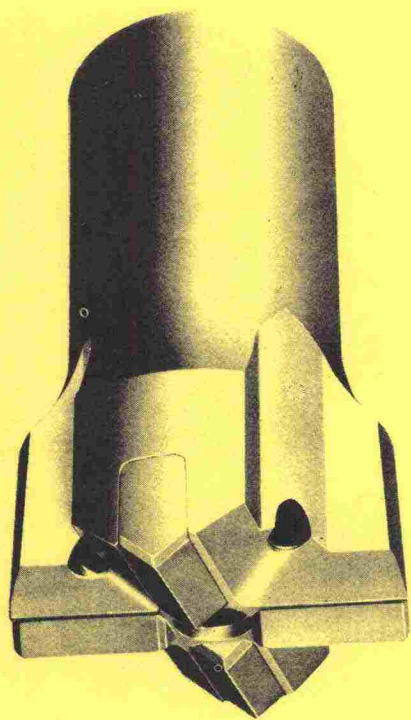


KALLIONPORAUKSEN AIHEUTTAMA PÖLYÄMINEN



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
TIERAKENNUSOSASTO

TVH 2.707 A4

08

TIE

KALLION



ESIPUHE

Tienrakentamisessa joudutaan usein louhimaan kalliota tielinjan leikkauksissa. Louhintaa suoritetaan myös tiealueen ulkopuolella tienpitoaineen ottamispaikoilla. Kalliolouheen osuus murskattavasta aineksesta on nykyään noin 20 %.

Jo tällä hetkellä esiintyy Suomessa eräillä seuduilla puutetta sorasta. Luonnon- ja maisemansuojelunäkökohtien huomioonotto johtanee lähitulevaisuudessa eräiden soraesiintymien rauhoittamiseen sekä soran nykyistä keskitetympään ja valvotumpaan käyttöön. Siten soran niukkuus ja kuljetusmatkojen pidentyminen johtaa kallioiden lisääntyvään hyväksikäyttöön tulevaisuudessa.

Kallion louhiminen tuottaa tunnetusti haittaa sekä työmaalla oleville että sen ympäristössä asuville ihmisille. Haitat aiheutuvat lähinnä porauksen synnyttämästä pölystä ja melusta. Työsuojelulainsäädäntö tulee edellyttämään lähivuosina toimenpiteitä porauksesta työntekijöille aiheutuvien haittojen vähentämiseksi. Tekeillä olevat ilmansuojelu- ja meluntorjuntalait tullevat säätelemään ympäristön kannalta tarvittavia toimenpiteitä. Siten työ- ja ympäristönsuojelunäkökohtien huomioonotto on tärkeää louhintatöiden suunnittelussa ja suorituksessa.

Tie- ja vesirakennushallituksen toimeksiannosta on Helsingin teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööri-osaston tielaboratorio suorittanut vuonna 1974 kaksiosaisen perustutkimuksen louhinnan aiheuttamasta pölystä ja melusta. Oheisen pölyä käsittelevän osan on laatinut tekn.yo. T. Jokimies.

SISÄLLYSLUETTELO

I	PORAUS PÖLYLÄHTEENÄ	1
	1. Johdanto	1
	2. Ilmansuojelun käsitteitä	2
	2.1 Yleistä	2
	2.2 Käsitteitä ja määritelmiä	3
	2.3 Ilman laastukriteerit	5
	3. Kivipölyä koskevat säännökset eri maissa	7
	3.1 Yleistä	7
	3.2 Ruotsi	7
	3.3 Norja	9
	3.4 Saksan Liittotasavalta	9
	3.5 Saksan Demokraattinen Tasavalta	11
	3.6 Suomi	12
	3.7 Muiden maiden säännöksiä	12
	4. Porauspölyn muodostumiseen vaikuttavat tekijät	17
	4.1 Yleistä	17
	4.2 Suomen kallioperä	19
	4.21 Yleistä	19
	4.22 Kivilajien esiintyminen	20
	4.23 Kivilajien koostumus	24
	4.24 Kivilajien ominaisuudet	27
	4.3 Kallioporakoneet	32
	4.31 Konetyypit ja rakenne	32
	4.32 Lisälaitteet	33
	4.33 Poranterät	34
	4.34 Kapasiteettiin vaikuttavat tekijät	36
	4.341 Syöttövoima	36
	4.342 Ilmanpaine	37
	4.343 Vedenpaine	38
	4.344 Reiän pituus ja koko	39
	4.345 Kallioporakoneiden kuluneisuus	40
	4.346 Poran pyörintänopeus	41
	4.4 Louhintasuunnitelma	41
	4.5 Porauksen pölyntorjuntamenetelmät	44
	4.51 Pölyn siirto	44
	4.52 Pölyn sidonta huuhteluväliaineella	44

4.521	Vesihuuhtelu	44
4.522	Sumuhuuhtelu	44
4.523	Pölyn sidonta vaahdolla	46
4.53	Pölynerottimet	46
4.531	Pölyn siirto erottimeen	46
4.532	Pölyn erottaminen	50
5.	Porauspölyn leviäminen ympäristöön	51
5.1	Pölyhiukkasten rakeisuus, massa ja pinta-ala ...	51
5.2	Vapaa putoaminen	54
5.3	Brownin liike	56
5.4	Flokkautuminen	56
5.5	Meteorologiset tekijät	57
5.6	Maaston vaikutus	60
6.	Leijuvan pölyn mittaus- ja tutkimusmenetelmät	61
6.1	Pölyn mittauslaitteet	61
6.2	Hiukkaspitoisuuden mittaus	62
6.21	Gessnerin kammio	62
6.22	Konimetri	62
6.23	Membran-suodatin	63
6.24	Lämpösaostin	63
6.3	Gravimetriset määrittäislaitteet	64
6.31	Impinger-laite	64
6.32	Suodatinlaitteet	65
6.33	Elektrostaattiset pölynkeräimet	67
6.4	Pölypitoisuuden epäsuorat määrittämenetelmät ...	68
6.41	Tyndalloskooppi	68
6.42	Konitesti	68
6.43	Akustiset laitteet	69
6.5	Rakeisuuden määrittäys	69
6.6	Kvartsipitoisuuden määrittäys	71
7.	Kivipölyn ympäristölle aiheuttamat haitat	72
II AVOLOUHINTATYÖMAILLA SUORITETUT MITTAUKSET		74
1.	Porauspöly ja sen ominaisuudet	74
1.1	Kivilajit ja niiden ominaisuudet	74

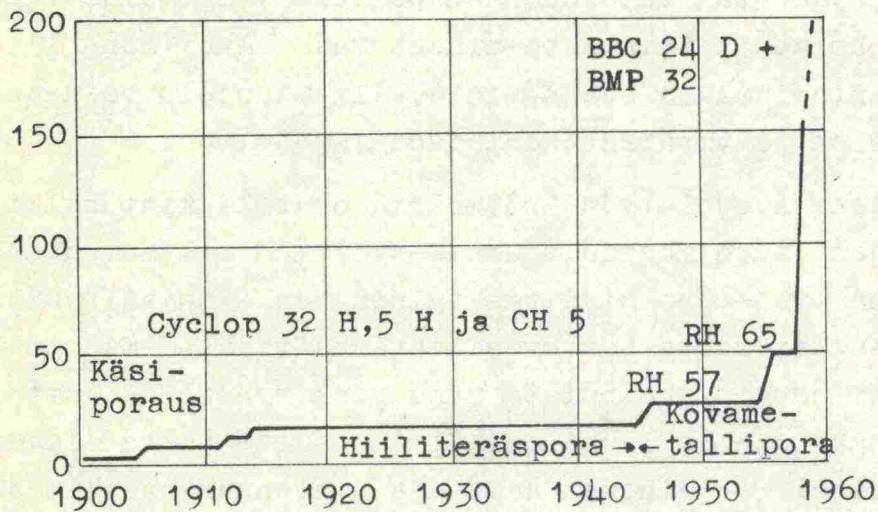
1.2	Työmaakuvaus ja porauskalustot	75
1.3	Pölyemissio	80
1.31	Emission riippuvuus porareian koosta	80
1.32	Emission riippuvuus tunkeutuvuudesta	82
1.33	Emission riippuvuus ajasta	82
1.34	Porauksen kokonaisemissio	83
1.35	Hienon aineksen emissio	85
1.4	Porauspölyn ominaisuudet	85
1.41	Pölynäytteen ottoon käytetty laitteisto ...	85
1.42	Pölyn rakeisuus	87
1.421	Rakeisuuden määrittely	87
1.422	Rakeisuuskäyrät ja niiden vertailu ..	90
1.43	Pölyn mineraalikoostumus	93
1.431	Mineraalikoostumuksen määrittely	93
1.432	Mineraalikoostumuksen vertailu	93
2.	Ympäristössä suoritettavat mittaukset	93
2.1	Leijuvan pölyn mittauslaitteisto R 1973	93
2.2	Tehokeräin	95
2.3	Mittaussuunnitelma ja -järjestely	95
2.4	Säähavainnot	96
2.5	Pölyimmissio	96
2.51	Mittaustulokset	96
2.52	Pölykonsentraation riippuvuus etäisyydestä	98
2.53	Pölykonsentraation riippuvuus emissiosta ..	108
2.54	Pölykonsentraation riippuvuus tuulen nopeudesta	109
2.55	Pölyn hajaantuminen sivusuunnassa	111
3.	Virhetarkastelu	111
3.1	Emissio	111
3.2	Rakeisuus	111
3.3	Mineraalikoostumus	112
3.4	Pölynäytteen edustavuus	112
3.5	Immissio	112
4.	Porauspölyn haitallisuus ja haittojen torjunta	113
4.1	Haitallinen etäisyys	113
4.2	Pölyhaittojen torjunta	116
4.21	Menetelmät	116

4.22 Suojaetäisyydet	116
4.23 Pölynerottimien käyttökustannukset	117
YHTEENVETO	118
ENGLISH SUMMARY	119
KIRJALLISUUSLUETTELO	121
LIITTEET	124

I PORAUS PÖLYLÄHTEENÄ

1. Johdanto

Avolouhinnassa syntyy pölyä pääasiassa porauksen, räjäytyksen ja louheen kuormauksen vaikutuksesta. Porausta voidaan pitää ensisijaisena pölyn aiheuttajana, koska pölynmuodostus on voimakasta ja jatkuvaa. Pengerporauksessa ovat poraustulokset viimeisten 50 vuoden aikana nousseet kymmenkertaisiksi miestä ja päivää kohti (kuva 1 / 3 /). Samalla on luonnollisesti syntyvä pölymäärä noussut moninkertaiseksi.



Kuva 1. Porametrin määrän kehitys miestä ja päivää kohti / 3 /

Muita pölyämisen aiheuttajia voidaan pitää toissijaisina pölylähteinä niiden hetkellisyyden tai rajoitetun keston ja porauksen verrattuna vähäisen pölymäärän syntymisen johdosta. Räjäytyksen ja louheen kuormauksen lisäksi toissijaista pölyämistä aiheuttavat työmaaliikenne sekä pyörteinen tuuli, joka saattaa nostaa jo laskeutuneen pölyn uudelleen ilmaan. Työmaalla mahdollisesti oleva murskausasema voi olla ensisijainen tai toissijainen pölylähteiden aseman suojauksesta riippuen.

Tutkimuksessa on lähinnä tarkasteltu porauksen aiheuttamaa pölyämistä. Tutkimus jakaantuu kahteen osaan, joista ensimmäisessä tarkastellaan pölyämistä ilmansuojelun ja työsuojelun kannalta sekä pölyn muodostumiseen ja leviämiseen vaikuttavia tekijöitä sekä pölyn haittoja.

Toisessa osassa selvitetään porauksessa syntyvän pölyn emission suuruutta sekä siihen vaikuttavia tekijöitä. Pölynäytteiden perusteella selvitetään pölyn rakeisuutta ja ominaisuuksia. Suoritettujen leijumamittausten perusteella tarkastellaan pölyn leviämistä ympäristöön. Lopuksi tarkastellaan tulosten perusteella pölyn haitallisuutta ja haitallisuusrajoja.

2. Ilmansuojelun käsitteitä

2.1 Yleistä

Ilmansuojelun päämääränä on järkiperäisin menetelmin ennakolta ehkäistä, vähentää tai kokonaan poistaa välittömästi tai välillisesti ihmisen toiminnasta aiheutuvaa ulkoilman likaantumista, pilaantumista ja saastumista. Ilmansuojelu voidaan jakaa ihmiskeskeiseen ja ympäristökohtaiseen suojeluun.

Ihmiskeskeisen suojelutyön päämääriä ovat lääkintöhallituksen / 19 / mukaan muun muassa seuraavat: Ilman pilaantumisesta ei saa aiheutua väestön eikä yksityisen henkilön sairastumista, vammautumista tai muuta terveydellistä haittaa. Ilman tulee olla jatkuvasti hengityskelpoista myös riskiryhmille, kuten sairaille, vanhuksille ja lapsille. Ilman tulee olla laadultaan sellaista, ettei se aiheuta haittoja mielenterveydelle ja että se on miellyttävää hengittää.

Ympäristökohtaisessa ilmansuojelussa painottuvat ensisijaisesti seuraavat tavoitteet: Ilman pilaantuminen ei saisi vahingoittaa kasveja eikä pilata tai muutoin turmella muitakaan aineellisia kohteita. Ilman tulisi olla puhtaudeltaan niin korkealuokkaista, että eläimet ja kasvit pystyvät sitä jatkuvasti hengittämään ja hyväksikäyttämään. Rakennetut ja muut elottomat kohteet eivät saisi joutua kohtuuttoman korroosion, pilaantumisen tai likaantumisen kohteiksi. Ilman koostumuksen tulisi olla laadultaan mahdollisimman paljon puhtaan ilman koostumusta vastaava.

Puhtaan ulkoilman keskimääräinen koostumus on esitetty taulukossa 1 / 16 /. Normaalikoostumukseen kuuluvan vesihöyryn osuus voi ulkoilmassa vaihdella 630...31660 mo (-25°C ... $+25^{\circ}\text{C}$, 100 % suhteellinen kosteus). Likimain taulukossa kuvattua puhdasta ilmaa tavataan ainoastaan avomeren pinnan yläpuolella noin 1000

kilometrin päässä rannasta.

Tyyppi	Seososa	Pitoisuus mo (miljoonasosina)
Pääainekset	Typpi (N_2)	780900
	Happi (O_2)	209500
	Argon (A)	9300
	Hiilidioksidi (CO_2)	300
Sivuainekset	Neon (Ne)	18
	Helium (He)	5.2
	Krypton (Kr)	1
	Vety (H_2)	0.5
	Ksenon (Xe)	0.08

Taulukko 1. Puhtaan ulkoilman keskimääräinen koostumus /16/

Puhtaan ilman aineksiin on normaalisti sekoittunut joukko epäpuhtauksia ja tällöin koostumus on edelläolevasta muuttunut. Asuttamattomilla alueilla nämä ovat luontoperäisiä eri olomuodon aineksia, kiinteitä, kuten orgaaniset humuksen tomut, epäorgaaniset pölyn ainekset ja alkuperää tarkemmin eritellen vulkaaninen ja meteoriittipöly, sienien itiöt, bakteerit ja muut mikrobit, siitepölyhiukkaset, nestemäisiä, kuten erilaiset nestehöyryt, roiskeet, sumut tai kaasumaisia, kuten typpioksiduuli, metaani, rikkivety ja -dioksidi sekä otsoni.

Asutus ja muu ihmisen toiminta aiheuttaa suuria muutoksia ulkoilman koostumukseen. Epäpuhtauksien laatu ja määrä vaihtelevat yhteisön aktiviteetista johtuen niin suuresti, että käytetään erittelyä maaseutu-ilma ja kaupunki-ilma.

2.2 Käsitteitä ja määritelmiä

Ilman puhtauden perustaso määräytyy luontoperäisten aineksien pitoisuuksista. Perustasosta poikkeavan ilman puhtauden määrittelyssä joudutaan käyttämään erilaisia määritelmiä, käsitteitä ja yksiköitä, jotka mahdollisimman selvästi kuvaavat tilannetta.

Ilman pilaantumisella (likaantumisella) tarkoitetaan sellaisia ilman koostumuksessa tapahtuvia muutoksia, joista välittömästi

tai välillisesti aiheutuu haittaa tai vahinkoa ihmisille, ihmisen toiminnoille, eläimille, kasveille tai materiaaleille.

Puhdas ilma on kaasuseos, jonka koostumus vaihtelee ja joka sisältää myös epäpuhtauksia, jotka ovat syntyneet luonnollisten prosessien tuotteina.

Epäpuhdas ilma on kaasuseos, jonka koostumus poikkeaa puhtaan ilman koostumuksesta siten, että haittaa esiintyy tai on edotettavissa.

Epäpuhtaus on pilaantumista aiheuttava ainesosa.

Emissiolla tarkoitetaan tapahtunutta kaasumaisten ja/tai hiukkasjakoisten aineiden päästöä ilmaan epäpuhtauslähteestä (sisäisellä energialla) tai poistoa (ulkoisen energian avulla).

Immissiolla tarkoitetaan kohteessa mitattua ilman epäpuhtautta.

Laskeuma on ilman laskeutuvia aineksia ($> 10 \mu\text{m}$) luonnehtiva epäpuhtautustunnus, joka määritellään tavallisesti painoyksikkönä pinta-alayksikköä kohti kuukaudessa.

Leijuma on ilman leijuvia aineksia ($< 10 \mu\text{m}$) luonnehtiva epäpuhtautustunnus, joka määritellään yleensä painoyksikkönä tilavuusyksikköä kohti.

Ilman laatukriteerillä tarkoitetaan epäpuhtauden pitoisuuksien ja vaikutusten välistä riippuvuutta.

Ilman laatuvaatimuksilla tarkoitetaan ilman sisältämien epäpuhtauksien enimmäisarvoja, jotka ovat joko lakisääteisiä tai suositusluonteisia ohjearvoja. Ne määritellään yleensä ilman laatukriteerien perusteella.

Ilman epäpuhtauslähteet voidaan jakaa seuraavasti:

- aluelähteet (teollisuus-, asunto- ja monitoimialueet, liikenneväylät)
- pistelähteet, jotka edelleen jakaantuvat:
 - kiinteisiin lähteisiin (teolliset lähteet, jätteen polttouunit, keskuslämpölaitokset, ym.)
 - liikkuviin lähteisiin (autot, junat, laivat, lentokoneet)

Muodostuvien epäpuhtauksien laadun mukaan lähteet voivat olla joko yhtenäisvaikutteisia tai sekavaikutteisia.

Epäpuhtauksien jaottelu voidaan suorittaa monin eri tavoin. Kar-

keasti voidaan ulkoilman epäpuhtaudet jakaa kaasumaisiin ja hiukkasjakoisiin aineksiin. Hiukkasjakoiset jaetaan edelleen koon ja käyttäytymisen parusteella leijuviin ja laskeutuviin osiin. Lisäksi voidaan epäpuhtauksia luokitella esimerkiksi vaikutusten (myrkyllisyys, syövyttävyys) tai olomuodon (kaasumainen, nestemäinen, kiinteä) mukaan.

Puhtausaste ilmaistaan erilaisten mittaustulosten perusteella. Laskeutuvien ainesten suhteen käytetään massayksikköjä pinta-alayksikköjä kohden (esim. $g/100 m^2$, t/km^2). Arvio lasketaan pienemmiltä koepinnoilta saaduista keräystuloksista. Pitkäaikaisnäytteissä käytetty keräysaika on tavallisesti 2 viikkoa, 30 vuorokautta tai $1/4$ vuotta.

Leijuvien kiinteitten ja kaasuuntuneitten epäpuhtauksien sekä kaasujen suhteen puhtausaste ilmaistaan massayksikköinä saasteen ainesta ilman tilavuusyksikköä kohti tai kaasujen lisäksi tilavuuksien suhteena (mg/m^3 , cm^3/m^3) tai miljoonasosina, (mo) = parts per million (ppm), parts per hundred million (pphm) tai parts per billion (ppb). Kiinteitten aineitten, kuten pölyjen, määrää voidaan ilmaista myös tietynkokoisten hiukkasten lukumääränä määrättyä ilmatilavuutta kohti (hk/cm^3 , hk/m^3). Lisäksi käytetään epäpuhtauksien suhteellisen määrän arvioinnissa valon läpäisyyden perustuvia vertailuasteikkoja, kuten ns. Ringelmanin l. nollasta (100 % valon transmissio) viiteen (0 % valon transmissio) kortiston käyttämä.

2.3 Ilman laatukriteerit

Ilman laatukriteerien laadinnassa on perustana yleensä epäpuhtauksien vaikutus ihmiseen. Laatukriteerien laadinnassa kiinnitetään huomiota paitsi hetkellisiin haittoihin myös pitkäaikaisten vaikutusten aiheuttamaan altistumiseen, jolloin sietoraja saattaa alentua huomattavasti. Maailman terveysjärjestön (WHO) symposiumissa vuonna 1961 on ulkoilman saastuneisuus luokiteltu seuraavasti / 10 / :

- | | |
|----------|--|
| Taso IV | Pitoisuudet ja alttiinaoloajat sellaisia, että niistä aiheutuu tietyissä väestöryhmissä akuutteja sairauksia ja hengenmenoja |
| Taso III | Pitoisuudet ja alttiinaoloajat sellaisia, että niistä aiheutuu elävälle yksilölle fysiologisia |

häiriöitä tai sellaisia muutoksia, jotka johtavat kroonisiin sairauksiin tai lyhentävät elämää

Taso II Pitoisuudet ja alttiinaoloajat sellaisia, että niistä aiheutuu aistinelinten ärsyntyä, näkyvyyden pienentymistä tai muitten epämiellettävyystekijöiden esiintymistä ja niistä voi aiheutua lieviä haitallisuuksia

Taso I Ilma on laadullisesti sellaista, ettei siitä ilmene mitään haittoja

WHO:n luokitusta voidaan pitää yleisenä laatukriteerinä, koska siinä ei ole esitetty mitään tarkkoja lukuarvoja saastepitoisuuksille eri tasoilla.

Kussakin maassa on käytössä erilaisia normeja toisaalta ulkoilman yleiselle laadulle ja toisaalta työpaikoilla sallittaville ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksille (MAC-arvot).

Ulkoilman yleistä laatua koskevat normit sisältävät yleensä määräyksiä sallituista laskeuman ja leijuman kokonaisarvoista riippumatta epäpuhtauksien laadusta. Määräyksiin voi myös sisältyä saasteen osakomponenttien sallitut enimmäispitoisuudet.

Työpaikoilla sallitut enimmäispitoisuudet (MAC-arvot) perustuvat epäpuhtauskuormitukseen, jolle työntekijä on alttiina normaalin 8 tunnin työpäivän aikana. Yhtälöiden 1 ja 2 on oltava

$$\frac{t}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} c dt \leq \text{MAC} \quad (1)$$

$$c \leq c_{\max} \quad (2)$$

voimassa, jotta epäpuhtauskuormitus ei nousisi liian korkeaksi. Yhtälöissä c tarkoittaa hetkellistä konsentraatiota, c_{\max} huippukonsentraatiota lyhytaikaisvaikutukselle, t vaikutusaikaa ja $t_2 - t_1$ työvuoron pituutta (8 h).

MAC-arvot perustuvat työpaikoilla ja eläinkokeilla saatuihin koetuloksiin ja ne ovat jatkuvan kehityksen alaisina. Mikäli useampia epäpuhtauksia esiintyy yhdessä, tulee niiden täyttää yhtälön 3 vaatimus. Yhtälössä $c_1 \dots c_n$ tarkoittaa eri komponent-

$$\frac{c_1}{MAC_1} + \frac{c_2}{MAC_2} + \dots + \frac{c_n}{MAC_n} \leq 1 \quad (3)$$

tien mitattuja konsentraatioita ja $MAC_{1\dots n}$ suurimpia sallittuja arvoja.

3. K i v i p ö l y ä k o s k e v a t s ä ä n n ö k s e t e r i m a i s s a

3.1 Yleistä

Kivipöly voidaan karkeasti luokitella vaaralliseen ja harmittomaan kivipölyyn. Vaarallinen kivipöly sisältää vapaata piidioksidia (kvartssia, tridymiittia tai kristobaliittia), asbestia tai talkkia. Tällaisten pölyjen sallitut enimmäispitoisuudet ovat alhaisempia kuin harmittomalle pölylle asetetut vaatimukset.

Eri maissa on voimassa joko lakisäätteisiä määräyksiä tai suositusluonteisia ohjeita joko pelkästään kokonaispölylle tai sekä kokonaispölylle että erityisesti kivipölylle. Lisäksi joissakin maissa on säännöksiä pölynsidonnasta ja siinä käytettävistä laitteista.

Eri maiden määräykset ja ohjearvot poikkeavat toisistaan josain määrin, mutta pyrkimystä yhtenäiseen käytäntöön on havaittavissa.

3.2 Ruotsi

Ruotsissa on määrätty pitoisuusarvot sekä hienojakoiselle kiteiselle piidioksidille että kokonaispölylle. Hienojakoisen kiteisen piidioksidin raja-arvot ovat / 2 / :

kvartsi	0.2 mg/m ³
kristobaliitti	0.1 mg/m ³
tridymiitti	0.1 mg/m ³

Arvot koskevat kiteistä piidioksidia (kvartssia, kristobaliittia ja tridymiittia) ja hiukkasia, jotka ovat pienempiä kuin 5 μm. Sekapölyn esiintyessä täytyy, kuten muidenkin useampien aineiden esiintyessä yhdessä, huomioida kaikkien aineiden vaikutus. Kokonaispölyn korkeilla pitoisuuksilla (10...15 mg/m³) tulee

yllä olevien lukujen asemesta käyttää niiden puoliarvoja.

Mikäli työpaikalla ei ole mahdollista yksinkertaisesti ja luotettavasti suorittaa tutkimuksia, joilla voidaan määrittää hie-non ($< 5 \mu\text{m}$) pölyn pitoisuus, tulee käyttää taulukossa 2 olevia arvoja, jotka tarkoittavat kokonaispölyn pitoisuuksia. Sallitut arvot on laskettu kaavalla 4, jossa Q tarkoittaa kvartsipitoisuutta painoprosenteissa. Mikäli piidioksidipitoisuutta ei jos-

$$C = 90/(Q + 5) \quad (4)$$

tain syystä voida määrittää, tulee käyttää approksimoitua arvoa.

Kiteisen piidioksidin pitoisuus (paino-%)	Enimmäisarvo (mg/m^3)
0 ... 2.5	15
2.6... 5	12
6 ... 10	7.5
11 ... 15	5.0
16 ... 20	4.0
21 ... 25	3.2
26 ... 35	2.5
36 ... 45	2.0
46 ... 60	1.5
61 ... 80	1.1
81 ... 100	0.9

Taulukko 2. Kokonaispölylle sallitut enimmäisarvot Ruotsissa
/ 2 /

Jos piidioksidipitoisuuden keskimääräinen arvo nousee vähintään 15 painoprosenttiin ja enemmän kuin puolet tästä mineraalista muodostuu kristobaliitista ja/tai tridymiitista, tai kun $5 \mu\text{m}$ pienempien hiukkasten painoprosentti on suurempi kuin 35, täytyy taulukon 2 arvojen asemesta käyttää niiden puoliarvoja.

Olosuhteiden arviointiin käytetään pölyindeksiä, joka lasketaan kaavalla 5. Kaavassa tarkoittaa A leijuvan pölyn määrää mg/m^3 ja

$$A(Q + 5)/90 = \text{pölyindeksi} \quad (5)$$

Q piidioksidimäärää painoprosenteissa. Indeksien perusteella olosuhteet on luokiteltu seuraavasti :

Pölyindeksi	0 ... 0.5	hyvät olosuhteet
"	0.5... 1	tydyttävät olosuhteet
"	1 ... 2	epätydyttävät olosuhteet
"	yli 2	huonot olosuhteet

Taulukon 2 arvot perustuvat pölyindeksin arvoon 1 / 30 /.

Ruotsissa on otettu käyttöön määräykset pölynpoistolaitteista. Pöly tulee imeä porareistä ja johtaa pölynerottimeen, jossa se otetaan talteen. Laitteiston tulee toimia alipaineella, jolloin ejektorin tulee sijaita pölynerottimen jälkeen. Mikäli pölynpoistolaitteita ei käytetä, tulee työntekijän käyttää hyväksytyä hengityssuojainta.

3.3 Norja

Norjalaiset määräykset / 29 / koskevat kivipölyä, jonka raekoko on alle 5 μm . Sallitut enimmäispitoisuudet saadaan kaavasta 6.

$$C = 70 / (Q + 5) \quad (6)$$

Arvot ovat ruotsalaisia kokonaispölyä koskevia arvoja jonkin verran pienempiä, puhtaalle kvartseille saadaan enimmäispitoisuudeksi 0.65 mg/m^3 . Verrattaessa ruotsalaiseen puhtaan kvartsin arvoon 0.2 (alle 5 μm :n hiukkaset) on norjalaisten käyttämä noin kolme kertaa suurempi.

3.4 Saksan Liittotasavalta

Taulukossa 3 on esitetty laskeumalle ja leijumalle sallitut

Laskeuma	Raja g/a, kk	Alue	Huom.
(Löbner-laite)	960	yleinen	vuosikeskiarvo
	1950	teoll. alue	vuosikeskiarvo
	1500	yleinen	kuukausikeskiarvo
	3000	teoll. alue	kuukausikeskiarvo
Leijuma	Raja mg/m^3	Sall. ylitys	Huom.
	0.045	50 % ajasta/v	pöly < 5 μm
	0.140	5 " " "	" "
	2.000	1 vrk/10 v	kokonaispöly

Taulukko 3. Harmittoman pölyn enimmäispitoisuudet / 4 /

enimmäispitoisuudet, kun kyseessä on pöly, joka ei sisällä vapaata piidioksidia.

Pölyn sisältäessä vapaata piidioksidia, ovat sallitut enimmäispitoisuudet vanhojen määräysten mukaan riippuvia vapaan piidioksidin määrästä ja koskevat pölyä, jonka raekoko on alle $5 \mu\text{m}$. Enimmäispitoisuus, kun pölypitoisuuden katsotaan olevan jo vaarallisen suuri, lasketaan kaavasta 7 ja enimmäispitoisuus, kun pölypitoisuutta vielä pidetään arveluttavan suurena, kaavasta 8 /29/. Kaavoissa kvartsipitoisuus vaihtelee välillä 2 ja 75 %,

$$C = 10 \sqrt{Q} \quad (7)$$

$$C = 4.5 \sqrt{Q} \quad (8)$$

joten suurimmat sallitut arvot ovat 7.0 ja 3.5 mg/m^3 sekä 1.0 ja 0.5 mg/m^3 .

Uusissa määräyksissä / 29, 37 / vuodelta 1973 on annettu menettelytavat hienopölyn ja vapaan kiteisen piidioksidin massakonsentraation toteamiseksi. Hienopölyllä tarkoitetaan niiden pölypartikkeleiden määrää, jotka läpäisevät erotusjärjestelmän, joka teholtaan vastaa sedimentaatioerotinta, joka pystyy erottamaan 50 % $5 \mu\text{m}$ ekvivalenttiläpimittaisista partikkeleista (Johannesburg 1959). Tällaisen suotimen läpäisykyky pölyhiukasten kohdalla, joiden tiheys on 1 g/cm^3 , on seuraava :

1.5 μm	95 %
3.5 μm	75 %
5.0 μm	50 %
7.1 μm	0 %

Käytettäessä mittaustapaa , jossa on toinen erotusfunktio, voidaan mitattu konsentraatio vastaavasti laskea.

Kvartsipitoisen hienopölyn massakonsentraatio ei saa ylittää arvoa 4.0 mg/m^3 silloin, kun hienopölyn kvartsipitoisuus on alle 4 painoprosenttia. Kvartsipitoisuuden ollessa yli 4 painoprosenttia, ei vapaan piidioksidin massakonsentraatio saa ylittää arvoa 0.15 mg/m^3 .

Määräysten mukaan annettujen arvojen saavuttamiseksi on noudatettava seuraavia toimenpiteitä :

1. Pölylähteet on koteloitava tomunpitävästi
2. Koneet ja laitteet on peitettävä ja niiden täytyy toimia alipaineella

3. Pöly on imettävä pois työaukoista, sisään- tai ulostuloaukoista.

4. Saavutetaan riittävä pölyn laskeutuminen vangitsemisverkkojen avulla

Tehtäessä työtä aineksilla, jotka sisältävät enemmän kuin 2 % vapaata kiteistä piidioksidia, joka pölyää, työnantajan on ilmoitettava tästä ammattijärjestölle ja asianomaisille viranomaisille.

3.5 Saksan Demokraattinen Tasavalta

Taulukossa 4 on esitetty laskeuman ja leijuman sallitut enimmäispitoisuudet, kun pöly ei sisällä vapaata piidioksidia.

Laskeuma	Raja g/a,kk	Huom.
	1500	vuosikeskiarvo
	2000	kuukausikeskiarvo
Leijuma	Raja mg/m ³	Huom.
	0.500	lyhytaikaisnäyte,harmiton pöly
	0.150	pitkäaikaisnäyte,harmiton pöly

Taulukko 4. Harmittoman pölyn enimmäisarvot DDR:ssa / 4 /

Piidioksidipitoisen pölyn haitallisuuden arviointi perustuu pölyhiukkasten kappalemäärään tietyssä ilmatilavuudessa, joten se poikkeaa aikaisemmin esitetyistä arvoista. Taulukossa 5 on esitetty pölyssä sallittujen piidioksidihiukkasten lukumäärät.

SiO ₂ -pitoinen pöly (MAC-arvo)	kpl/cm ³	Huom.
	100	> 50 % vapaata SiO ₂
	250	20...50 % " "
	500	5...20 % " "
	800	<5 % " "

Taulukko 5. Piidioksidia sisältävän pölyn enimmäisarvot DDR:ssa / 4 /

3.6 Suomi

Suomessa on käytössä ilmansuojelu- ja meluntorjunnan neuvotte-
lukunnan (ISMET) laatima laskeuma- ja leijumaluokitus /4/ sekä
tähän perustuvat laskeuma- ja leijumasuosituksset. Nämä tarkoit-
tavat sekapölyä, jolloin pölyn aineosia ei ole eroteltu toisis-
taan (taulukko 6).

Lääkintöhallitus on suosittanut käytettäväksi taulukossa 7 /19/
esitettyjä arvoja, jotka perustuvat ISMETin arvoihin. Poikkeuk-
sen muodostaa lyhytaikaisleijuman määrätyisaika, joka ISMETillä
on kaksi tuntia, mutta lääkintöhallituksen ohjeissa ainoastaan
puoli tuntia. Lisäksi lääkintöhallituksen ohjeissa on suoritet-
tu erittely eri ainekomponenttien perusteella.

Mineraalipölyille ja vähätehoisille muille pölyille on voimassa
taulukossa 8 /36/ esitetyt enimmäispitoisuudet, jotka koskevat
työpaikoilla sallittuja enimmäispitoisuuksia. Kvartsin, kristo-
baliitin ja tridymiitin kohdalla arvot ovat samat kuin Ruotsis-
sa ja koskevat samoin hiukkasia, joiden läpimitta on alle $5 \mu\text{m}$.

Pölyille, joiden piidioksidipitoisuus on alle 1 % , on sallittu
enimmäisarvo annettu hiukkasina tiettyä ilmatilavuutta kohti.
Vähätehoisille pölyille sallittu enimmäismäärä on 10 mg/m^3 .

Ilmansuojelu- ja meluntorjuntatoimikunta on mietinnössään / 9 /
ottanut kannan, että louhintatyö asetettaisiin luvanvaraiseksi
tai siitä määrättäisiin ilmoitusvelvollisuus. Toimenpiteet tu-
lisivat riippumaan työn laajuudesta.

3.7 Muiden maiden säännöksiä

Englannissa on käytössä sama menetelmä kuin uusissa Saksan
Liittotasavallan määräyksissä. Enimmäispitoisuudet poikkeavat
saksalaisista siten, että pölyn sisältäessä alle 1 % piidiok-
sidia, on sallittu enimmäismäärä 3.0 mg/m^3 ja pölyn ollessa ko-
konaan kvartsipölyä, on sallittu enimmäismäärä 0.2 mg/m^3 .

Neuvostoliittolaiset määräykset koskevat pölyä, joka sisältää
vapaata piidioksidia, siten, että jos piidioksidia on yli 70 % ,
on sallittu enimmäismäärä 1 mg/m^3 , piidioksidimäärän ollessa
10...70 % , on sallittu enimmäismäärä 2 mg/m^3 ja piidioksidi-
määrän ollessa 2...10 % , on sallittu enimmäismäärä 4 mg/m^3 .

Kokonaislaskeumaluokitus :

Taso	Kuukausilaskeuma (g/a)	Arviointi
I	1... 200	Puhdasilmaista, tai harvaan asuttua verrattain puhdasilmaista perustasoaluetta kuvaava
II	201... 500	Lievästi epäpuhdasta, viihtyisän asumisen kannalta tyydyttävää aluetta kuvaava
III	501...1000	Kohtalaisesti saastunutta, viihtyisän asumisen kannalta välttävää aluetta kuvaava
IV	1001...1500	Melkoisesti saastunutta, viihtyisän asumisen kannalta epätyydyttävää ja likaista aluetta kuvaava
V	>1500	Suuresti saastunutta, asumisen kannalta liian likaista aluetta kuvaava

Laskeumasuositus :

Yhden vuoden kestäneen ilman puhtaustutkimusjakson laskeutuvia kiinteitä hiukkasjakoisia aineksia kuvaava kuukauden keskimääräinen mittaustulos ei saa siinäkään tapauksessa, ettei se sisällä haitallisuusarviointiin vaikuttavassa määrin nk. terveydelle vaarallisia aineita, ylittää asuntoalueilla tasoa III.

Kokonaisleijumaluokitus :

Taso	Pitoisuus mg/Nm ³	Arviointi
I	0.001...0.05	Puhdasilmaista, tai harvaan asuttua verrattain puhdasilmaista perustasoaluetta kuvaava
II	0.06 ...0.10	Lievästi epäpuhdasta, viihtyisän asumisen kannalta tyydyttävää aluetta kuvaava
III	0.11 ...0.15	Kohtalaisesti saastunutta, viihtyisän asumisen kannalta välttävää aluetta kuvaava
IV	0.16 ...0.50	Melkoisesti saastunutta, viihtyisän asumisen kannalta epätydyttävää ja likaista aluetta kuvaava
V	>0.50	Suuresti saastunutta, asumisen kannalta liian likaista aluetta kuvaava

Leijumasuositus :

Yhden kuukauden kestäneen ilman puhtaustutkimusjakson leijuvia hiukkasjakoisia aineksia (pöly) kuvaava 1 vuorokauden keskipitoisuus ei saa siinätkään tapauksessa, ettei se sisällä haitallisuusarviointiin vaikuttavassa määrin nk. terveydelle vaarallisia aineita, ylittää 0.15 mg/Nm³ (taso III) ja vastaavasti lyhytaikaisnäytteen (2 h) pölypitoisuus ei saa ylittää 0.5 mg/Nm³.

Kokonaislaskeuma	g/(a.kk)	1000
Laskeuman komponentit		
Lyijy (Pb)	g/(a.kk)	1
Kromi (Cr)	g/(a.kk)	1
Vanadiini (V)	g/(a.kk)	1
Lyhytaikaisleijuma	$\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot 0,5 \text{ h})$	500
Lyhytaikaisleijuma	$\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{vrk})$	150
Leijuman komponentit		
Lyijy (Pb)	$\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{kk})$	4
Kromi (Cr)	$\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{kk})$	5
Arseeni (As)	$\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{kk})$	5
Pitkäaikaisleijuma	$\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{vuosi})$	60
Rikkidioksidi (SO_2)	$\mu\text{g SO}_2/(\text{m}^3 \cdot 0,5 \text{ h})$	720
	$\mu\text{g SO}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{vrk})$	300
	$\mu\text{g SO}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{vuosi})$	80
Typpidioksidi (NO_2)	$\mu\text{g NO}_2/(\text{m}^3 \cdot 0,5 \text{ h})$	560
	$\mu\text{g NO}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{vrk})$	200
	$\mu\text{g NO}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{vuosi})$	100
Hiilimonoksidi (CO)	mg CO/ $(\text{m}^3 \cdot 1 \text{ h})$	40
	mg CO/ $(\text{m}^3 \cdot 8 \text{ h})$	10
Rikkivety (H_2S)	$\mu\text{g H}_2\text{S}/(\text{m}^3 \cdot 0,5 \text{ h})$	150
	$\mu\text{g H}_2\text{S}/(\text{m}^3 \cdot \text{vrk})$	50

Taulukko 7. Lääkintöhallituksen suositukset / 19 /

Taulukko 8. Mineraali- ja vähätehoiset pölyt / 36 /

Aine Enimmäispitoisuus ilmassa

Piidioksidi

Kiteiset muodot :

- kvartsi hienopölyjakeessa ¹⁾ 0.2 mg/m³
- kristobaliitti ¹⁾ 0.1 mg/m³
- tridymiitti ¹⁾ 0.1 mg/m³
- hehkutettu piimaa, käytetään kvartsin, kristobaliitin tai tridymiitin enimmäispitoisuutta ¹⁾

Amorfiset muodot :

- luonnon piimaa 700 hk/cm^{3 2)}

Silikaatit (alle 1 % kiteistä piidioksidia)

- asbesti (kaikki muodot) 5 kuitua > 5 μm/cm^{3 3)}
- kiille 700 hk/cm^{3 2)}
- portland-sementti 1000 hk/cm^{3 2)}
- talkki (kuituinen) 5 kuitua > 5 μm/cm^{3 3)}
- talkki (rakeinen) 700 hk/cm^{3 2)}
- tremoliitti, kuten asbesti
- vuolukivi 700 hk/cm^{3 2)}

Muut pölyt

- grafiitti (luonnontuote) 530 hk/cm^{3 2)}
- kivihiilipöly (bituminen) 2 mg/m³
- vähätehoiset pölyt 10 mg/m³ tai 1000 hk/cm^{3 2)}

Vähätehoisia pölyjä ⁴⁾ :

alumiinioksidi (Al₂O₃), glyserolisumu, grafiitti (synteettinen), kalkkikivi, kalsiumkarbonaatti, kaoliini, kasviöljysumu (lukuunottamatta risiniöljyä tai vastaavia ärsyttäviä öljyjä), kipsi, korundi, lasivilla, magnesiitti (MgCO₃), marmori, pentaerytritoli, piikarbidi, portland-sementti, punamulta, selluloosa (paperikuitu), smirgeli (korundin ja magnetiitin tai hematiitin seos), sokeri, tinaoksidi, ti-

taanioksidi, tärkkelys, vuorivilla.

- 1) Enimmäispitoisuus tarkoittaa pölyn hienojakoisesta osasta eli alle $5\ \mu\text{m}$:n läpimittaisista hiukkasista määritettyä pitoisuutta.
 - 2) Määrittäminen "impinger"-laitteella otetusta pölynäytteestä mikroskooppisesti läpikulkevassa valossa vähintään 200-kertaisella suurennoksella.
 - 3) Määrittäminen kalvosuodattimelle otetusta pölynäytteestä mikroskooppisesti vähintään 430-kertaisella suurennoksella faasi-contrastivalaistusta käyttäen.
 - 4) Näiden aineiden enimmäispitoisuutena ilmassa on pidettävä arvoa $10\ \text{mg}/\text{m}^3$ silloin, kun pölyt eivät sisällä merkittävässä määrin muita haitallisia aineita epäpuhtautena (esimerkiksi kvartsin määrä saa olla enintään 1 %). Tämä enimmäispitoisuusraja on voimassa myöskin luettelosta puuttuville vähätehoisille pölyille.
-

Kvartsin, kristobaliitin ja tridymiitin välillä ei suoriteta erottelua, kuten esimerkiksi Ruotsissa ja Suomessa.

Taulukkoon 9 / 29 / on koottu yhteenvetona eri maissa käytössä olevat määräykset ja suositukset. Arvot on osaksi muutettu vastaamaan Saksan Liittotasavallassa ja Englannissa käytössä olevaa Johannesbürgilaista erotusfunktioita vertailtavuuden parantamiseksi.

4. P o r a u s p ö l y n m u o d o s t u m i s e e n v a i k u t t a v a t t e k i j ä t

4.1 Yleistä

Porauspölyn muodostumiseen vaikuttavat monet tekijät, jotka ovat suuressa määrin toisistaan riippuvia. Kuvassa 2 on esitetty periaatepiirros kallionporauksesta. Pölyn muodostuminen riippuu murskauspinnan laadusta eli kivilajista ja sen ominaisuuksista,

Maa	Hienopölyn erotusfunktio	Sallittu pölymäärä erotusfunktion perusteella mg/m ³			Johannesburgin erotusfunktio (mg/m ³)	
		C _{max} =f(Q)	C _{1max} Q ≤ 1 %	C _{2max} kvartsi	C' _{1max} Q ≤ 1 %	C' _{2max} kvartsi
Saksan Liittotasavalta	raekoko < 5 μm s = 2.65 g/cm ³ 2 % ≤ Q ≤ 70 %	10 √Q 4.5 √Q	7.0 3.5	1.0 0.5	3.4 1.7	0.49 0.24
" ,uudet määräykset					4.0	0.15
Norja	raekoko < 5 μm s = 2.65 g/cm ³	70/(Q+5)	11.6	0.65	5.7	0.32
USA (ACGIH)		10/(Q+2)	3.3	0.1	4.0	0.12
Englanti (BCIRA)	Johannesburg.		3.0	0.2	3.0	0.20
Neuvostoliitto	kokonaispöly		10.0	1.0	1.4	0.14
Ruotsi	kokonaispöly	90/(Q+5)	15.0	0.9	2.1	0.13
"	raekoko < 5 μm			0.2		
Suomi	kokonaispöly		10.0			
	raekoko < 5 μm			0.2		
Ranska (ehdotus)	kokonaispöly	160/(Q+2)	53.3	1.57	7.5	0.22

Taulukko 9. Piidioksidipitoisen pölyn sallitut enimmäismäärät eri maissa / 2, 29, 36/

käytettävästä porauskalustosta ja sen ominaisuuksista sekä osaltaan poraajan ammattitaidosta.

Laajemmassa mielessä pölyn määrään vaikuttaa louhintasuunnitelma, jossa määritellään kallion ominaisuudet ja valitaan porauskalusto, reikäkoko ja porauskaavio.

Syntyvän pölyn määrää ja sen haittoja voidaan ehkäistä käyttämällä pölynpoistolaitteita ja -menetelmiä.

