Osanäyte-erät sekoitetaan ja laboratorioon lähetettävä näyte erotetaan neliöimällä.

Murskaustyön aikana otetaan näytteet rakeisuus- ja kosteusmäärityksiin 200 m<sup>3</sup> välein, ominaispaino-, tilavuuspaino-, muotoarvo- ja murtopintalukumääräykset tehdään jokaisesta 1 000 m<sup>3</sup> erästä, lujuustutkimuksia ja mineraalikoostumusta varten otetaan näyte jokaisesta valmistuneesta 4 000 m<sup>3</sup> erästä. Jos raaka-aineen laatu muuttuu silminnähävästi murskaustyön aikana, otetaan uusi näyte välittömästi, silloin kun murskauskoneiston säätöjä muutetaan.

Laboratorioon lähetettävän kallio-, louhe- ja lohkenäytteen tulee olla vähintään 30 kg suuruinen, somero-, sora- ja murskesoranäytteen tulee olla vähintään 20 kg suuruinen ja sepelinäytteen vähintään 10 kg suuruinen. Ennakkonäytteet tutkitaan ja murskaustarkkailuun kuuluvat lujuus- ja mineraalikoostumusmääritykset tehdään mikäli mahdollista piirin keskuslaboratoriossa; ennakkonäytteiden perusteella hyväksytystä kiviaineksesta ja ensimmäisestä valmistuneesta 4 000 m<sup>3</sup> erästä lähetetään vertausnäytteet maatutkimustoimiston laboratorioon; kaikki muut näytteet tutkitaan kenttälaboratoriossa murskaamalla.

## 2.12 RAEOMINAISSUUDET

### 2.121 RAKEISUUS

#### Kuivaseulonta

Kun lajitteen alaraja on 6 mm tai suurempi, voidaan rakeisuus määrittää kuivaseulonnalla. Seulottavan näytteen määrään on yleensä oltava grammoina ilmaistuna noin puolet siitä määrästä, joka saadaan, kun suurin raekoko (mm) kerrotaan luvulla 100. Esimerkiksi 6...12 mm lajitteesta on seulottava vähintään 600 g suuruinen, mieluiten 1 kg suuruinen edustava näyte.

Välineet:

- Seulasarja: pohja, kansi ja seulat 0.074; 0.125; 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 6; 8; 12; 16; 25; 32; 55; ja 64 mm
- Seulatärytin
- Kuivausuuni
- Vaaka, enimmäiskuorma vähintään 3 kg, tarkkuus 0.5 g
- Kuivaus- ja punnitusvuokkia

Kiviainesnäyte kuivataan ennen seulontaa 150...200°C lämmössä kuivausuunissa tai avoliekillä. Jälkimmäisessä tapauksessa on valvottava, ettei lämpötila pääse paikallisestikaan nousemaan yli 400°C. Sopiva kuivausaika on 1...2 tuntia. Kuivattu näyte punnitaan.

Seulasarjan kokoonpano riippuu seulottavan aineksen laadusta, täryttäjiin ei mahdu edellälueteltu seulasarja kokonaan. Sopiviksi katsotut seulat pinotaan pohjaastian päälle suurenevan seula-aukon mukaisesti. Punnittu näyte kaadetaan karkeim-

malle seulalle, sarja suljetaan kannella ja asetetaan tukevasti seulatäryttiin. Tärytetään 10...15 min. ja tärytyksen aikana tarkkaillaan, että kiviainesta ei pääse tuprahtelemaan seulojen välistä.

Tärytysajan riittävyys tarkistetaan ensimmäisten näytteiden seulonnan yhteydessä seulasarjaa tyhjennettäessä siten, että joka seulaa tärytetään pöydälle levitetyn paperin päällä käsin noin 1 min. ajan. Lävitse tulevan aineksen määrä saa olla korkeintaan 1 % seulalle jääneen aineksen määrästä, jos se on suurempi, on tärytysaika pidennettävä.

Seuloille jääneet ainesmäärät punnitaan, lasketaan eri seuleiden painoprosentit ja niiden summat eli läpäisyprosentit alkaen hienoista seuloista sekä piirretään rakeisuuskäyrät asianomaiselle lomakkeelle (tvh 2.490, 2.548 tai 2.549, liite 16). Pohjaastiaan ja seuloille jääneiden ainesmäärien summa ei saa poiketa alkuperäisnäytteen painosta yli 0.5 %. Jos poikkeama on suurempi, on seulottava uusi näyte.

### Pesuseulonta

Sellaisten kiviainesten, joiden lajitealarajana on 0 mm, rakeisuus on aina määritettävä pesuseulonnalla.

Kuivaus suoritetaan kuten edellä. Kuiva kiviaines punnitaan, pannaan pesuvatiin ja näytteen päälle kaadetaan vettä niin, että näyte hyvin peittyi. Ainesta sekoitetaan sormin, harjalla tai puulastalla niin, että rakeet

irtoavat toisistaan, kokkareet hajoavat ja kiviaines liettyy veteen. Tarvittaessa näytteen annetaan seistä vedessä 1...2 tuntia ja liettymisen helpottamiseksi voidaan veteen lisätä hiukan natriumpyrofosfaattiliuosta.

Ennen varsinaista pesua näyte sekoitetaan jälleen. Karkeamman aineksen annetaan tämän jälkeen painua pohjaan ja näytteen pesu aloitetaan kaatamalla samaa vesi viemärin tai ämpärin päälle asetettuun pesuseulaan. Tämä seula on 28 cm läpimitäinen 10 cm korkeilla laidoilla varustettu 0.074 mm seula, jossa seula-kankaan alla on tukiverkko tai mielummin seulan sisällä on irrallinen 0.5 mm suojaseula.

Näytteen päälle kaadetaan uudelleen vettä, sekoitetaan jälleen, annetaan karkean aineksen painua pohjalle ja samaa vesi kaadetaan pesuseulaan. Kaadettaessa on varottava, ettei vettä ja kiviainesta pääse loiskumaan seulan ulkopuolelle. Näin jatketaan, kunnes vesi ei enää sekoitetaessa samennu.

Pesun päätyttyä siirretään pesuvatiin jäänyt kiviaines kuivausvuokaan. Pesuvatiin tarttunut ja pesuseulaan jäänyt kiviaines huuhdellaan tarkasti ja varovasti pienellä vesimäärällä samaan kuivausastiaan. Kiviaines kuivataan, punnitaan ja lasketaan pesutappio eli alle 0.074 mm aineksen määrä. Kuiva kiviaines seulotaan tämän jälkeen, kuten kuivaseulonnan kohdalla on selostettu. Läpäisyprosentit lasketaan ottamalla huomioon myös pesutappio ja rakeisuuskäyrä piirretään edelläkuvattuun tapaan.



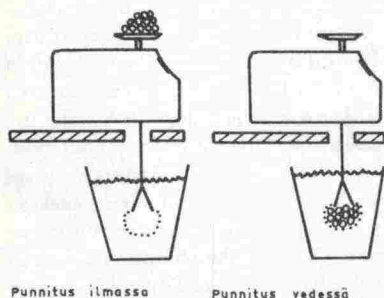
## 2.122 TIHEYS JA OMINAIS- PAINO

Ominaispainomäärityksen suoritus-tapa riippuu tutkittavan kiviaineksen raekoosta. Karkeahkojen kiviainesten ominaispainomääritykseen sopii parhaiten upotuspunnitus tai avopyknometrimenetelmä.

Kiviaineksen ominaispainolla tarkoitetaan tilavuusyksikön kokoisen kivi-kappaleen painoa. Näytteen paino on helppo määrittää punnitsemalla, tilavuuden määrittäminen voidaan tehdä punnitsemalla kiviainettä vedessä (upotuspunnitus) tai mittaamalla kiviaines-näytteen syrjäyttämä vesimäärä (avopyknometri).

### Vedessä punnitseminen

Upotuspunnitus suoritetaan seuraavasti: kuivattua kiviainesta, jonka rakeisuus on yli 6 mm, asetetaan noin 500 g seulakankaasta tehtyyn korimaiseen punnitusverkkoon. Verkko kiviaineksineen punnitaan ilmassa ( $W_k$ ) ja sen jälkeen vedessä ( $W_m$ ) (kuva 24). On huolehdittava siitä,



Punnitus ilmassa

Punnitus vedessä

Kuva 24:

Ominaispainomäärityksen avulla upotuspunni-

että verkko ja kiviaines ovat kokonaan veden peitossa ja kaikki ilmakuplat ovat poistuneet näytteestä, ennenkuin punnituslukema otetaan — tämä aikaansaadaan heiluttelemalla verkkoa vedessä ja tipauttamalla hiukan nestemäistä pesuainetta veteen pintajännityksen pienentämiseksi. Tulos on sitä tarkempi, mitä pienempi verkon paino on kiviaineksen painoon verrattuna. Tarkempi tulos saadaan myös sillä tavoin, että verkko on vedessä silloinkin, kun kiviainesnäytettä punnitaan ilmassa, ts. vaaka taarataan verkon ollessa vedessä. Yksittäisen suurehkon kivenkappaleen ominaispainomääritys tapahtuu edelläkuvattuun tapaan, mutta tarkin tulos saadaan, jos sen punnitsemiseen vedessä ei käytetä verkkoa, vaan mahdollisimman ohutta teräs-, kupari-, silkki- tm lankaa tai hiusta. Ominaispaino lasketaan kaavasta (34).

$$(34) \gamma_s = \frac{W_k}{W_k - W_m}$$

$\gamma_s$  ominaispaino ( $\text{g/cm}^3$  tai  $\text{t/m}^3$ )

$W_k$  kuivan näytteen paino (g)

$W_m$  näytteen paino vedessä punnittuna (g)

Edellä olevassa on puhuttu ominaispainosta, vaikka todellisuudessa tarkoitetaan tiheyttä eli massan suhdetta tilavuuteen. Massa on määrityspaikasta riippumaton, kun taas paino on riippuvainen maan vetovoimasta, joka ainakin teoriassa vaihtelee. Vaihtelu on kuitenkin niin pientä, ettei sitä tarvitse rutiinikäytössä ottaa huomioon.

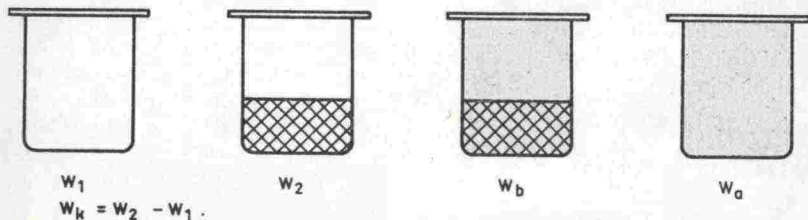
Sitä paitsi kivirakeissa saattaa olla pieniä huokosia, joihin vesi ei pääse, ja jotka näin ollen estävät täysin oikean pelkän kiven tiheyden mittaamisen. Tässäkin mielessä lienee epätarkemman käsitteen ”ominaispaino” käyttö jopa suositeltavaa. Saksassa, missä kiviaineksessa saattaa olla runsaasti huokosia, erotetaan eri ominaispainolajit: Dichte, Reingewicht ja Volümgewicht, siis tiheys eli huokosettoman kiviaineksensa ominaispaino, huokosellisen kiviaineksensa ominaispaino ja tilavuuspaino.

### Avopyknometrimenetelmä

Avopyknometrimenetelmällä tapahtuu ominaispainomääritys seuraavasti:  
Välineet:

- Laajasuinen mitta- tai dekanterilasi, jonka suureuna on tasaiseksi hiottu
- Hiottu lasilevy, jolla em. lasi voidaan tiiviisti sulkea
- Vaaka, maks. kuorma 1...3 kg, tarkkuus 0.5 g

Punnitaan puhdas, kuiva mittalasi kansilevyineen ( $W_1$ ) (kuva 25).



Kuva 25:  
Ominaispainomääritys avopyknometrillä.

Pannaan mittalasiin kuivattu kiviaines ja punnitaan se uudelleen kansilevyineen ( $W_2$ ). Edellisten erotus on kuivan näytteen paino ( $W_k$ ) Kaadetaan kiviaineksensa päälle keitettyä, huoneen lämpöistä vettä (kenttäolosuhteissa voidaan käyttää mitä tahansa puhdasta vettä) niin paljon, että kiviaines reilusti peittyy. Sekoitetaan kiviainesta lasi- tai terässauvalla niin, että kaikki ilmakuplat poistuvat, tippa nestemäistä pesuainetta tai saippualliuosta pienentää pintajännitystä ja auttaa kuplien poistamisessa. Hiekasta ja sitä hienomista kiviaineksista ei ilmaa saada keittämättä poistumaan, niiden ominaispainomäärityksissä on parasta käyttää normaalipyknometrimenetelmää (ks. kohta 1.221). Kun kaikki ilma on poistunut, täytetään lasi kiehautetulla, huoneen lämpöisellä vedellä ja painetaan hiottu lasilevy kanneksi. Varmistaudutaan, ettei kannen alle jää ilmakuplia. Kuivataan lasin ulkopinta pyyheliinalla.

Punnitaan lasi kiviaineksineen ja vesineen ( $W_b$ ). Tyhjennetään ja huuhdellaan mittalasi, täytetään se keitettyllä, huoneenlämpöisellä vedellä, peitetään kansilevyllä ja varmistaudutaan

siitä, ettei kannen alle jää ilmakuplia, kuivataan lasin ulkopinta ja punnitaan lasi vesineen ( $W_a$ ).

Kiviaineksen ominaispaino lasketaan kaavasta (35).

$$(35) \gamma_s = \frac{W_k}{W_k - (W_b - W_a)}$$

$\gamma_s$  kiviaineksen ominaispaino ( $\text{g/cm}^3$  tai  $\text{t/m}^3$ )

$W_k$  kuivan näytteen paino (g)

$W_b$  mittalasin, kansilevyn, näytteen ja veden paino (g)

$W_a$  mittalasin, kansilevyn ja veden paino (g)

Jos halutaan olla oikein tarkkoja, otetaan huomioon myös veden tiheys työskentelylämpötilassa. Tällöin mitataan käytettävän keitetyn, huoneen lämpötilaan jäähdetytyn veden lämpötila ja katsotaan tätä vastaava tiheys  $\gamma_{WT}$  kuvasta 5 (ks. kohta 1.221).

Kiviaineksen ominaispaino lasketaan tämän jälkeen kaavasta (36).

$$(36) \gamma_s = \frac{W_k}{W_k - (W_b - W_a)} \gamma_{WT}$$

## 2.123 HUMUSPITOISUUS

Humuspitoisuus määritetään kylmiin päällysteisiin käytettävistä kiviaineksista NaOH menetelmällä (ks. kohta 1.232).

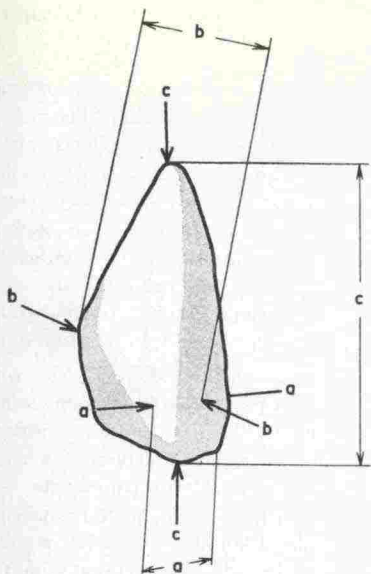
## 2.124 MUOTOARVO

Kivirakeen muodon määrittelevät sen pituus ( $c$  = pisin akseli), leveys ( $b$  = keskiakseli) ja paksuus ( $a$  =

lyhin akseli) (kuva 26). Muotoarvolla tarkoitetaan lukua, joka ilmoittaa kiviaineksen rakeiden keskimääräisen pituuden suhteen keskimääräiseen paksuuteen ja keskimääräiseen leveyden suhteen keskimääräiseen paksuuteen. Keskimääräinen paksuus saadaan seulomalla kiviaines rakoseuloilla eli välillä, piirtämällä kuvaaja eli läpäisykäyrä ja lukemalla keskipaksuus käyrän ja 50 % viivan leikkauspisteen kohdalta. Keskimääräinen leveys saadaan samalla tavoin seulomalla kiviaines normaaleilla neliö- tai pyöreäaukkoisilla seuloilla (kuva 27 ja liite 17 b). Rakeiden pituus voidaan arvioida vain mittaamalla.

Muotoarvomääritys tehdään 8...12 mm lajitteesta; mikäli se tehdään tätä karkeammasta aineksesta, on tämä muotoarvon yhteydessä erikseen ilmoitettava. Yleisimmin määritetään muotoarvo mittaamalla 100 kpl rakeita ns. muotolaatikossa (kuva 28), pohjamotoiltaan n.  $10 \times 10$  cm, jossa on kaksi n. 2 cm korkeata laitaa ja pohjalla millimetripaperi, jonka suojana on tavallisesti lasi- tai selluloidilevy tai teippikalvo. 8...12 mm lajitetta otetaan pöydälle 350...500 g suuruinen erä, josta mitattavat rakeet otetaan järjestyksessä, niitä millään tavoin valitsematta. Tulos luonnollisesti muuttuu, jos kasasta valitaan joko pitkulaisia, laattamaisia tai pyöreitä rakeita. Mitatut pituudet, leveydet ja paksuudet merkitään kiviainestutkimuslomakkeelle, lasketaan yhteen ja summien suhteet lasketaan (liite 17 a).

Jos keskileveys ja keskipaksuus on mitattu seulomalla ja välppäämällä,



voidaan näitä arvoja käyttää muotoarvon laskemiseen. Muotoarvon yhteydessä on tällöin kuitenkin ilmoitettava, että se on mitattu seulomalla.

## 2.125 MURTOPINTALUKU

Murtopintaluku ilmoittaa kaikilta sivuiltaan murskautuneiden ja täysin murskautumattomien luonnonpintaisten rakeiden määrät painoprosenteina. Murtopintaluku osoittaa luonnonkiviaineksen murskautumisen määrän. Mitä pienempi täysin murskautuneiden rakeiden määrä on, sitä pienempää on lähtökiviaines ja sitä vähemmän sen rakeita on murskattu.

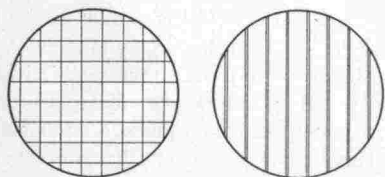
Murtopintaluku määritetään 8 mm suuremmista rakeista; jos tutkittavan aineksen alarajaksi otetaan jokin toinen mitta, on tämä murtopintaluvun yhteydessä erikseen ilmoitettava.

Murskesorasta tai sorasepelistä otetaan noin 2 kg suuruinen näyte, joka seulotaan 8 mm seulalla. Seulon päälle jäänyt kiviaines punnitaan ja jaetaan rae rakeelta kolmeen kasaan:

1. kasaan pannaan rakeet, jotka ovat kaikilta sivuiltaan murskautuneet

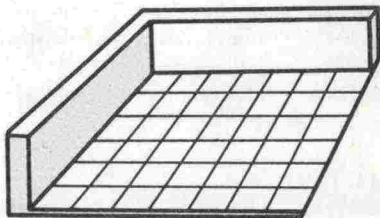
Kuva 26:

Kivirakeen akselit:  $c$  = pituus,  $b$  = leveys,  $a$  = paksuus.



Kuva 27:

Seula (aukot neliömäiset) ja välppä (aukot pitkulaiset).



Kuva 28:

Muotolaatikko.

2. kasaan pannaan rakeet, jotka kailta sivuiltaan ovat sileitä, luonnonpintaisia
3. kasaan jäävät rakeet, joissa on sekä tuoreita murtopintoja että sileitä luonnonpintoja.

Kasat 1 ja 2 punnitaan, painoprosentit lasketaan ja ilmoitetaan murtopintalukuna esim. 60/15, jossa 60 on kailta sivuiltaan murskautuneiden rakeiden määrä painoprosenteina yli 8 mm aineksesta ja 15 vastaavasti luonnonpintaisten rakeiden painoprosentti. Murtopintaluku merkitään lomakkeelle (liite 17 b).

## 2.13 RAKENNEOMINAISUUDET

### 2.131 TILAVUUSPAINO

Tilavuuspainolla tarkoitetaan kiviainesmassan painon ja tilavuuden suhdetta. Sen yksikkönä on g/cm<sup>3</sup>, kg/dm<sup>3</sup> tai t/m<sup>3</sup>, joiden lukuarvo on sama. Tilavuuspainoon vaikuttaa paitsi kiviaineksen ominaispaino, myös sen sisältämä kosteus ja ilma. Luonnontilainen kiviaines on aina hiukan kosteaa, mitä hienompaa se on, sitä suurempi on kivirakeiden pintaan hygroskooppisesti sitoutuneen veden määrä. Kostean kiviaineksen tilavuuspainoa nimitetään märkätilavuuspainoksi, kuivatun kiviaineksen tilavuuspainoa kuivatilavuuspainoksi. Näiden kahden välillä vallitsee kaavan (37) mukainen yhteys.

$$(37) \gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

$\gamma_d$  kuivatilavuuspaino  
 $\gamma$  märkätilavuuspaino

w vesipitoisuus (% kuivapainosta)

Tilavuuspaino on monista tekijöistä riippuvainen, ennen kaikkea kiviaineksen ominaispainosta ja tiivysasteesta. Kiviainesten tilavuuspainomäärityksellä pyritään samaan tiivysasteeseen kuin murskatulla kiviaineksella on auton lavalla tai varastokasalla. Mitattavan näytteen vähimmäiskoko riippuu tutkittavan kiviaineksen rakeisuudesta, tulos on sitä luotettavampi, mitä suurempi näyte punnitaan.

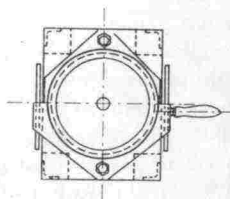
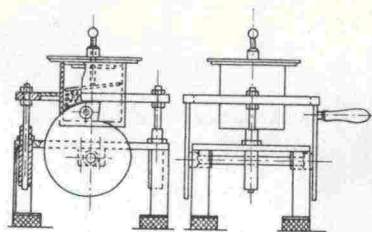
Tilavuuspainomääritys tehdään yleensä käyttämällä määrämittaista astiaa ja punnitusta, kutsuttakoon tätä kaatomenetelmäksi. Tilavuuspainokäsite on pyritty sitomaan standarditiiviyteen, ja tässä tarkoituksessa on vtt:n tielaboratoriossa kehitetty koputuskojetta vastaava sullontalaite, jolla suoritettavaa määritystä voitaneen kutsua normimenetelmäksi.

### Tilavuuspainomääritys kaatomenetelmällä

Valitaan mitta-astia rakeisuuden mukaan esim. 0...12 mm murskeelle tai 6...12 mm sepelille tukevaseinäinen 20 litran pönttö. Pöntön tarkka tilavuus (V) saadaan esim. täyttämällä se vedellä ja punnitsemalla. Mitta-astia täytetään varovasti kiviaineksella, ainesta ei sullota, mutta astian kylkiin kopautetaan muutama kerta kevyesti puukalikalla, pinta taimitetaan ja astia kiviaineksineen punnitaan (W<sub>m</sub>). Astia tyhjennetään ja punnitaan (W<sub>t</sub>). Tilavuuspaino lasketaan kaavasta (38).

$$(38) \gamma = \frac{W_m - W_t}{V}$$

- $\gamma$  tilavuuspaino ( $t/m^3$ )  
 $W_m$  kiviaineksen ja astian paino (kg)  
 $W_t$  astian paino (kg)  
 $V$  astian tilavuus (litraa)



Jotta tilavuuspaino olisi luotettava, on määritettäessä käytettävä taulukon 9 ilmoittamia näytemääriä.

### Tilavuuspainomääritys normimenetelmällä

Normimenetelmässä käytetään vtt:n hienomekaanisen työpajan tilavuuspainomittaria, kuva 29, jossa on  $\varnothing 10$  cm ja 15 cm mitta-astiat. Mitta-astia täytetään kiviaineksella lähes reunojaan myöten, kiviaineksen päälle asetetaan välikansi ja astian reunojen varaan kansilevy mittatikkuineen. Astiaa pudotellaan taulukossa 10 ilmoitettu kertamäärä laitteen sallimalta 3 cm korkeudelta.

Sullonnan jälkeen lasketaan näytteen tilavuus lukemalla ensin mittatikusta näytepinnan korkeus (I) 0.1 mm tarkkuudella; vähentämällä tämä sitten mittamerkin korkeudesta ( $I_0$ ) saadaan näytteen keskikorkeus (h) ja edelleen tästä näytteen tilavuus (V) kertomalla keskikorkeus (h) mittaastian pohjan pinta-alalla (A). Tämän jälkeen punnitaan mitta-astia kiviaineksineen ( $W_m$ ) sekä tyhjä mitta-astia ( $W_t$ ), jolloin tilavuuspaino voidaan laskea kaavasta (39).

Kuva 29:  
Vtt:n kehitetty tilavuuspainomittari.

Taulukko 9. Eri lajitteiden tilavuuspainomääritykseen vaadittavat näytemäärät.

suurin raekoko (mm)	vähimmäisnäytemäärä (l)	vaaata kiloissa noin
0.074	0.5	0.6
2	1	1.5
6	5	7
12	20	32
20	50	80
35	100	160
60	200	320

Taulukko 10. Tilavuuspainomääritysten mitta-astiat ja sullontapudotusten kertamäärät.

lajiite (mm)	mitta-astia $\varnothing$ (cm)	pudotuskertojen lukumäärä
0...6	10	5
6...12	10	10
12...18	15	20
12...25	15	20
0...18	10	10
0...30	15	10

$$(39) \gamma = \frac{W_m - W_t}{V}$$

$\gamma$  tilavuuspaino ( $t/m^3$ )

$W_m$  kiviaineksen ja astian paino (kg)

$W_t$  astian paino (kg)

$V$  astian tilavuus ( $dm^3$ )

Tilavuuspainomittaustavoista on normimenetelmä parempi, sillä kaatomenetelmän tuloksen on havaittu riippuvan runsaasti mm. kokeen tekijästä, ja siinä esiintyvän hajonnan olevan 10 % suuruusluokkaa. Normimenetelmän antamien tulosten hajonta on 3 % suuruusluokkaa. Tällä on luonnollisesti suuri merkitys arvioitaessa tilavuudeltaan tunnetun kiviainesaraston tonnimäärää tai päin vastoin tonneissa tunnetun kiviainestarpeen tilavuutta laskettaessa.

## 2.132 VESIPITOISUUS

Kiviaineksen vesipitoisuus- eli kosteusmäärittystä varten otettu näyte on kuljetettava laboratorioon vedenpitävässä näytepussissa, tällöin vesipitoisuus ei muutu. Runsaasti vettä sisältävissä näytteissä vesi voi kyllä erottua kuljetuksen aikana kiviaineksesta pinnalle tai kondensoitua pisaroina pussin seinämiin. Vesipitoisuutta määrittäessä on luonnollisesti otettava huomioon myös tämä vesi, ja jos kosteus määrätään kuivattamalla tapahtuvasta painon vähennyksestä, on näyte kuivattava pusseineen.

