

Salme Rantanen, Rauno Pääkkönen

# **Työhygienia**

## Kemialliset ja fysikaaliset tekijät

ISSN 1455-4011  
ISBN 978-952-479-082-6

Multiprint 2008

## ESI PUHE

Tämän aineiston tarkoituksena on syventää käytännön tason tietoa kemiallisista ja fysikaalisista tekijöistä työympäristössä. Perusaineistoa löytyy mm. Työterveyslaitoksen ([www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)) ja Työturvallisuuskeskuksen ([www.ttk.fi](http://www.ttk.fi)) internet-sivuilta sekä Työsuojelun tietopankista ([http://fi.osha.europa.eu/good\\_practice/](http://fi.osha.europa.eu/good_practice/)). Lisäksi vuonna 2008 julkaistaan uusi Työhygienian käsikirja (Työhygienia. Työterveyslaitos, Helsinki 2008).

Koottu aineisto perustuu työsuojeluhallinnossa, Tampereen teknillisessä yliopistossa, ammattikorkeakouluissa ja Työterveyslaitoksen kursseilla pidettyihin luentoihin ja luentomateriaaleihin. Aineiston sisällöstä ja virheistäkin vastaavat kirjoittajat. Tämä teksti on tarkoitettu työsuojelutarkastajien työhygieniakoulutusaineistoksi, mutta sitä ei saa pitää ohjeena lain-säädännöstä ja sen soveltamisesta.

Haluamme kiittää kaikkia aineistosta kommentteja antaneita ja aineistoa kehittäneitä erityisesti ylitarkastaja Kirsi Kyrkköä sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosastolta.

Tampereella 2008

## TEKIJÄT

21 kuvaa, 15 taulukkoa, 17 kaavaa, noin 30 000 sanaa ja 5300 riviä

*Avainsanat*; fysikaaliset tekijät, kemialliset tekijät, työhygienia, vaikutukset, suojaimet, vaarat, riskit

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
2	KEMIALLISET TEKIJÄT.....	11
2.1	Kemikaalien vaaraominaisuuksien tunnistaminen .....	11
2.2	Tärkeimmät ilman epäpuhtaudet.....	13
2.2.1	Hiukkasmaiset epäpuhtaudet.....	13
2.2.1.1	Epäorgaaniset pölyt (mineraalipölyt) .....	16
2.2.1.2	Metallit .....	19
2.2.1.3	Orgaaniset pölyt.....	20
2.2.2	Kaasut .....	22
2.2.3	Orgaaniset liuotinaineet .....	25
2.3	Ihon altistuminen.....	28
2.4	Kemiallisten tekijöiden mittaukset .....	30
2.4.1	Mittaustarpeen arviointi.....	30
2.4.2	Biologiset altistusmittaukset (biomonitorointi) .....	31
2.4.3	Ilmän epäpuhtauksien mittaukset.....	31
2.4.4	Ilmän epäpuhtauksien mittausmenetelmät.....	34
2.5	Fysikaalisista ominaisuuksista aiheutuvat vaarat .....	35
2.5.1	Kemikaalien turvallinen käsittely ja varastointi.....	35
2.5.2	Räjähdyksivaara (ATEX) .....	39
3	FYSIKAALISET TEKIJÄT .....	42
3.1	Melu.....	42
3.1.1	Yleistä, käsitteet .....	42
3.1.2	Melulähteet.....	44
3.1.3	Melun eteneminen.....	48
3.1.4	Äänen ja melun vaikutukset .....	49
3.1.5	Melun torjunta.....	52
3.2	Tärinä ja sen torjunta .....	58
3.2.1	Yleistä, käsitteet .....	58
3.2.2	Haittavaikutukset ja ohjearvojen perusteet .....	59
3.2.3	Altistuminen eri toimialoilla .....	60
3.2.4	Tärinän torjunta.....	60
3.3	Säteilyt.....	61
3.3.1	Johdanto .....	61
3.3.2	Työelämässä huomioon otettavat säteilyn lajit .....	64
3.3.3	Säteilyiden aiheuttaman terveysriskin arviointi .....	67
3.4	Valaistus .....	70
3.4.1	Yleistä.....	70
3.4.2	Valaistusolot eri aloilla .....	72

3.5	Lämpöolot .....	72
3.5.1	Johdanto .....	72
3.5.2	Ohjearvoista ja niiden perusteista .....	74
3.5.3	Lämpöongelmien esiintyminen .....	75
3.5.4	Lämpöolosuhteista aiheutuvien haittojen torjuntamenetelmistä .....	77
3.6	Ilmastointi .....	83
3.6.1	Merkitys työympäristöön .....	83
3.6.2	Mitoitusperiaatteista .....	88
3.6.3	Toiminnan arviointi .....	94
4	ALTI STUMINEN ERÄI SSÄ TÖI SSÄ .....	96
4.1	Hitsaus .....	96
4.2	Juotostyöt .....	99
4.3	Maalaus .....	100
4.4	Muovi- ja muovituoteteollisuus .....	102
5	PAI NETTUJA LÄHTEI TÄ JA LI SÄTI ETOA .....	107

## 1 JOHDANTO

Työsuojelulla tarkoitetaan kaikkea sitä toimintaa, jolla pyritään varmistamaan, ettei työntekijän terveys ja turvallisuus työn johdosta vaarannu. Työhygieniä käsittää työpaikoilla ilmenevien mahdollisesti työntekijöille haittaa aiheuttavien tai heidän terveyttään vaarantavien kemiallisten, fysikaalisten ja biologisten riskitekijöiden tunnistamisen, kartoituksen ja torjunnan. Työhygieniatoiminnassa työpaikalla tunnistetaan, kartoitetaan ja arvioidaan kemialliset ja fysikaaliset riskitekijät ja pyritään teknisin ennalta ehkäisevin toimenpitein vähentämään tai poistamaan riskitekijät, jotka saattavat aiheuttaa työntekijälle haittaa.

Tämän monisteen tarkoituksena on välittää keskeistä tietoa altisteista ja altistumisen selvittämisestä kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden riskien tarkasteluun sekä altistumisen ja riskienhallinnan periaatteet. Jokaisen asiakokonaisuuden lopussa on lueteltu aiheeseen liittyvää lisätietoa.

Yrityksissä työhygieeninen toiminta toteutuu muun työsuojelun yhteydessä lähinnä työsuojeluhenkilöstön ja työterveyshuoltohenkilöstön kautta. Työhygienian ongelmat tulevat esille tavallisesti valituksina, joita käsitellään ja selvitetään edelleen työsuojelutoimikunnan kokouksissa tai työpaikkaselvityksessä. Työsuojelutarkastuksissa tulee usein esiin työhygienisiä ongelmia. Asiantuntijoita voidaan käyttää tilanteen syvällisempään selvittämiseen.

Työhygieeninen toiminta on altisteiden laadun ja määrän selvittämistä sekä syntyvien tai olemassa olevien ongelmien torjuntamahdollisuuksien selvittämistä. Toiminnan tulisi kohdistua erityisesti ennalta ehkäisevään työhön. Työhygieeninen toiminta jaetaan fysikaaliseen, kemialliseen ja biologiseen työhygieniaan. Työhygienian kehittymisessä voidaan nähdä eri tasoja esimerkiksi:

1. Ilmeisten terveysvaarojen huomaaminen ja eliminointi (tapaturmariskit, sairastumisriskit).
2. Häiriötekijöiden minimointi (veto, heikko valaistus, melu (alle 85 dB)).
3. Viihtyvyystekijät optimoidaan — lähestytään ihannetyöoloja (säädetävät olosuhteet).

Kehitys kulkee eri teollisuudenaloilla ja yrityksissä erilaisessa tahdissa. Eri haittatekijöidenkin suhteen kehitys on usein eri tasolla. Suomessakin on monissa yrityksissä ensimmäinen vaihe jo kauan sitten sivuutettu. On kuitenkin vielä työpaikkoja, joissa vakaviakaan terveysvaaroja ei ole edes tiedostettu. Työhygienisiä näkökohtia työpaikkoja suunniteltaessa tai työoloja parannettaessa ei ole riittävässä määrin otettu huomioon. Syynä tähän on ollut teknisen tietämyksen puute (yrityksissä, asiantuntijoilla, viranomaisilla jne.), yritykset eivät noteeraa työhygienisiä näkökohtia riittävän merkittäviksi eikä kontakteja käytännön toimenpiteitä suorittaviin ole kyetty hankkimaan työpaikoilla. Työhygieenisten ongelmien ratkaisuvaihtoehdot edellyttävät myös monialaista ja monipuolista asioiden soveltamista, mikä on vaikea saavuttaa.

Kemiallinen työhygieniä selvittelee erilaisten aineiden käytöstä johtuvia ongelmia. Kemikaalit voivat aiheuttaa vaaraa terveydelle ja ympäristölle sekä niihin voi liittyä palo- ja räjähdysvaara. Kemikaalien käytöstä työpaikoilla aiheutuu sairauksia, so. ammattitauteja ja -ihotauteja sekä muita työperäisiä sairauksia. Ne voivat aiheuttaa erilaisia onnettomuuksia pienistä tapaturmista suuronnettomuuksiin. Kemikaalien käytöstä syntyy jätettä, joka voi joutua esim. ympäristöön. Ympäristöön joutunut kemikaali voi aiheuttaa maa-alueiden saastumista. Monet kemikaalit ovat myrkyllisiä eliöille, ne voivat kertyä eliöihin ja olla hyvinkin pysyviä ympäristössä.

Työperäisen kemikaalialtistuksen merkitystä voidaan kuvata useilla tavoilla, laajuutta kemikaalien käyttömäärillä, tuotantoon ja käyttöön osallistuvien työntekijöiden lukumäärällä. Yleisimmät altisteet ovat pesuaineet, joille arvioidaan altistuvan noin 400 000 henkilöä, hiilimonoksidi, rautapöly ja -huurut sekä eloperäiset pölyt (kasvi- ja eläinpölyt). Kemikaalialtistuminen ja sen aiheuttamat vaarat voivat jakaantua tasaisesti koko ammatissa toimivan väestön keskuuteen tai keskittyä vain harvoille työpaikoille ja työntekijäryhmiin. Altistuvien työntekijöiden lukumäärä on tyypillisesti 10–1000 kertaa suurempi teollisuustuotteen käyttövaiheessa kuin sen varsinaisessa valmistuksessa. Tämä on syytä muistaa, kun arvioidaan erilaisten altistumista vähentävien toimenpiteiden vaikuttavuutta.

Kemikaalialtistuksen merkitystä kuvaavat myös tehtyjen mittaustulosten tasot verrattuna esim. asetettuihin raja-arvoihin. Samoin altistumisen merkitystä kuvaavat todetut ja arvioidut terveyshaitat sekä vakavien terveyshaittojen esim. syöpätapaukset, suhteutettuna altistuvien lukumäärään. Työpaikka ja työntekijäkohtaiset mittaustulokset eivät yksistään sovellu kemikaalialtistuksen kokonaisarviointiin, koska tuotanto-olosuhteet, aineiden käyttötavat ja muut työympäristökäijät vaikuttavat niin paljon altistumismittausten tuloksiin.

Kemiallisen työhygienian tehtäväkenttä on laaja, ja siksi ongelmien tärkeysjärjestykseen asettaminen on tarpeen. Kansallisten riskinarviointien ja altistumisselvityksien tuloksia voidaan käyttää välittömiä toimia vaativien kohteiden tunnistamiseen ja tutkimustyön suunnittamiseen.

Kemikaaliturvallisuuden ja altistumisen hallinnan perusta on, että tiedetään, mitä kemikaaleja on käytössä, tunnetaan niiden ominaisuudet ja käyttöön liittyvät vaarat. Terveysriskien arvioinnissa perustana on, että tunnetaan työympäristössä esiintyvät altisteet ja selvitetään kattavasti altistuminen niille. Kun kemikaalien käyttötapa ja altistuminen sekä muut vaarat on selvitetty, voidaan riskiä tarkastella käytännön kysymyksenä. Onko aineelle ominainen haittavaikutus tai vaara näissä olosuhteissa mahdollinen ja hyväksytäänkö vallitseva tilanne vai tarvitaanko toimenpiteitä. Yrityksen kemikaaliturvallisuutta kuvaa se, miten kemikaaliturvallisuuksioiden hoito on organisoitu ja onko se jatkuvaa toimintaa.

Fysikaalinen työhygienia käsittelee terveydelle haitallisia tai työtehtäviä häiritseviä energiamuotoja ja niiden esiintymistapoja. Fysikaalisille tekijöille altistuu noin 1,5 miljoonaa työntekijää ja fysikaalisista tekijöistä syntyy noin 1600 ilmoitettua ammattitautia vuosittain. Fysikaaliset tekijät koetaan myös työtä haittaavina, jolloin mm. lämpöolot, melu ja valaistus nousevat esiin. Fysikaalisia haittatekijöitä ovat melu, värinä, sopimaton valaistus, säteilyt sekä huonot paine- ja lämpöolosuhteet. Fysikaalisten tekijöiden terveydelle aiheuttamia haittoja ovat mm. kuulovaurio, ns. hitsarin silmä, ns. valkosormisuus, paleltumat ja lasinpuhaltajan kaihi.

Kohtalaisena riskinä fysikaalisten tekijöiden osalta voitaneen pitää jatkuvaa työskentelyä taulukossa 1 mainittujen altistusrajojen tasolla käytettäessä henkilökohtaista suojausta, kuten kuulonsuojaimia, silmiensuojaimia, sopivaa suojavaatetusta ja niin edelleen. Värinän osalta suojaimista ei juuri ole apua. Riski on merkityksetön silloin, kun haittatekijästä ei tiedetä aiheutuvan terveydellisiä tai viihtyvyyteen liittyviä riskejä. Merkityksettömästä riskistä esimerkkejä ovat teollisuusmelu alle 60 dB, työ fysiologisella lämpöviihtyvyyalueella tai vaikkapa mikroaaltouunin käyttö ruuan lämmittämiseen, kun uuni on kunnossa.

Taulukko 1. Fysikaalisten riskien karkeat arviointiperusteet. Raja-arvot ovat suuntaa-antavia, ja yksityiskohtaisemmat raja- ja ohjearvot ovat löydettävissä normeista tai niitä tukevista ohjeista

riskitekijä	riskinarviointi			riskinhallinta
	altistusraja*	normi	kriittinen kohde	
1. melu, jatkuva	85 dB $L_{EP,d}$	VNa 85/2006	kuulo	meluntorjuntaohjelma
- impulssi	137 dB $L_{Cpeak}$	VNa 85/2006	kuulo	meluntorjuntaohjelma
2. värinä, kädet	2,5 m/s <sup>2</sup>	VNa 48/2005	kädet	työkalujen kehitys
- koko keho	0,5 m/s <sup>2</sup>	VNa 48/2005	selkä	istuimen kehittäminen
3. säteily, ionisoiva	20 mSv/a	A 1512/91	kohde-elin, koko keho	tekninen suojaus
- ultravioletti	1 mW/m <sup>2</sup> $E_{eff,8h}$	STMp 1474/91	silmät, iho	henkilönsuojaimet
- radioaallot	10 W/m <sup>2</sup>	STMP 1474/91	koko keho	tekninen suojaus
- mikroaallot	50 W/m <sup>2</sup>	STMp 1474/91	silmät, koko keho	tekninen suojaus
- laserit	Cl 3-4	STMp 1474/91	silmät, iho	tekninen suojaus
- infrapuna	100 W/m <sup>2</sup>	ACGIH	iho, silmät	tekninen suojaus
4. lämpöolot, kylmyys	alle 15 °C	-	kädet, jalat, kasvot	vaatetus, taukotuvat
- kuumuus	yli 28 °C	-	koko keho	tautus, vaatetus
- veto	0,5 m/s	-	jalat, koko keho	ilmastointi, vaatetus
5. muut tekijät	-	-		ulkopuolinen asiantuntija
- yhteisvaikutukset				

\*altistusraja voidaan tulkita arvoksi, jonka alapuolella riski pitkässäkin altistuksessa pysyy hyväksyttävän suuruisena ja jonka ylittäminen johtaa yleensä riskien nopeutuvaan kasvuun

Riskien arviointi. Euroopan Unionin direktiivien ja niiden perusteella annettujen kansallisten normien keskeinen arviointiperuste on riskitarkastelu, joka käsittää työpaikalla olevien riskien tunnistamisen, arvioinnin ja hallinnan. Riski käsitteenä on laajempi kuin vaara sisältäen erilaisia ei-toivottujen tapahtumien todennäköisyyksiä ja vakavuusarvioiteja. Riskinarviointi on prosessi, jossa arvioidaan työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle työpaikalla ilmenevästä vaarasta aiheutuva riski. Riskianalyysi on osa riskien arviointia, ja se koostuu kohteen raja-arvojen määrittämisestä, vaarojen tunnistamisesta ja riskin suuruuden arvioimisesta. Riskianalyysiin tulisi tarvittaessa sisältyä erillisriskien ja kokonaisriskien arviointi. Riskitarkastelu on luonnollinen osa kemiallista ja fysikaalista työhygieniää. Työhygieeninen tarkastelutapa on monesti terveystieteellisempi kuin esimerkiksi konetekninen tai prosessitekniinen.

Työhygienian kannalta riskien lajeja ovat mm. vaaratekijöistä johtuvat tapaturman tai kuoleman vaara, ammattitautteja ja sairastumista aiheuttavat sekä ärsyttävyyttä, kiusallisuutta tai epäviihtyvyyttä aiheuttavat vaikutukset. Riskien arvioinnin kannalta joudutaan tällöin tekemään laskelmia ja selvityksiä ei-toivotun tapahtuman tai altistumisen todennäköisyydestä (hyvin epätodennäköinen, epätodennäköinen, mahdollinen jopa odotettavissa oleva) ja seurauksista (lievästi haitallinen, haitallinen, erittäin haitallinen). Näiden muuttujien arvioinnin perusteella voidaan päätellä onko riski merkityksetön, kohtalainen vai sietämätön.

Riskit ovat erilaisia, ne kohdistuvat kehon eri osiin ja niiltä suojautuminen voi vaihdella hyvinkin merkittävästi. Työtapaturman vaaratekijä on yleensä mekaaninen (isku, painovoima, puristuminen, viilto) tai fysikaalinen (sähkö, räjähdysten paine, tärähdys, kuumuus, kylmyys). Mekaaninen ja fysikaalinen vaaratekijä esiintyvät usein yhdessä, joskus myös kemiallisen (hapen puute, akuutti myrkytys, huimaus) tai ergonomisen tekijän kanssa. Tupakointia pidetään yleisesti henkilökohtaisista kemiallisista riskeistä merkittävimpänä, ja tieliikenne aiheuttaa merkittävimmät mekaaniset riskit. Kuolemaan johtava riski on terveystieteen lajeista merkittävin, ja se voi todentua esimerkiksi tapaturmana tai syöpänä. Fysikaalisista tekijöistä lähinnä sähkö, ionisoiva

säteily ja radon ovat esiintyneet tällaisissa taulukoissa. Toisaalta ionisoivan säteilyn aiheuttama kuoleman riski on hyvin epätodennäköinen työelämässä, koska säteilyn käyttö on Suomessa tiukasti säänneltyä ja sitä käyttää vain siihen hyvän koulutuksen saanut pieni työntekijäjoukko. Tavallisimmin työhygieniassa tarkastellaankin ammattitautiriskiä, sairastumisriskiä, koettua riskiä tai jopa ärsyttävyyttä/epäviihtyisyyttä riskinä. Jotta voitaisiin arvioida henkilöiden riskin suuruutta, joudutaan pohtimaan sairastumistodennäköisyyttä. Epidemiologisesti keskeinen käsite on sairastuneiden osuus väestössä eli prevalenssi (PR). Usein esitetään, että riski 1:100 000 tai 1:1 000 000 on hyväksyttävä. Suhteellisen riskin osalta riskisuhde (RR) 2 osoittaa jo kohonnutta riskiä.

Riskien lajit voivat olla moninaiset. Koetuista riskeistä nousevat esiin yleensä kemikaalit ja säteilyn lajit. Vähäisinä riskeinä pidetään usein lämpöoloista tai valaistuksesta aiheutuvia riskejä, jotka todentuvat esimerkiksi tapaturmien myötävaikuttajina. Ammattitautitilastojen perusteella fyysikaalisista tekijöistä suurimmat ilmaantuvuudet saadaan melulle ja ultraviolettisäteilylle. Riskien hallinta voidaan toteuttaa parhaiten uusia tuotteita, koneita, laitteita ja työympäristöjä kehitettäessä. Esimerkiksi konedirektiivi ja vastaava suomalainen koneita koskeva valtioneuvoston päätös ohjaavat ottamaan huomioon fyysikaalisia tekijöitä koneita suunniteltaessa, myytessä ja ostettaessa. Direktiivi ja kansalliset määräykset myös edellyttävät valmistajaa merkitsemään koneiden melu- ja värinäpäästöt, mikä lisää olennaisesti riskinarvioinnin mahdollisuuksia.

Euroopan unionin työsuojelulainsäädäntö perustuu pitkälti riskinarvioinnin käsitteeseen. Voimavaroja ei riitä välittömästi suunnattavaksi kaikkiin kohteisiin. Siksi riskitekijöiden arviointi muodostaa luontevan perustan valintojen ja myös erilaisten arviointien ja skenaarioiden tekemiseksi. Jos riskinarvioinnissa päädytään siihen, että haittatekijä aiheuttaa terveysriskin eli riski on lainsäädännön perusteella liian suuri, täytyy riskinhallinta toteuttaa heti ennen työn jatkamista. Jos taas päädytään siihen, että riski on merkityksetön tai pieni, voidaan riskinarvioinnissa tilanne kirjata ja jättää asia silleen. Merkityksettömän ja sietämättömän riskin välialueella oltaessa riskinhallintaa tulee lähteä toteuttamaan, mutta se voidaan sisällyttää toimintasuunnitelmiin, joissa riskejä asetetaan tärkeysjärjestykseen ja joitakin toimenpiteitä voidaan siirtää, edullisesti niputtaa jne. Millaisia sitten ovat liian suuret riskit fyysikaalisten tekijöiden osalta? Liiallinen riski voisi tarkoittaa tilannetta, jota työsuojeluhallinnossa on totuttu luonnehtimaan termillä välitön terveyden menettämisen vaara; esimerkiksi melun osalta työskentely suihkuturbiinin vieressä ilman kuulonsuojaimia (taso yli 110 dB), säteilyn osalta alumiinin MIG-hitsausta ilman maskia tai voimakkaiden gammaisotooppien käsittelyä ilman suojausta.

Hyvin toteutetun riskien arvioinnin tuntomerkkejä ovat:

- Riskinarviointi on tehty kattavasti (eri työt ja työvaiheet käsitelty)
- Työterveyshuoltoa on käytetty asiantuntijana riskinarvioinnissa
- Henkilöstö on voinut osallistua riskinarviointiin oman työnsä osalta
- Riskinarvioinneissa on käsitelty
  - tapaturmavaarat
  - fyysinen kuormitus
  - fyysikaaliset vaaratekijät
  - kemialliset vaaratekijät
  - biologiset vaaratekijät
  - henkinen kuormitus
- Altistumista on arvioitu raja-arvoihin nähden ja kerrottu ylitykset
- tapaturmat, ammattitaudit ja vaaratilanteet on otettu huomioon
- Tarvittavat työhygieeniset mittaukset (melu, ilman epäpuhtaudet jne.) on tehty
- Tarvittavat biomonitoinnit on tehty
- Tunnistetuista vaaratekijöistä on arvioitu niiden terveydellinen merkitys (eli niihin liittyvien riskien suuruus)

- Riskien arvioinnissa on huomioitu eri altisteiden yhteisvaikutuksia
- Riskit ovat priorisoitu ja korjaavien toimenpiteiden osalta on tehty priorisointia
- Riskien arvioinneissa on käytetty monipuolista asiantuntemusta (esim. työterveyshuolto ja ulkopuolinen asiantuntija).

## Riskien hallinta

Riskinhallinta voidaan jakaa organisatoriseen, johon kuuluvat johtaminen, esimiestoiminta, koulutus, perehdyttäminen, työmenetelmät, työohjeet, käytännön toiminta jne. ja tekniseen. Teknisiin toimenpiteisiin kuuluvat rakenteelliset toimenpiteet ja erilaiset tekniset ratkaisut, kuten koteloinnit, kohdeilmastointi sekä suojaimet, niin tekniset suojausjärjestelmät kuin henkilön-suojaimet. Työturvallisuusjohtamisen keinot ovat moninaiset ja riskinarviointi on toimenpiteiden perusta. Johtamisella luodaan myös asenteet työsuojelutoiminnan tueksi. Työmenetelmämuutoksilla, prosessimuutoksilla ja vastaavilla toimenpiteillä voidaan vaikuttaa riskejä sisältäviin työvaiheisiin.

Kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden riskienhallintaa voidaan tarkastella esimerkiksi seuraavilla kriteereillä työpaikalla:

1. Ei-toivottujen tapausten määrät
  - tapaturmien, ammattitautien ja vaaratilanteiden lukumäärä
  - esiintyneet oireet ja työperäiset sairaudet
2. Toiminnan määräysten mukaisuus
  - yritystä koskevat määräykset ovat tiedossa ja määräyksiä seurataan
  - tarvittavat luvat ja ilmoitukset viranomaisille ovat kunnossa, esim. ASA-ilmoitukset on tehty
  - ensiapu ja pelastusvalmius ovat kunnossa
3. Selvilläolo vaaroista ja riskeistä
  - kemikaaliluettelo ja käyttöturvallisuustiedotteet ovat ajan tasalla
  - tarvittavat altistumisselvitykset ja mittaukset ovat tehdyt
  - riskinarviointi on tehty
  - työterveyshuollon työpaikkaselvitys on tehty, herkäät henkilöt on otettu huomioon
  - altistumisen seuranta on järjestetty
  - riskien arviointi mahdollisista poikkeustilanteista on tehty
4. Tekniset järjestelmät ja henkilönsuojaimet
  - tekniset torjuntatoimet ovat riittäviä ja niiden toimivuutta seurataan
  - tekniset ratkaisut ovat ajanmukaisia, esim. toimiva ilmastointi
  - kemikaalien varastointi on kunnossa
  - kemikaalien kuljetukset ja siirrot tehdään turvallisesti
  - kunnossapito ja huolto ovat kunnossa
  - oikeat henkilönsuojaimet ja niitä käytetään
5. Toimintatavat ja vastuut
  - kemikaaliasioista vastaava henkilö on nimetty
  - laadittu yhtenäiset ohjeet kemikaalien hankinnasta
  - kemikaaliturvallisuus on huomioitu uusien työmenetelmien ja aineiden käyttöön otettaessa
  - työmenetelmissä on huomioitu mahdolliset riskit
  - työohjeet ja turvallisuusohjeet ovat riittävät
  - siisteys ja järjestys ovat kunnossa
  - menettelytavat muutostilanteissa ja uusien vaarojen ilmetessä on ohjeistettu
  - laadittu ohjeet kemikaalien hävittämisestä ja jätteiden käsittelystä
  - koulutus ja perehdyttäminen ovat riittävät
  - alihankkijat ja aliurakoitsijat on huomioitu turvallisuustoiminnassa

Kun altistuminen ja riskit ovat selvillä, on mahdollista laatia kehittämissuunnitelmat ja käynnistää korjaavien toimenpiteiden toteutus. Samoin on saatu perusteet toteutuksessa tarvittaville resurssien ja voimavarojen arvioimiselle. Turvallisuutta kehitetään systemaattisesti. Kehittämistyön pohjaksi työpaikoilla laaditaan työsuojelun toimintaohjelma, johon kiinteänä osana kuuluu työympäristön kehittäminen. Työsuojelun toimintaohjelmassa tavoitteiden pitää olla selkeitä ja konkreettisia. Siinä kuvataan se, miten turvallisuustoiminta työpaikalla on järjestetty ja miten se toimii. Työhygieniassa melun, värinän ja säteilyn osalta puhutaan torjuntaohjelmasta. Jos altistus ylittää raja-arvot, työnantajan on riskinarvioinnin perusteella laadittava ja toimeenpantava melun/värinätorjuntaohjelma. Vastaavasti kemiallisten tekijöiden osalta veloitetaan ryhtymään ennaltaehkäiseviin ja korjaaviin toimenpiteisiin altistumisen tai vaaran poistamiseksi tai vähentämiseksi. Ohjelman tavoitteena on vähentää altistusta, kiinnittäen erityistä huomiota ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin.

