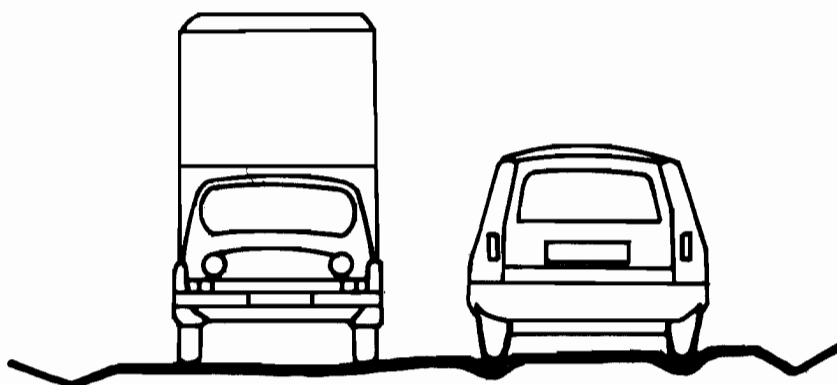




Kaisa - Leena Hutri

**VUOSAAREN KIVILAJIEN SOVELTUVUUS
ASFALTTIPÄÄLLYSTEISIIN**

Geoteknisen osaston tiedote 47

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT

TIIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TEKSTISSÄ KÄYTETTYJÄ LYHENTEITÄ

TEKSTISSÄ KÄYTETTYJÄ TERMEJÄ JA MÄÄRITELMIÄ

1.	JOHDANTO.....	1
2.	TUTKIMUKSEN TAUSTAA.....	3
3.	PÄÄLLYSTETYÖT HELSINGISSÄ.....	5
4.	KIVIAINEKSEN JA PÄÄLLYSTEEN KULUTUSKESTÄVYYS.....	7
5.	PÄÄLLYSTEIDEN KULUMISESTA.....	11
5.1	Yleistä.....	11
5.2	Kiviaineksen laadun merkityksestä.....	11
5.3	Liikennemäärän vaikutuksesta.....	12
5.4	Nastarenkaiden, ajonopeuden ja sääolosuhteiden vaikutuksesta.....	12
5.5	Päällysteiden kulumisolosuhteista Helsingissä.....	15
6.	KIVIAINEKSEN ASFALTTIKIVIKÄYTTÖÖN VAIKUTTAVISTA OMINAISUUKSISTA.....	18
6.1	Mineraalien kovuus ja lohkeavuus.....	18
6.2	Mineraalikoostumus.....	20
6.2.1	Valontaittokyky ja väri.....	20
6.2.2	Tarttuvuus.....	21
6.2.3	Kovuus ja sitkeys.....	22
6.3	Raekoko.....	22
6.4	Kutous.....	22
6.5	Mineraalien suuntautuneisuus.....	23
6.6	Mikrorakeilu ja huokoisuus.....	23
6.7	Raemuoto.....	24

7.	TUTKIMUSALUEIDEN ESITTELY	26
7.1	Yleistä	26
7.2	Tutkimusalueiden sijainti, pääkivilajit ja ikäsuhteet	27
8.	TUTKIMUSMENETELMÄT	32
8.1	Menetelmien valinta	32
8.2	Maastotutkimukset	33
8.3	Laboratoriokokeet	36
8.3.1	Lujuusominaisuudet	36
8.3.1.1	Los Angeles	36
8.3.1.2	Parannettu haurausarvo	37
8.3.1.3	Hioutuvuuskoe	38
8.3.1.4	Tröger-kulutuskoe	41
8.3.2	Raeominaisuudet	44
8.3.2.1	Kiintotiheys	44
8.3.2.2	Muotoarvo	44
8.3.3	Hienoaineskokeet	45
8.3.3.1	Huokoisuus	45
8.3.3.2	Hienoaineksen mineraalikoostumus	46
8.3.3.3	Veden adsorptio	47
8.3.3.4	Ominaispinta-ala	48
8.4	Ohuthietutkimukset	49
8.5	Näytteiden otto	50
9.	TUTKIMUSTULOKSET	54
9.1	Rakennusgeologinen kartoitus	54
9.2	Lujuusominaisuudet	56
9.2.1	Los Angeles	56
9.2.2	Parannettu haurausarvo	58
9.2.3	Hioutuvuusarvo	59
9.2.4	Tröger	61
9.3	Raeominaisuudet	63
9.3.1	Kiintotiheys	63
9.3.2	Muotoarvo	65

9.4	Hienoaineskokeet	67
9.4.1	Hienoaineksen mineraalikoostumus	67
9.4.2	Huokoisuus ja veden adsorptio	68
9.4.3	Ominaispinta-ala	69
9.5	Ohuthietutkimukset	69
9.5.1	Laboratorionäytteistä	69
9.5.2	Vuosaaren kivilajeista	81
10.	TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU	87
11.	TULOKSIEN VIRHETEKIJÖITÄ	89
12.	YHTEENVETO	92
	KIRJALLISUUSVIITTEET	93
	LIITTEET	99

ALKUSANAT

Aivan viime vuosina on kiinnitetty entistä enemmän huomiota asfalttikiviaineksen kulumisominaisuuksien tutkimiseen. On pyritty kehittämään uusia tutkimusmenetelmiä, jotta kiviaineksen kestävyys nastojen kuluttavaa vaikutusta vastaan saataisiin paremmin selville. Asian tiimoilta on käynnistetty tutkimusta, jolla on tarkoitus laajemmin selvittää kivilajien geologisten ominaisuuksien ja kulumisnopeuden välisiä syy-yhteyksiä.

Vuosaaren kivilajien porattavuusominaisuudet ovat olleet tiedossa jo pitkään. Helsingin kaupunki ryhtyi selvittämään niiden arvoa päällysteiden kiviaineskäyttöä varten maaliskuussa 1987, jolloin perustettiin ns. Gabro projekti. Projektin tuloksena arvioitiin Pauligin kallion riittävän noin kymmeneksi vuodeksi kaupungin päällystetarkoituksiin. Kyseinen kiviaines on vuonna 1987 voimaan astuneiden asfalttinormien mukaan erikoislujaa kiviainesta, jota on käytettävä hyvin vilkasliikenteisillä ajoradoilla.

Pauligin kallion ja laajemmin Vuosaaren vulkaanispe-
räisten kivilajien ominaisuuksista ja käyttökelpoisuudesta on Kaisa-Leena Hutri tehnyt tutkimuksen geoteknistä osastoa varten. Rakennusviraston katuosasto on osallistunut tutkimuksen rahoitukseen. Pauligin kallion kiviaineksesta tehtyjen päällysteiden kulumisuuranta jatkuu katuosaston tielaboratoriossa.

Helsingissä 18.1.1988

Usko Anttikoski
osastopäällikkö

Työssä on tutkittu Helsingin seudun kallioalueita niiden asfalttikivienkäyttöä ajatellen. Tutkimus keskittyi kohteisiin, joissa jo ennakkoon tiedettiin olevan ns. kovia kivilajeja, tai joihin liittyy erilaisia rakennushankkeita. Pääosa tutkimuskohteista sijaitsi Vuosaarella, jossa pääkivilajit ovat amfiboliitti, kvartsi-maasälpägneissi ja sarvivälkegneissi.

Tutkimuksessa on perehdytty asfalttikiviainesta testaaviin tutkimusmenetelmiin. Testimenetelmät koostuvat sekä vanhoista, laajalti käytössä olevista menetelmistä että uudemmista, vähemmän tunnetuista menetelmistä. Lisäksi tutkimuksessa on käsitelty lyhyesti päällysteiden kulumiseen vaikuttavia seikkoja ja luotu lyhyt katsaus Helsingin katujen kulumisolosuhteisiin.

Kivilajien kulutuskestävyyttä selvitettiin laboratorikokeilla, joissa määritettiin erilaisia lujuusarvoja. Kalliosta otetuista näytteistä määritettiin Los Angeles-luku, parannettu haurausarvo ja muotoarvo. Osalle näytteistä suoritettiin myös hioutuvuuskoe ja Tröger-kulutuskoe sekä näytteen mikroskooppinen tarkastelu. Lisäksi hienoainesnäytteistä määritettiin mineraalikoostumus, veden adsorptiokyky ja huokoisuus.

Tutkimuksen toisessa osassa on esitetty tutkimustulokset sekä käsitelty kivien mineralogiaa ja rakenteen vaikutusta tutkimustuloksiin ja kulutuskestävyyteen.

Kulutuskokeissa menestyivät parhaiten sellaiset kiviainesnäytteet, jotka olivat hieno-keskirakeisia, suuntautumattomia tai heikosti suuntautuneita, rapautumattomia, kutoukseltaan tiiviitä ja sisälsivät sekä kovia että sitkeitä mineraaleja. Parhaiten kulutusta kestivät Vuosaaren ja Pitäjämäen sarvivälkegneissit.

ABSTRACT

The aim of this investigation was to find out strength properties of rocks of Vuosaari and few other parts of Helsinki by using various methods. The main rock types in Vuosaari are amphibolite quartz-feldspargneis and hornblenditegneis.

Literature study deals up the research methods, both old, common known and new less known ones. It also includes a short survey at the abrasion and general wear of the streets of Helsinki.

Abrasion resistance of the rocks were investigated by thin sektion analysis and by following laboratory tests: Los Angeles-test, Swedish impact test (brittleness), grain shape, polishing test, Tröger test and some tests for fine-grained material of the coarse-samples.

In the second part at this investigation, the results are presented. The effects of the mineralogy and texture of the rocks tested upon the investigations results and abrasion resistance are also examined.

Best results were obtained by samples, which were fine-grained, non-uniform, noneroded, compact and included both hard and elastic minerals. Of the tested samples the hornblenditegneisses of Vuosaari and Pitäjänmäki resisted wear the best.

TEKSTISSÄ KÄYTETTYJÄ LYHENTEITÄ

aks.	aksessorinen, harvoin esiintyvä
amf.	amfiboli (mineraaliryhmä)
Amf.	amfiboliitti (kivilaji)
BS	bitumisora
bt	biotiiitti
epid.	epidootti
hbl	hornblendiiitti (kivilaji)
KAB	kevytasfalttibetoni
karb.	karbonaatti
kms	kalimaasälpä
kv.	kvartsi
KVL	keskivuorokausiliikenne (ajoneuvoa/vrk)
ms	maasälpä
plg	plagioklaasi
porf.	porfyriitti
SIP	sirotepinta
SOP	soratien pinta
sv	sarvivälke
TAS	tasausmassa
VA	valuasfaltti
ÖS	öljysora

TEKSTISSÄ KÄYTETTYJÄ TERMEJÄ JA MÄÄRITELMIÄ

granoblastinen	kivilajin rakenne, jossa eri mineraalit esiintyvät rakeina ilman omia kidemuotojaan ja kokolailla samankokoisina
hypidiomorfinen	osittain omamuotoinen
karkeutus	sepelin levitys vielä kuuman asfaltin pintaan kitkan lisäämiseksi
kumulofyyrinen	rakennetermi: mineraalirakeet ovat ryhmittyneet yhteen kasoiksi
poikiloblastinen	mineraalirakeessa olevat reiät ovat täyttyneet jollakin toisella/toisilla mineraaleilla
porfyroblastinen	kivilajin rakenne: kivilaji sisältää hajarakeita
sirote	karkeutuksissa ja sirotepintauksissa käytettävä sepeli-, murskesora- tai soralajite
tasausmassa	kuumasekoitteinen jyräasfalttipäällyste, jota käytetään epätasaisen vanhan päällysteen tasaamiseen ennen uuden kulutuskerroksen levitystä
tekstuuri	kivilajin kutous, rakenne
vulkaniitti	pintakivilaji; voidaan jakaa SiO ₂ -pitoisuuden perusteella neljään luokkaan: happamat, intermediääriset, emäksiset ja ultraemäksiset

1.

JOHDANTO

Nastarenkaiden kulutuksesta aiheutuva päällysteiden korjaus- ja uusimistarve aiheuttaa vuosittain noin 500 -700 Mmk:n kustannukset. Aivan viime vuosina on tiedostettu kovien kivilajien merkitys urautumisen hidastajina. Vuonna 1987 ilmetyneisiin uusiin asfalttinormeihin (Päällystealan neuvottelukunta ry. 1987) on otettu kiviaineksen A-luokka, jolloin vilkasliikenteisillä teillä ja kaduilla käytetään karkeana kiviaineksena ns. erikoislujaa kiviainesta.

Helsingin kaupungin toimesta käynnistettiin vuonna 1986 ns. Pauligin garbroprojekti, johon kuului Merri-Vuosaaren asuntoalueen kalliomäen louhinnasta saatavan kiviaineksen murskaus päällystekiviainekseksi. Kiviaines on pääasiassa amfiboliittia ja siitä tehdään kaupungin ajoratapäällysteet noin kymmenen vuoden ajan. Kiviaineksen hyötykäytön perusteella voitiin valmiiseen korkeaan kallioleikkaukseen rajoittuva alue leikata syvemmältä ja saada tällä tavoin parempi rakennuspohja asuntoaluetta varten. Murskatusta kallios- ta otettiin huomattava määrä näytteitä, joista tehtiin tavanomaiset tielaboratoriossa suoritettavat kiviaineksen lujuusmääritykset ja mm. hioutuvuuskokeet.

Kovakivitutkimus laajennettiin koskemaan koko Vuosaaren metavulkaniitin aluetta, joka on kokonaisuudessaan tässä suhteessa kiinnostava. Tutkimuksessa on todettu suuria eroja kivilajien ominaisuuksissa. Yksityiskoh- taisten tutkimusten tarpeellisuus korostuu niissäkin tapauksissa, joissa taustatiedot kallioperäolosuhteis- ta ovat hyvät.

Nykyisin päällystekiviaineksen kulutuskestävyyden laboratoriotutkimusmenetelmät ovat voimakkaasti kehittyneissä. Useamman vuosikymmenen ajan käytetyistä menetelmistä esim. Los Angeles-luvun on todettu todellisuudessa korreloivan varsin huonosti kiviaineksen nastakestävyyden kanssa. Uusimmissa testeissä on mukana mm. vesi, koska kiviaineksen kulumisnopeus märkänä on tavallisesti moninkertaista kuivaan verrattuna. Tässä työssä on pyritty käsittelemään laboratoriotutkimusmenetelmien nykytilannetta mahdollisimman monipuolisesti.

Tutkimustyön kustannuksista ovat vastanneet Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto ja rakennusviraston katuosasto.

2.

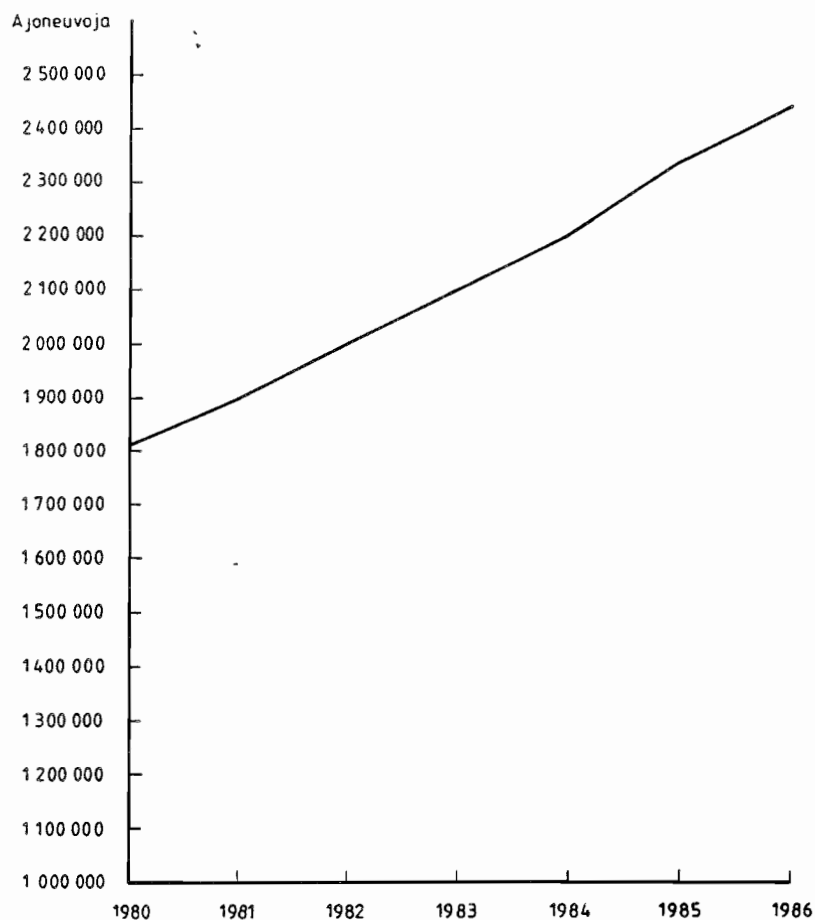
TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Suomen autokanta on kasvanut tasaisesti koko 1980-luvun (kuva 1). Vuonna 1986 autoliikenne kasvoi noin kahdeksan prosenttia. Valtaosa kasvusta on keskittynyt Etelä-Suomeen, jossa kasvuprosentit ovat olleet lähes kaksinkertaiset maan keskiarvoihin verrattuna (Rakennuslehti Plussa n:o 18, 1987).

Vuosittain päällystealan tutkimuksiin käytetyt määrärahat ovat olleet vähäisiä, noin miljoonan markan luokkaa. Liikennemäärän kasvu ja sen myötä tapahtunut päällysteiden laadun huononeminen ovat kuitenkin kiinnittäneet huomiota päällysteiden tuotekehittelyyn. Päällysteiden kulutuskestävyyttä onkin pyritty lisäämään erilaisin päällysteteknisin keinoin, mm. suhteuttamalla rakeisuuskäyrä epäjatkovaksi.

Vuonna 1987 käynnistyneessä, noin kolmenkymmenen miljoonan markan suurtutkimushankkeessa, ns. ASPO-rojektissa ovat mukana mm. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Tie- ja vesirakennushallitus, Neste Oy, eri yliopistoja ja korkeakouluja sekä insinööritoimistoja. Tutkimuksen eräinä painopistealueina ovat kivi- ja liisäainetutkimukset sekä menetelmät.

Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa päällysteiden kulumisongelmaa on pyritty ratkaisemaan rakentamalla betoniteitä. Olosuhteet poikkevat kuitenkin melkoisesti suomalaisista olosuhteista: ei ole lunta, ei routaa eikä nastarengasliikennettä. Myös betonipäällysteet vanhenevat ja ne vaativat jatkuvaa kunnossapitoa. Lisäksi betonipäällysteet ovat 4 - 5 kertaa kalliimpia kuin asfalttipäällysteet. Viime aikoina on mm. TVL:n toimesta alettu inventoida asfalttikivimateriaaliksi soveltuvia kallioalueita. Vaasan ja Turun kaupungit ovat tuottaneet päällystekivimateriaaliksi norjalaista mursketta. Sen tuontihinta satamaan on ollut 3 - 4 kertainen verrattuna Vuosaaren Pauligin louhinnan ja murskauksen hintaan.



Kuva 1. Autokannan kasvu koko maassa v. 1980 - 1986.
(Autorekisterikeskus 1987)

3.

PÄÄLLYSTETYÖT HELSINGISSÄ

Helsingissä oli vuoden 1986 lopussa kaupungin kunnossapitämiä katuja ja teitä yhteensä 1 065 km. Näistä päällystettyjen katujen ja teiden osuus oli 987 km. On huomattava, että kaduista ja teistä varsin suuri osa on useampikaistaisia. Katujen päällystämiseen käytettiin vuonna 1986 noin 36 Mmk (HKR, toimintakertomus vuodelta 1986).

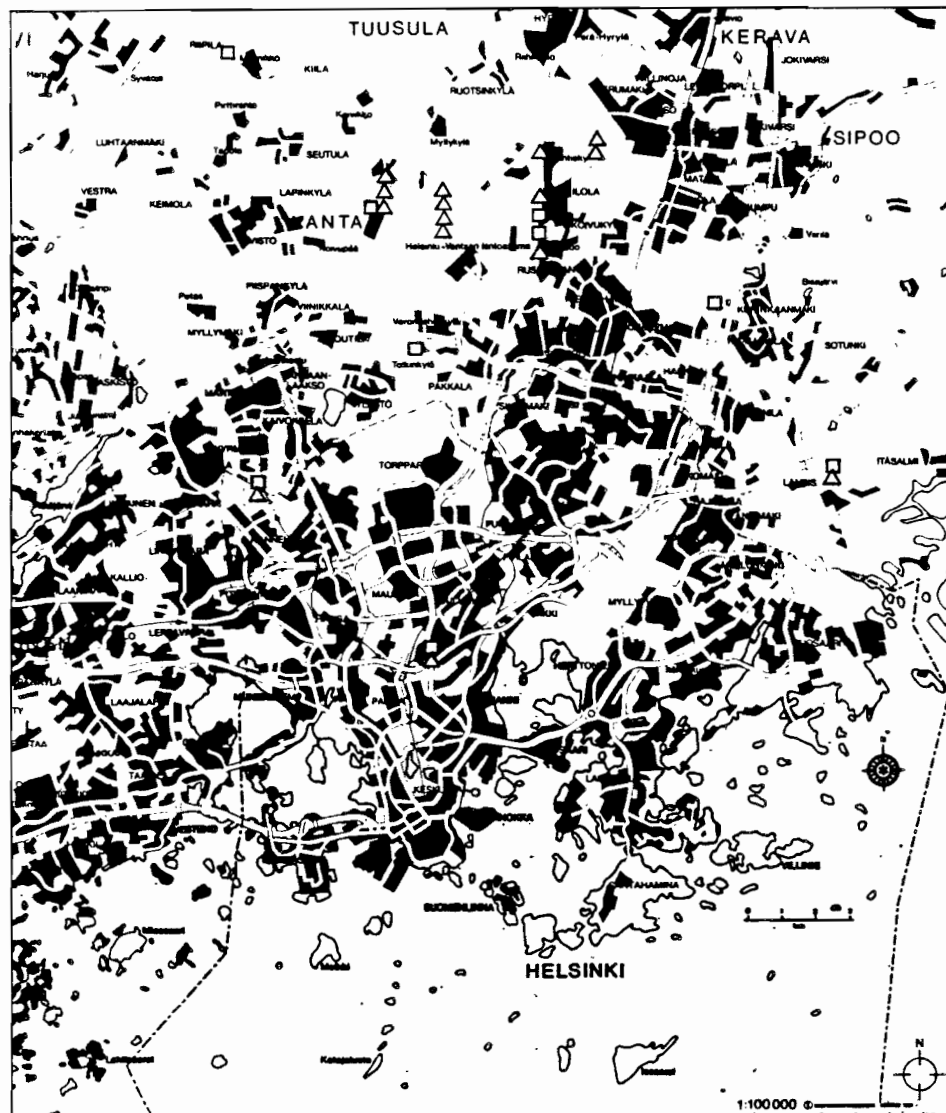
Taulukossa 1 on esitetty päällystystöiden jakautuminen päällystetyypin sekä käyttökohteen mukaan. Ajoratojen asfalttibetoni- ja valuasfalttipäällysteiden yhteismäärä oli noin 1.2 milj.m².

Taulukko 1. Päällystetöiden suoritteet vuonna 1986 (HKR:n toimintakertomus 1986).

	Uudelleen päällystystyöt m ²	Uudisrakentami- sen päällystys- työt m ²
Ajoradat		
- valuasfalttipäällysteet	1 300	15 000
- asfalttibetonipäällysteet	596 900	636 300
- BS-päällysteet	5 900	192 500
- betonikivipäällysteet	800	13 600
- luonnonkivipäällysteet	18 800	1 900
Jalkakäytävät ja pyörätiet		
- valuasfalttipäällysteet	1 700	79 300
- asfalttibetonipäällysteet	63 400	122 800
- betonikivipäällysteet	1 600	18 600
- luonnonkivipäällysteet	1 500	600
Yhteensä päällysteet	691 900	1 080 600

Kaupungin rakennuttamisjärjestelmään on asfalttipäällysteiden osalta kuulunut, että ne tilataan valmiina alan urakointiliikkeiltä. Tällöin päällysteen kiviaineksen hankkii urakoitsija itse. Asfalttiasemat sijaitsevat laajalla alueella (kuva 2) ja lähtökiviaines on myös ollut peräisin hyvin monesta eri paikasta. Katusaston tielaboratoriolla on laadunvalvontalaboratorio, jossa on tutkittu valmiista päällysteestä otetuista näytteistä myös kiviaineksen laatu ja erityisesti se, että se on asfalttinormien mukaista.

Vuonna 1987 on aloitettu Vuosaaren kiviaineksen käyttö. Ajoratojen kulutuskerrospäällysteissä on käytetty lähes yksinomaan Vuosaaren kiviainesta.



Kuva 2. □ murskaamo
 △ asfalttiasema

4.

KIVIAINEKSEN JA PÄÄLLYSTEEN KULUTUSKESTÄVYYS

Kiven lujuudella on yleensä tarkoitettu sen suurinta kuormituksen sietokykyä ennen murtumista. Tätä lujuutta voidaan kuvata eräillä fysikaalisesti mitattavilla suureilla, kuten puristuslujuudella, vetomurtolujuudella ja kimmomodulilla. Taulukossa 2 on esitetty muutamien kivilajien puristus- ja vetolujuuksia.

Taulukko 2. Eräiden kivilajien puristus- ja vetolujuuksia.

Kivilaji	Puristuslujuus MN/m ²	Vetolujuus MN/m ²	Puristuslujuus/ Vetolujuus
Kvartsiitti	460	28	16,5
Graniitti	228	21	10,9
Diabaasi	486	40	12,1
Hiekkakivi	50	3,6	13,5
Hiekkakivi	193	21	9,3
Marmori	89	6,9	13,0

Kiven lujuus ei kuitenkaan välttämättä vastaa sen kulutuskestävyyttä. Päällysteisiin käytettävän kiviaineksen kulutuskestävyydellä tarkoitetaan lähinnä sen kykyä vastustaa nastojen iskua, raapaisua ja hiontaa. Päällystekiviaineksen lujuuden ja kulutuskestävyyden testaamiseksi on kehitetty joukko tutkimusmenetelmiä, joita ovat mm. Los Angeles-, haurausarvo-, hioutuvuus- ja Tröger-koe.

Yleisillä teillä ja kaduilla henkilöautojen nastarennat ovat merkittävin päällysteitä kuluttava tekijä. Tämän takia asfalttipäällysteisiin käytettävällä kiviaineksella tulee olla hyvä kulutuskestävyys.

Yleensä lujuutta ja kulutuskestävyyttä ei yksiselitteisesti voida sitoa kivilajikäsitteeseen, koska kiviaineksen mineralogiset ja rakenteellisesti tekijät vaihtelevat usein samassakin kivilajissa. Lappalaisen (1986) mukaan kulutusta kestävätkin parhaiten sellaiset hienorakeiset, suuntautumattomat tai vain heikosti suuntautuneet kiviainekset, jotka ovat mineraalikoostumukseltaan, kovuudeltaan ja mineraalien raekooltaan homogeenisia, ja joiden mineraalit ovat kiinnittyneet lujasti toisiinsa. Iskunkestävyyttä ajatellen kiviaineksen tulee sisältää myös jonkin verran sitkeitä mineraaleja.

Päällysteen kulutuskestävyys merkitsee sen kykyä vastustaa ajoneuvon aiheuttamaa dynaamista kuormitusta ja nastarengaskulutusta sekä yleensä kaikkea päällysteen kohdistuvaa rasitusta.

Päällysteisiin käytettävät murskeet jaetaan lujuus- ja muoto-ominaisuuksiensa perusteella laatuluokkiin (taulukko 3). Murskeen laatuluokka määräytyy sen huonoimman laatuominaisuuden perusteella.

Taulukko 3. Kiviainesten laatuluokat sekä lujuus- ja muotovaatimukset.

Laatu- luokka	Vaati- mus	Hauraus- arvo TIE 232 B	Muotoarvo		Hioutuvuus- arvo TIE 237	Los Angeles -arvo TIE 231
			puikkoisuus TIE 233	liuskeisuus TIE 238		
A	maks	15	2,5*	1,5	1,6	18
I	maks	18	2,5*	1,7	2,2	25
II	maks	22		1,8	2,7	30
III	maks	27		1,9	3,2	35

* Vaatimukset koskevat ainoastaan sirotekiviaineksia.

Käytännössä lujiksi, hyvän kulutuskestävyyden omaaviksi kivilajeiksi ovat osoittautuneet edellä esitetyt laatuvaatimukset täyttävät graniitit, granodioriitit, gabrot sekä kvartsiitit, diabaasit, amfiboliitit ja erilaiset liuskeet. Taulukossa 4 on esitetty eräiden kivilajien keskimääräisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Eräiden kivilajien keskimääräisiä ominaisuuksia.

Kivilaji	Kiinto- tiheys	Los Angeles-luku			Hauraus- arvo	Parannettu haurausarvo			Muotoarvo	Hioutu- vuusarvo
	TIE 235	TIE 231			TIE 232A	TIE 232B			TIE 233/ TIE 238	TIE 237
		hieno rak.*		kark.rak.		hieno rak.*		kark.rak.	c/a /a	
Amfiboliitti	2,88	15			48	13			3,3/1,7	2,4
Diabaasi	2,81		19		46		14		3,1/1,5	1,1
Dioriitti	2,75	17		26	47	14		18	2,7/1,4	2,1
Fylliitti	2,75	21			37	16			2,6/1,5	
Gabro	2,88	19		21	49	15		19	2,8/1,4	1,3
Graniittigneissi	2,70	22		22	56	16		17	2,4/1,4	1,2
Graniitti	2,66	22		30	56	17		24	2,5/1,4	1,3
Kalkkikivi	2,73		41		74				2,6/1,5	8,0
Kiillegneissi	2,75		24		50		22		2,5/1,4	2,5
Kiilleliuske	2,76	21			53	17			2,7/1,5	
Kvartsiitti	2,67		21		63				2,6/1,5	1,2
Leptiitti	2,65		16		46				3,0/1,6	
Pegmatiitti	2,63		35		69				2,5/1,4	
Peridotiitti										
Rapakivi	2,67			25	61			20	2,5/1,4	
Vihreäkivi	2,86	12			46	11			3,0/1,5	

Kiviaineksen soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin arvioidaan sen laatuluokan perusteella. Esimerkiksi asfalttibetoni- ja valuasfalttipäällysteisillä teillä, joilla keskimääräinen vuorokausiliikenne on yli 10 000 ajoneuvoa, tulee kiviaineksen kuulua laatuluokkaan A. Tällöin päällysteessä käytettävä kiviaines ei saa olla puikkomaista eikä liuskeista, vaan sen tulee olla tasamittaista (taulukko 5). Päällysteen kulutuskestävyyteen vaikuttaa kuitenkin enemmän kiviaineksen lujuus kuin sen muoto-ominaisuudet. Jos murskeen lujuus muuten täyttää hyvin käyttökohteen asettamat vaatimukset, voidaan pienet puikkoisuus- tai liuskeisuusvaatimusten ylitykset sallia (TVH:n Päällystetöiden työselitykset 1987).

Taulukko 5. Päällysteissä käytettävien murskeiden vähimmäislaatuluokat (TVH:n Päällystetöiden työselitys 1987).

Päällyste	Laatuluokka			
	Keskivuorokausiliik.		KVL (ajoneuvoa/vrk)	
	1000	1000-5000	5001-10000	>10000
AB, VA	III	II	I	A
SIP	II	I		
karkeutus	II	I	I	A
KAB, ÖS	III	II		
BS, TAS, SOP			III	

5.

PÄÄLLYSTEIDEN KULUMISESTA

5.1

Yleistä

Päällysteiden kulumisella tarkoitetaan aineshiukkasten irtoamista ja lentämistä pois ajoradalta. Deformaatiolle ja tiivistymiselle sen sijaan on ominaista, ettei ainesmäärä pienene. Kulumisen, deformaatio ja tiivistyminen näkyvät ajokaistojen urautumisena.

Asfalttipäällysteiden kulumisen on monen tekijän yhteisvaikutuksen tulosta. Pääasiallinen syy kulumiseen on liikenne, sen määrä ja kanavoituminen, raskaiden ajoneuvojen osuus, ajonopeus ja nastarenkaiden käyttö talviaikana (Korhonen 1985). Lisäksi kulumiseen vaikuttavat tien geometria, päällysteen ominaisuudet, sääolosuhteet ja talvisuolaus (Frostman et al 1978, Grönstrand 1981, Laitinen et al 1984, Niemi 1985).

Asfalttipäällysteiden kulumismittauksissa päällysteiden kulumisen on todettu olevan melko suurta ensimmäisen vuoden aikana, mutta vähenevän myöhemmin kun kiviainesta paljastuu riittävästi päällysteen pintaan (Lappalainen 1986).

5.2

Kiviaineksen laadun merkityksestä

Kiviaines muodostaa määrällisesti päällysteen valtaosan, noin 92 - 96 painoprosenttia, ja sen laatu vaikuttaa merkittävästi erityisesti ajoratapäällysteiden ominaisuuksiin.

Päällystekiviainekset murskataan joko kallioulouheesta (kalliomurske) tai irtaimesta maaaineksesta (sora- ja moreenimurske), tai ne saadaan sellaisenaan luonnon- esiintymistä kuten sora- ja hiekkamuodostumista. Haluttaessa valmistaa korkealaatuista päällystemassaa käytetään nimenomaan kalliomursketta, koska sen laatua on helpompi valvoa kuin esim. soran laatua (Nieminen 1986). Murskeen laadulla tarkoitetaan sen puhtautta, lujuutta, raekoostumusta ja muoto-ominaisuuksia. Epäpuhtaudet, huonot lujuus- ja muoto-ominaisuudet alentavat päällysteen kulutuskestävyyttä (Lehtipuu 1983).

5.3

Liikennemäärän vaikutuksesta

Kulumista tapahtuu jossain määrin kaikilla tie- ja katuosuuksilla, mutta jos liikennettä on vähän tai keskinkertaisesti (KVL alle 1500 - 2000), kulumisen on yleensä niin hidasta, ettei se vaadi teiden uudelleen päällystämistä aikaisemmin kuin sen muut vauriot edellyttävät. Kulumisen muuttuu teknis-taloudelliseksi ongelmaksi vilkkaimmissa liikennemääräluokissa. Suomessa oli v. 1982 yleisistä teistä noin 3 400 km sellaisia, joiden KVL oli välillä $3000 \geq 6000$ ajoneuvoa/vrk. Tämä käsittää noin 4,5 % yleisten teiden kokonaispituudesta, mutta jopa noin 35 % kaikkien yleisten teiden liikenteestä (Lehtipuu 1983).

5.4

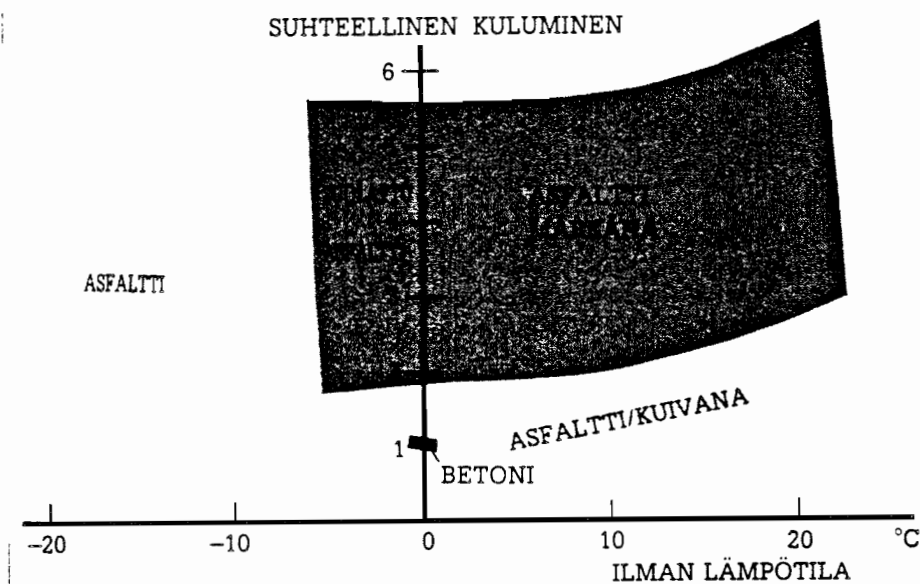
Nastarenkaiden, ajonopeuden ja sääolosuhteiden vaikutuksesta

Nastat aiheuttavat päällysteeseen pystysuoran iskun ja raapausun, jotka hiovat ja irroittavat kiviainesta. Päällysteessä olevat kivirakeet irtoavat yleensä ennen kuin ne ovat kuluneet loppuun (Lappalainen 1986). On arvioitu, että vuosittain yksi henkilöauto irroittaa päällysteen pinnasta noin 40 g ainesta kilometrin matkalla.

Ajonopeuden kasvun on todettu lisäävän päällysteen kulumista. Ajettaessa nastarenkailla sadan kilometrin tuntinopeudella päällysteen kuluminen on 20 - 30 % suurempaa kuin ajettaessa kahdeksankymmenen kilometrin tuntinopeudella ja 50 - 80 % suurempaa kuin kuudenkymmenen kilometrin tuntinopeudella (Lehtipuu 1983). Suuremmilla nopeuksilla nastojen iskuvoimat voimistuvat, ja vastaavasti pienemmillä nopeuksilla raapivan hionnan osuus korostuu (Frostman et al 1978).

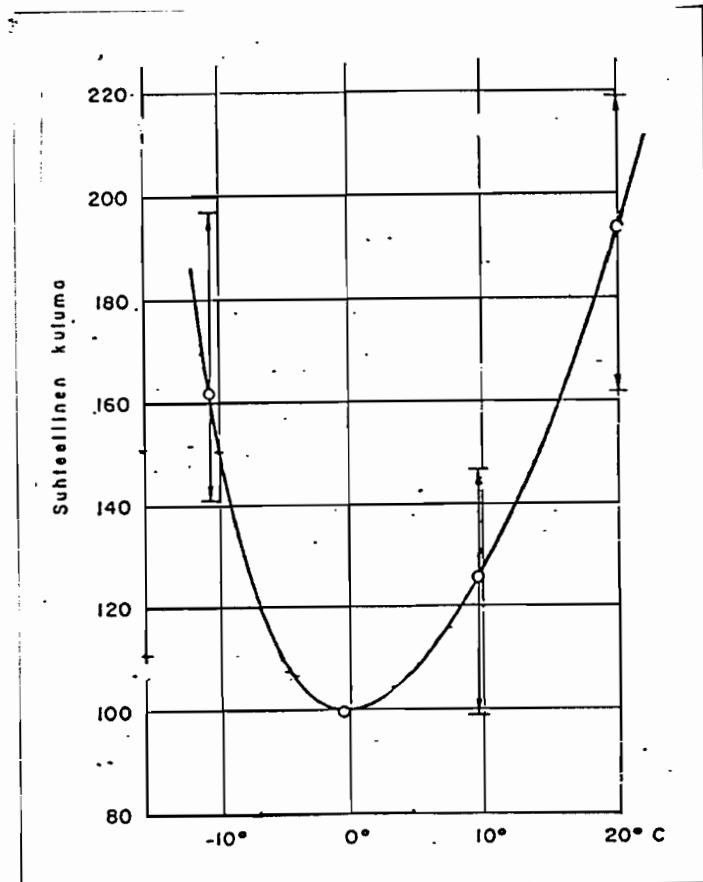
Usein eri säätekijöiden vaikutusta on vaikeaa erottaa muista kulumiseen vaikuttavista tekijöistä. Eräs talvikuukausina ilmenevä kuluttava tekijä on talvisuolauksen ja nastarenkaiden yhteisvaikutus. Talvisuolaus vaikuttaa kulumiseen absoluuttisesti (mm/v) enemmän kuin vuodenaikojen sateet johtuen juuri nastojen tehostavasta vaikutuksesta.

Myös sääolosuhteiden muutokset rasittavat päällysteitä. Lämpötilan, ilman hapen, valon ja veden määrän muutokset höllentävät päällysteiden rakenteita ja edesauttavat sen kulumista. Märkien asfalttipäällysteiden on todettu sekä teillä että laboratoriodien koeradoilla kuluvan 2 - 5 kertaa enemmän kuin kuvien asfalttipäällysteiden (kuva 3, Niemi 1985).



Kuva 3. Lämpötilan ja pinnan märkyyden suhteellinen vaikutus päällysteiden kulumiseen. Vertailupäällysteenä on betoni, jonka kuluminen 0°C:ssa on merkitty 1:llä. Märkä asfaltti kuuluu kaikissa lämpötiloissa vähintään 1,5 kertaa sen mitä kuivana. Varjostetun alueen leveys osoittaa mittauksien suurta hajontaa (mukailtu lähde: A.Niemi: Päällysteiden vauriot ja niiden syyt Asfaltti n:o 33, 1983).

Neste Oy:n tutkimuksissa (1985) eri bitumipäällysteet kuluivat vähiten 0° - 4°C lämpötilassa. Hode-Keyserin (1972) mukaan päällysteen kuluminen on vähäisintä lähellä 0°C:ta ja päällysteen kuluminen lisääntyy sekä alhaisemmissa että korkeammassa lämpötiloissa (kuva 4).



Kuva 4. Lämpötilan vaikutus päällysteen kulumiseen kulutuskoeradalla (Hode-Keyser 1972).

