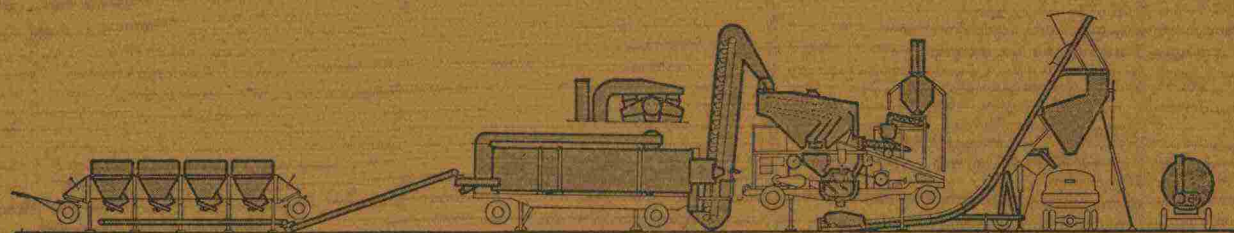


TIENPÄÄLLYSTEKNIikka

MURSKAUSASEMAN TOIMINNASTA
AIHEUTUVASTA YMPÄRISTÖN
SAASTUMISESTA



TIIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
TIERAKENNUSTOIMISTO 1973

TVH 2.795 A4

08

TIE



77 004

T I E N P Ä Ä L L Y S T Y S T E K N I I K K A

MURSKAUSASEMAN TOIMINNASTA AIHEUTUVASTA
YMPÄRISTÖN SAASTUMISESTA

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
Tierakennustoimisto 1973

ISBN 951-46-0125-4

ESIPUHE

Tämä tutkimus on suoritettu Helsingin teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööriosaston tielaboratoriossa tie- ja vesirakennushallituksen tilaamana tutkimuksena (TVH:n kirje n:o Tr-1717/13.03.1972).

Tutkimuksen on suorittanut tekn.yo K.E. Blomgren.

Tutkimuksen valvojana on korkeakoulun puolesta toiminut professori J. Hyyppä.

Tutkimuksen yhteydessä suoritettut imissiomittaukset on tehty pääosin tie- ja vesirakennuslaitoksen alaisilla murskaustyömailla.

S I S Ä L L Y S

sivu

I	MURSKAUSASEMA SAASTEEN LEVITTÄJÄNÄ	1
1.	MURSKAAMISESTA	1
1.1	YLEISTÄ	1
1.2	MURSKAUSLAITOS	1
2.	MURSKAUSASEMAN PAIKAN VALINTAAN LIITTYVISTÄ YMPÄRISTÖKOHTAISISTA TEKIJÖISTÄ	4
2.1	JOHDANTO	4
2.2	METEOROLOGISET TEKIJÄT JA TOPOGRAFIA	5
2.21	Yleistä	5
2.22	Tuuli	5
2.221	Tuulen suunta ja nopeus	5
2.222	Maa- ja merituuli	11
2.23	Sade ja ilman kosteus	12
2.24	Ilman lämpötila ja stabiilisuus	13
2.25	Ilman diffuusio	14
2.26	Pölyn kulkeutuminen ilmassa	17
2.27	Maasto ja kasvillisuus	20
2.3	ASUTUKSEN ASETTAMIA VAATIMUKSIA	21
2.4	POHJAVEDEN SAASTUMISVAARA	24
2.41	Yleistä	24
2.42	Suoja-alueet	24
2.43	Öljyvahingot	25
2.431	Yleistä	25
2.432	Öljyn käyttäytyminen maaperässä	25
2.433	Öljyn pysyvyys maaperässä	27
3.	MURSKAUSASEMAN PÖLYÄMISESTÄ	27
3.1	YLEISTÄ	27
3.2	PÖLYN FYSIKAALISIA OMINAISUUKSIA	28
3.21	Määritelmiä	28
3.22	Pölyn raekoko	28
3.23	Pölypartikkelin dynamiikkaa	30

3.3	PÖLYN VAIKUTUKSISTA YMPÄRISTÖÖN	31
3.31	Yleistä	31
3.32	Vaikutuksia ihmiseen	32
3.33	Vaikutuksia kasveihin	34
3.34	Muita haittavaikutuksia	34
3.4	PÖLYLÄHTEET JA PÖLYÄMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	35
3.5	MURSKAUSASEMILLA KÄYTETYISTÄ PÖLYNPOISTOJÄRJES- TELMISTÄ	37
3.51	Yleistä	37
3.52	Pölyn sidonta vedellä	39
3.53	Pölyntorjunta rakenteellisoin keinoin	39
3.6	MITATTUJA LEIJUMAN JA LASKEUMAN ARVOJA	42
3.61	Leijuma	42
3.62	Laskeuma	43
3.7	IMISSIIONORMEJA	44
3.71	Yleistä	44
3.72	Suomalaisia normeja	45
3.73	Ruotsalaisia normeja	46
3.74	Saksalaisia normeja	48
3.75	Amerikkalaisia normeja	49
4.	LEIJUVAN PÖLYN MITTAUSLAITTEITA	50
4.1	YLEISTÄ	50
4.2	GRAVIMETRISET MITTAUSMENETELMÄT	50
4.21	Yleistä	50
4.22	Suodatus	51
4.23	Sedimentointi	52
4.24	Pölypartikkelin hitauteen perustuva menetelmä	53
4.25	Elektrostaattinen saostus	53
4.3	HIUKKASPITOISUUTTA MITTAAVAT MENETELMÄT	54
4.31	Gessnerin kammio	54
4.32	Konimetri	54
4.33	Terminen saostus	55
4.4	EPÄSUORISTA MITTAUSMENETELMISTÄ	56
4.5	IMISSIOMITTAUSLAITTEIDEN KALIBROINNISTA	56
5.	MURSKAUSASEMAN MELUSTA	58
5.1	YLEISTÄ	58
5.2	ÄÄNIOPIN PERUSTEITA	58

5.3	ÄÄNITASO JA ÄÄNEN VOIMAKKUUS	58
5.4	ÄÄNEN ETENEMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	60
5.41	Yleistä	60
5.42	Etäisyys	60
5.43	Ilma, ilman kosteus ja lämpötila	60
5.44	Tuuli	61
5.45	Maasto-olosuhteet ja kasvillisuus	62
5.5	MURSKAUSASEMAN MELULÄHTEET	63
5.6	MELUN VAIKUTUS IHMISEEN	64
5.61	Yleistä	64
5.62	Psyykkiset vaikutukset	64
5.63	Fyysiset vaikutukset	65
5.7	SÄÄDÖKSIÄ JA NORMEJA	66
5.71	Työpaikkamelu	66
5.72	Liikennemelu	67
5.73	Asuntojen melu	67
5.8	TYÖPAIKKOJEN JA LIIKENTEEEN MITATTUJA MELUTASOJA	68
5.81	Työpaikoilla mitattuja meluja	68
5.82	Liikennemeluja	69
5.9	MURSKAUSMELUN TORJUNNASTA	69

II	MURSKAUSASEMILLA SUORITETUISTA PÖLYN- JA MELUNMITTAUKSISTA	72
1.	PÖLYYIMISSIION MITTAUKSESTA	72
1.1	JOHDANTO	72
1.2	LEIJUVAN PÖLYN MITTAUKSESTA	72
1.21	Mittauslaitteet	72
1.211	Yleistä	72
1.212	Laitteiston rakenne	72
1.213	Käytetyt suodatinmateriaalit	74
1.2131	Lasikuitusuodatinpaperi	74
1.2132	Kvartsisivilla	75
1.214	Mittauslaitteiston käyttökuntoon saattaminen ja mittauksen lopettaminen	76
1.215	Laskelmat	77
1.216	Eri imutehoilla ja keräyspäillä suoritettut vertailevat kokeet	77
1.2161	Yleistä	77

1.2162	Keräyspään kattokoon vaikutus	79
1.2163	Vertailu putkikeräin- suppilokeräin	80
1.2164	Ainoastaan suppilokeräimel- lä suoritettut kokeet	81
1.2165	Puhtaassa maaseutuilmassa suoritettu koe	84
1.22	Mittausten suorittaminen	85
1.23	Tulokset ja niiden tarkastelua	86
1.231	Mittaustulokset	86
1.232	Mittaustulosten arvostelua	97
1.3	LASKEUMAN MITTAUS	98
1.31	Laskeumakeräimet	98
1.32	Kokeen suoritus	99
1.33	Mittauspaikka	100
1.34	Mittaustulokset	100
1.341	Sää	100
1.342	Laskeuma-arvot	103
1.343	Tulosten arvostelua	105
1.35	Eri asemilla, 50 m päässä asemasta suori- tetut pikalasjeumamittaukset	106
2.	MELUNMITTAUKSISTA	108
2.1	JOHDANTO	108
2.2	MELUMITTARI	108
2.3	MITTAUSTAPA	109
2.4	TULOKSET	110
2.41	Murskausmelu	110
2.42	Ajoneuvomelu	112
2.5	MITATTUJEN MELUTASOJEN VERTAILUA TYÖPAIKKOJEN JA LIIKENTEEN MELUIHIN	112
III	SUOSITUKSIA	114
1.	MURSKAUSASEMAN PAIKAN VALINTA	114
2.	MURSKAUSASEMAN PÖLYN- JA MELUNTORJUNTA	114
3.	VALVONTAMITTAUKSET	115
4.	POHJAVEDEN SAASTUMISEN EHKÄISEMINEN	116
	YHTEENVETO	117
	KIRJALLISUUSVIITTEET	119

I MURSKAUSASEMA SAASTEEN LEVIT - TÄJÄNÄ

1. MURSKAAMISESTA

1.1 YLEISTÄ

"Murskauksella tarkoitetaan kiinteiden kappaleiden koon pienentämistä mekaanisilla keinoilla niin, että lopputuloksen keskimääräinen raekoko on suuruusluokaltaan 1...100 mm"/12/.

Murskaus- ja seulontalaitoksiin syötettävä materiaali on joko luonnon kiviainesta, jolloin raekoko vaihtelee 0... 600 mm, tai louhetta, jonka raekoko on 0... 1000 mm/21/. Murskausta esiintyy monilla eri aloilla, kuten vuoriteollisuudessa, kemiallisessa teollisuudessa sekä rakennusteollisuudessa. Tässä esityksessä tarkastellaan ainoastaan maa- ja tienrakennuksen yhteydessä esiintyvää murskaustoimintaa.

Murskaustöiden laajuus ilmenee taulukosta 1, jossa on yhteenvedo TVL:n eri piireissä tienrakennus- ja kunnossapitotöitä sekä lentokenttiä varten murskatuista massoista/12/.

Taulukko 1. TVL:n vuosittaiset murskaussuoritteet

Vuosi	Murskattu määrä i-m ³	Vuosi	Murskattu määrä i-m ³
1962	4638444	1965	7399273
1963	4690442	1966	7457933
1964	5439427	1967	8388520

Yksityisten urakoitsijoiden osuus kokonaissuoritteesta on 1960-luvulla ollut 40...50 %.

1.2 MURSKAUSLAITOS

Murskauslaitosten peruskoneita ovat murskaimet ja seulat. Niiden lisäksi tarvitaan syöttölaitteita, kuljettimia, silloja ja mahdollisesti pölynpoistolaitteita. Murskaimet jaetaan

toimintaperiaatteen mukaan seuraaviin ryhmiin/21/:

- leukamurakaimet
- karamurskaimet
- kartiomurskaimet
- valssimurskaimet
- iskumurskaimet
- vasaramyllyt

Yhdellä murskaimella ei taloudellisesti saavuteta riittävän suurta murskaussuhdetta. Tämän vuoksi asetetaan kaksi tai useampia murskaimia peräkkäin. Tavallisimmin esimurskaimena käytetään leukamurskainta, väli- ja jälkimurskaimina muita mainittuja tyyppisiä.

Murskauslaitosten ryhmittelykriteereinä voidaan pitää aseman siirtotapaa, syötettävää materiaalia ja murskausvaiheiden määrää. Siirtotavan perusteella murskauslaitokset ryhmitellään /21/:

- kiinteisiin murskauslaitoksiin,
- puolikiinteisiin laitoksiin ja
- pyörillä varustettuihin ns. mobilelaitoksiin.

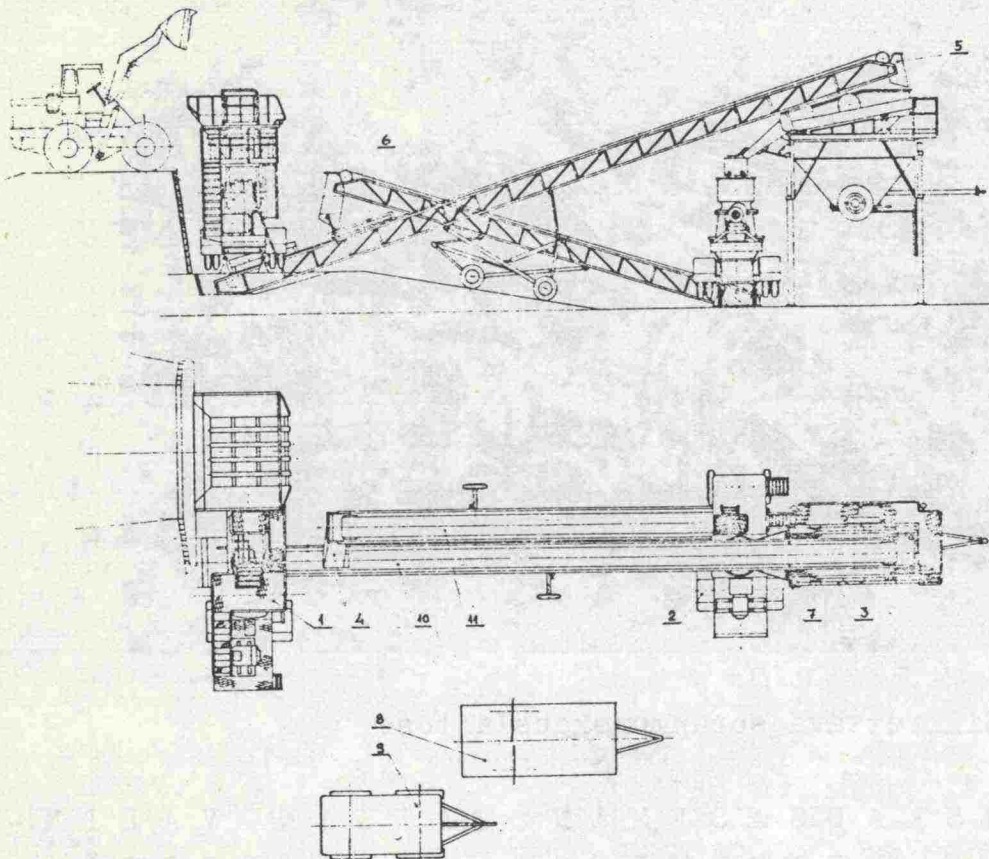
Kiinteätä asemaa käytetään, mikäli raaka-ainevarastot ovat lähellä ja murskaustuotteille on olemassa varmat markkinat lähiseudulla.

Puolikiinteä asema kootaan siirrettävistä elementeistä. Tämä asematyyppi on tavallisin maa- ja tienrakennustoiminnassa. Siirrettävän aseman koneet tiivistetään mahdollisimman paljon pyörillä varustetuiksi yksiköiksi. Siirrettävien laitosten suurin etu on niiden suuri käyttövalmius, mutta niiden tehot jäävät liikuteltavuuden asettamista vaatimuksista johtuen pieniksi.

Murskausvaiheiden lukumäärän mukaan voi murskauslaitos olla yksivaiheinen, kaksivaiheinen, kolmivaiheinen jne. Kuvassa 1 on esitetty kaksivaiheisen ja kuvassa 2 kolmivaiheisen murskauslaitoksen kaaviokuva/21/. Kuvassa 3 on pyörille rakennettu, yhtenä yksikkönä siirrettävä soranmurskauslaitos.

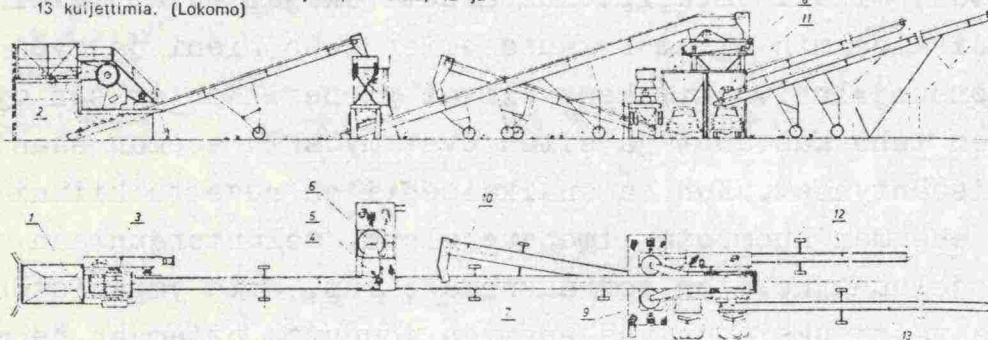
61. Kaksivaiheinen soranmurskauslaitos. 1 esimurskaamo, 2 jäikimurskaamo, 3 lajittamo, 4 suuntaustyyny, 5 purkaustyyny, 6 syöttökaukalo, 7 kuljettimen kan-

natin, 8 keskus- ja valvontavaunu, 9 aggregaatti-vaunu, 10 ja 11 kuljettimia. (Lokomo)



Kuva 1. Kaksivaiheinen soranmurskauslaitos.

62. Kolmivaiheinen murskauslaitos. 1. suppilo, 2 vaakatasosyötin, 3 kiertomurskain, 4 kuljetin, 5 vaakatasosyötin, 6 karamurskain, 7 kuljetin, 8 vaakatasosyötin, 9 karamurskain, 10 kuljetin, 11 siilo, 12 ja 13 kuljettimia. (Lokomo)



Kuva 2 . Kolmivaiheinen murskauslaitos.



Kuva 3. Siirrettävä soranmurskauslaitos.

2. MURSKAUSASEMAN PAIKAN VALINTAAN LIITTYVISTÄ YMPÄRISTÖKOHTAISISTA TEKIJÖISTÄ

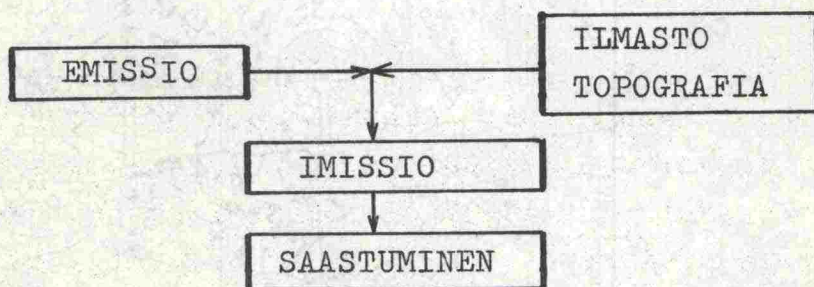
2.1 JOHDANTO

Pääperiaatteena murskausaseman paikan valinnassa on, että asema perustetaan joko raaka-ainevaraston läheisyyteen tai murskaustuotteiden varaston viereen. Tällöin saavutetaan paras kuljetustalous. Tätä sijoittamisperiaatetta voidaan yleensä puhtaasti soveltaa, mikäli ympäristökohtaiset tekijät eivät toisin määrää. Aikaisemmin oli murskausasemien teho pieni ja myös ympäristönsuojelun vaatimukset olivat pienet. Kehityksen myötä on asemien teho kasvanut ja siten ovat myöskin aseman saaste-määrät lisääntyneet. Kun samanaikaisesti on ruvettu kiinnittämään yhä enemmän huomiota ilmansuojeluun, meluntorjuntaan, vesiensuojeluun jne., on seurauksena ollut, että ympäristön asettamia vaatimuksia on yhä enemmän jouduttu ottamaan huomioon murskauslaitoksen paikan valinnassa. Murskausaseman aiheuttamista ympäristöhaitoista voidaan aseman pölyämistä pitää pahimpana saastemuotona. Tämän lisäksi tulevat ainakin aseman aiheuttama melu, pohjaveden saastumisvaara ja esteettiset haitat.

2.2 METEOROLOGISET TEKIJÄT JA TOPOGRAFIA

2.21 Yleistä

Saasteen ilmatilaan leviämiseen vaikuttavat etupäässä seuraavat tekijät/38/: tuulen suunta ja nopeus, ilman stabiliteetti sekä maaston rosoisuus eli karkeus. Suomen maantieteellisestä asemasta johtuen sää maassamme vaihtelee usein. Siitä huolimatta, että lähinnä maanpintaa olevien ilmakerrosten nopeat vaihtelut aiheuttavat haittaa saastumismielessä jonkin saastelähteen lähiympäristölle, on vaihtelevasta säästämme myös etuja. Niinpä Suomessa ei esiinny pitkäaikaisia ns. inversioilmiöitä (vrt.2.24). Toinen etu on suhteellisen kovat tuulet, jotka saavat aikaan tehokkaan tuuletuksen. Sään ja maaston vaikutus saastumiseen voidaan ilmaista esimerkiksi kuvan 4 tavoin.

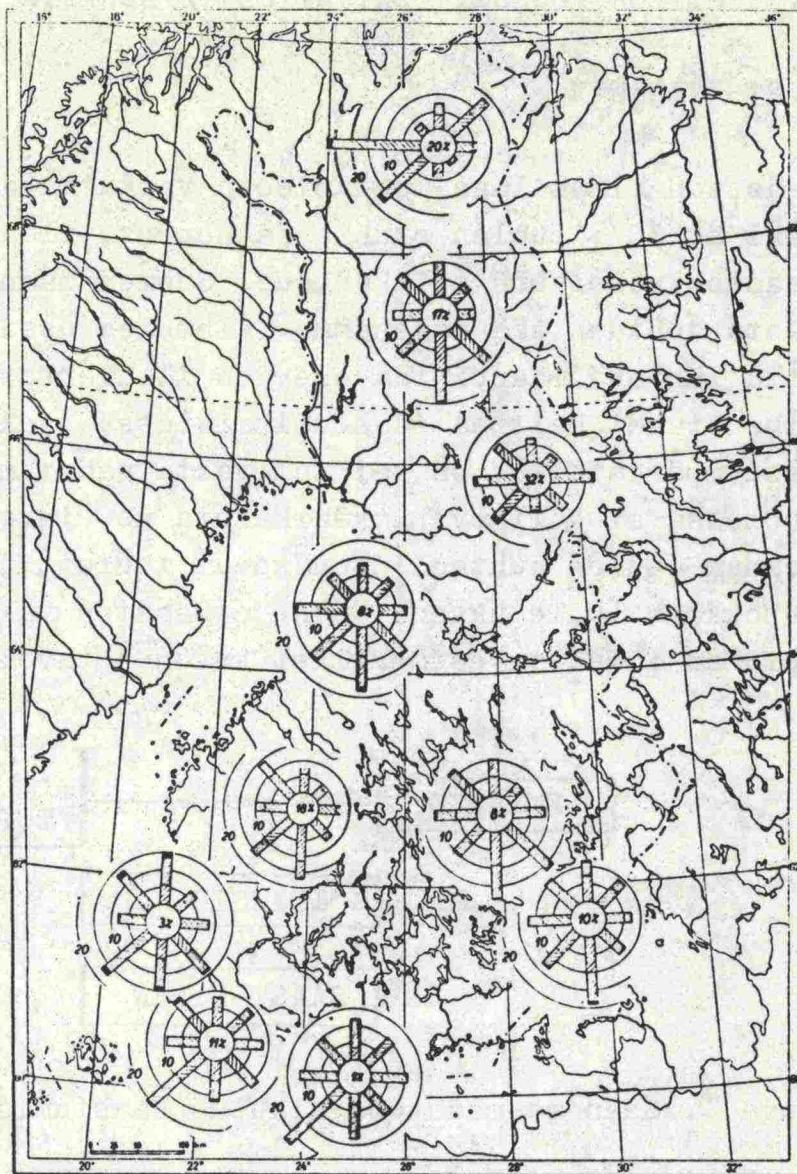


Kuva 4. Sään ja maaston vaikutus saastumiseen.

2.22 Tuuli

2.221 Tuulen suunta ja nopeus

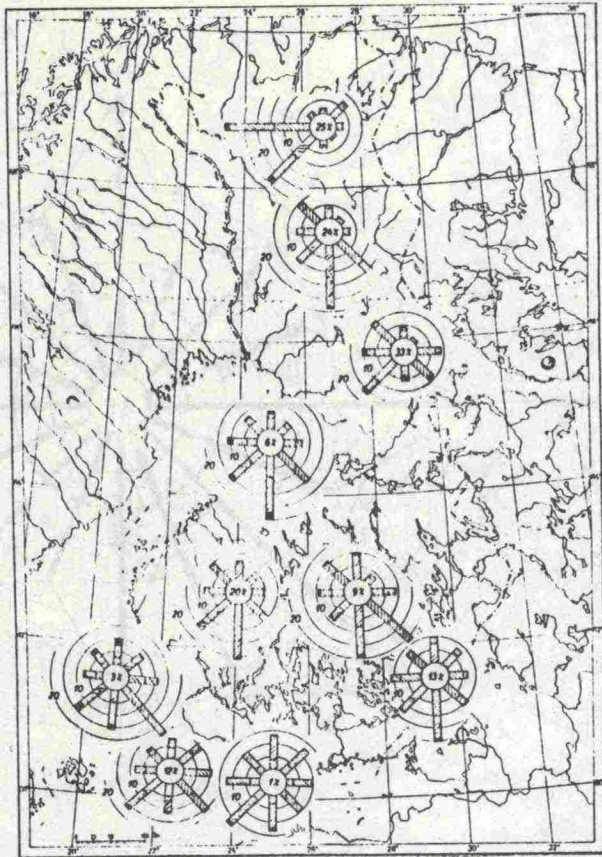
Tuulen suunnasta riippuu, mihin päin saastelähteestä saasteet leviävät, ja tuulen nopeudesta, kuinka kauaksi epäpuhtaudet kulkeutuvat. Kuvasta 5 näkyvät tuulten suunta- ja nopeusjakautumat Suomen eri paikkakunnilla Venhon/64/ mukaan. Kuvan tuuliruusujen keskellä olevat luvut osoittavat tyynen osuuden. Tuulen suunta ja nopeus on ilmaistu seuraavasti: Tiettyyn ilmansuuntaan näyttävän pylvään pituus ilmoittaa tästä ilmansuunnasta puhaltaneiden tuulien prosenttisen osuuden kaikista tuulista. Pylväs on jaettu osiin eri nopeuksilla puhaltaneiden



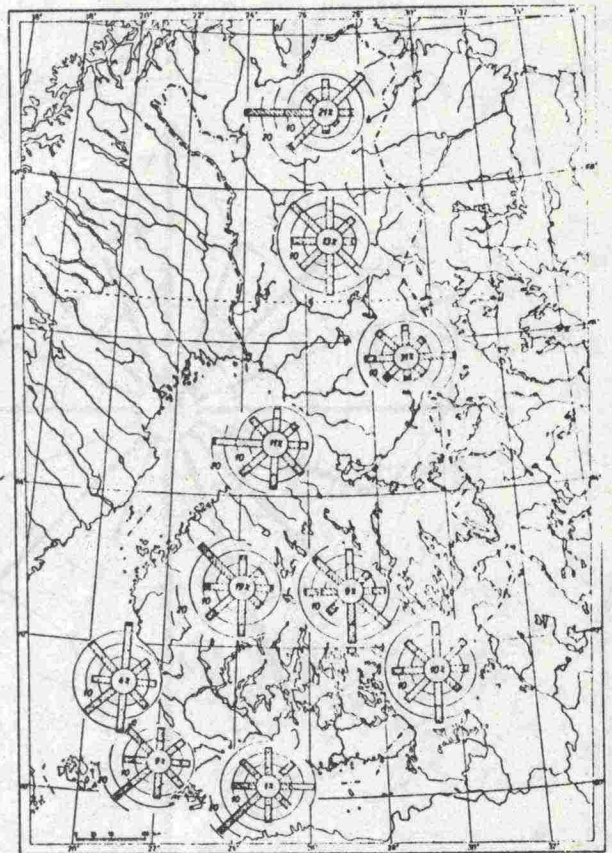
Kuva 5. Tuulten suunta- ja nopeusjakautumat Suomen eri paikkakunnilla.

tuulien suhteessa (harva viivoitus 0...6 solmua, tiheä viivoitus 7...16 solmua ja tumma osa 17...∞ solmua). Kuvan 5 tuuliruusut perustuvat 20 vuoden tuulitilastoihin, joihin on otettu mukaan koko vuorokauden havainnot. Tuuliruusuista näkyy, että tarkasteltaessa koko vuotta, on vallitsevan tuulen suunta etelän ja lännen välinen. Kuvissa 6...9 ovat samojen paikkakuntien tuulijakautumat vuodenajoittain/64/.

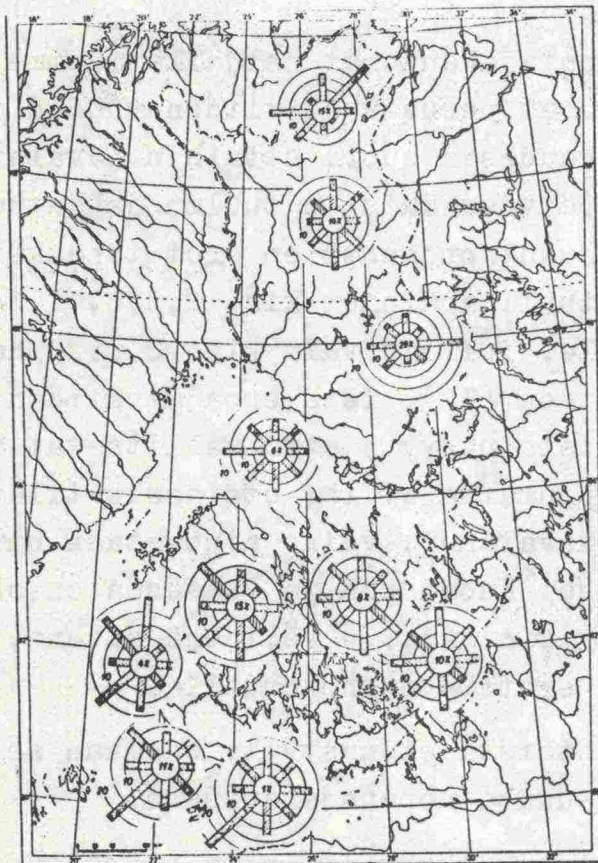
Koska tässä yhteydessä tarkasteltava murskausasema yleensä on käynnissä vain päiväsaikana, ovat tämän ajan tuuliolosuhteet määräävät murskausaseman pölyn leviämislle. Kuvissa 10...13



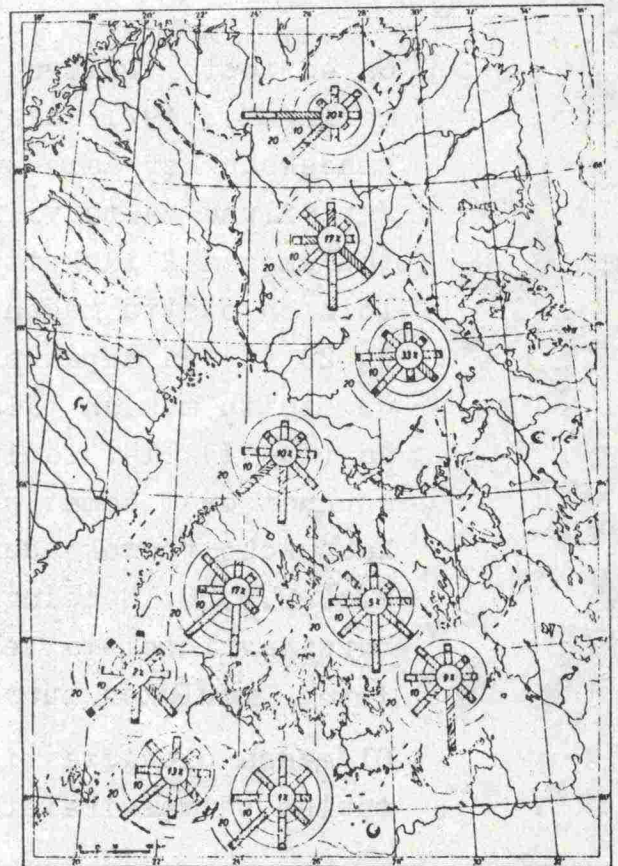
Kuva 6. Tuulien jakautumat talvella.



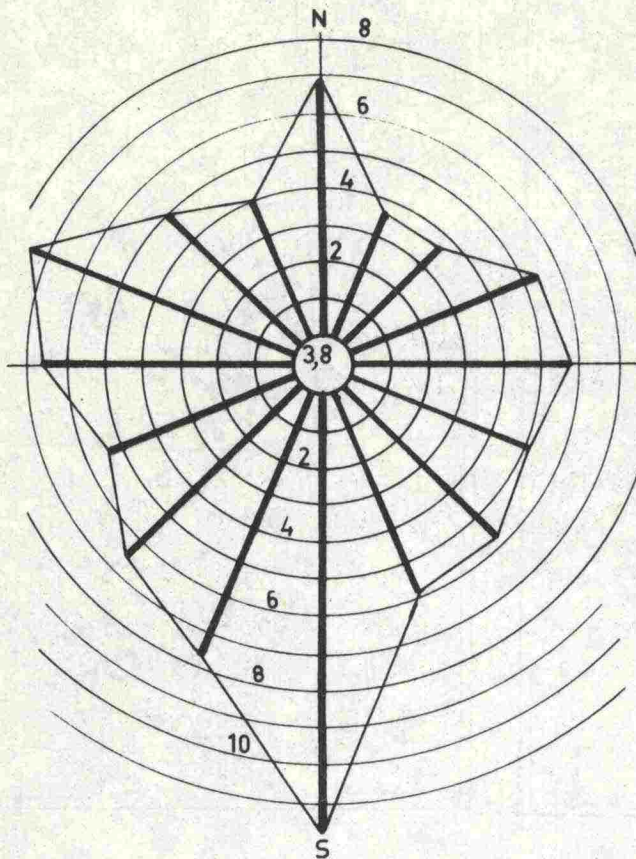
Kuva 7. Tuulien jakautumat keväällä.



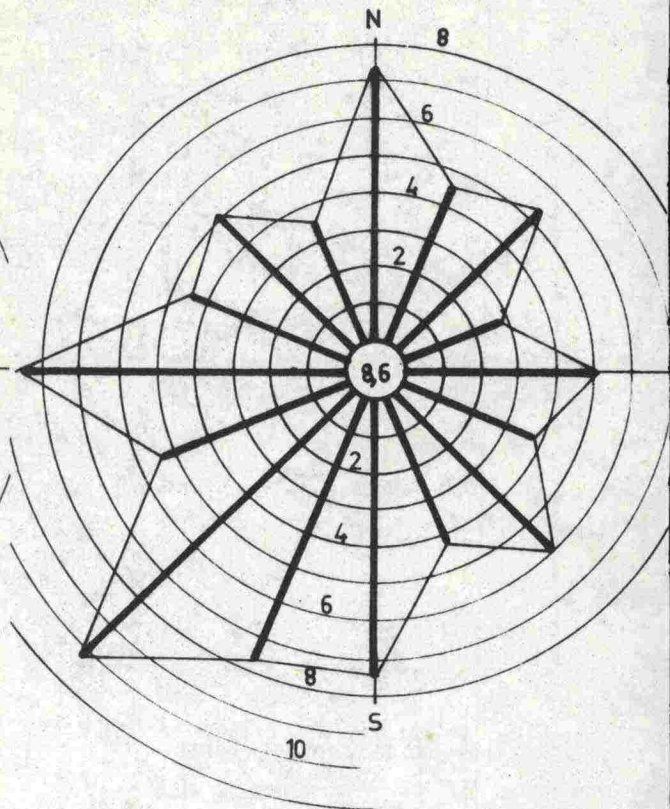
Kuva 8. Tuulien jakautumat kesällä.



Kuva 9. Tuulien jakautumat syksyllä.



Kuva 10. Tuulen suuntajakautuma Helsingissä.

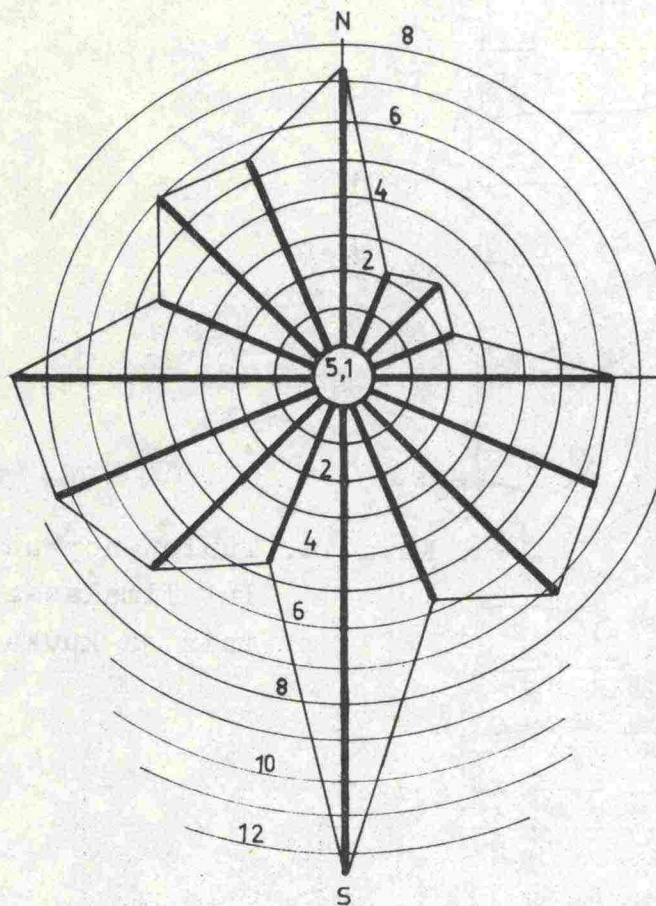


Kuva 11. Tuulen suuntajakautuma Vaasassa.

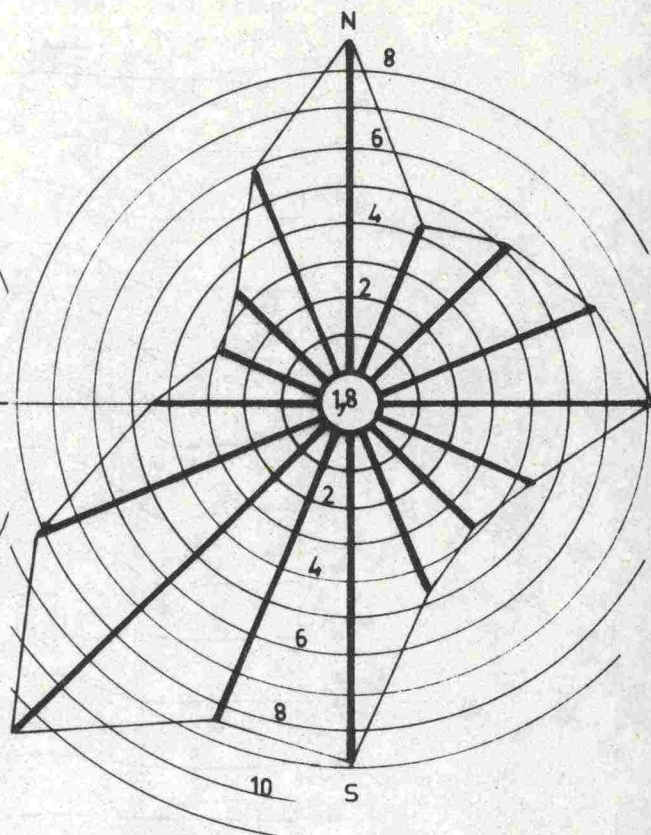
on esitetty tuulten suuntajakautumat neljällä maamme lentoasemalla/47...49/. Jakautumat perustuvat viiden vuoden aikana, kahdeksan kertaa vuorokaudessa suoritettuihin havaintoihin. Vertailuna vastaaviin päiväsaikaisiin tuulen jakautumiin on taulukossa 2 laskettu suuntaprosenttien erot tapauksille, jolloin on otettu mukaan tuulihavainnot klo. 2,5,8,11,14,17,20 ja 23 (I) ja tapauksille, jolloin vain klo. 8...20 havainnot on otettu mukaan tilastoon (II). Tätä eroa merkitään taulukossa (I -II):llä. Taulukosta näkyy, että vallitsevat tuulen suunnat ovat samat riippumatta siitä, otetaanko tilastoon mukaan koko vuorokauden havainnot, vaiko ainoastaan havainnot klo. 8...20. Helsingissä, Kuopiossa ja Vaasassa on suurin osatyynihavainnoista tehty klo. 23...5 välisenä aikana, mistä joluvat taulukon suuret erot tyynien kohdalla.

Olemassa olevista tilastoista ei pystytty saamaan selville tuulen päiväsaikaista suunta-nopeusjakautumaa.