### Henkilönsuojainten valinta ja käyttö

Työnantajan on hankittava ja annettava työntekijän käyttöön vaatimukset täyttävät ja tarkoituksen mukaiset henkilönsuojaimet, jollei altistumista tai vaaraa voida poistaa tai vähentää työhön ja työolosuhteisiin kohdistuvilla toimilla. Valinta tulee perustua esiintyvään riskiin, työpaikan olosuhteisiin, käyttäjän tekemään työhön ja käyttäjän ominaisuuksiin.

Jos työpaikalla useat henkilöt käyttävät erilaisia suojaimia, vaatii suojainten valinta, hankinta, käytön opastus ja valvonta sekä suojainten huolto suunnittelua ja ohjeet. Tätä voitaisiin nimittää suojainohjelmaksi. Suojainohjelmassa kuvataan seuraavat asiat:

- Mitkä ovat johdon, linjaorganisaation, työsuojeluhenkilöstön sekä työterveyshuollon tehtävät ja vastuut
- Menettelyt riskien arvioinnista ja suojainten käyttötarpeen arvioinnista
- Menettelyt suojaimelta vaadittavien ominaisuuksien määrittelystä
- Menettely sopivien suojainten valinnasta
- Suojainten käytön määrittely (kuka, missä, mitä, kuinka kauan jne.)
- Hankintamenettely
- Menettelyt suojainten käytön kouluttamiseksi
- Käytön valvonnan periaatteet, käytön laiminlyönnin seurauksista sopiminen
- Suojainten käytön motivointikeinot
- Suojainhuollon järjestäminen ja toteuttaminen

## 2 KEMIAALLISET TEKIJÄT

### 2.1 Kemikaalien vaaraominaisuuksien tunnistaminen

#### VAAROJEN TUNNISTAMISEN HALLINTAMENETTELYT

- kemikaaliluettelo on ajan tasalla
- käyttöturvallisuustiedotteet ovat ajan tasalla
- käyttöturvallisuustiedotteet ovat työntekijöiden, työnjohdon ja työterveyshuollon käytettävissä
- kemikaalipakkaukset ovat merkityt
- selvitetty työssä syntyvät ilman epäpuhtaudet
- selvitetty kemikaalien ominaisuudet ja niistä aiheutuvat vaarat

Työpaikoilla kemikaaliturvallisuuden ja altistumisen hallinnan perusta on, että tiedetään, mitä kemikaaleja on käytössä, tunnetaan niiden ominaisuudet ja käyttöön liittyvät vaarat. Kemikaaliluettelo kertoo sen, mitä kemikaaleja työpaikalla on käytössä. Lisäksi työpaikalla on selvitettävä mitä ilman epäpuhtauksia työssä syntyy esim. hitsattaessa tai hiottaessa. Työssä syntyvät ilman epäpuhtaudet selvitetään työstettävän materiaalin, työmenetelmän, prosessin ominaisuuksien ja aineiden ominaisuuksien perusteella.

Käyttöturvallisuustiedotteessa on olennaisin tieto kemikaalista, sen ominaisuuksista, vaaroista, terveysvaikutuksista ja suojautumisesta sekä muista tarvittavista turvallisuustoimenpiteistä. Yksinkertaisin tapa tarkastella aineille ominaisia vaaroja on tarkastella aineiden varoitusmerkkejä ja R-lausekkeita. Niiden perusteella voidaan alustavasti hahmottaa niitä "seurauksia", joita aineen käyttöön voi liittyä.

Myrkylliset	varoituserkki T, T+)
Syöpää aiheuttavat	(R 45, R49 ja R40 Carc. Cat.3)
Allergisoivat	(R 42, R43, R42/43)
Sikiölle ja lisääntymisterveydelle vaaralliset	(R 40, R45, R46, R49, R60, R61, R62, R63, R64, R68).
Syttyvät kemikaalit	(varoituserkki F)
Syövyttävät	(varoituserkki C)

Työpaikan kemikaaliluetteloa tarkastelemalla voidaan poimia luettelosta esim. vakavia vaikutuksia tai onnettomuuksia aiheuttavat aineet. Tarkastellaan, missä niitä käytetään ja millä tavalla, eli saadaan alustava tieto, onko käsittely turvallista tai aiheuttaako se vaaroja (taulukko 2). Käyttökohteiden lisäksi arvioidaan käyttömääriä, ovatko aineet päivittäisessä käytössä vai onko käyttö satunnaista. Riskiä ajatellen tärkeää on myös tietää ketkä kaikki ovat vaaralle alttiina.

Taulukko 2. Esimerkki kemikaaliluettelosta

kauppainimi	aineosat	varoituserkki	varoituserkkeet R-lauseet	KTT*	käyttötarkoitus ja käyttöpaikka	suurin käyttö määrä	suurin varastoitu määrä
Metanoli	metanoli	F, T	R11-23/25	12.3.03	liuotin	7 ton	50 ton
Upon P3	tensidit, fosfaatti	Xn, Xi, N	R36/37/38	1.4.04	pesuaine	0,5 ton	2 ton
Caria 601M	mineraaliöljy	N	R50/53	8.4.03	hiontaöljy	0,4 ton	1 ton
Ensis fluid RX	teollisuusbenssiini	Xi, Xn, C	R36-5-67	11.2.05	puhdistus	0,1 ton	0,2 ton

\*) Käyttöturvallisuustiedotteen päivämäärä

Yleisimmät syöpävaaraa aiheuttavat aineet ovat kromi-(VI)-yhdisteet, nikkeli ja sen epäorgaaniset yhdisteet, asbesti, bentseeni ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt. Yleisimmät ammatit, joissa altistutaan näille aineille, ovat hitsaajat, levysepät, laborantit, kone- ja moottoriasentajat ym. huoltotyöntekijät ja kemistit.

Sikiölle aiheuttavat vaaroja eräät kemikaalit, tartuntataudit ja säteily. Raskaudenaikana ei saa altistua lainkaan sikiölle ja lisääntymisterveydelle vaarallisille aineille ("laatikko" alla). Altistumisrajoituksia on myös liuotinaisille, anestesiakaasuille, hiilimonoksidille, formaldehydille ja tupakansavulle. Sairaaloissa ja laboratorioissa biologisista tekijöistä tähän ryhmään kuuluvat tarttuvat virukset, esim. vesi- ja vihurirokko, hepatiitti tai herpes. Sairaaloissa voi altistua myös sytostaateille ja röntgensäteilylle. Säädökset koskevat vain naisia ja altistumista raskauden aikana. Mutta kemikaalit voivat vahingoittaa myös miesten lisääntymisterveyttä. Nykyään tutkitaan paljon miehiä, yleisesti hedelmällisyyttä ja raskaaksi tulon viivästymistä.

Erityisäitiysrahajärjestelmä perustuu työsopimuslakiin ja sairausvakuutuslakiin. Jos raskaana olevan naisen työtehtävät tai työolot vaarantavat hänen tai sikiön terveyden eikä työssä olevaa vaaratekijää voida poistaa, työntekijä on pyrittävä raskauden ajaksi siirtämään muihin tehtäviin. Jos hänelle ei voida järjestää muuta työtä, hänellä on oikeus erityisäitiyslomaan. Raskaana olevan työntekijän terveysriskit arvioi työterveyslääkäri, joka tekee myös päätöksen, tarvitaanko siirto toisiin tehtäviin tai erityisäitiyslomaa.

#### PERIMÄLLE TAI SIKIÖLLE VAARALLISET AINEET

- anestesiakaasut
- alkyylilyijy
- elohopea
- orgaaniset liuottimet
- sytostaatit
- hiilimonoksidi
- torjunta-aineet
- syöpäsairauden vaaraa aiheuttavat aineet
- ympäristön tupakansavu
- muut näihin verrattavat aineet (R40, R49, R45, R46, R61, R63, R64, R68)

Altisteiden tunnistamisessa voidaan hyödyntää tietoja ammattitaudeista ja toimialakohtaisista tutkimuksista.

Lisätietoa:

- 1) Tietoja vaarallisista aineista ja tiedonlähteitä  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/>
- 2) Vaarallisia aineita koskevan tiedon jakaminen  
<http://fi.osha.europa.eu/publications/eashw/facts35.pdf>
- 3) Eräitä syöpää aiheuttavia ja lisääntymisröydelle vaarallisia kemikaaleja, kirjassa Kemikaalit ja työ.  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+kemikaalitietoa/Kemikaalit+ja+tyo/sisallysluettelo.htm>

## 2.2 Tärkeimmät ilman epäpuhtaudet

Fysikaalisen olomuotonsa perusteella ilman epäpuhtaudet voidaan jakaa kaasuihin, höyryihin ja kiinteisiin hiukkasiin tai ne ovat näiden seoksia. Kemiallisen rakenteensa puolesta voidaan epäpuhtaudet jakaa esim. epäorgaanisiin ja orgaanisiin aineisiin. Terveysvaaroja ajatellen merkittäviä altisteryhmiä ovat sellaiset, jotka ovat aiheuttaneet tai voivat aiheuttaa vakavia terveyshaittoja. Samoin ilman epäpuhtaudet, joille altistuvien määrä on suuri tai altistumistasot ovat suuria verrattuna raja-arvoihin.

Merkittäviä altisteryhmiä ovat:

Mineraalipölyt	kvartsi, asbesti, muut kuitumineraalit
Metallit ja niiden yhdisteet	arseeni, alumiini, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, lyijy, nikkeli, rauta, sinkki
Orgaaniset pölyt	jauhöpöly, eläinpiteeli, puupöly
Kaasut	hiilimonoksidi, typenoksidit, rikkidioksidi, kloori, pelkistyneet rikkijohdisteet, syaanivety
Orgaaniset yhdisteet	orgaaniset liuottimet, formaldehydi ja muut aldehydit, orgaaniset hapot, fenoli ja kloorifenolit, hartsit ja niiden kovetteet, torjunta- ja puunsuoja-aineet.

### 2.2.1 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

#### PÖLYJEN HALLINTAMENETTELYT

Tiedetään pölyjen koostumus ja terveysvaarat

Pölyrajähdyksvaara on huomioitu

Toimivat pölynpoistolaitteet

- poiston tehokkuus
- koteloinnin tehokkuus
- koteloinnin muotoilu

Hyvä yleisilmastointi

Paineilmaa ei käytetä puhdistukseen

Henkilökohtaiset suojaimet, hiukkassuodatin P2 tai P3

Siivous säännöllisesti ja riittävän usein

- käytetään teollisuuspölynimuria
- keskusimurijärjestelmä

Aerosolit ovat ilman ja kiinteiden hiukkasten tai nestepisaroiden seoksia. Aerosoleja ovat esim. maaperästä irtoavat hiukkaset, savut, metallihuurut ja pölyt, elolliset hiukkaset, kuten virukset, bakteerit, sieni-itiöt, siitepölyt, nestesumut jne. Hiukkaskoko vaihtelee 0,001  $\mu\text{m}$ –yli 100  $\mu\text{m}$ . Kiinteät hiukkasepäpuhtaudet ovat pölyjä tai huuруja hiukkaskokonsa ja syntyperänsä mukaan. Pöly on ilmassa leijuvia hiukkasia, jotka syntyvät esim. mekaanisista prosesseista tai sekoituksesta.

Työelämässä pölykysymystä voidaan lähestyä useammalta kannalta. Työsuojelussa pölyjä tarkastellaan toisaalta terveyden vaarojen aiheuttajana, toisaalta pölyn torjunnan kannalta. Pöly voi olla myös tuotantotekninen ongelma, tietyt laitteet tai työt vaativat puhtaan, pölyttömän tilan. Pöly voi olla viihtyvyystekijä. Pölyä on niin vähän tai se ei muutoin aiheuta terveydelle vaaraa, mutta tekee esim. tahraavuutensa takia työvaatteet tai työtilat epäsiisteiksi tai on muutoin häiritsevää.

Hiukkasjakoiset ilman epäpuhtaudet on perinteisesti jaettu hiukkaskokonsa ja muodostumistapansa mukaan seuraavasti:

pölyt	1–100 $\mu\text{m}$
savut	0,5–2 $\mu\text{m}$
huurut	0,5–2 $\mu\text{m}$
sumut	0,5–25 $\mu\text{m}$
ultrapienet hiukkaset	<0,1 $\mu\text{m}$

#### Pölyjen muodostuminen ja ominaisuudet

Pölyjen tavallisimmat muodostumistavat ovat:

- kiinteän aineen mekaaninen hajoaminen, murskaus, jauhaminen, sahaus, poraus, hionta
- pölyävän materiaalin käsittely, kuljetus, sekoitus, seulominen, hiekkapuhallus
- voimakkaat ilmavirtaukset voivat "siepata" hienojakoista materiaalia mukaansa
- kuumissa prosesseissa kondensoitumalla muodostuvat huurut; kemiallisen reaktion ja/tai lämmön vaikutuksesta (metallihuurujen muodostuminen, happoutujen muodostuminen). Huurun olomuotojen ero on liukuva, esim. hiukkaset voivat tarrautua toisiinsa muodostaen rypäleitä ja ketjuja (aglomeraatteja).

Yleensä kondensoitumalla muodostuvien huurujen keskimääräinen hiukkaskoko on pienempi kuin mekaanisen hajoamisen tai pölyävän materiaalin käsittelystä muodostuvan pölyn. Aerosolissa on mukana myös ultrapieniä hiukkasia. Ultrapieniä hiukkasia muodostuu yleensä kuumissa prosesseissa, jossa aineet palavat ja siirtyvät kaasufaasiin. Tällaisia ovat mm. metallin sulatus ja valu, hitsaus ja muovien lämpökäsittely.

Partikkelit voivat olla kiteisiä, kuitumaisia tai sitten niillä ei ole määrämuotoa, kuten useimmin on asianlaita. Terveydenvaarojen kannalta partikkelin olomuodolla on paljon merkitystä (ks. piidiokside), kun taas pölyntorjunnan kannalta merkitys on vähäisempi. Partikkelien käyttäytymiseen ilmassa vaikuttavat partikkelin koko, muoto, ominaispaino sekä pinnan ominaisuudet. Kuitenkin tärkein ominaisuus on partikkelin koko, koska kaikki fysikaaliset aerosolin ominaisuudet ovat jollakin tavalla riippuvaisia koosta.

Partikkelit voidaan käyttäytymisensä perusteella jakaa kahteen kokoluokkaan: yli 2–5  $\mu\text{m}$ :n hiukkasiin ja alle 2–5  $\mu\text{m}$ :n hienopölyyn. Suuret hiukkaset laskeutuvat nopeasti maan veto-voimakentässä ja jäävät hengitettäessä hengityselinten yläosiin, kun taas pienet hiukkaset laskeutuvat hitaasti ja pääsevät hengitettäessä alveoleihin saakka. Alle 10  $\mu\text{m}$ :n hienopöly kulkee vallitsevien ilmavirtausten mukana ja laskeutuu hitaasti pinnoille vapaan putoamisen vaikutuksesta.

## Pölyt terveyden vaarana

Pölyjen aiheuttamat ammattitaudit ovat pääasiassa hengityselinten sairauksia. Jos pöly on myrkyllinen tai se sisältää myrkyllisiä aineosia, vaikutus voi kohdistua myös muihin kohde-eliimiin. Jotkut pölyt voivat aiheuttaa ihottumia.

Merkittävimmät ammattitautien aiheuttajat ovat orgaanisista pölyistä jauhopöly, eläinproteiini ja puupöly; epäorgaanisista pölyistä kvartsi, asbesti ja tietyt metallit. Ammatti-ihotauteja ovat aiheuttaneet orgaaniset pölyt, sementtipöly, lasi- ja vuorivilla sekä eräät metallipölyt (nikkeli, koboltti, väriainepölyt).

Arvioitaessa hiukkasjakoisten aineiden vaikutuksia terveyteen on huomioitava useita asioita. Näistä hiukkaskoko on tärkeimpiä, sillä siitä riippuu mille alueelle hengitysteissä aine kerääntyy. Pienimmät hiukkaset pääsevät keuhkorakkuloihin eli alveoleihin asti. Ultrapienet hiukkaset (nanohiukkaset) poistuvat keuhkoista suurin osin verenkierron kautta. Nano-hiukkaset saattavat päästä kulkeutumaan solukalvojen välistä.

Terveyshaittojen syntymiseen vaikuttavat myös elimistöön joutunut ainemäärä ja altistusaika. Ärsytysvaikutukset ilmenevät heti, mutta muut keuhkosairaudet (esim. asbestoosi, silikkoosi) syntyvät vasta vuosia altistuksen jälkeen. Mikä annos on terveysriski, riippuu aineelle ominaisesta vasteesta ihmisessä. Vaste vaihtelee suuresti eri aineilla (esim. paperipöly, joka on vähätehoisin, ja esim. lyijy, joka jo pienillä annoksilla aiheuttaa muutoksia elimistössä).

### TYÖPERÄISIÄ SAIRAUKSIA AIHEUTTAVIA PÖLYJÄ

#### Mineraalipölyt

kvartsi (kiteinen piidioksidi)

asbesti

muut kuitumineraalit (talkki, wollastoniitti, synteettiset epäorgaaniset kuidut)

#### Metallit ja niiden yhdisteet

alumiini, arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, lyijy, nikkeli

#### Orgaaniset pölyt

jauho- ja viljapöly

puupöly

eläinproteiinipölyt

entsyymit

lääkeainepölyt

raakapuuvilla, pellava, juutti, hamppu, villa

bioaerosolit (bakteeri, home- ja sädesienet)

## Palo- ja räjähdysvaara

Pölyt voivat aiheuttaa palo- ja räjähdysvaaran. Palavasta materiaalista voi syntyä ilman kanssa räjähtävä seos, mikäli pitoisuus on sopiva. Pölyräjähdysten voivat aiheuttaa esim. orgaaniset pölyt sekä metalli- ja muut hapettavat pölyt. Pinnoille kertynyt pölykin voi joutua ilmaan riittävän suurena pitoisuutena aiheuttaakseen sekundäärisen pölyräjähdysten.

Pölyräjähdysten voi estää hyvällä siisteydellä, jolloin pölykerroksia ei muodostu pinnoille, ja sytytyslähteiden poistamisella. Joskus tarvitaan hapettomia ympäristöjä hyvin räjähdysvaarallisissa kohteissa.

### 2.2.1.1 Epäorgaaniset pölyt (mineraalipölyt)

#### Kvartsi

Piidioksidin ( $\text{SiO}_2$ ) hienojakoinen pöly (hiukkaskoko  $<0,5 \mu\text{m}$ ) aiheuttaa silikoosi -nimisen keuhkosairauden.

Piidioksidin kiteiset muodot ovat kvartsi, tridymiitti ja kristobaliitti. Kaikki kidemuodot aiheuttavat silikoosia, joskin kaksi viimeksi mainittua voimakkaammin sekä keuhkosityöpää. Tridymiittiä ja kristobaliittia muodostuu kvartssia kuumennettaessa esim. tulenkestävien tiilien valmistuksessa. Piidioksidi voi olla myös amorfisessa muodossa, kuten hitsauspuikkojen piidioksidi on hitsaus-savussa tai lasipöly lasia leikattaessa. Tällöin se on vähätehoinen eikä aiheuta silikoosia. Myöskään metalleihin sitoutunut piidioksidi ei aiheuta silikoosiriskiä. Kaikki suomalaiset kivilajit sisältävät kvartssia. Tavallinen harjuhiekkä sisältää noin 5–15 % kvartssia ja harmaa graniitti 30–40 %. Hiekkakivi ja puhdas merihiekka ovat kokonaan kvartssia.

Sellaisia toimialoja ja työtehtäviä, missä esiintyy merkittäviä kvartsipölypitoisuuksia, ovat kivi-työ, kallion poraus ja louhinta, valimot ja rakennustyömaat. Valimoissa käytetään erilaisia hiekoja, joista pölyongelmat syntyvät. Käytetty hiekka vaikuttaa pölypitoisuuteen. Suurin hienopölyn kvartsipitoisuus syntyy käytettäessä murskattua kvartsihiekkää. Oliiviini- ja kromiittihiekka eivät sisällä kvartssia, tällöinkin pölyn joukossa voi esiintyä kvartssia, jos sideaineena käytetään bentoniittia. Merenpohjan hiekat ovat vähän pölyäviä ja hienopölyn kvartsipitoisuus jää muutama prosenttiin. Kvartsipitoisuudet työilmassa voivat olla suuria hiekanvalmistuksessa, valukehien tyhjennyksessä ja puhdistuksessa. Kaikkein suurimmat kvartsipitoisuudet esiintyvät uunien ja valusankojen huoltotoissa. Vaikka työvaiheet saattavat jäädä lyhyiksi, näihin työvaiheisiin liittyy silikoosiriski.

Rakennustyömaan yksi suurimmista ongelmista on kvartsipitoinen betonipöly. Tässä suhteessa haitallisimpia työvaiheita on kuivahionta käsihiomakoneilla, jolloin altistutaan suurilla kokonaispöly- ja kvartsipitoisuuksille. Muita pölyisiä työvaiheita ovat raivaus- ja siivoustyöt (kuivaharjaus) sekä tasoitteen paineilmaluiskutus.

#### KVARTSI JA KVARTSIPITOISET PÖLYT

Piidioksidin kiteiset muodot:

- kvartsi, kristobaliitti, tridymiitti

Vaikutus terveyteen:

- ärsytys
- hienojakoisen ( $<5 \mu\text{m}$ ) kvartsipölyn pitkäaikaisvaikutus on silikoosi
- aiheuttaa keuhkosityöpää

Altistuminen:

Altistumista on työpaikoilla, joilla käsitellään kiveä tai kiviainesta

- kivien louhinta ja jalostus
- kaivostyöt
- lasimassan valmistus
- rakennustuoteteollisuus
- valimoissa (muottien tyhjennys, kaavaus ym.)
- maanrakennustyöt
- rakennustyöt (purku, piikkaus, hionta, siivous ym.)

Raja-arvot:

piidioksidi, kiteinen (kvartsi)	0,05 $\text{mg}/\text{m}^3$
epäorgaaninen pöly	10 $\text{mg}/\text{m}^3$
piidioksidi, amorfinen	5 $\text{mg}/\text{m}^3$

Torjuntatoimenpiteillä voidaan vaikuttaa pölypitoisuuksiin. Työntekijän pölyaltistuksen pienentämisen lähtökohtana on oltava pölyä synnyttävien työvaiheiden kotelointi ja pistekohtainen pölynpoisto. Hyvälläkään yleisilmanvaihdolla ei voida ratkaisevasti vaikuttaa yksittäisten työvaiheiden pölyisyyteen.

Henkilönsuojain voi olla joko paineilmaletkulaite tai hiukkassuodatinsuojain, suodatin P3. Yli kahden tunnin käyttöjaksolle suositellaan puhaltimella toimivaa suodatinsuojainta. Raepuhalluksessa käytetään puhaltimella varustettua raepuhallushuppua tai -kypärää.

Lisätietoa:

1. Kemikaalit ja työ -kirjan luku, Kvartsipöly. [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/80164822-FFA6-484E-8B1B-34E2A55751AE/0/4\\_1\\_Kvartsipoly.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/80164822-FFA6-484E-8B1B-34E2A55751AE/0/4_1_Kvartsipoly.pdf)

## Asbesti

Asbestilla tarkoitetaan kuitumaisia silikaattimineraaleja, joista yleisimmät ovat krysotiili (valkoinen asbesti), krokidoliitti (sininen asbesti), amosiitti ja antofylliitti. Asbestikuidut ovat yleensä ohuita, halkaisija on alle 1 µm. Asbestimineraalit kestävät hyvin kuumuutta, kosteutta, happoja sekä emäksiä ja niillä on hyvä sähkön eristyskyky. Näiden ominaisuuksiensa takia asbestia on käytetty noin 3000 tarkoitukseen. Yksinomaan rakennusmateriaaleista löytyi 250 asbestia sisältävää tuotetta.

Asbestia käsiteltäessä vapautuu ilmaan hienojakoista pölyä, jossa on kuituja. Kuidun läpimitta, pituus, muoto ja jäykkyys määräävät sen käyttäytymisen ilmapirrassa, myös sen, miten syväälle hengityselimiin kuitu joutuu. Keuhkorakkuloihin pääsevät kuidut ovat läpimitaltaan alle 3 µm, mutta hyvin ohuen kuidun pituus saattaa olla jopa 200 µm. Juuri nämä pitkät ohuet kuidut aiheuttavat keuhkosairauksia esim. asbestoosin. Altistumisen alkamisesta taudin puhkeamiseen kuluva aika voi vaihdella altistuksen laadusta ja määrästä riippuen 10–40 vuoteen. Usein asbestoosiin sairastuneelle kehittyy myöhemmin keuhkosityöpä. Tupakointi lisää huomattavasti asbestityöntekijän keuhkosityöpäriskiä. Suomessa on arvioitu asbestin aiheuttavan vuosittain 100–200 keuhkosityöpätapausta. Asbesti voi aiheuttaa myös mesoteliomaa, keuhkopussin tai vatsaontelon pahanlaatuista kasvainta.

