

Tielaitos

Tutkimus pölyntorjunnasta murskaamoilla

NÄYTEKPL.

Tielaitoksen
selvityksiä

83/1993

Helsinki 1993

Keskushallinto

Tielaitoksen selvityksiä
83/1993

**Tutkimus pölyntorjunnasta
murskaamoilla**

Tielaitos
Keskushallinto

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-8763-3
TIEL 3200207
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Esipuhe

Valtiovarainministeriö osoitti 22.3.1990 tiehallitukselle määrärahan valtion vuoden 1989 tulo- ja menoarvion momentilta 28.80.23 (Työsuojelun edistäminen) käytettäväksi tutkimushankkeen "Pölyntorjunta murskaamoilla" toteuttamiseen.

Tiehallitus nimesi asiaa johtamaan ja valvomaan seurantaryhmän. Sen puheenjohtajana toimi työsuojeluinsinööri Seija Vilander tiehallituksesta ja jäsenenä ylitarkastaja Antero Honkasalo ympäristöministeriöstä, osastopäällikkö Juhani Innanen Lemminkäinen Oy:stä, toimistoinsinööri Tuomo Kallionpää, teknikko Paavo Paananen ja insinööri Pauli Pouttu tiehallituksesta, työsuojeluinsinööri Erkki Reinikka työsuojeluhallituksesta, tieinsinööri Runo Uusitalo Hämeen tiepiiristä ja insinööri Esko Suntio Esko Suntio Oy:stä.

Tiehallitus tilasi aiheeseen liittyvän tutkimuksen Insinööritoimisto Erkki Matilainen Oy:ltä. Seurantaryhmän sihteerinä toimi toim.joht. Erkki Matilainen.

Seija Vilander

Puheenjohtaja

Sisältö	
Esipuhe	3
1 JOHDANTO	9
2 PÖLYPITOISUUDET JA PÖLYN LAATU MURSKAAMOILLA	10
2.1 Pölypäästöt	10
2.1.1 Pölyn lähteet	10
2.1.2 Päästökorkeudet	11
2.1.3 Pölyhiukkasen putoaminen ilmassa	12
2.1.4 Kulkeutuminen	13
2.2 Mitattuja pölypitoisuuksia murskaamojen lähietäisyyksillä	13
2.2.1 Mittaukset 1970-luvulla	13
2.2.2 Mittaukset 1980-luvulla	16
2.2.3 Päätelmiä murskaamojen pölypäästöistä ja niiden leviämisestä työ- ja lähiympäristöön	18
2.3 Murskaamopölyn laatu	19
2.3.1 Pölyhiukkaset ja terveyshaitta	19
2.3.2 Pölyleijuman rakeisuus	20
2.3.3 Pölyleijuman painon muodostuminen	21
2.3.4 Hengitettävän ja keuhkoihin pääsevän pölyn osuudet	22
2.3.5 Pölyleijuman kvartsi	22
2.3.6 Pölyleijuman silikaatit	23
2.3.7 Asbesti	24
2.3.8 Päätelmiä pölyn laadusta murskaamon työympäristössä	25
2.4 Työntekijöiden pölyaltistukset	26
2.4.1 Ongelmalliset työvaiheet	26
2.4.2 Valvomon työntekijän pölyaltistus	26
2.4.3 Kuormaajan, maansiirtoauton ja kuorma-auton kuljettajan pölyaltistus	29
2.4.4 Murskaamon kunnossapidosta vastaavan työntekijän pölyaltistus	30
2.4.5 Kaivukoneen kuljettajan pölyaltistus	31
2.4.6 Laborantin pölyaltistus	31
2.4.7 Muiden murskaamolla työskentelevien pölyaltistus	32
3 PÖLYNTORJUNNAN TAVOITTEET JA TARPEET	32
3.1 Hyväksyttävät kokonaispölypitoisuudet ilmassa	32
3.2 Pölypitoisuus hengitysilmassa	33
3.3 Kvartsi ja silikaatit	34
3.4 Asbesti ja muut kuidut	35
3.5 Tapaturmat ja ammattitaudit	35
3.6 Muut kuin terveydelliset näkökohdat	36

4	PÖLYNTORJUNTATEKNIIKAT JA KUSTANNUKSET	36
4.1	Päästöjen vähentäminen	36
4.2	Pölynpoistolaitteet	39
4.2.1	Pölynerottimet	39
4.2.2	Muut pölynpoistolaitteiston osat	44
4.3	Työkoneitten ja ajoneuvojen pölynpoistojärjestelmät	44
4.4	Muut pölyntorjuntatekniikat murskaamalla	45
4.4.1	Leviämiseste	45
4.4.2	Ilmavirtausten ohjailu	45
4.5	Työmaatiloiden pölynpoisto	45
4.5.1	Valvomo	45
4.5.2	Siirrettävät työmaarakennukset	46
4.5.3	Siivous	46
4.5.4	Henkilökohtainen puhdistus	46
4.6	Henkilökohtaiset suojaimet	47
4.6.1	Hengityksensuojaimet	47
4.6.2	Silmäsuojaimet	49
4.6.3	Korvien suojaaminen	49
4.7	Altistuksen vähentäminen	49
4.8	Pölyntorjuntatoimien kustannukset	50
5	PÖLYNTORJUNNAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	52
5.1	Suunnittelua koskevia velvoitteita	52
5.2	Pölyntorjunta vanhalla murskaamalla	52
5.3	Uuden murskaamon pölyntorjunnan suunnittelu	53
5.4	Sijoituspaikkakohtainen suunnittelu	54
5.5	Pölynpoistolaitoksen suunnittelu ja mitoitus	55
5.6	Pölyntorjunnan toteutus	58
5.7	Työntekijöiden suojelu	59
5.7.1	Opetus ja ohjaus	59
5.7.2	Henkilökohtaiset suojaimet	60
5.7.3	Lääkärintarkastukset	60
5.8	Muiden kuin vakituisten työntekijöiden suojelu	60
6	PÖLYNTORJUNNAN RIITTÄVYYDEN VALVONTA	61
6.1	Silmämääräinen havainnointi	61
6.2	Pölypitoisuusmittaukset	61
6.2.1	Säännökset	61
6.2.2	Pölyleijuman keräyslaitteistot	62
6.2.2.1	Keräyslaitteistotyypit	62
6.2.2.2	Keräyspää	62
6.2.2.3	Suodatin	66
6.2.2.4	Imurit	67
6.2.2.5	Ilmavirtauksen määrittäminen	67

6.2.3 Tulosten laskenta ja tulkinta	68
6.2.3.1 Suodattimen punnitseminen	68
6.2.3.2 Ilmamäärä	68
6.2.3.3 Kokonaisleijuma	69
6.2.3.4 Pölyn rakeisuus	69
6.2.3.5 Hengitettävän pölyn pitoisuus	69
6.2.3.6 Partikkelien tunnistaminen	70
6.3 Työterveystarkastusten tulokset	70
6.4 Työntekijöiden haastattelu	71
6.5 Ympäristövaikutukset	71
7 PÄÄTELMÄT JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	71

7.1 Pölypitoisuuksien haitallisuus	71
7.2 Pölynpoistotekniikka	72
7.3 Turvallisuustiedote	73
7.4 Rakennuttaminen	74
7.5 Työntekijöiden informaatio ja koulutus	74
7.6 Säännökset ja mittausstandardit	75
7.7 Partikkelikinetiikka ja patologia	75
KIRJALLISUUS	76

1 JOHDANTO

Murskaamojen ympäristönsuojelukysymyksiin kiinnitettiin yleistä huomiota 1970-luvun alussa. Tiehallitus (aiemmin tie- ja vesirakennushallitus) julkaisi ensimmäiset murskausaseman ympäristönsuojeluohjeet 1974. Ne olivat tarkoitettuja käytettäväksi tielaitoksen (aiemmin tie- ja vesirakennuslaitos) töissä sopimusperusteisesti. Sittemmin ohjeet levisivät yleiseen käyttöön. Tiehallitus tarkisti ja täydensi ohjeita 1970-luvulla. Viimeisimmät ohjeet /1/ ovat vuodelta 1989.

Murskauslaitokset on em. ohjeissa jaettu sora- ja kalliolouhetta raaka-aineena käyttäviin asemiin (tyypit I ja II). Edelleen asemat on jaettu pölynpoisto- ja meluntorjuntatekniikan suhteen kolmeen luokkaan seuraavasti:

- | | |
|----------|---|
| Luokka A | Koteloitu, tarkoituksenmukaisella ja tehokkaalla pölynpoistolaitteistolla varustettu asema, jossa kotelointi vähentää ympäristöön pääsevää melua yli 15 dBA |
| Luokka B | Koteloitu asema, jossa pölynpoisto on järjestetty kastelemalla ja jossa kotelointi vähentää ympäristöön pääsevää melua vähintään 10 dBA |
| Luokka C | Asema, jolla pöly pääsee ilmaan lähes esteettömästi tai jolla meluntorjumiseksi ei ole ryhdytty merkittäviin toimiin |

Ympäristönsuojelu edisti A- ja B-luokan asemilla myös työsuojelua. Tarvittavat suojaetäisyydet C-luokan sora- ja louhemurskausasemilla muodostuivat kuitenkin niin lyhyiksi (300 ja 500 m), että murskaamot voitiin useissa tapauksissa sijoittaa suunniteltuihin paikkoihin tarvitsematta varustaa niitä A- ja B-luokan suojalaitteilla.

Työsuojeluongelmia on eniten esiintynyt C-luokan murskaamoilla. Suurten pölykuormitusten johdosta ovat kuorma-autojen ja maansiirtokoneiden ohjaamojen korvausilman suodattimet tukkeentuneet nopeasti. Pölyä on kulkeutunut ohjaamoihin runsaasti myös muuta kautta. Ohjaamojen kuumentuminen helteillä on vaatinut ikkunoiden ja ovien avaamista, jolloin pölynpoistojärjestelmistä ei ole ollut vastaavaa hyötyä. Murskaamojen työntekijät eivät ole juurikaan käyttäneet henkilökohtaisia suojaimia. Joidenkin työntekijäryhmien, kuten työnjohtajien, punnitsijoiden, laboranttien, rakennuttajan valvojen jne. suojaaminen on jäänyt vähälle huomiolle.

Tämän työn yhteydessä pyrittiin kokoamaan työsuojelussa hyödylliset perustiedot murskaamojen pölyntorjunnan suunnittelua ja toteutusta varten ja luomaan näin edellytykset parempien työskentelyolosuhteiden tuottamiselle.

Huomiota on aluksi kiinnitetty pölypäästöjen syntymiseen, pölypitoisuuksien muodostumiseen ja pölyn laatuun (raekokojakauma, kvartsi, silikaatit ja asbesti) käyttäen hyväksi tehtyjen mittausten tuloksia ja laskennallisia tarkasteluja. Pölyn määrä- ja laatutietojen avulla lähestytään pölyn haitallisuutta työntekijälle, joka on pölyntorjunnan suunnittelun tärkeä lähtötieto. Pölyntorjunnan tarvetta tarkastellaan henkilöryhmittäin. Pölyntorjunnan lähtötietoja ovat myös hyväksyttävät enimmäispitoisuudet (ns. HTP-arvot).

Pölyntorjuntatekniikat käydään läpi yksitellen. Pölyntorjunnan suunnittelussa

huomioonotettavat näkökohdat kuvataan. Uusia ja vanhoja murskaamoja käsitellään erikseen. Sijoituspaikkakohtaiset seikat tarkastellaan. Suuntaa antavasti on esitetty pölyntorjunnan vaiheita. Pölynerottimien valinnassa otetaan huomioon ympäristönsuojelu, jottei ristiriitoja syntyisi tälläkään alueella.

Pölyntorjunnan riittävyuden toteamiseksi on esitetty valvontakeinoja niihin liittyvine yksityiskohtineen. Lopuksi on esitetty päätelmät ja ehdotukset tarpeelliseksi nähdystä toimenpiteistä.

2 PÖLYPITOISUUDET JA PÖLYN LAATU MURSKAAMOILLA

2.1 Pölypäästöt

2.1.1 Pölyn lähteet

Pölyhiukkaset pääsevät ilmaan murskaamolta useista eri paikoista ja työvaiheissa, kuten raaka-aineen kuormauksessa syöttimelle, esimurskaimen avoimesta kidasta, pudotettaessa esimurskaimesta kuljettimelle, kuljettimilta, pudotuksessa välimurskaimen, välimurskaimesta, pudotuksessa jälkimurskaimelle vievälle kuljettimelle, jälkimurskaimesta, pudotuksessa seulastolle, seulastolta, pudotuksissa valmiin tuotteen kasoihin johtaville kuljettimille ja niiltä kasoihin, silloon tai lavalle sekä sitomattomasta murskaamoalueen pinnasta ja varastokasoista.

Voiman, joka irrottaa pölyhiukkasan kiviaineksesta, tulee olla suurempi kuin irtoamista vastustava kitkavoima, joka on rajapinnassa vaikuttavan kitkan ja irtoamissuuntaan nähden painovoiman vastakkaissuuntaisen komponentin tulo. Pudotuksissa murskaimiin tulee syrjäytyvän ilman nosteen olla suurempi kuin painovoima. Pölynpoistolaitteiston koteloissa tulee alipaineen aiheuttaman ilmavirtauksen nosteen olla suurempi kuin painovoima. Pienimpien hiukkasten irtoamista saattavat vastustaa myös muut kuin painovoima. Mitä suurempi voima vaikuttaa pölyä sisältävään kiviainekseen, sitä suuremmat hiukkaset siitä irtoavat virtauksen mukaan.

Pölynlähteittäin ovat pölyn irtoamiseen kiviaineksesta vaikuttavat tärkeimmät tekijät lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Pölynlähteet murskaamolla ja pölyn irrottava tapahtuma

Pölynlähde	Pölyn irrottava tapahtuma
Raaka-aineen kuormaus syöttimelle, pudotukset murskaimiin, seulastolle ja siiloon Murskaus	Tuuli pudotusvaiheessa ja pudotuksen synnyttämä ilmavirtaus Murskattavan kiviainesvirran ja murskaavan koneosan synnyttämät ilmavirrat
Pudotukset kuljettimille ja lavalle	Tuuli ja pudotuksen synnyttämä ilmavirta
Kiviaines kuljettimilla Seulonta	Tuuli Kiviainesvirran ja seulojen liikkeiden synnyttämät ilmavirrat
Pudotukset varastokasoihin Murskaamo-alueen pinnasta	Tuuli Tuuli ja ajoneuvojen synnyttämät ilmavirrat
Varastokasoista	Tuuli

Irrotukseen tarvittavan energian huomioonottaen voidaan kuljettimilta ja varastokasoista tapahtuvien päästöjen arvioidaan olevan melko pieniä.

2.1.2 Päästökorkeudet

Päästökorkeuksien suuruusluokkia on kuvattu taulukossa 2.

Laitteista mitattu päästökorkeus on usein pienempi kuin ns. tehollinen päästökorkeus. Mm. poistoputken ilmavirtaus ja kiviainesvirtojen syrjäyttämät ilmavirtaukset nostavat pölyhiukkaset korkeammalle kuin laitteiden ja vapaan ilmatilan rajapinnat. Samoin voi nouseva tuulivirtaus nostaa irronneen pölyn huomattavastikin irtoamistasoa korkeammalle.

Työhygieenisesti ongelmallisia ovat hengitysvyöhykkeen korkeudella tapahtuvat päästöt, kuten raaka-aineen kuormaus syöttimelle, pudotukset murskaimista kuljettimille, kuljettimien alaosista tapahtuva päästö, pudotus siilosta lavalle, pudotus varastokasaan ja päästö varastokasoista.

Taulukko 2. Päästökorkeuksien suuruusluokkia murskaamolla

Päästö	Päästökorkeus
raaka-aineen kuormaus syöttimelle esimurskaimen kidasta	0-3 m syöttimen tasosta 0 m esimurskaimen ylä- pinnasta
pudotus esimurskaimesta kuljettimelle kuljettimilta	1-2 m maanpinnasta 1-15 m maanpinnasta
pudotus välimurskaimeen välimurskaimesta	4-6 m maanpinnasta n. 4 m maanpinnasta
pudotus välimurskaimesta kuljettimelle	1-2 m maanpinnasta
pudotus jälkimurskaimeen	4-6 m maanpinnasta
pudotus seulastoille seulastolta	4-6 m maanpinnasta n. 4 m maanpinnasta
pudotus jälkimurskaimesta pudotuksista siiloon	1-2 m maanpinnasta n. 10 m maanpinnasta
pudotus lavalle	2-5 m maanpinnasta
pudotus varastokasaan murskaamo-alueen pinnasta	0-15 m maanpinnasta 0 m maanpinnasta
varastokasoista	0-10 m maanpinnasta

2.1.3 Pölyhiukkasen putoaminen ilmassa

Pölyhiukkasen vapaa putoamisnopeus ilmassa lasketaan Stokes'in lain mukaan kaavalla 1.

$$v = 2(d_1 - d_2) g r^2 / 9 n \quad \text{cm/s} \quad (1)$$

jossa d_1 onhiukkasen tiheys g/cm^3
 d_2 väliaineen tiheys g/cm^3
 g maan vetovoima 981 cm/s^2
 r hiukkasen säde cm
 n ilman viskositeetti g/cm s

Taulukkoon 3 on laskettu 0,2 - 10 mikrometrin hiukkasten putoamisnopeuksia ja -aikoja eri korkeuksilta. Putoamisaikoja käytetään tuulen vaikutuksesta ympäristöön tapahtuvan kulkeutumisen arvioinnissa.

Taulukko 3. Hiukkasten putoamisnopeuksia ja -aikoja. Laskelmassa on käytetty hiukkasen tiheytenä $2,65 \text{ g/cm}^3$, väliaineen tiheytenä $0,0013 \text{ g/cm}^3$ ja ilman viskositeettina $17 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm s}$.

Hiukkaskoko mm	Putoamis- nopeus cm/s	Putoamisaika min korkeudelta m					
		1	2	4	6	10	15
0,0002	0,0014	1190	2380	4762	7143	11905	17857
0,002	0,1359	12	24	49	73	123	184
0,005	0,8491	2	4	8	12	20	29
0,01	3,3966	0,5	1	2	3	5	7
0,02	13,5863	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2

2.1.4 Kulkeutuminen

Jos hiukkasen vaakasuorana liikenopeutena käytetään tuulen nopeutta, kulkeutuvat eri kokoiset hiukkaset putoamisaikanaan taulukossa 4 mainitut matkat. Tarkastelu on vain suuntaa antava, mutta sen perusteella voidaan todeta mm. hiukkaskoon, tuulen nopeuden ja päästökorkeuden merkille pantavat vaikutukset. Tarkempiin tarkasteluihin käytetään leviämismalleja.

Taulukko 4. Kulkeutumismatka eri kokoisille hiukkasille eräiltä päästökorkeuksilta. Putoamisnopeus taulukon 3 mukaan.

Hiukkaskoko mm	Kulkeutumismatka m päästökorkeudelta m					
	1	2	4	6	10	15
Tuulen nopeus 1 m/s (60 m/min)						
0,0002	71 400					
0,002	720	1 440	2 940			
0,005	120	240	480	720	1 200	1 740
0,01	30	60	120	180	300	420
Tuulen nopeus 3 m/s (180 m/min)						
0,0002	214 200					
0,002	2 160	4 320				
0,005	360	720	1 440	2 160	3 600	
0,01	90	180	360	540	900	1 260
Tuulen nopeus 10 m/s (600 m/min)						
0,005	1 200	2 400				
0,01	300	600	1 200	1 800	3 000	
0,02	60	120	300	420	600	1 200

2.2 Mitattuja pölypitoisuuksia murskaamojen lähietäisyyksillä

2.2.1 Mittaukset 1970-luvulla

Blomgrenin /2/ 1972 tekemissä pölyleijumamittauksissa murskaamoilla sijaittivat lähimmät mittauspisteet 20 m:n etäisyydellä asemasta. Keskimääräinen pölyleijuma oli soramurskaamoilla 14 mg/m³(n) ja louhemurskaamoilla 25 mg/m³(n). Leijuman keräykseen käytettiin TKK:n kehittämää Lo-Vol-keräintä (tilavuusvirtaus n. 30 l/min, imunopeus n. 0,3 m/s). Lähimmissä laskeumanke-räyspaikoissa 100 m:n etäisyydellä louhemurskaamoista saatiin keskiarvo 23,3 g/m²,kk ja hajonta 11,7 g/m²,kk. Laskeuma kerättiin polyeteeniastiolla (halkaisija n. 150 mm, syvyys n. 200 mm).

Työterveyslaitoksen mittauksissa 1974 /3/ saatiin taulukossa 5 ilmoitetut pölyleijumat. Mittaukset tehtiin 3 - 7 m:n etäisyydellä kuljettimista ja murskaimista. Hi-Vol-keräyksellä saadut kokonaisleijumat vaihtelivat 0,4 - 38,1 mg/m³ keski- arvojen ollessa eri asemilla 3,8 - 11,0 mg/m³. Murskaamojen valvomois-sa saatiin Lo-Vol-keräyksellä taulukossa 6 ilmoitetut kokonaisleijumat.

Hi-Vol-keräyksellä saadut keskipitoisuudet 41 - 335 minuutin ajalta ovat 5 - 18 kertaisia Lo-Vol-keräyksellä 1 - 20 vrk:n ajalla saatuihin keskipitoisuuksiin verrattuna. Hi-Vol-keräimenä käytettiin General Metal Works'in tehokeräintä malli 2000. Suodatin oli lasikuitua. Tilavuusvirta oli noin 2 m³/min. Lo-Vol-laitteisto koostui suodattimesta, kaasukellosta ja pumpusta. Suodattimena käytettiin millipore AAWP 003700, huokoskoko 0,8 mikrometriä. Keräyksen tilavuusvirta oli noin 10 l/min.

Taulukko 5. Pölyleijumat murskausasemilla. Yhdistelmä tuloksista

	II A Pasila	II B Sköldvik	II C Kehä III	I C Tuorila
<u>Lo-Vol-keräys</u>				
Tutkimusajat	17.10.-8.11., 23.11.- 2.1. ja 27.1.-4.2.	16.9.-21.10., 14.11.- 24.11. ja 1.12.-3.12.	9.9.-23.9. ja 3.10.- 9.12.	30.8.-30.10.
Tutkimuspiste ja viitekuva	1/x)	1/4	3/5	1/6
Keräysajat vrk	1-16	2-13	6-20	1-19
Näytteiden lukumäärä kpl	8	6	7	5
Maksimipitoisuus mg/m ³ ja keräysaika vrk	0,20/2	1,86/10	1,05/14	1,61
Minimipitoisuus mg/m ³ ja keräysaika vrk	0,05/21	0,18/6	0,19/7	0,60
Keskipitoisuus mg/m ³ ja keräysajat yht vrk	0,10/71	0,62/48	0,45/81	1,18
<u>Piidicksidi</u>				
Näytteiden lukumäärä		1	2	2
Keräysajat vrk		8	9 vrk ja 4 h	10 ja 18
Kokonaisleijuma mg/m ³		0,93	0,32 ja 0,31	1,52 ja 0,76
Piidiksidi (Si O ₂) µg/m ³		22,8	18,0 ja 66,7	30,5 ja 18,0
<u>Hi-Vol-keräys</u>				
Tutkimuspisteet ja viitekuva		1,2 ja 3/4	1,2 ja 3/5	xxx)
Näytemäärä kpl/piste		4/1, 2/2 ja 1/3 xx)	2 kpl/piste yht. 6	1/piste yht. 3
Keräysajat min		41-335	240 ja 210	105-111
Maksimipitoisuus mg/m ³ , sen esiintymispaikka ja keräysaika min		38,10 1/319	7,87 2/210	15,71 seulan takana
Minimipitoisuus mg/m ³ , sen esiintymispaikka ja keräysaika min		1,40 1/335	0,81 3/210	0,40 murskaimen vieressä
Keskipitoisuus mg/m ³		11,01	3,75	5,90

x) Esimurskaimen jälkeinen koteloitu kuljetin, etäisyys 5 m

xx) Keräysajat: piste 1 41-335, piste 2 261-317 ja piste 3 46 min

xxx) Pääkuljettimen vieressä, murskaimen vieressä ja seulaston takana

Taulukko 6. Pölyleijumat murskaamojen valvomoissa (Lo-Vol-keräys).

Laitos	Valvomo	Näytteenotto	Keräysaika	Leijuma mg/m ³
II C	Koteloimaton	Työn aikana	22.11.74 6 h	6,75
			22.11.74 3 h	4,22
II A	Pölyeristetty koppi	Jatkuva ympäri vuorokauden ml. viikonloput	17.-24.10.74	0,04
			23.-24.11.	0,06
			25.-30.11.	0,16
			30.11.-9.12.	0,03
			9.12.-17.12.	0,04
			17.12.74-2.1.75	0,09
			27.1.-4.2.75	0,16

Työterveyslaitos tutki myös laskeumia murskaamoilla, taul. 7. Mittaukset tehtiin 30.8.1974 - 14.1.1975. Keräysajat vaihtelivat 9 - 34 vrk. Jokaisella murskaamolla oli 3 keräyspaikkaa. Näytteiden määrä vaihteli 3 - 5 kpl keräyspaikkaa kohden. Laskeumakeräiminä käytettiin brittiläisen standardin (B.S. 1747, part 1, Methods for the Measurement of Air Pollution, British Standards Institution 1961, London) mukaisesti valmistettua polyeteenikeräintä, norjalaista NILU-keräintä (Norsk Institutt for Luftforskning) ja sylinterimäistä polyeteeniastiaa (kork. 20 ja halk. 15 cm). Laskeumakeräinten vertailukokeessa olivat keräinten pinta-alat 665, 305 ja 172 cm² em. järjestyksessä. Vertailukokeen mukaan oli BS-keräin jonkin verran muita huonompi.

Taulukko 7. Pölylaskeumat murskaamoalueilla 16/.

Laitos	Keräyspaikka	Laskeuma g/m ² ,kk		
		Minimi	Keskiarvo	Maksimi
II A	1	37	44	54
	2	248	507	943
	3	158	297	419
II B	1	280	8 806	20 453
	2	100	2 276	4 412
	3	79	397	506
II C	1	270	1 098	3 934
	2	284	732	1 063
	3	918	5 580	8 699
I C	1	72	118	167
	2	106	2 751	926
	3	38	119	202

Tiehallituksen laatiman murskausaseman koneenkäyttäjän tai syöttäjän työpaikka- kuvauksen /4/ mukaan on pölyaltistus keskimäärin 0,9 + 2,3 mg/m³/tv (vuosiannos) ja 1,1 + 2,3 mg/m³/tv/pv (työn aikana). Kvartsipitoisuus on keskimäärin 25 %, jolloin keskimääräinen arvo on 0,2 + 0,6 mg/m³/tv/pv (vuosiannos) ja 0,3 + 0,6 mg/m³/tv (työn aikana). Yksittäisiä mittauksia on tarkastelussa 700 kpl. Valvomossa todetaan olevan koneellinen ja säädettävä ilmanvaihto, joka tarvittaessa lämmittää ja suodattaa ilman, mutta suodatusta ei pidetä kovin tehokkaana.

2.2.2 Mittaukset 1980-luvulla

Tiehallituksen 1984 - 1989 (Latomäki) tekemissä pölyleijumamittauksissa murskaamojen ympäristöissä on saatu mm. taulukossa 8 ilmoitetut kokonaisleijumatulokset. Keräykset on tehty suurtehokeräimillä tuulen alapuolella. Keräysajat ovat vaihdelleet 30 - 132 min.

Taulukko 8. Kokonaispölyleijuman mittaustuloksia tiehallituksen mittauksissa 1984 - 1989 murskaamojen ympäristöissä./5/

Asema	Ajankohta	Etäisyys asemasta m	Pölyleijuma mg/m ³	Huomautukset
I C	18.6.85	40	2,1	
I C	12.3.85	50	3,7	
I C	25.3.87	60	0,6	
I C	12.3.85	100	1,6	
II	3.6.86	50	3,1	
II B	30.1.89	60	13,1	2 laitosta
II B	1.2.84	75	1,6	
II B	30.1.89	n.190	6,7	2 laitosta
II C	20.2.85	30	43,2	Kastelu tehoton pakkasella
II C	1.3.84	46	35,1	Tuuli n. 4 m/s
II C	31.1.89	50	17,8	
II C	5.5.89	60	3,0	
II C	1.2.89	70	0,5	
II C	1.3.84	90	21,8	Tuuli n. 4 m/s
II C	29.2.84	110	22,8	Voimakas tuuli n. 15 m/s
II C	31.1.89	170	3,3	

Taulukossa 8 ilmoitetuissa tuloksissa ei ole selvästi nähtävissä etäisyys-alenemaa tarkasteltaessa samantyyppisiä, mutta eri asemia. Voimakkaan tuulen vaikutus pölypitoisuuksiin näkyy 29.2. ja 1.3.1984 tehdyissä mittauksissa (sama asema). Pölypitoisuus oli suuri jälkimmäisenäkin päivänä, vaikka tuulen nopeus oli jo alentunut.