Vähän hienoainesta sisältävien näytteiden kosteuden määrittämiseen ken-

tällä sopii myös ns. karbidometri-  
menetelmä.

## Kuivatusmenetelmä

Kostea näyte pannaan kuivatusvuokaan ja punnitaan. Kuivatus tehdään 150...200°C lämmössä, paitsi jos näytepussikin on mukana, jolloin lämpötilaa ei tule nostaa yli 105...110°C. Kuivattu näyte punnitaan, kuivausastia tyhjenetään ja astia punnitaan. Kunnollisessa kuivatuskaapissa tai pienoislieden uunissa, jonka luukku on asetettu raolleen, riittää 1...2 kg painoisten kiviainenäytteiden kuivatukseseen yleensä 1...2 tunnin aika. Jos näyte sisältää runsaasti hienoainesta, on lämpötilan suhteen noudatettava mitä kohdassa 1.32 on sanottu.

Vesipitoisuus painoprosentteina kuivapainosta lasketaan kaavasta (40).

$$(40) w = \frac{W_m - W_k}{W_k - W_t} \cdot 100$$

$w$  vesipitoisuus (%)

$W_m$  kostean näytteen ja astian paino (kg)

$W_k$  kuivatun näytteen ja astian paino (kg)

$W_t$  tyhjän astian paino

## Karbidometri menetelmä

Karbidometri menetelmä (ks. osa I kohta 4.521) perustuu veden ja kalsiumkarbidin reagoidessa syntyvän aseptyleenin paineen mittaukseen. Se on karkeahko, kenttäkäyttöön sopiva pikamenetelmä, joka ei vaadi lämmityslaitteita.

## 2.14 LUJUUSOMINAISUUDET

### 2.141 LOS ANGELES -LUKU

Los Angeles -luku kuvaa lähinnä kiviaineksen kulutuskestävyyttä. Se mitataan ns. Los Angeles -myllyssä, joka on sisäläpimitoiltaan  $\varnothing$  71 cm terässylinteri, sisäpituus 51 cm, kuva 30. Sylinteri pyörii vaakatasossa 30...33 kierr./min. vauhdilla. Sylinterin kannessa on 51 cm mittainen 9 cm levyinen kohtisuora teräslevy, joka sieppaa mukaansa myllyyn pannun sepelin ja teräskuulat, pudottaen ne, kun siipi on kiertänyt jonkin matkaa ylöspäin. Teräskuulat ovat läpimitaltaan 47 mm ( $1\frac{27}{32}$  tuumaa) ja painavat 390...445 g/kpl — normaalit laakerikuulat kelpaavat, ellei  $\varnothing$  47 mm kuulia ole saatavana, voidaan kuularsajassa käyttää sekaisin 46 mm ( $1\frac{13}{16}$  tuumaa) ja 48 mm ( $1\frac{7}{8}$  tuumaa) kuulia.

Määrittämiseen tarvitaan myös seula-sarja: 1.68 mm (ASTM n:o 12); 9.52 mm ( $\frac{3}{8}$ "); 12.7 mm ( $\frac{1}{2}$ "); ja 19 mm ( $\frac{3}{4}$ ") samoin vaaka maks. kuorma 5 kg, tarkkuus 0.5 g.

Tutkittava kiviaines kuivataan ja siitä seulotaan seuraava näyte:

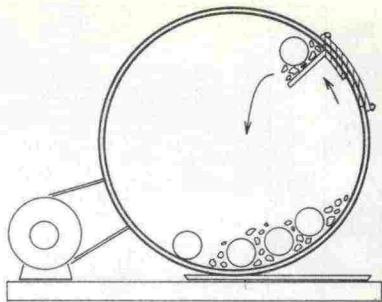
9.6—12.7 mm ( $\frac{3}{8}$ — $\frac{1}{2}$ ") 2 500 g

12.7—19 mm ( $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ ") 2 500 g

yht. 5 000 g

Teräskuulia 11 kpl, yhteispaino 4 584 g  $\pm$  25 g

Los Angeles -mylly puhdistetaan hyvin, sepeli ja teräskuulat pannaan myllyyn, kansi kiinnitetään tiiviisti ja mylly pannaan pyörimään 500 kierrosta. Kun mylly pysähtyy, poistetaan



Kuva 30:  
Los Angeles-mylly.

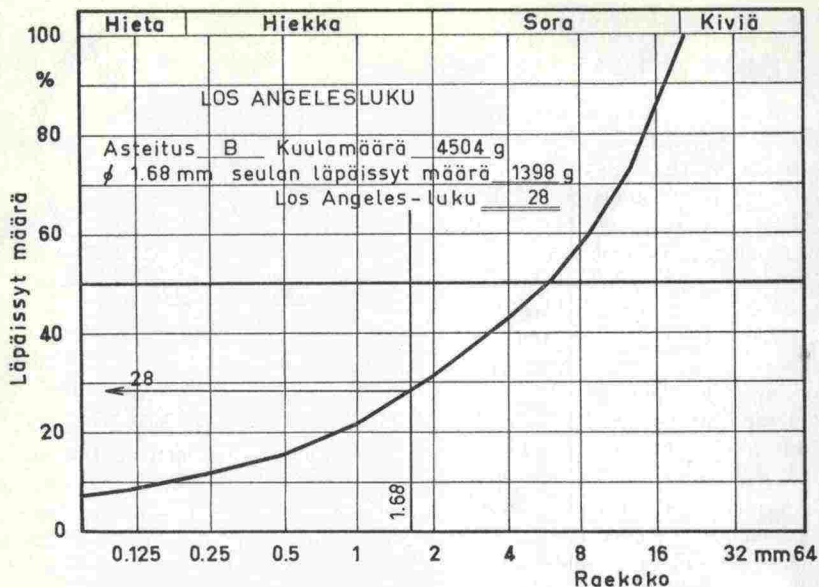
kiviaines tarkasti ja seulotaan seula-sarjalla, jossa alimmaisena on 1.68 mm (n:o 12) seula. Tämän seulan läpäisyt ainesmäärä painoprosenteina koko 5 kg näytteestä on näytteen Los Angeles -luku (kuva 31). Se merkitään lomakkeeseen (liite 17 b).

Alkuperäisessä ASTM ohjeessa on mahdollisuus käyttää myös rakeisuusdeltaan edellisestä poikkeavia näytteitä eli asteituksia A, C, D, E, F ja G ks. taulukko 11. Näillä asteituksilla saadut tulokset eivät kuitenkaan ole yhtäpitäviä ylläkuvatulla B asteituksella saadun tuloksen kanssa, esim. C asteituksella saadaan säännöllisesti 2...3 yksikköä suurempi (huonompi) tulos. Siksi tvh:n käyttöön on otettu vain ns. B-asteitus.

### 2.142 HAURAU SARVO

Haurausarvo kuvaa kiviaineksen iskunkestävyyttä. Se on murskauskokeessa tutkitun sepelin alarajana olevan seulan läpi menneen aineksen määrä painoprosenteina. Tvl:ssä hau-



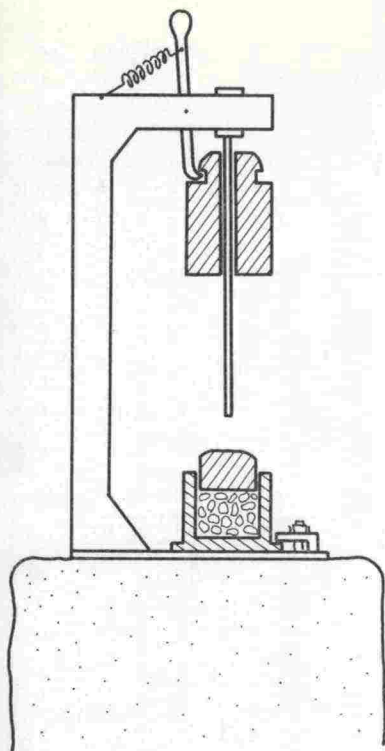


Kuva 31:

Los Angeles-luvun määrittäminen myllyssä käsitellyn kiviaineksen rakeisuuskäyrästä.

Taulukko 11. Los Angeles -kokeen asteitukset.

Materiaali				Näytteen määrä eri asteituksissa (g)							
Läpäisi seulan		Jäi seulalle		A	B	C	D	E	F	G	
(mm)	(in)	(mm)	(in)								
76.1	3	64	2½					2 500			
64	2½	51	2					2 500			
51	2	38	1½					5 000	5 000		
38	1½	25	1	1 250					5 000	5 000	
25	1	19	¾	1 250						5 000	
19	¾	12.7	½	1 250	2 500						
12.7	½	9.5	⅜	1 250	2 500						
9.5	⅜	6.4	¼			2 500					
6.4	¼	4.8	no 4			2 500					
4.8	no 4	2.4	no 8				5 000				
kuulien määrä kpl .....				12	11	8	6	12	12	12	
kuulien yhteispaino g .....				5 000	4 584	3 330	2 500	5 000	5 000	5 000	
sallittu poikkeama g .....				25	25	20	15	25	25	25	
kierrosmäärä .....				500				1 000			



Kuva 32:  
Haurausarvolaite.

rausarvomäärityksiä tehdään toistaiseksi vain maatutkimustoimiston laboratoriossa.

#### Välineet:

— Seulasarja kuten kuivaseulonnassa, mutta lisäksi 5.6 ja 11.3 mm seulat

- Välvät 4 mm, 5.6 mm ja 8 mm
- Vaaka, maksimikuorma 3...5 kg, tarkkuus 0.5 g
- Teräslieriö sisäläpimitta 100 mm, sisäkorkeus 100 mm sekä lieriöön sopiva teräsmäntä painoltaan 3.7 kg
- Pudotusvasara 14 kg
- Vasaran kehikko eli haurausarvolaite, kuva 32

Määritys suoritetaan seuraavasti:

Näyte kuivataan. Siitä seulotaan 8...11.3 mm lajitetta noin 1 kg, josta välvätään 5.6...8 mm lajite, aineksen liuskeisuus (b/a) on tällöin noin 1.4. Tätä lajitetta punnitaan sylinteriin pantavaksi kaavan (41) mukainen määrä.

$$(41) \text{ lajitteen määrä} = \frac{500}{2.66} \cdot \gamma_s$$

(grammaa)

$\gamma_s$  tutkittavan kiviaineksen ominaispaino (g/cm<sup>3</sup>)

Näytteen pinta tasoitetaan paneamalla sen päälle mäntä, jota pyörytetään pari kertaa kumpaankin suuntaan. Sylinteri pannaan paikalleen kehikon jalustalla, sylinterin ja alustan väliin ei saa jäädä kivenmurenia. Sylinteri kiinnitetään alustaan siipimuttereilla.

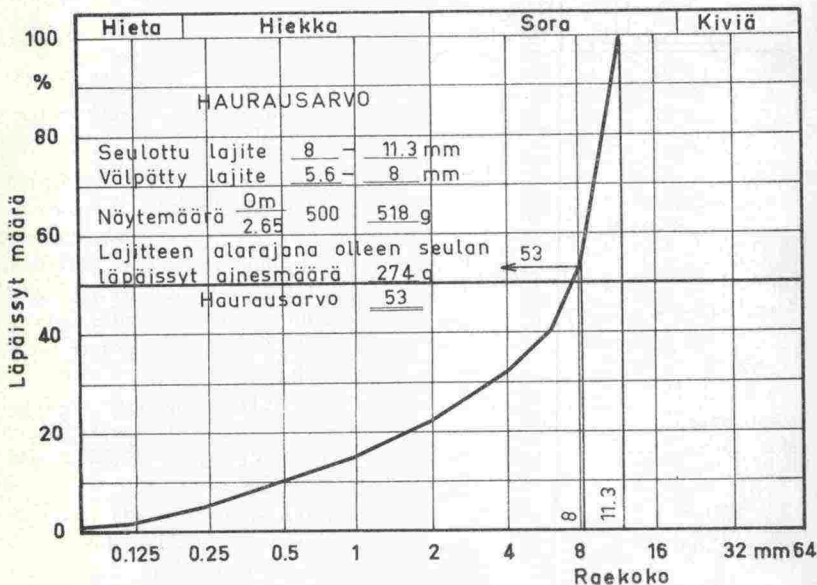
Tämän jälkeen vasaraa pudotetaan 25 cm korkeudelta 10 kertaa. Mäntä nostetaan pois, ja kiviainesta pöyhittään ruuvimeisselillä. Mäntä pannaan paikalleen ja näytteen pinta tasataan kuten edellä, sylinterin kiinnitys tarkistetaan. Vasaraa pudotetaan toiset 10 kertaa. Tämän 70 kgm suuruisen murskaustyön tuloksena osa rakeista on särkynyt.

Näyte seulotaan seulasarjalla, jossa on mukana 8 mm seula. Tämän seulan läpi menneen aineksen määrä painoprosentteina on näytteen haurausarvo (kuva 33), joka merkitään lomakkeeseen (liite 17 b).

Kokeessa voidaan käyttää myös 5.6...8 mm tai 11.3...16 mm lajitetta. Tällöin käytettävät välipäät ovat 4 mm ja 5.6 mm ja vastaavasti 8 mm ja 11.3 mm. Näistä laitteista saadut haurausarvot eivät ole täysin yhtäpitäviä normaalilajitteesta saadun arvon kanssa, ja siksi niiden käyttöä ei suositella.

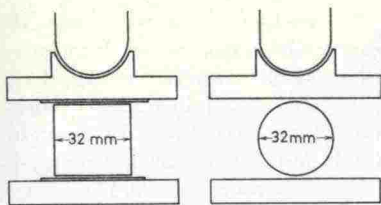
## 2.143 PURISTUSLUJUUS

Kiviaineksen puristuslujuus määritetään yleensä määrämittaista tasasivuista koekappaletta puristamalla, lukemalla se voima, joka tarvitaan kappaleen särkemiseen sekä jakamalla tämä voima näytteen poikkipinta-alalla. Koska puristuslujuuden arvo riippuu suuresti koekappaleen eheydestä, saadaan pieniä koekappaleita puristamalla yleensä suurempia arvoja. Toistaiseksi ei ole olemassa mitään kansainvälisesti normitettua koekappalekokoa. Kanadalaisten suosittama Ø 42 mm ja 42 mm pituinen tasa-

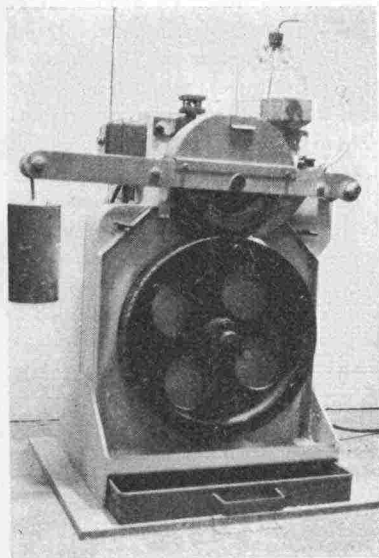


Kuva 33:

Haurausarvon määrittäminen kiviaineksen rakeisuuskäyrästä.



Kuva 34:  
Kivinäytteen puristus- ja vetolujuuden  
määrittäminen.



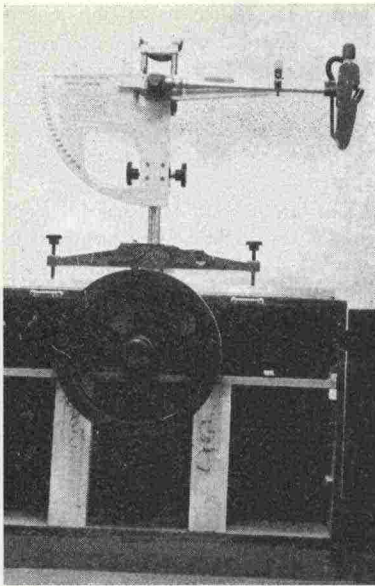
päinen sylinteri on saavuttanut jonkin verran yleistä käyttöä, mutta koska meillä yleisesti käytetty timanttikairaterästyypin antaa  $\varnothing$  32 mm näytteen, lienee parasta ottaa standardinäytteen  $\varnothing$  32 mm, 32 pituinen kivi-sylinteri.

Timanttikairalla saadusta kivinäytteestä siis sahataan timanttilaikalla noin 33...34 mm pituinen pätkä, jonka päät hiotaan tasaisiksi ja näytteen pituusakselia vastaan kohtisuoriksi, jolloin nätekappaleen pituudeksi tulee noin 32...33 mm. Nätekappale kuivataan  $105^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa yli yön — kostean näytteen puristuslujuus on pienempi kuin kuivan. Näyte asetetaan betonipuristimeen laikkojen keskikohdalle siten, että liikkuva ylälaikka on tarkalleen nätekappaleen pään suuntainen. Puristus suoritetaan hitaasti, ja kuormituksen suuruus murtumahetkellä luetaan. Puristuslujuus ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) lasketaan jakamalla tämä maksimikuorma ( $\text{kg}$ ) nätekappaleen poikkipinta-alalla ( $\text{cm}^2$ ).

Samanlaisista näytteistä voidaan määrittää myös kivilajin vetolujuus ns. Brasilian kokeena. Tällöin nätekappale pannaan puristimeen kyljelleen, kuva 34. Puristus ja laskutoimitukset suoritetaan samoin kuin edellä.

Myös sepelin puristuslujuusmäärittäksiä on suoritettu puristamalla haurauskokeessa käytettyä lajitettua haurausmuotissa betonipuristimella. Kokeen tulos saadaan  $\varnothing$  8 mm seulan

Kuva 35:  
Hioutuvuuden mittaus.  
a. mittauslaitteet  
b. koekappaleet.



Kuva 36:  
Heiluritikamittari.

läpi menevän murskautuneen aineksen painoprosentteina eli siis suhteellisina lukuarvoina.

## 2.144 HIOUTUVUUS

Kiviaineksen hioutuvuuskokeessa käytetään englantilaisen Road Research Laboratoryn kehittämää "accelerated-polishing" -laitetta (kuva 35), ja hioutumisen arvioimisessa joko pinnan epätasaisuuden muuttumisen tai pinnan kitka-arvon muuttumisen mitausta. Jälkimmäinen mittausta on yksinkertaisempi ja tarkoituksenmukaisempi, se suoritetaan englantilaistyyppisellä heilurimittarilla (kuva 36).

Kiviaineksesta seulotusta 8...10 mm sepeleistä valmistetaan betonimassalla sidotut, kaarevat koekappaleet, jotka kiinnitetään hiomalaitteen pyörään. Koekappaleiden kitka mitataan em. heilurilla. Laite käynnistetään, jolloin pyörä pyörii 320...325 kierr./min.nopeudella, ja siinä olevien koekappaleiden muodostamaa pintaa vastaan painetaan 40 kg voimalla kumi-pyörä. Pyörien kosketuskohtaan syötetään kvartsijauhoa  $\varnothing 0.1 \dots 0.4$  mm noin 12 g/min. ja vettä noin 20 g/min. Koneen annetaan pyöriä 3 tuntia, kitka mitataan ja koneen annetaan pyöriä toiset 3 tuntia, jonka jälkeen kitka jälleen mitataan. Hioutuvuusarvo on 6 tunnin hiomisen jälkeä mitattu kitka.

Vtt:n tielaboratorion tekemissä kokeissa on havaittu kvartsin hioutuvuusarvon olevan  $0.53 \mu$ , maasälvän  $0.59 \mu$ , kalkkisälvän  $0.53 \mu$  ja sarvivälkkeen  $0.60 \mu$ . Suomen sepeleiden keskimääräinen hioutuvuusarvo on  $0.615 \mu$ , murskesorilla se on aivan sama, joskin hioutuvuusarvojen hajonta on paljon pienempi. Sepeleillä mitattujen arvoja on eniten luokassa  $0.625 \dots 0.650 \mu$ , murskesorilla vastaavasti luokassa  $0.600 \dots 0.625 \mu$ .

## 2.15 LABORATORIOMENETELMIEN LUOTETTAVUUDEN TARKISTUS

Useat edelläkuvatuista kiviaineksen tutkimusmenetelmistä ovat jossakin määrin subjektiivisista tekijöistä riippuvaisia. Laboratoriohenkilökuntaa on sen vuoksi jatkuvasti opastettava ja tuloksia samoinkuin menetelmiä tark-

kailtava. Virheillä on taipumus tarttua työntekijästä toiseen ja tutkimusmenetelmät muuttuvat vähän kerrallaan jopa niin, ettei niitä pian samaksi tunnekaan, kun vertaa käytännössä suoritettua määritystä painettuun ohjeeseen. On hyvä joskus panna useampi työntekijä tutkimaan samaa näytettä kukin useampaan kertaan ja sitten laskea tulosten keskihajonnat sekä yhteiskeskihajonta. Samalla tulee tarkastetuksi laitteiden kunto. Keskihajontaa laskettaessa käytetään kaavaa (42).

$$(42) s = \sqrt{\frac{\sum(x_i^2 - x_k^2)}{n-1}}$$

s keskihajonta

$x_i$  yksittäinen mittaustulos

$x_k$  henkilön tai henkilöiden koesarjan keskiarvo  
n koesarjan mittausten lukumäärä

Usein hajonta ilmoitetaan myös prosentteina keskiarvosta. Jos mittaus-tulosten keskihajonta nousee yli  $\pm 10\%$ , on syytä suorittaa laitteiden ja menetelmien yksityiskohtainen tarkastus. Jos koetulos osuu luokkarajalle poiketen tästä vain

c/a	.....	$\pm 0.05$
b/a	.....	$\pm 0.03$
hauraus	.....	$\pm 1.5$
Los Angeles	.....	$\pm 1.0$

on suoritettava uusi, tarkistava määritys.

## 2.2 Päälystetutkimukset

### 2.21 NÄYTTEENOTTO

Näytteitä otetaan päälystemassasta ja valmiista päälysteestä. Jos on kysymys urakalla tehtävän työn valvonnasta, näytteet on otettava rakennuttajan ja työn suorittajan edustajien läsnäollessa tai puolueettoman tutkimuslaitoksen toimesta. Näytteet on yleensä otettava siten, että ne mahdollisimman tarkasti vastaavat tutkittavan kohteen laatua ja koostumusta. Jos on kuitenkin kysymyksessä kohteessa paikoitellen ilmenevän erityisen ominaisuuden tai vian selvittäminen, näytteenottokohdat on valittava tätä tarkoitusta varten siten, että tutkittava ominaisuus tai vika voidaan tarkoin selvittää. Päälystenäytteiden ot-

tamisesta on aina tehtävä näytteenottopöytäkirja.

Jokaisessa tutkimuslaitokseen lähetettävässä näytteessä tulee olla mukana lähetyslomake, josta ilmenee tutkimuksen tilaajan nimi ja osoite, näytteen nimitys ja merkki, näytteenotto-paikka ja päivämäärä sekä tutkimus-tehtävän tarkoitus. Päälystenäytteiden lähetyksessä on käytettävä liitteessä 19 esitettyä lomaketta ja massanäyt-teiden lähetyksessä liitteessä 20 esi-tettyä lomaketta.

#### 2.211 PÄÄLLYSTENÄYTTEET

Päälystenäytteet otetaan poraamalla ne 100 mm läpimittaisella poralla. Näytteen muodostaa kaistanäyte, joka

koostuu levityskaistasta 1 m etäisyyksien kaistan poikkisuuntaan otetuista näytteistä. Kaistanäytteen jokaisesta poranäytteestä tutkitaan massamäärä ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), tilavuuspaino, ominaispaino ja tyhjätila. Kaistanäytteen sideainepitoisuus ja kiviaineksen rakeisuus tutkitaan massasta, joka saadaan yhdistämällä kaistanäytteeseen kuuluvat poranäytteet. Mikäli on määritettävä vielä päällysteen Marshall-lujuus, tätä varten on porattava toinen edellä mainitun kanssa rinnakkainen näyterivi noin 30 cm etäisyydeltä. Kahta vieireistä eri levityspaikoista otettua kaistanäytettä kohden otetaan saumasta kaksi poranäytettä. Niistä tutkitaan tilavuuspaino, ominaispaino, tyhjätila ja Marshall-lujuus. Mikäli päällysteestä ei kuitenkaan suoriteta Marshall-lujuusmäärittäystä, tarvitaan tutkimuksiin vain yksi saumanäyte.

Päällystenäytteet pyritään ottamaan siten, että tutkimustulosten avulla voidaan selvittää päällysteen eri ominaisuuksien vaihtelu levityskaistan pituus- ja sivusuuntiin. Kaistanäytteet otetaan yleensä yhden km välein. Jokaisesta päällystystyöstä on otettava vähintään kolme kaistanäytettä. Jos tutkittavan päällysteen pinta-ala on kuitenkin pienempi kuin  $3\,000\text{ m}^2$ , on harkittava, onko poranäytteiden ottaminen lainkaan tarpeen. Jotta voidaan mahdollisimman tarkoin selvittää päällysteen tasalaatuisuus levityskaistan sivusuuntaan, kaistanäytteet otetaan siten, että perättäisten näytteiden ottokohtien välillä on 10 cm sivusuuntainen väli. Tässä on noudatettava näyteenottolomakkeessa (liite 19 b) annettuja ohjeita.

Jos päällysteessä todetaan esiinty-

vän sellaisia kohtia, joissa on aiheutta otaksua olevan erityistä vikaa, näistä kohdista on tarpeen ottaa lisänäytteitä. Näyteenottopöytäkirjaan on merkittävä otaksuttu vika ja se, kuinka suurta alaa lisänäytteet silmämääräisen arvostelun perusteella edustavat.

Päällystenäytteitä voidaan myös ottaa hakkaamalla irroittaen. Näytteen suuruuden tulee olla vähintään  $40 \times 40\text{ cm}^2$ . Irroitus on tehtävä siten, ettei kappaleeseen tule säröjä tai taipumia.

Päällystenäytteitä otetaan normaalia laadunarvostelua varten vain kuumasekoitusmenetelmällä valmistetuista päällysteistä. Bitumiliuosorasta ja öljysorasta otetaan päällystenäytteitä vain erikoistapauksissa, kuten mahdollisten vikojen tai massamäärien selvitystä varten. Nämä näytteet irroitetaan hakkaamalla tai käsikauhaa käyttäen.

Päällystenäytteet pakataan heti irroituksen jälkeen erityisiin näytelaatikoihin sileä pinta laatikon pohjaa vasten. Tämän jälkeen laatikko täytetään esim. puulastulla siten, etteivät näytteet pääse liikkumaan kuljetuksen aikana. Näytelaatikkoa ei saa pitää lämpimässä paikassa. Näytelaatikat on lähetettävä heti pakkauksen jälkeen tutkimuslaitokseen.

## 2.212 MASSANÄYTTEET

Massanäytteitä tutkimalla pyritään työn aikana varmistautumaan siitä, että massa täyttää sille asetetut vaatimukset. Massanäytteitä otetaan vähintään yksi jokaista valmiin massan 400 tonnin erää kohti. Valmistettaessa kantavan kerroksen bitumisora viimeksi mainittu määrä on 600 tonnia.