5.5

Päällysteiden kulumisolosuhteista Helsingissä

Kuvassa 5 on esitetty vuosien 1961 - 1980 keskimääräisiä lämpötiloja ja sadepäivien lukumääriä Helsingissä, Jyväskylässä ja Oulussa. Sadepäivien lukumäärällä tarkoitetaan niiden vuorokausien lukumäärää, joiden sademäärä on ollut yli 0,1 mm. Sademäärä käsittää sekä lumi- että vesisademäärät.

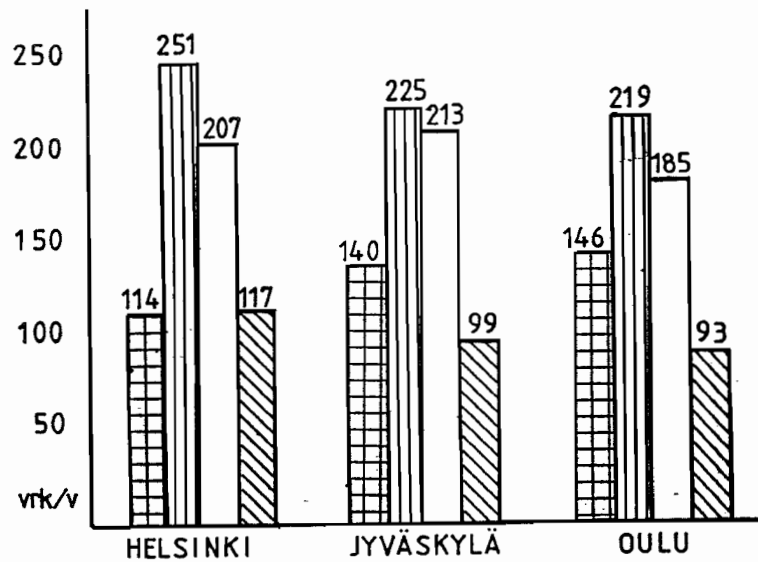
Helsingissä varsinaisia vesisadepäiviä on ollut keskimäärin 117 päivää vuodessa. Päällysteiden kulumisen kannalta tämä on varsin merkittävää, sillä on arvioitu, että märät päällysteet kuluvat 2 - 5 kertaa nopeammin kuin kuivat päällysteet (ks. luku 5.4). Teiden talvisuolaus lisää päällysteen märkäkulumista.

Pakkaspäiviä (vuorokauden keskilämpötila $< 0^{\circ}\text{C}$) on Helsingissä ollut keskimäärin 117 päivää vuodessa ja päiviä, joiden keskilämpötila $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 250. Taulukossa 6 on esitetty eri kuukausien keskilämpötiloja nastarengasliikenteelle sallittuna aikana loka-huhtikuussa vuosina 1961 - 1980 Helsingissä, Jyväskylässä ja Oulussa (Heino & Hellsten 1980).

Taulukko 6. Kuukausien keskilämpötiloja ($^{\circ}\text{C}$)
1961 - 1980 (Heino & Hellsten 1980).

	X	XI	XII	I	II	III	IV
Helsinki	5.1	0.2	-4.1	-6.9	-7.2	-3.2	2.6
Jyväskylä	3.2	-2.0	-7.0	-9.6	-9.8	-5.0	1.1
Oulu	2.5	-2.9	-7.8	-10.4	-10.8	-6.1	0.2

Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen suorittamissa päällysteiden kulumisvertailuissa (1983) on kirjallisuustietojen perusteella arvioitu Helsingin ilmastolosuhteiden olevan kulumisen suhteen noin 14 %:a lievemmat kuin Oulussa. Tällöin ei kuitenkaan ole huomioitu päällysteen märkäkulumista eikä talvisuolauksen vaikutusta vaan päällysteiden on oletettu olevan kivia.



-  Keskimääräinen lämpötilä < 0°C
-  Keskimääräinen lämpötilä ≥ 0°C
-  Sademäärä ≥ 0.1mm (v.1961 - 1980)
-  Vesisadepäiviä (v.1965 - 1980)

Kuva 5. Vuosien 1961 - 1980 keskimääräisiä lämpötiloja ja sadepäivien lukumääriä Helsingissä, Jyväskylässä ja Oulussa (Heino & Hellsten 1980).

6.

KIVIAINEKSEN ASFALTTIKIVIKÄYTTÖÖN VAIKUTTAVISTA
OMINAISUUKSISTA

Keskeisimmät kiviaineksen lujuuteen ja kulutuskestävyyteen vaikuttavat tekijät ovat kiviaineksen mineraalikoostumus, mineraalien raekoko, niiden liittyminen toisiinsa sekä mineraalien suuntautuneisuus. Yksittäisistä mineralogisista tekijöistä tärkeimpiä ovat mineraalien kovuus ja lohkeavuus (Lappalainen 1986).

6.1

Mineraalien kovuus ja lohkeavuus

Eri mineraalien kovuuksia ilmaistaan yleensä epälineaarisella Mohsin kovuusasteikolla, joka perustuu lähinnä mineraalien raaputuskovuuteen. Mineraalien todelliset kovuserot selviävät kuitenkin paremmin verrattaessa niitä esim. vesihiontamenetelmällä saatuun Rosiwalin kovuusasteikkoon tai Vickersin kovuusasteikkoon. Vickersin kovuus perustuu vakiokuormalla kuormitetun timanttikartion painuessaan muodostaman kuvion suuruuteen pintahieessä. Taulukossa 7 on esitetty Mohsin kovuusasteikon mineraalien kovuusarvoja Rosiwalin absoluuttisina hiontakovuuksina. Taulukossa 8 puolestaan on esitetty eräiden mineraalien kovuuksia Mohsin ja Vickersin kovuusasteikkojen mukaan.

Taulukko 7. Mohsin kovuusasteikon mineraalien kovuusarvo- ja ilmoitettuna Rosiwalin hiontakovuuksina (Schumann 1980).

Mohs	Naarmutuskovuus	Rosiwalin hiontakovuus
1. Talkki	kynsi naarmuttuu	0,03
2. Kipsi	"	1,25
3. Kalsiitti	kupariraha naarmuttaa	4,5
4. Fluoriitti	puukko naarmuttaa	5
5. Apatiitti	"	6,5
6. Ortoklaasi	teräsviila naarmuttaa	37
7. Kvartsi	naarmuttaa lasia	120
8. Topaasi	naarmuttaa kvartsia	175
9. Korundi	naarmuttaa topaasia	1 000
10. Timantti	ei naarmuunnu	140 000

Taulukko 8. Eräiden mineraalien kovuuksia Mohsin ja Vickersin luokituksen mukaan (Peltonen 1987).

Mineraali	Mohs	Vickers
Biotiitti	2,75	110
Kalsiitti	3,00	125
Sarvivälke	5,50	600
Hyporsteni	5,50	600
Angiitti	5,75	640
Plagioklaasi	6,00	720
Kalimaasälpä	6,00	720
Diopsidi	6,25	800
Oliiviini	6,75	980
Granaatti	7,00	1 060
Kvartsi	7,00	1 060
Kordieriitti	7,25	1 170

Yksittäisten mineraalien kulutuskestävyyteen vaikuttavat niiden kovuus ja lohkeamistaipumukset. Heikoimpia mineraaleja ovat sellaiset, joilla on yksi tai useampia selviä lohkopintoja. Tästä syystä esim. maasälvät, joilla on kaksi toisiaan vastaan kohtisuorassa tai lähes kohtisuorassa olevaa selvää lohkopintaa, ovat hauraampia kuin kvartsi, jolla ei ole lohkopintoja. Eräät kivilajeja muodostavat mineraalit kuten sarvivälke, jolla on selvät lohkopinnat, ovat kuitenkin osoittautuneet lujiksi kiviaineksen laboratoriokokeissa. Tämä johtuu siitä, että sarvivälke yleensä esiintyy kivilajeissa melko hienorakeisena ja muiden mineraalien väliin kietoutuneena. Kiillemineraaleilla on erittäin etevä lohkopinta, jota myöten ne lohkeavat. Tästä syystä suuret kiillepakat hajoavat erittäin helposti kiillepintoja myöten (Peltonen 1987).

6.2

Mineraalikoostumus

6.2.1

Valontaittokyky ja väri

Eri värisistä kiviaineksista valmistettujen päällysteiden valonheijastavuus vaihtelee suurestikin. Voimakkaasti valoa taittavat kiviainekset myös heijastavat valoa voimakkaimmin. Tumma päällyste imee itseensä valoa, kun taas vaalea kiviaines heijastaa osan valosta ja tekee tien pinnan valoisammaksi. Mineraalirakeiden tulisi olla tarpeeksi vaaleita ja vähän valoa läpäiseviä, jotta bitumin musta väri ei näkyisi mineraalirakeiden lävitse.

Yleensä on havaittu, että vaaleista ja punaisista kivilajeista valmistetut päällysteet ovat selvästi turvallisempia kuin mustista kivilajeista valmistetut päällysteet (Lehtipuu 1983).

Alla on esitetty eräitä Saksassa saatuja mittaustuloksia kivilajien valonheijastuvuudesta ja -läpäisykyvystä.

Taulukko 9. Kivilajien valonheijastus- ja läpäisykyky. (Kauranne et al. 1972).

Kiviaines	1	2	
kvartsi	100	100	1. valonheijastuskyky
kvartsiitti	76	69	2. valonläpäisevyys
hiekkakivi	33	32	(kumpikin kvartsiin
graniitti	44	58	verrattuna ja mi-
diabaasi	23	29	tattuna valokennol-
kalkkikivi	44	24	la, MA).

6.2.2

Tarttuvuus

Asfalttimassojen kiviaineksen ja bitumin keskinäiset tartuntaominaisuudet ovat päällysteen stabilisuudelle hyvin tärkeitä. Tartuntaan vaikuttaa kiviaineksen huokoisuus ja mineraalipinnan kemiallis-fysikaaliset ominaisuudet (happamuus-emäksisyys, sähkövaraus, sileyys) (Kauranne et al. 1972).

Eri kivilajien mineraalikoostumuksen on todettu vaikuttavan kivirakeiden tarttuvuuteen siten, että mm. kalimaasälpä, biotiitti ja sarvivälke aiheuttavat huonon tarttuvuuden (Lehtipuu 1983).

6.2.3

Kovuus ja sitkeys

Koska päällysteessä oleviin kivirakeisiin kohdistuu sekä nastojen raapivaa hiontaa että voimakkaita iskuja, tulisi päällysteessä käytettävässä kiviaineksessa olla raaputusta hyvin kestävien mineraalien joukossa myös pehmeämpiä, sitkeitä mineraaleja, kuten mm. amfiboli-, pyrokseeni- ja kiillemineraaleja (Weber 1966).

6.3

Raekoko

Kiviaineksen muodostavien mineraalien raekoko vaikuttaa merkittävästi kiviaineksen lujuuteen ja kulutuskestävyyteen. Koska suurista mineraaleista koostuvalla kiviaineksella mineraalirakeiden välinen kitka- ja koheesiopinta on pienempi kuin kooltaan pienistä mineraalirakeista koostuvalla, ovat karkearakeiset kiviainekset heikompia kuin hienorakeiset kiviainekset (Kauranne, et al. 1972). Parhaiten raekoon jakautumisen suhteen kulutusta kestävät sellaiset kiviainekset, jotka koostuvat hieman erisuuruisista, tasaisesti toistensa lomassa sijaitsevista mineraalirakeista.

6.4

Kutous

Mineraalien liittyminen toisiinsa vaikuttaa kiviaineksen lujuuteen siten, että suorilla tai lähes suorilla kidepinnoilla toisiinsa liittyvistä mineraaleista koostuvat kiviainekset ovat heikompia kuin epämääräisen mutoisista mineraaleista koostuvat kiviainekset (Maijala, et al. 1976).

6.5

Mineraalien suuntautuneisuus

Mineraalien suuntautuneisuus vaikuttaa kiven lujuuteen ja kulumiskestävyyteen siten, että voimakkaasti suuntautuneesta kiviaineksesta saadut kivirakeet rikkoutuvat ja lohkeavat helpommin mineraalisuuntauksen mukaisessa suunnassa kuin muissa suunnissa (Kauranne, et al. 1972).

Mineraalien suuntautuneisuuden lisäksi esimerkiksi pehmeiden tai helposti lohkeavien mineraalien esiintyminen kivessä selvinä vyöhykkeinä, ryhminä tai raekokasaumina aiheuttaa yksittäisissä kivirakeissa heikkouskohtia, joita myöten kivirakeet rasituksessa helposti rikkoutuvat. Suuntautuneisuuden kannalta lujimpia kiviaineksia ovat suuntautumattomat tai vain heikosti suuntautuneet kiviainekset.

6.6

Mikrorakoilu ja huokoisuus

Tiiviitä, hyvin ohuita ja usein vaikeasti havaittavia rakoja nimitetään mikroraoiksi. Jos rakoilutta kiveä kuormitetaan riittävästi, se lohkeaa ja rikkoutuu helposti rakopintoja pitkin. Tästä johtuen päällysteissä käytettävässä kiviaineksessa ei saa esiintyä runsaasti mikrorakoja.

Huokoisuus tarkoittaa kivessä olevien rakojen, onkaloiden ja huokosien tilavuutta koko kiven tilavuudesta. Suuri huokoisuus vähentää kivilajin lujuutta. Jo melko pienenkin huokostilavuuden täyttyessä osittainkin vedellä kiven lujuus heikkenee (Grönstrand 1981).

6.7

Raemuoto

Päällysteen valmistuksen tiivistysvaiheessa on havaittu kuutionmuotoisten tai tasamittaisien rakeiden pakautuvan tiiviimmin kuin puikkoiset tai liuskeiset kivirakeet (Weber 1966, Alkio & Eerola 1984). Tasamittaisen, erityisesti pyöreähköjen kivirakeiden on huomattu helpottavan päällystemassan tiivistettävyyttä, mutta samalla ne myös tekevät massan helpommin deformoituvaksi kuin kulmikkaista, murtopintaista kivirakeista valmistettu päällystemassa. Myös puikkoisista ja liuskeisista kivirakeista on mahdollista saada pienen tyhjätilan omaavia päällysteitä lisätyllä tiivistämistyöllä.

Kivirakeen muoto vaikuttaa sen alkukulumiseen siten, että särmikkäät ja kulmikkaat kivirakeet kuluvat kulumistaan jo valmiiksi pyöristyneitä kivirakeita enemmän, mutta alkukulumisen jälkeen kulumisessa ei enää esiinny suuriakaan eroja (Huhtala 1967, Hode-Keyser 1972). Asettuessaan tien pinnan suuntaisiksi ovat puikkomaiset, laattamaiset tai laattamaiset kivirakeet herkkiä rikkoutumaan mm. jyräysvaiheessa sekä myöhemmin liikenteen rasituksessa (Weber 1966, Kallionpää 1978). Sirotteena käytettävässä kiviaineksessa kuutiollisella kivirakeen muodolla on havaittu olevan hyvä vaikutus päällysteen kitkaominaisuuksiin sekä kivirakeiden kiinnittymiseen (Höbeda 1977). Kettusen (1986) mukaan laattamaiset ja puikkomaiset kivirakeet saattavat myös vähentää päällysteen kulumista, koska asettuessaan päällysteen pinnan suuntaisiksi ne samalla lisäävät sen kiviainespintaa. Tällöin täytyy ottaa huomioon myös se seikka, että laattamaisissa ja puikkomaisissa kivirakeissa on kulumaa kiviainesta paksuussuunnassa vähemmän kuin vastaavan suuruisissa tasamittaisissa kivirakeissa. Höbedan (1977) mukaan asfalttipäällysteiden kivirakeet asettuvat päällysteen valmistusvaiheessa niin sattumanvaraisesti, ettei kivirakeiden muodolla ole suurta merkitystä niiden asettumiseen päällysteessä.

Vaikka kivrakeiden muotoon voidaan vaikuttaa eri murskausmenetelmillä ja -laitteilla, vaikuttaa murskeen kiviaineksen muotoon ensisijaisesti itse kivilaji. Liuskeisista, voimakkaasti suuntautuneista kivilajeista tulee murskauksessa helposti laattamaisia tai puikkoisia kivrakeita. Tasarakeisista, homogeenisista kivilajeista saadaan sitä vastoin helpommin tasamittaisia kivrakeita. Pitkulaiset rakeet voidaan saada murskauksessa tasamittaisemmiksi suoritettaessa murskaus useassa vaiheessa (Kallionpää 1978).

7.

TUTKIMUSALUEIDEN ESITTELY

7.1

Yleistä

Helsingin seudun vanha, svekofennialainen kallioperä koostuu syväkivialueista, niitä ympäröivistä liuske- ja gneissijaksoista sekä vulkaniittivyöhykkeistä. Arkeoisella kaudella tiedetään fennoskandian kilven alueella tapahtuneen ainakin kaksi orogeniaa. Gneissit ja kvartsi-maasälpägneissit kerrostuivat geosynkliinivaiheessa noin 2200 - 1900 Ma sitten. Tähän vaiheeseen liittyi myös alueen vulkanismi. Myöhemmin seurasi syväkivilajien, lähinnä kvartsi- ja granodioriittien ja mikrokliinigraniittien intruusioita. Aikaa myöten Fennoskandian kallioperä muuttui eri orogenioiden metasomatoosi- ja metamorfoosivaiheiden kautta kivilajeiltaan hyvin vaihtelevaksi ja seoksiseksi (Gaal 1986, Gaal & Gorbatshev 1987).

Svekofennialaisen vuorijonon tasoittuminen (penepლაatio) lähelle nykyistä kalliotasoa tapahtui ennen kambrikautta. Prekambrinen kallioperä painuu penepლაanina Suomenlahden eteläpuolisten kambristen kerrostumien alle (Härme 1980, Laiti & Saraste 1959).

Kallionpinta on Vuosaaren alueella suurimmaksi osaksi paljastunutta. Topografiaa luonnehtivat paljaat, korkeahkot kalliomaat sekä maasedimenttien peittämät painanteet ja laaksot, jotka ovat syntyneet kallioperän siirros- ja ruhjevyöhykkeisiin. Vuosimiljoonien eroosiota ovat vauhdittaneet eri jäätiköitymisvaiheet, joista viimeisin päättyi noin 10 000 vuotta sitten. Suurin kulutusvaikutus kohdistui kallion korkeimpiin kohtiin sekä niihin vyöhykkeisiin, joiden suuntaus oli sama jäätikön etenemissuunnan kanssa. Jäätikköeroosion suuruuden on arvioitu olleen vain metrien luokkaa, minkä vuoksi nykyistä kallionpinnan reliefiä on pidettävä lähes preglasiaalisena (Härme 1978, 1980, Laiti & Saraste 1959).

Taulukko 10. Eri kivilajien esiintymismäärät karttapinta-aloina Helsingin alueesta (VTT:n tiedonanto n:o 25, 1976).

Pintasynntyiset kivilajit yht. 55,1 %	emäksiset ja intermediaanisiet vulkaniitit ja amfiboliitit	15,0 %
	happamat vulkaniitit ja kvartsi-maasälpägneissit	5,9 %
	kiillegneissit	34,1 %
	kalkkikivet ja karret	0,1 %
Syväkivet yht. 44,9 %	gabrot ja dioriitit	1,0 %
	kvartsi- ja granodioriitit	15,2 %
	graniitit	28,7 %

7.2

Tutkimusalueiden sijainti, pääkivilajit ja ikäsuhteet

Tutkimusalueiksi valittiin kohteita, joissa jo ennakoon tiedettiin olevan ns. kovia kivilajeja (Salmelainen 1983). Osaan tutkimuskohteista liittyi myös erilaisia rakennushankkeita.

Suurimmat yhtenäisen alueen muodostaa Vuosaaren seutu, joita luonnehtivat metavulkaniitit, kvartsi-maasälpägneissit ja Helsingin suurin gabromuodostuma. Maanpinnan korkeus alueella vaihtelee ± 0 - +25 metriin. Vuosaari on jaettavissa alueellisesti Niinisaareen, Ylä-Vuosaareen, Uutelaan, Rastilaan ja rakennustarvikesatama-alueeseen. Geologian tutkimuskeskuksen tekemissä aeromagneettisissa kartoissa näkyy voimakas anomalia Rastilan, Keski- ja Ala-Vuosaaren amfiboliittijaksoilla, mikä todennäköisesti kuvastaa korkean magnetiittipitoisuutta. Totaali-intensiteetti nousee paikoin 4 000 - 4 500 gammaan (kuva 6).

AEROMAGNEETTINEN KARTTA

TOTAALI-INTENSITEETTI

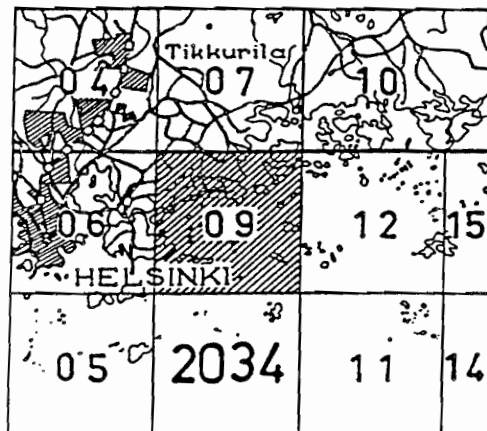
GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS



Mittausten on geologinen tutkimuslaitos suorittanut yhteistyössä Kar-Air Oy:n kanssa huhtikuussa 1959, lokakuusta syyskuussa 1960 sekä lokakuussa 1971.

INDEKSİKARTTA

1:400 000



Totaali-intensiteetin sama-arvokäyrät

500 gammaa ~~~~~
 100 gammaa ~~~~~
 20 gammaa ~~~~~
 Lentolinja - - - - -

Kuva 6. Aeromagneettinen kartta.

Geotekninen osasto julkaisu 47

Muut kohteet ovat pienempiä, yksittäisiä kalliomäkiä. Munkkivuoren 25 metriä korkea kalliomäki koostuu amfiboliitista, kiillegneissistä ja graniitista. Kontulan kohde on niin ikään yksittäinen kalliomäki, jota parhaillaan rakennettava metrolinja leikkaa. Kallio on pääasiassa kiillegneissistä ja graniittia. Pitäjänmäen liikenneympyrään rakennettava alikulkutunneli läpäisee amfibolittijakson, johon on intrudoitunut graniittia. Tutkimuskohteiden sijainti näkyy kuvasta 7.

Vuosaaren gabro on pääasiassa uraliittiutumisen kautta syntynyttä sarvivälkegabroa, jonka plagioklaasikoostumus on muuttunut albiittiseen suuntaan. Gabro rajoittuu toisaalta happamiin ja toisaalta emäksisiin ja intermediäärisiin metavulkaniitteihin. Kivilajikon-taktit ovat teräviä eikä mainittavia reaktiosauvoja tai muita muuttumisilmiöitä ole havaittu. Emäksiset ja intermediääriset vulkaniitit muodostavat suurimman osan metavulkaniiteiksi tunnistettavista amfiboliiteista. Tämän tutkimuksen yhteydessä on näitä kivilajeja kutsuttu lyhyesti amfiboliiteiksi. Salmelaisen (1983) mukaan Vuosaaren amfiboliitilla on suhteellisen alhainen puristusmurtolujuus, mutta selvästi korkeampi vetomurtolujuus johtuen kivilajin mineraalikoostumuksesta. Kiillegneissit erotetaan kvartsi-maasälpägneisseiksi (aiemmin nimitetty leptiiteiksi ja lepiittigneisseiksi) keskirakeisen raekokonsa ja suhteellisesti suuremman kvartsi- ja biotiittimääränsä avulla. Kiillegneissien primäärinen maasälpä on lähes yksinomaan plagioklaasia.

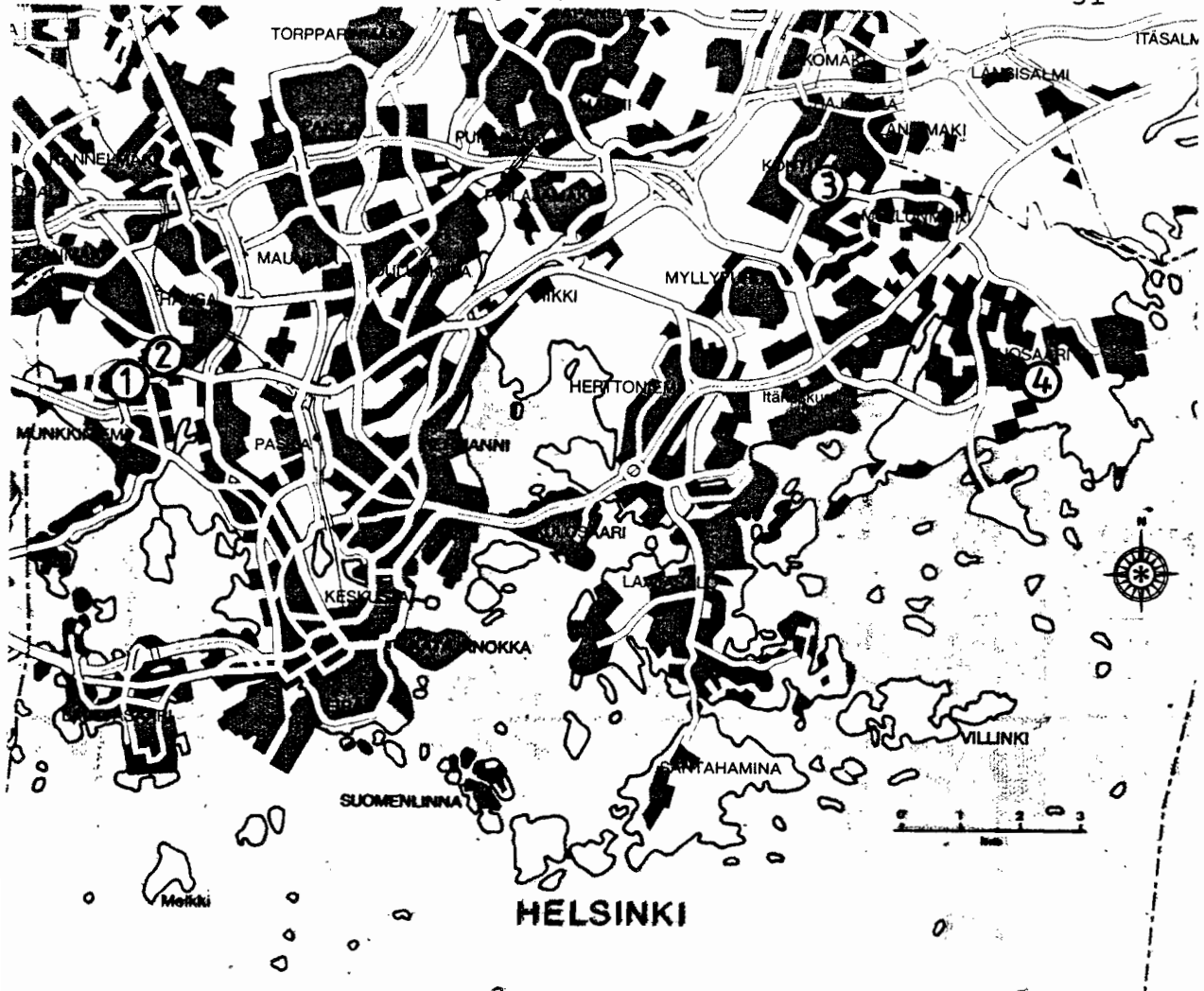
Kvartsi-maasälpägneisseillä tarkoitetaan tässä niitä hienorakeisia kivilajeja, jotka koostuvat pääasiassa kvartsista ja plagioklaasista sekä vähäisemmässä määrin biotiitista. Happamien vulkaniittien (dasiitit, latiitit ja ryoliitit) ja kvartsi-maasälpägneissien makroskooppinen erottaminen on usein vaikeaa. Ulkonaisilta ominaisuuksiltaan ne ovat hyvin samanlaisia ja lisäksi osa kvartsi-maasälpägneisseistä liittyy läheisesti metavulkaniitteihin. Sedimentaation alustaa ei

tunneta eikä pohjakonglomeraattejakaan ole tavattu. Stratigrafisesti kvartsi-maasälpägneissit edustavat alinta tunnettua sedimenttihorisonttia. On pääteltävissä, että kvartsi-maasälpägneissien alkuperäinen raekoko on pääosaltaan ollut hiekka-hietaluokkaa vastaava. Ne edustavat lähinnä etumaa-alueen sedimenttejä (Härme 1978). Heikko kerroksellisuus ja virtakerroksellisuuden puute osoittavat, että sedimentaatio on ollut rauhallinen ja tasaisesti jatkuva.

Emäksisiin ja intermediäärisiin vulkaniitteihin liittyy kerrosrakenteita, fragmenttirakenteita, agglomeraatteja ja tyynylaavoja. Niihin liittyy jopa virtakerroksellisuutta ja kvartsiittisia välikerroksia (Konttinen 1953, Wegmann & Kranck 1931).

Hyvin kvartsipitoisia kerroksia on myös Talin metavulkaniiteissa. Kerrostumissa oletetaankin tapahtuneen vedessä. Raitaisen vulkaniitin happamat välikerrokset ovat todennäköisesti huuhtoutunutta tuffiainesta (Salmelainen 1983).

Etelä-Suomen vulkaniittien on arveltu kuuluvan yhteen ja samaan purkausjaksoon, jossa on ollut eri vaiheita. Synkinemaattiset syväkivilajit (mm. gablo) muodostuivat samoihin aikoihin. Varhais- ja synkinemaattisessa (-orogeenisessä) vaiheessa tapahtui alueellismetamorfosi, jossa kivilajit uudelleen kiteytyivät suurimmaksi osaksi amfiboliittifasieksessa. Nuorempi, myöhäskinemaattisen (-orogeenisen) vaiheen ultrametamorfosi migmatisoivine mikrokliinigraniitti - intrusioineen on muuttanut ja migmatisoinut Etelä-Suomen kaikkia svekofennialaisia kivilajeja enemmän tai vähemmän. Etelä-Suomen kivilajien prekambrinen evoluutio on esitetty taulukossa 11 (Härme 1978, 1980, Simonen 1980).

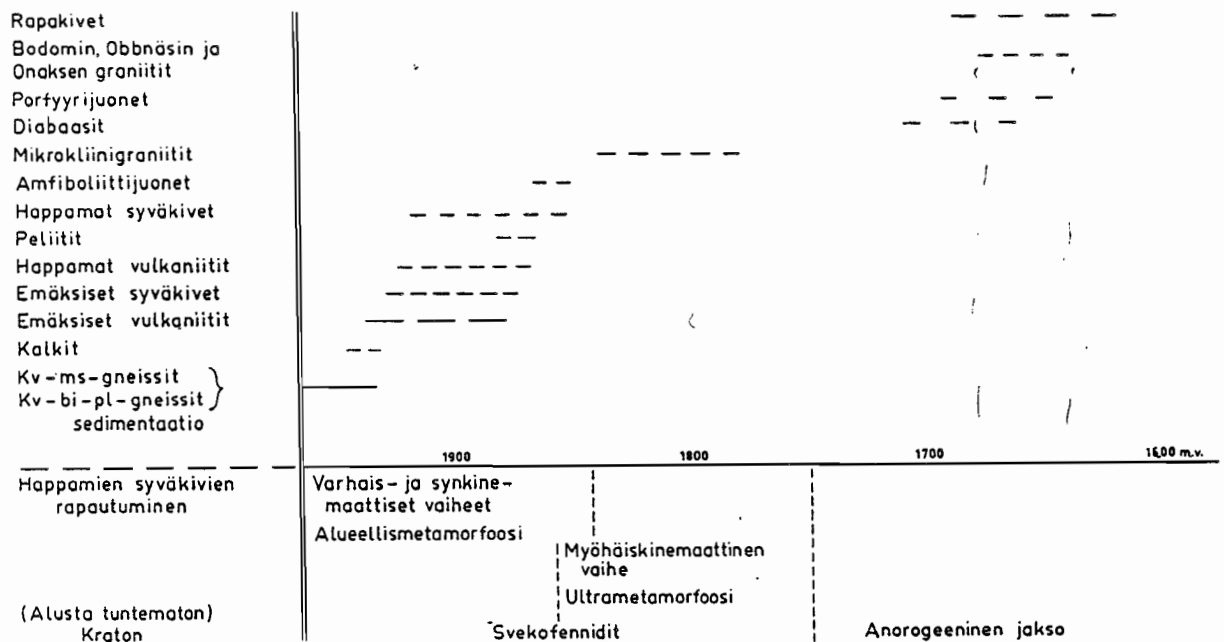


Kuva 7. Kartta tutkimuskohteista.

1. Munkkivuori, 2. Pitäjämäki, 3. Kontula,
4. Vuosaari.

Taulukko 11.

Etelä-Suomen kallioperän prekambri-
nen evoluutio.



8.

TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1

Menetelmien valinta

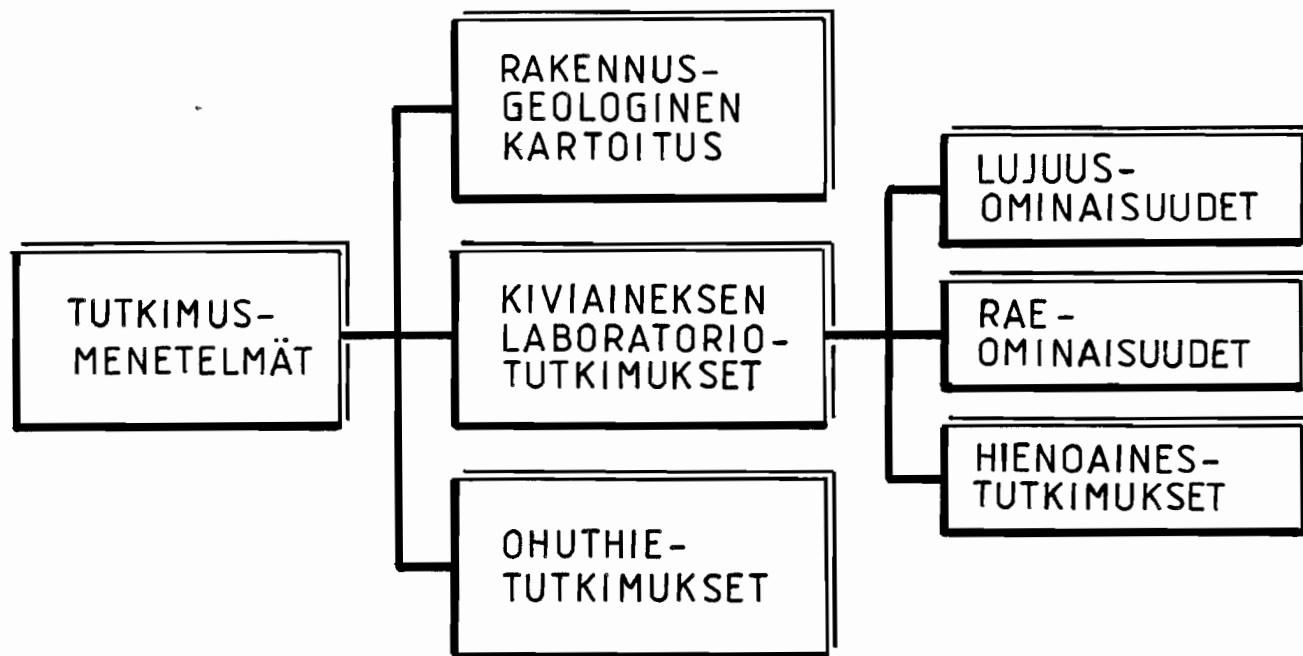
Tutkimukset aloitettiin rakennusgeologisella maastokartoituksella, jonka tarkoituksena oli luoda yhtenäinen kuva tutkimuskohteiden kivilajiolosuhteista. Kartoituksessa kiinnitettiin huomiota erityisesti kivilajeihin, niiden rapautuneisuuteen ja suuntautuneisuuteen.

Kivinäytteiden mikroskooppiset tutkimukset tehtiin Helsingin Yliopiston Geologian laitoksella. Viidenkymmenen ohuthieen aineiston perusteella pyrittiin luomaan kokonaiskuva Vuosaaren kivilajeista kiviaineksen mahdollista käyttöä ajatellen sekä selvittämään tutkimuskohteiden kivilajien mineraalikoostumus ja rakenne.

Edellä mainittujen tutkimusmenetelmien lisäksi päädyttiin suorittamaan kivinäytteille eräät yleisesti käytössä olevat tielaboratoriokokeet: kiintotiheys, Los Angeles, muotoarvo, parannettu haurausarvo ja hioutuvuus-koe. Kokeet tehtiin Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston tielaboratoriossa sekä tie- ja vesirakennushallituksen maalaboratoriossa. Saatujen tulosten perusteella valittiin joukko näytteitä erikoistutkimuksia varten.

Erikoistutkimukset käsittävät Tröger-, huokoisuus-, veden adsorptiokyky- ja röntgendiffraktiokokeet. Nämä erikoistutkimukset, lukuunottamatta Tröger-koetta, joka tehtiin TVH:n maalaboratoriossa, suoritettiin Tampereen Teknillisen Korkeakoulun rakennusgeologian laboratoriossa.

Laboratoriokokeiden valintaan vaikuttivat sekä näytteenottomahdollisuudet että mahdollisuudet suorittaa kokeita eri laboratorioissa. Kuvassa 8 on esitetty kaavio käytetyistä tutkimusmenetelmistä.



Kuva 8. Tutkimusmenetelmät.

8.2

Maastotutkimukset

Alustavan maastotutkimuksen tarkoituksena on arvioida kallioesiintymän laatua karkeahkosti, silmämääräisesti. Ensisijaisesti tulee kiinnittää huomiota kivilajeihin. Vaikkakin kivilajin lujuutta ja kulutuskestävyyttä ei yksiselitteisesti voida sitoa kivilajeihin, voidaan yleensä lujina ja kulutusta hyvin kestävinä kivilajeina pitää tiiviitä, hienorakeisia syväkiviä kuten graniitteja, dioriitteja, gabroja ja näitä vastaavia pintakiviä sekä lisäksi hienorakeisia kvartsitteja, amfibolitteja, diabaaseja, hienorakeisia kvartsi-maasälpägneissejä ja erilaisia kvartsirikkaita liuskeita (Lappalainen 1986).

Toinen maastossa havainnoitava seikka on kallion rikkonaisuus. Kivilajin rapautuminen alkaa kallion pinnalta ja etenee pitkin rakoja, halkeamia, siirroksia ja ruhjeita syvemmälle kallion sisään. Kallioluokituksen (VTT: 1974) mukaan kalliolaatu on jaettavissa rakotiheydensä mukaan neljään luokkaan: harvarakoiseen, vähärakoiseen, runsasrakoiseen ja tiheärakoiseen (taulukko 12).

Rikkonaiset kalliot jaetaan kallioluokituksen mukaan halkeamarakenteisiin (Ri I), rakorakenteisiin (Ri II), murrosrakenteisiin (Ri III), ruhjerakenteisiin (Ri IV) ja savirakenteisiin (Ri V) rakennetyyppeihin (taulukko 13).

Taulukko 12. Rakotiheys. (VTT 1974)

Rakoväli m	Rakoluku kpl/m	Lohkon m ³	koko	Nimitys	Tunnus
1,0	1	< 1,0		harvarakoinen	Rk 1
0,3-1,0	1-3	0,003-1,0		vähärakoinen	Rk 2
0,1-0,3	3-10	0,001-0,003		runsasrakoinen	Rk 3
0,1	10	> 0,001		tiheärakoinen	Rk 4

Taulukko 13. Kallion rikkonaisuus. (VTT 1974)

rikkonai- nenkallio	halkeama- rakenteinen	Ri I	tasomaiset raot jakavat kallion kahteen tai useampaan erill. osaan	
	rakorakent.	Ri II	runsasra- koinen	ei rakotäyt.
	murrosrakent.	Ri III	tiheära- koinen	rakojen täytt. vähäistä
	ruhjerakent.	Ri IV	runsas tai tiheära- koinen	raoissa savi- täytettä
	savirakent	Ri V		runsaasti kalliosavea

Asfalttinormien mukaan päällysteessä käytettävä kiviaines ei saa olla rapautunutta tai helposti rapautuvaa. Kivilaatu voidaan luokitella rapautumisasteensa perusteella taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 14. Rapautuneisuusluokitus. (VTT 1974.)

Nimitys	Tunnus	Määrittäysperusteet
Rapautumaton	Rp 0	Kiviaines on tervettä. Mineraalit ovat muuttumattomia tai muuttumistuloksia on merkityksettömän vähän. Mineraalit ovat lujasti kiinni toisissaan. Murtopinnan väri riippuu kivilajin päämineraaleille ominaisista väreistä.
Vähän rapautunut	Rp 1	Kiviaines on osittain muuttunutta. Helpoimmin rapautuvissa mineraaleissa (mm. kiilteissä ja maasälvissä) on havaittavissa muuttumistuloksina värin samentumista. Tumma kiille on usein muuttunut vihreäksi kloriitiksi ja maasälpä hienorakeiseksi vaaleaksi kiilteeksi. Muuttumisen johdosta mineraalien väliset sidokset ovat heikentyneet. Murtopinnoilla mineraalien väri on vaihtelevan samea.
Runsaasti rapautunut	Rp 2	Kiviaines on enimmäkseen helposti murenevaa ja löyhää. Helposti rapautuvat mineraalit ovat yleensä täysin muuttuneita tai poisliuenneita (kalsiitti). Kvartsija kalimaasälpäpitoisissa kivilaaduissa mineraalit saattavat olla jokseenkin muuttumattomia, mutta mineraalit ovat löyhästi kiinni toisissaan (rapakiven moro). Murtopinnoilla mineraalit ovat vaihtelevan kirjavia ja himmeitä.
Täysin rapautunut	Rp 3	Kiviaines on rapautunutta, täysin löyhää savimaista massaa (kalliosavea). Tämä sisältää pääasiassa savimineraaleja sekä mekaanisesti hienontunutta kvartsia. Pehmeässä saviaineksessa saattaa kuitenkin olla kovia teräväsärmäisiä kivenkappaleita.