Tiehallituksen ergonomiaryhmä (Tuokkola, Tomi & al) on mitannut pölyleijumia erityisesti murskaamojen laboratorioissa ja valvomoissa. Työntekijöiden pölyaltistusmittauksiin on käytetty Wärtsilän keräintä 8082, suodattimena Milliporen suodatinta AA/0,8. Työpaikan ilman mittauksiin on käytetty massometria RDM 101. Tällöin mittauksen kesto aika on 1 min, jona aikana laite imee 2 l:n ilmamäärän. Tuloksia on esitetty taulukossa 9.

Tiehallituksen ergonomiaryhmän havaintojen mukaan kalliomurske pölyä laboratorioissa enemmän kuin soramurske. Pölypitoisuus on suurimmillaan näytteen käsittelyn aikana. Käsittely kestää noin 20 minuuttia. Suurimmat pölypitoisuudet laboratorioissa on saatu vetokaapittomassa tilassa. Jos laboratorio on oikein sijoitettu ja varustettu ilmastoinnilla sekä jos vetokaappia käytetään oikein, muodostuu laborantin pölyaltistus näytteen oton ja muun ulkona oleskelun aikana. Altistuksen vähentämiseksi ergonomiaryhmä suosittelee erittäin pölyisissä olosuhteissa käytettäväksi kevyttä paperisuojausta (esim. 3 M 8810)./6/

Taulukko 9. Tiehallituksen ergonomiaryhmän mitaamia kokonaispölyleijumia murskaamojen työtiloissa ja työntekijöiden pölyaltistuksia./6/

Paikka	Ajankohta	Leijuma mg/m ³	Huom.
Valvomo	30.11.1981	0 - 0,3	
Laboratorio	22.6.1983	3,1	
Laboratorio	8.-9.2.1984	4,7, 7,2 ja 29,3	1) Käsiteltäessä näytettä
		0,2, 0,47 ja 2,7	Työpäivän altis- tus näytteen kä- sittelystä
Laborantti	19.6.84	6	71 min
Laborantti	19.6.84	6	37 min
Valvomo	13.8.84	9,1 ja 9,2	
Valvomo	28.9.84	1,0 ja 0,7	2)
Laboratorio	11.4.1986	1,4	100 m soramursk.
Laboratorio	19.2.1986	1,5	300 m soramursk.
Laboratorio	31.1.1986	2,5	100 m kalliomursk.
Laboratorio	18.4.1986	3,6	200 m soramursk.
Laboratorio	17.4.1986	4,5	50 m kalliomursk.
Laboratorio	9.10.1986	1,0	50 m soramursk.
Laboratorio	16.9.1986	2,4	150 m soramursk.
Laboratorio	23.4.1987	3,2	50 m kalliomursk.
Valvomo	24.5.1987	3,8	32 min
Korjausmies	24.5.1989	39	33 min
1) Laboratorion ja murskaamon väli oli 30 m. Tuulen suunta oli kohti- suorassa laboratorion ja murskaamon välistä linjaa vastaan.			
2) Sama murskaamon valvomo kuin 13.8.84, mutta valvomoon oli lisätty kierrätysilman puhdistus-, lämmitys- ja jäähdytyslaite (Daikin Room Air Conditioners).			

Eräiden kalliomurskaamojen, jotka oli varustettu kiviaineksen kastelulla, tuottamiksi pölyleijumiksi tuulen alapuolella lähietäisyyksillä on saatu taulukossa 10 ilmoitetut kokonaisleijumat.

Taulukko 10. Kokonaispölyleijumia IIB-aseman lähiympäristössä./7/

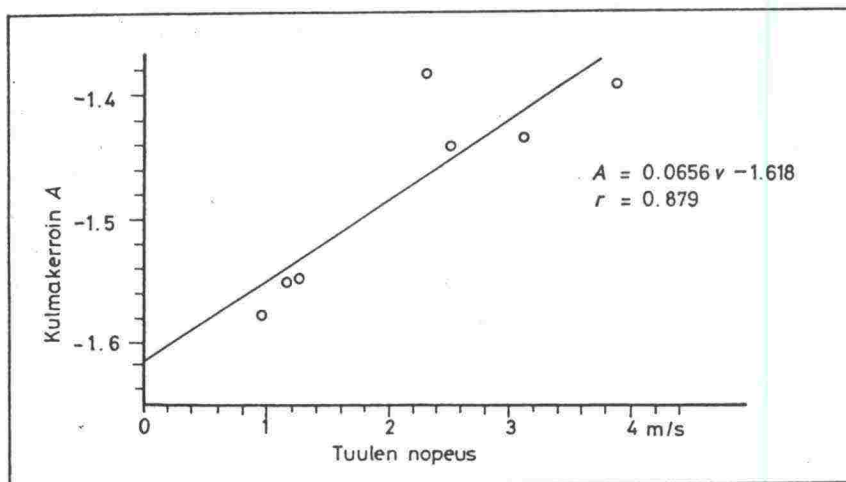
Mittauspaikka	Keräysmenetelmä ja -ajankohta	Kokonaisleijuma mg/m ³
Murskaamon yläpinnan tasossa, karkean lajitteen kuljetinhihnan päästä n. 10 m	Tehokeräin 13.9.1989	1,8; 3,5; 4,3
Murskaamon yläpinnan tasossa, esimurskaimesta n. 10 m ja keskellä murskaamoa	Lo-Vol (TKK) 13.9.1989	2,4; 3,7
Murskaamon yläpinnan tasossa, seulastosta n. 30 m ja keskellä koko toiminta-alueella	Lo-Vol (TKK) 13.9.1989	1,0; 2,2
Maanpinnasta n. 1,7 m 15 m väli- murskaimelle vievän kuljettimen keskeltä	Tehokeräin 6.11.1989	0,9
Maanpinnasta n. 1,7 m 30 m jälki- murskaimesta	Lo-Vol (TKK) 6.11.1989	1,1
Maanpinnasta n. 1,7 m 18 m esi- murskaimesta	Lo-Vol (TKK) 6.11.1989	0,5

2.2.3 Päätelmiä murskaamojen pölypäästöistä ja niiden leviämisestä työ- ja lähiympäristöön

Pölyhiukkasen irrottava energia on lähinnä tuulen ja kiviainesvirtauksen syrjäyttämän ilmassan liike-energiaa. Työntekijän kannalta ovat ongelmallisimpia suuret hengitysvyöhykkeen korkeudelta tapahtuvat päästöt.

Mitä matalammalta päästö tapahtuu, sitä lyhyempi on periaatteessa hiukkasen laskeutumisaika ja matka, jonka hiukkanen tuulen työntämänä kulkeutuu. Pienet 0,0002 mm:n (0,2 mikrometriä) hiukkaset voivat ilmaan päästyään liikkua kymmeniä kilometrejä jopa alhaisilla tuulten nopeuksilla. Vaatimattomat tuulen nopeudet 1 - 3 m/s riittävät kantamaan myös 0,01 mm:n (10 mikrometrin) hiukkasia murskaamoalueen rajalle asti. Päästökorkeudella ei näin ole pienten hiukkasten kyseessä ollen samaa merkitystä kuin suuremmilla laskeutuvilla hiukkasilla.

Tuulen vaikutus on selvästi nähtävissä myös murskaamon ympäristöissä mitattujen pölyleijumien suuruuksissa. Tuulen nopeuden vaikutusta pölyleijumaan on tutkittu mm. kallion porauksen yhteydessä, kuva 1.



Kuva 1. Tuulen nopeuden vaikutus pölyleijuman alenemafunktion $C = B x^A$ kertoimeen A./8/

1970-luvulla tehtyjen mittausten mukaan murskaamon lähiympäristössä esiintyi runsaasti kokonaispölyleijumia, jotka olivat suurempia kuin 10 mg/m^3 . Louhemurskaamo tuotti 20 m:n etäisyydelle lähes kaksinkertaisen leijuman soramurskaamoon nähden. Suurin mitattu pölylaskeuma murskaamoilla oli $20 \text{ kg/m}^2, \text{kk}$.

Suurimmat 80-luvulla mitatut arvot ovat olleet 35 ja 43 mg/m^3 46 ja 30 m:n etäisyydellä sekä $22 - 23 \text{ mg/m}^3$ $90 - 110 \text{ m:n}$ etäisyydellä. 43 mg/m^3 saatiin helmikuun pakkasella kastelun ollessa tehoton, 35 mg/m^3 maaliskuun alussa 4 m/s tuulella. Viime mainitut arvot esiintyivät louhetta murskaavilla suojaamattomilla asemilla (IIC) voimakkaalla tuulella 15 m/s ja sen jälkeisenä päivänä.

Kastelun vaikutuksesta jäivät louhemurskauksen pölyleijumat $0,5 - 4,3 \text{ mg/m}^3$ mitattuna kesäaikana tuulen alapuolella $10 - 30 \text{ m:n}$ etäisyydellä murskaamosta.

2.3 Murskaamopölyn laatu

2.3.1 Pölyhiukkaset ja terveyshaaita

Ihmisen hengitystiheys lepotilassa on noin 16 kertaa/min, normaalitilassa 16 - 20 kertaa/min. Yhdellä hengitysliikkeellä keuhkoihin otettu (tai sieltä poistettu) ilmamäärä vaihtelee paljon. Lepävällä ihmisellä se on noin 0,5 l, jolloin keuhkotuuletuksesi muodostuu 8 l/min. Normaalitilassa keuhkotuuletus on 10 - 30 l/min. Ilman tarve riippuu työn kuormittavuudesta. Ruumiillisten ponnistusten seurauksena hengitystiheys voi nousta 40 - 45 kertaan/min ja hengitysilman määrä 2 - 3 l. Keuhkotuuletus on enimmillään lyhytaikaisesti siten 90 - 120 l/min./9/

Sisäänhengitysnopeus riippuu paitsi keuhkotuuleuksesta l/min myös siitä, hengitetäänkö nenän, pääosin suun vai samanaikaisesti suun ja nenän kautta. Viime mainittu on tyypillistä palleahengityksessä. Nenän sierainten ja suun pinta-alat vaihtelevat henkilöittäin. Esimerkiksi sierainten pinta-alalla 1,6 cm² muodostuu nenän kautta tapahtuvan virtauksen sisäänhengitysnopeudeksi 1,7 m/s lepotilan keuhkotuuletuksella 8 l/min. Esimerkiksi sierainten ja suun yhteenlasketulla pinta-alalla 2,7 cm² muodostuu virtausnopeudeksi noin 1,2 - 3,7 m/s normaalitilan keuhkotuuletuksella 10 - 30 l/min. Tarkastelussa on sisään- ja ulosvirtauksen otaksuttu kestävän yhtä kauan.

Keuhkot (2 kpl) ovat vapaassa yhteydessä ulkoilmaan keuhkoputkien, henkitorven ja ylempien hengitysteiden (nenäontelo, nielu ja kurkunkpää) välityksellä. Nenäontelon seinämien limakalvon pinta on monirivistä värekarvaepiteeliä. Rauhaset pitävät limakalvon kosteana. Kurkunkpään sisäpintaa peittää nielun limakalvon jatkona oleva limakalvo. Myös kurkunkpään limakalvoa peittää suurimmaksi osaksi monirivinen värekarvaepiteeli.

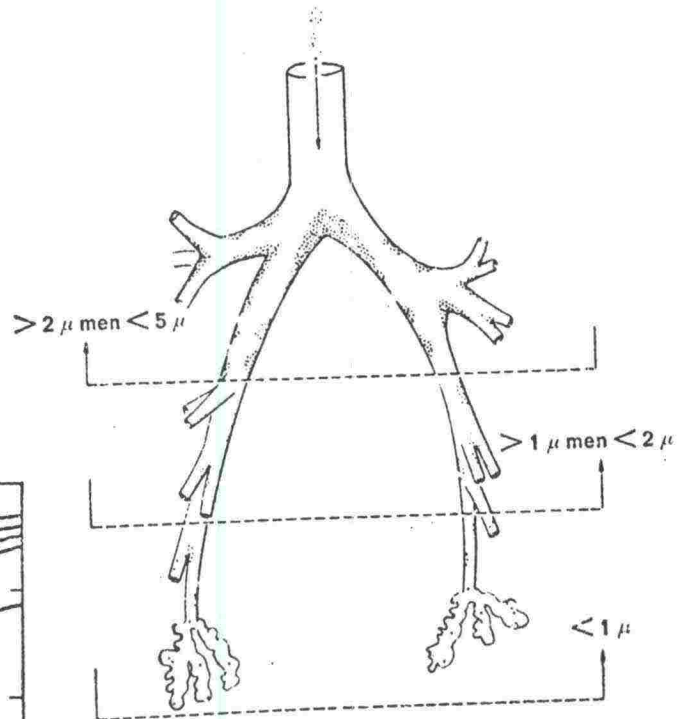
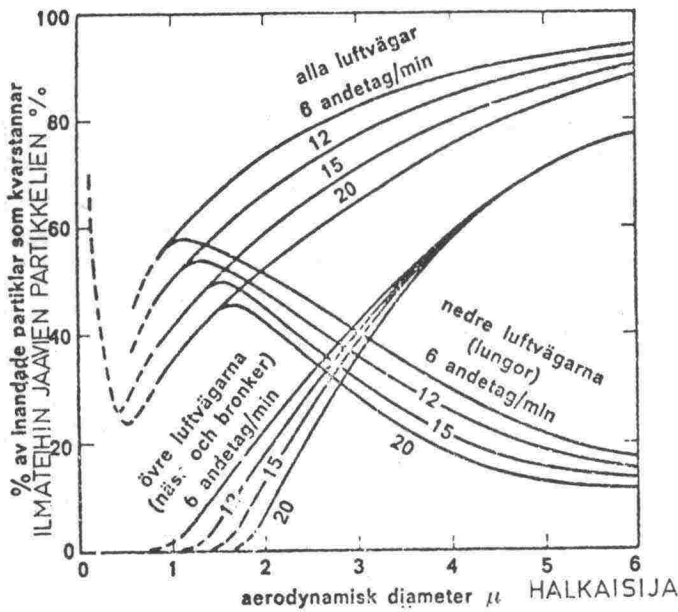
Hengitysilman sisältämästä pölystä karkein osa jää nenän värekarvoihin ja limakalvoihin. Valtaosa keuhkoihin menevästä pölystä on kooltaan 0,0002 - 0,002 mm (0,2 - 2 mikrometriä). Kaikkein pienimmät hiukkaset voivat liueta vereen, tunkeutua keuhkojen kudosten läpi tai palautua takaisinvirtauksen mukana. Kuvassa 2 on esitetty ilmäteiden alueet, joihin eri kokoiset hiukkaset todennäköisesti jäävät, ja kuvassa 3 eri osiin jäävien hiukkasten suhteelliset osuudet.

Kivipölykeuhkon katsotaan syntyvän mm. seuraavien tekijöiden yhteisvaikutuksesta:/11/

- korkea pölypitoisuus työpaikalla
- pölyhiukkasten koko pienempi kuin 5 - 10 mikrometriä
- pöly koostuu silikogeenisista (SiO₂) aineksista
- pölylle altistutaan pitkänä aikana
- ruumiillinen taipumus kivipölykeuhkoon sairastumiseen

Keuhkomuutokset yhdistetään kvartsiin ja silikaatteihin. Teräväsärmäiset rakeet ärsyttävät hengitysteitä ja keuhkokudosta, joihin syntyy tulehduksia. Tulehdus aiheuttaa sidekudosten lisääntymistä ja kutistumista. Ilmiö jatkuu kuormituksen päätyttyäkin. Sidekudokset kasvavat kvartsihiukkasten ympärille solmutapaisiksi muodostelmiksi. Sidekudosten lisääntymisen johdosta huononee keuhkotuuletus. Solmut painavat verisuonia vaikeuttaen sydämen toimintaa. Seurauksena on alussa hengenahdistus ja lopuksi sydänlihaksen heikkeneminen ja kuolema.

Kuva 2. Pölyhiukkasten jääminen ilmäteiden eri osiin /10/



Kuva 3. Ilmateiden osiin jäävien hiukkasten suhteelliset osuudet /10/

2.3.2 Pölyleijuman rakeisuus

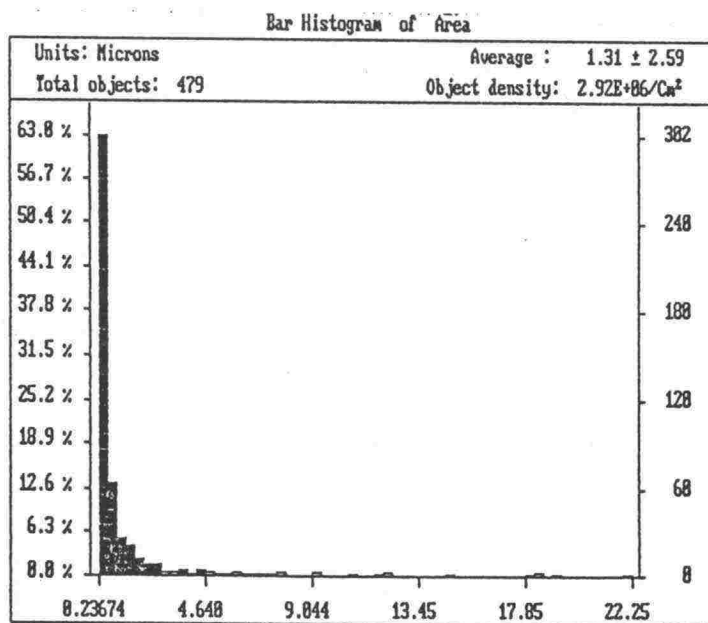
Blomgren /2/ analysoi stereomikroskoopilla vuonna 1972 murskaamojen ympäristössä keräämiään pölyleijumia ja sai taulukossa 11 mainitut tulokset. Hän arvioi pölyleijumasta olevan varsin vähän painoprosenteissa lausuttuna sellaista, joka on ihmisen terveydelle vaarallista.

Taulukko 11. Pölyleijuman koko ja koostumus murskaamon ympäristössä

Asema	Etäisyys m	Suurimmat rakeet mikrometriä	Mineraali	Yleinen raekoko mikrometriä
1	70	250 x 150 70 x 70 x 70	Kiille	20 x 10
4	410	100 x 50	Kiille	20 x 10
7	60	200 x 200 x 20	Kiille	20 x 10
	80	70 x 70 x 70	Maasälpä	20 x 10
8	230	20 x 10	-	20 x 10
	100	50 x 50 x 50	Kvartsi?	25 x 25
	170	200 x 150		25 x 25

Tulokset osoittavat, että vielä 60 - 410 m:n etäisyydellä asemasta esiintyy kerätyssä leijumassa yleisesti yli 0,01 mm:n hiukkasia. Hiukkasissa oli litteyttä, mikä Blomgrenin mukaan viittasi kiillemäisyyteen ja saattoi selittää hiukkasten hyvää kulkeutumista.

Kuvassa 4 on esitetty leijuvan pölyn eri kokoisten hiukkasten suhteellinen osuus kaikkien hiukkasten (479 kpl analysoidussa suodatinkentässä) määrästä noin 100 m:n etäisyydellä louhemurskaamosta, joka oli varustettu märkäpölynpoistolla (II B). Kokonaisleijuma oli 0,15 mg/m³. Jakauma osoittaa, että leijuma koostui kappalemääräisesti pienimmistä hiukkasista.



Kuva 4. Pölyleijuman hiukkasten jakauma 100 m:n etäisyydellä II B-murskaamosta.

2.3.3 Pölyleijuman painon muodostuminen

Pölyleijuman painon muodostumista eri kokoisista hiukkasista voidaan lähes tyä laskennallisesti otaksuen hiukkaset pallon muotoisiksi ja käyttämällä niille keskimääräistä tai kivilajin perusteella määräytyvää kiintotiheyttä (ominaispainoa). Pallomuoto-otaksuma ei murskauspölyn kyseessäollen ole oikea, mutta tarkastelu antaa tästä huolimatta arvokasta ja käytännössä useimmiten riittävä lisätietoa.

Pallomuoto-otaksumalla saadaan esimerkiksi kuvassa 4 esitetyn hiukkasjakauman painon muodostuvan kiintotiheydellä 2,7 g/cm³ 93 %:sti 14 hiukkasesta, joiden raekoko on 7,5 - 22,3 mikrometriä. Hiukkasten osuus kaikkien hiukkasten määrästä on vain 2,9 %. Taulukon 4 mukaan on luonnollista, että mainitun kokoisia hiukkasia esiintyy kyseisillä etäisyyksillä, jos päästö tapahtuu korkealta.

2.3.4 Hengitettävän ja keuhkoihin pääsevän pölyn osuudet

Kuvan 4 mukaisessa jakaumassa, joka esiintyi 100 m:n etäisyydellä kastelu-pölynpoistolla varustetusta louhemurskaamosta, on pallomuoto-otaksumalla laskien alle 5 mikrometrin hiukkasia kokonaisleijumasta noin 3,2 paino-%, mikä edustaa 0,005 mg/m³. Keuhkoihin kulkeutuvia alle 2 mikrometrin hiukkasia oli leijumasta 0,5 paino-%, noin 0,0007 mg/m³.

Murskaamon lähellä on pienten hiukkasten paino-osuus alhaisempi kuin kauempana, koska osa lähellä olevista isoista hiukkasista laskeutuu kauemaksi mentäessä, mutta pienet hiukkaset ovat pääosin edelleen mukana. Murskaamon työntekijä työskentelee pääosin alle 100 m:n etäisyydellä asemasta. Tällöin voidaan hengitettävän alle 5 mikrometrin pölyn suhteellisen osuuden suuruusluokkana IIB-murskaamon työympäristössä ulkona pitää enintään noin 3 paino-% ja keuhkoihin kulkeutuvan alle 2 mikrometrin pölyn osuutena noin 0,5 % kokonaisleijumasta.

2.3.5 Pölyleijuman kvartsi

Leijuvan pölyn koostumusta murskaamoilla ja niiden ympäristöissä on tutkittu vähän. Työterveyslaitoksen mittauksissa /3/ vapaan piidioksidin (SiO₂) määritykset tehtiin Lo-Vol-keräimillä saaduista pölyistä. Tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Vapaan piidioksidin suhteelliset osuudet Lo-Vol-keräyksellä saaduissa näytteissä murskausasemilla /3/

Laitos	II B	II C	I C
SiO ₂	2,45	5,63 ja 21,52	2,01 ja 2,37

Kvartsin SiO₂ pitoisuus magmakivissä on keskimäärin 12 %. Graniitissa kvartsia on 10 - 40 %, grano- ja kvartsidioriiteissa 10 - 35 %./12/

2.3.6 Pölyleijuman silikaatit

Silikaattien jaottelu on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Silikaattien kidekemiallinen jaottelu [12]

Silikaatit	Neso- ja sorosilikaatit (erillisiä $[\text{SiO}_4]$ - tai $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ -ryhmiä)	oliviini, $(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$; zirkoni, $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$; granaattiryhmä; epidottiryhmä, $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Al}_2\text{OOH}[\text{SiO}_4] \cdot [\text{Si}_2\text{O}_7]$
	Rengassilikaatit ($[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ -renkaita)	berylli, $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$; kordieriitti, $\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{18}]$
	Ketjusilikaatit ($[\text{SiO}_3]$ -ketjuja)	pyrokseenit: enstatiitti, $\text{Mg}[\text{SiO}_3]$; diopsidi, $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$; augiitti, Ca-Mg-Fe-Al-pyrokseeni
	Nauhasilikaatit ($[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$ -nauhoja)	amfibolit: antofylliitti, $(\text{Mg,Fe})_7[\text{OH}[\text{Si}_4\text{O}_{11}]]$; tremoliitti, $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{OH}[\text{Si}_4\text{O}_{11}]]$; sarvivälke, Ca-Mg-Fe-Al-amfiboli
	Verkkosilikaatit ($[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ -verkkoja; alumiini korvaa osan piitä)	kiilteet: talkki, $\text{Mg}_3[(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]]$; muskoviitti, $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]]$; biotiitti, $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]]$
	Hohkasilikaatit (kolmiulotteinen SiO_2 -rakenne, jossa alumiini korvaa osan piitä)	maasälvät: kalimaasälpä, KAlSi_3O_8 ; plagioklaasi, albiitin ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ja anortiitin ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) seos; maasälvän sijaiset: nefeliini $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; zeoliitit

Arvioitaessa silikaattien suhteellista osuutta leijuvasta pölystä murskaamoilla on mahdollista käyttää hyväksi murskattavan kiviaineksen kivilajitietoja ja kivilajien koostumustietoja. Tiehallituksen tutkimat kallioesiintymät jakautuvat kivilajikohtaisesti taulukossa 14 esitetyllä tavalla. Murskeiden kivilajikoostuksesta ei ole käytettävissä eriteltyä tietoa.

Taulukko 14. Tiehallituksen tutkimien kallioesiintymien jakautuminen kivilajien perusteella [13]

Kivilaji	Kpl	Osuus %
Graniitti	461	25,2
Migmatiitti	313	17,1
Granodioriitti	176	9,6
Kiillegneissi	127	6,9
Dioriitti	114	6,2
Gabro	108	5,9
Rapakivigraniitti	80	4,4
Amfiboliitti	46	2,5
Graniittigneissi	41	2,2
Gneissi	40	2,2
Kiilleliuske	39	2,1
Kvartsiitti	31	1,7
Biotiittisarvivälkegneissi	30	1,6
Diabaasi	26	1,4
Kvartsimaasälpagneissi	26	1,4
Gneissigraniitti	22	1,2
Vuolukivi	19	1,0
Kvartsimaasälpäliuske	18	1,0
Muut	115	6,4

Graniiteissa on biotiittia, sarvivälkettä ja pyrokseeneja 10 - 35 %, kalimaasälpää 30 - 60 % ja plagioklaaseja 0 - 35 %. Seoskilajeista, migmatiiteista, on yleisin suonigneissi, jossa vuorottelevat kapeat gneissi- ja graniittisuonet. Graniittinen syväkivi on piihapporikasta. Granodioriitissa on plagioklaasia 25 - 45 %, kalimaa-sälpää 20 - 40 % sekä sarvivälkettä ja biotiittia 10 - 35 %. Kiillegneississä on runsaasti kiillettä. Dioriitissa on plagioklaasia 55 - 70 % sekä sarvivälkettä, pyrokseeneja ja biotiittia 25 - 40 %. Oliivinigabrossa on plagioklaasia 45 - 70 % sekä oliivinia ja pyrokseeneja 25 - 50 %. Pyrokseenigabro on plagioklaaseja ja pyrokseeneja, sarvivälkegabri plagioklaasia ja sarvivälkettä, noriitti plagioklaasia ja hypersteeneja, anortosiitti plagioklaasia sekä diabaasi plagioklaaseja, augiittia, hypersteeneja, oliivinia ja sarvivälkettä. Amfiboliitin päämineraali on amfiboli, tavallisimmin sarvivälke./12/

2.3.7 Asbesti

Asbesti on kuituinen mineraali. Mineralogisesti erotetaan kaksi ryhmää krysotiili- eli serpentiiniasbesti ja amfiboliasbesti, johon kuuluvat antofylliitti-, amosiitti-, krokidoliitti-, tremoliitti- ja aktinoliittiasbestit. Krysotiiliasbestia pidetään vaaratomimpana kuin krokidoliittiasbestia ja muita amfiboliasbesteja./14/

Krysotiili on kemialliselta koostumukseltaan magnesiumsilikaatti. Kuidut ovat silkinkiiltoisia, erittäin taipuisia ja sitkeitä, tavallisesti 2 - 3 cm pitkiä. Krysotiiliasbestia esiintyy yleisimmin juonina tai juoniverkostoina ultramafisissa kivilajeissa, erityisesti serpentiiniteissä. Suomessa krysotiiliasbestia esiintyy mm. Kittilässä Tarpomapäässä ja Sodankylässä Nuttion-Sattasvaaran alueella./12/

Antofylliittiasbesti esiintyy kuitukimppuina tai säteettäisinä kasaamina serpentiinikivissä mm. Pohjois-Karjalassa Tuusniemellä, Kuusjärvellä, Kaavilla ja Juan-koskella./12/

Tremoliitin ja aktinoliitin kuituista muotoa sanotaan sädekiviasbestiksi. Kuituista tremoliittia on todettu mm. Paltamossa.

Oulun aluetyöterveyslaitos on asfalttiaseman laboratorioissa, jossa käsiteltiin murskettä, jonka oli todettu sisältävän asbestia, mitannut (6.6.1983) seulontanäytteen punnituksessa asbestikuitupitoisuuden 3,0 kuitua/cm³./15/ Tämä ylitti työsuojeluhallituksen turvallisuustiedotteessa 3/1981 "Työpaikan ilman epäpuhtaudet" annetun haitalliseksi tunnetun pitoisuuden (HTP 8h) 2 hk/cm³. Näyte kerättiin Milliporen kalvosuodattimelle standardin SFS 3860 mukaisesti ja kuitulaskenta tapahtui standardin SFS 3868 mukaisesti.