Massanäyte on otettava siten, että se tarkoin vastaa massan keskimääräistä koostumusta. Jos massa valmistetaan annosperiaatteella toimivalla koneistolla, massanäyte on otettava vähintään kolmesta eri annoksesta. Jatkuvatoimisen koneiston kyseessä ollessa näyte on otettava vähintään 1.5 tonnin massaerästä.

Näyte otetaan yleensä kuorma-autoon puretusta massasta vähintään viidestä eri kohdasta. Näytteitä ei saa ottaa kuorman pintakerroksesta. Jos näyte lähetetään tutkittavaksi tutkimuslaitokseen, näytteen määrän on oltava rakeisuuden, sideainepitoisuuden ja Marshall-lujuuden määrittystä varten vähintään 10 kg. Mikäli on tarkoituksena selvittää näytteestä kiviaineksen ja sideaineen eri laatuominaisuudet, näytteen määrän on oltava vähintään 20 kg. Näytteet tulee pakata puu- tai peltiastiaan.

Jos näyte on tarkoitettu tutkia työmaalla, on 6...9 kg määrä riittävä. Näyte sekoitetaan huolellisesti ja jaetaan neljään osaan. Vastakkaiset kaksi osaa yhdistetään ja jaetaan uudelleen neljään osaan. Tämän jälkeen vastakkaiset osat yhdistetään ja niiden muodostama näyte käytetään tutkimukseen. Massan suurimmasta raekoosta riippuen sideainepitoisuuden ja rakeisuuden määrittämiseen tarvitaan taulukon 12 mukaiset vähimmäisnäytemäärät.

*Taulukko 12. Massanäytteen vähimmäismäärä.*

Suurin rokokoko (mm)	Näytemäärä (g)
≤ 12	> 1 000
≤ 20	> 1 250
> 20	> 1 500

Öljysora- ja bitumisoranäytteitä tutkittaessa on näytteen määrä kuitenkin vain noin 1 000 g.

## 2.22 SIDEAINEPITOISUUS

Sideainepitoisuudella (S) tarkoitetaan tässä päällystysmassan sisältämän sideaineen määrää, joka ilmaistaan painoprosenteina kuivan massan painosta. Sideainepitoisuuden määrittämistä varten on kehitetty useita menetelmiä. Useimmissa menetelmissä sideaine pestään liuotinaineen avulla kiviaineksesta. Tämän jälkeen sideainepitoisuus voidaan määrittää joko tislaamalla sideaine liuotinaineesta tai laskemalla sideainemäärä massanäytteen ja pestyn kiviaineksen painoerotuksena.

Keinutislaus-, keinusuoatus- ja sentrifugimenetelmiä käytetään kuivattun massanäytteen sideainepitoisuuden määrittämiseen. Näitä menetelmiä käytettäessä tutkittavat näytteet on ennen määrittystä kuivattava vähintään 5 tuntia noin 105°C lämmössä. Mikäli kuitenkin on kysymys vastikään valmistetusta kuumasekoitteisesta massasta, kuivaus ei ole tarpeen.

Shoksllett-menetelmää käytetään yleensä vain öljysoran ja bitumiliuosoran sideainepitoisuuden määrittämiseen, jolloin samalla saadaan tutkiksi näytteen vesipitoisuus. Tätä menetelmää käytettäessä näytteitä ei kuivata ennen määrittystä.

Jäljempänä selostetaan sideainepitoisuuden määrittystapa eri menetelmien mukaan. Tällöin luetellaan myös menetelmän kannalta oleelliset



laboratoriolaitteet. Apuvälineistö, kuten esim. kuivausuunit ym. jätetään mainitsematta.

## 2.221 KEINUTISLAUS- MENETELMÄ

Keinutislausmenetelmässä sideainepitoisuus määritetään liuottamalla seulontakeinussa näytteen sideaine liuotinaiseeseen ja laskemalla liuotinaiseesta otetusta näytteestä tislatus sideaine-erän perusteella näytteen kokonaissideainemäärä. Kun menetelmässä edellytetään erityistä tarkkuutta ja sellaisten laitteiden käyttöä, jotka eivät yleensä kuulu kenttälaboratoriolakusteisiin, sen käyttöä suositellaan vain kiinteisiin laboratorioihin.

### Laitteet:

- Seulontakeinu ja seulat (0,074 mm, 0,125 mm, 1 tai 2 mm ja 4 mm)
- Vaaka, kapasiteetti vähintään 2 000 g ja tarkkuus 0,1 g
- Tarkkuusvaaka, kapasiteetti vähintään 100 g ja tarkkuus 0,01 g
- Sentrifugi, kupit vähintään 50 ml
- Pienoistislauslaite

Näyte punnitaan ja kaadetaan seulontakeinuun. Seulontakeinuun lisätään 1 400 ml metyleenikloridia. Keinu käynnistetään ja sen annetaan käydä 20 min. Tämän jälkeen seulontakeinusta pipetoidaan liuotinta noin 100 ml sentrifugin kuppeihin. Liuotinta sentrifugoidaan 10 min. ajan nopeudella, joka antaa vähintään 1 000 g suuruisen keskipakovoiman. Tällöin liuottimessa oleva hieno kiviaines

erottuu kuppien pohjalle. Heti sentrifugoinnin jälkeen pipetoidaan 25 ml kaksoisnäytteet tislaukspuloihin, joiden paino tunnetaan. Kuumentamalla pulloja lämpöhauteessa tislataan metyleenikloridi pois käyttämällä tavallista painetta. Tämän jälkeen pulloja pidetään vakuuissa 10 min. Pullot tislauksjännöksineen siirretään vakuuista kuivauskaappiin 100°C lämpötilaan 10 min. ajaksi, jonka jälkeen pullot jäädytetään huoneen lämpöön eksikaattorissa. Lopuksi suoritetaan punnitukset ja lasketaan pulloihin jääneen sideainemäärä.

Näytteen sideainemäärä lasketaan kaavasta (43).

$$(43) W_b = \frac{W_t V \gamma_{sb}}{V_t - \gamma_{sb} W_t}$$

$W_b$	näytteen sideainemäärä (g)
$W_t$	sideainen paino tislauksen jälkeen (g)
$V$	metyleenikloridin kokonaistilavuus (cm <sup>3</sup> )
$V_t$	tislaukseen otetun liuotimen tilavuus (cm <sup>3</sup> )
$\gamma_{sb}$	sideainen ominaispaino (g/cm <sup>3</sup> )

Sideainepitoisuus lasketaan kaavasta (44).

$$(44) S = 100 \frac{W_b}{W_n}$$

$S$	sideainepitoisuus (%)
$W_n$	näytteen paino (g)

Menetelmän tarkkuus on noin 0,1 %-yksikköä. Huomattavimmaksi virhetekijäksi on todettu se, ettei kiviainesta ole pesty puhtaaksi sideainesta ennen liuotinainenäytteen ot-

toa. Tämän virhetekijän eliminoimiseksi on aina ennen liuotinnäytteen ottoa tarkastettava kiviaineksen peseytyneisyys. Tarvittaessa pesua on jatkettava pidempään kuin edellä mainitut 20 min.

## 2.222 KEINUSUODATUS- MENETELMÄ

Keinusuodatusmenetelmässä sideainepitoisuus määritetään liuottamalla näytteen sideaine seulontakeinussa liuotinaineseen ja laskemalla sideainemäärä alkuperäisen näytteen painon ja pestyn kiviaineksen painon erotuksena. Menetelmä soveltuu helpokäyttöisten laitteittensa ansiosta kenttälaboratoriokäyttöön.

### Laitteet:

- Seulontakeinu ja seulat (0,074 mm, 0,125 mm, 1 tai 2 mm ja 4 mm)
- Vaaka, kapasiteetti vähintään 2 000 g ja tarkkuus 0,1 g
- Suodatuslaite imupumppuineen.

Näyte punnitaan ja kaadetaan seulontakeinuun. Seulontakeinuun lisätään noin 1 500 ml metyleenikloridia. Näytettä pestään noin 5 min. Keinun poistoventtiili avataan ja liuotin johdetaan suodatuslaitteeseen, jonka välipohjan päälle on asetettu suodatinpaperi (esim. Schleicher & Schüll n:o 575 tai 1575). Suodatinlaitteen imupumppu käynnistetään. Suodatettu liuotinaine kaadetaan uudelleen seulontakeinuun ja pesua jatketaan 10 min., jonka jälkeen suoritetaan uusi suodatus. Tätä ennen on suodatuslait-

teeseen vaihdettava uusi suodatinpaperi. Seulontakeinuun lisätään noin 1 000 Seulontakeinuun lisätään noin 1 000 ml puhdasta metyleenikloridia ja näytettä pestään edelleen 5 min., jonka jälkeen tarkastetaan, onko kiviaines peseytynyt puhtaaksi. Jos osoittautuu tarpeelliseksi, jatketaan pesua 5 min. jaksoin ja välillä tarkastetaan kiviaineksen puhtaus. Lopuksi suoritetaan liuotinaineen suodatus käyttämällä taaskin uutta suodatinpaperia. Tämän jälkeen kiviaines ja suodatinpaperit kuivataan 150...200° C lämmössä 0.5...1.0 tunnin ajan. Suodatinpaperit poltetaan ja niissä ollut kiviaines ja muu kiviaines punnitaan. Sideainepitoisuus lasketaan kaavasta (45).

$$(45) S = 100 \frac{W_n - W_k}{W_n}$$

S sideainepitoisuus (%)  
W<sub>n</sub> näytteen paino (g)  
W<sub>k</sub> kiviaineksen yhteispaino (g)

Suodatuksen asemesta voidaan seulontakeinussa 0.074 mm seulan läpäiseeseen aineksen erottamiseen käyttää myös sentrifugointia.

Menetelmän tarkkuus on 0.1 %-yksikköä. Tämän tarkkuus edellyttää kuitenkin erittäin huolellista työskentelyä. Suurimpina virhetekijöinä ovat laitteissa ilmenneet vuodot, huolimaton kiviaineksen kerääminen punnitukseen ja se, että filleriaine on päässyt läpäisemään suodatinpaperin. Kun mainitut tekijät aiheuttavat sen, että kiviaineksen paino tulee todellista pienemmäksi, saadaan tätä menetelmää käytettäessä virhetapauksissa useimmiten todellista suurempia sideainepitoi-

suuksia. Liitteessä 21 esitetään tulosten laskemiseen ja merkitsemiseen käytetty lomake.

## 2.223 SENTRIFUGIMENETELMÄ

Sentrifugimenetelmässä sideainepitoisuus määritetään kuten edellä keinusuodatusmenetelmässäkin alkuperäisen näytteen painon ja sideaineesta puhtaaksi pestyn kiviaineksen painon erotuksen avulla. Päälystemassojen tutkimiseen valmistettujen sentrifugien maljan tilavuus on yleensä niin pieni (noin 2 000 cm<sup>3</sup>), että niissä voidaan käsitellä enintään 1 200 g massaa kerrallaan. Jos tutkittavan massan suurin raekoko edellyttää suurempaa tutkittavan näytteen määrää, käsittely on suoritettava kahdessa erässä.

### Laitteet:

- Sentrifugi
- Vakua kapasiteetti vähintään 2 000 g ja tarkkuus, 0,1 g

Näyte punnitaan ja pannaan (enintään 1 200 g) sentrifugin maljaan. Suodatinpaperirengas sijoitetaan maljan päälle ja kansi kiinnitetään paikalleen. Malja lukitaan akselilleen ja siihen kaadetaan noin 200 ml metyleenikloridia. Ennen käynnistystä liuottimen annetaan pehmentää näytettä muutaman minuutin ajan. Aluksi käytetään hidasta pyörimisnopeutta, jotta massa jakaantuu tasaisesti maljaan. Nopeutta lisätään vähitellen ja samalla seurataan liuottimen poisvirtausta ulostuloputkesta. Kun liuotin on loppunut, lisätään uutta noin 200 ml.

Tämä toistetaan 4...6 kertaa. Sentrifugointi lopetetaan, kunnes ulosvirtaava liuotin on lähes puhdasta ja kiviaines täysin peseytynyttä. Kanteen tarttunut kiviaines harjataan maljaan. Malja ja suodatinpaperirengas kiviaineksineen kuivataan 150...200° C lämmössä 0,5...1,0 tunnin ajan. Suodatinpaperi poltetaan ja siinä ollut kiviaines lisätään muuhun kiviainekseen, joka punnitaan. Sideainepitoisuus lasketaan kaavasta (46).

$$(46) S = 100 \frac{W_n - W_k}{W_n}$$

S sideainepitoisuus (%)

W<sub>n</sub> näytteen paino (g)

W<sub>k</sub> kiviaineksen paino (g)

Menetelmän tarkkuus on 0,1 %-yksikköä. Tähän pääseminen edellyttää huolellista työskentelyä. Suurin virheenaiheuttaja tämän menetelmän käytössä on, että osa hienointa kiviainesta poistuu maljasta liuottimen mukana. Tästä on seurauksena todellista korkeammat sideainepitoisuusarvot. Tämä virhe voidaan todeta sentrifugimalla ulosvirrannutta liuotinta keinutislausmenetelmässä käytettävällä sentrifugilla.

## 2.224 SHOKSLETT-MENETELMÄ

Shokslett-menetelmässä sideaine otetaan liuottimen avulla pois kiviaineksesta ja samalla näytteessä oleva vesi kerätään vedeneroittimeen. Sideainepitoisuus lasketaan näytteen kuivapainon ja kiviaineksen painon erotuksen avulla sekä vesipitoisuus prosentteina kuivan kiviaineksen painosta.

Menetelmää käytetään öljysoran ja bitumisoran tutkimiseen.

#### Laitteet:

- Shokslett-laite
- Vaaka, kapasiteetti vähintään 2 000 g ja tarkkuus 0.1 g

Käytettävään shokslett-laitteeseen kuuluu neljä osaa: keittopullo kuumennusvaippoineen, shokslett-osa, vedenerotin ja jäädytin. Toimintaperiaatteena on, että keittopullossa oleva liuotin höyrytetään, tiivistetään jäädyttimessä uudelleen nesteeksi ja valutetaan shokslett-osassa olevaan näytteeseen, josta liuotin liuottaa sideainetta. Shokslett-osaan kuuluu erityinen lappoputki, joka palauttaa liuotimen keittopulloon. Tämän jälkeen prosessi alkaa uudelleen.

Näyte sullotaan pahvilieriöön (Schleicher & Schüll 275×60 mm) ja suoritetaan punnitus. Tätä ennen lieriötä on kuivattava 0.5 tuntia 150...200° C lämmössä ja se on punnittava. Lieriö asetetaan näytepesään.

Keittopulloon kaadetaan ksyleeniä 1 200...1 500 ml. Puhdas ksyleeni imee itseensä hieman vettä. Tämän vuoksi siihen on ennen käyttöä lisättävä pieni määrä vettä ja lämmitettävä sekä ravisteltava. Seoksen annetaan seistä yli yön, jonka aikana pohjalle laskeutunut veden ylimäärä erotetaan pois.

Laite kootaan, jäädytysvesi johdetaan jäädyttimeen ja keittopulloa aletaan lämmittää. Ksyleenin kiehumispiste on noin 140° C. Määrityksen nopeuttamiseksi shokslett-osa eristetään lämpösuojuksella. Keittämistä

jatketaan, kunnes näytepesässä oleva liuotin on lähes kirkasta. Sideaineen liukeneminen tapahtuu noin 2 tunnin kuluessa. Tänä aikana ei kuitenkaan kaikki näytteessä ollut vesi ole ehtinyt keräytyä vedenerottimeen. Tämän vuoksi lämmitystä jatketaan vähintään 3 tuntia.

Uuttamisen jälkeen lieriö poistetaan näytepesästä ja tyhjennetään kuivatusastiaan. Samalla mitataan vedenerottimeen kertynyt vesimäärä. Näytettä ja lieriötä kuivataan 150...200° C lämmössä 1...2 tuntia. Kiviaines ja lieriö punnitaan ja lasketaan kiviaineksen paino. Sideainepitoisuus lasketaan kaavasta (47).

$$(47) S = 100 \frac{W_n - W_k - W_v}{W_n - W_v}$$

S sideainepitoisuus (%)  
W<sub>k</sub> kiviaineksen paino (g)  
W<sub>n</sub> kostean näytteen paino (g)  
W<sub>v</sub> veden paino (g)

Vesipitoisuus (%) lasketaan kaavasta (48).

$$(48) w = 100 \frac{W_v}{W_k}$$

Shokslett-menetelmää käyttäen saavutetaan huolellisesti työskennellen sideainepitoisuudesta tarkkuus 0.1 %-yksikköä. Epätarkkuutta aiheutuu siitä, ettei kiviaineksen pesua ole suoritettu riittävän tarkasti. Vesipitoisuudessa virhettä voi muodostua siitä, että veden ja ksyleenin raja vedenerottimessa on vaikea todeta ja että vettä on emulgoituneena ksyleeniin erottimessa. Tulosten laskemiseen ja merkitsemi-

seen käytetään liitteessä 22 olevaa lomaketta.

## 2.23 RAKEISUUDEN MÄÄRITYS MASSANÄYTTEESTÄ

Kiviaineksen rakeisuudella tarkoitetaan eri raekokojen painosuhteita. Rakeisuuden kuvaajana käytetään käyrää, joka ilmaisee eri suuret seulat läpäisyyttä ainemäärää painoprosentteina. Rakeisuuden määrittäminen suoritetaan seulasarjalla ja koneellisella seulatäryttimellä. Muut laitteet on mainittu kohdassa 2.121.

Seulontakeinussa pestyn kiviaineksen rakeisuus määritetään kuivaseulonnalla ja sentrifugi- sekä shokslentmenetelmillä pestyn kiviaineksen rakeisuus pesuseulonnalla.

Valmiista päällysteestä otettujen näytteiden poraaminen katkoo kivirakeita. Jotta massan kiviaineksen rakeisuudesta saadaan virheettömät tulokset, poranäytteistä on kuorittava pois pintakerros porauksen vaikutuksen eliminoimiseksi. Kuorimisen helpottamiseksi näytettä pehmennetään lämmittämällä. Yhteisnäytemäärien on täytettävä kohdassa 2.212 esitetyt vaatimukset.

### 2.231 KUIVASEULONTA

Kiviainesta kuivataan ennen seulontaa 150...200°C lämmössä 1...2 tuntia. Kiviaines punnitaan. Tämän jälkeen suoritetaan seulonta. Seulontaan otetaan koko tutkittava kiviaines lukuunottamatta seulontakeinussa 0.074 mm seulan läpäisyyttä ainesta. Ravisteluaajan on oltava 10

...15 min. Tämän jälkeen eri seuloille jääneet seulet tyhjennetään punnitusmaljaan puhdistuen samalla seulat huolellisesti harjaten. Seulet punnitaan ja tulokset merkitään muistiin. Keinutislausmenetelmällä pestyn kiviaineksen 0.074 mm seulan läpäisyyttä saadaan laskemalla yhteen seulonnassa saatu määrä sekä alkuperäisen näytteen paino ( $W_n$ ) vähennettynä sideainemäärällä ( $W_b$ ) sekä seulontakeinussa 0.074 mm seulan läpäisemättömän aineksen määrällä. Vastaavasti keinu-suodatusmenetelmällä pestyn kiviaineksen 0.074 mm seulan läpäisyyttä saadaan laskemalla seulonnassa saatu 0.074 mm läpäisyyttä määrä sekä suodatuksessa suodatinpaperille jääneen aineksen määrä yhteensä.

Eri seuleiden määrät lasketaan yhteen. Summa saa poiketa alkuperäisestä määrästä enintään 0.5 %. Tämän jälkeen lasketaan, montako prosenttia eri seuleitten painot ovat yhteismäärästä. Eri seulojen läpäisyprosentit määrätään yhteenlaskemalla kyseistä seulaa pienemmille seuloille jääneiden seuleiden prosenttiluvut. Pelkät läpäisyprosentit eivät anna havainnollista kuvaa kiviaineksen rakeisuudesta, vaan tätä varten on piirrettävä rakeisuus-käyrä käyräpohjalle.

Seulonnan tarkkuus riippuu välineistöistä ja työn huolellisuudesta. Suurimpina virhetekijöinä ovat seulojen tukkeutumiset, seulaverkkojen kuluisuus sekä riittämätön ravistelu. Ravistelun tehokkuus voidaan selvittää ravistelemalla koneellisen ravistelun jälkeen kutakin seulaa käsin pöydälle levitetyn paperin päällä.

## 2.232 PESUSEULONTA

Tutkittava kiviaines kuivataan ja punnitaan kuten edellä kuivaseulonassa. Tämän jälkeen aine pannaan pesuastiaan ja lisätään vettä. Ainesta sekoitetaan sormin tai harjalla siten, että hienoaines liettyy veteen. Karkean aineksen annetaan painua pesuastian pohjalle ja sameutunut vesi kaadetaan korkealaitaiselle 0.074 mm seulalle. Nämä toimenpiteet toistetaan niin useasti, että vesi pesun jälkeen säilyy puhtaana. Pesun päätyttyä pesuastiaan ja seulalle jäänyt aines kuivataan, punnitaan ja seulotaan kuten kuivaseulonassa. Laskelmissa pesutappio otetaan huomioon 0.074 mm seulan läpäisseenä aineksena.

## 2.24 MASSAN TIIVISTYVYYS

Koekappaleita valmistetaan päällystystyömaalla päällysteen tiiviyden ja muiden ominaisuuksien tarkkailua varten sekä laboratoriossa asfalttimassan ennakkosuhteitusta varten. Työmaalla ko. kappaleiden valmistukseen käytetään sekoitusasemalla valmistettua, sideainepitoisuuden ja rakeisuuden määrittystä varten otetusta näytteestä saatua massaa. Ennakkosuhteitusta varten tarvittava massa valmistetaan laboratoriossa käyttäen kolmea tai useampaa sideainepitoisuutta ja tarvittaessa myös kahta tai useampaa eri kiviaineksen suhteitusta. Työmaalla koekappaleita valmistetaan yleensä vähintään 1 600 tonnin massan valmistuserän välein eli joka neljännen sideainepitoisuus- ja rakeisuusmäärittelyn yhteydessä. Jokaisesta massaerästä val-

mistetaan vähintään kolme koekappaleita. Jäljempänä selostettuja menetelmiä voidaan käyttää sellaisten asfalttimassojen tutkimiseen, joiden suurin rakekoko on enintään 25 mm.

Ryhdyttyessä valmistamaan ennakkosuhteitusta varten koemassaa, on ensiksi selvitettävä, millainen tulee olla massan koostumus: kiviaineksen rakeisuus, sideainepitoisuus ja sideainen laatu. Yhteen koekappaleeseen tarvittava massaerä valmistetaan aina kerrallaan. Tätä varten lasketaan ja punnitaan käytettävät kiviaineseuleet, joiden yhteispainon tulee olla 1 200 g sekä tarvittava sideainemäärä (liite 23). Kiviaineserä sekoitetaan huolellisesti ja se sekä sideaine-erä lämmitetään 150°C lämpöön lämpökaapissa. Kiviaines ja sideaine sekoitetaan huolellisesti tasalaatuiseksi massaksi käyttäen lämmitettävää sekoitusastiaa. Valmiit massaerät pannaan uudelleen lämpökaappiin koekappaleiden valmistusta varten.

## 2.241 MARSHALL-MENETELMÄ

Koekappale valmistetaan tiettyyn lämpötilaan lämmitetystä asfalttimassasta sullomalla näytettä muotissa määrätyllä tavalla erityisellä sullontalaitteella. Menetelmässä käytetty sullontatapa on sellainen, että työmaalla erittäin tehokasta jyräystä käyttäen saadaan päällysteen tilavuuspaino yhtä suureksi kuin sullotun koekappaleen tilavuuspaino.

Laitteet:

- Marshall-sullontalaite, käsikäyttöinen tai koneellinen
- Sullontamuotti, halkaisija 100 mm

Sullontamuotti puhdistetaan ja käsitellään kevyesti moottoripetrootilla. Jokaiseen koekappaleeseen tarvitaan massaa noin 1 250 g. Massaerät lämmitetään 150°C lämpöön ja pannaan kukin kerrallaan sullontamuottiin. Näytteen pinta tasataan. Näyte suljetaan tiiviiksi kappaleeksi sullontalaitteella siten, että näytteen kumpaakin puolta tiivistetään 50 iskulla. Sullonta on suoritettava loppuun viimeistään kolmen minuutin kuluttua siitä, kun näyte on otettu lämpökaapista. Muotin annetaan jäähtyä ja koekappale irrotetaan muotista. Koekappaleet numeroidaan ja niitä säilytetään vaakasuoralla, sileällä alustalla viileässä paikassa ennen varsinaisia tutkimuksia.

## 2.242 PURISTUSMENETELMÄ

Puristusmenetelmässä korvataan edellä selostettu vasarasullonta koneellisella puristuksella. Käytettävän muotin on oltava paksuseinäinen ( $\geq 10$  mm). Muotin halkaisija ja sisäkorkeus ovat 100 mm. Näyte-erä, määrä noin 1 250 g, kaadetaan muottiin. Muotti ja näyte lämmitetään 150°C lämpöön. Puristus suoritetaan puristuslaitteessa siten, että kuormitus nostetaan nopeudella 5 cm/min. 12 tonniin. Tämän puristuksen annetaan vaikuttaa 60 sekuntia. Muotti poistetaan laitteesta. Sen annetaan jäähtyä huoneenlämpöön ja koekappale poistetaan varovasti. Koekappaleet numeroidaan ja säilytetään kuten Marshall-menettelmällä valmistetut koekappaleet.

Puristusmenetelmällä valmistettujen koekappaleiden tilavuuspaino on yleensä hieman pienempi kuin Mar-

shall-menettelmällä valmistettujen ja siten puristusmenetelmällä valmistettujen koekappaleiden ominaisuudet vastaavat yleensä paremmin päällysteestä otettujen poranäytteiden ominaisuuksia. Jotta puristusmenetelmässä päästäisiin vastaaviin arvoihin kuin Marshall-menetelmässä, puristuksen suuruudeksi tulisi valita noin 20 tonnia.

## 2.25 KOEKAPPALEEN RAKENNEOMINAISUUDET

Jäljempänä selostettavia menetelmiä voidaan käyttää sullomalla ja puristamalla valmistettujen koekappaleiden sekä päällysteestä irroitettujen näytteiden tutkimiseen.

### 2.251 TILAVUUSPAINO

Tilavuuspainolla tarkoitetaan tässä tilavuusyksikön suuruisen kappaleen kuivapainoa. Tilavuuspaino ilmaisee päällysteen tiiviysasteen. Erilaatuisten päällysteiden tilavuuspainoarvoja vertaillaessa on otettava huomioon kiviaineksen ominaispaino ja sideainepitoisuus.

Laitteet:

— Vaaka, kapasiteetti vähintään 2 000 g ja tarkkuus 0,1 g. Vaa'assa tulee olla punnituskoukku vedessä punnitusta varten.