Työperäinen asbestialtistuminen on voimakkaasti vähentymässä. Asbestituoteteollisuus on loppunut Suomesta vuonna 1988. Nykyisin asbestille voi altistua rakennusten ja laivojen purkutöissä ja erilaisissa teollisissa huolto- ja kunnostustöissä.

Suurimmat altistukset asbestille löytyvät rakennusten purkutöistä, näissä pölyisimpiä ovat eristysmassojen purku sekä asbestipitoisilla laasteilla kiinnitettyjen laattojen irrotus. Purku tehdään yleensä kuivamenetelmin, jolloin eristettä ei kostuteta. Tällöin pölypitoisuudet ovat suuria. Asbestipitoisten rakenteiden purku ja saneeraus edellyttää tekijöiltä työsuojeluviranomaisten lupaa ja työnantajalta ilmoitusta työsuojeluviranomaisille. Purkutöiden aikana on huolehdittava siitä, että pöly ei pääse leviämään muualle rakennukseen.

Asbesti on ollut huolenaiheena työpaikoilla, joiden rakennusmateriaalissa on käytetty asbestia tai joilla on aiemmin purettu asbestia. Normaalin käytön aikana materiaaleista irtoavan asbestin pitoisuudet ovat mittauksissa olleet yleensä pieniä, 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>, mutta asbestipurun jälkeen kuitupitoisuudet voivat olla selvästi suurempia. Jos asbestipurku tehdään huolella, määräkyskiä noudattaen, kuituja ei leviä ympäristöön ja purkutyön aiheuttama haitta ympäristölle tai tilassa myöhemmin työskenteleville on pieni.

Asbestia sisältävät tuotteet, materiaalit ja esineet on varustettava varoitusmerkinnällä: "sisältää asbestia" (TSH:n päätös 929/88). Asbestin käyttöä, käyttötapaa ja altistumista on säädelty valtioneuvoston päätöksellä (VNp 1380/94 ja VNa 318/2006). Sillä pyritään rajoittamaan asbestin käyttöä, samoin säätelemään työolosuhteita, jossa asbestia käytetään. Asbestipölyn sitova raja-arvo on 0,1 yli 5  $\mu\text{m}$ :n kuitua/ $\text{cm}^3$ . Asbestille altistuvat työntekijät tulee ilmoittaa ASA-rekisteriin. Ennen rakennusten saneerausta on huolella selvitettävä, missä asbestia on käytetty. Vain hyvin pienet, kestoltaan alle tunnin purkutyöt voidaan tehdä ilman viranomaisten lupaa. Mutta tällöinkin työ on tehtävä ns. pölyttömästi.

#### ASBESTI

Kuitumaisia silikaattimineraaleja:

- krysotiili, krokidoliitti, amosiitti, antofyliitti
- ohuita kuituja, halkaisija alle 1  $\mu\text{m}$

Vaikutus terveyteen:

- keuhkosityöpä
- mesotelioma (keuhkopussin tai vatsaontelon syöpä)
- asbestoosi (pölykeuhkosairaus, latenssiaika 20 – 40 vuotta)

Altistuminen:

- rakennusten ja laivojen purkutyöt
- autojen huoltotyöt
- teolliset huolto- ja kunnostustyöt

Mittausmenetelmä:

Näytteen keräys suodattimelle, kuitulaskenta valomikroskoopilla, tunnistus elektronimikroskoopilla

Raja-arvo:

0,1 kuitua/ $\text{cm}^3$

(kuidun pituus yli 5  $\mu\text{m}$ , halkaisija alle 3  $\mu\text{m}$ , pituuden suhde halkaisijaan vähintään 3:1)

#### Talkki

Alkuperästä riippuen saattavat talkkituotteet sisältää vaihtelevia määriä kuitumaisia silikaattimineraaleja. Suomalaisista talkkikaivoksista louhittu talkki on vähäkuituista. Kaivosten ja rikastamoiden ilmassa kuitupitoisuudet ovat yleensä alle työhygieenisen raja-arvon, vaikka kokonaispölypitoisuudet olisivat hyvinkin suuria. Sen sijaan käytettäessä eräitä ulkomaisia talkkituotteita esimerkiksi maalien, kattuhuovan tai kumituotteiden valmistukseen, voi kuitupitoisuus työpaikan ilmassa olla suurempi.

#### Synteettiset epäorgaaniset keinokuidut

Lasi- ja vuorivilla ovat korvanneet asbestituotteita monissa rakennusteollisuuden käyttökohdeissa. Kuitupitoisuudet ovat olleet sekä tuotantovaiheissa että tuotteiden käytössä yleensä pieniä, kun mittausmenetelmässä sovelletaan asbestikuitujen laskentaperusteita. Ilman kuitupitoisuuteen vaikuttavat kuitupaksuus ja sideaineet.

Lasivilla- ja vuorivillapöly luokitellaan ns. vähätehoisiksi pölyiksi. Pöly on kuitenkin ihoa ja hengitysteitä voimakkaasti ärsyttävä. Viime vuosina on raportoitu, että myös muut kuitumaiset mineraalit saattavat aiheuttaa samankaltaisia sairauksia kuin asbesti. Otaksutaan, että kaikki kuitumaiset mineraalit, jotka täyttävät tietyt kuituominaisuudet (kemiallinen rakenne, pitkä, ohut kuitu) ovat haitallisia. Tietty keraamiset kuidut on luokiteltu syöpävaarallisiksi (Cars, Cat. 2).

## Henkilönsuojaimet

Kertakäyttöinen pölytiivis suojahaalari, suojakäsineet, kumisaappaat, P3-luokan suodattimella ja puhaltimella varustettu hengityksensuojain (CE-merkintä).

### Lisätietoa:

1. Asbesti. Kirjassa Kemikaalit ja työ. [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/5E9F354B-98D1-425C-A77E-EB83D8DEEC6F/0/6\\_1\\_Asbesti.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/5E9F354B-98D1-425C-A77E-EB83D8DEEC6F/0/6_1_Asbesti.pdf)
2. Teolliset mineraalikuidut. Kirjassa Kemikaalit ja Työ. [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/67CE731A-9DF0-4B85-902E-8B2BA8C381B5/0/4\\_2\\_Teoll\\_mineraalikuidut.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/67CE731A-9DF0-4B85-902E-8B2BA8C381B5/0/4_2_Teoll_mineraalikuidut.pdf)
3. Rakennusalan asbestialtistumisesta ja suojautumisesta. <http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Rakennusterveys/Turvapakki/Asbesti.htm>
4. Asbesti rakennuksissa. <http://fi.osha.europa.eu/publications/eashw/facts51.pdf>
5. Asbesti työsuojelupiirien sivuilla. <http://www.tyosuojelu.fi/fi/asbesti>

### 2.2.1.2 Metallit

Metallit ovat epäyhtenäinen ryhmä, myös metallien myrkylliset vaikutukset ovat erilaisia. Alumiini, elohopea ja lyijyn pääasiallinen kohde-elin on hermosto, nikkelin ja kromin iho sekä kadmiumin munuainen. Eräät metallipölyt aiheuttavat keuhkosairauksia, jotkut allergista ihottumaa, eräät kasvaimia. Metallien käyttäytyminen elimistössä vaihtelee. Metallien eri yhdisteet imeytyvät elimistöön eri tavalla. Jokin suola on vesiliukoinen ja imeytyy nopeasti keuhkoista, toinen saman metallin suola on liukenematon ja jää hengitysteihin pitkiksi ajoiksi. Esim. nikkeli, kromi ja koboltti erittyvät elimistöstä yleensä päivässä, kun taas lyijy kertyy luihin ja kadmium munuaisiin jopa vuosikymmeniksi.

<p>TYÖPERÄINEN ALTISTUMINEN METALLEILLE</p> <p>Myrkylliset metallit: arseeni, beryllium, kadmium, lyijy, elohopea, koboltti, kromi, nikkeli, kupari, sinkki, alumiini</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- pölyt</li> <li>- haurut (yleensä oksideja)</li> <li>- metallisuolaudut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hionta, ruiskumaalaus, metalliruiskutus</li> <li>- valu, hitsaus, juotos, sulatus</li> <li>- pintakäsittelylaitokset</li> </ul>
<p>Hiukkaskoko:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pölyt 0,01–100 µm</li> <li>- haurut ja udut &lt;5 µm</li> </ul> <p>Mittaus: Näytteen keräys suodattimelle, metallianalyysi atomiabsorptio-spektrofotometrisesti (AAS)</p>	

Metallit ovat kiinteitä aineita. Näin ollen tavallisin altistumistapa on altistuminen pölylle tai haurulle hengitysteitse. Poikkeus on elohopea, joka on neste ja höyrystyy jo huoneen lämpötilassa. Metallien sulatuksessa muodostuvat haurut ovat pääasiassa oksideinaan, kun taas työstössä muodostuvat pölyt ovat koostumukseltaan samat kuin työstettävä metalli. Eräiden metallien yhdisteitä käytetään pinnoituksessa ja näissä prosesseissa voidaan altistua metallisuolauille tai nestesumuille. Usein metallialtistumiseen liittyy myös muita altisteita. Raaka-aineiden käsittelyyn, sulatusprosesseihin ja valutöihin liittyy pöly- ja kaasuongelmia. Metallien tuotannossa tärkeimmät altisteet metallihuurujen lisäksi ovat hiilimonoksidi ja PAH-yhdisteet (PAH = polyaromaattiset hiilivedyt). Valimoissa altistutaan muottien valmistuksessa ja purussa mm.

kvartsia sisältäville pölyille. Valun aikana altisteina ovat metallihuurut, hiilimonoksidi ja muottien hartsien palamis- ja lämpöhajoamiskaasut. Metallituotteiden valmistuksessa metalleille ja metalliyhdisteille altistumista tapahtuu hitsauksessa, teräksen leikkauksessa, pintakäsittelylaitoksissa ja maalauksessa (metalliyhdisteet pigmenteissä). Metalleille altistumista hitsauksessa on tarkasteltu luvussa 4.1.

Lisätietoa:

1. Metallit. Kirjassa Kemikaalit ja työ.

<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+kemikaalitietoa/Kemikaalit+ja+tyo/sisallysluettelo.htm>

### 2.2.1.3 Orgaaniset pölyt

Työympäristössä tavallisimpia orgaanisia (eloperäisiä) pölyjä ovat eri puulajien pölyt, jauho- ja viljapölyt, puuvilla-, pellava- ja tekstiilipölyt, muovi- ja hartsiaerosolit sekä erilaiset bioaerosolit. Orgaanisten pölyjen aiheuttamat työperäiset sairaudet ovat tavallisimmin yliherkkyysairauksia, kuten ammattiaistma, allerginen nuha, työperäiset alveoliitit, (joista tunnetuin homepölykeuhko) byssinoosi ja krooninen bronkiitti.

#### Puupölyt

Puupölyä syntyy kaikessa puun työstössä. Pölyongelmia esiintyy varsinkin sahoilla, puusepänteollisuudessa ja levyteollisuudessa. Pölyn koostumus vaihtelee eri aloilla, se voi sisältää puun alkuperäisten aineosien lisäksi tuotteiden valmistuksessa käytettyjä lisäaineita, kuten liimat, maalit yms. tai puussa kasvavia mikrobeja, esim. homeita. Lisäaineista erityismerkittävien ansaitsevat sahalaitoksissa käytettävät homeenestoaineet (sinistymisenestoaineet). Työstettäessä näillä aineilla käsiteltyä puuta, sisältää pöly myös homeenestoaineita ja niiden muuntumistuotteita. Jos taas homeenestoaineita ei ole käytetty, voivat työhygienian ongelmina olla homeet.

#### PUUPÖLYN AIHEUTTAMAT TERVEYSHAITAT

1. Mekaaniset vaikutukset:
  - haavat → tulehdus
2. Toksiset vaikutukset:
  - aiheuttaa myrkytysoireita
  - puulajit, jotka sisältävät alkaloideja tai glykosideja (marjakuusi, oleanteri, mansonia, afrormosia, laburnum)
3. Ärsytysvaikutukset:
  - kaikki puupölyt aiheuttavat hengitysteiden ärsytystä
  - $>2 \text{ mg/m}^3$  värekarvamekanismin toimintavajaus
  - ärsytysihottuma
4. Herkistävyys:
  - allerginen nuha, astma, allerginen alveoliitti (pyökki, tammi, lännen seetripuu, mänty, kuusi)
  - allerginen ihottuma (iroko, tiikki, abachi, pyökki, mahonki, makore)
5. Syöpäsairauden vaara:
  - kovapuupöly (tammi, pyökki)

Tavallisimmat puupölyn aiheuttamat terveyden vaarat ovat allerginen nuha ja astma. Kaikkien puulajien pöly voi aiheuttaa hengityselinten yliherkkyyssairauksia, mutta voimakkaampina aiheuttajina pidetään eräitä trooppisia puulajeja (abachi, iroko, pyökki). Pöly voi myös aiheuttaa ihottumaa. Lisäksi eräiden puulajien pölyn tiedetään lisäävän nenäsyövän vaaraa. Kovapuupöly on luokiteltu syöpävaaralliseksi (esim. tammi ja pyökki).

Terveydellisiä haittoja voi esiintyä puusepänteollisuudessa mm. sahaajilla, sorvaajilla ja hiojilla. Vaikeimmat ongelmat ovat ulkomaisten puulajien hionta- ja kiillotustyössä. Koneellinen kiillotus tuottaa eniten pölyä ja se on hienojakoista. Oireiden yleisyyden ja hienopölypitoisuuden välillä näyttää olevan yhteys.

Puupölyn torjunnassa keskeisimpiä kohteita ovat puuntyöstökoneet ja niiden varustaminen kohdepoistoilla, erityisesti käsin- ja konehiontapaiikkojen sekä sahojen kohdepoistot. Puusepänteollisuus käyttää yleisesti paineilmaa puhdistustarkoituksiin, mikä on varsin runsaasti pölyä synnyttävä menetelmä. Tämän korvaaminen vähemmän pölyävällä menetelmällä olisi yksi keskeinen pölyntorjuntakeino.

#### YHTEENVETO PÖLYNTORJUNNASTA VANERI- JA LASTULEVYTEOLLISUUDESSA

Työstökoneiden pölynpoistolaitteet

- koteloinnin tehokkuus
- koteloinnin muotoilu
- poiston tehokkuus

Paineilmapuhdistuksen korvaaminen

Henkilökohtaiset suojaimet

Siivous säännöllisesti ja riittävän usein

- teollisuuspölynimurit
- keskusimurijärjestelmä

Lisätietoa:

1. Puupöly. Kirjassa Kemikaalit ja työ. [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/C7FF4BBB-0664-4842-8156-32784A578C7E/0/4\\_4\\_Puupoly.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/C7FF4BBB-0664-4842-8156-32784A578C7E/0/4_4_Puupoly.pdf)

#### Vilja- ja jauhopölyt

Maataloudessa, myllyissä, rehuteollisuudessa, leipomoissa ja eräillä elintarviketeollisuuden työpaikoilla altistutaan erilaisille orgaanisille pölyille (eläinten hilsepöly, rehpölyt, viljapöly ja jauhopöly). Jo viljan ja jauhon käsittelyssä syntyvä pöly sisältää hyvin erilaisia komponentteja, kuten homeita ja bakteereja sekä bakteereista peräisin olevia endotoksiineja. Viljapöly voi sisältää punkkeja, kvartssia ja torjunta-ainejäämiä. Elintarvikkeiden valmistuksessa samanaikaisesti käsitellään viljasta jauhettujen jauhojen ohella myös muita pölyäviä aineita, esim. sokeria, maitojauheita, tärkkelysjauhoja jne. ja pölyt voivat sisältää myös jauhojen lisäaineita, kuten kohotusaineita, vitamiineja, hivenaineita ja mausteita. Lisäaineiden joukossa voi olla herkistäviä aineita, kuten entsyymit ja eräät mausteet.

Tehtyjen tutkimusten ja pölypitoisuusmittausten perusteella suurimman merkittävissä määrin jauhopölylle altistuvan ryhmän muodostavat leipomotyöntekijät. Leipomoissa todetaan myös suurin osa jauhopölyn aiheuttamista ammattitauodeista. Taikinantekijät ovat eniten altistuva työntekijäryhmä. Lukumäärältään eniten altistuvia on maataloudessa, mutta vilja- ja jauhopölylle altistuminen on erilaista leipomoaltistukseen verrattuna. Maataloudessa altistuminen on usein vain muutamia tunteja päivässä ja jauhopölyn osuus muusta pölystä on pieni esimerkiksi nautakarjatiloiilla tai altistuminen ei ole ympärivuotista (viljatilat).

Pölyisiä töitä ovat viljan ja jauhojen siirto tai annostelu, yleisesti käsin tehtävissä työvaiheissa pölypitoisuudet ovat suuria. Useilla elintarvikealan työpaikoilla säkitys ja pakkaus ovat eniten altistavia työvaiheita. Säkityslaitteiden automatisointi ja varustaminen kohdepoistoilla alentaisi merkittävästi pakkaamojen pölypitoisuutta.

Leipomoissa taikinapatojen sulkeminen ja jauhojen annostelulaitteet sekä patojen varustaminen kohdepoistoilla parantaisi eniten altistuvan ryhmän eli taikinantekijöiden työoloja merkittävästi. Ylöslyönnissä voitaisiin käyttää nykyistä enemmän paikallispoistoja. Annosteltaessa jauhoja käsin on työtavalla vaikutusta pölypitoisuuksiin. Siivoojat altistuvat myös suurille pölypitoisuuksille. Siivoustyössä harjan käyttö on vieläkin varsin yleistä. Harjasiivouksesta siirtyminen teollisuusimureiden käyttöön tai mieluummin keskuspölynimurisiivoukseen parantaisi olennaisesti siivoojien työoloja ja vähentäisi yleensä työtilojen pölypitoisuuksia.

### Puuvilla- ja tekstiilipölyt

Byssinoosi on puuvilla-, pellava- tai hampuppölyn aiheuttama sairaus, joka muistuttaa astmaa. Puuvillapöly on yleisin ja tehokkain byssinoosin aiheuttaja. Puhdas puuvillakuitu ei aiheuta sairautta. Niinpä byssinoosia on esiintynyt perustekstiiliteollisuuden tuotannon alkuvaiheessa työskentelevillä. Riskialttiita töitä ovat puuvillapaalien avaus, puuvillan sekoitus ja koneellinen puhdistus sekä karstausta. Altistuminen voi olla voimakasta myös siivoustöissä ja koneiden korjaus- ja huoltotöissä. Kutomoissa ja ompelimoissa esiintyvä pöly ei sisällä byssinoosin aiheuttajia.

Kankaista irtoava pöly, ns. tekstiilipöly, sisältää kuitujen lisäksi erilaisia väri-, viimeistely- ja apuaineita, joita on käytetty kuidun valmistusvaiheessa tai lankojen ja kankaan käsittelyssä. Pöly koetaan tekstiiliteollisuudessa ja etenkin ompelevassa teollisuudessa merkittäväksi ongelmaksi. Vaikka painomääräiset pölypitoisuudet hengitysilmassa ovat olleet pieniä vähätehoisen orgaanisen pölyn HTP-arvoon 5 mg/m<sup>3</sup> verrattuna, esiintyy altistuneilla hengitysteiden oireilua, ärsytystä ja yliherkkyyttä. Syynä lienevät ennen kaikkea pölyn sisältämät kemikaalit. Tekstiilit voivat aiheuttaa myös ihottumaa.

Lisätietoa:

1. Orgaaniset pölyt. Kirjassa Kemikaalit ja työ. [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/FAA30121-DA40-43A9-9ECB-25CFD7DC13D9/0/4\\_3\\_Orgaaniset\\_polyt.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/FAA30121-DA40-43A9-9ECB-25CFD7DC13D9/0/4_3_Orgaaniset_polyt.pdf)
2. Hengityselinsairauksille herkistävät aineet. <http://fi.osha.europa.eu/publications/eashw/facts39.pdf>

## 2.2.2 Kaasut

### Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi eli häkä on väritön, hajuton ja mauton kaasu, joka on hieman ilmaa kevyempää. Sitä syntyy hiilipitoisten aineiden epätäydellisessä palamisessa. Hiilimonoksidia on bensiinimoottorien pakokaasuissa 2–6 % ja dieselpakokaasuissa 0,1–1 %. Tulipaloissa ja räjähdyksissä sitä voi muodostua runsaastikin. Hiilimonoksidi sekoittuu ilmaan ja muodostaa sen kanssa räjähtävän seoksen. Se voi tunkeutua maakerrosten ja muiden huokoisten materiaalien läpi.

Hiilimonoksidi sitoutuu veren punasolujen hemoglobiiniin muodostaen karboksihemoglobiinia ja estää hapen kuljetusta kudoksiin.

Koksaamoissa kivihiilen tislauksessa muodostuvassa kaasussa on useita prosentteja hiilimonoksidia. Hiilimonoksidia käytetään metallurgisessa teollisuudessa, mm. nikkelin valmistuksessa, pelkistimenä. Työpaikoilla hiilimonoksidi on yleensä ei-toivottu reaktiotuote. Valimoissa, rauta- ja terästehtaissa häkää synnyttävät mm. hiili- ja kaavauskiekkujen orgaaniset sideaineet. Hiilimonoksidia muodostuu myös mm. öljynjalostamoissa sekä formaldehydin ja voimapaperimassan valmistuksessa. Pakokaasujen häkää on työllman epäpuhtautena mm. autokorjaamoissa, varastoissa, kaivoksissa, katsastuskonttoreissa, autolautoilla, paikoitushalleissa ym. Merkittävä hiilimonoksidia sisältävä ympäristöaltiste on tupakansavu.

#### Altistuminen

Rauta- ja terästeollisuuden masuunityöntekijät altistuvat ajoittain suurille, jopa yli  $100 \text{ cm}^3/\text{m}^3$  hiilimonoksidipitoisuuksille. Myös koksaamoissa on tietyillä alueilla suuria pitoisuuksia; vaara on torjuttu asentamalla hälytysjärjestelmiä ja varustamalla työntekijät raitisilmalaitteilla vaarallisimmassa kohteissa työskentelyä varten.

Valimoissa hiilimonoksidia esiintyy etenkin valupaikoilla ja valujen jäähtymisalueilla. Aiemmin yleiset kupoliuunit, joissa sattui häkävuotoja, on suureksi osaksi korvattu sähköuuneilla, joissa kaasuhaitat ovat vähäisiä. Valimoiden ilmanvaihtoa parantamalla on häkäaltistumisia saatu alennetuksi, nykyisin myös valajien keskimääräinen altistuminen on alle raja-arvojen. Konepajojen hitsaustöissä voivat hiilimonoksidipitoisuudet joskus kohota käytettäessä suuria määriä kiertoilmaa, sillä suodattimet eivät poista ilmasta hiilimonoksidia.

Autojen pakokaasujen aiheuttamat hiilimonoksidipäästöt ovat nykyisellään melko hyvin hallinnassa sekä autokorjaamoissa että katsastuspaikoilla, kun autojen pakoputkiin liitetään jo sisään ajettaessa kohdepoisto. Dieselajoneuvojen häkäpitoisuudet voivat kohota haitallisiin pitoisuuksiin tunnelityömailla, jos ajoneuvojen huolto on laiminlyöty. Satunnaisesti voi hiilimonoksidia esiintyä myös keramiikka- ja leipomouunien vuototilanteissa ja aina, kun orgaaninen aine palaa.

#### Typenoksidit

Typenoksidi (NO) on väritön, makeanhajuinen, palamaton kaasu, joka helposti hapettuu typpidioksidiksi  $\text{NO}_2$ . Typpidioksidi on lämpötilan mukaan kaasu tai helposti kaasuuntuva neste. Kaasu on punaruskeaa, ilmaa raskaampaa ja pistävän hajuista. Se on huoneenlämmössä tasapainotilassa  $\text{NO}_2$ :n ja typpitetroksidin  $\text{N}_2\text{O}_4$  välillä. Typpidioksidi reagoi voimakkaasti pelkistimien kanssa.

Typpidioksidi ärsyttää silmiä ja hengitysteitä, suuret pitoisuudet voivat aiheuttaa usean tunnin viiveellä keuhkopöhön. Typpihappohöyryt sisältävät aina typenoksideja.

Typpioksidi ja typpidioksidi ovat välituotteita valmistettaessa typpihappoa ammoniakista. Tulistettu ammoniakki hapetetaan katalyytin avulla typpioksidiksi, joka hapettuu  $\text{NO}_2$ :ksi, josta veteen imeytettynä muodostuu typpihappoa. Typpidioksidia muodostuu käytettäessä typpihappoa esimerkiksi metallien peittaukseen tai puhdistukseen, nitrauksessa räjähdysaineteollisuudessa ja käytettäessä typpipitoisia räjähdysaineita räjäytystöissä. Myös ilmatiiviissä viljasiloissa saattaa viljan nitraateista ja nitriiteistä muodostua haitallisia määriä typpidioksidia. Typen oksideja muodostuu ilman tpestä ja hapestamasta mm. kaasu- ja kaasukaarihitsaus sekä polttoleikkauksissa ja lisäksi niitä esiintyy öljyä ja maakaasua käyttävien voimalaitosten päästöissä, tupakansavussa sekä bensiini- että dieselajoneuvojen pakokaasuissa.

## Altistuminen

Typpihappoteollisuudessa typpioksidi ja typpidioksidi ovat suljetussa prosessissa ja työntekijöiden altistuminen on vähäistä normaalioloissa. Häiriötilanteissa, joissa prosessista pääsee vuotoja, vaaralliset pitoisuudet syntyvät nopeasti, ja tähän on varauduttu tehtaiden katastrofi-suunnitelmissa.

Hitsattaessa konepajassa, jossa on hyvä ilmanvaihto, pysyvät typenoksidien pitoisuudet pieninä. Kun hitsataan tai polttoleikataan säiliöitä tai muita suljettuja rakenteita esimerkiksi laivoissa, korkeat typpidioksidipitoisuudet saattavat aiheuttaa akuutin myrkytysvaaran. Pitempään kestävässä säiliöhitsauksissa tarvitaankin paineilmalaitteet.

Räjätyskaasuissa on suuria määriä typpidioksidia. Ongelmallisimpia ne ovat maanalaisilla tunnelityömailla, joissa tuuletus on huonompi kuin kaivoksissa. Tunnelityömailla typenoksidien pitoisuutta kohottavat lisäksi dieselkäyttöiset työkonet. Murskeen lastausvaiheessa voivatkin typpidioksidipitoisuudet pitkissä tunneleissa olla yli  $20 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ , mikä aiheuttaa jo akuutteja oireita. Jatkamalla tuuletusaikaa, tehostamalla tuuletusta ja huoltamalla työkonet hyvin voidaan altistumista typenoksideille vähentää.