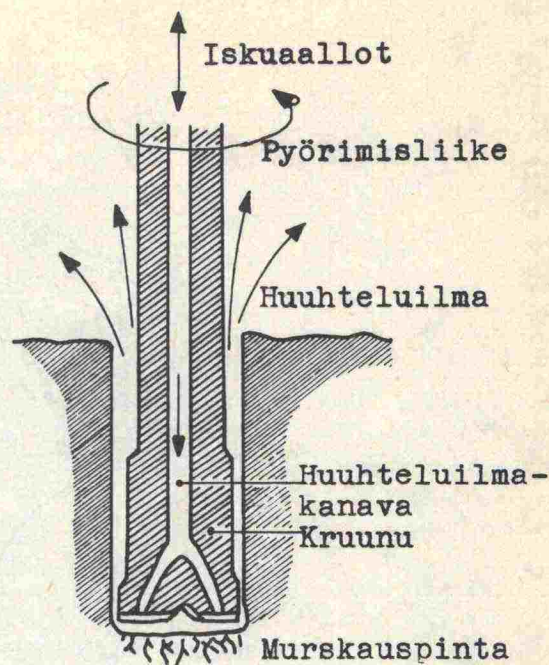
4.2 Suomen kallioperä

4.21 Yleistä

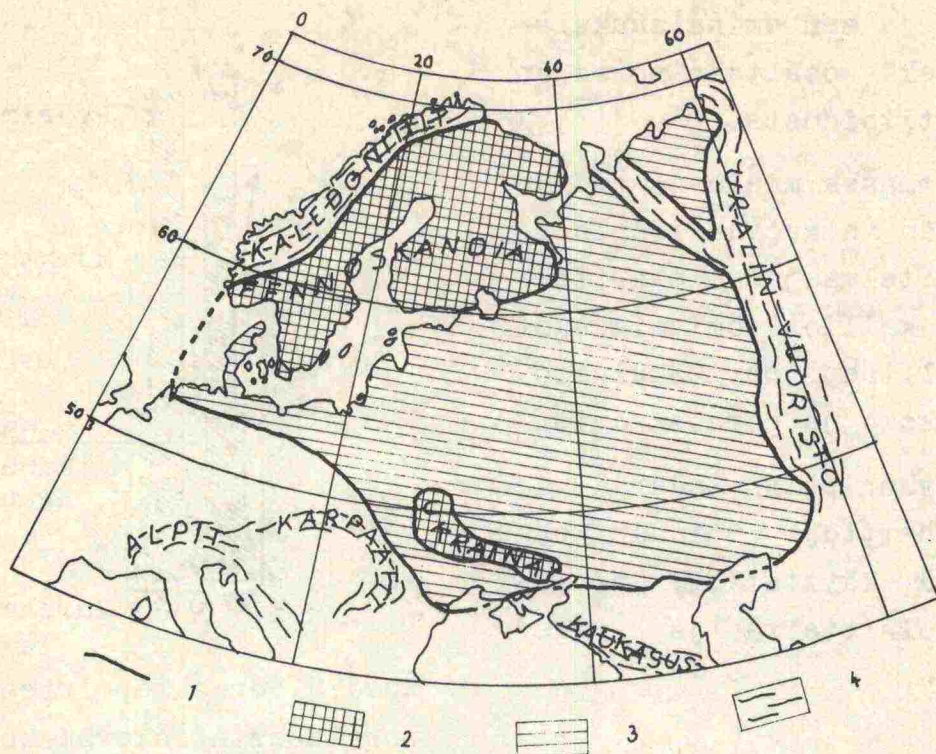
Suomen kallioperä, joka pistää kalliopaljastumina esiin irto-
maalajien alta, on pääosaltaan koostunut kiteisistä kivilajeis-
ta, etenkin gneisseistä ja graniiteista. Gneissien ja graniit-
tien muodostamaa kallioperää sanotaan peruskallioksi.

Suomen peruskallio kuuluu osana laajaan Pohjois- ja Itä-Euroo-
pan prekambriseen peruskalliolohkoon (kuva 3), joka on muodos-
tunut noin 1600 miljoonaa vuotta sitten ja josta käytetään u-
sein nimeä Fennosarmatia.

Fennosarmatian kallioperä on paljaana ainoastaan Fennoskandian
peruskallioalueella eli ns. Baltian kilven alueella ja Ukrainan
peruskallioalueella. Suurin osa Fennosarmatian lohkoista on pak-
sujen paleotsooisten ja sitä nuorempien sedimenttien ja sedi-
menttikivien peitossa. Niiden kova, kiteinen alusta on tavoit-
tettu vain syvissä poranreiissä.



Kuva 2. Periaatepiirros kallioporauksesta iskevää kalustoa ja ilmahuuhtelua käytettäessä /7/



Kuva 3. Fennosarmatian prekambriinen peruskallioloikko. 1, Fennosarmatian raja. 2, paljastunut prekambriinen peruskallio. 3, prekambriinen peruskallio paleotsooisten ja sitä nuorempien sedimenttien ja sedimenttikivien alla. 4, paleotsooiset ja sitä nuoremmat vuorijonot. / 25 /

4.22 Kivilajien esiintyminen

Suomen kallioperässä on kivilajeiltaan erilaisia osia. Siinä on yhtenäisiä liuskejaksoja, joiden välissä on syväkivialueita. Liuskevyöhykkeet koostuvat metamorfisista kivistä, jotka ovat alkuaan olleet sedimenttejä, esimerkiksi hiekkaa ja savea, tai vulkaanisia kiviä. Syväkivialueet koostuvat jähmettyneistä kivilajeista, jotka ovat enimmäkseen granodioriitteja ja graniitteja. Liuskevyöhykkeet niihin tunkeutuneine syväkivineen ovat syvälle kuluneita jäännöksiä muinaisista vuorijonovyöhykkeistä. Taulukossa 10 on esitetty Suomen kallioperän pääkivilajien suhteellinen levinneisyys. Sedimenttisyntyisiä kiviä, nimittäin liuskeita, kvartsiitteja ja kalkkikiviä, on niukalti. Koska migmatiitit yleensä ovat kiillegneissien ja graniittien muodostamia seoskiviä, voidaan karkeasti arvioida, että Suomen kallioperä

Kivilajit	Osuus kallioperän pinta-alasta, %
Piihapporikkaat syväkivet (graniitit, granodioriitit, kvartsi-dioriitit)	52.5
Migmatiitit	21.8
Liuskeet (fylliitit, kiilleliuskeet, kiillegneissit)	9.1
Piihappoköyhät magmakivet (gabrot, diabaasit, amfiboliitit)	8.2
Kvartsiitit ja hiekkakivet	4.3
Granuliitit	4.0
Kalkkikivet	0.1
Yhteensä	100.0

Taulukko 10. Suomen kallioperän alueellinen koostumus / 25 /

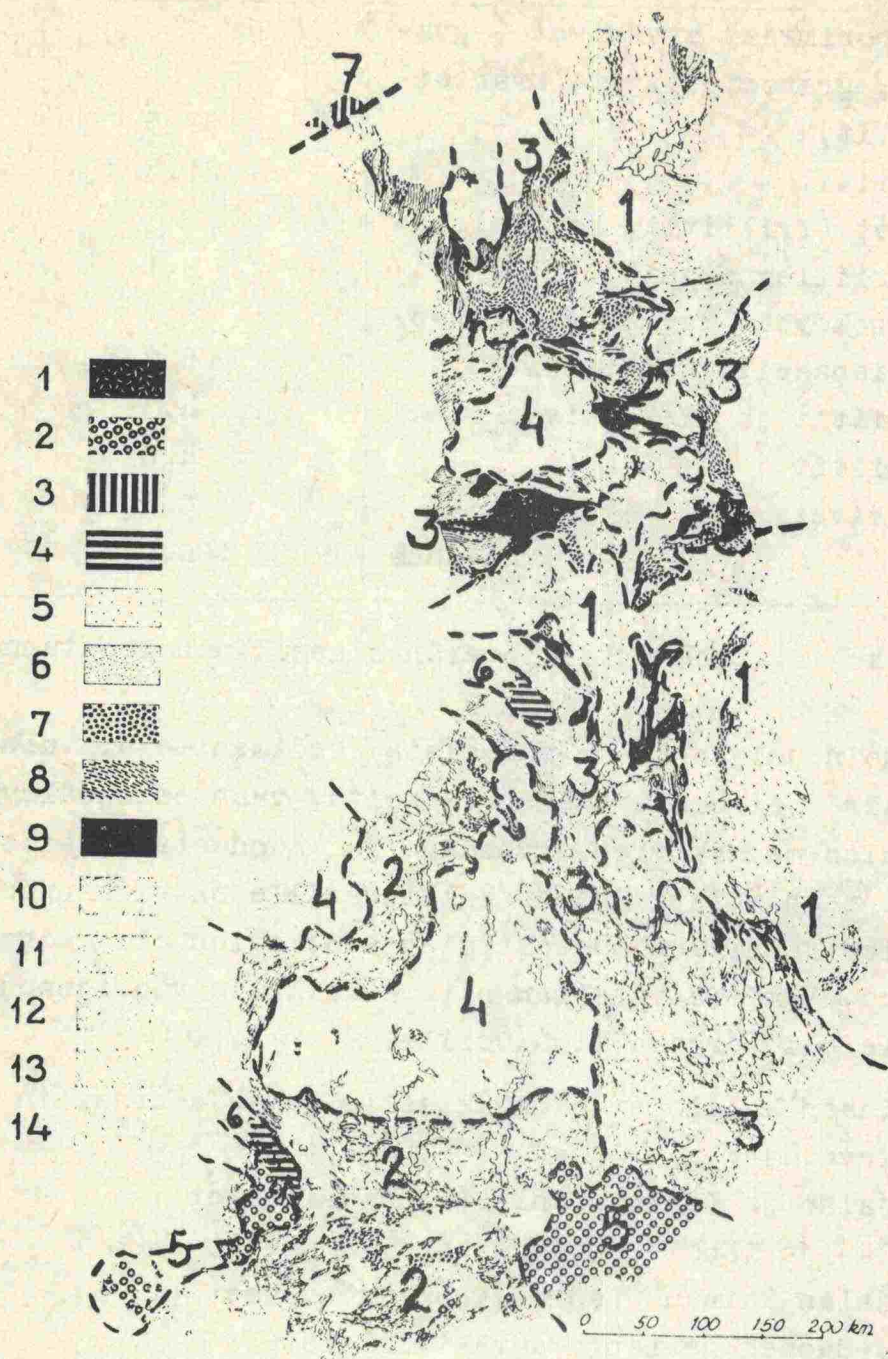
perästä noin neljännes on muinaisia sedimenttejä. Vulkaanisten kivien määrää ei ole erikseen laskettu, vaan ne sisältyvät piihappoköyhien magmakivien ryhmään ja muodostavat siitä valtaosan. Luonteenomaista Suomen kallioperälle on piihapporikkaiden graniittien ja niiden muodostamien seoskivien eli migmatiittien runsaus. Tämä on yhteinen piirre kaikille vuorijonojen juurialueille eli peruskallioalueille.

Suomi voidaan kallioperän perusteella jakaa seuraaviin pääalueisiin (kuva 4) :

1. Karjalan ja Lapin graniittigneissialueet
2. Etelä- ja Länsi-Suomen liuskevyöhykkeet
3. Karjalan-Kainuun-Lapin liuskevyöhykkeet
4. Sisä-Suomen ja Lapin syväkivialueet
5. Rapakivialueet Kymen ja Turun lääneissä sekä Ahvenanmaalla
6. Sedimenttikivialueet Porin ja Oulun lähistöllä
7. Nuoret kivilajit

Mikään edellisistä alueista ei ole kallioperältään täysin yhtenäistä. Kaikilla alueilla saattaa pieninä esiintyminä tavata miltei kaikkia mahdollisia kivilajeja.

Karjalan graniittigneissialueen kivet ovat verraten lujia ja ehyitä, pääasiassa heikosti suuntautuneita, karkeahkoja graniit-



Kuva 4 / 26 /. Kallioperäkartta (Simonen), kallioalueet. 1. Diabasi, 2. Rapakivi, 3. Nuoria liuskeita, 4. Sedimenttikiviä, 5. Graniitti, 6. Dioriitti, 7. Gabro, 8. Amfiboliitti, 9. Kvartsiitti, 10. Kiilleliuske, 11. Kiillegneissi, 12. Leptiitti, 13. Granuliitti, 14. Graniittigneissi

ti- tai dioriittigneissejä. Lapin graniittigneissialue muodostuu miltei yksinomaan granuliitista, jossa normaaligneissin kiillesuomujen tilalla on marjamaisia, kovia granaatteja.

Länsi - Suomen liuskevyöhykkeen fylliitit, kiilleliuskeet ja gneissit (yhteensä 80 % alasta), amfiboliitit (13 %) ja leptiitit (6 %) ovat poimuttuneita ja graniittien katkomia ja sekoitettamia.

Karjalan, Kainuun ja Lapin liuskeet esiintyvät ehyempinä yhteinäisinä alueina, joissa liuskepatjat kaatuvat loivahkosti länteen. Päälimmäisenä lännessä tavataan kiilleliuskeita ja fylliittejä (yhteensä 45 % alasta), näiden alla idempänä mustaliuskeita ja edelleen idempänä kvartsiitteja (yhteensä 26 %) ja välikerroksina dolomiittisia kalkkikiviä, amfiboliitteja (25 %) sekä vihreäkiviä.

Syväkivialueiden kivilajikoostumus Etelä- ja Pohjois - Suomessa Simosen (1966) mukaan on esitetty taulukossa 11. Graniitit ovat

Kivilaji	Etelä-, Keski- ja Länsi-Suomi	Karjala, Kainuu ja Lappi
Gabro ja peridotitiitti	6 %	3 %
Dioriitti	56 %	24 %
Graniitti	38 %	73 %

Taulukko 11. Syväkivialueiden kivilajikoostumus Etelä- ja Pohjois-Suomessa / 25 /

yleensä verraten ehyitä ja lujia. Runsaasti liuskekivikappaleita sisältävää graniittia, joka on rikkonaisempaa, nimitetään migmatiitiksi. Jyväskylän ympäristössä tavattavat karkeat granodioriitit ovat pinnastaan helposti rapautuvia.

Rapakiviesiintymät ovat laajimmat yhtenäiset kivilajialueet Suomessa, esiintyen useina muunnoksina, joista vain suurirakeiset (munamaisia, vihreänharmaan plagioklaasirenkaan ympäröimiä kalimaasälpähajarakeita sisältävät) ovat syynä kiven saamaan huonoon nimeen. Rapakivessä tavataan usein runsaasti avorakoja

ja näiden rakojen välinen vaakasuorakin kalliolaatta saattaa olla aivan käsin murennettavaksi moroksi rapautunut.

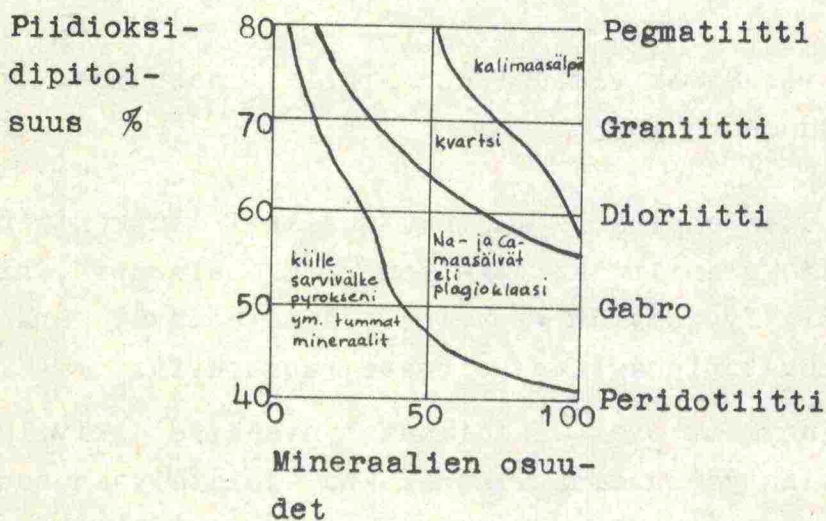
Sedimenttikiviä Suomessa on hyvin vähän. Suurimmat esiintymät ovat Satakunnan hiekkakivi, Lauhavuoren hiekkakivi, Oulujokisuun savikivi ja Ahvenanmaan kalkkikivi. Kivet ovat osittain vettä-lämpäiseviä tai liettyviä.

Nuorimmista kivilajeista voi mainita Lappajärven vulkaniitin, Iivaaran alkalisyväkivet sekä Haltiatunturin nuoret liuskeet.

4.23 Kivilajien koostumus

Kivilajien tarkka luokittelu perustuu mineraalikoostumukseen ja kiven rakenteeseen. Kvartsipitoisia kivilajeja nimitetään hap-pamiksi, kvartsittomia kivilajeja emäksisiksi. Kivilajeja, joi-den otaksutaan syntyneen tulivuorten purkauksien synnyttämästä kivilajista, sanotaan magmakiviksi. Ne jaetaan syntytapansa, rakenteensa ja mineralogisen koostumuksensa perusteella useihin ryhmiin. Niiden päätyypit on esitetty taulukossa 12.

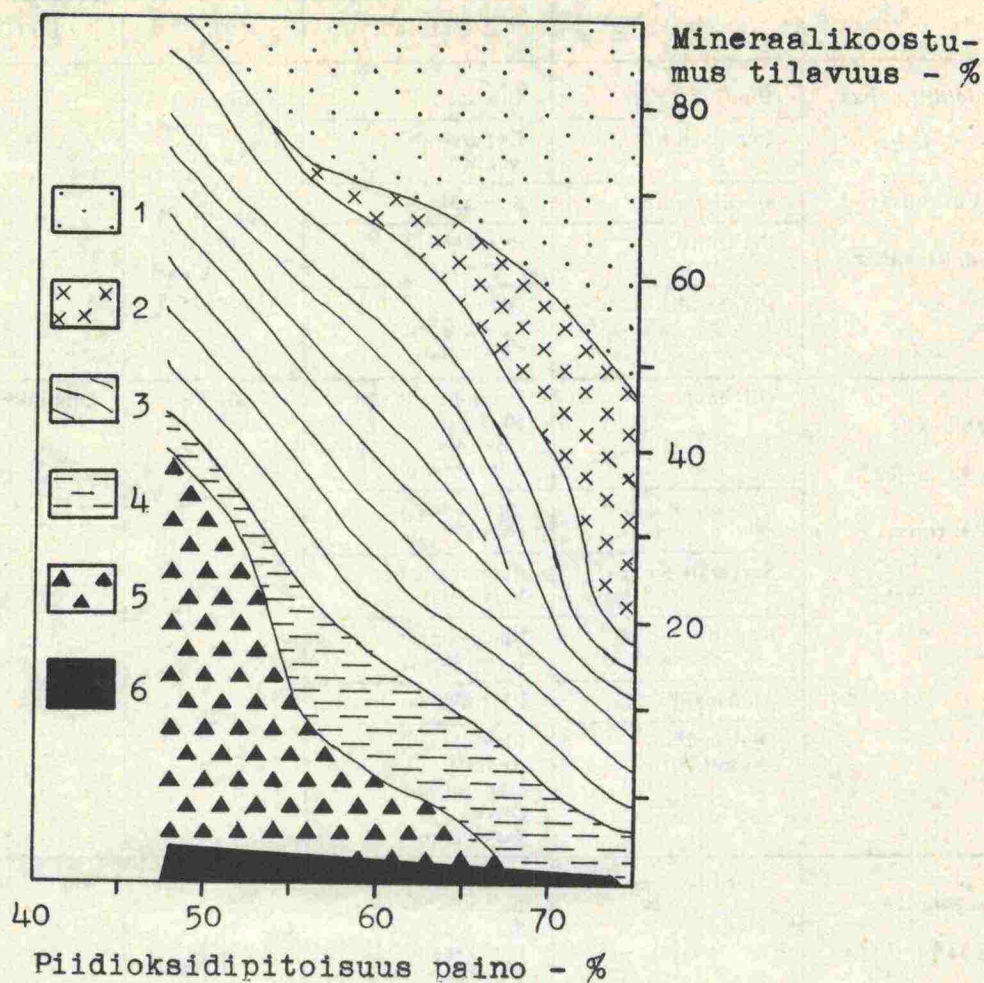
Syväkivien mineraalikoostumus ilmenee kuvasta 5. Kuvassa 6 on e-sitetty Keski-Suomen syväkivilajien mineralogisen koostumuksen vaihtelu kiven piidioksidipitoisuuden muuttuessa.



Kuva 5. Syväkivien mineraalikoostumus / 26 /

Kivilajiluokka	Nimi				
	Syväkivi	Mineraalit	Pitoisuus, %	Pintakivi	Hajarakeet
Peridotiittiluokka SiO ₂ : < 45 % Mg, Fe: runsas K, Na, Al: vähän	Duniitti	Oliviini	tummat mineraalit 85—95 oksidi- mineraalit 10—3 plagioklaasi (An > 70 < 5)		
	Pyrokseeniitti	Hypersteeni Augiitti			
	Hornblendiitti	Sarvivälke			
	Perkniitti	Pyrokseenit Sarvivälke			
	Peridotiitti	Oliviini Pyrokseenit Sarvivälke			
Gabroluokka SiO ₂ 42 %—52 % Ca, Al: runsas Na, K: vähän	Oliviinigabro	Plagioklaasi (An 50—) Oliviini Pyrokseenit	45—70 25—50	Oliviinibasaltti	Oliviini Pyrokseenit (Sarvivälke) Plagioklaasi
	Pyrokseenigabro	Plagioklaasi Pyrokseenit		Augiittibasaltti	Augiitti Hypersteeni (Sarvivälke) Plagioklaasi
	Sarvivälkegabro	Plagioklaasi Sarvivälke			
	Noriitti	Plagioklaasi Hypersteeni			
	Anortosiitti	Plagioklaasi			
	Diabaasi (Juonikivi)	Plagioklaasi Augiitti Hypersteeni Oliviini Sarvivälke			
Dioriittiluokka SiO ₂ 52 %—70 %	Dioriitti	Plagioklaasi (An 30—50) Sarvivälke Pyrokseenit Biotiitti	55—70 25—40	Andesiitti	Plagioklaasi Sarvivälke Pyrokseenit Biotiitti
	Kvartsidioriitti	Plagioklaasi (An 20—40) Kvartsi Biotiitti Sarvivälke	50—80 10—35 10—35	Dasiitti	Plagioklaasi Kvartsi Biotiitti Sarvivälke
Granodioriitti-graniittiluokka SiO ₂ > 60 % Mg, Fe: vähän	Granodioriitti	Plagioklaasi (An < 30) Kalimaasälpä Kvartsi Sarvivälke Biotiitti	25—45 20—40 10—35 10—30	Ryoliitti (Lipariitti)	Kvartsi Sanidiini Plagioklaasi Biotiitti
	Graniitti	Kalimaasälpä Plagioklaasi (An < 20) Kvartsi Biotiitti (Sarvivälke) (Pyrokseenit)	30—60 0—35 10—40 10—35		
	Apliitti	Kalimaasälpä Plagioklaasi Kvartsi		Obsidiaani	Koko kivi vulkaanista lasia; ei hajarakeita
Syeniittiluokka SiO ₂ 55 %—65 % K, Na, Al runsas	Syeniitti	Kalimaasälpä Plagioklaasi (An < 20) Biotiitti Sarvivälke Pyrokseenit	30—80 5—25 10—40	Trakyytti	Sanidiini Plagioklaasi Biotiitti Augiitti Sarvivälke
Nefeliinisyeniittiluokka SiO ₂ 50 %—60 % K, Na: hyvin runsas	Nefeliinisyeniitti	Nefeliini Albiitti Kalimaasälpä Biotiitti Alkalianfibolit Alkalipyrokseenit	10—45 35—80 10—65	Fonoliitti	Nefeliini Leusiitti Sanidiini Alkalipyrokseenit

Taulukko 12. Magmakivet ja niiden luokittelu / 25 /



Kuva 6. Keski-Suomen syväkivilajien mineralogisen koostumuksen vaihtelu kiven SiO_2 -pitoisuuden muuttuessa. 1, kvartsi. 2, kalimaasälvä. 3, plagioklaasi. 4, biotiitti. 5, sarvivälke. 6, aksessoriset mineraalit. A.Simosen mukaan / 25 /

Taulukossa 13 on esitetty Suomen kallioperän kemiallinen keski-koostumus, joka lähenee piihaporikkaan, granodioriittisen syväkiven koostumusta. Taulukosta nähdään maankuoren yleinen kemiallinen koostumus peruskallioalueella. Taulukosta on myös nähtävissä louhinnassa syntyvän pölyn haitallisuuteen vaikuttavan piidioksidin huomattavan suuri osuus kallioperässä. Osa piidioksidista on tosin sitoutuneena silikaateiksi ja vain vapaana oleva piidioksidi aiheuttaa ongelmia.

Aineosa	Painoprosentti
SiO ₂	67.45
TiO ₂	0.41
Al ₂ O ₃	14.63
Fe ₂ O ₃	1.27
FeO	3.13
MnO	0.04
MgO	1.69
CaO	3.39
Na ₂ O	3.06
K ₂ O	3.55
P ₂ O ₅	0.11
H ₂ O	0.79
CO ₂	0.12
Muut	0.01
Yhteensä	99.65

Taulukko 13. Suomen kallioperän kemiallinen keskikoostumus / 25 /

4.24 Kivilajien ominaisuudet

Kivilajin rakennusteknisistä ominaisuuksista tärkeimmät ovat porattavuus ja räjäytettävyyys, kallion ominaisuuksista taas vedenläpäisevyys ja sortuma - alttius. Muita kiven rakennusteknisiä ominaisuuksia ovat murskattavuus, pakkasenkestävyys, isku-, puristus- ja kulutuskestävyys, rapautumisalttius, tartuntaominaisuudet, kiilloittuvuus, valonheijastuskyky yms. rakennustekniikan eri alojen vaatimat ominaisuudet. Näistä ovat poraukseen liittyviä ominaisuuksia luonnollisesti porattavuus, joka riippuu kiven murskautumisominaisuuksista, joihin lähinnä vaikuttavat kiven lujuusominaisuudet. Kiven räjäytettävyyys on myös tärkeä seikka, koska siitä osaltaan riippuu porauksessa käytettävä reikätiheys ja reikäkoko.

Kiven porattavuudella tarkoitetaan poran tunkeutumisnopeutta aikayksikössä, joka yleensä ilmaistaan senttimetreinä minuutissa. Tunkeutumisnopeus ei riipu yksinomaan kiven laadusta, vaan myös käytettävästä porauskalustosta ja sen kunnosta.

Poran tunkeutumisnopeus on usein lukuarvoltaan lähes sama kuin kiven haurausarvo, runsaskiilteisillä kivillä tosin hiukan pienempi.

Runsaasti kvartsia sisältävä kivilaji kuluttaa kruunua sivuilta, runsaskiilteinen kivilaji kovametallipalan harjalta. Kovan kiven jäljiltä kovametallin pinta on pieniä lohkeamiskuoppia täynnä. Hyvin pehmeän kiven jäljiltä kovametalliterän pinta on juovikas tai ruudukas, ikäänkuin syöpynyt.

Kiven porattavuus määritetään useimmiten koeporauksilla. Tulosten perusteella kivi luokitellaan tunkeutumisnopeuden perusteella esimerkiksi taulukon 14 mukaan.

Porattavuusluokka	Tunkeutumisnopeus
erittäin kova kivi	alle 35 cm/min
kova kivi	35...45 cm/min
keskinkertainen kivi	45...60 cm/min
pehmeä kivi	yli 60 cm/min

Taulukko 14. Porattavuusluokittelu / 12 /

Taulukossa 15 on esitetty kivilajien porattavuuteen liittyviä arvoja ja taulukossa 16 kivien lujuusominaisuuksia.

Kallion rakoilu vaikuttaa sekä porattavuuteen että irrotettavuuteen. Kuvassa 7 on esitetty kallion rakoilun vaikutus poraustehoon poranterän läpimitasta riippuen. Poran läpimitan suuressa porausteho kasvaa, koska suurempi terä ei tunkeudu ja tartu rakoihin yhtä helposti kuin pieni terä. Asiaan vaikuttaa myös poran muoto ja pyöritysmekanismi.

Kivilajien räjäytettävyyteen vaikuttavat sekä tektoniset että mineralogiset ominaisuudet. Reikävälin ja etenemän suuruuteen ja varsinkin loughintasuuntaan ja sytytystapaan vaikuttavat eritoten rakoilun ja liuskeisuuden laatu ja suunta, mutta räjähdysaineen laatuun ja määrään vaikuttaa myös kivilajin meneraalikoostumus.

Kivilajit voidaan ryhmittää räjäytettävyyden mukaan karkeasti kolmeen luokkaan :

1. Pehmeät, plastiset kivet : hiekkakivi, savikivi, kiilleliuske, kalkkikivi, vuolukivi, rapautuneet ja ruhjeiset kivet
2. Kovat, hauraat kivet : pegmatiitti, graniitti, dioriitti, gneissi ja karkeat kvartsiitit
3. Kovat, sitkeät kivet : gabro, peridotiitti (ei serpantiiniitti), eräät fylliitit, diabaasi, tiiviit kvartsiitit, amfiboliitit, leptiitit, porfyriitit

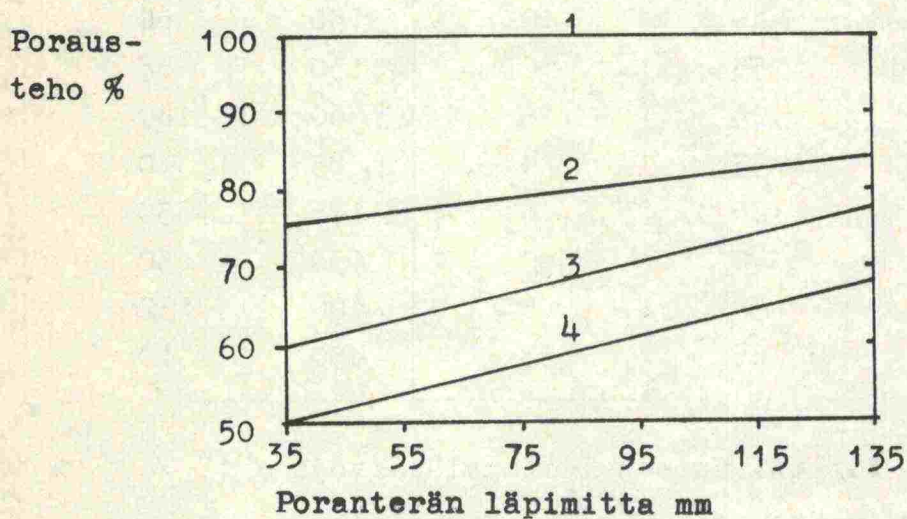
Kuvassa 8 on esitetty kallion laatuluokitus Müllerin mukaan Suomen olosuhteisiin sovitettuna.

Kivilaji	Ø 34 mm kovametalliporan			
	tunkeutumisnopeus cm/min	teroitusväli porametriä	kestoikä porametriä	kuluminen µm/porametri
Pegmatiitti	45	10	150	30
Rapakivi	50	10	160	30
Pun.graniitti	45	15	160	45
Harm.graniitti	45	15	160	45
Dioriitti	45	10	150	40
Gabro	30	25	250	30
Gran.gneissi	40	10	150	60
Kiillegneissi	55	10	130	68
Kvartsiitti	25	6	60	180
Amfiboliitti	35	9	85	10
Diabaasi	28	8	175	30
Fylliitti	40	10	130	30
Leptiitti	35	8	100	132
Kalkkikivi	65	35	450	10

Taulukko 15. Porattavuuteen liittyviä arvoja / 12 /

Kivilaji	Tiheys	Hauraus- arvo	Los Ang. luku	Kimmo- moduli kp/cm ² · 10 ⁻⁶	Puristuslu- juus kp/cm ²
Pegmatiitti	2.61	70.5	34.8	0.6	1600...3100
Rapakivi	2.65	55.7	29.0	-	1200...1800
Pun.graniitti	2.65	50.5	26.0	0.7	2000...3500
Harm.graniitti	2.68	53.3	27.1	0.7	2000...3500
Dioriitti	2.87	47.6	24.0	-	-
Gabro	2.90	50.6	21.4	1.2	2600...3000
Graniittigneissi	2.70	51.5	27.5	-	-
Kiillegneissi	2.73	45.4	26.8	-	1400...1700
Fylliitti	2.78	43.0	16.7	-	-
Kvartsiitti	2.67	36.4	19.4	0.8	2000...3000
Amfiboliitti	2.92	38.8	19.4	1.1	1800...4200
Kiilleliuske	2.79	48.1	18.2	1.0	1300...2100
Kalkkikivi	2.76	66.2	41.4	0.5	600...1500

Taulukko 16. Kivilajien lujuusominaisuuksia / 12, 26, 32 /



Kuva 7. Kallion rakoilun vaikutus poraustehoon (Kuorikoski).
 Luokka 1. Ehyt tai tiivisrakoinen kallio. Luokka 2. Rakoil-
 lut normaali kallio. Luokka 3. Avorakoinen kallio. Luokka 4.
 Taajarakoinen kallio, täytteiset raot. / 12 /

Ra- pautu- neisuus	Rikkonai- suus	Ehyt kallio I $V_k \sim 10^9 \text{ cm}^3$ R 0 kpl/m	Normaali kallio II $V_k \sim 10^6 \text{ cm}^3$ R 1-10 kpl/m	Rikkonainen kallio III $V_k \sim 10^3 \text{ cm}^3$ R 10-100 kpl/m	Ruhjoutunut kallio IV $V_k \sim 1 \text{ cm}^3$ R > 100 kpl/m
Terve kallio A $\sigma_p > 2000 \text{ kp/cm}^2$	$v_1 > 5000 \text{ m/s}$ $k \sim 0$	v_1 4500-5000 k 0,2-1,0	v_1 4000-4500 k 1,0-4,0 mahd. tuettava	v_1 3500-4000 $k > 40$ tuettava porat tarttuvat	
Alkava rapautu- minen B σ_p 1000-2000 kp/cm ²	v_1 4000-4500 k 0-0,2 mahd. tuettava	v_1 3600-4200 k 0,5-1,0 mahd. tuettava	v_1 3400-3800 k 1,0-2,0 tuettava porat tarttuvat	v_1 2800-3500 $k > 2,0$ tuettava porat tarttuvat revittävissä	
Rapautunut kallio C $\sigma_p < 1000 \text{ kp/cm}^2$	v_1 3200-3800 k 0-0,2 tuettava revittävissä	v_1 3000-3400 k 0,2-0,5 tuettava porat tarttuvat revittävissä	v_1 2800-3200 k 0,5-1,0 tuettava porat tarttuvat revittävissä	$v_1 < 2800$ $k > 1,0$ tuettava revittävissä	

V_k = ehyiden kalliolohkojen keskikoko cm³

v_1 = kallion seisminen nopeus m/s

σ_p = puristuslujuus kp/cm²

k = vedenläpäisevyys = litraa/m atm min

R = rakoluku kpl/m timanttikairasydän-
näytteessä

4.3 Kallioporakoneet

4.31 Konetyypit ja rakenne

Kallioporakoneet jaetaan ryhmiin yleensä toimintaperiaatteittensa mukaisesti. Yleisimmin käytössä olevat koneet jaetaan seuraaviin pääryhmiin / 27 / :

1. Vasaraporakoneet, joissa paineilma saattaa vasaramännän edestakaiseen liikkeeseen ja jossa mäntä iskee suoraan kallioporan päähän. Iskun kautta mäntä aiheuttaa sysäysenergian poratankoon, joka välittää iskun edelleen kalliioon.
2. Kierto- eli rotaatioporakoneet, joissa reikä saadaan aikaan kiertävän porakruunun murskaavan, leikkaavan tai kuluttavan vaikutuksen kautta.
3. Muut konetyypit, kuten esimerkiksi köysiporaus, jossa porausvaikutus saadaan aikaan pudottamalla terä omalla painollaan kalliota vastaan.

Vasaraporakoneita voidaan käyttää joko paineilmalla, sähköllä tai polttomoottorilla. Näistä ylivoimaisesti tavallisin käyttövoima on paineilma.

Rakenteellisesti vasaraporakoneet muodostuvat iskumekanismista, pyöritysmekanismista ja huuhtelumekanismista. Iskumekanismin pääosan muodostaa mäntä, joka liikkuu paineilman vaikutuksesta edestakaisin sylinterissä. Männän liike saadaan aikaan käyttämällä ilmanjakelussa luistia tai venttiiliä. Tämän mukaisesti puhutaan luisti- ja venttiilikoneista.

Jotta kallio särkyisi tasaisesti koko pohjan alalta, poraa on pyöritettävä jokaisen iskun välillä. Pienissä ns. käsikoneissa pyöritysenergia otetaan tavallisesti männän edestakaisesta liikkeestä säppimekanismin avulla. Järeissä koneissa poran pyörittämistä varten on erillinen pyöritysmoottori ja vaihteisto. Pyöritysmekanisminsa mukaisesti koneita nimitetäänkin tavallisesti säppikoneiksi ja erillispyörityskoneiksi. Eräänlaisena välimuotona ovat keskiraskaat säppikoneet, jotka ovat varustetut pyöritys suunnan vaihtomekanismilla.

Huuhtelun tehtävänä on poistaa irrotettu kiviaines reiän pohjalta. Huuhtelu tapahtuu joko ilmalla tai vedellä, jotka johde-

taan poratangon huuhtelureiän kautta reiän pohjaan. Huuhteluväliaineella tulee olla reiässä niin suuri virtausnopeus, että se voittaa myös pystysuorissa alaspäin suunnatuissa reiissä kiwihiukkasten laskeutumismopeuden. Tavallisesti huuhtelumekanismi muodostuu venttiilistä ja päättyy poran niskaan. Venttiili avautuu automaattisesti konetta käynnistettäessä. Tehokas huuhtelu voidaan myös saada aikaan käyttämällä ns. liekakonstruktiota poran niskassa. Eräissä koneissa on myös jälkipuhallus, jossa voimakas ilmavirta puhaltaa reiän puhtaaksi koneen seistessä.

Uppoporakoneissa, joita käytetään pitkien reikien poraukseen, on iskumekanismi sijoitettu reiän pohjalle, jolloin vältetään liitoksista ja tankojen notkumisesta aiheutuvasta iskuenergian häviöstä. Pyöritysmekanismi on sijoitettu tankojen yläpäähän maan pinnalle ja huuhtelu saadaan iskumekanismiin käyttöilmasta.

Rotaatioporakoneet voidaan jakaa kolmeen alaryhmään porakruunun toimintatavan perusteella: murskaavaan, leikkaavaan ja kuluttavaan. Näistä kaksi ensiksi mainittua ovat rakenteeltaan suurin piirtein samanlaisia. Pyöritysmoottori on sijoitettu raskarakenteiselle syöttölaitteelle ja se kiertää poratankoja niiden yläpästä. Moottori on joko sähkö-, ilma- tai hydraulikäyttöinen ja sopiva kierrosluku saadaan vaihteen avulla. Koska menetelmä vaatii suuria syöttövoimia, on pienin mahdollinen reikäkoko noin 3". Syöttövoiman kompensoimiseksi ovat laitteet raskaita - suuri tela-alusta voimayksikköineen ja syöttölaitteineen painaa kymmeniä tonneja. Käyttö rajoittuu avolouhoksiin ja öljynporaukseen. Huuhteluväliaine viedään reiän pohjalle tankojen kautta.

4.32 Lisälaitteet

Porauksen lisälaitteilla tarkoitetaan syöttölaitteita ja porausvaunuja. Syöttölaitteita on useita eri tyyppisiä, joista pengersporaukseen soveltuvat pengersyöttölaite ja yleissyöttölaite. Raskaita porakoneita varten on olemassa moottorikäyttöisiä syöttölaitteita, jotka jaetaan ketju- ja ruuvisyöttölaitteisiin. Syöttölaitteen tarkoituksena on kumota männän iskujen aiheuttamat rekyylivoimat sekä kannattaa itse porakonetta.

Porausvaunuja ja -alustoja käytetään raskaiden porakoneiden, syöttölaitteiden ja puomien kiinnitys- ja kuljetusalustoina. Olosuhteista riippuen ovat vaunut joko kumipyöräalustoja, usein runko-ohjattuja, tai myös kiskoalustoja. Telaketjuvaunuja käytetään pääasiassa pengertörmäyksessä.

4.33 Poranterät

Poranterät voidaan karkeasti jakaa meisseli-, kruunu- ja erikoisteriin.

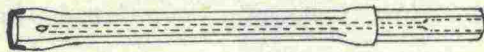
Pienet porat ovat tavallisesti meisselin muotoisella kovametallipalalla varustettuja. Kovametallipala kiinnitetään hopea-, kupari- tai pronssijuotoksella poratangon päässä olevaan uraan. Porat valmistetaan sarjoina 80 cm:n pituuseroin siten, että poran pidentyessä 80 cm:llä, terän leveys pienenee 1 mm : llä. Aloitusporan terän leveys eri sarjoissa on 29, 34 ja 40 mm.

Suurempia reikiä porataan irroitettavilla meisseli- tai kruunuterillä, jolloin samaa terää voidaan käyttää reiän koko pituudella. Tavallisimmat meisselinmuotoiset kärjet ovat 36...45 mm.

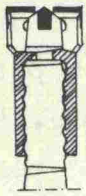
Kruunuteriä käytetään porattaessa isompia reikiä. Tavallisimmat terien halkaisijat ovat 35...89 mm . Terien rakenne vaihtelee jonkin verran. Kruunuterät jaetaan seuraavasti / 22 / :

1. Pohjaisku 1. normaalikruunu. Iskuenergian siirto tapahtuu kruunun pohjan välityksellä.
2. Oikaistu kruunu. Iskuenergian siirto tapahtuu vaipan päädyn välityksellä.
3. Ristipääterä ulkopuolisin kiertein.
4. X-kruunuterä.
5. Meisseliterä ulkopuolisin kiertein.

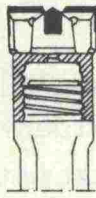
Erikoisteriin voidaan lukea kruunuterät, joissa kovametallipalojen tilalla on käytetty kovametallinastoja, jolloin teriä ei tarvitse teroittaa. Uusimmat terätyypit on varustettu pyörivillä kiekkoilla, joihin on kiinnitetty kovametallinastoja. Kuvassa 9 on esitetty erilaisia terätyyppejä.



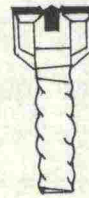
Kiintobora



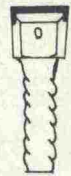
a



b



c

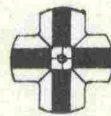


d

- a) Pohjaisku l. normaali kruunu
- b) Oikaistu kruunu
- c) Ristipääterä ulkopuolisin kiertein
- d) Meisseliterä ulkopuolisin kiertein



a



b



c

- a) X-teräkruunu
- b) Ristipääterä
- c) Meisseliterä

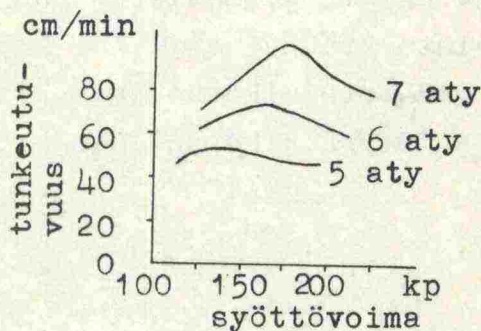
4.34 Kapasiteettiin vaikuttavat tekijät

Perustekijänä koneen kapasiteetissa on luonnollisesti kiven porattavuus. Se pysyy kuitenkin tietyissä olosuhteissa suurin piirtein samanlaisena paikallisista suuristakin vaihteluista huolimatta. Tunkeutumisnopeus ja laitteiston kunto vaikuttavat syntyvän pölyn määrään ja rakeisuuteen. Pölyn haitallisuus riippuu pölyn määrästä, rakeisuudesta ja mineraalikoostumuksesta.

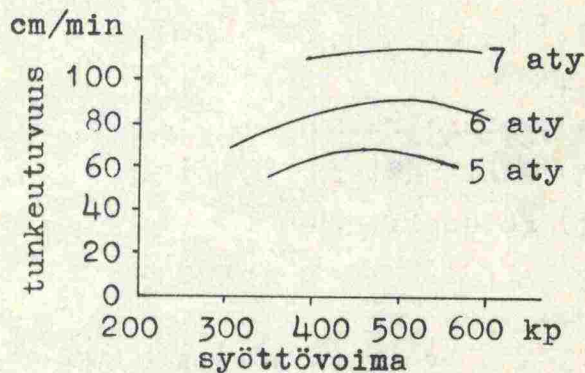
4.341 Syöttövoima

Vasaramännän liikkeessa nopeasti edestakaisin ja iskiessä poran päähän syntyy rekyylivoimia, jotka kumotaan syöttövoimalla. Tällä tarkoitetaan sitä voimaa, jolla porakonetta painetaan poran kaulusta vasten ja samalla poraa kalliota vasten. Jokaisella kallioporakoneella on tietty optimisyöttövoimansa, jolla terä tunkeutuu parhaiten. Niitä kuvaajia, jotka esittävät syöttövoiman ja tunkeutuvuuden välisen suhteen, sanotaan ominaiskäyriksi (kuvat 10 ja 11). Ominaiskäyrän muoto riippuu lähinnä poran läpimitasta ja kivilajista. Kuvassa 12 on esitetty erään koneen kuvaaja sekä kalkkihiekkakivessä että graniitissa. Kuvaajien muodosta voidaan todeta, kuinka tarkkaan kalkkihiekkakivessä syöttövoima on valittava parhaan tuloksen saavuttamiseksi.

Liian suuri syöttövoima aiheuttaa helposti kalustorikkoja ja terän nopean tylsymisen. Liian pieni syöttövoima



Kuva 10. Säppikoneen ominaiskäyrä / 27 /



Kuva 11. Erillispyörityskoneen ominaiskäyrä / 27 /

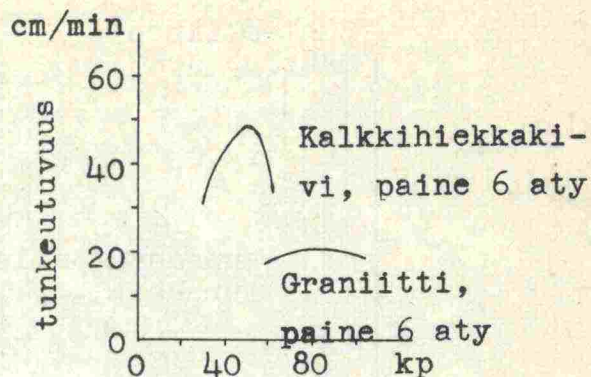
puolestaan aiheuttaa sen, että terä ei iskun aikana tunkeudu kalliioon ja murskaa sitä, vaan reikä syntyy jauhamalla. Tällöin hienopölyn osuus kasvaa. Liian suurella syöttövoimalla terän nopean kulumisen takia terän murskaava pinta-ala kasvaa, jolloin tuloksena on myös kiven jauhautuminen.

4.342 Ilmanpaine

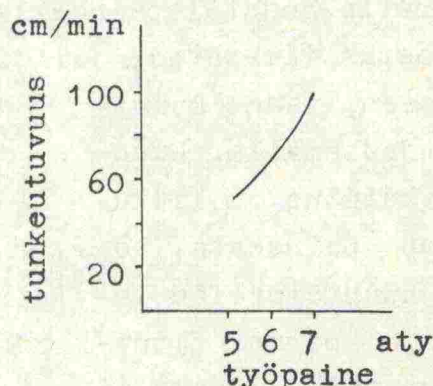
Kallioporakoneet konstruoidaan yleensä 6...7 aty:n ilmanpaineelle. Jos paine on korkeampi, varaosakulutus kasvaa. Jos paine taas on pienempi, tunkeutumisenopeus on alhaisempi ja sen seurannaisvaikutukset tuntuvat poraustaloudessa. Kuvassa 13 on esitetty työpaineen ja tunkeutuvuuden välinen suhde. Kone siis reagoi hyvin herkästi paineen muutoksiin. Erillispyörityskoneen ominaiskäyristä (kuva 11) käy selville, että paineen laskeutumisessa kallioporakone herkistyy syöttövoiman muutoksille.