Murskattaessa em. kiviainesta 2,5 vuoden kuluttua sai Oulun aluetyöterveyslaitos taulukossa 15 esitetyt mittaustulokset. Toinen murskekekan vieressä saaduista arvoista ylitti asbestille sallitun raja-arvon.

Taulukko 15. Asbestia sisältävän kivilajin murskauksessa mitattuja työntekijäaltistuksia ja ilman pölyn kuitupitoisuus./15/

Työntekijä	Pvm ja klo	Asbestipit. kuitua/cm ³	Kokonaispöly mg/m ³
Murskaamon hoitaja	14.11.1985		5,6
	8.21-10.46		
	8.21-9.21	0,5	
Huoltomies	9.21-9.51	0,7	59,0
	8.34-10.46		
	8.34-8.57	1,2	
	8.57-9.15	1,0	
	9.15-9.57	0,6	
	9.57-10.11	1,0	
Murskekasen vieressä tuulen alapuolella		2,4	
		1,4	

Oulun aluetyöterveyslaitos tutki edellisen kiviaineksen porauksen yhteydessä esiintyviä kuitupitoisuuksia poraajan hengitysvyöhykkeellä. Kahdeksan tunnin keskimääräinen kuitupitoisuus oli 0,41 hk/cm³ olettaen että työ jatkuu koko päivän samanlaisena kuin mittauksen aikana. Näytteet analysoitiin elektronimikroskoopilla 3000-kertaisella suurennoksella ja siihen liitetyllä röntgenmikroanalysaattorilla. Kuidut koostuivat alkuaineyhdistelmistä pii, kalsium, rauta, magnesium ja alumiini tai pii, kalsium, rauta ja magnesium, mutta eivät olleet antofylliitti-, amosiitti-, krokidoliitti- eikä krysotiiliiasbestia.

2.3.8 Päätelmiä pölyn laadusta murskaamon työympäristössä

Useiden satojen metrien etäisyydellä murskaamosta esiintyy yleisesti 10 - 20 mikrometrin leijuvia hiukkasia, jotka suurimmaksi osaksi määrittävät leijuman suuruuden. Pienten sisäänhengityksessä mukana kulkeutuvien alle 5 mikrometrin hiukkasten paino-osuus ulkotilassa leijumasta on vähäinen, suuruusluokaltaan esimerkiksi IIB-murskaamon työympäristössä ulkona enintään 3%. Lukumääräisesti pieniä hengitettäviä hiukkasia on valtaosa.

Vapaan kvartsin määrityksiä on tehty murskaamopölyille Suomessa vähän. Karkean laskeutuvan pölyn sisältämän kvartsin suhteellisen osuuden määrittelyssä ei tehtäne suurta virhettä, jos käytetään kivilajin mukaan määräytyviä koostumustietoja. Leijuman sisältämän kvartsin määrä voi kivilajitietojen mukaan laskien tulla yliarvioiduksi, koska kvartsihiukkaset eivät omaa erityisen hyviä leijumaominaisuuksia yleensä kulmikkaan ja pyöreähkön muotonsa johdosta. Kvartsin osuus murskaamopölyissä on yleensä yli 1 %, josta syystä näitä pölyjä ei voida pitää ns. vähätehoisina tai harmittomina pölyinä.

Myöskään silikaattien esiintymistä murskaamopölyissä ei ole lähemmin tutkittu. Vapaan kvartsin määrään verrattuna on silikaatteja piidioksidiksi laskettuna noin kaksinkertainen määrä. Havainnot litteistä leijuvista hiukkasista ja päätelmät kiillemaisista aineksista sekä kivilajien koostumustiedot antavat aiheen päätellä, että silikaattien osuus leijumassa on suuri. Silikaattipöly täyttäne hyvin kivipölykeuhkon syntymiseen johtavat tunnusmerkit (ks. 2.3.1).

Jos kivilaji sisältää asbestia, sitä esiintyy myös pölyssä. Kivilajituntemus on tarpeen pölymittausten suunnittelua ja tulosten tulkintaa varten. Asbestilajin tunnistamisellakin on merkitystä, koska eri lajit eivät ole yhtä vaarallisia.

2.4 Työntekijöiden pölyaltistukset

2.4.1 Ongelmalliset työvaiheet

Kuumana kesäpäivänä voi lämpötila valvomossa, ohjaamoissa ja muissa pienissä työtiloissa nousta niin korkeaksi, että työn tekeminen muodostuu rasittavaksi. Jäähdytys tapahtuu käytännössä tuulettamalla ikkunoita ja ovia auki pitämällä, jolloin pölypitoisuudet työtiloissa saattavat muodostua lähes ulkoilmapitoisuuksien suuruisiksi.

Häiriötilanteissa työskennellään paikoissa, joissa ei muutoin oleskeltaisi. Sairastumis- ja tapaturmariski on tällöin suuri. Tärkeitä ongelmallisia työvaiheita ovat siten:

- Vikojen etsintä
- Työnaikaiset korjaukset

Nämä työvaiheet tulevat ennen kaikkea murskaamon kunnossapidosta vastaavien työntekijöiden tehtäviksi. Myös valvomon työntekijä osallistuu niihin. Jos viat eivät korjaannu, myös työnjohto voi joutua puuttumaan asiaan.

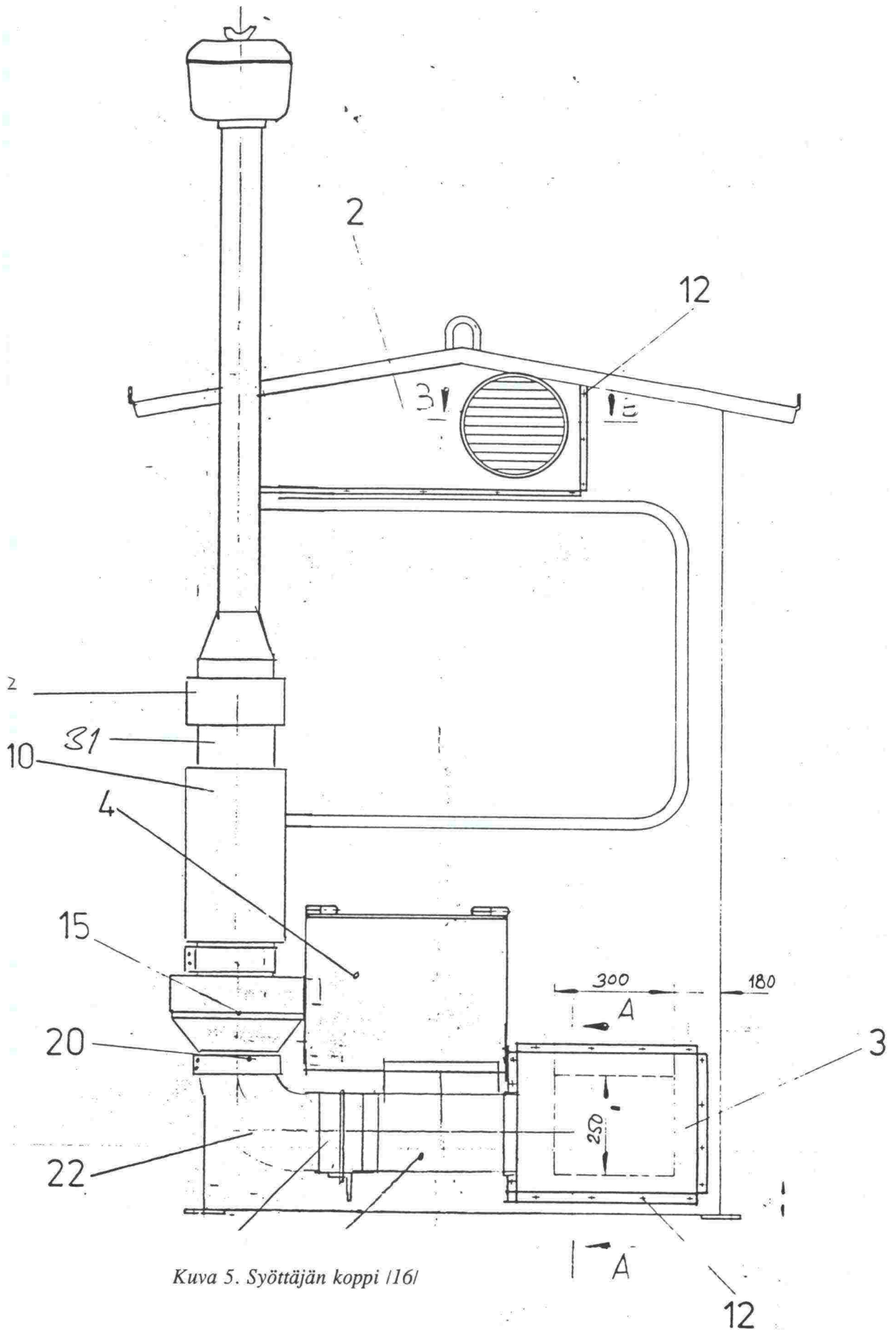
Normaaleista työvaiheista on työntekijöiden altistumisen suhteen erotettavissa kaksi ongelmallista työvaihetta:

- Kuormaus syöttimelle
- Pudotus siilosta tai kuormaus kasasta lavalle

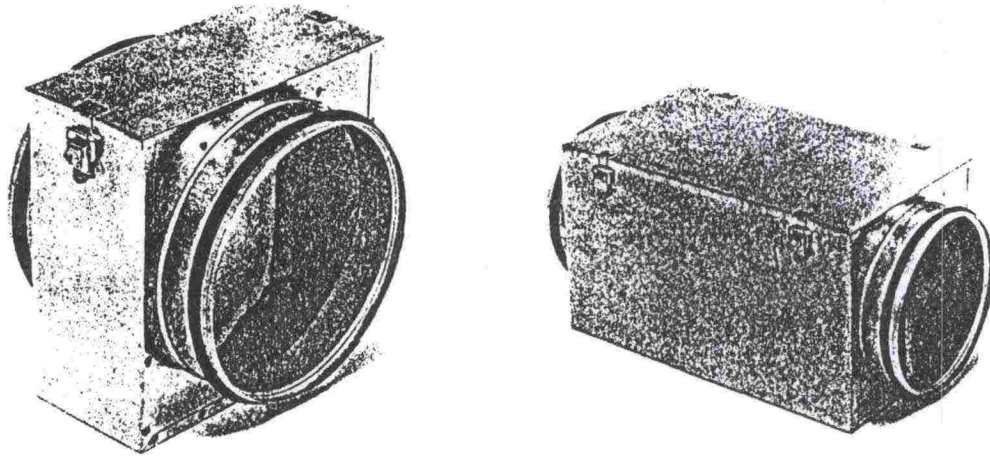
Kuormaus syöttimelle altistaa sekä kuormajaan kuljettajan että valvomon työntekijän suurille pölypitoisuuksille. Esimurskaimen pölyäminen lisää pölypitoisuutta. Pudotus siilosta tai kuormajasta lavalle altistaa kuorma-auton kuljettajan suurille pölypitoisuuksille.

2.4.2 Valvomon työntekijän pölyaltistus

Kotimaista valmistetta oleva valvomo, kuva 5, varustetaan nykyisin lämmitettävällä korvausilmalaitteistolla, jossa on sarjaan kytketyt suodatinkasetit, kuva 5. Ensimmäinen suodatin on tasosuodatin ja toinen pussisuodatin. Käytännön ilmamäärät vaihtelevat 130 - 400 m³/h. Kanavan halkaisija on tavallisesti 200 mm./16/



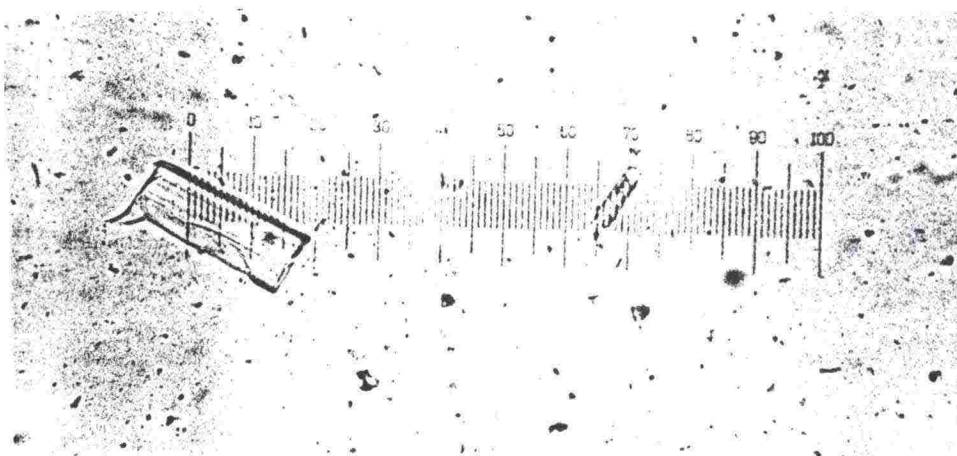
Kuva 5. Syöttäjän koppi (116)



Kuva 6. Suodatinkasetit taso- ja pussisuodattimelle.1161

Valvomon korvausilma imetään keskipakoilmanpuhdistimen kautta noin 80 cm valvomon harjan yläpuolelta. Keskipakosuodatin erottaa suuret laskeutuvat hiukkaset. Alastulokanavassa on ensin esisuodatinkasetti, sitten hienosuodatinkasetti. Sarjaan kytkettyjen suodatinten erotustehokkuus muodostuu uute-
na suureksi. Puhallin on hienosuodatinkasetin alla. Ilma kulkee koppiin kanavalämmittimen kautta. Tuloaukko 250 x 300 mm sijaitsee noin 100 - 350 korkeudella kopin lattiatasosta. Puhaltimen pyörimisnopeutta voidaan säätää.

Eräässä tyypillisessä pölyeristetyssä valvomossa mitattiin 12.6.1990 työntekijän pölyaltistukseksi syötön kastelulla varustetulla louhemurskaamolla 4,2 mg/m³. Valvomo oli siisti, muttei sitä oltu lähipäivinä siivottu. Työntekijällä ei ollut huomautettavaa työskentelyoloistaan. Suodatinnäytteessä, joka oli niukka, esiintyi näytteen painon pääasiassa määrittäviä yksittäisiä hiukkasia kooltaan 30 - 310 mikrometriä. Nämä osoittivat, että pölyä työntekijän hengitysilmaan tulee muualtakin kuin suodatetun korvausilman mukana tai että kyseinen suodatinlaitteisto ei ollut kunnossa. Suurin hiukkanen 310 x 170 mikrometriä oli tumma ja kimalteleva. Pölyhiukkasten lukumääräinen jakauma oli samankaltainen kuin kuvassa 4, mutta jakauma oli karkeampi. Alle 2,5 mikrometrin hiukkasia oli valtaosa. Näytteessä esiintyi runsaasti läpinäkyviä, vähän kiillemäisiä sekä joitakin kuitumaisia hiukkasia (1,5 - 10 x 27,5 - 950 mikrometriä). Kuitujen laatua tai alkuperää ei lähemmin selvitetty, mutta ne vaikuttivat vaatekuiduilta.



Kuva 7. Syöttäjän pölyaltistuksen hiukkasia

Tiehallituksen ergonomiaryhmä oli mitannut murskaamojen valvomoissa 0,7 - 9,2 mg/m³ (taulukko 9).

Osa valvomojen työntekijöistä pitää pölyä kopissa ongelmana. Tämän suuntaisesti on syöttäjän työoloja kuvattu myös tiehallituksen työpaikkakuvauksessa /4/. Osa-syynä ongelmaan pidetään pölyn kulkeutumista valvomoon kenkien ja vaatteiden mukana. Valvomon ovea pidetään kesähelteellä yleensä raollaan, koska sisälämpötila nousee muutoin liian korkeaksi.

Suodatinten tehottomuutta ei voida pitää ongelman syynä, koska kyse on suodatinten valinnasta, pölynpoistojärjestelmän mitoituksesta ja hoidosta. Suodatinten vaihtoja tehdään käytännössä satunnaisesti ja niiden rikkoontuminen jää usein toteamatta. Suodattimen vaihto tapahtuu vasta, kun korvausilman määrä laskee minimiinsä, säätövara on käytetty ja sisälämpötila on korkea.

2.4.3 Kuormaajan, maansiirtoauton ja kuorma-auton kuljettajan pölyaltistus

Soramurskauksessa sora tuodaan esimurskaimen tavallisimmin pyöräkuormaajalla. Jos kantomatka muodostuu pitkäksi, siirto tapahtuu kuorma-autoilla tai maansiirto-autoilla. Louhe kuljetetaan kuorma- tai maansiirtoautoilla.

Pyöräkuormaajissa ja dumppereissa on nykyisin polyeristetyt ohjaamot, joihin tarvittaessa lämmitettävä korvausilma otetaan puhallinlaitteiston kautta paperisuodatinpakan noin 500 x 500 läpi. Järjestelmään on liitettävissä jäähdytyslaitteisto. Esimerkiksi Volvon pyöräkuormaajien puhaltimen kapasiteetti täydellä teholla on 10 - 7 m³/min. Suodattimen erotustehokkuudeksi mainitaan vähintään 98 % sekä kokonaispölylle että pölyn hengitettävälle osuudelle (pölylle > 1 mikrometri). Erityisolosuhteissa Volvo suosittelee käytettäväksi asbestoosisuojasuodatinta, joka on tavanomaista suodatinta kalliimpi, mutta jonka erotustehokkuus on 99 % DOP MIL-std 282 testin mukaan./17/

Pyöräkuormaajan (CAT S 88B) kuljettajan henkilökohtaiseksi altistukseksi saatiin 10.5.1990 soran kuormauksen, kuljetuksen ja syötön aikana 1,8 mg/m³. Kuormaaja oli varustettu suodatinlaitteistolla. Leijuman paino muodostui pääosin tummista, kiiltävistä hiukkasista. Suurimmat niistä olivat 140 ja 120 mikrometriä. Myös kokoja 50 - 100 mikrometriä esiintyi yleisesti. Mainitut hiukkaset eivät läpäise kunnossa olevaa suodatinta. Kiiltävien tasasivuisien hiukkasten määrä oli vähäinen. Suurin tällainen hiukkanen oli 60 x 50 mikrometriä. Pienien alle 2,5 mikrometriä olevien hiukkasten määrä oli runsas, mutta kuitenkin merkille pantavan vähäinen. Näytteessä oli yksi ilmeinen vaatekuitu, yksi hiuksen osa ja kaksi tunnistamatonta kuitua (25 x 137 ja 7,5 x 450 mikrometriä).

Jos suodatinlaitteisto on rikki tai kuormaajaa käytetään ikkunat auki, kuljettajan pölykuormitus voidaan otaksua lähes ulkoilmassa vallitsevan pitoisuuden suuruiseksi. Edellä mainitussa tapauksessa vallitsi syöttökohdan ulkopuolella noin 5 m:n etäisyydellä pölypitoisuus 5,1 - 6,5 mg/m³.

Pyöräkuormaajan vaikutusalueella 0 - 100 m esimurskaimesta vallitseva pölypitoisuus suojaamattomalla louhemurskaamolla tuulen alapuolella on suuruusluokkaa 100 - 20 mg/m³. Jos hengitettävän pölyn osuutena käytetään

3 paino-%, saadaan sen pitoisuudeksi 3,0 - 0,6 mg/m³. Kunnossa olevan suodattimen erotustehokkuudella 98 % saadaan ohjaamossa vallitsevaksi ilman pölypitoisuudeksi 0,06 - 0,01 mg/m³ ja kvartsipitoisuudeksi 40 % osuudella 0,02 - 0,00 mg/m³. Suurten pölypitoisuuksien ohjaamoon voidaankin katsoa syntyvän muusta kuin kelvollisen suodattimen läpi tulleesta pölystä.

Kuorma-autojenkin ohjaamon korvausilma suodatetaan jo nykyisin yleisesti paperisuodatinpakan noin 250 x 400 mm, paksuus 35 - 40 mm läpi. Vanhemmissa kuorma-autoissa korvausilma tulee puhdistamattomana ohjaamoon. Noin puolet uusista myytävistä kuorma-autoista varustetaan jäähdytysilmastoinnilla, joka vähentää tarvetta ikkunoiden aukipitämiseen.

Hengitettävän pölyn ja kvartsin pitoisuutena kuorma-auton ohjaamossa kaadon aikana voidaan käyttää samoja suuntaa antavia arvoja kuin pyöräkuormaajan ohjaamossa. Kuormaa vastaanotettaessa ulkoilmapitoisuudet ovat suurempia, koska aines on hienompaa. Kuljettajan kannalta on kyse hetkellisistä maksimikuormituksista. Jos tuuletin ei ole päällä, kuormitus muodostuu pienemmäksi. Tuulettimen käyttöön vaikuttaa jäähdytysjärjestelmän olemassaolo. Jos suodatinlaitteistoa ei ole, se on rikki tai ikkunaa pidetään auki kuorman oton aikana, kuormitukseksi ohjaamossa muodostuu lähes ulkoilmapitoisuus.

Muu kuormitus kuorma-auton ohjaamossa määräytyy kuljetustehtävän mukaisessa toimintaympäristössä vallitsevien pitoisuuksien mukaan ja pitoisuuksien muodostumiseen ohjaamossa vaikuttavat mm. edellä mainitut tekijät. Kuorma-autoilijan pölyaltistus ei ole määriteltävissä luotettavasti työpaikkapitoisuuksista ja altistusajoista, vaan altistus olisikin määriteltävä suoraan ohjaamosta tai henkilökohtaisilla annosmittareilla.

Suurten pölykuormitusten johdosta työkoneiden ja kuorma-autojen suodattimet voivat tukkeutua nopeasti. Ongelma ilmenee ilmastointi- ja lämmityshäiriöinä. Painehäviön kasvu voi rikkoa suodattimen, jolloin sen erotustehokkuus on alhainen. Suodattimen vaihtoja pitäisi tehdä usein, mutta käytännössä näin ei useinkaan tapahdu. Maansiirtoajoissa olleiden pyöräkuormaajien ja kuorma-autojen ohjaamot ovat autojen huoltoon tullessa usein hyvin pölyisiä. Jäähdytysjärjestelmä, suodattimen vaihtoväli, kuljettajan oma puhdistautuminen pölystä ennen ohjaamoon menoa sekä ohjaamon siivoamistapa ja -tiheys ratkaisevat, minkälaiseksi tilanne ohjaamossa muodostuu.

2.4.4 Murskaamon kunnossapidosta vastaavan työntekijän pölyaltistus

Murskaamoalueella ulkona työskentelevän työntekijän pölyaltistus on suuressa määrin riippuvainen hänen henkilökohtaisesta työskentelytavastaan ja suojainten käytöstä.

Työntekijän altistukseksi suojaamattomalla louhetta murskaavalla asemalla mitattiin 6.6.1990 tuulisissa kuivissa kesäolosuhteissa 22,2 mg/m³. Samaan aikaan oli pölypitoisuus 15 m:n päässä valvomosta tuulen alapuolella 4...5-kertainen 80,0 - 111,4 mg/m³. Suurimmat kimaltelevat hiukkaset näytteessä olivat 0,35 ja 0,25 mm. Yleisiä olivat hiukkaset 0,05 - 0,1 mm. Pieniä hiukkasia alle 5 mikrometriä esiintyi runsaasti. Suurin kiiltävä läpinäkyvä hiukkanen oli 0,13 mm ja ruskea hiukkanen 0,13 mm. Kuitu 10 x 300 mikrometriä vaikutti

vaatekuidulta, yksittäistä hiukkasta $2,5 \times 50$ mikrometriä ei tunnistettu. Hiukkaslaskentaa ei tehty. Jos hengitettävän alle 5 mikrometrin paino-osuutena käytetään 3 % ja vapaan kvartsin pitoisuutena 15 %, saadaan kvartsialtistukseksi $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Hengityssuojainta käytettäessä altistus jää oleellisesti vähäisemmäksi. Esimerkiksi edellä käsitellyssä tapauksessa olisi pölyaltistus 98 % hengityssuojaimen tehokkuudella ollut vain $0,4 \text{ mg/m}^3$ ja kvartsialtistus $0,00 \text{ mg/m}^3$. Altistusta eivät enää lisää muut pölyt, kuten tapahtuu syöttäjän, työkonoiden ja kuorma-autojen kuljettajien kyseessä ollen.

2.4.5 Kaivukoneen kuljettajan pölyaltistus

Kaivukoneen kuljettaja kuormaa louheen maansiirto- ja kuorma-autoihin. Kuiva louhe pölyää pudotuksissa. Kaivukoneen ohjaamo on varustettu samantyyppisellä suodatusjärjestelmällä kuin pyöräkuormaajan ohjaamo. Kone työskentelee yleensä kauempana murskaamosta kuin pyöräkuormaaja. Normaali etäisyys on yli 100 m. Kaivukone liikkuu vähän.

Tiehallituksen mittausten (taulukko 8) mukaan pölyleijuma suojaamattoman louhemurskaamon ympäristössä 100 m:n etäisyydellä voi olla noin $22 - 23 \text{ mg/m}^3$. Tästä saadaan kaivukoneen ohjaamoon menevän korvausilman pölypitoisuudeksi suodattimen 98 %:n erotustehokkuudella $0,4 - 0,5 \text{ mg/m}^3$. Jos suodattimen läpi mennyt aines otaksutaan kokonaisuudessaan hengitettäväksi alle 5 mikrometrin pölyksi, saadaan kvartsipitoisuudeksi esimerkiksi 20 %:n suhteellisella osuudella noin $0,1 \text{ mg/m}^3$. Hengitysilman pitoisuutta lisäävät ohjaamosta ilmaan pääsevät karkeammat hiukkaset. Jos suodatinaltisteisto on rikki tai kaivukonetta käytetään ikkunat auki, kuljettajan pölykuormitus voidaan otaksua lähes ulkoilmassa vallitsevan pitoisuuden suuruiseksi. Suodatinten vaihtoon liittyvät ongelmat ovat samoja kuin muissa laitteissa.

2.4.6 Laborantin pölyaltistus

Laborantti käsittelee kuivattuja kiviaineksia mm. seulomalla ja punnitsemalla. Täryseulat sijaitsivat varhemmin laboratorion lattialla vapaassa huonetilassa. Nykyaikaisessa laboratoriossa seulonta on sijoitettu erilliseen ilmastoitun veto-kaappiin. Korvausilman ottoa ei ole yleensä varustettu suodattimilla.

Tiehallituksen tekemien mittausten mukaan ovat leijuvan pölyn hetkelliset kokonaispitoisuudet laboratorioissa vaihdelleet $1,0 - 29,3 \text{ mg/m}^3$ keskiarvon ollessa noin 5 mg/m^3 (taul. 9). Rakeisuuksia ei ole määritetty.

Vaikka laborantin hetkellinen pölyaltistus voi olla suuri, koko työpäivän altistus jää sitä huomattavasti vähäisemmäksi.

2.4.7 Muiden murskaamolla työskentelevien pölyaltistus

Työnjohtaja altistuu harvoin suurille pölypitoisuuksille.

Konemiesten tehtävänä voi olla murskaamolla mm. laitekorjaukset, huollot, säädöt jne. Toimenpiteet kohdistuvat paitsi murskaamoon myös työkoneisiin ja ajo- neuvoihin. Pölykuormitukset ja altistukset rinnastetaan tässä yhteydessä kunnossa- pidosta vastaavan työntekijän altistuksiin, koska usein kyseessä on sama henkilö.

Punnitsija työskentelee usein pienessä työtilassa, joka on murskaamolle johtavan tien varrella yleensä vähintään sadan metrin etäisyydellä murskaamosta. Murskaamon lisäksi pölyä tuottaa ilmaan ohikulkeva liikenne. Työtilassa ei ole useinkaan koneellista tuuletusta, eikä myöskään tuloilman suodatusjärjestelmää. Kesällä työtilan ilma kuumenee, josta syystä ovea pidetään auki. Pölypitoisuus punnituspaikassa voi olla louhemurskaamoilla suuruusluokkaa 20 mg/m^3 (ks. 2.4.5) ja liikenne lisää vielä tätä. Hengitettävän pölyn osuudella 3 % sekä kvartsin osuudella 17 % kvartsipitoisuus punnituspaikassa ulkona liittyy $0,1 \text{ mg/m}^3$ ja kvartsin osuudella 34 % arvon $0,2 \text{ mg/m}^3$.

Jos murskaamoalueella on murskaajan toimistotilat, ne ovat yleisesti siirrettäviä tilaelementtejä, kuten viipale-elementtejä, kontteja, vaunuja tai vastaavia. Sosiaalitilojen luokka määräytyy työntekijämäärän mukaan./18/ Tiloja ei ole yleensä varustettu tuloilman suodatuslaitteistolla. Ilmastointi on joko luonnollinen tai koneellinen. Toimisto sijaitsee tavallisesti vähintään sadan metrin etäisyydellä murskaamosta, suojaosassa paikassa. Toimistotyöntekijän pölyaltistus jää pienemmäksi kuin laborantin ja punnitsijan pölyaltistukset, osittain siksi että toimistotilan puhtaudesta huolehditaan paremmin ja säännönmukaisemmin.