Dieselautojen ja -trukkien käyttö varastoissa aiheuttaa myös typen oksidien päästöjä, mutta pitoisuudet ovat työpaikan ohjearvoihin verrattuna pieniä. Liikenteessä työskentelevien työympäristössä typenoksidien pitoisuudet ovat alle  $1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ .

## Rikkivety

Rikkivety on limakalvoja ärsyttävä kaasu ja voimakas myrky. Vuosittain tapahtuu muutamia äkillisiä myrkytyksiä, osa näistä on ollut vakavia. Pienissä pitoisuuksissa rikkivety on helposti havaittavissa (mädän kananmunan hajua), mutta suurissa pitoisuuksissa hajuaisti turtuu nopeasti ja hajua ei enää havaita.

### RIKKIVEDYN VAIKUTUKSIA

10 ppm eli $14 \text{ mg}/\text{m}^3$	HTP-arvo
100–500 ppm	päänsärky, huimaus
600–700 ppm	tajuttomuus
800–1000 ppm	kuolema voi aiheutua puolesta tunnissa

Rikkivetyä ei käytetä raaka-aineena Suomessa. Sulfidiliuoksia käytetään jonkin verran esim. nahkateollisuudessa, ja niistä voi vapautua rikkivetyä. Sulfaattiselluloosan keitossa käytetään natriumhydroksidia ja natriumsulfidia. Keitossa syntyvät haihtuvat rikkiyhdisteet ovat pääosin rikkivetyä, metyylimerkaptania, dimetyylisulfidia ja dimetyylidisulfidia. Myös viskoosikuitujen valmistuksessa syntyy sivureaktiossa rikkivetyä. Rikkivetyä muodostuu orgaanisesta aineesta anaerobisissa oloissa, jos pH ja lämpötila ovat sopivat. Bakteerit muodostavat rikkivetyä lietelantaloissa ja jätevesilaitoksissa.

Rikkivetyä esiintyy sellutehtaiden ja kunnallisten jätevedenpuhdistamojen tietyillä alueilla kuten suodatuslaitteistojen ympäristössä. Suuria pitoisuuksia voi kehittyä sellutehtaiden massasäiliöissä seisokkien aikana, jätevedenpuhdistamojen suotonauhojen ja välppien ympäristöön, lietelantoihin, jätevesikaivoihin ja käytöstä poistettuihin viemäreihin. Sulfideista vapautuu rikkivetyä happamissa liuoksissa, joka on huomioitava kemikaalien käsittelyssä esim. pintakäsittelylaitoksissa.

## Kloori

Kloori on epäorgaaninen voimakkaasti hapettava ja syövyttävä kaasu, jolla on voimakas pistävä haju. Se hapettaa, valkaisee ja syövyttää useimpia rakenteita ja monia metalleja. Kaasuna se on ilmaa raskaampaa. Kloori on voimakkaasti silmiä ja hengitysteiden limakalvoja ärsyttävä. Voimakas altistuminen (100–150 ppm) voi aiheuttaa vähäoireisten tuntien jälkeen (3–12 h) hengenvaarallisen keuhkopöhön. Kloorin hajukynnys on 0,5–1 ppm.

Tärkeimmät käyttöalueet ovat valkaisuaineena puunjalostus- ja tekstiiliteollisuudessa sekä desinfektioaineena vedenpuhdistuslaitoksissa ja elintarviketeollisuudessa (käyttö yleensä hypokloriittina). Kloorin käyttö on vähenemässä. Altistumista voi tapahtua puunjalostusteollisuuden massanvalkaisussa ja valkaisuprosesseissa myös muussa teollisuudessa. Altistavia töitä voi olla elintarviketeollisuudessa, vesilaitoksilla ja uimahalleissa. Altistumiset ovat usein luonteeltaan tapaturmaisia prosessihäiriöiden aikana sekä putkivuotojen ja korjausten yhteydessä.

Maanteillä ja rautateillä kuljetetaan suuria määriä klooria paineistettuna kaasuna, mikä aiheuttaa omat riskinsä niin kuljetuksissa työskenteleville kuin väestöllekin.

Lisätietoa:

1. Kaasumaisia yhdisteitä. Kirjassa Kemikaalit ja työ. <http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+kemikaalitietoa/Kemikaalit+ja+tyo/sisallysluettelo.htm>
2. OVA-ohjeet onnettomuuden vaaraa aiheuttavista kemikaaleista. <http://www.ttl.fi/ova/>

### 2.2.3 Orgaaniset liuotinaineet

#### HYVÄT HALLINTAMENETTELYT LIUOTINHÖYRYILLE ALTISTUMISEN VÄHENTÄMISESSÄ

1. Valitaan vaarattomin liuotin, jolla saadaan toivottu tulos. Korvataan vaarallinen liuotin vesipohjaisella tuotteella (esim. rasvanpoistossa), käytetään vaikeasti haihtuvia (kp. >100 °C) liuottimia ja valitaan mahdollisimman "myrkytön" liuotin
2. Tuotanto- ja työtilojen osastoinnilla, jolla estetään liuotinhöyryjen leviäminen tarpeettomasti muiden työalueille
3. Työn automatisointi ja epäpuhtauslähteen kotelointi
4. Työjärjestelyt ja sopivat työtavat
5. Tarkoituksenmukaisilla työvälineet (esim. ihoaltistumisen estäminen, epäpuhtauslähte on kauempana hengitysvyöhykkeestä)
6. Toimivat paikallispoistot ja yleisilmanvaihto
7. Käytetään henkilökohtaisia suojaimia, aktiivihiilisuodattimella varustettu hengityksensuojain (A-suodatin) ja läpäisemättömät suojakäsineet

Liuottimia ovat esimerkiksi:

alifaattiset hiilivedyt	mm. pentaani, heksaani
aromaattiset hiilivedyt	mm. betseeni, tolueni, ksyleeni, styreeni, PAH
sykliset hiilivedyt	sykloheksaani, terpeenit
halogenoidut hiilivedyt	metyleenikloridi, trikloorietyleeni
alkoholit	metanoli, etanoli, propanoli, butanoli
ketonit	asetoni, metyylietyyliketoni
eetterit	etyleeniglykolimonoetyylieetteri eli sellosolvi, oksitoli, 2-etoksietanoli
esterit	etyyliasettaatti, glykoliesteri, vinyliasettaatti
riikkihiili	

Liutainaineet ovat varsin heterogeeninen ryhmä niin ominaisuuksiltaan kuin terveydellisiltä haittavaikutuksiltaan. Lähes kaikki liutainaineet valmistetaan raakaöljystä. Öljytuotteet koostuvat etupäässä hiilivedyistä. Raakaöljyn syntyvästä johtuu, että mukana on myös pieniä määriä muita aineita, kuten rikkiä ja eräitä metalliyhdisteitä. Teollisuudessa käytettävät liuottimet ovat vain harvoin yksi kemiallinen yhdiste. Usein on kysymyksessä eri isomeerien seos tai keskenään lähisukuisten hiilivetyjen seos. Kuitenkin terveyshaittojen arvioinnin kannalta tällä on vain poikkeustapauksissa merkitystä, kemialliset lähisukulaisaineet ja isomeerit ovat myös toksisuudeltaan usein lähisukulaisia eli käyttäytyvät elimistössä samalla tavalla.

Useat liuottimet ärsyttävät limakalvoja ja silmien sidekalvoja. Hengitettäessä liuotinhöyryt vaikuttavat ensisijaisesti keuhko- ja ääreishermostoon. Liuottimet ovat huumaavia. Ne poistavat joutuessaan kosketuksiin ihon kanssa iholta suojaavaa rasvakerrosta, mistä voi seurata sekä ärsytysihottumaa että bakteerien aiheuttamia ihotulehduksia. Liuottimet voivat imeytyä elimistöön myös ihon läpi. Bentseeni, jonka käyttö on rajoitettu määräyksillä, aiheuttaa leukemiaa ja on siten luokiteltu syöpävaaralliseksi aineeksi. Kloorihiilivedyistä syöpää aiheuttaviksi epäiltyjä ovat hiilitetrakloridi ja kloroformi.

#### Altistuminen eri työaloilla

Voimakkaimmin altistuvia työntekijäryhmiä ovat lujitemuovityöntekijät (styreeni), erityisesti käsinlaminoija, puusepänteollisuuden ja metalliteollisuuden maalarit, muoviteollisuuden painotyöntekijät sekä eräät liimaustyön työntekijät. Maali- ja painoväriteollisuuden valmistusastioiden puhdistuksessa sekä eräissä liimaustöissä on esiintynyt suuria liuotinpitoisuuksia. Eniten käytettyjä liuottimia ovat liuotinbensiinityyppiset hiilivetyseokset, alkoholit, glykolyhdisteet ja aromaatit (ksyleeni, styreeni ja tolueni). Liuotinhöyryjen maalien ja liimojen käyttö on vähentynyt ja edelleen vähentymässä.

Useimmat liuottimet ovat helposti haihtuvia palavia nesteitä. Työympäristössä liuottimia käsiteltäessä aineen haihtuminen ympäröivään ilmatilaan onkin terveyshaittojen syntymisen kannalta tärkein syy. Liuotinhöyryjen haihtuvuutta voidaan tarkastella höyrynpaineen ja kiehumispisteen avulla tai sitten vertaamalla haihtuvuutta johonkin toiseen aineeseen.

Jos liuotin koostuu useista hiilivedyistä, ei voida määrittellä yhtä kiehumispistettä, vaan koko sarja kiehumispisteitä. Mitä enemmän hiiliatomeja molekyylissä on, sitä korkeampi on yksittäisen yhdisteen kiehumispiste ja näin ollen tuotteen kiehumisalue. Esimerkiksi moottoribensiinin kiehumisalue on +30—+200°C. Terveyshaittoja voi myös syntyä aineen joutuessa kosketuksiin ihon kanssa tai liuotinhöyryjen herkkään syttymisen seurauksena.

#### Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet

Vallitsevia työilmän liuotinhöyrypitoisuuksia arvioitaessa vertailuarvoina käytetään haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia (HTP). Pitoisuudet on annettu yksittäisille aineille. Käytännössä ilmassa usein esiintyy samanaikaisesti monia liuottimia, joilla voi olla yhteisvaikutuksia.

Huumaavien liuotinhöyryjen hermostollisten vaikutusten katsotaan olevan suoraan summattavan. Haitalliseksi tunnetun pitoisuuden katsotaan ylittyneen, jos

$$C1/HTP1 + C2/HTP2 + C3/HTP3 + \dots + Cn/HTPn \geq 1$$

C1 = aineen mitattu pitoisuus

HTP1 = aineen haitalliseksi tunnettu pitoisuus

Hiilivetyjä sisältävät liuotinbensiinit on jaettu viiteen ryhmään niiden koostumuksen mukaan. Hiilivetyryhmien pitoisuuksien mukaan määräytyy se, mitä raja-arvoa esim. mittaustulosten arvioinnissa käytetään (taulukko 3).

Taulukko 3. Liuotinbensiinien HTP-arvot

koostumus	liuotinbensiiniryhmä				
	ryhmä 1	ryhmä 2	ryhmä 3	ryhmä 4	ryhmä 5
aromaattipitoisuus	<1 %	1–25 %	>25 %	*)	<1 %
n-heksaanipitoisuus	<5 %	<1 %	*)	≥5 %	<5 %
syklo-/isoheksaanipitoisuus	<25 %	*)	*)	*)	≥25 %
muita hiilivetyjä	loput	loput	loput	loput	loput
HTP <sub>ih</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	200	100	100	500

\*) Pitoisuudella ei ole ryhmittelyn kannalta merkitystä.

Altistumisen arvioinnissa on lisäksi huomioitava mahdollinen ihon läpi imeytyminen, jos liuotinta joutuu kosketuksiin ihon kanssa. Sen sijaan laimeista liuotinhöyry-ilmaseoksista ihon läpi imeytyminen on käytännössä merkityksetöntä.

#### Altistumisen ja vaarojen hallinta

Liuotinaineet haihtuvat eri tavalla ja toisaalta niiden välillä on myös "myrkyllisyseroja". Alustavasti näitä voi tarkastella käyttöturvallisuustietojen perusteella. Liuottimen haihtuvuus (höyrynpaine ja kiehumispiste) vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka suuria pitoisuuksia ilmaan muodostuu. Päivittäiset käyttömäärät antavat myös kuvaa altistumistasosta, varsinkin kun huomioidaan haihtuvuus. Jos päivittäin käsiteltävä liuotinmäärä on vain muutamia kymmeniä millilitroja ja työ tehdään useina lyhyinä jaksoina, kuten esim. satunnainen puhdistus tai lukitteiden käyttö, eivät pitoisuudet nouse yleensä merkittäviksi. Tilanne muuttuu heti, jos käsiteltävät pinnat ovat suuria tai käsittelykohde on lämmin.

Liuotinaineille altistuminen hallitaan hyvin monilla työpaikoilla. Liuottimet rasvanpoistossa on korvattu emäksisillä pesuaineilla. Käytetään suljettuja laitteistoja, kuten pesukoneet. Työ tehdään vetokaapissa tai maalaus maalausta varten tehdyssä maalaamossa. Ilmastointi on toimiva ja suodattimet vaihdetaan ja koko ilmastointijärjestelmä huolletaan säännöllisesti. Työpisteiden sijoittelussa ja ilmastoinnissa huomioidaan kaikki työvaiheet, joissa liuottimia haihtuu, esim. maalaamon kappaleiden kuivauspaikka.

Tietyissä liuotintoissa, kuten ruiskumaalaus tai liuottimilla puhdistaminen ahtaissa tiloissa edellyttävät henkilönsuojainten käyttöä. Tällöin suojaimet on valittava kulloisenkin tilanteen mukaan. Esimerkiksi ruiskumaalauksessa liuotinsumun lisäksi ilmassa on kiinteitä hiukkasia, joten tarvitaan yhdistelmäsuodatin, jossa on liuottimille A-suodatin ja aerosolille P-suodatin (A2P2-suodattimella varustettu puhallinsuojain) tai sitten käytetään paineilmahuppua, jossa hengitysilma tulee paineilmaverkosta ja se käsitellään (vedenerotus, suodatus, paineensäätö) hengityskäyttöön sopivaksi.

Liuottimiin liittyy terveysvaarojen lisäksi myös muita vaaroja. Useimmat liuotinaineet ovat helposti syttyviä ja käyttökohteeseen voi muodostua räjähdyskelpoinen liuotinhöyry ja ilman seos. Liuottimien varastoinnissa on huomioitava paloturvallisuus ja liuottimien kanssa yhteen sopimattomat aineet (hapettavat hapot).

Lisätietoa:

1. Tietoja yksittäisten liuottimien vaaroista, terveysvaikutuksista ja suojautumisesta. OVA-ohjeet. <http://www.ttl.fi/ova/>

2. Kemikaalit ja työ -kirja. Orgaaniset liuottimet ja moottoripolttoaineet -luku.  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/>
3. KAMAT-tietokortit, esim. metallien rasvanpoisto, metallin maalaus, metallin liimaus. Tietoa vaaroista ja torjuntatoimenpiteistä.  
<http://www.ttl.fi/internet/partner/kamat>
4. ATEX-foorumi välittää ja jalostaa tietoa sekä antaa neuvontaa pk-yrittäjille, yritysten työntekijöille ja kansalaisille ATEX-säädösten soveltamisessa. [www.ttl.fi/atex](http://www.ttl.fi/atex)

## 2.3 Ihon altistuminen

### IHOALTISTUMISEN HALLINTAMENETTELYT

1. Työhön on valittu turvalliset aineet ja työmenetelmät
2. Työpaikka ja työvälineet ovat siistit
3. Ihoa vahingoittavat aineet ja tekijät ovat tiedossa ja riskit arvioitu
4. Ihon suojaus on tehty oikein; työvaatteet, suojakäsineet, kasvojen suojaus
5. Oikeanlaiset suojakäsineet, suojaimet ovat puhtaat, suojainten huolto ja säilytys on järjestetty
6. Ihon puhdistus ja hoitomahdollisuus on järjestetty (oikea pesuaine, perusvoide)
7. Työntekijät huolehtivat ihon puhtaudesta ja hoitavat ihoa

Ihoaltistumisen aiheuttaa kiinteän tai nestemäisen aineen joutuminen iholle. Aerosolit kuten pölyt, voivat myös kiinnittyä iholle ja tunkeutua työvaatetuksen läpi. Saastuneiden pintojen koskettaminen johtaa ihoaltistumiseen. Myös kaasumaiset aineet voivat imeytyä ihon läpi. Aineet voivat joko imeytyä ihon läpi tai vahingoittaa ihoa. Ihon kautta tapahtuvaan altistumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten aineen ja ihon ominaisuudet sekä altistumisaika. Ihon kautta imeytyminen voi olla merkittävin altistumistapa eräille aineille, kuten torjunta-aineille ja liuottimille.

Kaikista ammattitaudeista ihotauteja on noin viidennes eli noin 1000 tapausta vuodessa. Näistä kolmannes on allergisia ihottumia, kolmannes kosketusihottumia ja loput proteiinikosketusihottumia ja muita ihottumia. Tavallisimpia ammatti-ihotautilien aiheuttajia ovat pesuaineet, syyhyppunkki ja muut eläinperäiset altisteet, jauhot, viljat ja rehut, kumiset suojakäsineet sekä märkä ja likainen työ.

### Altistumisen selvittäminen

Ihoaltistumista arvioidaan selvittämällä työtapaa sekä ihokontaktin laajuutta ja toistuvuutta. Altistumiseen ja aineiden joutumiseen iholle vaikuttavat työympäristön siisteys sekä suojakäsineiden ja työvaatetuksen käyttö ja puhtaus. Altistumisen laatua voidaan kuvata esim. seuraavasti: altistuminen on vähäistä, toistuvaa tai iho altistuu päivittäin suuren osan aikaa ihoa vahingoittavalle kemikaalille tai iho-oireita on ilmaantunut. Työntekijöiden ihoaltistumista voidaan erityistapauksissa arvioida lappunäytteillä ja pyyhkäisyälynteillä, jolloin saadaan tarkempaa tietoa iholle joutuneista aineista.

### Aineet ja niiden ihovaikutukset

#### *Kosketusihottuma*

Ammatti-ihottumista yleisimpiä ovat käsi-ihottumat, joista valtaosa on kosketus- eli ärsytysihottumia ja allergisia ihottumia. Kosketusihottuman voi saada kuka tahansa, joka käsittelee ärsytystä aiheuttavaa ainetta suojautumatta asianmukaisesti. Tavallisimmat aiheuttajat kemikaaleista ovat pesuaineet, orgaaniset liuottimet, mineraaliöljyt ja leikkuunesteet,

vahvasti happamat tai emäksiset aineet, elintarvikkeiden käsittely ja märkätyö sekä pölyistä lasi- ja vuorivillapöly. Voimakkaat ärsyttäjät, kuten vahvat hapot ja emäkset, vaurioittavat ihoa palovamman kaltaisesti. Lievät ärsyttäjät aiheuttavat ihottuman, kun niitä joutuu iholle toistuvasti tai pitkäaikaisesti. Hankausta ja pienet haavat edistävät aineiden pääsyä ihoon.

#### *Allerginen ihottuma*

Allerginen ihottuma ei ole synnynnäinen, vaan se on aina hankittu taipumus ja säilyy eliniän. Käytännössä oireiden puhkeamista edeltää vuosien pituinen kosketus herkistävään aineeseen, jotkut aineet voivat aiheuttaa herkistymisen jo muutaman viikon jälkeen. Kun ihminen on herkistynyt, pienetkin ainemäärät laukaisevat ihottuman. Iho on oireeton, kun se ei ole kosketuksessa herkistäjäaineeseen.

#### ALLERGISEN KOSKETUSIHOTTUMAN AIHEUTTAJIA

##### Muovit ja liimat

- formaldehydipohjaiset hartsit, liimat, pinnoitteet
- epoksihartsi; epoksimaalit, liimat, sähköeristeet, betonipinnoitteet
- akryylimonomeerit; hammasproteesit, hammaspaikat, liimat, pinnoitteet

##### Kumi ja kumikemikaalit

##### Metallit

- kromi
- nikkeli
- koboltti

##### Orgaaniset väriaineet

- tekstiili-, nahka- ja turkisvärät

##### Antimikrobiset aineet

- pesu- ja desinfektioaineet, leikkuunesteet

#### Ihottumien ehkäisy

Altistumista voidaan torjua joko kemikaaleihin, työhön tai itse työntekijään kohdistuvien toimenpitein. Ihoaltistumisen ehkäisyssä lähtökohta on tuntee ja tiedostaa vaarat, eli ne aineet, jotka voivat vahingoittaa ihoa. Haitallisten kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden käsittelyssä on käytettävä sellaisia menetelmiä ja välineitä, että kemikaalit eivät pääse iholle. Suora kemikaalikosketus vältetään käyttämällä automaattisia menetelmiä sekä tarkoituksenmukaisilla työvälineillä, kuten ottimilla, siveltimillä jne. Työtilat pidetään järjestyksessä ja puhtaina.

Ihottumien ehkäisyssä jokaisen työntekijän omalla toiminnalla on suuri merkitys, miten käsittelee aineita, siisteydestä huolehtiminen, ihon suojaus ja hoito sekä suojainten käyttö. Käsi-ihottumien ehkäisyssä suojakäsineiden käyttö on tärkeä ehkäisykeino. Käsineiden materiaalin pitää kestää käsiteltävää ainetta, ja käsineen tulee aina olla ehjä ja puhdas. Rikkiäinen tai likainen käsine voi lisätä ihoaltistumista.

#### Lisätietoa:

1. Luvut ihoa herkistävät aineet ja pesuaineet kirjassa Kemikaalit ja työ.  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+kemikaalitietoa/Kemikaalit+ja+tyo/sisallysluettelo.htm>
2. Kemikaaleilta suojaavan käsineen valinta.  
<http://www.stm.fi/Resource.phx/publishing/store/2004/11/hm1101116768419/passthru.pdf>

## 2.4 Kemiallisten tekijöiden mittaukset

### HYVÄT MITTAUSKÄYTÄNNÖT

Ilman epäpuhtauksien mittauksia ja/tai biomonitorointi tehdään seuraavissa tilanteissa:

- altistumista ei voida luotettavasti arvioida raja-arvoihin nähden
  - kemiallisille tekijöille altistuminen on luonteeltaan jatkuvaa ja altistuminen on ilmeistä
  - altistuminen on aiheuttanut oireita
  - raskauden aikaisen altistumistason selvittämiseksi tietyille aineille (ks. s. 12)
  - käytössä on vakavia terveyshaittoja aiheuttavia kemikaaleja tai sellaisia syntyy työssä (esim. syöpävaaralliset aineet, erittäin myrkylliset aineet)
  - seurantamittaukset, kun aikaisemmin on esiintynyt raja-arvoihin nähden suuria pitoisuuksia (esim. >50 % HTP:sta)
- torjuntatoimenpiteiden suunnittelussa ja toimenpiteiden toimivuuden arvioinnissa

### 2.4.1 Mittaustarpeen arviointi

Jos ollaan epävarmoja altistumisen määrästä tai ylipäättänsä esiintyykö jotakin ainetta altisteena, tehdään mittauksia tai muita analyysyjä. Lainsäädännöllinen perusta mittauksille on valtioneuvoston asetuksessa kemiallisista tekijöistä työssä (VNa 715/2001), jonka 7 §:ssä sanotaan: "*Jos työntekijöiden altistumista vaarallisille kemiallisille tekijöille ei voida muutoin luotettavasti arvioida, on työnantajan suoritettava mittauksia säännöllisesti ja aina kun olosuhteissa tapahtuu työntekijöiden altistumista lisäävä muutos. Mittaustuloksia on verrattava 12–15 §:ssä tarkoitettuihin raja-arvoihin. Jos mittaustulokset osoittavat, että 1 momentissa tarkoitettujen raja-arvojen eivät ylity, on tilanteen pysyvyyden toteamiseksi suoritettava tarvittaessa sopivin välein uusintamittauksia. Mitä lähempänä ilman epäpuhtauksien mittausten tulokset ovat raja-arvoja, sitä useammin mittauksia on suoritettava.*"

Aineiden pitoisuutta mitataan yleensä työpaikan ilmasta, koska merkittävin altistumistapa on hengityselinten kautta. Ilman epäpuhtauksien mittauksilla on pitkät perinteet työolosuhteiden seurannassa. Analyysimenetelmiä löytyy lukuisille yhdisteille ja mittausten menetelmillä voidaan mitata pieniäkin pitoisuuksia. Tulosten tulkinta on periaatteessa yksinkertaista, koska useimmille aineille löytyy työhygieeninen vertailuarvo. Haitallisia aineita ja niiden pitoisuuksia voidaan määrittää myös esimerkiksi saastuneilta pinnolta, iholta ja erilaisista tuotteista. Joskus joudutaan tekemään laajoja selvityksiä sopivan mitattavan aineen, indikaattoriaineen, löytämiseksi ennen varsinaisia ilmapitoisuusmittauksia. Esimerkiksi kun mitataan lämpöhajoamistuotteiden tai reaktiivisten yhdisteiden pitoisuuksia.

Mittausten tavoitteena on tavallisesti selvittää työntekijöiden altistumista tai altistumisolosuhteita torjuntatoimenpiteitä varten. Voidaan tehdä myös suuntaa-antavia mittauksia, joilla selvitetään vain, millä tasolla pitoisuudet ovat. Tällöin tavallisesti käytetään helppokäyttöisiä ilmaisinputkia tai suoraan osoittavia mittareita. Jos pitoisuudet ovat merkittäviä, (esim. >50 % HTP:sta), tehdään perusteellisemmat mittaukset.

## 2.4.2 Biologiset altistumismittaukset (biomonitorointi)

Monille aineille altistumista voidaan mitata myös työntekijän veri- tai virtsanäytteestä. Biologisilla mittauksilla voidaan täydentää ilman epäpuhtauksien mittauksilla (työhygieenisillä mittauksilla) saatuja tietoja altistumisesta. Biologiset mittaukset kuvaavat työhygieenisia mittauksia paremmin altistumista määrättyissä tilanteissa. Samanlaisessakin työssä elimistöön imeytyy huomattavasti toisistaan poikkeavia kemikaalimääriä. Syynä voi olla epäpuhtauspitoisuuksien ajalliset vaihtelut, pölyjen hiukkaskoon ja liukoisuuden vaihtelut sekä erilaiset työtavat esim. työn raskauden vaikutus altistumisen määrään. Kemikaaleja imeytyy elimistöön myös ihon läpi ja ruuansulatuskanavasta. Ilmapitoisuusmittauksilla ei saada myöskään tietoa todellisesta altistumisesta, kun käytetään henkilönsuojaimia. Elimistöön kertyvää ainekuormaa ja edelleen sen aiheuttamaa terveysriskiä voidaan arvioida vain biologisilla mittauksilla. Jos ilmapitoisuus vaihtelee paljon ja nopeasti, pitoisuuden muutokset elimistössä ovat hitaampia ja altistumisesta raja-arvoihin nähden saadaan luotettavampi kuva vähemmällä näytteillä kuin jos pitoisuudet mitattaisiin ilmasta.