Tuulen nopeuden vaihtelut kuukausittain ja vuorokaudenajasta



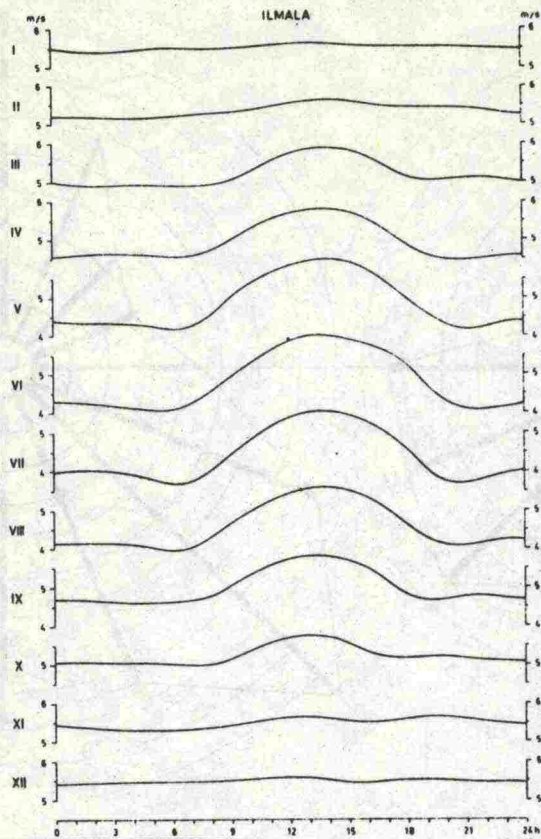
Kuva 12. Tuulen suuntajakautuma Kuopiossa.



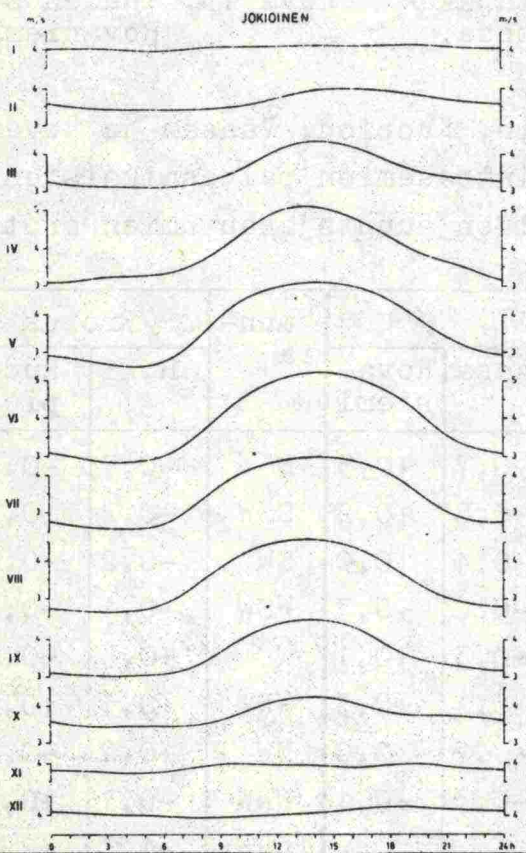
Kuva 13. Tuulen suuntajakautuma Rovaniemellä.

Taulukko 2. Helsingin, Kuopion, Vaasan ja Rovaniemen lento-säähavaintoasemien päiväsaikaisten ja vuorokautisten tuulien suuntajakautumien erot prosenteissa.

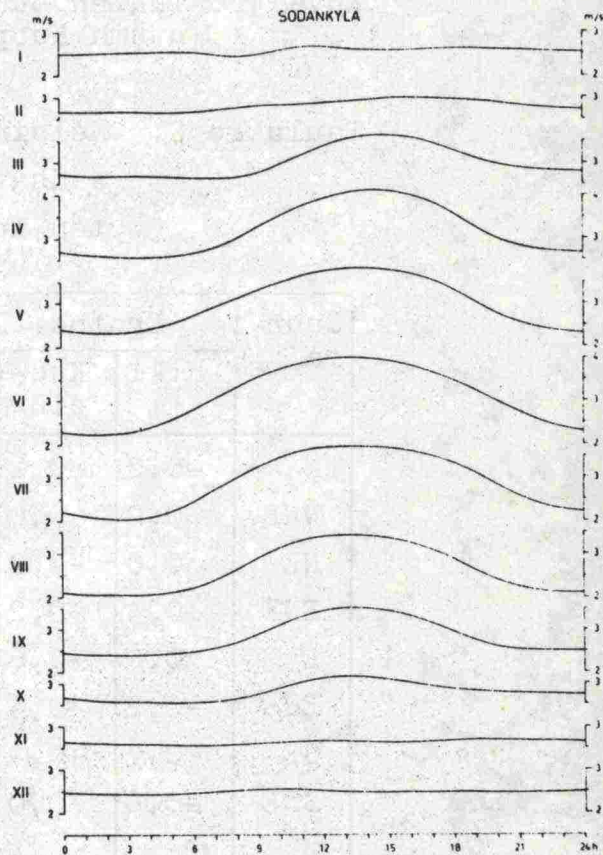
Suunta	Erotus (I-II) %				Suunta	Erotus (I-II) %			
	H:ki	Kuopio	Vaasa	Rovaniemi		H:ki	Kuopio	Vaasa	Rovaniemi
N	-0,2	-0,2	-0,7	+0,3	S	-0,7	-0,5	+0,3	0,0
NNE	0,0	0,0	-0,8	+0,2	SSW	-0,2	+0,1	-0,4	-0,3
NE	0,0	-0,2	-0,4	0,0	SW	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1
ENE	+0,4	+0,2	-0,2	+0,3	WSW	-0,1	-0,2	-0,9	-0,4
E	0,0	-0,6	-0,3	+0,1	W	+0,5	-0,1	-1,6	-0,2
ESE	-0,2	-0,4	-0,1	+0,3	WNW	+0,5	+0,1	-0,9	-0,3
SE	-0,7	+0,1	-0,2	0,0	NW	+0,2	-0,4	-0,5	0,0
SSE	-0,6	0,0	-0,3	+0,1	NNW	-0,1	+0,3	-0,5	+0,1
					Tyyni	+1,4	+2,2	+8,2	-0,1



Kuva 14. Tuulen nopeuden vaihte-
lut Ilmalassa tunneit-
tain ja kuukausittain.



Kuva 15. Tuulen nopeuden vaihte-
telut Jokioisissa
tunneittain ja kuu-
kausittain.



Kuva 16. Tuulen nopeuden vaihte-
lut Sodankylässä
tunneittain ja kuu-
kausittain.

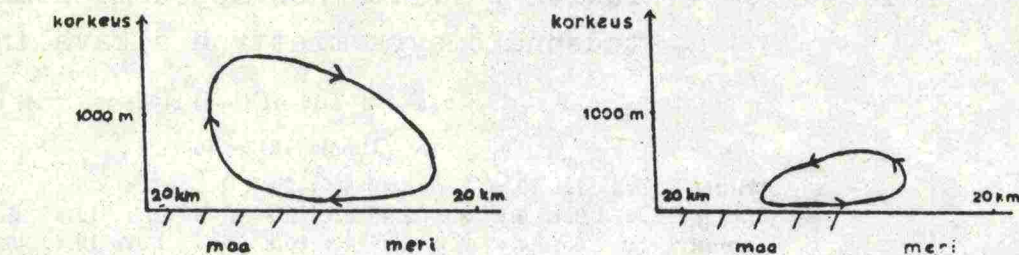
Taulukko 3. Tuulen päivittäisen nopeusmaksimin esiintymistodennäköisyys tietyinä aikavälinä.

	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	22-23 hour	
Ilmala 1947-56													
Winter	17.2	10.1	5.9	5.6	5.5	7.3	6.5	7.0	5.3	6.6	9.4	13.6	%
Spring	8.4	5.3	3.0	3.4	6.4	9.8	15.0	15.7	12.6	5.7	5.1	9.6	%
Summer	5.5	4.0	2.1	2.1	4.9	10.6	20.4	25.1	13.6	5.2	2.9	3.6	%
Autumn	11.8	7.9	4.4	5.5	4.3	8.6	10.6	13.3	5.9	5.9	9.2	12.6	%
Year	10.7	6.8	3.8	4.1	5.3	9.1	13.2	15.3	9.4	5.9	6.6	9.8	%
Jokioinen 1957-65													
Winter	16.8	8.6	7.2	5.4	4.3	5.0	5.6	6.6	7.9	8.1	9.4	15.1	%
Spring	7.4	2.0	1.0	2.0	4.6	10.4	18.8	18.9	15.0	7.4	6.0	6.5	%
Summer	3.6	1.9	0.3	1.1	5.6	15.7	16.8	19.3	19.4	9.7	3.3	3.3	%
Autumn	10.8	5.7	4.2	3.4	3.5	9.2	13.3	15.0	8.3	7.1	8.5	11.0	%
Year	9.6	4.6	3.1	3.0	4.5	10.1	13.7	15.0	12.7	8.1	6.8	8.9	%
Sodankylä 1951-65													
Winter	14.4	10.0	6.4	8.2	5.8	5.4	7.6	6.4	5.0	6.7	10.2	13.9	%
Spring	7.9	3.1	2.7	3.0	4.3	10.5	16.3	18.5	16.0	6.6	4.7	6.4	%
Summer	3.0	1.8	1.7	4.4	7.2	14.0	15.0	18.3	16.1	10.4	3.2	4.0	%
Autumn	10.6	7.5	5.3	3.6	4.3	8.7	13.8	12.8	7.6	7.8	6.7	11.3	%
Year	9.0	5.6	4.0	4.8	5.4	9.7	13.2	14.0	11.2	7.9	6.1	9.1	%
		Summer	Summer	Winter	Winter	Year	Year						
		8-19 hrs	20-7 hrs	8-19 hrs	20-7 hrs	8-19 hrs	20-7 hrs						
Ilmala	79.8 %	20.2 %	38.2 %	61.8 %	58.2 %	41.8 %							
Jokioinen	86.5 %	13.5 %	37.5 %	62.5 %	64.1 %	35.0 %							
Sodankylä	81.0 %	19.0 %	36.9 %	63.1 %	61.4 %	38.6 %							

riippuen ovat Ilmalan, Jokioisten ja Sodankylän säähavaintoasemien mukaan kuvien 14, 15 ja 16 mukaiset/15/. Kuvien perusteella voidaan todeta, että tuulen nopeusmaksimi sattuu useimmiten klo. 12...18 väliseen aikaan. Samasta Huovilan tutkimuksesta on taulukko 3, jossa on esitetty vuodenajoittain prosenttinen todennäköisyys sille, että tuulen päivittäinen nopeusmaksimi sattuu tietyille aikavälille.

2.222 Maa- ja merituuli

Rannikkoalueilla esiintyy ns. maa- ja merituuli-ilmiö, joka johtuu ilman erilaisesta lämpenemisestä tai jäähtymisestä maan- ja vedenpinnan yläpuolella. Merituuli, joka puhalttaa mereltä maalle päin, kehittyy, kun ilma lämpimänä kesäpäivänä mantereen yläpuolella lämpenee voimakkaammin kuin meren yllä. Maatuuli, jonka suunta on päinvastainen, kehittyy öisin, kun veden lämpö-



Kuva 17. Täysin kehittyneen meri- ja maatuulen läpileikkaus.

tila vielä on korkea ja mantereen yläpuolella oleva ilma on jäähtynyt ulossäteilyn johdosta. Merituulen vaikutus ei yleensä ulotu 20...30 km kauemmaksi rannikosta. Maatuuli on paljon heikompi kuin merituuli, ja tuntuu vain n. 10 km etäisyydelle rannikosta. Kuva 17 esittää kaaviomaisesti maa- ja merituuli-ilmiön/38/.

2.23 Sade ja ilman kosteus

Ilmakehän kosteus (vesi, vesihöyry, lumi) vaikuttaa ratkaisevasti ilmassa olevan hienojakoisen saasteen käyttäytymiseen. Lumi- tai vesisade on ilmakehän tehokkaimpia puhdistajia seuraavista syistä/50/:

1. Ilmassa olevat partikkelit voivat toimia kosteuden tiivistymisytiminä ("rainout").
2. Hiukkaset voivat tarttua pilvien pieniin vesipisaroihin.
3. Vesipisarot tai lumihitaleet sieppaavat ilmassa olevat partikkelit mukaansa ("washout").

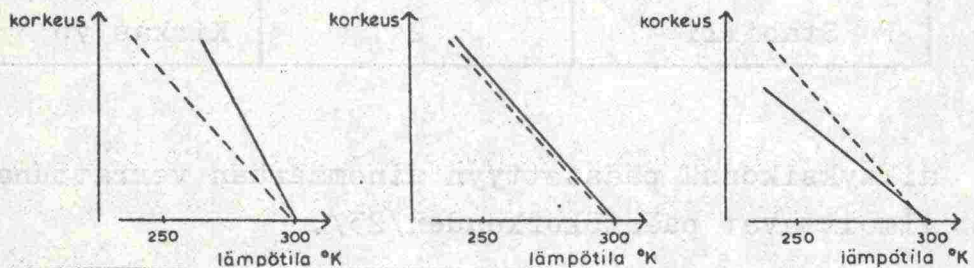
Pitkäaikainen sade lisää laskeumaa alueella lähinnä saastelähdeettä, kun taas kauempana lähteestä laskeuma pienenee sateen vaikutuksesta. Erään laskelman mukaan sade, jonka rankkuus on 1 mm/h, poistaa ilmasta 15 minuutin aikana 28 % 10 μ kokoisista hiukkasista. Sateen ilmaa puhdistava vaikutus pienenee partikkelikoon pienetessä, ja alle 2 μ kokoisille partikkeleille "washout"-vaikutus on jo merkityksetön/50/.

Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa hygroskooppisten hiukkasten käyttäytymiseen. Ilman ollessa hyvin kostea, nämä hiukkaset imevät itseensä vettä ja paisuvat, josta on seurauksena mm. näkyvyyden huononeminen.

2.24 Ilman lämpötila ja stabiilisuus

Kun ilma nousee ylöspäin, sen lämpötila laskee paineen pienentyessä. Tämän adiabaattisen laajenemisen aiheuttama lämpötilan lasku on n. $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Prosessia sanotaan adiabaattiseksi, mikäli kaasun kokonaisenergia pysyy vakiona.

Ilman alkuperäisen lämpötilan ja paineen välinen suhde ratkaisee, pyrkivätkö pystyliikkeet vaimentumaan vai kiihtymään. Mikäli ilman lämpötilan lasku ylöspäin noustaessa on jyrkempi kuin mitä adiabaattinen muutos edellyttää (kuva 18, oikealla), kiihtyvät pystyliikkeet, ja tilaa sanotaan labiiliksi. Päin-



Kuva 18. Eri stabiilisuustilanteita. Adiabaatti on merkitty katkoviivalla ja vallitseva lämpötilajakautuma yhtenäisellä viivalla.

vastaisessa tilanteessa (kuva 18, vasemmalla) tilaa kutsutaan stabiiliksi, koska pystyliikkeet pyrkivät vaimentumaan. Kuvan 18 keskellä esitettyä tilaa sanotaan neutraaliksi/38/.

Ilmiötä, jolloin ilman lämpötilan pystyjakautuma on sellainen, että lämpötila kasvaa ylöspäin mentäessä, sanotaan inversioksi. Tämä tilanne on ilman saastumisen kannalta hankala, koska lähellä maanpintaa oleva kylmempi ja raskaampi ilma ei pääse vaihtumaan pystysuunnassa.

Pasquill on laatinut tuulisuuteen ja pilvisyyteen perustuvan ilman tasapainotiloja kuvaavan luokituksen huomioonottaen Englannin tuuliolosuhteet (taulukko 4/23/).

Kuvista 19 ja 20 ilmenee tasapainoluokkien A ja F vaikutus saasteen leviämiseen tuulen suuntaan. Kuvissa abskissana on etäisyys saastelähteestä tuulen suuntaan. Ordinaatta ilmaisee konsentraatiosuhteen, joka on ainemäärä kuutiometrissä ilmaa

Taulukko 4. Ilman tasapainotiloja kuvaava luokotus

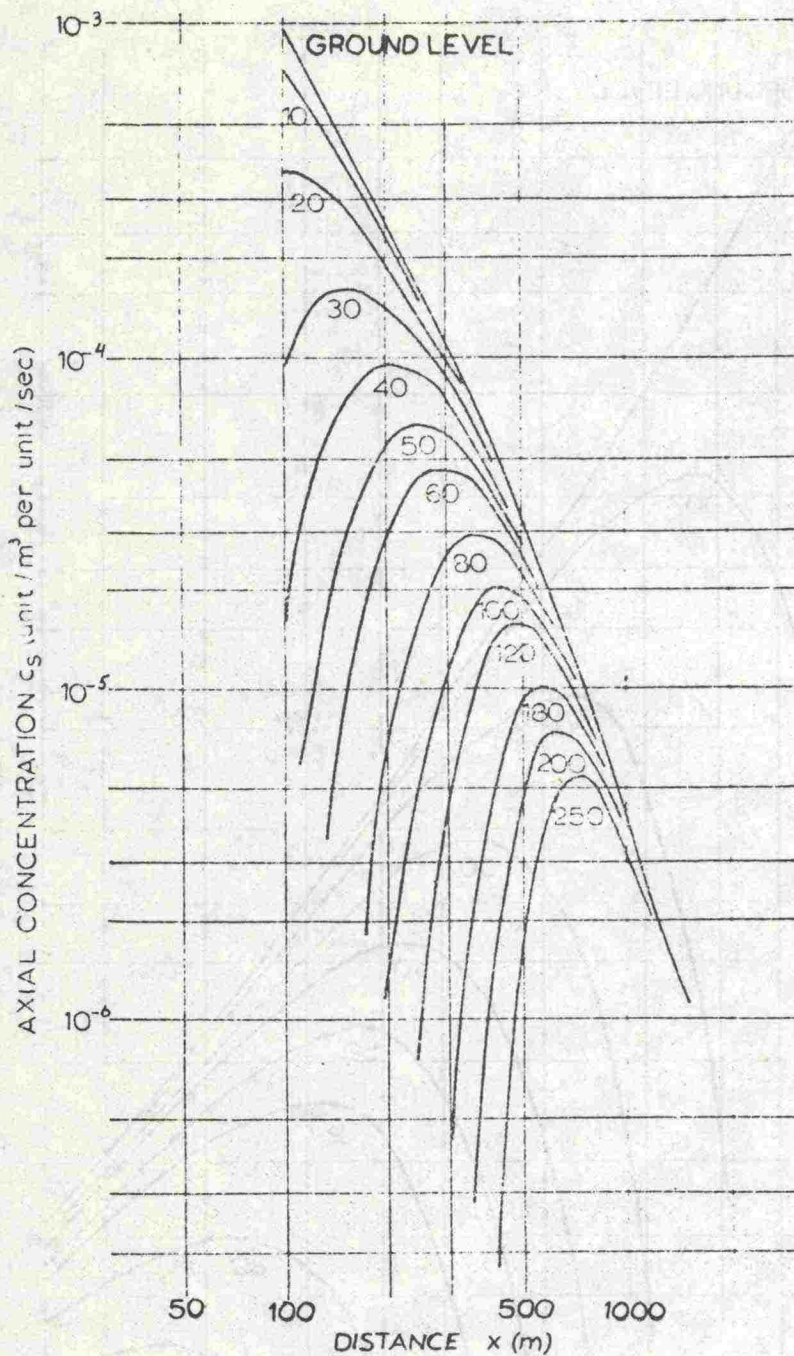
Tasapainoluokka	Tyypillinen tuulen nopeus m/s	Säätötyypin kuvaus
A Erittäin labiili	1	Erittäin aurinkoinen kesäsää
B Labiili	2	Aurinkoista ja lämmintä
C Lähes neutraali päivä	5	Osittain pilvinen päivä
D Neutraali	5	Pilvinen päivä tai yö
E Lähes neutraali	3	Osittain pilvinen yö
F Stabiili	2	Kirkas yö

aikayksikössä päästettyyn ainemäärään verrattuna. Käyrien luvut ilmoittavat päästökorkeuden/23/.

Tasapainoluokassa A (kuva 19) on maanpinnasta päästetyn saasteen konsentraatiosuhde 100 m päässä lähteestä n. 10^{-3} ja 1000 m päässä n. $3,5 \times 10^{-6}$. Tässä erittäin labiilissa tilanteessa on siis konsentraatiosuhde pienentynyt 1/300-osaan matkalla 100... 1000 m. Jos tilanne on stabiili (kuva 20), on konsentraatiosuhde 100 m päässä lähteestä n. $1,7 \times 10^{-2}$ ja 1000 m päässä n. $3,5 \times 10^{-4}$, eli konsentraatiosuhde putoaa tällä matkalla 1/50-osaan. Stabiili ilma siis säilyttää saasteen kauemmin kuin labiili ilma. Tässä tapauksessa olisi A- ja F-tasojen saasteen säilyttämiskyvyn suhde $1/300:1/50 = 1/6$.

2.25 Ilman diffuusio

Seuraava esitys diffuusiosta perustuu Huovilan ja Kulmalan tutkimukseen/16/. Ilmakerroksen tasapainotilan vaikutusta pistemäisen lähteen synnyttämään saastepilveen voidaan tutkia Pasquillen laskelmia hyväksi käyttäen. Nämä laskelmat perustuvat ns. Fickin diffuusiomalliin, joka on esitetty kaavassa (1).



Kuva 19. Lyhyessä päästössä syntyneen saasteilven aiheuttamat konsentraatiot eri etäisyyksillä eri päästökorkeuksilla. Tasapainoluokka A.

$$\frac{dE}{dt} = k_x \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} \quad (1)$$

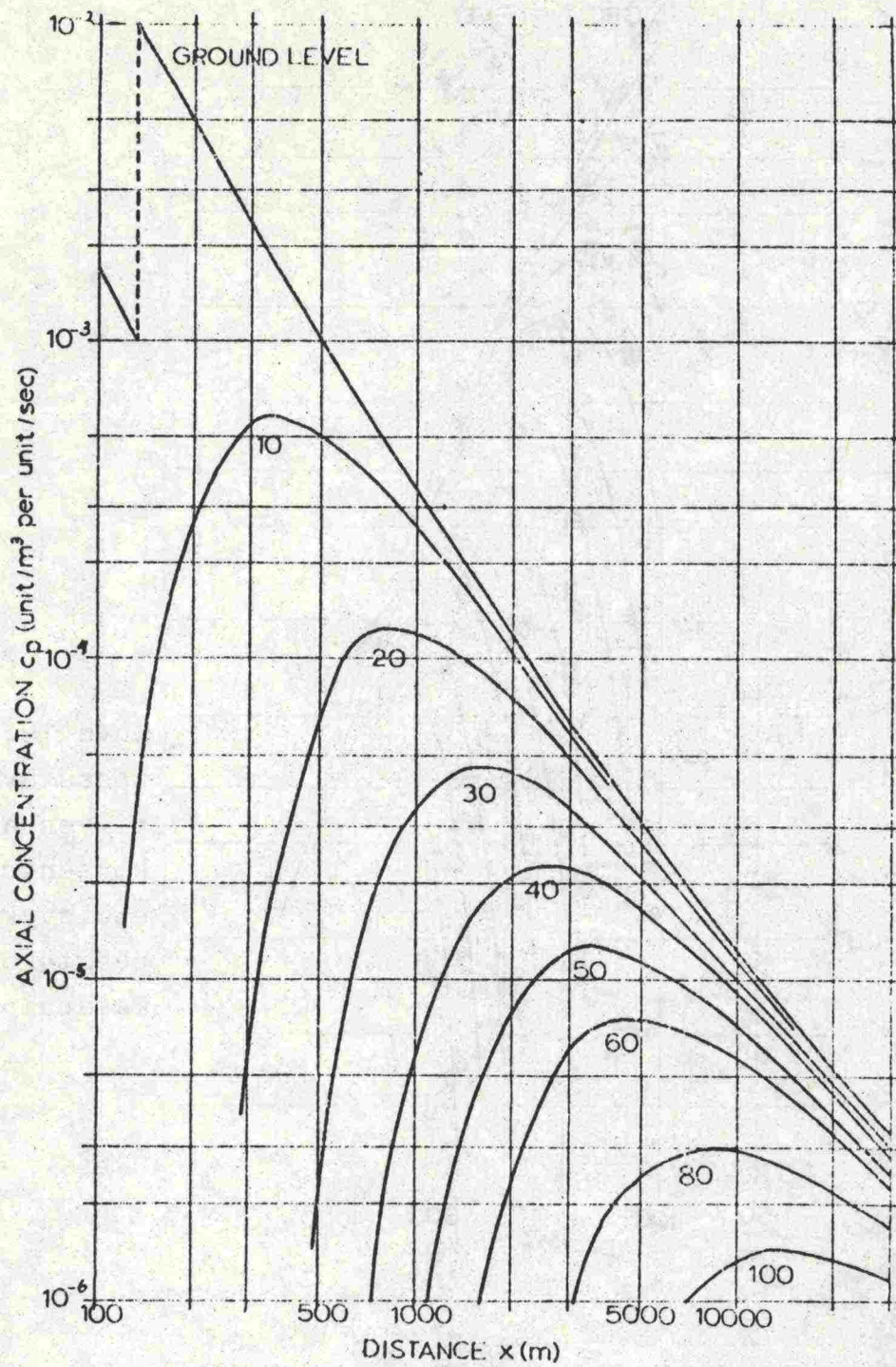
E = diffusoituvan aineen tai ominaisuuden konsentraatio

k = turbulenttinen diffuusiokyky

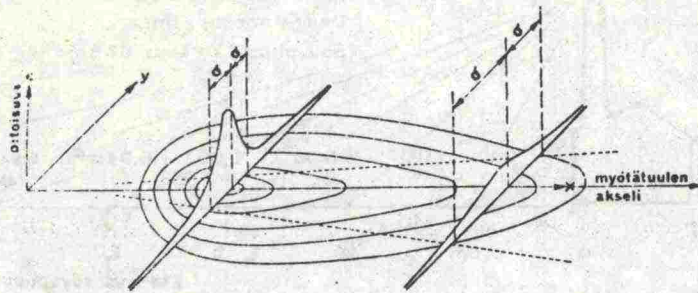
t = aika

x, y, z = avaruuskoordinaatit

Tätä Fickin diffuusiomallia sovelletaan vallitsevaa horisontaa-



Kuva 20. Lyhyessä päästössä syntyneen saastepilven aiheuttamat konsentraatiot eri etäisyyksillä eri päästökorkeuksilla. Tasapainoluokka F.



Kuva 21. Savupäästön keskimääräinen pitoisuuden jakautuma myötätuulen puolella.

lituulta vastaan kohtisuoraan horisontaalikomponenttiin (y) ja vertikaalikomponenttiin (z). Oletetaan, että ilmassa olevan saastepilven maksimipitoisuus leviää tuulen nopeudella ja tuulen suuntaan, joka yhtyy x-akselin suuntaan. Jos tunnetaan maksimipitoisuus x-akselilla, voidaan y-akselin suunnassa tapahtuva konsentraation laimentuminen laskea yhtälön (1) ratkaisusta, joka on Gaussin virhefunktio. Toisin sanoen oletetaan, että konsentraatiojakautuma noudattaa Gaussin normaalijakautumaa (kuva 21 /39/).

Korkeussuunnassa tapahtuvat pitoisuuden vaihtelut riippuvat sekä diffuusiosta, että epäpuhtauden hiukkasten koosta. Jos saaste on hienojakoinen, voidaan hiukkasten putousnopeus jättää huomioonottamatta turbulenttisen diffuusion rinnalla. Karkean epäpuhtauden ollessa kysymyksessä on huomioitava hiukkasten putousnopeus. Mikäli tämä on vakio, saadaan kaksidimensionaalinen diffuusioyhtälö (2).

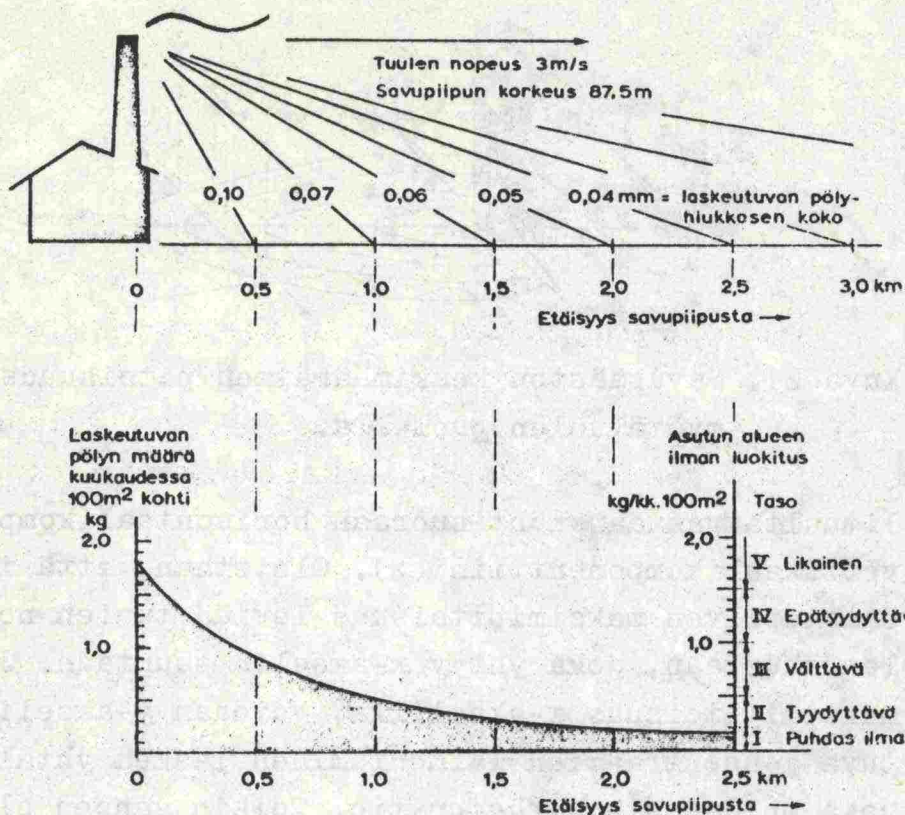
$$\bar{U} \frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \left(k_z \frac{\partial E}{\partial z} + v_z E \right) \quad (2)$$

\bar{U} = tuulen keskinopeus vaakatasossa

v_z = hiukkasten putousnopeus

2.26 Pölyn kulkeutuminen ilmassa

Tuulen vaikutus saasten lähilaskeumaan käy ilmi kuvasta 22. Siinä on esitetty 87,5 m korkeasta savupiipusta päästetyn saasteen erikokoisten hiukkasten liikerata ideaaliolosuhteissa, kun tuulen nopeus on 3 m/s /39/.

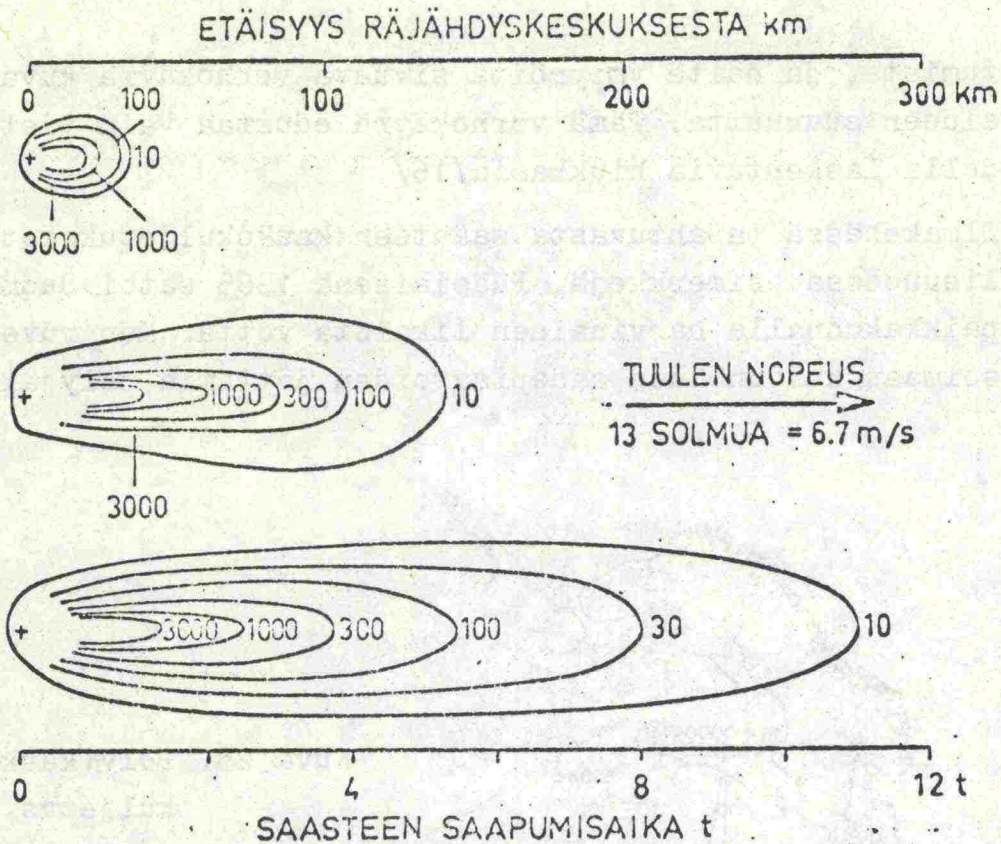


Kuva 22. Voimalaitoksen savupiipun pölylaskeuma.

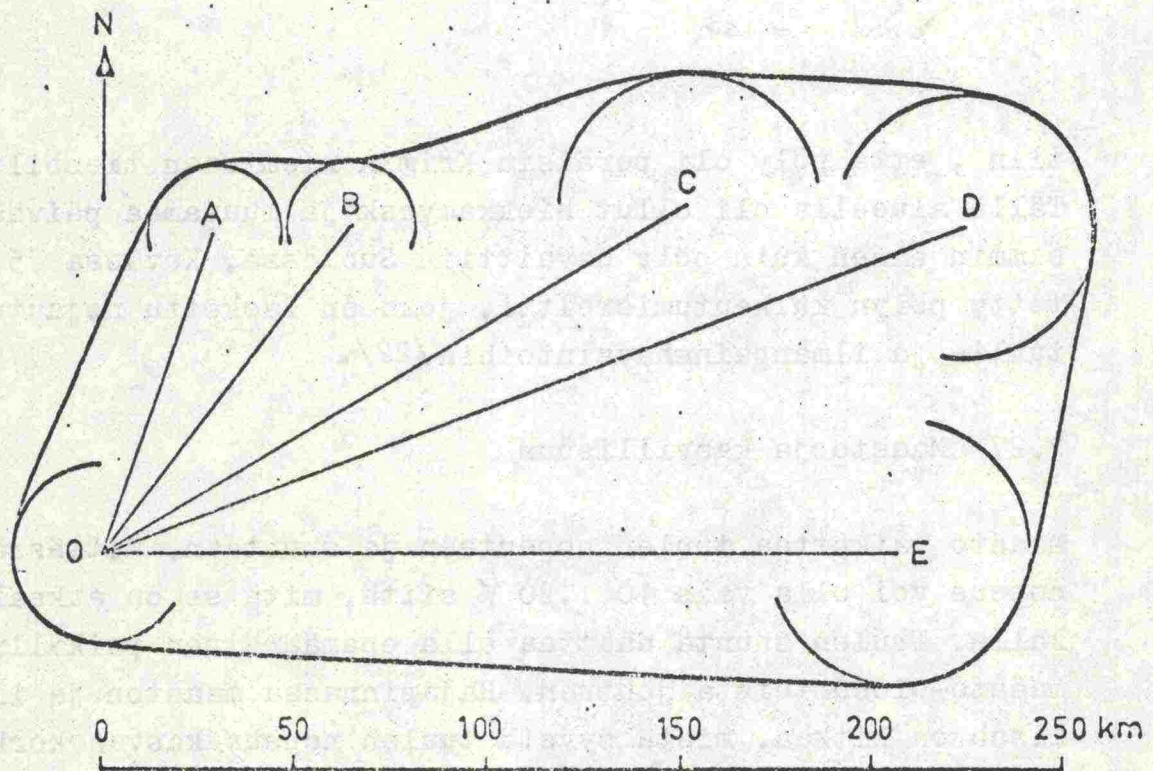
Radioaktiivisen lähilaskeuman ennustamiseksi on kehitetty likimääräisiä laskumenetelmiä. Näistä voidaan mainita sikarimenetelmä ja monikerrosmenetelmä/16/. Mainittuja menetelmiä voidaan soveltaa myös muunlaisen saasteen leviämisen ja kulkeutumisen ennustamiseksi.

Niin sanotussa sikarimenetelmässä otetaan laskujen lähtökohdaksi yhden painepinnan tasolla vallitseva tuulen nopeus ja suunta, hiukkasten putousnopeus sekä turbulenttinen diffuusio. Kuvassa 23 on esimerkki ydinräjähdysten lähilaskeuman laskemisesta tällä menetelmällä. Laskeuman radioaktiivisen säteilyn samanarvonkäyrät muodostavat sikaria muistuttavan kuvion, josta laskumenetelmä on saanut nimensä.

Monikerrosmenetelmässä otetaan lisäksi huomioon tuulen nopeuden ja suunnan vaihtelut eri korkeuksilla ilmakehässä. Kuva 24 esittää monikerrosmenetelmällä tehtyä lähilaskeuman alueennustetta. Kuvassa OA,OB,OC,OD ja OE ovat 3,6,12,18 ja 24 km korkeuksien tuulivektorit kolmen tunnin etäisyydelle räjähdysketkestä. Ympyrät kuvaavat diffuusion aiheuttamaa hajaan-



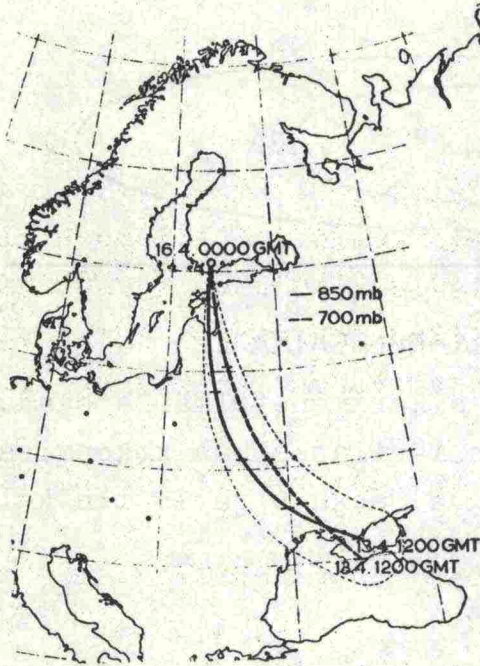
Kuva 23. Suoraviivaisella sikarimenetelmällä saadut 1 Mt:n fissioräjähdyksen lähilaskeuman kokonaisannokset 1 tunnin (ylin kuva) sekä 6 ja 18 t:n kuluttua pintaräjähdyksestä.



Kuva 24. Monikerrosmenetelmällä tehty lähilaskeuman alueennuste.

tumista, ja näitä ympyröitä sivuava verhokäyrä kuvaa laskeuma-alueen suuruutta. Tämä verhokäyrä edustaa vain tietyllä nopeudella laskeutuvia hiukkasia/16/.

Ilmakehässä tapahtuvasta saasteen kaukokuljetuksesta on kirjallisuudessa esimerkkejä. Pääsiäisenä 1965 satoi Suomessa monella paikkakunnalla harvinaisen likaista vettä. Kun ruvettiin analysimaan kuivuneiden sadepisaroiden jättämiä pölyjälkiä, todet-



Kuva 25. Pölyn kaukokuljetus.

tiin, että pöly oli peräisin Krimin niemimaan tienoilta. Tällä alueella oli ollut hiekkamyrskyjä muutamaa päivää aikaisemmin ennen kuin pöly havaittiin Suomessa. Kuvassa 25 on esitetty pölyn kulkeutumisreitti, joka on laskettu nojautuen tuuli- ja ilmanpainehavaintoihin/22/.

2.27 Maasto ja kasvillisuus

Maasto vaikuttaa tuulen nopeuteen ja suuntaan. Metsässä tuulen nopeus voi olla vain 10...20 % siitä, mitä se on aukealla paikalla. Tuulen suunta saattaa olla epämääräinen paikallisista maasto-olosuhteista johtuen. Rajapinnassa maaston ja ilman välissä on kitkaa, mistä syystä tuulen nopeus kasvaa korkeuden mukaan. Ylempänä ilmakehässä ilman sekoittuminen on tehokasta,

ja ilmaan päästetyt saasteet laimentuvat.

Kitkan jarruttavasta vaikutuksesta syntyy ylös- ja alaspäin suuntautuvia pystyvirtauksia, jotka muodostuvat eri karkeuden omaavien maastopintojen rajalle. Voidaan erottaa kaksi tapaus- ta/38/:

1. Ilma virtaa sileästä maastosta karkeampaan maastoon (esim. pellolta metsään). Tällöin ilman nopeus hidastuu lähinnä maanpintaa ilman saapuessa sileämmästä karkeam- paan maastomuotoon. Seurauksena on, että maastotyyppien rajalla ilmamassat nousevat ylöspäin ylempänä vallitse- van kovemman tuulen imun johdosta.
2. Ilma virtaa karkeasta maastosta sileämpään maastoon. Tässä tapauksessa ilmavirtauksen nopeus maanpinnaa lä- hellä kasvaa kitkan pienentyessä. Tällöin nopeuden kas- vusta aiheutuu alaspäin suuntautuva imu, joka vetää ilmamassat epäpuhtauksineen lähemmäksi maanpintaa.