Rakennuttajan valvojien ja viranomaisten (mm. työsuojelu-, palo-, terveys- ja ympäristönsuojeluviranomaiset) saamat altistukset ovat hetkellisiä ja työpäivän altistukset jäävät pieniksi. Toimintaa voidaan tarkkailla normaalisti tuulen yläpuolella.

3 PÖLYNTORJUNNAN TAVOITTEET JA TARPEET

3.1 Hyväksyttävät kokonaispölypitoisuudet ilmassa

Työturvallisuuslain (299/58) 16 §:n mukaan työ, jonka jossakin vaiheessa syntyy mm. pölyä työntekijää vahingoittavassa tahi häiritsevässä määrässä, on, mikäli mahdollista, suoritettava erillisessä huoneessa tai rakennelmassa taikka sijoitettava työn sellainen vaihe suljettuun laitteeseen. Pöly on tarkoituksenmukaisella tavalla riittävässä määrin tehtävä vaarattomaksi tai koottava ja poistettava. Jollei pölyn haittaavaa vaikutusta voida poistaa, on niiden leviäminen työpaikan ympäristöön estettävä.

Lähtökohtana pölyntorjunnalle on pölyn vahingoittava tai häiritsevä määrä työntekijän kannalta. Yleensä voidaan otaksua, että häiritsevä määrä esiintyy ennen vahingoittavaa vaikutusta. Häiritsevän pölypitoisuuden arvosteluperusteet eivät ole vakiintuneet, josta syystä poikkeavat myös työntekijöiden käsityk-

set asiasta toisistaan. Tunnusmerkkeinä voitaneen pitää mm. silmien ärsyyntymistä ja ylempien hengitysteiden likaantumista. Häiritsevän vaikutuksen ja sairauden (vahingollisen vaikutuksen) oireen välinen raja voi olla vähäinen (esimerkiksi yskä pölyaltistusten johdosta ja yskä keuhkosairauksien seurauksesta). Pölyntorjunnan tavoitteeksi asetettavan häiritsevän vaikutuksen kriteerin tulisi olla riittävän alhainen.

Valtioneuvoston päätöksen, joka sisältää rakennustyössä noudatettavat järjestysohjeet (274/69), 8 §:n mukaan milloin työpaikalla esiintyy tai suoritettavan työn seurauksena syntyy mm. terveydelle vaarallisia pölyjä, on työnantajan hankittava riittävät tiedot käytetyn tai syntyvän aineen kokoomuksesta ja huolehdittava joko riittävällä tuuletuksella tai vaarallisen aineen poistamisella siitä, ettei hyväksyttäviä enimmäispitoisuuksia ylitetä.

Turvallisuustiedotteessa n:o 25 "HTP-arvot (haitallisiksi tunnetut pitoisuudet) 1987"/19/on esitetty hyväksyttäväksi epäorgaanisen pölyn enimmäispitoisuudeksi 10 mg/m³ (8 h).

Valtioneuvoston päätöksessä räjäytys- ja louhintatyön järjestysohjeista 410/1986 (61 §) on edellytetty maan alla, suljetussa tilassa ja syvissä kaivannoissa tarkkailtavaksi työntekijöiden hengitysilman koostumusta ja epäpuhtauspitoisuuksia. Tarvittaessa on ennen työskentelypaikalle menoa mittaamalla varmistettava, ettei annettuja työhygieenisia raja-arvoja (hiilimonoksidi ja -dioksidi, typpioksidi ja -dioksidi sekä rikkidioksidi ja -vety) ylitetä. Edelleen on säädetty, että mikäli työn kestoaika, vastaavista töistä saatu kokemus, maaperän laatu, käytettävät koneet ja muut seikat antavat aiheen epäillä, että taulukossa 16 mainitut raja-arvot ylittyvät, taulukossa mainittujen aineiden pitoisuudet on mitattava.

Taulukko 16. Työhygieenisia raja-arvoja

Aine	Raja-arvo (8 h)
Kokonaispölypitoisuus	10 mg/m ³
Kvartsi, hienojakoinen	0,2 "
Bentso(a)pyreeni	0,01 "
Asbesti	Keskimäärin 0,5 yli 5 mikrometrin mittaista kuitua/cm ³

Ruotsissa sallitaan kokonaispölypitoisuus työpaikan ilmassa 10 mg/m³, mutta jos pöly sisältää aineita, joilla on oma raja-arvonsa, saa kokonaispölypitoisuus olla enintään 5 mg/m³./20/

OSHA:n (Occupational Safety and Health Administration, USA) sallima kokonaisarvo vähätehoiselle pölylle on 15 mg/m³. ACGIH sallii raja-arvona 10 mg/m³./21/

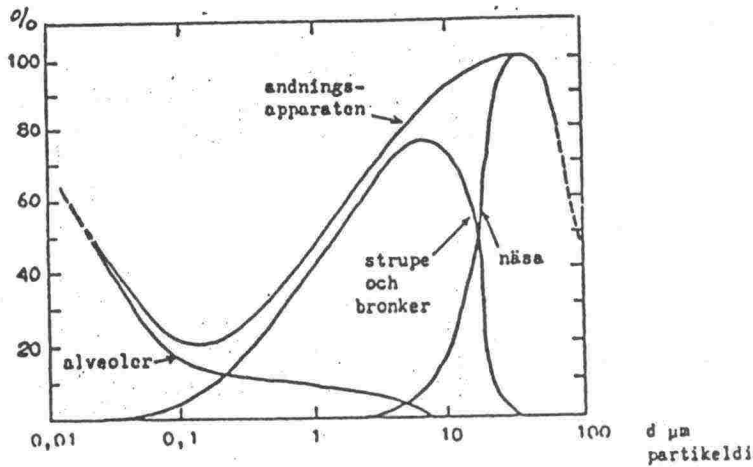
3.2 Pölypitoisuus hengitysilmassa

Suomessa ei ole esitetty raja-arvoa hengitettävälle, esimerkiksi alle 5 mikrometrin pölylle.

Ruotsissa on sallittu hengitettävälle pölylle työpaikan ilmassa 5 mg/m³./20/

Kuvassa 6 on esitetty ihmisen hengitysjärjestelmän eri osien erotustehokkuus erikokoisille hiukkasille (erotusastekäyrä).^{/22/} Hengitysjärjestelmä erottaa huonosti hiukkasia, jotka ovat välillä 0,1 ...0,5 mikrometriä. Ongelmallisena pidetään alle 5 mikrometrin hiukkasia, jotka pääsevät alas keuhkojen ilmarakeluihin (alveoleihin) saakka.

Avskiljningsgrad



Kuva 6. Hengitysjärjestelmän erotustehokkuus ^{/22/}

OSHA sallii hengitettävälle jakeelle 5 mg/m³.^{/21/}

3.3 Kvartsi ja silikaatit

Turvallisuustiedotteessa n:o 25 "HTP-arvot 1987" ^{/19/} on esitetty hyväksyttäväksi hienojakoisen kvartsin enimmäispitoisuudeksi 0,2 mg/m³ (8 h). Sosiaali- ja terveysministeriön aiemmin julkaisemissa teknillisissä turvallisuusohjeissa N:o 11 oli esitetty enimmäispitoisuusarvot silikaateille, taulukko 17.

Taulukko 17. Silikaattien sallitut enimmäispitoisuudet

Aine	Enimmäispitoisuus ilmassa
Silikaatit (alle 1 % kiteistä piidioksidia)	
- Asbesti (kaikki muodot)	5 kuitua > 5 mikrometriä/cm ³ 3)
- Kiille	700 hiukkasta/cm ³ 2)
- Talkki (kuituinen)	5 kuitua > 5 mikrometriä/cm ³ 3)
- Talkki (rakeinen)	700 hiukkasta/cm ³ 2)
- Tremoliitti, kuten asbesti	
- Vuolukivi	700 hiukkasta/cm ³ 2)

1) Enimmäispitoisuus tarkoittaa pölyn hienojakoisesta osasta eli alle 5 mikrometrin läpimittaisista hiukkasista määritettyä pitoisuutta
2) Määrittäminen "impinger"-laitteella otetusta pölynäytteestä mikroskopisesti läpikulkevassa valossa vähintään 200-kertaisella suurennuksella.
3) Määrittäminen kalvosuodattimella otetusta pölynäytteestä mikroskopisesti vähintään 430-kertaisella suurennuksella faasikontrastivalaistusta käyttäen.

Valtioneuvoston päätöksen räjäytys- ja louhintatyön järjestysohjeista 410/1986 mukainen hienojakoisen kvartsin työhygieeninen raja-arvo on 0,2 mg/m³ (taulukko 16).

Ruotsissa on sallittu hengitettävälle kvartsipölylle raja-arvo 0,1 mg/m³./22/

OSHA:n sallima altistus-arvo hengitettävälle kiteiselle kvartsille lasketaan kaavalla 2./21/

$$\frac{10}{\% \text{ SiO}_2 + 2} \text{ mg/m}^3 \quad (2)$$

Kristobaliitille ja tridymiitille käytetään puolta em. tavalla kvartsille lasketusta arvosta./21/ Esimerkiksi 38 %:n kvartsipitoisuudella saadaan OSHA:n mukaan sallituksi raja-arvoksi hengitettävälle kiteiselle kvartsille 0,25 mg/m³.

3.4 Asbesti ja muut kuidut

Valtioneuvoston päätöksessä 886/87 on asbestin suurimmaksi sallituksi pitoisuudeksi (SSP) annettu 0,5 kuitua/ml(cm³) (1.1.1989 alkaen).

Ns. TEM-menetelmän mukainen OSHA:n raja-arvo on 0,2 asbestikuitua (> 5 mikrometriä)/ml. ACGIH:n raja-arvot ovat 0,5 amosiitille, 2 krysotiilille, 2 muille asbestimuodoille/ml./21/

Koska faasikontrastimikroskopiassa on todellisuudessa mahdotonta erottaa lasi- ja asbestikuituja on raja-arvot määritelty kuitu- tai asbestikuitutasoille. Nämä arvot ovat:

OSHA: 0,2 asbestikuitua (> 5 mikrometriä)/ml.

ACGIH: 0,2 krokidoliitille, 0,5 amosiitille, 2 krysotiilille ja muille muodoille/ml

3.5 Tapaturmat ja ammattitaudit

Työmaalle laskeutuva pöly lisää liukastumisvaaraa. Pöly voi silmiin joutuaan johtaa tilapäiseen näkemisen ja havainnoinnin heikentymiseen ja olla näin vaikuttamassa muun tapaturman syntymiseen. Näkyvyyden heikentyminen voi hidastaa myös ensiaputoimiin ryhtymistä. Pöly on ongelma myös sähköturvallisuuden kannalta.

Suomen virallisen tilaston sarjaan kuuluva työtapaturmatilasto /23/ sisältää työssä ja työmatkalla sattuneet työvahingot ja todetut ammattitaudit, joista vakuutetulla on oikeus saada korvaus tapaturmavakuutuslain mukaan. Yhdessä maa- ja vesirakennustoiminnassa sattuneessa kuolemaan johtaneessa tapaturmassa (nro 5619) oli mahdollisena osasyynä pölyn aiheuttama näkyvyyden heikentyminen. Putoamisten ja liukastumisten osuus maa- ja vesirakennusalalla sattuneista tapaturmista on 26,7 %. Maarakennuskoneiden kuljettajille oli sattunut 14 silmiin kohdistunutta tapaturmaa.

Työsuojeluhallinnon tapaturmarekisteri (tare) /24/, joka sisältää vaikealaatuiseen vammaan tai kuolemaan johtaneen tapaturman selostuksen, ei sisällä murskaamotyöntekijöiden pölykeuhkotapauksia.

Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y.:n murskausjaoston tiedossa ei ole pölyn aiheuttamia ammattitautitapauksia 1970- ja 1980-luvuilta./25/

Tämän tutkimuksen yhteydessä tuli esille yksi pölykeuhkotapaus. Kyseinen konemies oli työskennellyt 38 vuotta murskaamoilla saman työnantajan palveluksessa. Pölykeuhkon syntymiseen on katsottu vaikuttaneen työskentelyn ilman ohjaamaa varustetuissa pyöräkuormaajissa.

3.6 Muut kuin terveydelliset näkökohdat

Pölyinen työ kiinnostaa yhä vähemmän nuorta työvoimaa tulevaisuudessa. Työvoiman saanti murskaustöihin voikin nykyisestäään vielä vaikeutua, ellei työskentelyolosuhteita pystytä parantamaan paitsi terveellisiksi myös viihtyisämmiksi.

Murskaamon pölyäminen vaikeuttaa sen sijoittamista. Vähän pölyävän aseman voi sijoittaa helpommin, millä on usein suuri merkitys kuljetuskustannusten säästymisessä. Vähän pölyävät ja meluavat sekä muutoinkin hyvän kuvan antavat murskaamot voivat luoda arvostettavan yrityskuvan, jolla on myös taloudellisesta merkitystä. Pölynpoistoinvestoinnit voivat alentaa vakuutusmaksuja.

Taso, jolle murskaamojen pölyäminen saatetaan, on valinnanvarainen. Yhdenmukainen, mahdollisimman laaja-alaisesti sovittu menettely on edullinen kaikille osapuolille. Rajan murskaamon pölyämisen vähentämiseksi asettaa yhteiskunnan päätöksentekijöiden halukkuus olla maksamatta enempää suojausten kustannuksia. Ns. parhaan tekniikan rahoittaminen vaatii monia käytännön toimenpiteitä. Asiasta tulisi pystyä sopimaan myös suurimpien rakennuttajien kesken. Mahdollisesti selkein tie edetä asiassa on vakiinnuttaa toimintaperiaatteet urakka-asiakirjoissa harkitun aikataulun mukaisesti.

4 PÖLYNTORJUNTATEKNIIKAT JA KUSTANNUKSET

4.1 Päästöjen vähentäminen

Ensi sijainen pölyntorjuntatapa on päästöjen vähentäminen. Työhygienian ja terveyden näkökulmista tämän tulee kohdistua ensi sijassa keuhkoihin pääseviin ja sinne jääviin noin 0,2 - 5 mikrometrin hiukkasiin. Muuhun työsuojeluun, kuten liukastumisvaaran vähentämiseen, sähköturvallisuuden ylläpitoon, tapaturmien pikaiseen toteamiseen ja nopean ensiavun antamiseen liittyvät näkökohdat edellyttävät em. karkeampien hiukkasten päästöjen vähentämistä. Ympäristönsuojelun kannalta on tärkeää, että suuruusluokaltaan 10 - 20 mikrometrin hiukkasten määrää saadaan vähennettyä.

Hiukkaspäästön vähentäminen tapahtuu estämällä ja vähentämällä hiukkasen irtoamiseen vaikuttavaa voimaa sekä suurentamalla hiukkasen raekokoa, jolloin irtoamiseen tarvittava voima kasvaa. Viime mainitussa tarkoituksessa käytetään hiukkasten kastelua ja kemikaaleja. Irrotusvoimaan kohdistuvia päästön vähentämiskeinoja on esitetty taulukossa 18.

Hiukkasten tehokas kostutus putoavissa kohdissa vaatii sopivan pisarakoon ja pisaroiden nopeuden muodostamisen sekä pisaroiden oikean suuntaamisen hiukkasvirtaukseen. Veden pintajännitystä joudutaan yleensä alentamaan ja veden tulee soveltua ruiskutustekniikkaan. Kasteltu hiukkanen erotetaan sitä kantavasta ilmapvirtauksesta pölynerotustekniikoilla. Eri kokoisten hiukkasten putoamista ja kulkeutumista ulkoilmassa on käsitelty kohdissa 2.1.3 - 2.1.4 ja erotusperiaatteita kohdassa 4.2.1. Kostutusvirtaus voi toimia leviämiseen.

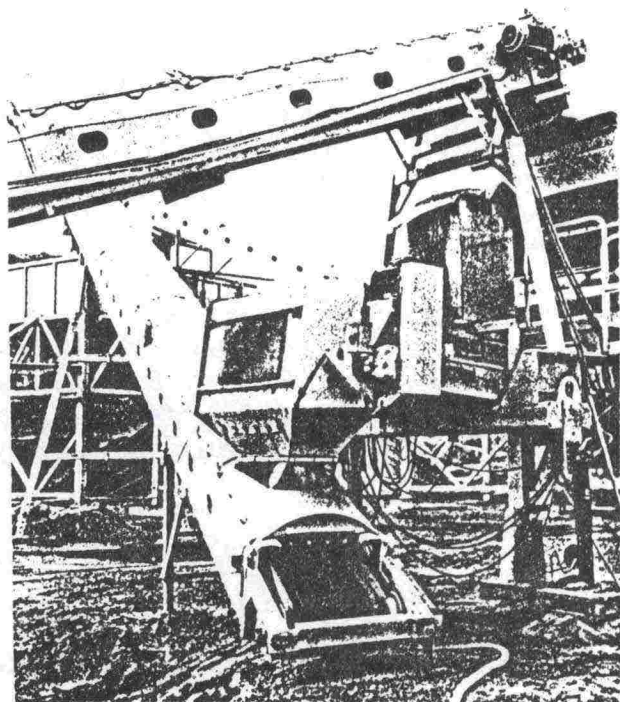
Taulukko 18. Pölyhiukkasen irtoamisen vähentäminen

Pölynlähde	Pölypäästön vähentäminen
Raaka-aineen kuormaus syöttimelle, pudotukset murskaimiin, seulastolle ja siiloon	Tuuliesteet, pudotuksen synnyttämän ilmapvirtauksen pienentäminen ja kastelu (Ilmapvirtausten pienentäminen)
Murskaus	Tuuliesteet ja kastelu
Pudotukset kuljettimille	Tuuliesteet ja kastelu
Kiviaines kuljettimilla	Kotelot
Seulonta	Pudotuskorkeuden alentaminen ja tuuliesteet
Pudotukset varastokasoihin ja siilosta lavalle	Suolaus, kastelu, tiivistäminen ja päällystäminen
Murskaamo-alueen pinnasta	Kastelu, kuorman peittäminen
Kuormasta	Kastelu ja siilovarastointi
Varastokasoista	

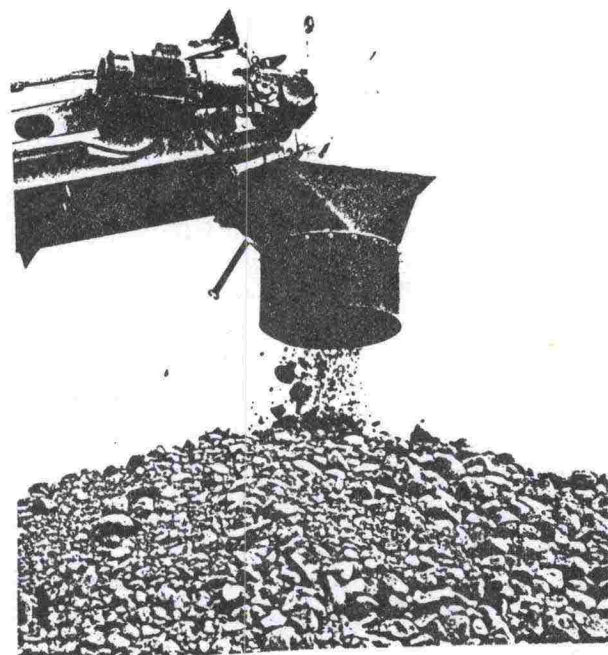
Kiviainespintojen kastelussa on kyse vesimäärästä. Hiukkasten irtoaminen estyy mm. hiukkasten painon (koon) lisääntymisen ja vesikalvon muodostaman esteen vuoksi. Kastelu voidaan kohdistaa sadetuksena raaka-aineeseen (esimerkiksi louhintapaikalla). Pelkän kastelun vaikutus häviää nopeasti auringonpaisteella. Kosteutta sitovien kemikaalien, joista yleisin on kalsiumkloridi, ansiosta pölynsidontavaikutus kestää kauemmin.

Talvikaudella kastelu tuottaa ongelmia jäätymisten takia. Seulonta saattaa antaa virheellisiä tuloksia ja seulojen jäätymisen pysäyttää prosessin. Myös laajentuvissa ilmapvirtauskohdissa on jäätymisvaara.

Tuuliesteiden koko valitaan pölypäästökohdan suuruuden huomioonottaen riittäväksi. Este sijoitetaan lähelle lähdettä, mahdollisuuksien mukaan sen eri sivuille. Tuuliesteen tulee yleensä vaimentaa myös melua, jolloin sen suunnittelussa on otettava myös meluntorjuntanäkökohdat huomioon. Tarkoitukseen soveltuu hyvin kumimatto. Esimerkkejä tuuliesteistä on kuvissa 7 - 8.



Kuva 7. Tuuliesteitä



Kuva 8. Tuuliesteitä

Tuuliesteeksi soveltuu myös seinämä vallitsevan tuulen puolella. Kaksinkertaisella raskaalla peitteellä, jonka välissä oli 100 mm:n ilmarako, on saatu melua vaimenemaan 15 dBA mitattuna metrin päässä esteen edestä ja takaa. Varastokasalle johtavan kuljettimen pudotuskohdan ympärille tehtävä tuulisuoja voi olla esimerkiksi katkaistun kartion muotoinen peite, jonka alaosa nojaa varastokasaan noin 1,5 m:n korkeudella./26/ Vahvistamaton ohut muovi ei kestä tuulisuojana. Erikseen rakennettavien tuuliesteiden sijasta ja lisäksi voidaan esteenä käyttää mm. aseman muita rakenneosia, rintauksia, varastokasoja ja lumivalleja.

Myös kotelot toimivat tuuliesteinä. Tällöin on kuitenkin huomattava, että kiviainesvirtaukset koteloihin synnyttävät ylipaineita, jotka voivat purkautua pölyisinä virtauksina läpimenokohdista. Myös seulasot saattavat muodostua pölyisiä ulostulovirtauksia synnyttäväksi kalvopumpuiksi. Ylipaineiden purkamisen on mainituissa tapauksissa tarpeellista.

Uutena ajatuksena esitetään talvikaudella käytettäväksi päästön rajoittamiskeinoksi kostean matalalämpöisen höyryn kohdentamista pölynlähteisiin (mm. pudotukset murskaimista). Tarkoituksena on tiivistää vesihöyryä kylmien kiviaineshiukkasten pintaan ja saada ne näin laskeutumaan paremmin. Höyryä voidaan käyttää muihinkin tarkoituksiin, kuten lämmitykseen, sulana pitämiseen ja jäätyneitten kohtien avaamiseen.

4.2 Pölynpoistolaitteet

4.2.1 Pölynerottimet

Pölynerottimet voidaan jakaa esimerkiksi pudotuskammioihin, sykloneihin, märkäerottimiin, suodattimiin ja sähköisiin erottimiin. Pudotuskammiot, joita kutsutaan myös laskeutus- ja rauhoituskammioiksi, voidaan edelleen jakaa toimintaperiaatteen mukaan yksinkertaisiin laskeutuskammioihin, välilevyjä sisältäviin kammioihin, aukolliseen törmäyserottimeen, tornimaiseen kammioon ja kammioon, jossa suuren nopeuden omaava ilmapirta käännetään äkisti. Osa edellisistä voidaan katsoa myös ns. hitauserottimiksi. Sykloneissa erotetaan yksinkertainen sykloni, korkeatehoinen sykloni ja multisykloni. Sykloneihin rinnastetaan myös mekaaniset keskipakoerottimet. Märkäerottimissa erotetaan mm. suihkukammiot, syklonityyppiset märkäerottimet, aukkotyyppiset märkäerottimet, mekaaniset märkäerottimet, korkeapaineiset suihkut, venturi-märkäerottimet, märkäsuodattimet ja pakatut tornit. Suodattimet voidaan jakaa kuituisiin ja rakeisiin suodattimiin. Kuituiset suodattimet voidaan jakaa vielä esimerkiksi säkki-, taso- ja patjasuodattimiin./27/ Sähköisiä erottimia on sekä kuivia että märkiä.

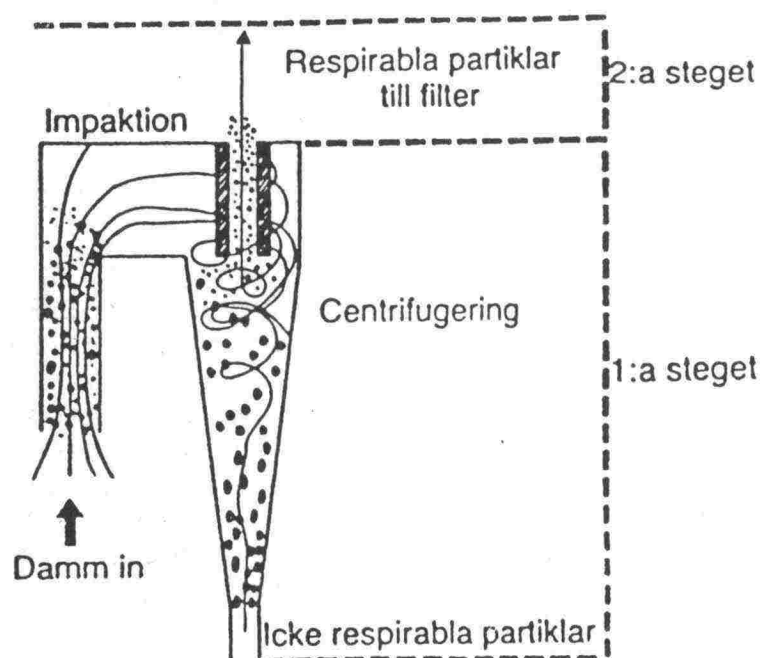
Pölynerottimien erotusperiaatteita ja niiden mukaan määräytyviä likimääräisiä erotuskykyjä (pienimpiä erottuvia hiukkasia) on esitelty taulukossa 19. Erotuskyky-käsite ei ole yleisesti käytössä epämääräisyytensä johdosta. Käytännössä myös erotuskykyä pienempiä hiukkasia eroaa, mutta sitä huonommin mitä pienemmästä hiukkasesta on kyse. Pölynerottimen ns. fraktioerotusastekäyrä kuvaa erotustehokkuutta eri hiukkaskokoalueilla. Käyrä määritellään hiukkaskakaumaltaan vakioidulle pölylle. Käytännössä tilanne on erilainen. Kuvaava on ns. tehokas hiukkaskokoalue. Hiukkasten kokoa käsiteltäessä on täsmällisempi käsite ns. aerodynaaminen halkaisija, jolla tarkoitetaan sellaisen hiukkasen, jonka tiheys on 1 g/cm^3 , halkaisijaa, jolla on sama putoamisnopeus kuin tarkasteltavalla todellisella hiukkasella.

Taulukko 19. Pölynerottimien erotusperiaatteita ja niiden mukaan määräytyviä likimääräisiä erotuskykyjä

Pölynerotin	Erotusperiaate	Erotuskyky mikrom
Pudotuskammiot	Laskeutus	
- yksinkertainen		40 - 80
- moninkertainen		10 - 80
Hitauserottimet		
- välilevyt	Keskipako	20 - 50
- torni	Törmäys	10 - 20
Syklonit	Keskipako	
- yksinkertainen		15 - 40
- korkeatehoinen		5 - 10
- multi		1 - 10
Rakeinen suodatin	Törmäys, seulonta jne.	1 - 10
Märkäerottimet	Suurennettujen hiukkasten keskipako, törmäys jne.	0,1 - 2
Tekstiilisuodatin	Törmäys, seulonta jne.	< 0,1
Sähköinen erotin	Sähköinen vetovoima	< 0,1

Pudotuskammioiden ja välilevytyyppisten hitauserottimien erotuskyky ei yksin riitä kuin enintään noin 20 mikrometrin hiukkasille. Tämä tekee näistä erottimista esierottimia, joilla pienennetään muiden pölynerottimien kuormitusta. Yhdistämällä näiden erottimien sisääntuloihin hiukkasten kostutus saadaan pyydystettyä pienempiäkin hiukkasia.

Myöskään tornimaisten hitauserottimien ja yksinkertaisten syklonien, joissa pölyhiukkasen eroaminen ilmavirtauksesta tapahtuu keskipakovoiman vaikutuksesta, erotuskyky enintään noin 15 mikrometrin hiukkasille ei riitä ihmisen keuhkoihin pääasiassa kulkeutuvan < 2 mikrometrin eikä työhygieenisesti tärkeän alle 5 mikrometrin hiukkaskoon erottamiseen, kuva 9.