Asfalttipäällysteiden kestävyys kannalta on edullisempaa valita tiiviitä, hienorakeisia kivilajeja kuin karkearakeisia kivilajeja, koska niiden on todettu rapautuvan herkemmin. Tässä tutkimuksessa käytetään taulukon 5 mukaista raekokoluokitusta.

Hyvin lohkeavat mineraalit, kuten kiilteet rapautuvat helpommin kuin huonosti lohkeavat mineraalit. Täten tulisi kiinnittää huomiota siihen kuinka paljon kalliyesiintymän kivilajit sisältävät kiillemineraaleja, onko esiintymässä kiillepitoisia vyöhykkeitä tms.

Taulukko 5. Mineraalien raekoko. (Rakennusalan kallioluokitus 1982).

Nimitys	Vallitseva raekoko (mm)
hienorakeinen	< 1
keskirakeinen	1-5
karkearakeinen	5-50
suurirakeinen	> 50

8.3

Laboratoriokokeet

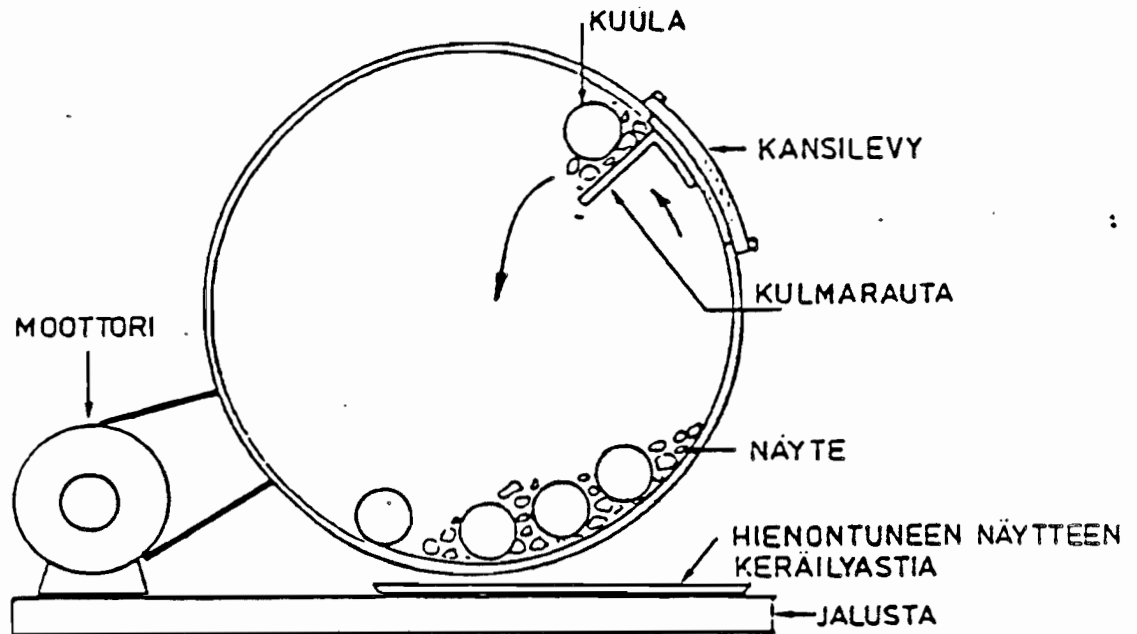
8.3.1

Lujuusominaisuudet

8.3.1.1

Los Angeles

Menetelmän avulla tutkitaan kiviaineksen iskun- ja kulutuksenkestävyyttä käyttäen Los Angeles-kulutuskojetta (kuva 9). Kulutuskestävyys ilmaistaan Los Angeles-lukuna, joka on standardikokeessa saatu, 1,68 mm pienemmäksi jauhautuneen kiviaineksen määrä prosentteina alkuperäisen kiviainesnäytteen määrästä.



Kuva 9. Los Angeles-myly. (TVH 1970)

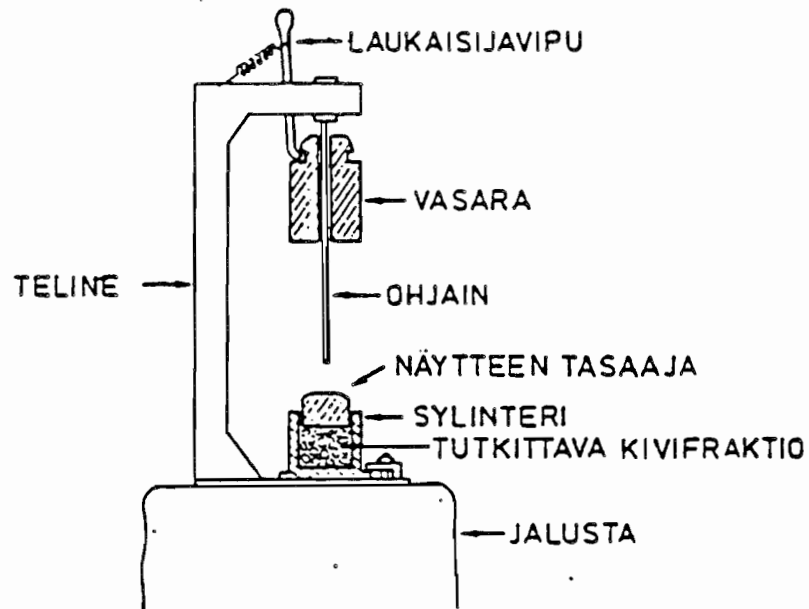
Los Angeles-kokeen huonona puolena on laitteiston soveltumattomuus mitattaessa kiven haurautta. Tästä on osoituksena mm. kvartsiitin hyvät kulutuskestävyysarvot, vaikka kvartsi on hauras mineraali.

8.3.1.2

Parannettu haurausarvo

Haurausarvo kuvaa kiviaineksen iskunkestävyyttä, jota tutkitaan käyttäen erityistä haurausarvolaitetta (kuva 10). Iskunkestävyys ilmaistaan haurausarvona kiviainelajitteesta 8 - 12 mm, ja se ilmoittaa prosentteina sen kiviainesmäärän, joka tietyssä standardikokeessa murskautuu.

Haurausarvo määritetään pudottamalla ns. pudotusvasaraa terässylinterissä olevan kiviainesnäytteen päälle ja laskemalla 8 mm läpäisevän aineksen määrä (haurausarvo) sekä 4 mm läpäisevän aineksen määrä (parannettu haurausarvo) painoprosentteina alkuperäisen näytteen määrästä.



Kuva 10. Haurausravolaite (TVH 1970).

8.3.1.3

Hioutuvuuskoe

Hioutuvuuskokeella pyritään selvittämään kiviaineksen ja renkaan välistä kitkaa tai kiviaineksen kulumista päällysteessä. Hioutuvuusarvo määritetään joko kiviaineksen pinnasta irronneen hienoaineksen määränä tai pinnan epätasaisuuksien muutoksena. Aikaisempien tutkimusten mukaan (Kauranne et al 1972) sekä heikoista että lujista mineraaleista koostuvat kivilajit antavat päällysteille parhaimmat kitka-arvot.

Tämän tutkimuksen hioutuvuuskokeet on suoritettu hie-
man muutetun ruotsalaisen menetelmän (MBB 31-86) mu-
kaisesti. Kokeessa valmistetaan 9,52 - 12 mm kiviain-
nesfraktiosta liima-aineella iskostamalla kaksi 90 mm
x 90 mm näytelevyä, joissa molemmissa on kolmekymmen-
täkuusi kiviraketta. Hionnan aikana näytelevyjä kuormi-
tetaan $2\,500 \pm 1$ gramman painoilla. Vain iskostetut
kivirakeet ottavat kiinni hiontalevyyn. Molempien näy-
televyjen eteen valutetaan tasaisesti 70 ± 5 g/min.
vakiokarkeuden omaavaa hiontajauhetta. Tässä tutkimuk-
sessa on hiontajauheena käytetty Korn 60-hiontajauhet-
ta. Näytelevyjä hiotaan 500 kierrosta. Aina 250 kier-
roksen jälkeen levyjä käännetään hiontasuunnassa 180° .

Tämän tutkimuksen kokeet suoritettiin noin +21 °C:n lämpötilassa ilman suhteellisen kosteuden ollessa noin 50 %. Hioutuvuusluku ilmoittaa sen tilavuuden, joka kiviaineksesta hioutuu pois kokeessa. Hioutuvuusluku lasketaan jakamalla kuluneen kiviaineksen grammamäärä ko. kiviaineksen kiintotiheydellä seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\text{hioutuvuusluku (cm}^3\text{)} = \frac{m}{k}$$

jossa

m = kulunut määrä 500 kierroksen jälkeen (g)

k = kiviaineksen kiintotiheys (g/cm³)

Näytteen ja sen rinnakkaisnäytteen tulokset eivät saa poiketa keskiarvosta 15 %:ia enempää. Jos ero on suurempi, suoritetaan ylimääräinen hionta ja tuloksena annetaan rinnakkaisnäytteiden kuluman keskiarvo. Mikäli ero poikkeaa edelleen vaatimuksista, valmistetaan uudet näytteet. Hioutuvuusmenetelmä on osoittautunut melko tarkaksi tutkimusmenetelmäksi. Ruotsalaisen eri hioutuvuuslaitteilla suoritettun rinnakkaistutkimuksen (6 kiviainesta, 8 laboratoriota) mukaan tulokset poikkeavat alle 10 % keskiarvosta (Höbeda et al. 1985).

Kiviaineksen kovuuden ja kulutuskestävyyden katsotaan olevan sitä parempi, mitä pienempi hioutuvuusluku on. Kokeessa menestyvät lujasti toisiinsa kiinnittyneistä kovista mineraaleista koostuvat kiviainekset.

Hioutuvuuskokeen tulosten on todettu olevan riippuvaisia mm. koelämpötilasta ja ilman kosteudesta, joten laitteistoa tulee käyttää vain sellaisissa tiloissa, missä nämä tekijät ovat säädeltävissä (Höbeda & Chytla 1985).

Koelämpötilaa ja -kosteutta enemmän kokeen tuloksiin vaikuttaa hiontajauheen kovuus. Käytettäessä hiontajauheena kuvaa jauhetta tulokset ovat huomattavasti, jopa 30 - 40 % suurempia kuin käytettäessä vastaavan raekoon omaavaa pehmeämpää hiontajauhetta. Tästä johtuen kaikissa menetelmän mukaisissa hioutuvuuslaitteissa tulee käyttää samanlaista hiontajauhetta.

Kokeen lopputulokseen vaikuttaa myös näytteiden valmistus, sillä kivirakeet valitaan ja asetellaan näytemuotiin yksitellen iskostettujen kivirakeiden kulutuspinnan tulee olla kivirakeiden muodosta riippumatta samansuuruinen.

Ruotsissa ja Norjassa hioutuvuusmenetelmää on käytetty teiden päällysteiden koemenetelmänä jo useiden vuosien ajan. Suomessa hioutuvuusmenetelmää ei käytetä kuin erikoistutkimuksissa (Lappalainen 1987 b).

VTT:n mukaan Suomessa käytetty hioutuvuusluku samoin kuin muut hioutuvuusmenetelmät eivät korreloi haurausarvojen ja Los Angeles-luvun kanssa, sillä hioutuvuusluvun ja haurausarvon välinen korrelaatiokerroin on $r = 0,28$ ja hioutuvuusluvun ja Los Angeles-luvun välinen korrelaatiokerroin on $r = 0,02$. Näiden mittausmenetelmien voidaan todeta mittaavan kiviaineksen eri ominaisuuksia (VTT 1983).

Taulukossa 16 on esitetty eräiden kivilajien hioutuvuusominaisuuksia.

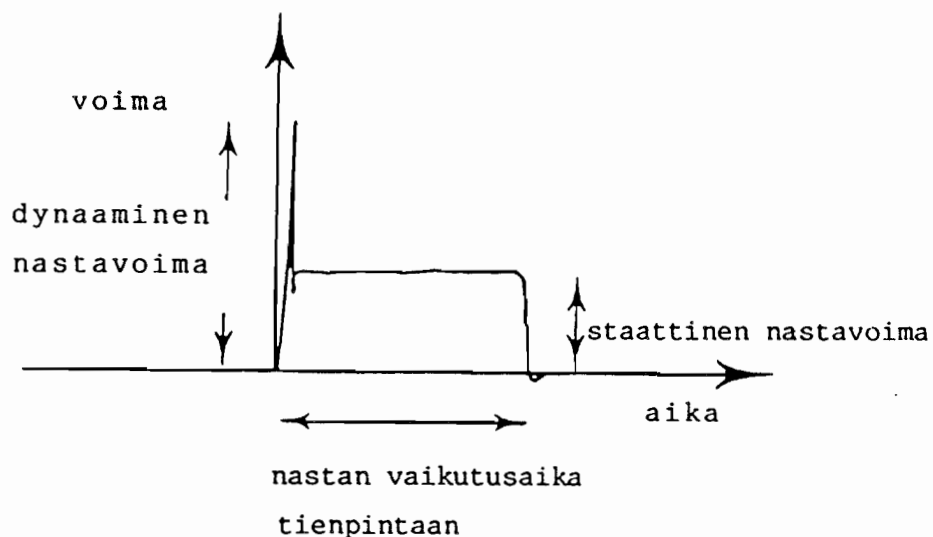
Taulukko 16. Eräiden kivilajien hioutuvuusominaisuuksia (Kauranne et al 1972).

Kivilaji	Kuluminen kvartsiin verrattuna	Kuluminen $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	Kolojen syvyys	Hiotun pinnan kitka
kvartsiitti	8	7 - 8 cm	2	0,45 - 0,67
graniitti	19	5 - 8 cm	6	0,40 - 0,70
hiekkakivi	26	10 - 14 cm	4	0,60 - 0,82
diabaasi	58	5 - 8 cm	8	0,45 - 0,81
kalkkikivi	110	15 - 40 cm	1	0,30 - 0,75

6.3.1.4

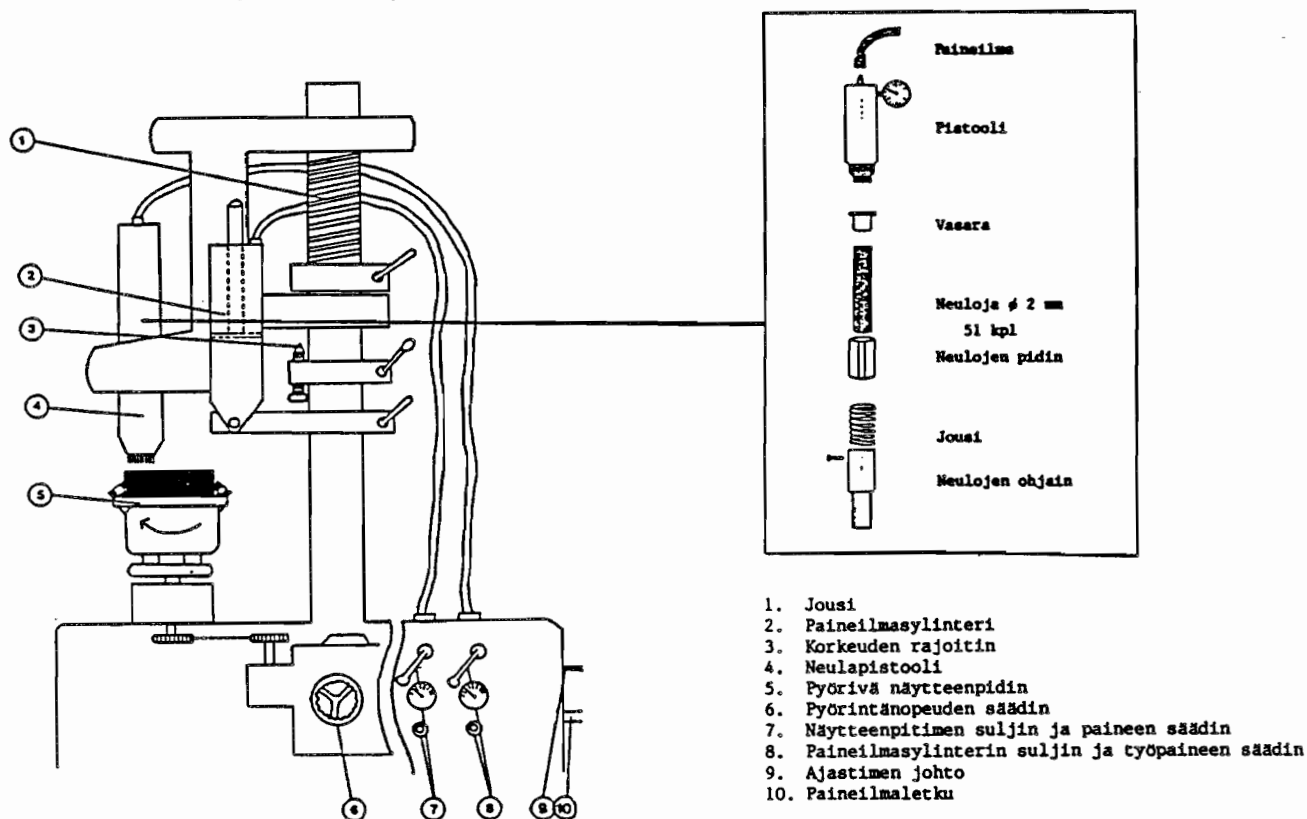
Tröger-kulutuskoe

Länsisaksalaisella Tröger-laitteella tutkitaan sekä asfalttimassasta valmistettujen koekappaleiden että kiinteiden kivinäytteiden kulutuskestävyyttä. Kulutus-tapahtumassa on pyritty jäljittämään nastarengasliikenteen tiehen aiheuttamaa kulutusta (kuva 11).



Kuva 11. Nastavoimien vaikutus tien pintaan (Frostman et al 1978).

Tässä tutkimuksessa on käytetty TVH:n Tröger-kulutuslaitetta, joka koostuu ilmanpaineella toimivasta neulapistoolista, sen jalustasta, ilmanpaineella toimivasta näytteen kiinnipitimestä, akselissa ympäri pyörivästä näytteen alustasta sekä ajastinlaitteistosta (kuva 12).



Kuva 12. Piirros Tröger-kulutuslaitteesta (Dörum & Kristansen 1981, Grönstrand 1981).

Tutkittava, sylinterin muotoinen näyte kiinnitetään ilmanpaineella toimivilla puristimilla alustaansa, joka pyörii akselinsa ympäri vakionopeudella. Tröger-laitteen pistooliossa on liikuteltavissa korkeus- ja sivusuunnassa. Pistooliossa laskeutuu ilmanpaineella toimivalla mekanismilla jalustassa olevaa korkeuden säätörajoitinta vasten niin, että pistoolin neulat ovat halutulla etäisyydellä näytteen pinnasta. Tässä tutkimuksessa neulat on säädetty 3 mm:n etäisyydelle näytteestä. Pistoolin korkeuden säätö tapahtuu ruuvi-kiinnityksellä.

Neulapistoolissa on magneettiventtiili, jonka nopea avautuminen ja sulkeutuminen saa aikaan ilmanpainesy-
käyksen. Ilmanpainesykäys puolestaan iskee nopeasti
neuloihin, jotka iskun voimasta liikkuvat eteenpäin.
Neulapistoolin etuosassa, ohjausholkin edessä oleva
jäykkä kierrejousi palauttaa ohjainholkin, neulat ja
männän yläasentoonsa. Uusi ilmasykäys antaa neuloille
uuden iskun. Neulojen maksimi iskupituus on noin 30
mm. Neulojen iskuvoima ei kokeen aikana ole tasainen,
vaan kitkasta ja neulojen erilaisesta iskupituudesta
johtuen se vaihtelee hyvinkin paljon.

Tässä tutkimuksessa suoritettiin Tröger-koe kahdeksas-
ta kivilajinäytteestä. Jokaisesta liuskeisuutta vas-
taan lähes kohtisuoraan kaivatusta näytteestä sahat-
tiin 40 - 50 mm paksut kappaleet, joiden päät tasat-
tiin yhdensuuntaisiksi 1 - 2 mm tarkkuudella. Näyt-
teistä pidettiin ennen kokeen suorittamista noin 12
tuntia 105 °C lämpötilassa. Tämän jälkeen niiden an-
nettiin jäähtyä ja ne punnittiin. Näytteiden ympärille
kiinnitettiin teipistä noin 4 cm korkea reunus, jotta
niiden pinnalle voitiin kaataa vettä kokeen ajaksi.

Jokaista näytettä kulutettiin 3 x 15 minuuttia eli yh-
teensä neljäkymmentäviisi minuuttia. Aina viidentoista
minuutin ajon jälkeen irti hioutunut kiviaines huu-
dottiin näytteen päältä pois.

Kokeen jälkeen näytteet kuivattiin 105 °C lämpötilassa
ja punnittiin. Osa näytteistä kulutettiin vielä toi-
seltakin puolelta vertailutuloksen saamiseksi. Näiden
näytteiden Tröger-arvo ilmoitetaan tällöin kulutusajo-
jen keskiarvona. Kulutuskokeen tulokset ilmoitetaan
kokeen aikana pois kuluneen kiviaineksen tilavuutena
(cm³).

Pohjoismaissa Tröger-laitetta käytetään rutiininomaisissa päällystetutkimuksissa vain Norjassa sekä jonkin verran myös Ruotsissa. Suomessa Tröger-laitetta on käytetty lähinnä asfalttikoekappaleiden tai kiviinäytteiden kulutuskestävyyden erikoistutkimuksissa.

8.3.2

Raeominaisuudet

8.3.2.1

Kiintotiheys

Kiviaineksen kiintotiheys on helposti määritettävissä upotuspunnituksen avulla. Puhdas kiviaines, jonka rakeisuus on > 6 mm punnitaan ensin ilmassa ja sitten veden alla, jolloin tuloksista voidaan laskea aineksen tiheys seuraavan kaavan mukaisesti:

$$k = \frac{1\,000 \times m_1}{m - m_2}$$

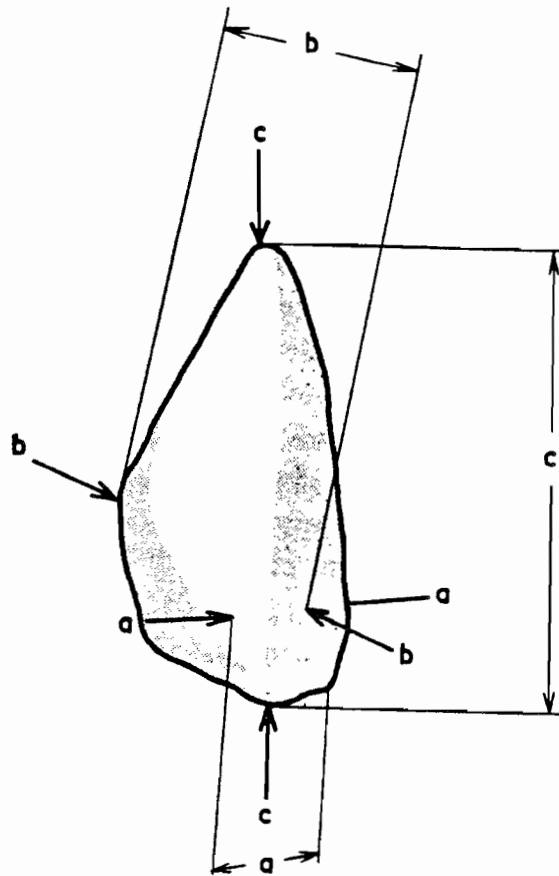
Taulukko 17. Eräiden kivilajien kiintotiheyksiä (VTT 1974).

Kivilaji	kg/m ³	
graniitti	2 600-2 700	peridotiitti 3 000-3 500
dioriitti	2 700-2 800	
gabro	2 800-3 200	
amfiboliitti	2 900-3 000	
gneissit	2 600-2 800	

8.3.2.2

Muotoarvo

Muotoarvolla pyritään määrittämään kiviaineksen rae-muoto, jota tutkitaan joko 8 - 12 mm tai 12 - 16 mm lajitteesta. Muotoarvolla ilmoitetaan kivirakeen kahden akselisuhteen c/a (puikkoisuus) ja b/a (liuskeisuus) arvot. Akselit a, b ja c näkyvät kuvasta 13.



Kuva 13. Kivirakeen akselit (TVH 1970).

8.3.3

Hienoainekokeet

8.3.3.1

Huokoisuus

Huokoisuudella tarkoitetaan kivessä olevien rakojen, onkaloiden ja huokosien tilavuutta koko tilavuudesta.

Syväkivilajeissa huokoisuutta aiheuttava mikrorakoilu syntyy sulan kiviaineksen jäähtyessä. Laboratorio-olosuhteissa kvartsia sisältävissä magmakivissä 573 °C:n lämpötilassa ja yhden ilmakehän paineessa kvartsin kokoonpuristuminen on $3 \frac{1}{2} - 4 \frac{1}{2} \%$. Muiden yleisten kivilajeja muodostavien mineraalien kokoonpuristuminen on $\leq 2 \%$. Tämän kvartsin erilainen käyttäytyminen on eräs huokoisuutta lisäävä tekijä.

Useimmat gneissit kokoonpuristuvat syväkivien tapaan. Metamorfisissa kivilajeissa liuskeisuus aiheuttaa helposti välitiloja kidepakkojen väliin.

Kivilajien huokoisuutta tutkitaan elohopeaporosimetrialla, joka perustuu elohopean kostutuskulmaan. Useita kiinteitä aineita vastaan kostutuskulma on $> 90^\circ$. Täten painetta nostamalla saadaan elohopea tunkeutumaan valikoituihin näytteisiin, jotka täyttyvät suurimmista huokosista alkaen.

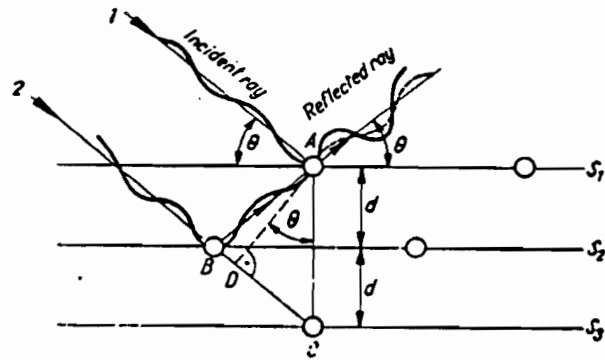
Huokoisuutta tarkasteltaessa saadaan selville, millä huokoskoalueella on eniten huokosia. Tiedon avulla voidaan arvioida mikrorakojen esiintymisalueita ja vaikutusta kiven käyttäytymiseen. 1 - 0 m huokoskoalueella veden jäätyminen on mahdollista, jolloin voidaan olettaa kiviaineksen rakenteen vaikuttavan murskautumiseen.

Tässä tutkimuksessa käytetty elohopeaporosimetri on Micromeriticsin Pore Sizer 9 300, jolla voidaan mitata huokoisuuksia huokosläpimitan vaihdellessa 300 Mm - 0,010 Mm, jolloin alarajaa vastaava paine on noin 30 000 psia (Tolla 1986).

8.3.3.2

Hienoaineksen mineraalikoostumus

Hienoaineksen mineraalikoostumusta voidaan tutkia röntgendiffraktometrillä. Menetelmä perustuu Braggin lakiin (Kezdi 1974), jonka mukaan kiteisen aineen atomitasolta heijastuvat säteet vahvistuvat tietyllä säteen tulokulmalla (kuva 14). Tulokulma, jolla vahvistuminen tapahtuu riippuu atomitasojen välisestä etäisyydestä ja on kullekin kiderakenteelle vakio.



Kuva 14. Periaatekuva säteen heijastumisesta atomitasoilta S_1 ja S_2 (Kézdi 1974).

Mineraalien määrä määritetään heijastuksen intensiteettin suuruuden perusteella, jota verrataan vain yhtä mineraalia sisältävän näytteen intensiteettiin.

Tässä tutkimuksessa käytetty laite on Philips System 1984, jossa on kupariröntgenputki. Sen lähettämä aallon pituus on $1,54 \text{ \AA}$, käyttöjännite 40 kV ja virta 50 mA.

8.3.3.3

Veden adsorptio

Tierakenteen sitomattomissa kerroksissa optimivesipitoisuuden ylittymisestä seuraa rakenteen kantavuuden huomattava aleneminen. Kantavuuden aleneminen johtuu huokosveden ylipaineesta, jonka seurauksena kerroksessa vallitseva raepaine pienenee ja kerroksen lujuus alenee (Tolla 1986).

Hienoaineksen veden adsorptiokykyä voidaan tutkia Niemisen (1985 a ja b) esittämällä menetelmällä. Kahdesta grammasta, $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa kuivatetusta hienoaainenäytteestä määritetään kuivapaino näytteen vielä ollessa kuuma. Punnituksen jälkeen näyte asetetaan seitsemäksi vuorokaudeksi eksikaattoriin, jossa valitsee 100 %:n suhteellinen kosteus. Tämän jälkeen määritetään näytteen vesipitoisuus.

8.3.3.4

Ominaispinta-ala

Ominaispinta-alalla tarkoitetaan rakeen pinnan alan suhdetta massayksikköön. Ominaispinta-alaan vaikuttavat rakeen koko ja sen pintarakenne.

Tämän tutkimuksen hienoaineksen ominaispinta-alat on määritetty Micromeriticsin Surface Analyzer -laitteella, joka perustuu typen adsorptioon sen nesteytymislämpötilassa (noin -196°C). Laite mittaa sen kaasumäärän tilavuuden, joka tarvitaan BET-teorian mukaisen yksimolekyläärisen kerroksen muodostumiseen partikkelin pinnalle. Kun tunnetaan yhden typpimolekyylin peittämän pinnan ala, voidaan kulutetun kaasumäärän perusteella laskea kaasumolekyylien peittämä kokonaispinta-ala. Ominaispinta-ala saadaan jakamalla näytteen pinta-ala sen massalla.

Ominaispinta-ala vaikuttaa mm. rakeen sitoman veden määrään, joka puolestaan vaikuttaa esim. öljysoran valmistukseen. Asfalttimassojen sideainepitoisuuden optimia voidaan arvioida materiaalin ominaispinta-alan avulla.

Hienoaineksen ominaispinta-ala vaikuttaa myös sen käyttäytymiseen bitumin kanssa. Voidaan olettaa, että mitä tasaisempi rakeen pinta (pieni ominaispinta-ala) on sitä vähemmän se tarvitsee bitumia tasaisen kalvon muodostamiseen ja samalla myös fysikaalinen tartunta rakeen ja bitumin välillä on parempi (Tolla 1986, Nieminen et al 1986, Nieminen & Pylkkänen 1987).

Tutkimuksissa (Nieminen & Pylkkänen 1987) on havaittu murskattujen soranäytteiden hienoaineksen pinta-alan eroavan huomattavasti vastaavasta kasasta otettujen murskaamattomien näytteiden hienoaineksen pinta-alasta. Kasasta otettujen näytteiden hienoaineksella on suurempi ominaispinta-ala kuin murskattujen kivien hienoaineksella. Kallionäytteiden osalta ei havaittu niin suurta vastaavanlaista eroa. Tämän tutkimuksen kalliomurskenäytteiden hienoainekset ovat peräisin Los Angeles myllyssä murskatuista näytteistä.

8.4

Ohuthietutkimukset

Ohuthieet valmistetaan näytteistä, jotka mahdollisimman hyvin edustavat kyseistä kivilajia. Hieet analysoidaan polarisaatiomikroskoopilla pyrkien selvittämään kivilajin mineraalikoostumus, raekoko, rakenne, suuntautuneisuus sekä mahdollinen mikrorakoilu.

Mineraalikoostumus käsittää sekä mineraalien tunnistamisen että niiden prosentuaalisen jakauman määrittämisen päämineraalien osalta 1 000 pisteestä point counter-menetelmällä. Raekoko arvioidaan keskimääräisenä raekokona. Raekokosuhteella tarkoitetaan tässä kivilajin mineraalien raekokojakaumaa. Jos raekokojakauma on pieni, vastaa se rakenteeltaan tasarakeista kiveä. Suuri raekokosuhte on esim. porfyirisillä ja porfyroblastisilla kivilajeilla.

Rapautuneisuuden osalta tutkitaan mineraalien muuttumista ja tekstuurin löyhentämistä. Raemuodoltaan oma- muotoiset rakeet ovat yleensä heikommin sitoutuneet naapurirakeisiinsa kuin vierasmuotoiset rakeet. Lisäksi täytyy huomioida rakeiden liittymistapa. Tutkittaessa lievästi rapautunutta näytettä polarisaatiomikroskoopilla nähdään mineraalin muuttuneisuus värin muutoksena ohuthieessä. Herkästi muuttuvia mineraaleja

ovat mm. plagioklaasi, sarvivälke, oliviini ja biotiitti. Plagioklaasi muuttuu herkästi pienirakeiseksi muskoviitiksi (= serisiitti) tai hienokiteiseksi epidootiksi (= saussuriitti). Muskoviitti voi esiintyä kivilajeissa sekä muuttuneena että primäärisenä. Biotiitilla on taipumus muuttua reunoiltaan tai lohko-raoistaan kloriitiksi. Biotiitti voi myös esiintyä sarvivälkkeen muuttumistuloksena. Tummissa kivilajeissa esiintyy yleisesti oliviinia, joka serpentiittiytyy helposti.

Mikrorakoilusta havainnoidaan rakojen runsautta ja laatua. Laadulla tarkoitetaan raoissa olevaa sekundäärimineraalitäytettä tai sen puuttumista.

Suurehkot mineraalirakeet jauhaantuvat joskus reunoiltaan, jolloin hienorakeinen massa esiintyy tavallisesti ehyiden maasälpä- ja kvartsirakeiden lomassa. Kivilajit, joissa tätä ns. muurilaasti rakennetta esiintyy, jauhautuvat herkästi.

8.5

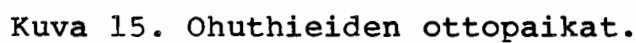
Näytteiden otto

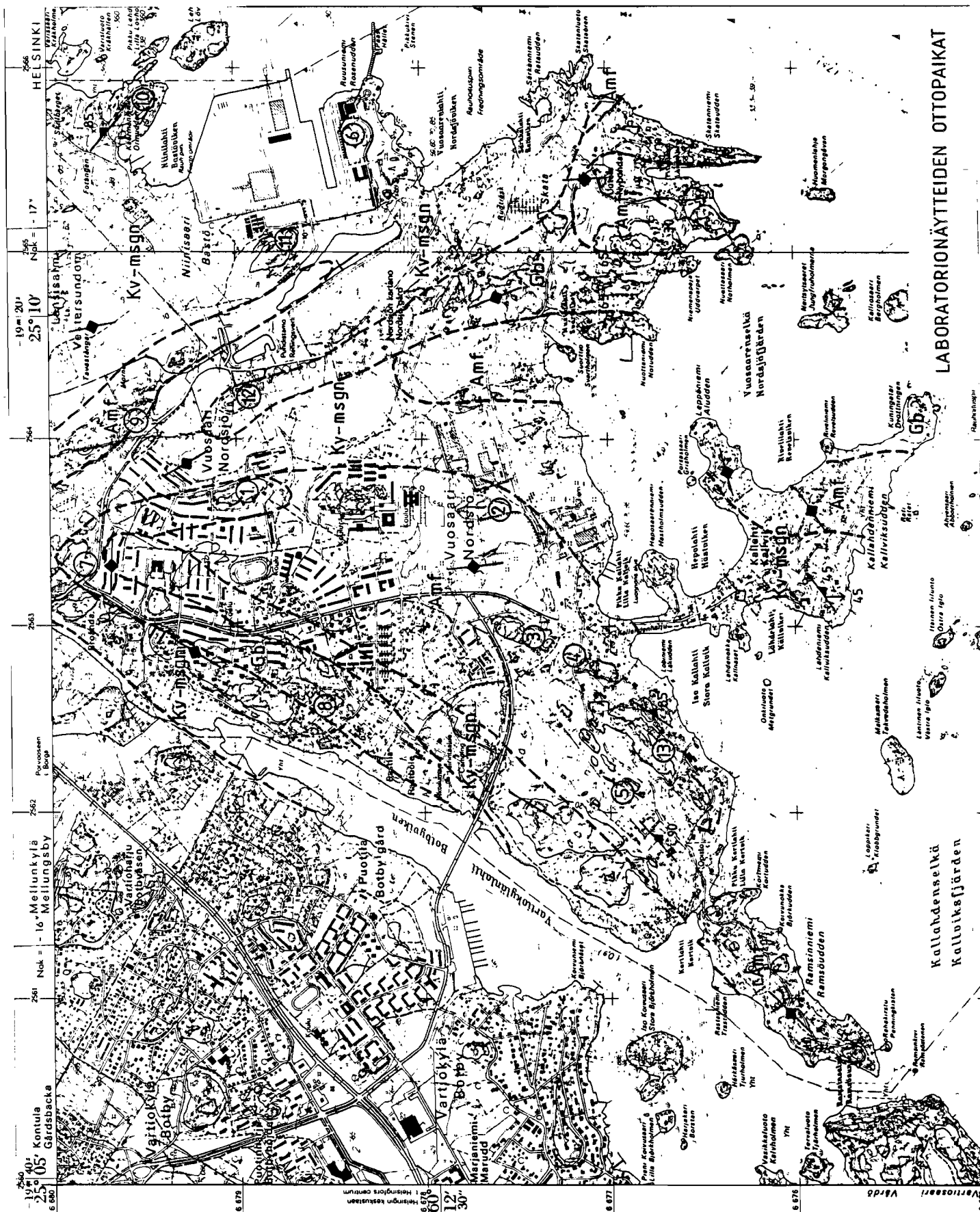
Kiviainesnäytteet otettiin tutkimusalueiden pääkivilajeista eli kiillegneissistä, kvartsi-maasälpägneissistä, sarvivälkegastrosta, sarvivälkegneissistä ja amfiboliitista. Näytteet (a noin 20 kg) irrotettiin kallio-paljastumista tai tienvarsileikkauksista vasaralla ottaen huomioon kalliomurskeelle asetetut vaatimukset (Päällystealan neuvottelukunta 1987), joiden mukaan murskattavan kiviaineksen tulee olla tasarakeista ja lujaa eikä rapautunutta tai helposti rapautuvaa kivilajia saa käyttää. Koska on kuitenkin huomioitava, että näytteet on otettu kallion pintaosista, ne ovat rapautuneempia kuin kallion sisäosat. Näin ollen saadut tulokset ovat ehkä todellisuutta hieman huonompia.

Kukin näyte-erä murskattiin joko Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tai Tie- ja vesirakennushallituksen laboratorioissa leukamurskaimilla vaadittuun raekokoon, jonka jälkeen niille tehtiin aiemmin mainitut koesarjat. Hienoaineskokeissa käytetty materiaali ($\varnothing < 0,074$ mm) on peräisin Los Angeles-myllyssä murskatuista näytteistä.

Käytettävissä olevien Geologian tutkimuskeskuksen 33 ohuthieen lisäksi otettiin tutkimusalueilta 13 kappaletta ohuthienäytteitä murskenäytteiden ottopaikoilta. Ohuthienäytteiden otto tapahtuu Geologian tutkimuskeskuksen julkaiseman kallioperäkartoitusoppaan mukaisesti (Laitakari & Matisto 1974).

Tutkimuksessa käytetyn materiaalin näytteenottopaikat on esitetty kuvissa 15 - 16 ja taulukossa 34 (liite 6).





Kuva 16. Näytteenottopaikat.

9.

TUTKIMUSTULOKSET

9.1

Rakennusgeologinen kartoitus

Tutkimusalueiden suuntaa antava rakennusgeologinen kallioperäkartoitus tehtiin suurehkoilta kalliomäiltä, jotka mahdollisesti tulevaisuudessa ovat kalliorakennuskohteita. Yksityiskohtainen rakennusgeologinen kartoitus suoritettiin vain kohteesta n:o 2. Kartta GEO 3534.112 on tämän tutkimuksen liitteenä (liite 7). Kartoituksessa käytettiin apuna Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäkarttalehteä n:o 2043 (1:100 000) sekä kaupunkimittausosaston kallioperäkarttoja (K 4-5, L 4-5 ja M 4-5, 1:10 000). Taulukossa 18 (liite 1) on esitetty rakennusgeologisen luokituksen mukainen kalliolaatumäärittäminen näytteenottopaikoissa.

I Vuosaari

1.

Kivilaatu

Vuosaaren seudun pääkivilajit ovat keskirakeinen kvartsi-maasälpägneissi, amfiboliitti ja sarvivälkegabro. Lisäksi esiintyy hienorakeisia tuttimaisia välikerroksia sekä karkearakeisia maasälpä- ja kvartsi-juonia.