Eri pintojen karkeutta kuvataan ns. rosoisuusparametrilla z_0 . Taulukossa 5 on muutamien pintojen rosoisuusparametriarvot/38/.

Taulukko 5. Eri pintojen rosoisuusparametriarvot

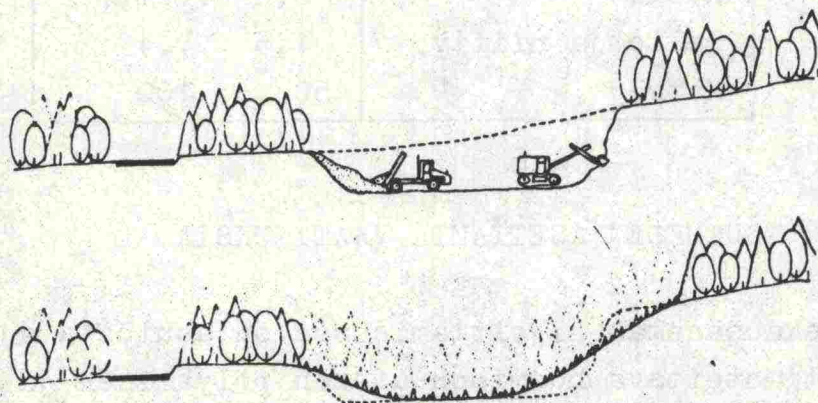
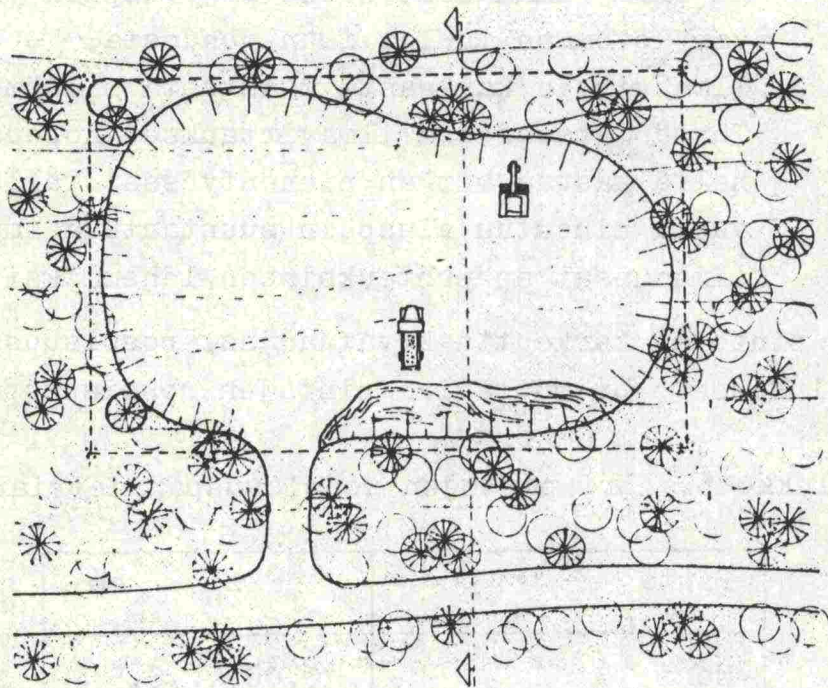
Pinta	z_0 cm
Meri	0,001...0,5
Lumi	0,005...0,1
Ruoho	0,2 ...1,7
Pelto ja niitty	1,5 ...4
Metsä	50 ...100

2.3 ASUTUKSEN ASETTAMIA VAATIMUKSIA

Murskausaseman sijoittamisessa on asutusta ajatellen ensisijai- sesti otettava huomioon aseman pölyäminen ja meluaminen. Nämä kaksi tekijää aiheuttavat vaaroja ihmisen fyysiselle ja psyyk- kiselle terveydelle. Pölyäminen aiheuttaa haittaa kotieläimille, viljelyskasveille, metsille ja muulle kasvillisuudelle. Lisäksi tulevat pölyn aiheuttamat aineelliset vahingot ja esteettiset

haitat. Pöly- ja meluhaittoja käsitellään lähemmin kohdissa 3.3 ja 5.6.

Mikäli paikalliset sää- ja maasto-olosuhteet ovat suotuisat, voidaan murskauslaitos sijoittaa esimerkiksi häiriintyvään kohteeseen nähden tuulen alapuolelle. Paikallisista olosuhteista riippuen vaihtelevat tuulen nopeus ja suunta maanpinnan lähellä hyvin paljon. Aseman paikan valintaa tulisi siten edeltää tuuliolosuhteiden tutkiminen paikan päällä.

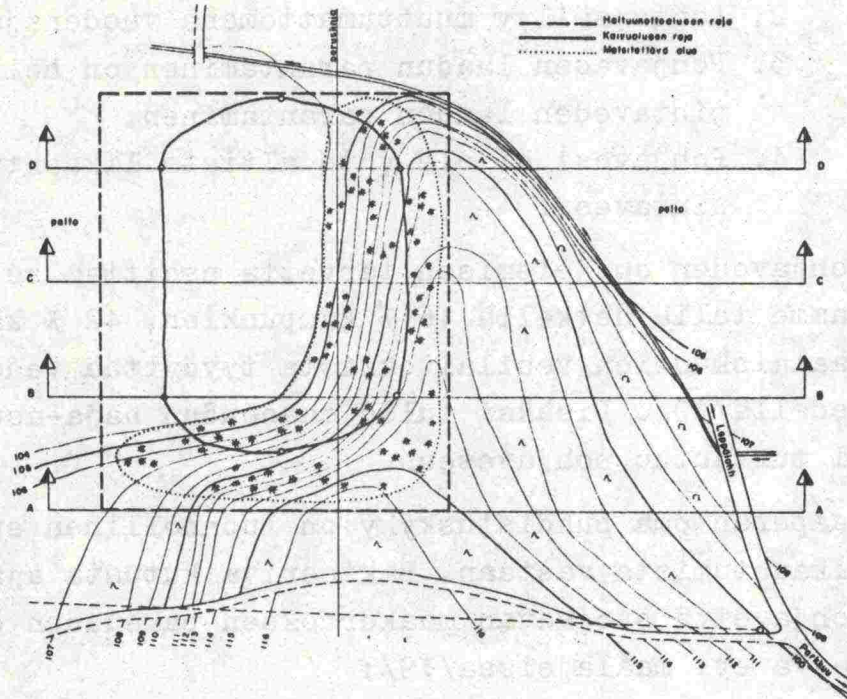


Kuva 15. Maisemanhoidollisesti suoritettu maankamaran aineiden kaivu. Rakennustarkoituksiin kelpaamattomat maa-ainekset on käytetty kaivualueen luiskien muotoiluun ja alue on metsitetty. Leikkaukset kaivualueesta materiaalin ottamisen aikana sekä sen päätyttyä.

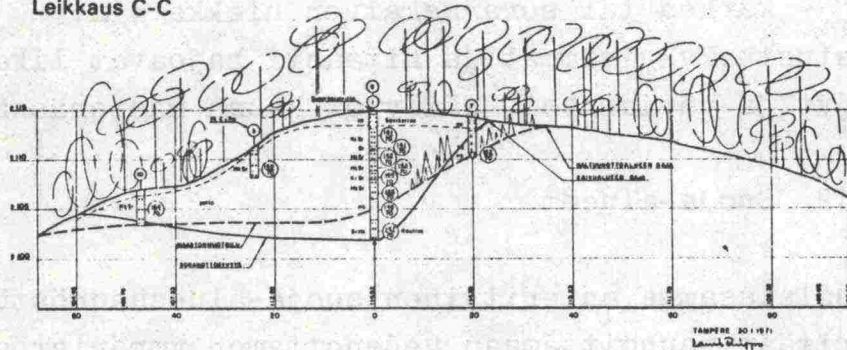
Kuva 26. Soramontun ympärille jätettävä suojavyöhyke.

Sijoittamalla asema niin, että asutuksen ja aseman väliin jää riittävän leveä suojavyöhyke, vähenevät paikalliselle asutukselle aiheutuneet haitat tuntuvasti (kuva 26 /58/). Kuvassa 26a on esimerkki soraomontun kaivu- ja maisemanhoitosuunnitelmasta/58/.

Kaivu- ja maisemanhoitosuunnitelma



Leikkaus C-C



Kuva 26 a. Esimerkki kaivu- ja maisemanhoitosuunnitelmasta.

Murskausasema synnyttää huomattavasti raskasta liikennettä, mikä olisi huomioitava aseman paikkaa valittaessa. On vältettävä asemasta lähtevän liikenteen johtamista taajaman läpi. Kuorma-autoliikenne aiheuttaa myös pöly- ja meluhaittoja, sekä saattaa ylikuormittaa ja vaurioittaa paikallisia, kevyelle liikenteelle suunniteltuja teitä.

2.4 POHJAVEDEN SAASTUMISVAARA

2.41 Yleistä

Yhdyskuntien vedenhankinnassa pohjavedellä on monta merkittävää etua pintaveteen verrattuna, joista mainittakoon seuraavat:

1. Pohjavesi on laadultaan parempaa kuin pintavesi.
2. Laatu säilyy muuttumattomana vuodenajasta riippumatta.
3. Pohjaveden laadun parantaminen on helpompaa kuin pintaveden laadun parantaminen.
4. Pohjavesi ei ole yhtä altista likaantumiselle kuin pintavesi.

Pohjaveden suojelemisen tarvetta osoittaa se seikka, että maasamme tällä hetkellä 16 % kaupunkien, 42 % kauppalain ja 80 % maalaiskuntien vesilaitoksista tyydyttää veden tarpeensa pohjavedellä/19/. Lisäksi tulee maaseudun haja-asutus, joka 96 %:sti turvautuu pohjaveteen.

Maaperän oma puhdistuskyky on luonnollinen suoja pohjaveden likaantumista vastaan. Bakteerivaikutusta ajatellen pitäisi pohjavettä suojaavan maakerroksen paksuuden olla vähintään seuraava eri maalajeissa/19/:

- savi tai hiesu 1 m,
- hieta tai hieno hiekka 1,5 m sekä
- karkea tai soransekainen hiekka 4 m.

Vastustuskykyisimmät ja hitaasti hajoavat lika-aineet, niinkuin öljyt ja väriaineet, säilyvät kauan maaperässä muuttumattomina.

2.42 Suoja-alueet

Vesilaisiamme on erityinen suoja-aluesäännöstö, jonka avulla pyritään rauhoittamaan vedenottamon ympäristöaluetta veden pilaantumista aiheuttavalta veden käytöltä. Vedenottamon suoja-alue voidaan erään saksalaisen ehdotuksen mukaisesti muodostaa 3-vyöhykkeiseksi/19/.

I suojavyöhyke olisi täysin rauhoitettava ja alueen säde olisi n. 50 m.

II suojavyöhyke muodostettaisiin ensimmäisen ympärille. Tähän vyöhykkeeseen kuuluvat ne alueet, joilta riittävä maakerroksen suoja puuttuu sekä ne alueet, joilta veden virtaus ottamolle kestää vähemmän kuin 50 vrk. Tällä vyö-

hykkeellä on kaikenlaiset maaleikkaukset ja maansiirtotyöt kiellettävä.

III suojavyyöhyke on uloimpana ja ulottuu vedenottamon vedentuloalueen rajalle asti. Tämän vyöhykkeen rajoitukset es-tävät hitaasti hajoavien ja haitallisten lika-aineiden (öljyjen) joutumisen pohjaveteen.

Soran otto ulottuu usein pohjaveden pinnan alapuolelle. Täten poistetaan suojaava maakerros ja pohjaveden saastumisvaara tulee erittäin suureksi, kun soramonttujen pohjalle muodostuu pohjavesilammikoita. Koska soran ja hiekan vedenläpäisykyky on suuri, saattavat näihin lammikoihin joutuneet epäpuhtaudet aiheuttaa pohjaveden laajalle ulottuvaa pilaantumista. Hyvin yleistä on, että vanhaa soramonttua käytetään kaatopaikkana. Tämä ratkaisu on vesiensuojelun kannalta vaarallinen siinäkin tapauksessa, että pohjaveden pinnan yläpuolelle, kaatopaikan alle, jää paksu sorakerros. Siinä, missä pohjaveden pinta on kaivettu näkyviin tai se on lähellä montun pohjaa, olisi erikoisesti huolehdittava hylätyn montun jälkihoidosta. Pohjavesilammikkoa saadaan käyttää korkeintaan uimiseen tai kalanviljelyyn.

2.43 Öljyvahingot

2.431 Yleistä

Öljytuotteet muodostavat suurimman pohjaveden saastumisvaaran murskausasemilla ja soramontuissa, koska soraharjut ja -esiintymät ovat tärkeimpiä pohjavesivarastojamme. Nämä öljyt voivat olla peräisin maahan kaadetusta jäteöljystä, työkoneiden tankkauksen yhteydessä maahan valuneesta polttoaineesta, voiteluaineista, vahinkotapauksissa maaperään joutuneesta öljystä jne. Sateet ja valuvat pintavedet liuottavat ja kuljettavat maanpinnassa olevat öljyjätteet pohjaveteen.

2.432 Öljyn käyttäytyminen maaperässä

Joutuessaan maahan öljy käyttäytyy suurin piirtein niinkuin vesi. Käyttäytymisessä ilmenevät erot johtuvat eroavaisuuksista tiheydessä, viskositeetissa ja pintajännityksessä. Veden viskositeetti on 0 °C:ssa n. 1,9 cP (senttipöisi), ja esimerkiksi

bensiinin on 0,8 cP, kevyen polttoöljyn 4,5 cP sekä raskaan polttoöljyn viskositeetti jopa 2000 cP/7/. Kokeissa on bensiinin maahantunkeutumismnopeudelle saatu 2...10 kertaa suuremmat arvot, kuin veden vastaavalle ominaisuudelle. Savipitoisessa kalkkimaassa on bensiinin imeytymismnopeudeksi mitattu 0,3...0,6 m/h ja veden nopeudeksi 0,08...0,10 m/h. Raskas polttoöljy taas pysyy melkein liikkumattomana maaperässä pitkiä aikoja.

Vahinkotapausten yhteydessä suoritetuissa tutkimuksissa on hienojakoisten maalajien todettu sitoneen 1...5 tilavuusprosenttia öljyä. Vesi pystyy liuottamaan ja kuljettamaan kuivaan maahan imeytynttä öljyä. Niinpä on tehty havaintoja, joissa kaatosteiden ja pitkien sadekausien jälkeen pohjaveteen on ilmestynyt öljyä.

Öljytuotteiden liikkuvuutta maaperässä kuvastaa seuraava taulukko 6 /7/.

Taulukko 6. Öljytuotteiden liikkuvuus maaperässä

Öljytuote	Maalaji	Etäisyys m	Kulkunopeus m/vrk
Bensiini	Hieno hiekka	700	0,45
Dieselöljy	Karkea hiekka	80	5,00
Valopetrpli	Merkelisavi	20	0,70
Raakaöljy	Savi	5	0,06

Edelleen saman esitelmän mukaan bensiini on laboratorikokeissa tunkeutunut hienoon savimaahan nopeudella 6 m/vrk, ja karkeaan savimaahan nopeudella 15,5 m/vrk.

Eräiden öljytuotteiden liukoisuus veteen on esitetty taulukossa 7 /7/.

Taulukko 7. Eräiden öljytuotteiden liukoisuus veteen

Öljytuote	Liukoisuus g/m ³	Liukoisuus %
Bensiini	150	0,015
Dieselöljy	20	0,002
Valopetroli	10	0,001
Raskas polttoöljy	5	0,0005

2.433 Öljyn pysyvyys maaperässä

Tavalliset öljytuotteet poistuvat suhteellisen nopeasti maan pintakerroksesta, missä haihtuminen on mahdollista ja missä on tarpeeksi happea bakteeritoiminnalle. Syvemmällä maassa, anaerobisissa olosuhteissa, öljyn hajaantuminen on hyvin hidasta. Nyrkkisääntönä hajaantumisenopeudelle voidaan pitää/7/:

- valopetroli 2 vuotta
- bensiini 4...7 vuotta
- polttoöljy 25..40 vuotta

Koska hajaantumisenopeudet ovat hyvin pitkät, on öljytuotteiden rikastumiseen maaperään olemassa riski siellä, missä jatkuvasti käsitellään öljytuotteita.

3. MURSKAUSASEMAN PÖLYÄMISESTÄ

3.1 YLEISTÄ

Murskausasemaa voidaan pitää pistemäisen ja alueellisen saaste-lähteen välimuotona. Kaikkialla asema-alueella, missä käsitellään kiviainesta tavalla tai toisella, syntyy pölyä. Tämä syntynyt kivipöly on todettu koostumukseltaan erittäin vaaralliseksi ihmiselle johtuen pölyn suuresta kvartsipitoisuudesta. Siksi on monien maiden normeissa erikoismääräyksiä juuri kvartsipitoisesta pölystä.

3.2 PÖLYN FYSIKAALISIA OMINAISUUKSIA

3.21 Määritelmiä

Uuden Tietosanakirjan mukaan pöly on "kiinteitä ja suurimmalta osalta paljaalle silmälle näkymättömiä hiukkasia, jotka leijaitsevat ilmassa tai kulkeutuvat ilmavirtauksen mukana ja laskeutuvat yleensä hitaasti maahan. Hiukkasten keskimääräinen läpimitta on 1...10 μ " (1 μ = 1/1000 mm).

Aerosoliksi sanotaan ilmassa leijailevien nestemäisten tai kiinteiden hiukkasten muodostamaa kolloidityyppiä.

Ilmassa olevat saasteet ovat joko molekyylijakoisia eli kaasumaisia tai hiukkasjakoisia. Hiukkasjakoinen aines voi olla leijuva tai laskeutuva.

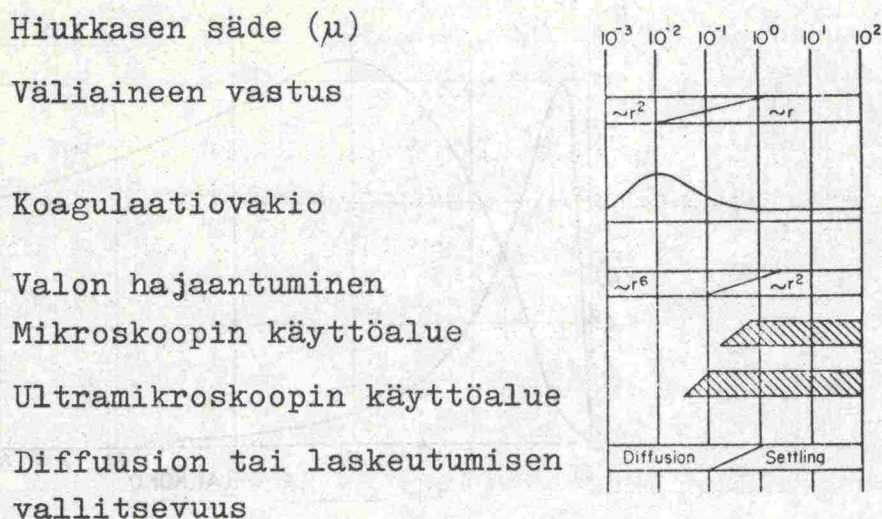
Laskeutuva pöly on se karkein pöly, joka ilmaan jouduttuaan laskeutuu maahan suhteellisen lähelle pölyävää kohdetta.

Leijuva pöly on hienoa, hitaasti laskeutuvaa, tuulen mukana helposti kulkeutuvaa pölyä. Laskeutuvan ja leijuvan pölyn välinen raja vaihtelee riippuen aineksesta ja siitä, miten rajaa määritellään. Tavallisesti pidetään rajana 10 μ :n partikkelikokoa.

3.22 Pölyn raekoko

Pölyhiukkasten käyttäytyminen ilmassa riippuu hiukkasten koosta ja tiheydestä. Pölyn raekoko voi vaihdella alueella 6×10^{-4} ...
... 10^3 μ , ja raekokoalueella 0,02...10 μ tietyt pölyn ominaisuudet muuttuvat raekoosta selvästi riippuviksi (kuva 27 /50/).

Kun kiinteä kappale murskataan hienoksi pölyksi, joka päästetään ilmaan, tapahtuu kaksi merkittävää muutosta: hiukkasten yhteenlaskettu pinta-ala kasvaa suuresti verrattuna alkuperäisen kappaleen pinta-alaan sekä dispergoituneen pölyaerosolin täyttämä tilavuus kasvaa moninkertaiseksi verrattuna murskatun kappaleen tilavuuteen. Jos esimerkiksi 1 cm^3 kokoinen kvartsikappale murskataan 1 μ kokoiseksi hiukkasiksi ja nämä päästetään ilmaan pitoisuudella 10^8 kpl/ m^3 (DDR:n normi kvartsipölylle), kasvaa pinta-ala 10^4 -kertaiseksi ja aerosolin täyttämä tilavuus



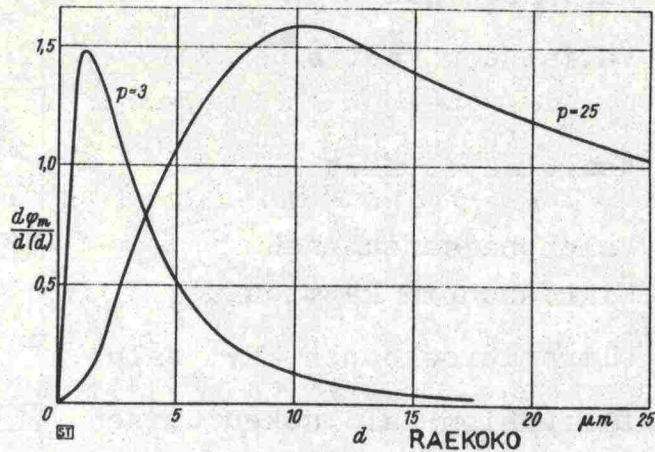
Kuva 27. Aerosolien muutamien ominaisuuksien riippuvuus raekoosta.

10^{10} -kertaiseksi. Karkeat pölyhiukkaset yli 5μ , jotka painomääräisesti muodostavat pölyn suurimman osan, eivät ole samassa määrin ihmisen keuhkoille vaarallisia kuin pienet hiukkaset. Niinpä partikkelien lukumäärä tilavuusyksikköä kohti ilmaisee parhaiten pölyn vaarallisuuden. Taulukko 8, jossa on valimossa suoritettujen pölytutkimusten tuloksia, osoittaa, miten erilaisiin tuloksiin päädytään, kun hiukkaspitoisuus määrätään toisaalta painon ja toisaalta lukumäärän perusteella/4/.

Taulukko 8. Erään valimon pölyn raekokojakautuma

Hiukkaskoko μ	Jakautuma %	
	Painon perusteella	Lukumäärän perusteella
2	5,8	89,4
2...5	7,7	7,8
5..10	13,5	1,7
10..40	73,0	1,1

Kuvassa 28 on esitetty kaksi logaritmisesti normaalia raekokojakautumaa massan perusteella ilmaistuna. Jakautuma on logaritmisesti normaali silloin, kun tarkasteltava muuttuja on



Kuva 28. Mineraalipölyn äärimmäisiä rakeisuuskäyriä.

piirretty logaritmiseen asteikkoon ja jakautuma tällöin muodostuu Gaussin kellokäyrän mukaiseksi. Voidaan osoittaa, että maapäällisessä teollisuudessa 90 %:ssa tapauksista mineraalisen pölyn rakeisuuskäyrä jää kuvan 28 äärimmäiskäyrien väliin/44/. Käyrät edustavat poikkeuksellisen hienoa pölyä, keskikoko 3 μ, ja hyvin karkeata pölyä, jonka hiukkasten keskikoko on 25 μ. Ensiksimitun pölyn hienoainespitoisuus (so. osuus alle 5 μ) on 50 %, ja karkean pölyn 1 %, kun lasketaan massan perusteella. Kuva 28 esittää rakeisuuden tiheysfunktioita, joka on kertymäfunktion derivaatta.

3.23 Pölypartikkelin dynamiikkaa

Pienen hiukkasen pinta-alan suhde massaansa on paljon suurempi kuin ison kappaleen vastaava suhde. Tästä syystä pieni partikkeli saavuttaa ilmanvastuksen johdosta miltei heti vakion putousnopeuden, joka voidaan laskea Stokesin kaavan (3) avulla partikkelin ollessa pallomainen.

$$v = \frac{g}{18\eta} (\rho_1 - \rho_2) d^2 \quad (3)$$

Kaavassa (3) on: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 η = ilman viskositeetti
 ρ_1 = partikkelin ominaispaino
 ρ_2 = ilman ominaispaino

Taulukossa 9 on esitetty erikokoisten partikkelien putousnopeudet ilmassa ominaispainon eri arvoilla/18/.

Taulukko 9. Hiukkasten putousnopeus ilmassa

Hiukkaskoko μm	Putousnopeus cm/s		
	$\rho = 2,0 \text{ g/cm}^3$	$\rho = 2,5 \text{ g/cm}^3$	$\rho = 3,0 \text{ g/cm}^3$
20	2,4	3,0	3,6
10	0,6	0,7	0,9
7	0,29	0,35	0,45
5	0,16	0,18	0,23

Mikäli niiden ideaalisten partikkelien ominaispaino on yksi, joiden putousnopeuteen verrataan todellisten hiukkasten putousnopeutta, puhutaan partikkelien putousnopeusekvivalentin halkaisijasta.

Kun pöly on hienoa, alle 5μ , vähenee painovoiman vaikutus hiukkasiin ja vallitseviksi tulevat turbulentitiset ja sähköiset voimat sekä ns. Brownin liike. Flokkauksen ansiosta vähenevät alle $0,1 \mu$ läpimittaiset hiukkaset nopeasti ilmasta. Erään arvion mukaan $0,02 \mu$ kokoisista partikkeleista poistuu ilmasta n. 50 % tunnissa (lukumäärän perusteella laskettuna), ja $0,1 \mu$ kokoisista partikkeleista n. 50 % päivässä/50/.

3.3 PÖLYN VAIKUTUKSISTA YMPÄRISTÖÖN

3.31 Yleistä

Mikäli ilman koostumus on siinä määrin muuttunut, että siitä aiheutuu haittaa, on ilmaa pidettävä saastuneena. Ihmisen kannalta tarkasteltuina voivat ilman saastumisesta aiheutuneet haittavaikutukset olla:

- a) aineellisia,
- b) kasvillisuuteen tai elimistöön kohdistuvia,
- c) epämiellyttävyyttä aiheuttavia tai
- d) ihmisen terveyteen kohdistuvia vaikutuksia.

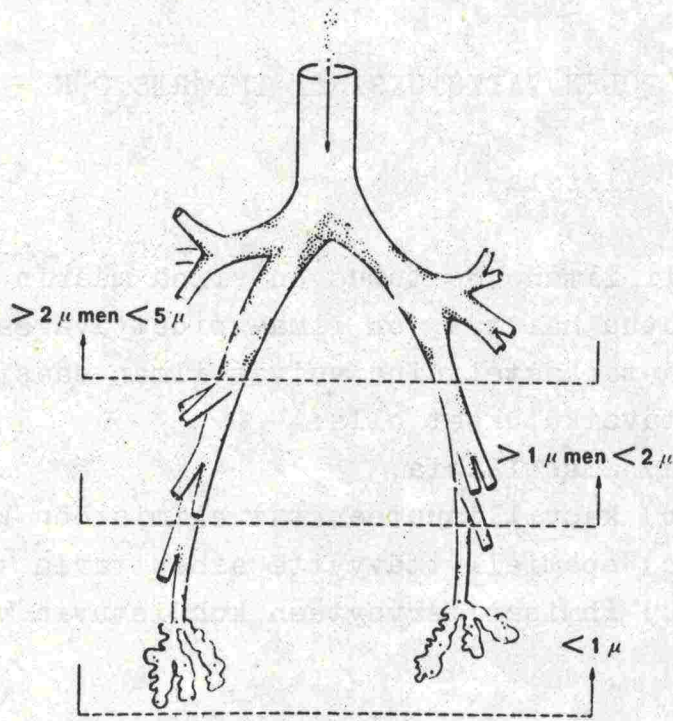
3.32 Vaikutuksia ihmiseen

Hienojakoisen kivipölyn ollessa ilman epäpuhtautena, tulevat terveydenhaittoina kysymykseen hengityselinsairaudet ja -häiriöt.

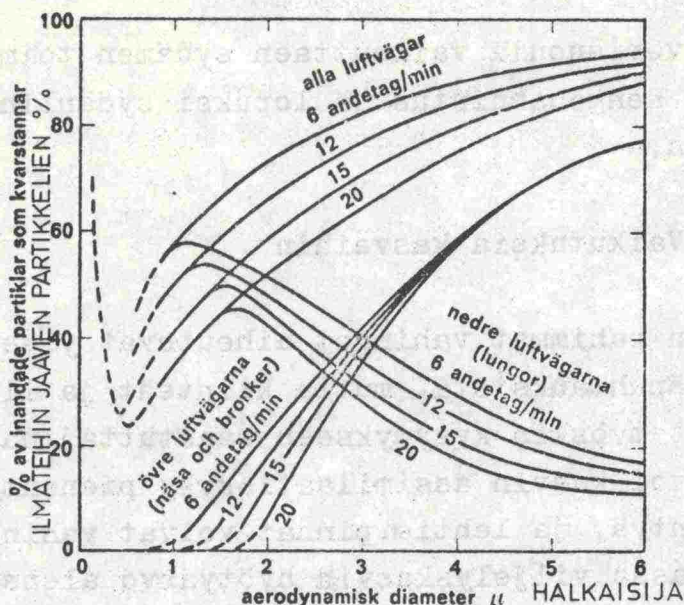
Ihminen tarvitsee hengitysilmaa 10...30 l/min. Ihmisen ilmatiet on varustettu suojakeinoin hengitysilman sisältämän pölyn erottamiseksi. Sisäänhengitetty pöly voidaan sen vaarallisuuden perusteella jakaa kolmeen ryhmään/18/:

- a) 12...3 μ kokoiset pölyhiukkaset pääsevät harvoin keuhkoihin, koska hiukkaset jo aikaisemmin tarttuvat nenän ja nielun limakalvoihin. Tämä karkea pöly voi kuitenkin ylikuormittaa limakalvoja niin, että ne eivät enää pysty pidättämään hienompaa vaarallisempaa pölyä.
- b) Raekooltaan 0,2...2 μ oleva pöly muodostaa valtaosan keuhkoihin menevästä pölystä.
- c) Hyvin hienot keuhkoihin joutuneet partikkelit (alle 0,2 μ liukenevat, tunkeutuvat keuhkojen kudosten läpi, tai virtaavat pienen massansa johdosta takaisin ulos keuhkoista.

Kuvassa 29 on esitetty ilmateiden alueet, joihin erikokoiset hiukkaset todennäköisesti jäävät/2/.



Kuva 29. Ilmateiden alueet, joihin erikokoiset hiukkaset todennäköisesti jäävät.



Kuva 30. Ilmateiden eri osiin jäävien hiukkasten prosenttinen osuus kaikista sisäänhengitetyistä hiukkasista.

Ilmateiden eri osiin jäävien erikokoisten hiukkasten prosenttinen osuus kaikista sisäänhengitetyistä hiukkasista käy ilmi kuvan 30 diagrammasta/2/.

Pölykeuhkolla tarkoitetaan kroonisia keuhkonmuutoksia sellaisilla henkilöillä, jotka joutuvat oleskelemaan eräitä vahingollisia pöylajeja sisältävässä ilmassa. Mikäli pölykeuhkon aiheuttava pöly on kivipölyä, sanotaan keuhkotautia kivipölykeuhkoksi. Seuraavien tekijöiden yhteisvaikutus voi aiheuttaa kivipölykeuhkon/18/:

- korkea pölypitoisuus työpaikalla,
- pölyhiukkasten koko pienempi kuin 5...10 μ ,
- pöly koostuu silikogeenisestä materiaalista (SiO_2),
- alttiinaolo pölylle pitkänä ajanjaksona sekä
- ruumiillinen taipumus kivipölykeuhkoon sairastumiseen.

Kivipölykeuhkossa on keuhkonmuutosten syynä kivipölyssä oleva piidioksidi (SiO_2 ,silikaatit,kvartsi). Terävasärmäiset kvartsi-kiteet ärsyttävät hengitysteitä ja keuhkokudosta, ja kehittyy tulehdus, joka aiheuttaa sidekudosten lisääntymistä ja kutistumista. Prosessi jatkuu senkin jälkeen, kun keuhkojen pölykuormitus on päättynyt. Sidekudokset kasvavat kvartsihiukkasten ympärille solmuntapaisiksi muodostelmiksi. Sidekudosten lisääntymisen johdosta huononee keuhkotuuletus, ja solmut pai-

navat verisuonia vaikeuttaen sydämen toimintaa. Seurauksena on alussa hengenahdistus ja lopuksi sydänlihaksen heikkeneminen ja kuolema.

3.33 Vaikutuksia kasveihin

Kasvien pahimmat vahingot aiheutuvat yleensä kaasumaisista ilman epäpuhtauksista, mutta kiinteät ja liukenevat hiukkaset tulevat myöskin kysymykseen saastuttajina. Epäpuhtauksien johdosta voi kasvin assimilaatiokyky pienentyä, aineenvaihdunta häiriintyä, ja lehtien pinnat voivat vahingoittua/3/. Saastuneessa ilmassa viljelyskasvin hyötyarvo alenee seuraavista syistä:

- kasvin tuotto pienenee,
- laatu huononee sekä
- kasvu hidastuu.

Rehukasvit voivat laskeutuneen kivipölyn johdosta muuttua eläinrehuksi kelpaamattomiksi, ja vilja voi samasta syystä tulla leipäviljäksi soveltumattomaksi. Puihin tarttunut kivipöly vaikeuttaa puun työstöä sekä lisää työstökoneiden kulumista ja teroitamistarvetta/35/.

Eräässä kokeessa pidettiin papuja sementtipölyssä pölykuormituksella $1,8 \dots 3,8 \text{ g/m}^3 \text{ vrk}$. Tästä oli seurauksena lehtien surkastumista jo kuusi tuntia pölyämisen aloittamisesta sekä lehtien kudosten kuoleminen kahden päivän kuluttua. Toisessa kokeessa pidettiin pienet grape-hedelmän puut hyvin saastuneessa Los Angelesin ilmassa, (smogissa). Tällöin puut pudottivat 36 % lehdistään, kun vastaava prosenttiluku oli 6 silloin, kun puiden kanssa kosketuksiin pääsevä ilma ensin suodatettiin.

3.34 Muita haittavaikutuksia

Näkyvyyden pieneneminen oli historiassa ensimmäinen ulkoilman saastumishavainto. Tämä pieneneminen johtuu valonsäteiden hajaantumisen niiden kohdatessa ilmassa leijuvia hiukkasia.

Pölypitoisen ilman aiheuttamalla maanpinnalle tulevan ultravioletin säteilyn heikkenemisellä on epäedullisia vaikutuksia ihmisiin ja kasveihin.

Ilmassa olevat saasteet aiheuttavat aineellisia vahinkoja

ainakin seuraavista syistä/27/:

- epäpuhtaudet vahingoittavat rakenteita ja rakennuksia,
- ilman saasteet lisäävät metallien korroosiota, aiheuttavat tekstiilien haurastumista, tai vaurioittavat maali- ja lakkapintoja sekä
- epäpuhtaus lisää huomattavasti puhtaanapito- ja huoltokustannuksia, tai vähentää omaisuuden arvoa.

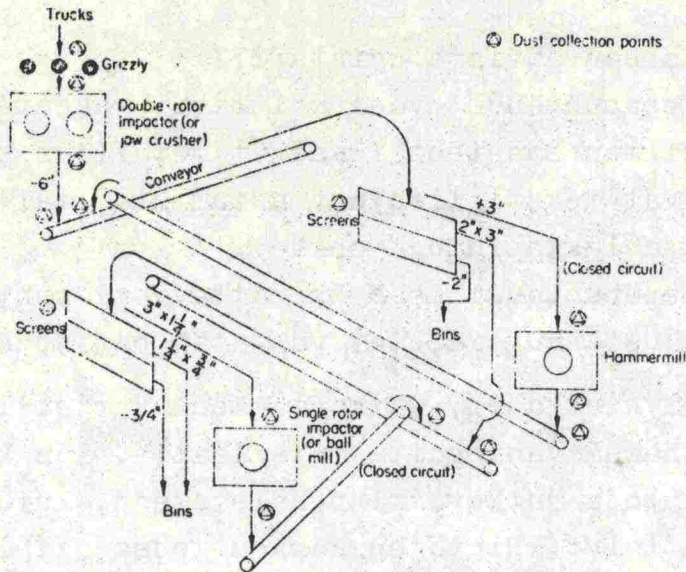
Kivipölyhiukkaset, jotka laskeutuvat erilaisille pinnoille, eivät sinänsä vahingoita materiaalia. Kun kivipölyn peitossa olevia pintoja jatkuvasti puhdistetaan, kuluvat materiaalien pintakäsittelyt. Pintojen karkeutuessa niihin tarttuu helposti korroosion kannalta vaarallisempaa ainetta. Pöly yhdessä jonkun syövyttävän kaasun kanssa edistää metallien korroosiota. Eräs kenttäkoe osoitti, että raudan ruostuminen kosteassa rikkidioksidipitoisessa ilmassa kiihtyy voimakkaasti partikkelijakoisen aineksen läsnäollessa/50/.

Hiukkasjakoisten ainesten kuluttava vaikutus tekstiileihin johtuu suurimmaksi osaksi toistuvista kankaan puhdistusyrytyksistä. Kivihiilipölyä sisältävässä ilmassa suoritettu koe osoitti, että tiheäksi kudottu kangas likaantuu vähiten. Tekstiilin likaantuminen termisen sieppauksen johdosta on todettu olevan suoraan verrannollinen siihen lämpötilaan, jolla kankaan pintalämpötila alittaa ilman lämpötilaa/50/.

3.4 PÖLYLÄHTEET JA PÖLYÄMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Murskausasema muodostaa avonaisen systeemin, jonka pölyämiseen pääsevät vaikuttamaan hyvin monet sekä asemasta että ympäristöolosuhteista johtuvat tekijät. Koska moni asema on väliaikainen, ei rakenneta kiinteätä pölynpoistojärjestelmää, vaan pyritään estämään pölyn syntyä erilaisin keinoin. Eri työvaiheet, joista syntyy pölyä, ovat murskaus, seulonta, kuljetus ja varastointi. Kuvassa 31 on kaaviomainen esitys kivenmurskauslaitoksesta pölylähteineen/50/.

Länsi-Saksassa on suoritettu sorankäsittelylaitoksia ja murskausasemia käsittävä pölytutkimus, jonka tuloksia esitetään kuvassa 32 /9/. Kuvassa on todennäköisyyspaperilla esitetty murskauksessa ja seulonnassa syntyviä ilman pölypitoisuuksia

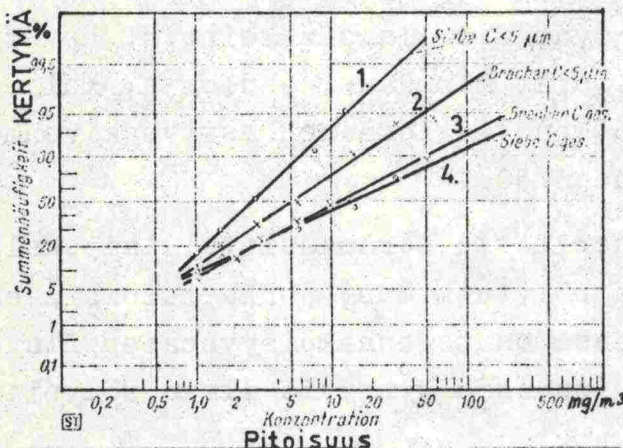


Kuva 31. Kivenmurskauslaitos pölylähteineen.

erikseen kokonaispölymäärille ja hienon pölyn määrille.

Kiven murskauksessa syntyy pölyä, kun muodostuu uusia kivipintoja. Murskaussuhde voi vaihdella 3:1...10:1 ja jauhamisessa suhde voi olla 10:1...50:1. Tarkasteltaessa kuutiota, joka murskataan murskaussuhteella n , syntyy $3(n-1)$ uutta pintaa/12/. On siten odotettavissa, että murskauksessa pölyäminen on suoraan verrannollinen suureeseen $3(n-1)$.

Kiviainesta kuljetettaessa syntyy pölyä, kun siirrytään kuljetustavasta toiseen tai kuljettimesta toiseen. Hihnakuljetin nostaa kiviaineksen korkealle, jonka jälkeen se pudotetaan varastokasaan tai siiloon. Tuuli lajittelee tällöin pois hienoimpia ai-



Kuva 32. Länsi-Saksassa kiviainesten käsittelylaitoksissa mitattuja pölypitoisuuksia.

- 1 = seulat (raekoko < 5 μm)
- 2 = murskaimet (" " ")
- 3 = " (kokonaispöly)
- 4 = seulat (" " ")

neksia ja pölyä kiviaineksen pudotessa vapaasti painovoiman vaikutuksesta.

Murskauslaitoksen pölyemission suuruutta on mahdotonta mitata tarkasti. Jungin arvion mukaan synnyttää sepeliä tuottava asema, jonka teho on 500000 t/v, pölyä n. 500 t/v, eli pölymäärä olisi 1 % koko tuotannosta/18/.