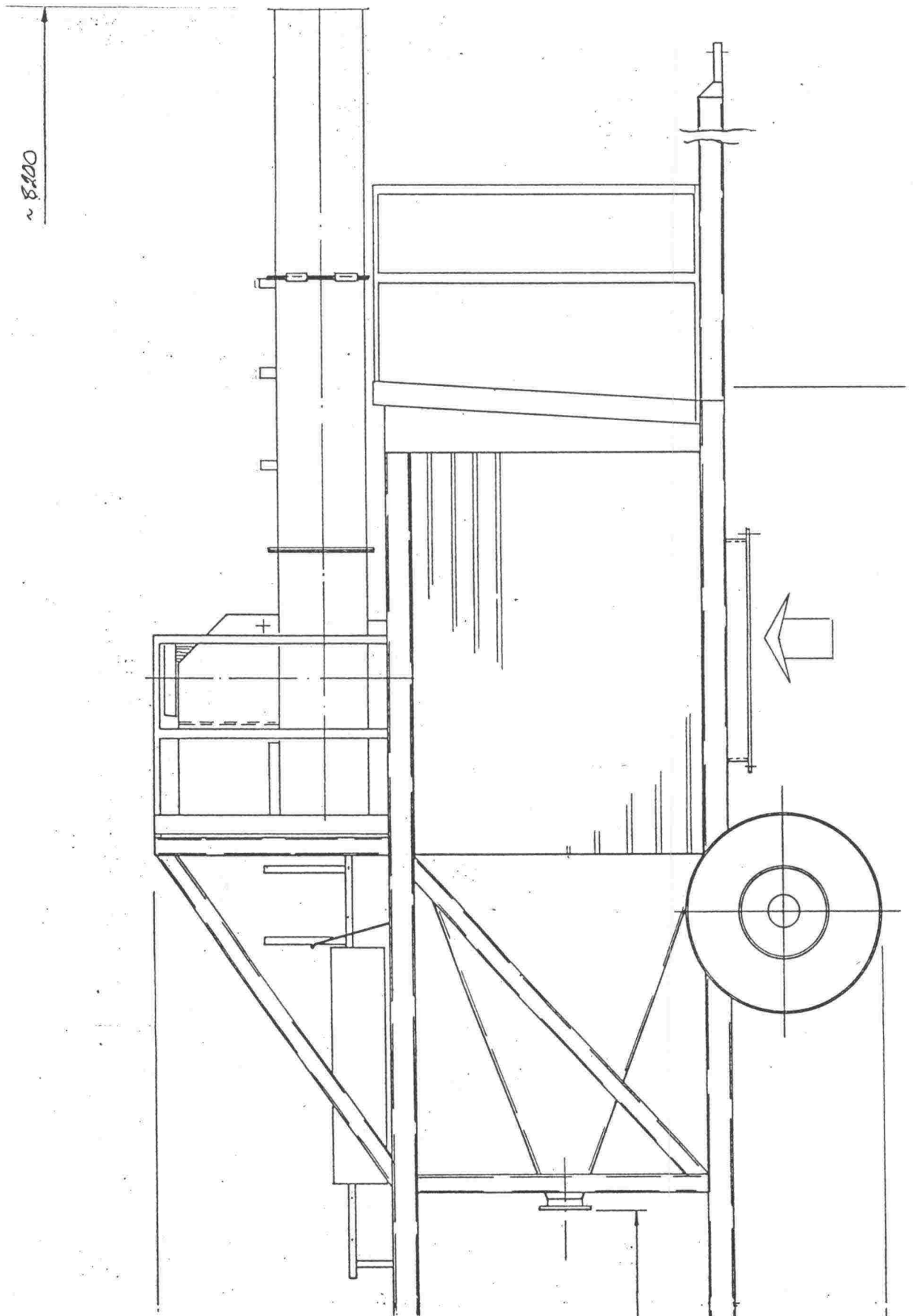
Kuva 9. Yksinkertainen sykloni esierottimena [17]

Korkeatehoisenkaan syklonin, joissa käytetään suuria sisääntulonopeuksia, pieniä halkaisijoita ja pitkiä sylintereitä, erotuskyky enintään noin 5 mikrometriä ei riitä työhygieenisesti merkityksellisten pölyjen erottamiseen. Multisyklonin erotustehokkuus (eroavan ja tulleen pölyn suhde) pienille 1 - 5 mikrometrin hiukkasille on alhainen, joten suuri osa pienistä hiukkasista läpäisee tämänkin erottimen. Ympäristövaikutuksen vähentämiseen soveltuvat molemmat erottimet.

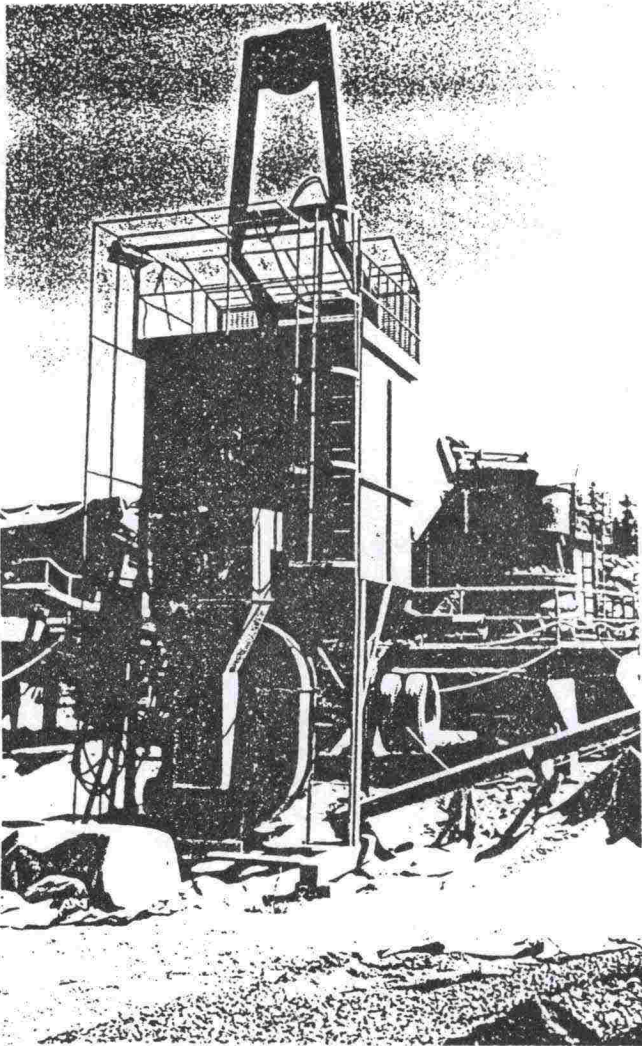
Märkäerottimia (-pesureita) on toimintaperiaatteeltaan kahdenlaisia. Toisessa pienet pölyhiukkaset kastellaan suuremmiksi, toisessa hiukkaset johdetaan törmäämään vesipinnan tai suurten vesipisaroiden kanssa. Märkäerottimet ovat tehokkaampia kuin kuivat laskeutus-, keskipako- ja törmäyserottimet. Kesäaikana tapahtuvan murskauksen erottimeksi märkäerotin soveltuu hyvin, talvikaudella joudutaan huolehtimaan vedenotto- ja lietteenpoistolaitteistojen jäätyneen estämisestä.

Talviaikaisessa käytössä kannattaisi kokeilla höyryn hyväksikäyttöä. Esimerkiksi johtamalla matalalämpöistä höyryä erottimen sisääntuloputkeen ja laajentamalla (jäähdyttämällä) virtausta saatetaan saada kylmät pienet hiukkaset eroamaan tehokkaasti mm. keskipako- ja törmäystyyppisissä erottimissa. Höyryä käytetään eronneen pölyn jäätyksen estämiseen.

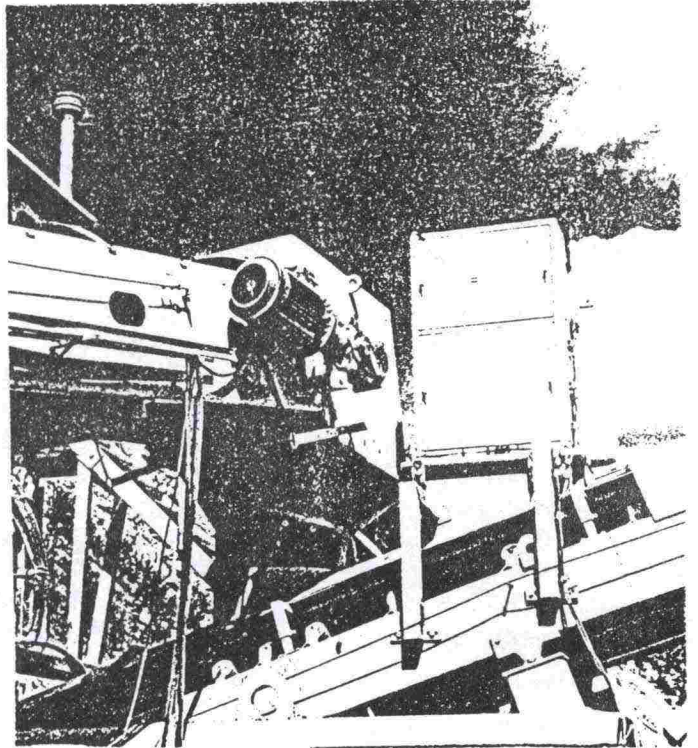
Suodatinpölynpoistolaitteisto voi rakentua joko yhdestä suuremmasta keskusyksiköstä (keskitetty pölynpoisto) tai useista erillisistä imurilla varustetuista suodattimista (kohdepoisto), kuvat 10 - 12.



Kuva 10. Keskussuodatin



Kuva 11. Keskussuodatin



Kuva 12. Kohdesuodatin

Kuvassa 10 esitetyn keskussuodattimen suodatinpinta-ala on 200 m^2 , suodatinkangas on polyesteriä, imurin teho $23\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ja piipun korkeus noin 8 m . Kerätty pöly saadaan ulos pohjakartiosta.

Kohdepölynpoistossa imetään pöyinen ilma murskaamon rakenneosasta suodattimen läpi. Samalla poistetaan mahdollinen ylipaine ja rajoitetaan pölypäästöjä läpimenokohdista. Suodatin puhdistetaan ajoittain. Pöly palautetaan kuljettimelle. Yleisesti käytetty suodatin on haitarimallinen tasosuodatin. Tiedot kohdeimureiden määrästä Suomessa alkuvuodesta 1990 vaihtelivat $20 - 50$ kpl.

Suodatinkuormitus on murskaamolla erittäin suuri ja suodatuskapasiteetin rajallisuus tulee nopeasti vastaan. Suodattimen tukkeentuessa painehäviö nousee ja imurin tehontarve kasvaa. Mekaaninen kulutus, suuri alipaine ja puhdistuksen yhteydessä syntyvät rasiukset rikkovat suodattimia, jolloin painehäviö ja imurin tehontarve alenevat. Rikkoontuneiden suodattimien vaihtaminen ja suodatinrakenteeseen kertyneen pölyn poistaminen ovat erittäin pölyisiä työvaiheita, ehkä työhygieenisesti vaikeimpia, mitä murskaamolla esiintyy. Näissä töissä ei käytetä aina hengityssuojaimia. Suodatinkuormitusta voidaan pienentää hyvillä esierottimilla.

Sähköisistä suodattimista murskaamojen pölyntorjunnassa ei ole Suomessa kokemuksia. Suuren virrantarpeen, suuren koon, tarpeellisen tasaisen kuormituksen ja suurten kustannusten vuoksi erotin ei mahdollisesti lainkaan sovellu murskaamoille.

Rakeisen suodattimen erotustehokkuus on jo varsin heikko alle 10 mikrometrin hiukkasille. Tämän suodatintyyppin ja märkäerottimen yhdistelmät vaikuttavat kokeilun arvoisilta.

4.2.2 Muut pölynpoistolaitteiston osat

Pölynlähteiden ympärille tehtävien kotelojen tarkoitus on muodostaa rajallinen tila, joka voidaan alipaineistaa pölyhiukkasten keräämiseksi.

Putkistot johtavat pölyiset ilmavirtaukset koteloista pölynerottimeen. Putkistoon liittyy jatkokappaleita, haaroituksia ja mutkia. Kohdesuodattimissa putkisto on yleensä lyhyt. Taipuisista muoviputkista saadaan putkisto valmiiksi nopeasti, mikä siirrettävillä laitoksilla on tärkeää.

Imurin tehtävä on synnyttää ilmavirtaus, joka painehäviöt huomioonottaen on riittävä kokoamaan leijuvan pölyn pölynlähteiden koteloista, kuljettamaan virtaukset putkiston ja pölynerottimen läpi poistoputken kautta takaisin ulkoilmaan.

Poistoputken tehollinen korkeus on pystysuoran nousunopeuden johdosta suurempi kuin tekninen korkeus. Teknisenä vähimmäiskorkeutena voidaan pitää 8 m maan-pinnasta ja vähintään 3 m ylimpien työtasojen yläpuolella.

4.3 Työkoneitten ja ajoneuvojen pölynpoistojärjestelmät

Uusien kuorma-autojen, dumppereiden, pyöräkuormaajien yms. työkoneiden ohjaamojen tuloilman ottojärjestelmässä on suodatinvarustus. Jäähdytyslaitteisto on saatavissa lisävarusteena.

Suodattimen valinnassa olisi otettava huomioon olosuhteet. Suodattimen erotustehokkuuden ja -kyvyn tulee muodostua riittäviksi. Esimerkiksi Ruotsissa on Volvo BM:n käyttämien suodattimien erotustehokkuuden mitannut työsuojeluhallituksen tutkimusosasto. Suodattimien erotustehokkuus on vähintään 98 % sekä kokonais- että hengitettävälle pölylle normaaleissa pölyolosuhteissa, joissa pitoisuus on 40 mg/m³ ja josta 30 % on hengitettävää pölyä ja noin 40 % kvartsihiekkää./17/

Suodattimen vaihtaminen riittävän usein (valmistajan ohjeiden mukaisesti tai muutoin suunnitelmallisesti) on edellytys pölynpoiston toimivuudelle. Painehäviön kasvaminen on osoitus suodatinvastuksen kasvamisesta. Järjestelmään on helppo liittää paine-eromittari osoittamaan suodattimen vaihtotarpeen. Suodatinkuormitusta voidaan oleellisesti vähentää kierrättämällä osa ilmasta (esimerkiksi Volvon koneissa noin 80 %) ja hankkimalla jäähdyttilaitteisto. Käytännössä suodattimet saatetaan poistaa, jotta ilmavirtaus toimisi ja jäähdyttäisi kuljettajan tilaa. Vanhoista työkoneista ja ajoneuvoista suodatin puuttuu yleisesti.

Ohjaamojen pölyntorjunnassa on suuri merkitys myös sillä, kuinka usein ja millä huolellisuudella tilat siivotaan. Pienen pölynimurin tulisi kuulua ohjaamon vakiovarustukseen. Ohjaamoihin kulkeutuvaa pölyä voidaan vähentää puhdistamalla kengät ja työvaatteet ennen ohjaamoon menoa sekä välttämällä tarpeetonta poistumista ohjaamosta.

4.4 Muut pölyntorjuntatekniikat murskaamolla

4.4.1 Leviämiseste

Leviämiseste sijoittuu tuulen suunnassa pölynlähteen taakse. Esteen tarkoituksena on suurentaa maaston, kasvuston, varastokasojen, rakennusten, rakenteiden ja laitteiden muodostamaa ns. karkeustekijää. Karkeus kuluttaa tuulienergiaa, jolloin tuulen kyky kantaa hiukkasia vähenee.

Leviämiseste voi olla rakenteeltaan samanlainen kuin tuulieste. Tuulieste toimii leviämisesteenä, jos tuuli käy pölynlähteestä esteen suuntaan. Yleensä myös leviämisesteen tehtävä on vähentää melua. Este on sitä tehokkaampi mitä suurempi se on ja yleensä myös mitä lähempänä pölynlähdettä se sijaitsee.

4.4.2 Ilmavirtausten ohjailu

Ilmavirtausten ohjaus saattaa olla oikea toimenpide paikkaan, jossa muutoin on vaikea luoda tyydyttäviä työskentelyolosuhteita. Tällainen kohta on esimerkiksi pudotus esimurskaimeen, jossa pölyntorjunta on vaadittavien näkymien ja suuren avaran tilantarpeen vuoksi muutoin vaikea järjestää. Puhallussuunta valitaan kohtisuoraan kuormauksen ja valvomon välistä linjaa vastaan. Puhalluksen eteen voidaan järjestää vesihöyryn syöttö tehostamaan hiukkasten putoamista.

4.5 Työmaatilojen pölynpoisto

4.5.1 Valvomo

Jos valvomosta puuttuu korvausilman suodatusjärjestelmä, se on mahdollista varustaa jälkikäteen sellaisella.

Sekä uusiin että vanhoihin valvomoihin olisi hyödyllistä järjestää jäähdytys, kierrätysilman säätömahdollisuus ja kierrätysilman puhdistus. Ellei jäähdytystä järjestetä, ovea pidetään helteillä auki eikä puhdistustoimenpiteistä ole hyötyä. Paitsi helteillä näin menetellään myös silloin kun olo valvomossa muodostuu tukalaksi ilmanvaihdon vähennyttyä. Kierrätysmahdollisuus pienentää tuloilman puhdistimen kuormitusta ja pidentää sen vaihtoväliä.

Vaihtovälin pidentyessä suodatinta ei poisteta käytöstä yhtä helposti. Kierrätettävän ilman puhdistus on puolestaan välttämätöntä, koska pölyä kulkeutuu vaatteiden ja kenkien mukana ohjaamoon (ks. 2.4.2).

Tuloilman paras mahdollinen ottokohta voidaan selvittää työmaakohtaisesti. Suodatinten vaihdon edistämiseksi ne tulisi varustaa paine-eromittarilla ja vaihto määritellä tapahtuvaksi paine-eron saavutettua asetetun raja-arvon.

4.5.2 Siirrettävät työmaarakennukset

Laboratorio-, vaaka- ja sosiaalilavaunujen, työmaatoimiston jne. tuloilman otton tulisi tapahtua murskaamoon nähden takasivulta ja työmaarakennuksen sijaita vallitsevat ilmansuunnat, maasto-olot ja murskekasat huomioonottaen edullisessa paikassa. Luonnollinen poisto soveltuu muihin kuin laboratorioon. Laboratoriossa tarvitaan vetokaappi pölyäville työvaiheille ja liuotinten käsittelyille. Pelkkien maanäytteiden käsittelyyn riittää hyvä kohdepoisto.

Jos tuloilman otto järjestetään suodatettuna, luonnollinen poisto ei riitä. Ilmastointilaitteissa käytettävä suodatin on yleensä patjatyypinen, jossa keräävinä aineksina toimivat kuidut. Ilmamäärän tulisi olla säädettävä. Pienessä punnitustilassa on korvausilman esilämmitys tarpeellinen vedosta aiheutuvien ongelmien välttämiseksi.

4.5.3 Siivous

Murskaamon työmaarakennusten siivouksen tulisi olla suunnitelmallisesti järjestetty. Säännöllinen siivoaminen vähentää pölyaltistusta. Murskaamopölyn lisäksi rakennuksiin kertyy huomattava määrä orgaanisista pölyä. Pintamateriaalit olisi valittava siten, että ne ovat helposti puhdistettavia.

Nykyiset pölynimurit pystyvät erottamaan pieniä alle 1 mikrometrin hiukkasia. Kostutetuilla välineillä siivoamalla saadaan hyvä lopputulos.

4.5.4 Henkilökohtainen puhdistus

Kenkien puhdistaminen ennen työmaatiloihin menemistä voi tapahtua pesemällä tai ritilällä ja siihen liittyvillä harjoilla. Työvaatetuksen puhdistaminen tapahtuu harjalla. Puhdistusta koskeva suositus, kuva 13, voidaan asettaa esimerkiksi valvomon ja vaakavaunun, laboratorion, korjaamovaunun ja huoltorakennuksen ulko-oviin.

OLE HUOMAAVAINEN JA PUHDISTA
JALKINEESI JA TYÖVAATETUKSESI
ENNEN SISÄÄN ASTUMISTA.

Kuva 13. Puhdistussuositus ulko-oveen

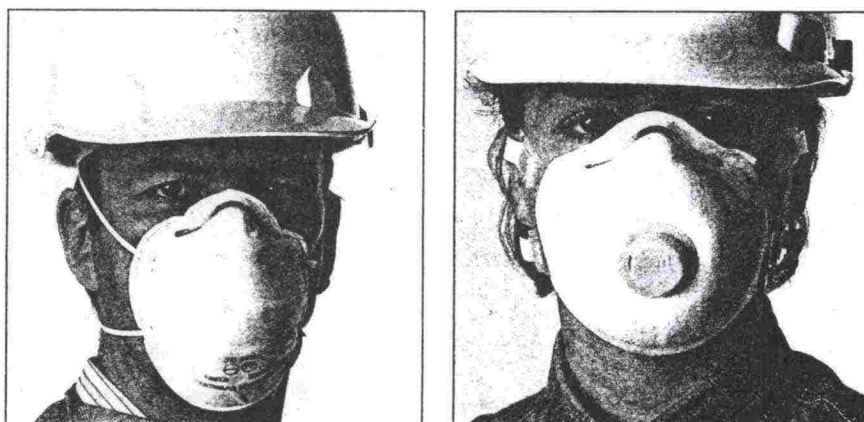
Murskaamolla käytettävän työvaatetuksen tulisi olla helposti puhdistettava eikä siinä saisi olla liikoja pölyä kerääviä taskuja, käänteitä yms. Likaantuneiden vaatteiden vaihtaminen ja peseminen on osa henkilökohtaisesta puhtaudesta huolehtimista.

4.6 Henkilökohtaiset suojaimet

4.6.1 Hengityksensuojaimet

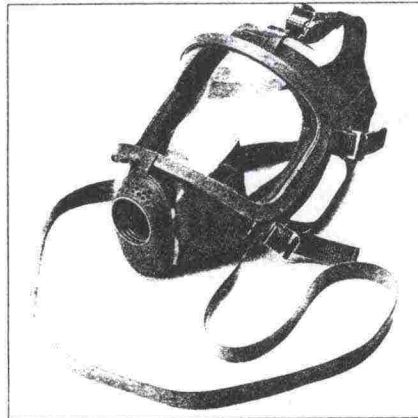
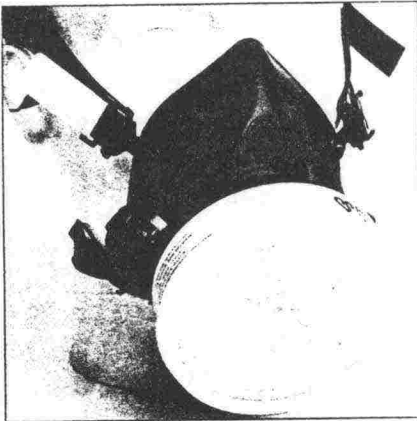
Hengityksensuojaimet on luokiteltu standardissa SFS 5194./28/ Pölynsuojaimet ja -suodattimet jaetaan 3 luokkaan. P1-luokka (uusi merkintä FFP1) suojaa vain vähätehoisilta pölyiltä, joita on mm. rakennustöissä syntyvä pöly. P2-luokka (uusi merkintä FFP2) suojaa vähätehoisen pölyn lisäksi mm. homepölyltä ja sähköhitsauksessa syntyvältä metallihuurulta. P3-luokka (uusi merkintä FFP3) suojaa em lisäksi myrkyllisiltä pölyiltä, bakteereilta ja viruksilta. P1-luokassa pienin erottuva hiukkanen on noin 1 ja P2-luokassa 0,3 mikrometriä.

Luokkiin P1 ja P2 kuuluvat kevytsuojaimet (kuva 14) soveltuvat käytettäväksi hetkellisten altistusten vähentämiseen, kuten työnjohto- ja valvontatehtävissä sekä tilapäisten kävijöiden suojaimina. Puolinaamareihin (kuva 15) saa P1-P3-luokan suodattimia mallista riippuen ja niitä voidaan käyttää jouduttaessa käväisemään suurehkoissa pölypitoisuuksissa. Kokonaamareissa (kuva 15) käytetään pölysuoda-tinta P3. Kokonaamari soveltuu lyhytaikaisiin oleskeluihin, kuten tarkistus-, huolto- ja hetkellisiin korjaustöihin suurimmissa pölypitoisuuksissa. Reunavuotojen välttämiseksi sekä puoli- että kokonaamari on asetettava tiiviisti kasvoille. Pölynsuodattimet vaihdetaan, kun hengitysvastus on kasvanut tai suodatin todetaan rikkoontuneeksi. Naamari puhdistetaan käytön jälkeen pyyhkimällä kostealla sienellä tai pesemällä kokonaan miedossa saippualluoksessa. Suodatin poistetaan ennen pesua. Naamari desinfioidaan tarvittaessa. Liotinaineita ei käytetä. Rikkoontuneet osat vaihdetaan. Suojain säilytetään pölyltä eristetyssä kuivassa tasalämpöisessä paikassa. Käyttö- ja hoito-ohjeet pidetään suojaimen säilytyspaikassa.

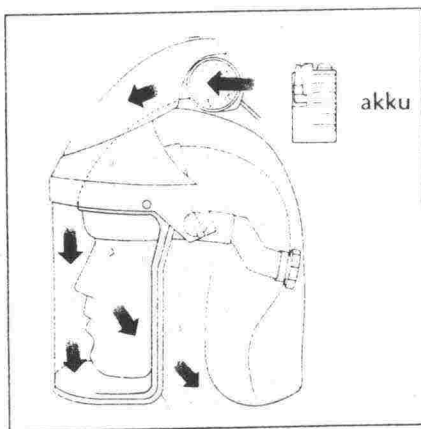


Kuva 14. Kevytsuojain ilman uloshengitysventtiiliä ja sen kanssa /29/

Moottoroituja hengityksensuojaimia (kuva 16), joissa suodattamalla puhdistettua ilmaa puhalletaan kasvosuojuksen sisäpuolelle hengitysvyöhykkeelle, voidaan suositella kaikkiin pitkäaikaisempiinkin työsuorituksiin. Ilmamäärä on valinnaisesti joko 60 tai 120 l/min. Suodatinvastuksen lisääntyessä puhallusteho kasvaa. Paristojen kesto on noin 8 tuntia. Käytettävissä on kypärämalli ja vyötäröllä kannettava malli. Kypärämallissa suodattimet, moottori ja mahdollisesti myös akku ovat kiinnitetty kypärään. Kypäräksi suositellaan suojakypärää. Vyötärömallissa suodattimet, moottori ja akku ovat vyötärölle kiinnitetyssä kotelossa. Ilma puhalletaan tällöin letkua pitkin hengitysvyöhykkeelle. Päässä voi olla huppu, puoli- tai kokonaamari taikka kasvosuojain. Suodatin voi olla luokkaa P1-P3.



Kuva 15. Puolinaamari ja kokonaamari (29)



Kuva 16. Moottoroitu hengityksensuojain

4.6.2 Silmäsuojaimet

Silmien suojelemiseksi on käytettävissä mm. silmäsuojalaseja, joissa on sivusuojukset, akrylaattisuojalevyjä ja panoramatyyppisiä silmäsuojuksia, joiden alle mahtuvat optiset silmälasit, sekä kaasunpitäviä suojalaseja. Panorama-tyyppiset ja kaasunpitävät suojalaseit sopivat erityisen hyvin murskaamoille. Sumentumisen vähentämiseksi lasit on varustettu tuuletusaukoilla ja huurrelevyillä.

4.6.3 Korvien suojaaminen

Korvien suojaamiseksi pölyltä soveltuvat hyvin kuulonsuojaimet.

4.7 Altistuksen vähentäminen

Esimerkinomaisesti on seuraavassa tarkasteltu pyöräkuormaajan kuljettajan altistuksen vähentämistarpeen määrittelyä. Vastaavasti voidaan asiaa tarkastella muiden ammattiryhmien osalta.

Jos pyöräkuormaajan ulkopuolella oleva keskimääräinen pölypitoisuus työpäivän aikana ylittää 500 mg/m^3 ja pölysuodattimen erotustehokkuus on 98 %, ylittyy sallittu pitoisuus 10 mg/m^3 . Jos sallittu pitoisuus on 5 mg/m^3 , ulkoilman keskimääräinen pitoisuus ei saisi ylittää 250 mg/m^3 .

Taulukossa 20 on esitetty ulkoilmassa sallittava hengitettävän alle 5 mikrometrin pölyn pitoisuus pölyn vapaan kvartsin eri osuuksilla ja eri raja-arvoilla $0,2 \text{ mg/m}^3$ (Suomi) ja $0,1 \text{ mg/m}^3$ (Ruotsi). Ohjaamon suodattimen erotustehokkuus on 98 %.

Taulukko 20. Sallittu hengitettävän alle 5 mikrometrin pölyn pitoisuus ulkoilmassa, kun suodattimen erotustehokkuus on 98 %.

SiO ₂ % pölyssä	Sallittu hengitettävän pölyn ulkoilmapitoisuus mg/m^3	
	kvartsin raja-arvo $0,2 \text{ mg/m}^3$	$0,1 \text{ mg/m}^3$
3	333	167
12	83	42
25	40	20
50	20	10

Hengitettävän pölyn osuus kokonaispölystä on pyöräkuormaajan yleisellä toimintaetäisyydellä 0 - 100 m enintään 3,2 % (ks. 2.4.4). Taulukossa 20 ilmoitettuja pitoisuuksia vastaavat kokonaispölypitoisuudet on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Kvartsin sallitun raja-arvon alittamiseksi hyväksyttävät kokonaispölypitoisuudet ulkoilmassa, kun hengitettävän pölyn osuus on 3,2 paino-% ja suodattimen erotustehokkuus on 98 %.