Kivilajit ovat pääosiltaan rapautumattomia tai vähän rapautuneita (Rp 0-1). Kvartsi-maasälpägneissien rapautumispinta on yleensä vaaleahko, mikä on osoitus niiden suuresta maasälpäpitoisuudesta. Kvartsi-maasälpägneisseihin liittyy karbonaattivälikerroksia, jotka näkyvät rapautumispinnassa urina ja kouruina. Kvartsi-maasälpägneissi, amfiboliitti ja sarvivälkegabro ovat rakennetyypiltään liuskeisia. Liuskeisuusaste vaihtelee kohtalaisesta voimakkaaseen (L 2-3). Enimmäkseen kivilajit ovat kohtalaisen suuntautuneita. Liuskeisuuden kaade on varsin pystyä (70 - 100^{gon}). Vuosaaresta

on mitattu mm. seuraavia liuskeisuuden kulkuja: Kallahdenniemi 310 - 330°, Keski-Vuosaari 260 - 270°, Uutela 250 - 260° ja Niinisaarentien pohjoisosa 220 - 350°. Myös liuskeisuuden suuntaista, pystyä kerroksellisuutta esiintyy.

Kvartsi-maasälpägneissin päämineraalit ovat kvartsi ja plagioklaasi. Myös biotiittia esiintyy jonkin verran. Amfiboliitin ja sarvivälkegabron päämineraalit ovat plagioklaasi ja sarvivälke. Aksessorisena mineraalina esiintyy runsaasti epidoottia.

2.

Rakoilu

Vuosaaren kalliot ovat enimmäkseen kiinteitä silokallioita. Rakotiheys vaihtelee paikallisesti hyvinkin paljon aina harvarakoisesta runsarakoiseen (Li 1-3). Pääosin kalliopaljastumat ovat kuitenkin harvarakoisia. Raot ovat laadultaan tiiviitä ja avoimia. Rakopinnoilla esiintyy kloriittia ja muita savimineraaleja. Yleisimmät rakoilutyypit ovat kiilarakoilu ja laattarakoilu. Yleisimmät rakoilusuunnat ovat liuskeisuuden suuntaisia tai sitä vastaan kohtisuoria olevia. Myös vaakarakoilua esiintyy jonkin verran.

3.

Kallion laatu

Kalliolaatu on kiinteää, liuskerakenteista ja harvavähärakoista. Kalliopaljastumien heikkousvyöhykkeet ovat usein Vartiokylänlahden suuntaisia.

II Tali

1.

Kivilaatu

Talin mäen pääkivilajit ovat keskirakeinen amfiboliitti ja kiillegneissi. Myös keski-karkearakeista graniittia esiintyy. Kivilajit ovat rapautumattomia tai vähän rapautuneita (Rp 0-1). Kivilajit muodostavat seoksisen kivilaadun. Liuskeisuusaste vaihtelee massamaisesta, suuntautumattomasta (MO) graniitista kohtalaisesti suuntautuneeseen kiillegneissiin ja amfiboliittiin (S2). Liuskeisuus on kaateeltaan pystyä (90 - 100gon) ja sen kulku on noin 286 - 292°.

Amfiboliitin päämineraalit ovat plagioklaasi ja sarvivälke. Kiillegneissin päämineraalit ovat kvartsi, maasälpä ja biotiitti.

2.

Rakoilu

Kallio on kiinteää, harva-vähärakoista (Se 1-2). Raot ovat sekä avoimia että tiiviitä. Yleisimmät rakosuunnat ovat liuskeisuuden suuntaisia tai sitä vastaan kohtisuoria. Rakopinnoilla esiintyy kloriittia.

3.

Kallion laatu

Kallio on kiinteää, seoksista ja vähärakoista. Kallio-paljastuman halki kulkee liuskeisuuden suuntaisia heikkousvyöhykkeitä.

III Pitäjänmäki, Kumpula ja Kontula

Pitäjänmäestä, Kumpulasta ja Kontulasta ei suoritettu rakennusgeologista kartoitusta, vaan alueet valittiin tutkimukseen mukaan karttatietojen ja helpon näytteenottomahdollisuuden perusteella. Pitäjänmäen kalliomäki on pääosin amfiboliittia, Kumpulan kiillegneissiä ja graniittia ja Kontulan kiillegneissiä.

9.2

Lujuusominaisuudet

9.2.1

Los Angeles

Los Angeles-koe tehtiin kuudelletoista kiviainesnäytteelle, joista suurin osa oli peräisin Vuosaaresta. Tulosten keskiarvoksi saatiin 19.60 keskihajonnan ollessa 4.29. Taulukon 19 mukaisesti parhaimmat arvot saivat näytteen n:ot 7, 13, 6 ja 11. Huonoimman arvon sai näyte n:o 17. Kaikki muut näytteet paitsi n:o 17 kuuluvat laatuluokkiin A-I.

Taulukko 19. Los Angeles-kokeen tulokset.

N:o	Kivilaji	Ottopaikka	Los Angeles -luku	Laatuluokka
7	Svgn	Vuosaari	14.96	A
13	Amf.	"	15.0	A
6	Bt-svgn	"	15.2	A
11	Svgn	"	15.2	A
5	Svgn	"	15.8	A
15	Bt-svgn	Pitäjänmäki	15.9	A
12	Metagabro	Vuosaari	16.5	A
8	Plg.porf.	"	16.6	A
9	Amf.	"	17.6	A
2	Ural.porf.	"	17.7	A
16	Kgn	Tali	18.14	A
4	Amf.	Vuosaari	19.9	I
3	Amf.	"	20.6	I
10	Kv-msgn	"	23.4	I
14	Kgn	Kumpula	23.8	I
17	Kgn	Kontula	31.4	III

Los Angeles-kokeessa menestyvät yleensä parhaiten rae-kooltaan hieman vaihtelevat, sitkeät ja elastiset kiviainekset, jotka eivät sisällä raekooltaan suuria, helposti lohkeavia mineraaleja eivätkä kiillemine-raalिकासaumia tai muita heikkousvyöhykkeitä (Lappalainen 1987 b).

Kokeessa parhaiten menestyneistä kiviainesnäytteistä n:ot 7 ja 13 ei ole tehty mikroskooppista analyysiä. Lähes yhtä hyvin kokeessa menestyneiden kiviainesnäytteiden n:ot 6 ja 11 hyvät Los Angeles-arvot selittyvät niiden päämineraalien vaihtelevalla raekoolla, rapautumattomuudella ja kiviaineksen sitkeyttä lisäävällä kohtalaisella sarvivälkepitoisuudella (n. 14 - 20 %). Ohuthienäytteissä ei myöskään havaittu mikrorakoilua eikä heikkousvyöhykkeitä kuten kiillemineeraalिकासaumia.

Los Angeles-kokeessa huonoiten menestyi kiviainesnäyte n:o 17. Mikroskooppitutkimusten mukaan näytteen kiviaines oli suuntautunutta ja kohtalaisen rapautunutta. Se sisälsi myös kiillemineraalिकासaumia. Lisäksi päämineraalit (kvartsi, plagioklaasi ja kalimaasälpä) olivat raekooltaan suurehkoja ja niissä esiintyi mikrorakoilua.

9.2.2

Parannettu haurausarvo

Parannettu haurausarvokoe tehtiin kuudestatoista kiviainesnäytteestä. Näytteiden parannetun haurausarvokokeen tulokset olivat varsin samankaltaiset Los Angeles-kokeiden tulosten kanssa (ko. kokeiden tuloksien välinen korrelaatio $r = 0,70$, liite 2).

Haurausarvokokeessa kuten Los Angeles-kokeessakin parhaiten menestyvät hieman elastiset kiviainekset, jotka ovat raekooltaan vaihtelevia, mutta eivät kuitenkaan sisältäneet suuria, helposti lohkeavia mineraalirakeita.

Taulukon 20 mukaisesti parhaimmat arvot saivat näytteet n:ot 28 ja 12. Vastaavasti huonoimmat arvot saivat näytteet n:ot 17 ja 14. Suoritettujen parannetun haurausarvokokeiden tuloksien keskiarvo oli 18.3 (keskihajonta 3.24).

Taulukko 20. Parannetun haurausarvokokeen tulokset.

N:o	Ottopaikka	Kiviaines	Parannettu haurausarvo	Laatuluokka
8	Vuosaari	Plg.porf.	11	A
12	"	"	12.1	A
11	"	Sv-gn	17	I
15	Pitäjänmäki	Bt-svgn	17	I
5	Vuosaari	Svgn	17.5	I
6	"	Bt-sv-gn	17.7	I
2	"	Ural.porfyr.	18.0	I
16	Tali	Kiillegn	18.6	II
13	Vuosaari	Amfiboliitti	19.0	II
7	"	Sv-gn	19.0	II
4	"	Amfiboliitti	19.5	II
9	"	"	19.5	II
3	"	"	19.7	II
10	"	Kv-ms-gn	20	II
14	Kumpula	Kiillegneissi	22	II
17	Kontula	"	25.33	III

9.2.3

Hioutuvuusarvo Hioutuvuuskokeen katsotaan testaavan lähinnä kiven naarmutuskovuutta. Koe suoritettiin kahdeksalle tutkimusnäytteelle, jotka kaikki olivat peräisin Vuosaaresta. Hioutuvuuslukujen keskiarvoksi saatiin 1.74 keskihajonnan ollessa 0.43.

Parhaiten kokeessa menestyi näyte n:o 6, joka koostui yli 50 %:sti kovista- ja hauraista mineraaleista (39 % plagioklaasia ja 17 % kvartsia). Vaikka näyte sisälsi runsaasti myös sarvivälkettä ja biotiittia, ne eivät erittäin hienorakeisen raekokonsa vuoksi huonontaneet näytteen hioutuvuusarvoa.

Huonoimmat arvot saivat näytteet n:ot 8 ja 12, vaikka molemmat näytteet sisälsivät runsaasti kovia mineraaleja. Toisaalta molempien näytteiden mikroskooppinen tarkastelu osoitti niissä esiintyvän sarvivälke- ja kiillemineraalien muodostamia heikkousvyöhykkeitä ja mikrorakoilua.

Taulukossa 21 on esitetty saatujen hioutuvuuskokeen tulokset. Tuloksia ei voida suoraan verrata asfalttinormien (Päällystealan neuvottelukunta r.y.1987) laatuokkiin, koska kokeet on suoritettu eri tavoin. Sen sijaan taulukossa 22 on esitetty eräitä vertailukelpoisia hioutuvuuslukuja.

Taulukko 21. Hioutuvuuskokeiden tulokset.

Näyte n:o	Kivilaji	Hioutuvuusluku (cm ³)
6	Bt-svgn	0.64
4	Amf.	1.68
2	Ural.porf.	1.84
3	Amf.	1.84
11	Svgn	1.87
1	Hol	1.94
12	Metagabro	2.01
8	Plg.porf.	2.12

Taulukko 22. Eräitä tie- ja vesirakennushallituksen (Lappalainen 1987 b) tutkimien kiviainesnäytteiden hioutuvuuslukuja.

Kiviaines	Ottopaikka	Hioutuvuusluku (cm ³)
Tonaliitti	Koskenkylä	1.46
Kvartsiitti	Rytyli	1.65
Graniitti	Mustio	1.79
Soramurske	Nukari	1.85
Graniitti	Vehmaa	2.16
Granodioriitti	Ilvesvuori	2.22
Kiillegneiissi	Isotalo	2.38
Tuffiitti	Rippu	2.49
Gabro	Usmi	2.64
Kvartsidioriitti	Nummenoja	2.75
Amfiboliitti	Paapanluhdanmäki	3.07
	Keskiarvo	2.22
	Keskihajonta	0.50

9.2.4

Tröger

Tröger-kulutuskoe suoritettiin yhdeksälle kiviainesnäytteelle, jotka kaikki olivat peräsin Vuosaaresta. Näytteiden kulumisen keskiarvo oli 8.44 cm³ keskihajonnan ollessa 5.65. Taulukon 23 mukaisesti parhaiten kulutusta kestivät näytteet n:ot 1, 6 ja 7.

Taulukko 23. Tröger-kulutuskokeen tulokset (kulutusaika 3 x 15 min/märkä näyte).

Näyte n:o	Kivilaji	Trögerarvo
1	Hbl	2.90
6	Bt-svgn	3.15
7	Svgn	3.67
11	"	4.23
8	Plg.porf.	6.95
2	Uraliporf.	12.1
12	"	9.8
4	Amfiboliitti	14.83
3	"	18.34

Näyte n:o 7 on hienorakeinen ja heikosti suuntautunut amfiboliitti, jonka sarvivälkepitoisuus on erittäin suuri (70 - 90 %). Mineraalirakeet ovat tiiviisti sitoutuneet toisiinsa raerajojen ollessa suorina. Näyte n:o 6 tiivis ja hienorakeinen biotiitti-sarvivälkegneissi, joka on kohtalaisesti suuntautunutta. Mineraalirakeiden rajapinnat ovat yleensä kaarevia ja lahdellamallisia. Plagioklaasia ja kvartssia kivenä on yhteensä noin 55 % sekä sarvivälkettä ja biotiittia noin 39 %.

Huonoimmin kokeessa menestyivät näytteet n:ot 3 ja 4. Näyte n:o 3 on heterogeeninen amfiboliitti (amfiboli 63 %), joka on suuntautunut ja jonkin verran rapautunut. Näyte n:o 4 on voimakkaasti liuskeinen ja suuntautunut amfiboliitti, jossa esiintyy paikoin kapeahkoja, täytteisiä rakoja. Sarvivälkkeen osuus mineraalikoostumuksesta on noin 56 %.

Taulukossa 24 on esitetty muutamia vertailukelpoisia Tröger-arvoja, jotka on saatu Tie-, vesi- ja liikenteen Vaasan piirin suorittamista Tröger-ajoista (Vainio 1987, ei julk.).

Taulukko 24. Vaasan alueen Tröger-kulutuskokeen tuloksia.

Ottopaikka	Kivilaji	Tröger-arvo
Sarvikallio	Ural.porf.	3.86
Orrmossen I	Dior./Svgn	16.07
Haapaluoma II	Tuff.	10.43
Emetti	Amfiboliitti	8.09
Jalasjärvi	"	6.62
Nikkari	"	13.59
Lapväärtti	Svgn	15.80
Lummokka	Dior.	12.16
Lakiakallio	"	15.83
Susivuori	Gr.	15.13
Evijärvi	Gabro	17.00
Kumpulampi	Kv-msliuske	10.60

9.3

Raeominaisuudet

9.3.1

Kiintotiheys

Suomalaisten kivilajien keskimääräinen kiintotiheys on noin 2,65 - 2,66 g/cm³. Tutkimuksen kaikkien kiviainestenäytteiden kiintotiheyksien keskiarvoksi saatiin 2.80 keskihajonnan ollessa 0.13. Korkea keskimääräinen kiintotiheys selittyy näytteiden kivilajikoostumuksella. Lähes kaikki tutkimuksessa mukana olleet kivilajit sisälsivät runsaasti sarvivälkettä (8 - 75 %) ja biotiittia (7 - 34 %). Sarvivälkkeen ominaispaino on noin 3,2 g/m³ ja biotiittia noin 3.0 g/cm³ (taulukko 25, Schumann 1980).

Taulukko 25. Eräiden mineraalien ominaispainoja
(Schumann 1980).

Mineraali	Ominaispaino g/cm ³
Kvartsi	2.6
Maasälpä	2.5
Biotiitti	2.7-3.3
Muskoviitti	2.8
Kalsiitti	2.6-2.8
Sarvivälke	3.0-3.4

Taulukossa 26 on esitetty tutkimuksen kiviainesnäyt-
teiden kiintotiheyksiä kivilajeittain.

Taulukko 26. Tutkimuksen kivilajien kiintotiheyksiä.

Kivilaji	Kiintotiheyksien keskiarvo	Keskihajonta	Frekvenssi
Amfiboliitti	2.94	0.11	4
Bt-sv/Sv-gn	2.76	0.14	5
Kv-ms-gn	2.65	-	1
Metagabro	2.81	-	1
Kgn	2.73	0.04	3
Uraliitti- porfyriitti	2.98	-	1
	2.81	0.10	15

9.3.2

Muotoarvo

Tutkimuksen kuudestatoista kiviainesnäytteestä määritettiin laboratoriomurskaimella saatujen kivirakeiden keskimääräinen muoto. Kaikki näytteet murskattiin kahdessa vaiheessa; ensin suuressa leukamurskaimessa, jonka leukaväli on noin 25 mm ja sen jälkeen pienemmässä, leukaväliltään noin 12 mm olevassa leukamurskaimessa.

Taulukossa on esitetty saatujen murskeiden muotoarvot, jotka on määritetty raekoosta 8 - 12 mm. Liuskeisuuden keskiarvo on 1.90 (keskihajonta 0.19) ja puikkoisuuden keskiarvo on 3.01 (keskihajonta 0.31).

Huonoimmat eli lukuarvoltaan suurimmat muotoarvot saivat näytteet n:ot 2, 3 ja 8. Näytteiden sekä makroskooppinen että mikroskooppinen tarkastelu osoitti kivilajien rakenteen olevan joko osittain tai lähes kokonaan suuntautunut ja siten helposti lohkeavaa.

Parhaimmat muotoarvot savivat näytteet n:ot 10 ja 14. Vain näyte n:o 10 kuuluu puikkoisuusarvonsa perusteella asfalttinormien A-luokkaan. Muotoarvot on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 27. Muotoarvomäärittelyn tulokset.

Näyte n:o	Ottopaikka	Liuskeisuus (b/a)	Laatuluokka
17	Kontula	1.65	I
10	Vuosaari	1.66	I
14	Kumpula	1.68	I
16	Tali	1.78	II
15	Pitäjänmäki	1.80	II
11	Vuosaari	1.80	II
12	"	1.80	II
5	"	1.80	II
4	"	1.90	III
13	"	1.90	III
9	"	1.98	
6	"	2.00	
7	"	2.03	
8	"	2.12	
3	"	2.13	
2	"	2.4	

Näyte n:o	Ottopaikka	Puikkoisuus (c/a)	Laatuluokka
10	Vuosaari	2.35	A
12	"	2.69	
14	Kumpula	2.70	
11	Vuosaari	2.77	
5	"	2.80	
16	Tali	2.89	
17	Kontula	2.9	
15	Pitäjänmäki	3.05	
6	Vuosaari	3.1	
7	"	3.21	
9	"	3.24	
8	"	3.27	
4	"	3.31	
2	"	3.4	
3	"	3.51	

9.4

Hienoaineskokeet

9.4.1

Hienoaineen mineraalikoostumus

Röntgendiffraktometrillä määritettyjen hienoainenäytteiden mineraalikoostumukset on esitetty taulukossa 28. Näytteiden päämineraalit ovat sarvivälke, plagioklaasi ja kvartsi. Sarvivälkkeen osuus vaihtelee 20 - 80 %:iin. Kalimaasälpää esiintyy vain kolmessa näytteessä (n:ot 6, 8 ja 11). Biotiitin osuus on yleensä pieni, 0 - 15 %:a. Näytteissä n:ot 11 ja 12 esiintyy myös vähän kloriittia.

Taulukko 28. Hienoainesten ($\phi < 0.074$ mm) mineraalikoostumukset prosentteina.

Näyte	Ottopaikka	sv	plg	kv	kms	bt	klor.
2	Vuosaari	40	15	40	-	5	-
3	"	80	20	-	-	-	-
4	"	70	30	-	-	-	-
5	"	55	30	15	-	-	-
6	"	40	10	35	15	<5	-
8	"	20	25	25	15	15	-
9	"	45	25	25	-	5	-
11	"	25	20	35	15	-	5
12	"	45	25	25	-	<5	5
14	Kumpula	70	20	10	-	-	-
15	Pitäjänmäki	25	30	40	-	5	-
16	Tali	40	20	35	-	5	-

Röntgendiffraktometrin piirtämät mineraalikoostumus-käyrät ovat tämän tutkimuksen liitteenä (liite 4).

9.4.2

Huokoisuus ja veden adsorptio

Taulukoissa 29 ja 30 on esitetty kokeissa saadut näytteiden huokoisuus- ja veden adsorptioarvot.

Huonoimmat huokoisuusarvot saivat näytteet n:ot 14, 10, 12 ja 11. Parhaimmat huokoisuusarvot saivat näytteet n:ot 3, 9 ja 6. Vastaavasti huonoimmat veden adsorptioarvot saivat näytteet n:ot 10, 11, 14 ja 9 parhaimmat veden adsorptioarvot näytteet n:ot 4, 5, 6 ja 3.

Tulokset olivat muuten varsin samansuuntaiset lukuunottamatta näytteitä n:ot 4 ja 9. Näyte n:o 4 sai parhaimman veden adsorptioarvon, mutta sijoittui huokoisuustaulukossa keskivaiheille. Näyte n:o 9 puolestaan sai toiseksi parhaan huokoisuusarvon ja neljänneksi huonoimman veden adsorptioarvon. Tämän tutkimuksen näytteiden huokoisuuden ja veden adsorption välinen korrelaatiokerroin on 0,80.

Taulukko 29.
Huokoisuusarvot

Näyte n:o	AHg (m ² /kg)
3	525.91
9	743.18
6	720.86
5	747.43
15	1 100.03
4	1 117.32
8	1 215.26
16	1 487.25
2	1 560.61
11	1 579.45
12	1 591.46
10	1 713.81
14	3 822.68

Taulukko 30.
Vedenadsorptioarvot

Näyte n:o	(g/kg)
4	6.99
5	7.01
6	7.35
3	7.38
15	8.59
16	10.41
2	10.43
8	11.12
12	12.10
9	12.7
14	13.4
11	15.04
10	20.06

9.4.3

Ominaispinta-ala

Tämän tutkimuksen näytteistä n:o 6 ja n:o 12 määritettiin muiden hienoaineskokeiden tulosten perusteella myös ominaispinta-ala. Näytteen n:o 6 ominaispinta-alaksi saatiin $904.51 \text{ m}^2/\text{kg}$ ja näytteen n:o 12 ominaispinta-alaksi $1503.76 \text{ m}^2/\text{kg}$. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin huokoisuus- ja veden adsorptiokokeessa saadut tulokset. Hienoaineksen raekokojakaumaa kuvavat käyrät ovat tutkimuksen liitteinä (liite 3).

9.5

Ohuthietutkimukset

9.5.1

Laboratorionäytteistä

Laboratorionäytteistä määritettyjen päämineraalien prosentuaaliset osuudet on esitetty taulukossa 31.

Näyte n:o 1 hornblendiitti (Vuosaari)

Kivi koostuu lähes yksinomaan amfibolista (n. 99 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy plagioklaasia, opakkia, apatiittia ja epidoottia.

Koostumukseltaan amfiboli on sarvivälkettä. Sarvivälkerakeet ovat voimakkaasti omamuotoisia ja niiden rae-rajat ovat yleensä suoria. Sarvivälkerakeiden koko vaihtelee hienorakeisesta keskirakeiseen (0,01 - 1,0 mm).

Rakenteeltaan kivi on suuntautumaton. Suurempien sarvivälkerakeiden lomassa on pieniä plagioklaasi-, epidootti- ja sarvivälkerakeita. Sarvivälkerakeet ovat muuttumattomia ja niissä esiintyy vain vähäistä mikrorakoilua.



Kuva 17. Omamuotoisia sarvivälkerakeita.

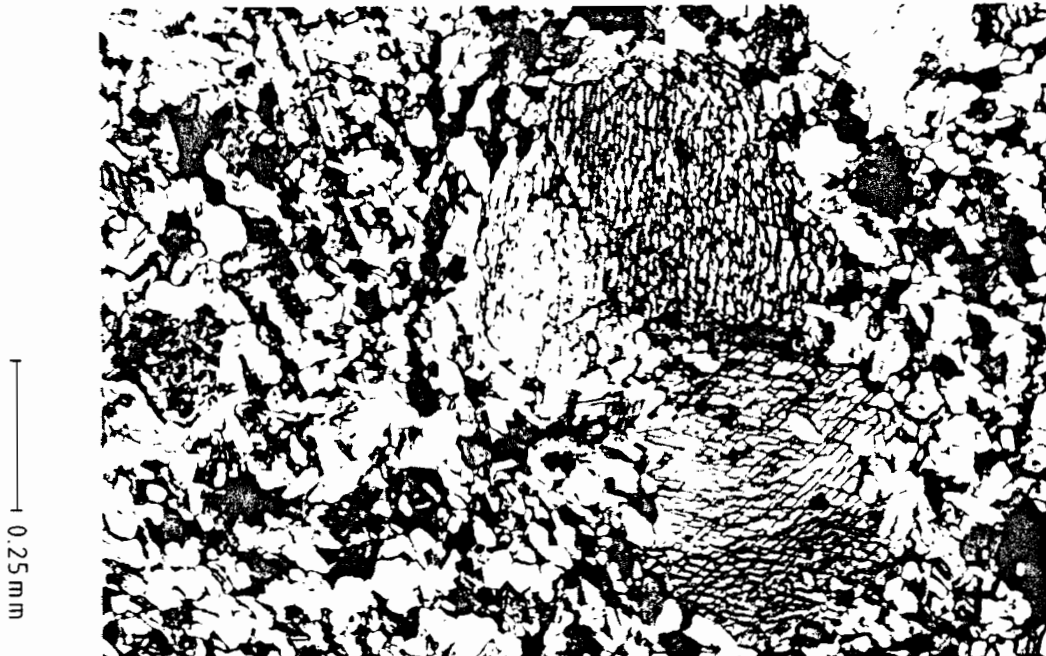
Näyte n:o 2 uraliitti-porfyyriitti (Vuosaari)

Makroskooppisesti kivi on homogeeninen ja yleisväriltään vihertävänmusta. Keskirakeiset (1 - 5 mm) uraliittihajarakeet erottuvat selvästi hienorakeisesta perusmassasta.

Kiven päämineraalit ovat uraliitti (90 %) ja plagioklaasi. Aksessorisina mineraaleina esiintyy epidoottia, kvartssia, apatiittia, zirkonia ja prehniittiä.

Augiittikaksostus ja -kidemuoto on säilynyt suurissa uraliittirakeissa. Rakeet ovat usein poikiloblastisia ja niiden reunat rikkonaisia. Kiven perusmassa muodostuu pääosin pienirakeisista sarvivälke-uraliitti- ja plagioklaasirakeista. Perusmassa on tasarakeista ja suuntautumaton. Plagioklaasirakeet ovat yleensä epä-määräisen muotoisia ja muuttumattomia.

Rakenteeltaan kivi on hypidiomorfinen eli osittain omamuotoinen. Suuremmissa rakeissa on havaittavissa jonkin verran mikrorakoilua. Perusmassan mikrorakojuonissa esiintyy prehniittiä ja epidoottia.



Kuva 18. Augiitti-uraliittihajarakeita.

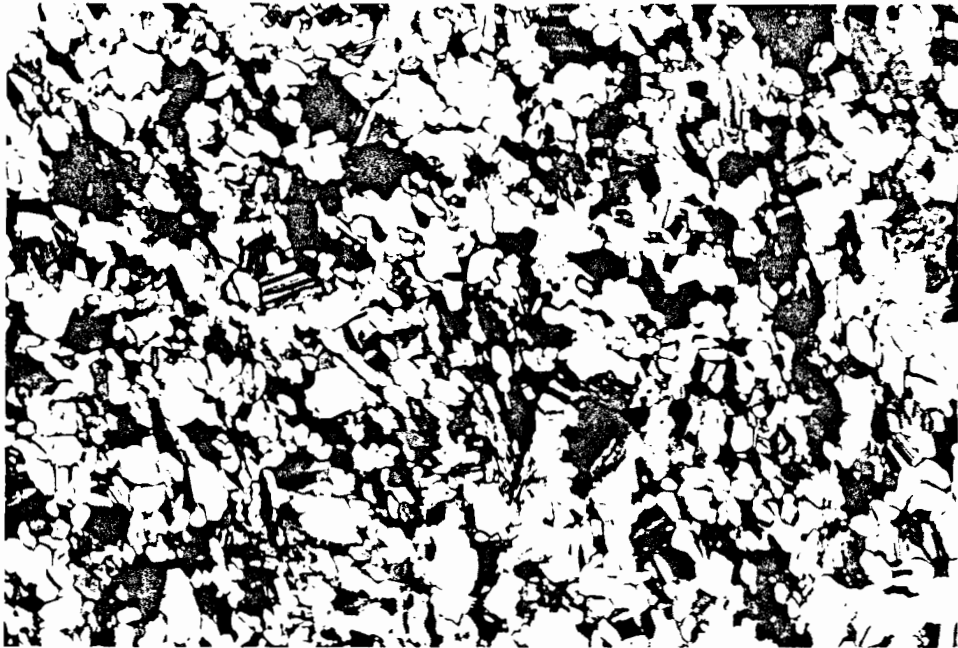
Näyte n:o 3 amfiboliitti (Vuosaari)

Makroskooppisesti tarkasteltuna kivi on heterogeenistä ja yleisväriltään vihertävänmustaa amfiboliittia. Kivessä on myös maasälpäpitoisia juonia, joiden raekoko vaihtelee hienorakeisesta keskirakeiseen.

Kiven päämineraalit ovat amfiboli (63 %) ja plagioklaasi (30 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy opakki, hematiitti, kvartsi, kloriitti, epidootti, sevisiitti ja apatiitti. Opakkimineraalien osuus on noin 5 %. Niiden raekoko vaihtelee 0,01 - 0,4 mm:iin.

Koostumukseltaan amfiboli on uraliittiutunutta sarvivälkettä. Sarvivälkerakeiden rajat ovat yleensä suoria. Rakeiden ulkoreunat ovat toisinaan kloriittiutuneet.

Kivi on rakenteeltaan kumulofyyrinen (sarvivälkerakeet esiintyvät usein ryhminä) ja suuntautunut. Raontäytteenä esiintyy epidoottia. Plagiokaalsi on hieman serisiittiäytynyttä. Mikrorakoilua ei ole havaittavissa.


 0.1 mm

Kuva 19. Suuntautunutta rakennetta.

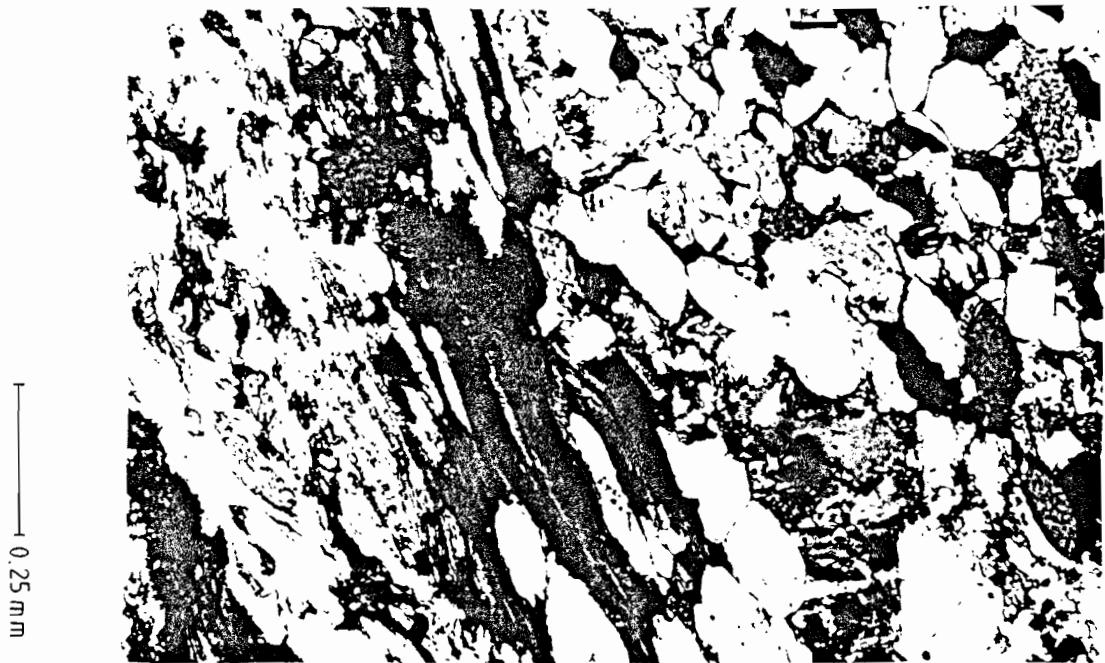
Näyte n:o 4 amfiboliitti (Vuosaari)

Makroskooppisesti kivi on voimakkaasti liuskeista ja siinä erottuu selvästi suuntautuneita sarvivälkeliistakkeita. Raekoko vaihtelee 0,01 - 1,0 mm:iin. Paikoin esiintyy kapeahkoja, muutamia millimetrejä leveitä, täytteisiä rakoja. Alkuperältään kivi on basalttinen.

Kiven päämineraalit ovat sarvivälke (56 %) ja plagioklaasi (22 %). Aksessorisia mineraaleja ovat opakki, kvartsi, biotiitti, muskoviitti, kloriitti ja epidootti.

Rakenteeltaan kivi on granoblastinen ja suuntautunut. Plagioklaasi (An₅₈) esiintyy usein muita suurempina hajarakeina.

Biotiitti, muskoviitti ja kloriitti ovat keskittyneet usein jonoiksi "heikkousvyöhykkeisiin". Liuskeisuusteeltaan kivi on kohtalaisen suuntautunut. Vähäistä mikrorakoilua esiintyy liuskeisuuden suunnassa. Mineraalirakeissa ei näy erityisiä muuttumisilmiöitä vaan kivi on rapautumaton.



Kuva 20. Biotiittikasauma kuvan vasemmassa laidassa.

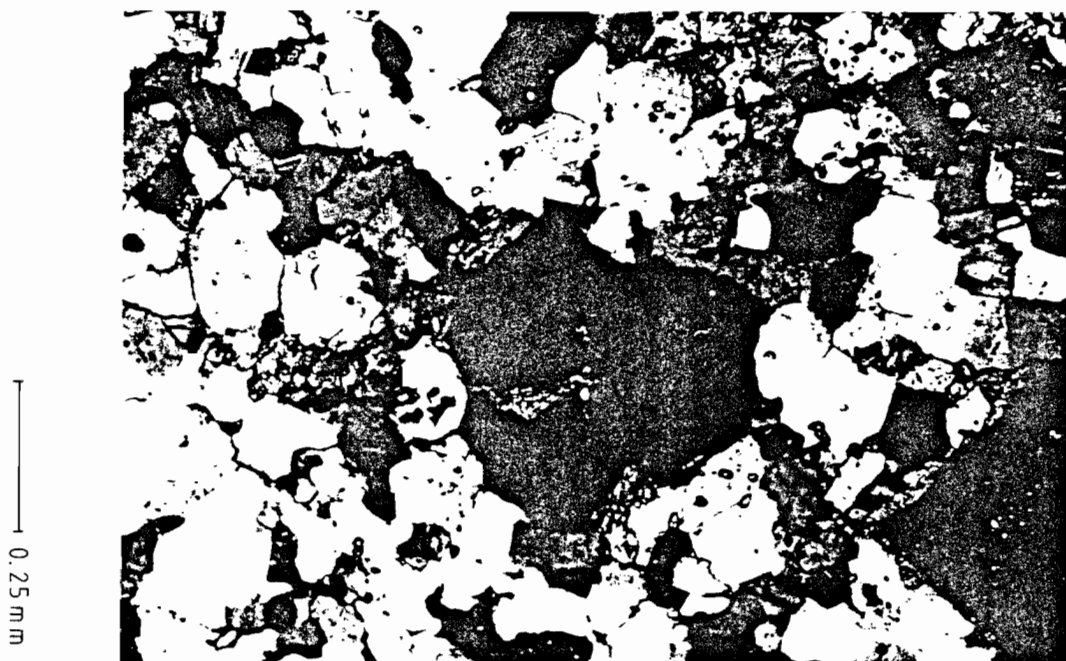
Kohde n:o 5 amfiboliitti (Vuosaari)

Makroskooppisesti kivi on mustaa, homogeenisen näköistä ja hienorakeista amfiboliittia.

Mikroskooppisesti tarkasteltuna kiven päämineraalit ovat plagioklaasi (48 %), kvartsi (23 %) ja sarvivälke (14 %). Myös epidoottia esiintyy varsin runsaasti. Aksessorisia mineraaleja ovat opakki-, prehniitti, hematitti, karbonaatti, saussuriitti, kloriitti ja titaaniitti.

Kvartsi- ja plagioklaasirakeet ovat muodoltaan kaarevia ja lahdelmallisia. Opakit esiintyvät muita suurempina omamuotoisina hajarakeina. Opakkirakeiden laidoilla ja mikrorakeissa on epidoottia. Yleensäkin epidootti ja prehniitti esiintyvät muiden mineraalirakeiden lomassa epämääräisen muotoisina rakeina ja ovat keskittyneet jonoiksi kiven heikkousvyöhykkeisiin.

Rakenteeltaan kivi on porfyroblastinen ja suuntautumaton. Mineraalirakeissa ei esiinny merkittävää mikrorakoilua. Sausuriitti on syntynyt lähinnä metamorfoosisa eikä mineraalirakeissa näy erityisiä muuttumisilmiöitä vaan kivi on rapautumaton.



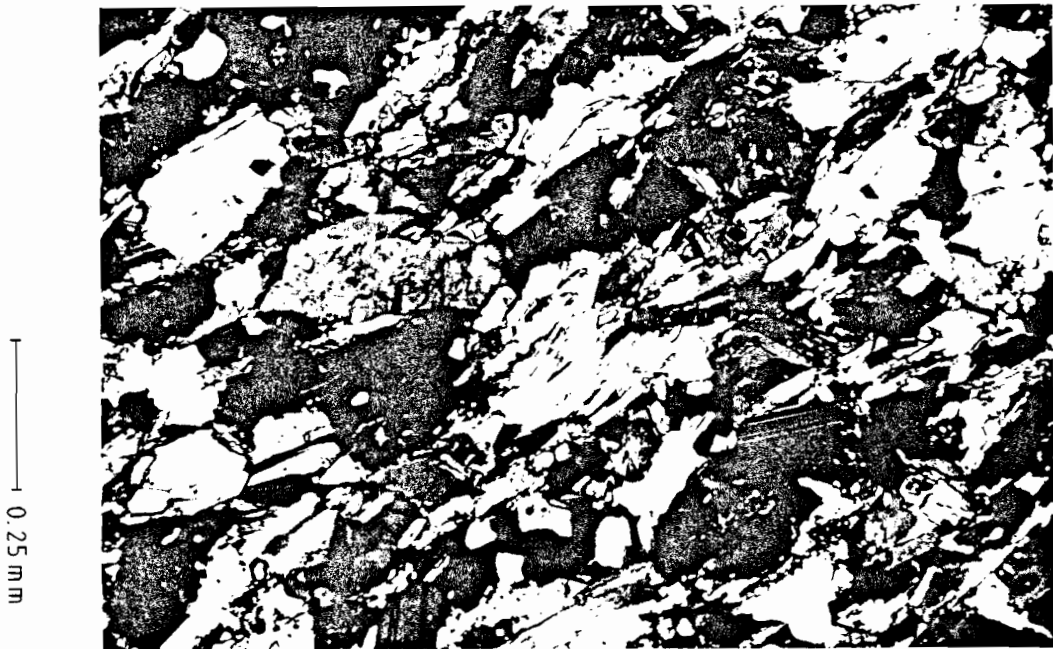
Kuva 21. Opakkihajarae.

Näyte n:o 6 biotiitti-sarvivälkegneissi (Vuosaari)

Makroskooppisesti kivi on hienorakeista ja kohtalaisesti suuntautunutta, yleisväriltään harmahtavan mustaa. Kivessä olevat koostumusvaihtelut näkyvät kiven raitaisuutena. Raekoko ja kiven väri vaihtelevat rakoissa.

Päämineraalit ovat plagioklaasi (39 %), biotiitti (21 %), kvartsi (17 %) ja sarvivälke (18 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy opakkaa, apatiittia, epidootia, karbonaattia ja titaniittia. Plagioklaasi- ja kvartsirakeiden rajapinnat ovat yleensä kaarevia ja lahdelmallisia. Biotiittirakeet ovat pitkänomaisia ja roso-reunaisia. Sarvivälke on osittain omamuotoisia.

Rakenteeltaan kivi on kohtalaisen suuntautunut ja granoblastinen. Raekooltaan mineraalit ovat hienorakeisia (0,01 - 1,0 mm) ja tasarakeisia. Plagioklaasi on hie-
man serisiittiytynyttä.



Kuva 22. Hienorakeisia, pitkänomaisia ja suuntautuneita biotiittirakeita.

Kohde n:o 8 sarvivälkegabro (Vuosaari)

Makroskooppisesti kivi on melko karkearakeista, vihertävän harmaata ja suuntautunutta. Suuret plagioklaasi-hajarakeet erottuvat selvästi keskirakeisesta perusmassasta.

Kiven päämineraalit ovat kvartsi (14 %), plagioklaasi (57 %) ja sarvivälke (21 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy biotiittia, kloriittia, karbonaattia, muskoviittia, opakia, apatiittia, hematiittia, epidootia ja serisiittiä.

Mineraalirakeiden rajapinnat ovat rosoisia ja sormimaisia. Suurempien rakeiden välissä on kiillemineraaleja ja karbonaattia. Sarvivälke- ja biotiittirakeet ovat toisinaan kasautuneet kumulofyyrisesti yhteen. Mikrorakoilua esiintyy jonkin verran sekä liuskeisuuden suuntaisena että sitä vastaan kohtisuorassa. Plagioklaasirakeet ovat serisiittiäyttyneet ja biotiittirakeet kloriittiutunut rajapinnoiltaan.