Tutkittava koekappale puhdistetaan harjalla. Mikäli päällystenäytteeseen on tarttunut kiinni muun kuin tutkittavan kerroksen materiaalia, tämä aines poistetaan. Koekappale kuiva-

taan +30°C lämmössä vähintään 18 tuntia käyttäen 500 mm vakuumia. Koekappale punnitaan, jolloin painoksi saadaan  $W_n$ . Tämän jälkeen kappale pannaan +20°C lämpöiseen veteen yhden tunnin ajaksi. Koekappaleesta kuivataan ylimääräinen vesi kostealla liinalla ja suoritetaan punnitus ( $W_1$ ). Tämän jälkeen kappale punnitaan +20°C vedessä ( $W_2$ ). Tilavuuspaino lasketaan kaavasta (49).

$$(49) \gamma = \frac{W_n}{W_1 - W_2}$$

Mikäli koekappale on erittäin huokoinen, se on ennen punnitusta vedessä käsiteltävä parafiinissa. Käsitely suoritetaan upottamalla kappale useita kertoja 60°C-lämpöiseen parafiiniin. Käsitelyn aikana on tarkastettava, ettei parafiinikalvon ja näytteen väliin ole päässyt ilmakuplia. Ne on puhkaistava ennen viimeistä upotusta. Parafinoitu kappale punnitaan ilmassa ( $W_1$ ) ja sen jälkeen vedessä ( $W_2$ ) yllä selostetulla tavalla. Tilavuuspaino lasketaan kaavasta (50)

$$(50) \gamma = \frac{W_n}{W_1 - (W_2 + \frac{W_1 - W_n}{\gamma_{sp}})}$$

$\gamma_{sp}$  parafiinin ominaispaino (0.889 g/cm<sup>3</sup>).

Kun on kysymys vastavalmistettua koekappaletta koskevasta tilavuuspai-

$$(51) \gamma_s = \frac{W_1 - W_p}{V - (\frac{W_2 - W_1}{\gamma_{st}} + W_3 - W_2)}$$

$W_p$  pullon paino (g)  
 $V$  pullon tilavuus (cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{st}$  trikloretyleenin ominaispaino (g/cm<sup>3</sup>)

nomäärityksestä, ei koekappaletta tarvitse kuivata ennen ensimmäistä punnitusta.

Menetelmän tarkkuus on yleensä 0.01 kg/dm<sup>3</sup>. Virhettä aiheutuu kappaleen pintaan muodostuvista ilmakuplista ja siitä, että koekappale on niin huokoinen, että vesi on tunkeutunut sen sisään.

## 2.252 OMINAISPAINO

Asfalttimassan ominaispainolla tarkoitetaan kiviaineksen ja sideaineen yhteistä ominaispainoa. Massan ominaispainoa tarvitaan tyhjätilan laskeamiseen.

Tutkittava näyte, noin 400 g, kuivataan kuivauskaapissa 110°C lämmössä. Näyte hienonnetaan ja sen annetaan jäähtyä. Näyte kaadetaan leveäsuiseen pulloon, jonka paino ja tilavuus tunnetaan. Pulloon kaadetaan trikloretyleenä niin paljon, että näyte peittyy. Pulloa ravistellaan ja sen annetaan seistä vähintään 12 tuntia huoneenlämmössä. Pulloa ravistellaan uudelleen ja se täytetään lähes täyteen tislattulla vedellä. Pullo sijoitetaan yhdeksi tunniksi +25°C vesihauteeseen, täytetään tislattulla vedellä kokonaan ja suljetaan tiiviisti hiotulla lasilevyllä. Pullo punnitaan massan lisäyksen jälkeen ( $W_1$ ), trikloretyleenin lisäyksen jälkeen ( $W_2$ ) ja vedellä täytön jälkeen ( $W_3$ ). Massan ominaispaino lasketaan kaavasta (51).



Ominaispainomääritys voidaan tehdä myös vakuumiexikaattoria käyttäen. Tällöin näyte kuivataan, hienonnetaan ja punnitaan kuten yllä on mainittu. Näyte pannaan astioineen eksikaattoriin veden alle. Eksikaattorissa pidetään 15...20 Hg mm alipainetta 20 min. ajan. Astia otetaan eksikaattorista ja punnitaan vedessä. Ominaispaino lasketaan kaavasta (52).

$$(52) \gamma_s = \frac{W_n}{W_n - W_v}$$

$W_n$  näytteen paino (g)  
 $W_v$  näytteen paino vedessä (g)

Menetelmien tarkkuus on noin 0.01 kg/dm<sup>3</sup>-yksikköä. Virheitä aiheutuu siitä, ettei näytettä hienonnetta kylliksi ja siitä, että näytteeseen on jäänyt kosteutta ennen kuivapunnitusta.

### 2.253 TYHJÄTILA

Päällysteen tyhjätilalla tarkoitetaan päällysteessä olevaa, yleensä ilmalla ja vedellä täyttynyttä huokosmäärää lasketuna tilavuusprosentteina. Tyhjätila ilmaisee päällysteen tiiviiden. Tyhjätilan suuruus riippuu pääasiassa päällystemassan kiviaineksen rakeisuudesta sekä sideainepitoisuudesta ja siitä, miten tiivistystyö on suoritettu. Sääsuhteistamme sekä suolauksen käytöstä talvikunnossapitoon aiheutuu, että päällyste jäätyy ja sulaa hyvin useasti talvikauden aikana. Jäätyminen ja sulamisen päällystettä rapauttava vaikutus on sitä voimakkaampi, mitä korkeampi on päällysteen tyhjätila. Tyhjätilan voidaan ajatella koostuvan avoimista ulkoilmaan

yhteydessä olevista huokosista ja sulkeutuneista huokosista. Avoimet huokokset ovat rapautumisen kannalta vaarallisempia kuin sulkeutuneet huokokset.

Päällysteen tyhjätila voidaan selvittää joko laskemalla tai määrittelemällä se vedenimeytymislukuna. Tyhjätila voidaan laskea, jos tunnetaan päällysteen tilavuuspaino sekä massan ominaispaino. Päällystemassan ominaispaino voidaan selvittää kokeellisen määrittämisen avulla tai laskemalla osa-ainesten ominaispainojen ja seossuhteen avulla.

### Tyhjätilan määrittäminen laskemalla

Laskemalla saatu tyhjätila on yleensä aina suurempi kuin vedenimeytymisluku. Viimeksi mainitussa eivät sulkeutuneet pienet huokokset tule huomioonotetuiksi. Näiden sulkeutuneiden huokosten määrästä riippuu, kuinka suureksi vedenimeytymisluvun ja lasketun tyhjätilan ero muodostuu. Jos koekappaleessa on kuitenkin suuria avoimia huokosia, voi vedenimeytymisluku olla määrittävistä johtuen suurempi kuin laskemalla saatu tyhjätila.

Koekappaleen tilavuuspainon ja ominaispainon määrittämisestä on annettu ohjeet kohdissa 2.251 ja 2.252. Näiden arvojen perusteella tyhjätila voidaan laskea kaavasta (53).

$$(53) T = 100 - \frac{100 \gamma}{\gamma_s}$$

$\gamma$  koekappaleen tilavuuspaino (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\gamma_s$  massan ominaispaino (g/cm<sup>3</sup>)

Jos tunnetaan tarkoin päällystemas-  
san seossuhde ja raaka-aineiden omi-  
naispainot, voidaan massan ominais-  
paino laskea niiden perusteella. Tämä  
on mahdollista esimerkiksi silloin, kun  
on kysymys ennakkosuhteitusta varten  
laboratoriossa valmistetuista koekap-  
paleista. Päällystystyömailla massan  
seossuhde ja kiviaineksen ominais-  
paino vaihtelevat yleensä niin paljon,  
ettei massan ominaispainoa saada las-  
ketuksi riittävän tarkasti. Päällyste-  
näytteitä tutkittaessa on tämän vuoksi  
massan ominaispaino määritettävä erik-  
seen jokaisesta kaistanäytteestä. Jos  
päällysteessä esiintyy sivusuuntaista la-  
jittumaa, ominaispaino on kuitenkin  
määritettävä erikseen jokaisesta pora-  
näytteestä. Massan ominaispaino las-  
ketaan kaavasta (54).

$$(54) \gamma_s = \frac{100}{\frac{S}{\gamma_{sb}} + \frac{K}{\gamma_{sk}} + \frac{F}{\gamma_{sf}}}$$

- S sideainepitoisuus (%)  
 $\gamma_{sb}$  sideaineen ominaispaino  
 (g/cm<sup>3</sup>)  
 K kiviainemäärä (%)  
 $\gamma_{sk}$  kiviaineksen ominaispaino  
 (g/cm<sup>3</sup>)  
 F filleri tai muu lisäainemäärä  
 (%)  
 $\gamma_{sf}$  fillerin tai muun lisäaineen  
 ominaispaino (g/cm<sup>3</sup>)

Laskettuun massan ominaispaino-  
arvoon saattaa muodostua virhettä  
esim. siitä, että kiviaines absorboi  
sideainetta. Tällöin laskettu ominais-  
painoarvo jää todellista pienemmäksi.

#### Vedenimeytymisluvun määrittäminen

Menetelmä ei sovellu sellaisten koe-  
kappaleiden tutkimiseen, joissa on

suuria huokosia tai joiden suurin rae-  
koko on 12 mm tai pienempi.

#### Laitteet:

- Vakuuieksikaattori, suuruus vä-  
hintään 10 l elohopeamanometri-  
neen ja imupumppuineen.
- Vaaka, kapasiteetti vähintään  
2 000 g ja tarkkuus 0.1 g.

Tutkittavat koekappaleet puhdiste-  
taan ja niistä poistetaan varovasti  
aines, joka ei kuulu tutkittavaan ker-  
rokseen. Kappaleet kuivataan kuivaus-  
kaapissa + 30° C lämmössä ja 400  
mm elohopeapatsasta vastaavassa ali-  
paineessa niin pitkään, ettei niissä  
enää todeta painon vähentymistä, kui-  
tenkin vähintään 18 tuntia. Kappa-  
leet punnitaan ( $W_n$ ) ja pannaan tä-  
män jälkeen yhdeksi tunniksi 20° C  
lämpöiseen veteen. Ne pyyhitään kos-  
tealla pyyhkeellä ja punnitaan sitten  
ilmassa ( $W_1$ ) ja vedessä ( $W_2$ ). Pun-  
nitusten jälkeen kappaleet asetetaan  
vakuuieksikaattoriin veteen siten,  
että niiden päällä on vähintään 10  
cm vettä. Eksikaattoriin imetään ali-  
paine siten, että muodostuu 15 mm  
elohopeapatsasta vastaava alipaine  
noin 30 minuutissa. Tätä alipainetta  
pidetään eksikaattorissa kolmen tun-  
nin ajan, jonka jälkeen koekappaleet  
saavat olla vedessä normaalipaineessa  
vielä kaksi tuntia. Eksikaattorissa ole-  
van veden lämpötilan on oltava mah-  
dollisimman alhainen, jotta koekappa-  
leet kestävät paremmin alipaineesta  
aiheutuvia voimia. Jos koekappalei-  
den sideaineena on bitumi B-200 tai  
sitä pehmeämpi bitumi, vettä on tar-  
vittaessa jäähdytettävä jäälisäyksellä.

Vesisäilytyksen jälkeen koekappaleet pyyhitään kostealla pyyhkeellä ja punnitaan ilmassa ( $W_3$ ) sekä vedessä ( $W_4$ ). Vedenimeytysluku lasketaan kaavasta (55).

$$(55) T_v = \frac{100 (W_3 - W_n)}{W_1 - W_2}$$

Jos  $W_3 - W_4$  on suurempi kuin  $W_1 - W_2$ , koekappale on laajentunut vedessä alipaineen vaikutuksesta. Laajentumisen suuruus on:

$$(56) V_L = (W_3 - W_4) - W_1 - W_2$$

Korjattu vedenimeytysluku lasketaan tällöin kaavasta (57).

$$(57) T_v = 100 \frac{W_3 - W_n - V_L}{W_1 - W_2}$$

Vedenimeytysluvun määrittystarkkuutena pidetään 0.5 tilavuusprosenttiyksikköä. Liitteessä 24 esitetään tulosten merkitsemisessä ja laskemisessa käytetty lomake.

## 2.254 MARSHALL-LUJUUS

Marshall-menetelmällä pyritään selvittämään päällysteen vastustuskykyä plastisia muodonmuutoksia vastaan. Sen avulla voidaan tutkia päällysteestä otettuja poranäytteitä (kohta 2.211) sekä laboratoriossa valmistettuja koekappaleita kohta 2.24). Marshall-lujuus määritetään purista-

malla puolipyöreiden puristusleukojen välissä koekappaleita tasaisella nopeudella ja mittaamalla suurin puristusvoima (Marshall-lujuus) sekä tämän voiman vaikuttaessa esiintynyt muodonmuutos (flow). Marshall-menetelmää käytetään asfalttimassan enakkosuhteituksen laatimisessa, massan työnaikaisessa laadunvalvonnassa sekä valmiin päällysteen laadun arvioinnissa. Menetelmä soveltuu sellaisten asfalttimassojen tutkimiseen, joiden suurin raekoko on pienempi kuin 25 mm.

Laitteet:

- Marshall-puristin
- Termostaatilla säädettävä vesihaude

Koekappaleet numeroidaan ja mitataan niiden keskimääräinen paksuus. Paksuusmittauksen asemesta voidaan myös käyttää ilma- ja vesipunnituksin määritettävää koekappaleiden tilavuusarvoja. Koekappaleet pannaan vesihauteeseen  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  lämpötilaan, jossa ne saavat olla 25...30 minuuttia. Puristuksia aloitettaessa lämmitetään myös puristusleuat  $60^\circ\text{C}$  lämpötilaan. Koekappale otetaan vesihauhteesta ja asetetaan puristusleukojen väliin. Puristus suoritetaan nopeudella 5.0 mm/min. Jotta koekappale ei pääse jäähtymään ja jottei siten aiheudu virhettä puristustulokseen, saa vesihauhteesta ottamisesta purista-

Taulukko 13. Koekappaleen paksuudesta riippuva korjauskerroin

Paksuus cm .....	5.60	5.80	6.00	6.20	6.35	6.40	6.60	6.80	7.00	7.20
Korjauskerroin .....	1.22	1.17	1.10	1.04	1.00	0.98	0.94	0.90	0.85	0.82

misen päättymiseen saakka kulua aikaa enintään 30 sekuntia. Voimamittarin arvo luetaan sen ollessa maksimissaan ja flow-mittarin arvot puristuksen alkaessa ja maksimi voiman kohdalla.

Voimamittarin arvo muutetaan kg-arvoksi ja se korjataan koekappaleen paksuudesta riippuvalla korjauskertoimella (taulukko 13). Korjauskertoimella kerrottu maksimivoima on koekappaleen Marshall-lujuus. Flow-arvo saadaan laskemalla yllämainittujen flow-arvojen erotus. Se ilmoitetaan yleensä 1/10-tuumalukuna. Liitteessä 24 on tulosten merkitsemiseen ja laskemiseen käytetty lomake.

Uusimmissa Marshall-puristimissa on piirturi, joka piirtää mittapaperille voimamuodonmuutoskäyrän, josta voidaan puristuksen päätyttyä todeta maksimivoima ja sen kohdalla esiintynyt muodonmuutos.

Marshall-lujuus ja flow-arvo ovat suhteellisia mittalukuja, jotka kuvaavat +60°C lämmössä olevan koekappaleen lujuutta ja herkkyyttä muodonmuutoksiin. Menetelmää arvoستeltiin 60-luvun alussa varsin voimakkaasti. Katsottiin, ettei sitä käyttäen saada luotettavia päällystymassan suhteituksessa ja arvostelussa käytettäviä mitta-arvoja. Tämä aiheutti siitä, että tehtäessä rinnakkaiskokeita eri laboratorioitten saamat arvot saattoivat poiketa toisistaan jopa 20 %. Virheiden välttämiseksi on aiheellista suhteituskokeissa tehdä aina vähintään kolmen kappaleen koesarjat Marshall-tutkimuksia varten. Mikäli tällöin yksittäinen lujuus- tai flow-arvo poikkeaa keskiarvosta enem-

män kuin 20 %, tätä arvoa ei saa ottaa huomioon keskiarvoa laskettaessa.

Virheellisten tulosten välttämiseksi on riittävän useasti tarkistettava voimamittarin tarkkuus sekä laitteen puristusnopeus. Käytettävien vesihautteiden eri kohdissa saattaa veden lämpötila vaihdella varsin runsaasti. Tämän vuoksi veden lämpötilaa on kokeen aikana tarkkailtava useista eri kohdista tehtävin mittauksin.

## 2.26 PÄÄLLYSTEEN MASSA-MÄÄRÄ JA PAKSUUS

Päällysteen massamäärällä tarkoitetaan sen painoa neliometriä kohti ( $\text{kg/m}^2$ ), sen paksuudella kerroskorkeutta. Päällystystyöt teetetään yleensä käyttäen vakiota massamäärää. Eräissä tapauksissa, kuten sillanpäällystystöissä, päällyste joudutaan tilaamaan määräpaksuisena. Tällöin päällysteen katsotaan täyttävän paksuusvaatimukset, jos kutakin kerrospaksuuden senttiä kohti on levitetty massaa vähintään 25  $\text{kg/m}^2$ .

### M a s s a m ä ä r ä

Koekappale puhdistetaan ja siitä poistetaan tutkittavaan kerrokseen kuulumattomat ainekset. Kappaletta kuivataan 400 mm elohopeapatsasta vastaavassa alipaineessa 30°C lämpötilassa 18...24 tuntia. Kappale punnitaan ( $W_n$ ) ja mitataan, jos kyseessä on poranäyte, sen halkaisija neljästä kohdasta ja hakatun näytteen kyseessä ollessa sen pinta-ala. Viimeksi mainittu voidaan tehdä esim. käyttämällä

läpinäkyvää levyä, johon on piirretty  $\text{cm}^2$ -ruudukko. Poranäytteen osalta maassamäärä lasketaan kaavasta (58).

$$(58) M (\text{kg/m}^2) = \frac{W_n \cdot 40\,000}{\pi \cdot D^2}$$

D halkaisija keski-  
määrin (cm)  
W<sub>n</sub> näytteen paino  
(kg)

Jos D = 10.0 cm saadaan massa-  
määrä suoraan

$$(59) M (\text{kg/m}^2) = 0.1273 \times W_n (\text{g})$$

Hakutun koekappaleen osalta massa-  
määrä saadaan kaavasta (60).

$$(60) M (\text{kg/m}^2) = \frac{W_n \cdot 10\,000}{A}$$

A näytteen pinta-ala  
( $\text{cm}^2$ )

## Paksuus

Paksuusmittaus on tehtävä mittatulkilla vähintään neljästä kohdasta kappaleen eri puolilta. Paksuudeksi merkitään tulosten keskiarvo.

Päällysteen massamäärän ja paksuuden määrittämisen tarkkuus riippuu suurimmalta osalta määrityksiin sisällyvistä pinta-ala- ja paksuusmittauksista. Punnitukset ovat niihin verrattuna suhteellisesti tarkempia. Mene-  
telmien tarkkuus on noin 2  $\text{kg/m}^2$ .

## 2.27 TARTTUVUUS

Kiviaineksen ja sideaineen välisen tarttuvuuden selvittäminen tulee kysymykseen valmistettaessa kylmäsekoitteisia asfalttimassoja, öljysoraa ja

bitumiliuossoraa, joiden sideaineeseen lisätään tarttuvuuden parantamiseksi tartuketta. Tartukkeina käytetään mm. eräitä mono-, di- ja polyamiineja.

Selvitettäessä tartukkeen kelpoisuutta määritetään sideaineen ja kiviaineksen välinen tartuntavoima ns. Hallbergin kokeella ja lisäksi sideaineen ja veden välinen rajapintajännitys. Tällöin kokeita tehdään käyttäen sellaisia sideaine-eriä, joiden tartukepitoisuus vaihtelee. Tartukelisäyksellä pyritään mahdollisimman suureen tartuntavoiman lisäykseen siten, ettei sideaineen ja veden välinen rajapintajännitys laske liian alhaiseksi. Viimeksi mainittu aiheuttaa sideaineen emulgoitumista veteen ja sideaineen pintaan nousua päällysteessä. Tartukepitoisuuden lisääminen enentää tiettyyn määrään asti tartuntavoimaa, mutta alentaa samalla rajapintajännitystä. Tartukkeiden kelpoisuustutkimukset ovat varsin vaativia ja niitä voidaan suorittaa vain keskuslaboratorioissa.

Eräille tartukelaaduille, kuten mono- ja diamineille on ominaista, että niiden teho pienenee lämmitettäessä niitä sideaineessa yli 100°C lämmössä. Tehon pieneminen riippuu lämpötilasta ja säilytysajasta.

Työmaalla tehdään tarttuvuuskokeita, joiden avulla pyritään selvittämään, onko tartukelisäys riittävä, onko tartuke sekoittunut tasan sideaineeseen ja onko tartuke menettänyt tehoaan liian pitkän sideaineessa ta-  
pahtuneen säilytysajan vuoksi. Koe suoritetaan siten, että vähintään 10 litran astiaan kadetaan noin 5 litraa

vettä ja lisätään noin 2 kg tutkittavaa vasta valmistettua öljysora- tai bitumi-liuossoramassaa. Seosta sekoitetaan voimakkaasti yhden minuutin ajan puusauvalla. Jos sideainetta ei nouse veden pintaan, tarttuvuus on hyvä. Tarttuvuutta on pidettävä tyydyttävänä, jos pintaan nousee vähäinen öljyläikkä ja huonona, jos pintaan nousu on runsasta.

Edellä selostettu tarttuvuuden selvitystapa on varsin epätarkka. Se johtaa helposti tartukseen yliannostukseen varsinkin sellaisissa tapauksissa, joissa tartuke ei aluksi ole riittävän tasaisesti sekoittunut sideaineeseen.

### 3. KENTTÄLABORATORIOT

Kenttälaboratoriot voivat näytetutkimuksia suorittamalla palvella erilaisia suunnittelu- ja rakennustöitä. Suunnittelutehtävissä tulee kysymykseen maaperän ja kallion ominaisuuksien selvittäminen esim. tie-, silta- tai maapatosuunnitelmaa varten ja rakennustöissä erilaisten irtomaa- tai kalliomateriaalien soveltuvuuden selvittäminen tiettyyn rakenteeseen sekä murskaus-, tiivistys- ja päällystöiden tarkkailua varten otettavien näytteiden laatuominaisuuksien tutkiminen. Kenttälaboratorio on suunniteltava siten, että se on muunnettavissa kaikkiin edellä mainittaviin tehtäviin soveltuvaksi. Tierakennustöissä tehdään talvikautena yleensä kalliroleikkaus-, ja murskaustyöt, usein myös maaleikkaus ja pengerrystyöt sekä kesäkautena päällysrakenteeseen kuuluvat sidotut ja sitomattomat kerrokset. Täten rakennustöissä kuuluu talvikauden varusteisiin yleensä maa- ja murskauslaboratoriolaitteet ja kesävarusteisiin tiivistys- ja päällystystöitten tarkkailuun tarvittavat laitteet. On kuitenkin suotavaa, että kenttälaboratorio voidaan saattaa varusteiltaan niin täydelliseksi, että siinä voidaan tehdä samanaikaisesti kaikkiin yllämainittuihin tehtäviin liittyviä tutkimuksia.

Kenttälaboratorion tulee olla helposti siirrettävä, tilava ja valoisa. Sen on mieluummin oltava kaksiosainen siten, että toisessa osassa suoritetaan varsinaiset laboratoriotyöt ja toisessa osassa tarvittavat toimistotyöt. Laboratorio on pyrittävä sijoittamaan tutkimustehtävien kannalta mahdollisimman keskeiseen paikkaan. Sijoituksen määrittämisessä on otettava huomioon

sähkön ja veden saanti. Sijoituspaikka on lisäksi valittava siten, etteivät työkonet aiheuta määrittystehtävien kannalta haittaa pölyn, melun tai värinän takia.

Kenttälaboratorion sisustuksen tulee olla yksinkertainen, luja ja helposti puhdistettava. Lämmityslaitteiden on oltava sellaiset, että laboratoriossa voidaan ylläpitää normaalia huoneenlämpötilaa myös talvikautena. Turvallisuuskysymyksiin, erikoisesti paloturvallisuuteen sekä ilmanvaihtoon on kiinnitettävä erikoista huomiota. Laboratorion kiinteät laitteet, työpöydät, aputasot, hyllyköt, kirjoituspöydät ja kaapit on suunniteltava siten, että niihin voidaan tarkoituksenmukaisesti sijoittaa laboratoriokojeet ja tarvikkeet, apuaineet, lomakkeet ja muut toimistotarvikkeet sekä laborantin asusteet. Muita laboratoriotöitä häiritsevät kojeet, kuten seulontalaitteet on asennettava ja sijoitettava siten, ettei niistä aiheudu haittaa muuhun toimintaan. Marshall-koekappaleiden valmistuksessa sekä Proctor-määrityksen suorituksessa tarvittava sulonta on yleensä aina suoritettava ulkosalla. Jokaisessa laboratoriossa on oltava pesuallas laitteiden ja käsien pesua varten. Mikäli laboratorioon ei voida järjestää painevettä, on siihen asennettava yläpuolinen vesiallas, josta vettä voidaan valuttaa pesuun ja jäähdytystarkoituksiin.

Laborantti on koulutettava määrittystehtäviin, ennenkuin hänet määrätään varsinaiseen työhön. Koulutuksessa on kiinnitettävä päähuomio käytännön harjoituksiin. Jokaisen laborantin tulee osallistua kerran vuo-



nessa järjestettäviin kursseihin, joilla kerrataan mm. määräystehtävien suoritus.

Laboratoriossa tulee olla keskeisellä paikalla turvallisuusohjeet. On suotavaa, että kunkin laboratoriolaitteen kohdalla on seinällä ohjetaulu laitteen käytöstä tai määrityksen suoritustavasta. Lisäksi laboratoriossa on oltava kalustoluettelo, jossa mainitaan erikseen vaunuun kuuluva kalusto sekä kojeet, laitteet ja tarvikkeet. Asiattomien henkilöiden oleskelu laboratoriotiloissa ei ole sallittua.

Sellaiset laboratoriokojeet ja laitteet, joita ei tarvita käytössä, on yleensä lähetettävä piirin keskuslaboratorioon kunnostettaviksi ja tarkistettaviksi. Määritysten aikana on jatkuvasti tarkkailtava laitteiden kuntoa ja toimintaa. Määritystulosten oikeellisuuden varmistamiseksi on tehtävä tarkistusmielessä sellaisia materiaaleja koskevia tutkimuksia, joitten ominaisuudet tunnetaan. Tarvittaessa on myös tehtävä rinnakkaismäärityksiä piirin keskuslaboratorion kanssa.

Kenttälaboratoriossa on pidettävä päiväkirjaa, johon merkitään saapuneet näytteet, suoritettavat määritykset ja niiden johdosta annetut tiedotukset, tarviketilaukset ja niiden saanti, laitteissa ilmenneet häiriöt sekä muut tapahtumat. Määritystulokset ja niitä koskevat laskelmat on merkittävä niitä varten laadituille lomakkeille. Kuttakin erillistä työkohdetta koskevat lomakkeet on sijoitettava omaan kansioonsa yhdessä tuloksia koskevien yhteenvetojen kanssa. Laboratoriotulokset ja niitä koskevat ilmoitukset on saatettava asianmukaisesti ja viivyt-

telemättä tiedoksi edelleen. Suorite-  
tuista määrityksistä on pidettävä erit-  
tyistä tilastoa.