SiO ₂ % pölyssä	Sallittu kokonaispölyn ulkoilmapitoisuus mg/m ³	
	kvartsin raja-arvo 0,2 mg/m ³	0,1 mg/m ³
3	10 406	5 219
12	2 594	1 313
25	1 250	625
50	625	313
62,5	500	250

Taulukko 21 osoittaa, että vapaan kvartsin raja-arvovaatimus 0,2 mg/m³ muodostuu lievemmäksi kuin kokonaispölyn raja-arvovaatimus 10 mg/m³, ellei vapaan kvartsin osuus kivessä ole vähintään 62,5 %. Osuus ei maarakennustöissä yleisesti käytettävissä kiviaineksissa yllä tälle tasolle. Jos silikaattien piit lasketaan oksideina vapaan kvartsin pitoisuuden lisäksi päästään em. tasolle. Suomen kallioperän koostumuksesta on keskimäärin 67,45 paino-% em. tavalla laskettua SiO₂./12/

Suojaamattomalla louhemurskaamolla 15 m:n päässä syöttäjän kopista tuulen alapuolella mitatut kokonaisleijumat 80,0 - 111,4 mg/m³ (ks. 2.4.4) jäävät noin 1/5 - 1/6 osaan edellä saadusta arvosta 500 mg/m³. Pyöräkuormaajan ulkopuolella ei koko työpäivän ajan vallitse yhtä epäedullinen tilanne kuin mittauksessa tuulen alapuolella. Pyöräkuormaajan kuljettaja näyttäisi voivan työskennellä ohjaamossaan koko työpäivän kokonaispöly- tai kvartsiraja-arvojen ylittymättä, jos hänen hengittämänsä ilma olisi hyvän suodattimen läpituullutta ilmaa.

4.8 Pölyntorjuntatoimien kustannukset

Taulukossa 24 on esitetty likimääräisiä kustannuksia eri pölyntorjuntatoiminteille valmiiksi asennettuina.

Taulukko 24. Pölyntorjuntatoimenpiteiden kustannuksia (4/90) paikalle asennettuina.

Pölyntorjuntatoimenpide	Kustannusten suuruusluokka
Kiviaineksen, maanpinnan ja varaston kastelu:	
vedentoimitus säiliöautolla	8 mk/m ³ + kuljetus
maakaivo	10 000 mk
porakaivo	30 000 mk
pumppu	4 000 mk
vesijohto	15 mk/m
lisäainesäiliö (vanha)	Kuljetus
Työmaatien suolauskerta	2 000 mk/km
Hiukkasten kostutus, suutintekniikka:	
vedenhankinta, ks. edellinen suutin	200 mk/kpl
Hiukkasten kostutus, höyrytys:	
vedenhankinta, ks. edellä	26 mk/m ³
vesi höyrytoimituksen yhteydessä	4 000 mk/pv + matkat
höyryauto ja -kontti	7 mk/km
Tuuli- ja leviämisseste:	
7 x 4 m	5 000 mk
kumilevyt 5 - 20 mm	300 - 1200 mk/m ² + kuljetus + asennus tarvikkeineen
Pölynerottimet:	
Pudotuskammio	20 000 mk
Yksinkertaiset syklonit 2 kpl	80 000 mk
Korkeatehoiset syklonit 2 kpl	90 000 mk
Multisykloni	100 000 mk
Märkäerotin	120 000 mk
Tekstiilisuodatin	200 - 300 000 mk
Kohdesuodatin	30 000 mk/kpl
Muut pölynpoistolaitteiston osat:	
Imuri, puhallin	70 000 mk
Putkistot	25 mk/kg
Kotelo	10 000 mk
Kierukkakuljetin, sis. pölynerottimen hintaan	
Pölysäiliö	25 mk/kg
Ilmavirtausten ohjauspuhallin	> 5 000 mk
Työkoneen suodatuslaitteisto	10 000 mk
Suodattimet 4 kpl työkoneeseen	1 200 mk + asennus (itse)
Asbestisuodatin työkoneeseen	2 000 mk/kpl + asennus
Syöttäjän kopin yms. jäähdytin	6 000 mk
Tavallinen pölynimuri	1 000 mk
Autoimuri	100 mk
Keskuspölynimuri	3 000 mk
Henkilökohtaiset suojeluvälineet:	
Kevytsuojain uloshengitysvent-	
lin kanssa	30 mk
Puolinaamari	150 mk
Kokonaamari	600 mk
Moottoroitu hengityksensuojain	2 000 mk
Silmäsuojain	50 mk
Kuulonsuojain	100 mk
Siivous	50 mk/h ja matkakulut
Henkilökohtainen puhdistus:	
- ritilä harjoineen	100 mk
- työvaatteiden pesu	Voi tehdä itse
- vaateharja	20 mk

5 PÖLYNTORJUNNAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

5.1 Suunnittelua koskevia velvoitteita

Työturvallisuuslain (27/87) 9a §:n mukaan suunniteltaessa työympäristön rakenteita, työtiloja, työmenetelmiä, tuotantomenetelmiä sekä työssä käytettäviä koneita ja työvälineitä on huolehdittava siitä, että työ voidaan suorittaa turvallisesti ja aiheuttamatta haittaa työntekijän ruumiilliselle tai henkiselle terveydelle. Tuotanto- ja työmenetelmien suunnittelun yhteydessä on selvitettävä niiden vaikutukset työturvallisuuteen.

5.2 Pölyntorjunta vanhalla murskaamolla

Vanhan murskaamon pölyntorjunnan suunnittelu on hyödyllistä perustaa pölyleijumamittauksiin työskentelypaikoissa ja murskaamon ympäristössä. Olosuhteiden tulee olla pölyämislle edulliset s.o. ilman suhteellisen kosteuden alhainen, kiviaineksen kuivaa ja tuulen voimakkuuden suuri. Tällaisia olosuhteita esiintyy paitsi kesällä myös talvella pakkasjaksoina. Pölyisimmistä työvaiheista (työskentelypaikoista ajankohtineen) saadaan lisätietoa haastatteleamalla työntekijöitä.

Tuloksia (kokonaispöly, hengitettävä pöly, kvartsi, silikaatit ja asbesti) verrataan haitallisuuden määrittelykriteereihin (kohta 3). Pölyntorjunnan tehostaminen on aiheellista, jos kriteeri ylittyy, mutta tarpeellista myös jos muut perustellut terveydelliset tai työsuojeluun liittyvät näkökohdat tätä edellyttävät. Tulokseen vaikuttaneiden syiden selvittäminen on hyödyllistä väärin päätelmien välttämiseksi. Rakeisuusanalyysi antaa käyttökelpoista tietoa.

Tarve pölynpoiston tehostamiseen voi syntyä myös murskaamon ympäristössä tehtyjen pölyleijumamittausten tulosten johdosta. Tuloksista voidaan laskea työmaalla esiintyvän pitoisuuden suuruusluokka (ks. /30/) ja arvioida, aiheutuuko ongelma primäärisestä (poistoputki) vai sekundäärisistä (hajalähteet) päästöistä. Viimemainitut altistavat työntekijöitä.

Pölyntorjunta aloitetaan niissä paikoissa, joissa esiintyvät suurimmat pölyaltistukset työntekijöille. Työntekijöille informoidaan tilanne ja heitä pyydetään (yhteistyöneuvottelu, josta laaditaan pöytäkirja) käyttämään henkilökohtaisia suojaimia kunnes pölyäminen saadaan rajoitetuksi hyväksyttävälle tasolle. Myös muut kuin pölyntorjuntatoimet (mm. automaatio miestyön sijasta ja tehtävien vuorottelu) altistuksen vähentämisessä tulevat kyseeseen.

Pölyntorjunnassa ovat käytettävissä kaikki soveltuvat keinot (kohta 4). Vaihtoehtoisista tavoista valitaan yleensä edullisin huomioonottaen investointikustannusten lisäksi muut kustannukset, poistoajat ja jäännösarvot. Suunnittelua käsitellään lähemmin kohdassa 5.5.

Pölynpoistolaitoksen suunnittelussa ja mitoittamisessa tarvittava päästön määrä selvitetään laskemalla (ks. /30/), ellei suora päästömittaus tule kyseeseen. Eri päästökohdat otetaan huomioon. Kokonaispäästö on keskitetyssä järjestelmässä koottavien hajapäästöjen summa. Kohdepölynpoistossa tarkastellaan alipaineistettavia osia erikseen. Pölynpoistolaitokselle tulevaa kuormitusta

arvioitaessa oteaan huomioon mahdollinen päästön lisääntyminen alipaineistuksen johdosta.

Pölypäästön rakeisuus vaikuttaa oleellisesti erottimen valintaan. Määritykset tehdään päästökohdassa tai lähietäisyyksillä otetuista näytteistä (ks. 4.2.1). Kustannuserot laitteiden kesken ovat huomattavat (kohta 4.8).

Pölyntorjuntatoimenpiteiden suunnittelussa otetaan huomioon myös meluntorjuntanäkökohdat ja kuljetinturvallisuus.

5.3 Uuden murskaamon pölyntorjunnan suunnittelu

Uuden murskaamon pölyntorjunnan suunnittelussa voidaan käyttää hyväksi vanhoissa laitoksissa mitattuja arvoja ja eri tekniikoista saatuja kokemuksia. Mitoitus tulisi tällöinkin suunnitella vaikeimpia olosuhteita silmällä pitäen. Pölyntorjunnan tulisi täyttää työ- ja ympäristönsuojelun vaatimukset laitteiston poistoaikana (5 - 7 vuotta).

Liikuteltavien murskaamojen pölyntorjunnan suunnittelussa kiinnitetään huomiota pölyn kokoamiseen pois tavanomaisista työskentelypaikoista, imuputkiston koottavuuteen, pölynerottimen suureen kuormitukseen ja toimintavarmuuteen, poistoputken korkeuteen sekä eronneen pölyn käsittelytapaan, ei niinkään itse päästön suuruuteen. Pölypäästön taso otetaan huomioon sijoittamalla asema riittävän kauaksi häiriintyvistä kohteista. Jos murskaamo sijoituu kiinteästi samalle paikalle, sijoituspaikkaan liittyvät näkökohdat (ks. 5.4) määrittelevät päästön tason ja vaikuttavat näin pölynerottimien valintaan. Kiinteän laitoksen suunnittelunäkökohdat ovat osin samat kuin liikuteltavalla murskaamolla.

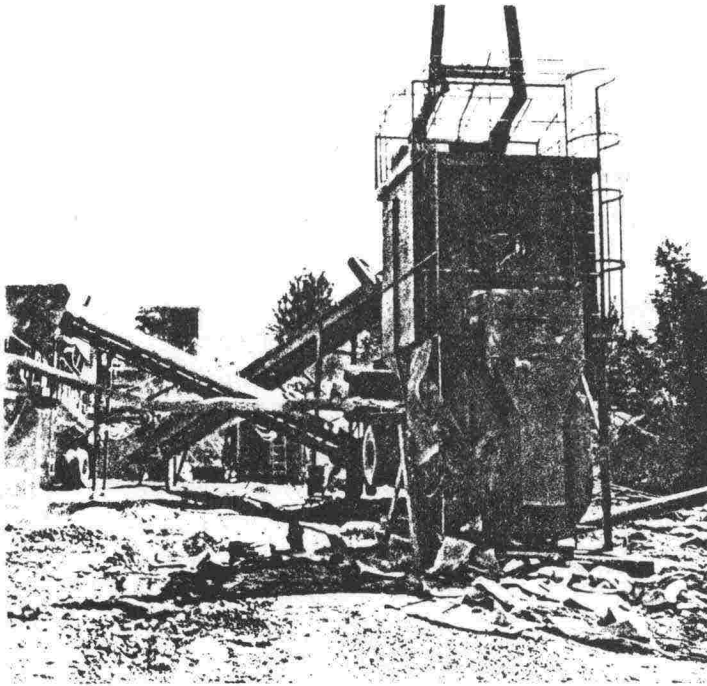
Pölynpoisto voidaan suunnitella toteutettavaksi kohdepoisto- tai keskusjärjestelmällä. Kohdepölynpoistojärjestelmässä kunkin pölynlähteen pölyntorjuntaa käsitellään erikseen, keskuspölynpoistojärjestelmässä pölynlähteet koteloidaan ja niistä johdetaan pölyiset ilmavirtaukset pölynerotinlaitteistoon, jossa voi olla useita sarjaan ja rinnakkain kytkettyjä pölynerottimia. Kotelot liitetään luontevasti murskaamon rakenneseen ja niiden suunnittelussa otetaan huomioon meluntorjuntanäkökohdat (esim. riittävä paino ja jäykistyksen värähtelynestämiseksi). Säädetävistä lähtö-yhteistä koteloissa saattaa olla suurta etua.

Kohdekohtaiseen pölyntorjuntaan käytetään mm. kastelua, hiukkasten kostutusta ja kohdesuodattimia (kohta 4). Suodattimet asennetaan pölynlähteiden, tavallisimmin pudotukset murskaimista hihnalle, välittömään läheisyyteen. Pölynlähteet koteloidaan. Jokainen kohdesuodatin mitoitetaan.

Keskuspölynpoistojärjestelmä voidaan rakentaa omaksi liikuteltavaksi yksiköksi. Sen muodostaa esimerkiksi liitäntäyhteet, -putket ja -letkut (erikoisia), sarjassa olevat erityyppiset pölynerottimet, imuri, poistoputki ja eronneen pölyn kuljetin. Pölynerotinkokoonpanoja voi olla erilaisia, esimerkiksi laskeutuskammio ja suodatin, syklonit ja märkäerotin, höyrytyslaskeutuskammio ja syklonit jne. Pölynerottimeen voi liittyä puhdistus- ja lämmityslaitteistot. Jälkierottimia voi olla useita rinnakkain. Poistoputki voisi olla kuljetuksen ajaksi taitettavissa yksikön päälle.

Pölynerottimeen jääneen pölyn talteenoton ja jatkokäsittelyn tulisi tapahtua siten, ettei pöly pääse takaisin ilmaan (esimerkiksi pudotuksissa varastokasoihin). Erotetun pölyn palautus takaisin prosessiin riippuu kyseisen aineksen hyödyllisyydestä ao. kiviaineksen käyttötarkoituksessa. Palautuksen tulisi tapahtua homogeenisesti ja siten, ettei palautus tuki muita kohdesuodattimia.

Suodattimen läpäissyt ilma tulisi johtaa riittävän korkeasta poistoputkesta, jotta suodattimen läpäissyt hienopöly ei palautuisi takaisin työpaikan ilmaan, kuva 17.



Kuva 17. Imuri poistaa virheellisesti pölynerottimen läpäisseen hienon pölyn hengitysvyöhykkeelle.

5.4 Sijoituspaikkakohtainen suunnittelu

Sijoitettaessa murskaamo lyhytaikaisesti uuteen paikkaan kiinnitetään työsuojelumielessä huomiota mm. maasto-olosuhteisiin ja vallitseviin tuulen suuntiin. Aseman-rakennelosat pyritään sijoittamaan siten, etteivät tavanomaiset työskentelypaikat ja nousut niille sijoitu vallitsevien tuulten alapuolelle ja että mahdollisuuksien mukaan hengitysvyöhykkeet ja tuloilman otot sijoittuvat pölypäästöjen tasojen alapuolelle.

Luonnolliset tuuliesteet ja karkeustekijät on edullista käyttää hyväksi. Rinnesijoituksissa varmistetaan, että poistoputken (-putkien) päät sijoittuvat riittävän korkealle. Käytettäessä varastokasoja tuuliesteinä tarkistetaan, ettei varastointiliikenne tule aiheuttamaan murskaamaa suurempaa pöly- ja meluhaittaa.

Keskuspölynpoistolaitteistolle varataan tila liitäntäputkien ja -letkujen pituuden ja koon huomioonottaen. Liitäntäputkiin kytkettävä imuputkisto suunnitellaan siten, että kuhunkin pölynlähteeseen saadaan toivottu virtaus tai virtausten säätö järjestetään.

Toiminta-ajankohta vaikuttaa pölynpoistotarpeeseen. Syksyllä käsiteltävät ainekset ovat kosteita ja pölyävät vähän. Myös alkutalven lumisateet rajoittavat pölyämistä. Soramurskeen pölyäminen talvikaudella on vähäisempää kuin kesän kuivana aikana.

Sijoitettaessa murskaamo alueelle, jonka ilmassa on jo runsaasti pölyä, on huolehdittava siitä, ettei ilman laatu murskaamon lisävaikutuksen johdosta ylitä hyväksyttäviä arvoja. Jos alueella on ennestään pölyäviä laitoksia, on otettava huomioon eri laitosten pölyjen yhteisvaikutus. Molemmissa tapauksissa saattaa murskaamolle sallittava pölyleijuma (laitoskohtainen pitoisuusosuus) olla huomattavasti sallittuja kokonaisarvoja pienempi.

Puhtaan ilman laadulle saatetaan asettaa erityisvaatimuksia esimerkiksi sairaaloiden, muiden hoitolaitosten ja elektroniikkaa käyttävien laitosten vuoksi.

Liikenteen tuottamaa pölyhaittaa voidaan vähentää mm. rakentamalla työmaatien syrjään asutuksesta, valitsemalla olemassa olevista teistä sellainen, jonka varrella on vähiten asutusta, valitsemalla toiminta-ajankohta syksyksi sekä suolaamalla ja kastelemalla tien pintaa.

Jos murskattavan kiven kivilajitiedon perusteella on aiheellista otaksua syntyvän ilmaan asbestipölyä, murskauksen työsuojelu suunnitellaan tapauskohtaisesti.

5.5 Pölynpoistolaitoksen suunnittelu ja mitoitus

Pölynpoistolaitoksen suunnittelu ja mitoitus sisältää mm. seuraavat työvaiheet:

- koteloitavien kohtien valinta
- kotelojen suunnittelu
- putkiston, pölynerottimien, imurin ja poistoputken sijoitussuunnittelu
- ilmavirtauksen ja pölykuormituksen valinta
- pölynerottimien mitoitus
- putkistojen ja poistoputken mitoitus
- imurin mitoitus
- tarkistukset

Toimenpiteet ovat periaatteessa samat sekä keskus- että kohdepölynpoistojärjestelmissä.

Koteloitavien kohtien valinta tapahtuu parhaiten pölyleijumamittausten tuloksia hyväksikäyttäen, ks. kohta 5.2.

Kotelon vapaa tila kiviainesvirtauksiin ei saa olla liian suuri eikä liian pieni. Edellisessä tapauksessa muodostuu ilmamäärä suureksi ja tämä nostaa pölynpoistolaitteiston kustannuksia. Jälkimmäisessä tapauksessa muodostuu suuria virtausnopeuksia kiviainesvirran rajapintoihin, mikä irrottaa pölyä tarpeettomasti virtauksesta. Myös tämä nostaa pölynpoiston kustannuksia. On myös otettava huomioon, että imurin ollessa poissa käytöstä tms. syistä voi koteloihin syntyä virtauksen johdosta ylipaine, jonka seurauksena purkautuva ilma irrottaa pölyä virtauksesta. Kotelosta tulisi voida tarvittaessa helposti tehdä tuuli- ja leviämisesteitä. Kotelon suunnittelussa on otettava huomioon meluntorjuntanäkökohdat ja kuljetinturvallisuus (ks. /31/) eikä kotelo saa haitata kiviainesvirtausta.

Murskaamon laitesuunnittelun huomioonottaen pölynpoistolaitteet sijoitetaan siten, etteivät ne ole toiminnan tiellä eikä pölynpoistoputkesta ilmaan pääsevä pöly muodostu haitalliseksi asema-alueen korkeimmilla kohdilla olevilla työskentelypaikoillakaan.

Ilmavirtauksen suuruusluokka joudutaan aluksi arvioimaan. Riittävä ilmavirtaus tulee saada kaikkiin koteloihin painehäviöt huomioonottaen, myös tuotantohuipun aikana. Pölypäästötiedot ovat pölynerottimen valinnan ja mitoituksen keskeistä lähtötietoa. Kotelosuunnittelu vaikuttaa sekä ilmamääriin että pölypäästöihin.

Pölynerotintyyppi valitaan alustavasti siten, että pölynerottimen erotustehokkuus ja -kyky riittävät haluttujen ympäristövaikutusten aikaansaamiseen eli pölyleijuma kohteessa alittaa määritellyn raja-arvon, taulukko 25.

Taulukko 25. Pölynerotintyyppin alustava valinta murskaamolle

Ympäristöolo-suhteet	Erotustehokkuuden ja -kyvyn tarve	Soveltuvat erottimet
Ympäristö erittäin vaativa	Korkea erotustehokkuus ja -kyky myös pienille hiukkasille	Suodattimet ja parhaat märkäerottimet
Ympäristö vaativa	Hyvä erotustehokkuus ja -kyky myös pienille hiukkasille	Märkäerotin, multi-sykloni ja korkeatehosykloni
Ympäristö normaali tai ei rajoita	Hyvä erotustehokkuus ja -kyky työskentelyalueelle laskeutuville hiukkasille	Tavallinen sykloni ja muut keskipakokerottimet

Multi- ja korkeatehosykloni ovat keskipakokerottimia, joten niiden erotustehokkuus ja -kyky pienille hiukkasille saattavat olla riittämättömiä vaativiin ympäristöoloihin. Rakeisesta suodattimesta ja höyrypölynpoistosta ei ole Suomessa kokemuksia.

Pölynerottimen mitoittamisessa huomioonotettavia tekijöitä ovat mm.:

- ilman tilavuusvirtauksen määrä ja sen vaihtelu tosi- ja normaalitilassa
- ilman tilavuusvirtauksen tiheys
- ilman tilavuusvirtauksen kosteus ja kastepiste

- pölypitoisuus ilmavirtauksessa
- pölyn hiukkaskoon jakauma
- pölyhiukkasten muoto ja tiheys
- vaadittu erotustehokkuus tai sallittu päästö
- sallittava painehäviö erottimessa
- toiminnan jatkuvuus
- tila- ja tilavuusnäkökohdat
- veden, höyryn, paineilman ja sähkön saatavuus
- olemassa olevan laitteiston hyväksikäyttönäkökohdat
- hankinta-, toiminta- ja ylläpitokustannukset
- ylläpitönäkökohdat ja ammattitaitokysymykset

Pölynerottimen on pystyttävä läpäisemään ilman tilavuusvirtaus. Sekä sisään-tulo- että poistumisnopeuden tulee olla pölyn eroamisen suhteen sopivia. Myös ilmamäärän vaihtelut tulee hallita. Suodattimissa virtaus ei saa jäähtyä kastepisteen alapuolelle, märkäerottimissa tämä on eduksi. Erottimen rakenteen tulee kestää kuormitukset.

Huomioon ottaen pölynerottimeen tulevan pölyn määrä aikayksikössä, rakeisuus, rakeiden muoto ja tiheys sekä pölynerottimen arvioitu todellinen lajite-erotusastekäyrä (ks. 4.2.1) on mahdollista määrittää pölynerottimen läpäisevän pölyn määrä aikayksikössä ja sen rakeisuus. Päästön tulisi alittaa hyväksyttäväksi katsottava päästöraja-arvo. Toisaalta päästön muodostaman leijuman tulee alittaa lainsäädännön tai sijoituslupaehtojen määrittelemä raja-arvo.

Esimerkinomaisesti on tarkasteltu louhemurskaamon vaatimaa suojaetäisyyttä lyhytaikaisen leijuman $0,5 \text{ mg/m}^3$ alittamiseksi, taulukko 26. Pölynpoistolaitteiston kuormitukseksi arvioidaan $2,2 \text{ g/m}^3$ (ks. kirjallisuuslähde /30/). Leviämiskertoimena A (ks. 2.2.3) käytetään -1,4. Nykyinen suojaetäisyysvaatimus II A-luokan asemalle on 150 m, II B-luokan asemalle 300 m ja II C-luokan asemalle 500 m./1/

Taulukko 26. Erilaisilla pölynerottimilla varustetun louhemurskaamon vaatima likimääräinen suojaetäisyys lyhytaikaisen pölyleijuman $0,5 \text{ mg/m}^3$ alittamiseksi

Pölynerottimen erotustehokkuus %	Päästö mg/m^3	Kyseeseen tuleva pölynerotin	Suojaetäisyys m
0	2 200	Ei erotinta, erotin poissa käytöstä tai rikki	400
54,5	1 000	Sykloni	228
77,3	500	Multi- ja korkeatehosykloni	139
88,6	250	Märkäerotin	85
93,2	150	Hyvä märkäerotin, suodatin	59
96,8	70	Suodatin	34

Imuputkistojen koon valinnassa otetaan huomioon painehäviöt putken pituudella, mutkissa, liitoksissa ja poikkileikkauksen muutoskohdissa. Ilmavirtaus jakaantuu imuputkiston haaroihin kääntäen verrannollisesti painehäviön suuruuteen. Jokaiselle pölynlähteen kotelolle määritellään haluttu ilmavirtaus ja imuputkistot mitoitetaan siten, että syntyvien painehäviöiden seurauksena saadaan halutut kotelokohtaiset imut.

Poistoputken poikkileikkaus valitaan siten, että pystysuoralla virtauksella on riittävä lähtönopeus ja että painehäviö putkessa ei muodostu liian suureksi. Tehokkaan päästökorkeuden tulee riittää siihen, etteivät pölyt palaudu työmaalle alenevallakaan tuulella. Putken ja imurin lähdön soveltuvuus toisiinsa otetaan huomioon.

Imurin mitoitusperiaate on käsitelty edellä (4.2.2).

5.6 Pölyntorjunnan toteutus

Pölyntorjunnan tavoitteisiin (kohta 3) päästään eri tavoin. Kustannussyistä on edullisinta, että murskausalun yrittäjät, laitevalmistajat ja laitteiden maahan-tuojat kehittävät soveltuvat tekniikat. Ns. laatu- ja lopputuotevastuunäkökohtat suosivat tätä ajattelutapaa.

Pölynpoistolaitteistojen tehokkuuden mukaan saattaisi olla käytännössä hyödyllistä luokitella suojausasteet (vrt. kohta 1) seuraavasti:

Suojausluokka	Kuvaus
Luokka A Vaativa suojaus	Koteloitu, suodatinpölynpoistolaitteistolla varustettu asema, jossa päästöjen syntymistä ja leviämistä rajoitetaan erittäin tehokkaasti
Luokka B Tehokas suojaus	Koteloitu, tehokkailla pölynpoistotoimilla varustettu asema, jossa päästöjä torjutaan kastelemalla ja muilla tehokkailla tavoilla
Luokka C Normaali suojaus	Asema, jolla pölyn haitallinen leviäminen työ- ja lähiympäristöön on estetty ja jossa kiviaines kastellaan kuivana, lämpimänä aikana

Tarvittavat suojaetäisyydet luokittain ovat määritettävissä pölyleijumamittauksilla. Meluvaatimukset voidaan asettaa tämän jälkeen. Suojaetäisyyksien minimiarvojen suuruusluokat ilmenevät taulukosta 26. Melua joudutaan pienentämään tapauksesta riippuen 20 - 30 dBA tason 55 dBA alle pääsemiseksi.

Luokan B tehokkailla pölynpoistotoimilla tarkoitetaan märkäerottimia, korkeateho- ja multisykloneja tai vastaavia laitteita. Sateisina ajankohtina kastelua ei tarvita. Soramurskeen pölyäminen talvikaudella on vähäisempää kuin kuivana aikana. Kalliomurskeen talviaikainen pölyäminen on saatava rajoitukseksi pölynerottimien tehokkuudella, höyrypölynpoistoa tai muita pölyntorjuntatapoja käyttäen.

Työ- ja lähiympäristöön tapahtuvan pölyn haitallisen leviämisen estäminen vaatii C-luokan laitoksella talviaikana koteloinnin ja lisäksi yleensä kuivien keskipako-erottimien tai vastaavien pölynerottimien käytön. Poistoputken tulee olla riittävän korkea.

Nykyisten asemien saattaminen luokituksen mukaiseksi merkitsee vähintään kiviaineksen kastelun järjestämisen, jos murskaus tapahtuu lämpimänä kuivana aikana. Talviaikainen murskaus vaatii yleensä pölynpoistolaitteiston, joka määräytyy ympäristöolosuhteiden mukaan. Luokissa B ja C on myös höyrypölynpoisto mahdollinen talviaikana. Talvi- ja kesäaika ovat määritettävissä maan eri osissa vallitsevat erot huomioonottaen.