Käytössä on menetelmät lähes kaikille terveysriskien kannalta merkittävälle metalleille. Orgaanista yhdisteistä on vain muutamalle kymmenelle aineelle toimiva menetelmä. Orgaanisten yhdisteiden biologista monitorointia haittaa niiden samanaikainen esiintyminen työympäristössä. Maalit, liimat ja lakat sisältävät useita liuottimia, mikä hankaloittaa tulosten tulkintaa. Toinen orgaanisten yhdisteiden biomonitorointia rajoittava tekijä on niiden lyhyt puoliintumisaika elimistössä.

Suomessa on sitova raja-arvo vain veren lyijylle, jonka pitoisuus ei saa ylittää 2,4  $\mu\text{mol/l}$ . STM on lisäksi asettanut biologiset raja-arvot muutamille aineille (etyylibentseenille, fenolille, rikkihiilelle ja tolueenille). Raja-arvot ovat luonteeltaan ohjeellisia, jotka työnantajan on otettava huomioon arvioidessaan työoloja. Työterveyslaitos on julkaissut kahdenlaisia raja-arvoja: altistumattomien viiteraja ja biomonitoroinnin toimenpideraja. Altistumattomien viiteraja-arvo asetetaan tilastollisin menetelmin (tavallisesti 95. persentiili) väestöstä valitun ryhmän tulosten perusteella eli pitoisuus ei yleensä ylitä työssään altistumattomilla ja rajan tarkoituksena on analyysitulosten perusteella tunnistaa altistunut altistumattomista.

Toimenpiderajan tarkoituksena on myös helpottaa tulosten tulkintaa ja käytännön toimenpiteiden suunnittelua työterveyshuollossa ja työpaikoilla. Toimenpideraja on ohjeellinen, mutta sitä ei tulisi ylittää. Työperäisessä altistumisessa osa biomonitoroinnin toimenpiderajoista on johdettu suoraan kemikaalin terveysvaikutuksista. Useimmiten toimenpideraja on johdettu HTP-arvoista. Raja voidaan johtaa myös hyvistä työkäytännöistä, esim. ihon läpi imeytyville aineille. Eräille aineille ei ole asetettu toimenpiderajaa, koska tiedot sen asettamiseksi ovat liian vähäisiä tai epäluotettavia.

## 2.4.3 Ilman epäpuhtauksien mittaukset

Mittausten tavoitteena on määrittää todellinen altistuminen tietyinä ajanjaksona sekä todeta kriittiset altistelähteet. Tulosten perusteella päätetään altistumisolosuhteiden hyväksyttävyydestä ja arvioidaan terveysriskiä erilaisille altistuvien ryhmille sekä niitä käytetään työolojen valvonnan suunnittelussa.

Ilman epäpuhtaudet vaihtelevat samassakin työtilassa, vaihtelua aiheuttavat esim. tuotanto-toiminnan ja olosuhteiden vaihtelu. Pitoisuudet voidaan mitata alueellisina tai henkilökohtaisina näytteenottoina passiivimonitoreilla, pumppusuodatinlaitteistolla tai pumppu-adsorptiolaitteistolla. Nämä ovat keräviä menetelmiä, joissa näytteenotto kestää yleensä

tunteja tai koko työpäivän ja saatu tulos kuvaa mittausajan keskimääräistä pitoisuutta ja on lähes suoraan verrattavissa raja-arvoihin (HTP-arvot). Altistumishuiput mitataan parhaiten suoraan osoittavilla laitteilla, jotka rekisteröivät tuloksen ajan funktiona. Huippuja voidaan mitata myös herkillä menetelmillä, joissa lyhyellä näytteellä (alle 15 min) saadaan määritettävä pitoisuus. Myös ilmaisinputkilla voidaan mitata pitoisuushuippuja.

### Mittausten edellytyksiä

Ilman epäpuhtauksien altistumismittausten edellytyksenä on, että

- tunnetaan altiste ja sen esiintymismuoto
- tunnetaan altisteen vaikutustapa, esim. annosvaikutussuhde
- mittaustulokselle on vertailuarvo, eli tulos on tulkittavissa
- mittausmenetelmä on luotettava.

Jos työhygieenisen altistumismittauksen tulosta ei voida verrata normeihin tai suosituksiin, mittaustulos jää historialliseksi taustaksi mahdollisia tulevia sairaustapauksia tai normeja varten. Mittaus ei saa olla itsetarkoitus. Mittaajan tulee myös harkita, voidaanko tavoite saavuttaa jollain muulla tavalla (esim. aineen tai sen aineenvaihduntatuotteen määrittäminen verestä tai virtsasta) helpommin, luotettavammin tai edullisemmin. Jos olosuhteet ovat arvioitavissa tai parannettavissa helposti teknisin toimenpitein, ei mittaus ole välttämätön muutoin kuin lopputuloksen toteamiseksi.

Mittaajalla tulee olla sekä tiedolliset valmiudet mittauksiin että tarkoitukseen sopiva mittalaitteisto. Vain suurilla työpaikoilla on mahdollisuuksia luoda ja pitää yllä omaa laajaa mittausvalmiutta. Niinpä tavallisimmin työhygieeniset mittaukset yrityksessä tekee ulkopuolinen asiantuntija.

Mittaustulosten luotettavuus ja hyödynnettävyys edellyttää, että mittaja

- tuntee mittalaitteiston toiminnan
- omaa laajat yleistiedot altisteista
- tuntee ohjeavot ja määräykset
- tuntee mittaus- ja laitestandardit
- tuntee prosessit ja työtekniikat
- tietää torjuntatekniset periaatteet.

### Mitattavat altisteet

Esiintyvät ja syntyvät altisteet määräävät pitkälle sen, mitä ja miten mitataan. Joskus on vaikea määritellä merkittävimmät altisteet esimerkiksi muovien lämpöhajoamistuotteiden kohdalla. Tällöin voidaan valita terveydelle vaarallisimmat aineet tai ns. indikaattoriaineita, joille lisäksi löytyy luotettava mittausmenetelmä.

Tärkein edellytys on, että mitattu aine ja sen pitoisuus kuvaa altisteen aiheuttamaa haittaa. Aineen valinta perustuu tietoihin työpaikalla käytettävistä kemikaaleista ja prosesseista sekä kokemukseen perustuvaan tietoon kulloisessakin prosessissa muodostuvista ilman epäpuhtauksista. Esimerkkinä voidaan mainita liuotinaineet, joiden seosten komponenttien tunteminen yleensä riittää niiden stabiilin luonteen ansiosta. Hitsauksessa tulee lähtöaineiden lisäksi tuntea myös menetelmän (TIG, MIG, puikko jne.) ominaisuudet. Ne vaikuttavat merkittävästi siihen, mitkä haittatekijät ovat olennaisia (esim. otsoni ja VI-arvoinen kromi) (taulukko 4).

Taulukko 4. Eri työtehtävissä mitattavia altisteita

työ	mitattava tekijä
<b>hitsaus</b> - alumiinin hitsaus - ruostumattoman teräksen hitsaus - selliitit ja kovametalli	hengittyvä pöly, hiilimonoksidi ja typenoksidit ahtaissa tiloissa hengittyvä pöly, (Al), otsoni hengittyvä pöly, (CrVI, Ni) hengittyvä pöly, (Co)
<b>hionta</b> - alumiinin hionta - ruostumattoman teräksen hionta - stelliitit ja kovametallit	hengittyvä pöly hengittyvä pöly, (Al) hengittyvä pöly, (Cr, Ni) hengittyvä pöly, (Co)
<b>kivityö ja kvartsia sisältävän materiaalin työstö ja muu käsittely</b>	hengittyvä pöly (hienojakoinen kvartsi)
<b>pölyävän materiaalin käsittely, esim. annostelu ja punnitus</b>	hengittyvä pöly, tarvittaessa yksittäisten yhdisteiden määräitys
<b>pintakäsittely</b> - metallituotteiden puhdistus haihtuvilla liuottimilla - metallin pintakäsittely (kemiallinen ja elektrolyttinen)	liuotinaaineet (käytetyn liuottimen mukaan) hengittyvä aerosoli, kylpyliuoksen perusteella, esim. CrVI, Ni, Cu, syanidit, happo- ja emäsudut
<b>maalaukset ja lakkaus</b> - liuotinhenteiset maalit ja lakat - ruiskumaalaus ja -lakkaus - tela-, valu- ja sivellinmaalaukset - kaksikomponenttiset polyuretaanimaalit ja lakat - amonohartsimaalit ja lakat	maalin koostumuksen ja menetelmän mukaan haihtuvat liuottimet haihtuvat liuottimet, maalisumu haihtuvat liuottimet isosyanaatit formaldehydi
<b>liimaustyö</b>	haihtuvat liuottimet
<b>moottoriajoneuvoliikenne, pakokaasut</b>	hiilimonoksidi, typenoksidit
<b>muovien työstö</b> - polyeteeni, propeeni - PVC  - styreenimuovit - polyuretaanit	lämpöhajoamistuotteiden indikaattoriaineet työstettävän materiaalin mukaan aerosoli, formaldehydi aerosoli, formaldehydi, HCl, ftalaatit ja happoanhydritit, jos pehmittimenä ftalaatti styreeni isosyanaatit
<b>jätevedenpuhdistuslaitokset</b>	rikkivety

#### Mittausvirheet

Mittauslaitteiden ja analyysimenetelmien virheet ovat yleensä vähäisiä verrattuna siihen virheeseen, joka aiheutuu yleistettäessä tulos koskemaan mittausjakson ulkopuolista aikaa. Tällöin olosuhdetietojen merkitys on suuri, koska niiden perusteella arvioidaan tilanteen tavanomaisuutta esimerkiksi työviikon tai jopa vuosien aikana. On syytä korostaa, että virherajat ja saatu tulos koskevat mittauspäivää, eikä niiden perusteella voida ilman erillistä harkintaa tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi koko vuoden aikana kertyvästä altistumisannoksesta.

Näytteenoton edustavuutta voidaan parantaa suuntaamalla mittaus tietoisesti mitattavan aineen ominaisuuksista riippuen "normaaliolosuhteisiin" tai kuvaamaan "pahinta" tilannetta. Päiväkohtaisen altistumisen arvioinnissa esimerkiksi hetkellisesti mitatut pitoisuudet saattavat ali- tai yliarvioida tilannetta. Altistumismittauksissa ovat otantaan liittyvät virheet yleensäkin suurempia kuin esim. analyysivirheet, mikä usein unohdetaan.

## 2.4.4 Ilman epäpuhtauksien mittaamenetelmät

Kaasuja ja höyryjä voidaan mitata joko suoraan osoittavilla tai keräävillä menetelmillä. Tässä on tarkasteltu suoraan osoittavista menetelmistä vain ilmaisinputket ja keräävistä menetelmistä passiivikeräimet. Nämä ovat työpaikoilla yleisesti käytössä. Muut menetelmät ovat vaativampia ja mittaajalta edellytetään analytiikan ja työhygienian tietoja. Ne on sivuttu vain maininnalla.

### Ilmaisinputket

Helppo- ja nopeakäyttöiset ilmaisinputket sopivat työpaikan työsuojelu- ja työterveyshenkilöstön tarpeisiin. Niillä voidaan tehdä alustavia altistumismittauksia monille epäorgaanisille kaasuille (ammoniakki, hiilimonoksidi, rikkidioksidi, typenoksidit, rikkivety) sekä joillekin liuotintyyppisille yhdisteille, kun ne esiintyvät ilmassa yksinään. Lisäksi ilmaisinputket soveltuvat esimerkiksi prosessipäästöjen toteamiseen.

Ilmaisinputkilla on mitattu yleensä hetkellisiä pitoisuuksia, mutta ilmaisinputkia on myös pitkäkestoisin mittauksiin. Näissä kaasut tai höyryt kulkeutuvat putkeen joko diffuusion perusteella (diffuusioputket) tai sähkökäyttöisen pumpun avulla. Tällaisia putkia on esim. ammoniakille, hiilidioksidille, hiilimonoksidille ja rikkivedylle.

Ilmaisinputket ovat yksinkertainen ja halpa mittaamenetelmä, joten niitä käytetään paljon. Niillä voidaan kuitenkin saada pahastikin virheellisiä tuloksia, jollei tunneta mittaamenetelmän rajoituksia ja mahdollisia virhelähteitä. Kriittisin virhelähde on putken huono erottelukyky eli spesifisyys. Putken värjäytymään voivat vaikuttaa muutkin kuin mitattava aine, jopa voimakkaammin. Tämä virhemahdollisuus liittyy useimpien liuotintyyppisten yhdisteiden mittaamiseen. Mittausta häiritsevien aineiden lisäksi on selvitettävä muut putken käyttöön liittyvät käyttörajitukset kuten kylmyyden, märkyyden tai kuumuuden vaikutukset. Tiedot löytyvät yleensä putkipakkauksen ohjelehtisestä tai selviävät putken maahantuojalta.

### Passiiviset keräimet

Passiivisissa näytekeraimissa näyte kulkeutuu keräimeen diffuusion tai diffuusion ja permeation perustuen. Keräysaineena toimii yleensä jokin kiinteä adsorbentti (esim. aktiivihili tai molekyyliuseula) tai permeation perustuvissa keräimissä absorptioliuos. Menetelmän etu on se, että näytteenottopumppua ei tarvita. Keräimet ovat joko levykkeitä tai putkityyppisiä. Tutkittavat aineet määritetään keräimestä laboratorioissa esim. kaasukromatograafisesti, jolloin voidaan analysoida samasta näytteestä useita samanaikaisesti esiintyviä yhdisteitä, esim. liuotinalaineita tai muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Pitoisuus lasketaan keräimen diffuusiovakion ja näytteenkeräysajan perusteella. Diffuusio ja permeatio ovat hitaita ilmiöitä, joten keräimet sopivat parhaiten pitkäaikaiseen (tuntien) näytteenottoon. Menetelmä soveltuu huonosti pitoisuushuippujen määrittämiseen. Eniten keräimiä on käytetty liuotinhöyryjen mittaamiseen. Muita käyttöalueita ovat formaldehydi, anestesiakaasujen ja sisäilman haihtuvien orgaanisten hiilivetyjen (VOC = volatile organic compounds) mittaukset.

## 2.5 Fysikaalisista ominaisuuksista aiheutuvat vaarat

Kemikaaliturvallisuudessa on huomioitava myös kemiallisten tekijöiden fysikaalisten ominaisuuksien kuten palo- ja räjähdysvaarat sekä mahdolliset vaara- ja hätätilanteet. Kemikaalit aiheuttavat noin 4 % työpaikkatapaturmista eli noin 4700 tapausta vuosittain. Tavallisimpia tapaturmia ovat aineen joutuminen iholle ja silmiin tai aineen hengittäminen. Vuosittain kirjataan noin 150 kemikaalionnettomuutta, näistä suurin osa tapahtuu kohteista, joissa kemikaalien varastointi ja käsittely on vähäistä. Määrällisesti eniten tapahtuu kemikaalivuotoja. Toimenpiteitä työntekijöiden suojelemiseksi ovat kemiallisten tekijöiden turvallinen varastointi, käsittely ja yhteensopimattomien kemiallisten tekijöiden erottelu. Tärkeitä ovat myös tuotantolaitoksen, koneiden ja laitteiden riittävä valvonta.

### 2.5.1 Kemikaalien turvallinen käsittely ja varastointi

Turvallinen käsittely alkaa kemikaalin hankinnasta. Hankittaessa uutta kemikaalia on varmistettava, että viimeistään kemikaalia vastaanotettaessa siitä on työpaikalle toimitettu ajan tasalla oleva käyttöturvallisuustiedote ja että se on kaikkien saatavilla. Ennen uuden kemikaalin käyttöönottoa on tehtävä riskinarviointi. Jos työpaikalla käytetään lukuisia erilaisia kemikaaleja tai kemikaalien määrät ovat suuria, työpaikalla pitäisi olla kemikaalien käytön vastuuhenkilö, vaikka kemikaalilainsäädäntö sitä ei edellyttäisikään. Suurissa laitoksissa lainsäädäntö edellyttää käytönvalvojan nimeämistä. Vastuuhenkilön tehtävänä on valvoa kemikaalien vastaanottoa, ylläpitää kemikaaliluetteloja ja organisoida käyttöturvallisuustiedotteiden ja kemikaalitietämyksen hallinta yrityksessä, seurata lainsäädäntöä ja tiedottaa muutoksista ja esim. lisäohjeistuksen tarpeista. Vastaanotettaessa kemikaaleja varmistetaan, että säiliöt, astiat ja pakkaukset ovat ehjät ja asianmukaisesti merkittyjä.

Säilytystilat/varastot

Kemikaalien käsittelyssä ja varastoinnissa huomioon otettavia asioita ovat:

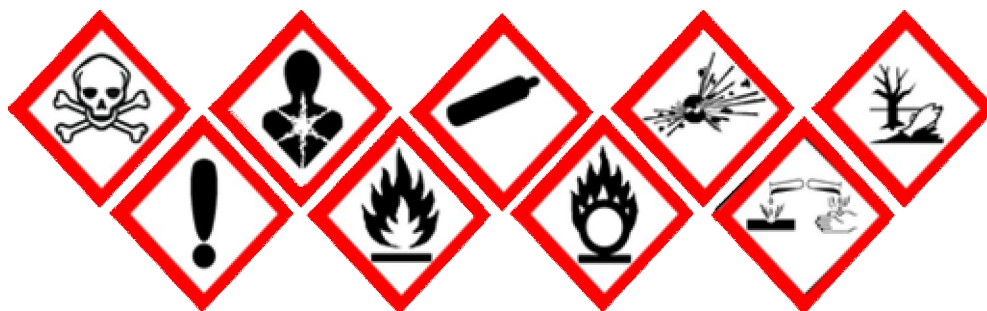
1. Kemikaalien laatu ja ominaisuudet
2. Kemikaalien kokonaismäärä ja sijoittelu, käytettävät astiat, säiliöt, laitteistot
3. Vaarojen ehkäisy, tekninen ja toiminnallinen turvallisuus
4. Vahinko- ja onnettomuustilanteisiin varautuminen

Varastoinnin perussääntöihin kuuluu, että eri vaarallisuusluokkiin kuuluvat kemikaalit pidetään erillään toisistaan. Samoin reaktiiviset aineet, veden kanssa reagoivat aineet ja yhteensopimattomat aineet pidetään erillään. Palavat nesteet varastoidaan omassa paloteknisessä osastossa erillään muista kemikaaleista. Kaasut varastoidaan erillisessä varastossa mielellään ulkona. Myrkylliset aineet varastoidaan omassa, lukitussa tilassa.

Kemikaalien vaaraominaisuuksien tunnistaminen alkaa pakkausmerkintöjen ja niissä varoitusmerkintöjen tarkastelulla. Kuvassa on esitetty myös uudet GHS:n mukaiset merkinnät (GHS = Globally Harmonised System).

F	Helposti syttyvä Mycket brandfarlig	F+	Erittäin helposti syttyvä Ytterst brandfarlig	O	Hapettava Oxiderande
T	Myrkyllinen Giftig	T+	Erittäin myrkyllinen Mycket giftig	E	Räjähävä Explosiv
Xn	Haitallinen Hälsoskadlig	Xi	Ärsyttävä Irriterande		
C	Syövyttävä Frätande	N	Ympäristölle vaarallinen Miljöfarlig		

### Kemikaalien nykyiset luokitus- ja varoitusmerkinnät



Kuva 1. Kemikaalien uudet luokitus- ja varoitusmerkinnät

Yhteensopimattomilla aineilla tarkoitetaan aineita, jotka reagoivat keskenään siten, että muodostuu lämpöä tai myrkyllisiä, kaasumaisia aineita tai muu erityinen vaara. Tällaisia aineyhdistelmiä ovat esimerkiksi väkevät hapot ja palavat aineet, hapettavat ja orgaaniset aineet, useat metallit ja hapot. Tällaiset aineet on varastoitava siten, että ne eivät vahinkotilanteissaakaan pääse hallitsemattomasti kosketuksiin toistensa kanssa.

Palavat nesteet luokitellaan erittäin helposti syttyviin, herkästi syttyviin, syttyviin ja palaviin (taulukko 5). Palavat nesteet varastoidaan omassa paloteknisessä osastossaan. Tilat on merkitävä määräysten mukaisesti. Palavien nesteiden kanssa ei saa varastoida väkeviä happoja, kalsiumkarbidia, peroksiedeja, räjähteitä ym. aineita, jotka voivat aiheuttaa erityistä vaaraa. Säiliöt, jotka saattavat räjähtää palon sattuessa varastoidaan erillään muista palavista aineista, mielellään ulkona. Kellaritiloissa ei tule lainkaan säilyttää eikä käyttää ilmaa raskaampia kaasuja tai herkästi haihtuvia nesteitä. Palavat nesteet ja kaasut pidetään erillään sytytyslähdeistä. Avotulen käyttö ja tupakointi on kielletty, samoin tulitöitä ei tehdä palavien aineiden läheisyydessä. Laitteiden maadoitus tai potentiaalintasaus tulee varmistaa. Käytettävien sähkölaitteiden tulee olla tilaluokituksen mukaiset. Muovisten astioiden, letkujen ja suppiloiden käyttöä tulee välttää, koska niiden yhteydessä voi muodostua staattisia sähkövarauksia.

Taulukko 5. Palavien nesteiden luokitus

luokitus	varoitus-merkinnät	leimahduspiste °C	kiehumispiste °C
erittäin herkästi syttyvä	F+, R12	<0	<35
herkästi syttyvä	F, R11	<21	
syttyvä	R10	21–55	
palava neste		55–100	

Kaasujen varastoinnin ja käsittelyn perusasioita ovat, että täydet ja tyhjät pullot varastoidaan erikseen. Kaasupulloja ei saa säilyttää vaakatasossa eikä ilmastoimattomassa tilassa, kellarissa, portaikossa, käytävillä tai poistumisteillä. Kaasupulloja ei saa myöskään varastoida yhdessä muiden palavien tai syövyttävien aineiden kanssa, eikä tehokkaan lämmönlähteen vaikutuspiirissä tai auringonpaisteessa. Kaasulinjat ja sulkuventtiilit pitää olla selkeästi merkityt.

Myrkylliset aineet sekä aineet, joista tulipalossa voi muodostua myrkyllisiä kaasuja, varastoidaan lukitussa tilassa erillään palavista ja itsestään syttyvistä aineista. Myrkyllisiä aineita ei saa varastoida yhdessä seuraavien aineiden kanssa:

- hapettavat aineet, orgaaniset peroksidit
- aineet, jotka veden kanssa kosketuksiin joutuessaan kehittävät syttyviä kaasuja
- puristetut ja nesteytetyt kaasut
- ammoniumnitraattipitoiset lannoitteet.

Kemikaalien määrä asettaa rajoituksia varastointiin. Kemikaalit varastoidaan sitä tarkoitusta varten tehtyyn tilaan. Tuotantotilat eivät yleensä sovellu pitkäaikaiseen varastointiin. Palaville aineille erityisesti palokuorma on otettava huomioon. Kemikaaleille on ominaisuuksiensa ja määrien perusteella asetettuja varastoinnin enimmäismääriä. Pelastusviranomaisen määrittelee yleensä tilan tai kiinteistön enimmäismäärät.

Kemikaaleja on turvallisinta varastoida niiden kuljetuspakkauksissaan, samoin kemikaalijätteet on turvallisinta kerätä kuljetuspakkausihinsa. Jätteiden keräysastiat on merkittävä selkeästi. Kemikaaleja voidaan varastoida tilapäisesti myös rakenteeltaan ja materiaaliltaan kestävässä tiiviissä astioissa, joissa on näkyvät merkinnät niiden sisällöstä ja asianmukaiset varoitusmerkinnät. Suuret (kiinteät) kemikaalisäiliöt pyritään sijoittamaan ensisijaisesti ulos. Sisällä varastoitessa on huolehdittava varastointitilan riittävästä ilmanvaihdosta ja säiliön tai huonetilan allastuksesta. Myös säiliön ilmastus on huomioitava. Säiliön ja kiinteiden rakenteiden välinen etäisyys tulee olla vähintään 1 metri. Tarvittaessa lattian pinnoituksen tulee kestää kemikaaleja.

Kemikaaliasiastiat sijoitetaan siten, että samaa kemikaalia sisältävät astiat ovat samalla alueella. Yhteen sopimattomat kemikaalit pidetään erillään, esimerkiksi sijoittamalla niiden väliin inerttejä, vaarattomia kemikaaleja. Astiamerkinnät pitää olla selkeästi näkyvissä. Yksittäisten astioiden varastointia suoraan lattialla tai silmäkorkeuden yläpuolella tulee välttää. Astioille luokse päästävyys ja esteetön kulku varmistetaan jättämällä astiarivien tai -ryhmien väliin riittävästi kulkutilaa sekä pitämällä käytävät ja poistumistiet vapaana. Astioita tai pakkauksia ei saa varastoida toistensa päälle, ellei niitä ole erityisesti suunniteltu ja valmistettu näin varastoitavaksi. Tällöinkin on otettava huomioon vuodoista aiheutuvat vaarat. Jos kemikaaleja varastoidaan tai käsitellään paineenalaisina, säiliöiden tulee täyttää painelaitesäädösten vaatimukset.

Käsittely- tai varastotilan rakenteellisessa turvallisuudessa on huomioitava seuraavat asiat:

- tila on paloteknisesti osastoitu (palonkestävät tai paloa pidättävät seinät, ovet ja läpiviennit)
- tila on luokiteltu palovaarallisuuden mukaan
- poistumisetäisyydet eivät saa olla liian pitkiä
- kantavat hyllytöt ovat palamatonta materiaalia

- terveydelle vaaralliset kemikaalit varastoidaan suljettavissa astioissa ja eri kemikaaliryhmät erillään
- käsittely- tai varastotila varustetaan 10 cm korkealla kynnyksellä tai keräilykanaaleilla ja allastuksella
- lattiat pinnoitetaan kemikaalia kestäväällä materiaalilla
- laitteistot, säillöt sekä varastotilat varustetaan asianmukaisilla varoitusmerkinnöillä
- varastoitaville kemikaaleille on määritelty enimmäismäärät.

Tekniseen turvallisuuteen kuuluu, että työpaikalla tai varastossa on toiminnan edellyttämät, oikein mitoitettut turvajärjestelmät. Tällaisia ovat mm.:

- alkusammutuskalusto
- automaattinen paloilmoin tai sammutusjärjestelmä
- koneellinen ilmanvaihto ja savunpoistolaitteet
- kaasunhaistajat tai vuodonilmaisimet, pitoisuusmittaus
- hätäsulkuventtiilit
- imeytysaineet
- vikavirtasuojaus, maadoitus tai potentiaalintasaus
- valvonta ja varolaitteet
- hätäsuihkut ja silmänhuuhtelupisteet
- ensiapuvälineet
- tarpeellisia henkilönsuojaimia poikkeustilanteiden varalle (hengityksensuojain, kemikaalisuojapuku, suojalasit ym.)
- työnaikainen- ja poistumisvalaistus.