Huuhteluilman tehtävänä on kuljettaa irrotettu porausjauho reiästä pois. Pölyämisen kannalta on sitä edullisempää, mitä suurempi-

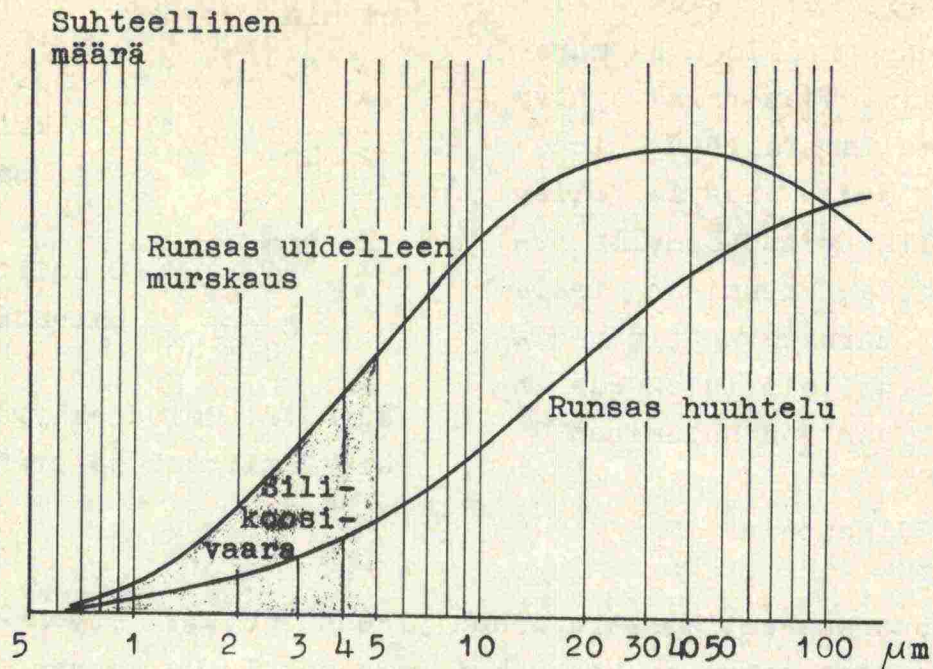
na kappaleina aines saadaan pois reiästä, joten huuhtelupaineen täytyy olla riittävä. Alhaisella huuhtelupaineella syntyy ns. kaksoismurskauksen vaara, jossa jo irrotettu kiviaines ei kulkeudu pois ilmavirran mukana, vaan murskautuu terän alla pienemmiksi osiksi. Tällöin hienopölyn määrä kasvaa (kuva 14).



Kuva 12. Ominaiskäyrät kalkkihiekkakivessä ja graniitissa / 27 /

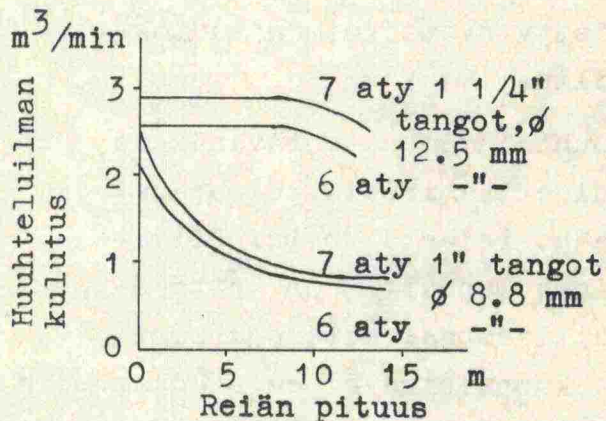


Kuva 13. Työpaineen ja tunkeutuvuuden välinen suhde / 27 /



Kuva 14. Esimerkki kallionporauspölyn raesuurusjakautumasta. Puutteellinen huuhtelu lisää uudelleenmurskausta, runsas huuhtelu puolestaan vähentää sitä / 7 /

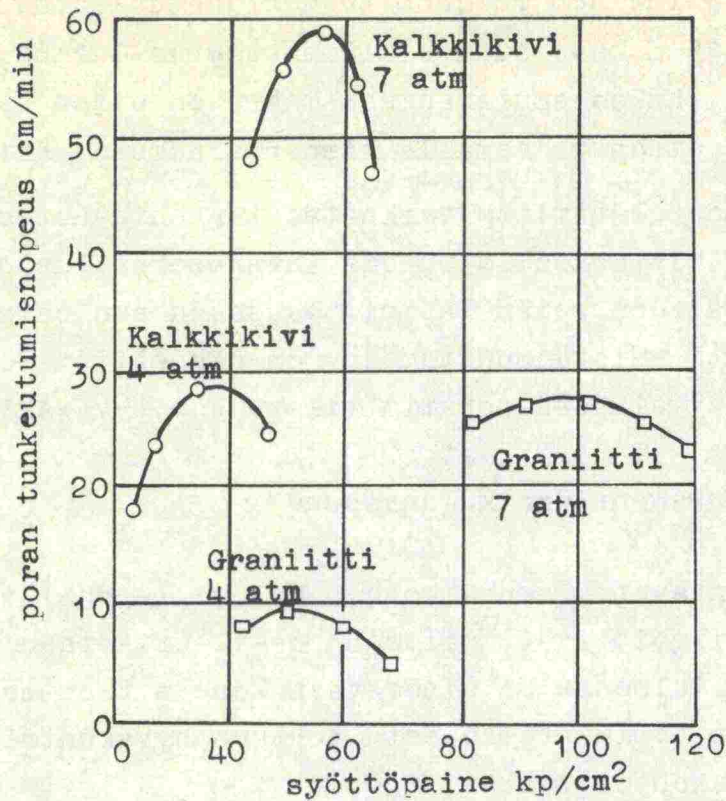
Liian suurella huuhtelupaineella saattaa terän ja kallion väliin muodostua ilmapatja, jolloin syöttövoima ei riitä kallion murskaamiseen, vaan kuluttaa sitä jauhamalla. Huuhteluilman kulutus on liukuva riippuen paineesta, poravarren huuhtelureiän läpimitasta ja poran pituudesta (kuva 15). Kuvassa 16 on esitetty porausnopeuden riippuvuus syöttöpaineesta ja huuhteluilman paineesta graniitille ja kalkkikivelle.



Kuva 15. Huuhteluilmankulutus jatkotankoporausessa / 27 /

4.343 Vedenpaine

Poraustehon ja porien kulumisen kannalta on edullista, että reiän pohjalta irrotettu ki-

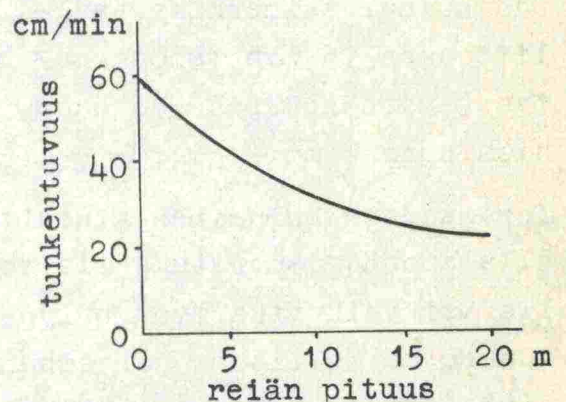


Kuva 16. Porausnopeuden riippuvuus syöttöpaineesta ja huuhtomisilmanpaineesta (Fraenkel) / 12 /

viaines saadaan tehokkaasti poistetuksi. Pölyämisen kannalta on edullista, että pöly saadaan samalla sidotuksi. Porattaessa pehmeitä kivilajeja tai kun tunkeutuvuus on yleensä suuri, on käytettävä mahdollisimman korkeata vedenpainetta riittävän huuhteluvesimäärän saamiseksi reiän pohjalle. Suositeltava vedenpaine on 1 aty alle ilmanpaineen, mutta mikäli porissa on niskatiivisteet, voidaan käyttää jopa 20 aty:n painetta.

4.344 Reiän pituus ja koko

Nykyaikaiset louhintamenetelmät edellyttävät usein pitkien (10...20 m) reikien poraamista. Jatkotankojen liitoksissa kuluu kuitenkin iskuenergiaa hukkaan ja tunkeutuvuus hidastuu reiän syvetessä. Kuvassa 17 on esitetty eräälle kallio-



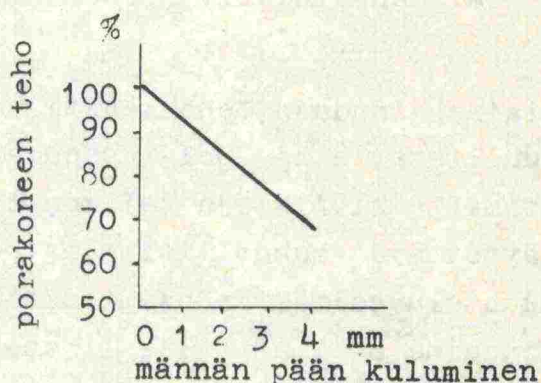
Kuva 17. Reiän pituuden ja tunkeutuvuuden välinen suhde / 27 /

porakoneelle ominainen reiän pituuden ja tunkeutuvuuden välinen suhde. Kuvan 15 mukaan huuhteluilmankulutus laskee reiän pituuden kasvaessa. Kaksoismurskauksen määrä on siten suurempi, mitä syvemmälle porataan ja samalla hienon aineksen määrä kasvaa.

Käytetyn poran läpimitta vaikuttaa tunkeutuvuuteen sekä pölyn määrään. Kullakin koneella on oma ihanneporakalustonsa ja reikäläpimittansa. Jos reiän läpimittaa joudutaan esimerkiksi louhintateknisistä syistä muuttamaan, on aiheellista ottaa huomioon, että aikayksikössä porattu tilavuus pysyy vakiona / 27 /.

4.345 Kallioporakoneiden kuluneisuus

Valmistajat antavat yleensä koneen kuluville osille ns. hylkyrajat, jotka ilmoittavat, milloin osat katsotaan loppuunkuluneiksi. Osien kuluessa ei ainoastaan koneen teho laske, vaan osien toisiinsa sopimattomuudesta johtuen hyväkuntoisetkin osat saattavat rikkoutua. Eräs mittaava kriteeri hylkyrajan asettelussa on kuitenkin koneen tehon aleneminen, mikä voidaan osa osalta selvittää laboratoriokojeissa. Koska eräs tavallinen toimenpide käytännössä on kuopalle kuluneen männänpään tasoittaminen hiomalla, on kuvassa 18 esitetty, kuinka tunkeutuvuus huononee, kun männänpää kuluu. Esimerkiksi sallittaessa 15 %:n tehonmenetyks, männänpäästä voidaan hioa pois 2 mm.



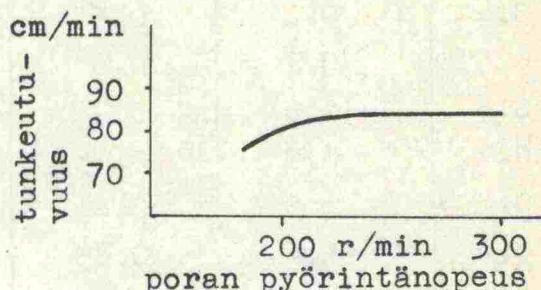
Kuva 18. Porakoneen tehon riippuvuus männän kuluneisuudesta / 27 /

Poranterien kuluminen aiheuttaa runsaasti hiontakatkoja. Oikealla hionnan suorituksella voidaan poran kestoiän lisääntymisen lisäksi vaikuttaa myös pölyn raekokoon. Oikein hiottu poranterä tunkeutuu kalliin ja aiheuttaa kiven murskautumisen isoiksi sirpaleiksi, kun taas tylsä terä suuremman iskupinnan vaikutuk-

sesta aiheuttaa kiven jauhautumisen. Poran teroitusta ei pitäisi suorittaa sormituntumalla, vaan apuna tulisi käyttää teroitustulkkia, joiden avulla voidaan selvittää paitsi poran oikea teroitustapa myös teroituksen tarpeellisuus.

4.346 Poran pyörintänopeus

Kuva 19 osoittaa, että tunkeutuvuus kasvaa poran pyörintänopeuden kasvaessa. Kasvu kuitenkin hidastuu nopeasti, kun saavutetaan tietty pyörintänopeus. Koska poran läpimitan kuluminen johtuu poran pyörimisliikkeestä, ei tätä taitekohtaa tulisi ylittää. Jokaisella teräläpimitalla ja myös kivilajilla on oma edullisin pyörintänopeutensa, joka on etsittävä kutakin tapausta varten erikseen.



Kuva 19. Pyörintänopeuden ja tunkeutuvuuden välinen suhde / 27 /

4.4 Louhintasuunnitelma

Esityksessä ei puututa louhintasuunnitelman tarkkaan laatimiseen, vaan ainoastaan niihin tekijöihin, jotka vaikuttavat pölyn muodostumiseen ja määrään.

Käytettävän porareian läpimitan määräävät louhintatyön suuruus, porauspituus sekä kuormaus- ja kuljetuskalusto. Pienreikäporauksen porauspituuden taloudellinen yläraja on 6...8 m, jota pidemmät reiät aina porataan suurempia läpimittoja käyttäen siten, että \varnothing 2" reiät soveltuvat 10...15 m:n ja \varnothing 3" reiät 20...30 m:n poraussyvyydelle. Avo- ja kanaalilouhinnassa reiät porataan vinoon asentoon, 4:1...2:1, tavallisimmin 3:1. Sen lisäksi porausta on suoritettava alle halutun louhintatason noin 0.3 E:n verran.

Vaakasوران edun (E) voi määrittää nyrkkisäännöllä, jonka mukaan sopivin vaakasورا etu metreinä on sama kuin reiän läpimitta

tuumina. Edun määrittämiseen voidaan käyttää myös taulukoita 17 ja 18.

Porras- korkeus m	Porareian pituus (kaltevuus 3:1)	Suurin etenemä E (m), kun kallio särkyy		
		helposti	normaalisti	vaikeasti
0.4	0.6	0.5	0.4	0.3
0.5	0.7	0.6	0.45	0.35
0.6	0.8	0.7	0.5	0.4
0.7	0.9	0.75	0.55	0.45
0.8	1.0	0.8	0.6	0.5
0.9	1.1	0.85	0.65	0.55
1.0	1.2	0.9	0.7	0.6
1.3	1.5	0.95	0.75	0.65
1.5	1.8	1.0	0.8	0.7
2.0	2.3	1.1	0.9	0.8
2.5	2.8	1.2	1.0	0.9
3.0	3.4	1.3	1.1	1.0
3.5	4.0	1.4	1.2	1.1
4.0	4.6	1.5	1.2	1.1
5.0	5.7	1.6	1.3	1.2
6.0	6.8	1.6	1.3	1.2
7.0	7.9	1.6	1.3	1.2
8.0	9.0	1.6	1.3	1.2

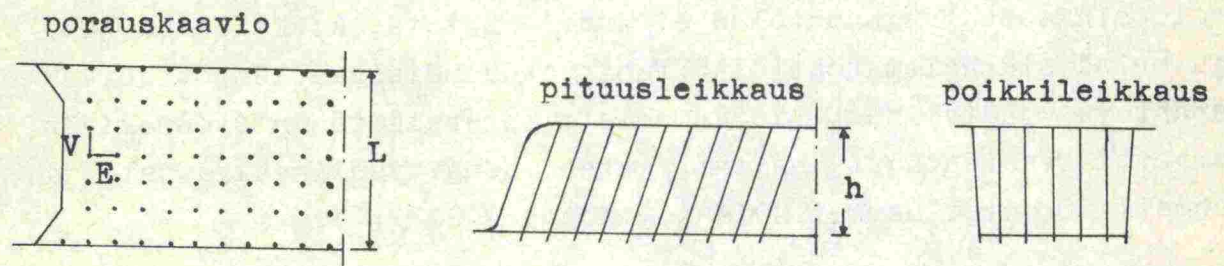
Taulukko 17. Etenemän määrittäminen avolouhinnassa lyhythidasteräjäytystä käytettäessä alle 8 m syvissä reiissä / 26 /

Kahden rinnakkaisen porareian keskinäinen väli louhintasuuntaa vastaan kohtisuorasti on reikäväli (V). Sen suuruus on suoraan riippuvainen E:stä. Raja-arvona käytetään $V_{max} = 1.5 E$, mutta käytännössä arvo $V = 1.2...1.4 E$ riippuen käytettävästä nallityypistä.

Kuvassa 20 on esitetty avolouhinnassa käytettävä porauskaavio merkintöineen.

Rin- kor- keus h	Reiän sy- vyys H (d=63 mm) Kallistus 3:1 2:1		Käytännön etenemä E_k (m) Poran läpimitta (mm)				
			d = 44	d = 50	d = 63	d = 75	d = 100
			0.3		0.65	0.70	
0.45		0.80	0.85				
0.6	1.25		0.90	0.95	1.1		
0.9	1.6		1.05	1.15	1.3	1.4	1.7
1.2	1.9		1.2	1.3	1.4	1.5	1.9
1.5	2.3		1.3	1.4	1.6	1.7	2.1
1.8	2.6		1.45	1.5	1.6	1.8	2.2
2.1	2.9		1.6	1.6	1.8	2.0...2.1	2.3...2.4
2.4	3.1		1.6	1.7	1.9	2.1...2.2	2.5...2.6
2.7	3.5		1.7	1.8	2.0	2.2...2.3	2.6...2.8
3.0	3.8	3.9	1.8	1.9	2.1	2.3...2.4	2.7...2.8
4.0	5.0	5.2	1.8	2.0	2.3	2.5...2.7	3.1...3.3
5.0	6.0	6.3	1.8	2.0	2.4...2.5	2.8...3.1	3.3...3.6
6.0	7.3	7.6	1.7	1.9...2.0	2.4...2.6	2.8...3.1	3.4...3.9
7.0	8.3	8.7	1.7	1.8...2.0	2.3...2.5	2.7...3.1	3.6...4.0
8.0	9.4	10.0	1.6	1.7...1.9	2.2...2.5	2.6...3.0	3.5...4.1
9.0	10.5	11.0	1.5	1.7...1.9	2.1...2.4	2.5...3.0	3.4...4.1
12.0	13.5	14.0	1.4	1.5...1.7	1.8...2.3	2.2...2.8	3.0...4.0
15.0	17.0	18.0	1.2	1.3...1.6	1.6...2.1	1.9...2.7	2.5...3.8
18.0	20.0	21.0	1.0...1.1	1.1...1.4	1.3...2.0	1.6...2.5	2.1...3.7

Taulukko 18. Käytännön etenemä suurehkoilla reiillä / 26 /



Kuva 20. Avolouhinnassa käytettävä porauskaavio / 26 /

4.5 Porauksen pölyntorjuntamenetelmät

4.51 Pölyn siirto

Porauksessa syntyy aina hienojakoista pölyä, joka vaikuttaa haitallisesti työntekijään sekä ympäristöön. Haitta voidaan työntekijän kannalta torjua siirtämällä pöly pois porauskoh- teesta. Tämä tapahtuu yksinkertaisesti käyttämällä putkea, jon- ka sisään on asennettu suuritehoinen puhallin. Putken suu ase- tetaan aivan porareian viereen, jolloin puhallin imee reiästä tulevan pölyn putkeen ja puhalttaa sen poispäin. Puhallin voi olla sähkö- tai paineilmaikäyttöinen.

Menetelmä on käyttökelpoinen olosuhteissa, joissa pöly voidaan puhalttaa tuulen alapuolelle ja tuulen suunta pysyy jatkuvasti samana. Pyörteisen tuulen vallitessa tuulen suunnan nopeasti vaihdellessa sekä täysin tyynellä säällä menetelmän antama hyö- ty on kyseenalainen. Pölyn leviämistä ympäristöön ei poispuhal- lusta käytettäessä voida luonnollisesti mitenkään estää.

4.52 Pölyn sidonta huuhteluväliaineella

4.521 Vesihuuhtelu

Vesihuuhtelu on kaivosporauksessa lähes yksinomainen pölynsi- dontamenetelmä. Vesi puristetaan paineella reiän pohjalle, jol- loin pöly sitoutuu veteen ja liete poistuu reiästä. Liian vä- häinen veden käyttö aiheuttaa sen, että osa pölystä ei ehdi si- toutua, vaan tulee kuivana pois. Liiaasta veden käytöstä on seu- rauksena turhaa lietettä ja porien juuttumista.

Avolouhinnassa vesihuuhtelua ei juuri käytetä, koska siitä joh- tuu erinäisiä haittatekijöitä. Pahin on alhaisissa lämpötiloissa tapahtuva jäätyminen. Liejun poisto porareistä ja työntekijän terveyttä vaarantavat haitat, kuten hengityselinsairaudet ja reumatismi, ovat merkittäviä tekijöitä / 20 /.

4.522 Sumuhuuhtelu

Muilla huuhteluaineilla käsitetään pölyn sitomista vedellä, jo-

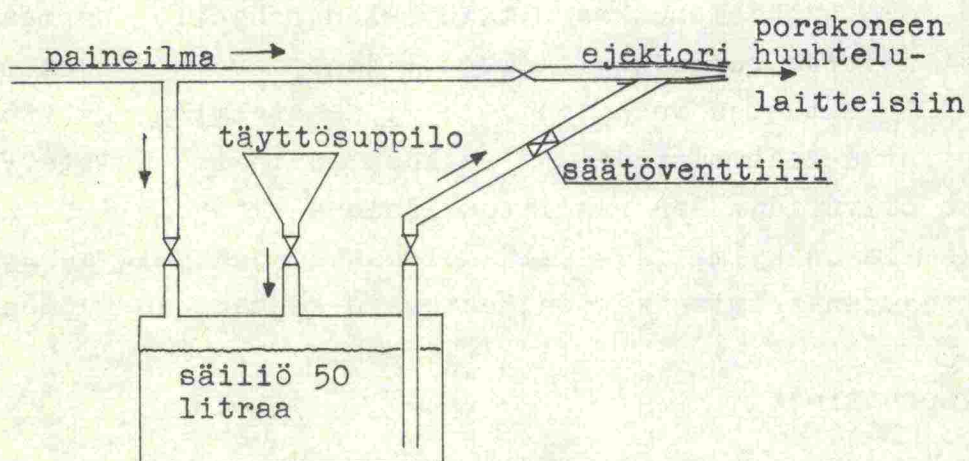
hon on lisätty veden pintajännitystä alentavaa ainetta, tai ilmalla, johon on lisätty ainetta, joka sitoo pölyä.

Suomessa on kehitetty sumuhuhtelumenetelmä / 20 /, jossa huuhteluilma kostutetaan saippualliuoksella. Tällöin hienojakoinen pöly sitoutuu yhteen muodostaen kuulia, jotka paineilman voimalla nousevat ylös reiästä ja putoavat alas reiän suun ympäristöön eikä pölyämistä sanottavasti esiinny.

Tärkeää pölyn sitomisen onnistumiselle on oikea kostutus. Jos se on liian suuri, syntyy lietettä ja poratangot juuttuvat kiinni. Liian vähäinen kostutus taas ei sido pölyä tarpeeksi tehokkaasti. Kostutetun ilman saippualliuospitoisuus on 0.03 ...0.1 %. Hieman suurempiakin pitoisuuksia voi käyttää.

Kostutusnesteen syöttö huuhteluilmaan tulee olla tasaista ja mahdollisimman hyvin sumuttavassa muodossa. Näin kostutettu huuhteluilma johdetaan tavalliseen tapaan porauslaitteisiin. Porakone tulee kuitenkin varustaa vesihuhtelua varten ja poran niska tiivisteellä.

Laitteiston (kuva 21) muodostaa säiliö, jonka tulee olla paineilman paineen kestävä, liuoksen sisääntuloventtiili sekä ejektor, missä liuos ja ilma sekoittuvat. Lisäksi on kolme sulkuventtiiliä. Säiliön suuruus määräytyy tarpeen mukaan. 50 litraa riittää 100...150 reikämetriä varten. Reiän aloitus suoritetaan



Kuva 21. Kallioporauksen sumuhuhtelumenetelmä / 20 /

yleensä ilman liuosta, mutta voidaan menetellä myös siten, että liuosta syötetään tavallista runsaammin ja koneen käydessä täydellä teholla säädetään syöttö sopivaksi. Kostutuksen määrän sopivuutta voi kokeilla puristamalla käsin porajauheesta palloja (kuten lumipalloja).

Pölyn sitomisen onnistumiseen vaikuttavat merkittävästi seuraavat seikat :

1. Poran huuhtelureiän läpimitta, sijainti ja muoto. Huuhtelureikien pinta-alan, joka vaikuttaa huuhtelutehoon, tulee olla oikeassa suhteessa porajauheen määrään aikayksikössä. Kokeiluja on suoritettu myös käsiporakoneilla ja meisseliterillä. Pölynmuodostus on ollut liian voimakasta ja sitominen ei ole ollut tyydyttävää. Syynä riittämätön huuhtelu ja vaikeudet kostutuksen säädössä. Paras tulos saadaan porilla, joissa on useita mahdollisimman suuria reikiä terässä.
2. Vesi on saatava sumutetuksi mahdollisimman hienojakoiseksi.
3. On voitava tarkasti säätää saippualliuos-vesi-syöttö huuhteluilmaan.

4.523 Pölyn sidonta vaahdolla

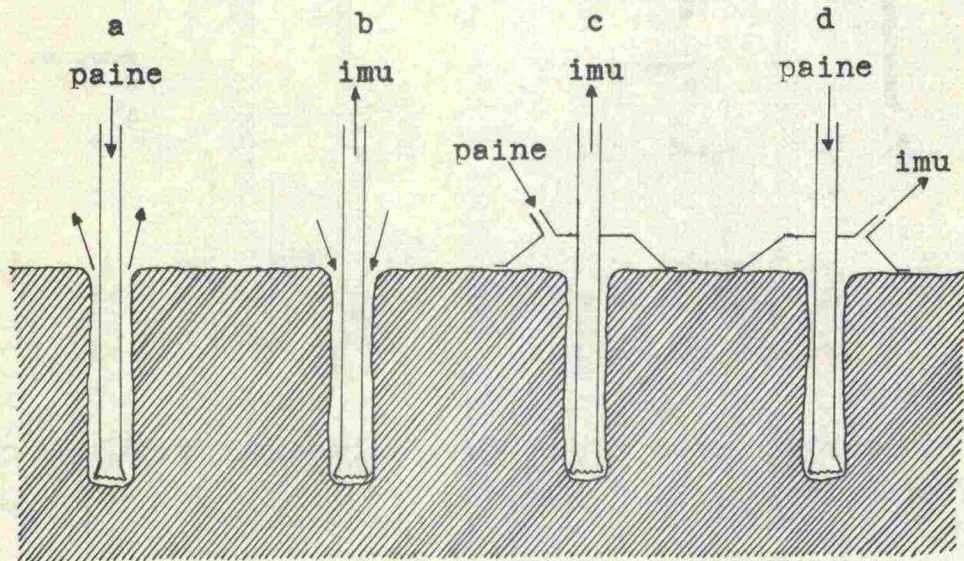
Sumuhuuhtelumenetelmä on eräs erikoistapaus sovellutuksista, joissa käytetään veteen tai ilmaan sekoitettuja kemikaaleja, jotka aiheuttavat vaahdon muodostumista. Vaahto voidaan johtaa paineella joko huuhteluputkea pitkin reiän pohjalle normaaliin tapaan tai käyttää reiän suulla kupua, johon vaahto johdetaan ja jossa pöly sitoutuu vaahtoon / 34 /. Menetelmien käyttökel-
poisuus riippuu laitteistojen ja vaahdon ominaisuuksista. Vaahdon käyttö pölynsidontaan rajoittuu lähinnä kaivoksiin, koska avolouhoksilla on kylmällä säällä olemassa jäätymisvaara, joka rajoittaa menetelmien käytön muutamaankuukauteen vuodessa.

4.53 Pölynerottimet

4.531 Pölyn siirto erottimeen

Pölyn poisto poranreiästä voi tapahtua periaatteessa neljällä

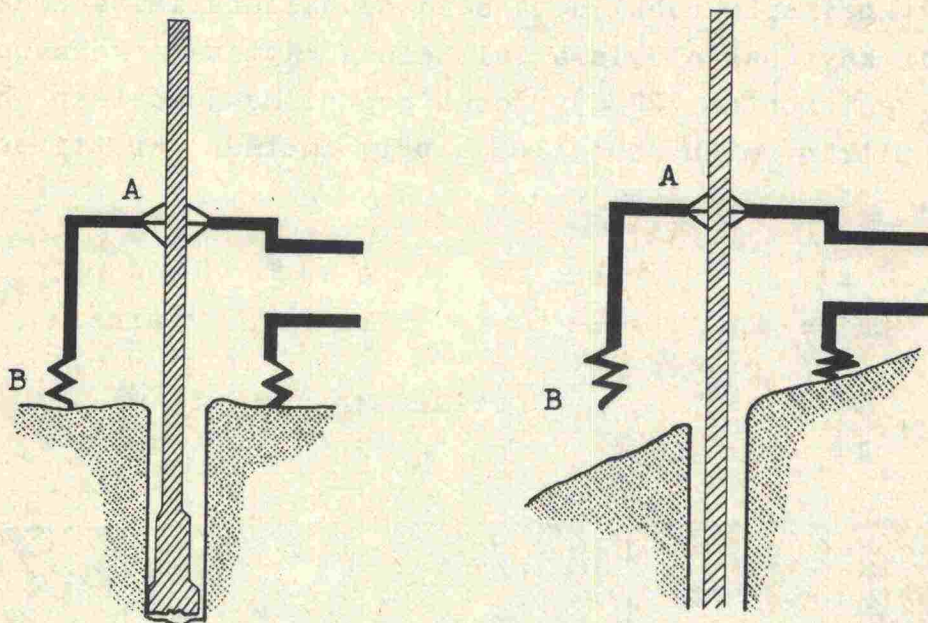
tavalla (kuva 22). Kuivaporauksessa käytetään paineilman johtamista huuhteluputken läpi reiän pohjalle, josta pöly poistuu ilmanpaineen vaikutuksesta (22 a). Pölyä ei tällöin saada talteen. Pölyn talteenottamiseksi voidaan paineilman puhalluksen sijasta käyttää huuhteluputkessa imua (22 b), jolloin pöly saadaan koottua talteen. Kolmas tapa on käyttää poratangan ulkopuolista paineilmapuhallusta sekä huuhteluputkessa imua (22 c). Nykyisin käytössä olevissa laitteissa käytetään kolmannen menetelmän vastakohtaa (22 d), jossa paineilma johdetaan huuhteluputkea pitkin reiän pohjalle ja pöly imetään erottimeen reiän suulta.



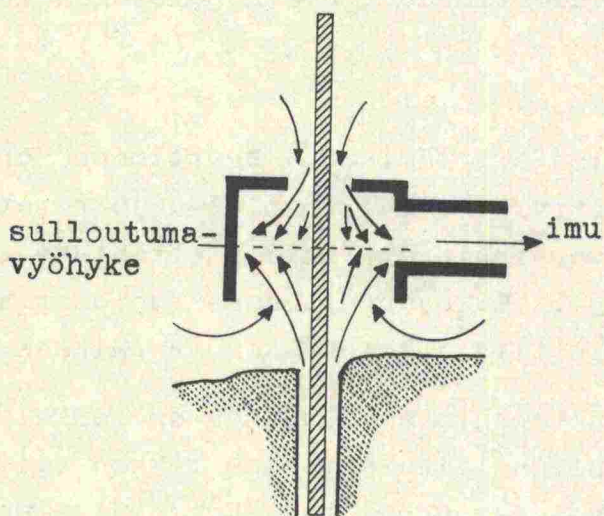
Kuva 22. Eri mahdollisuudet pölyn poistamiseksi porareistä
/ 34 /

Suurin vaikeus pölyn siirtämisessä erottimeen on reiän suulle tulevan imukuvun tiivistys kallionpintaa ja poratankoa vastaan. Ongelma esiintyy varsinkin jyrkästi viettävissä paikoissa porattaessa (kuva 23). Imukuvun alaosassa voidaan käyttää joustavaa helmaa, jolloin tiivistyminen saadaan aikaan melko hyvin. Poratankoa vastaan tapahtuva tiivistys on hankalampi toteuttaa, koska poran terä poraa liikuteltaessa rikkoo tiivisteen helposti. Tiivistäminen voidaan suorittaa käyttämällä sekundääri-ilmavirtausta (kuva 24). Suuremmissa koneissa käytetään hyväksi Coanda-ilmiöön perustuvaa jarrutusejektoria (kuvat 25 ja 26). Tällöin huuhteluilmavirta saadaan pysähtymään vastakkaisen il-

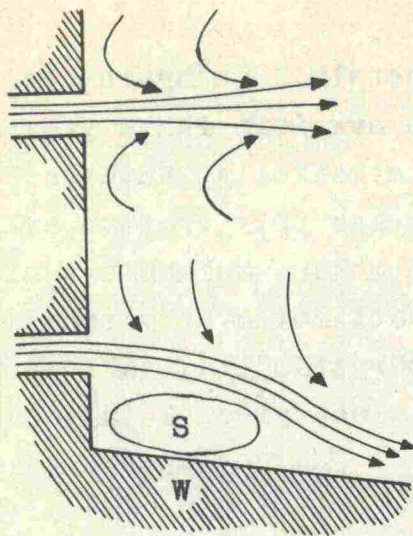
mavirran vaikutuksesta imukuvun sisään ja ilma voidaan imeä pölynerottimeen.



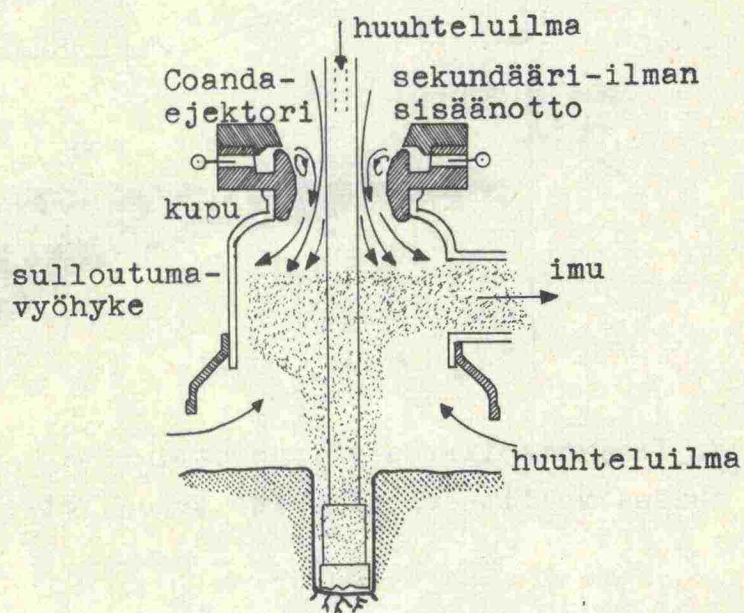
Kuva 23. Imukuvun arat paikat ovat poratangon sisäänmenoaukko (A) ja tiivistys kallion pintaa vasten (B) / 7 /



Kuva 24. Pienissä koneissa on mahdollista aikaansaada tiivistys sekundääri-ilmavirtauksella / 7 /



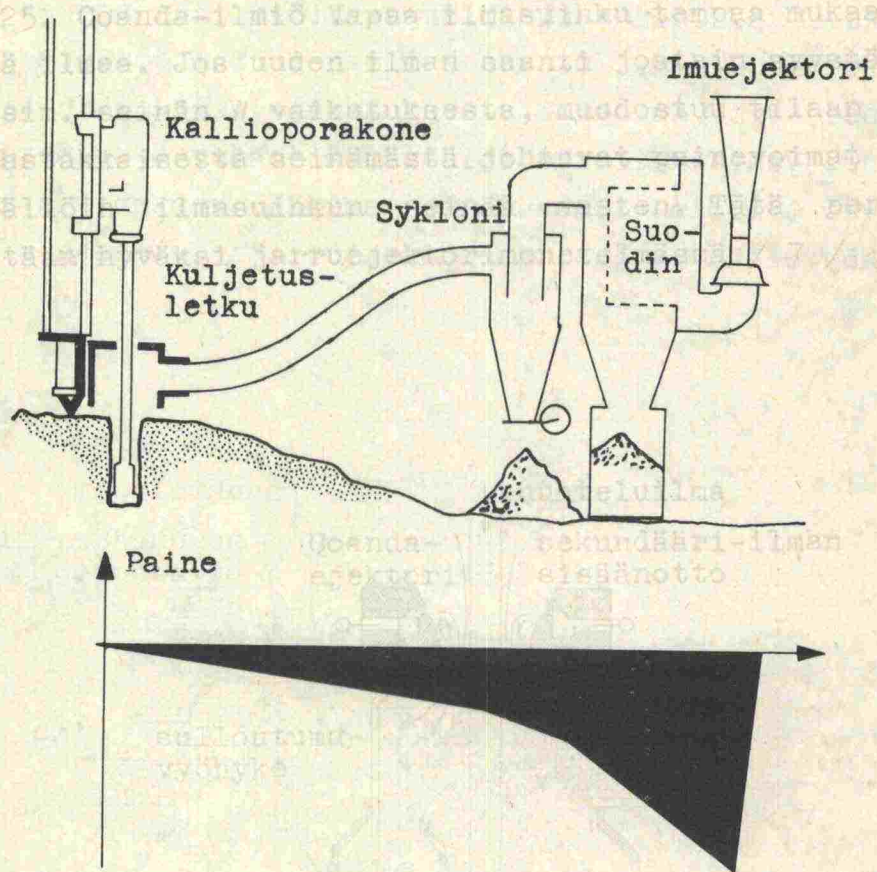
Kuva 25. Coanda-ilmiö. Vapaa ilmasuihku tempaa mukaansa ympäröivää ilmaa. Jos uuden ilman saanti jostain syystä heikenee esim. seinän W vaikutuksesta, muodostuu tilaan S alipaine. Vastakkaisesta seinämästä johtuvat painevoimat puristavat tällöin ilmasuihkun seinää vasten. Tätä periaatetta käytetään hyväksi jarruejektorimenetelmässä / 7 /



Kuva 26. Coanda-ejektorilla aikaansaadaan aerodynaaminen tiivistys / 7 /

4.532 Pölyn erottaminen

Pölyn erottamismenetelmiä on hyvin monia, mutta porauksen yhteydessä käytetään nykyisin lähes yksinomaan sykklonia, joka on varustettu suodatinyksiköllä. Kuvassa 27 on periaatepiirros pölynerottimesta. Karkea pöly erottuu sykklonissa ja sykklonin läpi menevän ilmavirran mukana kulkeutuva hieno pöly erottuu suodatinyksikössä. Suodattimet ovat yleensä puhdistettavia. Puhdistaminen tapahtuu täryttämällä, jolloin pöly putoaa sykklonin läpi pölynkeräimeen, jona yleensä käytetään muovipussia.



Kuva 27. Periaatepiirros pölynerottimesta. Järjestelmän kaikissa osissa vallitseva alipaine takaa, ettei pölyä vuoda ulos / 7 /

Tarvittava imu saadaan aikaan suuritehoisella, paineilmakäyttöisellä ejektorilla. Ejektori voi sijaita ennen pölynerotinta, jolloin järjestelmä toimii ylipaineella, tai pölynerottimen

jälkeen, jolloin järjestelmä toimii alipaineella.

Ejektorin käyttöiälle ja tehokkaalle toiminnalle on edullista, että se sijaitsee pölynerottimen jälkeen, koska se ei joudu silloin kivipölyn kuluttavalle vaikutukselle alttiiksi.

Ruotsissa ja Saksan Liittotasavallassa on ohjeena erottimen käytölle alipaineisuus.

5. P o r a u s p ö l y n l e v i ä m i n e n y m p ä r i s t ö ö n

5.1 Pölyhiukkasten rakeisuus, massa ja pinta-ala

Pölyinen ilma on fysikaalisessa mielessä dispergoitunut systeemi, joka koostuu kahdesta faasista, kiinteästä ja kaasumaisesta. Ilma on dispersioväliaine ja pölyhiukkaset muodostavat sen dispergoituneen osan.

Kaikkia ilmassa leijuvia hiukkasia kutsutaan yhteisnimellä leijuvat ainekset (ilmakolloidi tai ilma-aerosoli). Leijuvaa kiinteää ainesta kutsutaan pölyksi ja nestemäistä sumuksi.

Muodostumistavan mukaan erotetaan :

1. Dispersioaerosoli, joka muodostuu kiinteitten tai nestemäisten kappaleitten hajoamisesta (kiteisten aineiden louhimisesta ja rikkomisesta yms.).
2. Kondensaatioaerosoli, joka muodostuu kaasuista ja höyryistä jäähtymällä (uudelleen kiteytyminen).

Porauksen yhteydessä muodostuvan kivijauheen rakeisuusjakautuma on laaja. Kivijauhe voidaan jakaa kolmeen eri lajitteeseen / 34 / :

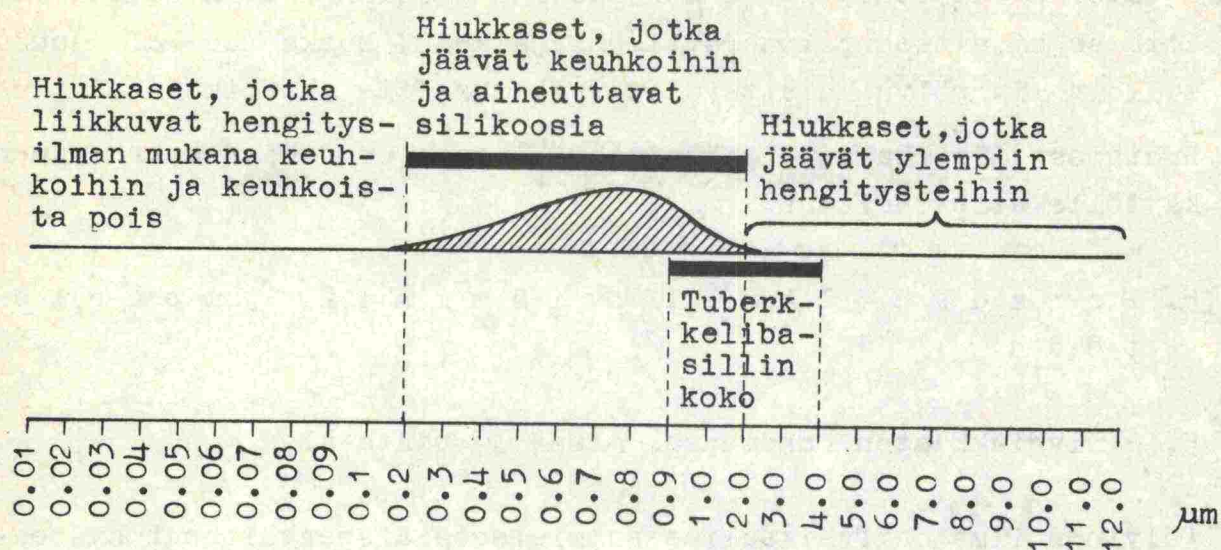
1. Porausmurske, hiukkaskoko $> 1000 \mu\text{m}$ (1 mm)
2. Porausjauhe , hiukkaskoko $1000 \dots 50 \mu\text{m}$
3. Porauspöly , hiukkaskoko $< 50 \mu\text{m}$

Porauspölyn haitallisin osa on rakeisuusalueella $0.2 \dots 2.0 \mu\text{m}$ (kuve 28). Leijuvana aineksena pidetään pölyä, jonka rakeisuus on alle $10 \mu\text{m}$.

Pölyhiukkasen massa vaikuttaa luonnollisesti hiukkasen tiheys. Jos tiheys tunnetaan, voidaan massa laskea kaavalla 9.

$$m = \rho V$$

(9)



Kuva 28. Pölyn rakeisuudesta riippuva haitallisuusaste / 34 /

Taulukossa 19 on esitetty erikokoisten pölyhiukkasten massa o-

Hiukkasen läpimitta (µm)	massa mg	hiukkasluku/1 mg
10	$1.41372 \cdot 10^{-6}$	707353
9	$1.03060 \cdot 10^{-6}$	970306
8	$7.23825 \cdot 10^{-7}$	1381550
7	$4.84906 \cdot 10^{-7}$	2062255
6	$3.05364 \cdot 10^{-7}$	3274785
5	$1.76715 \cdot 10^{-7}$	5658829
4	$9.04780 \cdot 10^{-8}$	11052410
3	$3.81704 \cdot 10^{-8}$	26198310
2	$1.13098 \cdot 10^{-8}$	88418893
1	$1.41372 \cdot 10^{-9}$	707353648
0.9	$1.03060 \cdot 10^{-9}$	970306700
0.8	$7.23825 \cdot 10^{-10}$	1381550200
0.7	$4.84906 \cdot 10^{-10}$	2062255400
0.6	$3.05364 \cdot 10^{-10}$	3274785600
0.5	$1.76715 \cdot 10^{-10}$	5658829200
0.4	$9.04780 \cdot 10^{-11}$	11052410500
0.3	$3.81704 \cdot 10^{-11}$	26198310700
0.2	$1.11310 \cdot 10^{-11}$	88418893300
0.1	$1.41372 \cdot 10^{-12}$	707353648600

Taulukko 19. Kvartsihiukkasen massa / 34 /

lettaen, että hiukkanen on pallon muotoinen ja sen tiheys on 2.70 g/cm^3 , joka vastaa kvartsin tiheyttä. Taulukossa on myös esitetty hiukkasten lukumäärä, joka sisältyy määrätyn suuruista raekokoa sisältävään kvartsipölyyn.

Kvartsin haitallisuus perustuu osaltaan hiukkasten pinta-alaan. Taulukossa 20 on esitetty kvartsipölyhiukkasien pinta-ala sekä yhteispinta-ala, jonka 1 mg tiettyä raekokoa olevaa pölyhiukkasta muodostaa.

Taulukosta 20 voidaan havaita, että hiukkaskoon pienentyessä kasvaa tietyn suuruisen pölymäärän kokonaispinta-ala voimakkaasti.

Hiukkasen läpimitta μm	Hiukkasen pinta-ala μm^2	Hiukkasten pinta-ala / 1 mg mm^2
10	314.16	222.11
9	254.47	246.46
8	201.06	277.58
7	153.94	315.49
6	113.10	369.96
5	78.540	441.32
4	50.266	552.60
3	28.274	733.54
2	12.566	1061.0
1	3.142	2221.1
0.9	2.545	2464.6
0.8	2.011	2775.8
0.7	1.5393	3154.9
0.6	1.1309	3699.6
0.5	0.7854	4413.2
0.4	0.5026	5526
0.3	0.2827	7335
0.2	0.12566	10610
0.1	0.03141	22210

Taulukko 20. Kvartsihiukkasten pinta-ala / 34 /

Ilman puhtauden arvostelu silmämääräisesti on mahdotonta, koska leijuvaa pölyä ei erota silmin. Valonsäteessä sopivaa taustaa vasten voidaan erottaa pölyhiukkaset, joiden suuruus on yli 10 μm . Normaalioptiikalla varustetulla mikroskoopilla voidaan erottaa 1 μm :n suuruiset pölyhiukkaset. 1...0.25 μm :n suuruiset hiukkaset voidaan erottaa immersiomikroskoopilla ja sitä pienemmät ultra- tai elektronimikroskoopilla.