Näytteet on otettava niitä koskevien erikoisohjeitten mukaisesti. Mikäli näytettä ei ehditä tutkia välittömästi, se on varustettava nimilapulla, johon on merkittävä näytteen numero ja kaikki sitä koskevat tiedot. Tarvittaessa näytteistä on pidettävä ns. vastaanottokirjaa, johon on merkittävä näytteen numero, työn numero, otto- ja vastaanottoaika, tutkimustehtävä ja muut tarvittavat tiedot. Jos näytteitä joudutaan säilyttämään pitemmän aikaa ennen määrityksiä, ne on varastoitava siten, etteivät tutkittavat ominaisuudet niissä muunnu. Tutkitut näytteet, joita ei enää tarvita, on poistettava varastosta välittömästi.

Kenttälaboratorion tehtäviin kuuluu myös sellaisten näytteiden ottaminen, jotka lähetetään työmaalta tie- ja vesirakennushallituksen laboratorioon tai muuhun tutkimuslaitokseen tutkittaviksi. Tällaisia näytteitä ovat mm. sideaine-, täytejauhe- ja tartukenäytteet. Kenttälaboratorion varusteisiin tulee kuulua näitten näytteitten ottamiseen tarvittavat välineet ja sellaiset astiat ja laatikot, joihin voidaan pakata.

Kenttälaboratoriossa toimiva laborantti joutuu, toisin kuin keskuslaboratoriossa tai varsinaisessa tutkimuslaitoksessa toimivat henkilöt, suorittamaan varsin monia erilaisia ja eri tarkoituksiin liittyviä tutkimuksia. Tämän vuoksi käytettävien tutkimusmenetelmien ja laitteiden tulee olla mahdollisimman yksinkertaisia, help-

pokäyttöisiä ja lujia. Pyrkimys suureen tarkkuuteen johtaa monimutkaisuuteen menetelmiin ja hienotekoisien kojeitten käyttöön. Kenttälaboratoriotöinnässä on kuitenkin kiinnitettävä eniten huomiota menetelmän yksinkertaisuuteen ja luotettavuuteen, sillä monimutkaisten menetelmien käyttöön liittyy aina suuri virhemahdollisuus. Laboratoriolaitteita hankittaessa tai teetettäessä on pyrittävä pitäytymään samassa mallissa, jolloin huolto ja varaosien saanti helpottuu. Kun on kysymys laadunvalvontatehtävistä, jotka tulevat kysymykseen murskauksen, tiivistyksen ja päällystystöiden tarkkailussa, on tärkeää, että määritykset voidaan tehdä nopeasti. Työn aikana ilmenevistä mahdollisista laatuheikkouksista on mahdollisimman pian saatava tiedot työmaalle korjaustoimenpiteitä varten.

Määrittämissä yhteydessä on annettu tiedot tutkimukseen tarvittavista kojeista ja laitteista. Näitten lisäksi laboratorioissa tarvitaan runsaasti erilaisia apulaitteita ja tarvikkeita, joista mainittakoon toimistotarvikkeet, näytepussit, alumiinikulhot, mittalasit, lasipullot, pipetit, suppilot, näytteiden lähetyslaatikot ym. Puhdistustarkoituksiin tarvittavan lisäksi pesuaineita, puhdistusliuottimia, paperipyyhkeitä, puhdistusharjoja ja trasselia. Määrittämisen helpottamiseksi on punnitukseen käytettävät astiat ennalta punnittava sekä tilavuusmittauksiin käytettävien astioiden tilavuus mitattava. Mittaustulokset on merkittävä astioihin.

Kenttälaboratorioissa tehtävät maalaboratoriotutkimukset liittyvät yleensä

suunnittelutehtävien maaperätutkimuksiin sekä rakennustöiden osalta lähinnä leikkaus- ja pengerrystöiden valvontaan. Näitä tehtäviä varten kenttälaboratoriossa on oltava kuiva- ja pesuseulontalaitteet sekä välineet areometrianalyysin, vesi- ja humuspiitoisuuden, ominaispainon ja tilavuuspainon määrittämistä varten. Konsistenssirajojen, vedenläpäisevyyden, leikkauslujuuden sekä kokoonpuristuvuuden määritykset ovat siinä määrin vaativia, että nämä tehtävät on hoidettava piirin keskuslaboratorion toimesta.

Murskauskäytöksen yhteyteen perustettavan kenttälaboratorion pääasiallisena tehtävänä on suorittaa murskaustuotteiden laadunvalvontaa. Tätä varten laboratorioissa on oltava laitteet kiviaineksen rakeisuuden, tilavuuspainon, ominaispainon, vesipitoisuuden, muotoarvon sekä murtopintaluvun määrittämistä varten. Los Angeles-luku-, haurausarvo-, hiomakestävyys- ja puristuslujuusmääritykset suoritetaan joko piirin keskuslaboratoriossa taikka tvh:n laboratorioissa.

Murskaustyömaalta joudutaan myös lähettämään näytteitä tvh:n laboratorioon sekä piirin keskuslaboratorioon. Ensinmainittuun lähetetään ennen töiden aloittamista ns. ennakkonäyte, suhteitustutkimusnäytteet sekä määrävällein ns. työnaikaisia näytteitä. Ennakkonäytteiden avulla selvitetään murskattavan kiviaineksen soveltuvuus käyttötarkoitukseen. Työnaikaisista näytteistä määritetään Los Angeles-luku, haurausarvo, kivilaji sekä rakeisuus ja ominaispaino. Näiden tulosten perusteella päätellään, ovatko

kiviaineksen kaikki laatuominaisuudet pysyneet sellaisina kuin ennakkonäytteet ovat osoittaneet. Suhteistutkimusnäytteitä lähetetään päällystustarkeituksiin murskattavista kiviaineksista. Näitä näytteitä käyttäen valmistetaan tvh:n laboratoriossa koemasat, joista saatujen tulosten perusteella annetaan myöhemmin päällystystyötä varten käytettävän massan suhteitusohjeet. Piirin keskuslaboratorioon lähetetään rinnakkaisnäytteitä kenttälaboratorion tutkimista näytteistä. Näiden näytteiden avulla on tarkoitus varmistua siitä, että kenttälaboratoriossa saadut tulokset ovat virheetömiä. Laboratoriotuloksista tehtävien työaikaisten väli- sekä lopettamisilmoitusten valmistelu kuuluu myös laborantin tehtäviin.

Pengerrys- ja päällysrakennetöiden laadunvalvonnassa suoritettavat kenttälaboratoriotyöt muodostavat oman ryhmänsä. Näiden töiden laadunvalvontaa varten kenttälaboratoriossa on oltava kojeet vesipitoisuuden optimin ja kuivatilavuuspainon maksimin määrittämistä varten, laitteet kentällä suoritettavaa tilavuuspaino- ja vesipitoisuusmäärittämistä varten sekä välineet rakeisuuden ja vesipitoisuuden määrittämistä varten. Kenttälaboratorion toimista voidaan myös joutua tekemään levykuormituskokeita sekä tasaisuusmittauksia. Viimeksimainittuja tehtäviä varten on kuitenkin tarkoituksenmukaista muodostaa oma erityinen työryhmänsä.

Pengerrystöitä varten kenttälaboratorion on määritettävä kullekin käytettävälle pengermateriaalille vesipitoisuuden optimi. Pengerrystöitten aika-

na suoritetaan tiiviyssastemäärityksiä.

Päällysrakennetöiden yhteydessä kenttälaboratoriotehtäviin kuuluu kerros materiaalien rakeisuuden ja tiiviyden valvominen ja sen, että tiivistäminen suoritetaan vesipitoisuuden optimissa. Kun Proctor-menettelmä soveltuu vain suhteellisen hienorakeisten aineiden tutkimiseen, voidaan tiiviyssastemäärityksiä suorittaa yleensä vain suodatin- ja eristyskerroksesta. Jakavan ja kantavan kerroksen tiivistämisen arvostelu on suoritettava levykuormituskokeen tulosten perusteella.

Päällystystyön laadunvalvontaan käytettävään kenttälaboratorioon tulee suoritettaviksi massanäytteitten sideaine- ja rakeisuusmäärityksiä, Marshallkoekappaleitten valmistusta ja niiden tilavuuspainon määrityksiä sekä päällystemassaan käytettävän kiviaineksen rakeisuus- ja vesipitoisuusmäärityksiä. Kun on kysymys kuumasekoitteisesta massasta, sideaineen pesuun kiviaineksesta sekä sideainemäärän määrittämiseen käytetään yleensä keinusuodatusmenettelmää. Kylmasekoitteisten massojen, öljysoran ja bitumiliuosoran tutkimiseen käytetään Shokslennettimenettelmää, jonka avulla voidaan myöskin määrittää massan vesipitoisuus. Kylmasekoitteisten massojen valmistuksen yhteydessä on myös suoritettava tarttuvuusmäärityksiä. Päällystystyön laadunvalvontaan kuuluu myös raaka-aineitten, sideaineen, täytejauheen, tartukkeen sekä kiviaineksen laadunvalvonta. Kiviaineksen osalta laadunvalvontatehtävät on suoritettu murskaustyön aikana. Muiden raaka-aineiden, sideaineen, täytejau-

heen ja tartukkeen osalta kenttälaboratorion tehtäviin kuuluu asianmukaisten näytteiden lähettäminen tvh:n keskuslaboratorioon tai muuhun tutkimuslaitokseen, joka selvittää näytteiden laatuominaisuudet. Viimeksi mainittujen tutkimusten suorittamista on pidettävä siksi vaativana, ettei niitä voida tehdä kenttälaboratorioissa.

Milloin on kysymys erityisistä rakennustehtävistä, kuten suurista betonoimistöistä, maapatotöistä tai vastaavista, näitä tehtäviä varten saattaa olla tarkoituksenmukaista perustaa oma kenttälaboratorionsa, johon hankittavat laitteet ja niillä tehtävät tutkimukset on selvitettävä erikseen. Tällaisen erikoistarkoituksiin soveltuvan laboratorion perustamista harkittaessa on otettava huomioon, voitaisiinko tutkimustehtävät suorittaa riittävän nopeasti jossakin keskuslaboratoriossa tai tutkimuslaitoksessa ja saavutetaanko tällaisen erikoislaboratorion perustamisella kustannussäästöjä.

Tutkimustulos saattaa muodostua virheelliseksi väärän määritystavan, kojeiden toimintavian sekä tuloslaskelmissa tehdyn virheen takia. Virheiden välttämiseksi on saatua tulosta aina verrattava silmämääräisen arvostelun perusteella tai muulla tavoin saatuun arvioon. Jos epäsuhdetta ilmenee, on kerrattava huolellisesti määrittämisen suoritustapa ja laskelmat. Epävarmoissa tapauksissa on ryhdyttävä uusintamääritykseen. Erityistä huolellisuutta on noudatettava varsinkin silloin, kun on kysymys työn laadun tarkkailututkimuksista, jolloin

vaatimusrajoista poikkeavan tuloksen esiinnyttyä työt tulee keskeyttää. Tällöin on tarkoin noudatettava erikoisohjeista ilmeneviä tulosten tulkinta- ja menettelytapaohjeita.

# 4. LABORATORION TURVALLISUUS-OHJEET

1. Käytännön ohjeet  
2. Turvallisuusohjeet  
3. Yleistä ohjeistusta

4.1. Turvallisuusohjeet  
4.1.1. Yleistä ohjeistusta  
4.1.2. Käytännön ohjeet  
4.1.3. Turvallisuusohjeet

4.2. Turvallisuusohjeet  
4.2.1. Yleistä ohjeistusta  
4.2.2. Käytännön ohjeet  
4.2.3. Turvallisuusohjeet

4.3. Turvallisuusohjeet  
4.3.1. Yleistä ohjeistusta  
4.3.2. Käytännön ohjeet  
4.3.3. Turvallisuusohjeet

Keskuslaboratorion ja kenttälaboratorioiden työturvallisuudesta vastaa niiden työtä valvova rakennusmestari tai muu piirin tähän toimeen määräämä henkilö (tvh:n kirje Y—1381/718/8.1964). Hänen on perehdyttävä työturvallisuuslakiin 299/58 tai Tapa-turvmatorjunta ry:n julkaisuun "Työturvallisuuslaki, ohjeita ja neuvoja sen soveltamisesta" perusteellisesti. Työnantajan on otettava varteen kaikki, mikä työn laatuun, työolosuhteisiin, työntekijän ikään, sukupuoleen ja ammattitaitoon katsoen on tarpeellista työntekijän suojelemiseksi; työntekijän on tarkoin noudatettava järjestys- ja suojeluohjeita sekä työssä tarpeellista varovaisuutta. Yleisiä ohjeita esim. ilmanvaihdesta on myös Kemian turvallisuusohjeissa

## 4.1 Yleisiä ohjeita

Laboratoriossa käytettävistä aineista eräät ovat herkästi syttyviä, kaasuuntuvia ja jopa herkkiä räjähtämään. Palavat aineet luokitellaan leimahduspistelämpötilan ts. sen lämpötilan, jossa ne kehittävät yläpuolelleen niin paljon kaasua, että se avoliekestä tai kipinästä syttyy (asetus 335/54 ja 498/54 sekä 471/64) mukaan: lk I leimahduspiste alle 20°C, lk II 20...55°C, lk III 55...100°C.

Eräät aineet ovat myrkyiksi katsottavia, ts. ne saattavat aiheuttaa huumausta, myrkytystilan, ihottumaa tms. seurauksia. Laboratorioaineista hapot, emäkset ja haihtuvat liuottimet ovat II luokan myrkyjä (myrkkylaki 309/69 ja myrkyasetus 612/69), ja

kohdassa A 2 Tekninen suojaus. Varsinkin kenttälaboratorioissa, joissa melko lyhyen koulutuksen saaneet laboratorioapulaiset joutuvat käsittelemään myrkyllisiä ja helposti syttyviä aineita ja käyttämään erilaisia koneita alkeellisissa tiloissa, on turvallisuusmääräyksien noudattamista tiukasti valvottava.

Turvallisuusohjeet on annettava jokaiselle laboratoriossa työskentelevälle, ja niihin tutustuminen on kuulustelemalla todettava. Laboratorioihin on hankittava asianmukaiset varoituskilvet, ensiapupakkaus, jauhetai vaahtosammutin, ja laboratoriohenkilökunnalle on selvítettävä miten ja mistä saa ambulanssin, paloauton tai muun tarvittavan avun.

vain eräiden liuottimien epäpuhtaute-na sisältämä kloroformi on I luokan myrky. Myrkyllisiksi on katsottava myös amiinit, vaikka niitä ei myrkyasetuksessa ole mainittu, sillä ne aiheuttavat eräille henkilöille voimakkaita allergisia reaktioita. Häkä, pako-kaasut ja hapen puute saattavat myös aiheuttaa myrkytystiloja.

Liuotinjätteitä, öljyä, tartukkeita tms. pohjavettä turmelevia aineita ei saa kaataa maahan, vaan ne on polttamalla hävitettävä. Liuottimet voidaan puhdistaa tislaamalla uudelleen käyttöä varten.

Asiattomien henkilöiden oleskelu laboratoriossa on kielletty.

## 4.2 Paloturvallisuus

Bitumin leimahduspiste on yli 250° C, joten se syttyy yleensä vain, jos se lämmitettäessä paikallisesti ylikuumenee tai jos sitä kosketetaan hehkuvalla metallisineellä. Syttynyt bitumi sammutetaan tukahduttamalla tai jauhesammuttimella. Vettä ei pidä käyttää, se voi aiheuttaa palon leviämisen.

Bitumiliuokset, paloöljy ja ksyleeni kuuluvat II luokkaan, tieöljyt III luokkaan — jos laboratoriossa käsitellään näitä, on tupakointi kielletty. Tislattaessa on pidettävä huolta siitä, että jäähdytys on tehokas, ettei kuumaa, helposti syttyvää kaasua kerry laboratorioon. Kojeistoissa olevan nesteen lisäksi näitä aineita saa laboratorihuoneessa säilyttää ilman erikoislupaa korkeintaan 25 l, metallisessa, räjähdysvaarattomassa suljetussa astiassa (päätös 498/54). Liuos- tai liuotinhöyry voi syttyä myös kipinästä, joita syntyy mm. nailonvaatteiden hankauksessa tai kun lakkapintaisesta jakkarasta kehoon syntynyt sähkövaraus purkautuu. Tällaiset varaukset on purettava koskettamalla maahan yhteydessä olevaa metallia ennen kuin ryhdytään esim. ottamaan näyttöä bitumiliuossäiliöstä.

Metyleenikloridin kiehumispiste on 40° C trikloorietyleenin 87° C, bentseenin 80° C, ksyleenin 138...144° C; ominaispainot vastaavasti 1.34, 1.47, 0.88, 0.86...0.88; bitumin ominaispaino on 25° C:n lämpötilassa 1.01 ja 360° C:n lämpötilassa 0.81, petrolin

ominaispaino 0.88 g/ml. Tislattaessa bitumiliuoksia tai tieöljyjä tai puhdistettaessa käytettyjä liuottimia tislamalla nousee jäännösluoksen lämpötila yli 360° C — tätä ei saa kaataa astiaan, jossa on liuottimia tai vettä, koska nämä silloin kaasuuntuvat. Vesi ja metyleenikloridi jäävät painavina kuuman bitumin alle ja aiheuttavat kaasuuntuessaan räjähdyksenomaisen reaktion, ksyleeni, bentseeni ja petroli leimahtavat liekkiin.

Nestekaasu (propaani C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> ja butaani C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) on I luokan palava neste. Sen käsittelyssä on otettava huomioon asetuksen 471/64 ja tvh:n kirjeen Ko-995/3.5.65 säännökset kuljetuksesta, säilytyksestä ja käytöstä. Laboratorihuoneessa saa säilyttää yhtä enintään 11 kg nestekaasupulloa. Sen on oltava pystyssä, venttiili ylöspäin ja sellaisessa paikassa, ettei se tulipalon sattuessa estä vapaata ulospääsyä huoneesta. Pullon tulee sijaita yli 0.5 m päässä liedestä tms. lämmityslaitteesta ja välissä on oltava asbestilevy. Letkun tulee olla asetuksen mukainen ja sen pituus saa olla korkeintaan 1.2 m. Letku ja liitokset on muuttojen yhteydessä tai vähintään kerran vuodessa tarkistettava. Jos nestekaasua käytäviä laitteita on huoneessa useita, ja jos kaasu niihin otetaan yhdestä sisällä olevasta pullosta, on kaasun siirtoon käytettävä kuparitari tai teräsputkea. Asennuksen tekee piirin ns. nestekaasumies.

Laboratorion ovipielessä hyvin näkyvässä paikassa on pidettävä yksi vähintään 7 kg jauhe- tai hiilihappo-

sammutin. Sammuttimen kunto tulee tarkistaa kerran vuodessa.

### 4.3 Myrkyt ja syövyttävät aineet

Metyleenikloridi ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) ja trikloorietyleni ”tri” ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ) sekä kloroformi ( $\text{CHCl}_3$ ) ja hiilitetra-  
kloridi ( $\text{CCl}_4$ ) ovat helposti haihtuvia, mutta palamattomia tai vaikeasti syttyviä liuotinnesteitä. Niitä käsiteltäessä ja varastoitaessa on noudatettava myrkkyyasetuksen määräyksiä. Ne on säilytettävä suljetuissa astioissa. Niistä kehittyvien höyryjen hengittämistä on vältettävä, koska ne lyhytaikaisen huumauksen lisäksi voivat jatkuvasti käytettynä aiheuttaa myrkytystilan. Terveydelle vaarallinen pitoisuus ilmassa 8 tunnin työpäivittäin on metyleenikloridilla 500 ppm (miljoonasosa), bentsolilla jopa 35 ppm. Laboratorion riittävään tuuletukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Vaikka em. liuottimet eivät pala, muuttuvat ne liekissä erittäin myrkyllisiksi esim. metyleenikloridi osittain fosgeeni ( $\text{COCl}_2$ ) nimiseksi myrkkyaasuksi. Sen vuoksi tupakoiminen näitä käsiteltäessä on ehdottomasti kielletty. Jos liuottimia joutuu iholle, ne tuntuvat viileiltä, sillä helposta haihtumisestaan johtuen ne sitovat lämpöä. Enemmälti käytettynä ne saattavat aiheuttaa ihon kuivamista, halkeilemista ja tulehtumista, ellei käsiin pesun jälkeen hie-  
rota suojavoidetta esim. Keratol 31:tä. Bentsolilla on taipumus imeytyä ihon

läpi, missä sillä on verisolumuodostusta estävä vaikutus.

Tartukkeena käytettävät aineet palavat huonosti. Niitä käsiteltäessä on oltava varovainen, sillä ne saattavat erälle henkilöille aiheuttaa äkillisen, ohimenevän allergisen ihottuman. Tartukkeen käsittelyssä käytettävät kumikäsiineet on säilytettävä erikoisessa laatikossa tms. paikassa erillään papereista ja ruokatavaroista. Tartukkeita ei saa päästää sivullisten, ei varsinkaan lasten käsiin. Työn päätyttyä on laboratorion ja sekoitusaseman seutu huolellisesti puhdistettava tarte-  
tukejätteistä.

Laboratoriossa käytettävät hapot ja emäkset ovat ihoa syövyttäviä. Areometrianalyyysissä käytetty amyylialkoholi ( $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ ) on vaarallista nautittavaksi. Happo-, emäs- ja alkoholi-  
pulloissa on oltava selvä etiketti ja lisäksi maininta ”myrkyä”. Happo-, emäs- ja liuotinpullot on pidettävä lukittavassa kaapissa ja sillä tavoin kiinnitettyinä ja suojattuina, etteivät ne kuljetuksen aikana pääse särky-  
mään.

Seulonnassa syntyvä hieno kiviainespöly saattaa, jos sitä vuosikausia hengitetään, aiheuttaa silikoosia, ts. vaurioittaa keuhkokudosta. Pölyisissä paikoissa voi pölynaamarin käyttö olla suositeltavaa. Humuksen



polttouunista saattaa laboratorion ilmatilaan tulla epätäydellisesti palaneen hiilen oksideja ts. häkää (CO), joka on vaarallista hengitettynä. Edellä mainittujen vaarojen välttämiseksi on tuuletus järjestettävä siten, ettei kivipöly tai häkä jää laboratoriohuoneeseen.

Kosteusmäärittäykseen käytettävät karbidometrit (Speedy) kehittävät räjähdysvaarallista asetyleenikaasua

(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), joten laitteen kanssa työskenneltäessä ja erikoisesti sitä tyhjentäessä on varottava avotulta.

Kosteus- ja tiiviystutkimuksissa käytettävä radiometrinen luotain lähettää vaarallista säteilyä. Säteilevän osan säilytys työhuoneessa on kielletty ja sen käsittelyssä on muutoinkin otettava huomioon säteilysuojauslaissa 174/57 ja -asetuksessa 328/57 annetut ohjeet.

## 4.4 Koneet ja sähkölaitteet

Laboratorion tulee olla riittävän tilava ja hyvin valaistu, jotta siellä voi turvallisesti työskennellä. Laboratorio on pidettävä siistinä ja järjestyksessä niin, että siellä voi vapaasti liikkua törmäämättä jätteisiin, käyviin koneisiin, kuumiin keittolevyihin tms. laitteisiin. Suojalaitteet, esim. asbestirukaset ja suojasilmälasit on aina pidettävä niille kuuluvalla paikalla.

Laboratoriotyöasujen tulee olla selälaisia, että ne suojaavat, mutta ei liian väljiä, jotta ne eivät tartu esim. seulatäryttimen hihnapyöriin. Nailonvaatteet kehittävät toisiinsa hankautuessaan staattisen sähkövarauksen, josta voi olla seurauksena kipinäintiä ja myös virhenäyttämiä herkissä analyysoivaosissa.

Koneet on asennettava tukevasti ja siten, että näytteen kulku työvaiheesta toiseen käy joustavasti ja vaarattomasti. Koneiden liikkuvat osat on suojattava ja myös koneiden aiheuttama melu ja värinä on vähennettävä

niin pieneksi kuin mahdollista. Koneet on säännöllisesti huollettava ja vian ilmaantuessa välittömästi korjattava.

Kaikkien sähkökäyttöisten laitteiden on oltava Sähkötarkastuslaitoksen hyväksymää mallia (Sähkötarkastuslaitos, julkaisu A1-57 "Sähkölaki ja varmuusmääräykset"). Sähköasennustyöt saa suorittaa vain hyväksytty asentaja. Maadoitukset on muistettava, ja vain laboratorio-olosuhteisiin sallittuja pistorasioita ym. asennustarvikkeita saa käyttää. Erityisesti on muistettava varoa ja välttää pitkiä liitosjohtoja ja muita väliaikaisliitäntöjä esim. roikkalamppuja. Sähkölaitteet on säännöllisin välein tarkastettava ja laboratoriossa työskentelevien on näitä tarkkailtava. Työturvallisuuslaissa on määräys, jonka mukaan havaituista vioista on heti ilmoitettava esimiehelle, ja tämän on heti huolehdittava korjauksesta.

## 4.5 Ensiapu

Tavallisimmat laboratorioissa sattuneet vahingot ovat palovammoja, näytelaatikoiden käsittelyssä tulleita haavoja tai silmään roiskahtaneiden liuottimien aiheuttamia hetkellisiä vaurioita. Eräät henkilöt saavat tartukkeista allergista ihottumaa.

Laboratorioissa on oltava apteekkeista saatava pieni ensiapupakkaus. Pakkauksen kunto ja sisältö on tarkastettava vähintään kerran kuukaudessa työkauden aikana. Pakkauksen käytöstä ja ensiavun antamisesta on hankittava ohjeet esim. julkaisusta Sosiaaliministeriön Teknilliset turvallisuusohjeet n:o 13, "Ensiapuvälineet", ja valvottava, että laboratorioissa työskentelevät perehtyvät niihin.

Palon syttyessä pelastetaan ensin ihmiset ja heidän vaatteisiinsa tarttunut tuli tukahdutetaan. Laboratorioon levinnyt palava neste sammutetaan jauhe- tai hiilihapposammuttimella, astiassa palava tuli voidaan mahdollisesti tukahduttaa vaatteella tai hiekallakin. Ellei paloa saada heti sammumaan, on hälytettävä palokunta.

Tulipalon yhteydessä särkyneet metyleenikloridipullot kehittävät hengenvaarallista kaasua. Laboratorio on perusteellisesti tuuletettava ennen kuin sinne saa mennä. Metyleenikloridihöyry on ilmaa raskaampaa, ja se valuu paraiten ulos lattian tasossa olevista tuuletusaukoista.

Kaasumyrkytystapauksissa on välittömästi hälytettävä ambulanssi. Sitä odoteltaessa on potilaan otsaa ja rin-

taa vaaletava kylmällä vedellä, ja hänelle on annettava tekohengitystä.