Toiminnallista turvallisuutta kuvaavat sellaiset seikat kuin, miten työpaikalla ylläpidetään järjestystä ja siisteyttä. Toiminnassa on huomioitava se, että pelastushenkilöstöllä on esteetön pääsy varaston kaikkiin osiin. Jatkuvasti huolehdittavia asioita ovat mm., että kulku- ja hätäpoistumistiet pidetään vapaana, samoin sammutuskalusto, sähkötaulujen ja ristikytkentätilojen edustat pidetään vapaana. Työtiloissa ei tarpeettomasti varastoida palavia tai muita vaaraa aiheuttavia materiaaleja. Säilytysastiat pidetään suljettuna käytön välillä ja astiat merkitään asianmukaisesti. Käytäntönä on, että lattialle roiskuneet kemikaalit ja niiden siivoukseen käytetyt imeytysaineet poistetaan heti.

Toiminnallisen turvallisuuden valvonta kuuluu ensisijaisesti työnjohdolle, mutta jokainen vastaa omalta osaltaan turvallisuudesta. Kaikkiin kemikaaleihin on suhtauduttava riittävällä varovaisuudella. Työhön perehdyttämisessä käsitellään kemikaalien turvallisen käsittelyn käytännöt ja käydään läpi käsiteltäviin kemikaaleihin liittyvät vaarat sekä miten toimitaan oikein kulloisessakin tilanteessa. Perehdyttämiseen kuuluu myös henkilönsuojainten käyttöön, säilytykseen ja huoltoon liittyvät asiat. Samoin ohjeet ja toimenpiteet onnettomuustilanteissa käydään läpi.

Työpaikalla tulee olla tulitöistä vastaavat henkilöt ja kirjallinen työlupakäytäntö määriteltynä. Tulityöt ja tupakointi on rajattu niille tarkoitettuihin tiloihin.

Vahinko- ja onnettomuustilanteisiin varautuminen määräytyy kemikaalien laadun ja määrän mukaisesti. Siksi kaikkien työpaikalla on tiedettävä kemikaalien ominaisuuksista ja käyttöturvallisuudesta. Työntekijöiden on tunnettava pelastussuunnitelmassa määritellyt järjestelyt ja työntekijöiden tulee saada ohjeet ja koulutusta ainakin seuraavista asioista:

1. turvallisista toimintatavoista sekä tarpeellisista suojaimista
2. alkusammutusvälineiden, palohälyttimien ja hätäpysäytyslaitteiden (sähköpääkytkimet, ilmanvaihdon pysäytys, kemikaalilinjojen pää- ja hätäsulkuventtiilit) sijainnista ja käytöstä
3. hätäsuihkujen, silmänhuuhtelulaitteiden sekä lähimmän vesipisteen sijainnista ja käytöstä hätätapauksia varten
4. toimenpiteistä hätätilanteessa ja hätäilmoituksen teosta.
5. ensiapu- ja muista toimenpiteistä.

Pelastus- ja torjuntakalustoa on varattava kemikaalien laadun ja määrän mukaan riittävästi. Alkusammutuskalusto on sijoitettava paloriskien kannalta tarkoituksenmukaisesti ja pidettävä helposti ja nopeasti saatavilla. Kalusto on pidettävä toimintakunnossa ja tarkastettava määräajoin, yleensä joka toinen vuosi. Alkusammutuskalusto on merkittävä näkyvästi ja selvästi.

## 2.5.2 Räjähdyksivaara (ATEX)

Työnantajalla on useita velvollisuuksia, jotka liittyvät räjähdysvaaran ehkäisemiseen ja työntekijöiden suojeluun. Näitä ovat mm. räjähdysvaaran olemassaolon selvittäminen, räjähdysten estäminen ja suojautuminen, oikean laitteen valinta oikeaan tilaan, työntekijöiden perehdyttäminen ja räjähdysuojausasiakirjan laatiminen.

Räjähdyksivaara voi syntyä kun käsitellään palavia aineita. Palavat aineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- 1) Palavat kaasut, esim. ammoniakki, asetyleeni, nestekaasu, maakaasu, rikkivety, vety. Aineiden palo- ja räjähdysvaaraan liittyviä ominaisuuksia kuvataan luokitustiedoilla, itsesyttymislämpötilalla, räjähdysrajoilla, tiheydellä, kiehumispisteellä sekä ilmoittamalla syttymis- ja räjähdysryhmä. Esimerkiksi vedyn räjähdysrajat ovat n. 4,0–75 til-% ja asetyleenin n. 1,5–100 til-%. Räjähdysrajat ilmoittavat sen pitoisuuden, jolla sekä ilmaa että palavaa kaasua on riittävästi räjähdysten aikaansaamiseksi. Räjähdysryhmä määräytyy kaasujen ominaisuuksien mukaan ja osoittaa eräiden laitteiden sopivuutta luokiteltuihin tiloihin. Räjähdysryhmät määrittelyineen on annettu mm. SFS-käsikirjassa 59 "Räjähdyksivaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut".
- 2) Palavat nesteet, esim. liuottimet, teollisuusbenssiinit, polttonesteet. Esimerkkinä liuotinhöyryjen räjähdysrajoista mainittakoon isopropanoli 2,0-12 til-% ja kevyt polttoöljy 1–6 til-%. Huomattakoon, että liuotinhöyryjen räjähdyskelpoisten ilmaseosten pitoisuudet ovat 10-, jopa 1000-kertaisia verrattuna niiden HTP-arvoihin. Pääsääntöisesti neste ei syty, jos sen lämpötila on leimahduspiste alapuolella. Niinpä isopropanoli (leimahduspiste +12 °C) voi muodostaa niin paljon huoneenlämpötilassa höyryä, että se leimahtaa, mutta polttoöljy (leimahduspiste >60 °C) ei.
- 3) Palavat pölyt,
  - metallit, kuten alumiini, rauta, sinkki teräs,
  - orgaaniset aineet, kuten hiili, paperi, puu, selluloosa, tärkkelys,
  - synteettiset yhdisteet, kuten epoksihartsi, polystyreeni
  - elintarvikkeet, kuten jauhot, kahvi, maitojauhe.

Pölyn kemiallisen koostumuksen perusteella voidaan käytännössä vain karkeasti arvioida sen räjähdysominaisuuksia. Pölyn ominaisuudet eivät ole ainekohtaisia, vaan riippuvat pölyn koostumuksesta. Pölyilmaseoksen räjähdysominaisuuksia kuvataan ilmoittamalla esim. alin räjähdyskelpoinen pölypitoisuus, minimienergia ja pölypilven pienin syttymislämpötila. Pölyjen ominaisuuksista löytyy tietoja esim. SFS-käsikirjasta 60 "Räjähdyksivaaralliset pölyt. Turvallisuusohjeet". Esimerkkinä mainittakoon paperipöly, jonka alin räjähdyskelpoinen pitoisuus on 125 g/m<sup>3</sup>. Vertailuna paperipölyn HTP-arvo, joka on 5 mg/m<sup>3</sup>.

Syttyminen voi tapahtua joko staattisen sähkön tai sähkölaitteen aiheuttamasta kipinästä tai mekaanisesta kosketuksesta syntyneestä kipinästä. Syttymisen voi aiheuttaa myös laitteen kuumeneminen. Varautumisella voidaan vahinkoa rajata siinäkin tapauksessa, että syttyminen on tapahtunut.

## Räjähdyksvaaran arviointi

Räjähdyksvaaran arvioinnissa peruskysymyksiä ovat:

1. onko tilassa palavia aineita
2. voivatko ne sekoittua ilmaan ja sekoittuessaan aiheuttaa räjähdyskelpoisen seoksen
3. missä räjähdyskelpoinen ilmaseos voi syntyä
4. onko syttyminen mahdollista.

Räjähdyksvaaran selvittämiseksi työ- ja tuotantoprosessia arvioidaan kokonaisvaltaisesti. Tällöin selvitetään ainakin seuraavat asiat:

- käytössä olevat koneet ja laitteet, rakennukset ja rakenteet
- käytettävät aineet ja muut kemialliset tekijät, kuten pölyjen muodostuminen
- aineiden ja/tai pölyn ominaisuudet
- työskentely- ja prosessiolosuhteet (syttymislähteet) sekä
- näiden mahdolliset keskinäiset ja työympäristöstä johtuvat yhteisvaikutukset.

Esimerkkejä räjähdysvaaratilanteista löytyy useilta toimialoilta. Jätevesihuollossa esimerkiksi jätevedenpuhdistamoissa syntyy mädätyskaasuja, joista muodostuu räjähdyskelpoisia kaasun ja ilman seoksia. Maalamoissa ruiskumaalauksessa syntyvä hukkasuihku ja liuotinhöyryt muodostavat ilmaan sekoittuessaan räjähdyskelpoisia seoksia. Mekaanisessa puuteollisuudessa puisia kappaleita työstettäessä syntyy puupölyä, joka muodostaa esim. suodattamissa tai silloissa räjähdyskelpoisia ilman seoksia. Elintarvike- ja rehuteollisuudessa viljojen, sokerin tms. kuljetuksen, varastoinnin ja prosessoinnin yhteydessä syntyy räjähdyskelpoisia pölyjä.

## Tila- ja laiteluokitus

Työnantajan on luokiteltava räjähdysvaaralliset (EX-)tilat. Tilaluokitus tehdään yleensä soveltamalla SFS-käsikirjoissa tai standardeissa annettuja esimerkkejä. Tilaluokitus voidaan tehdä myös pitoisuusmittausten ja laskelmien perusteella. Laittekokonaisuuksien toimittajat antavat usein omat suosituksensa, joiden mukaan he myös ovat määritelleet toimitettavien laitteiden vaatimukset. Tilaluokka asettaa vaatimuksia käytettäville laitteille. Laiteluokituksessa otetaan huomioon tilaluokka ja luokituksen perusteena olevien aineiden räjähdysryhmät ja lämpöluokat. Kaikkien luokitelluissa tiloissa käytössä olevien laitteiden tulee olla varustettu riittävää laiteluokkaa osoittavalla merkinnällä tai riskinarvioinnin avulla turvallisiksi todettuja. Laitteilla ei tarvitse olla yhteyttä palaviin aineisiin. Riittää että laitteet sijaitsevat luokitellussa tilassa tai ne tuodaan sinne.

Laitteista, jotka sijaitsevat luokitelluissa tiloissa tai jotka voidaan sinne tuoda, laaditaan luettelo. Laiteluettelossa mainitaan laitteen nimi, sijaintipaikka, tilaluokka, laiteluokka ja perusteet turvalliselle käytölle. Laiteluettelo sisältää sähkö- ja mekaaniset laitteet sekä mahdolliset turva-, säätö- ja ohjauslaitteet.

## Räjähdyssuojaustoimenpiteet ja räjähdysuojasiasiakirja

Räjähdyssuojaustoimenpiteitä ovat kaikki järjestelyt ja toimenpiteet, joiden avulla estetään räjähdysten tapahtuminen ja rajoitetaan räjähdysten vaikutusta. Toimenpiteet ovat luonteeltaan teknisiä tai organisatorisia. Räjähdyksen estämiskeinot alkavat sillä, että valitaan oikeat laitteet oikeaan paikkaan ja merkitsemällä räjähdysvaaralliset tilat. Jos esimerkiksi maalaamossa käytetään liuottimia, huomio kohdistuu maalin levityskohteeseen, kuivaukseen ja maalivarastoon sekä niiden ilmanvaihtoon. Räjähdyksen vaikutuksen vähentämistä ovat räjähdysten suuntaaminen niin, että vahingot jäävät vähäisiksi sekä suojukset ja järjestelmät, joilla estetään esimerkiksi pölyräjähdysten eteneminen kanavissa. Jos puupölyä kertyy kanaviin, räjähdys saattaa nostaa pölypilven, joka kuljettaa räjähdystä jopa kymmeniä

metrejä. Myös siivouksen merkitys pölykohteissa on suuri, sillä mm. pölykertymät lisäävät räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntymahdollisuutta.

Räjähdyssuojausasiakirjassa esitetään riskinarviointien tulokset sekä menettelytapa, jota räjähdysvaaran tunnistamisessa on käytetty. Selvitys siitä, missä vaaroja esiintyy ja mitä laitteita tiloissa on. Asiakirjasta ilmenevät tilojen luokittelu sekä luettelo laitteista ja työvälineistä, jotka voivat toimia syytyslähteinä. Räjähdyssuojausasiakirjassa on selvitys toteutetuista räjähdysuojaustoimenpiteistä, sekä tekniset että organisatoriset suojaustoimenpiteet, kuten työohjeet, työntekijöiden pätevyys, laitteiden tarkastusmenettelyt jne. Olosuhdedirektiivi edellyttää, että tiloissa, joissa voi esiintyä räjähdysvaarallisia ilmaseoksia, työvälineet ja suojausjärjestelmät on valittava ATEX-laitedirektiivissä säädettyjen luokkien mukaisesti. Räjähdyssuojausasiakirjan sisällöstä on tarkemmin esim. ATEX-oppaissa tai ATEX-foorumien aineistoissa.

Lisätietoa:

1. Tapaturmat ja onnettomuudet

- <http://www.tukes.fi/varo/>
- <http://www.tvl.fi>
- <http://www.tyosuojelu.fi/fi/kemikaalit> (Työsuojelupiirit, kemikaalit)

2. Kemikaali- ja paloturvallisuus

- <http://tukes.fi>
- <http://www.ttl.fi/kemikaaliturvallisuus> (Työterveyslaitos, kemikaaliturvallisuus, tietoa kemikaaleista)
- <http://www.pelastustoimi.fi>
- <http://www.chemistry.hut.fi/turvallisuus/>

3. Julkaisuja

- Hapojen ja emästen varastointi ja käsittely, STM oppaita 2000:7
- Kemikaalien turvallinen käsittely ja varastointi, KENK julkaisuja 2003:1
- Ohje kemikaalien kappaletavaravarastosta, STM oppaita 2002:7
- Ympäristölle vaaralliset kemikaalit, STM oppaita 2002:2

4. ATEX

- <http://www.ttl.fi/Atex> (Atex-foorumi, mm. ohjeet räjähdysuojausasiakirjan laatimiseen)
- [http://www.tukes.fi/vaaralliset\\_aineet/esitteet\\_ja\\_oppaat/atex\\_rajahdeopas.pdf](http://www.tukes.fi/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/atex_rajahdeopas.pdf) (Turvatekniikan keskus, räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus)
- [www.sfs.fi](http://www.sfs.fi) (Laitestandardit)
- [http://www.tukes.fi/vaaralliset\\_aineet/esitteet\\_ja\\_oppaat/vaaralliset\\_kemikaalit\\_esite.pdf](http://www.tukes.fi/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/vaaralliset_kemikaalit_esite.pdf)

## 3 FYSIKAALISET TEKIJÄT

### 3.1 Melu

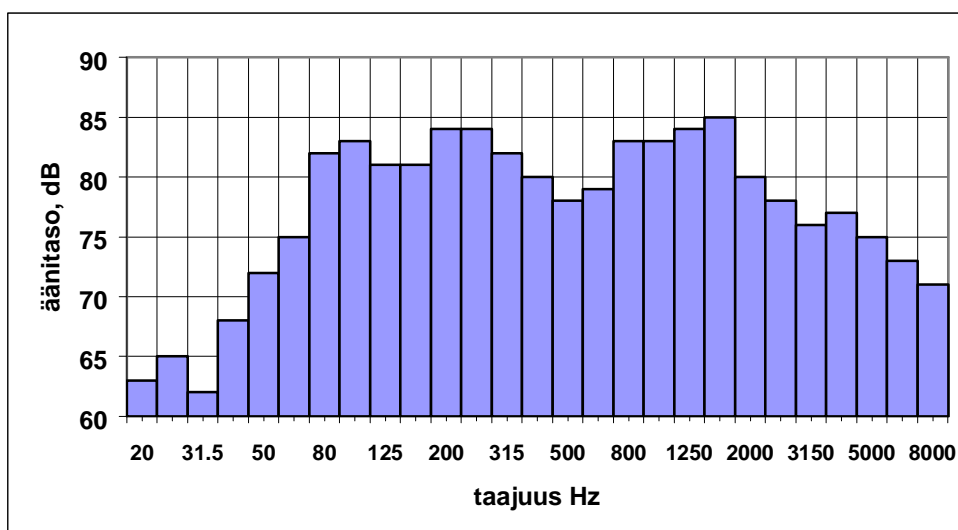
#### 3.1.1 Yleistä, käsitteet

Melu on monivaikutteinen häiritsevä tekijä. Melu aiheuttaa vuosittain 1600 ilmoitettua ammattitautia, jotka ovat muutoksia ihmisen kuulokyvyssä. Melulla on myös muita kuin kuuloon kohdistuvia vaikutuksia. Yli 85 dB:n melulle altistuvia arvioidaan olevan 200 000 ja yli 80 dB melulle altistuvia yli 400 000 työntekijää. Melulla ja tärinällä lienee myös yhteyksiä työtapaturmiin. Tarpeetonta tai haitallista ääntä sanotaan meluksi.

Ääni voi edetä ilmassa, nesteessä ja kiinteässä aineessa. Se on olemassa vain välittäjäaineessa. Tämä piirre erottaa äänen sähkömagneettisista aalloista ja säteilystä. Melu on ei-toivottua ääntä. Siten yksi melun piirre on äänen vastaanottajan psykologinen reaktio. Ilmassa kulkeva ääni on määritelty paineen vaihteluiksi staattisesta ilmanpaineesta. Paine,  $p$ , mitataan Pascaleina (Pa). Paineen vaihtelun määrä määritellään taajuutena,  $f$ , ja mitataan hertseinä (Hz). Äänen nopeus riippuu välittäjäaineesta. Ilmassa äänen nopeus,  $c$ , on noin 340 m/s, ja se riippuu ilman lämpötilasta ja -paineesta. Vedessä se on noin 1500 m/s, ja teräksessä noin 6000 m/s. Äänen aallonpituus,  $\lambda$ , mitataan metreinä (m). Kaava äänen nopeuden laskemiseksi taajuudesta ja aallonpituudesta on (1):

$$(1) \quad f \cdot \lambda = c.$$

Äänen taajuus määrittää joitakin sen ominaisuuksista. Ihmisen kannalta ääni voidaan karkeasti jakaa infraääneen (0-20 Hz), korvin kuultavaan ääneen (20-20 000 Hz) ja ultraääneen (20 kHz–200 MHz), koska korvin kuultava ääni edustaa normaaliin värähtely-äänen kuuloaluetta. Käytännössä taajuuksia analysoidaan taajuusalueina (oktaavi, 1/3-oktaavi, 1/12-oktaavi) tai yksittäisinä taajuuksina (fast Fourier transform). Kun kaikki tyypillisesti kuultavat taajuusalueet on analysoitu, tuotetaan taajuusspektri. Tyypillinen taajuusspektri on kuvattu kuvassa 2.



Kuva 2. Käsiporan taajuusspektri tiilen porauksen aikana

Infraääni välittyy vapaasti ilmassa niin, että infraääni joka saa alkunsa yhdeltä mantereelta voidaan jopa mitata toisella. Esimerkiksi Persianlahden sodan aikana ruotsalainen tiedemies pystyi mittaamaan Kuwaitissa palavista öljylähteistä syntyvän infraäänin. Spektrin toisessa päässä taas ultraääni tarvitsee korkeammilla taajuuksilla (enemmän kuin satoja kilohertzejä) nestemäisen välittäjäaineen edetäkseen. Siksi metallurgisissa analyyseissä ja lääketieteellisessä tutkimuksessa on käytettävä nestemäistä välittäjäainetta anturin ja vastaanottavan aineen välillä.

Äänen värähtelylaajuus voidaan määrittää äänen painetasona ( $L_p$ ), äänen tehotasona ( $L_w$ ) tai äänen intensiteettitasona ( $L_I$ ), joista yksikään ei ole sama käytännön työssä. Äänen tasot ovat logaritmisia suureita, ja niitä mitataan desibeleinä (dB) kuten kaavassa (2):

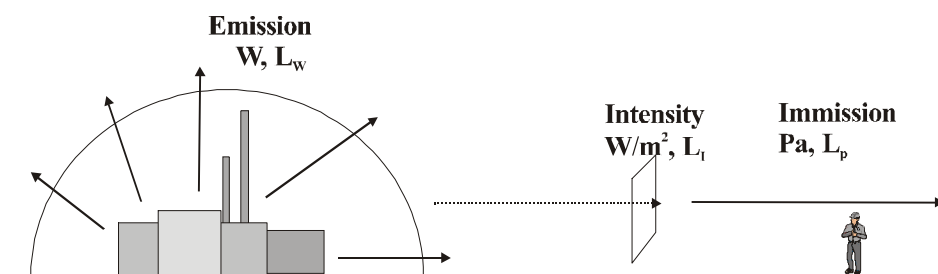
$$(2) \quad L_p = 20 \log (p/p_o), \quad L_w = 10 \log (W/W_o) \text{ and } L_I = 10 \log (I/I_o),$$

missä:  
 $p$  = äänen paine (Pa)  
 $p_o$  = vertailupaine (20  $\mu$ Pa)  
 $W$  = teho (W)  
 $W_o$  = vertailuteho (1 pW)  
 $I$  = intensiteetti ( $W/m^2$ )  
 $I_o$  = vertailuintensiteetti (1 pW/m<sup>2</sup>).

Kun arvioidaan meluallistumista, otetaan huomioon äänitason lisäksi melun kestoaika. Ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$  käsitteessä on otettu huomioon A-äänitaso ja melun kestoaika. Tällöin ajan myötä muuttuvasta äänenpaineesta lasketaan energiakeskiarvo mittausajan yli.

Melu voi olla luonteeltaan tasaista ja jatkuvaa tai nopeasti vaihtelevaa sekä impulssi- maista. Myöskin melun taajuussisältö voi vaihdella äänestä eli yhtä taajuutta sisältävästä äänestä taajuusjakautumaltaan laajaan meluun. Ääniä, joiden taajuus on alle 16 Hz, sanotaan infraääniksi ja vastaavasti ääniä, joiden taajuus on yli 16 000 Hz ultraääniksi. Impulssimelulla tarkoitetaan lyhytaikaisia ääniä sisältävää melua. Kapeakaistainen melu sisältää selvästi erottuvia ääniksiä tai muita suppealle taajuusalueelle sattuvia ääniä.

Kuva 3 kuvaa äänen painetason, äänen tehotason ja äänen intensiteettitason käyttöä. Tavallisesti äänen painetasoa käytetään immissioarvona eli altistumisen arvona, äänen tehotasoa käytetään kuvaamaan melulähteen melupäästöä eli emissiota sekä äänen intensiteettitasoa voidaan käyttää molempien edellä mainittujen suureiden laskemiseen.



Kuva 3. Äänen emissio, intensiteetti ja immissio, joita mitataan vastaavasti äänen tehotasona, intensiteettitasona ja äänen painetasona

A-painotettua äänen painetasoa (dB(A)) käytetään useissa ihmisten meluarvioinneissa liittyen ihmisten altistumiseen. Tyypillisesti, kyseessä ollessa keskisuuret äänen painetasot, se mitataan äänitasomittarilla käyttäen A-suodinta, joka vaimentaa pienet taajuudet samaan tapaan kuin ihmisen kuuloaisti tekee. Korkeammilla taajuuksilla ihmiskorvan värähtelyvaste on suoraviivaisempi ja siksi impulssiäänien osalta mittaus C-painotussuotimella on tullut yleisemmäksi. Esimerkiksi 10 Hz taajuudella A-suodin vaimentaa 70 dB, kun vastaava arvo C-suotimella on 14 dB. Vastaavat vaimennus arvot 100 Hz:llä ovat 19 dB A-suotimella ja 0 dB C-suotimella.

On usein välttämätöntä laskea äänilähteiden yhteisvaikutuksia, ja tällöin on myös desibelejä laskettava yhteen. Koska desibelit ovat logaritmisia suureita, täytyy lisäys tehdä seuraten logaritmisien laskennan periaatteita, kuten (3):

$$(3) \quad L_{tot} = 10 \log (\Sigma 10^{L_{pi}/10}).$$

Äänen logaritmistä keskiarvoa kutsutaan ekvivalentiksi äänenpaineen tasoksi, ja se määräytyy (4):

$$(4) \quad L_{eq} = 10 \log [1/T(\Sigma 10^{L_{pi}/10} \Delta t)],$$

jossa:  $T$  = koko mittausjakso  
 $\Delta t$  = osa-altistumisen jakso.

Esimerkiksi kiväärin laukauksessa huipputaso voi olla 156 dB ja äänen altistustaso,  $L_{E1s}$ , 130 dB yli 1 s, joka vastaa 85 dB yli 8 h ajalle.

### 3.1.2 Melulähteet

Akustisesti värähtelevä pinta ja pyörteinen ilmavirtaus ovat tärkeimmät melunlähteet. Resonanssi voi lisätä tai vähentää rakenteellisesti syntynyttä melua kulkiessaan koneen läpi kohti värähtelevää paneelia. Yksi käytännöllinen äänen lähteen kuvaaja on akustinen tehokkuus,  $\eta_{acous}$ , joka on pieni luku, yleensä välillä  $10^{-5} \dots 10^{-7}$ . Akustinen tehokkuus ilmaisee kuitenkin, että jopa erittäin pieni teho voi aiheuttaa merkittävän äänenvoimakkuustason. Esimerkiksi jos koneella on 1 kW teho, ja jos miljoonasosa tehosta muuttuu akustiseksi energiaksi, akustinen energia on 1 mW, joka vastaa 90 dB äänentehotasoa.

Koneessa melua voivat synnyttää hammasrattaat, laakerit, iskuäänit sekä ilman puhallus tai imeminen. Eri rakenteet voivat välittää lähteen aiheuttaman värähtelyn. Värähteleville rakenteille on tyypillistä resonanssien tai antiresonanssien esiintyminen, jolloin taajuuksien tai moodien muuttaminen voi muuttaa resonansseja ja erityisesti niiden voimakkuutta. Resonanssien takia voi olla hyvin vaikeaa analysoida runkovärähtelyjen etenemistä rakenteissa. Kun runkovärähtely osuu värähtelemään kykenevään levyyn, pintaan tai alueeseen, värähtely voi muuttua akustiseksi värähtelyksi eli ilmaääniksi, jolloin syntyvä äänitaso voi riippua esimerkiksi pinnan säteilykertoimesta, pinnan pinta-alasta ja värähtelemään pääsevän pinnan nopeudesta. Näin ollen materiaalin ja pinnan ominaisuudet ja rakenteellinen nopeus määrittävät äänenpainetaso. Teollisuudessa yleisiä äänen lähteitä ovat esimerkiksi koneet, kuljetus, ilmastointi ja käsityökalut.