Kuva 23. Mikrorakoilua sarvivälkerakeissa.

Kohde n:o 11

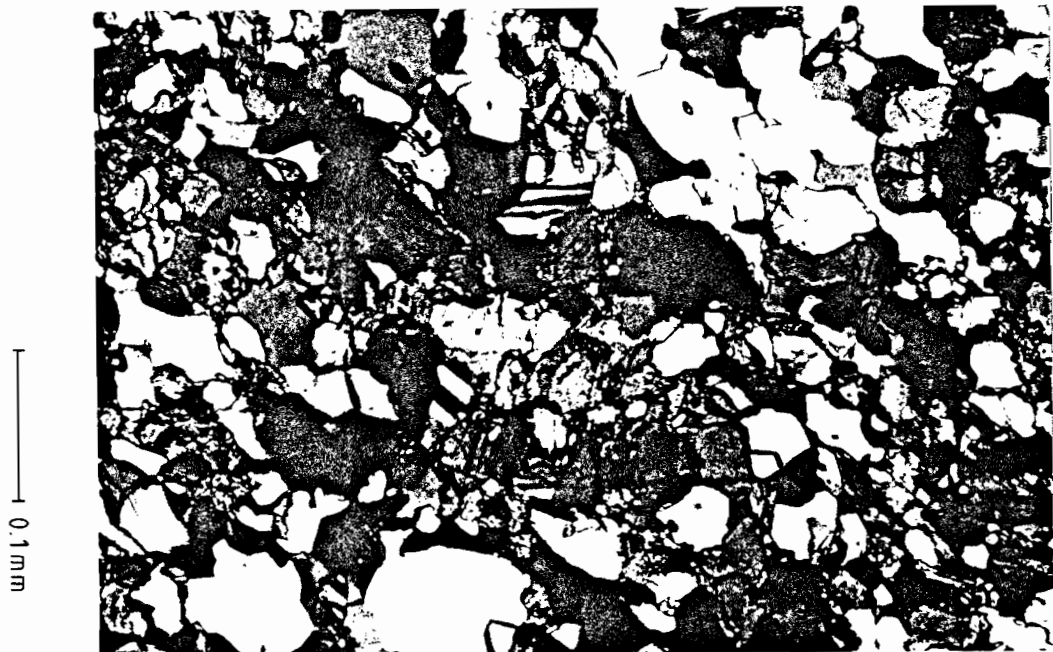
Sarvivälkegneissi (Vuosaari)

Kivi on homogeenista, kohtalaisen suuntautunutta ja yleisväriltään harmahtavaa sarvivälkegneissiä. Raekoko vaihtelee hienorakeisesta keskirakeiseen.

Kiven päämineraalit ovat maasälpä (34 %), sarvivälke (26 %) ja kvartsi (20 %). Aksessorisia mineraaleja ovat karbonaatti, epidootti, prehniitti, titaniitti ja apatiitti. Mineraalirakeiden rajat ovat enimmäkseen kaarevia ja lahdellomallisia.

Mineraalien raekoko vaihtelee pienipiirteisesti ollen kuitenkin varsin tasarakeista. Keskimääräinen raekoko on noin 0,3 mm. Mineraalit ovat raemuodoltaan enimmäkseen vierasmuotoisia.

Kivi on rakenteeltaan granoblastinen ja heikosti suuntautunut. Suurempien rakeiden lomassa esiintyy joskus erittäin hienorakeista kvartsi-maasälpämassaa. Pääosin mineraalit ovat rapautumattomia eikä niissä ole mikrorakoja.



Kuva 24. Kiven granoblastista rakennetta.

Kohde n:o 12 sarvivälkegabro (Vuosaari)

Kivi on makroskooppisesti melko karkearakeista ja suuntautunutta. Vaaleat plagioklaasihajarakeet erottuvat selvästi tummanvihreästä perusmassasta. Siellä täällä kivessä on tummien mineraalien kasaumia.

Kiven päämineraalit ovat maasälpä (40 %), sarvivälke (27 %), biotiitti (10 %) ja kvartsi (20 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy kloriittia, karbonaattia, muskoviittia, opakia, apatiittia, epidootia, titaaniittia ja serisiittiä.

Mineraalien rajapinnat ovat rosoisia. Titaniitit ovat säilyneet verraten omamuotoisina rakeina, muut mineraalit ovat enemmän tai vähemmän vierasmuotoisia. Suurempien rakeiden välissä on hienorakeista epidootia ja kvartsi-maasälpämassaa. Biotiitit ovat toisinaan kasautunut kumulofyyrisesti yhteen.

Mikrorakoilua esiintyy jonkin verran sekä liuskeisuuden suuntaisena että sitä vastaan kohtisuorassa. Biotiitti- ja sarvivälkerakeet ovat kloriittiutuneet ja maasälvät ovat serisiittiyttyneet (ks. kuva 25).



Kuva 25. Serisiittiytynyt plagioklaasirae kuvan vasemmalla reunassa.

Näyte n:o 15 sarvivälkegneissi (Pitäjänmäki)

Kivi on makroskooppisesti homogeenista, keskirakeista (0,15 - 3,5 mm), suuntautunutta ja yleisväriltään vihertävänmustaa amfiboliittia.

Kiven päämineraalit ovat plagioklaasi (43 %), kvartsi (20 %), biotiitti (14 %) ja sarvivälke (16 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy kalimaasälpää, zirkonnia, serisiittiä, apatiittia ja opakia.

Plagioklaasi ja kvartsi muodostavat kiven valtaosan. Plagioklaasi on koostumukseltaan oligoklaasia (An_{10-15}) ja se on heikosti serisiittiytynyt.

Kiven rakenne on osittain omamuotoinen. Suurten maasälpä ja kvartsirakeiden rajat ovat yleensä suoria tai lahdellomallisia. Eri mineraalien rajapinnoilla ei ole näkyvissä kontaktisaumoja.



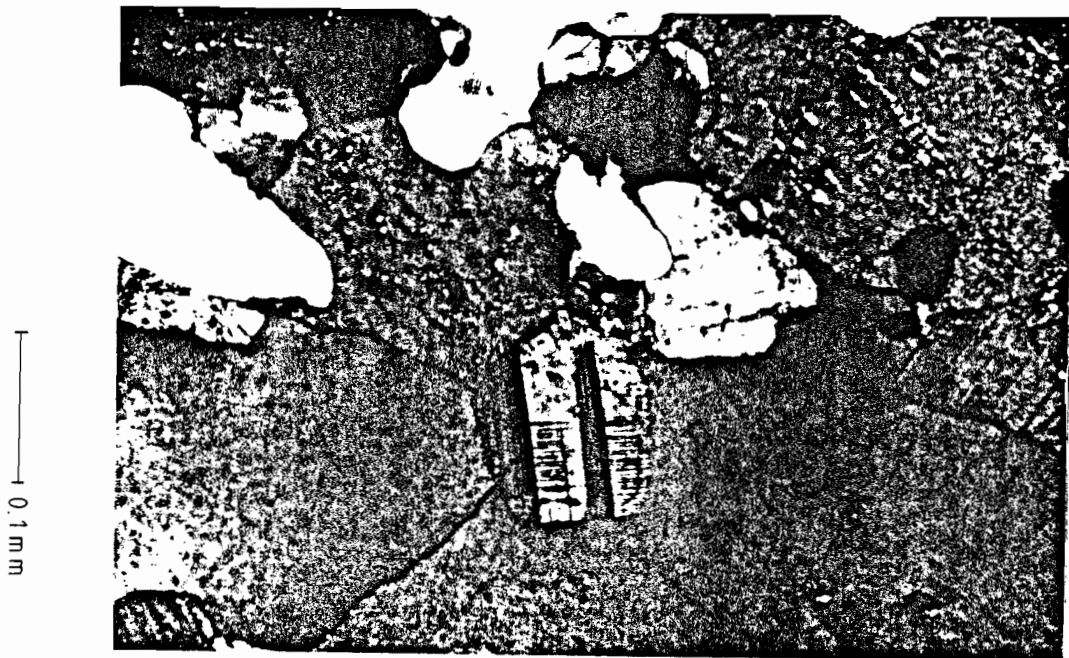
Kuva 26. Kvartsi-, plagioklaasi ja sarvivälkerakeita.

Kohde n:o 16 kiillegneissi (Tali)

Kivi on makroskooppisesti heterogeenistä, keskirakeista ja suuntautunutta.

Kiven päämineraalit ovat kvartsi (30 %), maasälpä (54 %) ja biotiitti (14 %). Aksessorisina mineraaleina esiintyy serisiittiä, opakia, muskoviittia, kloriittia ja apatiittia.

Kvartsi- ja maasälpärakeet ovat pääosin keskirakeisia (1,15 - 3,5 mm) ja niiden kontaktit ovat kaarevia tai hieman sahalaitaisia. Biotiittirakeet ovat usein pitkänomaisia ja niissä esiintyy hieman liuskeisuuden suuntaista mikrorakoilua. Maasälpärakeet ovat heikosti serisiittiytyneet. Eri mineraalien rajapinnoilla ei ole näkyvissä kontaktisaumoja. Rakenteeltaan kivi on suuntautunut ja granoblastinen.



Kuva 27. Serisiittiä maasälpärakeiden pinnalla.

Taulukko 31. Ohuthieistä määritettyjen päämineraalien prosentuaaliset osuudet.

Näyte	amf.	ms.	kv.	bt.	karb.	epid.	opakki	aks.
1	99							1
2	90	8						2
3	63	30					5	2
4	56	22	6	6			8	2
5	19	48	23					10
6	18	38	17	21		2		4
8	21	57	14				6	2
11	26	34	20		3	4		13
12	17	40	20	10		4		9
15	16	43	20	14				7
16		54	30	14				2

amf. = amfiboli
 ms = maasälvät
 kv. = kvartsi
 bt = biotiitti
 karb. = karbonaatti
 epid. = epidootti
 aks. = aksessoriset mineraalit

9.5.2

Vuosaaren kivilajeista

Amfiboliitit (emäksiset ja intermediääriset metavulkaniitit ja amfiboliitit)

Suurimman osan Vuosaaren amfiboliiteista muodostavat emäksiset ja intermediääriset metavulkaniitit. Näiden amfiboliittien päämineraalit ovat sarvivälke ja plagioklaasi. Sarvivälkkeen osuus vaihtelee 25 prosentista 75 prosenttiin. Kvartsi ja biotiitti esiintyvät usein aksessorisina mineraaleina, toisinaan niiden osuus nousee jopa 10 - 15 prosenttiin.

Amfiboliitit ovat yleensä sitkeitä ja niillä on todettu olevan korkeat kimmomodulit, korkeat puristus- ja vetomurtolujuudet sekä selvästi alhaisemmat haurausarvot. Mineraalikoostumus, etenkin runsas sarvivälkkeen osuus kuitenkin alentaa puristusmurtolujuutta ja nostaa vetomurtolujuutta (Salmelainen 1983). Mineraalikoostumukset vaihtelevat paikallisesti varsin pienellä alueellakin. Esim. ohuthieet n:ot 4 ja 44 on otettu amfiboliittivyöhykkeeltä samasta kalliopaljastumasta noin 200 metrin etäisyydeltä toisistaan; toisessa hienäytteessä sarvivälkkeen osuus on noin 90 % ja toisessa noin 25 %.

Muut yleisimmät aksessoriset mineraalit ovat: opakki, apatiitti, zirkoni, epidootti, hematiitti ja kloriitti. Zirkoni on usein sulkeumina biotiitissa. Lisäksi esiintyy titaniittia, saussuriittia, karbonaattia, serisiittia, muskoviittia ja prehniittia. Prehniitti on tyyppillinen aluemetamorfoosissa syntyvä mineraali, joka sisältää mm. alumiinia, kalsiumia ja piitä. Prehniitti indikoi kallioperän heikkoutta. Se esiintyy rautäytemineraalina kolmessa ohuthienäytteessä (n:ot 4, 44 ja 110), joiden ottopaikat ovat varsin lähellä toisiaan.

Amfiboliitit ovat metamorfoituneet amfiboliittifasieksen oloissa ja niissä ilmenee usein sekä taso- että viivasuuntaus. Myös kvartsin aaltosammuminen on osoitus tapahtuneesta metamorfoosista. Osa ohuthiestä on suuntautumattomia tai vain heikosti suuntautuneita. Rakenteeltaan ne ovat tasarakeisia, granoblastisia tai porfyroblastisia. Mineraalien raekoko vaihtelee hienorakeista keskirakeiseen. Osa sarvivälkerakeista on poikiloblastisia ts. ne sisältävät muita mineraalirakeita kuten kvartsia ja plagioklaasia. Biotiitti esiintyy hajarakeina, joskus harvemmin kumulofyyrisenä. Kiilteet ja kloriitti keskittyvät heikkousvyöhykkeisiin. Kvartsissa ja maasälvissä esiintyy

toisinaan myrmeikiitti, pertiitti- ja antipertiittirakenteita. Osassa ohuthienäytteitä esiintyy mikrorakoi-
lua, joka on yleensä liuskeisuuden suuntaista. Tutki-
tut ohuthiet ovat enimmäkseen rapautumattomia tai vain
vähän rapautuneita. Amfiboliittien prosentuaaliset
koostumukset on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32. Amfiboliittien koostumuksia (Vuosaari).

hie n:o	sv	ms (plg)	bt	kv	aks
1a	36,6	43,8	3,4	9,4	4,8
1c	34	42,4	9,2	9,4	5,0
6	55,6	22,4	14,2	-	8,0
10	47,8	35,4	-	7,0	9,8
3	56	22	6	6	10
2	62,8	30,2	-	-	7
3	75,6	15,0	-	-	9,4
4	25,6	25	-	9,6	-
5	56,2	22,8	12,8	3,0	5,2
12	40,4	52,2	-	3,0	4,0

Happamat metavulkaniitit ja kvartsi-maasälpägneissit

Vuosaaren kvartsi-maasälpägneissit liittyvät läheises-
ti metavulkaniitteihin, joten ne lienevät ainakin
osittain vulkaanisperäisiä. Taulukossa 33 on esitetty
eräiden tutkittujen näytteiden mineraalikoostumuksia.

Taulukko 33. Vuosaaren happamien metavulkaniittien ja kvartsi-maasälpagneissien koostumuksia.

hie n:o	bt	plg	kv.	kms	sv	aks.
2a	20	27,6	49,4	-	-	3
13	23,5	24	41,5	9,0	-	2
27	12,4	53,0	31,6	-	-	3
72	15,2	27,2	28,2	-	8,2	21,2
8	34,2	41,8	19,6	-	-	4,4
83	17,4	54+kms	12,4	6	-	10,2
94	14,0	56,0	28,0	-	-	2
5	25	49	15	9	-	
48	7	21	39	4	11	

Plagioklaasi muodostaa suurimman osan maasälvistä. Sen koostumus vaihtelee albiittisesta anortiittirikkaaseen. Esim. Vartiokylänlahdella plagiolaasi on albiittia kun taas Kalvikissa JOS-82-48) on plagioklaasin koostumus An_{47} .

Biotiitti esiintyy toisinaan kumulofyyrisenä, toisinaan lepidoblastisena. Kvartsimaasälpagneissien aksessorisia mineraaleja ovat: apatiitti, opakki, kloriitti, zirkoni, epidootti, hematiitti, serisiitti, turmaliini, muskoviitti, karbonaatti, sarvivälke, granaatti ja prehniitti. Plagioklaasin pinnalla on rapautumistuotteena serisiittiä.

Raekoko vaihtelee hienorakeista keskirakeiseen osittain metamorfoosiasteesta riippuen. Vallitseva raekoko on kuitenkin $\leq 0,1$ mm. Kvartsi-maasälpägneissit ovat yleensä hyvin tasarakeisia. Tekstuuriltaan ne ovat granoblastisia. Hajarakeina esiintyy toisinaan granaatteja, kalimaasälpä, plagioklaasia ja sarvivälkettä. Kerroksellisuutta on havaittu esim. ohuthieissä MLa-63-25 ja JOS-82-48, joissa biotiittirikkaat kerrokset vaihtelevat kvartsi-plagioklaasikerrosten kanssa.

Milloin näytteessä on esiintynyt runsaasti sarvivälkettä tai biotiittia, ko. kivilajeista on tässä tutkimuksessa käytetty nimiä sarvivälkegneissi ja biotiittigneissi. Mikrorakoilua esiintyy kvartsi-maasälpägneissinäytteissä enemmän kuin amfiboliittinäytteissä. Yleensä mikrorakoilu on joko liuskeisuuden suunnassa tai sitä vastaan kohtisuorassa.

Tuffiitit ovat hyvin tiiviitä ja hienorakeisia. Mikrokooppiselta rakenteeltaan ne ovat granoblastisia ja kerroksellisia. Tuffiittinäytteissä esiintyy runsaasti karbonaattia. Kivirakeissa ei ole havaittu mikrorakoilua.

Gabrot ja dioriitit

Gabrot ovat pääasiassa metamorfoosin kautta syntyneitä sarvivälkegabroja. Niissä sarvivälke on uraliittiutunut ja plagioklaasin koostumus on muuttunut albiittiin suuntaan. Sarvivälkkeen ja plagioklaasin (An < 50) lisäksi eräissä näytteissä esiintyy runsaasti biotiittia, jolloin kiven koostumus on lähinnä dioriittinen. Yleisimmät aksessoriset mineraalit ovat kvartsi ja epidootti.

Muina aksessorisina mineraaleina esiintyy opakia, apatiittia, hematiittia, zirkonia, karbonaattia, kloriittia, titaniittia, serisiittiä ja prehniittiä. Kivilajinäytteet ovat keskirakeisia, joskus paikallisesti karkearakeisia ja kohtalaisen suuntautuneita. Rakenteellisesti gabrot ovat lähinnä metagabroja. Ohut-hienäytteet ovat rapautumattomia tai vain vähän rapautuneita eikä merkkejä mikrorakoilusta ole havaittu.

10.

TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU

Koetulosten rinnakkaista tarkastelua rajoittaa se, että kaikista näytteistä ei ole tehty kaikkia koesarjoja, johtuen tiettyjen kokeiden hankaluudesta (esim. Tröger-kulutuskoe: näytteiden kairaus, valmistaminen ja kokeen suoritus) ja tutkimuksen budjetista.

Eri tutkimusmenetelmillä saatujen tulosten välisiä korrelaatioita on esitetty liitteessä (2 kpl). Parhaimmat tämän tutkimuksen menetelmien korrelaatiot saivat yhdistelmät:

- 1) Los Angeles-koe ja Tröger-kulutuskoe ($r = 0,97$)
- 2) kiintotiheys ja Tröger-kulutuskoe ($r = 0,81$)
- 3) Los Angeles-koe ja parannettu haurausarvokoe ($r = 0,70$).

Seitsemälle näytteelle (n:ot 2, 3, 4, 6, 8, 11, 12) suoritettiin kahdeksan koesarjaa. Muuttujien väliset korrelaatiot on esitetty liitteen 2 korrelaatiomatriisissa. Parhaimmat korrelaatiot saivat yhdistelmät:

- 1) Los Angeles-koe ja Tröger-kulutuskoe ($r = 0,97$)
- 2) Tröger-kulutuskoe ja kiintotiheys ($r = 0,84$)
- 3) Los Angeles-koe ja kiintotiheys ($r = 0,83$)
- 4) Huokoisuus ja veden adsorptio ($r = 0,80$)
- 5) Kiintotiheys ja veden adsorptio ($r = -0,78$).

Yhdistelmän hioutuvuusluku $x \sqrt{\text{parannettu haurausarvo}}$ on todettu korreloivan päällysteen kulumisen kanssa erityisesti olosuhteissa, joissa päällysteeseen kohdistuu runsaasti nastojen raapivaa hiontaa ajoneuvojen kiihdytyksissä, jarrutuksissa ja kaarreaajossa eli tyyppillisessä kaupunkiajossa (Frostman et al. 1978, Grönstrand 1981). Tämän yhdistelmän mukaisesti parhaiten kaupunkiajon kulutusta kestäisi näytteen n:o 6 kiviaines. Loput kuusi näyte-erää (n:ot 2, 3, 4, 8, 11 ja 12) kestäisivät vastaavaa kulutusta kutakuinkin yhtä hyvin (liite 2). Yhdistelmän parannettu haurausarvo $x \sqrt{\text{hioutuvuusluku}}$ on todettu korreloivan päällysteen kulumisen kanssa olosuhteissa, joissa ajoneuvot käyttävät suuria tasaisia ajonopeuksia (Frostman et al. 1978, Grönstrand 1981). Tämän yhdistelmän mukaisesti suurten tasaisten ajonopeuksien olosuhteissa kulutusta kestäisivät parhaiten näytteen n:ot 6 ja 8. Loput viisi näytettä (n:ot 2, 3, 4, 11 ja 12) saivat keskenään samansuuruiset vertailuarvot (liite 2).

Laboratorionäytteistä, joista tehtiin sekä Los Angeles-koe, parannettu haurausarvo- ja Tröger-kulutuskoe, parhaiten kulutusta kestäivät näytteet n:ot 6, 7, 8 ja 11. pelkkien Los Angeles- ja parannetun haurausarvokokeen tulosten perusteella kulutusta kestäivät hyvin myös näytteet n:ot 5, 12, 13 ja 15. Näiden näytteiden kiviainekset, lukuunottamatta näytettä n:o 8, kestäivät hyvin sekä iskevää kulutusta että raapivaa hiontaa. Näyte n:o 8 ei pehmeydestään ja suuresta raekoostaan johtuen kestänyt raapivaa hiontaa. Parhaiten raapivaa hiontaa kestäivät näytteet n:ot 6 ja 4. Muut viisi näytettä (n:ot 1, 2, 3, 11 ja 12), joista hioutuvuuskoetehtiin kestäivät raapivaa hiontaa kutakuinkin yhtä hyvin. Huonoimmat iskunkestävyysarvot saivat näytteet n:ot 17, 14, 10, 3 ja 4.

Vaikka varsinaisia valontaittokykkykokeita ei kiviaineksenäytteille suoritettukaan, voidaan näytteiden tummasta väristä päätellä, ettei se ole kovinkaan hyvä. Monien näytteiden suuri sarvivälkepitoisuus voi aiheuttaa tarttumisongelmia ja siten myös nopeuttaa päällysteen kulumista.

Hienoaineskokeiden tarkoituksena oli selvittää päällysteestä ensimmäisenä irtoavan kiviaineksen ominaisuuksia. Mitä suurempi vedenadsorptiokyky hienoaineksella on ja mitä huokoisempaa se on, sitä vähemmän vastaavan kiviaineksen voidaan olettaa kestävän rasi-tusta. Näytteestä irtoavan hienoaineksen mineraalikoostumus vastaa kiviaineytteen mineraalikoostumusta siten, että ensin irtoavat helpoimmin rapautuvat mineraalit. Kiviaineksen käyttöön liittyvissä tutkimuksissa (Tolla 1986) on havaittu tiessä olevissa variokoh-teissa sitoutuneen veden määrän olevan >15 g/kg. Tämän tutkimuksen näytteistä vain kahden näytteen (n:ot 10 ja 11) veden adsorptiolukemat ylittävät tämän arvon. Kulutuskestävyyden kannalta parhaimmat veden adsorptio- ja huokoisuusarvot saivat näytteet n:ot 3, 5 ja 6. Hienoaineskokeiden perusteella huonoiten kulutusta kestivät näytteet n:ot 14, 10, 11 ja 12.

Ohuthiestä määritetyn mineraalikoostumuksen, rapautuneisuuden, mikrorakoilun, raekoon ja kutouksen perusteella parhaiten kulutusta kestäisivät näytteet n:ot 5 ja 6, kohtalaisesti näytteet n:ot 1, 2, 11, 15 ja 16 sekä huonoiten näytteet n:ot 3, 4, 8 ja 12. Kun verrataan laboratoriokokeiden antamia tuloksia näytteiden mikroskooppiseen rakenteeseen ja mineralogiaan, voidaan todeta tulosten olevan samansuuntaisia. Erityisen hyvin kiven mikroskooppinen rakenne ja mineralogia korreloivat Tröger-kulutuskokeen tulosten kanssa.

11.

TULOKSIEN VIRHETEKIJÄT

Laboratoriokokeiden tuloksiin ja virheisiin vaikuttavat käytetyt menetelmät, näytteet ja kokeiden suoritustapa.

Kivinäytteiden laboratoriokokeet yhtä kohdetta (n:o 2) lukuunottamatta tehtiin vain yksistä edustavista näyte-eristä ja kivistä kappaleista, joten tuloksissa voi olla pienestä otosmäärästä aiheutuvaa virhettä. Luotettavampien tulosten saamiseksi kustakin kohteesta tulisi ottaa useampia näyte-eriä ja suorittaa niille useita rinnakkaisia koesarjoja.

Myös näytteiden ottotapa on vaikuttanut tuloksiin (ks. luku 6.2). Näytteenottotavasta johtuen saatujen laboratoriokokeiden tulokset ovat luultavasti hieman todellisuutta huonompia.

Eräillä kokeilla on haittapuolena riippuvuus murskausmekanismin tuottamista raeominaisuuksista. Esimerkiksi hioutuvuuskokeessa on kiviaineksen raemuodolla suuri merkitys näytteen kulumiseen. Myös haurausarvokokeen haittapuolena on tietty riippuvuus näytekiviaineksen raemuodosta sekä raepintojen sileydestä, minkä vuoksi jo rinnakkaiskokeiden tuloshajonta voi olla suuri.

Tämän tutkimuksen haurausarvokokeen tuloksiin on vaikuttanut myös se, ettei kokeissa käytetty laite vastaa standardimittoja. Tämän virheen korjaamiseksi on jouduttu käyttämään näytemäärää, joka vastaa ko. haurausarvolaitetta. Näytemäärä on näin ollen laskettu kaavasta:

$$\text{näytemäärä} = \frac{211,3 \text{ g} \cdot \text{---} \text{ k}}{2650}$$

k=kiintotiheys

On kuitenkin vaikeaa sanoa miten paljon näytemäärän muuttaminen vaikuttaa kokeessa tapahtuvaan murskautumismekanismiin, joten saatuja haurausarvotuloksia voidaan pitää vain suuntaa-antavina.

Tröger-kokeessa on tärkeää, että näyte on kairattu kohtisuoraan liuskeisuutta vastaan, koska tällöin kivi kuluu eniten. Murskausvaiheessa kiviaines lohkeilee suuntauksensa mukaisesti rakeiksi, jotka myöhemmin asettuvat asfalttimassassa tien pinnalle ainakin osittain raemuotonsa mukaan pitkittäin. Kivinäytteessä oleva mikrosuuntaus tai -kerroksellisuus saattaa kuitenkin vaikuttaa piilevästi saatuun Tröger-arvoon.

12.

YHTEENVETO

Suurin osa tutkimuksen näytteenottokohteista sijaitsi Vuosaaren alueella. Lisäksi näytteitä otettiin Kumpulasta, Pitäjänmäeltä, Talista ja Kontulasta. Tutkimus keskittyi pääasiassa kivilajien asfalttikiviominaisuuksien testaamiseen sekä vanhoilla, laajalti käytössä olevilla laboratorimenetelmillä mm. Los Angeles-kokeella että uudemmilla menetelmillä kuten hienoaineskokeilla.

Eri koemenetelmillä saadut tulokset eivät aina korreloineet keskenään, koska eri menetelmät mittaavat kivistä eri ominaisuuksia. Tilastomatematisesti eri menetelmillä saaduista tuloksista parhaiten keskenään korreloivat Los Angeles- ja Tröger-kokeen sekä Los Angeles-kokeen ja parannetun haurausarvokokeen tulokset.

Kaikilla menetelmillä saatuja tuloksia tarkasteltaessa parhaiten nastarengaskulutusta kestivät näytteet n:ot 5, 6 ja 15. Heikoiten vastaavaa kulutusta kestivät näytteet n:ot 14 ja 17.

Tutkittujen kivinäytteiden ominaisuudet vaihtelivat melko suuresti samassakin kivilajissa. Kiven rakenne, karkearakeisuus, mineraalien muuttuminen, suuret hajarakeet, kiillekasaumat ja -jonot sekä suurikiteisen sarvivälikkeen esiintyminen ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat kivinäytteiden kulutuskestävyyteen. Edellä mainituista tekijöistä on kuitenkin vaikeaa sanoa mikä tekijä kulloinkin vaikuttaa eniten kiven kulumiseen. Suurin merkitys lieneekin näiden tekijöiden yhteisvaikutuksella.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ Alkio, R. ja Eerola, M. (1984b) Kiviaineksen muodon vaikutus päällysteen ominaisuuksiin. VTT:n Tie- ja liikennelaboratorio, tutkimusselostus 449.
- /2/ Autorekisterikeskus 1987 (ei julkaistu)
- /3/ Dorum, S. & Kristansen, K (1981) Sitasje av dekke-og masseprøver: Trøgerapparatet. Veglaboratoriet. Intern rapport n:o 990. Gruppe c. Oslo.
- /4/ Frostman, P., Kettunen, U-P., Larsson, R. ja Turpeinen, H. (1978) Slitageundersökningar Asfaltbetong. Samarbetet Neste-Nynäs.
- /5/ Gaal, G. (1986) 2200 million years of Crustal evolution, Bulletin 58, Osa I, 1986.
- /6/ " & Gorbatschew, R. (1987) Precambrian Research Vol. 35 (1987)1-382).
- /7/ Geologian tutkimuskeskuksen aeromegneettinen kartta 2034-09, 1:400 00.
- /8/ Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäkarttalehti n:o 2034, 1:100 000
- /9/ Grönstrand, M. (1981) Stenmaterials slitage under dubbpåfrestning och vattens inverkan därpå. Licensiatarbete. Tekniska Högskolan, avdelning för teknisk fysik. Otnäs.
- /10/ Heino, R. & Hellsten, E. (1980) Tilastoja Suomen ilmastosta 1961 - 1980, liite Suomen Meteorologiseen vuosikirjaan, nide 80, osa 1a-1980, julk. Ilmatieteen laitos, Helsinki 1983.
- /11/ Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto (1986) Kertomus vuoden 1986 toiminnasta.

- /12/ Hode-Keyser, J. (1970) Effect of studded tires of the durability of road surfacing, Highway Research Board, MRR 331, Washington D.C. 1970.
- /13/ Hode-Keyser, J. (1972) Summary of session 2 papers. International Research Symposium on pavement wear Oslo 1972. Veglaboratoriet, Meddelelse n:o 45.
- /14/ Huhtala, M. (1967) Nastarenkaiden vaikutus eräisiin asfalttipäällysteisiin. VTT. Tiedotus. Sarja III. Rakennus 117.
- /15/ Härme, M. (1978) Suomen geologinen kartta 1:100 000. Kallioperäkartan selitykset. English summary: Precambrian rocks of the Kerava and Riihimäki mapsheet areas. GTL. Espoo 1978.
- /16/ " (1980) Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000. Lehti C1-D1 Helsinki. Kallioperäkartan selitys. English summary: Precambrian rocks of the area of the general geological Helsinki mapsheet. GTL. Espoo 1980.
- /17/ Höbeda, P. (1977) Stenmaterialfaktorers inflytande på det slitige dubbade däck åsamkar asfaltbeläggningar. Statens väg- och Trafiksinstitut (VTI), Meddelande 38.
- /18/ " och Chytla, J. (1985) Undersökningar av slipvärdemetoden. Väg- och Trafikinstitut (VTI), Meddelande 454. Lindköping.
- /19/ " , Chytla, J. och Viman, L. (1985) Ringanalys slipvärde. Väg- och Trafikinstitut (VTI), Meddelande 472. Lindköping.
- /20/ Kallionpää, T. (1978) Asfalttipäällysteiden laadun arvostelu. Diplomityö. HTKK.

- /21/ Kaupunkimittausosaston kallioperäkartat K4-5 ja M4-5, 1:10 000
- /22/ Kauranne, K., Gardemeister, R., Korpela, K. ja Mälkki, E.
(1972) Rakennusgeologia II, 304. 2. painos. Otakustantamo.
- /23/ Kettunen, U-P. (1986) Asfalttibetonin ja öljysoran laboratorio-
suhteitus. Öljytuoteneuvonta ötn.
- /24/ Kezdi, A., Handbook of soil mechanics. Volumel. Soil physics.
New York 1974.
- /25/ Konttinen, L. (1953) Etelä-Suomen peruskallion emäksiset vulka-
niitit. Pro gradu, Helsingin yliopisto. Geologian laitos. 47 s.
- /26/ Korhonen, R. (1985) Kestopäällysteiden muuntautumismallit vuo-
den 1982 aineistosta. TVH. Talousosaston tutkimustoimisto. TVH
713102. Sarja A:4/1985.
- /27/ Laitakari, I. & Matisto, A. (1974) Kallioperäkartoitus, GTK
1974.
- /28/ Laiti, I. & Saraste, A. (1959) Selostus Helsingin keskusta-alu-
een geologisesta rakenteesta. Helsingin kaupungin esikaupunki-
liikenteen suunnittelukomitean mietintö B, 1959, I, ss. 22-26.
- /29/ Laitinen, L., Rätty, J. ja Huhtala, M. (1984) Asfalttipäällys-
teiden kulumistutkimus 1982. VTT:n tie- ja liikennelaboratorio,
tutkimusselostus 411.
- /30/ Lappalainen, K. (1986) Asfalttipäällysteiden kulumiseen vaikut-
tavista kiviainestekijöistä. Pro gradu-tutkielma. Helsingin
yliopisto.
- /31/ " (1987 a) Päällysteiden kulumiskestävyyteen vai-
kuttavista kiviainestekijöistä. Tie- ja liikenne, Suomen Tieyh-
distyksen julkaisu 1-2/1987.

- /32/ " (1987 b) Tiepäällystekiviaineksien
kulutuskestä- vyydestä ja testaamiseen soveltuvista
koemenetelmistä. Tie- ja Vesirakennushallitus 743952.

- /33/ Lehtipuu, E. (1983) Asfalttipäällysteet. Rakennuskustannus Oy
1983.

- /34/ Maijala, P., Niini, H. ja Riekkola, R. (1976) Kallio rakennus-
kohteena. Suomen rakennusinsinöörien liitto (RIL) 98.

- /35/ Neste Oy (1985) A-Bitumi.

- /36/ Niemi, A. (1983) Päällysteiden vauriot ja niiden syyt, Asfaltti
n:o 33. 1983.

- /37/ Niemi, A. (1985) Päällysteiden kulumiseen vaikuttavat tekijät.
VTT/tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 486. Espoo.

- /38/ Nieminen, P. (1985 a) Kivimurskeen uusi luokitusjärjestelmä.
Tie- ja liikenne 1985, luentopäivät. Suomen tieyhdistys.

- /39/ " (1985 b) Moreenin hienoaineksen laatu ja sen
vaiku- tus routimisherkkyyteen. Väitöskirja. TTKK. Tampere 1985.

- /40/ " (1986) Päällystekiviaineksen käyttökelpoisuuteen
vaikuttavista tekijöistä. TTKK. Rakennusgeologian laboratorio
1986.

- /41/ " , Peltonen, P. & Tolla, P. (1986) Kiviainestutkimus
1986. Loppuraportti. TTKK. Rakennusgeologian laboratorio 1986.

- /42/ " & Pylkkänen, K. (1987) Päällystekiviainestutkimus
osa 1, hienoaineksen laatu. TTKK. Tampere 1987.

- /43/ Peltonen, P. (1987) Kalliomurskepaikkojen inventointi, TTKK:n
täydennyskurssit: Kiviaineksen laatuun ja käyttöön vaikuttavat
tekijät 17.-18.2.1987 (ei julk.).

- /44/ Päällystealan neuvottelukunta r.y. (PANK). Asfalttinormit 1987, RIL 170-1987.
- /45/ Rakennuslehti Plussa, huhtikuu 1987 n:o 18.
- /46/ Salmelainen, J. (1983) Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta. Helsingin kaupungin geoteknisen osaston tiedote n:o 34.
- /47/ Schumann, W. (1980) Kivet ja mineraalit värikuvina. 3. painos. Otava 1980.
- /48/ Simonen, A. (1980) The Precambrian in Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 304. 58 s.
- /49/ Tie- ja Vesirakennushallitus (1970) Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa II.
- /50/ " (1987) Päällystetöiden työselitys 1987. Kunnossapitotoimisto (TVH 742802 A42200).
- /51/ Tolla, P. (1986) Etelä-Pohjanmaan syväkivien soveltuvuudesta tien kantavan kerroksen materiaaliksi. Diplomityö. TTKK. Tampere 1986.
- /52/ Vainio, T. (1987) TVL:n Vaasan piirin Tröger-ajojen tuloksia (ei julkaistu)
- /53/ Valtion teknillinen tutkimuslaitos (1974) Rakennusalan kallioluokitus 1974. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 12. Otaniemi.
- /54/ " (1976) Rakennusgeologisen kallioluokituksen soveltaminen, geotekniikan laboratorio, tiedonanto 25. Otaniemi.

- /55/ " (1983) Asfaltti- ja betoni-
pääallysteiden kulutuskestävyysvertailu. Laboratoriotutkimus
VTT:n ja Neste Oy:n koeradoilla. Tie- ja liikennelaboratorio,
tutkimusselostus 393. Espoo.
- /56/ Weber, J. (1966) Petrographische Anforderungen an Gesteinsmate-
rialien für Strassenbeläge und Heissmisch-Tragschieten. Strasse
und Verkehr Nr 12.
- /57/ Wegmann, C.E. & Kranck, E.H. (1931) Beiträge zur Kenntnis der
Svekofenniden in Finnland. Bull. comm. Geol. Finlande 89. 107 s.

näyte n:o	otto- paikka	kivi- laji	kiinto- tiheys ρ_k	Los Angeles - luku	parannettu haurausarvo	liuskeisuus b/a	purkaisuus c/a	muotoarvo $\frac{c}{a} / \frac{b}{a}$	ohuthe- n:o	hioutavuus- luku	Troger- arvo
1	M0	Vuosaari	Hbl	2.70	—	—	—	—	23	194	2.90
2	M0	"	Ural.porf	2.98	17.7	18.0	2.40	1.42	4 44	184	12.10
3	L2	"	Amf	3.02	20.6	19.7	2.13	1.65	2	184	18.34
4	L2-3	"	"	2.98	19.9	19.5	1.90	1.74	3	168	14.83
5	M0-L1	"	Svgn	2.84	15.8	17.5	1.80	1.52	110	—	—
6	L2	"	Bt-svgn	2.79	15.2	17.7	2.06	1.55	58	0.64	3.15
7	L2	"	Svgn	2.81	15.0	19.0	2.03	1.58	—	—	3.67
8	L2	"	Plg.porf	2.75	16.6	11.0	2.12	1.54	94	2.12	5.95
9	L1-2	"	Amf.	2.98	17.6	19.5	1.98	1.64	—	—	—
10	L1-2	"	Kv-msgn	2.65	23.4	20.0	1.66	2.35	—	—	—
11	L2	"	Svgn	2.52	15.2	17.0	1.80	2.77	53	1.87	4.23
12	L2	"	Metagabro	2.81	16.5	12.1	1.80	2.69	205	2.01	9.8
13	L2	"	Amf.	2.77	15.0	19.0	1.90	—	—	—	—
14	L2-3	Kumpula	Kgn	2.78	23.8	22.0	1.68	2.70	—	—	—
15	L2	Pitäjänmäki	Bt-svgn	2.84	15.9	17.0	1.80	3.05	702	—	—
16	L1-2	Tali	Kgn	2.73	18.1	18.6	1.78	2.89	703	—	—
17	L2-3	Kontula	Kgn	2.68	31.4	25.3	1.65	2.90	—	—	—

Taulukko 18a Lujuus- ja raekominaisuudet

näyte n:o	otto- paikka	kivi- laji	veden absorptio (g/kg)	huokoisuus A_{Hg} (m ² /kg)	ominais- pinta-ala (m ² /kg)	hienoainekseen ($\phi < 0.074$ mm) mineraalikoostumus (%)					
						sv	plg	kv	kms	bt	klor
2	Vuosaari	Ural.prof	10.43	1560.61	—	40	15	40	—	5	—
3	"	Amf	7.38	525.91	—	80	20	—	—	—	—
4	"	"	6.99	1117.32	—	70	30	—	—	—	—
5	"	"	7.01	747.43	—	55	30	15	—	—	—
6	"	Bt-svgn	7.35	720.86	904.51	40	10	35	15	< 5	—
8	"	Metagabro	11.12	1215.26	—	20	25	25	15	15	—
9	"	Amf.	12.70	743.18	—	45	25	25	—	5	—
10	"	Kv-msgn	20.06	1713.81	—	—	—	—	—	—	—
11	"	Svgn	15.04	1579.45	—	25	20	35	15	—	5
12	"	Metagabro	12.10	1591.46	1503.76	45	25	25	—	< 5	5
14	Kumpula	Amf	13.74	3822.68	—	70	20	10	—	—	—
15	Pitäjänmäki	"	8.59	1100.03	—	25	30	40	—	5	—
16	Tali	Kgn	10.41	1487.25	—	40	20	35	—	5	—

Taulukko 18b Hienoainekset

----- REGRESSION ANALYSIS -----
 HEADER DATA FOR: C:KILLI Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto
 NUMBER OF CASES: 16 NUMBER OF VARIABLES: 2

REG.