5.7 Työntekijöiden suojelu

5.7.1 Opetus ja ohjaus

Työturvallisuuslain (299/58) 34 §:n 1. momentin mukaan on työntekijälle annettava työn laadun ja työolosuhteiden edellyttämää opetusta ja ohjausta työssä sattuvan tapaturman sekä työstä aiheutuvan sairastumisen vaaran välttämiseksi. Milloin aihetta on, on tarkoituksenmukaisia varoituksia ja muita suoje-
luohjeita pantava julki sopiviin kohtiin työpaikalle.

Työturvallisuuslain (27/87) 34 §:n 2. momentin mukaan on edellä 1. momentissa mainitussa tarkoituksessa työnantajan huolehdittava siitä, että työntekijä riittävästi perehdytetään:

- 1) työpaikan olosuhteisiin, työn oikeaan suorittamiseen ja työhön mahdollisesti liittyviin terveysvaaroihin;
- 2) uusien koneiden ja laitteiden toimintatapaan ja niistä johtuviin menetelmiin;
- 3) menettelytapoihin, joita on noudatettava tuotantotoiminnan aloituksessa ja lopetuksessa, koneiden puhdistuksessa, säädössä, huollossa ja korjauksessa sekä tavanomaisessa häiriötilanteissa samoin kuin koneiden ja laitteiden vioituessa; sekä
- 4) työssä käytettävien koneiden ja laitteiden turvallisuusmääräyksiin samoin kuin työsuojelua koskevien säännösten mukaan työpaikalla noudatettavina oleviin menettelytapoihin ja varomääräyksiin.

Myös valtioneuvoston päätöksen 274/69 8 § edellyttää työntekijöitä varoitettavaksi pölyn vaarallisuudesta ja työntekijöille annettavaksi riittävät ohjeet aineen käytön edellyttämistä turvallisuustoimenpiteistä.

Työsuojeluhallitus ja työturvallisuuskeskus ovat esittäneet ohjeita työntekijöiden perehdyttämiseksi, opettamiseksi ja ohjaamiseksi /32/.

Työntekijän perehdyttämisessä murskaustyöpaikan olosuhteisiin, terveysvaaroihin ja henkilökohtaisen suojautumisen keinoihin voidaan käyttää tätä julkaisua. Työpaikan kuvauksessa on hyväksikäytettävissä tiehallituksen työpaikkakuvaus TVH 733887 (Murskausaseman koneenkäyttäjä tai syöttäjä) ja työn vaarojen selvittelyselostus TVH 733889.

5.7.2 Henkilökohtaiset suojaimet

Työturvallisuuslain 20 § edellyttää työntekijöille varattavaksi tarkoituksenmukaiset henkilökohtaiset suojeluvälineet, milloin muihin riittäviin toimenpiteisiin tapaturman tai sairastumisen vaaran torjumiseksi ei voida ryhtyä tai sellaista ei kohtuudella voida vaatia. Henkilökohtaisia suojeluvälineitä tulee olla riittävä määrä.

Rakennustyön järjestysohjeiden 71 §:n mukaan henkilökohtaisten suojeluvälineiden tulee olla sosiaali- ja terveysministeriön asettamien vaatimusten mukaisia.

Rakennustyön järjestysohjeiden 72 §:n mukaan työssä, jossa on pölyä hyväksyttyä määrää enemmän, on käytettävä epäpuhtauden laatuun ja pitoisuuteen sekä työn jatkuvuuteen nähden sopivaa, kunkin työntekijän henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitettua hengityssuojainta.

Henkilökohtaisten suojainten käyttö opetetaan jokaiselle työntekijälle ennen töiden aloittamista. Tällöin läpikäydään myös työvaiheet ja olosuhteet työpäikällä, joissa suojaimen käyttöä pidetään välttämättömänä.

Rakennustyön järjestysohjeiden 71 §:n mukaan on ennen suojeluvälineen käyttöä varmistauduttava, että väline on tarkoitukseen sopiva ja luotettavassa kunnossa sekä että käytössä ollut suojeluväline on ohjeiden mukaan puhdistettu.

5.7.3 Lääkärintarkastukset

Valtioneuvoston päätöksen lääkirintarkastuksista työturvallisuuslain 44 §:ssä tarkoitettussa työssä (637/71) mukaan on alkutarkastus työntekijälle tehtävä ennen murskaustyön alkamista. Määräaikaistarkastus on tehtävä kerran kolmessa vuodessa (röntgenkuva vähintään 10 x 10 cm).

Lääkärin on annettava tutkitulle henkilölle lausunto tutkimuksen tuloksista sekä tarpeelliset ohjeet hänen terveyttään uhkaavan vaaran välttämiseksi ja mahdollisesti todetun sairauden hoitamiseksi. Lääkärin on annettava sosiaali- ja terveysministeriön vahvistaman kaavan mukaiset tiedot todetusta ammattitaudista lääninlääkärin kautta ministeriön määräämälle lääkärille.

Lääkärin on annettava lääkirintarkastuksen tuloksista, sikäli kuin ne liittyvät työturvallisuuteen, työnantajalle kirjallinen lausunto, johon on sisällytettävä ehdotus tarkastuksessa ehkä aiheelliseksi osoittautuneiden työhygieenisten mittausten suorittamisesta ja muista työturvallisuustoimenpiteistä. Työturvallisuutta valvovalla viranomaisella ja tämän avuksi määrättyllä asiantuntijalla on oikeus pyynnöstä saada nähtäväkseen tämä lausunto.

5.8 Muiden kuin vakituisten työntekijöiden suojele

Tavarantoimittajien, yritysjohton, valvojen, työsuojelu- ja ympäristönsuojeluviranomaisten, mittaaajien, vierailijoiden yms. satunnaisesti työmaalla kävijöiden altistumista pölylle voidaan pyrkiä vähentämään asentamalla työmaalle

johtavan tien varteen näkyvä ilmoitustaulu, jossa varotetaan pöly- ja meluhaitoista ja annetaan ohjeita niiden välttämiseksi.

Työnjohdon tehtävä on arvioida kävijöiden altistuminen pölylle, osoittaa suojaimet ja neuvoa niiden käyttö. Yleisenä periaatteena voidaan suositella työnjohdon läsnäoloa käynnillä, jolloin altistusta voidaan vähentää ohjaamalla kävijää.

6 PÖLYNTORJUNNAN RIITTÄVYYDEN VALVONTA

6.1 Silmämääräinen havainnointi

Työturvallisuuslain (27/87) 9 §:n 1. momentin mukaan työnantajan tehtäviin kuuluu jatkuvasti tarkkailla työympäristöä ja ryhtyä asianmukaisiin toimenpiteisiin tapaturmien, terveyshaittojen sekä vaaratilanteiden selvittämiseksi ja torjumiseksi. Viranomaisen työsuojelutarkastuksesta on laadittu kuvaus /33/.

Silmämääräisesti saadaan hyvä ja usein riittävä käsitys pölyntorjunnan tehokkuudesta. Hieno leijuva pöly näkyy tuulen alapuolella, hieman vinosti aurinkoa kohden tarkastellen.

6.2 Pölypitoisuusmittaukset

6.2.1 Säännökset

Valtioneuvoston päätöksen lääkärintarkastuksista työturvallisuuslain 44 §:ssä tarkoitetussa työssä (637/71) 8 §:n mukaan asianomainen työturvallisuutta valvova viranomainen voi sen mukaan kuin siitä erikseen on säädetty määrätä, että työnantajan on kustannuksellaan työolosuhteisiin liittyvän terveydenvaaran selvittämistä varten toimituttava mm. kivenmurskamoilla määrääjain tai kerran suoritettavia epäpuhtauspitoisuusmittauksia ja muita työhygieenisiä mittauksia. Näiden mittausten suorittamisesta työnantajan on sovittava sellaisen palveluksessaan olevan tai muun asiantuntijan tai laitoksen kanssa, joka sitoutuu mittauksissa ja mittaustulosten arvioinnissa noudattamaan sosiaali- ja terveysministeriön antamia tai hyväksymiä ohjeita ja jonka sanottu ministeriö on todennut tällaiseen tehtävään päteväksi.

Valtioneuvoston päätöksessä räjäytys- ja louhintatyön järjestysohjeista 410/1986 edellytetyt mittauksia on käsitelty kohdassa 3.1.

Pölymittauksia käsittelevät mm. seuraavat standardit /34-37/:

- SFS 3860 Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatin menetelmällä
- SFS 3863 Leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta. Tehokeräysmenetelmä.
- SFS 3865 Laskeuman määrittäminen
- SFS 3868 Ilman laatu. Työpaikkailma. Asbestikuitujen laskentaperusteet.

6.2.2 Pölyleijuman keräyslaitteistot

6.2.2.1 Keräyslaitteistotyypit

Pölyleijuman keräyslaitteisto koostuu keräyspäästä, sen sisältämästä suodattimesta, imurista imutehon säätölaitteineen, imetyn virtauksen määrityslaitteista ja virtausputkista. Imurin tehon mukaan laitteistot jaetaan:

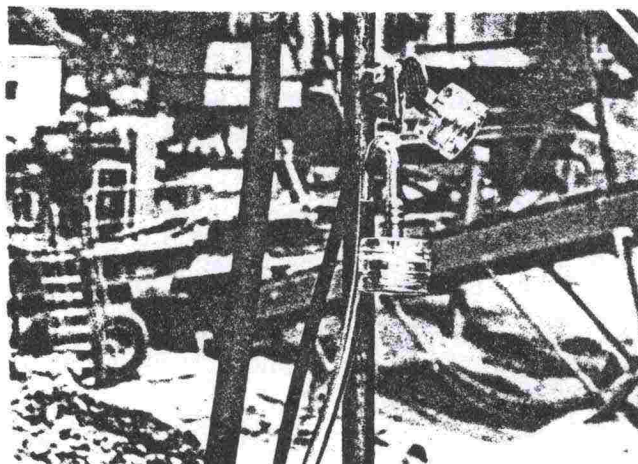
- suurtehokeräimiin eli ns. Hi-Vol-keräimiin
- pientehokeräimiin eli ns. Lo-Vol-keräimiin
- henkilökohtaisiin altistusmittareihin

Suurtehokeräimillä ilmamäärä on noin 1,2-1,8 m³/min, pientehokeräimillä 10-30 l/min ja henkilökohtaisilla altistusmittareilla 1-2 l/min. Suurtehokeräin kerää noin 1000 kertaa ja pientehokeräin noin 10 kertaa enemmän ilmaa kuin henkilökohtainen altistusmittari. Keräintyyppiä on esitelty kuvassa 18.

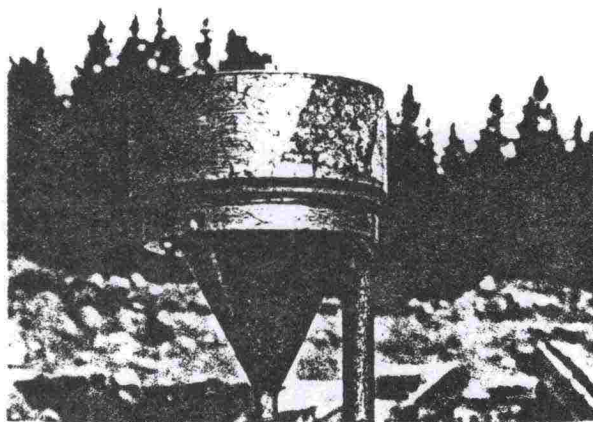
Käytettävissä on myös optisia mittareita, joilla pölypitoisuus saadaan suoraan. Mittareiden käyttö vaatii huolellisen kalibroinnin.

6.2.2.2 Keräyspää

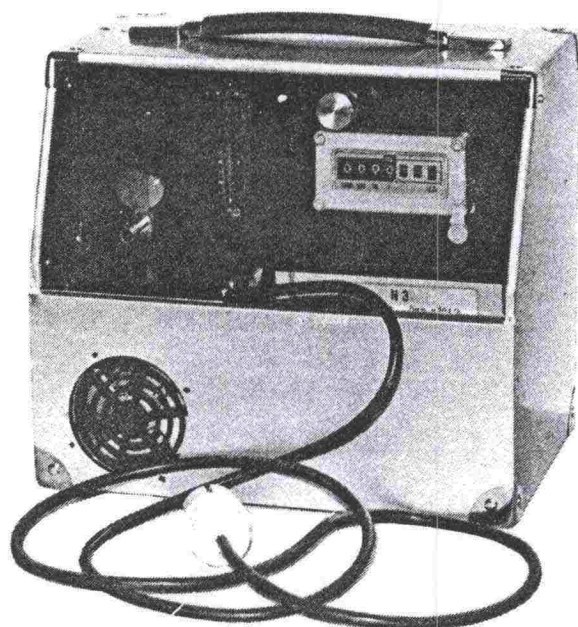
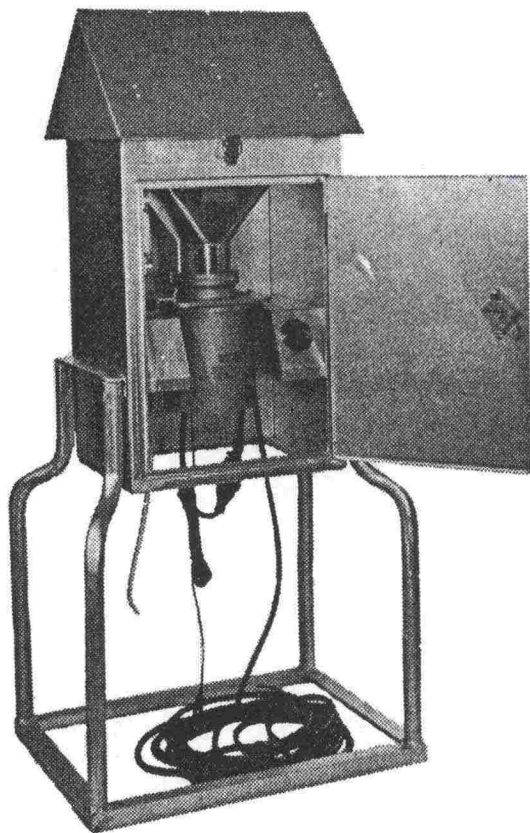
Keräyspäinä käytetään sekä avoimia että katettuja ratkaisuja, kuvat 19 - 20. Avoin ratkaisu kallistetaan siten, etteivät laskeutuvat hiukkaset pääse suodattimelle. Keräyksen jälkeen tulee huolehtia siitä, etteivät isoimmat hiukkaset pääse putoamaan suodattimelta.



Kuva 19. Avoin putkimainen keräyspää kallistettuna keräysasentoon

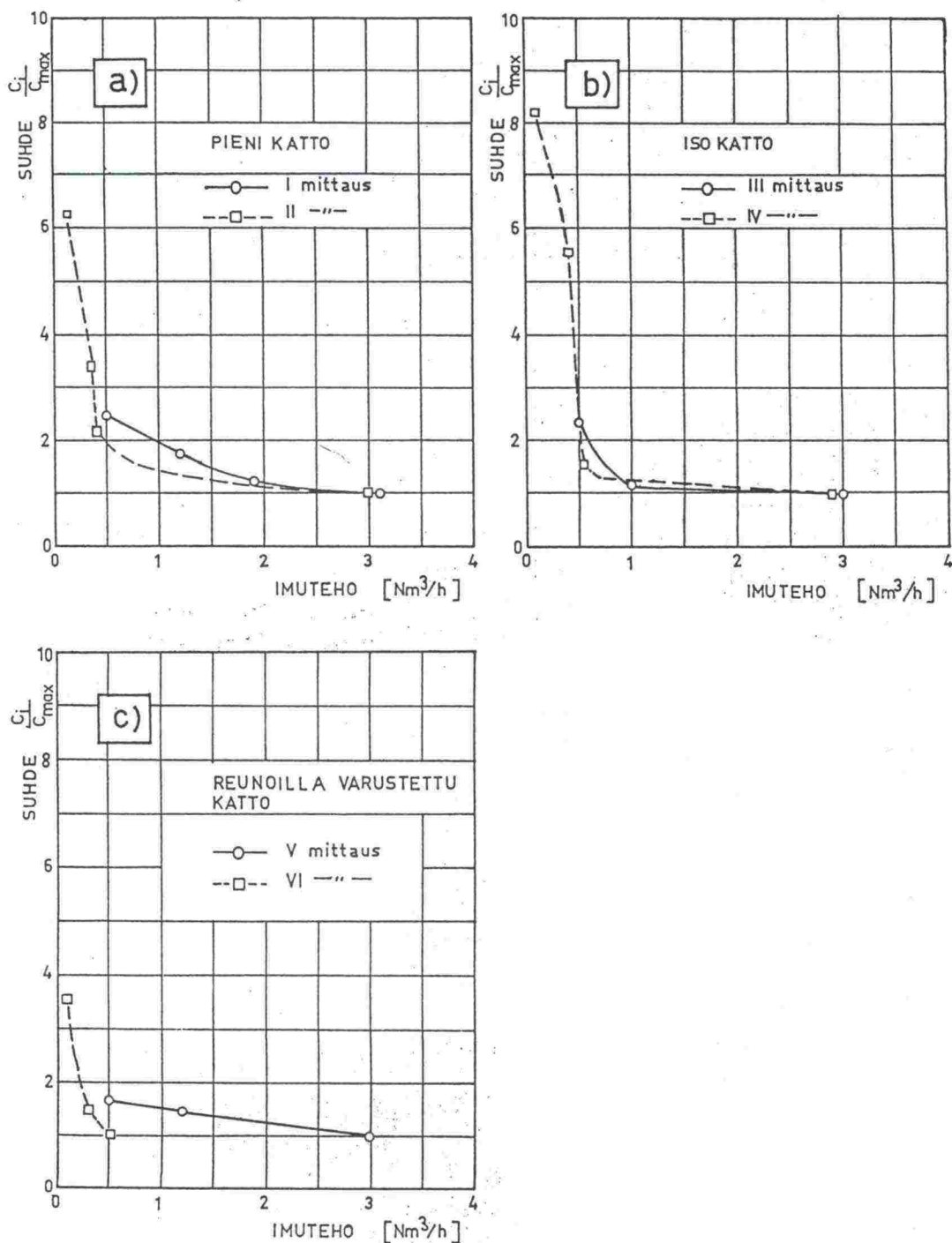


Kuva 20. Katettu suppilomuotoinen keräyspää alaspäin käännettyillä reunoilla



Kuva 18. Suur- ja pientehokeräimet sekä henkilökohtainen altistusmittari

Keräyspään muodon ja kattokoon vaikutusta keräystulokseen on tutkinut mm. Blomgren. /2/ Putkikeräyspäällä isolla katolla varustetulla keräyspäällä saatiin selvästi pienemmät arvot kuin pientä kattoa käytettäessä. Suppilokeräyspäällä, kuva 20, tulos oli päinvastainen mutta suhteellisesti paljon pienempi. Putkikeräyspäällä saatujen tulosten keskiarvo oli vain 46 % suppilokeräyspäällä saatujen arvojen keskiarvosta. Blomgren päätyi tutkimuksessaan suppilokeräyspään käyttämiseen.



Kuva 21. Imutehon ja kattotyypin vaikutukset mitattuun pölypitoisuuteen [2]

Blomgren teki lähempiä vertailuja isolla ja pienellä tasakatolla sekä alaspäin käännettyillä reunoilla varustetulla suppilokeräimellä käyttäen eri suuruisia imutehoja 0,1 - 3 m³(n)/h. Imutehon pienetessä keräyssaalet kasvoi, pienimillä tehoilla < 0,5 m³(n)/h hyvinkin voimakkaasti, kuva 21. Sivutuulen vaikutuksen vähentämiseksi Blomgren päätyi keräyspäähän, jossa on alaspäin käännetyt reunat. Imu- tehoksi hän valitsi 2 m³(n)/h, koska alueella 1 - 3 m³(n)/h tulos ei riippunut voimakkaasti imutehosta./2/

6.2.2.3 Suodatin

Suodatin valitaan keräyspäähän, keräyksen tarkoitukseen ja laboratoriotekniikkaan soveltuvaksi. Suodattimen erotustehokkuuden ja -kyvyn tulisi periaatteessa vastata keuhkojen toimintaa (kohta 2.4.1).

Keräyspään tulee olla siten rakennettu, ettei siihen keräyksen aikana muodostu ohivirtausta. Suodattimen tulee pysyä paikallaan keräyksen ajan.

Jos keräyksen tarkoituksena on ainoastaan kokonaisuileijuman määrittäminen punnitsemalla, soveltuu suodattimeksi ns. syvyystyyppinen (depthtype) suodatin, esimerkiksi lasikuitusuodatin. Syvyystyyppisellä suodattimella on suuri kuormituskapasiteetti, mikä murskaamoilla tapahtuvissa mittauksissa on eduksi. Pölyhiukkaset jäävät keräyksessä suodattimeen eri korkeuksille. Suodattimella ei ole määrättyä reikäkokoja. Hiukkaslaskenta ja muut mikroskoipimalla tehtävät määritykset ovat tällä suodattimella hankalia, koska syvyysterävyyttä joudutaan säätämään jatkuvasti.

Seula- eli kalvotyyppinen (screen/membrane-type) suodatin soveltuu mikroskoipimalla tapahtuviin määrittäksiin. Hiukkaset jäävät keräyksessä suodattimen pinnalle. Suodattimella on tarkasti määritelty reikäkoko. Kapasiteetti on alhainen.

Seulasuodattimen huokoskoon valinnassa otetaan huomioon kerättävien hiukkasten koko. Suodatin kerää tehokkaasti myös paljon reikäkokoansa pienempiä hiukkasia. Esimerkiksi Milliporen suodatintyyppi AA huokoskooltaan 0,8 mikrometriä kerää lähes 100 %:sti ilman kuljettamat hiukkaset.

Mikroskoipinnissa voidaan käyttää joko päältä tai alapuolelta tulevaa valaisua. Altavalaisua käytettäessä suodatin tehdään läpinäkyväksi, mikä on otettava huomioon suodattimen valinnassa. Selluloosaesterisekoitukset soveltuvat tarkoitukseen. Suodattimen läpinäkyväksi tekemisessä on käytettävissä useita vaihtoehtoisia menetelmiä, mm.:

- acetone/triacetin-menetelmä
- dimethylphthalate/diethyloxylate-menetelmä
- immersionöljy-menetelmä
- 1,2-dichloroethane/p-dioxane-menetelmä

Asbesti- ym. kuitukeräyksissä voidaan käyttää itsessään läpinäkyvää polykarbonaattisuodatinta, jonka reikäkoko on 0,2 mikrometriä. Erikoistarkasteluihin, kuten röntgendifraktiometrianalyysiin, valitaan oma suodattimensa.

6.2.2.4 Imurit

Imureina käytetään riittävän alipaineen ja virtauksen synnyttäviä pumppuja. Tehoa säädetään esimerkiksi kuristusventtiilillä. Imutehon suuruusluokan osoittamiseen käytetään kalibroituja rotametrejä.

Olisi kuvaavaa, jos imuteho voitaisiin säätää sellaiseksi, että imunopeus vastaisi ihmisen normaalia sisäänhengitysnopeutta (ks. kohta 2.4.1). Imunopeutta voidaan pitää tärkeämpänä kuin tehon suuruutta.

Lo-Vol-keräimen imuteho $2 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ vastaa noin $33,3 \text{ l}/\text{min}$. Suppilokeräyspään, kuva 20, imuaukon pinta-ala on noin $20,4 \text{ cm}^2$. Imunopeudeksi muodostuu tällöin noin $0,27 \text{ m}/\text{s}$. Imuteho vastaa hyvin ihmisen hengityksen tilavuusvirtaa, mutta imunopeus on alhaisempi kuin sisäänhengitysnopeus normaali olotilassa. Raskaassa työssä hengitys kiihtyy ja tilanne muodostuu poikkeavaksi myös tilavuusvirran samankaltaisuuteen nähden.

Putkimaisissa keräyspäissä, joita käytetään sekä Lo-Vol-keräimissä että henkilökohtaisissa altistusmittareissa, yleisesti käytettävän 37 mm :n suodattimen pinta-ala on $10,75 \text{ cm}^2$. Lo-Vol-keräimen imutehoilla $10 - 30 \text{ l}/\text{min}$ ($0,6 - 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$) imunopeudeksi muodostuu $0,16 - 0,47 \text{ m}/\text{s}$. Imuteholla $19,4 \text{ l}/\text{min}$ eli noin $20 \text{ l}/\text{min}$ imunopeudeksi muodostuisi $0,3 \text{ m}/\text{s}$. Henkilökohtaisten altistusmittareiden imu- teholla $1 - 2 \text{ l}/\text{min}$ ($0,06 - 0,12 \text{ m}^3/\text{h}$) imunopeudeksi saadaan $0,02 - 0,03 \text{ m}/\text{s}$.

Standardin SFS 3863 mukaisella suurtehokeräimellä imetään ilmaa $20 - 30 \text{ l}/\text{s}$ ($1,2 - 1,8 \text{ m}^3/\text{min}$, $72 - 108 \text{ m}^3/\text{h}$). Esimerkiksi mallissa Andersen on harjakaton ja suojakotelon muodostaman keräysaukon pinta-ala noin $812,7 \text{ cm}^2$. Imunopeudeksi saadaan tällöin $0,25 - 0,37 \text{ m}/\text{s}$. Imunopeutta $0,3 \text{ m}/\text{s}$ vastaisi imuteho $14,6 \text{ l}/\text{s}$ eli noin $15 \text{ l}/\text{s}$. Suurtehokeräyksen tilavuusvirta on huomattavasti suurempi kuin hengitysilmamäärät, mutta imunopeus jää tästä huolimatta sisäänhengitysnopeutta alhaisemmaksi.

Suodattimen painehäviö vaikuttaa virtauksen suuruuteen, jos imutehoa ei lisätä. Esimerkiksi $0,2 \text{ mikrometrin}$ seulatyyppisellä suodattimella saavutetaan käytännössä imuteho noin $10 \text{ l}/\text{min}$, jolloin imunopeus 37 mm :n suodattimella on noin $0,16 \text{ m}/\text{s}$.

6.2.2.5 Ilmavirtauksen määrittäminen

Ilmavirtauksen määrittämiseen soveltuu mm. kaasukello. Tulos saadaan yleisesti käytössä olevilla mittareilla $0,1 \text{ l}$:n tarkkuudella. Tehokeräysstandardin SFS 3863 mukaan tarkkuuden tulee olla vähintään $2 \text{ l}/\text{s}$.

Tulos otaksutaan saatavan tositilassa, jolla tarkoitetaan mittaushetken ilman lämpö-tilaa, staattista painetta ja kosteutta. Tositiilan määrittäminen ei tehdä yleisesti. Ilman lämpötila voidaan mitata elohopealämpömittarilla ja paine tarkkuusbarometrillä. Lämpömittarin tarkkuus on yksi $^{\circ}\text{C}$ ja barometrillä noin $0,5 \text{ mbar}$ tai $0,5 \text{ mmHg}$. Ilman sisältämän vesihöyrymäärän määrittämiseen on käytettävissä useita menetelmiä.

Tarkkuutta vaativissa mittauksissa voidaan määrittää mm. imetyksen ilman lämpötila, kosteus ja staattinen paine-ero ilmanpaineeseen nähden määrittämisestä vastaavassa poikkileikkauksessa. Lisäksi määritetään ulkoilman läm-

pötilä ja ilmanpaine. Lämpötilan mittaamiseen soveltuu elohopealämpömittari. Paine-ero ilmanpaineeseen nähden mitataan esimerkiksi elohopeamanometrilla tai jos sen tarkkuus ei riitä muulla nestemanometrilla. Ilmanpaine mitataan tarkkuusbarometrillä. Ilman suhteellinen kosteus voidaan poistaa ennen mittaria, jolloin sen vaikutus voidaan jättää huomioonottamatta. Pölyn tilavuuden vaikutus on niin vähäinen, että se jätetään yleensä huomioonottamatta.

6.2.3 Tulosten laskenta ja tulkinta

6.2.3.1 Suodattimen punnitseminen

Suodattimen punnitsemiseen käytetään tarkkuusvaakaa, jolla tulos saadaan 0,1 mg:n tarkkuudella. Suodatinta säilytetään vakioimisolosuhteissa ennen punnituksia.

Suodattimelle kertynyt pölymäärä on mittauksen jälkeen ja ennen mittausta saatujen punnitustulosten erotus. Standardi SFS 3863 edellyttää punnitustuloksen ilmoittamista milligramman tarkkuudella.

Jos imuvirtauksen nopeus on poikennut tuulen nopeudesta, suodattimelle kertyneiden pölyhiukkasten jakauma saattaa poiketa ilmavirtauksen kantamien hiukkasten jakaumasta. Jos keräyspää osoittaa tuulta vasten ja näytteenotto tapahtuu tuulen nopeutta alhaisemmalla nopeudella (ali-isokineettinen näytteen otto), muodostunee todellista karkeampi näyte, koska pienet hiukkaset seuraavat muuttuneita virtausviivoja, kun sen sijaan suuret hiukkaset hitautensa johdosta jatkavat suoraan keräyspäähän. Pölymäärästä suodattimella tulee näin liian suuri.