Pyörteinen ilmavirta voi aiheuttaa melua. Esimerkiksi polttoleikkaus hapella, ilman puhallus ja ilmanvaihto voivat olla melunlähteitä. Värähtelevät ilmapatsaat ovat myöskin pääasiallisia melunlähteitä moottoreissa ilmaa sisään otettaessa tai ulos päästettäessä poltettaessa ilmapolttainesekoitusta. Melu saattaa jopa vahvistua jos puhallettavaa ilmaa häiritään tai johdetaan verkkojen läpi. Syntyvä melu riippuu ilmavirran poikkipinta-alasta, säleikoista ja virtausnopeudesta. Kun nopeus kasvaa, kuten suihkupuhalluksessa, äänenpainetaso kasvaa suuremmilla eksponenteilla kuin esimerkiksi 2.

Melua esiintyy eniten sellaisissa töissä, joissa käsitellään suuria massoja ja energiamääriä, erityisesti alku- ja perustuotannossa, kuten kaivostoiminnassa ja puunjalostusteollisuudessa. Kaivannaistoiminta on muihin toimialoihin verrattuna meluisin työympäristö ja 50 %:ssa mittauksista ylitettiin melutaso 93 dB A-äänitasona. Kaivostyössä suurin melu syntyy räjäytyksistä, porista, kaivinkoneista, lohkkareiden siirrosta ja murskauksesta. Puutavaran valmistuksessa 50 %:ssa mittauksista ylitettiin A-äänitaso 95 dB. Sahojen melutasoiksi on mitattu 90–100 dB(A) ja puuntyöstökoneiden 90–105 dB(A). Taulukossa 6 on esitetty yksittäisten koneiden mitattuja melutasoja.

*Taulukko 6. Puutavaran valmistuksessa mitattuja melutasoja*

laite	A-äänitaso, dB
katkaisusaha	90–100
halkaisusaha	94–96
jyrsinkone, puusorvit	90–110
höylät	94–110
levysaha	95–117
listoituskone	95–96
käsihiomakone	94–96
nauhahiomakone	82–86
veistohallin hakkuri	100

Metalliteollisuudessa 50 %:ssa mittauksista ylitettiin melutaso 94 dB. Taulukossa 7 on esitetty laite- tai työkohtaisia mittaustuloksia.

*Taulukko 7. Melumittaustuloksia konepajoissa*

laite, työ tai paikka	A-äänitaso, dB
paja, takomo, pintakäsittely	78–92
maalaukset	81–93
hitsaus ja levytyö	81–86
koneistus kokoonpano	75–82
varasto ja yleishuolto	62–80
käsihiomakoneet	90–105
sorvit	91–97
jyrsinkoneet	85–90
käsityökalut	90–110

Rakennusalalla 50 %:ssa mittaustuloksista ylitettiin A-äänitaso 94 dB. Rakennusalalta mitattuja melutuloksia on taulukossa 8.

Taulukko 8. Rakennustoiminnassa mitattuja meluja

työ tai kone	A-äänitaso, dB meluannos	hetkellinen, dB
lattiahionta	85–97	
poraus		94–102
hionta		99–117
piikkauskoneet (ei vaimennettu)	96–99	100–117
piikkauskoneet (vaimennettu)	96–99	97–105
sauvatärytin	87–88	85–92
ajoneuvot		80–90
hiekkatasotteiden ruiskutus	95–108	100–105
betonimyllyn vieressä	86	82–88
hitsausmelu		65–85
hitsaaja	83–95	
kaivinkoneen kuljettaja	85–90	
maantärytyskone		100–104
elementtien sahaus		92–100
betonivalaja		85–91
pohjarakenteen paalutus	96	

Autokorjaamoissa mitattuja melutasoja on taulukossa 9.

Taulukko 9. Autokorjaamoiden melumittaustuloksia

laite	A-äänitaso dB
ilmameisseli	106–112
mutterinväänin	96–104
laikkahiomakone	95–107
pisteavaaja	101
konesaha	104
paineilmasuutin	106

paikka	ekvivalenttitaso $L_{eq}$ , dB
raskaan kaluston korjaamo	78–88
henkilöautokorjaamo	75–97
peltipuoli	85–97
korjaamon yleismelu	
- korjaamopuoli	79–85
- peltipuoli	84–90

Edellä olevissa taulukoissa ja kuvissa esitetyt mittaustulokset on yleensä mitattu työntekijän korvan kohdalta. Arvot ovat satunnaisia mittaustuloksia, joten tapauskohtaisesti saattaa esiintyä merkittäviä eroja työstä, työkalusta, koneesta tai laitteesta johtuen.

Lukumääräisesti suurin osa meluvammoista on syntynyt teollisuudessa. Teollisuuden eri toimialoista merkittävimmät meluvammojen aiheuttajat olivat metalli- ja konepajateollisuus, puuteollisuus ja paperiteollisuus. Yleisimmin meluvamma on syntynyt miehillä koneenasentajan, koneistajan, työkaluntekijän, ohutlevysepäen, hitsaajan ja kaasuleikkaajan ammateissa sekä naisilla kutojan, puutavaratyöntekijän ja siivoojan ammateissa.

Impulssimelua syntyy, kun äänivärähtelyä aiheuttava voima on lyhytaikainen. Kun kaksi kiinteää kappaletta iskeytyy toisiinsa, kohdistuu kumpaankin lyhytaikainen voima, voima-impulssi, joka saa molemmat kappaleet värähtelemään omilla resonanssitaajuuksillaan. Jos kappaleen pinnat ovat suuret ja sisäiset häviöt ovat pienet, on äänen säteily tehokasta. Jos impulssi on kestoaltaan lyhyt, ovat hidastusvoimat suuret ja isku on taajuudeltaan laaja. Jos taas on kyseessä säännöllisten samanlaisten impulssien sarja, jonka toistotaajuus on suuri, syntyy jaksollinen ilmiö, jolla on lähes viiva spektri. Tällöin syntyy soiva ääni, esimerkkinä suorahampainen hammasvaihde. Iskeytyvän kappaleen liike-energia on verrannollinen nopeuden neliöön eli liikenopeuden kasvaessa muuttuu impulssi lyhytaikaisemmaksi ja jos on kysymys iskusarjasta, kasvaa myös iskujen lukumäärä aikayksikössä. Iskeytyvän kappaleen massan vähentäminen vähentää myös liike-energiaa ja siten iskuääniä.

Suihkuvirtaus melulähteenä. Kun kaasu poistuu suuttimesta (esim. paineilmapuhallus), muodostuu suuttimen eteen laminaarinen ydinvirtaus ja sen ympärille pyörteinen sekoitumisalue. Melu syntyy pääosin pyörteisellä alueella jonkin matkan päästä itse suuttimesta. Suihkuvirtauksen ääniteho on verrannollinen suihkun nopeuden kuudenteen potenssiin ja virtausaukon pinta-alaan. Ääniteho kasvaa nopeammin kuin suihkun kokonaisteho eli akustinen hyötysuhde kasvaa. Suihkumelun taajuus kasvaa virtausaukon pienetessä ja/tai suihkun nopeuden kasvaessa.

Nestevirtaus melulähteenä. Nesteäänestä on ihmisen kannalta haittaa vasta kun se on muuttunut ilmaääneksi. Tämä tapahtuu värähtelevien pintojen välityksellä, joihin nesteääni etenee runkoäänitietä. Nesteen virratessa hitaasti putkessa on virtaus laminaarista. Laminaarivirtauksen kehittämä äänienergia on äärimmäisen vähäistä eikä sillä ole käytännön merkitystä. Nopeuden kasvaessa nesteeseen kehittyy pyörteitä, jolloin värähtelyenergia kasvaa äänialueella. Suorassa ja sileässä putkessa pyörteiden aiheuttama äänienergia ei useimmiten ole haitallista, elleivät nopeudet ole hyvin suuret. Haitallisia meluja syntyy käytännössä useimmiten vasta silloin, kun virtausta jotenkin kuristetaan, jolloin syntyy paikallisia nopeushuippuja ja pyörteisyyttä. Jos kuristuskohdassa paine lisäksi alenee riittävän alhaiseksi, muodostuu nesteeseen kuplia nesteeseen höyrystyessä tai siihen liuenneiden kaasujen vapautuessa. Paineen jälleen kasvaessa kuristuskohdan jälkeen kuplat luhistuvat kokoon, mistä johtuvat paineiskut aiheuttavat huomattavan melutason kasvun. Tästä ns. kavitaatioilmiöstä johtuva melutason kasvu on usein 10 dB.

Polttomoottori. Pääasialliset melulähteet ovat pako- ja imuaukot, joissa värähtelevä kaasuvirtaus aiheuttaa melua. Pakopuolen melu on tavallisesti 8–10 dB korkeampi kuin imupuolella oleva melu. Molempien lähteiden melutaso kasvaa konetta kuormitettaessa. Seuraava melu on palamisprosessista aiheutuva melu, joka riippuu sylintereissä olevan paineen kasvusta. Todellinen paineen kohoaminen ei näytä olevan yhtä tärkeää kuin paineen nousun nopeus. Bensinimoottorissa palamista edeltää kipinä ja palaminen etenee melko hitaasti. Dieselmoottorissa syttyminen on nopea, paine nousee nopeasti ja tuloksena syntyy melko leveä piikki 800–2000 Hz taajuusalueelle. Mekaaniset äänet peittävät usein palamisesta aiheutuvan melun. Niitä ovat: kiertokangen melu, polttoaineen syöttö, putket, liika väljyys venttiileissä, riittämätön voitelu, tasapainovirheet, taipuneet osat, irtososat ja huono asennus. Traktorin dieselmoottorin moottorimelu kasvaa eri tutkimusten ja kokeiden mukaan 20–30 dB pyörimisnopeuden kymmenkertaistumista kohti. Moottorin iskuilavuuden vaikutuksen on todettu olevan n. 17 dB iskuilavuuden kymmenkertaistumista kohti.

Sähkämoottori. Tavallisin sähkökone teollisuuden käytössä on oikosulkumoottori, joka synnyttää periaatteessa kolmenlaista melua. Sähkömagneettinen melu ja laakerimelu aiheutuvat koneen rakenneosien värinästä, joka leviää osasta toiseen. Tästä energiasta osa säteilee ympäröivään ilmaan äänenä, jota voivat vahvistaa mahdolliset resonanssit. Lisäksi syntyy etenkin nopeissa moottoreissa tuuletinmelua, joka aiheutuu tuuletinkanavissa olevien

ilmamassojen värähtelyistä. Tuuletinmelussa on joskus sireenivaikutusta, joka syntyy ilmapatsaiden resonanssista.

Puhallin. Ilmanvaihtopuhaltimen äänen voidaan katsoa syntyvän pääasiassa kahdella eri tavalla, mekaanisena äänenä ja puhaltimen läpi virtaavana ilmassa syntyvänä äänenä. Mekaanisen äänen aiheuttavat puhaltimen ja moottorin laakerit, hihnat, epäkeskeisyydestä johtuva puhaltimen vaipan levyosien värähtely, moottorin magneettiset värähtelyt, moottorin harjat jne. Suurilla puhaltimilla vallitsee aerodynaaminen melu, kun taas pienissä puhaltimissa voi mekaaninen melu olla vallitseva.

Hammaspyörien melu. Hammasheräte syntyy aina uuden hampaan saapuessa ryntöön. Hammasherätteen aiheuttama perustaajuus saadaan yhtälöstä

$$(5) \quad f_z = n \cdot z / 60 \text{ (Hz)}$$

missä:  $f_z$  = hammasherätteen taajuus (Hz)  
 $n$  = pyörimisnopeus (1/s)  
 $z$  = hampaiden lukumäärä.

Kuormituksen aiheuttaman taipuman tai hammasvaurion vaikutuksesta kuormittamaton hammas törmää vauhtipyörän hampaaseen aiheuttaen sitä suuremman sysäyksen mitä suurempia taipumat tai hammasvauriot ovat. Muita melulähteitä ovat: pyörimisheräte, jonka aiheuttaa tavallisesti virhe yhdessä hampaassa, hammastyöstöheräte, jonka syynä on virhe hammastusta työstettäessä sekä kitkaheräte hampaiden kylkien välillä. Herätetaajuuksien lisäksi esiintyvät tavallisesti taajuuksien monikerrat. Erityisesti melua syntyy, kun herätaajuudet sattuvat jonkin koneen osan (hammaspyörä, akselit, kotelon seinät) ominaistaajuuden lähelle. Hampaan pään helpotuksella, ryntösuhteella, hampaan vinouskulman valinnalla, ryntökulman valinnalla, kehänopeudella, kuormituksella, välityssuhteella, laakeroinnilla, voiteluaineella ja hampaan valmistusmateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa syntyvään meluun.

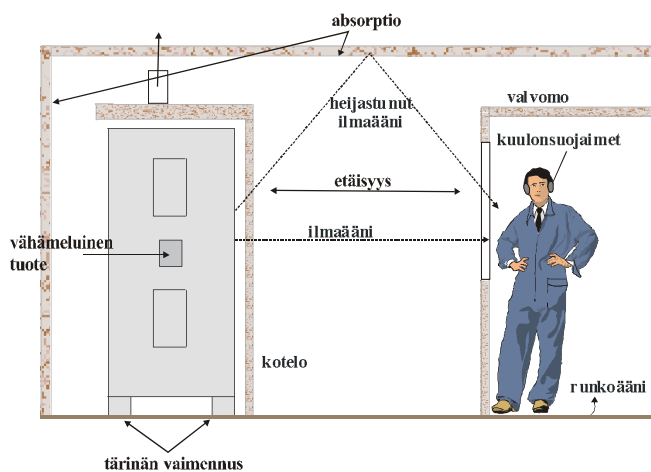
### 3.1.3 Melun eteneminen

Ilmassa ääni etenee lähes vakionopeudella riippuen hieman ilman lämpötilasta. Lämpötilassa +20 °C äänen etenemisnopeus on 343 m/s. Lämpötilan vaikutus äänen etenemisnopeuteen joudutaan huomioimaan esimerkiksi suunniteltaessa äänenvaimenninta pakoputkeen, jossa virtaavien kaasujen lämpötila on melko korkea. Äänen etenemisnopeus ei riipu äänen taajuudesta. Ilma sinänsä vaimentaa eli absorboi ääntä. Ilman absorptio vaikutus on merkityksetön sisätiloissa suuria taajuuksia lukuun ottamatta.

Jos äänilähde on pistemäinen eli aallonpituuteen verrattuna pieni, yhtä paljon joka suuntaan säteilevä esine, äänenpainetaso pienenee 6 dB aina kun etäisyys äänilähteestä kasvaa kaksinkertaiseksi vapaassa kentässä. Jos äänilähde ei ole pistemäinen, on äänenpainetason aleneminen aluksi hitaampaa.

Runkoääniä syntyy yleensä kun koneiden tärinä siirtyy kiinteisiin rakenteisiin. Runkoäänien esiintyminen on melko yleistä. Ne vaikuttavat haitallisesti paitsi ihmiseen myös koneisiin. Usein runkoääni voi muuttua ilmäääniksi hyvinkin kaukana syntysijoiltaan. Runkoäänien eteneminen aiheuttaa ongelmia etenkin betonirakennuksissa ja laivoissa. Runkoääni etenee myös maaperässä. Rakennusrungossa edetessään ääni muuttuu kitkan vaikutuksesta lämmöksi, mutta yleensä se tapahtuu hyvin hitaasti. Esimerkiksi tiilessä se on suuruusluokkaa 0,01–0,1 dB/m 500 Hz taajuudella.

Äänenpainetason pieneneminen rakennuksen kerroksesta toiseen siirryttäessä näyttää johtuvan rajapintojen seinä/välipohja, seinä/seinä heijastusvaikutuksesta. Jos ääni kulkee pitkin suhteellisen raskasta betoniseinää ja kohtaa n. 12 cm paksuisen betonivälipohjan, äänenpainetaso pienenee n. 9 dB kuljettuaan välipohjan läpi. Ilmaääni voi käyttää rakennuksen runkoa hyväkseen siirtyessään huonetilasta toiseen. Jos ääni ei kulje suoraan kyseisten huonetilojen välisen seinän läpi, vaan kiertotietä, ilmiötä sanotaan sivuitsiirtymiseksi. Sivuitsiirtyminen voi tapahtua ulkoseinää tai sisäseinää pitkin esimerkiksi ilmanvaihtokanavan kautta. Muuten raskasrunkoisessa rakennuksessa voivat ohuet betonilevyt ja kevyt-betoniseinät toimia varsin tehokkaina sivuitsiirtäjinä. Rakenteellisen melun vahvistusprosessin vaimentamiseen rakennuksissa ilman ääni, rakenteessa syntyvä ääni ja äänen altistus pitää analysoida. Ilmassa syntyneen äänen analyysit ja askeläänten eristävyysominaisuudet on standardoitu ISON (International Organization for Standardization) toimesta (1995). Äänen absorptio-ominaisuudet voidaan määrittää erilaisille materiaaleille, mm. mineraalivilloille, tilan jälkikaiunta-aikamenetelmällä. Ääni voi kuitenkin siirtyä lähteestä vastaanottopisteeseen montaa reittiä, joita kuva 4 havainnollistaa.



Kuva 4. Äänen etenemismahdollisuuksia: ilmaääni, runkoääni, ilmastointikanavan aukko, ja lattian kautta tapahtuva värähtely

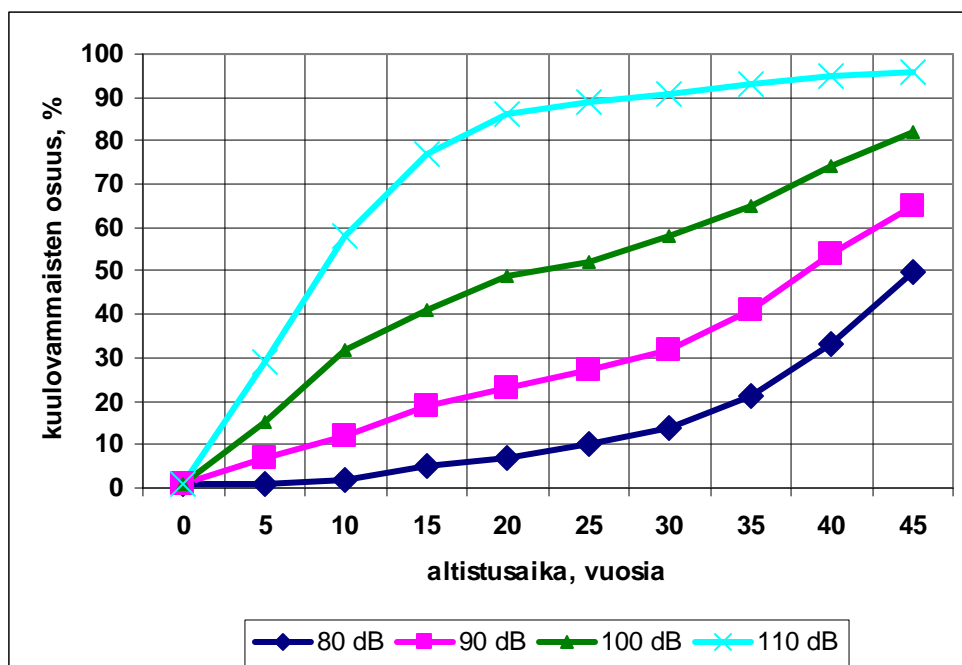
### 3.1.4 Äänen ja melun vaikutukset

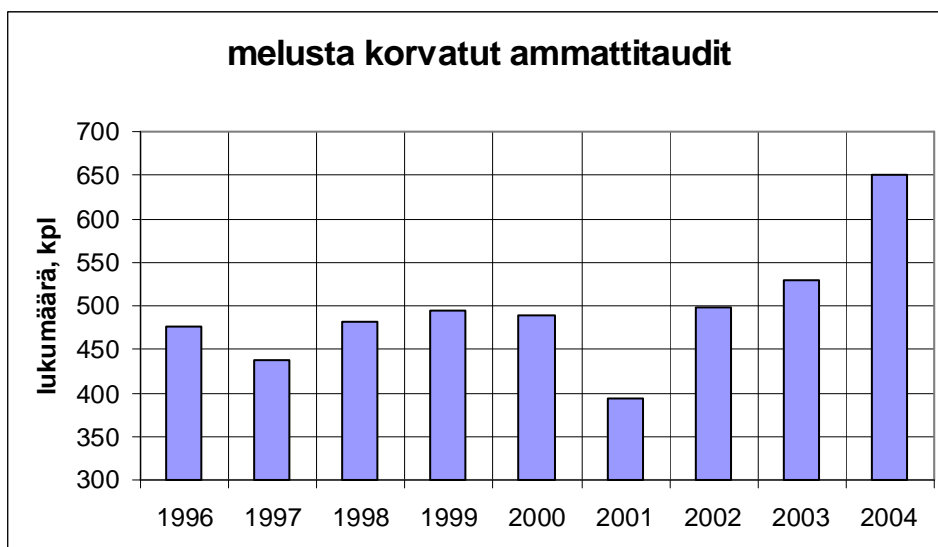
Melu on kuulolle vaarallista, kun huutamallakaan puhe ei kuulu 0,5 metrin etäisyydeltä.

Äänellä on monenlaisia vaikutuksia. Kuuloaisti on yksi perusaisteistamme, ja siksi erittäin tärkeä. Ultraääntä käyttävä lääketieteellinen tutkimus ihmisillä ja eläimillä on kasvamassa. Äänellä voi olla haitallisia vaikutuksia henkilön hyvinvointiin ja tällöin melusta tulee ongelma. Melu voi huonontaa kuuloa, se voi aiheuttaa tinnitusta tai korvien soimista, se voi aiheuttaa häiriöitä ja sillä voi olla ärsyttäviä vaikutuksia. Fysiologisessa järjestelmässä ääni voi toimia varoituksena, ja tällaisissa tilanteissa se käynnistää henkilön hormonijärjestelmän taistelemista tai selviytymistä varten. Jos järjestelmä nostetaan useita kertoja päivässä, väsyy henkilö, ja melu saattaa näin aiheuttaa fysiologisia tai psykologisia ongelmia.

Kirjassa *Community Noise* (Berglund and Lindvall 1995) melun vaikutukset on jaettu melun aiheuttamaan kuulon heikentymiseen, aistivaikutuksiin, melun havaitsemiseen, puhevies-tinnän häiriintymiseen, unen häiriintymiseen, psykofyysisiin vaikutuksiin, mielenterveys-vaikutuksiin, suorituksen vaikutuksiin sekä asumiseen liittyviin, toiminnallisiin ja ärsytys-vaikutuksiin. Jos henkilö altistuu erittäin meluisalle ympäristölle yli vuoden ajan, seuraa melun aiheuttamia väliaikaisia ja pysyviä kuulokynnyksen muutoksia. Pysyvä kuulovaurio on mahdollinen 85–90 dB pitkäaikaisen altistumisen jälkeen. Impulssiäänille altistumisessa raja-arvo on 140 dB. Melu voi aiheuttaa välillisesti tapaturmavaaroja kuulohavaintojen vaikeu-tuessa tai varoitusaänien kuulemattomuuden takia. Mikään ei viittaa luotettavasti siihen, että infraääni joka alittaa kuulokynnyksen voisi aiheuttaa fyysisiä tai psyykkisiä vaikutuksia. Kuitenkin voimakkaat infraäänien tasot voivat aiheuttaa resonanssia ihmisruumiissa. Erittäin voimakkailla infraäänien tai pientaajuisten äänen tasoilla voi korva mekaanisesti vahingoittua, ja jos ääni on impulssiääni, saattavat keuhkot ja sisäelimet alkaa vuotaa verta. Ultraäänien vaikutusten sanotaan muistuttavan stressin vaikutuksia. Monet raportoidut vaikutukset saattavat olla aiheutuneet ultraäänien ja voimakkaan kuultavan äänen yhdistelmälle altis-tuessa. Yleensä katsotaan, ettei pienitaajuisella alle 105 dB ultraäänellä ole haitallisia vaiku-tuksia.

Yksinkertainen melun altistumisajan, A-äänitason ja kuulovammaisten osuuden yhdistävä koko-naisuus on esitetty kuvana 5. Kuva 5 pätee parhaiten tasaiselle, jatkuvalle ja laajakaistaiselle teollisuusmelulle, jonkalaista altistumista ei itse asiassa kovin paljon esiinny. Kun melu muuttuu epäsäännölliseksi tai impulssimaiseksi, kuvan 5 arviot heikkenevät. Työhygieeninen ylempi toiminta-arvo on valtioneuvoston asetuksen 85/2006 mukaan 85 dB jatkuvalle melulle ja 137 dB melun huipputasolle. 40 vuoden altistumisaika 85 dB työmelulle tuottaa lähes joka toiselle kuulovaurion tai 10 vuoden altistusaika vajaalle 10 %:lle. Huipputason 137 dB ylittävien impuls-sien aiheuttamista riskeistä tarvittaisiin lisätietoa. Toistaiseksi tiedetään, että melun ja tärinän impulsiivinen luonne lisää riskiä.





Kuva 5. Melun kuulovaurioriski ja melun aiheuttamat ammattitaudit

Altistusta melulle yhdessä sisäkorvalle myrkyllisten lääkkeiden ja kemikaalien kanssa on tutkittu laajasti, ja tämän tyyppisiä vaikutuksia voidaan todennäköisesti löytää työympäristössä, jossa esimerkiksi työskentely liuottimien kanssa voi aiheuttaa kuulovaurion. Kuulovaurioissa on olennaista vaihtelua riippuen henkilön herkkyydestä kuulojärjestelmän vahingoittumiseen.

Kipukynnys vaihtelee yleensä äänenpainetasojen 110 ja 130 dB välillä. Ihmiset, jotka käyttävät kuulolaitteita muodostavat yhden ryhmän. Äkilliset kovat äänet, musiikki ja korotettu ääni aiheuttavat epämukavuutta tässä ryhmässä. Tinnitusta esiintyy yleensä yhdessä kuulovaurion kanssa, mutta on olemassa myös henkiöitä, jotka kokevat tinnitusta ilman kuulovauriota. Lähes jokainen kokee jossakin elämänsä vaiheessa lyhytaikaista tinnitusta, mutta jos se muuttuu pysyväksi ja saavuttaa tason, joka häiritsee normaalia elämää, voi se muuttua lähes kestäättömäksi. Fyysinen korvan epämukavuus alkaa välillä 80 ja 100 dB. Epämukavuus ja ärsytys voivat alkaa hyvinkin matalilla melutasoilla. Henkilöiden väliset erot tulee ottaa huomioon, mutta yleisesti ottaen kun melutaso lisääntyy, valitukset lisääntyvät.