3.5 MURSKAUSASEMILLA KÄYTETYISTÄ PÖLYNPOISTOJÄRJESTELMISTÄ

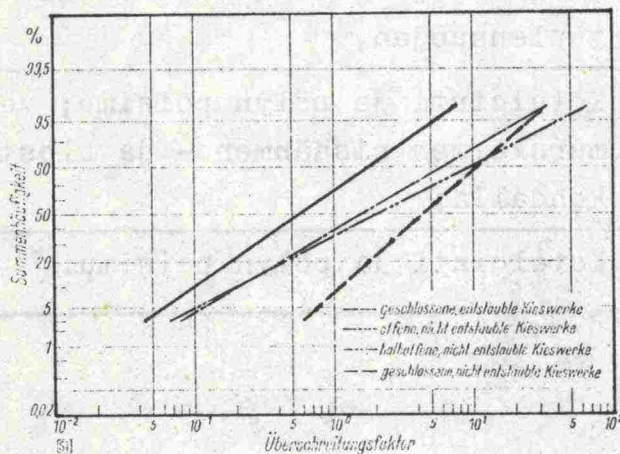
3.51 Yleistä

Murskausaseman pölyntorjunnassa on olemassa kaksi pääperiaatetta

1. Valitsemalla sopiva kiviaineksen käsittelymenetelmä voidaan estää pöly syntymistä (esim. kiviaineksen käsittely vedellä).
2. Suunnittelemalla asema pölynpitäväksi voidaan estää pölyä leviämistä (kotelointi).

Rakenteellisin keinoin on pyrittävä siihen, että kiviaineksen siirrot ja ylimenopaikat supistuvat mahdollisimman vähiin.

Taulukossa 10 on erilaisiin mineraalituotannossa esiintyviin toimintoihin soveltuvat pölyntorjuntamenetelmät Sternin mukaan /50/. Kuvasta 33 ilmenee pölynpoiston vaikutus pölyämiseen saksalaisen tutkimuksen mukaan/9/. Kuvan vaaka-akselilla on mitatun pölykonsentraation suhde sallittuun työpaikkapölykonsentraatioon.



Kuva 33. Pölynpoiston vaikutus työpaikan pölykonsentraatioon.

Taulukko 10. Pölyntorjuntamenetelmät mineraalituotannossa

TOIMINTA	PÖLYNTORJUNTA
<p>A. Louhinta Työmaatiet</p> <p>Louhinta</p> <p>Poraus</p>	<p>Päällystäminen; pölynsidonta öljyllä, vedellä tai kalsiumkloridilla; tien puhdistaminen; kuljetusautojen kattaminen kiviaineksen maahanvalumisen estämiseksi.</p> <p>Kaadon suuruuden kontrolloiminen; veden ruiskutus heti räjähdysen jälkeen; louhitaan vain silloin, kun tuulen suunta ja muut meteorologiset olosuhteet eivät aiheuta ympäristön saastumista; peitetään ennen ampumista. Pöly imetään pois tai sidotaan vedellä.</p>
<p>B. Kuljetus ja varastointi Hihnakuljettimet</p> <p>Varastokasat</p>	<p>Katetaan ja koteloidaan pölylähteet sekä imetään pois tai kostutetaan pöly, kiinnittäen erikoista huomiota kiviaineksen ylimenopaikkoihin.</p> <p>Varastokasa ympäröidään seinillä, kateetaan tai järjestetään muunlaista tuulensuojaa.</p>
<p>C. Murskaaminen</p>	<p>Kotelointi ja pölyn poisimu; vesisuihku murskaimen sisäänmeno- ja ulostuloaukon kohdalla;</p>
<p>D. Seulonta</p>	<p>Kotelointi ja pölyn poisimu.</p>

3.52 Pölyn sidonta vedellä

Taloudellisin pölyn sidonta saavutetaan vettä käyttämällä, mikäli kiviaineksen laatuvaatimukset täyttyvät lisääntyneestä kosteudesta huolimatta. Kiviaineksen vesikäsitteilyllä pyritään pölyä sitomaan vesipisaroihin ja pyritään saamaan kosteat pölyhiukkaset flokkautumaan suuremmiksi laskeutuviksi hiutaleiksi. Vesi on kuitenkin huono kostuttaja johtuen sen suuresta pintajännityksestä. Lisäämällä veteen pintajännitystä pienentäviä aineita saavutetaan seuraavat edut/13/:

- kostutus on nopeampaa ja flokkaus nopeutuu sekä
- samasta vesimäärästä saadaan suurempi määrä pölyä sitovia pisaroita ja niinollen veden kulutus pienenee.

Vesikäsitteilyssä on haittana kostean kiviaineksen tarttumisen seuloihin ja kuljettimiin. On kokeiltu veden ruiskuttamista korkean paineen alaisena, 6...10 atü, ja pieninä määrinä, 10...20 l/h /9/. Kokeissa on osoittautunut, että näin pieni vesimäärä pystyy sitomaan yli puolet pölystä eräissä tapauksissa.

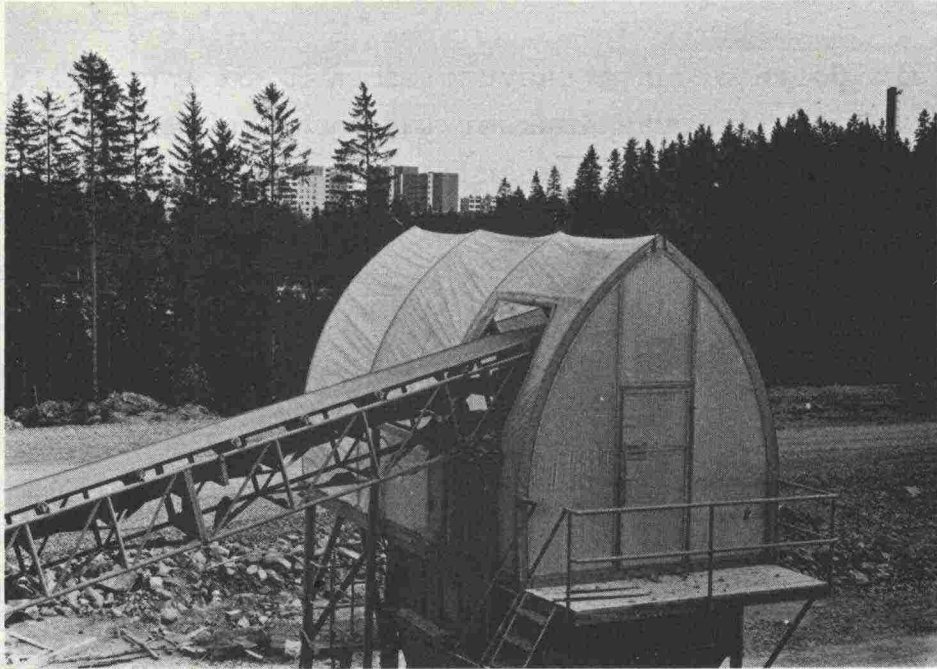
Vettä on syötettävä kiviainekseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta kiviaines ehtii kostua tasaisesti. Jokaisen murskausvaiheen jälkeen syntyy uusia pölyäviä kivipintoja, joten jokaiseen murskaimeen on syötettävä vettä.

Suomalaisissa talviolosuhteissa vesi soveltuu huonosti pölyn sitomisaineeksi. Syötetty vesi jäätyy kiinni koneitten osiin, ja ilmassa olevat vesipisarot jäätyvät, eivätkä pysty sieppaamaan pölyhiukkasia mukaansa. Mikäli pöly koostuu pelkästään hienoisista hiukkasista, on pölyn kostutettava pinta-ala suuri, mistä syystä vedenkulutus kasvaa/13/.

3.53 Pölyntorjunta rakenteellisin keinoin

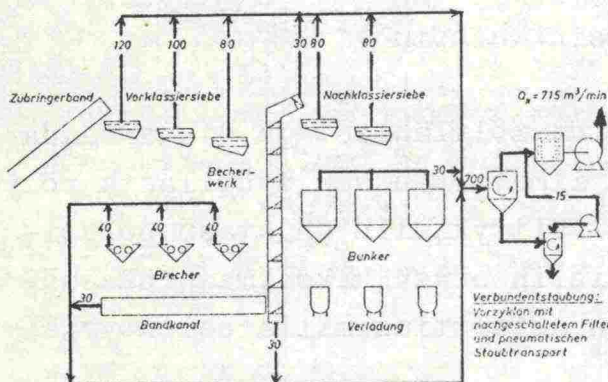
Tässä on pääperiaatteena koteloida pölylähteet ja aikaansaada niihin alipaine. Tämä synnyttää ilmavirtauksen työtilasta pölylähteeseen päin, ja putkistojen välityksellä ohjataan pölypitoinen ilmavirtaus erotuslaitteisiin ennen ulkoilmaan päästämistä. Pölynerottimina käytetään asfalttiasemilla esiintyviä erotintyyppisiä (kts. /35/).

Kysymykseen voi tulla myös pölyävien kohteiden pelkkä peittä-



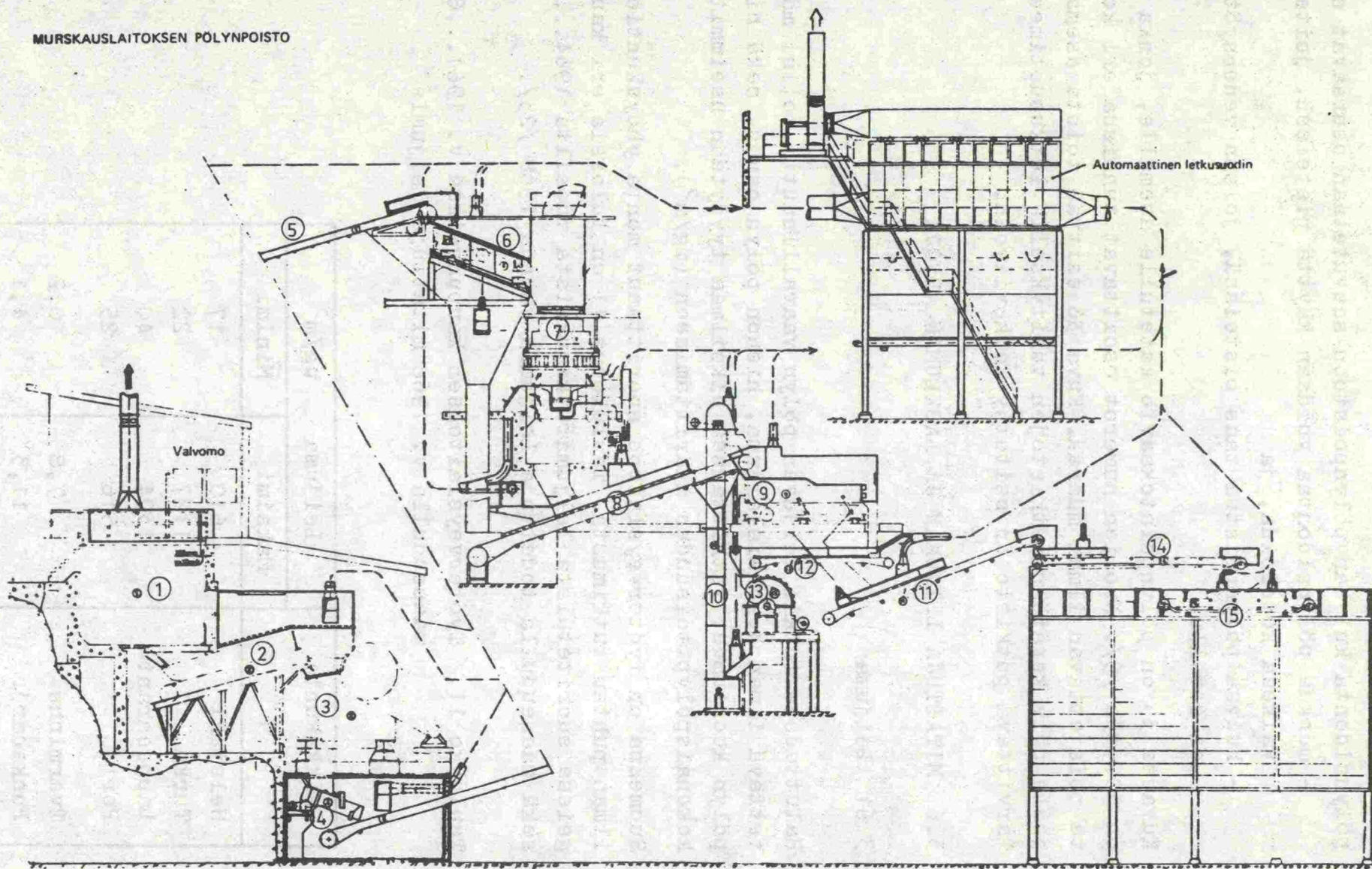
Kuva 34. Pölyn leviämistä estävä muovikupu.

minen ilman poisimua. Kuvan 34 osoittamassa esimerkissä on pölyvä kohde peitetty muovikuvulla. Ruotsissa suoritetussa kokeessa peitettiin ja koteloitiin sisätiloissa olevan murskauslaitoksen kaikki pölylähteet (murskaimet, seulat, kuljettimet) ilmatiiviisti kumimatoilla, joihin tehtiin tarkistusluukut. Ennen tätä pölyntorjuntatoimenpidettä oli pölypitoisuus laitoksessa n. 11 mg/m^3 , ja peittämisen jälkeen pitoisuus oli $0,1 \dots 0,2 \text{ mg/m}^3$ /40/. Samalla kumimatot toimivat tehokkaina ääneneristäjinä. Taloudellisesti ei kannata suunnitella kaikkia pölyviä pisteitä käsittävää pölynpoistojärjestelmää. Kombinoimalla märkä



Kuva 35. Murskauslaitoksen pölynpoistokaavio.

MURSKAUSLAITOKSEN PÖLYNPOISTO



- | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1. Kivisiilo | 6. Seula | 11. Hihnakuuljetin |
| 2. Lamellisytin | 7. Kartiomurskain | 12. Hihnakuuljetin |
| 3. Leukamurskain | 8. Hihnakuuljetin | 13. Vasaramurskain |
| 4. Syotin | 9. Tasoseula | 14. Hihnakuuljetin |
| 5. Hihnakuuljetin | 10. Elevaattori | 15. Hihnakuuljetin |

K u v a 36. Esimerkki pölynpoistojärjestelmästä

pölynsidonta kuivaan pölynpoistoon saavutetaan seuraavat edut:

- märkää pölynsidontaa voidaan käyttää pisteissä, joita on vaikeaa koteloida, ja
- kuivaa pölynpoistoa taas pisteissä, joissa vedensyöttö ei sovellu.

Kuvassa 35 on pölynpoistokaavio katetulle asemalle, jonka teho on 300 t/h /9/. Nuolien numerot osoittavat tunnissa eri kohdilta poistettavan ilman määrää. Kuva 36 esittää toista asemaa, jossa pöly kerätään putkistojen välityksellä letkusuotimeen/37/. Tarvittava putkisto on esitetty katkoviivoin.

3.6 MITATTUJA LEIJUMAN JA LASKEUMAN ARVOJA

3.61 Leijuma

Haluttaessa tutkia leijuvan pölyn vaarallisuutta, olisi määritettävä ilman kokonaisleijuma, hienon pölyn osuus, sekä hienon pölyn koostumus. Tutkittaessa ulkoilmaa tyydytään useimmiten kokonaispölypitoisuuden määrittämiseen (mg/m^3).

Suomessa on Työterveyslaitos suorittanut monta yhdyskuntien ilman puhtaustutkimusta. Taulukossa 11 on tuloksia eri kaupungeissa suoritetuista leijumatutkimuksista vuosilta 1964...68, sekä maaseudulla todettuja leijumia vuonna 1968 /25/.

Taulukko 11. Työterveyslaitoksen kaupungeissa v. 1964...68 ja maaseudulla v. 1968 mitattuja leijumia

Paikkakunta	Leijuma $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Maksimi	Minimi
Helsinki	610	17
Turku	1127	22
Lappeenranta	1304	40
Pori	516	25
Tvärminne	7,8	0,2
Punkaharju	11,3	4,1
Kauhava	5,8	0,4
Sodankylä	3,6	0,2

Taulukko 12. Valimoissa todettuja pölypitoisuuksia

Työvaihe	Kokonaispölypitoisuus	
	mg/m ³	kpl/cm ³
Puhdistus ja hionta	15,4	660
Hiekanvalmistus	23,0	1080
Valu ja muotoilu	8,4	450
Kaikki työvaiheet	11,3	545

Taulukko 13. Sveitsissä ruiskubetonointitöissä mitattuja ilman pölypitoisuuksia

Mittauspaikka	Leijuva pöly mg/m ³	
	Kokonaispöly	Hieno pöly (<5μ)
Ruiskubetonointi	20...150	3...30
Työryhmmään nähden tuulen alapuolella	13....35	6...20

Valimoissa on todettu taulukon 12 osoittamat pölypitoisuudet /45/, ja maanalaisissa ruiskubetonointitöissä on leijuma sveitsiläisten tutkimusten mukaan ollut taulukon 13 osoittama/55/.

3.62 Laskeuma

Mitatun laskeuman suuruus riippuu suuresti käytetystä laskeuma-keräimestä. Tämä seikka vaikeuttaa eri paikoilla, eri laitteilla suoritettujen laskeumamittausten tulosten keskinäistä vertailua.

Asfalttiaseman ympäristössä polyeteenikeräimillä suoritettussa laskeumamittauksessa on Matilainen tuullut taulukon 14 esittämiiin tuloksiin/35/.

Työterveyslaitoksen Helsingissä, Tampereella ja Turussa suoritamissa mittauksissa on laskeuman kuukausikeskiarvo vaihdellut taulukon 15 osoittamalla tavalla/28,30,35/.

Taulukko 14. Asfalttiaseman ympäristössä mitatut laskeumat

Etäisyys asemalta m	Laskeuma g/a,kk	
	Keskiarvo	Hajonta
100	661,3	125,0
200	179,7	90,6
500	69,2	21,3
1000	73,0	24,2
2000	56,4	56,4

Taulukko 15. Eräissä kaupungeissa mitatut keskimääräiset kuukausilaskeumat

Kaupunki	Vuosi	Keskim. lask. g/a,kk
Helsinki	1959...68	224...2443
Tampere	1969	165...1861
Turku	1966	170...2593

3.7 IMISSIONORMEJA

3.71 Yleistä

Ilman puhtausnormien laadintaa tulisi edeltää saasteen aineksien turvallisen peruskuorman selvittäminen. Maailman terveysjärjestö (WHO) on luokitellut ulkoilman saastuneisuutta seuraavasti, ottaen huomioon saasteiden vaikutusta ihmiseen/27/:

Taso IV "Pitoisuudet ja alttiinaoloajat sellaisia, että niistä aiheutuu tietyissä väestöryhmissä akuutteja sairauksia ja hengenmenetyksiä."

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 aistinlinteren ärsyntyntymistä, näkyvyyden pienentymistä tai muiden epämiellyttävyydestekijöiden esiintymistä ja niistä voi aiheutua lieviä haitallisuuksia."

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

Useassa maassa on olemassa normeja toisaalta ulkoilman laadulle, ja toisaalta työpaikoilla sallittaville ilman epäpuhtauksille, ns. MAC-arvoja (Maximum Allowable Concentrations).

3.72 Suomalaisia normeja

Suomessa ei ole virallisia ilman puhtausnormeja. Valtion ilmasuojelun ja meluntorjunnan neuvottelukunta (ISMET) ehdottaa ulkoilman laadun arviointiperusteiksi taulukkojen 16 ja 17 mukaisia luokituksia. Taulukossa 16 on laskeutuvien hiukkasjakoisten ainesten ja taulukossa 17 leijuvien hiukkasjakoisten ainesten luokitukset ja suositukset/61/.

Taulukko 16. ISMET:in laskeutuvia hiukkasjakoisia aineksia koskeva kokonaislaskeumaluokitus ja kokonaislaskeumasuositus

K o k o n a i s l a s k e u m a l u o k i t u s

<u>taso</u>	<u>kuukausilaskeuma (g/a)</u>	<u>arviointi</u>
I	1 ... 200	puhdasilmaista, tai harvaan asuttua verrattain puhdasilmasta perustaso- aluetta kuvaava
II	201 ... 500	lievästi epäpuhdasta, viihtyisän asu- misen 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	yli 1500	suuresti saastunutta, asumisen kan- nalta liian likaista aluetta kuvaava.

K o k o n a i s l a s k e u m a s u o s i t u s

Yhden vuoden kestäneen ilman puhtaustutkimusjakson laskeutuvia kiin-
teitä hiukkasjakoisia aineksia kuvaava kuukauden keskimääräinen mit-
taustulos ei saa siinäkään tapauksessa, ettei se sisällä haitallisuus-
arviointiin vaikuttavassa määrin nk. terveydelle vaarallisia aineita,
ylittää asuntoalueilla tasoa III.

3.73 Ruotsalaisia normeja

Ruotsin ulkoilman imissionormiehdotukset esitetään taulukossa
18 /51,52/.

Taulukko 17. ISMET:in leijuvia hiukkasjakoisia aineksia koskeva leijumaluokitus ja -suositus.

Leijumaluokitus

<u>taso</u>	<u>pitoisuus (mg/Nm³) x)</u>	<u>arviointi</u>
I	0,001 ... 0,05	puhdasilmaista, tai 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	yli 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 siinäkään 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.

Taulukko 18. Ruotsin imissionormiehdotuksia

	<u>g/a,kk</u>	<u>Huomautuksia</u>
Laskeuma- luokitus	200....300	Perustasoalue
	500....800	Asumisen kannalta tyydyttävä alue
	1000...1500	Saastunut alue
	yli 1500	Hyvin saastunut, asumiseen soveltumaton alue
Leijuvaan pölyn rajat	<u>mg/m³</u>	
	0,05...0,07	Vuosikeskiarvo
	0,10	Kuukausikeskiarvo, ei saa ylittää
	0,20	Sallittu korkeintaan 1 vrk/kk
	0,50	30 min. keskiarvo, sallittu korkeintaan 15 kertaa/kk

3.74 Saksalaisia normeja

Länsi-Saksalaisia imissionormeja on koottu taulukkoon 19 ja Itä-Saksalaisia normeja taulukkoon 20 /51...53/.

Taulukko 19. Länsi-Saksalaisia imissionormeja

Laskeuma	Raja g/a,kk	Alue	Huomautuksia
(Löbner laite)	960	Yleinen	Vuosikeskiarvo
	1950	Teoll.alue	Vuosikeskiarvo
	1500	Yleinen	Kuukausikeskiarvo
	3000	Teoll.alue	Kuukausikeskiarvo
Leijuma	Raja mg/m ³	Sall. ylitys	Huomautuksia
	0,045	50 % ajasta/v	Pöly alle 5 u
	0,140	5 % ajasta/v	Pöly alle 5 u
	2,000	1 vrk/10 v	Kokonaispöly
SiO ₂ -pi- toinen pöly (MAC-arvo)	mg/m ³	Huomautuksia	
	1,0	Vapaa SiO ₂ yli 70 %	
	2,0	10 % vapaa SiO ₂	70 %
	3,0	Vapaa SiO ₂ alle 10 %	

Taulukko 20 . Itä-Saksalaisia imissionormeja

Laskeuma	Raja g/a,kk	Huomautuksia	
	1500	Vuosikeskiarvo	
	2000	Kuukausikeskiarvo	
Leijuma	Raja mg/m ³	Huomautuksia	
	0,500	Lyhytaikaisnäyte,harmiton pöly	
	0,150	Pitkäaikaisnäyte,harmiton pöly	
SiO ₂ -pi- toinen pöly (MAC-arvo)	kpl/cm ³	Huomautuksia	
	100	Yli 50 %	vapaa SiO ₂
	250	20...50 %	" "
	500	5...20 %	" "
	800	Alle 5 %	" "

3.75 Amerikkalaisia normeja

USA:n ilman laatustandardit ovat liittohallituksen hyväksymiä osavaltiokohtaisia lainvoimaisia ilman laatua koskevia normeja. Taulukossa 21 on syyskuuhun 1970 mennessä hyväksytyt hiukkaskokoisia aineita koskevia standardeja/29/.

Taulukko 21. Vahvistetut valtiokohtaiset standardit USA:ssa 1970

Ilman laadun tarkkailualue	Valtio	Laatuvaatimus, leijuma ug/m ³			
		1 vuoden k.a.		1 päivä	
		Geom.	Aritm.	Max.	1 %
Washington, D.C.	Virginia	60			
	D.C.		65		140
	Maryland		65	140	
Chicago	Illinois	75		260	200
	Indiana	75		260	200
Philadelphia	Delaware	70		100	
	Pennsylvania	65		195	
	New Jersey	65		195	
Los Angeles	Kalifornia	60		100	
St. Louis	Missouri	75			200
	Illinois	75		260	200
Boston	Mass.	75		180	
Pittsburgh	Pennsylvania	65		195	
San Francisco	Kalifornia	60		100	
Cincinnati	Indiana	75		260	200
	Ohio	65		260	200
	Kentucky	65		220	180
Cleveland	Ohio	65		260	200
Twin Cities	Minnesota	75			200

4. LEIJUVAN PÖLYN MITTAUSLAITTEIT

4.1 YLEISTÄ

Ilman pölypitoisuuden määrittämiseen käytettävät menetelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään/46/:

- gravimetrisiin eli painoanalyttisiin menetelmiin,
- hiukkaspitoisuutta mittaaviin menetelmiin sekä
- epäsuorien mittausmenetelmiin.

Eri mittauslaitteilla saadut tulokset eivät aina ole vertailukelpoisia keskenään. Tärkeintä on kuitenkin, että mittausmenetelmä on vakioitu, ja että sen toistettavuus on hyvä.

4.2 GRAVIMETRISET MITTAUSMENETELMÄT

4.21 Yleistä

Gravimetrisessä pölynmäärityksessä kerätään sopivalla tavalla riittävä määrä pölyä, jonka paino pystytään määrittämään. Kun tunnetaan käsitellyn ilman tilavuus, voidaan siten laskea ilman pölypitoisuus painoyksikköinä tilavuusyksikköä kohti (mg/m^3).

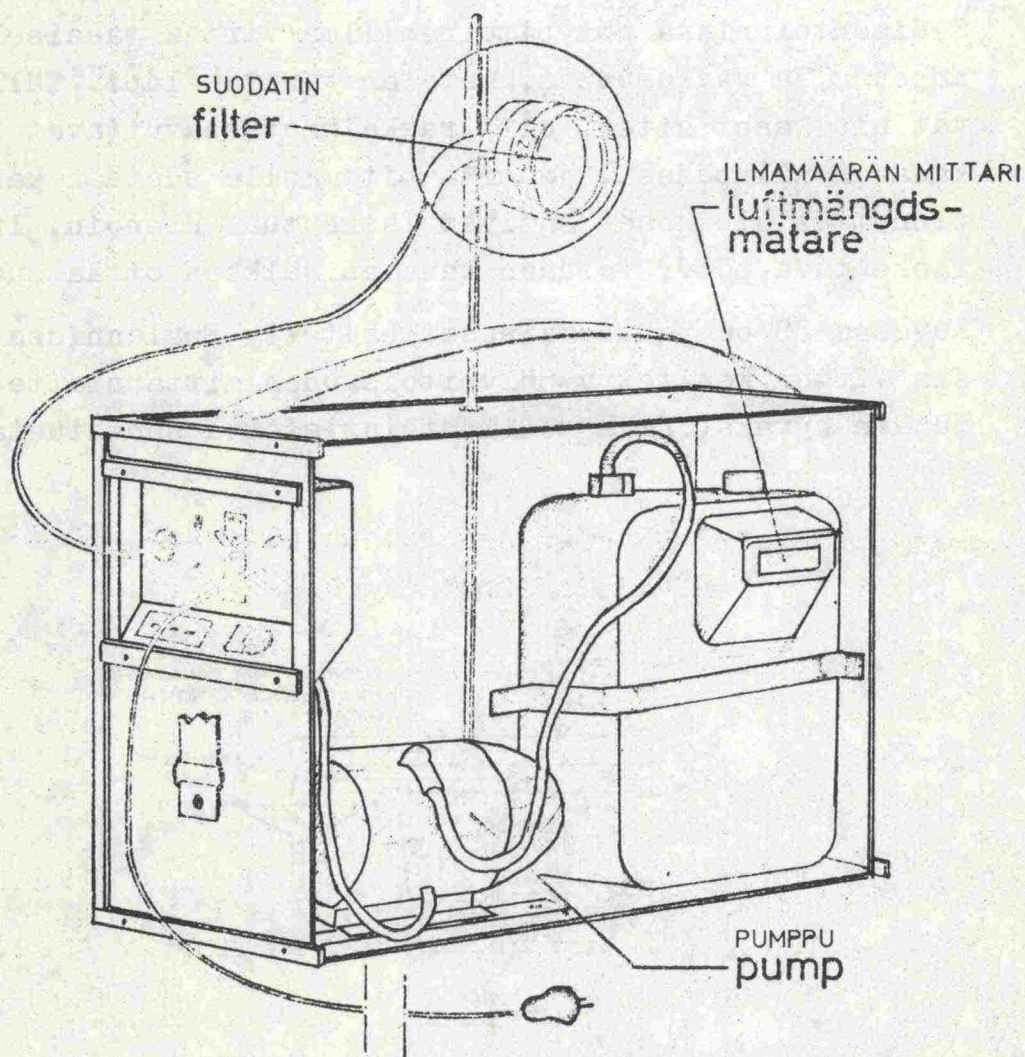
Gravimetristen menetelmien eduista voidaan mainita/46/:

- hyvä vertailukelpoisuus ja toistettavuus,
- näytteiden ottamisen ja tutkimisen yksinkertaisuus,
- pitkä näytteenottoaika ja siten pienempi hajonta mittaus-tuloksissa sekä
- helppo mittauslaitteiden valmistus.

Kun pölyn kokonaispitoisuus määritetään painon perusteella, on haittana karkeiden pölyhiukkasten merkityksen yliarvioiminen. Siten tulokset eivät anna oikeata käsitystä pölyn biologisista haittavaikutuksista. Jotta näitä vaikutuksia pystyttäisiin selvittämään, olisi joko määritettävä jokaisen pölynäytteen rakeisuus tai pöly jaettava jo näytteenoton yhteydessä kahteen osaan ihmisen keuhkoihin pääsevään osaan (alle 5μ), ja keuhkoille vaarattomaan osaan (yli 5μ). Tätä jälkimmäistä mittaustapaa sanotaan kaksiasusteiseksi näytteenotoksi.

4.22 Suodatus

Suodattamiseen perustuvissa mittauslaitteissa kerätään pölynäyte yleensä tasosuodattimelle. Suodatinpaperin aineena voi olla selluloosa, lasikuitu tai muu tekokuitu. Mikäli halutaan tutkia samaaikaisesti myös pölyn rakeisuutta, on käytettävä ns. kalvosuodatinta, joka valmistetaan selluloosa-asetaatista. Tämän suodattimen kaikkien huokosten koko on likimain vakio. Imettäessä ilmaa suodattimen läpi, varautuu tämä, ja ilmavirrasta poistuu myös hiukkasia, jotka ovat huokoskokoaa pienemmät. Jos huokoskoko on $0,8 \mu$, erottaa kalvosuodatin täydellisesti hiukkaset $0,1 \mu$ asti/67/. Kuvassa 37 on esitetty Ruotsin Arbetsmedicinska Institutetin käyttämä leijuvan pöly mittauslaite/67/.



Kuva 37. Ruotsin Arbetsmedicinska Institutetin käyttämä leijuvan pölyn mittauslaite.

Varjopuolina suodattimia käytettäessä painoanalyttisessä mitauksessa on suodattimen vastuksen kasvaminen pölykuormituksen lisääntyessä, ja vaikeus pitää suodattimen paino vakiona, mistä syystä ei varmuudella pystytä määrittämään pieniä pölymääriä. Jungin mukaan pitäisi pölynäytteen suuruuden olla vähintään 1mg/18/.

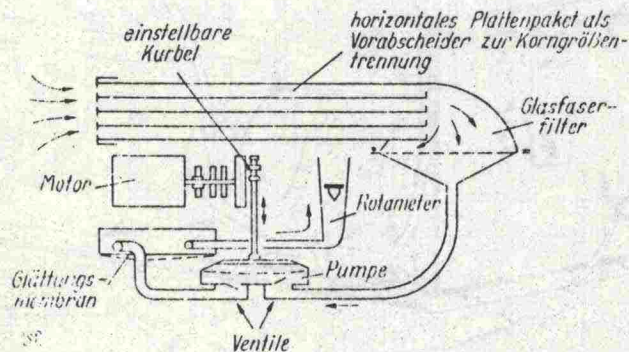
Suodatusta käytetään myös kaksiasteisen näytteenoton yhteydessä hienon pölyn erottamiseen. Ensimmäisenä asteena voi olla sedimentointiyksikkö, sykloni tai impaktori.

4.23 Sedimentointi

Sedimentointia pölyn erottamiseen voidaan käyttää vain suurimpien nopeasti laskeutuvien hiukkasten erottamiseen.

Sedimentoinnissa pölypitoinen ilma virtaa tasaisella, pienellä nopeudella vaakasuoran, matalan kanavan läpi. Tällöin laskeutuvat hiukkaset siten, että raskaimmat saavuttavat kanavan pohjan kanavan alkupäässä, ja mitä pitemmälle edetään kanavassa, sitä pienemmät hiukkaset ehtivät laskeutua. Hienoin, liian hitaasti laskeutuva pöly, voidaan kanavan jälkeen ottaa suodattimelle.

Kuvassa 38 on kaaviomaisesti esitetty Englannissa hiilikaivoksia varten kehitetty pölypitoisuuden mittauslaite, jossa käytetään hyväksi sekä sedimentointia että suodatusta/5/.

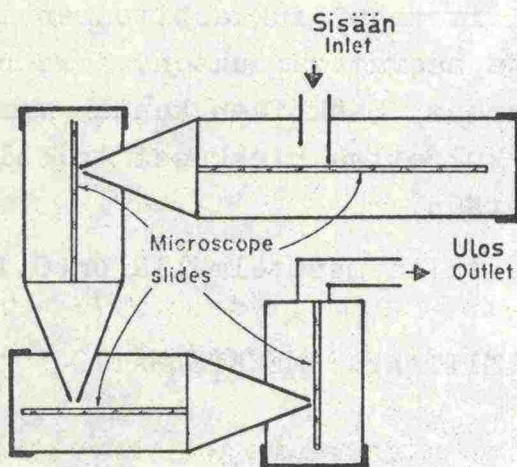


Kuva 38. Hiilikaivoksissa käytetty leijuman mittauslaite.

4.24 Pölypartikkelin hitauteen perustuva menetelmä

Pölypitoisen ilmavirtauksen osuessa suurella nopeudella kohtisuoraan tasaista pintaa vastaan saostuu hiukkasia tälle pinnalle. Tämä ilmiö johtuu ilmavirtauksen äkkinäisestä suunnan muutoksesta ja hiukkasten hitaudesta. Mitä suuremmalla nopeudella ilmavirtaus kohtaa pinnan, sitä pienemmät hiukkaset poistuvat virtauksesta.

Ns. kaskadi-impaktori (engl. cascade impactor) toimii yllämainitun periaatteen mukaisesti. Tässä laitteessa ilma virtaa neljän peräkkäisen suuttimen kautta (kuva 39), joiden poikkileikkauspinta-ala pienenee virtauksen suunnassa. Tästä on seurauksena nopeuden kasvu jokaisen suuttimen jälkeen, koska läpivirtaava ilmamäärä pidetään vakiona. Hyvin lähellä kohtisuoraan

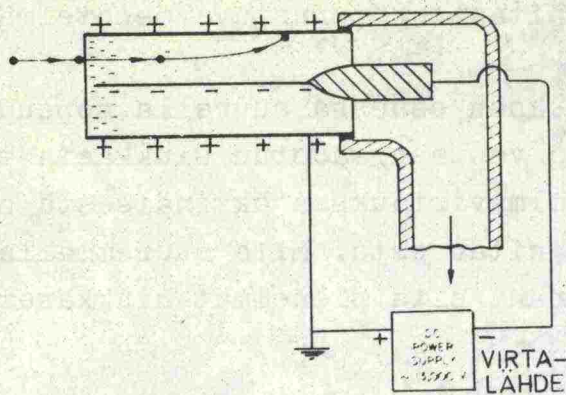


Kuva 39. Kaskadi-impaktorin kaaviokuva.

jokaista suutinta vastaan on lasilevy, jolle saostuneet (impacted) hiukkaset kerätään. Lasilevy sivellään tarttuvalla aineella hiukkasten kiinnittämiseksi. Tällä laitteella saadaan siis pölynäyte jaetuksi neljään karkeaan fraktioon, ja suodatimelle otetaan hienoin pöly, jonka raekoko on alle n. 2μ .

4.25 Elektrostaattinen saostus (engl. electrostatic precipitation)

Elektrostaattinen saostus on erittäin tehokas keräysmenetelmä leijuvan pölyn hiukkaskoon ollessa $0,01 \dots 10 \mu$. Kuva 40 esittää



Kuva 40. Elektrostaattinen saostaja.

laitteen keräyspään rakenteen. Siinä suuri jännitepotentiaali, n. 13000 V, ylläpidetään kahden elektrodin välillä, joista toisena toimii toisesta päästä avonainen putki ja toisena putkeen keskeisesti asennettu ionisoituva lanka. Langasta vapautuu ioneja, ja kun laitteen läpi imetään hiukkaspitoinen ilma, hiukkaset törmäävät ioneihin ja saavat varauksen, joka on samaa polariteettia kuin langan varaus. Sähköisen kentän varattuihin hiukkasiin kohdistuva voima kuljettaa hiukkaset toiselle elektrodille, johon hiukkaset kerätään.

Maksimaalinen keräysteho tällä menetelmällä on $0,1 \dots 0,2 \text{ m}^3/\text{min}$

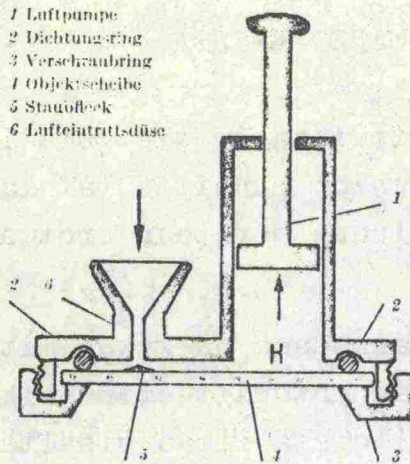
4.3 HIUKKASPITOISUUTTA MITTAAVAT MENETELMÄT

4.31 Gessnerin kammio

Yksinkertaisimpia pölymittauslaitteita on ns. Gessnerin kammio. Se koostuu tulitikkurasian kokoisesta metallikappaleesta, jonka keskelle on porattu reikä tilavuudeltaan 5 cm^3 . Reiän päät voidaan sulkea laitteeseen kuuluvilla levyillä. Mitattaessa liikutetaan laitetta edestakaisin tutkittavassa ilmassa, jonka jälkeen päät suljetaan levyillä. Pitämällä laite tämän jälkeen n. tunnin ajan vaakasuorassa asennossa ehtivät yli 2μ kokoiset partikkelit laskeutua toiselle kansilevyille, josta mikroskooppisella voidaan laskea partikkelit.

4.32 Konimetri

Konimetrin pääosat ilmenevät laitteen kaaviokuvasta 41. Siinä voidaan erottaa: ilmapumppu (1), lasinen pölynäytteen keräys-



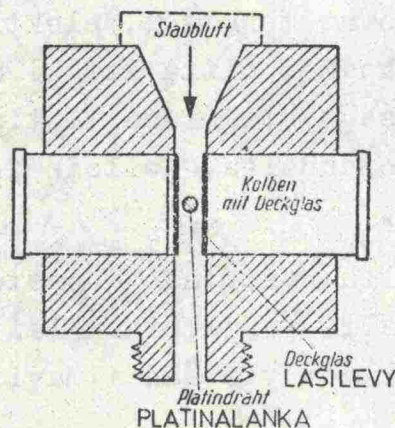
Kuva 41. Konimetrin periaatekuva.

- 1. Ilmapumppu
- 4. Keräyslevy
- 6. Suutin

levy (4) ja suutin (6). Pumpulla, joka voidaan asettaa tietylle ilmamäärälle (muutama cm^3), imetään ilmaa laitteeseen suuttimen 6 kautta. Virrattuaan suuttimen kautta ilma syöksyy suurella nopeudella, 100...200 m/s, lasilevyä 4 vastaan, ja muuttaa sen jälkeen suuntansa jyrkästi sivullepäin. Ilmassa olevat hiukkaset poistuvat tällöin virtauksesta jääden lasilevylle (vrt. 4.24).

4.33 Terminen saostus (engl. thermal precipitation)

Termisessä saostuksessa toimintaperiaate on samantapainen kuin elektrostaattisessa saostuksessa. Hiukkaspitoisessa ilmassa sijaitseva kuuma kappale kehittää ympärilleen hiukkasvapaan vyöhykkeen. Termisessä pölykeräyslaitteessa liikkuvat kerätyn ilman partikkelit kuuman langan ohitse, ja työntyvät lähellä olevaan levyyn, johon partikkelit kerätään (kuva 42). Tämän menetelmän erotustehokkuus on melkein 100 %:nen hiukkaskokoalueella 0,001...5 μ . Laitteen varjopuolena on hyvin pieni keräysteho, 10...50 cm^3/min .