INDEX	NAME	MEAN	STD.DEV.
1	PAR.HA	18.3063	3.3435
DEP. VAR.:	LOSA	18.6063	4.4291

DEPENDENT VARIABLE: LOSA

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 14)	PROB.
PAR.HA	.9247	.2535	3.648	.00263
CONSTANT	1.6777			

STD. ERROR OF EST. = 3.2825

r SQUARED = .4873
 r = .6981

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	143.3991	1	143.3991	13.308	2.635E-03
RESIDUAL	150.8502	14	10.7750		
TOTAL	294.2494	15			

----- REGRESSION ANALYSIS -----

HEADER DATA FOR: C:KILLI LABEL: KIL.
 NUMBER OF CASES: 16 NUMBER OF VARIABLES: 2

INDEX	NAME	MEAN	STD.DEV.
1	LOSA	18.6063	4.4291
DEP. VAR.:	PAR.HA	18.3063	3.3435

DEPENDENT VARIABLE: PAR.HA

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 14)	PROB.
LOSA	.5270	.1445	3.648	.00263
CONSTANT	8.5008			

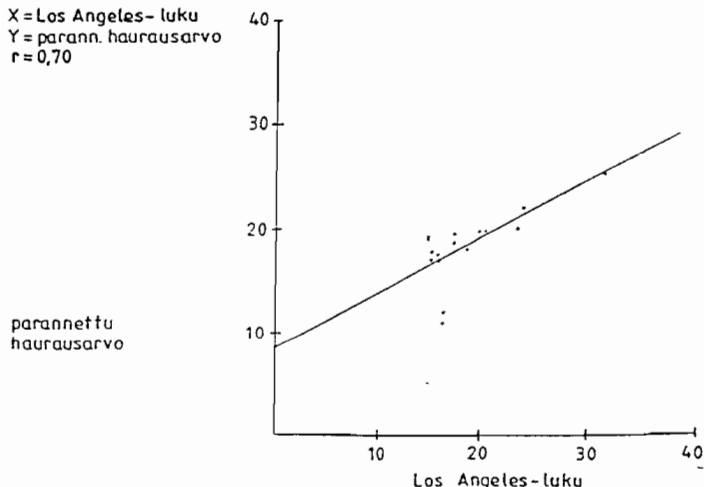
STD. ERROR OF EST. = 2.4780

r SQUARED = .4873
 r = .6981

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	81.7215	1	81.7215	13.308	2.635E-03
RESIDUAL	85.9678	14	6.1406		
TOTAL	167.6894	15			

X=Los Angeles- luku
 Y=parann. haurausarvo
 r=0,70



----- CORRELATION MATRIX -----
 HEADER DATA FOR: C:JUONAS LABEL: JUONAS
 NUMBER OF CASES: 7 NUMBER OF VARIABLES: 8

KORRELAATIOMATRIISI LAB.N

	KIINT.TH	LOS A	PAR.HA.	MUOT.AR.	HIOUT.	TROGER	HUOK.	VE.AD.
KIINT.TH	1.00000							
LOS A	.82978	1.00000						
PAR.HA.	.43864	.50787	1.00000					
MUOT.AR.	.28951	.61646	.51554	1.00000				
HIOUT.	-.01166	.28025	-.41249	-.13916	1.00000			
TROGER	.83919	.96976	.43606	.43075	.38171	1.00000		
HUOK.	-.42497	-.43174	-.45058	-.60445	.51559	-.29792	1.00000	
VE.AD.	-.78106	-.61476	-.52245	-.58531	.50937	-.49917	.79652	1.00000

CRITICAL VALUE (1-TAIL, .05) = + Or - .67649
 CRITICAL VALUE (2-tail, .05) = +/- .75315

N = 7

----- REGRESSION ANALYSIS -----
 HEADER DATA FOR: C:MULPERI LABEL:
 NUMBER OF CASES: 16 NUMBER OF VARIABLES: 2

KIINTOTH. LOS A

INDEX	NAME	MEAN	STD.DEV.
1	LOS A	18.6063	4.4291
DEP. VAR.:	KIINTOTH	2.8081	.1347

DEPENDENT VARIABLE: KIINTOTH

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T(DF= 14)	PROB.
LOS A	-.0037	.0081	-.454	.65705
CONSTANT	2.8762			

STD. ERROR OF EST. = .1384

r SQUARED = .0145
 t = -.1204

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	.0039	1	.0039	.006	.6571
RESIDUAL	.2681	14	.0192		
TOTAL	.2720	15			

----- REGRESSION ANALYSIS -----

HEADER DATA FOR: C:TIMO LABEL:
 NUMBER OF CASES: 7 NUMBER OF VARIABLES: 2

VEHEN AD. TROGER

INDEX	NAME	MEAN	STD.DEV.
1	TROGER	9.9143	5.5797
DEP. VAR.:	VE.AD.	10.0586	3.0048

DEPENDENT VARIABLE: VE.AD.

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 5)	PROB.
TROGER	-.2688	.2087	-1.288	.25408
CONSTANT	12.7237			

STD. ERROR OF EST. = 2.8522

r SQUARED = .2492
 r = -.4992

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	.13.4987	1	13.4987	1.659	.2541
RESIDUAL	40.6752	5	8.1350		
TOTAL	54.1739	6			

----- REGRESSION ANALYSIS -----

HEADER DATA FOR: C:TAINA LABEL:
 NUMBER OF CASES: 8 NUMBER OF VARIABLES: 2

LOS A TROGER

INDEX	NAME	MEAN	STD.DEV.
1	TROGER	9.1338	5.6178
DEP. VAR.:	LOSA	17.0875	2.1610

DEPENDENT VARIABLE: LOSA

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 6)	PROB.
TROGER	.3748	.0353	10.614	.00004
CONSTANT	13.6640			

STD. ERROR OF EST. = .5249

r SQUARED = .9494
 r = .9744

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	31.0359	1	31.0359	112.665	4.119E-05
RESIDUAL	1.6528	6	.2755		
TOTAL	32.6888	7			

```

----- REGRESSION ANALYSIS -----
HEADER DATA FOR: C:\JARI LABEL:
NUMBER OF CASES: 13 NUMBER OF VARIABLES: 2

-----
KIINTOTH VE.AD.

INDEX      NAME      MEAN      STD.DEV.
1          VE.AD.    10.9938   3.8181
DEP. VAR.: KIINTOTH    2.8208   .1449

-----
DEPENDENT VARIABLE: KIINTOTH

VAR.      REGRESSION COEFFICIENT    STD. ERROR    T (DF= 11)    PROB.
VE.AD.      -.0230                .0091        -2.534        .02779
CONSTANT     3.0741

STD. ERROR OF EST. = .1203

r SQUARED = .3685
r = -.6071

```

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	.0929	1	.0929	6.419	.0278
RESIDUAL	.1592	11	.0145		
TOTAL	.2521	12			

```

----- REGRESSION ANALYSIS -----
HEADER DATA FOR: C:\KALJA LABEL:
NUMBER OF CASES: 13 NUMBER OF VARIABLES: 2

-----
VE.AD. HUOKOISUUS

INDEX      NAME      MEAN      STD.DEV.
1          HUOK.    1378.8654  834.2092
DEP. VAR.: VE.AD.    10.9938   3.8181

-----
DEPENDENT VARIABLE: VE.AD.

VAR.      REGRESSION COEFFICIENT    STD. ERROR    T (DF= 11)    PROB.
HUOK.      .0023                .0012         1.932        .07955
CONSTANT    7.8176

STD. ERROR OF EST. = 3.4460

r SQUARED = .2533
r = .5033

```

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	44.3127	1	44.3127	3.732	.0795
RESIDUAL	130.8771	11	11.8747		
TOTAL	174.9319	12			

----- REGRESSION ANALYSIS -----

HEADER DATA FOR: C:PART LABEL:
 NUMBER OF CASES: 9 NUMBER OF VARIABLES: 2

 KIINTOIH. TROGER

INDEX	NAME	MEAN	STD. DEV.
1	TROGER	8.4411	5.8509
DEP. VAR.:	KIINT.	2.9178	.1587

DEPENDENT VARIABLE: KIINT.

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 7)	PROB.
TROGER	.0228	.0062	3.656	.00812
CONSTANT	2.6257			

STD. ERROR OF EST. = .0995

r SQUARED = .6563
 r = .8101

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	.1323	1	.1323	13.364	8.117E-03
RESIDUAL	.0693	7	.0099		
TOTAL	.2016	8			

----- REGRESSION ANALYSIS -----

HEADER DATA FOR: C:MERJA LABEL:
 NUMBER OF CASES: 7 NUMBER OF VARIABLES: 2

 √HIOUTUVUUS PAR.HA.

INDEX	NAME	MEAN	STD. DEV.
1	P.HA.	16.4286	3.4822
DEP. VAR.:	√HIQU	1.2957	.2243

DEPENDENT VARIABLE: NEL.HIQU

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 5)	PROB.
P.HA.	-.0233	.0269	-.866	.42597
CONSTANT	1.6780			

STD. ERROR OF EST. = .2292

r SQUARED = .1305
 r = -.3612

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	.0394	1	.0394	.750	.4260
RESIDUAL	.2626	5	.0525		
TOTAL	.3020	6			

----- REGRESSION ANALYSIS -----
 HEADER DATA FOR: C:\ALLE LABEL: ka1
 NUMBER OF CASES: 7 NUMBER OF VARIABLES: 2

INDEX	NAME	MEAN	STD. DEV.
1	$\sqrt{p.ha}$	4.0186	.4356
DEP. VAR.:	hiout.	1.7143	.4938

DEPENDENT VARIABLE: hiout. HIOUT. $\sqrt{P.HA}$

VAR.	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR	T (DF= 5)	PROB.
nel.p.ha	-.5077	.4533	-1.120	.31357
CONSTANT	3.7547			

STD. ERROR OF EST. = .4837

r SQUARED = .2006
 r = -.4479

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	.2935	1	.2935	1.255	.3136
RESIDUAL	1.1697	5	.2339		
TOTAL	1.4632	6			

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

4000000000

SAMPLE IDENTIFICATION 59 Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto

DATE 27.10.87

Density 2.70 g/cc LIQUID _____

Density g/cc Viscosity cp

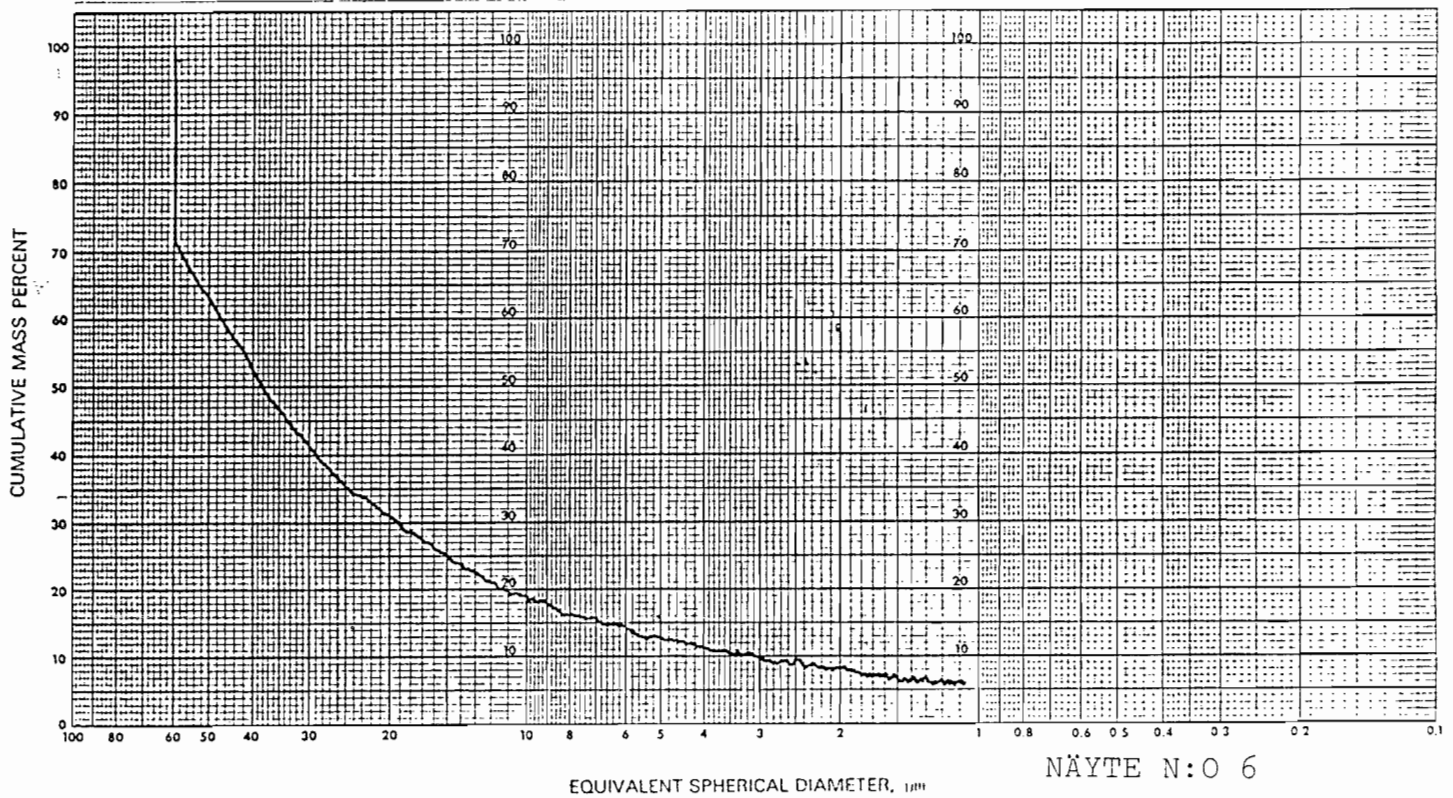
BY UHA

Preparation 0.8g näytettä 25ml:ssa Orispeksiä 1%

TEMPERATURE °C

ominais pinta-ala 904.51

RATE 827 START DIA. 50 μ m



SAMPLE IDENTIFICATION 205 Helsingin kaupunki, Huteri

DATE 27.10.87

Density 2.70 g/cc

LIQUID _____

Density

g/cc

Viscosity

cp

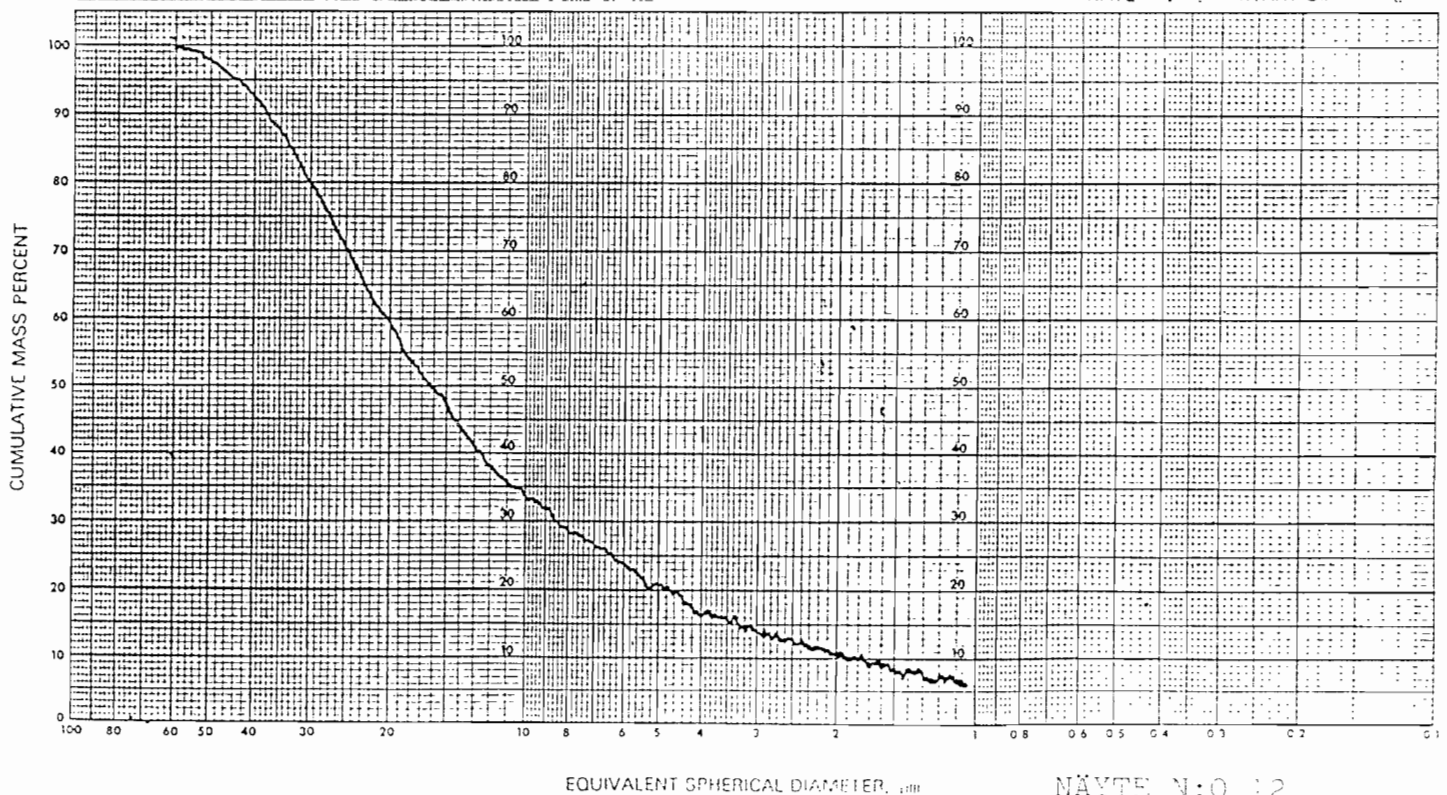
BY UHA

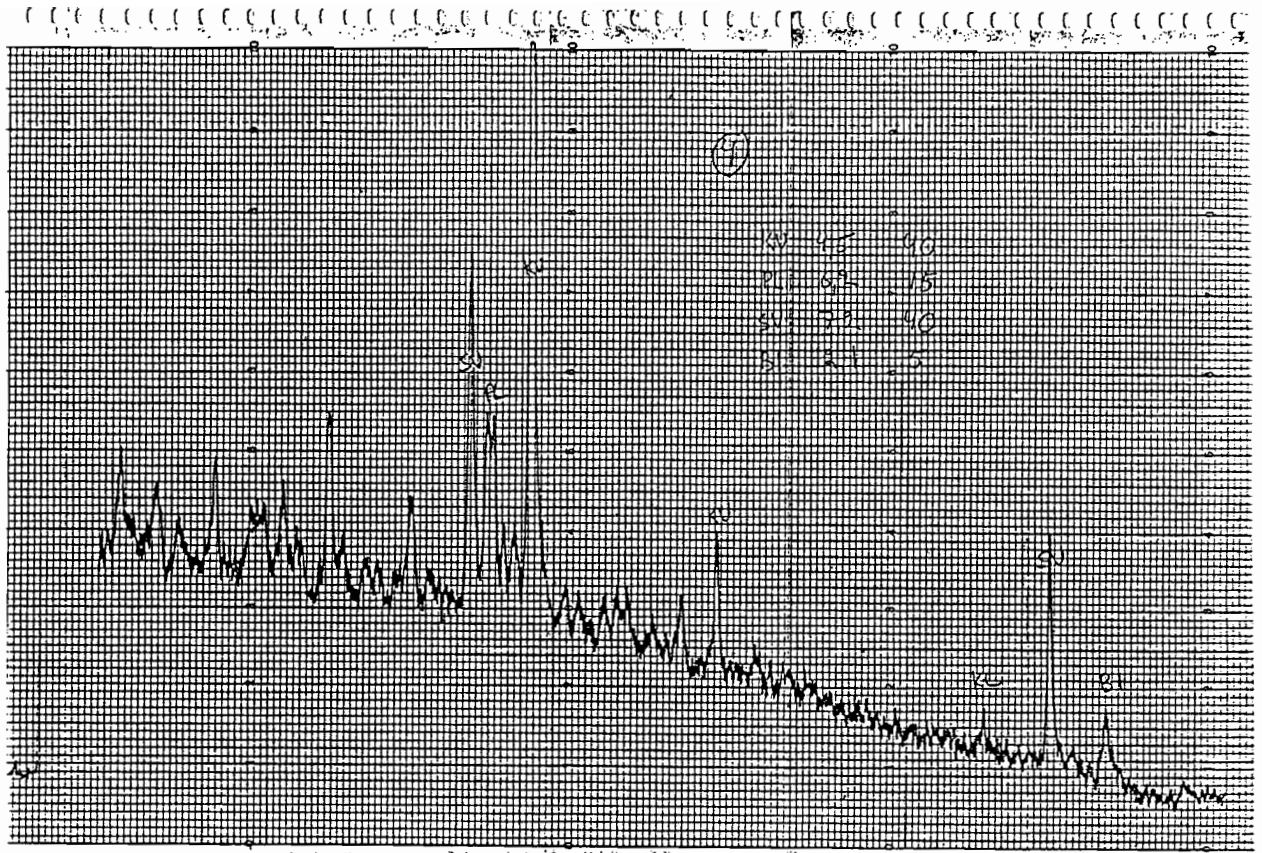
Preparation 0.8g näytettä 25ml:ssa Orispeksiä 1%

TEMPERATURE °C

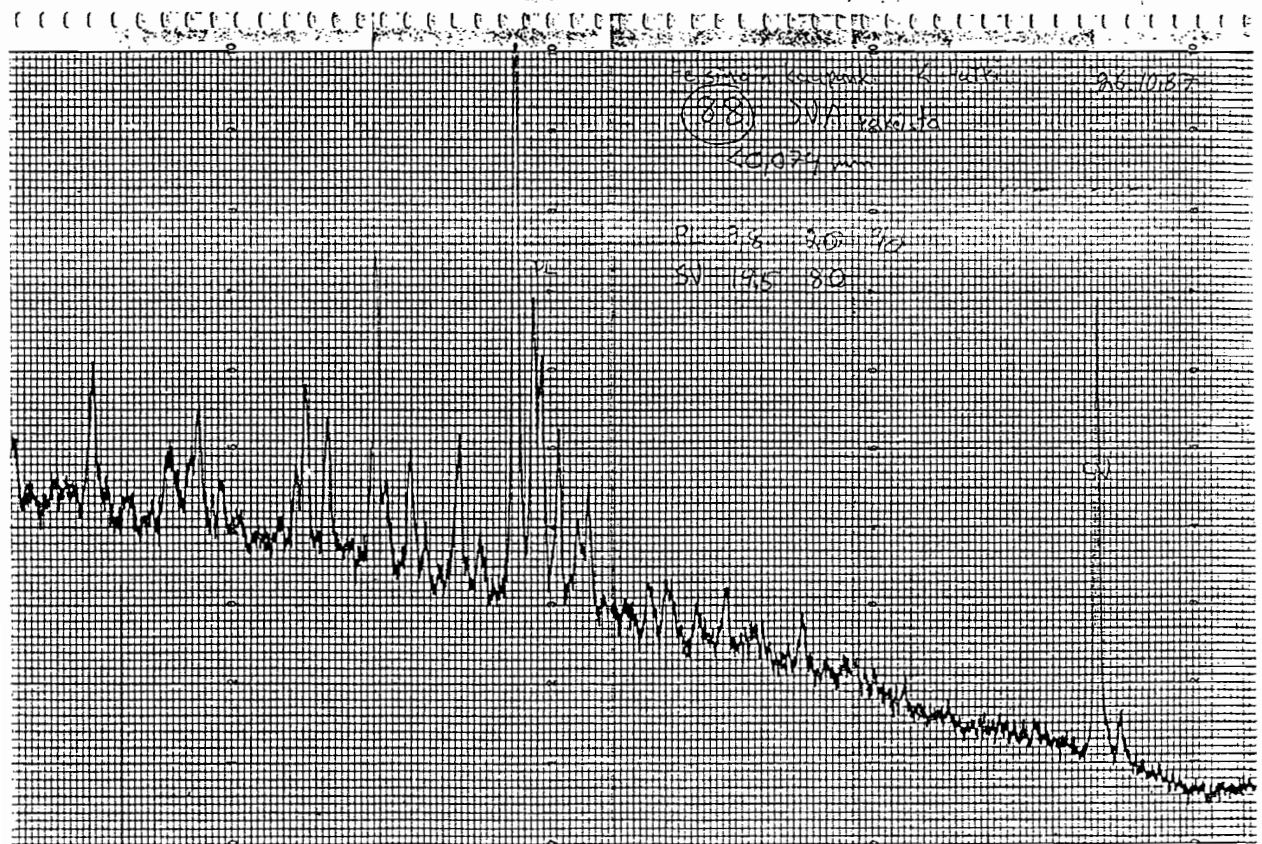
ominais pinta-ala 1503.26

RATE 827 START DIA. 63 μ m

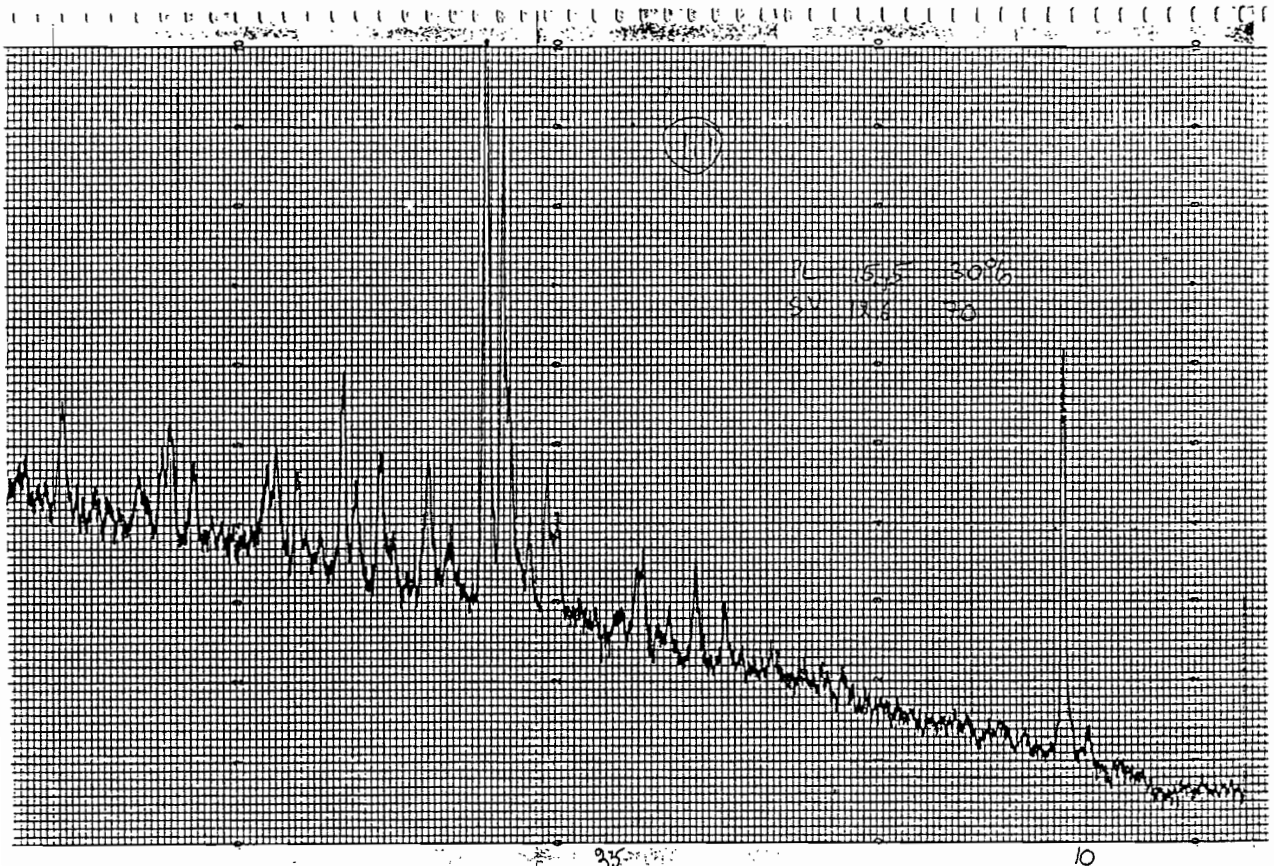




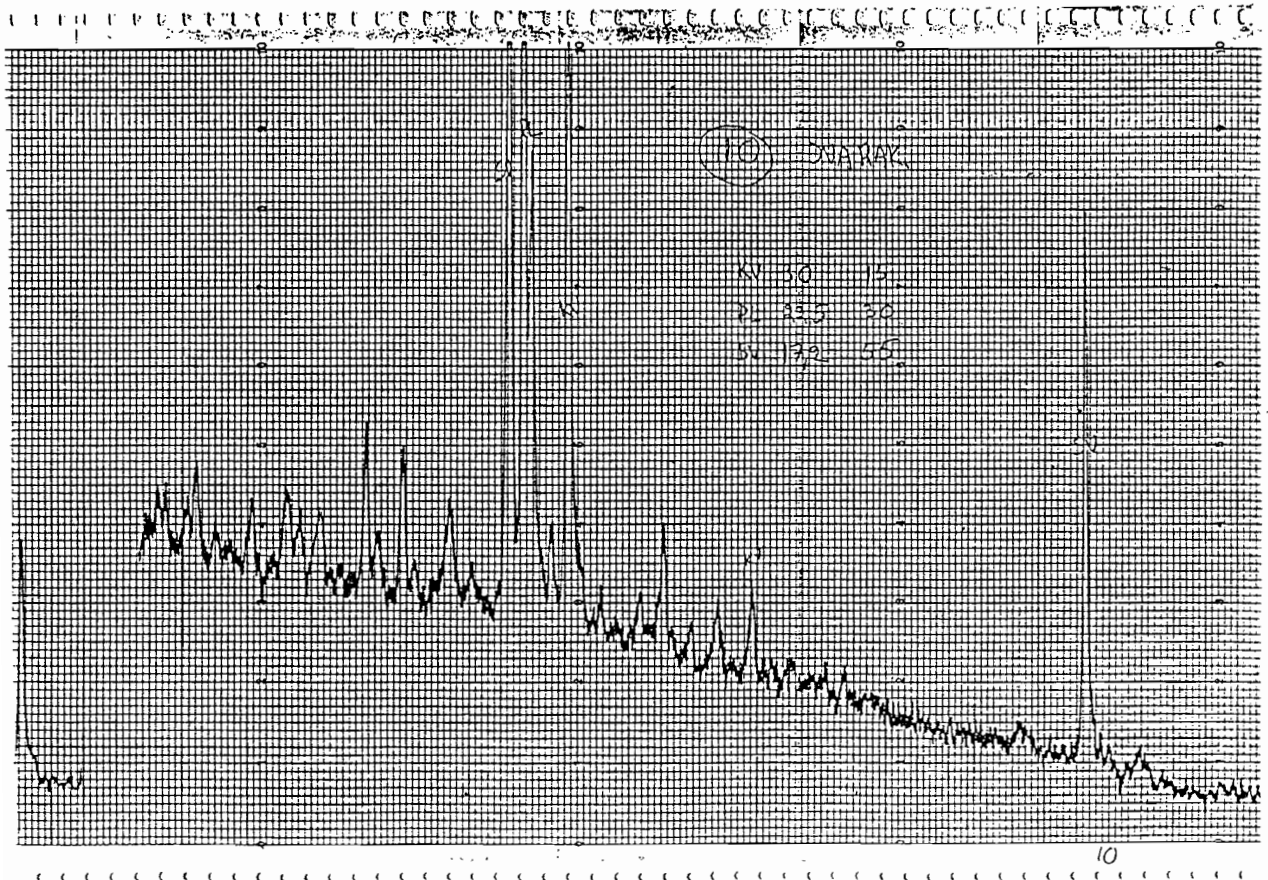
NÄYTE N:O 2



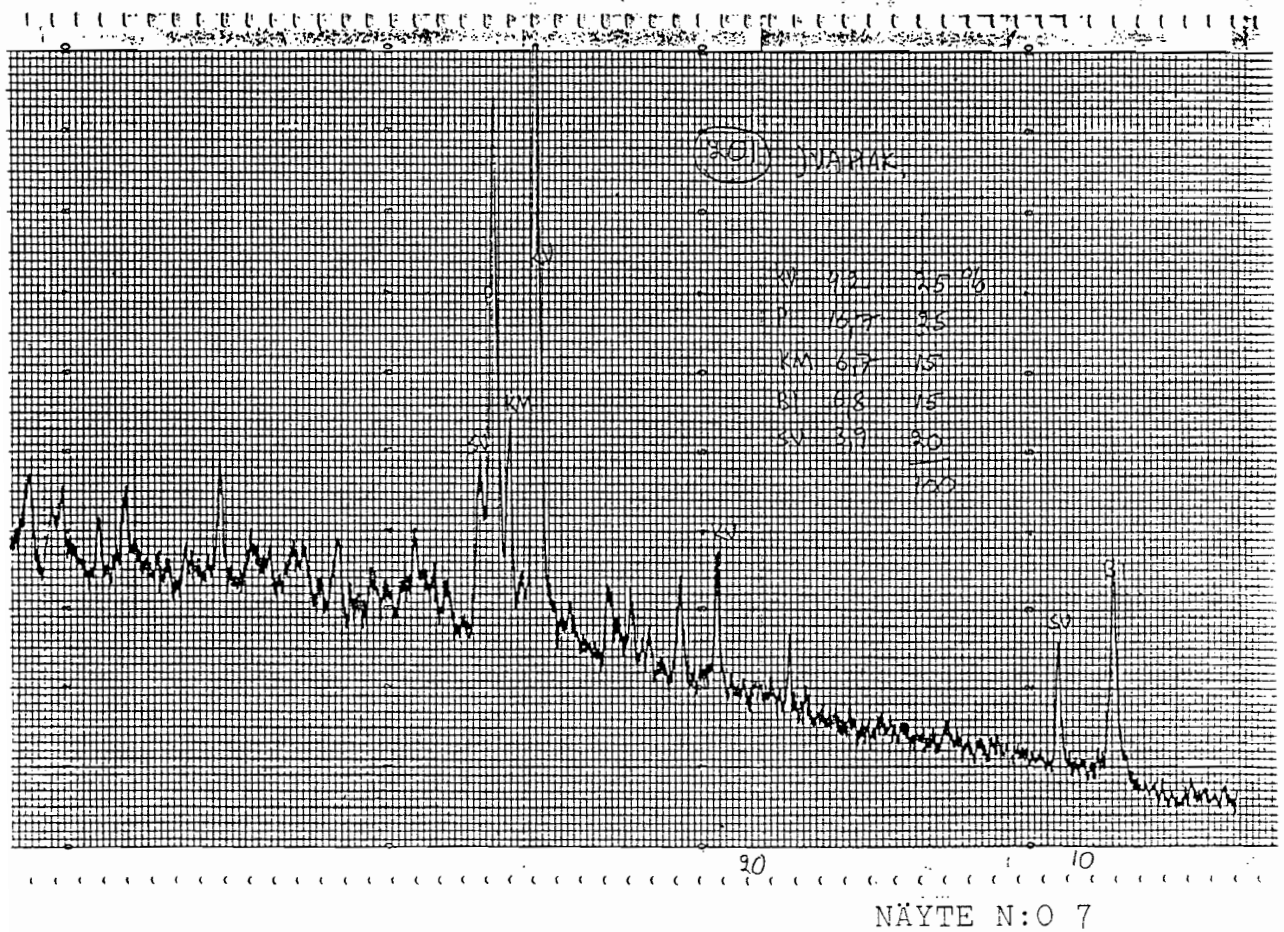
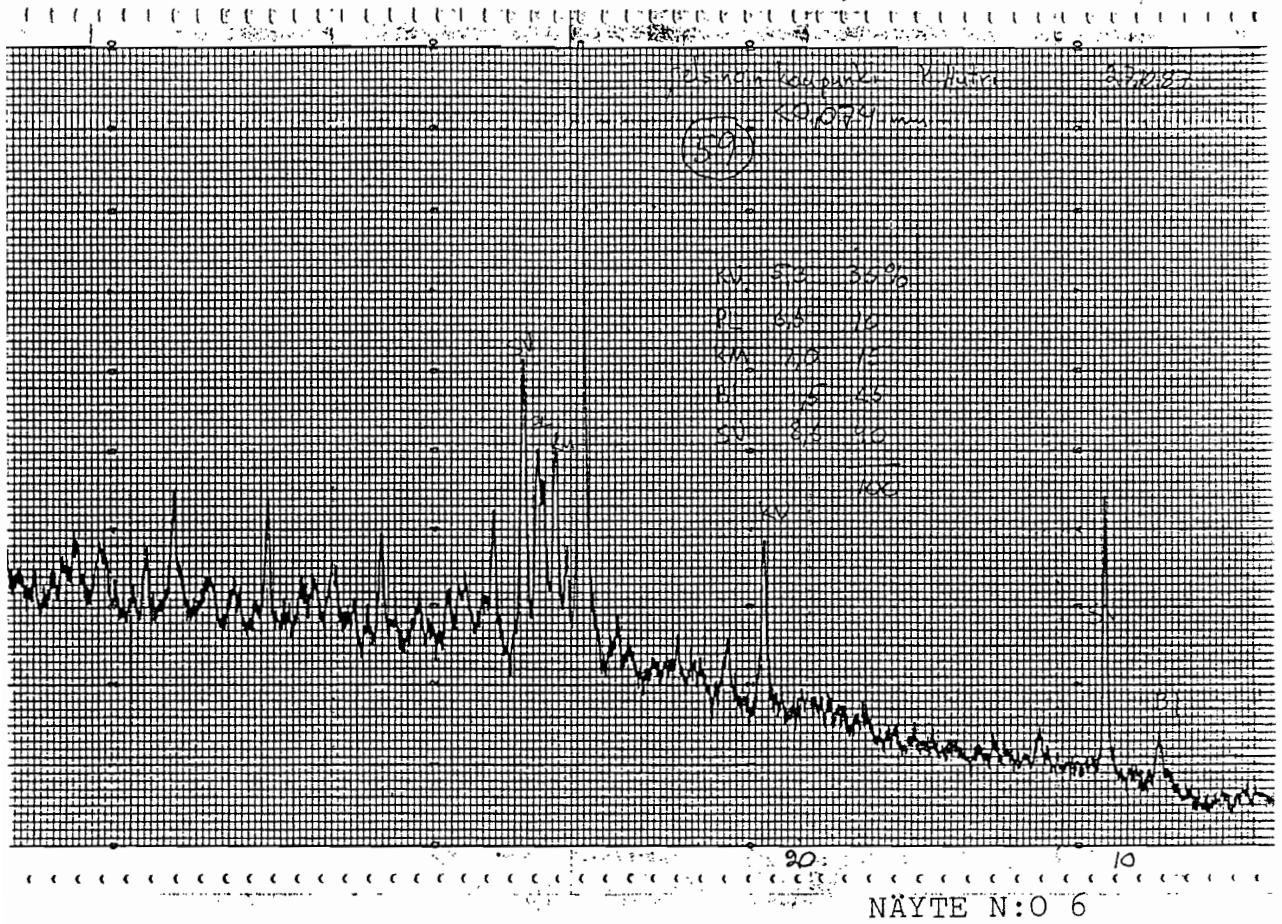
NÄYTE N:O 3