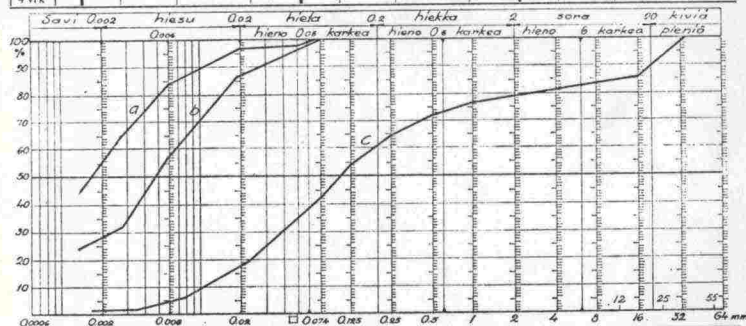
Palohaavojen hoidosta, tekohengityksen antamisesta yms. tavanomaisista ensiaputoimenpiteistä on selostus edellämainitussa ensiapuvihkosessa. Kemialliset haavat on huuhdeltava runsaalla puhtaalla vedellä, happojen aiheuttamia syöpymiä pestessä on hyvä lisätä veteen hiven etikkaa tai hiukan runsaammin boorihappoa. Boorihappoa on syytä pitää aina ensiapulaukussa, sillä sitä käytetään yleensä silmään roiskahtaneita aineita poistettaessa.

Palohaavat ja happojen tai emästen aiheuttamat haavaumat voidaan pesun jälkeen suojata palovoiteella. Ruhje- ja viiltohaavat peitetään antiseptisellä sidetaitoksella, joka kiinnitetään joko laastarilla tai sideharsolla, kiristäviä siteitä ei saa käyttää. Onnettomuuden uhri on parasta aina toimittaa lääkärintarkastukseen, ellei vamma ole hyvin pieni, sillä varsin usein ihovammoja aiheuttaneet esineet ovat likaisia, josta voi seurata verenmyrkytys.

# LIITTEET

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

TVH		LABORATORION TYÖLOMAKE															
MAATUTKIMUSTOIMISTO																	
Tv:n <i>Turun</i>		pilri: työmaa / tutkimus				Kunta <i>Salo</i>											
Työkohde <i>Salo-Kisko-Mustio</i>																	
Näytteen laatu <input checked="" type="checkbox"/> Pohjamaa <input checked="" type="checkbox"/> Täytömaa		<input type="checkbox"/> Savi-hieta <input type="checkbox"/> Hiekka-sora		<input type="checkbox"/> Murskeet <input type="checkbox"/> Sepolitt		<input type="checkbox"/> Kestopäälystemassa <input type="checkbox"/> Päälyste											
						<input type="checkbox"/> Öljy- tms. sora <input type="checkbox"/> Muut											
Näytteen tunnus		a		b		c											
Näytteen ottopaikka (Paalu)		246 + 40 1,0 m		246 + 40 1,5 m		246 + 40 2,0 m											
Näytteen paino kuivana																	
Näytteen paino kuivana pesu- selonnan jälkeen																	
Kieva ja lehtarika	20-64 64-300 300-300	a b c	Hiomin.	Seula		Seulalle jäi		Läpäisi		Seulalle jäi		Läpäisi					
				□ mm		g		%		%		g		%			
				64													
				55													
				32													
				25													
				20													
				16													
				12								14,9		14,9		85,1	
				8													
				6										14		83,7	
				4													
				2										20		81,7	
				1										23		79,4	
				0,5										28		76,6	
0,25										37		72,9					
0,125										68		66,1					
0,074										115		54,6					
Pöly + pesuainepito										115		43,1					
Yht.										431		100,0					
										1000		100,0					
Aika	C*	Kto	Areometrin lukema	Raekoko	Läpäisy %	Kto	Areometrin lukema	Raekoko	Läpäisy %	Kto	Areometrin lukema	Raekoko	Läpäisy %				
Ajku		9,20				9,22				9,15							
1 min.	22	9,21	1030	0,047	96,0	9,23	1029,5	0,046	95,0	9,16	1024,0	0,055	37,0				
6 min.	"	9,26	1030	0,019	96,0	9,28	1027,0	0,019	86,5	9,21	1012,5	0,023	19,0				
1 h	"	10,20	1026	0,006	83,5	10,22	1018,0	0,0063	57,0	10,15	1005,0	0,0075	6,5				
5 h	21	14,20	1020	0,0028	61,5	14,22	1011,0	0,0023	31,5	14,15	1002,0	0,0034	2,0				
1 vrk	22	9,20	1014	0,0019	44,0	9,22	1008,0	0,0014	24,0	9,15	1001,5	0,0016	1,5				
4 vrk																	



Huomautuksia: .....

Liite 1 a:  
Laboratorion työlomake, tvh 2.552.

Näytteen tunnus		a 610			b 620			c 622		
Huomautuksia:	<input type="checkbox"/> Seula mm	Seulalle jsi		Läpäisi	Seulalle jsi		Läpäisi	Seulalle jsi		Läpäisi
	> 2	g	%	100 %	g	%	100 %	g	%	100 %
	2									
	0,5									
	0,125									
	0,074									
<b>TILAVUUSPAINO</b>		Lajite	mm	Lajite	mm	Lajite	mm			
Märkätilavuuspaino $\gamma$		$W_m$	56,81 g	$W_m$	501,51 g	$W_m$	539,03 g			
$\gamma = \frac{W_m - W_t}{V}, t/m^3$		$W_t$	28,32 g	$W_t$	83,26 g	$W_t$	88,64 g			
$W_m =$ astian + näyte märkänä		$W_m - W_t$	28,49 g	$W_m - W_t$	418,25 g	$W_m - W_t$	449,39 g			
$W_t =$ astian paino		$V =$	21,1 cm <sup>3</sup>	$V =$	333,63 cm <sup>3</sup>	$V =$	333,63 cm <sup>3</sup>			
Kuivatilavuuspaino $\gamma_d$		$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W}{100}}$	$\gamma_d$ 0,68	$\gamma_d$ 0,49	$\gamma_d$ 0,69					
<b>TIHEYS <math>\gamma_s</math></b>		$W_k$		$W_k$		$W_k$				
$\gamma_s = \frac{W_k}{W_k - W_m}, g/cm^3$		$W_m$		$W_m$		$W_m$				
$W_k =$ näytteen kuivapaino		$W_k - W_m$		$W_k - W_m$		$W_k - W_m$				
$W_m =$ näytteen paino vedessä		$\gamma_s =$		$\gamma_s =$		$\gamma_s =$				
<b>MUOTOARVO (S)</b>		ca/b:a		ca/b:a		ca/b:a				
a = väh. 100 rakeen keskipaksuus mm		_____		_____		_____				
b = väh. 100 rakeen keskileveys mm		_____		_____		_____				
c = väh. 100 rakeen keskipituus mm		_____		_____		_____				
Kokonaan murskautunutta		g	%	g	%	g	%			
Osittain murskautunutta		g	%	g	%	g	%			
Murskautumatonta		g	%	g	%	g	%			
<b>MURTOPINALUKU (M)</b>		____/____/____ ( )		____/____/____ ( )		____/____/____ ( )				
Yli 6 mm rakeita koko määrä.		g	%	g	%	g	%			
<b>VESIPITOISUUS</b>		Astia n:o	165	Astia n:o	49	Astia n:o	111			
$w = \frac{W_m - W_k}{W_k - W_t} \cdot 100 \%$		$W_m$	89,67 g	$W_m$	78,60 g	$W_m$	77,55 g			
$W_m =$ astia + näyte märkänä		$W_k$	55,74 g	$W_k$	42,74 g	$W_k$	49,46 g			
$W_k =$ astia + näyte kuivana		$W_t$	21,14 g	$W_t$	19,74 g	$W_t$	20,46 g			
$W_t =$ astian paino		$W_m - W_k$	33,93 g	$W_m - W_k$	35,86 g	$W_m - W_k$	28,09 g			
		$W_k - W_t$	34,60 g	$W_k - W_t$	23,00 g	$W_k - W_t$	29,00 g			
		$w =$	90 %	$w =$	156 %	$w =$	97 %			
<b>HUMUSPITOISUUS <math>H_p</math></b>		Astia n:o		Astia n:o		Astia n:o				
$H_p = H_h - K_v$		$W_k$		$W_k$		$W_k$	15,04 g			
$H_h = \frac{W_h - W_t}{W_k - W_t} \cdot 100 \%$		$W_h$		$W_h$		$W_h$	14,86 g			
$W_k =$ astia + näyte kuivana		$W_t$		$W_t$		$W_t$	11,14 g			
$W_h =$ astia + näyte hehkutet.		$W_k - W_h$		$W_k - W_h$		$W_k - W_h$	0,18 g			
$W_t =$ astian paino tuma		$H_h$		$H_h$		$H_h$	4,84 %			
$H_h =$ hehkutushäviö		$W_k - W_t$		$W_k - W_t$		$W_k - W_t$	3,72 g			
$K_v =$ kidevesi		$K_v$		$K_v$		$K_v$	3,20 %			
		$H_p =$		$H_p =$		$H_p =$	1,64 %			
<b>HUMUS</b>		$H_p$ (NaOH) =		$H_p$ (NaOH) =		$H_p$ (NaOH) =				

Liite 1 b:  
Laboratorion työlomake, tvh 2.552, kääntöpuoli.





Tvl:n Uudenmaan piiri Korso - Kerava pöydviemäri työmaa  
Paalu 2211,0 vas. oik. 0,9m syvyys 5,5m tunnus

1 Maalaji: hksr

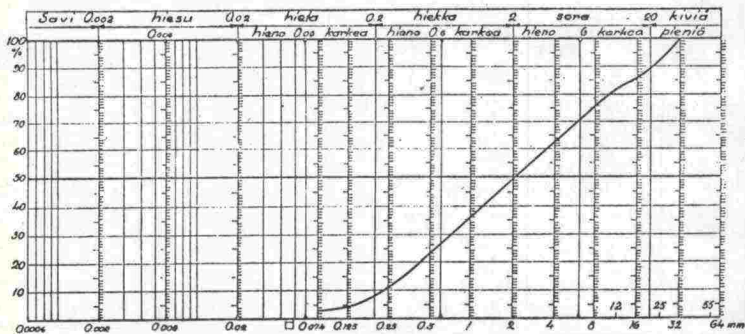
2 Tiheys: (yli 0.5 mm rakeista)

Kiviaineksen paino ilmassa = $W_k$	g	g
» paino vedessä = $W_m$	g	g
$W_k - W_m$	g	g
$\gamma_s = \frac{W_k}{W_k - W_m} =$	2,65	

Seula □ mm	I		II	
	Seulalle jäi g	Läpäisi %	Seulalle jäi g	Läpäisi %
32		100,0		
16	139	13,9		
8	100	10,0		
4	149	14,9		
2	122	12,2		
1	133	13,3		
0.5	122	12,2		
0.25	124	12,4		
0.125	68	6,8		
0.074	21	2,1		
Pohja + pesutappio	22	2,2	—	—
Yhteensä	1000	100,0	—	—

HUOMAUTUKSIA:

*Tiheys määritetty pyknometrillä.*



Liite 4 a:

Tiivistämistarkekailun tuloslomake, tvh 2.146.



Proctor-muotin tilavuus V =		cm <sup>3</sup>	1	2	3	4	5
Näytteen paino		g	2500	2500	2500	2500	2500
Haluttu kosteus		%	4	6	8	10	10
Lisättävä vesimäärä		g	100	150	200	250	250
Kostea näyte+muotti		g	6940	7005	7040	7060	7010
Muotti		g	4900	4900	4900	4900	4900
Näytteen märkäpaino	$W_m$	g	2040	2105	2140	2160	2110
Kostea näyte+astia		g	455,0	3,523	402,9	525,2	567,8
Kulva näyte+astia		g	442,7	340,8	383,3	425,7	529,6
Astia		g	125,0	126,1	125,9	128,1	126,2
Näytteen kuivapaino	$W_k$	g	317,7	214,7	258,9	367,6	403,4
Veden paino	$W_w$	g	12,3	12,1	19,0	29,5	38,2
Vesipitoisuus märkäpainosta	$W_m = 100 \frac{W_w}{W_m}$	%	3,73	5,34	6,04	7,43	8,65
Vesipitoisuus kuivapainosta	$W_k = \frac{100 W_w}{W_k} = \frac{100 W_m}{100 - W_m}$	%	3,87	5,64	7,34	8,03	9,47
Näytteen kuivapaino	$W_k = \frac{100 - W_m}{100} \cdot W_m$	g					
Märkätilavuuspaino	$\gamma = \frac{W_m}{V}$	g/cm <sup>3</sup>	2,16	2,23	2,27	2,29	2,24
Kuivatilavuuspaino	$\gamma_d = \frac{W_k}{V}$	g/cm <sup>3</sup>	2,08	2,11	2,11	2,12	2,05

Ylisuurten rakelten johdosta tehtävä tilavuuspainoarvon ja vesipitoisuusarvon korjaus lasketaan kaavoista:

$$\gamma_d^{\text{maks}} = \frac{100 \gamma_d^{\text{maks}} \gamma_s}{100 \gamma_s - k (\gamma_s - \gamma_d^{\text{maks}})}$$

$$W_{\text{opt}}' = W_{\text{opt}} \left(1 - \frac{k}{100}\right)$$

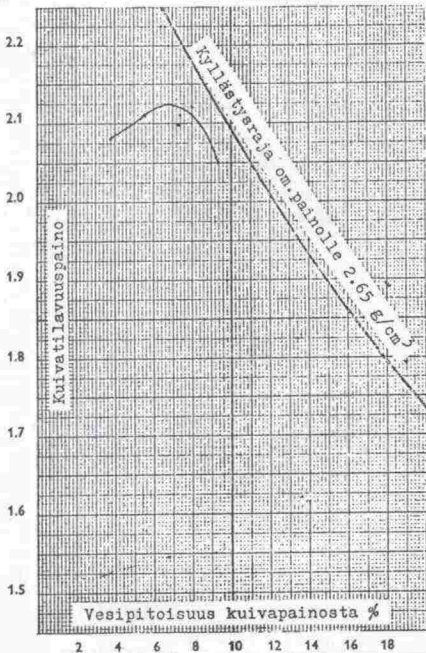
joissa

- $\gamma_d^{\text{maks}}$  = korjattu Proctor - tiiviyys
- $W_{\text{opt}}$  = korjattu optimivesipitoisuus
- $\gamma_s$  = kivilinoksen tiheys
- $k$  = ylisuurten rakelten paino-% koko aineksen määrästä

Parannettu	<input checked="" type="checkbox"/>	Proctor koe
Normaali	<input type="checkbox"/>	
Muotti $\varnothing$ 4"	<input type="checkbox"/>	
Muotti $\varnothing$ 6"	<input type="checkbox"/>	
Optimivesipitoisuus $W_{\text{opt}}$	6,0	%
Korj. optimivesipit. $W_{\text{opt}}'$		%
Proctor-tiiviyys		
$\gamma_d^{\text{maks}}$	2,12	g/cm <sup>3</sup>
Korj. Proctor-tiiviyys		
$\gamma_d^{\text{maks}}$	3	g/cm <sup>3</sup>

Tutki Otariemi 22/4 1966

H. Turunen



Liite 4 b:

Tiivistämistarkkailun tuloslomake, tvh 2.146, kääntöpuoli.

PLASTISUUSLUVUN MÄÄRITYS

Tilaaaja: *TVH*  
 Tutkimus: *Siipikairatutkimus, Salon ohikulkutie*  
 Piste, paalu: *1/28+45* Syvyys m: *12,00* Laboratorio n:o: *278*

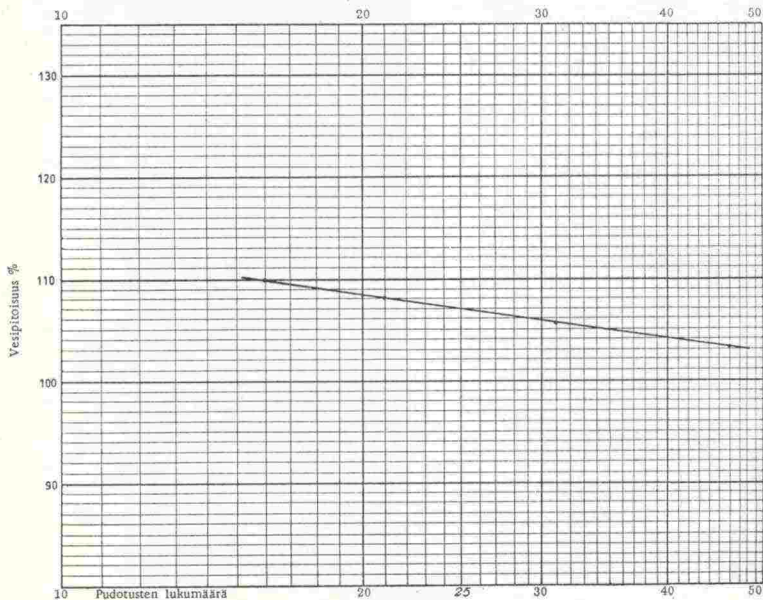
Juoksurajan määrittäminen					
Pudotusten lukumäärä		46	31	21	16
Astian numero		47	255	19	90
Astia	g	22,73	24,80	21,05	23,80
Astia + kostea näyte	g	35,37	36,11	34,00	37,30
Astia + kuiva näyte	g	28,98	30,30	27,27	30,23
Vesi	g	6,39	5,81	6,73	7,07
Kuiva näyte	g	6,25	5,50	6,22	6,43
Vesipitoisuus w %		102,2	103,6	108,2	110,0

Vesipitoisuus juoksurajalla (25 pudotusta)  $w_L = 107$  %

Kieritysajan määrittäminen					
Astian numero		10	3	270	46
Astia	g	20,91	20,46	22,03	20,36
Astia + kostea näyte	g	22,79	22,12	24,11	22,77
Astia + kuiva näyte	g	22,32	21,71	23,59	22,16
Vesi	g	0,47	0,41	0,52	0,61
Kuiva näyte	g	1,41	1,25	1,36	1,80
Vesipitoisuus w %		33,3	32,8	33,3	33,9

Vesipitoisuus kieritysrajalla (keskiarvo  $w_p$ )  $w_p = 33$  %

Plastisuusluku  $I_p = w_L - w_p = 74$  %



Liite 5:  
 Juoksurajan ja kieritysajan tulostomake.



<b>TVH</b> MAATUTKIMUSTOIMISTO	<b>VEDENLÄPÄISEVYYSKOE</b> <b>vakiopainekorkeudella</b>	N:o <u>4/11 1956</u>																																																																																																																										
<u>Oulun</u> tv-piiri <u>Uljuan tekoallas</u> +70maa																																																																																																																												
Alue <u>Tulisgaren maapato</u>																																																																																																																												
Paalu <u>1+50</u>	oikea vasen <u>keskilinja</u>	Korkeus _____																																																																																																																										
Maalaji <u>htHK</u>	Parannettu <input checked="" type="checkbox"/> Normaali <input type="checkbox"/>	Proctor-sullonta _____																																																																																																																										
$k_{20^{\circ}\text{C}} = \alpha \cdot \frac{Q \cdot h}{t \cdot A \cdot H} = \alpha k_T$																																																																																																																												
$k_T$ = vedenläpäisevyys koeolosuhteissa	<u><math>4.0 \times 10^{-4}</math></u> cm/s																																																																																																																											
$k_{20^{\circ}\text{C}}$ = vedenläpäisevyys lämpötilassa 20°C	<u><math>3.7 \times 10^{-4}</math></u> cm/s																																																																																																																											
$Q$ = näytteen läpi virrannut vesimäärä	<u>105</u> cm <sup>3</sup>																																																																																																																											
$t$ = havaintoaika sekunneissa	<u>190</u> s																																																																																																																											
$h$ = näytteen korkeus	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">13.1</td><td style="text-align: center;">cm</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">184</td><td style="text-align: center;">cm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">cm</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">23</td><td style="text-align: center;">°C</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0.93</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1.58</td><td style="text-align: center;">g/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">18.0</td><td style="text-align: center;">%</td></tr> </table>	13.1	cm	184	cm <sup>2</sup>	100	cm	23	°C	0.93		1.58	g/cm <sup>3</sup>	18.0	%																																																																																																													
13.1	cm																																																																																																																											
184	cm <sup>2</sup>																																																																																																																											
100	cm																																																																																																																											
23	°C																																																																																																																											
0.93																																																																																																																												
1.58	g/cm <sup>3</sup>																																																																																																																											
18.0	%																																																																																																																											
$A$ = näytteen poikkipinta-ala																																																																																																																												
$H$ = painekorkeus																																																																																																																												
$T$ = veden lämpötila kokeiden aikana																																																																																																																												
$\alpha$ = lämpötilakertoimet																																																																																																																												
$\gamma_k$ = kuivatilavuuspaino kokeen jälkeen																																																																																																																												
$W$ = vesipitoisuus kokeen jälkeen																																																																																																																												
$\frac{h}{A \cdot H} = \frac{13.1}{184 \times 100} = 7.12 \cdot 10^{-4}$																																																																																																																												
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Päivä- määrä</th> <th style="width: 10%;">Kello</th> <th style="width: 10%;">h</th> <th style="width: 10%;">min</th> <th style="width: 10%;">s</th> <th style="width: 10%;">t</th> <th style="width: 10%;">s</th> <th style="width: 10%;">Q</th> <th style="width: 10%;">cm<sup>3</sup></th> <th style="width: 10%;">Q</th> <th style="width: 10%;">t</th> <th style="width: 10%;">Q</th> <th style="width: 10%;">h</th> <th style="width: 10%;">k<sub>20°C</sub></th> </tr> <tr> <th colspan="4"></th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.11</td> <td>9 30</td> <td>00</td> <td colspan="11" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>9 31</td> <td>06</td> <td>66</td> <td>35</td> <td>0.53</td> <td><math>3.8 \times 10^{-4}</math></td> <td><math>3.5 \times 10^{-4}</math></td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>4.11</td> <td>9 31</td> <td>06</td> <td colspan="11" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>9 31</td> <td>58</td> <td>52</td> <td>35</td> <td>0.67</td> <td><math>4.7 \times 10^{-4}</math></td> <td><math>4.4 \times 10^{-4}</math></td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>4.11</td> <td>9 31</td> <td>58</td> <td colspan="11" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>9 33</td> <td>10</td> <td>72</td> <td>35</td> <td>0.49</td> <td><math>3.5 \times 10^{-4}</math></td> <td><math>3.3 \times 10^{-4}</math></td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td colspan="12" style="text-align: right;">Summa</td> <td><math>11.2 \times 10^{-4}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Päivä- määrä	Kello	h	min	s	t	s	Q	cm <sup>3</sup>	Q	t	Q	h	k <sub>20°C</sub>														4.11	9 30	00													9 31	06	66	35	0.53	$3.8 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-4}$							4.11	9 31	06													9 31	58	52	35	0.67	$4.7 \times 10^{-4}$	$4.4 \times 10^{-4}$							4.11	9 31	58													9 33	10	72	35	0.49	$3.5 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-4}$							Summa												$11.2 \times 10^{-4}$
Päivä- määrä	Kello	h	min	s	t	s	Q	cm <sup>3</sup>	Q	t	Q	h	k <sub>20°C</sub>																																																																																																															
4.11	9 30	00																																																																																																																										
	9 31	06	66	35	0.53	$3.8 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-4}$																																																																																																																					
4.11	9 31	06																																																																																																																										
	9 31	58	52	35	0.67	$4.7 \times 10^{-4}$	$4.4 \times 10^{-4}$																																																																																																																					
4.11	9 31	58																																																																																																																										
	9 33	10	72	35	0.49	$3.5 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-4}$																																																																																																																					
Summa												$11.2 \times 10^{-4}$																																																																																																																
Näytteen keskimääräinen vedenläpäisevyys $k_{20^{\circ}\text{C}} = 3.7 \times 10^{-4}$																																																																																																																												
Kokeen suoritti: <u>M. Sallavaara</u>																																																																																																																												

Liite 7:

Vedenläpäisevyys vakiopainekorkeudella, tulostomake.

<b>TVH</b> MAATUTKIMUSTOIMISTO	<b>VEDENLÄPÄISEVYYSKOE</b> muuttuvalla painekorkeudella	N:o 4 / 11 66
-----------------------------------	--	------------------

Oulun tv-piiri Uljuan tekoallas työmaa

Alue Tulisaaren maapato

Paalu 3+00 oikea vasen keskilinja korkeus \_\_\_\_\_

Parannettu  Proctor-sullonta  
 Normaali

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = \alpha \cdot \frac{2.3 \cdot a \cdot h}{A \cdot t} \cdot \log \frac{H_1}{H_2} = \alpha \cdot k_T$$

$k_T$	= vedenläpäisevyys koeolosuhteissa	<u><math>5,2 \times 10^{-5}</math></u> cm/s
$k_{20^{\circ}\text{C}}$	= vedenläpäisevyys lämpötilassa 20°C	<u><math>5,2 \times 10^{-5}</math></u> cm/s
t	= havaintoaika sekunneissa	<u>1416</u> s
$H_1$	= vedenpinnan alkukorkeus	<u>90</u> cm
$H_2$	= vedenpinnan loppukorkeus	<u>30</u> cm
a	= mittaputken poikkipinta-ala	<u>0,453</u> cm <sup>2</sup>
A	= näytteen poikkipinta-ala	<u>80,1</u> cm <sup>2</sup>
h	= näytteen korkeus	<u>11,7</u> cm
T	= veden lämpötila kokeen aikana	<u>20</u> °C
$\alpha$	= lämpötilakerroin	<u>1,00</u>
$\gamma_d$	= näytteen kuivatilavuuspaino kokeen jälkeen	<u>1,73</u> g/cm <sup>3</sup>
w	= näytteen vesipitoisuus kokeen jälkeen	<u>10,7</u> %

$$\frac{2.3 \cdot a \cdot h}{A} = \frac{2.3 \times 0,453 \cdot 11,7}{80,1} = \frac{1,53 \times 10^{-1}}{80,1}$$

Pvm	kello			t s	$\frac{2.3 \cdot a \cdot h}{A \cdot t}$	$H_1$	$H_2$	$\log \frac{H_1}{H_2}$	$k_T$	$k_{20^{\circ}\text{C}}$
	h	min	s							
4.11	13	02	00			90				
	13	07	26	326	$4,7 \times 10^{-4}$		70	0.109	$5,1 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$
4.11	13	07	26			70				
	13	14	31	425	$3,6 \times 10^{-4}$		50	0.146	$5,2 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$
4.11	13	14	31			50				
	13	25	36	665	$2,3 \times 10^{-4}$		30	0.222	$5,2 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$
Summa										$15,5 \times 10^{-5}$
Näytteen keskimääräinen vedenläpäisevyys $k_{20^{\circ}\text{C}}$ =										$5,2 \times 10^{-5}$

Kokeen suoritti: M.Sallasvaara

Liite 8:

Vedenläpäisevyys muuttuvapainekokeena, tuloslomake.