5.2 Vapaa putoaminen

Aika, jonka pölyhiukkanen pysyy ilmassa, riippuu sen koosta, tiheydestä, muodosta ja sääolosuhteista. Pallonmuotoisen hiukkasen putoamisnopeus v voidaan ilmaista kaavalla 10. Kaavassa

$$v = f/k \quad (10)$$

$$f = (4/3)r^3\pi(d_1-d_2)g \quad (11)$$

$$k = 6\pi\eta rv \quad (12)$$

tarkoittaa f voimaa, jonka vaikutuksesta hiukkanen liikkuu ja k voimaa, joka vastustaa liikettä. f :n ja k :n arvot voidaan laskea kaavoista 11 ja 12, joissa r on hiukkasen säde, d_1 on hiukkasen tiheys, d_2 on väliaineen tiheys, g on maan vetovoima ja η on ilman viskositeetti. Tasapainoyhtälöstä $f = k$ saadaan ratkaistuksi hiukkasen vapaa putoamisnopeus, joka on esitetty kaavassa 13. Kaava tunnetaan Stokes'in lain nimellä. Kaava

$$v = \frac{2}{9} \frac{(d_1-d_2)g}{\eta} r^2 \quad \text{cms}^{-1} \quad (13)$$

pitää paikkansa vain hyvin pienille laminaarisille nopeuksille, joille Reynolds'in luku $Re < 1$ (kaava 14).

$$Re = rvd/\eta \quad (14)$$

Hiukkasten raekoon ollessa yli 80 μm , on kaavaan 13 otettava mukaan Oseen'in korjaus, jolloin kaava 12 tulee muotoon 15.

$$k = 6\pi\eta rv(1 + \frac{3}{16} Re) \quad (15)$$

Mikäli hiukkasten koko on hyvin pieni, huomioidaan putoamisno-

peuden suuruudessa tapahtuva muutos Cunningham'in korjausker-
toimella, jolloin kaava 13 tulee muotoon 16, jossa A on vakio

$$v = v_{\text{Stokes}} \left(1 + A \frac{1}{r} \right) \quad (16)$$

ja l on kaasumolekyylien keskimääräinen vapaa matka.

Taulukossa 21 on laskettu eri kokoisten hiukkasten vapaa putoa-
misnopeus ja aika, jossa hiukkanen putoaa yhden metrin matkan
olosuhteissa, joissa

ilman lämpötila = 15°C

$\eta = 17 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm s}$

$g = 981 \text{ cms}^{-2}$

$d_1 = 2.65 \text{ g/cm}^3$

$d_2 = 0.0013 \text{ g/cm}^3$

$A_1 = 1.467 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$

r μm	v _{st} cm/s	v _c cm/s	v=v _{st} +v _c cm/s	t=100/v
0.05	8.5 · 10 ⁻⁶	2.5 · 10 ⁻⁴	3.35 · 10 ⁻⁴	3 vrk 11 h 20 min
0.1	3.4 · 10 ⁻⁴	5.0 · 10 ⁻⁴	8.4 · 10 ⁻⁴	1 vrk 9 h 3 min 20 s
0.15	7.65 · 10 ⁻⁴	7.5 · 10 ⁻⁴	15.5 · 10 ⁻⁴	17 h 46 min
0.2	13.6 · 10 ⁻⁴	10.0 · 10 ⁻⁴	23.6 · 10 ⁻⁴	11 h 40 min
0.25	21.25 · 10 ⁻⁴	12.5 · 10 ⁻⁴	33.75 · 10 ⁻⁴	8 h 20 min 40 s
0.3	30.6 · 10 ⁻⁴	15.0 · 10 ⁻⁴	45.6 · 10 ⁻⁴	5 h 50 min 30 s
0.35	41.65 · 10 ⁻⁴	17.5 · 10 ⁻⁴	59.15 · 10 ⁻⁴	4 h 26 min 40 s
0.4	54.4 · 10 ⁻⁴	20.0 · 10 ⁻⁴	74.4 · 10 ⁻⁴	3 h 36 min 40 s
0.45	68.85 · 10 ⁻⁴	22.5 · 10 ⁻⁴	91.35 · 10 ⁻⁴	3 h 3 min 20 s
0.5	85.0 · 10 ⁻⁴	25.0 · 10 ⁻⁴	1.1 · 10 ⁻²	2 h 31 min 30 s
1.0	3.4 · 10 ⁻²	0.5 · 10 ⁻²	3.9 · 10 ⁻²	42 min 44 s
2.0	13.6 · 10 ⁻²	1.0 · 10 ⁻²	14.6 · 10 ⁻²	11 min 25 s
3.0	30.6 · 10 ⁻²	1.5 · 10 ⁻²	32.1 · 10 ⁻²	5 min 11 s
4.0	54.4 · 10 ⁻²	2.0 · 10 ⁻²	56.4 · 10 ⁻²	2 min 57 s
5.0	85.0 · 10 ⁻²	2.5 · 10 ⁻²	87.5 · 10 ⁻²	1 min 54 s

Taulukko 21. Kvartsihiukkasten vapaa putoamisnopeus / 34 /

5.3 Brownin liike

Hyvin pienet hiukkaset käyttäytyvät rauhallisessa ilmavirtauksessa kuten kaasumolekyylit. Ne leviävät täytteen tasaisesti koko käytettävissä olevan tilan. Käyttäytyminen johtuu Brownin liikkeestä, joka on merkittävä alle $0.1 \mu\text{m}$:n hiukkaskoolle. Liike johtuu kaasumolekyylien törmäilyistä pölyhiukkasiin ja ilmenee pölyhiukkasen värähtelyinä ja heilumisena epämääräisiin suuntiin sekä pyörimisenä akselinsa ympäri. Hiukkaskoon kasvaessa samanaikaisten törmäysten lukumäärä kasvaa ja pölyhiukkasen massa kasvaa suhteessa kaasumolekyylien massaan, jolloin liikkeen suuruus pienenee ja sen merkitys vähenee. Mitä pienempiä pölyhiukkaset ovat, sitä intensiivisempi liike on. Väliaineen lämpötilan nousu aiheuttaa liikkeen suuruuden kasvun. Hiukkaskonsentraation kasvu lisää liikkeen suuruutta, koska pölyhiukkaset silloin törmäilevät myös toisiinsa. Väliaineen tiheyden kasvu lisää myös liikkeen suuruutta, koska törmäysten todennäköisyys kasvaa.

Brownin liikkeen suuruus voidaan laskea kaavasta 17 /14/, jossa

$$A = \sqrt{\frac{RT}{N} \frac{t}{3\pi\eta r}} \quad (17)$$

A on liikkeen amplitudi ajassa t, R on kaasuvakio, N on Avogadron luku ja T absoluuttinen lämpötila. Termi R/N voidaan korvata luvulla k, joka tarkoittaa Boltzmannin vakiota.

5.4 Flokkautuminen

Flokkautumisella tarkoitetaan pölyhiukkasten koon kasvamista joko toisiinsa liittymällä tai toisiin aineisiin liittymällä. Flokkautumisen kautta osa leijuvasta aineksestä saostuu pois ilmasta.

Flokkautumiseen vaikuttavia tekijöitä on useita. Brownin liikkeen perusteella on kehitetty kaava 18 /14/, jossa L on Loschmidtin luku ja n on pölyhiukkasten lukumäärä. Hiukkasten koon

$$-\frac{dn}{dt} = \left[\frac{4RT}{3\eta L} \left(1 + A \frac{1}{r} \right) \right] n^2 \quad (18)$$

ollessa sama, voidaan hakasuluissa oleva lauseke korvata vaki-

olla k . Se on eräänlainen hiukkasen liikkuvuuden mitta. Alle $1 \mu\text{m}$:n hiukkasille voidaan käyttää k :n arvoa $5 \cdot 10^{-10}$. Suorittamalla integrointi ajan suhteen, saadaan yhtälö 19, jossa n_0 on

$$\frac{1}{n_t} - \frac{1}{n_0} = kt \quad (19)$$

hiukkasten lukumäärä alussa ja n_t on hiukkasten lukumäärä ajan t jälkeen. Flokkautumisnopeutta kiihdyttävät pölykonsentraation kasvu ja lämpötilan nousu, koska Brownin liike kasvaa.

Erisuuruisten hiukkasien ollessa kyseessä voidaan k :lle käyttää arvoa $5 \cdot 10^{-9}$, koska todennäköisyys, että suuri ja pieni hiukkanen törmää toisiinsa on suurempi kuin todennäköisyys, että kaksi samankokoista hiukasta törmää toisiinsa. Kaava 19 ei ole täysin pätevä, mikäli pölyhiukkaset ovat sauvamaisia tai levymäisiä.

Ilmavirtauksen nopeudella on todettu olevan vaikutusta joidenkin pölytyyppien flokkautumiseen, mutta kvartsiöpölyn flokkautumiseen sillä ei juuri ole vaikutusta / 6 /.

Ilman kosteuden vaihteluilla kyllästyspisteen alapuolella ei ole vaikutusta aerosolien stabiilisuuteen. Ilma saattaa olla pölyisempää tuulettomalla, kostealla säällä, joka johtuu siitä, että kuivalla ja tuulisella säällä pölyn kulkeutuminen on voimakkaampaa / 6 /.

Pölyhiukkasen sähköisellä varauksella on voimakas vaikutus flokkautumiseen. Kvartsihiukkasella on irrotessaan voimakas negatiivinen varaus. Jos ilmassa on hiukkasia, jotka ovat varautuneet positiivisesti, on seurauksena näiden ja kvartsihiukkasten flokkautuminen. Flokkautumiseen johtavat voimat ovat hiukkasien sähköiset varaukset, van der Waals'in voimat ja induoituneet dipolivoimat / 14 /.

Flokkautumiseen on todettu voitavan vaikuttaa myös ultraäänellä. Tällöin vaikuttavia tekijöitä ovat pölyhiukkasien resonanssivärähtely, äänen paine ja aerodynaamiset voimat.

5.5 Meteorologiset tekijät

Meteorologisista tekijöistä pölyn kulkeutumiseen vaikuttavat

tuulen nopeus, tuulen suunta, ilman kosteus, ilmanpaine, ilmavirtauksen turbulenttisuus ja ilmakehän diffuusio.

Tuulen nopeuden vaikutuksen suuruus voidaan laskea kaavalla $20 / 24 /$, jossa L on pölyhiukkasen kulkeutumismatka, c on tuulen

$$L = ct \quad (\text{m}) \quad (20)$$

nopeus ja t on hiukkasen putoamisaika. Jos hiukkasen lähtökorkeus on h ja vapaa putoamisnopeus v , saadaan putoamisaika kaavasta 21. Taulukkoon 22 on laskettu erikokoisten hiukkasien

$$t = h/v \quad (21)$$

putoamisajat ja kulkeutumismatkat tuulen nopeuden perusteella.

r μm	t s	Tuulen nopeus					
		1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
Pölyn kulkeutumismatka metreissä							
0.1	300000	300000	600000	900000	1200000	1500000	1800000
0.2	119000	119000	238000	357000	476000	595000	714000
0.3	64000	64000	128000	192000	256000	320000	384000
0.4	42000	42000	84000	126000	168000	210000	252000
0.5	30000	30000	60000	90000	120000	150000	180000
0.6	21000	21000	42000	63000	84000	105000	126000
0.7	16000	16000	32000	48000	64000	80000	96000
0.8	13000	13000	26000	39000	52000	65000	78000
0.9	11000	11000	22000	33000	44000	55000	66000
1.0	9090	9090	18180	27270	36360	45450	54540
2.0	2564	2564	5128	7692	10256	12820	15384
3.0	1190	1190	2380	3570	4760	5950	7540
4.0	685	685	1370	2055	2740	3425	4110
5.0	444	444	888	1332	1776	2220	2664
6.0	311	311	622	933	1244	1555	1866
7.0	232	232	464	696	928	1160	1392
8.0	177	177	354	531	708	885	1062
9.0	140	140	280	420	560	700	840
10.0	114	114	228	342	456	570	684

Taulukko 22. Erisuuruisten kvartsihiukkasten kulkeutumismatka metreissä / 34 /

Ilman kosteus vaikuttaa pölyhiukkasten flokkautumiseen, mutta kvartsihiukkasten kohdalla sillä ei ole sanottavaa vaikutusta / 6 /.

Tuulen suunta liittyy turbulენტtisuuden käsitteeseen. Turbulenttisuudella tarkoitetaan tuulen suunnan poikkeamista vallitsevasta suunnasta. Turbulenttisuuden suuruutta voidaan kuvata erilaisilla indeksiluvuilla, joista vapaaseen ilmakehään soveltuu parhaiten Richardsonin luku (kaava 22), jossa g on paino-

$$Ri = g \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma \right) / T \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 \quad (22)$$

voiman kiihtyvyys, T on absoluuttinen lämpötila, Γ on kuiva-adiabaattinen lämpötilagradientti, \bar{u} on keskimääräinen horisontaalinen tuulen nopeus ja z on pystykoordinaatti. Osoittajan arvon ratkaisee termin $\partial T / \partial z$ eli lämpötilan pystygradientin suuruus eli ilman instabiilisuus aiheuttaa suuria turbulenssiarvoja. Osoittajan ja nimittäjän muuttuvat termit ovat vaikutukseltaan samansuuntaisia eli jos ilma on labiili, on tuulishear pieni ja Ri -luku näin ollen suuri / 10 /.

Turbulenttisessa virtauksessa kelluvan aineen konsentraation vaihteluita voidaan yleisesti kuvata pisteessä x, y, z parabolisella yhtälöllä 23, jossa X on konsentraatio (massa/tilavuus-

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (23)$$

yksikkö) ja k_x, k_y, k_z ovat turbulenttisen diffuusiokyvyn komponentit.

Yhtälöä 23 voidaan yksinkertaistaa olettamalla, että k :t ovat vakioita ja riippumattomia x, y, z :sta. Tällöin yhtälö on ratkaistavissa. Diffuusiota kutsutaan Fickin diffuusioksi. Diffusion rakenne on sellainen, että kun otetaan konsentraatiosta minkä akselin suuntainen poikkileikkaus tahansa siten, että poikkileikkaus kulkee virtausakselin kautta, noudattaa jakautuma Gaussin normaalijakautuman tyyppiä.

Jatkuvan pistemäisen lähteen diffuusiosta otetaan ainoaksi vaikuttavaksi tuulikomponentiksi horisontaalinen komponentti ja sen keskiarvoa merkitään \bar{u} :lla. Ristituulen horisontaalinen ja vertikaalinen (\bar{v}, \bar{w}) komponentti ovat nolliä. Lähteen jatku-

vuudesta seuraa oletus $\partial X / \partial t = 0$. Näillä oletuksilla yhtälö 22 on muunnettavissa muotoon 24.

$$\bar{u} \frac{\partial X}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial X}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial X}{\partial z}) \quad (24)$$

Yhtälön 24 kuvaamaan tilanteeseen voidaan lisätä oletus, että hiukkasilla on painovoiman aiheuttamaa putoamisnopeutta, jota merkitään v_s :llä. Vaikuttavista tekijöistä otetaan huomioon vain z-komponentti. Silloin yhtälö 23 tulee muotoon 25. Oikean

$$\bar{u} \frac{\partial X}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial X}{\partial z} + v_s X) \quad (25)$$

puolen viimeistä termiä ($v_s X$) nimitetään konvektioterminiksi.

Asfalttiasemien pölyämistä koskevissa tutkimuksissaan on Ryyänen / 28 / todennut pölykonsentraation noudattavan yleisesti yhtälöä 26. Yhtälössä C tarkoittaa pölykonsentraatiota (mg/Nm^3),

$$C = Bx^A \quad (26)$$

B konsentraatiota etäisyydellä 1 m (emissio), x etäisyyttä asemasta (m) ja A vakiota, jonka arvo on keskimäärin ollut 1.41. Yhtälön kuvaaja on täyslogaritmisella asteikolla suora.

5.6 Maaston vaikutus

Maaston vaikutus perustuu laajassa mielessä maastoesteiden ilmavirtauksia ohjailevaan ja hidastavaan vaikutukseen. Korkean esteen kohdatessaan ilmavirtaus nousee ylöspäin, jolloin esteen etupuolelle syntyy imua, joka nostaa ilmaa ylöspäin. Imu on sitä suurempi mitä voimakkaampi ilmavirtaus on.

Pölykonsentraatio saattaa esteen yläpuolella olla suurempi kuin välittömästi sen etupuolella. Kasvillisuus ja muut esteet toimivat luonnollisina suodattimina, koska pölyhiukkaset takertuvat niihin, eivätkä siten pääse leviämään.

Maaston ja kasvillisuuden vaikutusta voidaan kuvata rosoisuusparametreilla (taulukko 23).

Pinta	Rosoisuusparametri z_0 (cm)
Meri	0.001...0.5
Lumi	0.005...0.1
Ruoho	0.2...1.7
Pelto ja niitty	1.5...4
Metsä	50...100

Taulukko 23. Eri pintojen rosoisuusparametriarvoja / 4 /

6. Leijuvan pölyn mittaus- ja tutkimusmenetelmät

6.1 Pölyn mittauslaitteet

Pölyn mittaus voidaan suorittaa eri tarkoituksia varten. Yleensä ensimmäisellä sijalla on pölykonsentraation määrittäminen, joka voidaan mitata hiukkaspitoisuuksina tai massakonsentraationa. Toiseksi voidaan suorittaa talteenotetusta pölystä rakeisuusanalyysi eri menetelmillä. Kolmas päämäärä voi olla pölyn mineraalikoostumuksen ja kemiallisen koostumuksen määrittäminen. Yleensä nämä kolme tavoitetta pyritään yhdistämään. Voitaneen puhua ideaalisesta laitteistosta, mikäli yhden mittauksen perusteella talteen saadusta pölymäärästä voidaan helposti ja luotettavasti määrittää kaikki eri tekijät.

Pölypitoisuuden määrittämislaitteet voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan seuraavasti / 14 / :

I Hiukkaspitoisuutta mittaavat laitteet (hk/cm^3)

1. Gessnerin kammio
2. Konimetri
3. Membran-suodatin
4. Lämpösaostin

II Gravimetriset määrittämislaitteet (mg/m^3)

1. Impinger-laite
2. Suodatinlaitteet
3. Elektrostaattiset pölynkeräimet

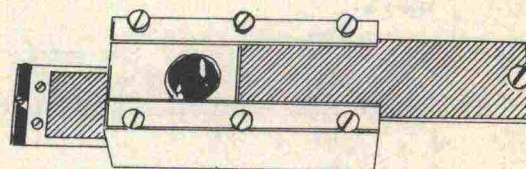
III Pölypitoisuuden epäsuorat määrittämismenetelmät (mg/m^3)

1. Tyndaaloskooppi
2. Konitesti
3. Akustiset laitteet

6.2 Hiukkaspitoisuuden mittaus

6.21 Gessnerin kammio

Laite (kuva 29) koostuu alumiini- tai muovilaatikosta, johon on tehty 5 cm^3 suuruinen sylinterimäinen aukko, joka voidaan sulkea molemmilta sivuilta levyillä. Alemmassa levyssä on objektiivilevy. Näytettä otettaessa levyt avataan ja laitetta liikutellaan vertikaalisesti pölyä sisältävässä ilmassa sylinterin akselin suunnassa. Tämän jälkeen levyt suljetaan ja laite asetetaan vaakasuoraan asentoon noin tunnin ajaksi, jonka jälkeen yli $2 \mu\text{m}$:n suuruiset hiukkaset ovat ehtineet laskeutua objektiivilevylle. Mikroskooppia käyttäen lasketaan sen jälkeen levyllä olevien hiukkasten lukumäärä.



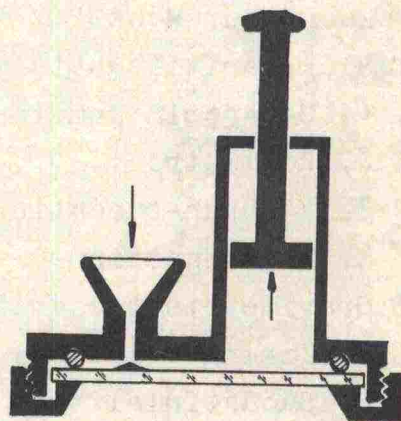
Kuva 29. Gessnerin kammio
/ 14 /

6.22 Konimetri

Konimetrin toiminta perustuu törmäysperiaatteeseen. Laitteen oleellisimmat osat ovat ilmapumppu, suutin ja objektiivilevy (kuva 30). Ilmapumpulla, jolla on määrätty tilavuus, joka on enintään 2.5 cm^3 , imetään pölyinen ilma suuttimen läpi. Suuttimen kartiomaisella muodolla estetään pyörremuodostus ja siten ennenaikainen pölyn eroittuminen suuttimessa.

Suuttimen jälkeen ilma törmää suurella nopeudella, noin $100 \dots 200 \text{ m/s}$, objektiivilevyyn ja kääntyy 180

astetta. Pölyhiukkaset eivät massansa takia pysty seuraamaan ilmapvirtauksen mukana, vaan



Kuva 30. Konimetri / 14 /

erottuvat objektiivilevylle. Hiukkasmäärä voidaan laskea mikroskooppia käyttäen.

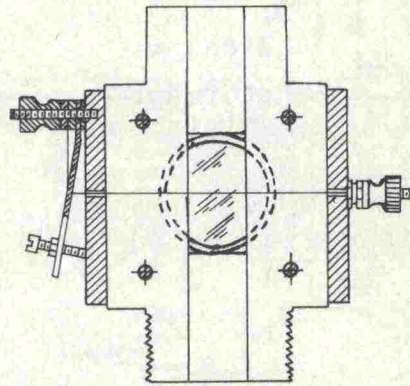
6.23 Membran-suodatin

Laite koostuu suodattimesta ja pumpusta, jolla ilma imetään suodattimen läpi. Suodatinmateriaalina käytetään ohutta muovikalvoa, jonka materiaali vaihtelee (selluloosa-asetaatti, selluloosanitraatti, teflon). Suodattimella päästään hyvin pienten hiukkasiin (alle $1 \mu\text{m}$) kohdalla täydelliseen erottumiseen, joka johtuu pienestä imenopeudesta, suodattimen pienistä huokosista ja suodattimen sähköisestä varautumisesta, jonka johdosta suodatin erottaa huokoskokoa pienemmätkin hiukkaset. Suodatin saadaan täysin läpinäkyväksi käyttämällä esimerkiksi dimetylglykolia, jolloin mikroskoopin avulla voidaan laskea hiukkasiin lukumäärä suodattimella.

6.24 Lämpösaostin

Lämpösaostin perustuu Aitken'in ilmiöön, jonka perusteella lämpötilagradientin johdosta pöly erottuu kuumasta kaasusta kylmälle pinnalle.

Lämpösaostin koostuu mittauskotelosta, vesisäiliöstä ja patterista. Mittauskotelo (kuva 31), joka koostuu ohuesta reiästä, johon on sijoitettu kuumennettava 0.5 mm:n vahvuinen platinalanka, on liitetty vesisäiliöön. Pölypitoinen ilma imetään reiän läpi vettä juoksuttamalla. Pölypitoinen ilman kohdatessa noin 120°C :een lämmitetyn platinalangan, laskeutuu pöly lämpödiffuusion vaikutuksesta kahdelle lasilevylle, joilta hiukkasiin lukumäärä voidaan laskea mikroskooppia käyttäen.



Kuva 31. Lämpösaostin

/ 6 /

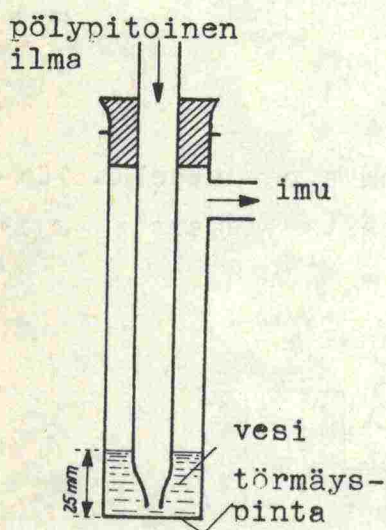
Laite erottaa alle $5 \mu\text{m:n}$ hiukkaset lähes täydellisesti, mutta

soveltuu ainoastaan olosuhteisiin, joissa ilmavirran nopeus on alle 0.1 m/s.

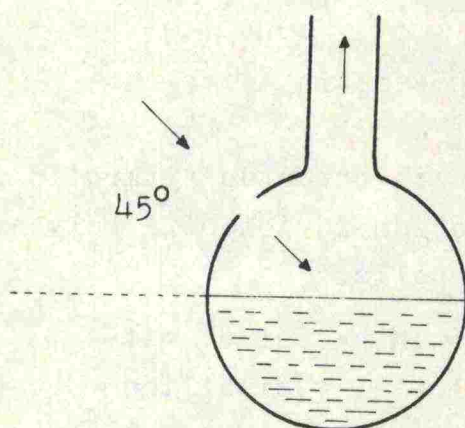
6.3 Gravimetriset määrittäslaitteet

6.31 Impinger-laite

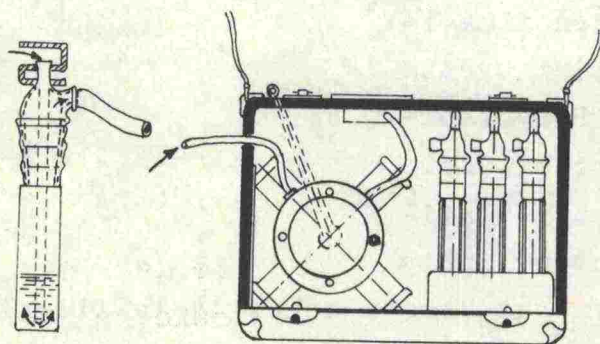
Laitteen toiminta perustuu siihen, että pölypitoinen ilma ime-
tään suuttimen läpi suurella nopeudella (noin 100 m/s), jonka
jälkeen ilma törmää astian pohjalle, jonne on sijoitettu pölyä
sitovaa nestettä (kuva 32). Pölyn erottuminen perustuu osittain
ilmavirtauksen suunnan muutokseen ja osittain nesteen pölyä si-
tovaan vaikutukseen. Impinger-periaatteeseen perustuvista so-
vellutuksista on kuvassa 33 esitetty pre-impinger-laitteen pe-
riaate ja kuvassa 34 midged-impinger.



Kuva 32. Gravimetri
(impinger-periaate)
/ 14 /



Kuva 33. Mayn pre-impinger
/ 40 /



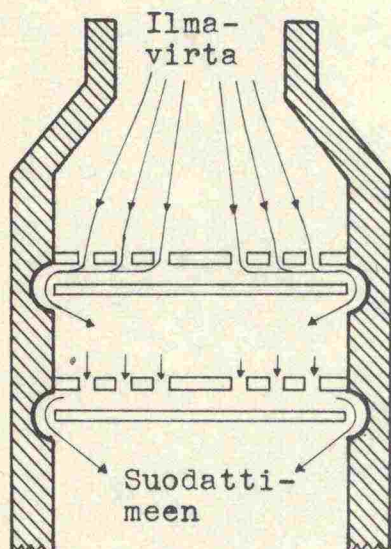
Kuva 34. Midged-impinger / 14 /

6.32 Suodatinlaitteet

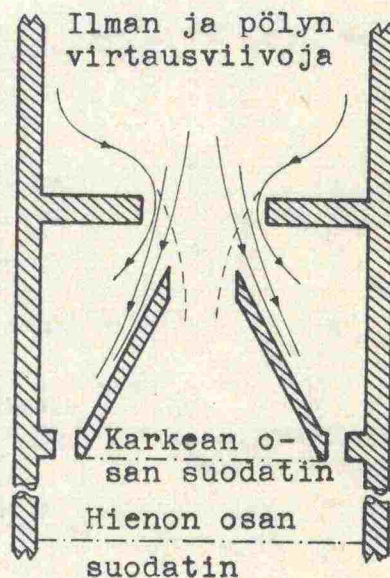
Suodatinperiaatteella toimivia laitteita on hyvin monia eri tyyppisiä (kuvat 35...39). Periaatteena on, että ilma imetään pumpulla suodattimen läpi ja imetyn ilmamäärän suuruus mitataan. Laitteiden konstruoinnissa pyritään siihen, että ainoastaan leijuva aines (alle $10\ \mu\text{m}$ tai $5\ \mu\text{m}$) saadaan suodattimelle. Pölyn määrä todetaan punnitsemalla suodatin ennen ja jälkeen mittauksen.

Laitteiden imemä ilmamäärä vaihtelee laajalla alueella. Käytössä on laitteita, joiden imemä ilmamäärä on muutamia litroja minuutissa, kun taas ns. Hi-Vol-keräimet imevät noin $100\ \text{m}^3$ ilmaa tunnissa.

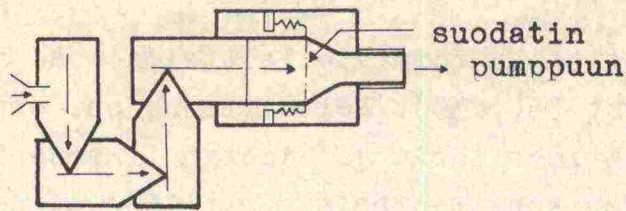
Laitteiden imemän pölyn hiukkaskoon yläraja määräytyy käytettävän imunopeuden perusteella. Hiukkasten erottuminen riippuu käytetyn suodattimen huokoskoosta ja ilman virtausnopeudesta suodattimella. Nykyisin on saatavissa standardoituja suodattimia, jotka kattavat kuhunkin tarkoitukseen vaadittavan rakeisuusalueen, joskin suodattimien toimitusajat saattavat joissakin tapauksissa venyä useisiin kuukausiin.



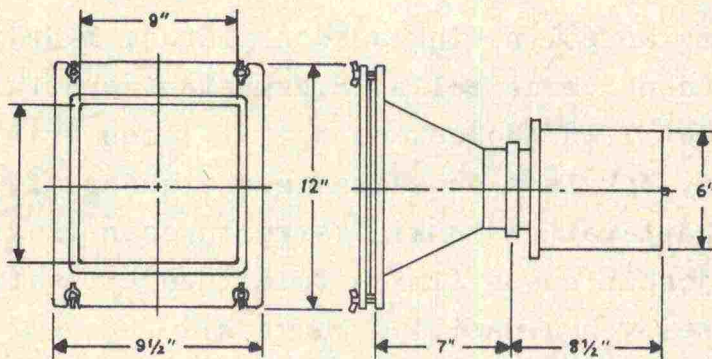
Kuva 35. Andersenin multi-impaktori / 40 /



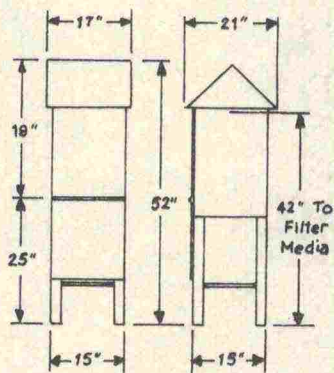
Kuva 36. Hounamin centripe-
terin periaate / 40 /



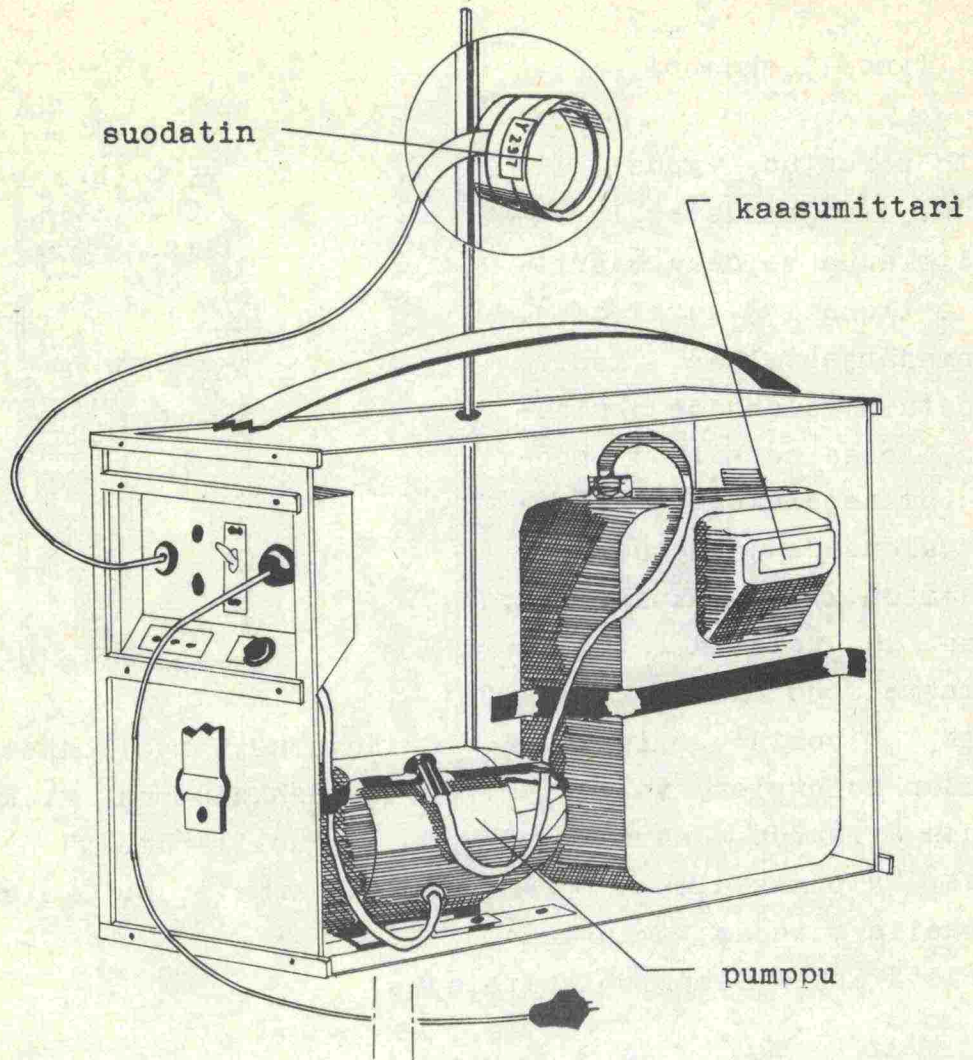
Kuva 37. Kaskadi-impaktorin periaate / 40 /



Kuva 38a. Tehokeräimen keräyspää / 8 /



Kuva 38b. Tehokeräimen suojakatos / 8 /



Kuva 39. Ruotsissa käytössä oleva leijuhan pölyn mittaus-
laite / 41 /

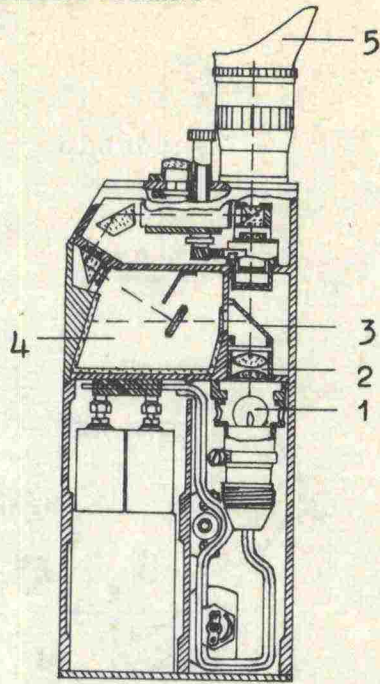
6.33 Elektrostaattiset pölynkeräimet

Laitteet koostuvat korkeajänniteaggregaatista ja säätimestä, jotka on rakennettu mukavasti kuljetettavaan muotoon. Pöly ime-
tään pumpulla (teho 1 l/s) suuttimen läpi erotuskammioon. Ke-
räyspintojen välillä vallitsee korkea potentiaaliero, ja sähkö-
kentän synnyttämän voiman vaikutuksesta pölyhiukkaset liikkuvat
kohtisuoraan ilman virtausta vastaan ja erottuvat keräyspin-
noille.

6.4 Pölypitoisuuden epäsuorat määrittämenetelmät

6.41 Tyndalloskooppi

Laite perustuu Tyndall-ilmiöön, jonka perusteella pölypitoisuus voidaan määrittää optisesti (kuva 40). Prismajärjestelmän kautta johdetaan valonsäde okulaariin, jossa se kattaa puolet tarkastelukentästä. Toinen valonsäde johdetaan pölykammion kautta okulaariin, jossa se peittää toisen tarkastelupuolikkaan. Kahdella Nicolin prismalla saadaan molempien valonsäteiden kirkkaus samanlaiseksi. Taipumiskulman perusteella voidaan ominaiskäyristä lukea ilman pölypitoisuus.

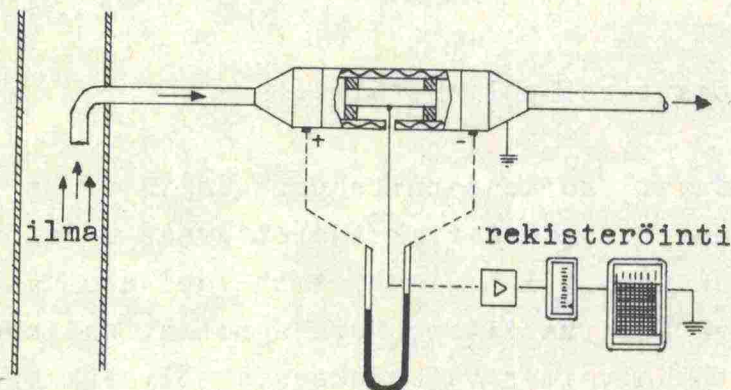


Kuva 40. Tyndalloskooppi / 14 /

1. Hehkulamppu, 2. Kondensori
3. Puoliläpäisevä peili, 4.
Pölykammio, 5. Okulaari

6.42 Konitesti

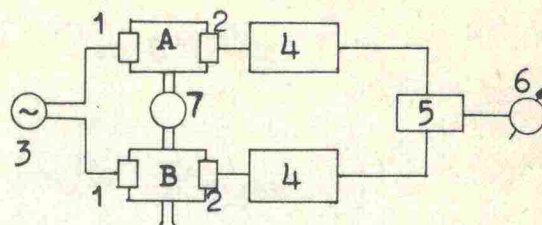
Konitestissä käytetään hankaussähköä pölykonsentraation määrittämiseen. Ulkoinen jännitelähde ei siis ole tarpeen. Konitestin periaate on esitetty kuvassa 41.



Kuva 41. Konitesti / 14 /

6.43 Akustiset laitteet

Kuvassa 42 on esitetty erään Neuvostoliitossa käytetyn laitteen periaate. Laitte koostuu äänilähteestä ja vastaanottimesta. Kun niiden etäisyys kasvaa puoli aallonpituutta, syntyy pysyvä aalto. Vastaanottimessa syntyvä energia voidaan mitata. Mikäli äänikenttään joutuu pölyä, voidaan vastaanottimessa todeta pieniä energiamäärän muutoksia. Kun värähtelytaajuus ja lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys pidetään kiinteänä, voidaan energiamäärän muutokset lukea vastaanottimesta jatkuvasti ja muuntaa pölykonsentraatioiksi. Menetelmä soveltuu pölypitoisuuksille, jotka vaihtelevat kahdesta tuhanteen milligrammaan kuutiometriä kohti.



Kuva 42. Akustisen pölynmittauslaitteen periaate. / 14 /

1. Vibraattori, 2. Mikrofoni, 3. Äänigeneraattori, 4. Vahvistin, 5. Erotin, 6. Galvanometri, A on pölyistä ja B puhdasta ilmaa sisältävä mittauskammio

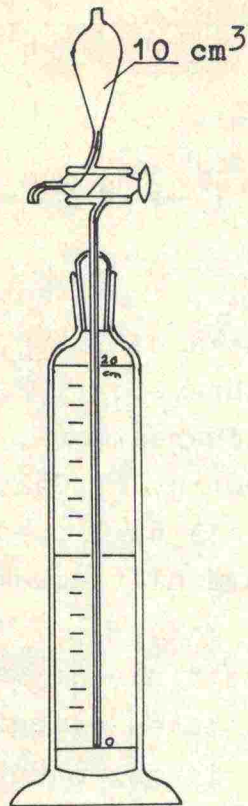
6.5 Rakeisuuden määrittäminen

Pölyhiukkasten rakeisuus voidaan määrittää mikroskooppisesti tai sedimentointia käyttäen.

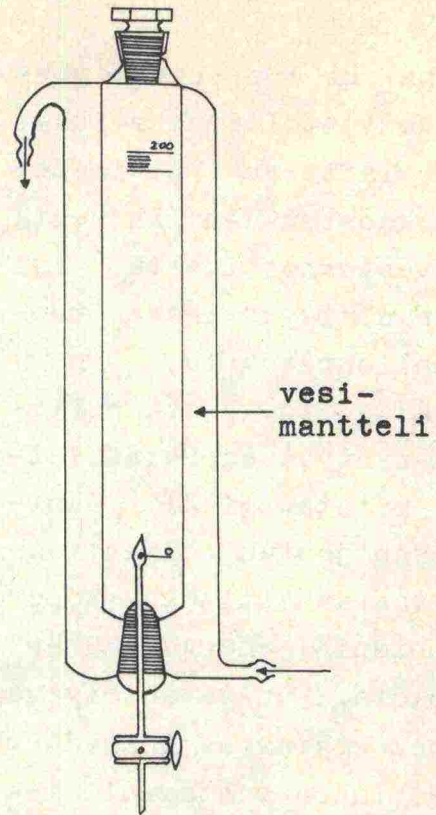
Mikroskooppista määrittäystä käytetään yleensä hiukkaspitoisuutta mittaavien laitteiden yhteydessä. Määrittäksen tarkkuudesta riippuen voidaan käyttää normaalioptiikka-, immersio-, ultra- tai elektronimikroskooppia.

Sedimentointimenetelmät perustuvat Stokesin lakiin, jonka mukaan erikokoisilla ja erisuuruisten massan omaavilla hiukkasilla on samassa väliaineessa erisuuruinen laskeutumisnopeus.

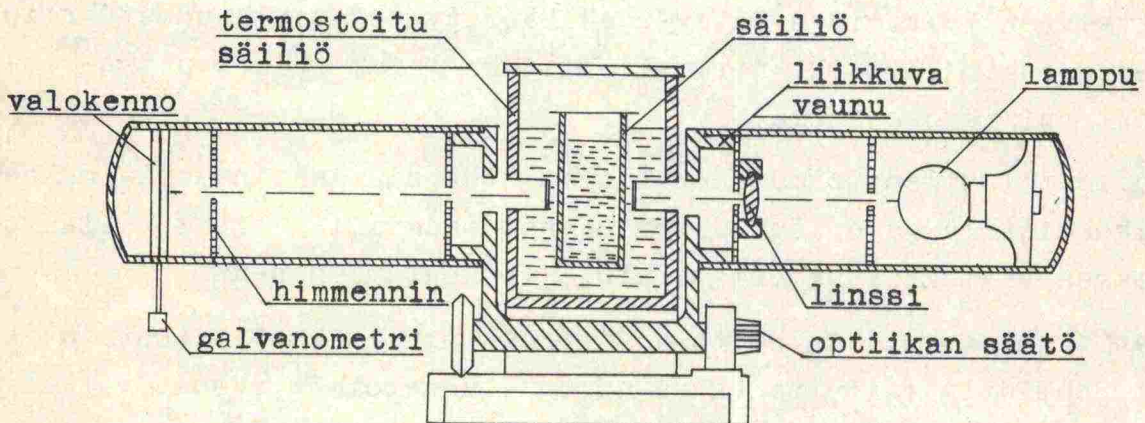
Määrittäykseen voidaan käyttää Andreasenin pipettiä (kuva 43 a) tai Schmidtin laitetta (kuva 43 b). Menetelmät perustuvat siihen, että mitta-astiassa olevalle lietteelle annetaan tietty alkukonsentraatio, jolloin tietyin väliajoin otetun pölynäytteen painosta saadaan suoraan näytteenottohetken konsentraatio. Pölyn rakeisuus voidaan tämän jälkeen laskea.



Kuva 43a. Andreasenin pipetti
/ 40 /



Kuva 43b. Schmidtin ym. se-
dimentointisylinteri / 40 /



Kuva 44. EEL-valosedimentointilaitte / 40 /

Sedimentointiin voidaan käyttää myös tarkoitukseen rakennettuja vaakoja, joissa vaakakuppi on asetettu mitta-astiaan. Pöly laskeutuu vaakakuppiin ja paino voidaan lukea asteikolta jatkuvas-ti tai käyttää piirturia.

Kuvassa 44 on esitetty valosedimentointilaitte, joka perustuu lietteen läpi kulkevan valon intensiteetin muutokseen.

Areometrinen menetelmä perustuu nesteeseen ja pölyn muodostaman lietteen ominaispainon muutokseen pölyhiukkasten vajotessa mitta-astian pohjalle.

6.6 Kvartsipitoisuuden määrittäminen

Kvartsipitoisuus voidaan määrittää mikroskooppisesti, kemiallisesti, termisellä analyysillä tai röntgendiffraktiomenetelmällä.

Mikroskooppinen menetelmä perustuu eri mineraalien erilaiseen valontaitto-ominaisuuteen. Joillakin mineraaleilla saattaa kaksoistaittumisen häiritä määrittäystä, mutta kvartsilla, jolla molemmat taitekertoimet ovat lähellä toisiaan (1.553 ja 1.544), on menetelmä käyttökelpoinen. Menetelmää nimitetään immersio-menetelmäksi.

Kemiallinen menetelmä perustuu fosforihapon käyttöön. Fosforihappo kuumennetaan 250°C:een, jonka jälkeen pölynäyte lisätään joukkoon ja kuumennusta jatketaan 10 minuuttia tai tarpeen vaatiessa pidempään. Silikaatit ym. liukenevat fosforihappoon, mutta kvartsihiukkaset eivät liukene. Seos suodatetaan paperisuodattimen läpi niin, että kaikki liuennut aine suodattuu. Kvartsipitoisuus saadaan selville punnitsemalla.

Terminen analyysi perustuu tehottoman vertailuaineen ja tutkit-tavan näytteen väliseen lämpötilaeroon kuumennettaessa aineet 1000°C:een. Ero voidaan mitata galvanometrillä tai rekisteröidä automaattisesti. Kvartsin kohdalla käytetään tutkimuksessa jäähdytystä 1000°C:sta alaspäin, koska kvartsilla tapahtuu polymorfinen muutos 575°C:ssa.

Samassa lämpötilassa saattavat lisäksi eri mineraaleissa tapah-tuvat muutokset saada aikaan samanlaisia vaikutuksia, kuten kvartsin olomuodon muutos ja illiitin veden poistuminen 575°C:ssa.

Röntgendiffraktiomääritys perustuu röntgensäteilyn sekundäärisäteiden taipuman ja intensiteetin mittaamiseen. Jokaisella mineraalilla on määrätty kulma, johon säde taipuu. Tämän perusteella voidaan määrittää pölynäytteen mineraalikoostumus. Säteen intensiteetin suuruutta verrataan sisäisiin kalibrointikäyriin, jolloin saadaan selville eri mineraalien prosentuaalinen osuus. Kvartsipitoisuuden määrittäminen voivat haitata kiilteet, talkki, maasälvät, alumiinisilikaatit, grafiitti, kalsiumkarbonaatti, oliviini, rauta ja muut raskaiden metallien oksidit, joiden taipuma osuu lähelle kvartsin, kristobaliitin tai tridymiitin taipumaa.

7. K i v i p ö l y n y m p ä r i s t ö l l e a i h e u t - t a m a t h a i t a t

Kivipöly aiheuttaa likaantumista, näkyvyyden huononemista ja terveydellisiä haittatekijöitä. Likaantuminen ja näkyvyyden huononeminen ovat ainakin osittain korjattavissa olevia haittoja, mutta terveyden menetys, kivipölykeuhko eli silikoosi, on parantumaton sairaus.

Kivipölyn sisältämä hieno aines (alle $5\ \mu\text{m}$) tunkeutuu keuhkorakkuloihin asti. Suuremmat hiukkaset jäävät ylempiin hengitystiehyeisiin ja poistuvat luonnollista tietä. Hyvin pienet hiukkaset (alle $0.1\ \mu\text{m}$) eivät ehdi tarttua keuhkorakkuloiden seinämiin, vaan tulevat uloshengityksen mukana pois keuhkoista.