Kuva 42. Termisen saostajan keräyspään rakenne.

4.4 EPÄSUORISTA MITTAUSMENETELMISTÄ

Edellä selostetuissa laitteissa on tietystä ilmatilavuudesta erotettu pöly, joka sitten on punnittu tai laskettu. Epäsuorissa menetelmissä pölypitoisuus mitataan erottamatta pölyä tutkittavasta ilmasta.

Fotometrisessa pölynmittauksessa on kaksi mittauseriaa:

- mitataan valonsäteen intensiteetin heikkeneminen sen kulkiessa hiukkaspitoista ilmaa sisältävän mittauskammion läpi tai
- mitataan valonsäteen suunnan muutos, joka johtuu heijastumisesta ja taittumisesta hiukkasten pinnoista.

Optinen pölypitoisuuden määrittäminen on hyvin nopea.

Epäsuorien mittauseriöiden varjopuolena on, että jokaiselle pölylajille on laadittava oma kalibrointikäyrä.

4.5 IMISSIOMITTAUSLAITTEIDEN KALIBROINNISTA

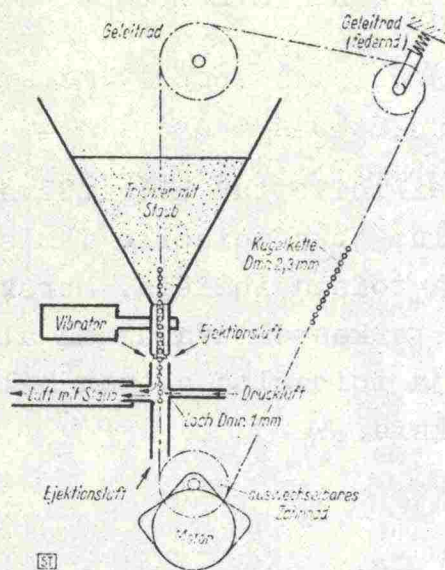
Kalibroitaessa imissiomittauslaitetta on vaikein ongelma tunnetun testiaerosolin valmistaminen. Aerosolin seuraavien ominaisuuksien on pysyttävä vakioina kalibroinnin aikana:

- massakonsentraatio (mg/m^3),
- partikkelien keskikoko sekä
- partikkelikoon hajonta.

Käyttämällä tehdasvalmisteisia testipölyjä tarvitsee huolehtia vain oikeasta pölyn massakonsentraatiosta.

Tunnetun aerosolin ylläpitämiseksi suunniteltu systeemi voi olla joko staattinen tai dynaaminen/50/. Staattiseksi sanotaan koejärjestelyä, jossa tietty määrä testipölyä lisätään tiettyyn eristettyyn ilmatilavuuteen ja missä tilassa kokeet suoritetaan. Häiritsevinä tekijöinä ovat termiset, elektrostaattiset ja difuusiovoimat sekä painovoima, mitkä kaikki muuttavat aerosolin koostumusta. Dynaamisessa systeemissä testiaerosoli virtaa koetilän läpi tasaisella nopeudella, jolloin ilmavirtaus edistää aerosolin sekoittumista.

Kuvassa 43 on laite, jolla pystytään annostelemaan hyvin pieniä pölymääriä/6/. Paineilmalla puhalletaan laitteen annostelema tunnettu pölymäärä koetilaan vievään ilmavirtaan.



Kuva 43. Testipölyn annostelulaite.

Imissiomittauslaitteen erotustehokkuus voidaan määrittää absoluuttisesti tai suhteellisesti. Absoluuttisessa määrittäyksessä oletetaan testiaerosoli täysin tunnetuksi ja voidaan siten imetyt ilmamäärän ja laitteeseen jääneen pölymäärän perusteella laskea erotustehokkuus.

Suurempaan tarkkuuteen päästään, kun tutkittavan laitteen antamia tuloksia verrataan toisen hyvin tarkan mittauslaitteen samoissa olosuhteissa antamiin tuloksiin. Tällöin eivät testiaerosolin koostumuksessa tapahtuvat muutokset vaikuta kalibroinnin tulokseen.

Terminen pölypitoisuuden mittauslaite (vrt. 4.33) soveltuu suuren erotustehokkuutensa ansiosta hyvin vertailulaitteeksi.

5. MURSKAUSAASEMAN MELUSTA

5.1 YLEISTÄ

Meluksi sanotaan kaikkea ei-toivottua häiritsevää ääntä. Tämän määritelmän mukaan voi melu, joka toiselle ihmiselle tuottaa suurta nautintoa, ärsyttää toista ihmistä. Murskausaseman melua tutkittaessa on toisaalta tarkasteltava asema-alueen melua työturvallisuuden kannalta, ja toisaalta aseman melun ympäristölle aiheuttamia haittavaikutuksia.

5.2 ÄÄNIOPIN PERUSTEITA

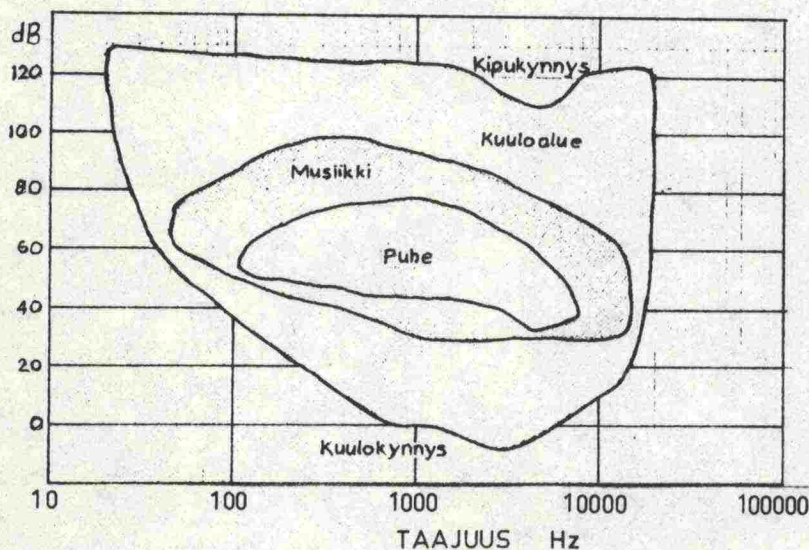
Kun ilmassa pitkittäisen aaltoliikkeen taajuus on rajojen 16...20000 Hz välillä, aistii ihmiskorva tätä liikettä äänenä. Kuvassa 44 on esitetty korvan toiminta-alue taajuuden ja äänitason funktiona/31/. Kipukynnykseksi sanotaan sitä alinta äänitason tasoa, joka aiheuttaa kipuaistimuksen. Kipukynnys on n. 130 dB.

5.3 ÄÄNITASO JA ÄÄNEN VOIMAKKUUS

Äänitaso määritellään seuraavasti:

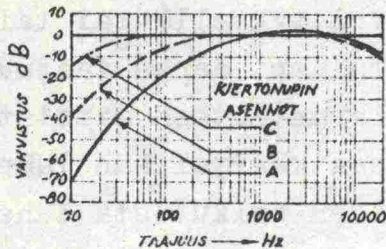
$$L_p = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB} \quad (4)$$

$$L_p = \text{äänitaso}, \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$



Kuva 44. Ihmiskorvan toiminta-alueet.

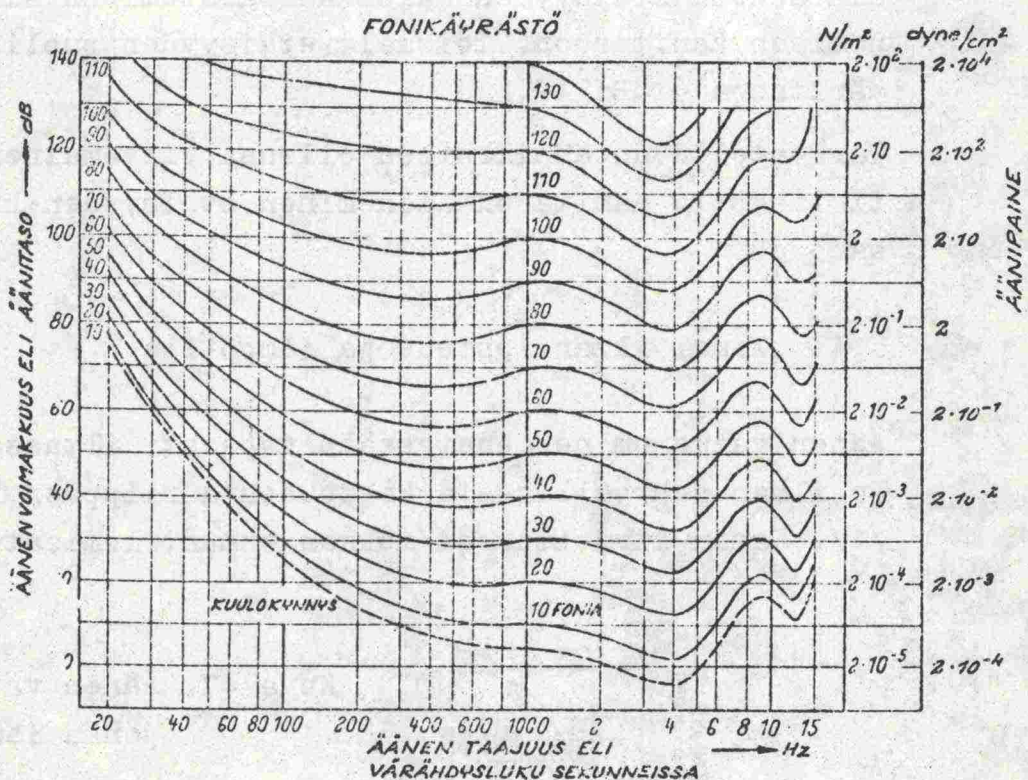
Äänitason yksikkö on desibeli (dB), joka on dimensioton luku, jotta mitattu äänitaso vastaisi ihmiskorvan aistimusta äänestä, on kehitetty melunmittareissa käytettäviä painottavia suodattimia A, B, C ja D (kuva 45 /24/). Nykyään äänitaso ilmoitetaan



Kuva 45. Painottavien suodattimien vahvistuskäyriä.

yleensä dB(A):na. Tämä tarkoittaa, että on käytetty kuvan 45 käyrän A mukaisesti painottavaa suodatinta. Jos annetaan äänen kaikkien taajuuksien vaikuttaa yhtä paljon mitattuun äänitason, merkitään näin saatu äänitaso dB(lin):llä.

Äänen voimakkuus ilmoitetaan foneina. Foniasteikko on määritelty siten, että se puhtaalla äänellä taajuusarvolla 1000 Hz yhtyy äänitason. Jos äänitaso tunnetaan, saadaan äänen voimakkuus isofonikäyrien avulla (kuva 46 /24/).



Kuva 46. Kansainvälisen standardisoimisjärjestön hyväksymä puhtaan äänen fonikäyrästä.

5.4 ÄÄNEN ETENEMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

5.41 Yleistä

Ääni voi edetä kahden pisteen välillä suoraviivaisesti, heijastuen kiinteiden esteiden välityksellä tai taipuen. Taipuminen on sitä suurempi, mitä matalampi äänen taajuus on, sekä riippuu vielä etenemissuunnassa olevan esteen mitoista verrattuina äänen aallonpituuteen. Seuraavassa käsitellään lähemmin topografisten ja meteorologisten tekijöiden vaikutusta äänen etenemiseen.

5.42 Etäisyys

Olkoon piste A etäisyydellä r ja piste B etäisyydellä x äänilähteestä, sekä L_A ja L_B äänitasot näissä pisteissä. Silloin saadaan ns. etäisyyslain mukaan äänitasojen erotukseksi, kun kysymyksessä on pistemäinen äänilähde:

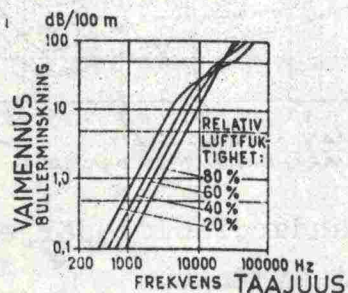
$$L_A - L_B = 20 \log \frac{x}{r} \quad \text{dB} \quad (5)$$

Jos esimerkiksi $x = 2r$, tulee äänitasojen erotukseksi 6 dB. Toisin sanoen etäisyyden kaksinkertaistuminen aiheuttaa 6 dB:n alenemisen äänitasoon. Toisaalta etäisyyden puoliintuminen nostaa äänitasoa 6 dB:llä.

Tarkasteltavan äänilähteen ollessa viivamainen on teoreettisesti laskettu äänitason aleneminen etäisyyden kaksinkertaistuksessa 3 dB.

5.43 Ilma, ilman kosteus ja lämpötila

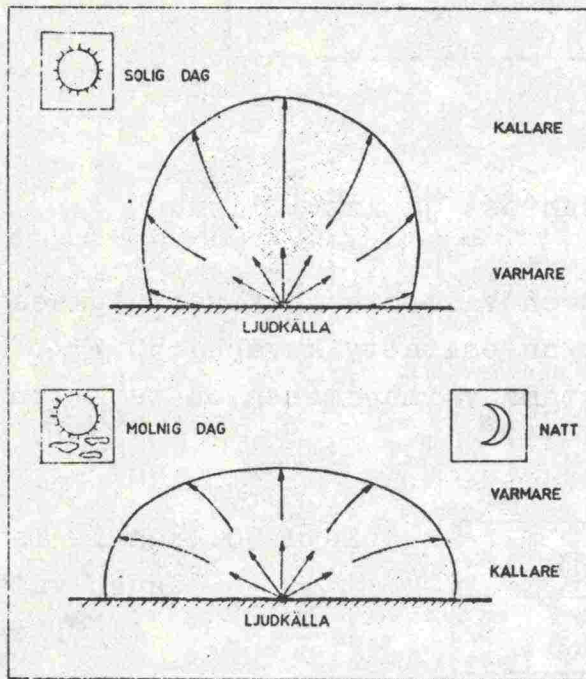
Äänen vaimeneminen edetessään vapaasti ilmassa on taajuudesta ja ilman suhteellisesta kosteudesta riippuen kuvan 47 mukainen. /1/. Saman kirjoituksen mukaan sumun, lumisateen ja vesisateen



Kuva 47. Äänen vaimeneminen ilmassa, jonka lämpötila on 20 °C.

aiheuttama vaimeneminen on 2...8 dB/km 1000 Hz taajuudella.

Ilman lämpötilan vaikutus äänen etenemiseen on hyvin pieni, mutta lämpötilaerot eri ilmakerrosten välillä voivat aiheuttaa ääniaaltojen taipumisen. Päivällä, kun lämpötila laskee maanpinnasta lasketun korkeuden kasvaessa, taipuvat ääniaallot ylöspäin, ja yöllä lämpötilajakautuman ollessa päinvastainen tai-



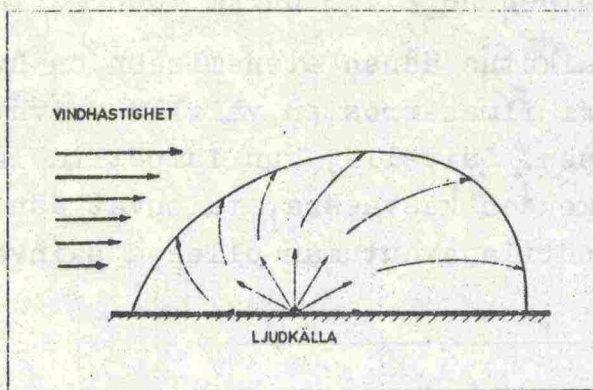
Kuva 48. Lämpötilagradientin vaikutus äänen leviämiseen.

puvat ääniaallot alaspäin (kuva 48). Öisin voivat siten viistosti ylöspäin lähtevät aallot ylittää esteitä ja taipua maanpintaa kohti saavuttaen maanpinnan ja häiriintyvän kohteen vasta pitkän matkan päästä.

5.44 Tuuli

Normaalisti tuulen nopeus kasvaa korkeuden kasvaessa. Tuulta vastaan etenevät ääniaallot taipuvat siten ylöspäin, ja tuulen suunnassa etenevät aallot taipuvat alaspäin (kuva 49 /8/). Tuulella ei ole vaikutusta kohtisuoraan tuulen suuntaa vastaan eteneviin ääniaaltoihin.

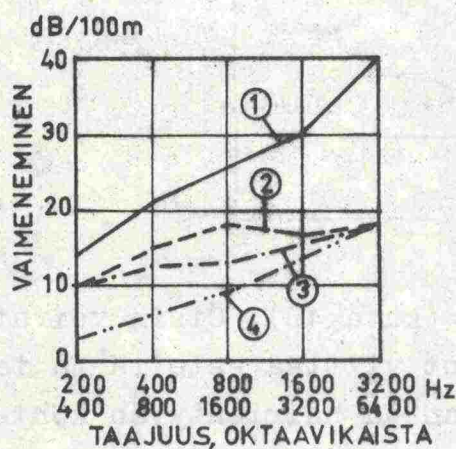
Elvhammarin ja Ingemanssonin mukaan voidaan 10 m/s tuulen nopeudella laskea, että äänitaso on n. 2 dB korkeampi tuulen alapuolella, ja 5...10 dB matalampi tuulen yläpuolella. Äänen turbulenssista aiheutuva vaimeneminen voi olla jopa 20 dB/100m /8/.



Kuva 49. Ääniaaltojen taipuminen tuulen vaikutuksesta.

5.45 Maasto-olosuhteet ja kasvillisuus

Erään kasvillisuuden vaimentavasta vaikutuksesta suoritetun tutkimuksen tulokset on esitetty kuvassa 50 /1/. Metsitetyn suoja-
vyöhykkeen aiheuttama vaimeneminen on tutkittu kuvan 51 mukai-



Kuva 50. Kasvillisuuden aiheuttama äänen vaimeneminen.

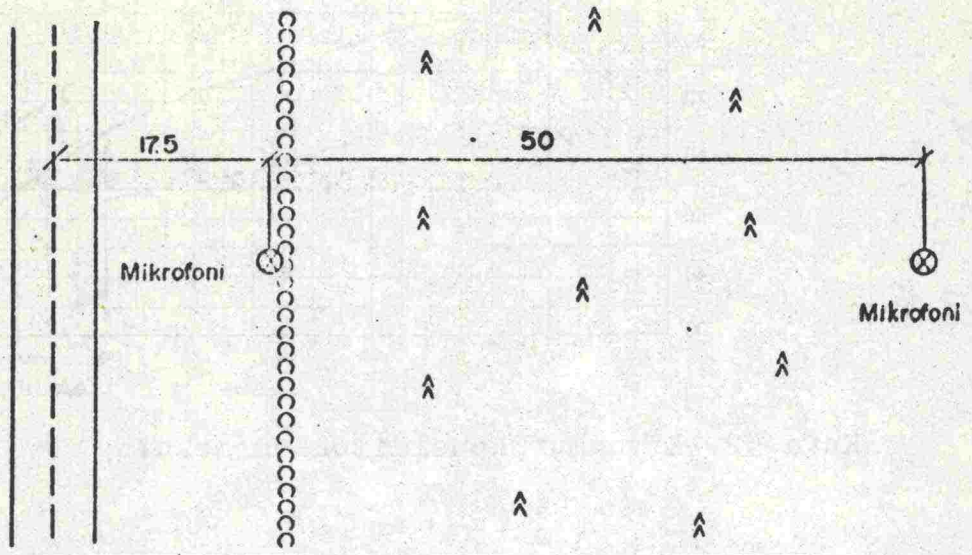
1. Tiheä pensaikko
2. Kuusimetsä
3. Mäntymetsä
4. Lehtimetsä

sella järjestelyllä. 50 m matkalla tapahtuva liikenteen melun vaimeneminen on TVH:n suorittamissa tutkimuksissa saatu taulukon 22 mukaiseksi/57/.

Käyttämällä hyväksi maaston tarjoamia esteitä voidaan meluavan toiminnan sijoittamisessa osittain estää melun suoraviivaista etenemistä häiriintyviin kohteisiin.

Taulukko 22. Metsän aiheuttama vaimeneminen 50 m matkalla, dB(A)

Ajoneuvotyyppi	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	8	-2	1,9
Raskas auto	7	1	4,3



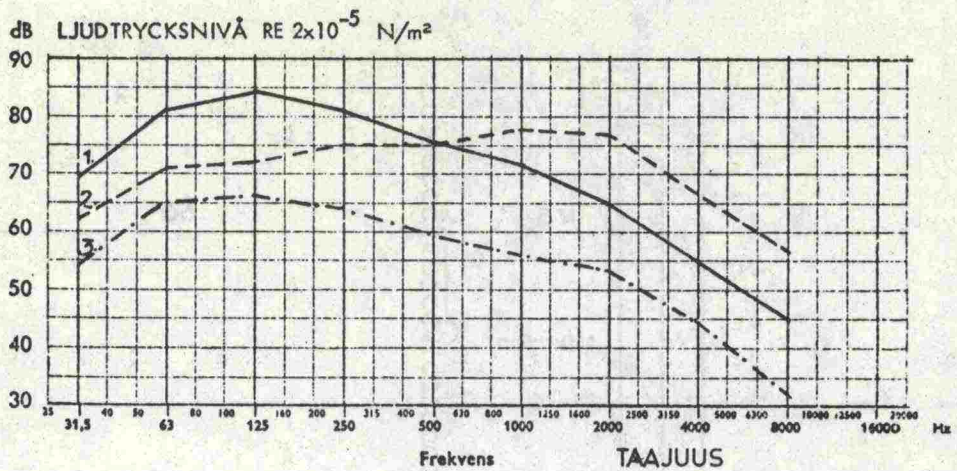
Kuva 51. Metsän vaimennuksen mittaaminen.

5.5 MURSKAUSASEMAN MELULÄHTEET

Murskausaseman melu koostuu varsinaisesta murskaus- ja seulontakoneistosta lähtevästä melusta sekä kuormauskoneista ja kuorma-autoista lähtevästä melusta. Tarkasteltaessa asemaa kaukaa, voidaan sitä pitää pistemäisenä melulähteenä, jossa murskausmelu on määräävänä.

Ruotsissa suoritetun murskauslaitoksen melunmittauksen tuloksia on esitetty kuvassa 52 /14/. Kuvassa eri käyrät kuvaavat seuraavaa:

		dB(A)	dB(lin)
Käyrä 1	150 m päässä murskaimesta, seulat pysäytettyinä	78	88
Käyrä 2	50 m päässä lähimmästä seulasta	81	83
Käyrä 3	50 m päässä lähimmästä seulasta tyhjäkäynnillä	61	70



Kuva 52. Kivenmurskauslaitoksen melu.

5.6 MELUN VAIKUTUS IHMISEEN

5.61 Yleistä

Melun häiritsevyys ja rasittavuus riippuu seuraavista tekijöistä/24/:

- korvan aistimiskyvystä ja kuulon yksilöllisestä kunnosta,
- ihmisen terveydentilasta ja rasittuneisuudesta,
- melun voimakkaimmista äänikomponenteista ja melun kokonaisvoimakkuudesta,
- ihmisen tekemän työn laadusta ja vuorokauden ajasta,
- ympäristö- eli taustamelun ja paikallisen melun voimakkuuden keskinäisestä suhteesta sekä
- melun kestoajasta.

Melun vaikutus ihmiseen on joko psyykinen tai fyysinen.

5.62 Psyykkiset vaikutukset

Psyykkisinä vaikutuksina voidaan pitää viestinnän vaikeutumista, suorituskyvyn alenemista ja psyykkisen tasapainon häiriintymistä. Jos melu on voimakkaampaa kuin puhe, tilannetta sanotaan puheen maskeeraamiseksi. Puheen tyydyttävän ymmärtämisen kannalta suurin keskustelijoiden välinen etäisyys eri melutasoilla on esitetty taulukossa 23 /36/.

Taulukko 23. Melun aiheuttama puheen maskeeraaminen

Melutaso dB(A)	Keskustelijain välinen suurin etäisyys [m]	
	Normaali puhe	Korostettu puhe
42...43	7	14
47...48	4	8
52...53	2,2	4,5
57...58	1,3	2,5
62...63	0,7	1,4
67...68	0,4	0,8
72...73	0,22	0,45

Tutkimuksissa on voitu osoittaa suorituskyvyn nousu melutason alenemisen jälkeisenä aikana. Jo n. 50 dB(A) melu vaikuttaa negatiivisesti ihmisen kykyyn suorittaa yksinkertaisia laskutoimituksia. Kokeissa on todettu yli 90 dB(A) melutasojen aiheuttavan huomattavan nousun työssä tehtyjen virheiden lukumäärässä/14/.

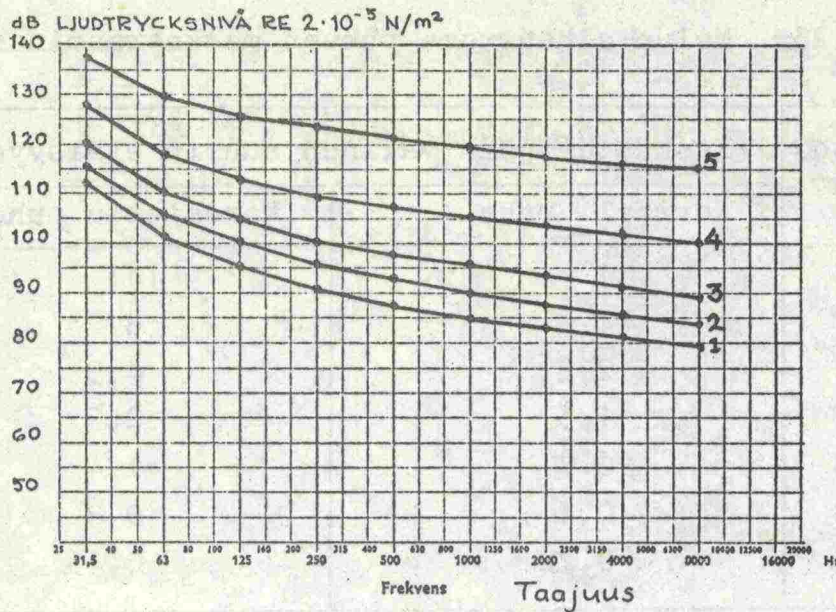
Melusta aiheutuva unen häiriintyminen riippuu mm. melun voimakkuudesta, taajuudesta, melutason vaihteluista sekä subjektiivisista tekijöistä. Venäläisissä tutkimuksissa on 35 dB(A) osoittautunut likimääräiseksi melurajaksi nukahtamisen kannalta/36/.

5.63 Fyysiset vaikutukset

Tähän ryhmään luetaan kuulon vaurioituminen ja vegetatiiviset häiriöt. Kuulovamman kehittymiseen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät/34/:

- henkilökohtainen melunsietämiskyky,
- melun jaksolukukokoomus sekä
- seikka, onko melu jatkuvaa tai katkovaa.

Kuvassa 53 on esitetty melun kestoajan ja taajuuden funktiona melutaso, jonka ylittämisessä on olemassa kuulovian syntymisen riski/14/.



Kuva 53. Kuulovian syntymisen riski melun kestoajan ja taajuuden funktiona.

5.7 SÄÄDÖKSIÄ JA NORMEJA

5.71 Työpaikkamelu

Valtioneuvoston päätöksen mukaan on työntekijöiden kuulo tarkistettava vähintään kerran kolmessa vuodessa melun voimakkuuden ollessa 85...105 dB.

Taulukossa 24 on amerikkalaisia rajoja työpaikkamelulle ja sen kestoajalle/56/.

Taulukko 24. Amerikkalaisia työpaikkojen melurajoja

Äänitaso dB(A)	Kesto-aika/päivä korkeint. h	Äänitaso dB(A)	Kesto-aika/päivä korkeint. h
90	8	102	1,5
92	6	105	1
95	4	110	0,5
97	3	115	0,25
100	2		

5.72 Liikennemelu

Liikenneministeriön päätöksen mukaan ovat ajoneuvojen suurimmat sallitut melutasot maassamme taulukon 25 mukaiset/33/.

Taulukko 25. Moottoriajoneuvojen suurimmat sallitut melutasot dB(A) 7,5 m päästä mitattuna

Henkilöauto	84
Muu auto, jonka suurin sallittu kokonaispaino on enintään 3500 kg	85
Muu auto, jonka suurin sallittu kokonaispaino on enemmän kuin 3500 kg	89
Kuorma-, linja- tai erikoisauto, jonka moottorin teho on suurempi kuin 200 DIN-hevosvoimaa	92
Moottoripyörä, moottorin tyypistä ja tilavuudesta riippuen	75...86

5.73 Asuntojen melu

Suomessa ei ole voimassa virallisia ulkopuolisen melun rajoja. Helsingin maistraatti on vahvistanut kaupungin alueella noudatettaviksi "Rakennustarkastajien ohjeet", jotka osaksi perustuvat "Ääneneristysnormit RIL 55":een (taulukko 26 /54/).

Taulukko 26. RIL:in ääneneristysnormien melurajat, dB(A)

Huonelaji		yöllä	päivällä
Asuinhuoneisto	Asuinhuone	30	35
	Keittiö	35	40
Toimisto- ja lii- kehuoneisto	Työhuone	40	40
	Hoitolaitos	Potilashuone	30
Hotelli	Vierashuone	35	40
Koulu	Luokkahuone	-	40

5.8 TYÖPAIKKOJEN JA LIIKENTEEEN MITATTUJA MELUTASOJA

5.81 Työpaikoilla mitattuja meluja

Taulukossa 27 on muutamien työpaikkojen meluja/32/.

Taulukko 27. Eräitä työpaikkojen meluja

Mittauskohde		A-äänitaso	Meluluokka oktaaveissa
		dB(A)	500 Hz...2 kHz NR
Kaivos, nostokone	a	87	85
	b	95	93
	c	96	93
	d	105	102
Kaivos, kalliopora- kone	a	117	112
	b	123	120
	c	114	109
Paperikoneen viiran imutela	a	103	100
	b	103	102
	c	96	91
	d	97	92
Kutomasali	a	100	97
	b	93	90
	c	105	102
	d	103	100
	e	108	106
Kirjapainosali	a	96	90
	b	89	85
	c	92	88
Kirjapainon mono- typevalimo	a	94	90
	b	101	95
	c	99	94
Höyryvoimalaitoksen turbiinisali	a	94	91
	b	89	84
	c	89	84
	d	91	89
Pienen moottorilai- van konehuone	a	92	88
	b	105	102
	c	112	109
	d	113	110

5.82 Liikennemeluja

Taulukossa 28 on Suomessa ja Ruotsissa mitattuja liikennevälineiden melutasoja/36/.

Taulukko 28. Suomessa kadunreunassa ja Ruotsissa n. 7 m päässä ajoneuvosta mitattuja liikennevälineiden meluja

Kulkuneuvo	Suomi dB(A)	Ruotsi dB(C)
Henkilöauto	75	82 ± 4
Linja-auto	85	88 ± 3
Kuorma-auto	80	
Kuorma-auto + pv.	85	
Kevyt kuorma-auto		82 ± 4
Raskas kuorma-auto		93 ± 5

5.9 MURSKAUSMELUN TORJUNNASTA

Melulähteen ympäristöölle aiheuttamaa haittaa voidaan pienentää seuraavilla tavoilla:

1. Melulähteen akustista tehoa pienennetään.
2. Melulähteen ja vastaanottajan välistä eristystä lisätään.
3. Melusta häiriintyvä kohde suojataan tai koteloidaan.

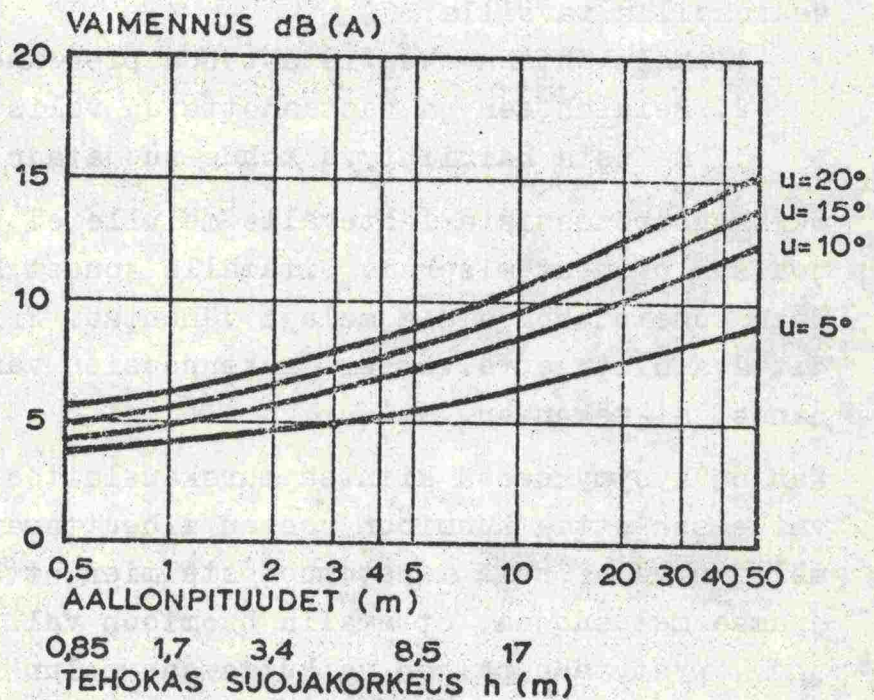
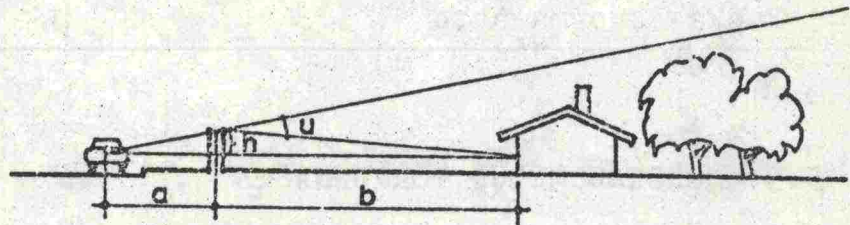
Murskausprosessista lähtevälle melulle ei pystytä tekemään paljoa sen pienentämiseksi. Pitämällä koneet hyvässä kunnossa voidaan koneistokohtaisia meluja vähentää. Erityisesti on huolehdittava siitä, etteivät eri rakenneosien värähtelyt pääse resonanssiin keskenään.

Kun on kysymyksessä kiinteä murskauslaitos, pitäisi jo kaavoitusvaiheessa ottaa huomioon aseman aiheuttamat meluhaitat. Käyttämällä hyväksi sekä maastomuodostelmien että kasvillisuuden tarjoamaa melusuojaa, ottamalla huomioon vallitsevia tuulen suuntia jne., pystytään paljon vaikuttamaan melun leviämismahdollisuuksiin ympäristöön.

Tehokkaimpana meluntorjunnan keinona voitaneen pitää melulähteen eristämistä. Murskausasemalla on monta melulähdettä laajalla

alueella. Tämä seikka vaikeuttaa melulähteiden eristämistä, koska jokainen meluava yksikkö jouduttaisiin koteloimaan erikseen. Kiinteä murskauslaitos sijaitsee usein raaka-ainelähteen montun pohjalla, jolloin melun suoraviivainen leviäminen ympäröivään alueeseen estyy. Väliaikainen murskausasema on useimmiten maan tasossa, joten melu pääsee esteettä leviämään joka suuntaan. Niin ollen olisi kiinnitettävä enemmän huomiota viimeksimainittujen asemien meluntorjuntaan, koska esimerkiksi tienrakennustöiden yhteydessä murskausasema tuodaan joskus lähelle asutusta.

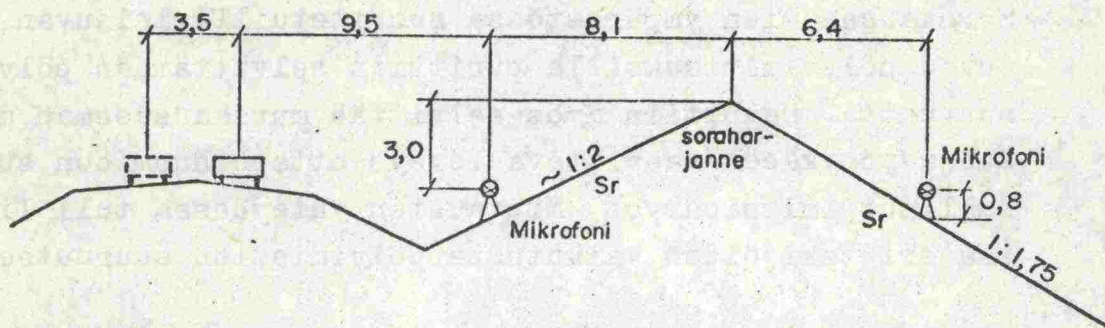
Ellei maasto tarjoa tarpeeksi melusuojaa, voidaan aseman ympäristöä rakentaa suojavaalleja, esimerkiksi varastokasojen muodossa. Kuva 54 esittää suojaesteen vaikutuksen melun vaimennukseen suojaes-



Kuva 54. Vaimennus h(m) korkean suojaesteen takana, u on esteen yläreunasta äänilähteeseen ja äänen vastaanottajaan vedettyjen suorien välinen kulma.

teen korkeuden ja häiriintyvän pisteen aseman funktiona/41/.

Soraharjanteen varjovaikutusta liikennemeluun on tutkittu kuvan 55 mukaisella järjestelyllä/57/. Tämän tutkimuksen tulokset ovat taulukossa 29. Tuloksista on jo vähennetty etäisyysalenneminen olettaen äänilähde pistemäiseksi



Kuva 55. Soraharjanteen varjovaikutuksen mittaaminen.

Taulukko 29. Kuvan 55 esittämän soraharjanteen varjovaikutus
 a) lähemmältä kaistalta,
 b) kauemmalta kaistalta tulevaan meluun nähden

Ajoneuvotyyppi	Suurin arvo		Pienin arvo		Keskiarvo	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)
Kevyt auto	22	21	7	10	15,7	14,7
Raskas auto	22	21	13	10	16,9	16,4

II MURSKAUSASEMILLA SUORITETUISTA PÖLYN - JA MELUNMITTAUKSISTA

1. PÖLYIMISSIION MITTAUKSESTA

1.1 JOHDANTO

Murskausasemien ympäristössä suoritetuilla leijuvan ja laskeutuvan pölyn mittauksilla pyrittiin selvittämään pölyimission suuruutta. Haluttiin myös selvittää murskausaseman mahdollisen suojavyöhykkeen vaadittava leveys ottaen huomioon suosituksissa sallitut imissioarvot. Mittausten yhteydessä tuli lisäksi tutkia eri tekijöiden vaikutusta pölyimission suuruuteen.

1.2 LEIJUVAN PÖLYNMITTAUKSESTA

1.21 Mittauslaitteet

1.211 Yleistä

Mittaukset suoritettiin gravimetrisellä mittauslaitteella. Siinä kerätään suodatinpaperille laitteen läpi imetyn ilman pöly (vrt. I 4.22). Tällä imissiomittauslaitteella ei mittausvaiheessa pystytä jakamaan pölynäytettä karkeaan ja hienoon osaan, toisin sanoen näytteenotto on yksiasteinen. Kun imetty ilmatilavuus mitätään ja kerätty pöly punnitaan, voidaan määrittää ilman leijuvan pölyn kokonaiskonsentraatio painoyksikköinä tilavuusyksikköä kohti (mg/m^3).