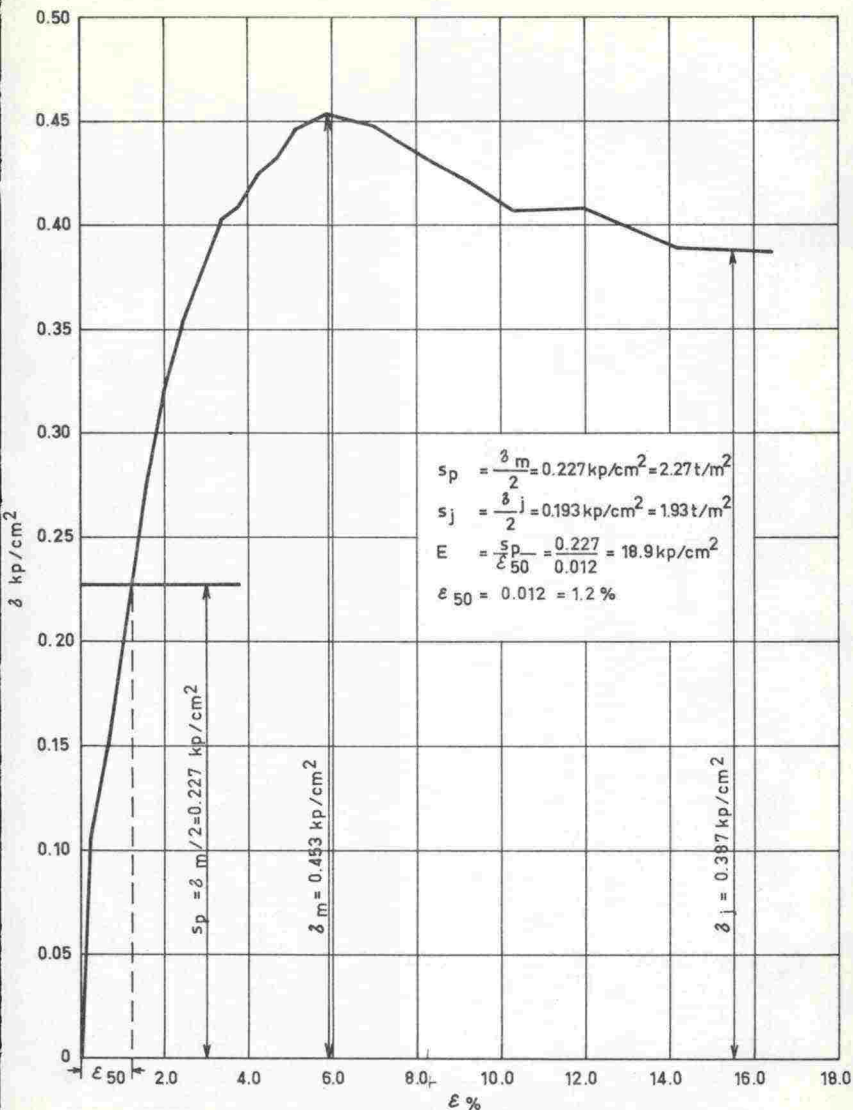
## PURISTUSKOE

Tilaja: <i>Geoteknillinen laboratorio</i>							
Tutkimus: <i>Sipikairatutkimus, Riihimäki</i>							
Piste, paalu <i>1</i>		Syvyys m <i>3,80</i>		Laboratorio nro <i>682</i>			
Ennen puristusta							
$H_0$ <i>7,2</i> cm	$D_0$ <i>3,6</i> cm	$A_0$ <i>10,17</i> cm <sup>2</sup>	$V_0$ <i>23,12</i> cm <sup>3</sup>				
$W_0$ <i>120,2</i> g	$\gamma_0$ <i>1,64</i> t/m <sup>3</sup>	$n_0 = [1 - (W_0/G \cdot V_0)] \cdot 100$		<i>63,8</i> %			
Kokeen jälkeen							
Astian n:o <i>7</i>	Astian paino <i>25,32</i> g						
Astia + kostea näyte <i>145,78</i> g	Kostea näyte <i>120,46</i> g						
Astia + kuiva näyte <i>96,69</i> g	Kuiva näyte $W_k$ <i>71,37</i> g						
Vesipitoisuus <i>49,09</i> g	$w$ <i>68,8</i> %						
Ominaispaino $G$ <i>2,69</i> g/cm <sup>3</sup>	Jousi n:o <i>64026</i>						
<i>Nopeus 0,80 mm/min</i>							
Aika min, s	Kuormitus		Painuma			Korj.	$\sigma = P/A_k$ kp/cm <sup>2</sup>
	Lukema	P Kp	Lukema	$\Delta H$ mm	$100 \frac{\Delta H}{H_0}$ E %	pinta-ala $A_k$ , cm <sup>2</sup>	
0,00	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	10,17	0,00
0,31	0,10	0,98	19,84	0,16	0,22	10,19	0,096
1,02	0,16	1,57	19,52	0,48	0,67	10,24	0,153
1,33	0,22	2,17	19,20	0,80	1,11	10,28	0,211
2,07	0,29	2,86	18,88	1,12	1,56	10,33	0,276
2,40	0,34	3,33	18,56	1,44	2,00	10,38	0,321
3,13	0,38	3,70	18,24	1,76	2,44	10,42	0,355
3,46	0,41	3,96	17,92	2,08	2,89	10,47	0,378
4,18	0,44	4,22	17,60	2,40	3,33	10,52	0,402
4,50	0,45	4,32	17,28	2,72	3,78	10,57	0,409
5,22	0,47	4,50	16,96	3,04	4,22	10,62	0,424
5,54	0,48	4,60	16,64	3,36	4,67	10,67	0,432
6,23	0,50	4,78	16,32	3,68	5,11	10,72	0,446
7,09	0,51	4,90	15,96	4,24	5,89	10,81	0,453
8,12	0,51	4,90	14,96	5,04	7,00	10,84	0,448
9,17	0,50	4,78	14,16	5,84	8,11	11,07	0,432
10,28	0,49	4,70	13,36	6,64	9,22	11,20	0,420
11,45	0,48	4,60	12,56	7,44	10,33	11,34	0,406
13,37	0,49	4,70	11,36	8,64	12,00	11,56	0,407
15,47	0,48	4,60	9,76	10,24	14,22	11,86	0,388
18,13	0,49	4,70	8,16	11,84	16,44	12,17	0,386
20,43	0,50	4,78	6,56	13,44	18,67	12,50	0,382
<i>Esim</i>							
<i>Aika 2:40 tarkoittaa sitä, että muodonmuutoksen</i>							
<i>G = 2,00% saavuttamiseen on kulunut aikaa kokeen</i>							
<i>alusta 2 min 40 s</i>							

Leikkauslujuus  $\epsilon_p$  *2,27* t/m<sup>2</sup> Moduli E *18,9* kp/cm<sup>2</sup> E/ $\epsilon_p$  *83,3*

Liite 9:

Kolmiakiaalikojeella tehtävän puristuskokeen tuloslomake.



Liite 10:

Puristuskokeen jännitys-muodonmuutoskuvaajan esittäminen (voidaan piirtää esim. millimetripaperille).

PAINUMAKOEE  
PAINUMAHAYAINNOT

Maalaji *Liso*

Tilaaaja: *Tie- ja vesirakennushallitus*

Tutkimus: *Siipikairatutkimus, Salon ohikulkutie*

Piste: *1* paalu: *28+45 (Keskilinja)* Syvyys m: *15.0*

Laboratorio nro: *287*

Laitte: *15* Rengas: *6* Naytteen korkeus kokeen alussa h: *2.0* cm

Polkileikkaus A: *18.1* cm<sup>2</sup>

Pvm.	Kello			Aika t	Lukema mm	Kuormitus kp/cm <sup>2</sup>	Painuma Δ h		Pvm.	Kello			Aika t	Lukema mm	Kuormitus kp/cm <sup>2</sup>	Painuma Δ h	
	h	m	s				mm	%		h	m	s				mm	%
10.10	9	49		0	10.000	0.1						30"	9670				
				6"	9960			9	03	1'	9661						
				12"	9956			9	04	2'	9648						
				18"	9952			9	06	4'	9628						
				30"	9947				9	10	8'	9607					
		9	50		1'	9940			9	17	15'	9588					
		9	51		2'	9930			9	32	30'	9568					
		9	53		4'	9918			10	02	1h	9551					
		9	57		8'	9905			11	02	2h	9535					
		10	04		15'	9898			13	02	4h	9519					
		10	19		30'	9889			17	02	8h	9505					
		10	49		1h	9883			13.10	8	58	1vrk	9485	0.4	0.5	2.6	
		11	49		2h	9879			13.10	8	58	0		0.8			
		13	49		4h	9872						6"	9448				
	17	49		8h	9863						12"	9435					
11.10				1vrk	9852	0.1	0.4	0.7			18"	9430					
11.10	8	58		0		0.2						30"	9419				
				6"	9840							1'	9400				
				12"	9838			9	00	2'	9375						
				18"	9834			9	02	4'	9335						
				30"	9831				9	06	8'	9292					
		8	59		1'	9828			9	13	15'	9249					
		9	00		2'	9822			9	28	30'	9205					
		9	02		4'	9809			9	58	1h	9172					
		9	06		8'	9798			10	58	2h	9142					
		9	13		15'	9791			12	58	4h	9113					
		9	28		30'	9782			16	58	8h	9088					
		9	58		1h	9775			14.10	8	10	1vrk	9048	0.8	0.3	4.8	
		10	58		2h	9732			14.10	9	08	0	9020	1.6			
		12	52		4h	9724						6"	8980				
	16	58		8h	9717						12"	8968					
12.10	8	35		1vrk	9702	0.2	0.2	1.5			18"	8955					
12.10	9	02		0		0.4						30"	8938				
				6"	9681							1'	8902				
				12"	9678			9	10	2'	8855						

Liite 11 a:  
Painumakokeen havaintolomake.



Pvm.	Kello			Aika	Lukema mm	Kuormitus kp/cm <sup>2</sup>	Painuma Δ h		Pvm.	Kello			Aika	Lukema mm	Kuormitus kp/cm <sup>2</sup>	Painuma Δ h	
	h	m	s				mmi	%		h	m	s				mm	%
	9	12		4'	8780												
	9	16		8'	8683				19.10	8	34		1vrk	3926	0,8	6074	30,4
	9	23		15'	8578				19.10	17	30		9h	4707	0,1	5291	26,5
	9	38		30'	8438												
	10	08		1h	8283				20.10	8	30		15h	4531	0,4	5469	27,4
	11	08		2h	8100				20.10	17	30		9h	3782	1,6	6018	30,1
				4h	7935				21.10	8	30		15h	2930	6,4	7870	35,4
				8h	7775												
16.10	8	37		2vrk	7350	1,6	2,64	132									
16.10	8	46		0	7350	3,2											
				6"	7285												
				12"	7265												
				18"	7240												
				30"	7212												
				1'	7155												
	8	48		2'	7060												
	8	50		4'	6977												
	8	54		8'	6709												
	9	01		15'	6486												
	9	16		30'	6130												
	9	46		1h	5730												
	10	46		2h	5413												
	12	46		4h	5180												
	16	46		8h	5029												
17.10	8	35		1vrk	4860	3,2	5,14	257									
	8	46		0		6,4											
				6"	4770												
				12"	4750												
				18"	4735												
				30"	4713												
				1'	4673												
	8	48		2'	4639												
	8	50		4'	4555												
	8	54		8'	4418												
	9	01		15'	4252												
	9	16		30'	4000												
	9	46		1h	3742												
	10	46		2h	3558												
	12	46		4h	3433												
	16	46		8h	3340												
18.10	8	30		1vrk	3240	6,4	6,80	338									

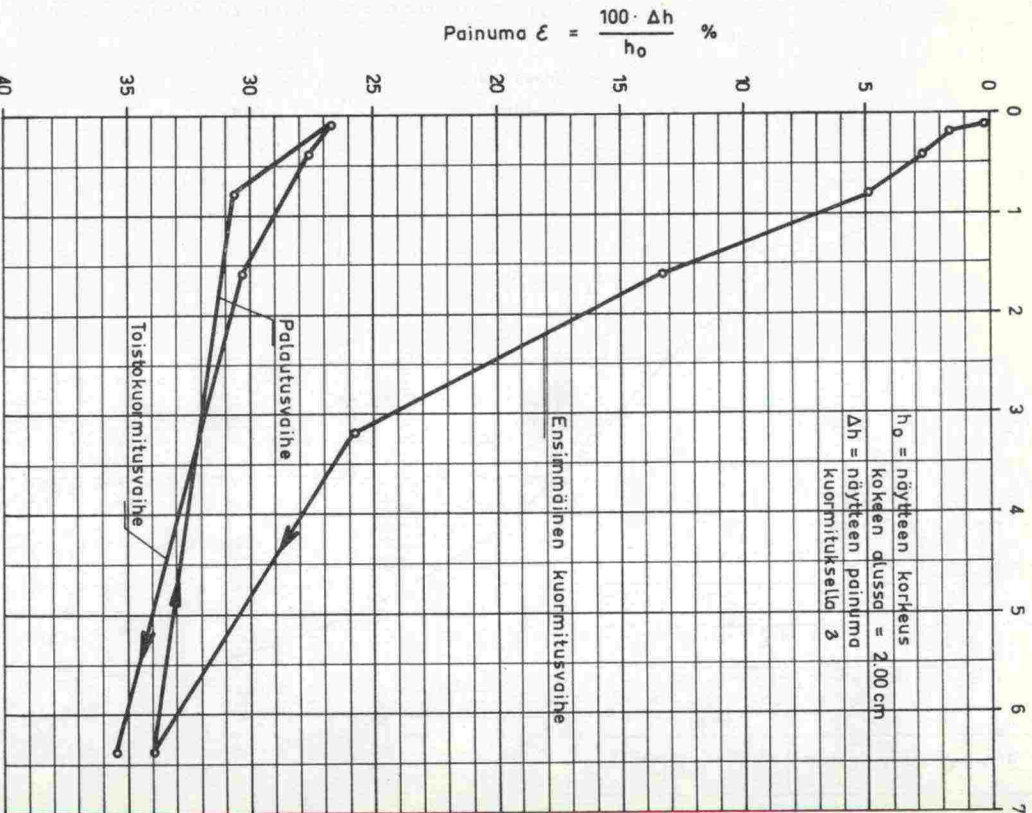
Liite 11 b:

Painumakokeen havaintolomake, kääntöpuoli.

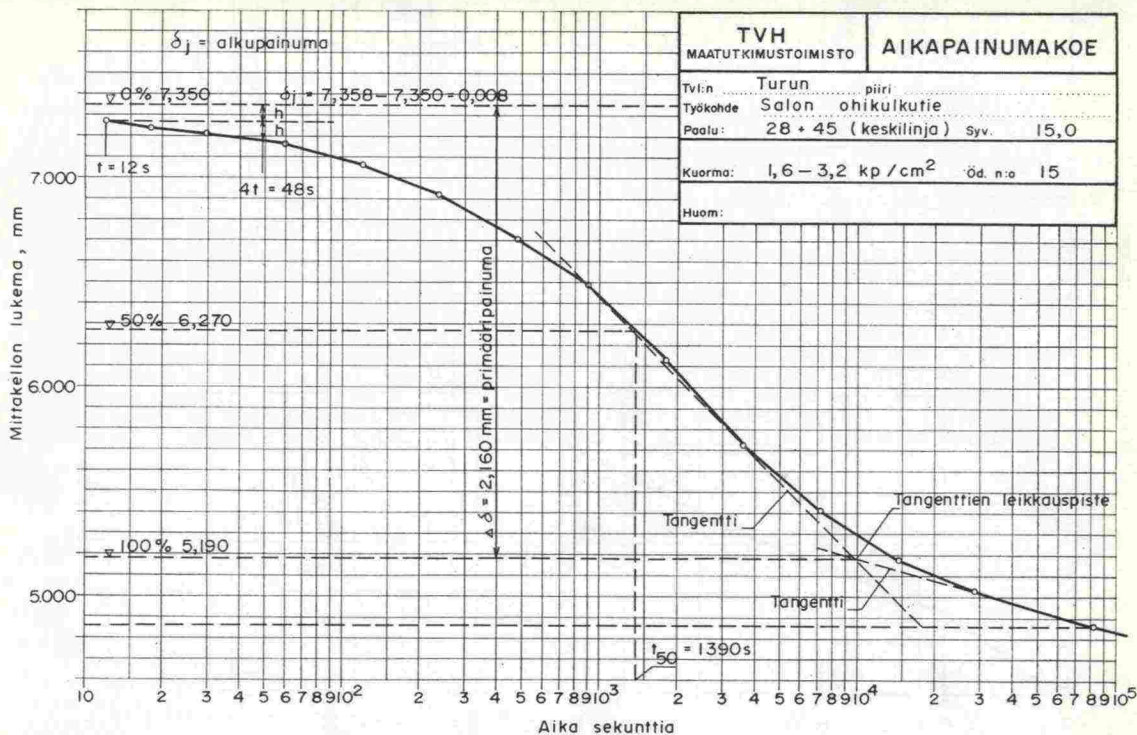
		Painumakoe Laskulomake			
Tilaaja <i>Tie- ja vesirakennushallitus</i>					
Tutkimus <i>Suipikairatutkimus Salon ohikukutie</i>					
Piste <i>1 Paalu 2045 keskellä</i> Syvyys <i>15,0</i> m Laboratorio n:o <i>287</i>					
Laite <i>15 Rengas 6</i> Korkeus kokeen alussa <i>2,0</i> cm Poikkileikkaus <i>10,1</i> cm <sup>2</sup>					
Kokeen alussa			Kokeen lopussa		
Tilavuus $V_0 = A \cdot h_0$	<i>36,2</i>	cm <sup>3</sup>	Astian numero	<i>14</i>	
Näyte + rengas	<i>118,56</i>	g	Astian paino	<i>21,16</i>	g
Rengas	<i>67,89</i>	g	Astia + kostea näyte	<i>63,32</i>	g
Kostea näyte	<i>53,67</i>	g	Astia + kuiva näyte	<i>48,69</i>	g
Kuiva näyte $W_k$	<i>27,53</i>	g	Kostea näyte	<i>42,16</i>	g
Vesi	<i>26,14</i>	g	Kuiva näyte $W_k$	<i>27,53</i>	g
Vesipitoisuus $w_0$	<i>95</i>	%	Vesi	<i>14,63</i>	g
Huokosuus $n_0$	<i>71,2</i>	%	Vesipitoisuus $w_s$	<i>53</i>	%
Huokosluku $e_0$	<i>2,16</i>		Kartiokoe, kartion paino	<i>400</i>	g
Kyllästymisaste $s_{w0}$	<i>100</i>	%	Painumat mm	<i>5,9; 5,3; 5,8</i>	
Tilavuuspaino $\gamma$	<i>14,8</i>	t/m <sup>3</sup>	Leikkauslujuus $s_k$	<i>12,9</i>	t/m <sup>2</sup>
Tiheys $\gamma_s$ <i>2,64</i> g/cm <sup>3</sup> , Hm <i>2,6</i> % Maalaji <i>Lj, Sa</i>					
$n_0 = (1 - \frac{W_k}{\gamma_s \cdot V_0}) \cdot 100; e_0 = \frac{n_0}{100 - n_0}; s_w = \frac{W \cdot \gamma_s}{e}; \Delta e = (1 + e_0) \frac{\Delta h}{h_0}$					
Kuormitus $\delta$ , kp/cm <sup>2</sup>	Määrävä painuma $\Delta h$ , mm	Huokoslu- vun muu- tos $\Delta e$	Huokosluku $e = e_0 - \Delta e$	Kons. ker- roin $c_v$ , cm <sup>2</sup> /s	Huom.
<i>Ensimmäinen kuormitusvaihe</i>					
<i>0,1</i>	<i>0,148</i>	<i>0,7</i>	<i>0,03</i>	<i>2,43</i>	
<i>0,2</i>	<i>0,239</i>	<i>1,5</i>	<i>0,05</i>	<i>2,41</i>	
<i>0,4</i>	<i>0,515</i>	<i>2,6</i>	<i>0,09</i>	<i>2,37</i>	
<i>0,8</i>	<i>0,952</i>	<i>4,8</i>	<i>0,16</i>	<i>2,30</i>	
<i>1,6</i>	<i>2,642</i>	<i>13,2</i>	<i>0,46</i>	<i>2,00</i>	<i>2,64 \cdot 10^{-4}</i>
<i>3,2</i>	<i>5,140</i>	<i>25,7</i>	<i>0,89</i>	<i>1,57</i>	<i>0,94 \cdot 10^{-4}</i>
<i>6,4</i>	<i>6,760</i>	<i>33,8</i>	<i>1,17</i>	<i>1,29</i>	
<i>Palauttamisvaihe</i>					
<i>0,8</i>	<i>6,074</i>	<i>30,4</i>	<i>1,05</i>	<i>1,41</i>	
<i>0,1</i>	<i>5,293</i>	<i>26,5</i>	<i>0,92</i>	<i>1,54</i>	
<i>Toistokuormitusvaihe</i>					
<i>0,4</i>	<i>5,463</i>	<i>27,4</i>	<i>0,95</i>	<i>1,57</i>	
<i>1,6</i>	<i>6,013</i>	<i>30,1</i>	<i>1,07</i>	<i>1,39</i>	
<i>6,4</i>	<i>7,070</i>	<i>35,4</i>	<i>1,22</i>	<i>1,24</i>	

Liite 12:  
Painumakokeen laskulomake.

Kuormitus  $\delta$  kp/cm<sup>2</sup>

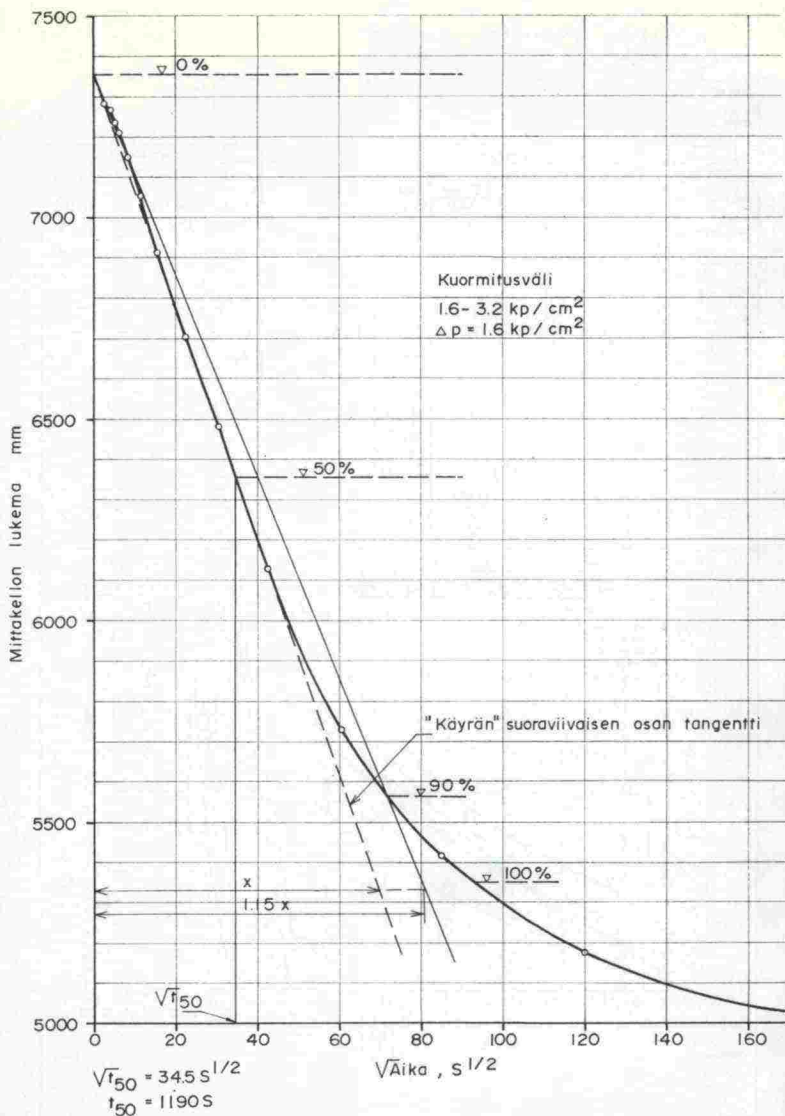


Liite 13:  
Painumakokeen kuormitus-painumakäyrä (voidaan piirtää esim. millimetripaperille).



Liite 14:

Painumakokeen aika painumakäyrä logaritmiasteikolla, tvh 2.653.



Liite 15:

Painumakokeen aika-painumakäyrä neliöjuuriasteikolla (voidaan piirtää esim. millimetripaperille).

TVH MAATUTKIMUSTOIMISTO		PÄÄLLYSTEKIVIAINEKSEN MURSKAUS Ab ja Sab								
Tieosa/Työmaa			Työn no				Piiri			
Murskaamo		Tark.aika								
Näytetutkimukset							Tarkkailu			
Määritys	I	II	III	□ mm	I	II	III	Murskaustarve		
				Seula	Läpäisi %	Läpäisi %	Läpäisi %			
Ompaino				64				0...6 mm	.....	m <sup>3</sup>
Haurausrarvo				55				6...12 »	.....	»
Los Angeles				32		100		12...20 »	.....	»
Muotoarvo				25				0...20 »	.....	»
Murtop.luku				20						
				16		99.9		Murskattu		
Vesipit.				12	100	96.8		0...6 mm	.....	m <sup>3</sup> %
				8	96.3	49.3		6...12 »	.....	»
				6	82.5	18.5		12...20 »	.....	»
				4	62.5	5.6		0...20 »	.....	»
				2	49.0	2.0		.....	.....	»
				1	38.6	0.2		.....	.....	»
				0.5	30.0			Käytöstark. ....		
				0.25	19.5			..... kätyn keskiarvo		
				0.125	10.2			.....		
				0.074	8.9			Alustsuht.: I % II % III %		

0.2 hiekka      2 sora      20 kivet

karkea      hieno 0.6 karkea      hieno 6 karkea      pienet 60

□ 0.074 0.125 0.25 0.5 1 2 4 6 8 12 20 25 35 40 50 55 64 [mm]

Liite 16:

Kivianneksen rakeisuustutkimuksien esittäminen lomakkeella tvh 2.549.