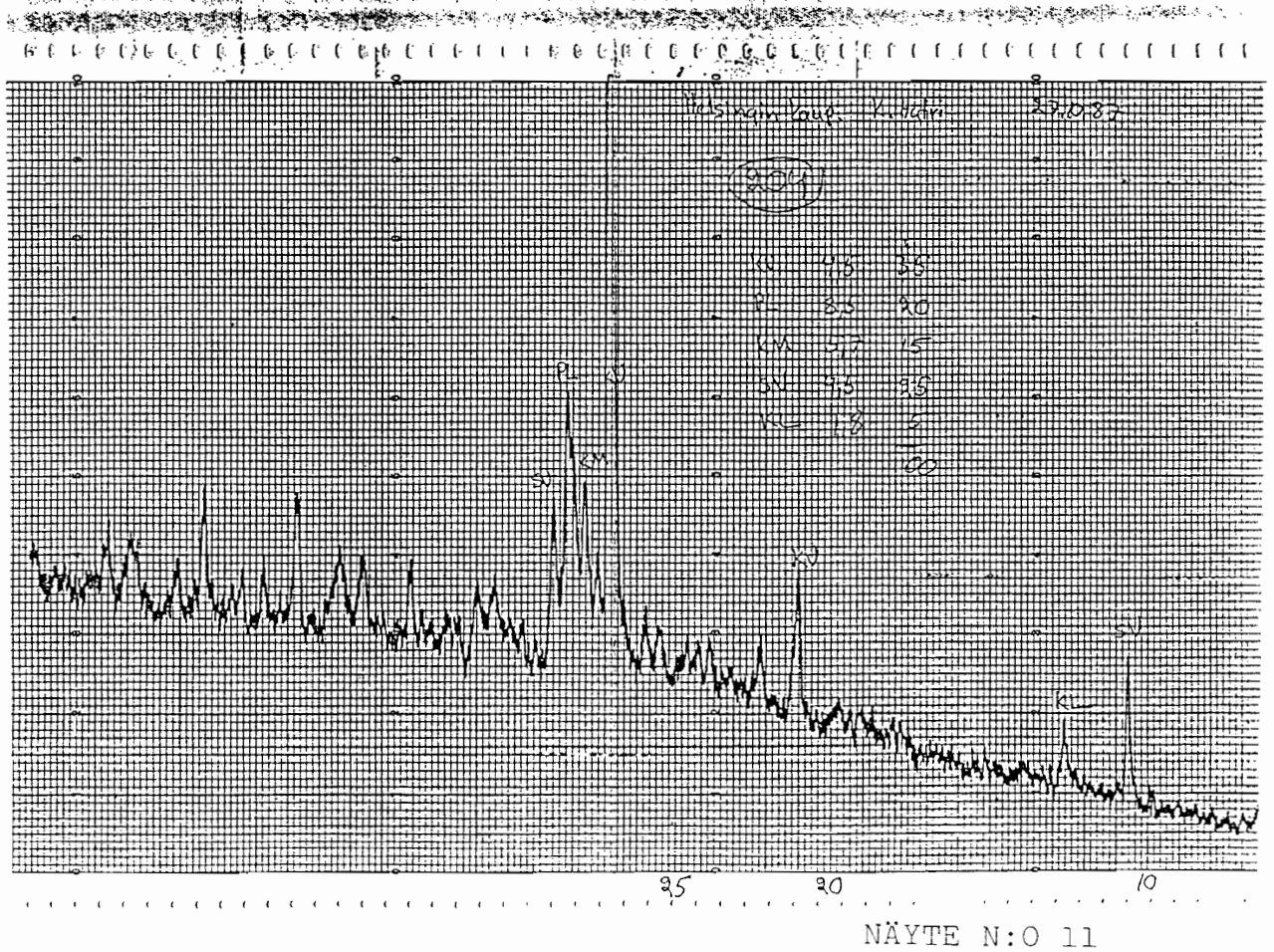
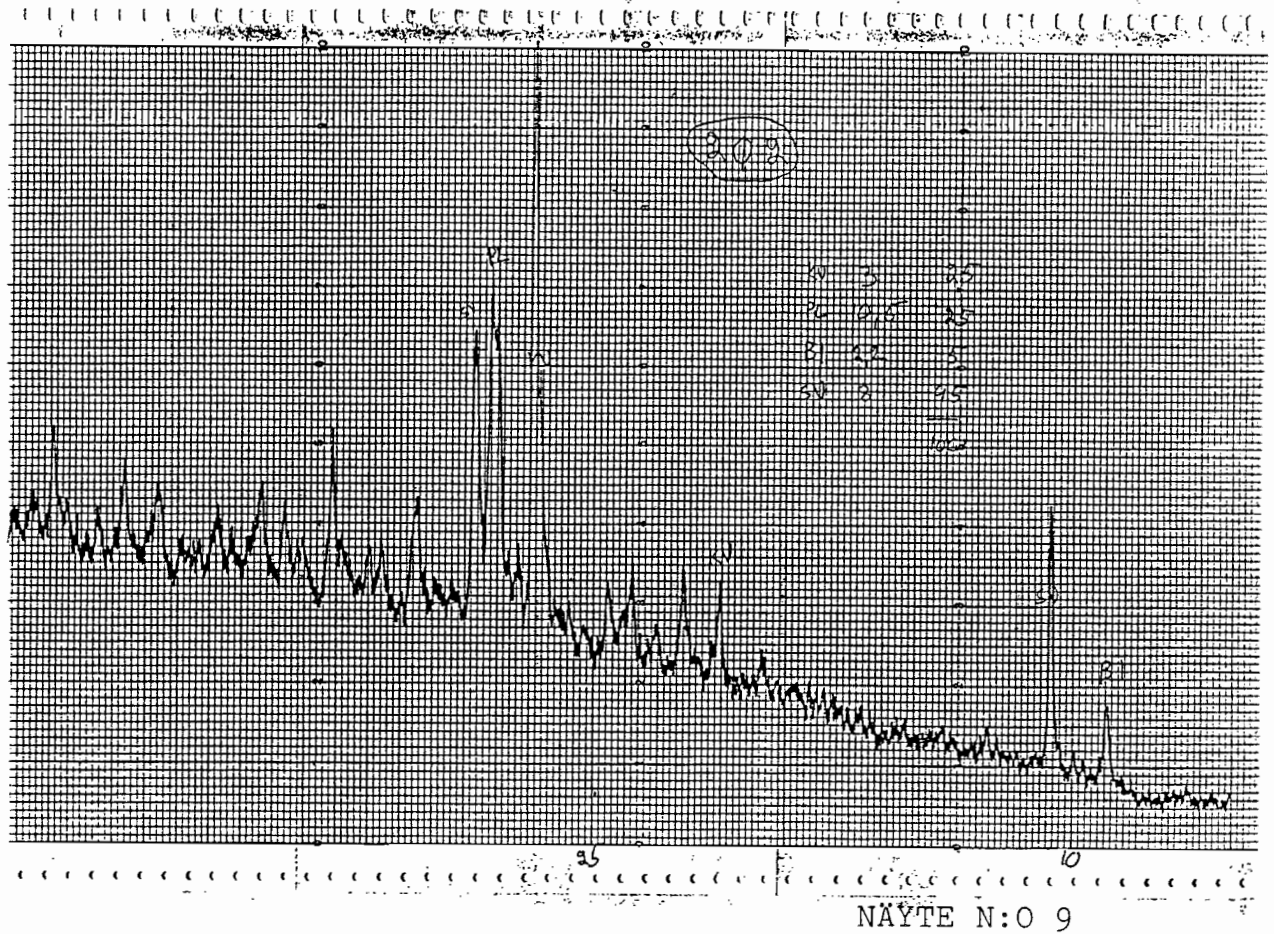


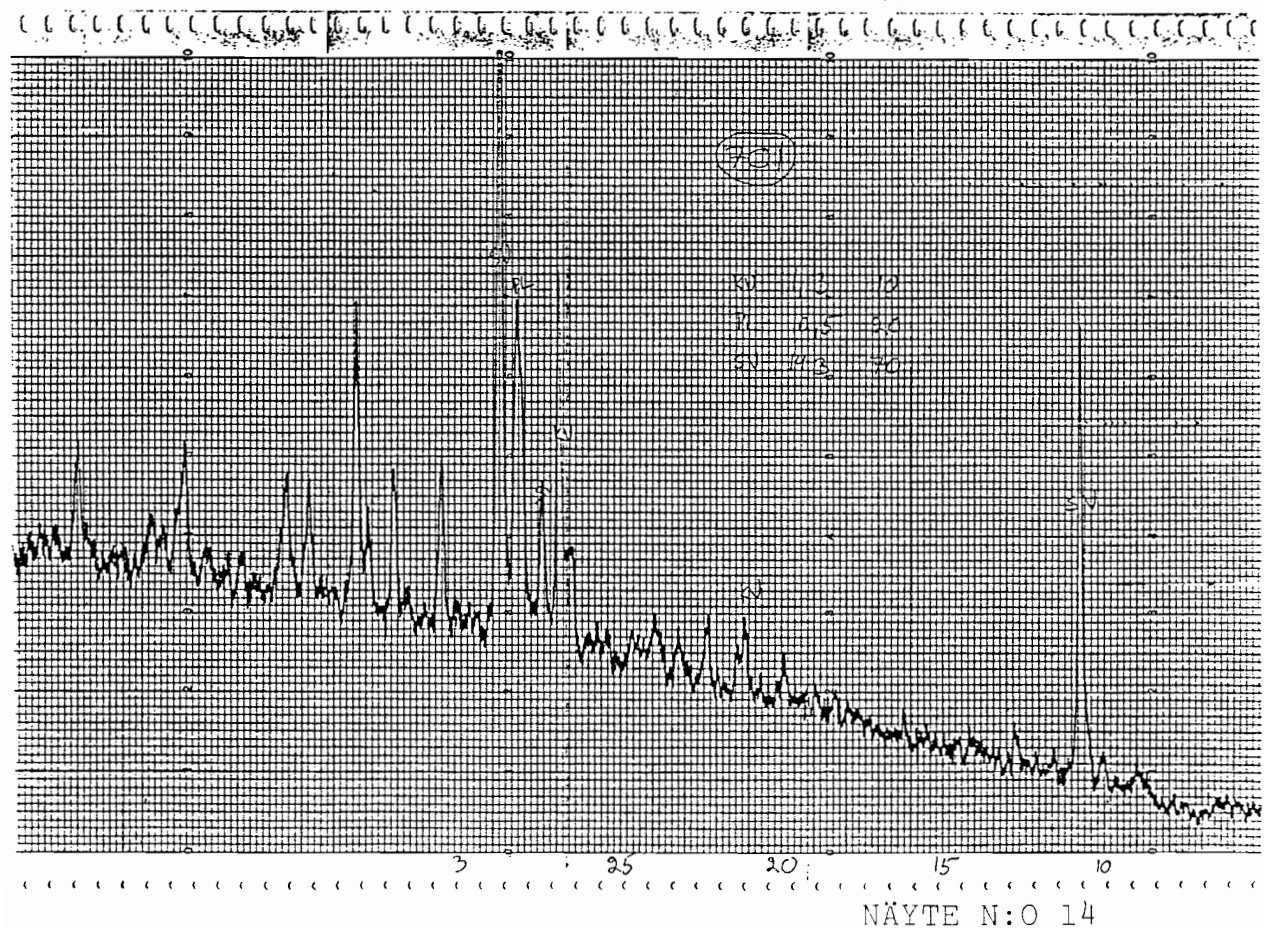
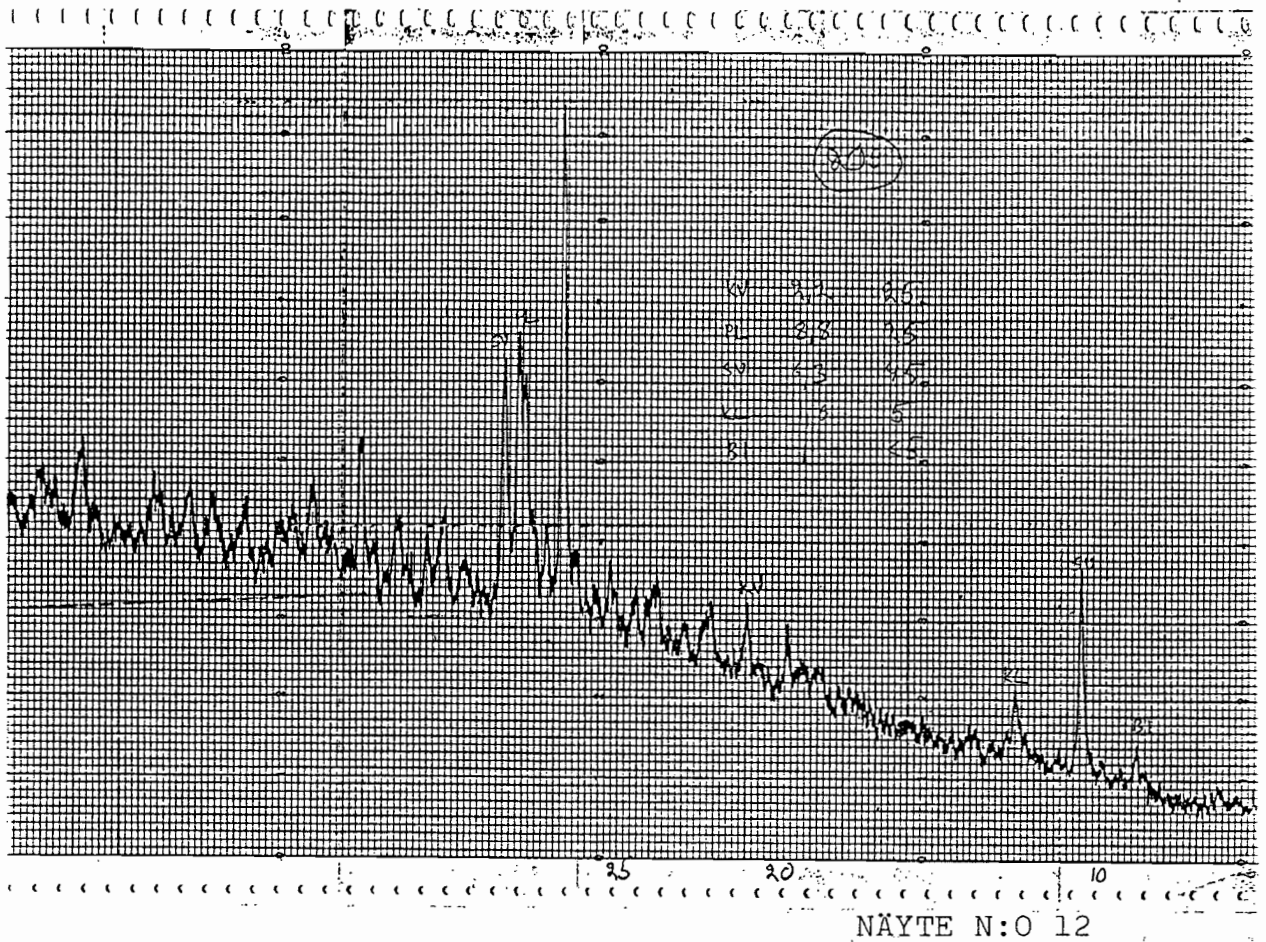
NÄYTE N:O 4



NÄYTE N:O 5

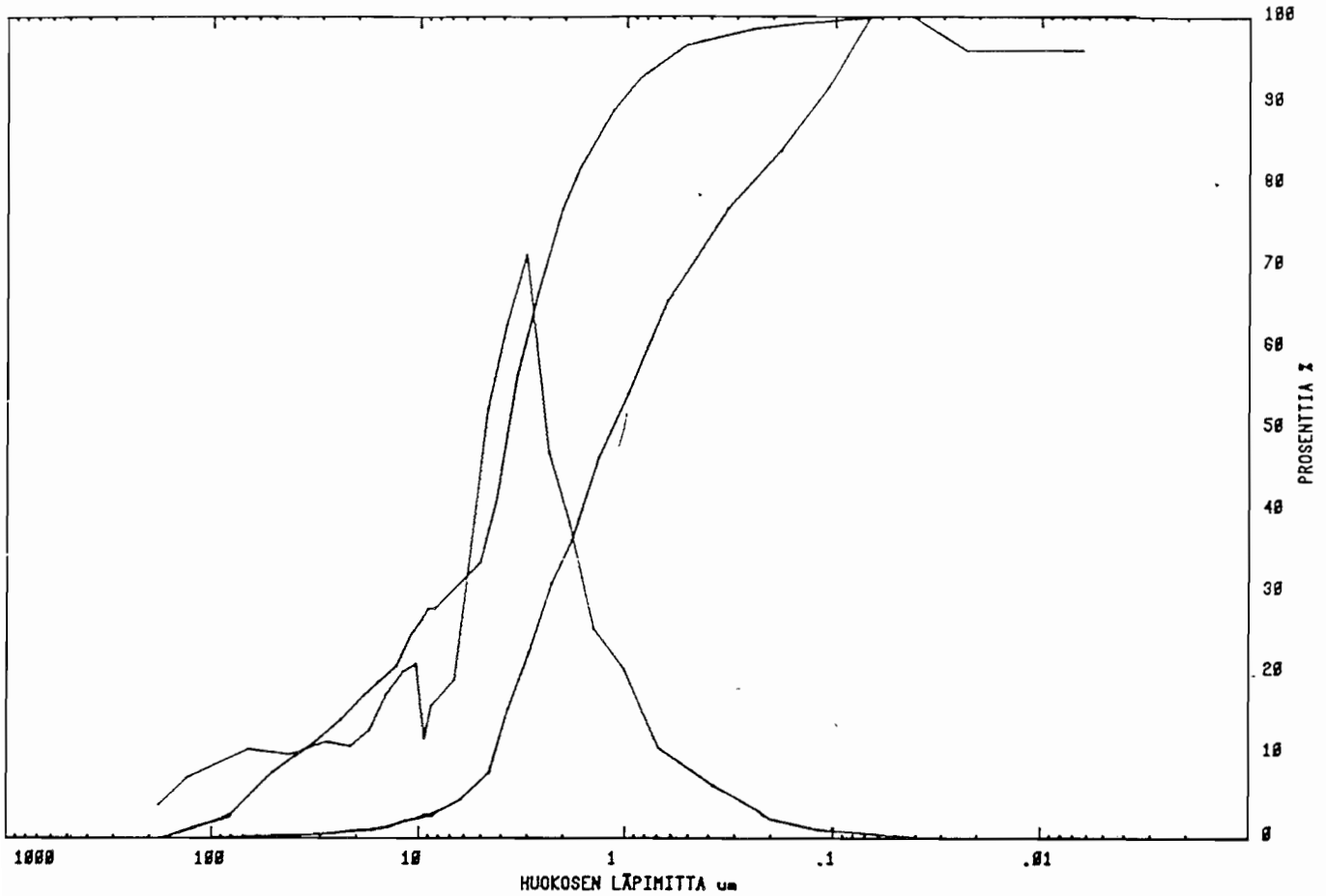






NÄYTE:88 HELSINGIN KAUP.
HUOKOISUUSPROSENTTI 7.47539

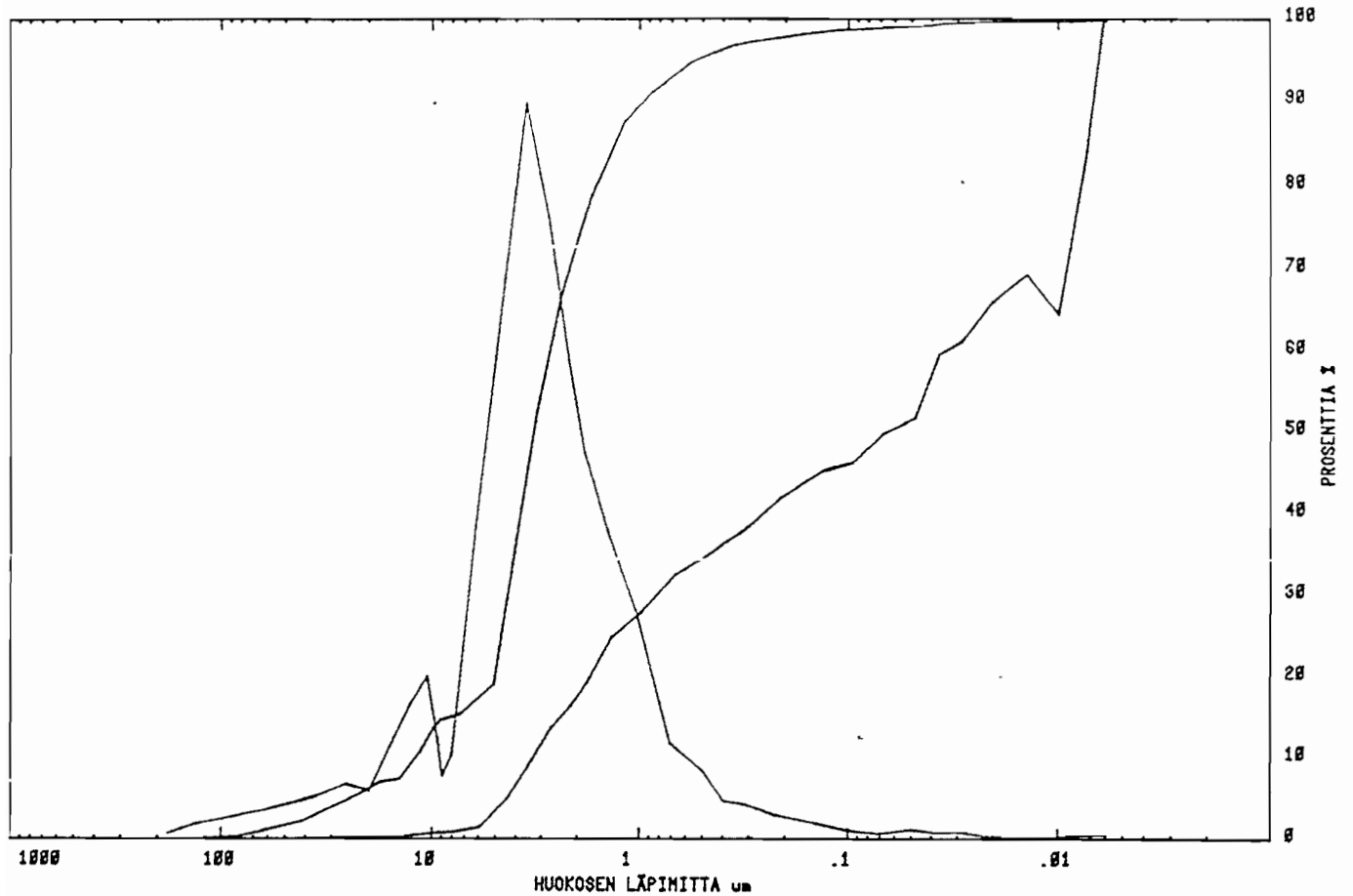
PÄIVÄYS:7.10.87



NÄYTTEEN MASSA 1.704
TILAVUUSPAINO .274846
NÄENNAISTIHEYD .297051

HUOKOISUUS-% 7.47539
KONTAKTIKULMA 130

P	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SQM/KG
1	52.06	180.49	0	0
2.2	51.49	82.04	.007	.25
3.5	50.4	51.56	.021	1.13
5.6	49.61	32.23	.031	2.15
7.4	49.02	24.39	.038	3.24
9.7	48.37	18.6	.047	4.82
11.3	48.06	15.97	.051	5.74
14	47.61	12.89	.056	7.36
16.5	46.76	10.93	.067	11.03
18.5	46.37	9.75	.072	12.97
19.9	46.09	9.06	.076	14.49
17	38.3	8.41	.076	14.49
31	37.09	5.1	.091	24.24
38	35.44	4.27	.113	42.39
49	32.24	3.4	.153	85.57
63	30.04	2.7	.182	122.91
84	27.87	2.06	.209	170.39
103	26.81	1.69	.223	199.56
152	25.32	1.16	.242	254.89
206	24.5	.86	.253	297.29
344	23.71	.51	.263	359.64
730	23.3	.24	.268	422.45
1193	23.16	.15	.27	460.76
2098	23.07	.08	.271	502.86
3165	23.01	.05	.272	547.7
5142	23.01	.03	.272	547.7
10210	23.02	.01	.271	525.91
15187	23.02	.01	.271	525.91
20132	23.02	0	.271	525.91
25505	23.02	0	.271	525.91
30069	23.02	0	.271	525.91

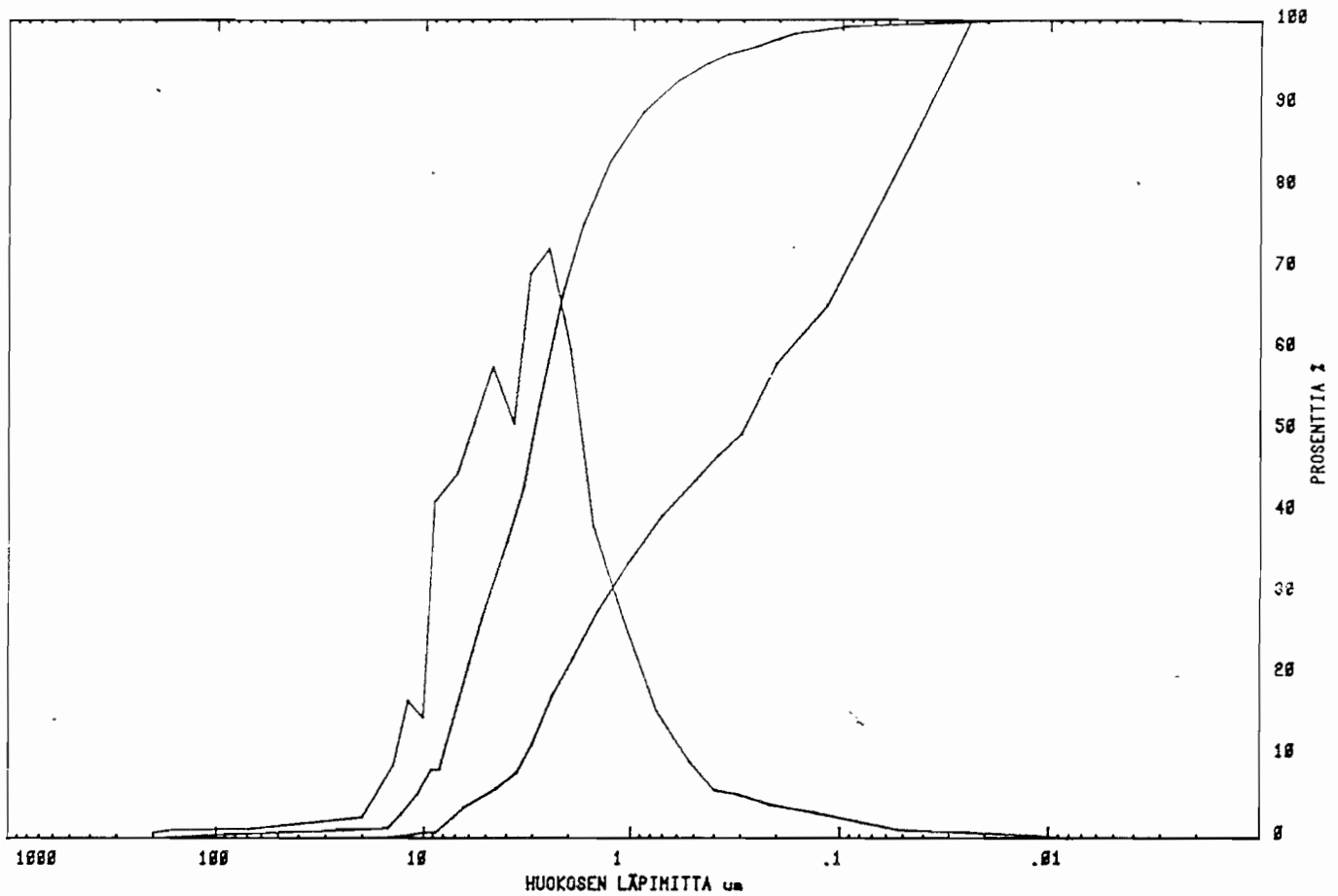


NÄYTTEEN MASSA 1.564
TILAVUUSPAINO .245738
NAENNAISTIHEYD .261949

HUOKOISUUS-% 6.18873
KONTAKTILUKU 130

F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SDM/KG
1	51.15	180.49	0	0
2.2	51.07	82.04	.001	.03
4.3	50.74	41.97	.005	.36
6.1	50.4	29.58	.01	.9
8.2	50.12	22.01	.014	1.52
10.2	49.86	17.69	.017	2.25
12.7	49.79	14.21	.018	2.5
15.9	49.18	11.35	.027	5.17
18.4	48.63	9.8	.034	8.06
19.8	48.45	9.11	.037	9.12
16	44.87	8.82	.037	9.12
20	44.75	7.38	.039	9.94
31	44.08	5.1	.048	16.08
41	40.86	4	.092	55.8
53	37.98	3.17	.132	100.81
71	35.41	2.41	.168	152.6
86	34.18	2.01	.185	183.55
102	33.19	1.71	.198	213.14
150	31.59	1.17	.221	276.59
204	30.96	.87	.229	311.4
315	30.31	.56	.238	363.75
403	30.09	.44	.241	388.17
505	29.94	.35	.243	409.19
626	29.84	.28	.245	426.62
1043	29.68	.17	.247	467.7
1604	29.59	.11	.248	504.28
2084	29.57	.08	.248	515.62
3057	29.52	.05	.249	555.09
4246	29.5	.04	.249	577.44
5247	29.44	.03	.25	664.81
7029	29.43	.02	.25	683.59
10189	29.41	.01	.251	736.46
14958	29.4	.01	.251	774.92
20338	29.41	0	.251	720.94
27538	29.38	0	.251	941.13
30065	29.36	0	.251	1117.32

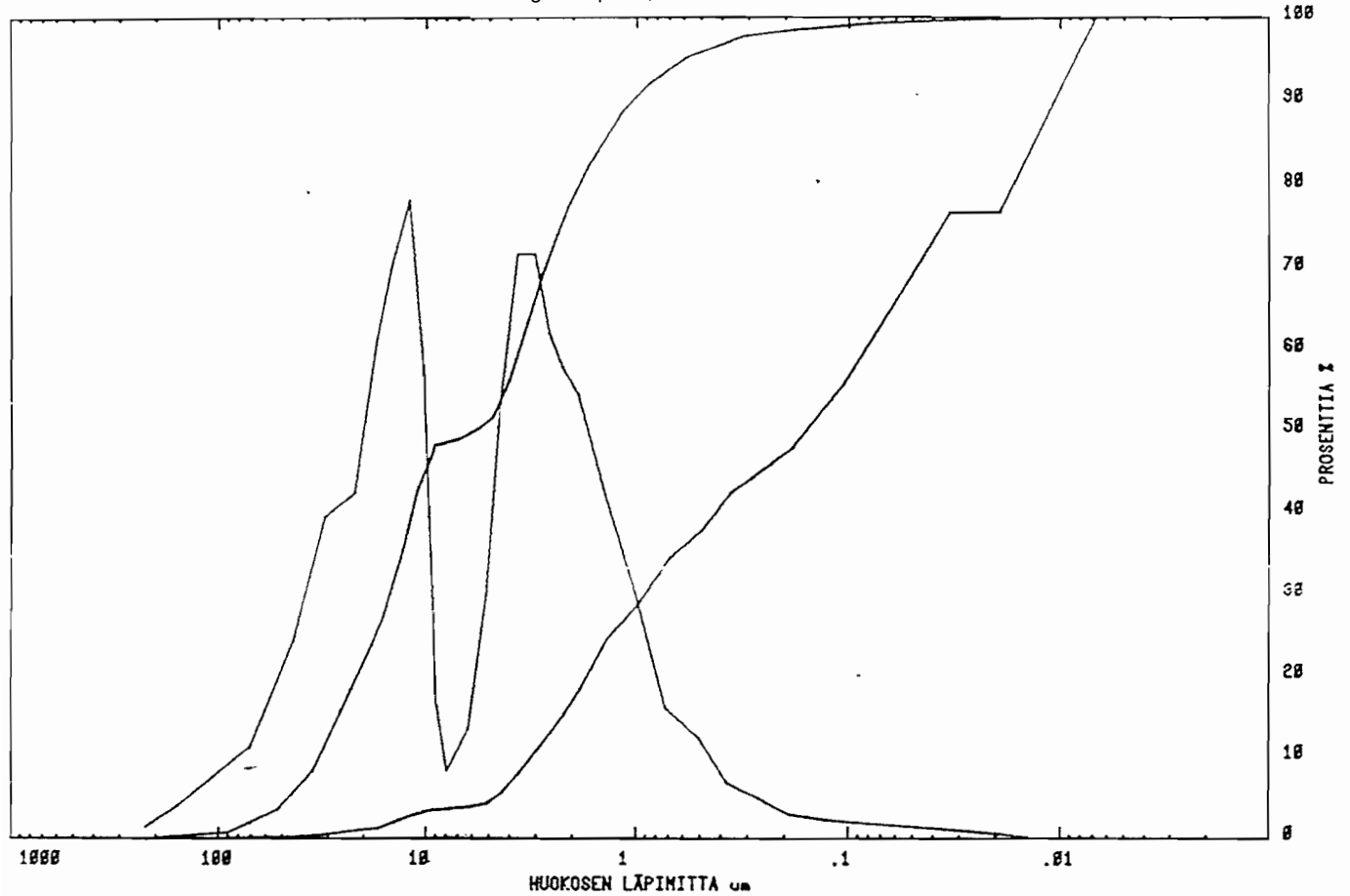
NÄYTE N:O 4



NÄYTTEEN MASSA 1.786
TILAVUUSPAINO .295554
NÄENNAISTIHEYD .314081

HUOKOISUUS-% 5.89887
KONTAKTIKULMA 130

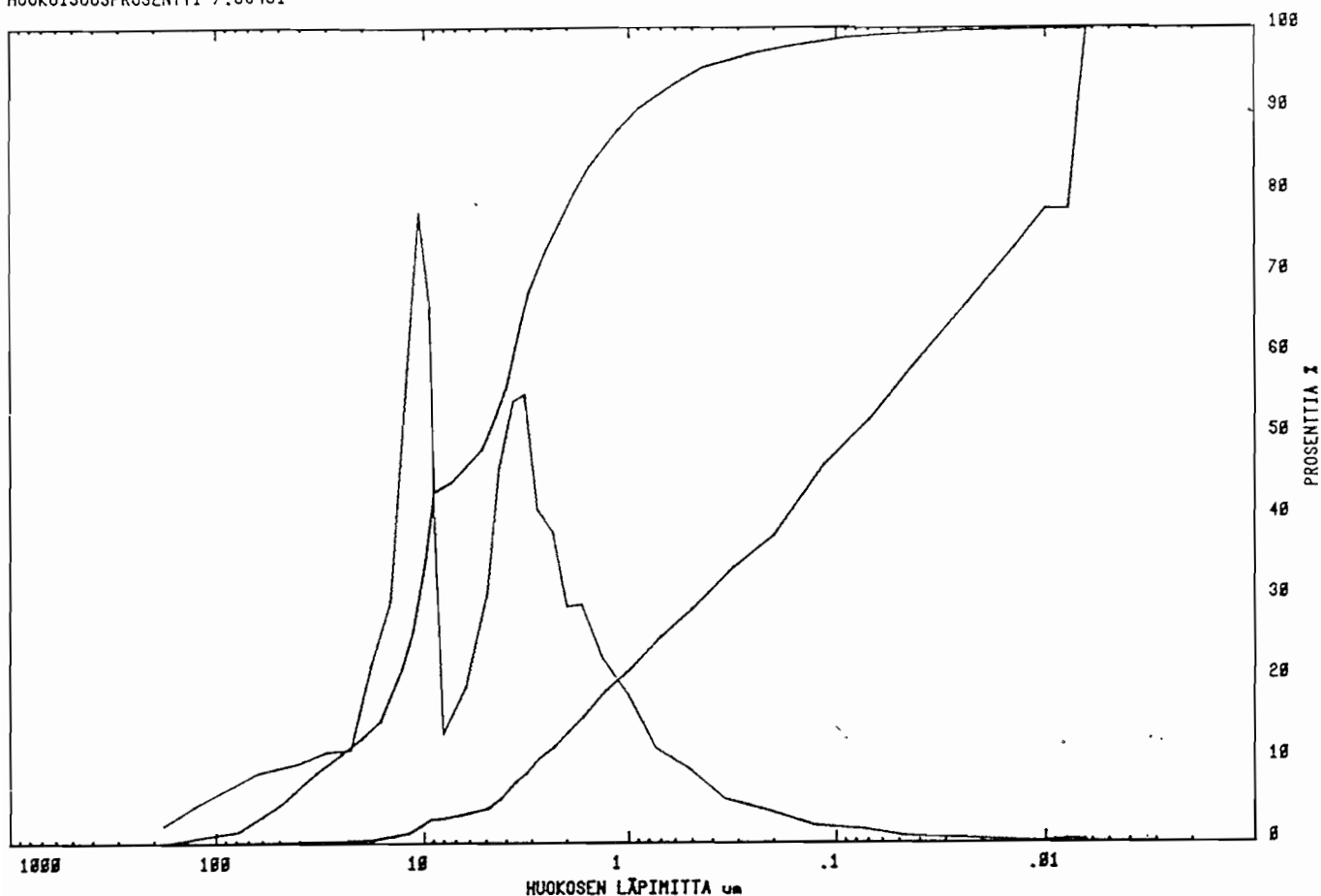
F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SQM/KG
.9	51.47	200.54	0	0
1.6	51.4	112.8	0	.02
7.0	51.3	24.72	.002	.14
12	51.26	15.04	.002	.24
13.9	50.98	12.98	.005	1.21
16.7	50.59	10.8	.01	2.82
19.5	50.1	9.25	.016	5.2
17	45.24	8.41	.016	5.2
30	42.2	5.27	.053	27.9
41	40.61	4	.072	44.81
50	39.52	3.34	.085	59.29
60	37.87	2.82	.105	85.37
79	35.65	2.18	.132	129
100	34.24	1.74	.149	164.23
137	32.93	1.28	.165	207.11
199	31.96	.89	.177	251.72
295	31.31	.6	.185	295.39
403	30.98	.44	.189	326.59
506	30.79	.35	.191	349.93
678	30.66	.26	.193	370.7
1070	30.39	.16	.196	434.28
2003	30.26	.08	.198	487.96
12858	30.13	.01	.199	747.43
20079	30.13	0	.199	747.43
25452	30.13	0	.199	747.43
30083	30.13	0	.199	747.43



NÄYTTEEN MASSA 1.699
TILAVUUSPAINO .281456
NAENNAISTIHEYD .301357

HUOKOISUUS-% 6.60388
KONTAKTIKULMA 130

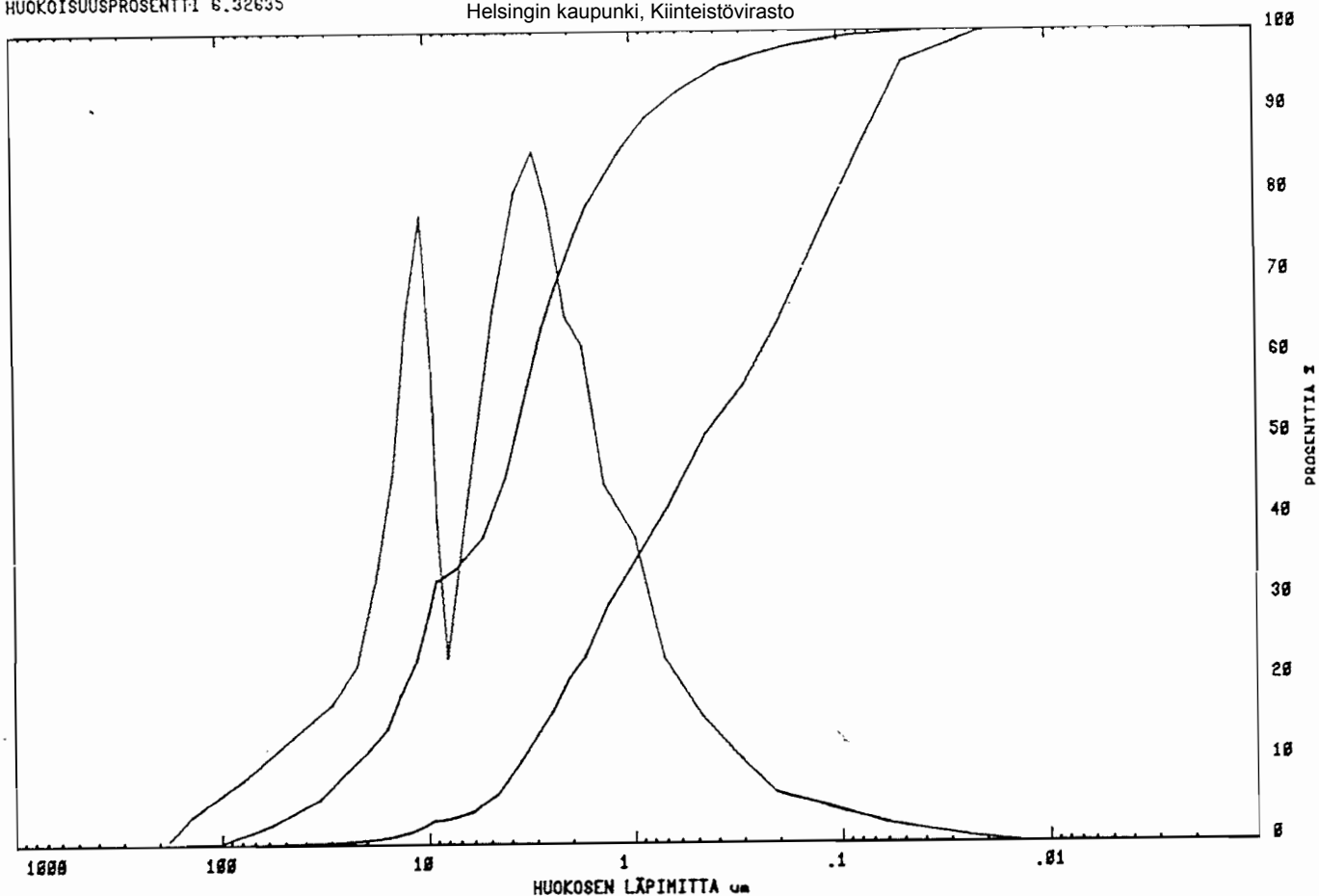
F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SQM/KG
.8	50.88	225.61	0	0
2	50.74	90.24	.001	.05
3.4	50.22	53.08	.008	.45
5	49.35	36.09	.019	1.48
6.9	48	26.15	.036	3.74
9.7	46.5	18.6	.055	7.26
11.1	45.86	16.26	.063	9.13
13.9	44.36	12.98	.083	14.42
16.3	43.01	11.07	.1	20.18
18.8	42.32	9.6	.108	23.59
19.8	41.99	9.11	.113	25.39
16	40.69	8.82	.113	25.39
21	40.57	7.09	.114	26.17
28	40.31	5.56	.118	28.29
33	40.05	4.82	.121	30.85
40	39.24	4.07	.131	40.19
50	37.92	3.32	.148	58.54
60	36.81	2.81	.162	77.07
71	35.96	2.4	.173	93.75
82	35.27	2.09	.182	109.43
102	34.44	1.7	.192	131.9
151	33.21	1.16	.208	177.14
203	32.62	.87	.215	207.24
302	32.05	.59	.223	248.45
411	31.81	.43	.226	272.83
565	31.57	.31	.229	306.13
824	31.47	.21	.23	325.83
1102	31.4	.16	.231	344.92
2281	31.28	.07	.232	402.32
8402	31.18	.02	.234	553.12
10016	31.18	.01	.234	553.12
22941	31.16	0	.234	646.26
10061	31.15	0	.234	720.86