Jos keräyspää osoittaa tuulta vasten ja imunopeus on tuulen nopeutta suurempi (yli-isokineettinen näytteen otto), suodattimelle kertynee liikaa pieniä hiukkasia ja pölymäärästä tulee liian pieni imettyyn virtaukseen nähden.

6.2.3.2 Ilmamäärä

Kostea ilmamäärä tosilassa $V(T,P)$ on mittauksen loppu- ja alkulukemien erotus.

Kuiva ilmamäärä normaalitilassa $V(T_0, P_0)$ lasketaan kaavalla 3:

$$V(T_0, P_0) = V(T, P) \times 0,359 \times (B + P_{st}) / (273 + t) \times 0,804 / (0,804 + w_0) \quad (3)$$

B on ilmanpaine ulkona mmHg

P_{st} imetyn virtauksen staattinen paine-ero ilmanpaineeseen nähden mmHg

t imetyn ilman lämpötila °C

w_0 imetyn ilman kosteuspiitoisuus kg/m^3 (normaalitilassa)

Jos kosteus poistetaan ennen tilavuusvirran mittaria, kaava yksinkertaistuu muotoon:

$$V(T_0, P_0) = k \times V(T, P)$$

$$k = 0,359 \times (B + P_{st}) / (273 + t)$$

6.2.3.3 Kokonaisleijuma

Kokonaisleijuma lasketaan suodattimelle jääneen pölyn ja imetyt ilmamäärän suhteena:

$$c_{\text{tot}} = m_p/V$$

Imetty ilmamäärä voidaan ilmoittaa kosteana tosillassa, kosteana normaalitilassa tai kuivana normaalitilassa. Leijuma-arvo on vastaavasti eri suuri.

Koska kokonaisleijuman määrityksessä ovat suuret hiukkaset määrääviä, tulos voi olla suuresti riippuvainen sattumasta ja keräystekniikasta. Tämä on otettava huomioon yksittäisen tuloksen merkitystä arvioitaessa. Systemaattinen piirre voi vaikuttaa koko tulossarjaan.

Kokonaisleijuma soveltuu luonteeltaan mm. yleiseen työilmän laadun, silmien, ylempien hengitysteiden ja korvien likaantumisen sekä tapaturman vaaran arviointiin.

6.2.3.4 Pölyn rakeisuus

Keuhkoihin kulkeutuvien alle 5 mikrometrin ja sinne jäävien pienimpien noin 0,2 mikrometrin hiukkasten määrittämiseen voidaan käyttää valomikroskopointia, kuva 7. Elektronimikroskoopin käyttöä laaja-alaisempaan tutkimukseen rajoittaa laitteen kalleus. Andreasenin menetelmä ja areometrianalyysi eivät sovellu näin pienille hiukkasille.

Hiukkaslaskenta (koko ja kappalemäärä valitulla alueella tai useilla alueilla) tehdään yleensä manuaalisesti. Halkaisijana käytetään suurinta halkaisijaa. Tulokseksi saadaan eri kokoisten hiukkasten lukumäärät ja niiden suhteelliset osuudet laskettujen hiukkasten koko määrästä. Tulos voidaan esittää myös kumulatiivisesti.

Mikroskoopin näköalue on digitoitavissa, jolloin hiukkas- ja jakaumalaskennat voidaan suorittaa tarkoitukseen soveltuvalla ohjelmalla. Digitoitu kuva voidaan muuttaa takaisin näkyväksi kuvaksi, jolloin mikroskopointi tapahtuu kuvaruudulla. Jakauma tulostetaan piirturilla tai muulla soveltuvalla laitteella. Kuvassa 4 esitetty jakauma on laskettu tällä tekniikalla.

Pölypitoisuuden määrittelemiseksi tulisi tuntea eri kokoisten hiukkasten ominaispainot, mikä puolestaan edellyttäisi hiukkasten tunnistamisen. Hiukkasten tunnistaminen on vaativaa asiantuntijatyötä, josta syystä käytännössä joudutaan hiukkasten ominaispainoina käyttämään kivilajin ominaispainoa.

Keskimääräinen Suomen maalajien ominaispaino on 2,65 g/cm³. Pienin ominaispaino (< 2,62 g/cm³) on yleensä maalajeissa, joissa vallitsevana lajitteena on hieno hiekka ja karkea hieta. Suurin ominaispaino on savissa (noin 2,75 g/cm³) ja karkeissa sorissa (> 2,70 g/cm³). Kiilteet muuttuvat rapautumisen vaikutuksesta kevyemmiksi vesipitoisemmiksi muunnoksiksi tai aivan uusiksi savimineraaleiksi./12/

6.2.3.5 Hengitettävän pölyn pitoisuus

Kun tunnetaan hiukkaslaskennan ja ominaispainomäärittelyn jälkeen alle 5 mikrometrin hiukkasten paino-osuus %, saadaan hengitettävän pölyn pitoi-

suus tällä paino-osuudella kokonaisleijumasta. Hengitettävän pölyn pitoisuus on luonnollinen suure kuvata pölykeuhkon ja muiden pölyn aiheuttamien keuhkosairauksien riskiä.

Koska kokonaisleijuma itsessään on varsin epätarkka suure ja sen ilmaisemiseen on käytettävissä useita tapoja (ks. 6.2.3.2 - 6.2.3.3), hiukkaslaskenta on jossakin määrin subjektiivista ja ominaispainon määrittelyä ei yleensä tehdä, on hengitettävän pölyn pitoisuustulosten hyväksikäytössä tarpeellista tuntea myös tulosten määrittelytekniikka. Tulosten hyväksikäytettävyyttä voi edistää määrittelytekniikan vakiointi ja tilastollisten tarkastelujen tekeminen.

Hengitettävän pölyn pitoisuus voi poiketa ulkoilman pitoisuudesta mm. siksi, ettei sisäänhengitysnopeus ole sama kuin tuulen nopeus (vrt. epäisokineettinen näytteenotto päästömittauksissa).

6.2.3.6 Partikkelien tunnistaminen

Hiukkasten tunnistamiseen mikroskopoidessa käytetään mm. hiukkasten kokoa, muotoa, väriä, valonheijastumista, magneettisuutta ja puristuslujuutta. Tunnistaminen vaatii kokemusta. Kokenut mikroskopiija pystyy tunnistamaan suurimman osan hiukkasista.

Kvartsihiukkaset ovat kuusisivuisia prismoja, lasimaisen läpinäkyviä ja kovia. Niissä esiintyy pyramidimaisia muotoja.

Asbesti esiintyy pitkinä, kapeina kuitumaisina hiukkasina. Lasi- ja asbestikuituja ei pystytä erottaminen faasikontrastimikroskopoinnissa.

Jos optinen mikroskopointi ei riitä partikkelien tunnistamiseen, voidaan käyttää mm. elektronimikroskooppisovelluksia (mm. SEM, TEM ja EDXRA). TEM-menetelmällä voidaan erottaa partikkelin kiderakenteesta määräytyviä ominaisuuksia, joita tarvitaan mm. eri asbestikuitujen, kuten amosiitin, krysotiilin ja krokidoliitin (sininen asbesti), erottamiseen toisistaan. Röntgenspektriä (X-ray diffraction) käytetään kiderakenteen tunnistamiseen. Röntgenfluoresenssi, kuten EDXRA, tunnistaa alkuaineet.

6.3 Työterveystarkastusten tulokset

Työterveystarkastukset tarjoavat lääketieteen puolella mahdollisuuden lähestyä ongelmaa. Systemaattinen tarkastelu on tarpeen.

Pölykeuhkosairauksien asiantuntijaryhmä-tutkijalautakunta suosittelee /32/ tutkittavista potilaista hankittavaksi vähintään seuraavat tiedot:

- selvitys työolosuhteista altistustietoineen (laatu, kesto, pitoisuudet jne.)
- perusteellinen selvitys lääketieteellisistä seikoista kuten tupakointitottumukset, aikaisemmat keuhkosairaudet, lääkärin- ja laboratoriotutkimusten, myös keuhkojen toimintakokeiden tulokset
- kaikki aikaisemmat thorax-röntgentutkimukset lausunnonpyytäjän kerääminä sairaaloista, terveyskeskuksista, tuberkuloositoimistoista jne.

Potilaat suositellaan lähetettäväksi entistä herkemmin suoraan työterveyslaitoksen tutkimuksiin.

6.4 Työntekijöiden haastattelu

Yhteistyökokouksissa tulisi ajoittain ottaa esille työturvallisuuslain tarkoittama työntekijöiden näkemys haitan laadusta.

6.5 Ympäristövaikutukset

Ympäristössä tehdyt pölyleijumamittaukset antavat hyvän kuvan pölynpoistolaitteiston toiminnasta ja muun pölyntorjunnan tehokkuudesta. Jos suodatinpölynpoistolaitteisto ei toimi asianmukaisesti tai muu pölyntorjunta ei riitä rajoittamaan hajapäästöjä, ympäristöpöly sisältää suuria hiukkasia ja kokonaisarvot muodostuvat normaalia suuremmiksi. Mikäli pölyleijuman taso ja koostumus eivät vastaa käytetyn pölynpoistotekniikan normaaleja arvoja, hajapäästöt muodostavat pitoisuutta ja muuta pölyntorjuntaa on tarpeen tehostaa.

7 PÄÄTELMÄT JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

7.1 Pölypitoisuuksien haitallisuus

Murskaamoalueilla esiintyy suojaamattomien laitteiden vieressä ja tuulen alapuolella yli 100 mg/m³ pölypitoisuuksia. Suurimmat leijuvat hiukkaset ovat yli 100 mikrometriä. Kunnossapitotyöntekijän suurimmiksi pölyaltistuksiksi on mitattu neljäs-viidesosa suurimmista pitoisuuksista. Yli 10 mg/m³ altistuksia esiintyy yleisesti. Hetkellisiä em. arvon suuruisia pitoisuuksia on mitattu myös laboratoriossa, mutta koko päivän altistus on jäänyt yleensä alle 6 mg/m³.

Murskaamopölyssä on vapaata kvartssia yleensä yli 1 %. Osuus määräytyy kivilajikoostumuksesta. Pöly ei ole harmitonta pölyä. Vapaan kvartsin sallittu enimmäisarvo on 0,2 mg/m³. Tämä pitoisuus määritetään alle 5 mikrometrin hienopölyjakeesta, ns. hengitettävästä pölystä.

Hengitettävän pölyn paino-osuus murskaamon tuottamassa kokonaisleijumassa on alhainen, vaikka lukumääräisesti näitä hiukkasia on paljon. Erään kastelupölynpoistolla varustetun kalliomurskaamon työympäristön rajalla (100 m) saatiin hienon pölyn osuudeksi 3 paino-%. Lähempänä murskaamo pöly on karkeampaa ja hienon pölyn paino-osuus alhaisempi.

Kvartsin raja-arvon ylityksiä arvioidaan voivan esiintyä murskaamon kunnossapidosta vastaavien työntekijöiden altistuksissa. Päätelmä perustuu mitattuihin kokonaisleijumiin, hienon pölyn määritettyyn enimmäispaino-osuuteen 3 % ja vapaan kvartsin tunnettuihin paino-osuuksiin murskattavissa kivilajeissa. Valvomossa, työkoneitten ja kuorma-autojen ohjaamoissa ei kvartsipitoisuuden raja-arvo ylityne, jos suodattimet ovat käytössä ja kunnossa. Mittauksissa todetut suurehkot pitoisuudet mainituissa tiloissa selittyvät muutamilla suurilla hiukkasilla, jotka eivät läpäise kunnossa olevia suodattimia.

Murskaamojen tuottamat pölyleijumat muodostuvat suuremmissa määrin silikaattipölyistä kuin vapaasta kvartsista. Tämä päätelmä perustuu kirjallisuustietoon, kivilajikoostumustietoihin ja hiukkasten mikroskopointiin. Useat silikaattipölyt (mm. kiilteet) omaavat hyviä leijuntaominaisuuksia. Silikaattipölyhiukkasten suurempi pitoisuus, terävasärmäisyys, piin oksideja sisältävä koostumus ja hyvät leijuntaominaisuudet saattavat jopa aiheuttaa suuremman pölykehkovaaran kuin vapaan kvartsin hiukkaset. Asiaa kannattaisi tutkia lähemmin.

Yksittäisiä kuitumaisia hiukkasia löydettiin murskaamotyöntekijöiden henkilökohtaisten näytteiden suodattimilta. Osa niistä oli vaatekuituja. Myös hiuksen kappaleita todettiin. Kuitukasamia ei esiintynyt. Havaintoa asbestikuitujen esiintymisestä ei tehty.

7.2 Pölynpoistotekniikka

Terveydelliset näkökohdat edellyttävät ennen kaikkea kunnossapitotyöntekijöiden työolojen parantamista. Välittömänä toimenpiteenä tulee kyseeseen henkilökohtaisten moottoroitujen hengityksensuojainten käyttöönotto kuivana aikana murskaamoilla, joilla pölyntorjuntaa ei ole vielä järjestetty (ns. C-luokan laitokset) tai joilla pölynpoistosta huolimatta ei pölyaltistusta ole saatu hyväksyttävälle tasolle.

Henkilökohtaisia moottoroituja hengityksensuojaimia tulisi varata myös muiden korjaus- ja huoltotöihin osallistuvien henkilöiden (valvomon työntekijä ja työnjohtaja) käyttöön tilapäisten suurten pölyaltistusten vähentämiseksi. Toistaiseksi voidaan hyväksyä myös muun tyyppisten suojainten käyttö mainituissa tarkoituksissa.

Terveydellisten syiden lisäksi on työympäristöön pääsevää pölyä syytä vähentää työntekijöiden viihtyvyyden ja työn likaisuuden vuoksi. Pölyn vähetessä myös sähköturvallisuus paranee, liukastumiset vähenevät, näkyvyys lisääntyy ja ensiavun antaminen nopeutuu.

Valvomon työntekijän, työkoneitten ja kuorma-autojen kuljettajien altistuminen hengittävälle pölylle riippuu mm. tuloilmalaitteiston suodattimen käytöstä ja kunnosta sekä työtilan jäähdytyksestä. Jos suodatint on rikki, sitä ei käytetä kustannussyistä tai ilmapirtauksen saamiseksi suuremmaksi, altistus ja sen aiheuttama terveysriski saattavat olla samaa suuruusluokkaa kuin kunnossapitotyöntekijöillä.

Järjestämällä jäähdytys tai huolehtimalla muutoin sopivan lämpötilan aikaansaamisesta em. työtiloihin vältetään suodattimien käytöstä poistamista. Suodatinkuormituksen vähentäminen (esim. käyttämällä patjatyyppistä kuituista esierotinta ja kierrättämällä ilmaa) pidentää suodattimen vaihtoväliä, alentaa kustannuksia ja edesauttaa suodattimen jatkuvaa käyttöä. Suodattimen kunnon seuraamiseksi sekä puhdistus- ja vaihtotoimien oikeaksi ajoittamiseksi olisi suositeltavaa asentaa tuloilmalaitteistoon painehäviömittari. Suodattimien vaihtamisesta tulisi tehdä selkeä urakkaan ja konevuokraukseen kuuluva toimi. Kierrätysilman puhdistus vähentää hienon pölyn pitoisuutta. Karkeamman pölyn pitoisuuden vähentämiseen ohjaamoista käytetään puhdistautumis- ja siivousmenetelmiä (harjat, pölynimuri, kostea pyyhe jne.).

Vaakavaunuun tulisi järjestää suodatettu koneellinen ilmanvaihto ja tila sijoitetaan murskausalueelta poistuvan tien reunaan alueen rajalle. Suolaamalla ja kastelemalla tie vähennetään liikenteen pölyämistä. Murskauslaitoksen työmaalaboratoriot varustetaan vetokaapilla ja tuloilman suodatuksella.

Laitoksen työmaatilat (konttori, sosiaalilat, laboratorio, korjaamo ja varasto) sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan varjoisalle, vallitsevien tuulten yläpuolella sijaitsevalle alueelle.

Pölynpoistolaitteen poistoputken pää tulee suunnata kohtisuoraan ylös ja sijoittaa vähintään 3 m korkeammalle kuin ylin tavanomainen työskentelytaso laitoksen alueella. Jos tästä huolimatta pölyä tulee hengitysvyöhykkeille, poistoputkea on syytä jatkaa. Poistoputken päästö ei saa kuormittaa tuloilman ottokohtaa.

Hajapäästöjä vähennetään mm. toiminta-ajankohdan valinnalla, koteloilla, tuuli- ja leviämisesteillä, syrjäytyvien ilmapirtausten nopeuksien pienentämisellä, vapaiden pudotuskorkeuksien madaltamisella, siilojen käytöllä, kastelulla (ml. sadetus), suolaamalla jne. Rakenteiden suunnittelussa otetaan huomioon melu- ja kuljetin- turvallisuusseikat.

Edellä mainitut toimet ovat luonteeltaan halvimpia, välittömästi toteutettavissa olevia murskaamojen työntekijöiden suojelukeinoja. Huomioonottaen mm. henkilökohtaisten suojainten käyttöön liittyvät näkökohdat, suodatinten rikkoutumiset ja niiden vaihtoon liittyvät seikat, ympäristönsuojelunäkökohdat, murskaamojen sijoittamiseen liittyvät vaikeudet, murskaamojen siirrot paikasta toiseen, kuljetuskustannukset ja murskausalan yrityskuva on ratkaisuja murskaamojen pölyongelmien vähentämiseen etsittävä tehokkaista pölynpoistokeinoista, jotka kohdistuvat paitsi itse murskauslaitokseen myös koko murskausprosessiin. Oleellista on päästöjen rajoittaminen sellaiseksi, että hyväksyttävät työolot saadaan ilman jatkuvaa hengityssuojainten käyttötarvetta.

Murskaamojen pölynpoistotekniikka vaatii laite- ja menetelmäkehitystyötä. Kehitysmahdollisuuksia on nähtävissä mm. suodatin-, märkäerotin- ja höyrypölynpoiston alueilla. Pölynpoistolaitteistojen, tuuli- ja leviämisesteiden sekä kotelojen suunnittelu ja mitoitus kannattaa selkeyttää. Suolan käytölle tarvitaan ohjeet.

Pölynpoistotekniikoiden vaikutukset työolojen parantumiseen tulisi mitata. Tulokset olisi hyödyllistä rekisteröidä työsuojeluhallitukseen kuten melumittausten tulokset (vrt. MELU-rekisteri). Koteloiden, tuuli- ja leviämisesteiden yms. laitteiden vaikutus melun vähenemiseen tulisi taltioida melurekisteriin.

7.3 Turvallisuustiedote

Murskaamoilla tapahtuvan pölyntorjunnan edistämiseksi olisi hyödyllistä laatia lyhyt ja selkeä turvallisuustiedote. Tämä helpottaisi viranomaisien, rakennuttajien, urakoitsijoiden ja laitetoimittajien työtä. Tiedotteessa voidaan käsitellä mm.:

- työskentelyolosuhteiden tavoitetila
- vaarallisimmat työvaiheet
- pölyntorjunta
- henkilökohtaiset suojaimet
- työolosuhteiden valvonta

Pölyntorjuntatoimet voidaan jakaa välittömästi toteutettaviin ja tavoitteellisiin. Tavoitteellinenkin tila tulisi ajoittaa.

7.4 Rakennuttaminen

Työsuojelun huomioonottaminen uusissa kehittyvissä rakennuttamismenettelyissä vaatii urakkasopimusasiakirjojen korjauksia ja täydennöksiä. Urakoitsijan tulisi tietää mm. mitä laatu-, lopputuote- ja kokonaisvastuun mukaisissa urakoinneissa kuuluu urakoitsijan työsuojelutehtäviin, valvontavelvollisuuksiin ja vastuuseen sekä kuinka tehdyn työn kelpoisuus mainitussa mielessä osoitetaan rakennuttajalle. Rakennuttajan ja urakoitsijan välisen työrajan tulisi olla selvä.

Rakennuttajalle voidaan tarpelliset näkökohdat esittää rakennuttamis- ja valvontaohjeissa sekä omien töiden työsuunnitteluohjeissa. Rakennuttajan palveluksessa olevien laboranttien ja valvojien työskentelyolosuhteiden valvontaa, haitallisuuden määrittelyä ja olosuhteiden parantamista varten tarvitaan ohjeet.

Nykyisten erillisten ympäristön- ja työsuojeluohjeiden yhdistämisellä ratkais-taisiin eri näkökulmista tapahtuvista tavoiteasetteluista aiheutuvat ongelmat.

7.5 Työntekijöiden informaatio ja koulutus

Nuorten ja kokemattomien työntekijöiden pölyaltistusta voidaan vähentää informaatiolla ja koulutuksella. Seikkoja joihin tulisi kiinnittää huomiota ovat mm.:

- työvaiheet, joissa pölyä esiintyy runsaasti
- suojavälineet ja työvaatetus
- haitallisten altistusten välttäminen
- suodatinten vaihtaminen
- siivous ja puhdistautuminen
- palautteet työolosuhteissa havaituista epäkohdista ja ehdotukset työolo-suhteiden parantamiseksi

Eryteisesti on syytä korostaa moottoroidun hengityksensuojaimen käytön hyödyllisyyttä kunnossapitotyöntekijöiden tehtävissä.

7.6 Säännökset ja mittausstandardit

Kokonaisleijuman enimmäisohjearvon (raja-arvon) 10 mg/m^3 käyttöön terveydellisen haitan arvosteluperusteena tulisi suhtautua kriittisesti. Kokonaisleijuma soveltuu paremmin yleisen työhygieenisen tason ilmaisemiseen.

Kokonaisleijuman keräyksessä aiheutuvien erojen vähentämiseksi tulisi keräyslaitteiston imupää standardisoida (tai muutoin vakiinnuttaa) ja imunopeudelle asettaa sallittu alue. Tavoiteltavaa olisi saavuttaa sisäänhengitystä vastaava tilanne. Laitteistopainotteinen standardisointi imutehojen perusteella olisi syytä harkita uudestaan.

Hengitettävälle alle 5 mikrometrin pölylle tulisi asettaa enimmäispitoisuuden raja-arvo terveydellisen haitan arvosteluperusteeksi. Hengitettävän pölyn rakeisuuden ja paino-osuuden sekä kvartsin raja-arvojen määrittystavat olisi standardisoitava (tai muutoin vakiinnutettava). Raja-arvojen dimensiot tarkistetaan määrittystavat huomioonottaen.

7.7 Partikkelikinetiikka ja patologia

Ihmisen hengitysjärjestelmän eri osiin jäävistä hiukkasista, keuhkoihin kulkeutuvista ja sinne jäävistä hiukkasista sekä keuhkoaltistuksen haitallisista pitoisuuksista tarvittaisiin lisätietoa tavoitetilan määrittelyä ja pölynpoistotekniikan suunnittelua varten. Kysymys silikaattipölyjen haitallisuudesta ja raja-arvojen tarpeellisuudesta tulisi ratkaista tässä yhteydessä.

KIRJALLISUUS

- 1 Asfaltti- ja murskausaseman ympäristönsuojelu 1989. Tiehallitus. TVH 743980.
- 2 Blomgren, K.E., Murskausaseman toiminnasta aiheutuvasta ympäristön saastumisesta. Helsingin teknillinen korkeakoulu, Tietekniikka 18/1972. Otaniemi 1972.
- 3 Työskentelyolosuhteista murskaus- ja asfalttiasemilla. Julkaisematon käsikirjoitus. Työterveyslaitos ja tiehallitus. Helsinki 1975.
- 4 Työpaikkakuvaus. Murskausaseman koneenkäyttäjä tai syöttäjä. Tiehallitus. TVH 733887.
- 5 Selvityksiä murskausasemien aiheuttamista pölyleijumista. Julkaisemattomia. Tiehallitus.
- 6 Pölymittauksia ja ergonomisia selvityksiä murskaamoilla. Julkaisemattomia. Tiehallitus.
- 7 Pölymittauksia murskaamoilla. Julkaisemattomia. Insinööritoimisto Erkki Matilainen Oy.
- 8 Jokimies, T., Kallioporauksen aiheuttama pölyäminen. Tiehallitus. TVH 2.707.
- 9 Turpeinen, O., Fysiologia. Porvoo 1965.
- 10 Brinck, P. & al, Luftmiljön. Natur och Kultur. Borås 1972.
- 11 Jung, H., Luftverunreinigung und industrielle Staubbekämpfung. Akademie-Verlag. Berlin 1968.
- 12 Rankama, K., Suomen geologia. Helsinki 1964.
- 13 Tulostusote tielaitoksen tutkimista kallioesiintymistä. Julkaisematon. Tiehallitus 1990.
- 14 Rakennuslehti nro 20/2.4.1990
- 15 Pölymittausten tuloksia. Julkaisemattomia. Oulun aluetyöterveyslaitos.
- 16 Lokomon tuote-esitteitä.
- 17 Volvo BM AB:n tuote-esitteitä.
- 18 Rakennustyömaiden sosiaalitilaohjeet. Turvallisuusmääräykset 30:1. Työsuojeluhallitus. Tampere 1975.
- 19 Turvallisuustiedote 25. HTP-arvot 1987.
- 20 ASS anvisningar nr 83 Stenkrossar.
- 21 Millipore, Detection and analysis of particulate contamination. USA 1988.
- 22 Volvo BM AB:n tiedonanto. Julkaisematon.
- 23 Työtapaturmat 1987. Työsuojeluhallitus. Tampere 1988.

- 24 Tapaturmarekisteri TARE.
- 25 Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y.:n murskausjaoston tiedonanto 6.3.1990.
- 26 Svensson, P. ja Forsberg, E., Damm och separation vid materialtillverkning. DDa-rapport 1980-06-20. Statens vägverk.
- 27 Matilainen, E., Asfalttiaseman pölyämisestä ja sen mittaamisesta. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Otaniemi 1971.
- 28 Hengityksensuojaimet. Luokitus. SFS 5194. Helsinki 1986.
- 29 Maatalouden hengityksensuojaimet. Maatalousyrittäjien eläkelaitos ja Kuopion aluetyöterveyslaitos. 1989.
- 30 Matilainen, E., Ympäristönsuojelu tien- ja maarakennustöissä. RIL 163. Helsinki 1986.
- 31 Kuljettimet turvallisiksi. Työsuojeluhallitus. Tampere 1989.
- 32 Työntekijöiden perehdyttäminen, opetus ja ohjaus. Työsuojeluhallitus ja työturvallisuuskeskus.
- 33 Työpaikan työsuojelutarkastus. Työsuojeluhallitus. Tampere 1989.
- 34 Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatinmenetelmällä. SFS 3860. Helsinki 1976.
- 35 Leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta. Tehokeräysmenetelmä. SFS 3863. Helsinki 1977.
- 36 Laskeuman määrittäminen. SFS 3865. Helsinki 1978.
- 37 Ilman laatu. Työpaikkailma. Asbestikuitujen laskentaperusteet. SFS 3868. Helsinki 1981.
- 38 Pölykeuhkosairauksien asiantuntijaryhmän tiedonanto.

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P-Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä-Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 61/1993 Ylistaron keskustateiden suunnittelu asukkaiden näkökulmasta. TIEL 3200186
- 62/1993 Teknologian siirto; Yhteystiedot lähialueyhteistyössä. TIEL 3200187
- 63/1993 Nastallisten ja nastattomien talvirenkaiden pitotutkimus. TIEL 3200188
- 64/1993 Pellon kuivatus tien kohdalla. TIEL 3200189
- 65/1993 Tiesuolan pohjavesivaikutukset - kulkeutumismekanismien moni-ilmiömallinnus. TIEL 3200190
- 66/1993 Kokemuksia Japanin nastattomasta talviliikenteestä. TIEL 3200191
- 67/1993 Liikenneturvallisuus ja suolan käytön vähentäminen; Väliraportti väestön asenteista Kuopion läänin kokeiluun talvikaudella 1992-1993. TIEL 3200192
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 69/1993 HLFM-maankäyttömalli, esiselvitys. TIEL 3200194
- 70/1993 Kalsiumkloridin käyttö tierakenteessa; Kirjallisuusselvitys ja laboratoriokokeet. TIEL 3200195
- 71/1993 Nonwoven Geotextiles in Road Constructions. TIEL 3200193E
- 72/1993 Yleisten teiden tilaselvitys; Meluntorjunta tiepiireissä. TIEL 3200196
- 73/1993 Valaistus taajamissa; Kuuden kohteen inventointi ja analysointi johtopäätöksineen. TIEL 3200197
- 74/1993 Dynaaminen rasitusindeksi (DRI). TIEL 3200198
- 75/1993 Pientieverkon kunnossapidon kehittäminen. TIEL 3200199
- 76/1993 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200200
- 77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201
- 78/1993 Etelä-Suomen emulsiokoetiet 1993. TIEL 3200202
- 79/1993 Emulsiopäällystekokeilut 1992-1993. TIEL 3200203
- 80/1993 Kelin vaikutus ajokäyttäytymiseen ja liikennevirran ominaisuuksiin. TIEL 3200204
- 81/1993 Vt 12 Veittostensuon syvästabilointi; tutkimusraportti. TIEL 3200205
- 82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206