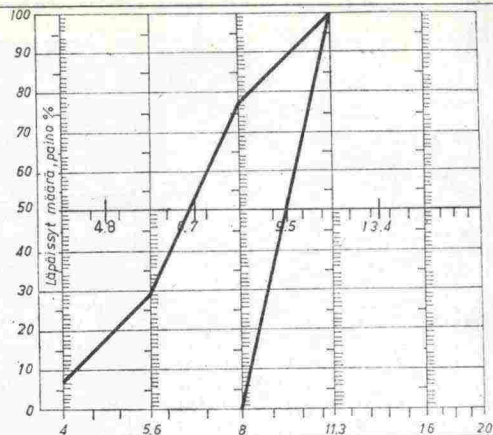
TVH MAATUTKIMUSTOIMISTO		KIVIAINESTUTKIMUS													
Tvl:n _____		pilri: Työmaa _____													
Näytteen laatu _____		ottaja _____		ottoaika _____											
ottopaikka _____															
<b>OMINAISPAINO</b> Om = $\frac{P_i}{P_i - P_v}$ P <sub>i</sub> = Paino ilmassa P <sub>v</sub> = Paino vedessä		P <sub>i</sub> = _____ g P <sub>v</sub> = _____ g P <sub>i</sub> - P <sub>v</sub> = _____ g Ominaispaino _____		<b>TILAVUUSPAINO</b> $V_k = \frac{P_k - P_a}{V}$ P <sub>k</sub> = Astian ja kiviaineksen yhteispaino P <sub>a</sub> = Astian paino V = Tilavuus		P <sub>k</sub> = _____ g P <sub>a</sub> = _____ g P <sub>k</sub> - P <sub>a</sub> = _____ g V = _____ cm <sup>3</sup> Tilavuuspaino _____									
AKSELISUHDE				MUOTOARVO				MUOTOLUKU							
a = paksuus, lyhjn akseli (mm)				b = leveys, keskiakseli (mm)				c = pituus, pisin akseli (mm)							
No	a	b	c	$\frac{c}{a} < 2,5$	No	a	b	c	$\frac{c}{a} < 2,5$	No	a	b	c	$\frac{c}{a} < 2,5$	
1	6	9	16		26	8	8	21		51	7	10	17	x	
2	5	8	13		27	6	12	18		52	6	10	17		
3	7	10	20		28	8	9	12	x	53	8	9	12	x	
4	7	11	15	x	29	6	10	17		54	6	12	18		
5	5	9	19		30	7	10	17	x	55	8	8	21		
6	8	8	21		31	5	8	13		56	5	9	19		
7	6	12	18		32	7	11	15	x	57	7	11	15	x	
8	8	9	12	x	33	8	8	21		58	7	10	20		
9	6	10	17		34	8	9	12	x	59	5	8	13		
10	7	10	17	x	35	7	10	17	x	60	6	9	16		
11	6	11	19		36	6	9	16		61	7	10	17	x	
12	5	10	18		37	7	10	20		62	8	9	12	x	
13	7	8	17	x	38	5	9	19		63	8	8	21		
14	6	9	20		39	6	12	18		64	7	11	15	x	
15	6	10	16		40	6	10	17		65	5	8	13		
16	6	10	13	x	41	6	11	19		66	6	10	17		
17	7	8	13	x	42	7	8	17	x	77	6	12	18		
18	5	12	20		43	6	10	16		68	5	9	19		
19	4	9	21		44	7	8	13	x	69	6	10	20		
20	8	11	16	x	45	4	9	21		70	6	9	16		
21	6	9	16		46	5	10	18		71	8	11	16	x	
22	5	8	13		47	6	9	20		72	4	9	21		
23	7	10	20		48	6	10	13	x	73	5	12	20		
24	7	11	15	x	49	5	12	20		74	7	8	13	x	
25	5	9	19		50	8	11	16	x	75	6	10	13	x	
155 241 424 8				160 243 424 9				159 242 421 9				161 240 426 7 635 966 1695 33			
Keskisarvo: mitattu				Muotoarvo, mitattu				$\frac{c}{a} = \frac{1695}{635} = \underline{\underline{2.67}}$				$\frac{c}{a} = \frac{1695}{152} = \underline{\underline{1.52}}$			
a 6.35				(Akselisuhteet)				$\frac{b}{a} = \frac{241}{635} = \underline{\underline{0.38}}$				$\frac{b}{a} = \frac{240}{152} = \underline{\underline{1.58}}$			
b 9.66								$\frac{c}{a} = \frac{1695}{6.5} = \underline{\underline{260.77}}$				$\frac{c}{a} = \frac{1695}{1.46} = \underline{\underline{1160.96}}$			
c 16.95								$\frac{b}{a} = \frac{243}{6.5} = \underline{\underline{37.39}}$				$\frac{b}{a} = \frac{240}{1.46} = \underline{\underline{164.38}}$			
				Muotoarvo, mitattu ja seulottu											
$\frac{c}{a} < 2,5$ 33 kpl.				Muotoluku 33 %											

Liite 17 a:  
Kiviainestutkimusten työlomake, tvh 2.238.

## LIUSKEISUUSLUKU

Seula	Seulalle jäi		Läpäisi
	g	%	%
20			
16			
11.3		0	100
8	500	100	0
5.6			
4			
2			
Pohja			
<b>Yhteensä</b>			
Välppä	Välppälle jäi		Läpäisi
	g	%	%
20			
16			
11.3			100
8	112	22.5	77.5
5.6	241	48.3	29.2
4	110	22.0	7.5
2	36	7.2	
Pohja			
<b>Yhteensä</b>	<b>499</b>		
<b>1.46</b>	$\frac{b}{a} = \frac{9.5}{6.5}$		

Liukseisuusluku



### KOSTEUS

Vesipitoisuus (W)	Astia n:o
$W = 100 \cdot \frac{P_m - P_k}{P_k - A_p} \%$	$P_m$ g
$P_m$ = Paino märkänä astioineen	$P_k$ g
$P_k$ = Paino kuivana	$A_p$ g
$A_p$ = Astian paino	$P_m - P_k$ g
	$P_k - A_p$ g
	W %

### HUMUS

Humuspitoisuus (Hp)	Astia n:o
$H_p = 100 \cdot \frac{P_k - P_b}{P_k - A_p} \%$	$P_k$ g
$H_p = H_b - K_v$	$P_b$ g
$P_b$ = Paino hehkurettuna ast.	$A_p$ g
$H_b$ = Mehkutushäviö	$P_k - P_b$ g
$K_v$ = Kidevesi (käyrästä)	$H_b$ %
Humuspitoisuus	$P_k - A_p$ g
	$K_v$ %
	$H_p$ %
	$H_p$ (NaOH) %

### MURTOPINTALUKU

Kokonaan murskautunutta A	g	%
Osittain murskautunutta B	g	%
Murskautumatonta C	g	%
Murtopintaluku (M) A/B		

### HAURAU SARVO

Seulottu lajite	8 — 11.3 mm
Välppätty lajite	5.6 — 8 mm
Näyttemäärä	$\frac{O_m}{2.65} \cdot 500 = 518$ g.
Lajitteen alarajana olleen seulan läpäissyt ainesmäärä	274 g
<b>Haurausarvo</b>	<b>53</b>

### LOS ANGELESLUKU

Asteitus	B	Kuulamäärä	4504 g
Ø 1.68 mm seulan läpäissyt määrä			1398 g
<b>Los Angeles-luku</b>			<b>28</b>

Huom.

*Liite 17 b: Kiviainestutkimusten työlomake, tvh 2.238, kääntöpuoli.*



TVH

MAATUTKIMUSTOIMISTO

KIVITUTKIMUSSELOSTE

/

Tvl:n \_\_\_\_\_ piiri

Tieosa/Työmaa \_\_\_\_\_

Näytteen ottopaikka \_\_\_\_\_

-laatu  Louhoskiveä  Kiviä  Soraa  Mursketta  Murskesoraa  Sepeliä, lajite \_\_\_\_\_ mm

-ottoaika \_\_\_\_\_ -ottaja \_\_\_\_\_ »

Käyttötarkoitus \_\_\_\_\_ »

Kivilaji:

## Näytteen tunnus

Tutkimustulokset:

Ominaispaino

Muotoarvo (c/a, b/a)

Haurausarvo (b/a=1,4)

Los Angelesluku

Humus (NaOH)

Liete (□ &lt; 0,074 mm)

Murtopintaluku

Tilavuuspaino □ mm

Kelpoisuus:

Pintakäsittelyt

Kestopäälysteet

Kylmäpäälysteet

Kantava kerros

	Hyvä	Tyyd.	Vältr.*	Huono*	Hyvä	Tyyd.	Vältr.*	Huono*	Hyvä	Tyyd.	Vältr.*	Huono*

\* Ryhdyttävä toimenpiteisiin paremman aineksen saamiseksi.

Huomautuksia:

Vaatimukset:

Pintakäsittelyt &lt; 2,6/1,4 &lt; 50 &lt; 25

Kestopäälysteet &lt; 2,8/1,5 &lt; 55 &lt; 30

Kylmäpäälysteet &lt; 2,8/1,5 &lt; 95 &lt; 30

Kantava kerros &lt; 3,0/1,6 &lt; 60 &lt; 35

kuun \_\_\_\_\_ p:nä 19 \_\_\_\_\_

Geologi \_\_\_\_\_

Liite 18:

Kiviainestutkimusten tulos- ja lausuntolomake, tvh 2.540.

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS		PÄÄLLYSTENÄYTTEIDEN OTTOLOMAKE			
Tielaboratorio					
Työn n:o 119/4	Työmaa Lammi kk-Kaittala	Tilaaja	Rakennuttajan edustaja E. Kosonen		
Pvm 8/8 67	Päälyysrakennustyö N:o III c/1967	Urakoitsija Tie-Tarro Oy	Urakoitsijan edustaja A. Kuosmanen		
Näytteen runnus ja n:o	s x	Paalu	Kaista	Etäisyys reunasta m	Näytteiden ottokohteiden kartta
1	x	1+00	0	0,5	
2	x	"	0	1,5	
3	x	"	0	2,5	
4	x	"	S	3,0	
5	x	"	v	2,5	
6	x	"	v	1,5	
7	x	"	v	0,5	
8	x	10+50	o	0,6	
9	x	"	o	1,6	
10	x	"	o	2,6	
11	S	"	v	3,0	
12	x	"	v	2,6	
13	x	"	v	1,6	
14	x	"	v	0,6	

Näytteiden ottaja:

Rekola/Siro

Näytteiden numerointi merkitään myös tähän karttaan

Huomautuksia:

s = saunanäyte x = kaistanäyte

VTT Tielaboratorio T2-004

Lite 19 a:  
Päälystenäytteiden ottolomake, vtt T2-004.

Sek. aseman nimi <b>Syrjäntaka</b>	TVL piiri <b>Hämeen</b>	Porattu km-määrä <b>1,6</b>	Päällystettävän tieosan koko pituus <b>1,1 km</b>
Päällysteen laatu <b>SAB 18</b>	Massan ohjemenekki kg/m <sup>3</sup> <b>120</b>	Sideaineen laatu <b>B-120</b>	Sideaineen ohjearvo <b>5,9 %</b>
Ohjekäyrä 0.074 mm läp-% <b>9</b>	4 mm läp-% <b>51</b>	12 mm läp-% <b>81</b>	16 mm läp-% <b>-</b>

#### PÄÄLLYSTENÄYTTEIDEN OTTO

##### Näytteenotto poraamalla

1. Poraamalla otetaan näytteet ns. kaistanäyteinä määrävällein yli kaistan.
2. Poraanäytesyarja otetaan siten, että näytteet muodostavat kaksi ajoradan poikkisuuntaista riviä, joiden etäisyys mitattuna näytteiden keskeistä keskeille on 30 cm.
3. Kummassakin rivissä tulee olla yksi näyte laskukaistan leveysmitriä kehden.
4. Ensimmäinen poikkileikkauksen paikka valitaan ennakoita n. 100 - 500 m alusta lukien. Valinnan suorittavat urakoitsijan ja rakennuttajan edustajat yhdessä tai sen suorittaa Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen tielaboratorio.
5. Tien ollessa kaksoikaistainen, porataan ensimmäinen poikkileikkaus siten, että ensimmäinen näyte otetaan 0.50 m päällysteen ulkoreunasta, seuraava 1,00 m ensimmäisestä ja kolmas näyte jälleen 1,00 m toisesta jne. (katso kartta).
6. Toinen kaista porataan täysin symmetrisesti edellisen suhteen.
7. Rinnakkaispoikkileikkaus porataan siten, että tien poikkisuunnassa olevien reikarivien väli mitattuna reikien keskipisteistä on 30 cm (katso kartta). Rinnakkaisnäytteitä otetaan vain silloin kun tutkitaan myös päällysteen stabiilisuus.
8. Seuraava poikkileikkaus otetaan 1000 m päästä edellisestä. Mikäli näytteet tulevat 1 m lähemmäksi poikkitaissaumaa, siirretään näytteenottokohta 10 m taaksepäin.
9. Toisen kaistanäytesyarjan ensimmäisen näytteen etäisyys päällysteen ulkoreunasta on 0,60 m, (katso karttapilirros) jne.
10. Kuudennen poikkileikkauksen ensimmäinen näyte on 1,0 m etäisyydessä päällysteen reunasta. Seuraava poikkileikkaus otetaan kuten ensimmäinenkin.
11. Mikäli päällyste levitetään käyttäen 3 tai 4 levityskäistä, otetaan näytteet aivan samoin etäisyyksiin symmetrisesti keskiviivan suhteen kuin kaksoikaistaisiakin tapauksessa.
12. Jokaisesta poikkileikkauksesta otetaan saumanäytteet (2 kpl 30 cm. etäisyyksiin), joihin merkitään sauma liituvivalla.
13. Näytteet numeroidaan juoksevilla numeroilla kuitenkin siten, että rinnakkaisnäytteillä on aina sama numero. Niitä ei tarvitse erotella millään lisämerkinnöillä.

##### Näytteenotto hakkaamalla

14. Pienissä päällystetöissä voidaan näyte ottaa hakkaamalla, jolloin näytteen suuruuden tulee olla n. 40 x 40 cm.
15. Näyte on otettava siten, että se mahdollisimman tarkasti vastaa valmiin päällysteen keskimääräistä koostumusta. Sitä ei saa ottaa paikasta, missä päällystettä ei ole voitu jyräämällä tiivistää.
16. Näytteiden paikoista on kulloinkin sovittava tilaajan ja urakoitsijan kesken.

##### Näytteiden pakkaus ja lähettäminen

17. Näytteet pakataan huolellisesti puulaatikoihin yhteen kerrokseen siteapuoli alaspäin. Edullisinta on käyttää ns. näytteidenkuljetuslaatikoita, jotka ovat vartavasten tehty kuljetusta varten.
18. Näytteitä lähetettäessä Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen tielaboratorion tutkittavaksi, on näytteenottoaika ehdottomasti merkittävä näytteenottolomakkeeseen ja lomake lähetettävä näytteiden mukana tielaboratorion os. Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen tielaboratorio, Oraniemi.

Liite 19 b:

Päällystenäytteiden ottolomake, vtt T2-004, kääntöpuoli.

TVH

Maatutkimustoimisto

Näytteen lähetyslomake

Keski-Suomen

piiri

Näytteen n:o

Työmaa/tutkimus Hiukkaniemä-OjalaTyömaan n:o 222Näytteenottopalkka pl.210+05Paikkakunta HiukkaniemäOttopäivä 18.6.1966

Näytteen laatu:

(luku)

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Pohjamaa            | <input type="checkbox"/> Bitumi  |
| <input type="checkbox"/> Täytemaa, moreeni   | <input type="checkbox"/> Bitumiliuos                                   |
| <input type="checkbox"/> Savi, hiehta, hiesu | <input type="checkbox"/> Tieöljy                                       |
| <input type="checkbox"/> Sora, hiekka        | <input type="checkbox"/> Terva   |
| <input type="checkbox"/> Somero              | <input type="checkbox"/> Tartuke                                       |
| <input type="checkbox"/> Murskesora, murske  | <input type="checkbox"/> Täytejauhe                                    |
| <input type="checkbox"/> Sepelilajite        | <input checked="" type="checkbox"/> Asf. päällyste <u>2 x 4 poran.</u> |
| <input type="checkbox"/> Louhoskivi          | <input checked="" type="checkbox"/> Asf. massa <u>Ab18/100</u>         |
| <input type="checkbox"/>                     | <input type="checkbox"/> Öljysoramassa                                 |
| <input type="checkbox"/>                     | <input type="checkbox"/>   |

Tutkimuksen tarkoitus

Selvitys siitä, täyttävätkö näytteet laatuvaatimukset

Näytteestä tutkitaan kelpoisuus:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Kantavaan kerrokseen          | <input type="checkbox"/> Stabiilointiin             |
| <input type="checkbox"/> Jakavaan »                    | <input type="checkbox"/> Öljysorakulutuserrokseen   |
| <input type="checkbox"/> Eristys-, suodatinkerrokseen. | <input type="checkbox"/> Betoniin                   |
| <input type="checkbox"/> Soratien kulutuskerrokseen    | <input checked="" type="checkbox"/> Sideainemäärä   |
| <input type="checkbox"/> Pengertäytteeeseen            | <input type="checkbox"/> Rakeisuus                  |
| <input type="checkbox"/> Päällysteeseen                | <input type="checkbox"/> Stabiilisuus               |
| <input type="checkbox"/> Imeytykseen                   | <input checked="" type="checkbox"/> Asf. massanäyte |
| <input type="checkbox"/>                               | <input type="checkbox"/>                            |

Maalajinäyte:

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Routivuus-           | <input checked="" type="checkbox"/> Päällystenäyte | <input checked="" type="checkbox"/> Sideainemäärä |
| <input type="checkbox"/> Kantavuustuk. värtin | <input type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/> Rakeisuus     |
| <input type="checkbox"/>                      | <input type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/> Stabiilisuus  |
| <input type="checkbox"/>                      | <input type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/> Tyhjälä       |
| <input type="checkbox"/>                      | <input type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/> Massamäärä    |

Tutkimusulokset pyydetään lähettämään piirikonttorille sekä tiedoksi os. ins.

P. Kujala, TVH Hiukkaniemä

(puh. \_\_\_\_\_).

P. Kujala

Näytteen lähettäjä

Tämä kappale jää piirikonttorille.

Liite 20:  
Näytteen lähetyslomake, tvh 2.539.

TVH

MAATUTKIMUSTOIMISTO

ASFALTTIMASSA

Tieosa/Työmaa Hiukkavaara-Kuusijärvi

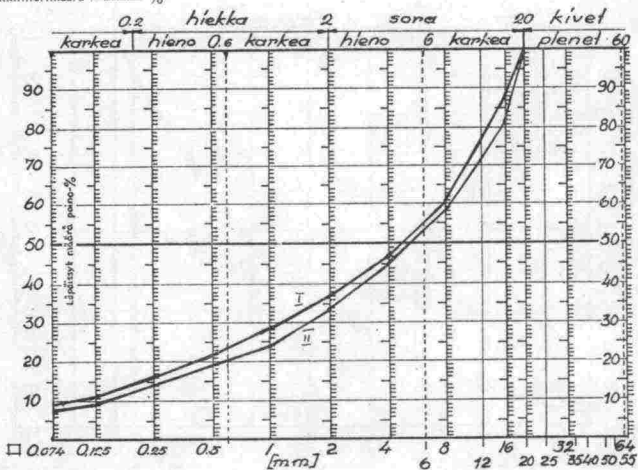
Työn nro 777

Piiri Keski-Suomi

Sekoitussämaa Kuusikko

Tark.aika

Näyte I:	Bitumipitoisuus	Rakeisuus		Näytteenotto kohta	
		I	Näyte	I	II
			32		Näyte II Pl. 87+02 oik. k.
Asf.massanäyte (a)	1300,1	25			
Pesty näyte (kiviaines) (b)	1228,2	20	100	100	
Bitumimäärä a-b (c)	71,9	16	88	82	Huomautukset
		12	76	72	Massan lämpötila 150°C
Bitumipitoisuus $\frac{c}{a} \cdot 100$	5,53%	8	61	58	
Näyte II:		11	6	55	53
			4	47,0	45,2
			2	37,1	33,4
Asf.massanäyte (a)	1250,0	1	28,3	23,4	
Pesty näyte (kiviaines) (b)	1180,2	0.5	21,5	18,8	
Bitumimäärä a-b (c)	69,8	0.25	15,7	14,1	
		0.125	11,2	9,3	
Bitumipitoisuus $\frac{c}{a} \cdot 100$	5,58%	0.074	9,0	7,5	
Kalkkifillerimäärä %					



Päiväys ja allekirjoitus:

Kuusijärvi  
Pekka Peltonen

68 1966

Liite 21:  
Asfalttimassan tutkimuslomake, tvh 2.542.

Tieosa/Työmaa Koikkala-Karala

Työn no 999

Piiri Keski-Suomi

Sekoitusasema Karala

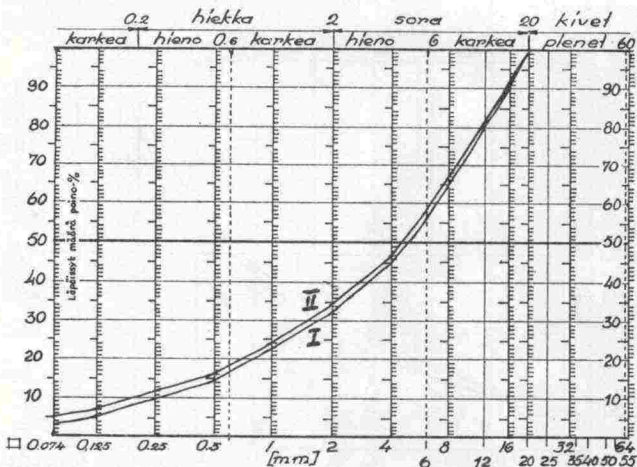
Tark.aika

	Sisäinepitoisuus	
	Näyte I	Näyte II
Kostea massanäyte ..... (a)	1000,1	1000,0
Saatu vesimäärä ..... (b)	40,2	35,4
Kuivan kiv.ain. paino ..... (c)	988,3	932,2
Vesipitoisuus (%) lasketaan prosentteina kuivan kiv.ain. painosta	$100 \times \frac{40,2}{988,3}$	$100 \times \frac{35,4}{932,2}$
$V = \frac{b \cdot 100}{c}$	4,33	3,80
Sisäinepitoisuus lasketaan kaavassa		
$S = 100 - \frac{c \cdot 100}{a - b}$	3,39	3,36
Sisäinepitoisuus	3,4	3,3
Sisäinepit., koneiston mittarit		
Sekoitusaste ton/h	65	70

Seula	Näyte	
	I	II
20	100	100
16	90	92
12	80	82
8	65	67
6	56	58
4	45,1	47,2
2	32,3	34,4
1	22,6	24,0
0.5	14,2	16,3
0.125	5,4	7,2
0.074	3,0	5,1

Tarttuvuus: Näyte I hyvä / tyyd. / huono, näyte II hyvä / tyyd. / huono

Tarttukkeen laatu: Amin HPL tarttumäärä 1,4 %



Huomautukset:

Päiväys ja allekirjoitus:

Karala

196

Matti Mainio

TVH

Maatutkimustoimisto  
Päätytelaboratorio

KOEMASSA

Sora=asf. betoni/XXXXXXXXXXXX

N:o

337/-68

Työmaa Noormarkku - Parkano Piiiri TurkuMurskaamo Niinisalo 1967Kiviainesannoksen kokonaispaino 1200 sBitumin laatu B - 120Kiviainesta punnitaan  
seuraavat määrät

lajite	lsp. %	kok. %	g	Yht.	x
alle 0.074 mm	9	4	48	48	
0.074 - 0.125	12	3	36	84	
0.125 - 0.25	15	3	36	120	
0.25 - 0.5	20	5	60	180	
0.5 - 1	29	9	108	288	
1 - 2	40	11	132	420	
2 - 4	52	12	144	564	
4 - 8	58	6	72	636	
6 - 8	65	7	84	720	
8 - 12	78	13	156	876	
12 - 16	94	16	192	1068	
16 - 20	100	6	72	1140	
20 - 25	100				
25 - 32					
32					
Kalkkifilleriä	5	5	60	1200	
Yht.		100			

tarv. bit. - %	bitumia lisätään
5,3	67,0

5,8	74,0
-----	------

6,3	81,0
-----	------

--	--

--	--

Kiviaineseriä tehdään 9 kpl12 kesä kuuta 196 7Suhteituksen suorittaja/ massan tekijä  
Mat Deihe E.FLiite 23:  
Koemassan valmistuslomake.

TVH MAATUTKIMUSTOIMISTO		MARSHALL-TUTKIMUS																								
Tieosa Ylikylä-Parainen		Poranäytteet, Ab18/100											Tvl:n Turun piltti													
Urakoitsija Mixing Oy		Sullontatapa				Bit. laatu B-120							19/11		1966											
No	Pv	Pi	Kasita Esihyys kerkisaum.	Kivisin. om-p	Bit. %	Sullonta- lämpötila	Paino ilmasta kuivana		Paino vedestä ih vetis. jälj.	Paino vedestä vac. jälj.	Tiiläisyys	Paino ilmasta vac. jälj.		Paino vedestä vac. jälj.	Tiiläisyys	Til. paino	Massamäärä kg/m³	Lask. syhätila	Veden imeyt. luku	Flow 2	Flow 1	Flow	Luokana	Voima	Paksuus- kerroin	Marshall- suhde
							G	Gr				Ga	Gv-Ga													
1		110	v	2,5			1114	1116	645471	1153	656479	2,37	142						2,8			14	1551,69	262		
3		"	"	1,5			835	837	487350	855	493362	2,39	106						2,3			15	1651,88	310		
5		"	"	0,5			843	845	481364	870	499371	2,32	107						5,5			15	501,99	100		
7		"	s	0			848	861	458403	894	482412	2,10	108						9,2							
9		"	o	2,5			913	916	523393	950	536414	2,32	116						4,1			18	1401,69	237		
11		"	o	1,5			1025	1026	593433	1062	604458	2,37	130						2,8			20	1901,60	304		
13		"	o	0,5			977	981	555426	1007	571436	2,29	124						4,7			25	1751,46	256		
15		120	v	2,6			897	899	519380	931	530401	2,36	114						3,4			18	2011,50	300		
17		"	v	1,6			810	812	470342	840	476364	2,37	103						2,3			16	1052,28	239		
19		"	v	0,6			757	758	439319	781	448333	2,37	96						3,1			20	802,28	182		

Marshall-tutkimukset on tehty rinnakkaisnäytteistä

Liite 24:

Vedenimeytymiskokeen ja Marshall-kokeen tuloslomake, tvh 2.587.



# TEKIJÄT

Osan II kirjoitustyön ovat tehneet:

## 1. MAALABORATORIOTUTKIMUKSET

Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Geoteknillinen laboratorio (Korhonen, K.-H., Gardemeister, R., Jääskeläinen, H., Leskelä, A. ja Tammirinne, M.)

## 2. PÄÄLLYSTELELABORATORIOTUTKIMUKSET

Kauranne, K. (2.1)

Markkula, V. (2.2)

## 3. KENTTÄLABORATORIOT

Markkula, V.

## 4. LABORATORION TURVALLISUUSOHJEITA

Kauranne, K.

Ohjekokoelman sisällön suunnitteluun ja jäsennöintiin sekä kirjoittajien valintaan on eri työryhmien jäsenenä osallistunut huomattava määrä tvl:n omaa henkilökuntaa sekä ulkopuolisia asiantuntijoita. Kirjoitusten tarkastaminen ja yhdenmukaistaminen sekä ohjekokoelman lopulliseen painoasuun saattaminen on tehty tvh:n maatutkimustoimiston toimesta.