Hiukkasen laadusta ja ominaisuuksista riippuen pöly voi jäädä tehottomana ilmarakkuloihin (esimerkiksi hiili- ja rautapöly), hiukkaset voivat tunkeutua liukenemattomina keuhkon kudokseen aiheuttaen siellä vaurioita kudokselle (kvartsipöly) tai ne voivat liueta vereen kuten kaasut (lyijy- ja sinkkipöly).

Piidioksidi eli kvartsi eri olomuodoissaan on kivipölyn haitallisin osa, koska se jää keuhkoihin ja aiheuttaa kudonvaurioita. Kvartsi esiintyy kahtena muuna muunnoksena, tridymiittina ja kristobaliittina, jotka syntyvät kvartssia hitaasti kuumennettaessa. Tridymiitti syntyy 870°C ja 1470°C :een välillä ja kristobaliitti 1470°C ja 1700°C :een välillä. Nopea kuumennus yli 1700°C :een aiheuttaa kvartsin muuttumisen amorfiseen olomuotoon, jolla ei ole todettu olevan haitallisia vaikutuksia.

Silikoosiin sairastuminen tapahtuu vähitellen pitkän ajan kuluessa. Joutuessaan jatkuvasti työskentelemään pölyisissä olosuhteissa, työntekijä ajan mittaan altistuu pölyn vaikutukselle.

Normaalissa, rauhallisessa hengityksessä, jossa hengitystiheys on noin 16 kertaa minuutissa ja hengitysilman määrä noin puoli litraa kerralla, on keuhkotuuletuksen (keuhkoihin aikayksikössä otettu ilman määrä) suuruus noin 8 litraa minuutissa ja siten vuorokauden ilman tarve toistakymmentä kuutiometriä. Rasitusten ansiosta ilman tarve kasvaa siten, että kevyessä toiminnassa keuhkotuuletus on 10 l/min, kevyen työn teossa 18 l/min ja raskaan työn teossa 30 l/min.

Silikoosivaara on suoraan verrannollinen kiven sisältämään kvartsimäärään, leijuvan pölyn määrään ja työn raskauteen. Porauksen raskautta on nykyisin pystytty helpottamaan laitteistojen parantamisella, pakkosyöttölaitteilla ja porausvaunuilla, mutta käsiporausta suoritettaessa työ on edelleen erittäin raskasta. Laitteistojen parantumisen myötä on pölyn määrä samalla kuitenkin lisääntynyt.

Käsiporauksessa työntekijä on jatkuvasti alttiina pölylle, kun taas mekanisoiduilla laitteilla työskenneltäessä porari voi haakeutua tuulen yläpuolelle, jolloin pölyn haittavaikutus vähenee.

II AVOLOUHINTATYÖMAILLA SUORITETUT MITTAUKSET

1. P o r a u s p ö l y j a s e n o m i n a i s u u d e t

1.1 Kivilajit ja niiden ominaisuudet

Kivilajien tarkka määrittäminen saattaa osoittautua joskus hankalaksi, koska kivilajinäytettä ei saada täsmälleen porauspisteestä. Kivilajien nopea vaihtelu ja kerroksellisuus saattaa helposti antaa väärän kuvan kiven keskimääräisestä mineraalikoostumuksesta.

Kivilajinäytteet pyrittiin ottamaan ammutusta kentästä, jolloin vertailemalla saatiin mahdollisimman edustava näyte. Joissakin tapauksissa jouduttiin käyttämään porauspaikalla olevia irtolohkareita, joiden voitiin todeta olevan peräisin porattavasta kalliosta.

Kivilajien määrittämisen ja silmämääräisen mineraalikoostumuksen arvioinnin suoritti geologinen tutkimuslaitos. Työmaan 7 kivilaji määritettiin paikan päällä. Taulukossa 24 on esitetty työmaittain kivilajit, kvartsiinipitoisuus (määritetty pölynäytteestä) sekä kivien sisältämät muut mineraalit.

Työmaa	Kivilaji	Kvartsi-%	Muut mineraalit
1	amfiboliitti	8	sarvivälke n. 90 %, rikkikiisu
2	amfiboliitti	22	sarvivälke n. 50 %, plagioklaasi
3	granodioriitti	42	kalimaasälpä n. 50 %, biotiitti n. 10 %
4	migmatiitti	41	granaattipitoinen kiillegneisi, tasarakeinen graniitti
5	migmatiitti	45	granaattipitoinen kiillegneisi, tasarakeinen graniitti
6	granodioriitti	31...43	kalimaasälpä n. 50 %, biotiitti n. 10 %
7	graniitti	n. 40	kalimaasälpä, biotiitti

Taulukko 24. Kivilajien mineraalikoostumus työmaittain

1.2 Työmaakuvaus ja porauskalustot

Työmaalla 1 oli louhittavana pieni kalliroleikkaus korkean mäen ja aukean pellon välissä (kuva 45). Mäellä kasvoi sekametsää, joka muuttui kauempana levikoksi. Öljysorapäällysteinen maantie oli leikkauksesta noin 250 metrin päässä. Maantien toisella puolella suoritettiin käsiporausta. Tieltä noin 300 metrin päässä oli murskaamo. Porauskalustona oli telaketjuaalustainen vaunuporakone, joka oli varustettu kahdella syöttöpuomilla ja kahdella porakoneella. Porakruunun läpimitta oli 2" (51 mm).



Kuva 45. Yleisnäkymä työmaalta 1

Työmaalla 2a louhittiin suurehkoa kalliroleikkausta, joka oli vasta alkuvaiheessaan, joten reikäsyvyys oli pieni. Leikkaus sijaitsi hakatulla tielinjalla (kuva 46). Ympärillä oleva metsä oli kuusivaltaista sekametsää. Porauskalustona oli telaketjuaalustainen vaunuporakone, jossa oli kaksi syöttöpuomia ja kaksi porakonetta. Porakruununä käytettiin meisseliterää, jonka läpimitta oli 31 mm.

Työmaa 2b oli sama leikkaus kuin edellinen, mutta pitemmälle edistyneenä. Porauskalustona käytettiin vaunukoneen rikkoonnutta käsiporakonetta, jonka porien läpimitta vaihteli poran pituuden perusteella alkuläpimitan ollessa 34 mm.



Kuva 46. Yleiskuva työmailta 2 a ja 2 b

Kuva 47. Lähi-
mittaus käyn-
nissä työmaal-
la 2 c



Työmaa 2c oli samalla tielinjalla kuvassa 46 näkyvä kallio noin puolen kilometrin päässä edellisestä. Tuulen alapuolella oli aukea pelto. Porauskalustona käytettiin kahta käsiporakonetta, joista toisella porattiin mittausaikana hyvin vähän porarin ajan mennessä porien teroittamiseen. Porina käytettiin kiintoporakalustoa, jossa poran terän läpimitta vaihtelee poran pituuden mukaan. Alkuläpimitta oli 34 mm (kuva 47).

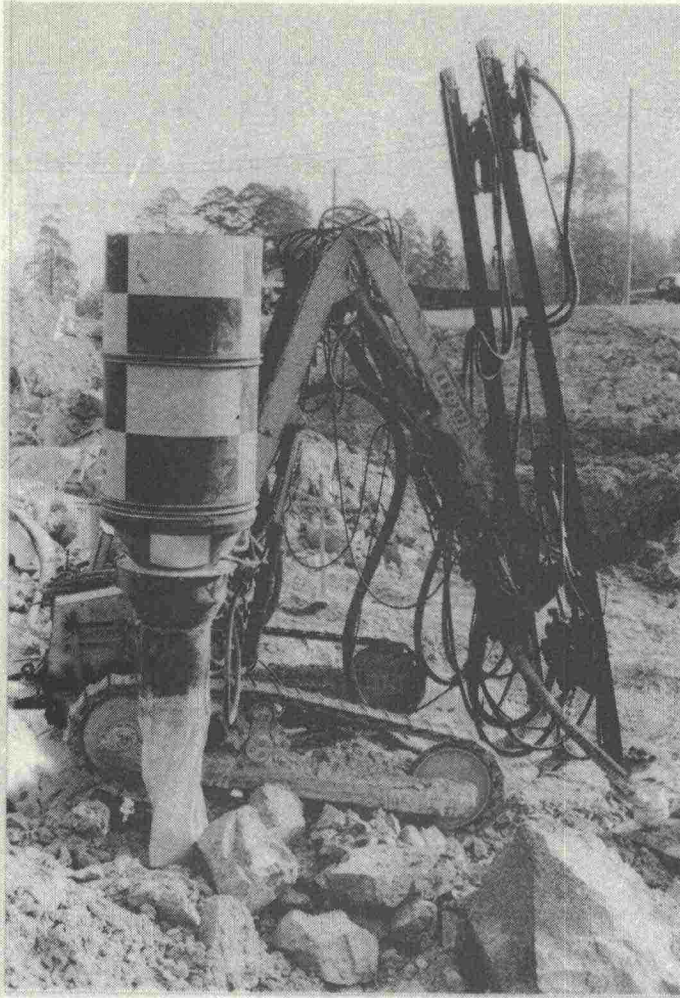
Työmaalla 3 leijumamittaukset epäonnistuivat molemmilla käyntikerroilla laitteiden toimintahäiriöiden takia. Pölynäyte saatiin kuitenkin otettua. Porauskalustona oli telaketjugalustainen vaunuporakone, jonka porakruunun läpimitta oli 51 mm.

Työmaalla 4 suoritettiin louhintaa lähellä murskausasemaa (etäisyys noin 100 m) korkean kallion päällä (kuva 48). Metsän reuna oli noin 200...300 m päässä. Porauskalustona oli telaketjugalustainen vaunuporakone yhdellä syöttöpuomilla ja porakoneella. Porakruununä käytettiin ristipääkruunua, jonka läpimitta oli 3" (76 mm).



Kuva 48. Yleisnäkymä mittaussuuntaan työmaalla 4

Työmaalla 5 oli poraus aivan loppuvaiheessa. Leijumamittauksia ei työmaalla suoritettu. Porauskalustona oli telaketjugalustainen vaunuporakone, joka oli varustettu kahdella syöttöpuomilla ja kahdella porakoneella sekä pölynpoistolaitteilla (kuvat 49 ja 50).



Kuva 49. Työmaalla 5 käytetty porakone ja pölynpoistolaitteisto



Kuva 50. Pölynpoistolaitteen imukupu

Työmaalla 6 poraus oli myös loppuvaiheissa. Porausta suoritettiin laajan kaivannon pohjalla (kuva 51). Porauskalustona käytettiin telaketjualustaista vaunuporakonetta, joka oli varustettu yhdellä syöttöpuomilla ja porakoneella. Porakruunun läpimitta oli 64 mm. Työmaalla oli useita käsiporakoneita, joita käytettiin lähinnä rikkokiviporaukseen.



Kuva 51. Yleisnäkymä työmaalta 6

Työmaa 7 oli vasta alkuvaiheessa, mutta porauskohteita oli työmaan laajuudesta johtuen useita. Maasto oli merelle päin viettävää ja paikoitellen oli pieniä kaatamattomia metsäsaarekkeitä (kuva 52). Tutkituissa kohteissa oli porauskalustona telaketjualustainen vaunuporakone, jonka porakruunun läpimitta oli 64 mm.



Kuva 52. Yleisnäkymä työmaalta 7

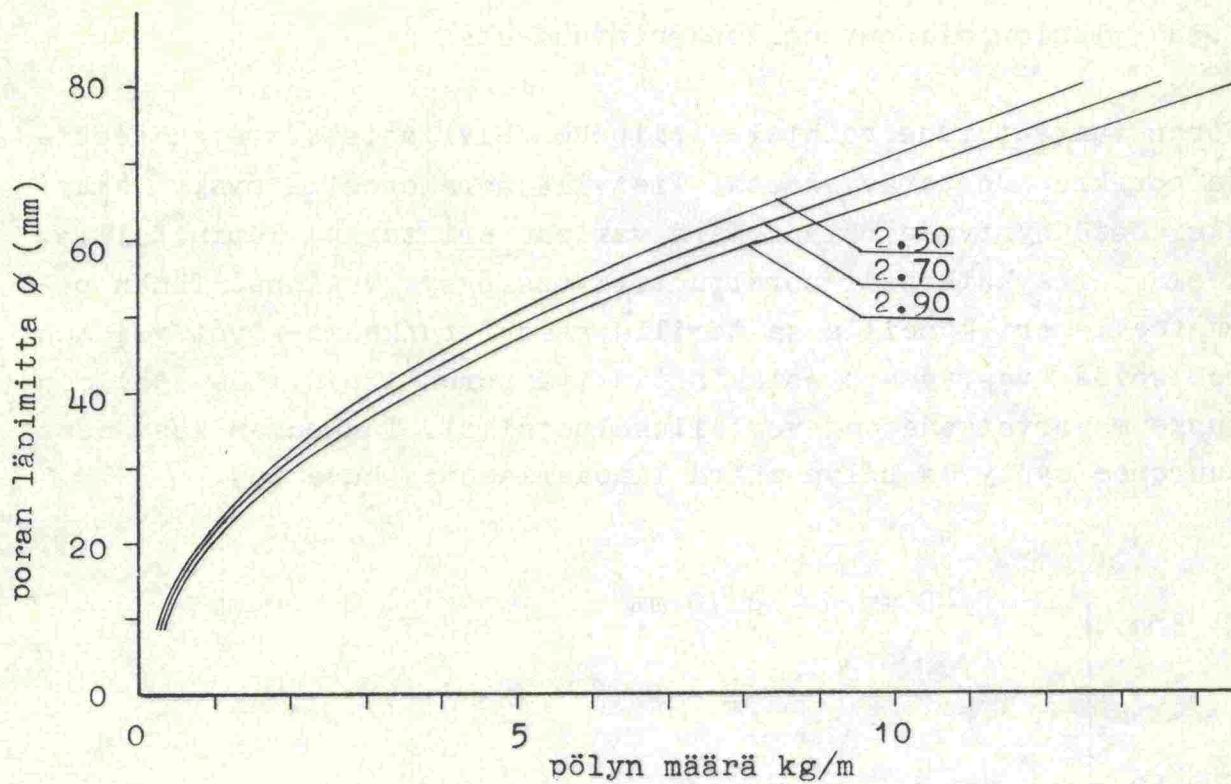
1.3 Pölyemissio

1.31 Emission riippuvuus porareiän koosta

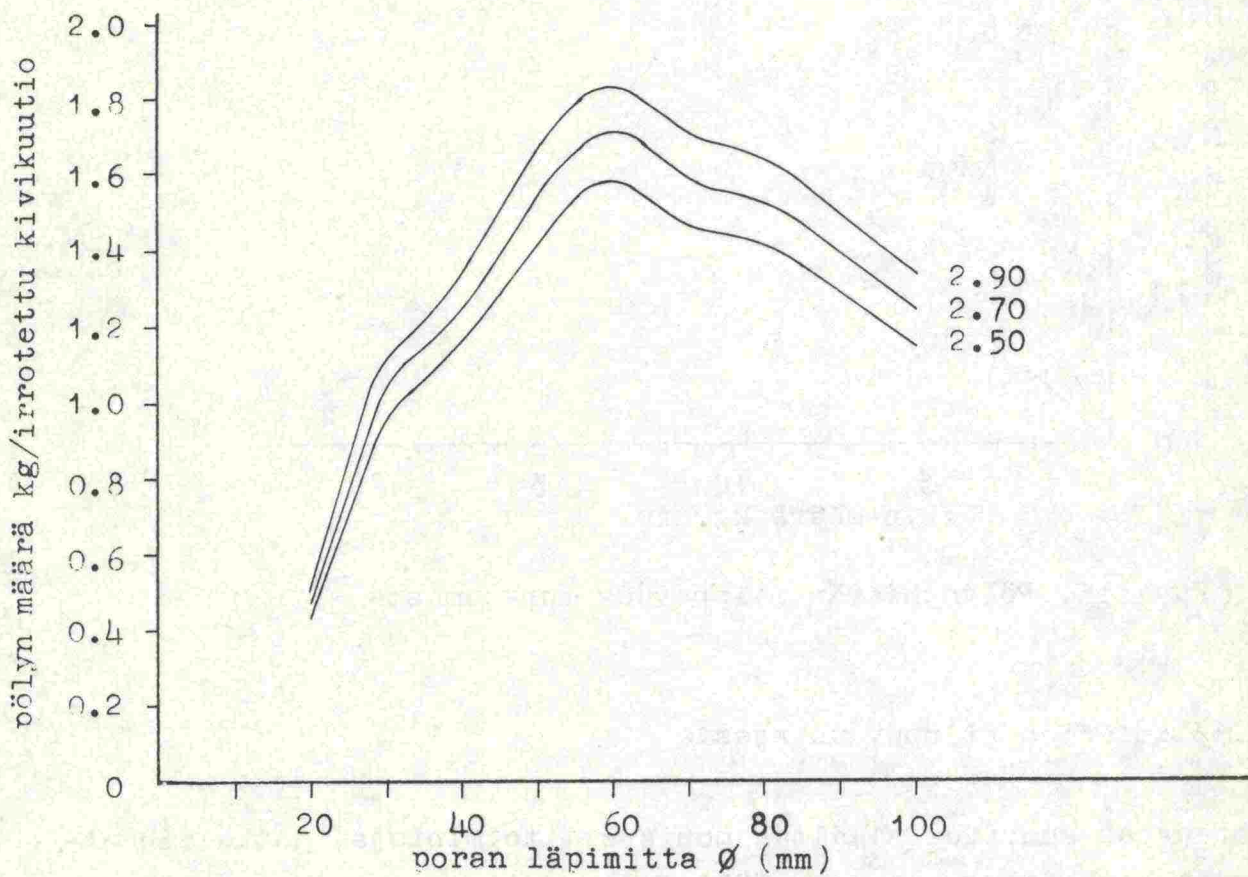
Syntyvän pölyn määrä on ennenkaikkea riippuvainen poran kruunun läpimitasta. Pölyn määrä voidaan laskea kertomalla syntyvän reiän tilavuus kallion tiheydellä. Pieniä virheitä saattaa syntyä, jotka johtuvat kallion ruhjeisuudesta ja rakoilusta, jotka pienentävät kallion tiheyttä.

Kuvassa 53 on esitetty syntyvän pölyn määrä porametriä kohti eri reikäläpimitoille ja kallion tiheyksille. Syntyvän pölyn määrä on suoraan verrannollinen poran läpimitan neliöön.

Kuvassa 54 on esitetty syntyvän pölyn määrä irrotettua kivikuutiometriä kohti eri reikäläpimitoille ja kallion tiheyksille. Arvot on laskettu käyttämällä kuvassa 20 esitettyä porauskaaviota ja taulukoita 17 ja 18. Suurimman pölymäärän irrotettua kivikuutiometriä kohti antaa porakruunu, jonka läpimita on 60 mm. Nykyisin yleisimmin käytetyt porakruunut vaunuporakoneissa ovat 51 mm ja 64 mm, jotka siten ovat pölyämisen kannalta huonoimpia teräkokoja.



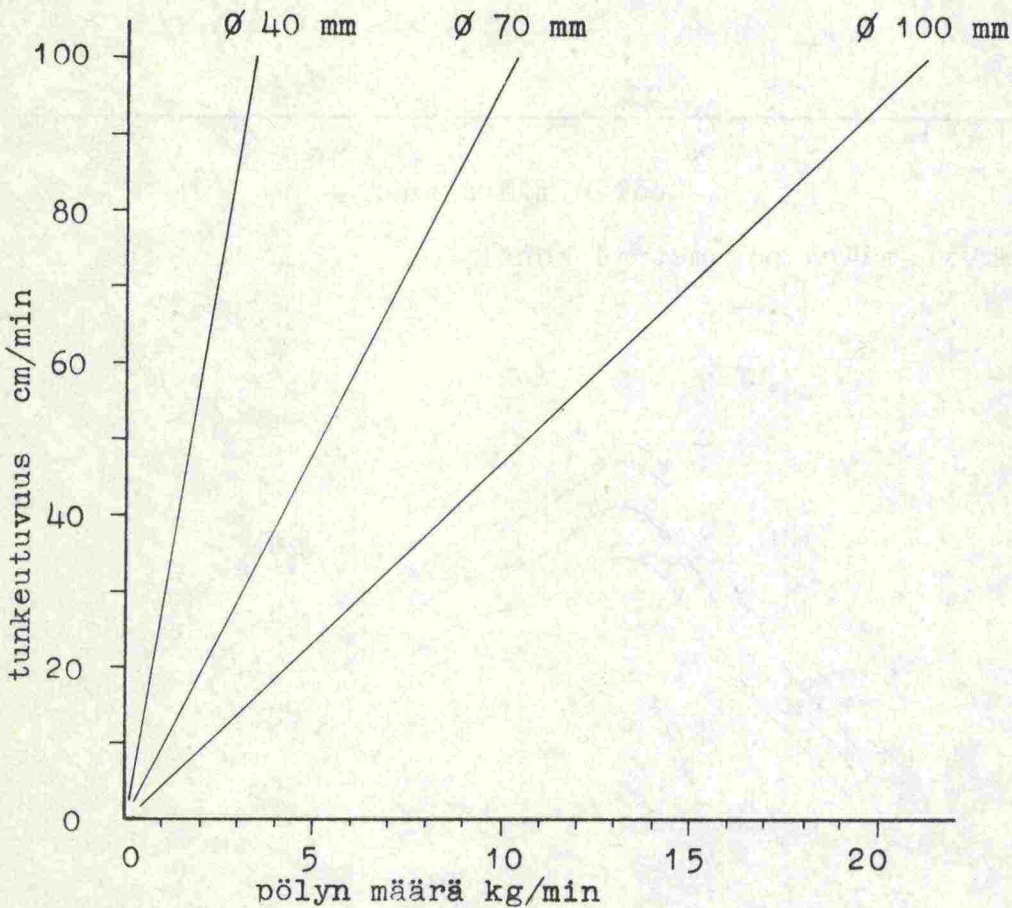
Kuva 53. Pölyn määrä porametriä kohti



Kuva 54. Pölyn määrä irrotettua kivikuutiota kohti

1.32 Emission riippuvuus tunkeutuvuudesta

Poran tunkeutuvuus vaihtelee riippuen kivilajista, porakoneesta ja porakruunun terävyydestä. Tietyllä porakoneella pysyy aikayksikössä syntyvän pölyn määrä vakiona eri terän läpimitoilla, koska aikayksikössä porattu tilavuus pysyy vakiona. Tämän perusteella eri koneilla ja terillä saadut tunkeuma-arvot voidaan redusoida vastaamaan jotakin tiettyä poran läpimittaa, jolloin tunkeuma-arvot saadaan vertailukelpoisiksi. Tunkeuman kasvaessa suurenee syntyvän pölyn määrä lineaarisesti (kuva 55).



Kuva 55. Pölyn määrän riippuvuus tunkeumasta

1.33 Emission riippuvuus ajasta

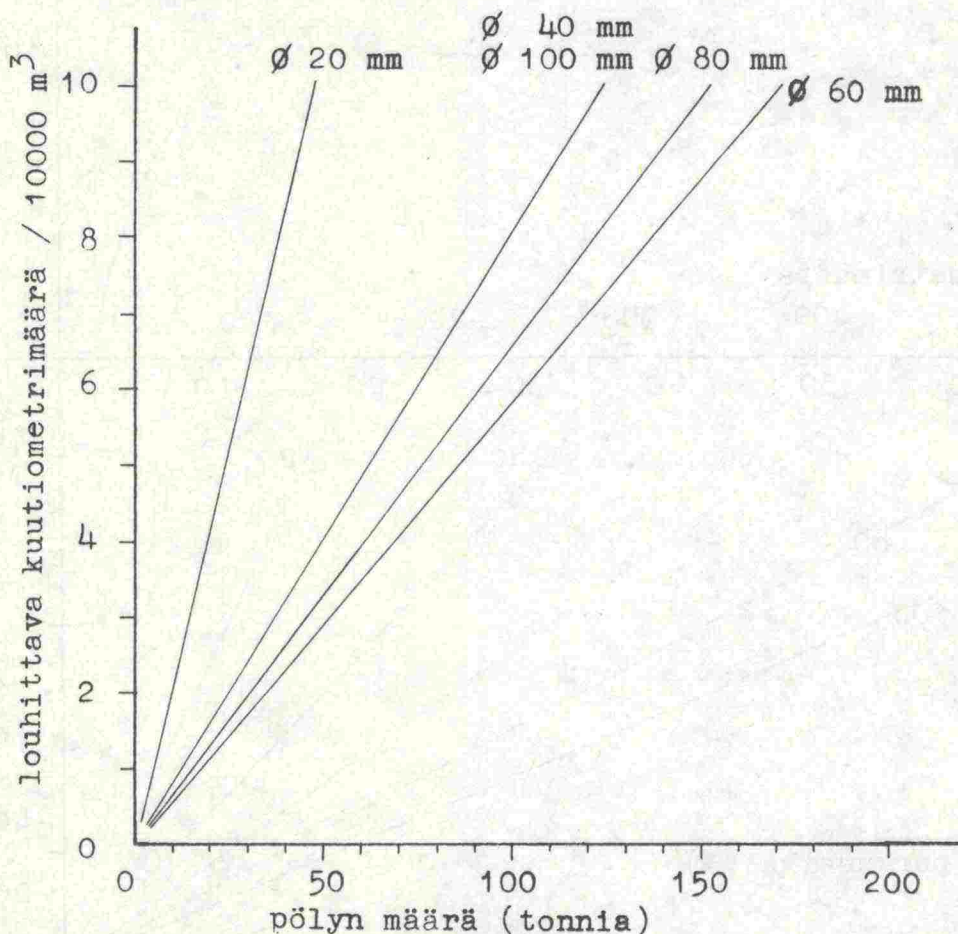
Porauksen suoritus sisältää monia eri toimintoja, jotka aiheuttavat katkoja poraukseen. Tällaisia ovat poratankojen jatkaminen, koneen siirto, porien teroitus, laitteiston huolto ym.

Varsinaista poraukseen kuluvaan aikaa voidaan sanoa tehokkaaksi porausajaksi. Tehokas porausaika vaihtelee työkohteittain hyvinkin paljon, mutta on yleensä arvioitavissa riittävän tarkasti.

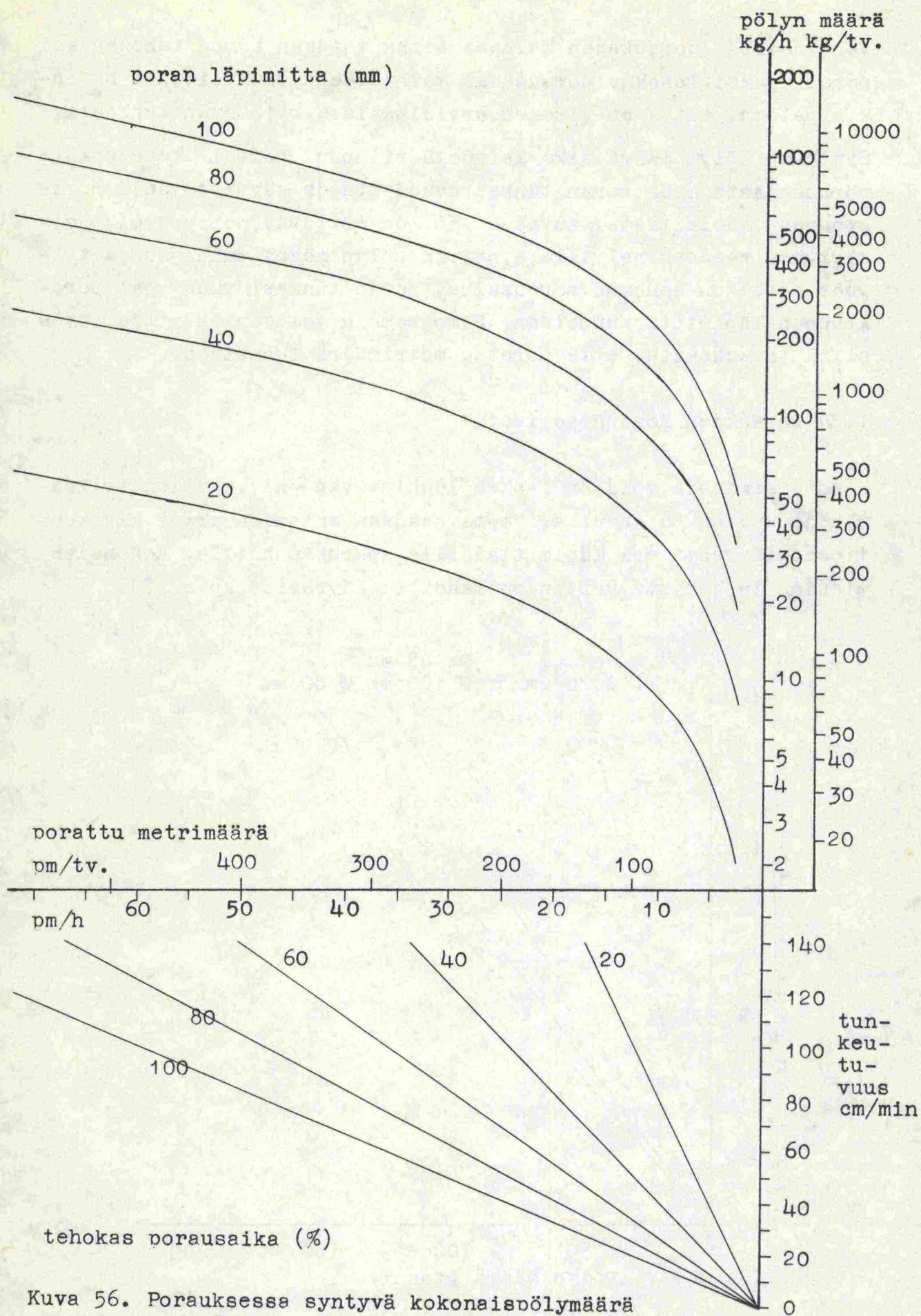
Syntyvän pölyn määrä aikayksikössä riippuu paitsi tehokkaasta porausajasta myös poran tunkeutuvuudesta ja käytettävästä porakruunun läpimitasta. Kuvassa 56 on esitetty nomogrammi, jota käyttäen saadaan selville syntyvän pölyn määrä tunnissa ja työvuorossa, kun tehokas porausaika, poran tunkeutuvuus ja porakruunun läpimitta tunnetaan. Nomogrammia voidaan käyttää myös siinä tapauksessa, että porattu metrimäärä tunnetaan.

1.34 Porauksen kokonaisemissio

Kokonaisemissio voidaan laskea louhittavan kivikuutiometrimäärän ja kuvan 54 avulla, josta saadaan emission arvot kivikuutiometriä kohti eri läpimittaisille porakruunuille. Kokonaisemission laskemista varten on laadittu käyrästä (kuva 57).



Kuva 57. Porauksen kokonaisemissio louhittavan kivikuutiometrimäärän perusteella



Kuva 56. Porauksessa syntyvä kokonaispölymäärä ($\rho = 2.70 \text{ g/cm}^3$)

1.35 Hienon aineksen emissio

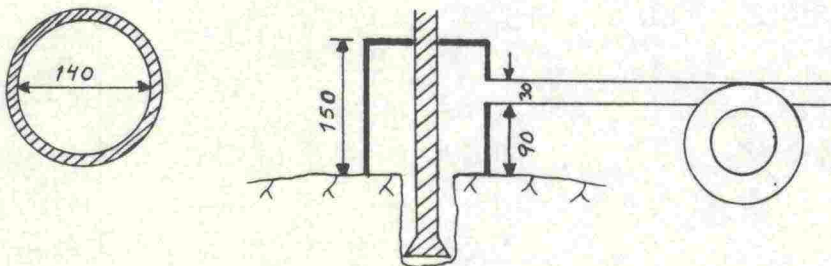
Hienolla aineksella tarkoitetaan alle $5 \mu\text{m}$:n kokoisia hiukkasia. Emission määrittäminen vaatii porauspölyn sisältämän hienon aineksen määrän tuntemisen. Kuvassa 58 on nomogrammi, josta hienon aineksen emissio tunnissa voidaan määrittää tunnissa syntyvän kokonaispölymäärän ja hienoainesprosentin perusteella. Samasta kuvasta saadaan myös hienon aineksen sisältämä kvartsimäärä pölyn kvartsi-prosentin perusteella.

1.4 Porauspölyn ominaisuudet

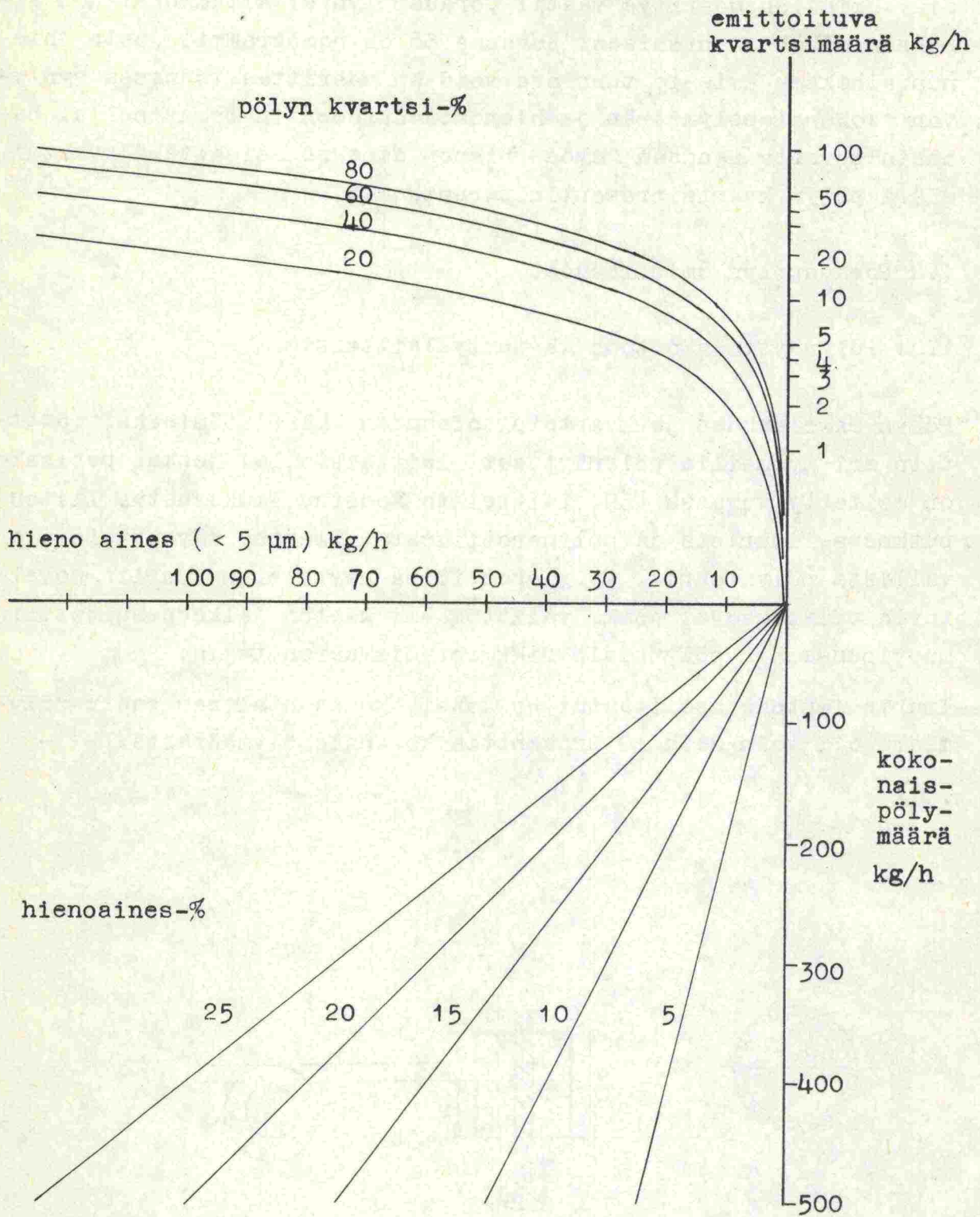
1.41 Pölynäytteen ottoon käytetty laitteisto

Pölyn rakeisuuden ja kvartsi-pitoisuuden määrittämiseksi otettiin eri työmailla pölynäytteet laitteistolla, jonka periaate on esitetty kuvassa 59. Laitteisto koostuu imukuvusta, liittoputkesta, imurista ja pölynerottimesta. Imurina käytettiin tavallista pölynimuria. Pölynerottimena käytettiin imuriin soveltuvia pölypusseja, jotka välittömästi käytön jälkeen suljettiin muovipusseihin pölypussin rikkoontumisvaaran takia.

Imurin imuteho osoittautui heikoksi, koska talteen saatu pölymäärä oli vain noin 10 prosenttia kokonaispölymäärästä.



Kuva 59. Pölynäytteen ottoon käytetyn laitteiston periaate



Kuva 58. Emittoituva hienon aineksen ja kvartsin määrä

1.42 Pölyn rakeisuus

1.421 Rakeisuuden määrittäminen

Saadut pölynäytteet kuivattiin uunissa 105°C:een lämpötilassa 12 tunnin ajan. Näytteistä otettiin kaksi 50 g:n rinnakkaisnäytettä, joista toisesta määritettiin rakeisuus kuivaseulontaa käyttäen ja toisesta areometrimenetelmällä.

Kuivaseulonnassa käytettiin normaaliseulasarjaa 2 mm:stä alaspäin. Pesuseulontaa ei suoritettu, koska hiukkaset olivat rakekooltaan alle 2 mm ja hiukkasten todettiin olevan irtonaisia eikä paakkuuntumista esiintynyt. Seulonnan kesto oli 10 minuuttia. Seuloille jäänyt aines punnittiin vaa'alla, jonka tarkkuus oli 0.1 g. Tulokset merkittiin laboratorion työlomakkeille, jotka ovat liitteinä 1...8.

Hienon aineksen rakeisuuden määrittämiseen käytetyn areometrin lukema-alue oli 1.000...1.100. Lukema-alueen tiheäjakoisuus aiheutti jonkin verran hankaluuksia lukeman otossa, koska pintajännityksen aiheuttama nesteen nousu lukema-asteikolle häiritsi suhteettoman paljon. Areometri, jonka lukema-alue on 1.000 ... 1.050, olisi soveltunut paremmin tarkoitukseen.

Areometri tarkistettiin ennen käyttöä upottamalla se +16°C lämpöiseen veteen. Lukema jouduttiin arvioimaan, koska asteikko-merkinnät loppuivat 1.000:aan. Lukemaksi saatiin noin 0.999, joten areometri oli virheetön.

Areometri kalibroitiin määrittämällä sukulan tilavuuskeskipiste ja tarkistamalla, että etäisyydet tilavuuskeskipisteestä areometrin lukemiin pitävät paikkansa. Määrittämisessä huomioitiin uppoumavirhe, joka lasketaan kaavasta 27, jossa s on uppoumavirhe (cm), V on areometrin sukulan tilavuus (cm³) ja d on sen astian sisähalkaisija, jossa areometrimittaukset tullaan suorittamaan.

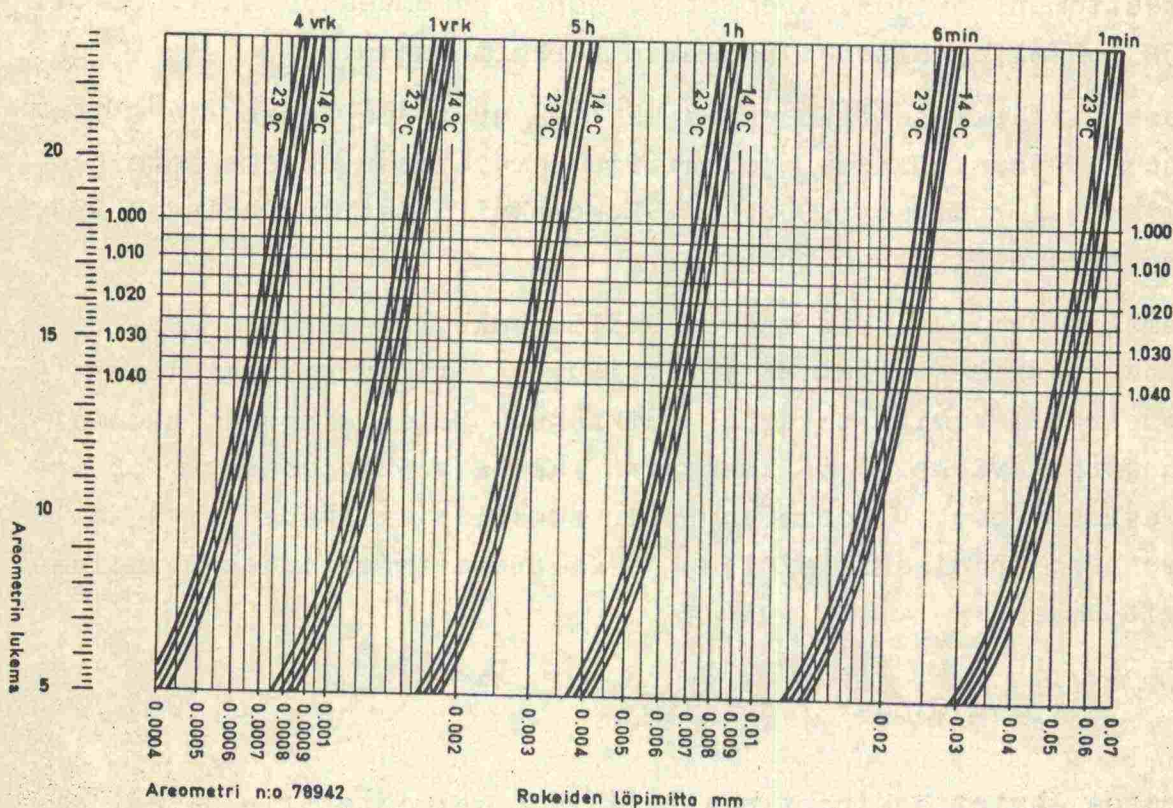
$$s = 0.64 V / d^2 \quad (27)$$

Kokeessa käytettävä peptisaattoriliuos valmistettiin siten, että 44.6 g natriumpyrofosfaattia liuotettiin vajaaseen litraan tislattua vettä. Liukenemisen tapahduttua lisättiin tislattua

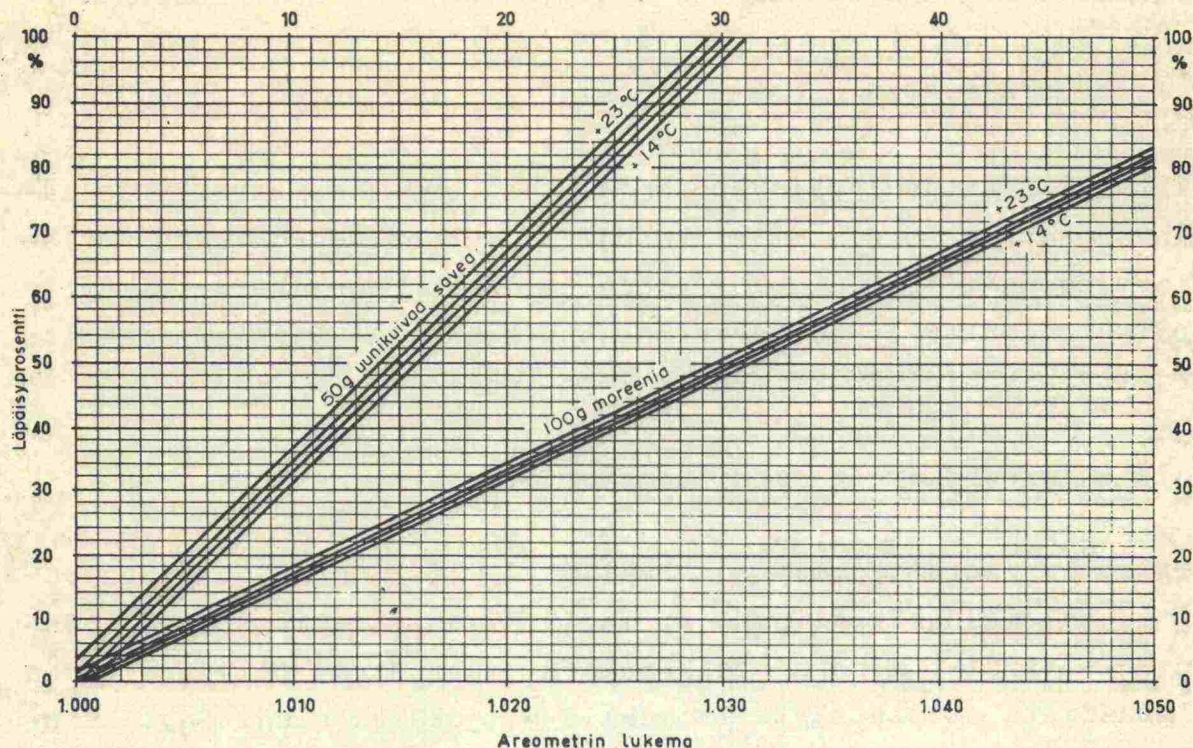
vettä niin paljon, että liuoksen kokonaistilavuudeksi tuli ta-
san yksi litra. Väkevystä liuksesta laimennettiin näytekohtai-
nen käyttöliuos lisäämällä 950 ml tislattua vettä 50 ml:aan vä-
kevää liuosta.

Lietettä sekoitettiin paineilmalla puoli tuntia, jonka jälkeen
se sai seistä yli yön. Seuraavana päivänä lietettä sekoitettiin
paineilmalla puoli tuntia ja välittömästi ennen kokeen alkua
kääntämällä mittalasi 30 kertaa ylösalaisin. Sekoittamisen lo-
pettamishetki oli samalla kokeen alkamishetki. Areometrilukemat
otettiin 1 min, 6 min, 1 h, 5 h ja 1 vrk kuluttua kokeen alka-
misesta. Lukemat merkittiin laboratorion työlomakkeille (liit-
teet 1...8). Välittömästi lukeman oton jälkeen mitattiin liet-
teen lämpötila asteen tarkkuudella. Areometri huuhdottiin mit-
tausten jälkeen kastamalla se tislattuun veteen.

Pölyn raesuuruus määritettiin kuvasta 60, jossa on käyräparvet
kutakin havaintoaikaa ja lämpötilaa varten. Lämpäisyprosentti
määritettiin kuvasta 61, jossa on käyräparvi eri lämpötiloille.
Tulokset ovat liitteissä 1...8.

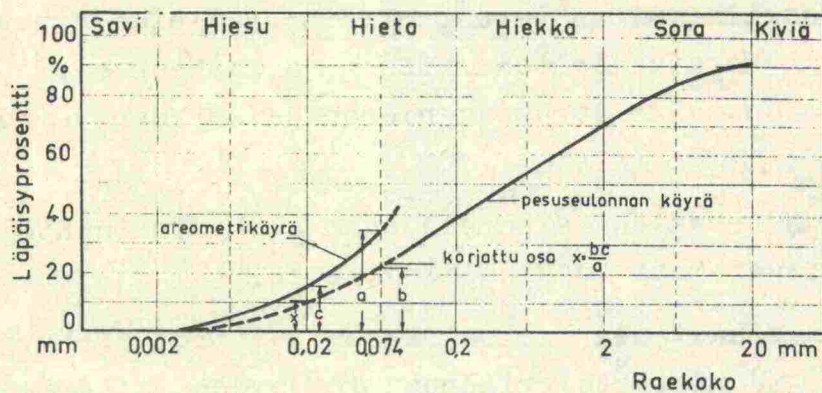


Kuva 60. Areometrin raekokotaulukko / 35 /



Kuva 61. Areometrin läpäisyprosenttitaulukko / 35 /

Seulonta- ja areometrikäyrien yhdistämiseksi jouduttiin osa ra-
keisuuskäyristä korjaamaan, koska käyrät eivät osuneet kohdak-
kain. Korjauksen suorituksen periaate ilmenee kuvasta 62.