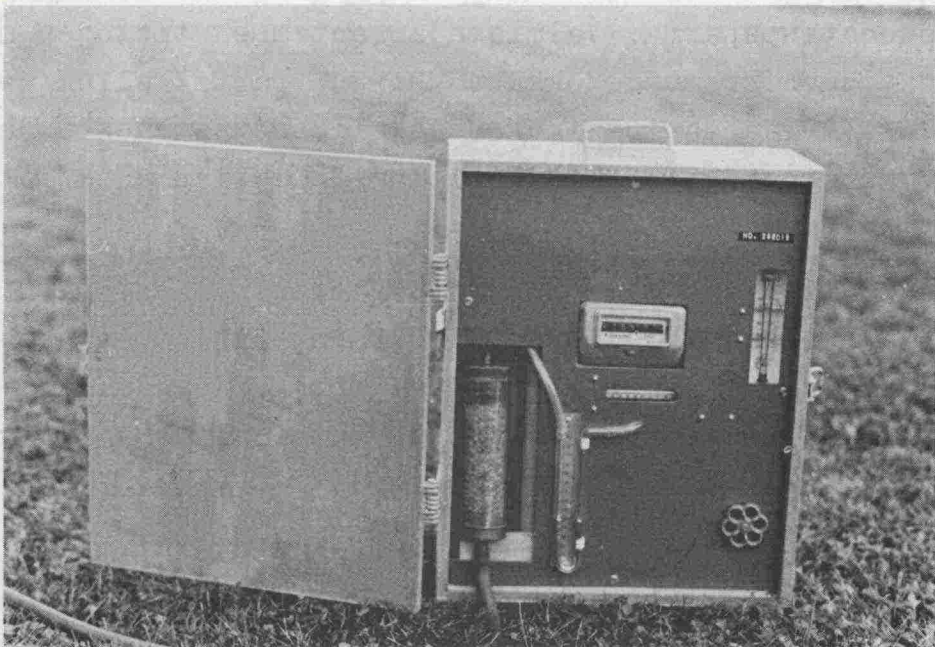
1.212 Laitteiston rakenne

Mittauslaitteisto kokonaisuudessaan on esitetty kuvassa 1 ja mittariosa lähikuvana kuvassa 2. Laitteiston periaatteellinen rakenne ilmenee kuvasta 3. Laitteen eri osat ovat:

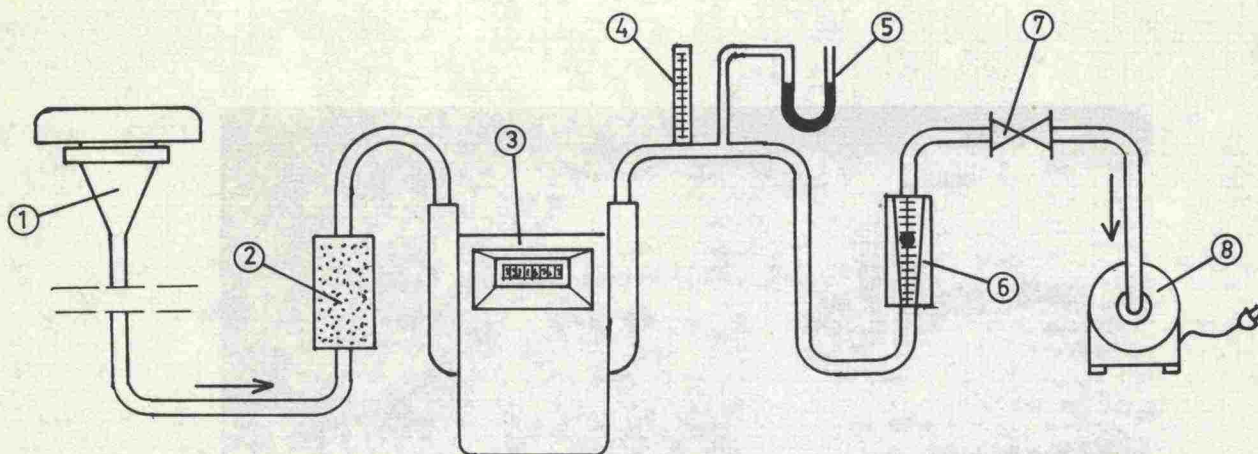
- suppilonmuotoinen ilman keräyspää suodatinpapereineen (1),
- ilman kosteutta poistava silikageeliyksikkö (2),
- yhteenlaskeva kaasumittari, mittausalue $0,3 \dots 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ (3),
- lämpömittari, jolla mitataan kaasumittarista tulevan ilman lämpötila (4),



Kuva 1. Mittauslaitteiston yleiskuva.



Kuva 2. Mittauslaitteiston mittariosa.



Kuva 3. Mittauslaitteiston kaaviokuva.

- U-putkimanometri, joka ilmoittaa kaasumittarista tulevan ilmavirran staattisen paineen (5),
- virtausmittari, mittausalue $1...3 \text{ m}^3/\text{h}$ (6),
- portaaton säätöventtiili (7) sekä
- pölynimuri (8).

1.213 Käytetyt suodatinmateriaalit

1.2131 Lasikuitusuodatinpaperi

Varsinaisissa kenttämittauksissa käytettiin Whatman GF/A-tyyppistä lasikuitusuodatinpaperia. Valmistajan antamien tietojen mukaan on tämän suodattimen erotustehokkuus 99,92 % partikkelien keskikoon ollessa $0,6 \mu$. Eräässä tutkimuksessa oli erotustehokkuudeksi saatu 99,4 %, kun testipölyn hiukkasista 90 % oli pienempiä kuin $0,2 \mu$ /5/.

Lasikuitusuodattimesta ei pystytä tutkimaan hienon pölyn rakeisuutta. Tämä johtuu siitä, että n. $0,25 \text{ mm}$ paksuiseen suodatinpaperiin tunkeutuvat hiukkaset jäävät eri korkeusasemiin, eikä hiukkasia niinollen mikroskooppisessa tutkimuksessa pystytä yhtä aikaa fokusoimaan.

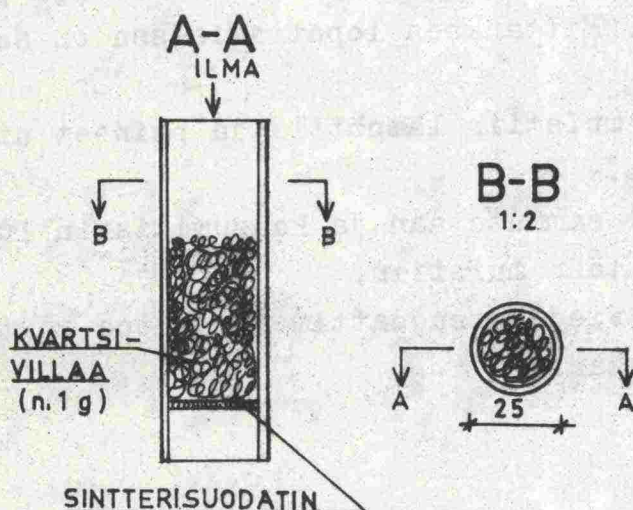
Ennen käyttöä puhtaat suodattimet numeroitiin, kuivatettiin 12 tuntia 105°C lämpötilassa, jäädytettiin 1 tunti eksikaattorissa, ja punnittiin vasta näiden vaiheiden jälkeen. Kuivatus, jäädytys ja punnitus suoritettiin samalla tavalla käytön jälkeen.

1.2132 Kvartsivilla

Kuvan 4 mukaisella suodatinrakenteella suoritettiin vertailevia kokeita lasikuitusuodattimen kanssa (vrt. 1.216). Suodattavana aineena oli n. 1g kvartsivillaa lasiputkeen sullottuna. Putken toisessa päässä oli sintterisuodatin kvartsivillan tukena. Tätä suodatinta kuivatettiin, jäädytettiin ja punnittiin samalla tavalla kuin lasikuitusuodatinta.

Kvartsivillasuodatin osoittautui soveltumattomaksi seuraavista syistä:

1. Koska lasivillaa sullottiin putkeen käsin, oli vaikeata saada aikaan homogeenista suodatinta. Eri mittauskerroilla saadut tulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia, kun suodattimen erotustehokkuus saattaa vaihdella eri kerroilla.
2. Virtausvastus kasvoi hyvin suureksi. Jos imetään ilmaa $1 \text{ m}^3/\text{h}$, on virtausnopeus lasikuitusuodattimen läpi vain n. $3,5 \text{ cm/s}$ (suodattavan osan läpimitta 10 cm), ja kvartsivillan läpi n. 70 cm/s (putken sisäläpimitta n. $2,2 \text{ cm}$). Suuresta nopeudesta ja paksusta kvartsivillakerroksesta johtuen kasvoi vastus, ja käytetyllä imurilla päästiin vain n. $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ keräystehoon.
3. Kvartsivillasuodattimen paino ei pysynyt vakiona. Kokeiluissa todettiin suodattimen painon vähentyneen $0,7 \dots 1,2 \text{ mg}$ 15 minuutin imun jälkeen. Siksi suodattimet esimettiin 20 minuuttia ennen punnitusta ja käyttöä.



Kuva 4. Kvartsivillasuodattimen rakenne.

1.214 Mittauslaitteiston käyttökuntoon saattaminen ja mittauksen lopettaminen

Kenttämittauksissa tulevat kysymykseen seuraavat mittauspaikall suoritettavat valmistelut:

1. Laitteiston mittariosan u-putkimanometri täytetään puoleksi elohopealla, ja kosteudenpoistoyksikkö täytetään kuivatetulla silikageelilla.
2. Keräyspään osat puhdistetaan pölystä ja asetetaan punnitus suodatin paikoilleen pinseteillä. Keräyspää pystytetään niin, että keräyskorkeudeksi tulee n. 1,5 m.
3. Kumiletkulla liitetään keräyspää mittariosan sisäänmenopuoleen, ja pölynimurin imupää liitetään mittariosan ulostulopuoleen.
4. Mittauslaitteiston ilmatiiviys tarkistetaan seuraavasti: Pölynimuri käynnistetään ja heti keräyspään jälkeen puristetaan sormilla kumiletkua niin, että ilmavirtaus estyy. Mikäli laitteiston liitokset ovat ilmatiiviit, pysähtyy kaasumittarin laskulaite.
5. Merkitään muistiin kellonaika ja kaasumittarin lukema. Käynnistetään pölynimuri ja säädetään venttiilillä haluttu imunopeus.
6. Noin 10 minuuttia mittauksen alkamisesta merkitään muistiin kaasumittarista tulevan ilman lämpötila ja u-putkimanometrin ilmoittama kaasumittarin jälkeinen staattinen paine sekä vielä ulkoinen ilmapaine.

Näiden vaiheiden jälkeen laitteisto saa pyöriä 1...4 tuntia riippuen tutkittavan ilman pölypitoisuudesta ja pölynäytteen halutusta koosta. Mittauksen lopettamisessa on seuraavat vaiheet:

1. Merkitään muistiin lämpötila ja paineet niinkuin edellä kohdassa 6.
2. Pölynimuri sammutetaan ja kaasumittarin lukema ja kellonaika merkitään muistiin.
3. Keräyspää viedään suodattimen vaihtoa varten pölyvapaaseen paikkaan.

1.215 Laskelmat

Ilman pölypitoisuus ilmoitetaan milligrammoina ilman normaali-kuutiometriä kohti (mg/Nm^3). Ilma on normaalitilassa, kun se on kuiva, sen lämpötila on 0°C , ja ilmaan kohdistuva paine on 760 mmHg.

Imetty ilmatilavuus (V) voidaan korjata normaalitilavuuteen (V_0) kaavan (1) avulla/20/:

$$V_0 = V \times 0,359 \frac{B + p_{st}}{273 + t} \times \frac{0,804}{0,804 + w_0} \quad \text{Nm}^3 \quad (1)$$

jossa B = ulkoinen ilmapaine mmHg

p_{st} = staattinen paine kaasumittarin jälkeen mmHg

t = imetyn ilman lämpötila kaasumittarin jälkeen mmHg

w_0 = imetyn ilman kosteuspitoisuus kg/Nm^3

Kosteutta poistettiin läpi-imetystä ilmasta, joten on oletettu, että ilman kosteuspitoisuus kaasumittarissa = 0. Kuvassa 5 on diagramma tilavuuden korjaamiseksi normaalitilavuuteen, kun tunnetaan $B+p_{st}$ ja t sekä $w_0=0$. Diagrammasta saadaan kerroin k , joka on (yhtälö 2):

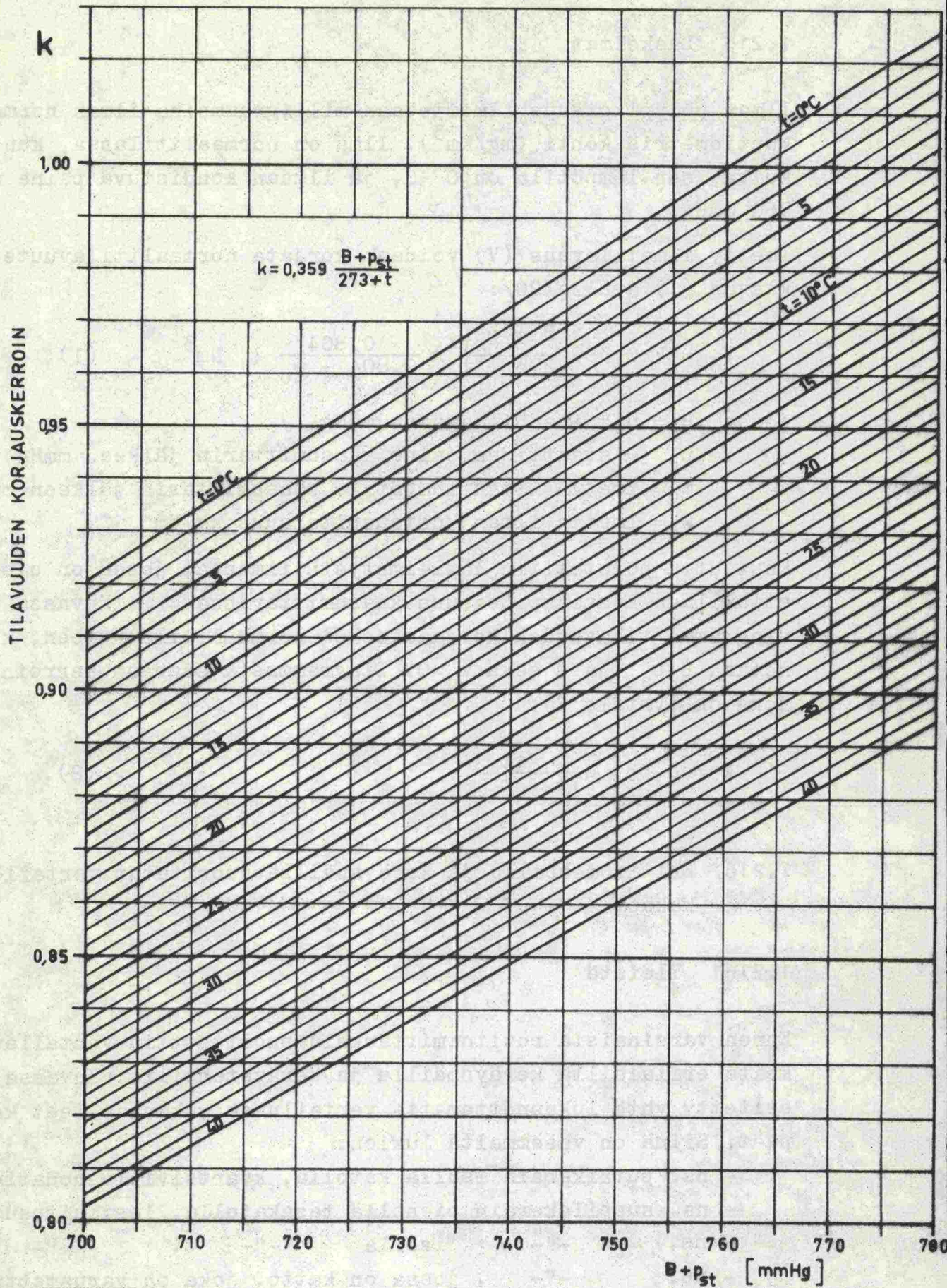
$$k = 0,359 \frac{B + p_{st}}{273 + t} \quad (2).$$

1.216 Eri imutehoilla ja keräyspäillä suoritetut vertailevat kokeet

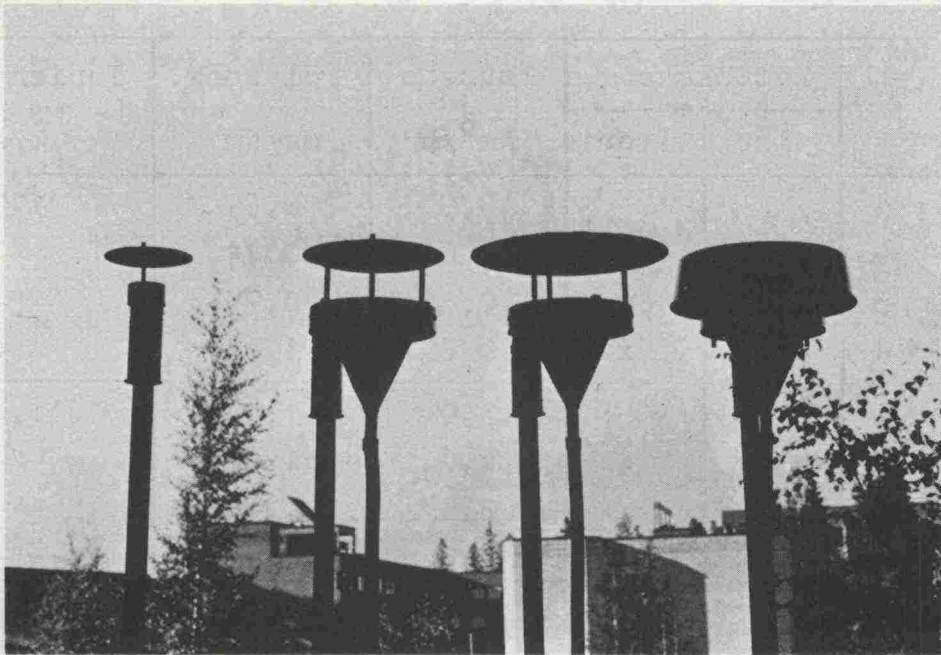
1.2161 Yleistä

Ennen varsinaisia rutiinimittauksia suoritettiin vertailevia kokeita erilaisilla keräyspäillä ja keräystehoilla. Kuvassa 6 on esitetty yhtä lukuunottamatta vertailussa mukana olleet keräyspäät. Siinä on vasemmalta lukien:

- ns. putkikeräin isolla katolla, kvartsivillasuodatin,
- ns. suppilokeräin pienellä tasakatolla, lasikuitusuodatin,
- ns. "- isolla "- , "- ,
- ns. "- , jossa on katto, joka on varustettu alaspäin käännettyillä reunoilla.



Kuva 5. Nomogrammi tilavuuden korjauskertoimen k määrittämiseksi



Kuva 6. Vertailumittauksissa käytettyjä keräyspäitä.

Näiden lisäksi tulee vielä putkikeräin pienemmällä katolla.

Vertailumittaukset suoritettiin samalla murskausasemalla n. 60 m päässä asemasta. Neljä mittauslaitetta asetettiin riviin 2,5...3 m keskinäisin välein, jotta olosuhteet ja pölypitoisuudet joka laitteen kohdalla olisivat likipitään samanlaiset. Näissä kokeilumittauksissa ei kiinnitetty huomiota pölykonsentraation absoluuttiseen arvoon, vaan pelkästään eri mittauspäillä ja -tehoilla suoritettujen mittausten antamien tulosten eroavaisuuksiin.

1.2162 Keräyspään kattokoon vaikutus

Taulukkoon 1 on koottu tulokset kattokokojen vaikutuksen tutkimuksista.

Putkikeräimillä mitattiin selvästi pienemmät pitoisuudet isolla katolla kuin mitä mitattiin pientä kattoa käytettäessä. Tämä tukee otaksumaa, että isommalla katolla on suurin suodattimeen pääsevä hiukkanen pienempi kuin vastaava hiukkanen pienemmällä katolla. Suppilokeräimen kohdalla oli katon koon vaikutus päinvastainen, mutta suhteellisesti paljon pienempi.

Taulukko 1. Keräyspään katon koon vaikutus mittaustulokseen

Keräin	Kattokoko		Imuteho Nm ³ /h	Pölykons. mg/Nm ³	Tuulen nop. m/s	
	Iso	Pieni				
Putki- keräin	1	x	0,9	0,59	1,7	
	2	x	0,6	0,74	"-	
	3		x	0,8	0,95	"-
	4		x	0,6	1,07	"-
Suppilo- keräin	1	x	3,0	1,77	1,4	
	2	x	2,7	1,82	"-	
	3		x	2,9	1,66	"-
	4		x	3,0	1,67	"-

1.2163 Vertailu putkikeräin-suppilokeräin

Taulukossa 2 on tulokset keräyspäiden keskinäisestä vertailusta. Putkikeräimillä mitattu pölykonsentraatio oli ensimmäisessä taulukon 2 mittauksessa keskimäärin vain 46 % suppilokeräimellä mitattusta vastaavasta arvosta. Arveltiin eron johtuvan imutehojen suuresta erosta ja siitä, että kvartsivillasta mahdollisesti lähti irtonaista ainesta imun aikana. Toisessa mittauksessa imettiin sekä suppilo- että putkikeräinten kautta samalla teholla ja kvartsivillasuodattimet esi-imettiin laboratoriossa 20 minuutin ajan ennen punnitusta. Nämä toimenpiteet eivät kuitenkaan muut-

Taulukko 2. Suppilo- ja putkikeräinten vertailumittaukset

Keräin	Kattokoko		Imuteho Nm ³ /h	Pölykons. mg/Nm ³	Tuulen nop. m/s
	Iso	Pieni			
Mittaus I					
Suppilok. 1		x	2,9	0,60	1,1
"- 2		x	3,0	0,58	"-
Putkik. 3		x	0,6	0,25	"-
"- 4		x	0,7	0,28	"-
Mittaus II					
Suppilok. 1	x		1,0	2,70	1,6
"- 2	x		0,9	2,89	"-
Putkik. 3	x		0,9	0,96	"-
"- 4	x		0,9	1,28	"-

taneet tilannetta. Tulosten eroavaisuuksiin saattaa vaikuttaa suuri ero sisäänvirtausnopeuksissa (vrt. 1.2132), mikä aiheuttaa pölyhiukkasten erilaista käyttäytymistä keräyspään ympärillä. Näiden kokeiden jälkeen siirryttiin kokeilemaan pelkästään suppilokeräimellä.

1.2164 Ainoastaan suppilokeräimellä suoritettut kokeet

Suppilokeräimellä suoritettiin kokeita kolmella eri kattotyyppillä (kuva 6) imutehon vaihdellessa 0,1...3 Nm³/m. Taulukossa 3 ovat tulokset pienellä ja isolla tasakatolla, eri imutehoilla suoritetuista kokeista. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on ilmoitettu mittauksen eri imutehojen antamien konsentraatioiden suhde saman mittaussarjan suurimman imutehon antamaan konsentraatioon. Tämän suhteen riippuvuus imutehosta on kuvassa 7 a, b esitetty käyrien muodossa taulukossa 3 oleville mittaustuloksille. Käyristä ilmenee, että mittaustulos voimakkaasti riippuu imutehosta siten, että tehon pienentyessä tulokseksi saatu pö- pitoisuus kasvaa. Tämä on ristiriidassa Stokesin lain kanssa. Suuremmalla imuteholla pitäisi suurehkoidenkin hiukkasten siep-

Taulukko 3. Isolla ja pienellä tasakatolla suoritettut kokeet

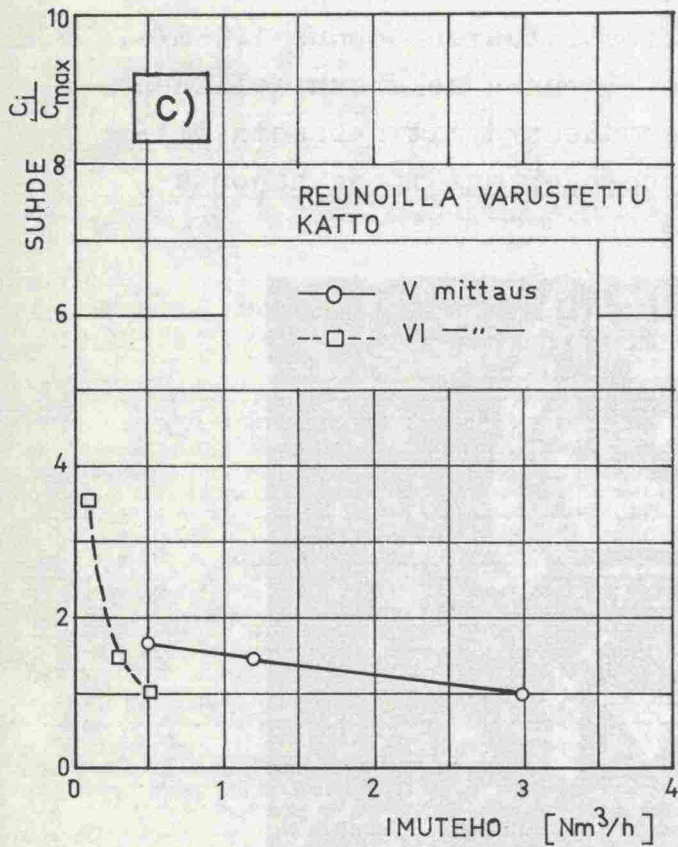
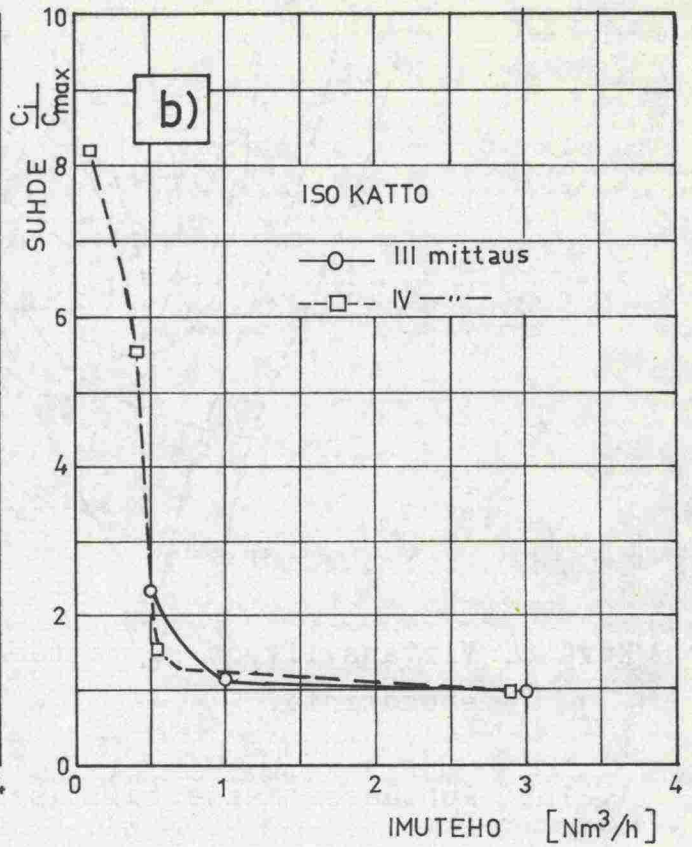
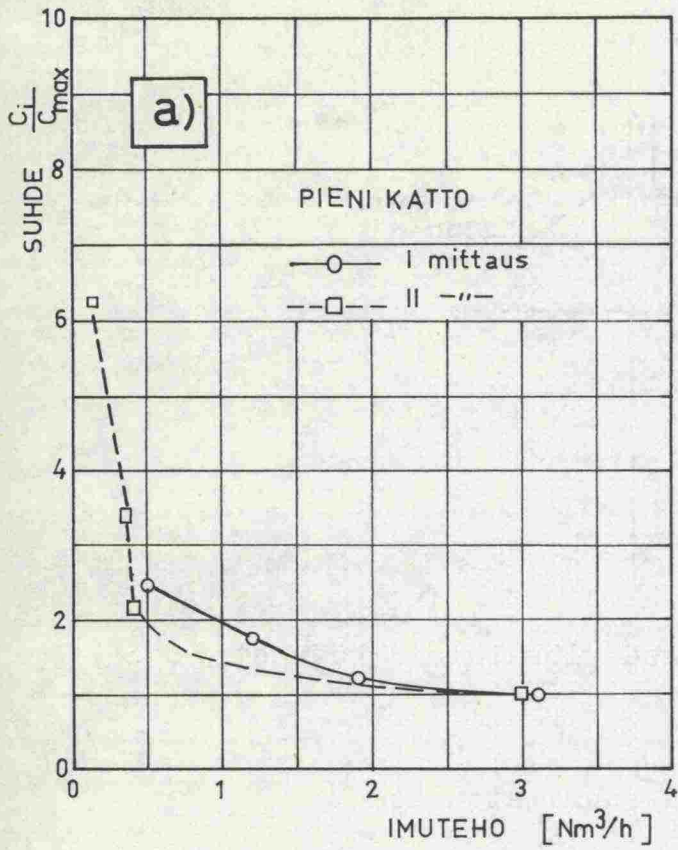
Suppilo- keräin	Kattokokoo		Imuteho Nm ³ /h	Pölyk. mg/Nm ³	Tuul.nop. m/s	Suhde c _i /c _{max}
	Iso	Pieni				
Mittaus I	1	x	3,1	5,81	1,3	1,0
	2	x	1,9	7,10	-"	1,22
	3	x	1,2	10,05	-"	1,74
	4	x	0,5	14,15	-"	2,44
Mittaus II	1	x	3,0	2,31	1,1	1,0
	2	x	0,4	5,02	-"	2,17
	3	x	0,35	7,82	-"	3,39
	4	x	0,13	14,42	-"	6,24
Mittaus III	1	x	3,0	0,69	3,2	1,0
	2	x	1,0	0,79	-"	1,15
	3	x	0,49	1,63	-"	2,36
Mittaus IV	1	x	2,9	0,39	2,2	1,0
	2	x	0,54	0,61	-"	1,56
	3	x	0,40	2,16	-"	5,54
	4	x	0,10	3,20	-"	8,20

paantua mukaan virtaukseen keräyspähän ja pölypitoisuus painon perusteella laskettuna kasvaisi. Ettei näin ollut, voi johtua seuraavista syistä:

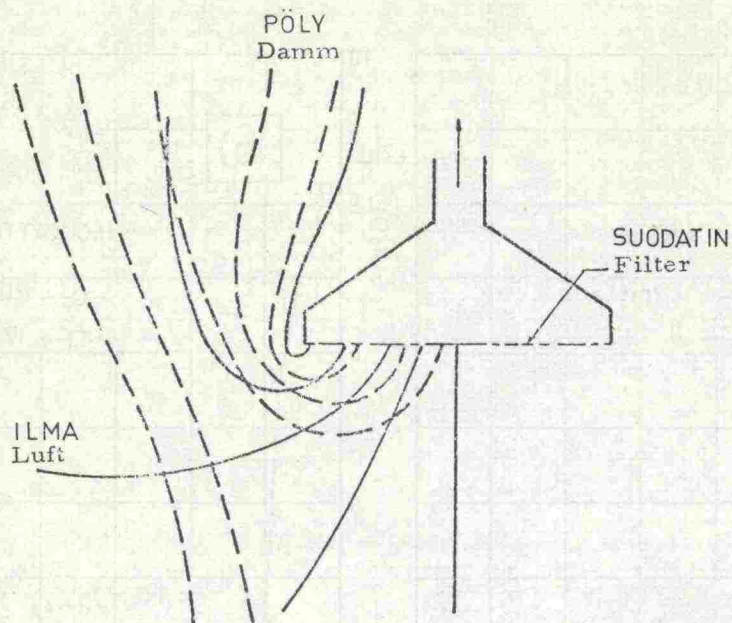
1. Suppilokeräimen katto oli tasakatto, mistä syystä sivutainen tuuli pystyi kuljettamaan laskeutuvaa ainesta suodattimelle. Mikäli tuulen vaikutuksesta kaikille suodattimille tuli yhtä paljon laskeutuvaa ainesta, oli tämän osuuden suhteellinen vaikutus suurin siinä, missä imuteho oli pienin.
2. Imettäessä suurella teholla saattoi suurempi osuus hienoimmista hiukkasista mennä suodattimen läpi kuin mitä meni imettäessä pienellä teholla.
3. Tilavuudenlaskijana käytetyn kaasumittarin tarkistettu mittausalue on $0,3...3 \text{ m}^3/\text{h}$. Kokeissa pienin teho oli $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$, joka mittarin toimittajan mukaan on liian pieni virtaus kaasumittarin kunnollisen toiminnan kannalta.
4. Imettäessä suurella nopeudella voi seurauksena olla, että ylhäältäpäin tulevat hiukkaset hitautensa johdosta eivät käänny ilmavirran mukana keräyspähän, vaan jatkavat alaspäin (vrt. kuvaan 8, jossa on nurinpäin käännetty suodatin/66/).

Sivutuulen vaikutuksen pienentämiseksi kokeiltiin vielä yhtä kattomuotoa (kuva 6, oikealla). Tässä oli pystysuorat alaspäin käännetyt reunat, jotka ulottuivat lasikuitusuodattimen tasoon asti. Kuvasta 7c ilmenee, että suurimmat pitoisuudet saatiin edelleen pienimmillä imutehoilla.

Näiden vertailevien kokeiden jälkeen päätettiin suorittaa varsinaisia rutiinimittauksia suppilokeräyspäällä varustettuna yllä kuvatulla parannetulla kattomallilla. Imutehoksi otettiin $2 \text{ m}^3/\text{h}$, koska kokeissa alueella $1...3 \text{ m}^3/\text{h}$ tulos ei niin voimakkaasti riippunut imutehosta. Käytetyn keräyspään rakenne ilmenee kuvasta 9.



Kuva 7. Imutehon ja kattotyypin vaikutukset mitattuun pölykonsentraatioon.



Kuva 8. Virtausviivoja käytettäessä ylösalaisin käännettyä suodatinta.

1.2165 Puhtaassa maaseutuilmassa suoritettu koe

Suodattimen keräystehon testaamiseksi suoritettiin maaseutuilmassa koe. Ulkoiset olosuhteet olivat: tuulen nopeus 1,4 m/s, ilman lämpötila +20°C, ilmanpaine 764 mmHg sekä suhteellinen kosteus 80 %. Tulos 2,5 tuntia kestäneestä mittauksesta neljällä laitteella oli: pölypitoisuus 0,05 mg/Nm³ ja hajonta 0,02 mg/Nm³.



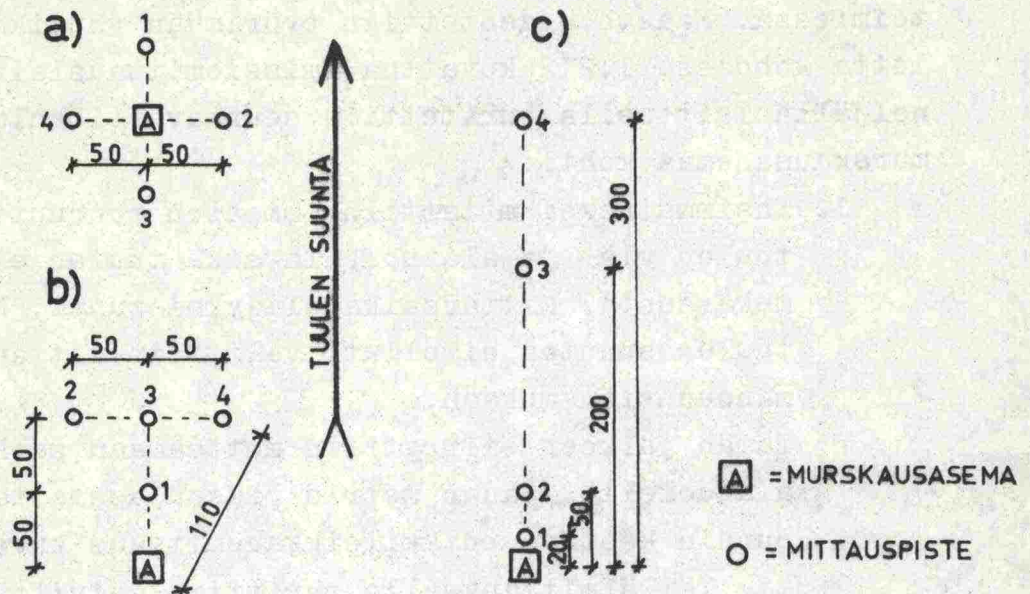
Kuva 9. Rutiinimittauksissa käytetty keräyspää.

1.22 Mittausten suorittaminen

Mittaukset suoritettiin lyhytaikaismittauksina murskausaseman toimiessa. Maastoon asetettiin pyörimään yhtäaikaa neljä kappaletta kohdassa 1.212 kuvattua imissionmittauslaitteistoa. Näillä neljällä laitteella suritettiin seuraavasti kolme mittaussarjaa murskausasemaa kohti:

1. Ensimmäiseksi mitattiin imission suuruutta asemaan nähden tuulen ylä- ja alapuolella sekä tuulen sivuilla kuvan 10a mukaisesti. Mittausaika oli yksi tunti. Mikäli selvää tuulen suuntaa ei ollut, valittiin mittauspisteet päälmansuuntien mukaan.
2. Tämän jälkeen siirryttiin mittaamaan pelkästään tuulen alapuolelle. Sadan metrin päässä asemasta suoritettiin tunnin kestävä poikkileikkausmittaus kuvan 10b mukaisesti. Tällä mittauksella pyrittiin selvittämään pölyviuhkan leviämistä sivusuunnassa. Tuulen alapuolella, 50 m päässä asemasta oleva laite pidettiin kolmen mittaussarjan aikana jatkuvasti samassa pisteessä. Tämän pisteen avulla voitiin verrata eri mittaussarjojen tuloksia keskenään.
3. Viimeksi suoritettiin mittaus varsinaisella asema-alueella yhdellä laitteella sekä kahdella muulla laitteella 200 ja 300 m päässä asemasta (kuva 10c). Tämä mittaus kesti puolitoista tuntia. Tarkoituksena oli mitata imission suuruutta myös 400 m päässä, mutta tätä ei tehty kuin kahdella asemalla. Mentäessä kauaksi asemasta tuli aseman ja mittauspisteen väliin häiritseviä sekundäärisiä pölylähteitä.

Jokaisen mittaussarjan alkaessa ja päättyessä merkittiin muistiin ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, ilmanpaine ja tuulen suunta sekä laskettiin mittauksen päätyttyä mittaussarjan keskimääräinen tuulen nopeus. Tuulen nopeus ja suunta mitattiin n. 1,8 m korkeudella maanpinnasta.



Kuva 10. Mittauspisteiden sijainti asemaan nähden.

1.23 Tulokset ja niiden tarkastelua

1.231 Mittaustulokset

Taulukkoon 4 on yhteenvetona koottu kymmenellä tutkitulla murskausasemalla todetut leijumat. Taulukossa t.y.=tuulen yläpuolella ja t.s.=tuulen sivulla. Kuvissa 11...18 on valokuvia muutamasta tutkitusta asemasta.

Tutkituista asemista kuudella (asemilla 1...6) murskattiin soraa ja neljällä murskattiin louhoskiveä (asemilla 7...10). Pölynpoistoon oli ryhdytty yhdellä soraa murskaavalla asemalla, jossa syötettiin vettä esimurskaimeen. Kaikilla louhoskiveä murskaavilla asemilla oli pölynpoistoa jossakin muodossa: pelkkä vedensyöttö kolmella asemalla sekä vedensyöttö + pölykupuja asemalla n:o 8.

Asemien tehot ja murskattujen kiviainesten vesipitoisuudet esitetään taulukossa 5.

Taulukko 4. Mittaustulosten yhteenveto, leijuma [mg/Nm³]

Asema n:o	Teho t/h	Tuulen nopeus m/s	Mittauspisteen etäisyys asemasta m								
			20	50	50 t.y.	50 t.s.	100	110 t.s.	200	300	400
1	90	1,68 2,01 1,40	11,18	1,98 1,96 4,11	0,0	1,15	0,85	0,27	0,26	0,48	
2	150	1,32 1,73	15,29	3,60 2,98			1,29 0,98	1,27	0,91		
3	100	1,21 1,66 1,71	18,37	5,35 4,26 4,46	2,79	3,25	1,86	1,30	0,64	0,77	
4	90	1,88 1,68 1,95	3,06	1,32 0,83 2,06	0,89	4,22	0,51	0,41	0,08		
5	200	2,75 2,23 1,62	32,93	3,72 4,19 2,20	0,38	1,48	2,01	1,02	0,38	0,31	
6	130	1,13 2,99 3,32	5,53	0,69 1,04 0,33	0,40	0,78	0,11	0,17	0,16	0,25	
7	200	2,06 1,86 1,53	27,19	14,84 3,51 3,26		1,04	1,45 2,03	0,96	0,96	0,55	
8	200	1,51 2,14 1,08	3,22	2,63 3,76 3,35	1,79	1,32	1,53	0,69	0,20	0,29	
9	100	2,39 2,59 2,08	39,56	13,88 11,80 11,98	0,48	2,04	6,04	4,04	0,79		0,13
10	130	2,90 2,92 3,43 3,59 3,11	33,95	2,67 4,01 4,63		1,74	2,15 2,28 3,15 3,87	1,46	1,27 1,67 1,41	0,74 0,92 0,88	0,80 0,53



Kuva 11. Asema n:o 1.



Kuva 12. Asema n:o 6.



Kuva 13. Asema n:o 7.



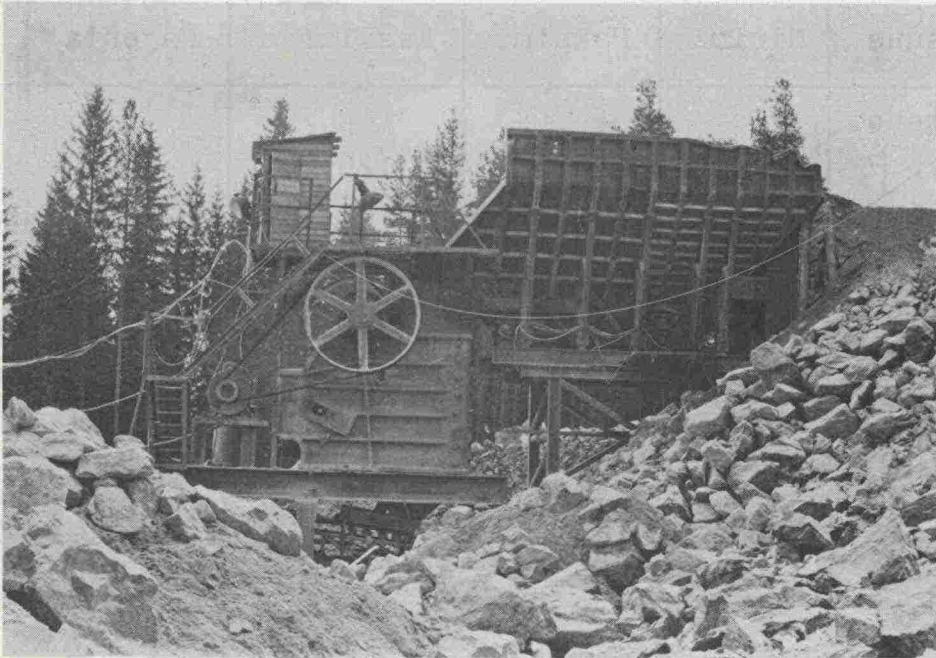
Kuva 14. Asema n:o 8.