NÄYTTEEN MASSA 1.492
TILAVUUSPAINO .251294
NÄENNAISTIEHEYS .27133

HUOKOISUUS-% 7.38451
KONTAKTIKULMA 130

F	C	D	V	A
PSIA	FF	UM	CDM/KG	SQM/KG
1	52.03	180.49	0	0
2.3	51.72	78.47	.004	.16
3.7	51.04	48.78	.014	.81
5.3	50.29	34.05	.025	1.9
7	49.83	25.78	.031	2.81
8.9	49.42	20.27	.037	3.86
11	49	16.4	.043	5.2
14	47.71	12.89	.062	10.38
15.9	46.77	11.35	.076	14.89
18.3	44.93	9.86	.102	25
20.2	43.23	8.93	.127	35.52
16	39.96	8.82	.127	35.52
20	39.74	7.38	.13	37.1
30	38.93	5.25	.142	44.75
34	38.36	4.71	.15	51.41
41	37.36	3.99	.165	64.83
49	35.78	3.39	.188	89.78
54	35.03	3.11	.199	103.17
67	33.94	2.54	.214	125.76
79	33.27	2.17	.224	142.31
94	32.51	1.84	.235	164.37
112	31.87	1.55	.244	186.33
155	30.98	1.13	.257	225.57
199	30.43	.89	.265	257.5
300	29.83	.59	.274	306.29
401	29.46	.44	.279	348.38
711	29.11	.25	.284	411.3
1068	28.94	.16	.287	460.08
2037	28.73	.08	.29	565.05
3080	28.65	.05	.291	630.86
5115	28.59	.03	.292	709.93
10041	28.55	.01	.292	807.38
15569	28.53	.01	.293	889.
20309	28.52	0	.293	947.35
25446	28.52	0	.293	947.35
30126	28.49	0	.293	1215.26



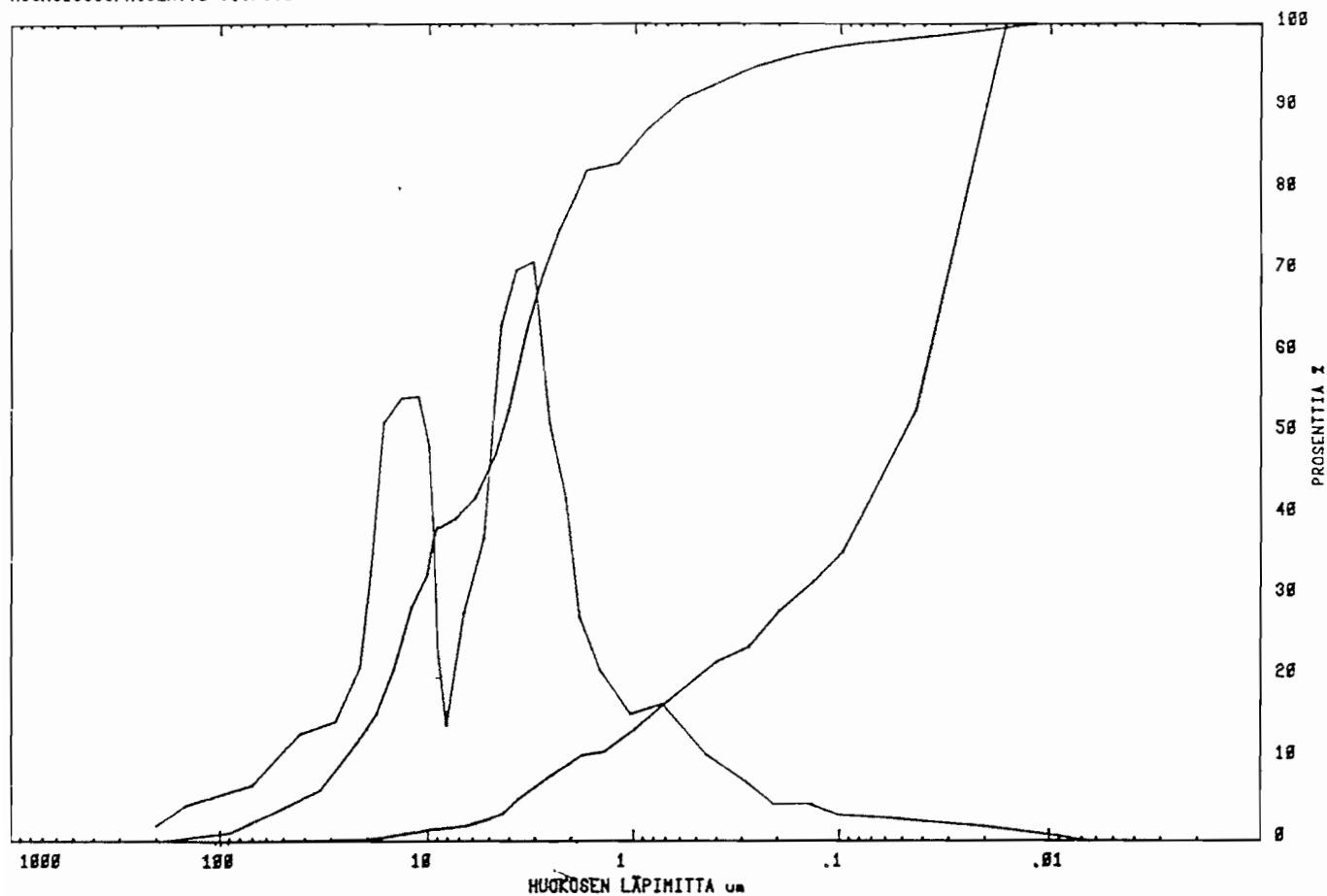
NÄYTTEEN MASSA 1.547
TILAVUUSPAINO .24999
NAENNAISTIHEYD .266874

HUOKOISUUS-% 6.32635
KONTAKTIKULMA 130

F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SDM/KG
1	52.22	180.49	0	0
1.8	52.18	100.27	0	.01
3.1	51.79	58.22	.006	.31
5.3	51.23	34.05	.013	1.05
7.2	50.62	25.06	.022	2.24
9.2	50.16	19.61	.029	3.42
11.4	49.67	15.83	.035	4.99
13.3	48.92	13.57	.046	7.89
15.9	48.17	11.35	.057	11.31
18.2	47.1	9.91	.072	17.01
19.8	46.34	9.11	.082	21.52
16	40.16	8.82	.082	21.52
20	39.92	7.38	.086	23.2
29	39.21	5.4	.096	29.61
39	37.88	4.17	.115	45.53
51	35.93	3.27	.142	75.49
61	34.6	2.77	.161	100.44
72	33.68	2.37	.174	120.68
92	32.5	1.88	.19	152.33
106	31.88	1.64	.199	172.24
155	30.72	1.13	.215	220.87
209	29.98	.84	.226	263.79
300	29.41	.59	.234	309.75
483	28.86	.37	.242	377.62
700	28.63	.25	.245	420.38
1071	28.42	.16	.248	478.7
2080	28.22	.08	.251	577.37
5224	28.1	.03	.252	714.44
13162	28.09	.01	.253	743.18
16276	28.09	.01	.253	743.18
20606	28.09	0	.253	743.18
25520	28.09	0	.253	743.18
30134	28.09	0	.253	743.18

NÄYTE N:0 9

LIITE (7)/5

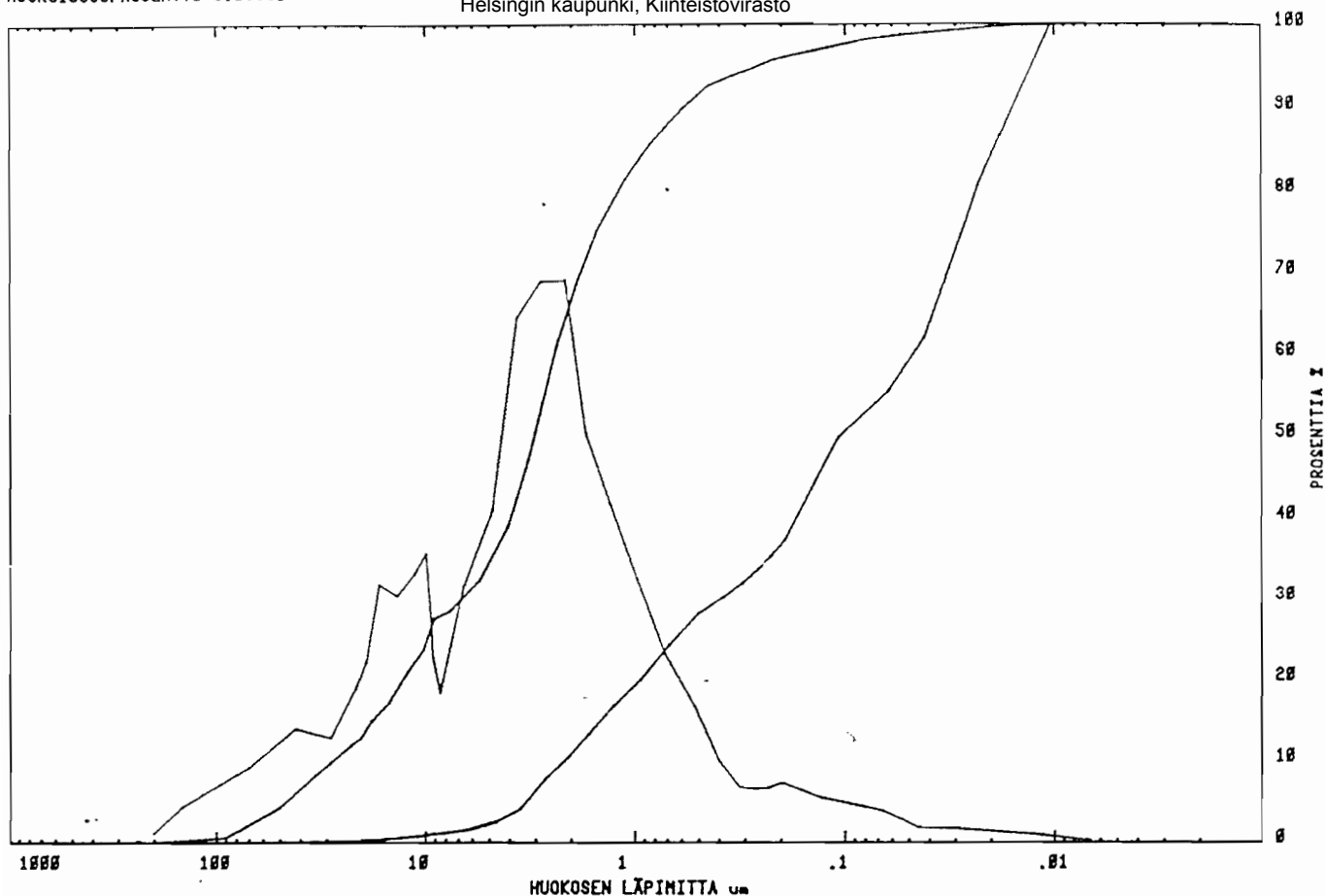


NÄYTTEEN MASSA 1.253
TILAVUUSPAINO .209653
NÄENNAISTIHEYD .222737

HUOKOISUUS-% 5.87391
KONTAKTIKULMA 130

P	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SQM/KG
.9	52.97	200.54	0	0
2	52.79	90.24	.003	.09
3.6	52.31	50.13	.011	.61
5.3	51.95	34.05	.017	1.22
7.9	51.04	22.84	.033	3.52
8.9	50.74	20.27	.038	4.48
10	50.44	18.04	.043	5.57
12.2	49.58	14.79	.058	9.22
14.9	48.32	12.11	.08	15.75
17.7	47.68	10.19	.091	19.74
19	46.98	9.49	.103	24.66
19.9	46.71	9.06	.108	26.67
16	40.38	8.82	.108	26.67
20	40.19	7.38	.111	28.3
26	39.79	5.93	.118	32.49
34	38.92	4.7	.133	43.93
40	38.05	4.07	.148	57.67
50	36.46	3.33	.175	87.59
61	35.34	2.77	.195	113.11
74	34.46	2.31	.21	137.18
90	33.76	1.92	.222	160.19
102	33.26	1.7	.23	179.29
147	33.11	1.19	.233	186.66
204	32.43	.86	.245	233.3
303	31.84	.58	.255	291.36
574	31.35	.31	.263	374.26
701	31.22	.25	.266	406.15
1108	31	.16	.269	482.59
1544	30.88	.11	.272	543.61
2136	30.79	.08	.273	607.11
6085	30.6	.02	.276	906.17
16129	30.41	.01	.28	1713.81
26594	30.41	0	.28	1713.81
30125	30.41	0	.28	1713.81

Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto



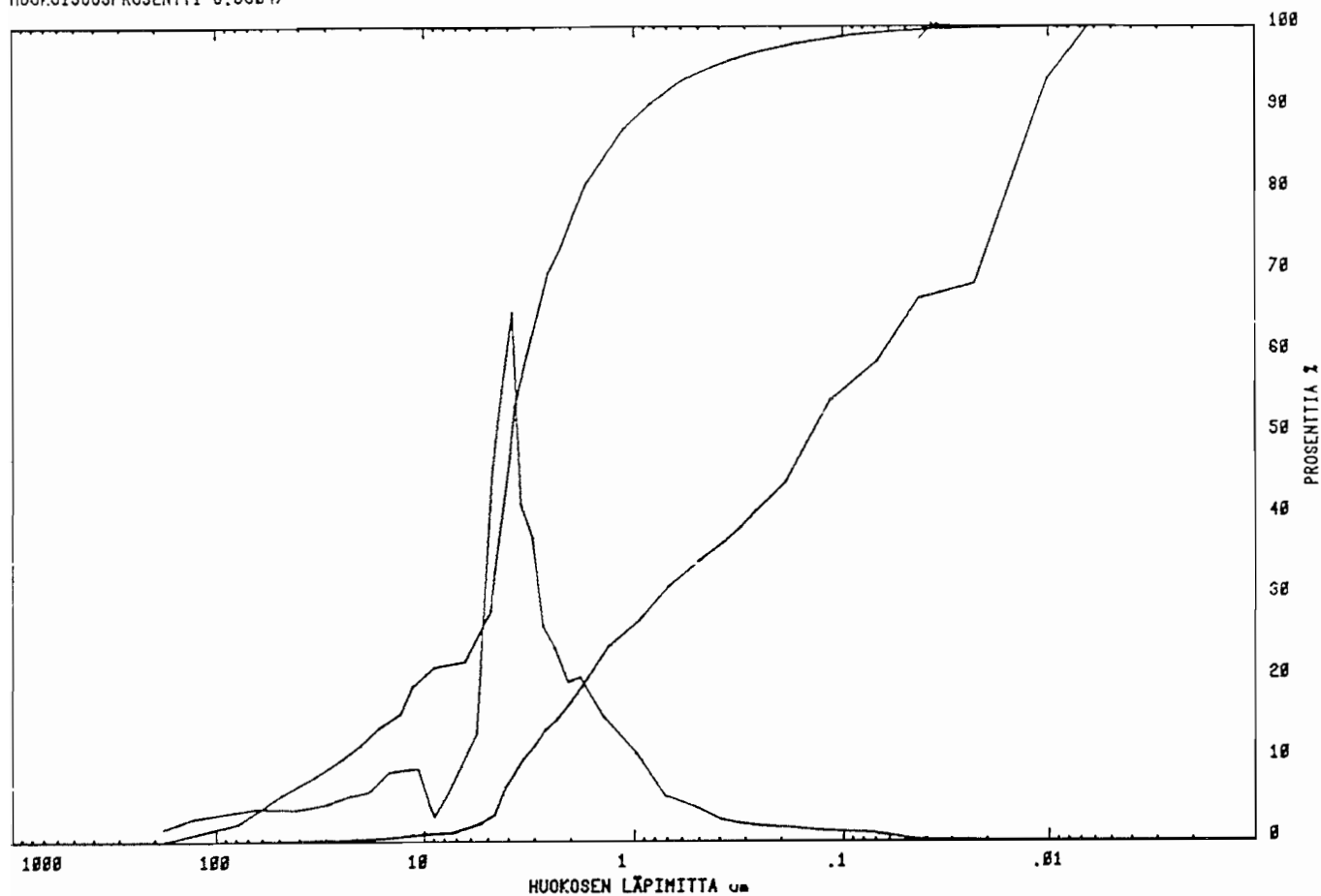
NÄYTTEEN MASSA 1.356
TILAVUUSPAINO .213572
NAENNAISTIHEYD .227335

HUOKOISUUS-% 6.05381
KONTAKTIKULMA 130

F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SDM/KG
.9	53.3	200.54	0	0
2	53.2	90.24	.001	.05
3.6	52.53	50.13	.012	.71
5.3	51.83	34.05	.023	1.81
7.9	51.18	22.84	.033	3.33
8.9	51.01	20.27	.036	3.83
10	50.65	18.04	.042	5.03
12.2	50.25	14.79	.048	6.6
14.9	49.58	12.11	.059	9.81
17.7	49.08	10.19	.067	12.69
19	48.66	9.49	.074	15.42
19.9	48.42	9.06	.077	17.07
15	43.25	9.27	.077	17.07
19	43.06	7.7	.08	18.51
28	42.38	5.57	.091	25.22
40	41.2	4.07	.11	41.2
51	39.8	3.27	.132	65.81
72	37.31	2.37	.172	123.51
91	35.93	1.9	.194	165.17
116	34.76	1.5	.213	209.54
160	33.65	1.1	.23	265.13
209	32.9	.84	.242	315.01
299	32.15	.59	.254	383.28
399	31.65	.44	.262	445.58
513	31.46	.34	.265	476.45
630	31.32	.28	.268	504.9
730	31.21	.24	.269	531.48
831	31.12	.21	.271	556.43
1008	31.02	.17	.272	589.05
2281	30.68	.07	.278	787.1
3341	30.59	.05	.279	876.67
5004	30.52	.03	.28	979.95
10218	30.41	.01	.282	1276.1
24081	30.36	0	.283	1579.45
30064	30.36	0	.283	1579.45

NÄYTE N:0 11

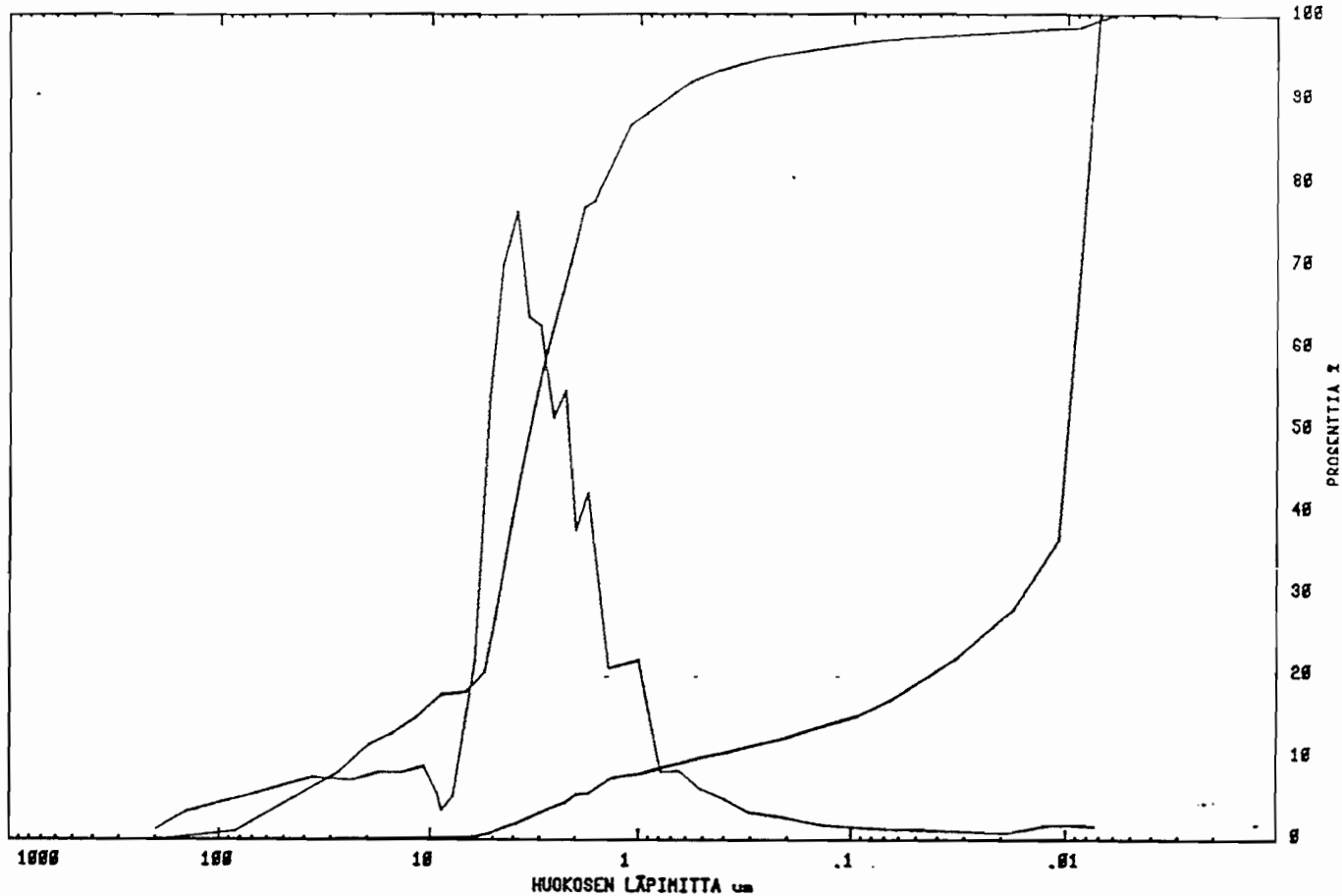
LIITE (9)/5



NÄYTTEEN MASSA 1.287
TILAVUUSPAINO .214284
NÄENNAISTIHEYD .234346

HUOKOISUUS-% 8.56047
KONTAKTIKULMA 130

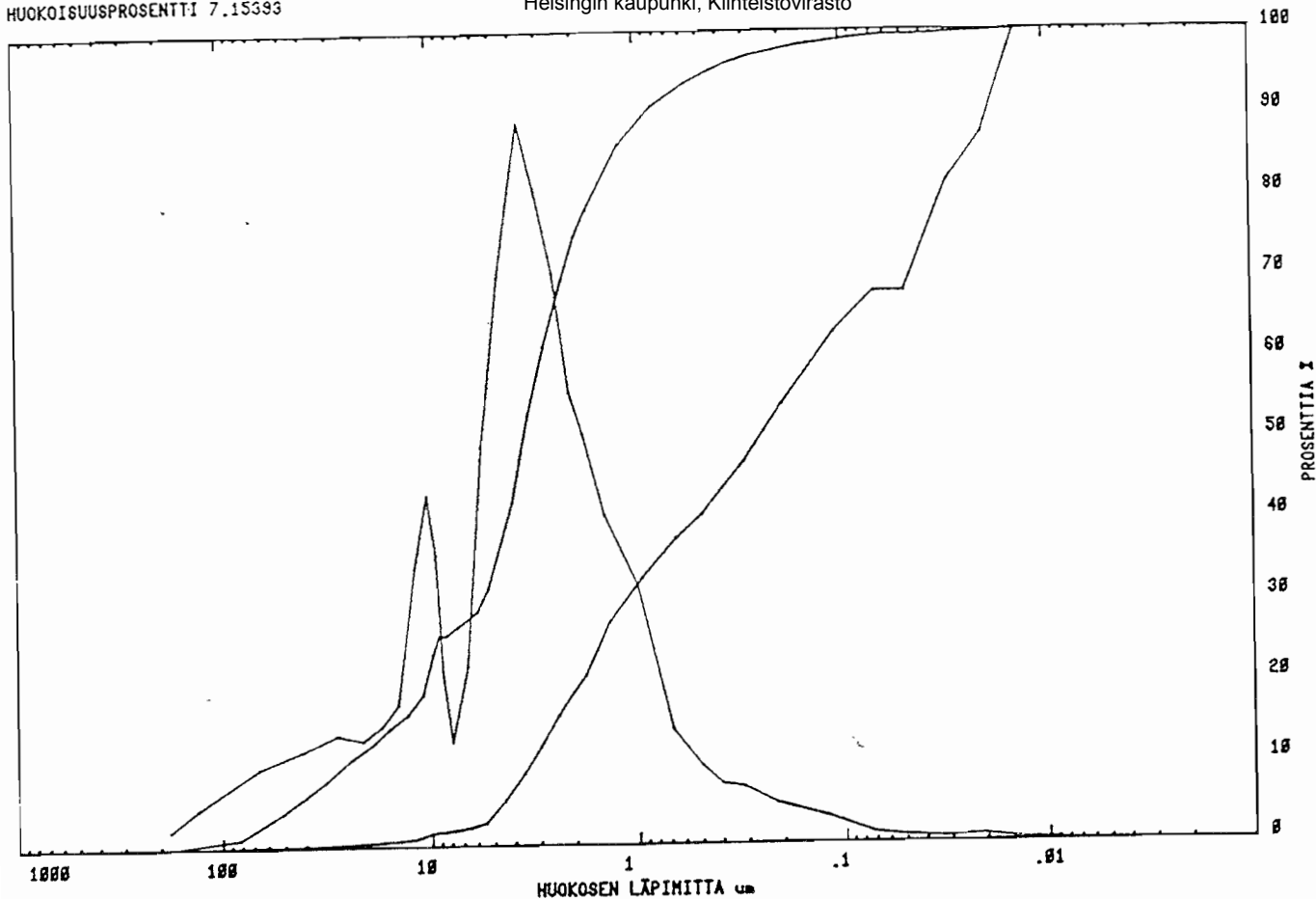
P	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SQM/KG
1	52.02	180.49	0	0
2.3	51.5	78.47	.008	.31
3.7	50.66	48.78	.022	1.25
5.3	50.13	34.05	.031	2.14
7	49.67	25.78	.039	3.2
8.9	49.2	20.27	.047	4.59
11	48.7	16.4	.055	6.44
14	48.28	12.89	.062	8.4
15.9	47.5	11.35	.075	12.74
18.3	47.16	9.86	.081	14.9
20.2	46.92	8.93	.085	16.62
16	46.71	8.82	.085	16.62
24	46.55	6.34	.088	18.08
33	45.07	4.83	.113	36.2
35	43.91	4.6	.132	52.73
42	40.69	3.92	.186	103.8
45	39.07	3.69	.214	132.38
52	37.55	3.24	.239	161.95
59	36.4	2.88	.258	187.27
67	35.16	2.56	.279	218
78	34.42	2.21	.292	238.93
90	33.49	1.93	.307	269.19
104	32.59	1.68	.323	302.81
158	31.01	1.12	.349	381.77
212	30.28	.83	.361	432.91
300	29.59	.59	.373	499.48
414	29.21	.43	.379	550.43
505	29.01	.35	.383	584.88
606	28.87	.29	.385	613.99
717	28.74	.25	.387	646.17
846	28.65	.21	.389	672.47
1023	28.56	.17	.39	703.9
2052	28.28	.08	.395	864.52
3146	28.2	.05	.396	942.08
5075	28.12	.03	.398	1064.69
10415	28.11	.01	.398	1093.37
24968	28.05	0	.399	1489.04
30044	28.04	0	.399	1599.45



NÄYTTEEN MASSA 1.444
TILAVUUSPAINO .241043
NÄENNAISTIHEYD .258216
HUOKOISUUS-% 6.65078
KONTAKTIKULMA 130

P	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SQM/KG
.9	51.42	200.54	0	0
2.1	51.22	85.94	.002	.09
3.9	50.49	46.27	.013	.82
6.5	49.89	27.76	.022	1.86
9	49.27	20.05	.032	3.45
11.5	49.04	15.69	.035	4.24
15.3	48.66	11.79	.041	5.93
18.4	48.32	9.8	.046	7.83
20.2	48.16	8.93	.048	8.85
16	48.33	8.82	.048	8.85
22	48.27	6.82	.049	9.32
28	47.83	5.56	.056	13.62
32	46.64	4.97	.074	27.19
39	44.55	4.18	.105	54.75
45	43.18	3.68	.125	75.7
52	41.86	3.22	.145	98.68
60	40.65	2.82	.163	122.72
72	39.36	2.38	.183	152.59
79	38.68	2.18	.193	170.46
93	37.41	1.86	.212	208.22
104	37.27	1.67	.214	212.96
156	35.59	1.13	.239	287.38
199	35.25	.89	.244	307.8
253	34.89	.7	.25	335.2
300	34.65	.59	.253	357.5
401	34.41	.44	.257	385.68
500	34.27	.35	.259	406.77
696	34.11	.25	.261	438.71
1069	33.97	.16	.263	479.87
1596	33.85	.11	.265	533.07
2170	33.78	.08	.266	576.92
3131	33.7	.05	.267	647.37
7536	33.59	.02	.269	842.28
12449	33.52	.01	.27	1074.44
20203	33.46	0	.271	1399.78
30126	33.17	0	.275	3822.68

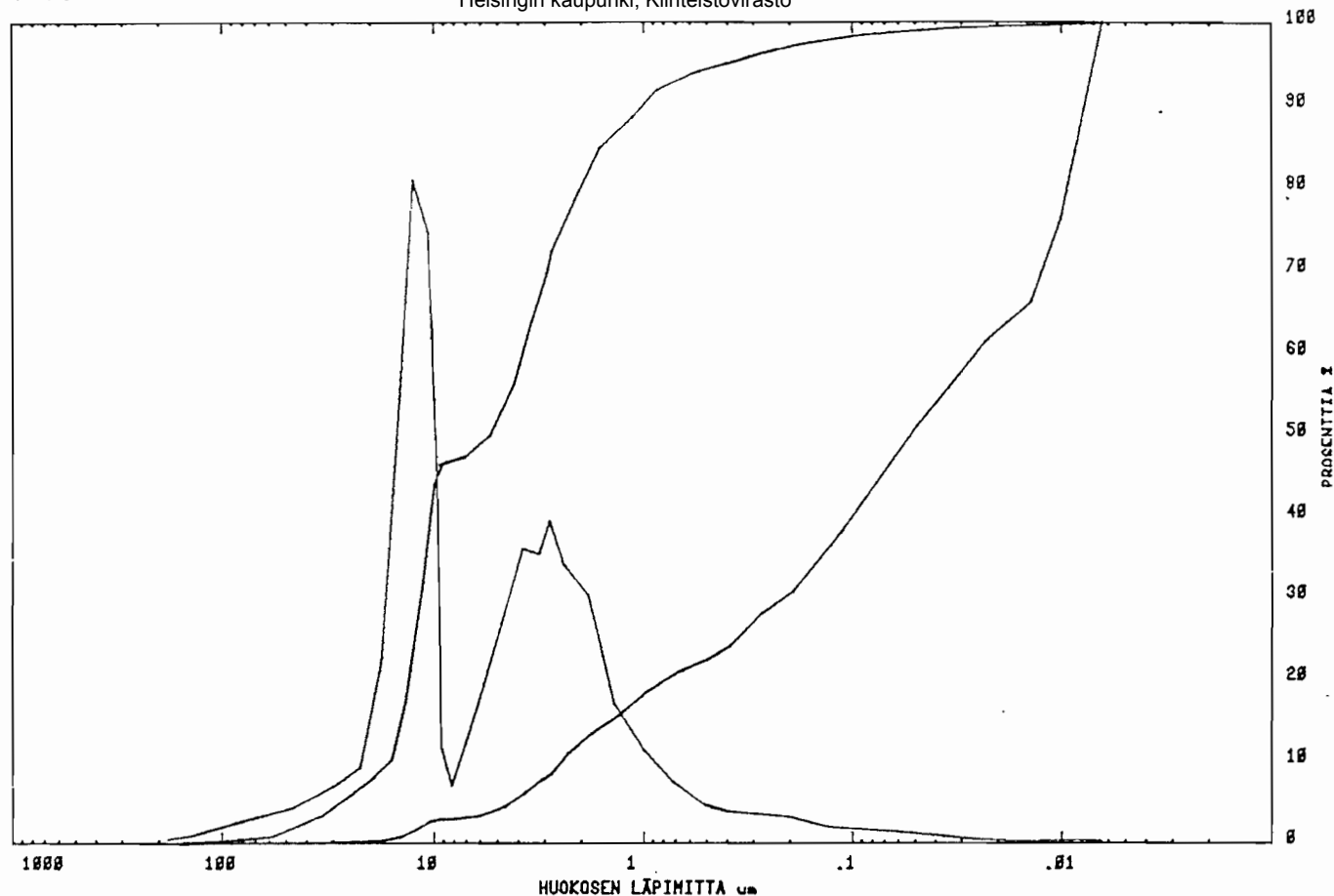
NÄYTE N:O 14
LIITE (11)/5



NÄYTTEEN MASSA 1.348
TILAVUUSPAINO .225284
NÄENNAISTIHEYYS .242643

HUOKOISUUS-% 7.15393
KONTAKTIKULMA 130

F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SDM/KG
1	50.63	180.49	0	0
2.2	50.41	82.04	.003	.12
3.5	49.8	51.56	.013	.74
5.6	49.03	32.23	.025	1.98
7.4	48.49	24.39	.034	3.23
9.7	48.06	18.6	.041	4.54
11.3	47.75	15.97	.046	5.7
14	47.4	12.89	.051	7.27
16.5	46.93	10.93	.059	9.82
18.5	45.94	9.75	.075	15.98
19.9	45.47	9.06	.082	19.19
17	39.31	8.41	.082	19.19
20	39.1	7.38	.086	20.9
26	38.72	5.93	.092	24.61
30	38.18	5.25	.1	30.83
41	36.07	3.99	.134	60.66
50	33.95	3.34	.168	98.04
61	32.26	2.78	.195	133.76
76	30.63	2.26	.222	175.65
89	29.59	1.94	.238	207.52
102	28.96	1.7	.248	229.72
150	27.37	1.17	.274	302.94
218	26.47	.81	.288	362.92
316	25.92	.56	.297	415.79
398	25.67	.44	.301	447.82
502	25.45	.35	.305	483.29
645	25.28	.27	.307	518.15
1120	25.03	.16	.311	596.89
2112	24.86	.08	.314	694.82
3029	24.8	.05	.315	749.69
4178	24.8	.04	.315	749.69
7734	24.73	.02	.316	898
10001	24.71	.01	.317	961.3
16021	24.68	.01	.317	1100.03
20281	24.68	0	.317	1100.03
25064	24.68	0	.317	1100.03
30004	24.68	0	.317	1100.03



NÄYTTEEN MASSA 1.684
TILAVUUSPAINO .279022
NÄENNAISTIHEYD .30552

HUOKOISUUS-% 8.67299
KONTAKTIKULMA 130

F	C	D	V	A
PSIA	PF	UM	CDM/KG	SDM/KG
1	49.87	180.49	0	0
1.8	49.79	100.27	.001	.03
3.1	49.66	58.22	.002	.12
5.3	49.05	34.05	.01	.85
7.2	48.46	25.06	.018	1.9
9.2	47.95	19.61	.024	3.09
11.4	47.38	15.83	.031	4.76
13.3	45.68	13.57	.053	10.73
15.9	42.34	11.35	.096	24.62
18.2	39.2	9.91	.137	39.85
19.8	38.61	9.11	.144	43.05
15	33.12	9.27	.144	43.05
21	32.9	7.09	.147	44.45
29	32.25	5.4	.155	49.89
39	30.73	4.17	.175	66.47
48	28.89	3.46	.198	91.44
58	27.43	2.91	.217	115.14
61	26.83	2.78	.225	125.97
83	25.16	2.08	.246	162.03
107	23.84	1.63	.263	199.12
155	22.96	1.13	.275	232.84
206	22.15	.86	.285	275.28
307	21.66	.58	.291	311.54
398	21.45	.44	.294	332.82
507	21.26	.35	.296	357.48
771	20.94	.23	.301	416
1054	20.78	.17	.303	457.71
2061	20.54	.08	.306	564.36
5163	20.35	.03	.308	759.86
10169	20.28	.01	.309	912.66
15137	20.26	.01	.309	984.75
20118	20.23	0	.31	1135.57
25306	20.2	0	.31	1329.38
30124	20.18	0	.31	1487.25

KIINTOPISTEET	X	Y
1	6675108.4420	552954.6100
'ORIGO'	20000.0000	50000.0000
SUUNTAKULMA	0.8871	

X- kaup.	Y- kaup.	Xk- tutk.	Yk- tutk.	Nimi
6677173.017	562841.996	21925.208	60015.185	JOS-3
6679374.017	562534.995	23130.369	59724.948	-4
6678477.017	562769.994	23230.099	59960.360	-5
6677178.016	562465.996	21935.432	59640.291	-48
6677340.017	562799.996	22092.777	59975.516	KLH-2
6677440.018	563539.996	22182.457	60716.837	-4
6677200.020	564689.996	21926.458	61863.382	-3
6676460.021	565299.998	21178.031	62463.013	-5
6676600.022	565329.997	21317.600	62494.960	-6
6679400.019	563999.992	24135.858	61204.100	-9
6679530.019	563899.992	24267.239	61105.921	-10
6679900.018	563119.992	24648.070	60331.152	-11
6679700.018	563199.992	24446.975	60408.358	-12
6679650.017	563089.992	24398.512	60297.672	-13
6679030.019	564212.994	23762.926	61411.925	-205
6675840.013	560809.998	20620.648	57964.810	-206
6678267.994	549189.994	23210.309	46379.766	-702
6677276.993	548403.996	22230.356	45580.035	-703

TAULUKKO

Outhieiden ottopaikat Helsingin kaupungin ja
valtion koordinaatistoissa

GEOTEKNISEN OSASTON TIEDOTTEET

1. Anttikoski, U., Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen. 1973. 30,-
- *) 2. Anttikoski, U., Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu. 1973. 50,-
- *) 3. Anttikoski, U., Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu. 1974. 50,-
- *) 4. Mäkinen, R., Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella. 1974. 50,-
- *) 5. Saarelma, M., Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys. 1974. 30,-
6. Saarelma, M., Kittapaalujen kantavuus. 1976. 30,-
7. Petäjä, J., Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen. 1977. 50,-
- *) 8. Raudasmaa, P., Metrotunnelien injektointi. 1977. 120,-
- *) 9. Anttikoski, U., Kalliotunnelien käyttö varastointiin. 1977. 50,-
10. Tikkanen, H., Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa. 1978. 70,-
- *) 11. Arkima, O., Kluuvien ruuheen jäädytys. 1978. 120,-
12. Raudasmaa, P., Puiset perustusrakenteet. 1979. 50,-
13. Havukainen, J., Voimalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa. 1979. 50,-
14. Vähäaho, I., Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen. 1979. 50,-
15. Raudasmaa, P., Pohjavesitarkkailu -80. 1980. 50,-
- *) 16. Anttikoski, U., Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunneli-konferenssin kokemusten perusteella. 1979.
17. Roinisto, J., Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunneleihin. 1981. 50,-
- *) 18. Havukainen, J., Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa. 1981. 50,-
19. Roinisto, J., Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys. 1981. 50,-
20. Vuola, P., Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta. 1981. 50,-
21. Havukainen, J., Korhonen, O., Tonttialueiden maarakenteet. 1981. 30,-
22. Havukainen, J., Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä. 1981.
23. Havukainen, J., Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa. 1982. 50,-
24. Latvala, A., Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys. 1982. 30,-
25. Havukainen, J., Hämäläinen, A., Sulamäki, A., Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttö-mahdollisuuksista maarakentamisessa. 1982. 30,-
- *) 26. Halkola, H., Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparimäessä. 1982.
27. Paavola, P., Kunnallisteknisten tunnelien louhintakustannusselvitys. 1982. 50,-
- *) 28. Vähäaho, I., Maarakennusta koskeva mallityöselvitys. 1982. 70,-
29. Gulin, K., Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa. 1982. 50,-
30. Halkola, H., Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät. 1982. 50,-
31. Havukainen, J., Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet. 1983. 30,-
32. Havukainen, J., Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar. 1983. 30,-
33. Havukainen, J., The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines. 1983. 30,-
34. Salmelainen, J., Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta. 1983. 50,-
35. Havukainen, J., Matkakertomus kivihiilituhkien ympäristövaikutuskonferenssista. 1983.
36. Hytti, P., Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa. 1984. 60,-
37. Leinonen, J., Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa. 1984. 60,-
38. Pirinen, J., Kelluvan rantapenkereen rakentaminen. 1984. 60,-
39. Latvala, A., Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti. 1984. 60,-
40. Korpela, J., Schüller, M., Jäykkien liitosjohtojen pohjarakenneselvitys (Jäli-selvitys). 1984. 80,-
41. Lahtinen, E.-R., Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, väliraportti). 1985. 30,-
42. Korpi, J., In Situ-kuormituskoe painumien määrittämiseksi. 1985. 60,-
43. Havukainen, J., Esirakentamisen kehittäminen. 1985. 60,-
44. Vähäaho, I., Jäähdytysmenetelmän käyttö. 1987. 60,-
45. Havukainen, J., Hämäläinen, A., Latvala, A., Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa. 1987. 60,-
46. Julkunen, A., Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa. 1987. 60,-
47. Hutri, K.-L., Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin. 1988. 60,-

*)PAINOS LOPPUUNMYTTY