Kuva 62. Seulonta- ja areometrikäyrien yhdistäminen / 35 /

Korjatut läpäisyprosentit laskettiin kaavasta 28, jossa x tar-

$$x = bc/a$$

(28)

koittaa korjattua läpäisyprosenttia, a on areometrikäyrän läpäisyprosentti 0.074 mm:n kohdalla ja b on seulontakäyrän läpäisyprosentti 0.074 mm:n kohdalla sekä c on areometrikäyrän läpäisyprosentti laskettavan raekoon kohdalla. Läpäisyprosentti korjattiin vähintään kolmen raekoon kohdalla.

1.422 Rakeisuuskäyrät ja niiden vertailu

Laitteella kerätty pöly ei sisältänyt yli 2 mm:n suuruisia rakeita. Rakeisuuskäyrät ovat silmämääräisesti tarkastellen toistensa kaltaisia. Ainoan poikkeuksen muodostaa pölynerottimen pölypussista otettu näyte työmaalla 5, joka ei sisältänyt lainkaan yli 0.5 mm:n aineksia ja oli selvästi hienompaa kuin muut näytteet.

Rakeisuuskäyristä määritettiin neljä indeksilukua, jotka on esitetty taulukossa 25. Indeksiluvuista on laskettu keskiarvot ja hajonnat.

Taulukossa 26 on esitetty eri näytteiden läpäisyarvot sekä keskiarvot ja hajonnat. Kuvassa 63 on esitetty keskimääräinen rakeisuuskäyrä hajontarajoineen. Kuvassa 64 on esitetty vaunuporakoneiden ja käsiporakoneiden keskimääräiset rakeisuuskäyrät.

Näytteiden keskilämpömitan perusteella porauksessa syntyvä kivi jauhe asettuu rakeisuudeltaan hienon ja karkean hiedan alueelle. Keskiarvo on melko tarkkaan hienon ja karkean vaihdekohdassa.

Rakeisuusluvun perusteella porausjauhe on hyvin suhteistunutta ja sisältää tasaisesti kaikkia lajitteita.

Porausjauheen sisältämän hienoaineksen ($<10\mu\text{m}$) ja hyvin hienon aineksen ($<5\mu\text{m}$) määrästä riippuu leijuvien hiukkasten määrä ja pölyn haitallisuus. Alle $10\mu\text{m}$:n hiukkasia on pölyssä ollut keskimäärin 23 % ja alle $5\mu\text{m}$:n hiukkasia keskimäärin 16 %.

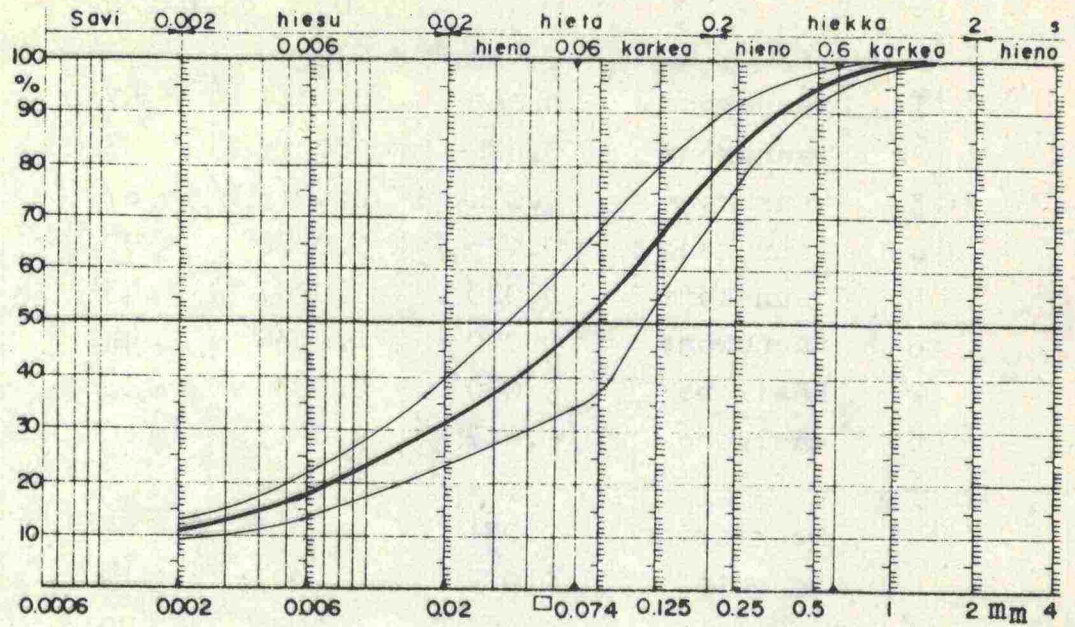
Vaunuporakoneiden ja käsiporakoneiden synnyttämällä pölyllä ei rakeisuuskäyrien perusteella ole käytännössä mitään merkitystä.

Työ- maa	Porakone	Keskiläpi- mitta D_{50}	Tehokas läpimitta D_{10}	Rakeisuus- luku D_{60}/D_{10}	Hienoaines- prosentti 0.005 mm
1	vaunukone	0.065	0.0015	67	15
2a	vaunukone	0.074	0.0015	83	16
3	vaunukone	0.074	0.0015	67	16
4	vaunukone	0.125	0.0020	90	12
5	vaunukone	0.020	0.0007	43	24
6	vaunukone	0.090	0.0030	42	13
2c	käsikone	0.060	0.0030	33	15
6	käsikone	0.057	0.0015	60	16
	keskiarvo	0.071	0.0018	61	16
	hajonta	0.028	0.00075	19	3.4
	suurin	0.125	0.0030	90	24
	pienin	0.020	0.0007	33	12

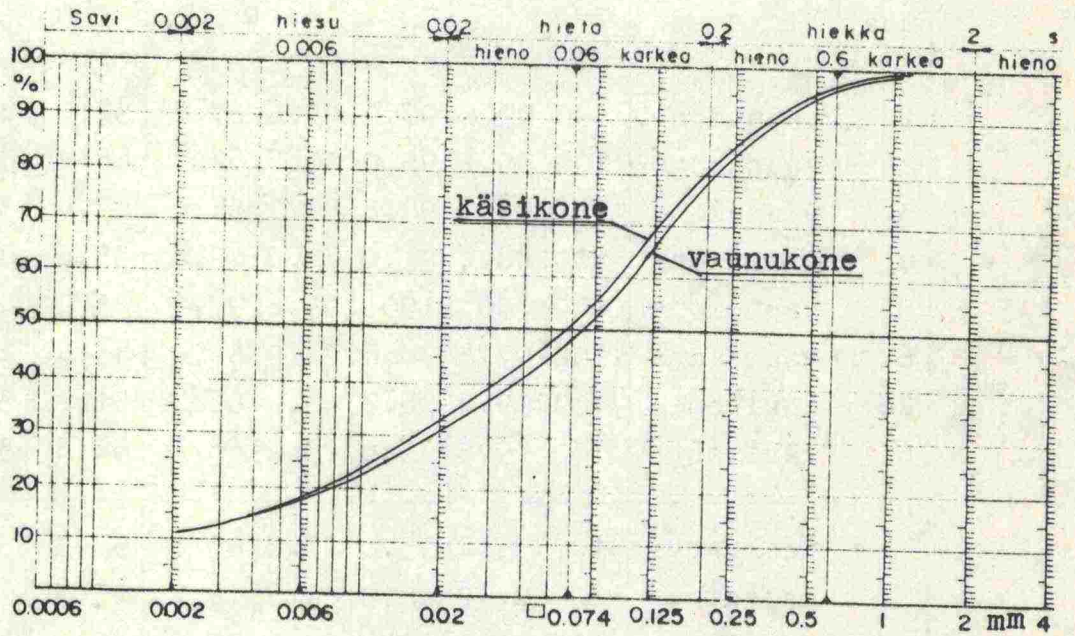
Taulukko 25. Porausölyn indeksiominaisuudet

Työ- maa	Porakone	2	1	0.5	0.25	0.125	0.074	0.02	0.006	0.002
1	vaunukone	100	99.4	97.0	87.6	67.8	52.6	29	17	10
2a	vaunukone	100	99.6	95.0	80.8	62.2	48.2	31	17	11
3	vaunukone	100	99.2	94.8	82.2	64.6	47.4	34	18	11
4	vaunukone	100	98.6	91.0	72.0	49.6	35.6	20	12	10
5	vaunukone	100	100	100	99.6	97.0	85.0	49	27	14
6	vaunukone	100	97.4	90.6	77.0	59.0	43.4	24	14	9
2c	käsikone	100	99.8	96.2	86.0	68.4	51.2	34	17	9
6	käsikone	100	99.6	95.6	85.4	68.6	54.8	32	17	12
	keskiarvo	100	99.2	95.0	83.8	67.1	52.3	31.6	17.4	10.8
	hajonta	0	0.79	2.9	7.7	12.7	15.3	8.0	4.1	1.55
	suurin	100	100	100	99.6	97.0	85.0	49	27	14
	pienin	100	97.4	90.6	72.0	49.6	35.6	20	12	9

Taulukko 26. Ölynäytteiden läpäisyarvot



Kuva 63. Keskimääräinen rakeisuuskäyrä hajontarajoiheen



Kuva 64. Vaunu- ja käsiporakoneiden keskimääräiset rakeisuuskäyrät

1.43 Pölyn mineraalikoostumus

1.431 Mineraalikoostumuksen määrittäminen

Kivilajien määrittämisen yhteydessä määritettiin silmämääräisesti kiven mineraalikoostumus. Pölyn haitallisuus riippuu kvartsi-
pitoisuudesta, joten sen määrittäminen suoritettiin röntgendiffraktio-
menetelmällä pölynäytteistä. Määrittäminen suoritti Työterveys-
laitos.

Pölynäytteet eivät sisältäneet tridymiittia eikä kristobaliit-
tia, mikä oli odotettavissa, koska muutosprosessi vaatii kor-
keita lämpötiloja. Saadut kvartsi-
pitoisuudet vastasivat melko
hyvin silmämääräisesti arvioituja pitoisuuksia. Kvartsi-
pitoisuus määritettiin kokonaispölystä sekä kahden näytteen kohdalla myös
alle 5 μm :n hiukkasista, jotka erotettiin pölynäytteestä sedi-
mentoimalla. Tulokset olivat yhtäpitäviä.

1.432 Mineraalikoostumuksen vertailu

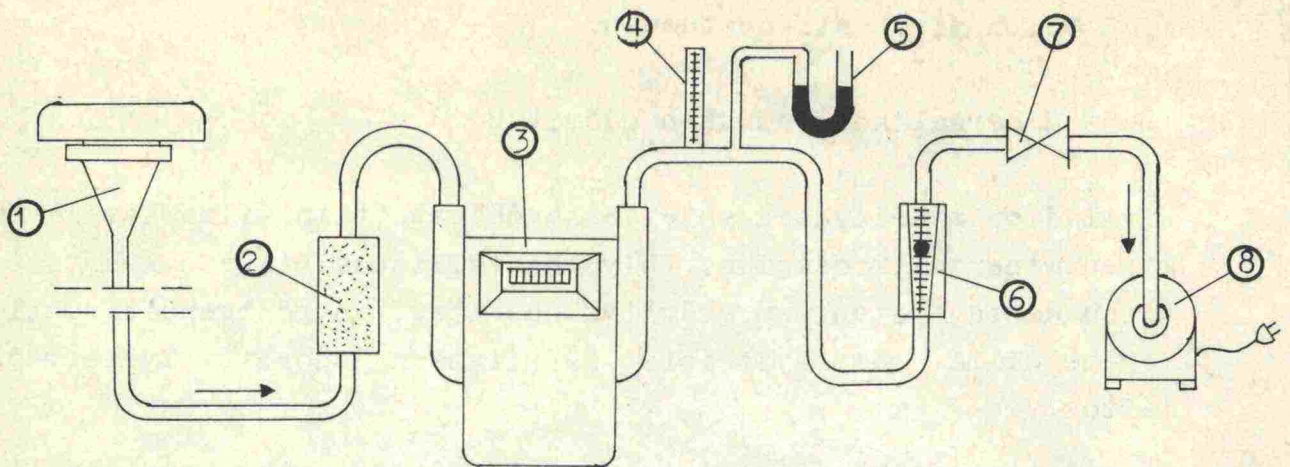
Mineraalikoostumus on esitetty taulukossa 24. Mineraalit kuulu-
vat kvartsi-
lukuunottamatta pölyn vaikutuksen kannalta harmit-
tomiin aineisiin, joten niiden tarkka pitoisuusmäärittäminen ei ole
oleellista.

Kvartsin määrä vaihteli työmaittain 8...45 %. Koska hienoa pö-
lyä (< 5 μm) syntyi kaikilla työmailla lähes yhtä paljon, vaih-
telee pölyn haitallisuusaste työmaittain kiven sisältämän
kvartsimäärän mukaan.

2. Ympäristössä suoritettut mittauk- set

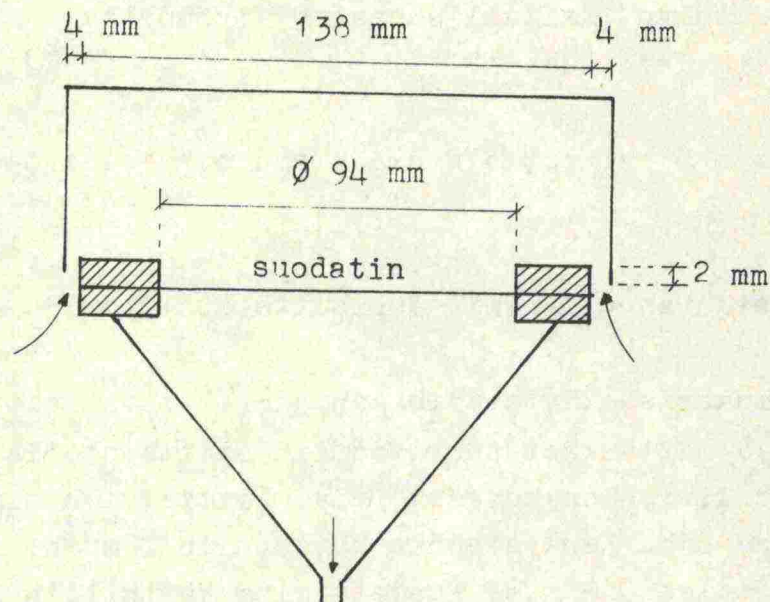
2.1 Leijuvan pölyn mittauslaitteisto R 1973

Tutkimuksessa käytettiin kahta erilaista laitteistoa. Työmailla
1 ja 2a mittaukset suoritettiin laitteistolla R 1973, jonka pe-
riaatepiirros on kuvassa 65a. Laitteiston imupään rakenne on
kuvassa 65b. Keräystekona käytettiin 2 m^3/h , jolloin imunopeu-
deksi tulee 0.3 m/s. Suodattimena käytettiin lasikuitusuodatti-
mia Whatman GF/A \varnothing 11 cm. Suodattimet kuivattiin uunissa 105°C:



Kuva 65a. Mittauslaitteiston R 1973 kaaviokuva / 28 /

1. Suppilonmuotoinen ilman keräysnääd suodatinnapereineen
2. Ilman kosteutta noistava silikageeliyksikkö
3. Yhteenlaskeva kaasumittari, mittausalue $0.3 \dots 3.0 \text{ m}^3/\text{h}$
4. Lämpömittari, jolla mitataan kaasumittarista tulevan ilmavirren lämpötila
5. U-putkimanometri, joka ilmoittaa kaasumittarista tulevan ilmavirren staattisen paineen
6. Virtausmittari, mittausalue $1 \dots 3 \text{ m}^3/\text{h}$
7. Portaaton säätöventtiili
8. Pölynimuri



Kuva 65b. Laitteiston R 1973 imupään rakenne / 28 /

een lämpötilassa 12 tunnin ajan, jonka jälkeen ne punnittiin analyyysivaa'alla. Mittausten jälkeen ne kuivattiin uudelleen ja punnittiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa / 28 / on todettu 12 tunnin kuivausajan olevan riittävä kosteuden poistamiseen suodattimista.

2.2 Tehokeräin

Muilla työmailla käytettiin leijumamittauksiin tehokeräintä, jonka keräyspään ja suojakopin rakenteet on esitetty kuvassa 39. Alumiinirakenteisen katoksen imuaukko on alaltaan 425 cm^2 , mistä keräysteholla $92 \text{ m}^3/\text{h}$ ($60 \text{ j}^3/\text{min}$) tulee imunopeudeksi 0.6 m/s , joka on kaksinkertainen laitteestoon R 1973 verrattuna.

Tehokeräimen etuina laitteistoon R 1973 verrattuna on sen keveys ja helppo liikuteltavuus. Pienien pölymäärien ollessa kyseessä saadaan laitteistolla nopeasti punnittava pölynäyte. Suodattimina käytettiin lasikuitusuodattimia, joiden koko oli $8" \times 10"$ eli $20 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$.

Tehokeräimen imemän ilmamäärän mittaukseen käytettiin virtausmittaria, joka oli kalibroitu siten, että siitä voitiin suoraan lukea imetty ilmamäärä minuutissa kuutiojalkoina, joka muutettiin kuutiometreiksi tunnissa. Mittausjaksojen aikana imuteho pysyi vakiona.

2.3 Mittaussuunnitelma ja -järjestely

Mittaukset suoritettiin ainoastaan tuulen alapuolella vallitsevan tuulen suunnassa. Ensimmäinen mittaus suoritettiin porauspisteen välittömässä läheisyydessä viiden tai kymmenen metrin päässä ja muut mittaukset sopivin etäisyyksin porauspisteestä. Mittaukset pyrittiin suorittamaan niin kaukana porauspisteestä kuin työvuoron pituus, maasto ja sää sallivat.

Mittausjakson pituutena käytettiin tehokeräimellä puolta tuntia, jolle lääkintöhallitus / 19 / on määritellyt lyhytaikaisleijuman sallitun arvon. Aika oli riittävä punnittavan pölynäytteen saamiseen. Laitteistolla R 1973 mittausaika määräytyi riittävän pölymäärän saamisen perusteella vähintään tunnin mit-

taiseksi lähellä porauspistettä, mutta kauempana jouduttiin keräysaikaa pidentämään. Alunperin suunniteltu mittausaika oli puolitoista tuntia, mutta se johti lähellä porauspistettä olevien suodattimien halkeamiseen liiallisen pölymäärän vuoksi.

Virtalähteenä käytettiin aggregaattia, jonka teho oli 1 kW. Laite luovutti yksivaiheista vaihtovirtaa, jonka jännite oli säädettävissä. Mittauslaitteiston vaatima jännite oli 220 V. Alunperin oli tarkoitus käyttää kahta tehokeräintä, mutta laitteiston vaatima teho (1.5 kW) oli liikaa aggregaatille. Jännitettä saatiin ulos vain 150 V, jonka jälkeen aggregaatti sammui. Alhaisen jännitteen käyttö olisi vaikuttanut imutehoon sekä saattanut nopeasti rikkoa keräimen moottorin, joten mittauksissa käytettiin vain yhtä keräintä. Laitteistolla R 1973 oli mittausjakson aikana käytössä kolme laitetta (780 W).

Paikoissa, joissa laitteita ei saatu autolla mittauspisteen lähelle, jouduttiin käyttämään jatkojohtoja, joiden vetoon pitemmillä matkoilla (yli 100 m) käytettiin Tuusulan taistelukoulusta lainattuja kaapelikeloja ja kantolaitetta.

2.4 Säähavainnot

Mittausjaksojen aikana suoritettiin tuulen nopeuden, ilmanpaineen ja suhteellisen kosteuden mittaukset kuvassa 47 näkyvällä laitteistolla. Tuulen pääsuunta ja poikkeamat pääsuunnasta jouduttiin arvioimaan. Tuulen nopeuden mittaukseen käytetty laite rekisteröi tuulen kulkeman matkan, josta saatiin mittausaikana vallinnut keskimääräinen tuulen nopeus. Tuulen puuskia ja niiden vaikutusta ei siten voitu ottaa huomioon. Taulukossa 27 on esitetty mittauksen aikaiset sääolosuhteet.

2.5 Pölyimissio

2.51 Mittaustulokset

Mittaukset pyrittiin tekemään sellaisissa olosuhteissa, joissa sekundääripölyn vaikutus oli mahdollisimman vähäinen. Tässä ei aina kuitenkaan onnistuttu. Kuvissa 66...73 sekä taulukossa 28 on esitetty mitatut leijuman arvot eri etäisyyksillä. Lisäksi kuvissa on esitetty kaaviokuvat mittauskohteista sekä pienimmän

neliösumman menetelmällä lasketut regressiosuorat ja lineaariset korrelaatiokertoimet.

Työmaa	Mittaus	v	y	T	P	Suht.kost.	Pilvisyys
1	1	2.97	45	18	754	85	puolip.
	2	2.05	60	17	752	92	pilvinen
2a	1	0.94	180	21	750	50	puolip.
2b	1	1.75	360	18	756	84	puolip.
	2	1.48	180	19	756	74	pilvinen
	3	0.48	180	19	756	73	pilvinen
2c	1	2.42	60	11	760	88	puolip.
	2	2.33	60	12	760	80	puolip.
	3	2.12	60	11	760	88	puolip.
	4	2.09	60	12	760	84	puolip.
	5	2.50	60	12	762	75	puolip.
	6	2.42	60	12	762	75	puolip.
4	1	0.86	270	14	759	90	pilvinen
	2	0.76	270	15	759	93	pilvinen
	3	0.90	180	19	760	71	puolip.
	4	0.84	180	19	760	76	puolip.
	5	2.51	90	19	759	82	puolip.
6	1	1.00	90	15	754	81	pilvinen
	2	1.68	90	14	754	95	pilvinen
	3	6.03	30	14	756	61	puolip.
	4	3.82	60	12	757	68	puolip.
7a	1	2.83	60	14	750	69	puolip.
	2	3.56	60	16	750	69	puolip.
	3	5.17	60	15	750	70	puolip.
	4	4.33	60	17	750	66	puolip.
	5	3.44	60	13	750	75	puolip.
7b	1	1.36	60	13	755	88	puolip.
	2	2.09	60	14	755	79	puolip.
	3	3.27	60	16	755	76	puolip.
	4	3.44	60	15	756	78	puolip.
	5	3.61	60	15	756	73	puolip.
	6	2.89	60	15	755	75	puolip.
	7	2.50	60	14	755	79	puolip.

Taulukko 27. Säähavainnot

Työmaa	5	10	25	50	100	150	200	300
1	98.5		7.40	2.10				
1				5.70		0.73	0.43	
2a		30.8		2.01	0.85			
2b		10.4	0.53	0.21				
2c		20.1	5.30	2.66	0.64		0.29	0.21
4		14.1	10.3	0.87	0.45		0.21	
6	72.8		4.60	3.90		0.46		
7a		35.0	9.65		5.26		2.96	0.90
7b				2.40	1.22		0.75	

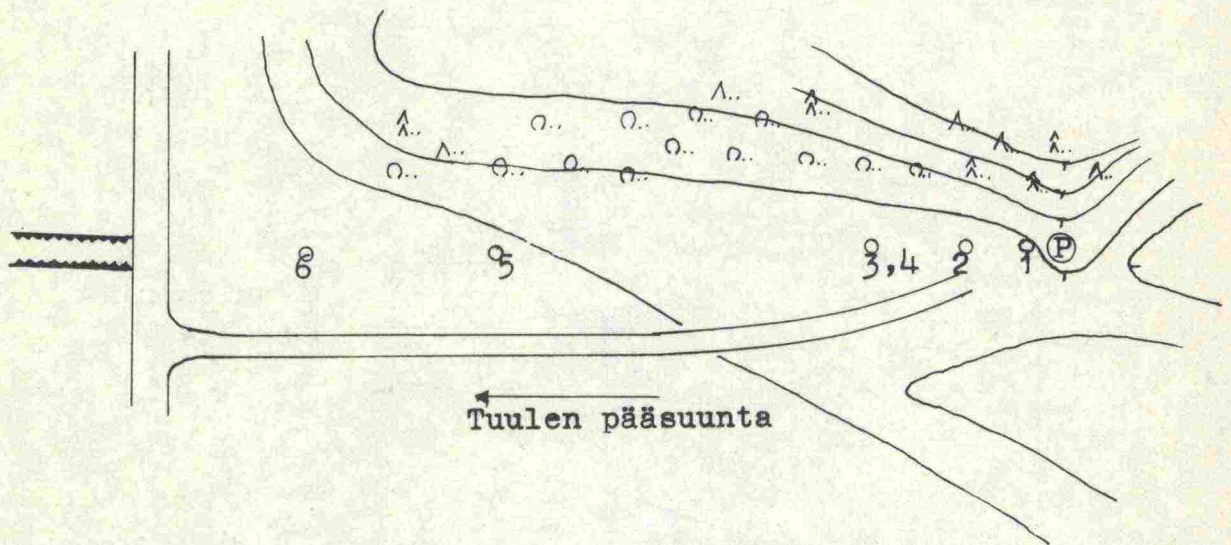
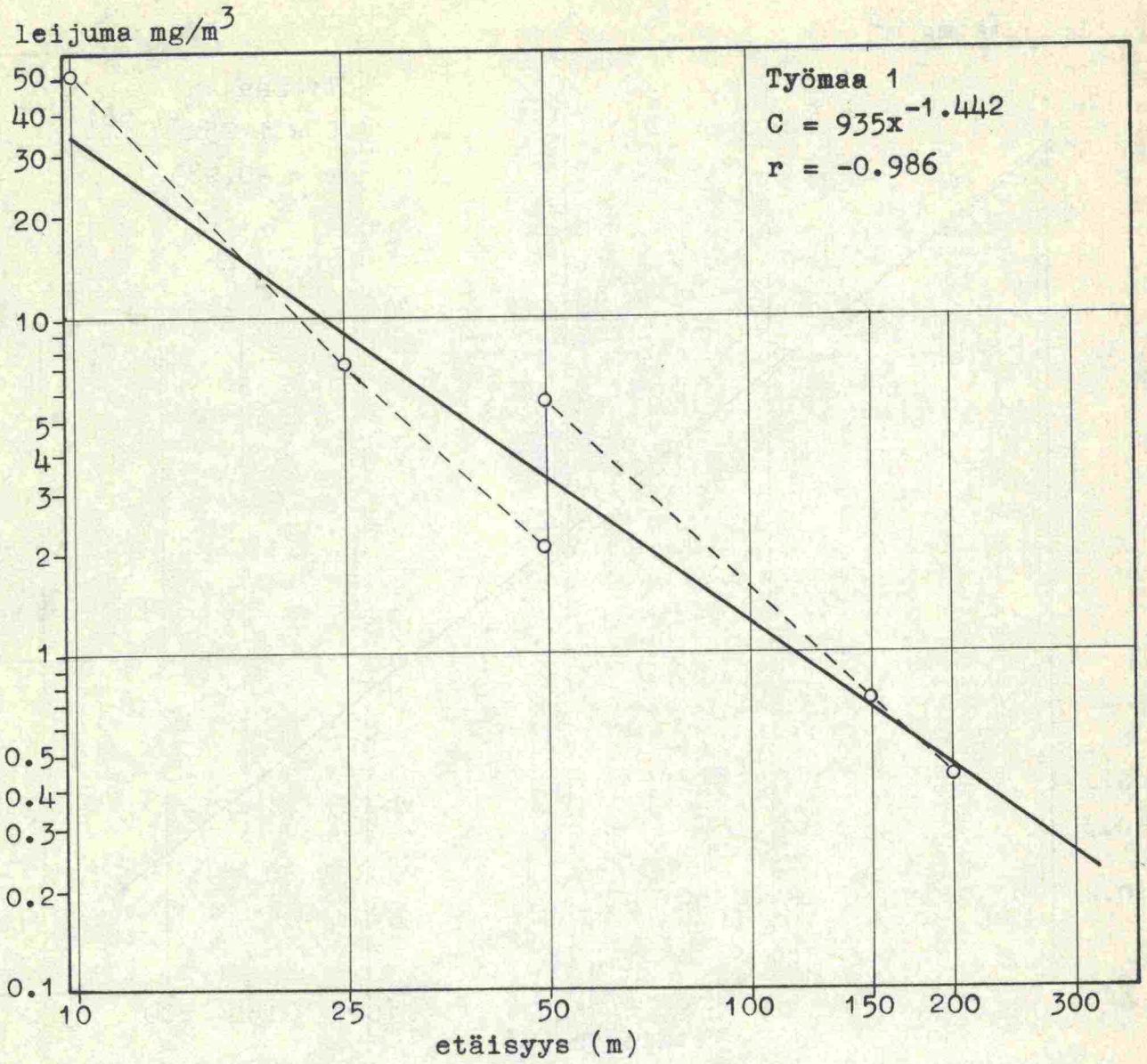
Taulukko 28. Mitatut pölykonsentraatiot mg/m³

2.52 Pölykonsentraation riippuvuus etäisyydestä

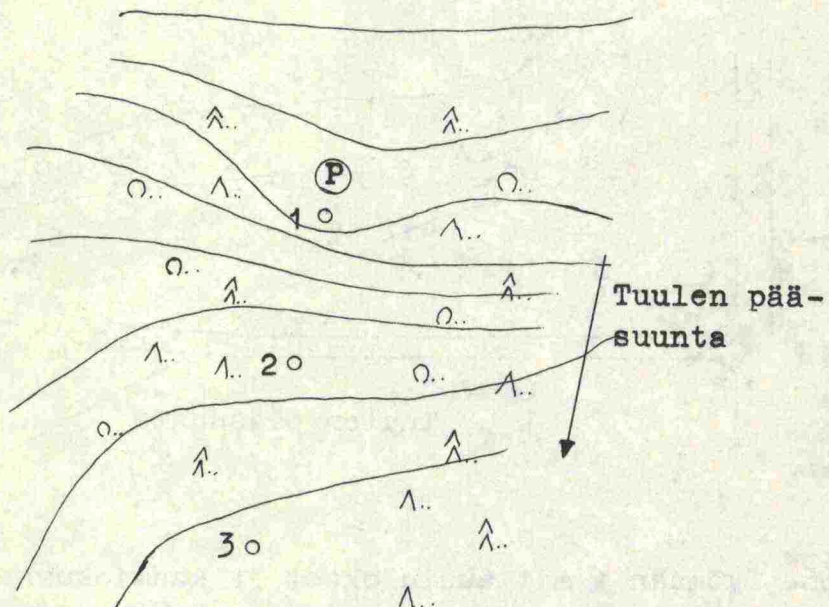
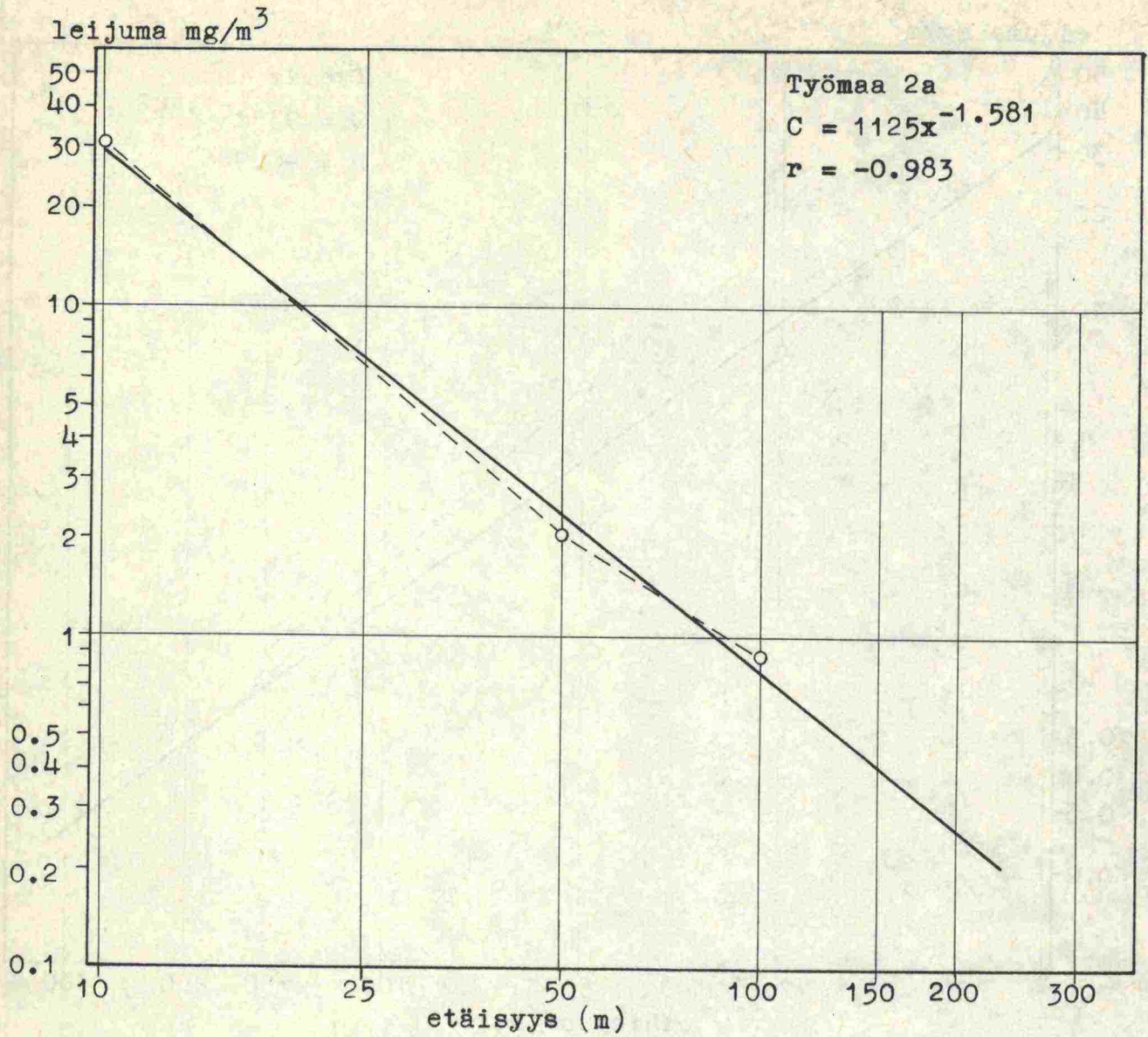
Taulukkoon 29 on koottu työmaittain lasketut regressiosuorien kertoimet ja korrelaatiokertoimet sekä sekundääristen pölylähteiden olemassaolo.

Työmaa	A	B	r	sekundääripöly
1	-1.442	935	-0.986	ei
2a	-1.581	1125	-0.983	ei
2b	(-2.466)	(2450)	(-0.977)	ei
2b red	-1.547	67	-	-
2c	-1.382	475	-0.995	ei
4	-1.552	665	-0.959	> 50 m:n etäisyydellä
6	-1.436	690	-0.985	ei mainittavasti
7a	(-0.914)	(258)	(-0.960)	kyllä
7a red	-1.390	850	-	-
7b	(-0.835)	(61)	(-0.996)	kyllä
7b red	(-1.476)	(770)	-	-

Taulukko 29. Regressioanalyysin tulokset

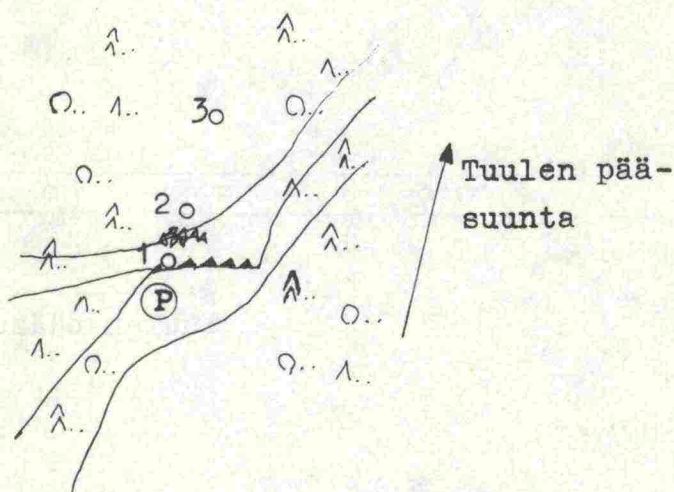
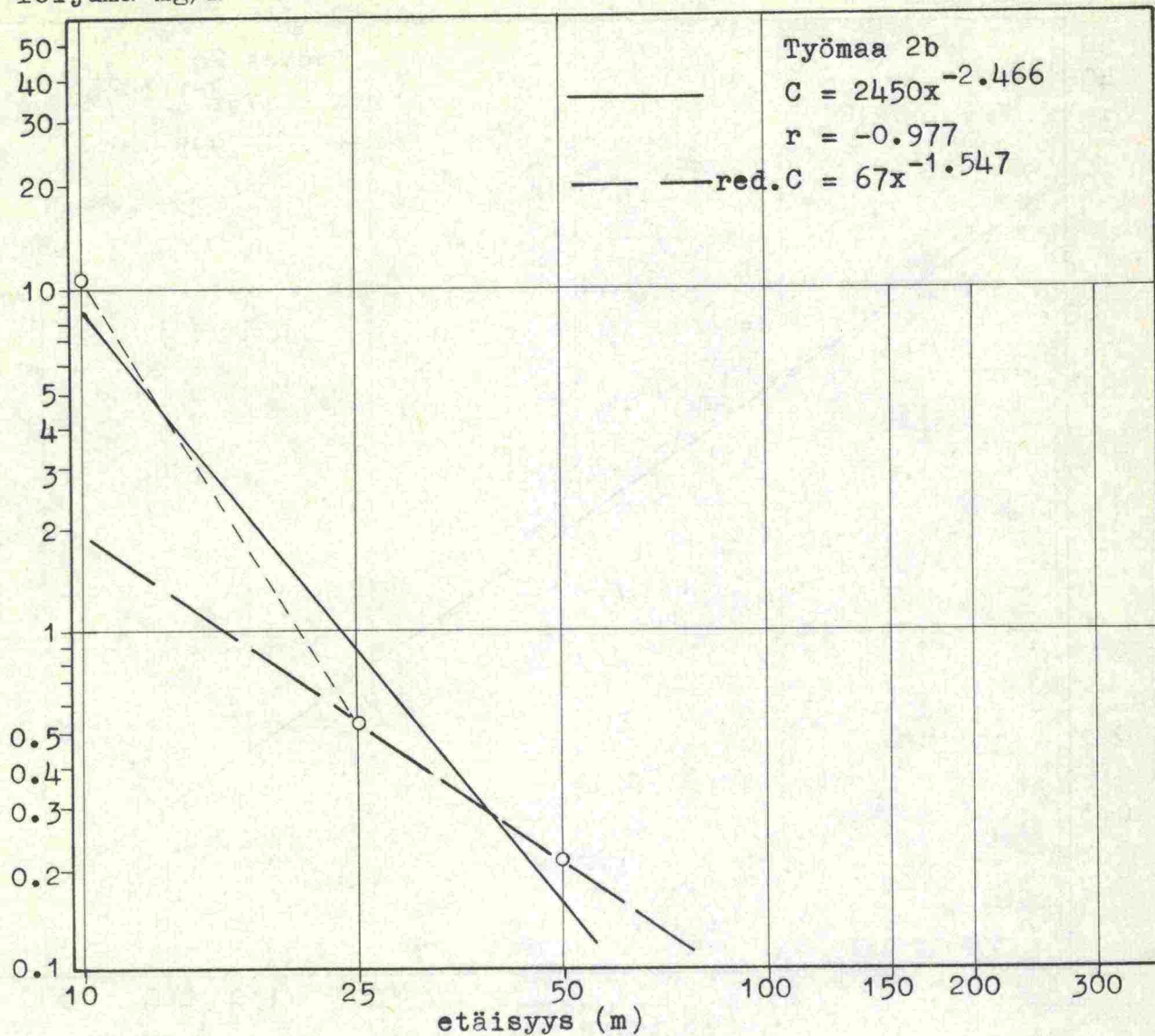


Kuva 66. Työmaan 1 mittaustulokset ja kaaviokuva

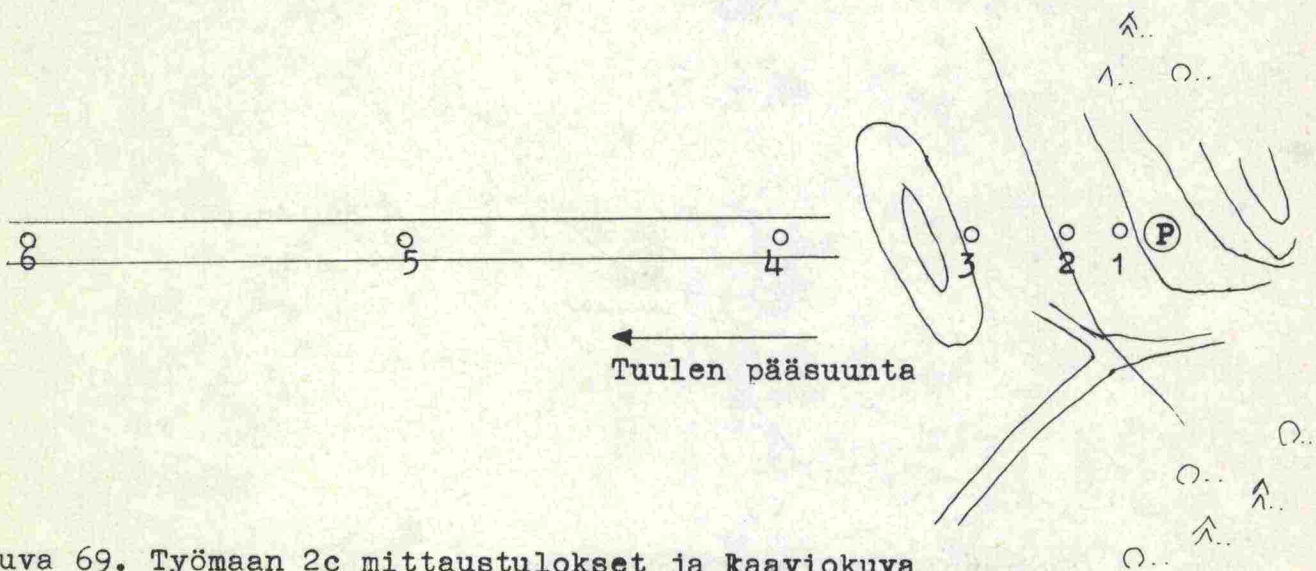
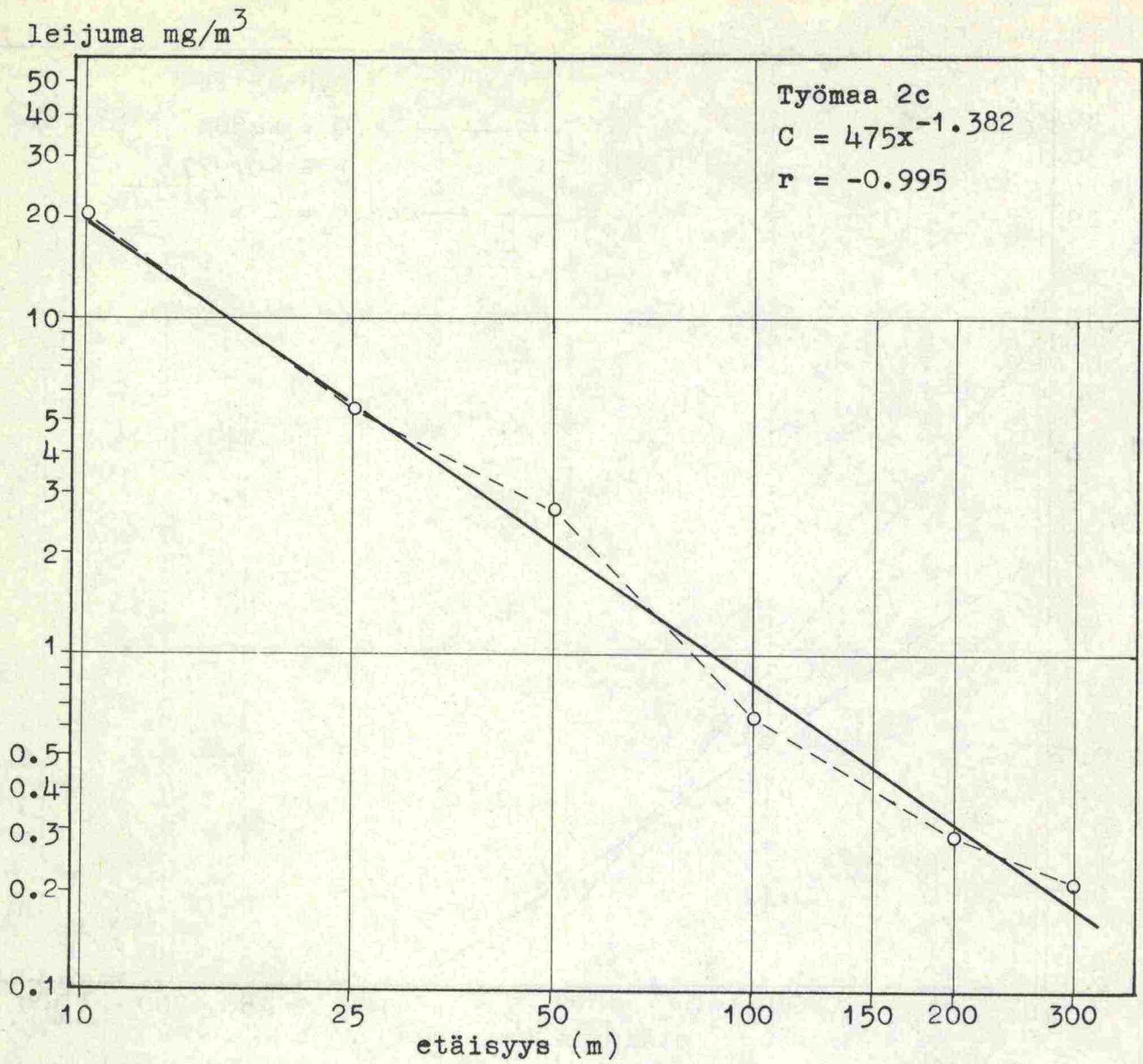