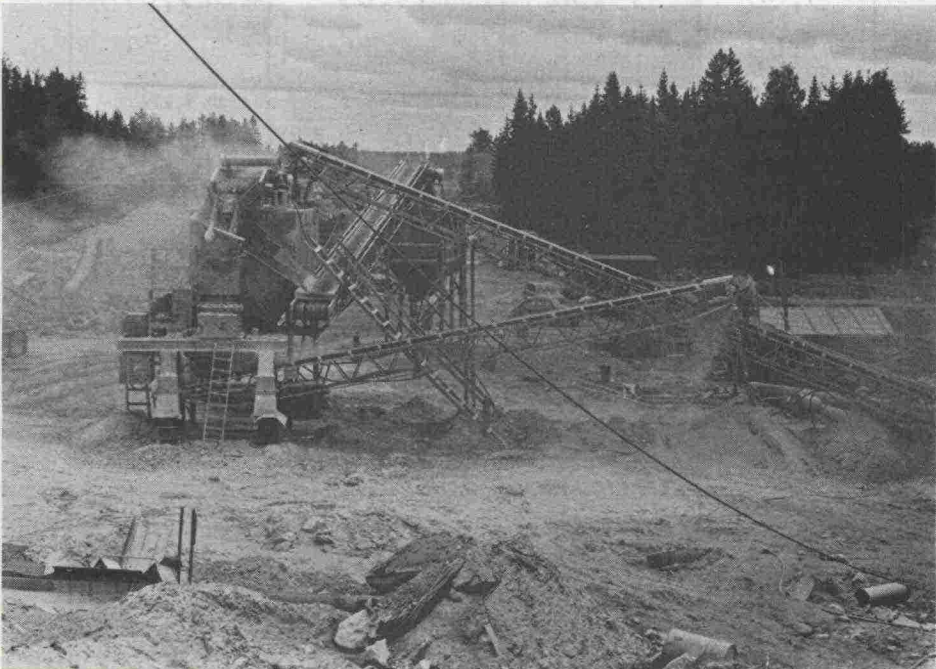
Kuva 15. Aseman n:o 9 esimurskain.



Kuva 16. Aseman n:o 9 väli- ja jälkimurskausvaiheet.



Kuva 17. Aseman n:o 10 esimurskain.



Kuva 18. Aseman n:o 10 jälkimurskausvaihe.

Taulukko 5. Tutkittujen asemien tehot ja murskattujen kiviainesten kosteuspitoisuudet

Ominaisuus	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Hajonta	Huom.
Aseman teho [t/h]	90	200	126,7	43,2	Sora-as.
	100	200	157,5	50,6	Louhosk.as.
Kiviaineksen kosteus [%]	1,6	4,0	2,35	0,93	Sora-as.
	0,3	2,6	1,25	0,97	Louhosk.as.

Leijuvan pölyn pitoisuudet ilmassa eri etäisyyksillä asemasta tuulenalapuolella esitetään taulukoissa 6,7 ja 8.

Taulukko 6. Keskimääräinen leijuma eri etäisyyksillä asemasta (kaikki asemat)

Etäisyys m	Leijuma [mg/Nm ³]			
	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Hajonta
20	3,06	39,56	19,03	13,61
50	0,69	12,22	4,26	3,31
100	0,11	6,04	1,87	1,67
200	0,08	1,45	0,58	0,44
300	0,25	0,85	0,50	0,24

Taulukko 7. Keskimääräinen leijuma (sora murskaavat asemat)

Etäisyys m	Leijuma [mg/Nm ³]			
	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Hajonta
20	3,06	32,93	14,39	10,7
50	0,69	4,69	2,67	1,45
100	0,11	2,01	1,08	0,75
200	0,08	0,91	0,41	0,32
300	0,25	0,77	0,45	0,23

Taulukko 8. Keskimääräinen leijuma (louhoskiveä murskaavat asemat)

Etäisyys m	Leijuma [mg/Nm ³]			
	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Hajonta
20	3,22	39,56	25,98	15,99
50	3,25	12,22	6,61	4,13
100	1,53	6,04	3,04	2,08
200	0,20	1,45	0,85	0,52
300	0,29	0,85	0,56	0,28
400	0,13	0,67	0,40	0,38

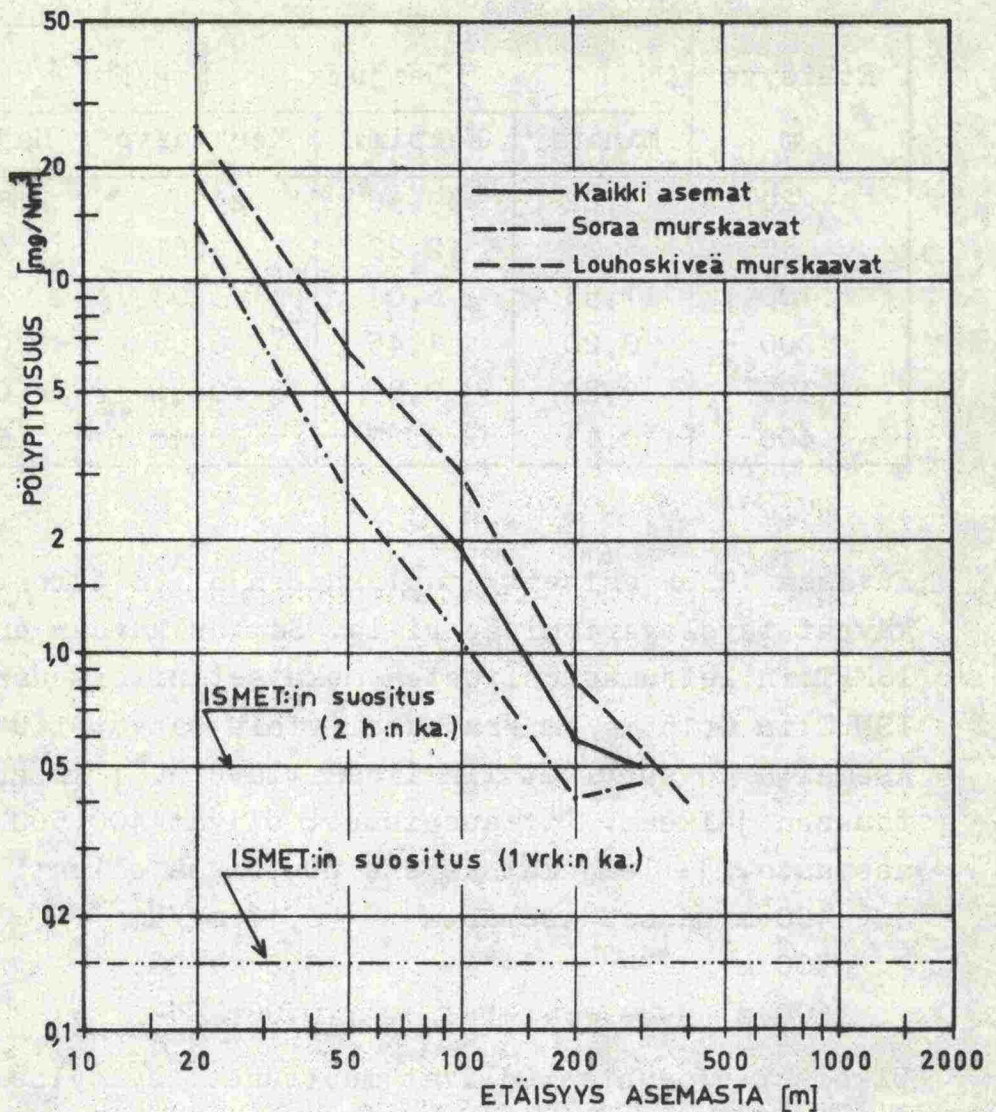
Kuvassa 19 on esitetty taulukoiden 6...8 tulosten keskiarvo-
käyrät täyslogaritmpaperilla. Samaan kuvaan on piirretty
ISMET:in leijumasuosituksen mukaiset pitoisuusrajat (vrt. I 3.72).
ISMET:in 0,15 mg/Nm³-rajaa ei vielä saavutettu 400 m päässä.
Asemalla 10 suoritettiin lisämittaus n. 1 kk ensimmäisen mit-
tauksen jälkeen. Mittauspisteet olivat 400,500 ja 600 m päässä
asemasta, ja leijumat näissä pisteissä olivat:

400 m päässä asemasta	0,12 mg/Nm ³
500 m "- "-	0,04 "-
600 m "- "-	0,08 "-

Ulkoiset olosuhteet olivat muuttuneet syksyisemmiksi verrattuna
ensimmäisen mittauksen olosuhteisiin. Tästä syystä leijuma 400
m päässä asemasta oli vain noin viidesosa siitä, mitä se oli
ollut aikaisemmin kesällä samalla asemalla samalla etäisyydellä.

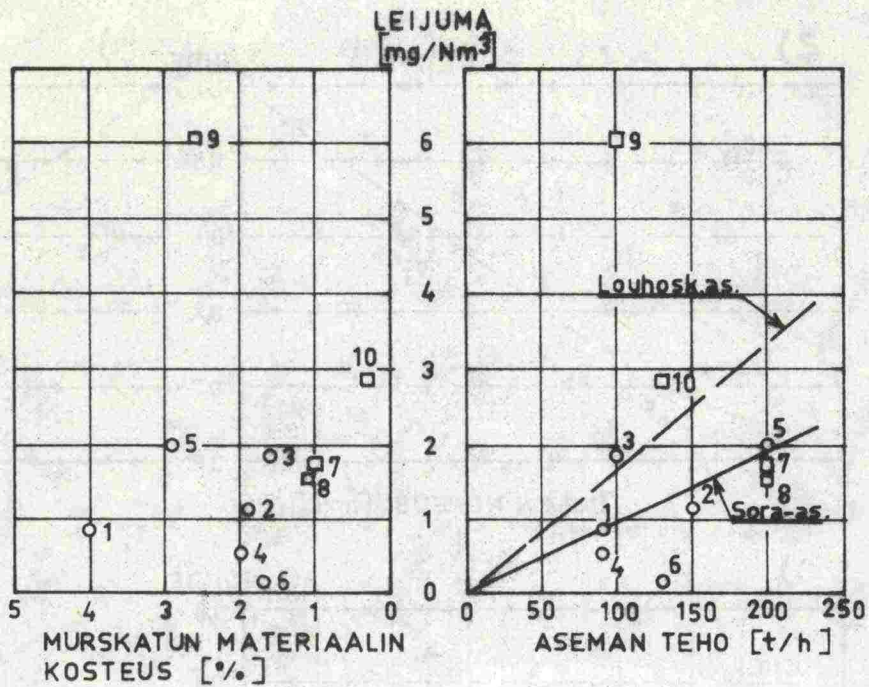
Kuvassa 20 on esitetty aseman tehon ja murskatun kiviaineksen
kosteuden vaikutus leijumaan. Tarkastelu on tehty 100 m päässä
asemasta todetun leijuman perusteella. Tämä mittauspiste sijat-
si yleensä varsinaisella asema-alueella, joten kasvillisuuden
ja maastomuotojen erot eivät näinollen päässeet vaikuttamaan
paljon tulosten keskinäiseen vertailukelpoisuuteen.

Tuulen vaikutusta pölyn kulkeutumiseen pyrittiin selvittämään
kahdella peräkkäisellä mittauksella asemalla n:o 10. Tämän mit-
tauksen tulokset ovat kuvassa 21.

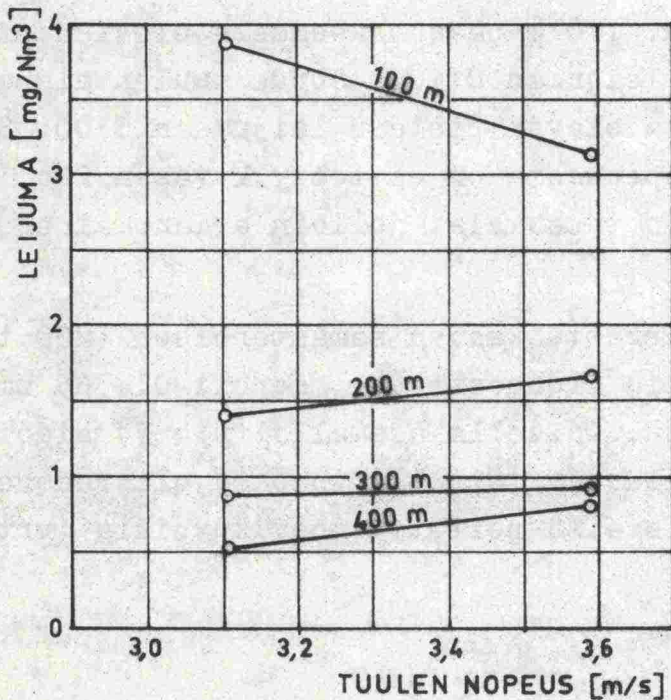


Kuva 19. Pölypitoisuuden etäisyysalenneminen, keskiarvokäyrät.

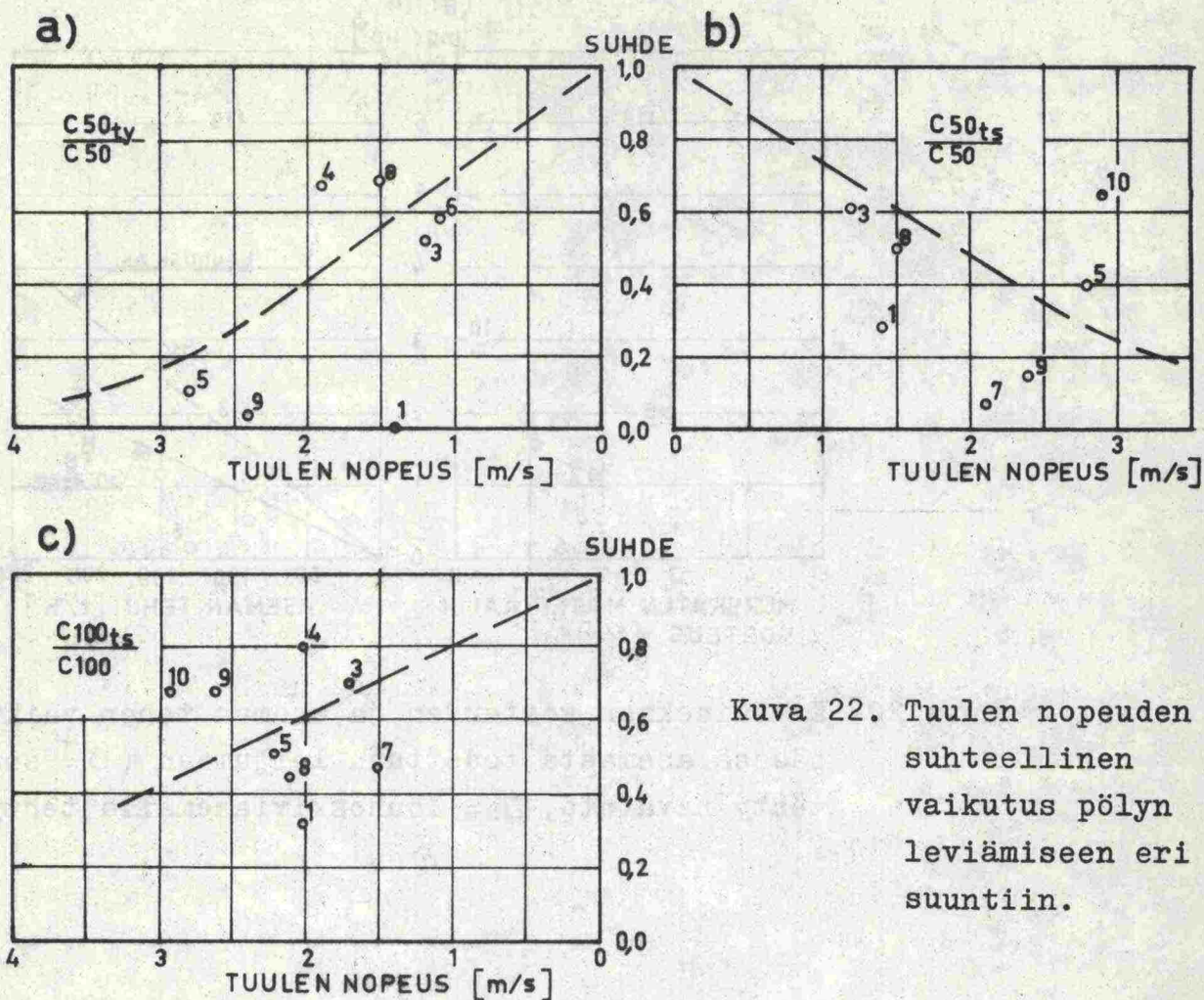
Asemaan nähden tuulen yläpuolella ja sivuilla tehtyjen leijumamittausten tulosten perusteella voidaan tutkia tuulen suhteellista vaikutusta pölyn leviämiseen eri suuntiin. Kuvaan 22a on piirretty suhteen $C_{50_{ty}}/C_{50}$ riippuvuus tuulen nopeudesta. C_{50} on leijuma 50 m asemasta tuulen alapuolella ja $C_{50_{ty}}$ on leijuma samalla etäisyydellä tuulen yläpuolella. Kuva 22b esittää suhteen $C_{50_{ts}}/C_{50}$ vastaavaa riippuvuutta, kun $C_{50_{ts}}$ on etäisyydellä 50 m tuulen sivulla mitattu leijuma. Tuulen alapuolella 100 m päässä asemasta suoritetun poikkileikkausmittauksen tulokset on esitetty seuraavasti (kuva 22c): On laskettu osittain



Kuva 20. Kiviaineksen kosteuden ja aseman tehon vaikutus 100 m päässä asemasta todettuun leijumaan (O = sora-asemalla tehty havainto, □ = louhoskiviasemalla tehty havainto).



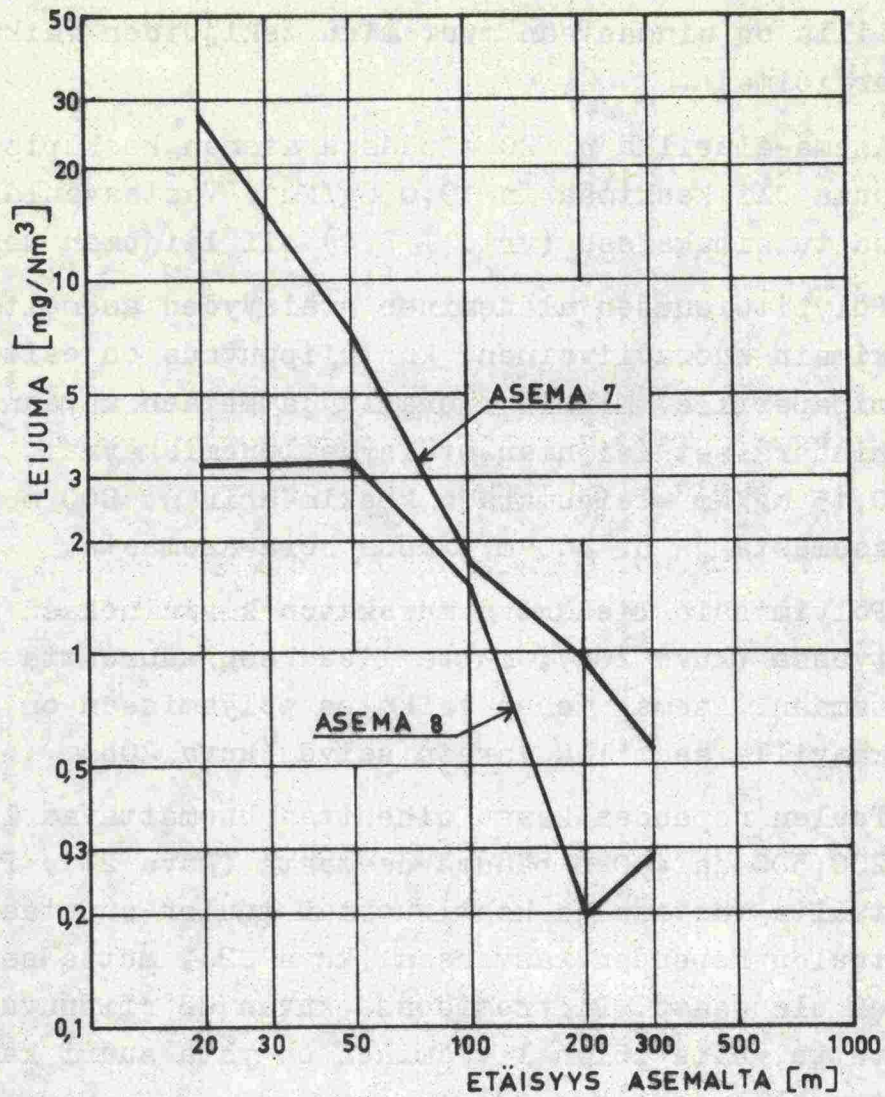
Kuva 21. Tuulen nopeuden vaikutus pölyn kulkeutumiseen (havaintopisteet 100, 200, 300 ja 400 m päässä asemasta).



Kuva 22. Tuulen nopeuden suhteellinen vaikutus pölyn leviämiseen eri suuntiin.

tuulen sivulla n. 110 m päässä asemasta olevien pisteiden (vrt. kuva 10b) leijuman $C110_{ts}$ suhde tuulen alapuolella 100 m päässä asemasta olevan pisteen leijumaan $C100$. Suhteen riippuvuus tuulen nopeudesta on esitetty kuvassa 22c. Kuvaan 22 ei ole otettu mukaan tapauksia, jolloin asianomainen suhde ylittää yhden.

Kuvassa 23 on verrattu kahden samantehoisen (200 t/h) ja samantyyppistä materiaalia (louhoskiveä sepeli 0...65 mm) murskaavan aseman pölyämistä. Toisella asemalla (n:o 7) sidottiin pölyä pelkästään vedellä, ja toisella (n:o 8) oli vedensyöttö ja lisäksi oli pölypisteitä peitetty muovikuvuilla (vrt. kuva 14).



Kuva 23. Kahden erilaisella pölynpoistojärjestelmällä varustetun murskausaseman pölyämisen vertailu.

1.232 Mittaustulosten arviointia

Imissiomittausten suurimpana vaikeutena, kun halutaan selvittää tietyn lähteen osuutta imissioon, on lukuisten ympäristötekijöiden vaikutus mittaustuloksiin. Tilannetta ei niinollen imissiomittauksissa pystytä hallitsemaan samalla tavalla kuin emissiomittauksissa.

Eri etäisyyksillä murskausasemista mitattujen leijumien hajonta on hyvin suuri. Voidaan luetella toistakymmentä sekä asemasta että ympäristöstä riippuvaa tekijää, joista mitattu pölyimissio ainakin riippuu. Tämän tutkimuksen pienellä havaintomateriaa-

lilla on ainoastaan muutamien tekijöiden vaikutusta pystytty arvioimaan.

Asema-alueilla n. 20 m päässä aseman keskipisteestä mitattu leijuma oli keskimäärin $19,0 \text{ mg/Nm}^3$. Vastaavanlaisissa saksalaisissa tutkimuksissa (vrt. I 3.4) oli leijuman keskiarvo n. 15 mg/Nm^3 .

Pölypitoisuuden aleneminen etäisyyden asemalta kasvaessa on likimain suoraviivainen, kun riippuvuus on esitetty täyslogaritmi-paperilla. Mikäli suoralla jatketaan kuvaan 19 piirretyt keskimääräiset leijuman etäisyysalennemiskäyrät, saavutetaan ISMET:in $0,15 \text{ mg/Nm}^3$ -leijumaraja keskimäärin n. 800 m päässä louhoskivi-asemasta ja n. 400 m päässä sora-asemasta.

Pölyimissio lisääntyy murskatun kiviaineksen kosteuden pienentyessä (kuva 20a), mutta lisäyksen suuruutta ei pystytä määrittämään. Aseman tehon vaikutus pölyämiseen on ainakin sora murskaavilla asemilla varsin selvä (kuva 20b).

Tuulen nopeuden kasvu aiheuttaa huomattavaa leijuman kasvua 200, 300 ja 400 m päässä asemasta (kuva 21). Pölyn kulkeutuminen tuulta vastaan ja kohtisuoraan tuulen suuntaa vastaan pienenee tuulen nopeuden kasvaessa (kuva 22), mutta selvää riippuvuutta ei ole saatu. Piirrettäessä kuvan 22 riippuvuusikäyrät on oletettu, että pölyn leviäminen on yhtä suuri kaikkiin suuntiin tyynellä säällä.

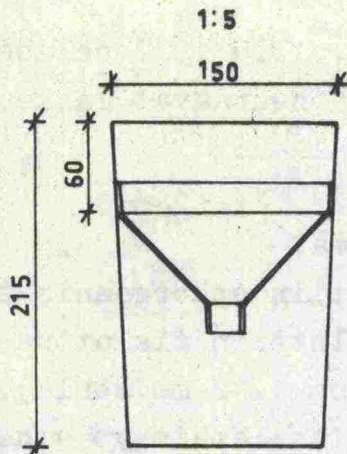
Murskausaseman pölylähteiden kotelointi osoittautui asemien n:o 7 ja n:o 8 keskinäisen vertailun perusteella hyvin tehokkaaksi pölyntorjuntamenetelmäksi. Kuvan 23 esittämä aseman n:o 8 etäisyys-leijumakäyrä ei anna oikeata kuvaa tämän aseman pölykupujen tehosta, koska mittauspisteiden läheisyydessä kulki vilkkaasti liikennöity työmaatie.

1.3 LASKEUMAN MITTAUS

1.31 Laskeumakeräimet

Laskeumakeräiminä käytettiin ns. polyeteenikeräintä ja parannettua polyeteenikeräintä. Polyeteenikeräimen mitat olivat:

- tilavuus 3 l,
- halkaisija n. 15 cm,
- korkeus n. 21,5 cm.

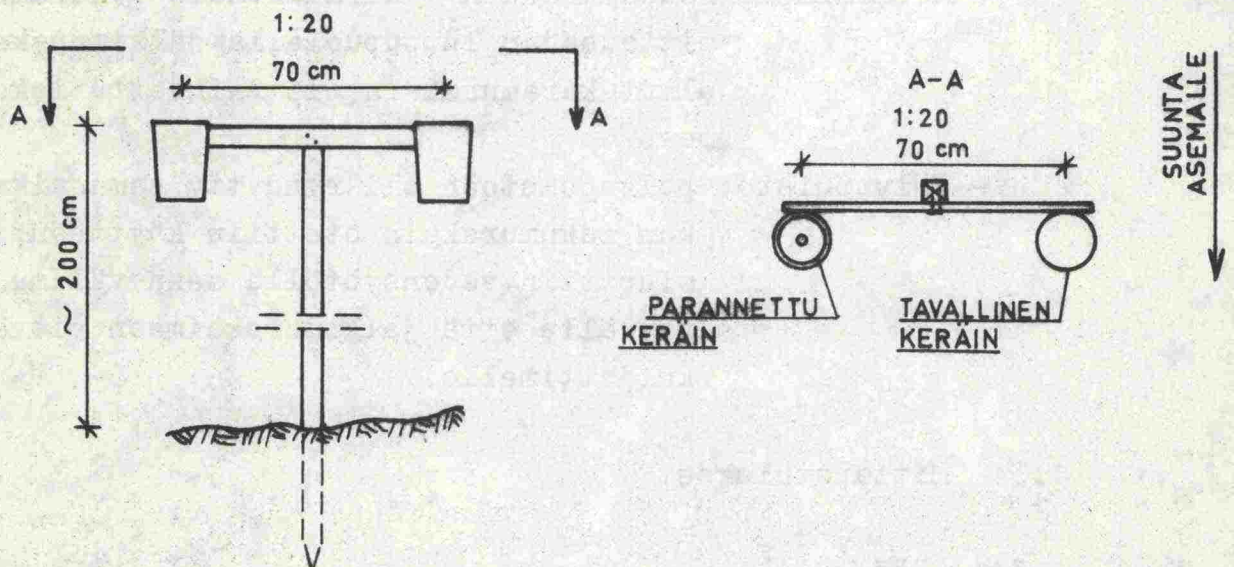


Kuva 24. Ns. parannetun laskeumakeräimen rakenne.

Tätä yksinkertaista mallia pyrittiin parantamaan asettamalla keräimen sisään suppilo kuvan 24 mukaisesti. Useimmissa standardisoiduissa laskeumakeräimissä (mm. Hibernia- ja Löbner-Liesegang-laitteissa) laskeuma kerätään suppilonmuotoiseen keräimen yläosaan, josta laskeuma valuu edelleen varsinaiseen keräyspulloon.

1.32 Kokeen suoritus

Jokaiseen mittauspisteeseen pystytettiin vierekkäin standardimallinen ja parannettu polyeteenikeräin. Keräimet kiinnitettiin 2"x2" pystypuihin kuvan 25 osoittamalla tavalla, ja pystytettiin koilliseen (NE), kaakkoon (SE), lounaaseen (SW) ja luoteeseen (NW) 100,200,400 ja 800 m etäisyyksille asemasta.



Kuva 25. Laskeumakeräinten pystytys.

Mittaus suoritettiin 14.7...13.8 1972 välisenä aikana (30 pv). Laboratorioissa suoritettiin seuraavat laskeuman määritykset pääpiirteittäin VDI-2119 mukaan:

- orgaaninen laskeuma ja
- epäorgaaninen laskeuma.

Orgaaninen laskeuma erotettiin epäorgaanisesta laskeumasta seuraavasti: Laskeuma pesuseulottiin tislattua vettä käyttäen 1,0 mm seulan läpi (VDI-2119:ssä 1,12 mm seula). Seulalle jäänyt aines heitettiin pois. Seulan läpäissyt aines poltettiin 800 °C:ssa yhden tunnin ajan, ja laskeuman palanutta osuutta pidettiin orgaanisena laskeumana. Polton jälkeen jäänyttä ainesta pidettiin epäorgaanisena laskeumana, joka oli peräisin murskaus- asemasta.

1.33 Mittauspaikka

Laskeumamittaukset suoritettiin Keravalla erään yksityisen murskausaseman ympäristössä. Asema pyöri viitenä päivänä viikossa päivittäin klo 6...22 välisenä aikana. Asema sijaitsi moottori-tietyömaalla, joten tielinjan suunnalla, etelä-pohjoinen, oli eräitä häiritseviä pölylähteitä. Kyseessä olevan aseman tekniset tiedot olivat seuraavat:

- Raaka-aine: louhoskiveä
- Murskaustuote: sepeli 0...6, 6...32 mm
- Aseman teho: n. 130 t/h
- Murskaimet: leukamurskain + karamurskain + karamurskain, mittausajan loppupuolella jälkimurskaimena ollut karamurskain oli vaihdettu iskumurskaimen
- Pölynpoisto: pölynpoistoon oli ryhdytty samanaikaisesti kun iskumurskain otettiin käyttöön; pölyä sidottiin vedensyötöllä sekä välimurskaimeen vievälle että jälkimurskaimeen vievälle kuljettimelle.

1.34 Mittaustulokset

1.341 Sää

Säätekijöiden vaikutuksen selville saamiseksi on mittausajan-

jaksolta otettu tiedot seuraavista tekijöistä (vrt. /35/):

- sateisuus,
- ilman lämpötila,
- tuulen suunta ja nopeus.

Säähavainnot saatiin Helsingin lentoaseman säähavaintoasemalta. Mittausajan sateisuus ja ilman lämpötila käyvät ilmi taulukosta 9.

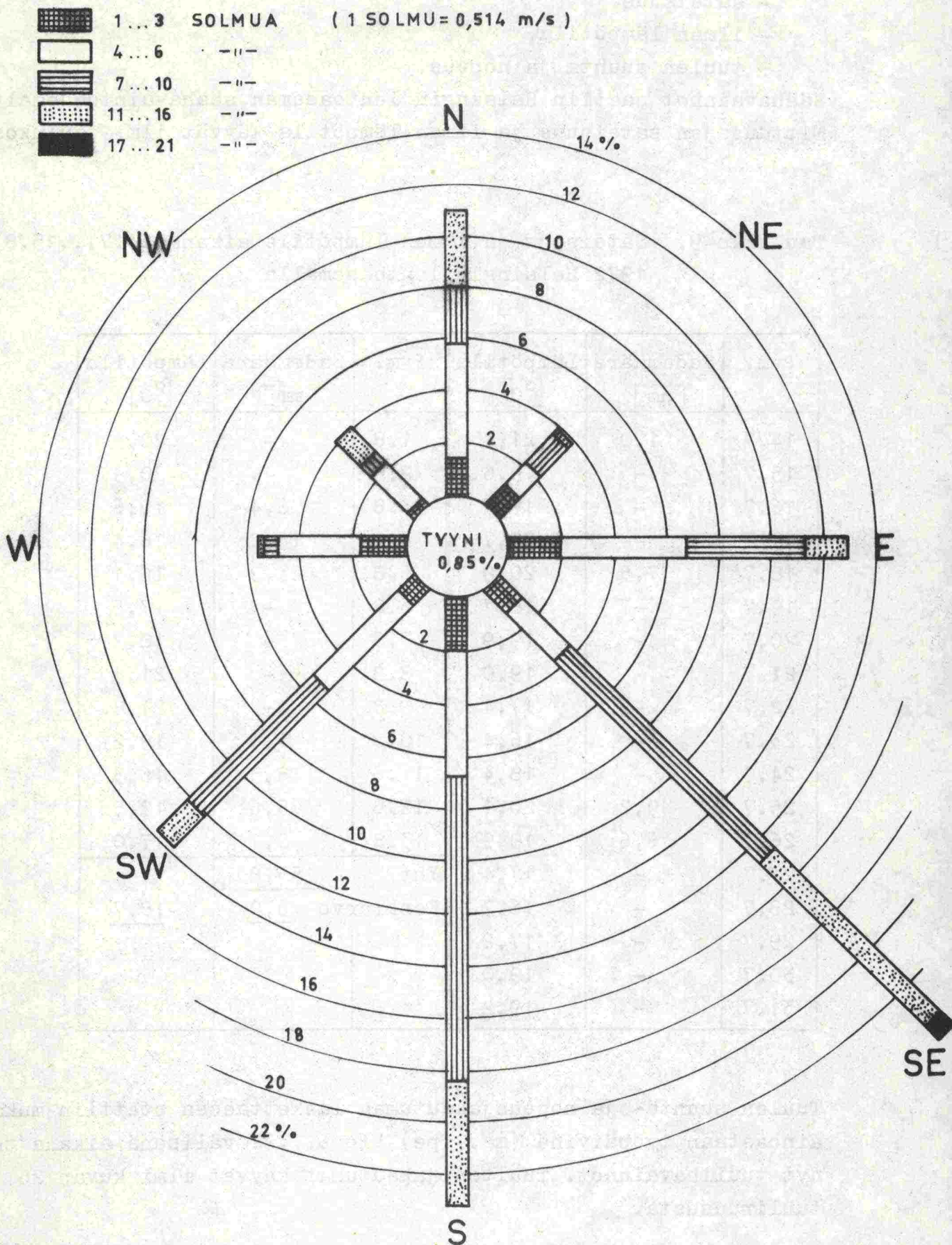
Taulukko 9. Sateisuus ja ilman lämpötila aikana 14.7...13.8 1972 Helsingin lentoasemalla

Pvm.	Sademäärä [mm]	Lämpötila [°C]	Pvm.	Sademäärä [mm]	Lämpötila [°C]
14.7	1,0	21,1	1.8	-	20,5
15.7	-	19,6	2.8	-	20,9
16.7	-	19,5	3.8	6,4	19,6
17.7	-	20,7	4.8	16,2	16,4
18.7	7,5	20,9	5.8	23,9	16,1
19.7	-	18,7	6.8	-	17,5
20.7	-	19,9	7.8	-	18,7
21.7	-	19,0	8.8	-	21,4
22.7	-	17,4	9.8	-	21,8
23.7	-	16,4	10.8	1,0	19,2
24.7	-	18,4	11.8	18,3	16,3
25.7	9,2	20,1	12.8	65,6	12,5
26.7	6,6	19,9	13.8	0,1	17,0
27.7	-	17,4	Yht.	<u>155,8</u>	
28.7	-	16,7	Keskiarvo	<u>5,0</u>	<u>18,7</u>
29.7	-	17,2			
30.7	-	19,0			
31.7	-	19,2			

Tuulen suunta- ja nopeusjakautumaa laskettaessa otettiin mukaan ainoastaan työpäivinä (ma...pe) klo 6...22 välisenä aikana tehdyt tuulihavainnot. Tuulten jakautumat käyvät ilmi kuvan 26 tuuliruususta.

HELSINGIN LENTOASEMA

TUULIJAKAUTMA 14.7...13.8 1972 (ma,ti,ke,to,pe klo. 6...22)



Kuva 26. Tuulen suunta- ja nopeusjakautumat.

1.342 Laskeuma-arvot

Laskeuma-arvot on koottu taulukkoon 10. Keräyspisteen tunnus ilmaisee sekä ilmansuunnan että etäisyyden murskausasemalta. Lisäkirjain S ilmaisee, että kysymyksessä on parannettu polyeteenikeräin (esim. NE 100 S tarkoittaa mittauspistettä 100 m koilliseen asemasta ja keräimenä on ollut parannettu polyeteenikeräin).

Mittausaikana oli louhittu n. 100 m päässä asemasta etelään. Tämä aiheutti poikkeuksellisen suuret laskeumat pisteissä SE 100 ja SW 100. Pisteen NE 200 suuri laskeuma johtui siitä, että asemalle johtava työmaatie kulki tämän pisteen ohi n. 30 m päässä.

Taulukossa 11 on esitetty laskeuma-arvojen keskiarvot toisaalta polyeteenikeräimelle ja toisaalta parannetulle polyeteenikeräimelle. Kaikkien tulosten keskiarvot ovat taulukossa 12.

Etäisyys asemalta [m]	Laskeuma [g/a,kk]	
	Keskiarvo	Hajonta
100	2975	2032
200	510	277
400	267	47
800	179	55
100 S	1663	672
200 S	516	268
400 S	281	93
800 S	225	31

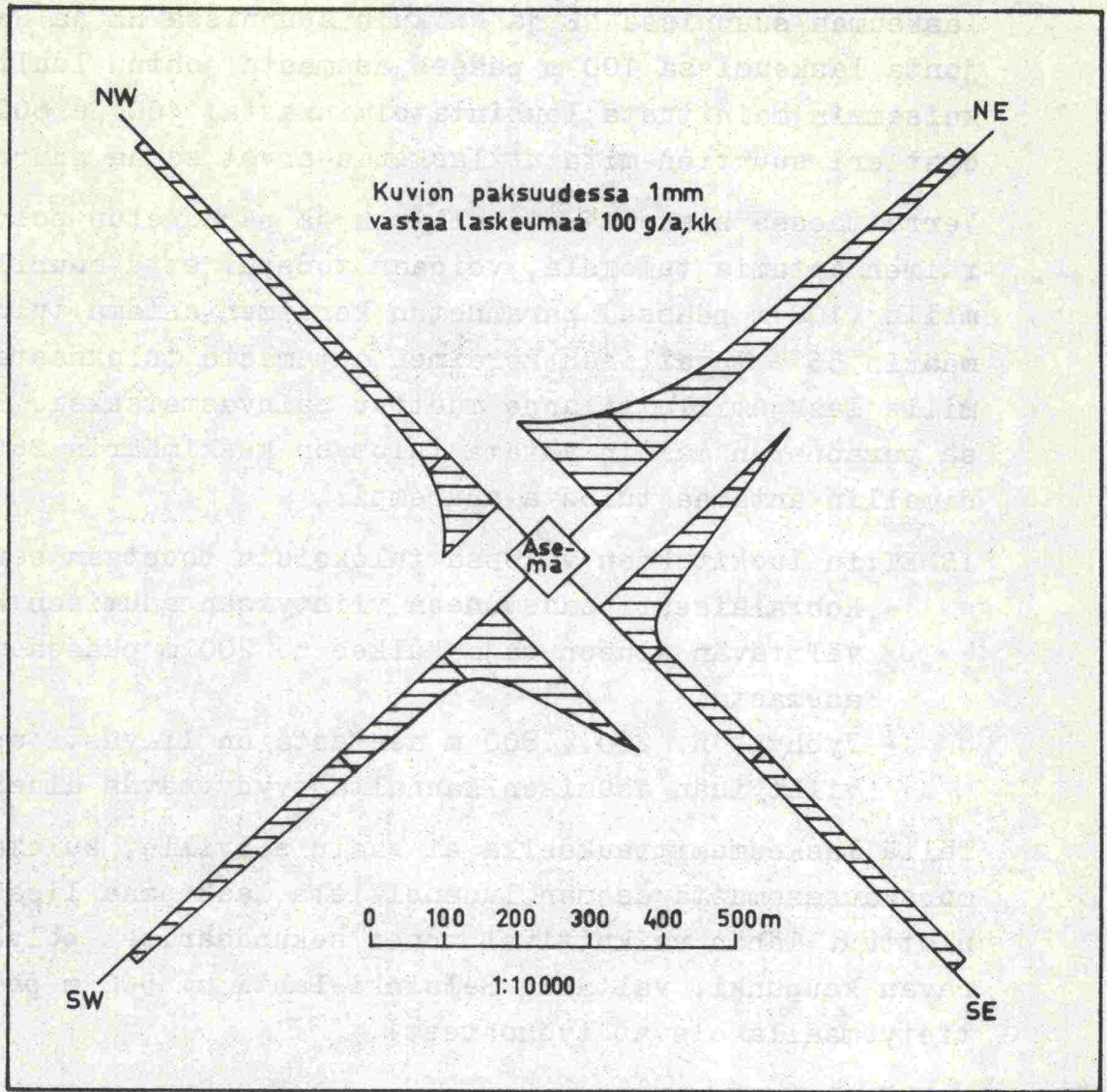
Taulukko 11. Murskausaseman aiheuttama laskeuma eri keräintyypeillä ja eri etäisyyksillä mitattuna

Etäisyys asemalta [m]	Laskeuma [g/a,kk]	
	Keskiarvo	Hajonta
100	2319	1166
200	513	272
400	274	70
800	202	30

Taulukko 12. Murskausaseman aiheuttama laskeuma eri etäisyyksillä (kaikkien keräinten keskiarvo)

Taulukko 10. Laskeuma-arvot

Keräys- piste	Kok.lask. [g/a,kk]	Org.lask. [g/a,kk]	Epäorg.lask.		Maasto
			[g/a,kk]	[%]	
NE 100	1861	141	1720	92,4	Asema-alue
100 S	1843	236	1607	87,2	"-
200	1093	182	911	83,4	Pelto
200 S	1105	208	897	81,2	"-
400	Keräin oli				Metsän reuna
400 S	kaadettu				"-
800	333	157	176	52,9	"-
800 S	314	134	180	57,3	"-
SE 100	6908	1206	5702	82,5	Metsä
100 S	2070	485	1585	76,6	"-
200	366	87	279	76,1	Pelto
200 S	537	246	291	54,2	"-
400	368	88	280	76,1	"-
400 S	566	275	291	51,5	"-
800	502	246	256	51,0	"-
800 S	597	364	233	39,0	"-
SW 100	3859	549	3310	85,8	Metsän reuna
100 S	2876	329	2547	88,6	"-
200	721	279	442	61,3	"-
200 S	857	356	501	58,5	"-
400	559	253	306	54,7	Metsä
400 S	707	338	369	52,2	"-
800	307	173	134	43,7	Niitty
800 S	510	260	250	49,0	"-
NW 100	1241	74	1167	94,0	Asema-alue
100 S	997	85	912	91,5	"-
200	498	91	407	81,7	Sähkölinja
200 S	457	82	375	82,1	"-
400	285	71	214	75,2	Pelto
400 S	462	278	184	39,8	"-
800	207	59	148	71,3	"-
800 S	408	173	235	57,5	"-



Kuva 27. Laskeuma ilmansuunnittain eri etäisyyksillä.

Laskeumat eri suunnissa ilmenevät kuvasta 27. Siinä on jokaisen keräyspisteen kahden havainnon (tavallinen ja parannettu polye-teenikeräin) keskiarvon perusteella piirretty neljän suunnan etäisyys-laskeumakuviot. Laskeuman suuruutta kuvastaa kuvion paksuus mitattuna kohtisuoraan asemasta lähtevää sädettä vas- taan.

1.343 Tulosten arvostelua

Siitä huolimatta, että vallitseva tuulen suunta mittausaikana oli kaakon ja etelän välinen ja tässä sektorissa tuulten nopeu-

det olivat suurimmat (kuva 26), ei ole havaittavissa suurempaa laskeumaa suunnissa NE ja NW kuin suunnissa SE ja SW. Suuri hajonta laskeumissa 100 m päässä asemasta johtuu luultavasti aikaisemmin mainitusta louhintatoiminnasta. 400 ja 800 m päässä ovat eri suuntien mitatut laskeuma-arvot samaa suuruusluokkaa. Verrattaessa keskenään tavallisen ja parannetun polyeteenikeräimen antamia tuloksia, voidaan todeta, että suurilla laskeumilla (100 m päässä) parannetun keräimen antama tulos on keskimäärin 56 % tavallisen keräimen antamasta tuloksesta. Pienemmillä laskeumilla tilanne muuttuu päinvastaiseksi. 800 m päässä parannetun mallin antama tulos on keskimäärin 26 % standardimallin antamaa tulosta suurempi.

ISMET:in luokituksen valossa tuloksista todetaan seuraavaa:

- Kohtalaisesti saastuneen viihtyisän asumisen kannalta välttävän alueen raja kulkee n. 200 m päässä murskausasemasta.
- Vyöhyke n. 200...800 m asemasta on lievästi epäpuhdasta viihtyisän asumisen kannalta tyydyttävää aluetta.

Tällä laskeumamittauksella ei saatu selville, kuinka pitkälle murskausasemasta aseman luonnollista laskeumaa lisäävä vaikutus ulottuu. Tähän vaikuttivat monet sekundääriset pölylähteet (Keravan kaupunki, valtatie Helsinki-Lahti n. 500 m päässä sekä tietyömaalla olevat työkohteet).

1.35 Eri asemilla, 50 m päässä asemasta, suoritettut pikalaskemamittaukset

Leijuvan pölyn mittausten yhteydessä suoritettiin laskeutuvan pölyn mittaus 50 m päässä asemasta asemaan nähden tuulen alapuolella. Keräysaika oli n. 7 tuntia. Keräimenä käytettiin polyeteenikeräintä ($\phi = 15$ cm).

Tulokset muodostuivat taulukon 13 mukaisiksi.

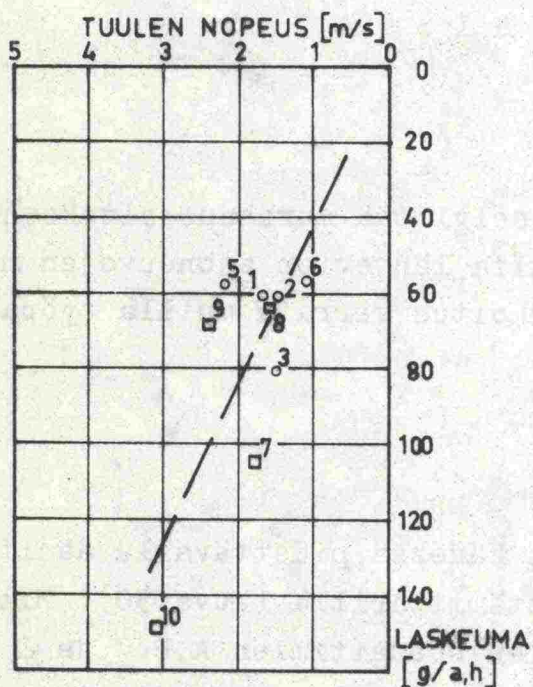
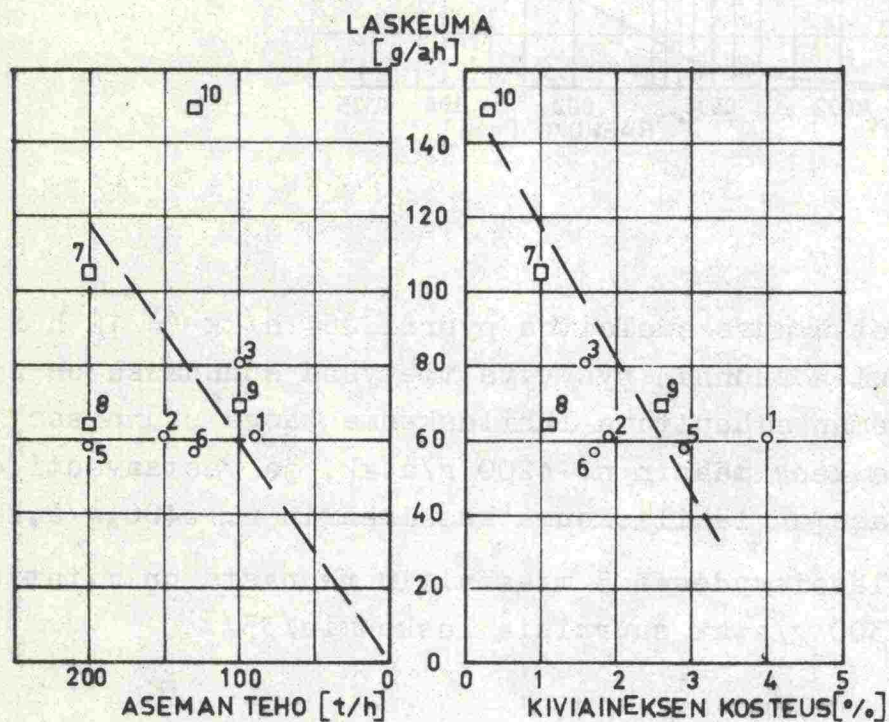
Soraa murskaavien asemien laskeuman keskiarvo oli 63,6 g/a,h, ja louhoskiveä murskaavien asemien laskeuman keskiarvo 96,8 g/a,h.

Laskeuman riippuvuus aseman tehosta, murskatun kiviaineksen kosteudesta ja mittausaikaisesta tuulen nopeudesta ilmenee kuvasta 28. Aseman n:o 10 laskeutuneesta pölystä tehtiin areometriana-

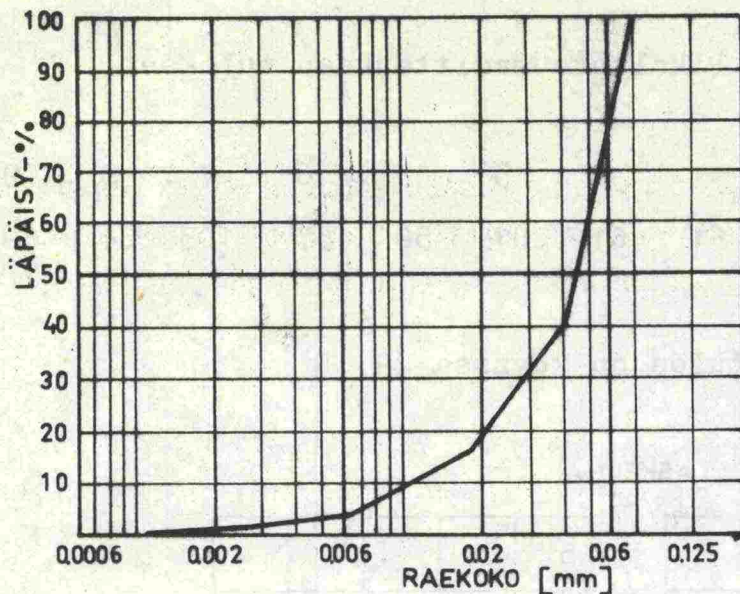
Taulukko 13. Pikalaskemamittauksen tulokset

. Asema n:o .	1 .	2 .	3 .	5 .	6 .	7 .	8 .	9 .	10 .
. Lask.g/a,h.	61	61	81	58	57	105	64	69	149

lyysi, jonka tulos on kuvassa 29.



Kuva 28. Aseman tehon, kiviaineksen kosteuden ja tuulen nopeuden vaikutus laskeumaan (O = sora-asema, □ = louhoskiviasema).



Kuva 29. Laskeutuneen pölyn rakeisuus.

Olettaen, että murskauslaitos pyörii 264 h/kk (= 12 h x 22 pv), ja että tuulen suunnan pysyvyys tietyssä suunnassa on 25 %, olisi sora-aseman aiheuttama lähilaskeuma tässä suunnassa tuulen alapuolella keskimäärin n. 4200 g/a,kk, ja vastaavasti olisi louhoskiviaseman lähilaskeuma keskimäärin n. 6400 g/a,kk.

Valtatien läheisyydessä 5 m asfaltin reunasta on mitattu 64400...43300 g/a,kk suuruisia laskeumia/35/.

2. MELUNMITTAUKSISTA

2.1 JOHDANTO

Melunmittauksilla haluttiin selvittää murskauslaitoksen aiheuttama melu sekä murskausasemalta lähtevien ajoneuvojen melu. Mitattuja melutasoja oli tarkoitus verrata muilla työpaikoilla esiintyviin melutasoihin.

2.2 MELUMITTARI

Melunmittaukset suoritettiin kädessä pidettävällä äänitasopaineen mittarilla eli ns. kenttämittarilla (kuva 30). Mittarissa on dB-asteikko ja painottavien suodattimien A,B,C ja D (vrt.I5.) kytkentämahdollisuus. Näissä mittauksissa käytettiin pelkästään A-suodatinta.



Kuva 30. Melumittari.

2.3 MITTAUSTAPA

Murskausmelu mitattiin eri etäisyyksillä asemaan nähden tuulen alapuolella. Mittauspisteet olivat 20, 50, 100, 200, 300 ja 400 m päässä asemasta. Joka mittauspisteessä tehtiin kolme havaintoa. Murskainten melu mitattiin n. 2 m päässä murskaimesta. Kahdella asemalla suoritettiin kuusi tuntia kestävä mittaus 100 m päässä asemasta tuulen alapuolella, jolloin havainnot tehtiin viiden minuutin välein. Siten tuli mukaan myös tyhjäkäyntien ja taukojen melu.

Ajoneuvomelu mitattiin 20 m päässä ajoneuvosta. Melutasoksi otettiin melumittarin maksiminäyttämä ajoneuvon ohittaessa mittauspisteen.

2.4 TULOKSET

2.41 Murskausmelu

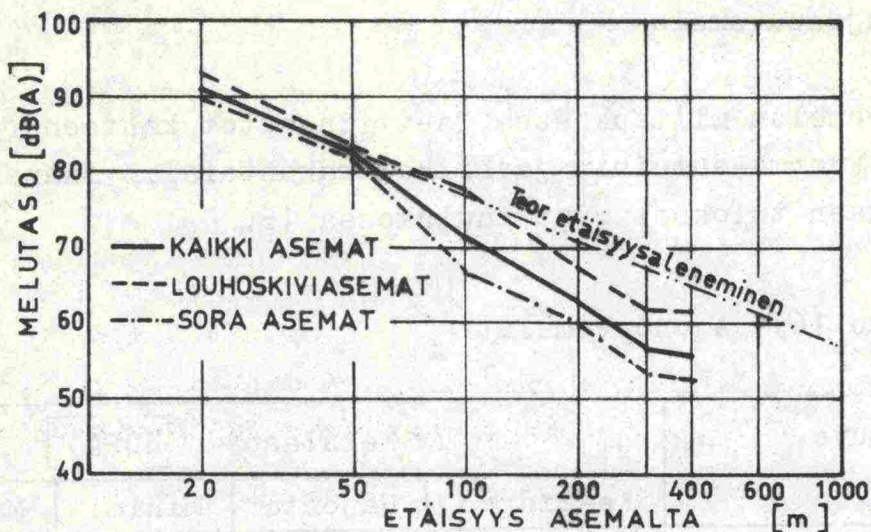
Murskauslaitosten mitatut melutasot käyvät ilmi taulukosta 14, ja taulukkoon 15 on koottu melutasojen keskiarvot. Melun etäisyysalennus näkyy kuvasta 31.

Taulukko 14. Asemakohtaiset melutasot eri etäisyyksillä, dB(A)

Asema n:o	Etäisyys asemalta [m]							
	Etumur.	Jälkim.	20	50	100	200	300	400
1	111	-	93	81	58	51	50	48
2	112	103	92	83	73	69	65	59
3	111	101	88	81	73	61	42	-
4	102	101	91	84	52	55	56	57
5	111	96	83	79	68	61	56	53
6	103	110	91	81	76	63	52	45
7	102	100	93	82	77	70	66	63
8	115	115	94	84	75	64	63	64
9	107	100	93	85	08	63	57	-
10	108	106	92	84	79	72	61	58

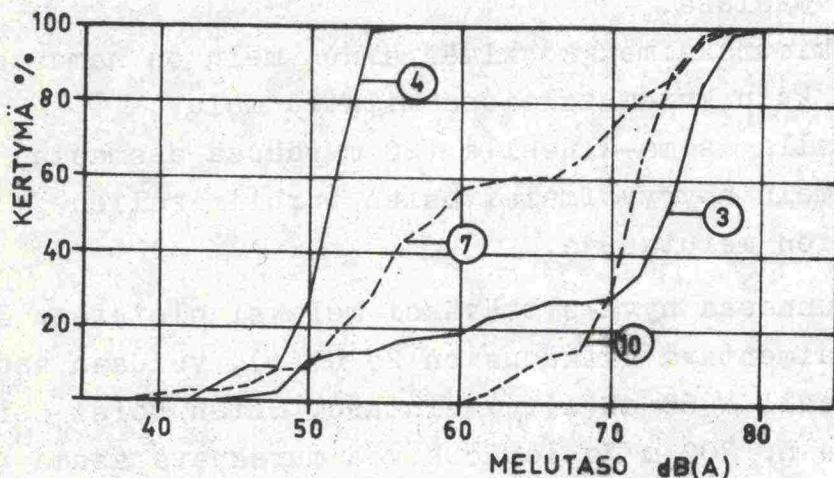
Taulukko 15. Melutasojen keskiarvot asematyypeittäin, dB(A)

Asema	Etäisyys asemalta [m]							
	Etum.	Jäl.m.	20	50	100	200	300	400
<u>Kaikki as.</u>								
Keskiarvo	108,2	103,5	91,0	82,4	71,1	62,9	56,8	55,9
Hajonta	4,5	5,9	3,3	1,9	9,2	6,5	7,4	6,8
<u>Sora-as.</u>								
Keskiarvo	108,3	102,2	89,7	81,5	66,7	60,0	53,5	52,4
Hajonta	4,5	5,1	3,7	1,8	9,6	6,3	7,6	5,9
<u>Louhosk.as.</u>								
Keskiarvo	108,0	105,3	93,0	83,7	77,8	67,3	61,8	61,7
Hajonta	5,3	7,1	0,8	1,3	2,2	4,4	3,8	3,2



Kuva 31. Melun etäisyysalenneminen.

Kuvassa 32 ovat neljän aseman melutasojen pysyvyyskäyrät. Asemien 3 ja 4 pysyvyyskäyrät perustuvat yhden tunnin pituiseen mittaukseen, jolloin tehtiin havainnot minuutin välein. Asemien 7 ja 10 pysyvyyskäyrät perustuvat kuuden tunnin mittaukseen. Aseman 3 havaintopiste sijaitsi montun reunalla ja aseman 4 havaintopiste murskausasemasta alaspäin viettävässä metsikössä. Suuri ero asemien 7 ja 10 melutason pysyvyydessä johtui katkonaisuudesta aseman 7 käynnissä.



Kuva 32. Melutason pysyvyys muutamalla asemalla.

2.42 Ajoneuvomelu

Ajoneuvomelun mittauksessa jaettiin autot kahteen ryhmään: tavallisiin kuorma-autoihin ja erikoisrakenteisiin maansiirtoautoihin. Mittauksen tulokset ovat taulukossa 16.

Taulukko 16. Ajoneuvomelut

Ajoneuvo	Melutaso [dB(A)]			
	Keskiarvo	Hajonta	Minimi	Maksimi
Tav.kuorm.auto	75,1	5,6	67	83
Maansiirtoauto	82,9	5,4	74	92

2.5 MITATTUJEN MELUTASOJEN VERTAILUA TYÖPAIKKOJEN JA LIIKENTEEN MELUIHIN

Verrattaessa murskauslaitoksen asema-alueella mitattuja melutasoja teollisuudessa mitattuihin meluihin (vrt. I 5.8) voidaan todeta seuraavaa:

- Esimurskaimen melu on keskimäärin n. 3 dB(A) korkeampi kuin pienien moottorilaitteiden konehuoneissa mitattu melu ja n. 10 dB(A) matalampi kuin kallioporakoneiden melu kaivoksissa.
- Jälkimurskaimen keskimääräinen melu on samaa suuruusluokkaa kuin kutomasaleissa mitattu melu.
- Muualla asema-alueella (20 m päässä asemasta) vastaa mitattu melu höyryvoimalaitosten turbiinisalien ja kirjapainosalien melutasoja.

Mikäli asunnossa hyväksyttäväksi meluksi oletetaan 35 dB(A), ja ikkunan vaimentava vaikutus on 25 dB(A), voidaan asunnon ulkopuolella sallia 60 dB(A):n melutaso. Siten voisi soraa murskaava asema olla n. 200 m ja louhoskiveä murskaava asema 400...500 m päässä melusta häiriintyvistä asutuksesta.

Jotta 20 m päässä ajoneuvosta mitattuja meluja voitaisiin verrata 7,5 m päässä ajoneuvosta mitattuihin meluihin, lisätään tässä tutkimuksessa mitattuihin meluihin matkan $20 \text{ m} - 7,5 \text{ m} = 12,5 \text{ m}$ aiheuttama teoreettinen etäisyysalennus, joka on

n. 8,5 dB(A). Tavallisten kuorma-autojen keskimääräinen melutaso 7,5 m päässä ajoneuvosta olisi siten n. 84 dB(A), mikä on 4 dB(A) korkeampi kuin mitä Helsingissä on mitattu samalla etäisyydellä. Maansiirtoautojen korjattu melutaso on n. 91 dB(A). Tämä vastaa likimain Helsingissä mitattuja moottoripyörien melutasoja (vrt. I 5.8).

III SUOSITUKSIA

1. MURSKAUSASEMAN PAIKAN VALINTA

Mursakausaseman paikka tulisi valita niin, ettei ympäristölle aiheudu tarpeetonta haittaa. Seuraavia tekijöitä olisi huomioitava paikan valinnassa:

1. Asema tulisi sijoittaa niin, että aseman ja asutuksen väliin jää riittävän leveä metsitetty suojavaohyke.
2. Suomessa tavallisin tuulen suunta on etelän ja lounaan välinen. Asema olisi siten yleensä sijoitettava asutuksen pohjois-koillispuolelle pöly- ja meluhaittojen pienentämiseksi.
3. Sijoittamalla asema maaston alavaan kohtaan tulisi estää melun suoraviivaista etenemistä häiriintyviin kohteisiin.
4. Asemaa ei saisi sijoittaa pohjaveden ottamon suoja-alueelle.
5. Asema tulisi sijoittaa niin kaukana häiriintyvistä kohteista, että niissä seuraavat ehdot täyttyvät:
 - a) laskeuma ≤ 500 g/a,kk,
 - b) leijuma $\leq 0,15$ mg/Nm³ tai $\leq 0,50$ mg/Nm³ mikäli kuormitus kestää = 2 h sekä
 - c) melutaso ≤ 60 dB(A) mitattuna asunnon ikkunan ulkopuolella.

Suoritettujen tutkimuksien mukaan alitetaan leijuma $0,15$ mg/Nm³ sora- ja louhoskiveä murskaavilla asemilla n. 400 m päässä asemasta ja louhoskiveä murskaavilla asemilla n. 800 m päässä asemasta (etäisyydet ekstrapoloitu). Melutaso 60 dB(A) alitetaan sora- ja louhoskiviase-
milla n. 450 m päässä asemasta.

2. MURSKAUSASEMAN PÖLYN- JA MELUNTORJUNTA

Työturvallisuussyistä olisi pölyn- ja meluntorjuntaan kiinnitettävä huomiota seuraavasti:

1. Mikäli leijuman hienoin osa, hiukkaset alle 5μ , asema-alueella ylittää turvallisen peruskuorman, tulisi pölyssä jatkuvasti oleskelemaan joutuvien työntekijöiden käyttää hengityssuojaimia.
2. Melutason pysyessä jatkuvasti yli 85 dB työntekijöiden olisi käytettävä kuulosuojaimia.

Mikäli sallitut pöly- ja melurajat ylitetään häiriintyvissä kohteissa, olisi ryhdyttävä torjuntatoimenpiteisiin seuraavasti:

1. Asema tulisi suunnitella sellaiseksi, että vältetään tarpeettomia pöylähteitä.
2. Murskaimiin tulisi syöttää vettä pölyn sitomiseksi, ja suurimmat pöylähteet olisi koteloitava pölyn leviämisen estämiseksi.
3. Määräävät melulähteet tulisi eristää meluemission pienentämiseksi, tai olisi rakennettava suojavalleja, esimerkiksi varastokasojen muodossa, melun häiriintyviin kohteisiin tapahtuvan suoraviivaisen etenemisen estämiseksi.

3. VALVONTAMITTAUKSET

Leijumamittaukset

Leijumamittaukset suoritetaan painoanalyttisellä mittauslaitteella, joka ilmoittaa kokonaisleijuman. Hienon, raekooltaan alle 5 μ olevan pölyn osuuden selville saamiseksi on käytettävä kaksiaseteista näytteenottoa, jossa karkeimmat vaarattomat hiukkaset erotetaan.

Leijumamittaus suoritetaan asema-alueella sekä kohdekohtaisena mittauksena häiriintyvissä pisteissä. Mittaus suoritetaan aseman toimiessa täydellä tehollaan.

Laskeumamittaukset

Laskeuma määrätään polyeteenikeräimellä, jonka korkeus on 20 cm \pm 10 % ja halkaisija 15 cm \pm 10 %. Keräin pystytetään 2 m korkeudelle maanpinnasta.

Laskeumamittaus suoritetaan kohdekohtaisena mittauksena, kun halutaan selvittää laskeutuvasta pölystä aiheutuva haitta.

Melunmittaukset

Melutaso määritetään äänitasopaineen mittarilla eli ns. kenttämittarilla. Melutaso ilmoitetaan dB(A):na.

Melunmittauksia suoritetaan asema-alueella eri työpisteissä työntekijän korvan korkeudella. Ympäristön häiriintyvissä kohteissa melu mitataan asunnon ikkunan ulkopuolella.

4. POHJAVEDEN SAASTUMISEN EHKÄISEMINEN

Soraharjut ja -esiintymät ovat tärkeitä pohjaveden varastoja, joten kaivutoiminnassa soraomtuissa tulisi ottaa huomioon seuraavaa:

1. Olisi vältettävä soranoton ulottamista pohjaveden pinnan alapuolelle. Pohjaveden suojelemiseksi tulisi eri maalojeissa jättää seuraavanpaksuiset suojakerrokset:
 - savi tai hiesu vähintään 1 m,
 - hieta tai hieno hiekka vähintään 1,5 m sekä
 - karkea tai soransekainen hiekka vähintään 4 m.
2. Öljytuotteiden käsittelemisessä asema-alueella tulisi noudattaa erityistä varovaisuutta. Polttoaineet ja voiteluaineet tulisi säilyttää paikassa, jossa on öljyä läpäisemätön pohja.
3. Mahdollisten vahinkotapausten varalta tulisi asema-alueella olla väliaikainen kaatopaikka öljystä saastuneelle maalle. Kaatopaikan pohja on tehtävä öljyä läpäisemättömäksi savella tai muulla aineella.
4. Öljyvahinkojen sattumisen varalta olisi veden saastumisen torjumiseksi laadittava toimenpidesuunnitelma.
5. Olisi huolehdittava siitä, että pölynsidonnassa käytetty vesi ei pääse huuhtomaan öljyjätteitä mukaansa pohjaveen.
6. Mikäli pohjaveden pinta on kaivettu näkyville, olisi tämä kohta peitettävä puhtaalla tiiviillä maalla.

YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää murskausaseman toiminnasta aiheutuva ympäristön saastuminen. Päähuomio kiinnitettiin aseman pölyämiseen ja meluamiseen. Murskausasemien ympäristössä suoritetuilla leijuvan ja laskeutuvan pölyn mittauksilla pyrittiin selvittämään pölyimission suuruutta. Mittausten yhteydessä tuli myös selvittää eri tekijöiden vaikutusta pölyämiseen ja pölyn leviämiseen. Ottaen huomioon ISMET:in suositukset, oli selvitettävä murskausaseman mahdollisen suojavyöhykkeen vaadittava leveys. Melunmittauksilla haluttiin selvittää murskauslaitoksen aiheuttama melu sekä murskausasemalta lähtevien ajoneuvojen melu.

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa selvitellään kirjallisuustutkimuksen perusteella aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia sekä selvitetään murskausaseman paikan valintaan vaikuttavia ympäristötekijöitä. Siinä käsitellään myös aseman pölyämistä, pölyntorjuntaa, pölyn haittavaikutuksia ympäristöön sekä leijuvan pölyn mittauslaitteita. Ensimmäisen osan lopussa käsitellään aseman meluamista, melun etenemiseen vaikuttavia tekijöitä sekä melun torjuntamahdollisuuksia.

Tutkimuksen toisessa osassa käsitellään murskausasemilla suoritettuja pölyn- ja melunmittauksia. Alussa kuvataan leijuvan pölyn mittauksissa käytettyä mittauslaitetta ja sen käyttöä. Suurimpana vaikeutena leijuman mittauksissa oli luokusten ympäristötekijöiden vaikutus mittaustuloksiin. Täten oli vaikeata selvittää, mitkä olivat aseman tiettyjen ominaisuuksien vaikutukset leijumaan, kun esimerkiksi tuuli ja maasto samanaikaisesti vaikuttivat mittaustuloksiin. Tutkimuksen pienellä havaintomateriaalilla pystyttiin silti arvioimaan eräiden tekijöiden vaikutusta pölyämiseen.

Verrattaessa sora- ja louhoskiveä murskaavia asemia keskenään, todettiin, että louhoskiviasemien aiheuttama pölyimissio on huomattavasti suurempi kuin sora-asemien aiheuttama pölyimissio. Asemien asema-alueella todettu keskimääräinen leijuma on samaa suuruusluokkaa kuin vastaavanlaisessa saksalaisessa tutkimuksessa mitattu leijuma. Todettiin, että pöly voi kulkeutua

hyvin kauaksi asemalta, mikäli maasto- ja sääolosuhteet ovat suotuisat pölyn kulkeutumiselle. Verrattaessa erilaisia pölyntorjuntamenetelmiä keskenään, todettiin, että pölylähteiden kotelointi pienentää hyvin tehokkaasti ympäristöön leviävää pölymäärää.

Laskeumamittaus suoritettiin yhdellä louhoskiveä murskaavalla asemalla. Aseman lähiympäristössä n. 100 m säteellä oli kuukausilaskeuma samaa suuruusluokkaa kuin kaupunkien keskustoissa mitatut laskeumat. Erään asfalttiaseman ympäristössä tehtyyn laskeumamittaukseen verrattuna oli murskausaseman kuukausilaskeuma erittäin suuri.

Suoritettuja melunmittauksia käsitellään toisen osan lopussa. Murskausmelu oli kaikkien tutkittujen asemien asema-alueella sitä suuruusluokkaa, että se edellyttää työntekijöiden kuulosuojainten käyttöä. Kuljetusautojen melutasot todettiin paljon korkeammiksi kuin muualla mitatut kuorma-autojen melutasot.

Kolmannessa osassa on eräitä suosituksia. Siinä käsitellään aseman paikan valintaa, pölyn- ja meluntorjuntaa, valvontamittauksia sekä pohjaveden saastumisen ehkäisemistä.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- /1/ Brandt, O.: Bullerfrågor i samhällsplanering. Bygg huvuddel 8, AB Byggmästarens Förlag, Stockholm 1962
- /2/ Brinck, P. ym.: Luftmiljön. Natur och Kultur, Borås 1972
- /3/ Buck, M.: Die Bedeutung des Immissionsschutzes für die Vegetation. Staub 1/1970
- /4/ Drinker, P.: Industrial dust. Mc Graw-Hill Book Company USA 1954
- /5/ Dunmore, J.H.: An instrument for the sampling of respirable dust for subsequent gravimetric assessment. Journal of Scientific Instruments, Vol. 41/1964 s.669
- /6/ Ebens, R.: Erfahrungen mit einigen kontinuierlich arbeitenden Staubdosiervorrichtungen zur Aufrechterhaltung konstanter Staubkonzentrationen in Prüfanlagen. Staub 3/1969
- /7/ Ekman, E.: Öljytuotteiden käyttötyminen vahinkotapauksissa. INSKO julkaisu 47-70 Helsinki 1970
- /8/ Elvhammar, H., Ingemansson, S.: Bullerproblem vid trafikleder. Väg- och vattenbyggaren 3/1965
- /9/ Engels, L-H, Heidermanns, G., Knobloch, S.: Die staubtechnische Situation in den Kieswerken der Bundesrepublik Deutschland. Staub 12/1970
- /10/ Gerhardsson, G.: Buller. Bonniers boktryckeri, Stockholm 1971

- /11/ Haapanen, A.,
Mikola, P.,
Tenovuo, R.:
Luonto ja luonnonsuojelu.
Otava Helsinki 1971
- /12/ Hartikainen, O-P:
Murskauksen teoriaa. TKK Rautatienrakennus sekä maa- ja tienrakennus
Julkaisu 10 Helsinki 1968
- /13/ Herod, B.C.:
National Crushed Stone Association's dust control seminars.
Pit & Quarry kesäkuu/1969
- /14/ Holst, H-A:
Rädda miljön.
Bonniers boktryckeri, Stockholm 1969
- /15/ Huovila, S.:
On the structure of wind speed in Finland. Ilmatieteellisen keskuslaitoksen toimituksia n:o 69 Helsinki 1967
- /16/ Huovila, S.,
Kulmala, A.:
Radioaktiivisen laskeuman ennustamisesta. Ilmatieteen laitos, tutkimuslause n:o 2 Helsinki 1968
- /17/ Iohn, P.:
Schutz gegen gesundheitsschädlichen Staub bei der Steingewinnung,-bearbeitung und -verarbeitung. Die Industrie der Steine und Erden 3/1969
- /18/ Jung, H.:
Luftverunreinigung und industrielle Staubbekämpfung.
Akademie-Verlag Berlin 1968
- /19/ Kaartotie, T.:
Vesiensuojelu. Weilin+Göös Helsinki 1971
- /20/ Kahnwald, H.:
Staubmessung in strömenden Gasen. Mitteilung Nr. 579 der Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute
- /21/ Kankainen, J.:
Murskaus- ja seulentälaitokset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, Rakennuskoneet RIL 88 Helsinki 1971

- /22/ Kulmala, A.: Dusty rains in Finland, spring 1965.
Ilmatieteen laitoksen toimituksia n:o 66
Helsinki 1966
- /23/ Kulmala, A.: Ilman puhtautta säätelevät meteorologiset tekijät. INSKO julkaisu 29-68
Helsinki 1968
- /24/ Laakso, T.K.: Melu ja sen torjuminen.
INSKO julkaisu 17-66 Helsinki 1966
- /25/ Laamanen, A.: Ilman saastumisen tutkimus ja tarkkailu sekä Suomen ilman epäpuhtaudet kuvin ja taulukoin.
INSKO julkaisu 4-70 Helsinki 1970
- /26/ Laamanen, A.,
Noro, L.: Helsingin ilman leijuvat ainekset. Kat-
saus vuodelta 1959 - 1965. Työterveys-
laitoksen tutkimuksia n:o 30 H:ki 1967
- /27/ Laamanen, A.,
Noro, L.: Ulkoilman saastuminen. Työterveyslaitok-
sen tutkimuksia n:o 18 Helsinki 1966
- /28/ Laamanen, A.,
Noro, L.,
Rantanen, Y.: Turun kaupunki-ilman saastuneisuustut-
kimus. Työterveyslaitoksen tutkimuk-
sia n:o 36
- /29/ Laamanen, A.,
Partanen, P.: Yhteiskunnallista ilmansuojelua. Työter-
veyslaitoksen julkaisuja n:o 5 H:ki 1971
- /30/ Laamanen, A.,
Rantanen, Y.: Tampereen yhdyskuntailma v 1969.
Työterveyslaitoksen tutkimuksia n:o 64
Helsinki 1971
- /31/ Lampio, E.: Voimalaitos ja melu. Voima-Viesti 2/1972
- /32/ Lehtinen, P.U.: Työpaikkojen melu.
INSKO julkaisu 17-66 Helsinki 1966

- /33/ Liikenneministeriö: Liikenneministeriön päätös moottoriajoneuvoasetuksen täytäntöönpanosta annetu kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön päätöksen muuttamisesta.
Asetuskokoelma 438/70
- /34/ Lumio, I.S.: Melu lääketieteellisenä ongelmana.
INSKO julkaisu 17-66 Helsinki 1966
- /35/ Matilainen, E.: Asfalttiaseman pölyämisestä ja sen mitaamisesta. Diplomityö 1971
- /36/ Miettinen, U.: Johdatus liikenteen melun huomioon ottaamiseen kaavoituksessa. Diplomityö 1971
- /37/ Mustonen, E.: Ilman saastumisen tekniset torjuntamene-
telmät. INSKO julkaisu 4-1970 H:ki 197
- /38/ Nordlund, G.: Ilmaan päästetyn saasteen leviämisestä
rannikon läheisyydessä. Ilmatieteen lai-
toksen tiedonantoja n:o 24 Helsinki 197
- /39/ Oksanen, L.: Höyryvoimalaitos ja ympäristö.
Voima-Viesti 2/1972
- /40/ Pit & Quarry: Dust- and soundproof stone-crushing
plant protects workers and environment.
Pit & Quarry helmikuu/1970
- /41/ Rakennushallitus: Melu ja kaavoitus. Tiedotus 2:68
Helsinki 1968
- /42/ Rossano, A.T.: Air pollution control. Environmental
Science Service Division, Stamford 1969
- /43/ Rumpf, H.: Über die Feinheitsbestimmung von
technischen Stäuben. Staub 1/1965
- /44/ Schütz, A.: Der MAK-Wert für Quarzfeinstaub unter
dem Gesichtspunkt der Verhältnisse in
der obertägigen Industrie. Staub 11/1

- /45/ Siltanen, E.,
Simecek, J.: Staubuntersuchungen in finnischen
Glessereien. Staub 4/1970
- /46/ Simecek, J.: Hygieeniset pölymittaukset.
Työterveysuutiset 5/1969
- /47/ Soini, I.: Aeronautical climatological conditions
at Helsinki aerodrome. Finnish Meteorolo-
gical Institute Report n:o 17 H:ki 1970
- /48/ Soini, I.: Aeronautical climatological conditions
at Kuopio aerodrome. Finnish Meteorolo-
gical Institute Report n:o 24 H:ki 1970
- /49/ Soini, I.: Aeronautical climatological conditions
at Rovaniemi aerodrome. Finnish Meteorolo-
gical Institute Report n:o 28 H:ki 1970
- /50/ Stern, A.: Air pollution I-III.
Academic Press USA 1968
- /51/ Strømsøe, S.: Grenser for støvfall. Nordisk Institutt
for Luftforskning. Teknisk notat n:o 1/71
- /52/ Strømsøe, S.: Grenser for svevestøv. Nordisk Institutt
for Luftforskning. Teknisk notat n:o 2/71
- /53/ Strømsøe, S.: Skadevirkninger og grenseverdier for
ulike typer støv. Nordisk Institutt for
Luftforskning. Teknisk notat n:o 7/71
- /54/ Suomen Rakennusin- Ääneneristysnormit, RIL 55. H:ki 1967
sinöörien Liitto:
- /55/ Sutter, E.: Staubmessungen beim Auftragen von
Spritzbeton in Untertagebauten.
Staub 2/1971
- /56/ Tadjell-Foster, D.: Managing the noise problem. Environment
Pollution Management tammikuu/1972

- /57/ Tie- ja vesiraken- Liikenteen melu ja tiensuunnittelu.
nushallitus: Helsinki 1972
- /58/ Tie- ja vesiraken- Ympäristönsuojelu ja -hoito maankamaran
nushallitus: ainesten kaivutoiminnassa. Helsinki 1971
- /59/ Trauffer, W.E.: Maine's new dust-free crushed stone
plant. Pit & Quarry elokuu/1970
- /60/ Valtioneuvosto: Valtioneuvoston päätös lääkärintarkas-
tuksista työturvallisuuslain 44 §:ssä
tarkoitettussa työssä.
Asetuskokoelma 232/61
- /61/ Valtion ilmansuoje- Ulkoilman laadun arviointiperusteet.
lun ja meluntorjun- Tiedotuksia n:o 3 Helsinki 1969
nan neuvottelukun-
ta:
- /62/ Venho, S.N.: Aeronautical meteorological tables at
Kuopio and Vaasa airports.
Ilmatieteellisen keskuslaitoksen toimi-
tuksia n:o 49 Helsinki 1959
- /63/ Venho, S.N.: Meteorologia. WSOY Porvoo 1971
- /64/ Venho, S.N.: On the distribution of wind in Finland.
Ilmatieteellisen keskuslaitoksen
toimituksia n:o 45 Helsinki 1958
- /65/ VDI-Richtlinien Bestimmung des partikelförmigen Nieder-
2119, Entwurf: schlags mit dem Hibernia- und Löbner-
Liesegang-Gerät. Düsseldorf 1971
- /66/ Ödelycke, P.: Utvecklingsarbeten och litteraturreferat
rörande dammätning. Arbetsmedicinska
Institutet, Rapport 3/68 Stockholm 1968
- /67/ Öhman, H.: Provtagnings- och analysförfarande för
silikosfarligt damm. Arbetsmedicinska
Institutet, Rapport 3/68 Stockholm 1968

ISBN 951 - 46 - 0125 - 4

73-842/Kr342