Kuva 67. Työmaan 2a mittaustulokset ja kaaviokuva

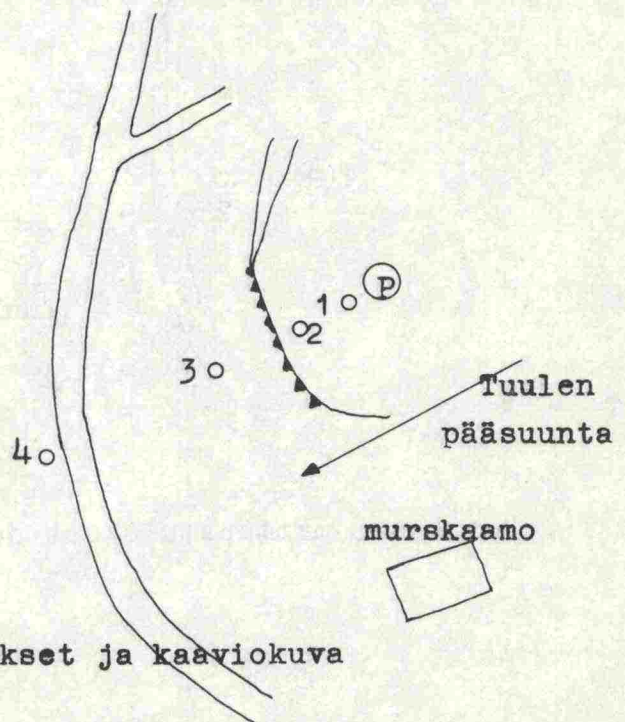
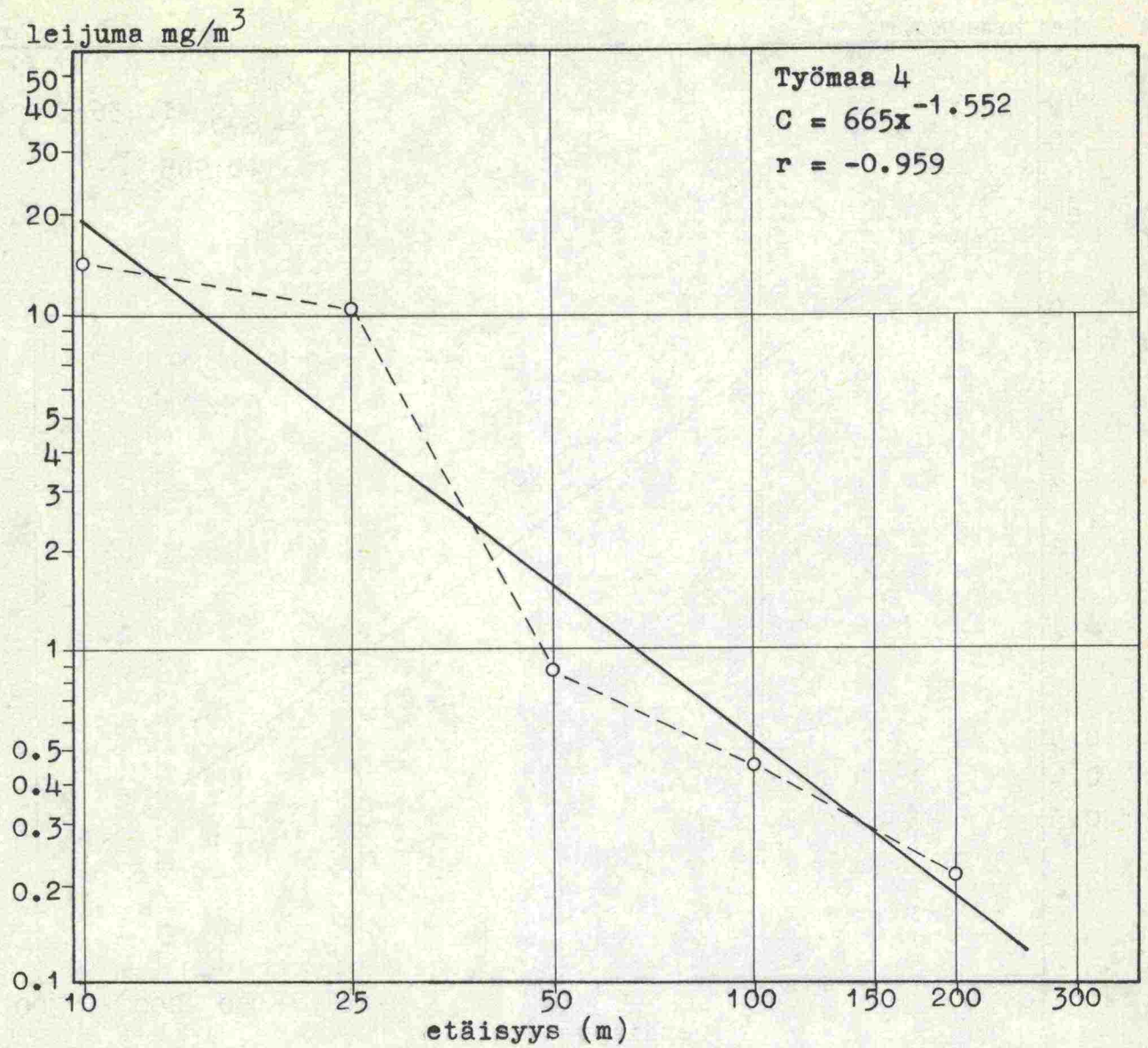
leijuma mg/m³



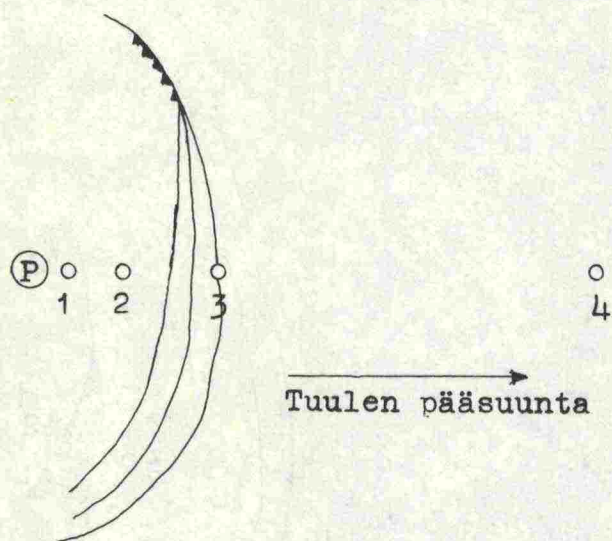
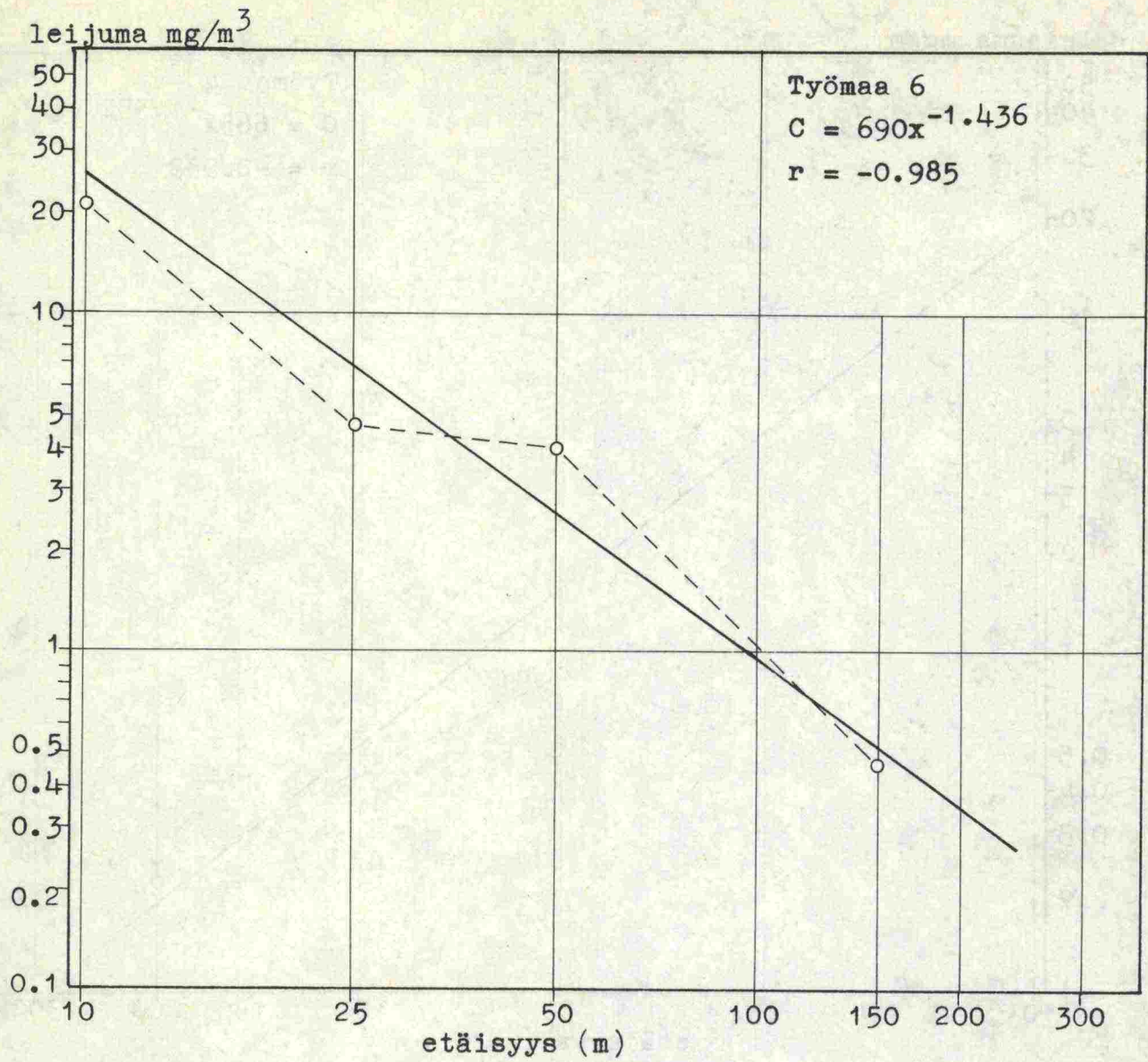
Kuva 68. Työmaan 2b mittaustulokset ja kaaviokuva



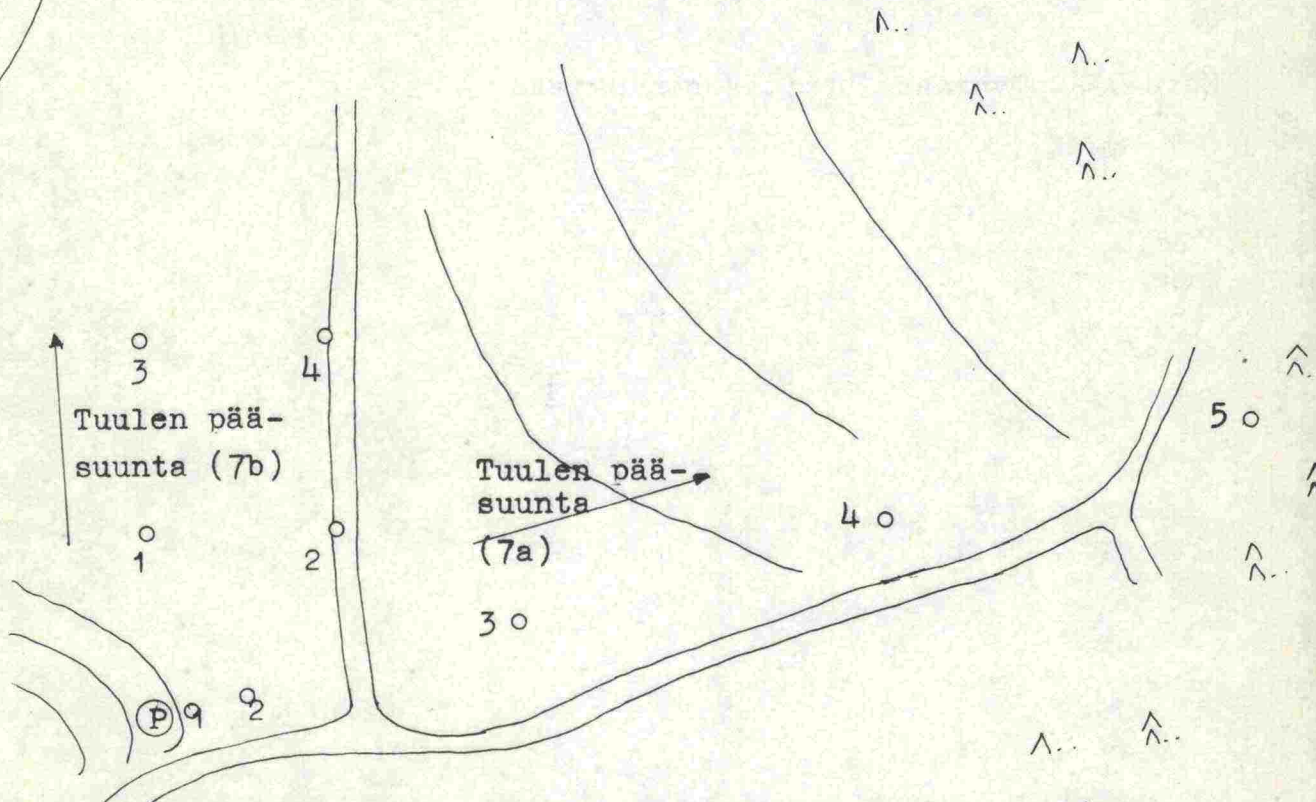
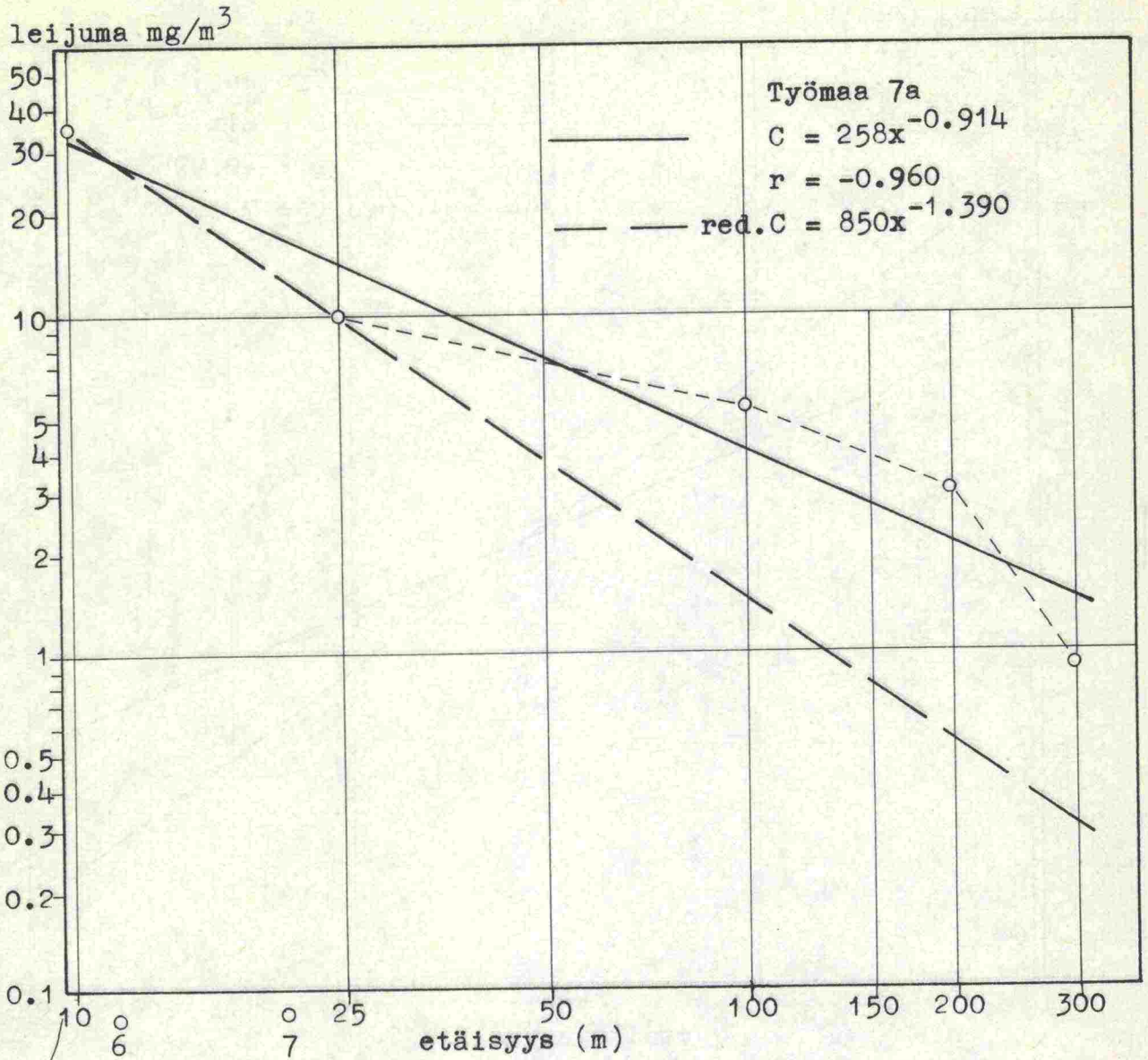
Kuva 69. Työmaan 2c mittaustulokset ja kaaviokuva



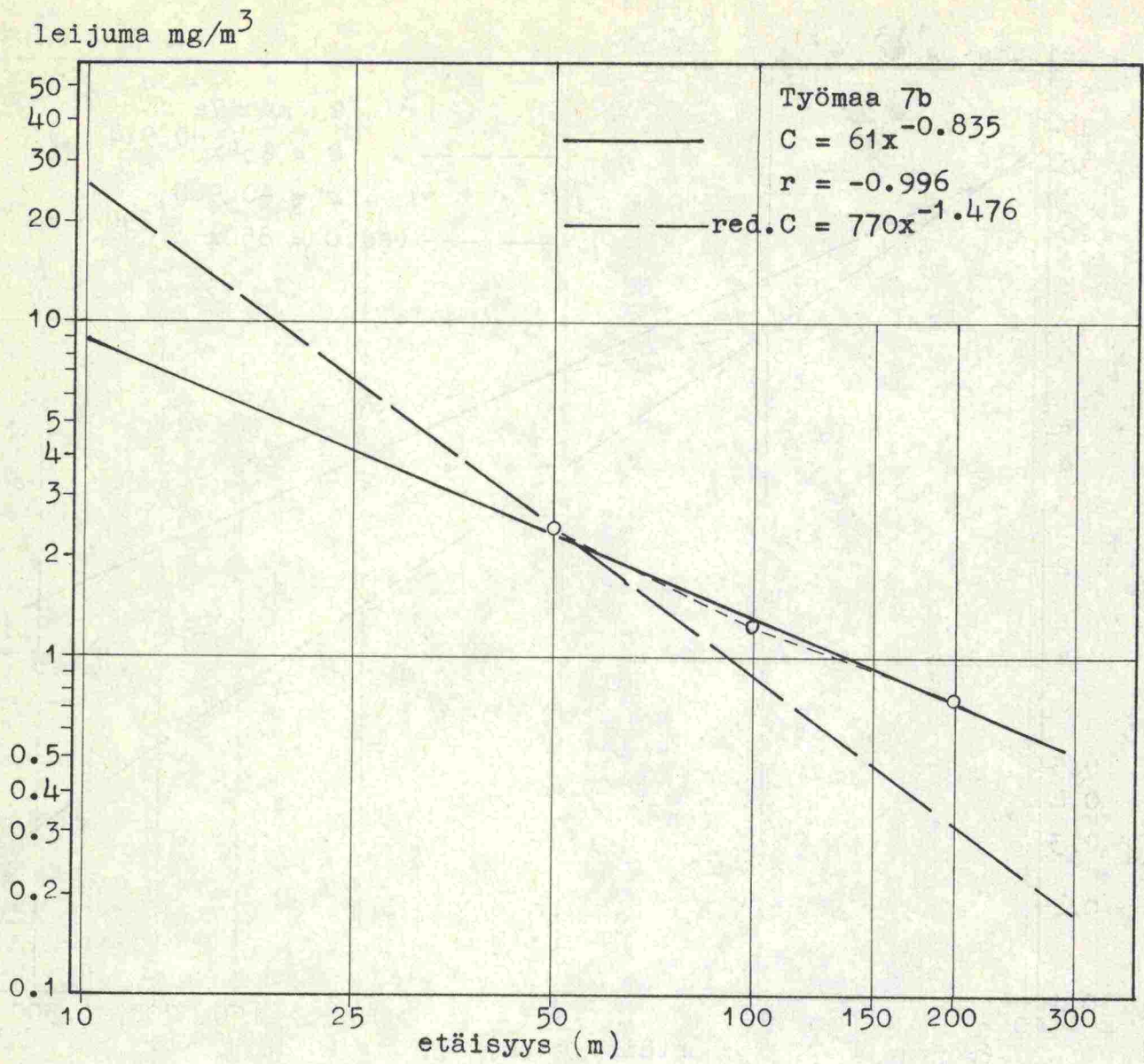
Kuva 70. Työmaan 4 mittaustulokset ja kaaviokuva



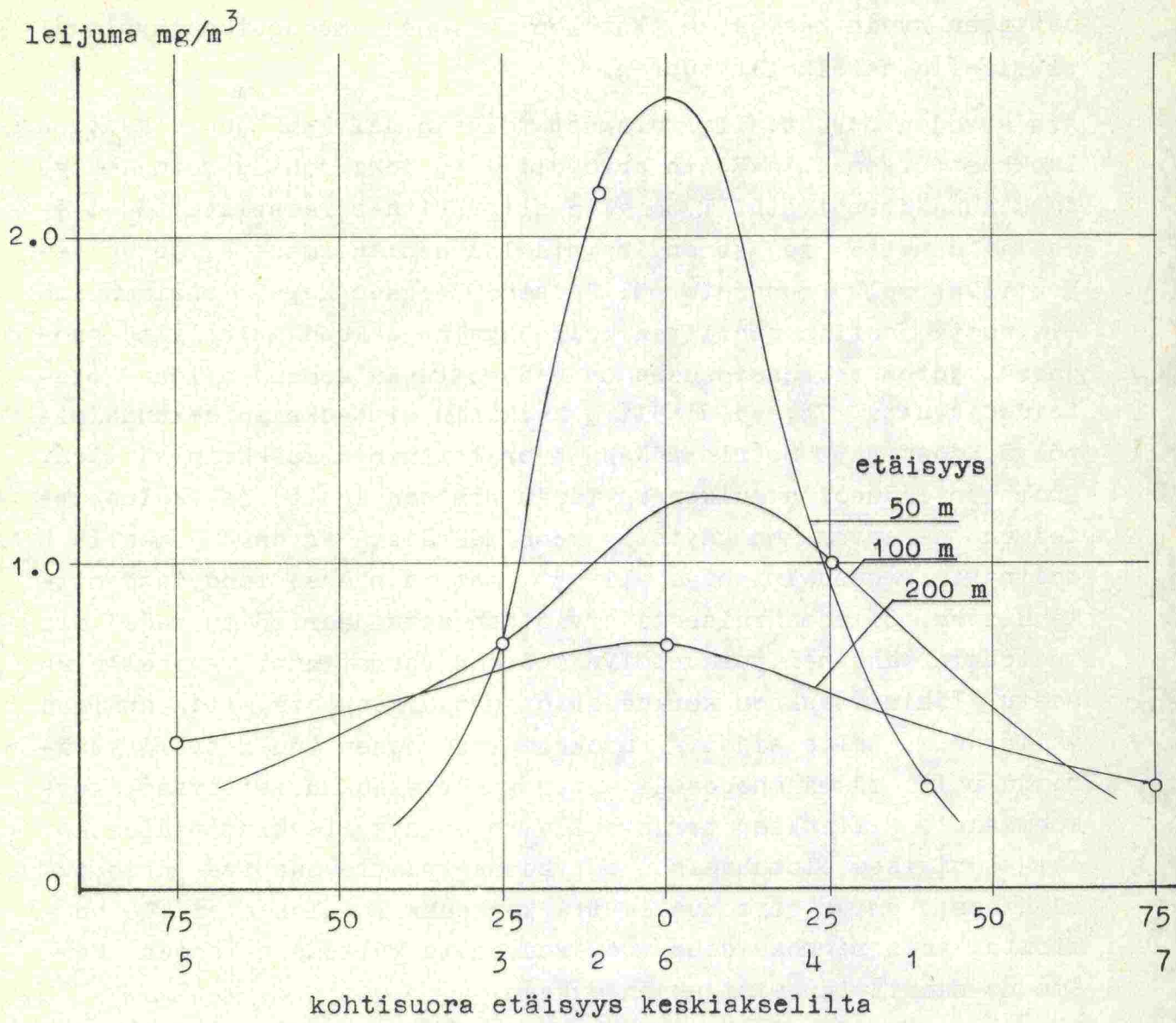
Kuva 71. Työmaan 6 mittaustulokset ja kaaviokuva



Kuva 72. Työmaan 7a mittaustulokset ja työmaan 7 kaaviokuva



Kuva 73a. Työmaan 7b mittaustulokset



Kuva 73b. Pölyn leviäminen sivusuunnassa

Mittausten perusteella voidaan todeta pölykonsentraation noudattavan hyvin kaavaa 26. Yhtälön kuvaaja muodostaa täyslogaritmisella asteikolla suoran.

A:n arvojen perusteella tulokset voidaan selvästi jakaa kahteen luokkaan. Työmaalla 7 A:n arvo oli < 1 , joka johtuu voimakkaasta sekundääripölystä. Työmaalla oli useita porauspisteitä, työmaaliikennettä ja samanaikaista louheen kuormausta, jotka aiheuttivat melko runsasta pölyämistä. 7a:ssa kaksi ensimmäistä mittausta saatiin suorittaa melko hyvin sekundääripölyltä suojassa, joten regressiosuora on redusoitu kulkemaan näiden pisteiden kautta. 7b:ssä sisältyy kaikkiin mittauksiin sekundääripölyä, joskin 50 metrin päässä suoritettuihin kaikkein vähiten. Suora on redusoitu kulkemaan tämän pisteen kautta ja kulmakertoimen A arvona on käytetty keskimääräistä arvoa. Työmaalla 4 esiintyi sekundääripölyä yli 50 metrin päässä tehdyissä mittauksissa. Silmämääräisesti arvioiden sekundääripölyn määrä oli kuitenkin vähäinen porauspölyn määrään verrattuna. Työmaalla 2b saatu lähimittauksen korkea arvo johtuu huonosta mittauspaikan valinnasta. Laite sijaitsi notkelmassa, jossa tuuli pyöri ympäri ja pölyn määrä muodostui siten ympäristöä huomattavasti korkeammaksi. Mittauksen perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että sopivissa olosuhteissa pölykonsentraatio saattaa muodostua vähäisestä emissiosta huolimatta korkeaksi. Tulosta ei ole huomioitu, vaan regressiosuora on redusoitu kulkemaan kahden kaupan suoritetun mittauksen mukaan.

Työmailla, joilla sekundääripölyä ei esiintynyt tai sen esiintyminen oli hyvin vähäistä, on kulmakertoimen A suuruus ollut lähes vakio. Keskiarvoksi saatu -1.476 on lähellä Rynäsen / 28 / asfalttiasemilla saamaa keskiarvoa -1.41 . Korrelaatiokertoimien arvot ($-0.959 \dots -0.995$) osoittavat, että pölykonsentraation ja etäisyyden välinen lineaarinen riippuvuus on selvästi olemassa.

2.53 Pölykonsentraation riippuvuus emissiosta

B:n arvo näyttää vastaavan lukuarvoltaan porauksessa syntyvän hienon aineksen (alle $5 \mu\text{m}$) emissiota puolen tunnin aikana kymmenissä grammoissa lausuttuna. Tämän perusteella on nomogrammien 56 ja 58 avulla tutkittu saavutettu tunkeuma-arvo arvioidun

tehokkaan porausajan perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 30. Hienoainesprosenttina on käytetty keskimääräistä arvoa 16.

Työmaa	Porakone	2B·10	∅	t _{eff}	Tunkeuma cm/min
1	vaunukone	18700	51	60	64
2a	vaunukone	22500	31	60	186
4	vaunukone	13300	76	60	22
6	vaunukone	13800	64	60	35
7a	vaunukone	17000	64	60	60
7b	vaunukone	15400	64	60	55
2b	käsikone	1340	34	30	34
2c	käsikone	9500	34	80	56

Taulukko 30. B:n arvon perusteella lasketut tunkeuma-arvot

Vaunukoneissa käytettävien porakoneiden suhteelliset tunkeuma-arvot vaihtelevat 51 mm:n terällä 475...1000 mm/min ja käsikoneilla saavutettavat tunkeuma-arvot ovat noin 400 mm/min, joten saavutetut tunkeuma-arvot ovat todellisen tuntuisia. Taulukossa 31 on esitetty eri läpimittaisille terille redusoidut tunkeuma-arvot, jotka on laskettu siihen perustuen, että aikayksikössä porattu tilavuus pysyy vakiona.

∅ 31 mm	∅ 51 mm	∅ 64 mm	∅ 76 mm
2800	1000	610	435
2500	900	550	390
2240	800	490	350
1960	700	430	305
1680	600	370	260
1400	500	305	220

Taulukko 31. Redusoidut tunkeuma-arvot

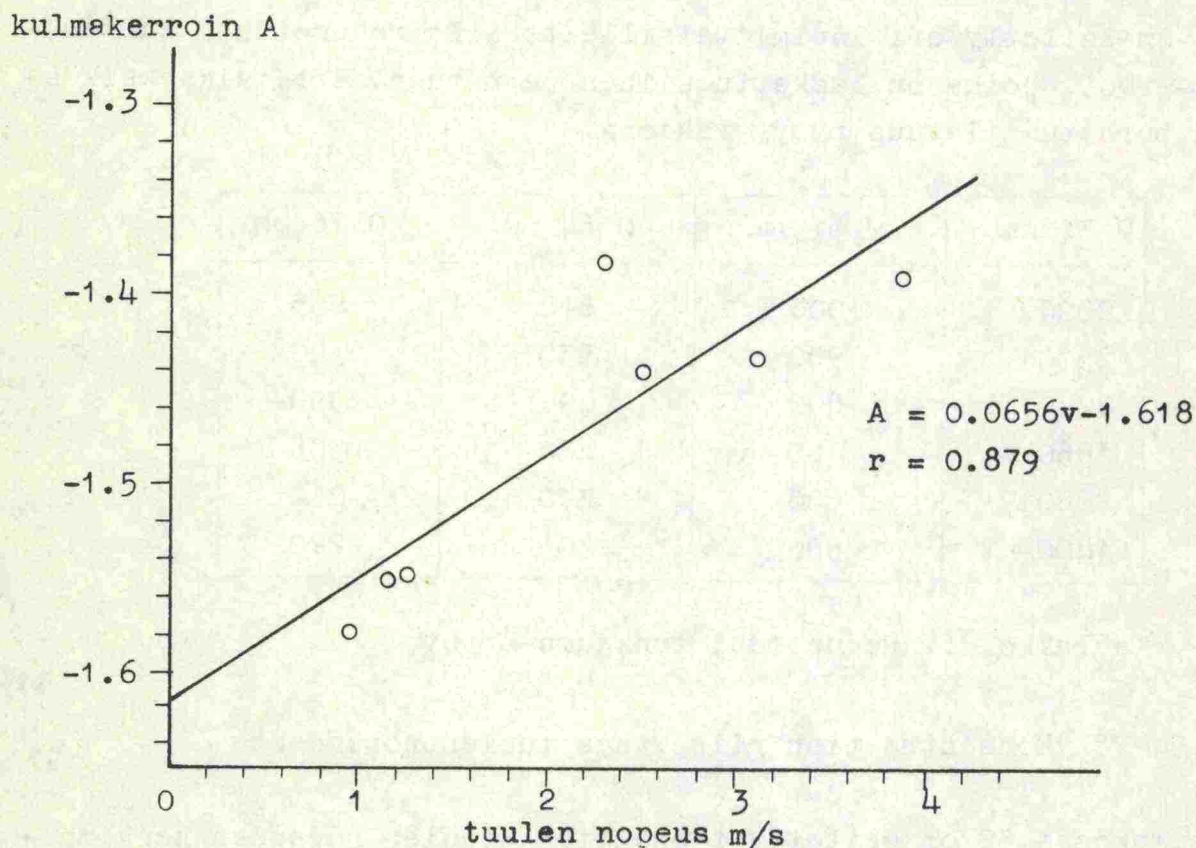
2.54 Pölykonsentraation riippuvuus tuulen nopeudesta

Taulukossa 32 on esitetty työmaittain tuulen nopeuden keskimää-

räiset arvot ja leijumalle saatujen regressiosuorien kulmakertoimet A. Niiden perusteella on laskettu regressiosuora (kuva 74), joka kuvaa pölykonsentraation muuttumista eri etäisyyksillä tuulen nopeuden muuttuessa. Lineaariseksi korrelaatioker-toimeksi on saatu 0.879, joten lineaarinen riippuvuus on melko hyvä. Pienen havaintoaineiston takia tulokseen sisältyy epävarmuustekijöitä.

Työmaa	Tuulen nopeus	A
1	2.51	-1.442
2a	0.94	-1.581
2b	1.24	-1.547
2c	2.31	-1.382
4	1.17	-1.552
6	3.13	-1.436
7a	3.87	-1.390

Taulukko 32. Keskimääräiset tuulen nopeudet ja regressiosuorien kulmakertoimet



Kuva 74. Kulmakertoimen A riippuvuus tuulen nopeudesta

Tulosten perusteella leijuman suuruus tietyllä etäisyydellä kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa, koska suoran kulmakerroin kasvaa. Sisämaassa vallitsevilla keskimääräisillä tuulen nopeuksilla 3...4 m/s saadaan ylärajalla A:n arvoksi -1.35. Ryy-näsen tutkimuksissa / 28 / on keskimääräinen tuulen nopeus ollut 2.7 m/s ja keskimääräinen A:n arvo -1.41. Kuvasta 74 saadaan A:lle arvo 1.44, joka on hyvin lähellä Ryy-näsen saamaa keskimääräistä arvoa.

2.55 Pölyn hajaantuminen sivusuunnassa

Työmaalla 7b tutkittiin pölyn hajaantumista sivusuunnassa. Tulokset on esitetty kuvassa 73. Mittaukset jäivät kuitenkin kesken lähistöllä suoritettujen räjäytysten takia, joiden lisäksi voimakas sekundääripöly vaikutti mittaustuloksiin. Tämän takia mittaustuloksista ei juuri voi vetää johtopäätöksiä. Näyttää kuitenkin ilmeiseltä, että sivusuuntainen jakautuma noudattaisi normaalijakautumaa.

3. Virhetarkastelu

3.1 Emissio

Emissio on määritetty teoreettisesti laskien, jolloin aiheen luonteesta johtuen saadaan kokonaisemissiolle tarkka arvo. Hienon aineksen (alle $5\mu\text{m}$) emissio perustuu pölyn sisältämään hienon aineksen määrään, joka tuntemalla nomogrammit ovat käytökeltoisia. Kallion tiheyden vaihtelu rakoilun, ruhjeisuuden ja kivilajin perusteella aiheuttaa pieniä virheitä, joiden suuruus ei käytännössä vaikuta lopputuloksiin muuta kuin ääritapauksissa.

3.2 Rakeisuus

Kuivaseulonnassa näytteen määrä oli 50 g, joka on valittu sillä perusteella, että seulottavan näytteen on oltava grammoissa ilmaistuna noin puolet siitä määrästä, joka saadaan, kun suurin raekoko (mm) kerrotaan luvulla 100. Koska suurin raekoko oli 1 mm, täyttää 50 g annetun ehdon.

Seulontatuloksen luotettavuuteen vaikuttaa lähinnä seulontatappio, joka tutkittujen näytteiden kohdalla vaihteli 0.2...1.0 %. Seulontatappion syntyyn vaikuttavat pölyn mahdollinen karkaaminen seulonnan aikana, seuloille jäänyt aines sekä punnituksessa syntyneet lukematarkkuusvirheet. Vaa'an lukematarkkuus oli 0.1 g, joka vastaa 0.2 % näytteen painosta, joten syntyneet virheet ovat siedettävissä rajoissa.

Areometrinen menetelmä virheet syntyvät menetelmä- ja lukemavirheistä. Niiden yhteisvaikutus on suuruusluokaltaan noin viisi prosenttia.

3.3 Mineraalikoostumus

Mineraalikoostumuksen silmämääräisessä arvioinnissa syntyneiden virheiden suuruutta ei ole mahdollista arvioida muuta kuin kvartsin kohdalla. Röntgendiffraktiomenetelmällä saatuihin arvoihin verrattuna silmämääräisen tarkastelun tulos erosi korkeintaan 10 painoprosenttia.

Röntgendiffraktiomenetelmän virhe on suuruusluokaltaan viiden prosentin paikkeilla. Virheen suuruus riippuu häiritsevien mineraalien esiintymisestä, joka vaikeuttaa kvartsin määrittystä.

3.4 Pölynäytteen edustavuus

Pölynäytteen kohdalla on kyseessä osanäyte, koska laitteistolla saatu pölyn määrä oli noin 10 % kokonaispölymäärästä. Osanäytteen edustavuuden arvostelu on hankalaa, mutta raekokojakautuman tasaisuudesta päätellen laitteella on saatu näyte, joka melko hyvin edustaa kokonaispölyn rakeisuutta. Samaan suuntaan viittaavat myös porausjauheesta määritetyt indeksiominaisuudet.

3.5 Immissio

Immissiomittauksissa saatuihin tuloksiin aiheuttavat virheitä suodattimien punnitus, suodattimille eri käsittelyvaiheissa mahdollisesti joutuva pöly, suodattimen läpäisseen ilmamäärän mittaustaus ja sekundääriset pölylähteet. Näistä selvästi merkityksellisin on sekundäärisen pölyn esiintyminen, jonka määrä on vai-

keasti arvioitavissa ja joka saattaa antaa tutkittavan pölylähteen aiheuttamasta immissiosta väärän kuvan. Sekundääripölyn esiintyminen suurentaa voimakkaasti etäisyysalenenemisen kulmakertointa A.

4. P o r a u s p ö l y n h a i t a l l i s u u s j a h a i t t o j e n t o r j u n t a

4.1 Haitallinen etäisyys

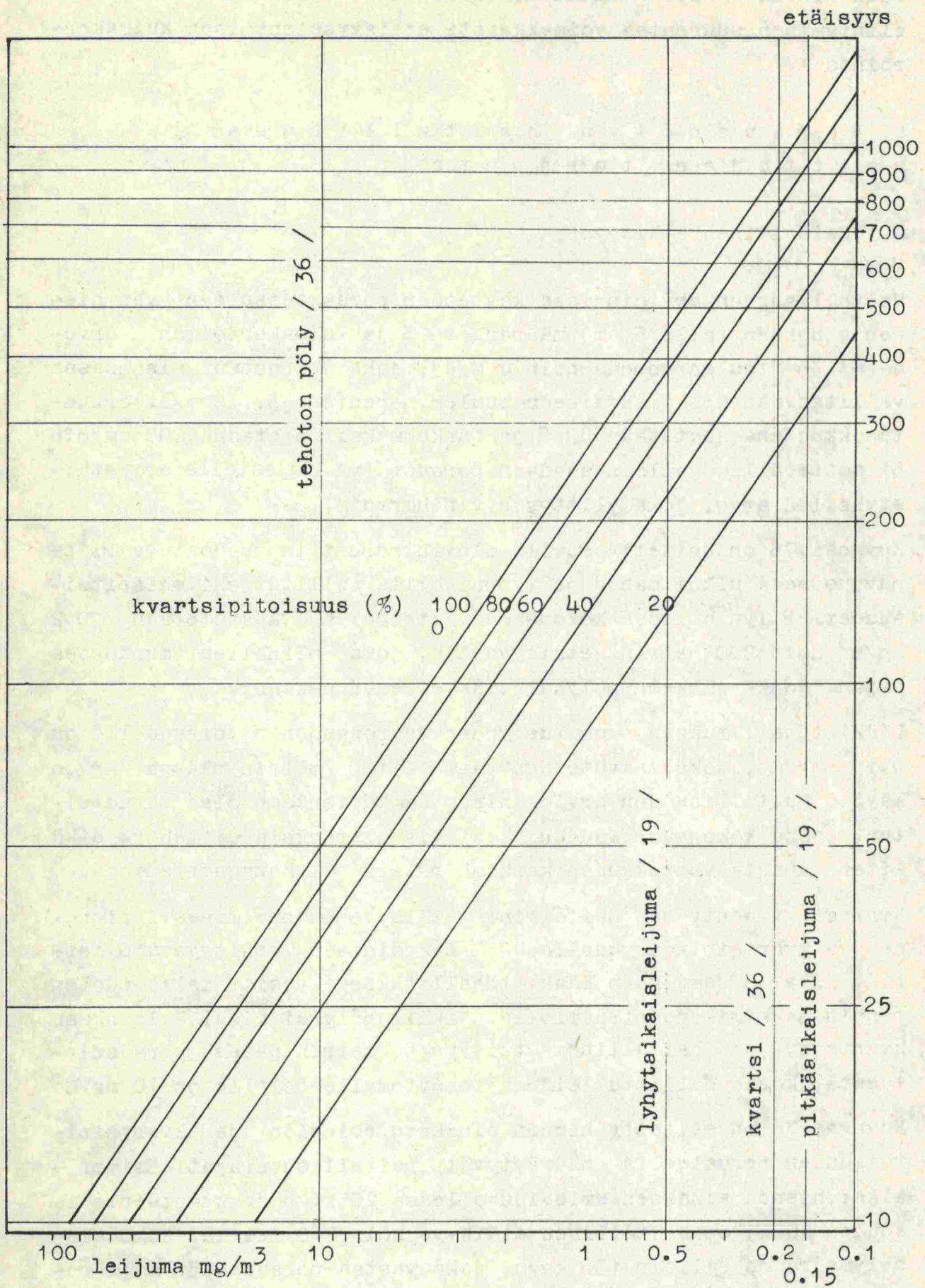
Haitallisuuden arvioinnissa käytetään porauksessa syntyvän hienon aineksen (alle $5\ \mu\text{m}$) määränä 16 % ja kulmakertoimen A arvona -1.35 (tuulen nopeus noin 4 m/s), joka perustuu sisämaassa vallitsevaan keskimääräiseen tuulen nopeuteen 3...4 m/s. Poraus-
tehokkuutena käytetään 80 % ja tunkeumaksi otetaan 1000 mm/min 51 mm terällä, jolloin saadaan porauspölyn immissiolle eri etäisyyksillä arvo, joka ylittyy hyvin harvoin.

Kuvassa 75 on esitetty edellä olevin perustein muodostuva riippuvuus sekä ulkoilmassa ja työpaikoilla sallitut enimmäispitoisuudet. Pölyn ollessa kokonaan kvartsipölyä saavutetaan $0.2\ \text{mg}/\text{m}^3$ noin 900 metrin etäisyydellä, joka näinollen muodostaa rajan, jonka jälkeen pölyhaittoja ei enää esiinny.

Lääkintöhallituksen suositus yhden vuorokauden pitoisuudelle on $0.15\ \text{mg}/\text{m}^3$, joka saavutetaan vasta 1100 metrin päässä. Arvon käyttö haitallisuuden arvioinnissa ei kuitenkaan ole perusteltua, koska koko vuorokauden kestäviä mittauksia ei tehty, eikä siten tunneta vuorokauden keskimääräistä pölykonsentraatiota.

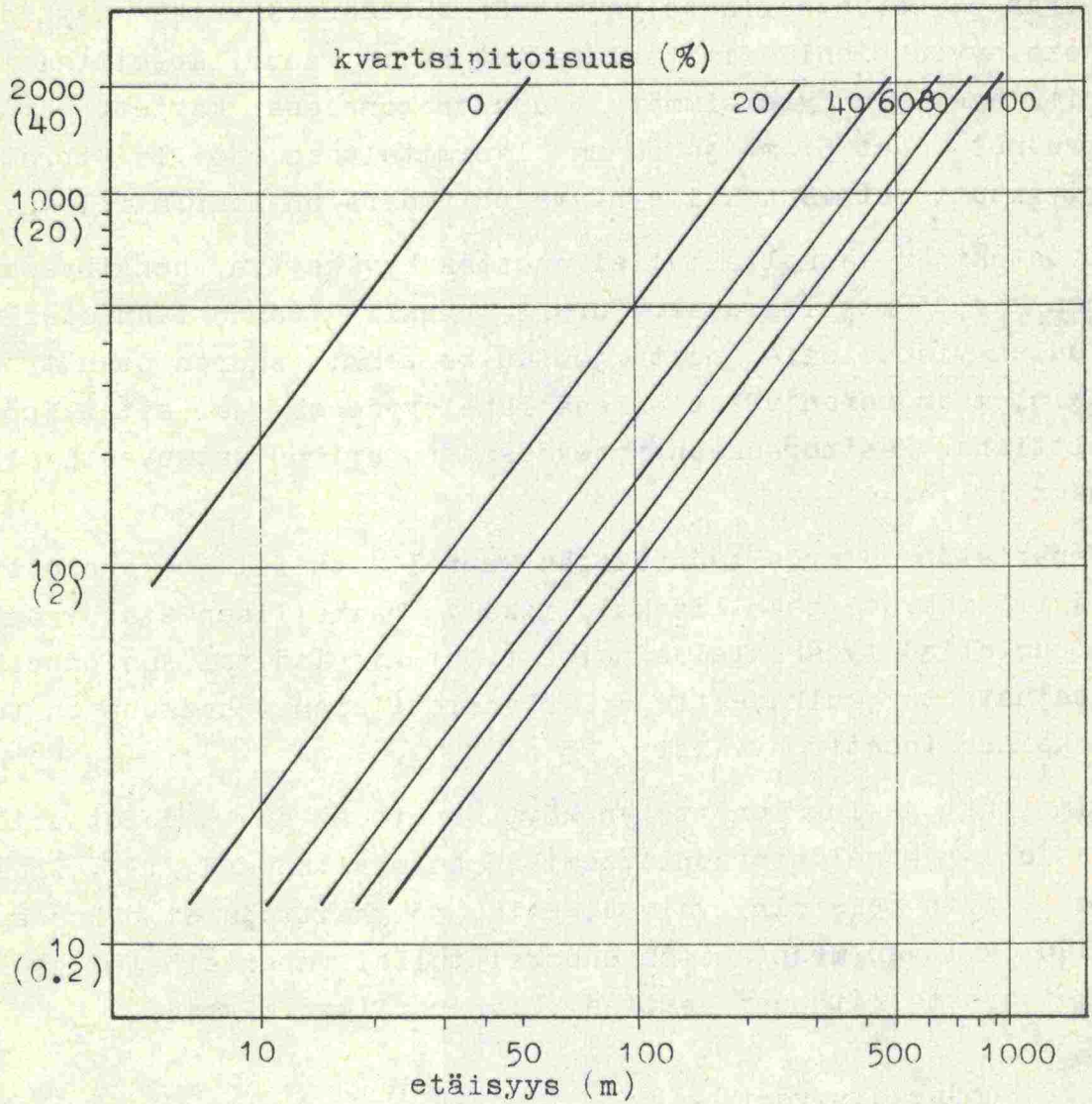
Kvartsin vähentyessä haitallinen etäisyys luonnollisesti pienee ja kvartsipitoisuudella 40 % saavutetaan etäisyys 450 metriä, joka on sama kuin lääkintöhallituksen suositamalla puolen tunnin maksimikonsentraatiolla. Mikäli pöly ei sisällä lainkaan kvartssia, on haitallinen etäisyys 50 metrin päässä porauspisteestä, koska sallittu leijuma tehottomalle pölylle on $10\ \text{mg}/\text{m}^3$.

Kuvassa 76 on esitetty hienon aineksen emission ja kvartsipitoisuuden perusteella määräytyvät haitallisuusrajat. Esimerkiksi hienon aineksen emission ollessa 20 kg/h ja kvartsipitoisuuden 40 %, on haitallinen etäisyys noin 280 metriä. Kokonaispölymäärä on silloin 130 kg/h, joka vastaa porausta 51 mm:n po-



Kuva 75. Suurin haitallinen etäisyys eri kvartsipitoisuuksilla

B
(hienon aineksen emissio kg/h)



Kuva 76. Suojaetäisyyksien määrittämissä diagrammi kvartsipitoisuuden ja hienon aineksen (alle 5 µm) emissio perusteella

ralla tehollisen vorausajan ollessa 60 % ja tunkeuman noin 60 cm/min. Tämä edustanee melko hyvin vaununorakoneiden keskimääräistä suoritusarvoa.

4.2 Pölyhaittojen torjunta

4.21 Menetelmät

Kuvan 54 perusteella pölyn määrää voidaan vähentää käyttämällä joko hyvin pieniläpimittaisia tai hyvin suuriläpimittaisia poria. Nykyisin yleisimmät vaununorakoneissa käytettävät porakruunut ovat 51 mm ja 64 mm läpimitaltaan, joilla irrotettua kivikuutiometriä kohti syntyvä pölymäärä on suurimmillaan.

Työntekijän kannalta tulisi asettaa hyväksytyn hengityssuojaimen käyttö pakolliseksi. Porari pyrkii luonnostaan oleilemaan tuulen yläpuolella, mutta joutuu kuitenkin suuren osan työajasta olemaan poran välittömässä läheisyydessä ja siten pölylle alttiina. Käsiporauksen yhteydessä porari on jatkuvasti alttiina pölylle.

Ympäristön ja myös työntekijän kannalta tulisi pölynerottimien käyttö määrätä pakolliseksi, mikäli haitallisen etäisyyden sisäpuolella työskentelee muita työntekijöitä tai jos lähellä on asutusta tai kulkureittejä. Pölynerottimien tehokkuus on tutkimuksissa todettu hyväksi / 23 ja 39 /.

Ilmoitus- ja lupamenettelyn käyttöönottoa on ehdotettu ilman-suojelu- ja meluntorjuntatoimikunnan mietinnössä /19/. Tällöin voitaisiin paremmin valvoa, että pölyhaittoja ei pääse synty-mään ja luvan myöntämisen ehdoksi tulisi ympäristöstä ja työn kestoajasta riippuen asettaa pölynerottimen käyttö.

4.22 Suojaetäisyydet

Jokainen louhintatyömaa muodostaa oman kokonaisuutensa, jota on vaikea verrata toiseen louhintatyömaahan. Suojaetäisyydet tulisi joko määrätä työmaakohtaisesti tai käyttää suojaetäisyyksiä, jotka kattavat suurimman osan tilanteista.

Suojaetäisyydet voidaan työmaakohtaisesti määrittää kuvan 76 perusteella. Kiinteiden rajojen määrittämiseksi on laadittu

taulukko 33, josta ilmenevät myös laskentaperusteet.

Porakone	\emptyset	k	t_{eff}	$G_{kvartsi}$	G_5	Suoja- etäisyys
käsikone	40	500	80	60	16	250
käsikone+ syöttölaite	40	700	80	60	16	400
vaunukone	51	1000	80	60	16	600

Taulukko 33. Suojaetäisyydet eri konetyypeille

Mikäli näiden rajojen sisäpuolella työskennellään, liikutaan tai asutaan, tulisi pölynerottimien käyttö olla pakollista. Poikkeuksen voisivat muodostaa kestoltaan hyvin lyhytaikaiset ja määrältään pienet louhintatyöt harvaan asutulla seudulla.

4.23 Pölynerottimien käyttökustannukset

Pölyntorjunta tuo luonnollisesti mukanaan kustannuksia, jotka aiheutuvat laitteiston hankinnasta, korjauksesta ja huollosta. Pölynerottimien aiheuttama kustannuslisäys, johon sisältyy varaosakulutus, vaihtelee erottimen mallista riippuen 7...20 % / 13 /. Pölynerottimen käyttö lisää työviihtyvyyttä, mikä parantaa työtehoa. Kiviöllyn aiheuttama kuluttava vaikutus vähenee, mikä puolestaan nostaa porauslaitteiden käyttöikä. Lisäksi vähenevät laitteiden ja työpaikan puhdistustyöt ja -kustannukset. Pölynerottimien käytöllä on siten myös kustannuksia vähentävä vaikutus. Suurin hyöty erottimien käytöstä on ympäristön viihtyvyyden lisääntyminen, jota ei voida arvioida rahassa.

YHTEENVETO

Kivipölyn vaarallisin osa on rakeisuusalueella 0.2...2.0 μm .

Pölyä koskevat säännökset on laadittu koskemaan joko kokonaispölyä tai pölyä, jonka hiukkaskoko on alle 5 μm . Laitteistojen suunnittelussa pyritään siihen, että saadaan erotettua alle 10 μm :n tai alle 5 μm :n suuruiset hiukkaset mahdollisimman tehokkaasti.

Kivipölyn haitallisuus perustuu kvartsin ja sen muunnosten tridymiitin ja kristobaliitin määrään. Niiden määrittämiseen käytetään yleensä röntgendiffraktiomenetelmää.

Pölyemission suuruus riippuu porakruunun läpimitasta, kivilajista, tunkeutuvuudesta ja porauskalustosta. Pölyn määrä irrotettua kivikuutiota kohti on suurimmillaan nykyisin yleisesti käytössä olevilla porakruunuilla. Pölyn määrä kasvaa lineaarisesti tunkeutuvuuden kasvaessa.

Pölynäytteen ottoon käytetyn laitteiston imuteho osoittautui heikoksi, joten pölystä saatiin vain osanäyte. Pölynäytteen edustavuus vaikutti indeksilukujen perusteella melko hyvältä.

Pölynäytteen rakeisuus määritettiin areometrinenetelmällä. Pölynäytteet eivät sisältäneet yli 2 mm:n hiukkasia. Keskiläpimitan perusteella porausjauhe asettuu rakeisuudeltaan hienon ja karkean hiedan alueelle. Alle 5 μm :n hiukkasia oli keskimäärin 16 %. Vaunu- ja käsikoneiden rakeisuuskäyrillä ei ollut käytännössä mitään eroa.

Pölynäytteiden kvartsi- ja silikaattipitoisuus vaihteli 8...45 %, joten pölyn haitallisuusaste oli eri työmailla erilainen.

Imission mittaukseen käytettiin laitteistoa R 1973 sekä tehokeräintä. Pölykonsentraatio pieneni verrannollisena etäisyyden potenssiin, jonka suuruus oli riippuvainen tuulen nopeudesta.

Haitallinen etäisyys, jota kauempana pölyhaittoja ei enää esiinny, on noin 900 metriä. Käytännöllisenä ylärajana voidaan pitää käsikoneella korkeintaan 250 metriä, syöttölaitteilla varustetulla käsikoneella 400 metriä ja vaunukoneella 600 metriä.

ENGLISH SUMMARY

The most dangerous part of stone dust lies between 0.2 and 2.0 μm .

Regulations, which concern stone dust, has been composed to concern either total dust or dust, whose particle size is under 5 μm . There is a tendency in the construction of apparatus, that the particles under 10 μm or 5 μm are managed to be separated most effectively.

The harmfulness of stone dust bases on the quantity of quartz and its varieties tridymite and cristobalite. The quantities are usually defined by the roentgendiffraktion method.

The magnitude of emission depends on the diameter of the drill bit, the kind of rock, the drilling rate and the drilling equipment. The quantity of dust per loosened rock volume is greatest by the drill bits, which are the most usually used nowadays. The quantity of dust increases linearly while the drilling rate increases.

Because the suction capacity of the apparatus, by which the dust samples were taken, proved weak, only partial samples were received. The representativeness of dust samples seemed quite good on the basis of the index numbers.

The granularity of dust samples was defined by areometer. The dust samples did not contain particles over 2 mm. On the basis of the average diameter the granularity of drill dust lies between fine and rough sand. The average of particles under 5 μm was 16 %. There was no practical difference between the granularity of wagon drills and hand drills.

The quartz content of the dust samples varied between 8 and 45 %, so that the degree of the harmfulness of dust was different at different work-places.

In the measurement of the imission was used the apparatus R 1973 and the Hi-Vol-sampler. The concentration of dust was decreased proportional to the degree of the distance and the greatness of degree was dependant on wind velocity.

The harmful distance, after which harms of dust do no further appear, is about 900 meters. As a practical maximum can be con-

sidered by hand drills at most 250 meters, by hand drills with feed arrangement at most 400 meters and by wagon drills at most 600 meters.

Kirjallisuusluettelo:

1. Ahlman, K. : Silikoosi ammattitautina Suomessa. Työterveysuutiset 3/1968.
2. Arbetsmedicinska institutet : Rekommenderade hygieniska gränsvärden för luftföroreningar på arbetsplatsen. AI-rapport n:o 13/1969.
3. Atlas-Copco : Paineilmakäsikirja 1971.
4. Blomgren, K-E. : Murskausaseman toiminnasta aiheutuvas- ta ympäristön saastumisesta. Diplomityö 1972.
5. Clements, H.A., McMullen, T.B., Thompson, R.J., Akland, G.G. : Reproducibility of the Hi-Vol sampling method under field conditions. Journal of the Air Pollution Control Association. Vol. 22, n:o 12, 1972.
6. Drinker, P., Hatch, T. : Industrial dust. 1954.
7. Ek, G. : Virtaustekniikan käyttö silikoosivaaran torjunnassa. Paineilmautiset 4/1973.
8. General Metal Works inc. : High volume air samplers. Esite.
9. Ilmansuojelu- ja meluntorjuntatoimikunta : Komitean mietintö 1973:6. Helsinki 1973.
10. INSKO : Ilman saastuminen ja melu. Julkaisu 17-66. Helsinki 1966.
11. INSKO : Ilmansuojelun perusteet. Julkaisu 29-68. Helsinki 1968.
12. INSKO : Louhintatekniikka. Julkaisu 5-70. Helsinki 1970.
13. Julius Tallberg, Atlas-Copco-myynti : DCT:n käyttöku- stannukset.
14. Jung, H. : Luftverunreinigung und industrielle Staub- bekämpfung. Akademie-Verlag. Berlin 1968.
15. Laamanen, A. : Ilman likaantuminen. Kuluttajätietoa 2/ 1970.
16. Laamanen, A., Noro, L. : Ulkoilman saastuminen. Työterveys- laitoksen tutkimuksia n:o 18, 1966.
17. Lindwall, B. : Silikosfarligt damm analyseras. Arbets- miljö 12/1973.
18. Lokki, O. : Tilastomatematiikan perusteet. STS täydennys- koulutus. Julkaisu n:o 21, 1960.

19. Lääkintöhallituksen yleiskirje n:o 1550. Terveydenhoitolain (469/65) ja -asetuksen (55/67) nojalla annetut ilman epäpuhtauksia koskevat terveydelliset suositukset. 1973.
20. Maaranen, R. : Porauksen pölynsidonta. TyöterveysTurvallisuus 3/1971.
21. Mätning av kvartshaltigt damm i luft på arbetsplats. Kungl. arbetarskyddsstyrelsens meddelanden 72.6/1972.
22. Oy Airam ab : Kometa (Porausväline-esite)
23. Prochazka, R. : Staubmessungen im Arbeitsbereich einer Grossbohrlochanlage mit Absauge- und Entstaubungsgerät. Die Industrie der Steine und Erden. Heft 1/2 1973.
24. Rakennustekniikan käsikirja, osa 2. Geotekniikka. Helsinki 1970.
25. Rankama, K. : Suomen geologia. Helsinki 1964.
26. RIL : Maa- ja vesirakennus. Helsinki 1968.
27. RIL : Rakennuskoneet 1972.
28. Ryytänen, S. : Asfalttiasemien imission mittaamisesta. Diplomityö 1973.
29. Schütz, A. : Der MAK-Wert für Quarzfeinstaub unter dem Gesichtspunkt der Verhältnisse in der obertägigen Industrie. Die Industrie der Steine und Erden. Heft 3/1972.
30. Silikos. LO informerar 1/1973.
31. Simecek, J. : Hygieeniset pölymittaukset. Työterveysuutiset 5/1969.
32. Soveri, U. : Suomen rakennusgeologia. TKY:n moniste n:o 272. Otaniemi 1969.
33. Stenanvisningar. Kungl. arbetarskyddsstyrelsens anvisningar n:o 75. 1972.
34. Stoces, B., Jung, H. : Staub- und Silikosbekämpfung im Bergbau. Akademie-Verlag. Berlin 1962.
35. TVH : Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita. Osa II. Helsinki 1973.
36. Työpaikan ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön vahvistamat teknilliset turvallisuusohjeet n:o 11. Helsinki 1974.
37. Täytäntöönpanosäännöt ja selvitykset tapaturmanestosäädökseen 'Suojaus terveydelle haitallista mineraalipölyä vastaan.' VBG 119. 1973. (Monistettu käännös alkuperäistekstistä)

38. Vuorimiesyhdistys r.y. : Kaivosmiehen käsikirja. Helsinki 1964.
39. Wibbelhoff : Staubbekämpfung in Steinbrücken. Die Industrie der Steine und Erden. Heft 7/8 1973.
40. Ödelycke, P. : Utvecklingsarbeten och litteraturreferat rörande dammätning. AI-rapport 3/1968.
41. Öhman, H. : Provtagnings- och analysförfaranden för silikosfarligt damm. AI-rapport 3/1968.

TVH

MAATUTKIMUSTOIMISTO

-124-
LABORATORION TYÖLOMAKE

Liite 1

Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus Työmaa 1

Työkohte

Kunta

 Näytteen laatu Pohjamaa Savi-hieta Murskeet Kestopäälystemassa Öljy- tms. sora
 Täytemaa Hiekka-sora Sepelit Päälyste Muut

Näytteen tunnus

a

b

c

Näytteen ottopaikka (Paalu)
— syvyys ja korkeustaso

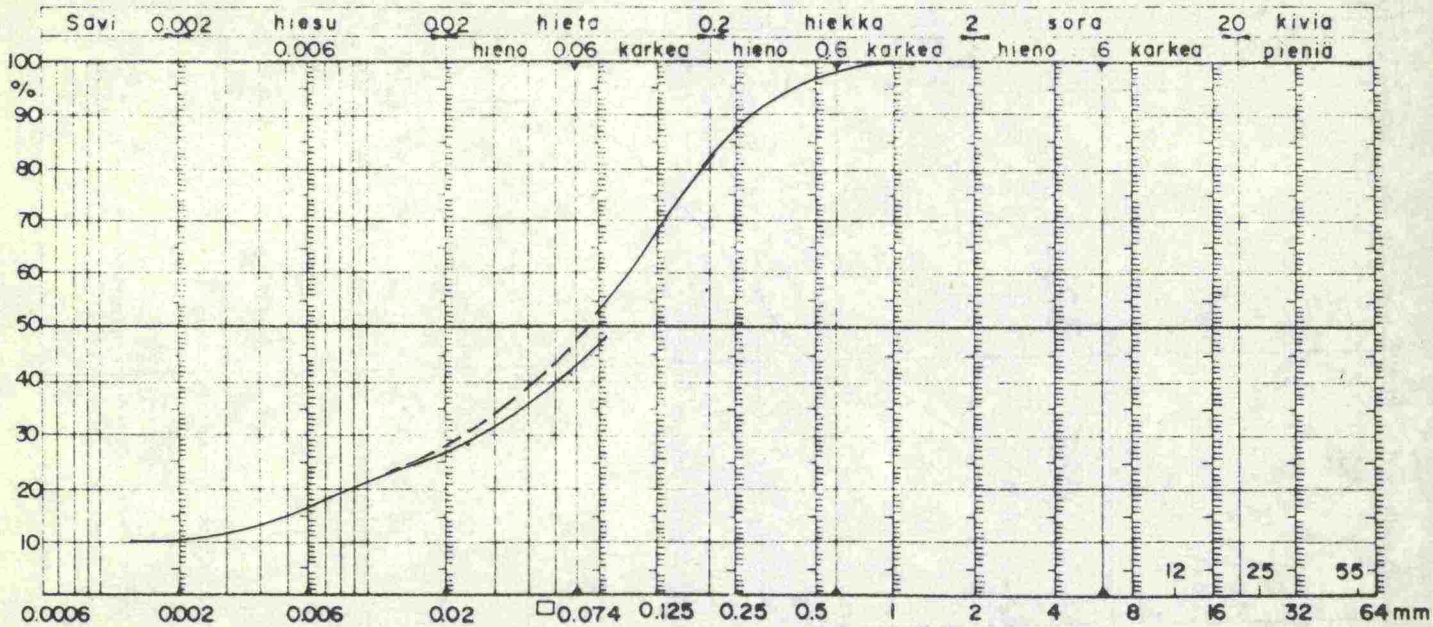
Näytteen paino kuivana

50.0 g

Näytteen paino kuivana pesu-
seulonnan jälkeen

mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
	55									
200—300	32									
	25									
64—200	20									
	16									
64—200	12									
	8									
20—64	6									
	4									
20—64	2	0	0	100						
	1	0.3	0.6	99.4						
Kiviä ja lohkaraita	0.5	1.2	2.4	97.0						
	0.25	4.7	9.4	87.6						
Huom.	0.125	9.9	19.8	67.8						
	0.074	7.6	15.2	52.6						
	Pohja + pesutappio	25.8	51.6	—						
	Yht.	49.5	99.0	—						

Aika	C°	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		8.39											
1 min.	19	8.40	1.012	0.057	41								
6 min.	19	8.45	1.008	0.024	28								
1 h	19	9.39	1.005	0.0074	18								
5 h	19	13.39	1.003	0.0032	12								
1 vrk	19	8.39	1.0025	0.0015	10								
4 vrk													



Huomautuksia: Vaunukone, ristipääkruunu Ø 51 mm

TVH

MAATUTKIMUSTOIMISTO

-125-
LABORATORION TYÖLOMAKE

Liite 2

Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus **Työmaa 2a**

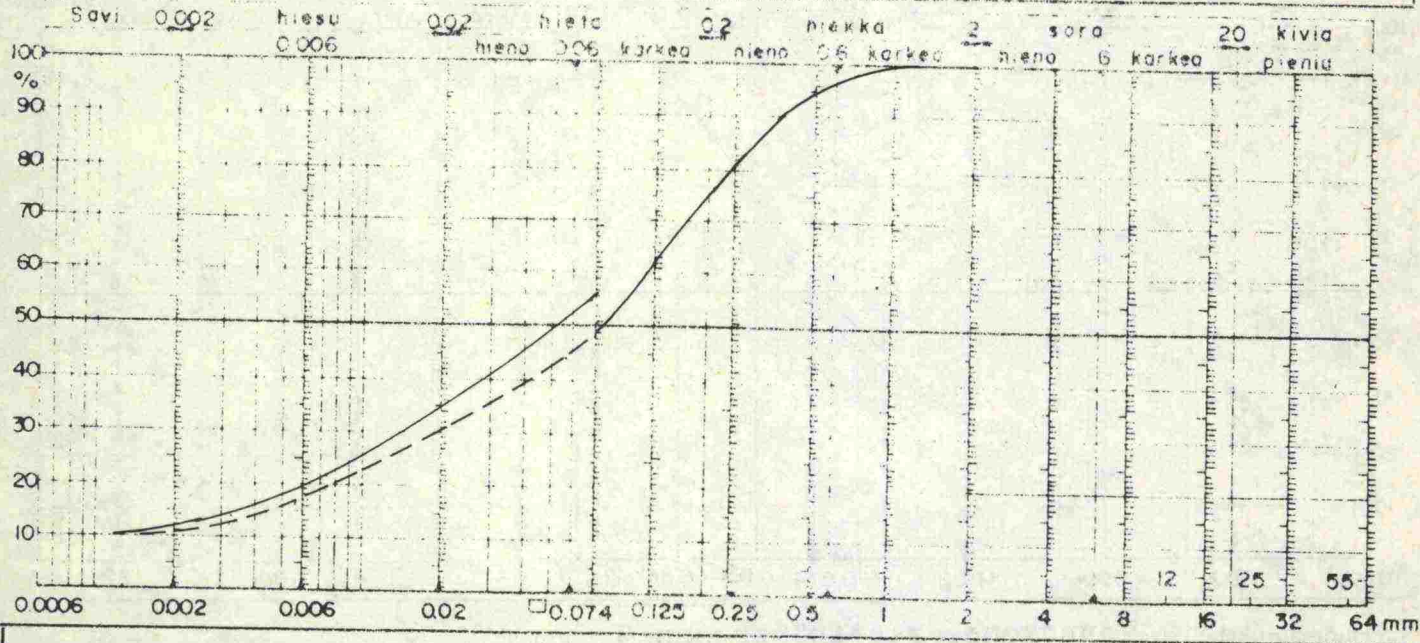
Työkohde

Näytteen laatu Pohjamaa Savi-hieta Murskeet Kestopääilystemassa Öljy- tms. sora
 Täytemaa Hiekka-sora Sepelit Paällyste Muut

Näytteen tunnus	a	b	c
Näytteen ottopaikka (Paalu) — syvyys ja korkeustaso			
Näytteen paino kuivana	50.0 g		
Näytteen paino kuivana pesu- seulonnan jälkeen			

mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		g	%		g	%		g	%	
300	64									
200—300	55									
200	32									
150	25									
100	20									
75	16									
64—200	12									
64	8									
40	6									
20—64	4									
20	2	0	0	100						
15	1	0.2	0.4	99.6						
10	0.5	2.3	4.6	95.0						
7.5	0.25	7.1	14.2	80.8						
5	0.125	9.3	18.6	62.2						
3.75	0.074	7.0	14.0	48.2						
Kiviä ja lohkareita		23.7	47.4	—						
		Yht.	49.6	99.2						

Aika	C ₀	Kilo	Areometri- tikema	Raekoko	Läpäisy %	Kilo	Areometri- tikema	Raekoko	Läpäisy %	Kilo	Areometri- tikema	Raekoko	Läpäisy %
Aiku		8.22											
1 min.	19	8.23	1.015	0.057	51								
6 min.	19	8.28	1.011	0.023	38								
1 h	19	9.22	1.006	0.0072	22								
5 h	19	13.22	1.004	0.0032	14								
1 vrk	19	8.22	1.0025	0.0015	10								
4 vrk													



Huomautuksia: Vaunukone, meisseliterä Ø 31 mm

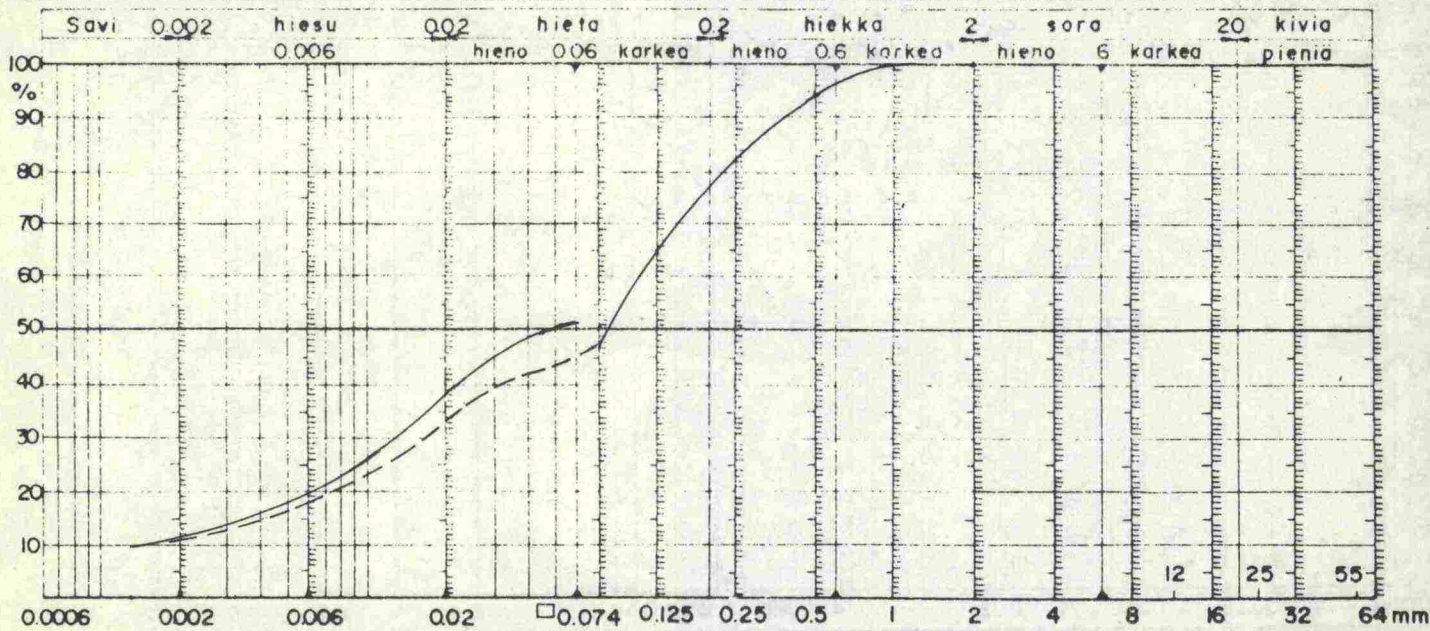
MAATUTKIMUSTOIMISTO

Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus Työmaa 3
 Työkohde Kunta
 Näytteen laatu Pohjamaa Savi-hieta Murskeet Kestopäälystemassa Öljy- tms. sora
 Täytemaa Hiekka-sora Sepelit Päälyste Muut

Näytteen tunnus	a	b	c
Näytteen ottopaikka (Paalu) — syvyys ja korkeustaso			
Näytteen paino kuivana	50.0 g		
Näytteen paino kuivana pesu-seulonnan jälkeen			

E m	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
	55									
200-300	32									
	25									
	20									
	16									
64-200	12									
	8									
	6									
20-64	4									
	2	0	0	100						
	1	0.4	0.8	99.2						
Kiviä ja lohkaletta	0,5	2.2	4.4	94.8						
	0,25	6.3	12.6	82.2						
	0,125	8.8	17.6	64.6						
	0,074	8.6	17.2	47.4						
	Pohja + pesutappio	23.4	46.8	—						
	Yht.	49.7	99.4	—						

Aika	C°	Klo	Areometri-lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri-lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri-lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		9.36											
1 min.	20	9.37	1.015	0.057	51								
6 min.	20	9.42	1.012	0.023	41								
1 h	20	10.36	1.006	0.0072	22								
5 h	20	14.36	1.004	0.0032	14								
1 vrk	19	9.36	1.0025	0.0015	10								
4 vrk													



Huomautuksia: Vaunukone, ristipääkruunu Ø 51 mm

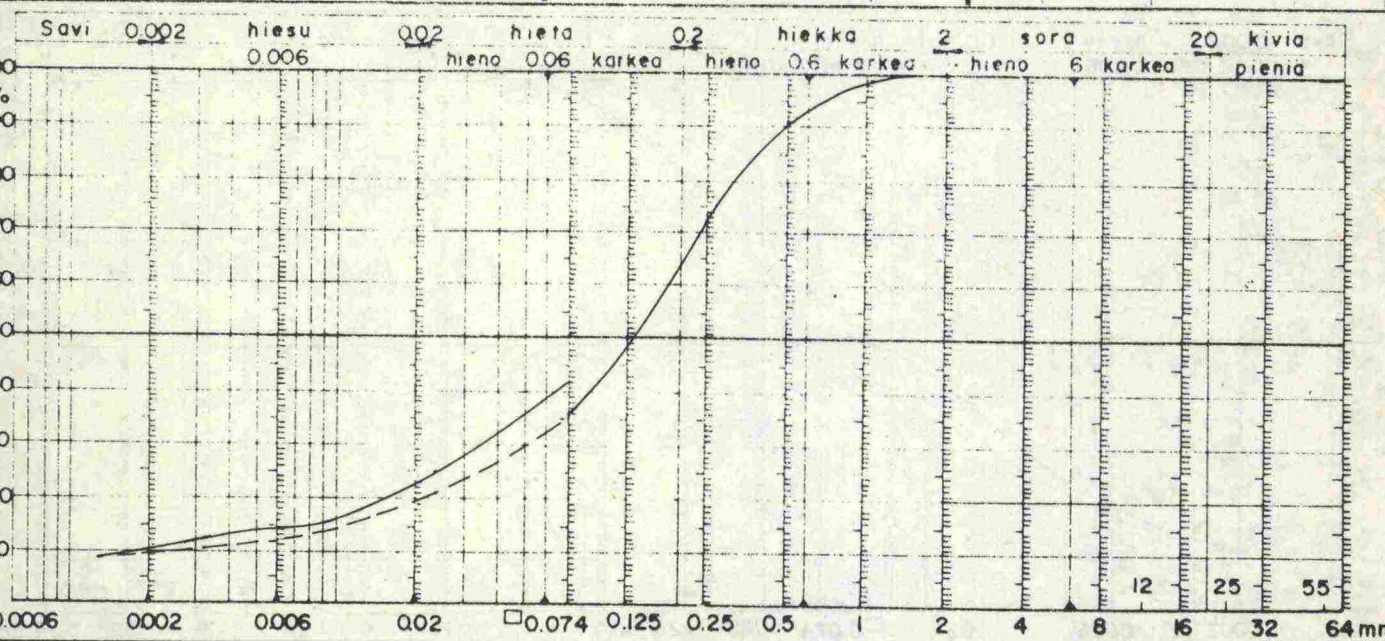
Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus **Työmaa 4**

Työkohte
Näytteen laatu Pohjamaa Savi-hieta Murskeet Kestopäällystemassa Öljy- tms. sora
 Täytemaa Hiekka-sora Sepelit Päällyste Muut

Näytteen tunnus	a	b	c
Näytteen ottopaikka (Paalu) — syvyys ja korkeustaso			
Näytteen paino kuivana	50.0 g		
Näytteen paino kuivana pesu- seulonnan jälkeen			

m mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
200—300	55									
200—300	32									
	25									
	20									
64—200	16									
	12									
	8									
20—64	6									
	4									
	2	0	0	100						
Kivijä lohkareita	1	0.7	1.4	98.6						
	0.5	3.8	7.6	91.0						
	0.25	9.5	19.0	72.0						
	0.125	11.2	22.4	49.6						
	0.074	7.0	14.0	35.6						
	Pohja + pesutappio	17.4	34.8	—						
	Yht.	49.6	99.2	—						

Aika	C°	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		8.31											
1 min.	19	8.32	1.011	0.057	38								
6 min.	19	8.37	1.007	0.024	25								
1 h	19	9.31	1.004	0.0073	14								
5 h	19	13.31	1.003	0.0032	12								
1 vrk	19	8.31	1.002	0.0015	8								
4 vrk													



Huomautuksia: Vaunukone, ristipääkruunu Ø 76 mm

MAATUTKIMUSTOIMISTO

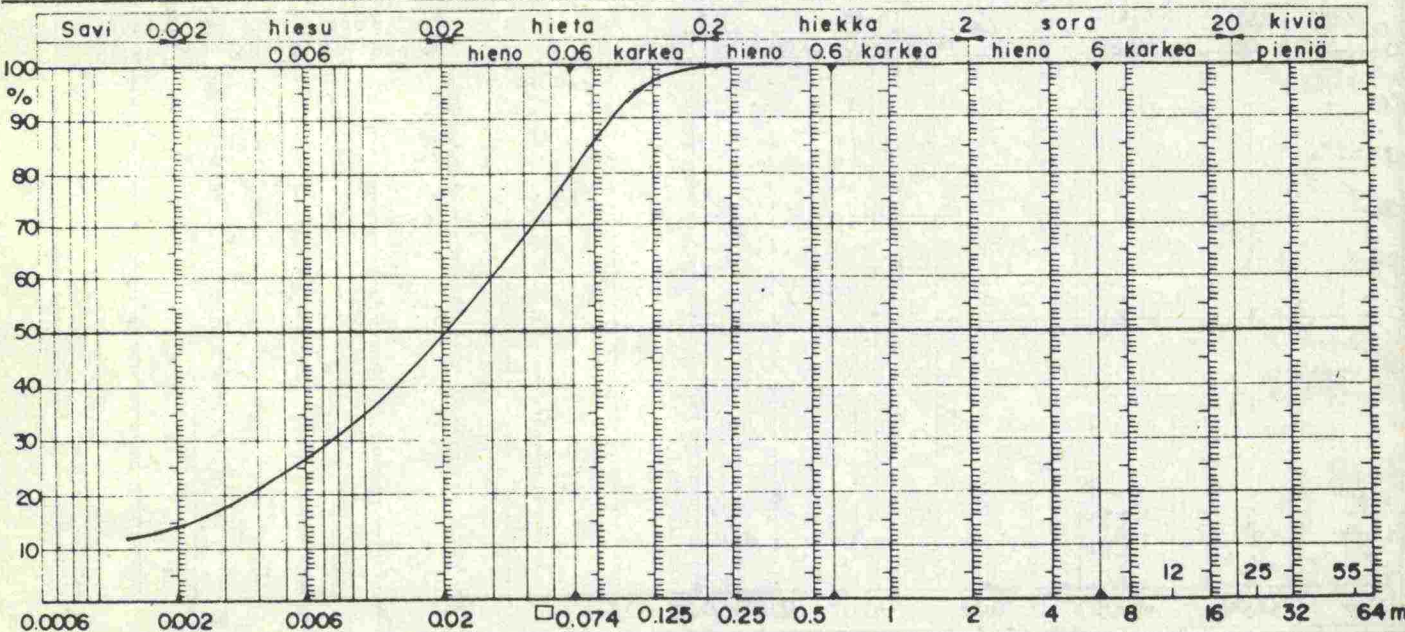
Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus **Työmaa 5**

Työkohde Kunta
 Näytteen laatu Pohjamaa Savi-hieta Murskeet Kestopäällystemassa Öljy- tms. sora
 Täytemaa Hiekka-sora Sepelit Päällyste Muut

Näytteen tunnus	a	b	c
Näytteen ottopaikka (Paalu) — syvyys ja korkeustaso			
Näytteen paino kuivana	50.0 g		
Näytteen paino kuivana pesu- seulonnan jälkeen			

m mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
200—300	55									
200—300	32									
	25									
64—200	20									
	16									
64—200	12									
	8									
20—64	6									
	4									
20—64	2	0	0	100						
	1	0	0	100						
Kivä ja lohkaraita	0,5	0	0	100						
	0,25	0.2	0.4	99.6						
Huom.	0,125	1.3	2.6	97.0						
	0,074	6.0	12.0	85.0						
	Pohja + pesutappio	42.0	84.0	—						
	Yht.	44.5	99.0	—						

Aika	C°	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		8.14											
1 min.	19	8.15	1.023	0.055	77								
6 min.	19	8.20	1.016	0.023	54								
1 h	19	9.14	1.0085	0.0072	30								
5 h	19	13.14	1.005	0.0032	18								
1 vrk	19	8.14	1.003	0.0015	12								
4 vrk													



Huomautuksia:
 Vaunukone + polynerotin, ristipääkruunu Ø 64 mm

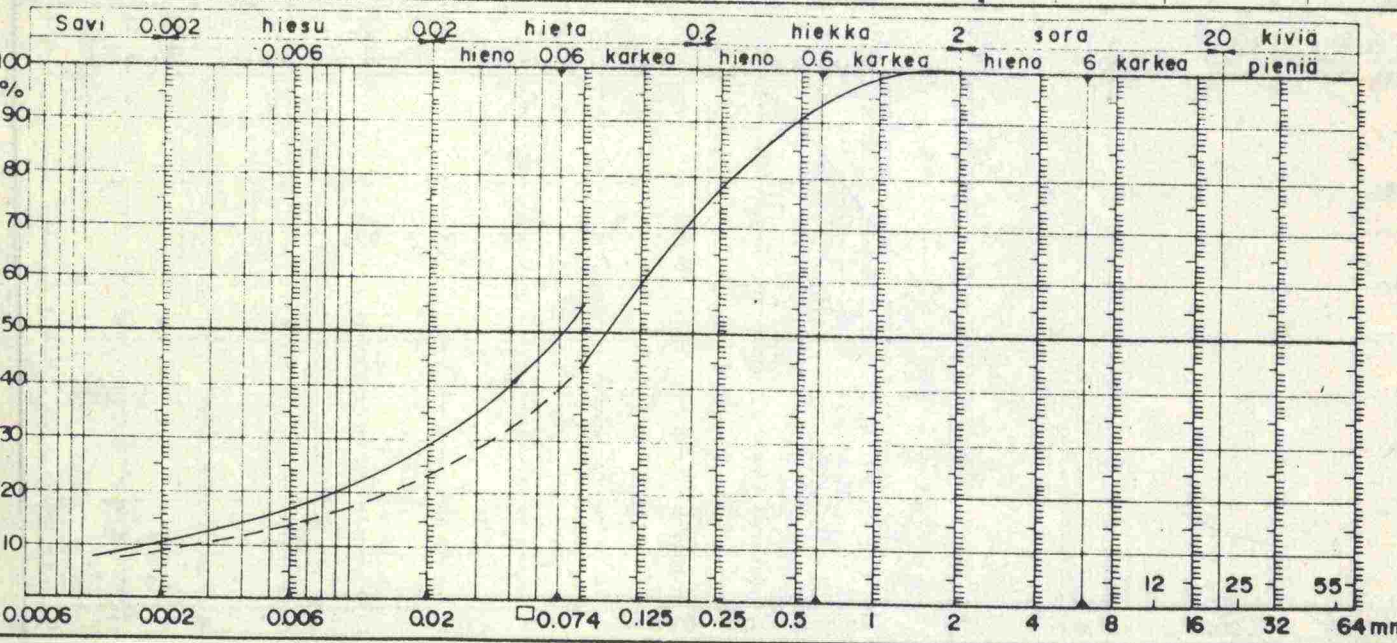
Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus **Työmaa 6**

Työkohde Kunta
 Näytteen laatu Pohjamaa Savi-hieta Murskeet Kestopäällystemassa Öljy- tms. sora
 Täytemaa Hiekka-sora Sepelit Päällyste Muut

Näytteen tunnus	a	b	c
Näytteen ottopaikka (Paalu) — syvyys ja korkeustaso			
Näytteen paino kuivana	50.0 g		
Näytteen paino kuivana pesu- seulonnan jälkeen			

mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
200-300	55									
	32									
	25									
	20									
	16									
	12									
	8									
	6									
	4									
	2	0	0	100						
	1	1.3	2.6	97.4						
	0.5	3.4	6.8	90.6						
	0.25	6.8	13.6	77.0						
	0.125	9.0	18.0	59.0						
	0.074	7.8	15.6	43.4						
	Pohja + pesutappio	21.4	42.8	—						
	Yht.	49.7	99.4	—						

Aika	C°	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		9.45											
1 min.	20	9.46	1.014	0.057	48								
6 min.	20	9.51	1.009	0.024	31								
1 h	20	10.45	1.005	0.0074	18								
5 h	20	14.45	1.0035	0.0032	14								
1 vrk	19	9.45	1.002	0.0015	8								
4 vrk													



Huomautuksia: Vaunukone, ristipääkruunu Ø 64 mm

TVH

MAATUTKIMUSTOIMISTO

-130-
LABORATORION TYÖLOMAKE

Liite 7

Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus Työmaa 2c

Työkohde

Kunta

Näytteen
laatu Pohjamaa
 Täytemaa Savi-hieta
 Hiekka-sora Murskeet
 Sepelit Kestopäällystemassa
 Päällyste Öljy- tms. sora
 Muut

Näytteen tunnus

a

b

c

Näytteen ottopaikka (Paalu)

— syvyys ja korkeustaso

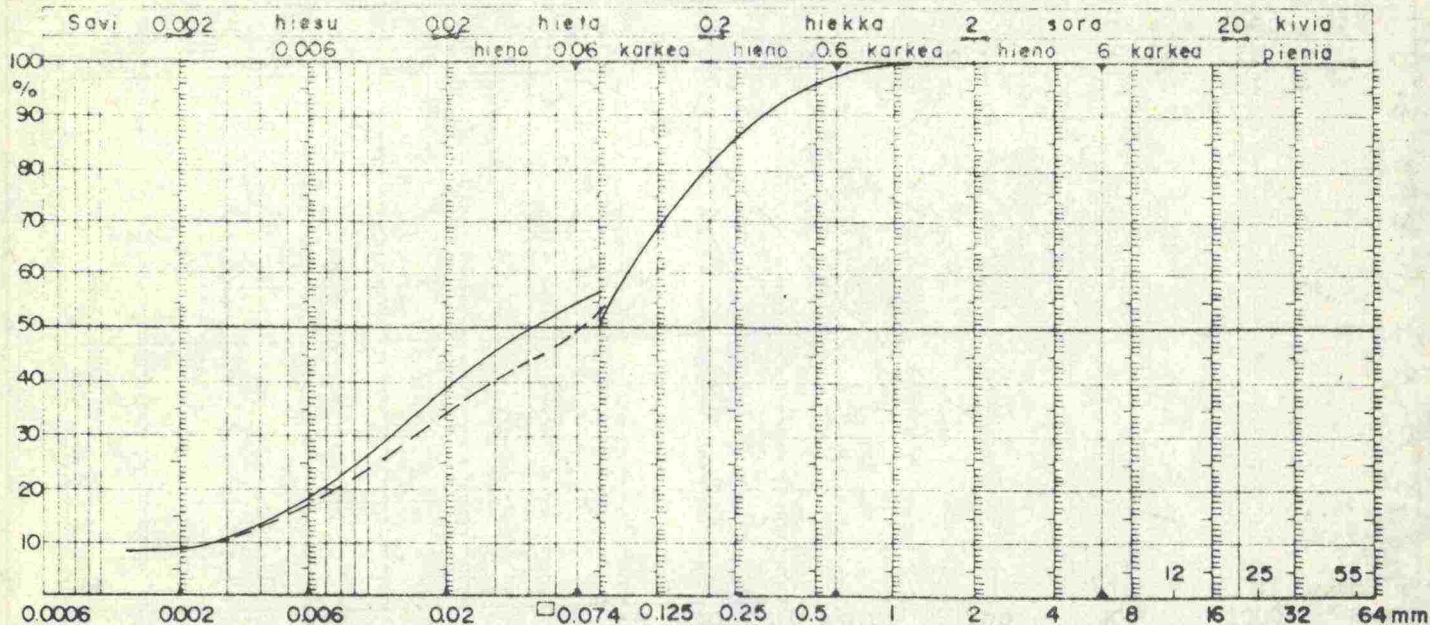
Näytteen paino kuivana

50.0 g

Näytteen paino kuivana pesu-
seulonnan jälkeen

mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
	55									
200—300	32									
	25									
200	20									
	16									
64—200	12									
	8									
64	6									
	4									
20—64	2	0	0	100						
	1	0.1	0.2	99.8						
Kiviä ja lohkareita	0,5	1.8	3.6	96.2						
	0,25	5.1	10.2	86.0						
Huom.	0,125	8.8	17.6	68.4						
	0,074	8.6	17.2	51.2						
	Pohja + pesutappio	25.5	51.0	—						
	Yht.	49.9	99.8	—						

Aika	C°	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri- lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		9.54											
1 min.	20	9.55	1.016	0.056	54								
6 min.	20	10.00	1.012	0.023	41								
1 h	20	10.54	1.006	0.0072	22								
5 h	20	14.54	1.003	0.0032	11								
1 vrk	19	9.54	1.002	0.0015	8								
4 vrk													



Huomautuksia: Käsikone, meisseliterä Ø 34 mm

TVH

MAATUTKIMUSTOIMISTO

-131-
LABORATORION TYÖLOMAKE

Liite 8

Tvl:n piiri; työmaa / tutkimus **Työmaa 6**

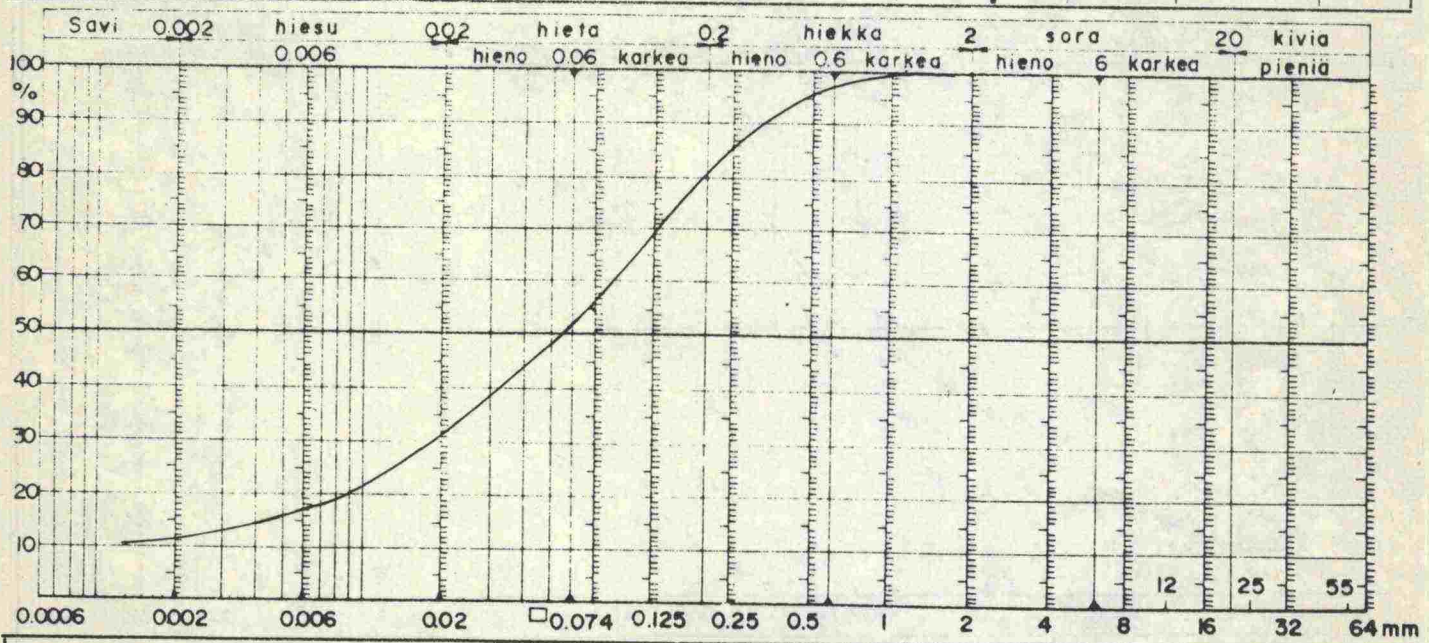
Työkohte

Näytteen laatu Pohjamaa Täytemaa Savi-hieta Hiekka-sora Murskeet Sepelit Kestopäällystemassa Päällyste Öljy- tms. sora Muut

Näytteen tunnus	a	b	c
Näytteen ottopaikka (Paalu) — syvyys ja korkeustaso			
Näytteen paino kuivana	50.0g		
Näytteen paino kuivana pesu-seulonnan jälkeen			

mm	Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi		Läpäisi
		□ mm	g	%	%	g	%	%	g	%
300	64									
200-300	55									
64-200	32									
	25									
	20									
20-64	16									
	12									
	8									
Kiviä ja lohkareita	6									
	4									
	2		0	0	100					
	1		0.2	0.4	99.6					
	0.5		2.0	4.0	95.6					
Huom.	0.25		5.1	10.2	85.4					
	0.125		8.4	16.8	68.6					
	0.074		6.9	13.8	54.8					
	Pohja + pesutappio		27.1	54.2	—					
	Yht.		49.7	99.4	—					

Aika	C°	Klo	Areometri-lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri-lukema	Raekoko	Läpäisy %	Klo	Areometri-lukema	Raekoko	Läpäisy %
Alku		9.26											
1 min.	20	9.27	1.015	0.057	51								
6 min.	20	9.32	1.010	0.024	34								
1 h	20	10.26	1.005	0.0074	18								
5 h	20	14.26	1.004	0.0032	14								
1 vrk	19	9.26	1.0025	0.0015	10								
4 vrk													



Huomautuksia: **Käsikone, meisseliterä Ø 34 mm**