Monia meluindeksejä on kehitetty eri tarkoituksiin. Tärkein akustisen energian taso sijaitsee välillä 300–3000 Hz. Kotona rauhallisen keskustelun aikana tyypillinen äänitaso sijoittuu välille 45–60 dB. Uni alkaa häiriintyä kun äänitaso ylittää 30–35 dB, joka on monissa maissa rajana asunnoille yöllä. Ärsytystä ilmenee myös liittyen sosiaalisiin, psykologisiin ja ekonomisiin parametreihin. Ärsytystä voi aiheutua melusta, monista melun vaikutuksista, vuorokaudenajasta jolloin melua ilmenee, ja melun kirjosta johtuen.

Melun haitat ihmiselimestössä voidaan jakaa kuuloaistiin ja muihin elintoimintoihin kohdistuviin vaikutuksiin. Kuuloaistiin kohdistuvat vaikutukset ilmenevät tilapäisenä tai pysyvänä kuulokynnyksen nousuna. Tilapäisen kuulokynnyksen nousu riippuu:

- melun voimakkuudesta
- melussaoloajasta
- melun taajuusjakautumasta
- ennestään olevasta pysyvästä kuulovajauksesta
- henkilön yksilöllisestä herkkyydestä.

Yleensä melun aiheuttama kuulovaurio on sisäkorvaan hitaasti syntyvä ns. karvasolujen tuhoutuminen.

Muita melusta johtuvia haittavaikutuksia ovat:

- psyykinen kuormitus (stressireaktio)
- melun aiheuttama tapaturmavaara
- levon tai unen häiriintyminen tai estyminen
- puheen erottamisen vaikeutuminen
- suorituskyvyn huononeminen
- vegetatiiviset eli hermostolliset muutokset.

Parhaiten mittaustulosten perusteella osataan arvioida kuulovaurion todennäköisyys silloin, kun on kysymys tasaisesta laajakaistaisesta melusta. Kuulovaurioriskin arviointitarkkuus huononee, jos melu sisältää kapeakaistaisia osia tai melun voimakkuus vaihtelee nopeasti.

Meluhaittojen arviointiperusteena käytetään seuraavia ominaisuuksia:

1. äänienergian voimakkuus ja jakautuminen eri taajuusalueille
2. melun kesto ja toistuvuus työpäivän aikana
3. melussaoloajan pituus
4. melun äänes- ja impulssisisältö.

Lisäksi häiritsevyyteen voi merkittävästi vaikuttaa melun tunnistettavuus ja hyväksyttävyys, jotka eivät ole mitattavia ominaisuuksia.

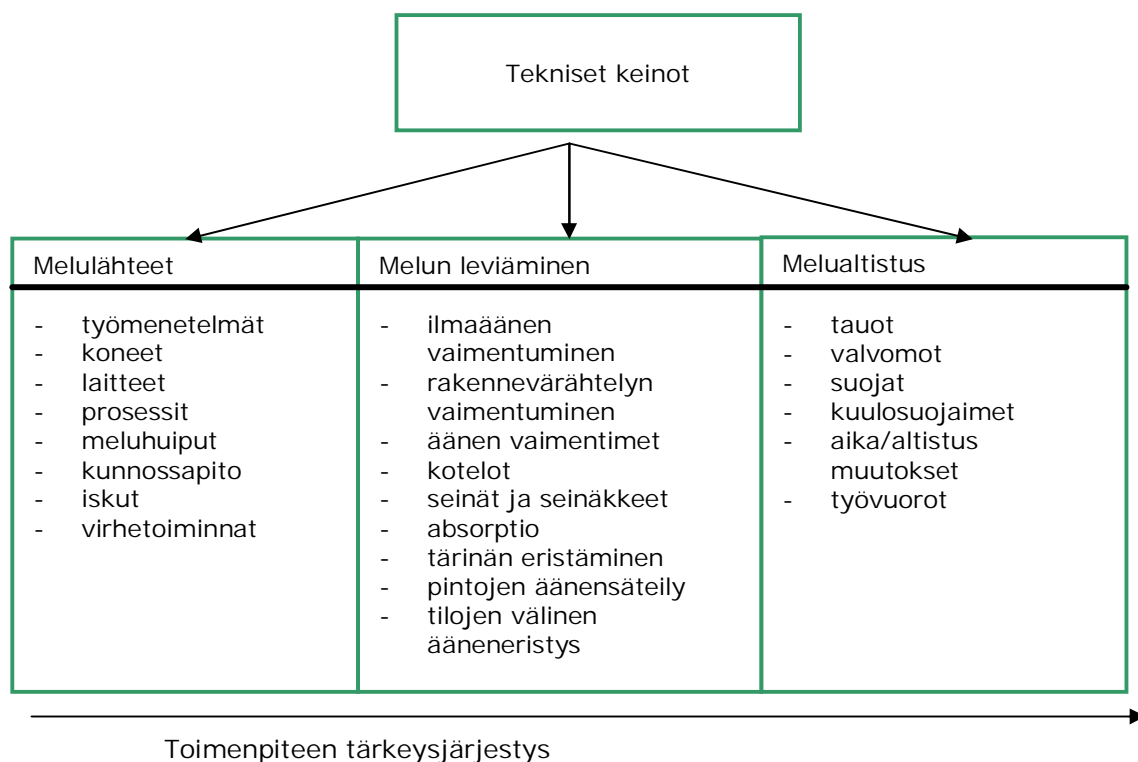
### 3.1.5 Melun torjunta

Melun hallintaa käsittelevä kirjallisuus kertoo usein desibelien määrän, jonka tietyn hallintatoimenpiteen tulisi melua vähentää. Kuitenkin kuulovaurion tai äänen häirinnän riski riippuu melun immissiosta. Tämä riippuvuus on yksi melun hallinnan peruselementeistä. Jos melu ei aiheuta vahinkoa, miksi vähentää sitä? Siksi melunhallintatoimenpiteet ohjataan siihen, mihin niitä tarvitaan tai missä ne ovat välttämättömiä. Lisäksi korkeimmilla melutasoilla on suurimmat vaikutukset melun altistavuuteen ja siksi ne ovatkin ensimmäisiä kohteita melunhallinnalle. Melunhallinnassa käytetään monia teknisiä metodeja. Kuva 6 kuvaa joitakin näistä metodeista ja niiden käyttöjärjestystä. Meluntorjuntaohjelma määrää järjestyksen jossa toimenpiteet suoritetaan ja vertaa erilaisia mahdollisuuksia. Jos raja-arvot on ylitetty, vaativat viranomaistahot erityyppisiä meluntorjuntaohjelmia (EEC 1986).

Työn järjestelyillä tai työtavan muutoksella meluallistusta saatetaan helpommin ja halvemmin kustannuksin vähentää kuin esimerkiksi konetta koteloimalla. Edellä olevien tekijöiden yhteisvaikutusta voidaan arvioida esimerkiksi siten, että jos äänieristetyssä valvomossa ollaan työajasta 50–70 %, on valvomon todellinen melunvaimennuskyky 5–8 dB(A), vaikka valvomon ääneneristävyys voi olla 35 dB(A). Jos otetaan huomioon ns. huippumelutasot, voidaan joskus vähentää merkittävästi kuulovaurioriskiä. Esimerkiksi 15 min altistus 115 dB(A):n melulle

vastaa kuulovaurioriskinä noin 6,5 työviikon jatkuvaa altistusta 85 dB(A):n melulle (ISO 1999). Työviikon aikana tällaisia lyhytaikaisia altistuksia huippumelutasoille saattaa helposti syntyä. Samalla tavalla, jos työvaiheeseen sisältyy lyhytaikaisia meluhuippuja, kannattaa juuri niitä vaimentaa ekvivalenttitason ( $L_{eq}$ ) alentamiseksi.

Usein melu havaitaan vasta prosessin käynnistämisen jälkeen, ja jo olemassa olevia järjestelmiä on hankala korjata. Siksi melunhallinta tulisi pitää mielessä kun prosesseja suunnitellaan. Tehtäessä analyysyjä melunhallintatoimenpiteitä varten melunlähteet, melulle altistuminen ja melun leviäminen ovat kaikki olennaisia. Rakenteellinen melunhallinta määrittää tarkat vaatimukset seinille, oville, ikkunoille, lattioille ja muille rakenteille jotka vaikuttavat melun eristämiseen. Kaikkien rakennuksen rakentamisvaiheeseen liittyvien osapuolten tulisi ymmärtää nämä vaatimukset. Materiaalin meluneristävyys voidaan määrittää analysoimalla tuleva ja johdettu äänenvoimakkuus.



Kuva 6. Meluntorjunnan mahdollisuuksia äänen synnyn, leviämisen ja vastaanottajan suhteen

Seinän äänieristävyys on taajuuden funktio, joten suuremmat taajuudet vaimenevat yleensä enemmän, jos ei tarkastella resonansseja (massa, koinsidenssi, jne.). Kun uusia koneita otetaan käyttöön, tulisi niiden meluominaisuuksia arvioida. Esimerkiksi Euroopan Unioni on antanut direktiivin, joka antaa suuntaviivat koneiden melun arviointiin. Konedirektiivi vaatii, että valmistajan tulee tarjota tietoa melusta teknisissä erittelyissään ja kaupallisissa lehtisisään koneesta aina, kun koneen melutaso ylittää 70 dB tason koneen käyttäjän kohdalla, tai 130 dB huipputaso. Eräät yritykset käyttävät tämänkaltaisissa tuotteissa melutakuuta.

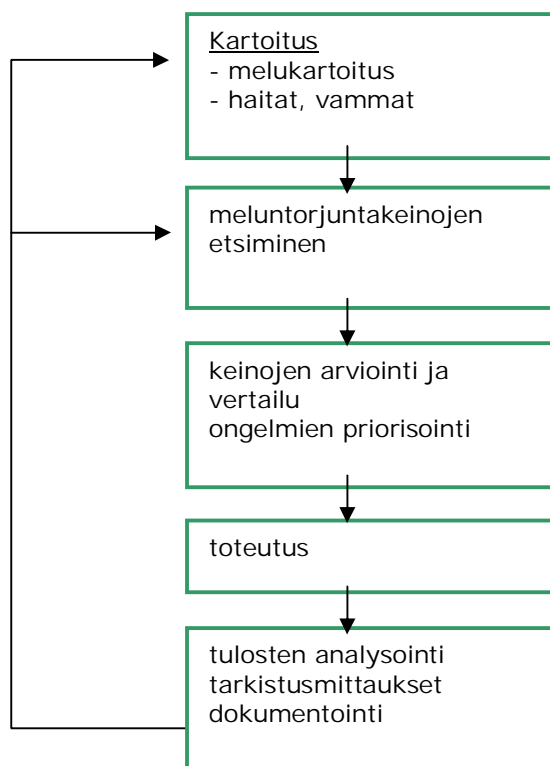
On aina mahdollista vähentää koneen melupäästöjä, mutta samalla yleensä vähennetään myös koneen tehokkuutta. Nämä kaksi vaatimusta ovat ristiriitaisia, ja siksi usein melupäästöt ovat vähemmän tärkeitä tekijöitä tuotantolinjassa. Koska on olemassa monia erinomaisia käsikirjoja meluntorjunnasta, tässä on vain suuntaviivoja teknisistä melunhallintamenetelmistä. Taulukko 10 antaa joitakin näkökulmia keskitaajuisen teollisuusmelun vähentämiseen.

Taulukko 10. Erilaisten melunvaimennustoimenpiteiden vaikutuksesta keskitaajuista teollisuusmelua vastaan.

toimenpide	melun vaimentuminen, dB
tiivis kotelo	10-40
osittainen kotelo	3-15
valvomo	10-50
seinä	5-35
seinäke	3-20
katon absorptio	0-8
kuulonsuojaimet	10-30

Melusta tulee käytännön ongelma vasta kun koneet käynnistetään. Valmiisiin rakenteisiin, koneisiin ja laitteisiin tehtävät meluntorjuntamuutokset ovat kalliita ja hankalia toteuttaa verrattuna jo esimerkiksi prosessin suunnitteluvaiheessa tehtyihin meluntorjuntasuunnitelmiin ja toteutuksiin.

Meluntorjuntatoiminnan runkona olevaa meluntorjuntaohjelmaa on hahmoteltu kuvaan 7.



Kuva 7. Meluntorjuntaohjelma

Meluntorjunnan suunnitteluvaiheessa täytyy asettaa tavoitteet (esim. 85 dB(A)), koska tavoitteet määräävät jossain määrin käyttökelpoisia torjuntakeinoja. Kun tilan meluntorjuntaa lähdetään suunnittelemaan, täytyy ensin selvittää melun lähteet, melulle altistuminen ja mitata melutasot mielellään taajuusanalyysinä. Paitsi mittaustietoja, tulisi kerätä tietoja melun syntytaavoista, etenemisteistä, voimakkuudesta tilan eri osissa, kaiunnasta, eristävyyksistä sekä aikaisemmista torjuntatoimenpiteistä ja niiden onnistumisesta. Vasta tämän jälkeen voidaan lähteä etsimään meluntorjuntakeinoja ja arvioida eri keinoilla saavutettavia tuloksia

työtilassa työskentelevien meluallistukseen. Jos esimerkiksi tilassa on 20 työntekijää, jotka synnyttävät pääasiallisen meluallistuksensa omilla käsityökaluillaan, ei tilassa olevan yhden koneen melunvaimennuksella saavuteta tulosta meluallistukseen.

Käytännössä yritystasolla joudutaan tarkastelemaan meluntorjunnan kustannuksia ja hyötynäkökohtia ja tekemään johtopäätöksiä myös taloudellisin perustein. Yritys voi hankkia tarvitsemansa meluntorjuntatiedon palkkaamalla asiantuntijan, kouluttamalla omaa henkilöstöään tai käyttämällä konsulttia. Meluntorjuntatoimenpiteillä on mahdollisuus onnistua, jos ehdotetut ratkaisut eivät ole ristiriidassa tuotannollisten tai taloudellisten tekijöiden kanssa, sekä ratkaisuja on muualla toteutettu vastaavissa olosuhteissa onnistuneesti tai kokemuksen perusteella uskotaan ratkaisun soveltuvan omaan prosessiin.

Uusia laitteita hankittaessa tulisi kiinnittää huomiota laitteen meluun ja saattaa olla paikallaan vaatia laitetoimittajalta hankintasopimuksessa ettei koneen melutaso saa ylittää tiettyä desibeliarvoa (ns. melutakuu) tai ainakin tiedot koneen äänitehosta (VNp 1314/93). Etukäteen tulisi tarkkaan miettiä miten melutakuun täyttyminen tai täyttymättömyys todetaan, koska esim. työpaikalla koneen melutaso voi olla eri kuin laitteen valmistuspaikassa mitattu arvo. Koneen tai laitteen kunnossapidossa voidaan melua torjua kiinnittämällä huomiota liikkuvien osien voiteluun, laitteiden asennukseen ja tasapainotukseen sekä rikkiäisten ja vioittuneiden osien vaihtoon (esim. laakerointi).

Koneen, laitteen tai työtavan korvaaminen hiljaisemmalla voi olla esimerkiksi leikkaaminen sahaamisen sijaan, puristus iskemisen sijaan, sähkömoottorin vaihto polttomoottorin tilalle, hihnavälitys ketjuvälityksen tilalle tai vaihtamalla toiseksi iskupinnaksi kumipinta metallipinnan sijaan. Esimerkiksi metallisen kappaleen pudotuskorkeuden vähentäminen 5 m:stä 5 cm:iin vähentää melua 20 dB. Iskevien mutterinvääntimien vaihto sitkeävetosiin alentaa melua A-äänitasona noin 10 dB. Koneen melun syntyyn voidaan vaikuttaa. Esimerkiksi sorvauksessa muuttamalla terän asetuksia lähemmäksi kiinnityspisteitä on päästy eroon kirskuvasta äänestä. Sorveihin on myös valmistettu meluvaimennettuja teränpitimiä. Paineilmakäyttöisten käsityökalujen eräs merkittävä melunlähde on pakoilma. Joissakin on käytetty äänenvaimentimia tuloaukoissa ja saatu melua alennetuksi. Yleisesti virtausmelua voidaan vähentää pienentämällä virtausnopeutta, välttämällä jyrkkiä muodonmuutoksia tai suurentamalla.

Paineilmapuhalluksessa voidaan käyttää monireikäisiä suuttimia, kartion muotoisia ulospuhallushajottimia tai puhalluskohdan äänenvaimentamista. Esimerkiksi polttoleikkauksessa joskus käytettävä vesimantteli liekin ympärillä alentaa melua A-äänitasona noin 15 dB. Rämisevät koneet aiheuttavat voimakasta melua. Tällöin melu syntyy pinnan värähdellessä. Pinnan synnyttämää äänitehoa voidaan vähentää pienentämällä värähtelevää pinta-alaa, pienentämällä pintaan kohdistuvaa voimaa, lisäämällä kappaleen massaa tai muuttamalla pinnan säteilykerrointa (tai häviämiskerrointa). Aineen akustinen häviämiskerroin on aineeseen johdetusta värähtelyenergiasta lämmöksi muuttuneen osan suhde aineeseen johdettuun värähtelyenergiaan. Kotelopintoja jäykistämällä, rei'ittämällä ja pinnoittamalla päästään vähentämään pinnan äänensäteilyä. Rämjänvaimennusaineita voidaan teipata, liimata, sivellä tai ruiskuttaa metallipintoihin. Kaikki vähänkin irtonaiset ja löyhät liitokset ja osien kiinnitykset lisäävät yleensä melua merkittävästi (esimerkiksi 3–8 dB(A)).

Melun ns. siirtoteiden katkaisua voidaan toteuttaa esimerkiksi kumitetuilla vaimentimilla koneen alla sekä käyttämällä vaimentimia ilmastointikanavissa ja putkistoissa. Koneessa melun eteneminen kotelopintaan tulisi pyrkiä katkaisemaan esimerkiksi kiinnitystavan muutoksella. Ruuvi- ja niittiliitos aiheuttavat vaimennusta, koska ne sallivat pienen liikkeen liitettävien kappaleiden välillä.

Pyörteistä kaasuvirtausta syntyy esimerkiksi höylän terän ja pöytäpinnan välissä tai paperikoneen imutelassa. Syntyvää melua voidaan vähentää muotoilemalla terää ja vähentämällä pyörimisnopeutta (jos mahdollista). Kierroslukualueella 4000–6000 r/min höylän kierrosnopeuden muutos 100 r/min muuttaa vastaavasti melutasoa noin 1 dB.

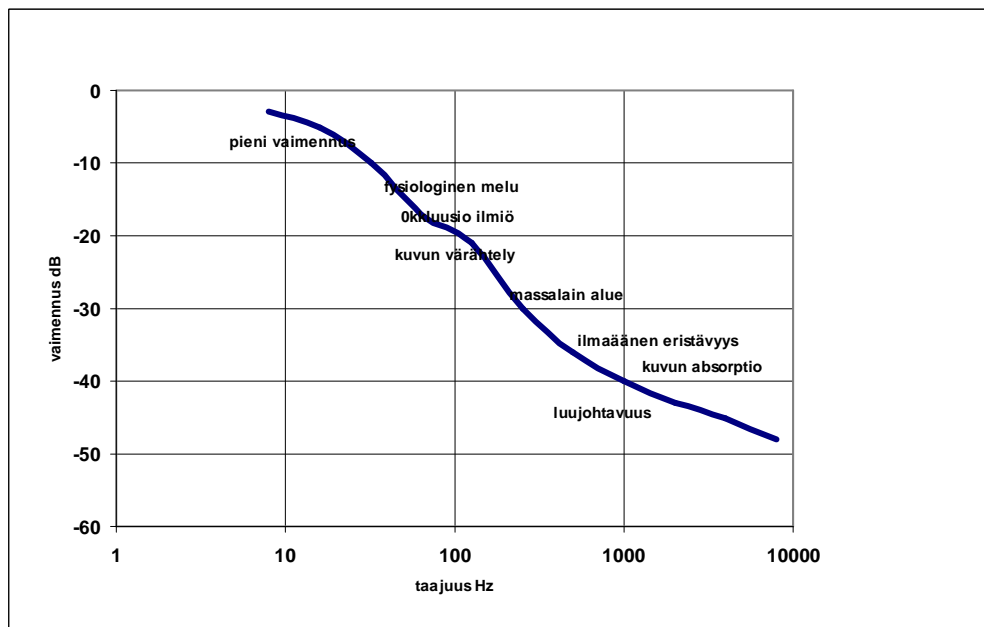
Koneen kotelointi ja osittainen kotelointi on tehokas ja paljon käytetty keino, jolla kuitenkin on omat rajoituksensa. Koteloinnin seurauksena kone saattaa kuumentua, jos jäähdytystä ei ole järjestetty. Koneella työskentely tai koneen huolto saattavat vaikeutua. Yksittäisten koneiden koteloinnin sijasta saattaa joskus olla järkevämpää tehdä valvomo esimerkiksi työskentelypaikkaan. Koteloilla saavutettava melun vaimentuminen riippuu melulähteen taajuusjakautumasta siten, että korkeataajuinen melu vaimenee enemmän kuin pientaajuinen. Kotelon tulisi periaatteessa olla tiivis, painava, jäykkä, tärinäeristetty ja varustettu sisäpinnaltaan absorptiomateriaalilla.

Väliseinillä saavutettavasta äänen eristävydestä eri materiaaliratkaisuina ovat seinämateriaalien toimittajat ja tutkijat julkaisseet mittauksia. Seinän ääneneristävyys riippuu seinän kiinnityksestä, melun taajuusominaisuuksista, seinän massasta pintayksikköä kohti ja seinän tiiviydestä. Seinäkkeen avulla voidaan varjostaa melua ja vähentää sen leviämistä tilassa. Seinäkkeen vaikutus on paras suuritaajuuselle melulle ja välittömästi seinäkkeen takana. Seinäkkeen yläpuolinen kattokohta (5 m seinäkkeestä molempiin suuntiin) tulisi päällystää melua vaimentavalla materiaalilla (absorptiomateriaali). Seinäkkeen tulisi laskeutua tiiviisti lattiaa vasten. Seinäke vaimentaa korkeataajuisia melua, mutta huonosti pienitaajuisia. Ainakin seinäkkeen melulähteen puoleiselle pinnalle kannattaa asentaa absorptiomateriaalia. Jos käytetään mineraalivillaa, tulisi sen paksuuden olla ainakin 100 mm, jos melu on pienitaajuisia. Kattoon tai seiniin asennettävien absorptiomateriaalien vaikutus on paras silloin, kun tilassa on vähän melulähteitä, joita ei voida muuten vaimentaa ja työntekijät ovat yli 5 m etäisyydellä melulähteistä. Yleensä kattoabsorptiomateriaaleilla saavutettava melun vaimeneminen 10 m etäisyydellä melulähteestä on 1–5 dB A-äänitasona.

Kun kaikki muut keinot epäonnistuvat, ovat kuulosuojaimet viimeinen keino melunhallinnassa. Monissa maissa turvallisuuslainsäädäntö suosittaa että teknisiä melunhallintakeinoja tulisi suosia, mutta monissa tapauksissa kuulosuojaimet ovat ainoa mahdollinen vaihtoehto. On olemassa monen tyyppisiä kuulosuojaimia, kuten tulppasuojaimia, kupusuojaimia, sankasuojaimia ja jopa kypäräsuojaimia. Nykypäivänä elektroniikka on enenevässä määrin lisäämässä kuulosuojainten kommunikaatio-ominaisuuksia, joten on mahdollista keskustella toisten kuulosuojaimia käyttävien kanssa, ja jopa käyttää matkapuhelinta samanaikaisesti kuulosuojainten kanssa. Kuva 8 ja taulukko 11 tarjoavat arvioita kupusuojainten melunvähentämisominaisuuksista.

Kuulosuojaimet jaetaan kolmeen perustyyppiin: tulppasuojaimet, kupusuojaimet ja kypäräsuojaimet. Tulppasuojaimet ovat joko kertakäyttöisiä tai toistuvaan käyttöön tarkoitettuja. Materiaalina voi olla päällystetty lasikuituvanu, muovi, vaahtomuovi tai kumi. Korvakäytävään sopiva tiivis tulppasuojain saadaan joko muotoilemalla tai valitsemalla oikean kokoinen kiinteämuotoinen suojain tai itsestään laajeneva vaahtomuovisuojain. Tulppasuojaimet soveltuvat parhaiten käytettäväksi kuumilla työpaikoilla, työskennellessä pitkään yhtäjaksoisesti melussa tai tehtävissä, joissa käytetään samanaikaisesti muita suojaimia pään alueella. Kupusuojainta on aikaisemmin kutsuttu myös kuppisuojaimeksi. Suojainkupuja yhdistää säädettävä sanko tai nauha. Sangan puristusvoiman pienetessä vanhenemisen tai taivuttelun seurauksena myös vaimennuskyky heikkenee. Tiivisterengaat ovat täytetyt joko nesteellä tai vaahtomuovilla. Nestetäyteinen tiivisterengas painautuu

tiivisti esim. silmälasien aiheuttaman raon täytteeksi. Tiivisterenkaat vaihdetaan joko liimamalla tai suoraan irrottamalla. Tiivisterenkaiden päälle on saatavissa liimattavia hikirenkaita. Kupusuojaimet soveltuvat työhön, jossa melussa käydään usein ja jossa ei tarvita muita suojaimia samanaikaisesti. Kypäräsuojain muodostuu kupusuojaimesta ja kypärästä, joka peittää suurehkon osan päätä. Kypäräsuojaimien käyttö on Suomessa vähäistä. Radiokuulokkeilla varustetut kypärät (poliisit ja lentäjät) eivät ole kypäräsuojaimia.



Kuva 8. Kuulonsuojaimien äänen vaimennukseen vaikuttavia tekijöitä

Taulukko 11. Henkilökohtainen meluallistus mitattuna (10 minuuttia) kupusuojainten molemmilta puolilta. Esimerkit viiden työpaikan mittaustuloksista. N = mittausten (työntekijöiden) lukumäärä.

työpaikka	N kpl	$L_{Aeq}$ ulko dB	$L_{Aeq}$ sisä dB	$\Delta L_{Aeq}$ dB
valimo	16	101	81	20
metallipakkaustehtas	20	94	76	18
muovipakkaustehtas	12	85	73	12
telakka	15	97	82	15
paino	10	96	83	13

- Vaimennus on kupusuojainten ulko- ja sisäpuolelta mitattujen ekvivalenttitasojen erotus  $\Delta L_{Aeq}$ . Kaikkien mittausten perusteella kupusuojaimet vaimensivat A-painotettua ekvivalenttitasoa keskimäärin 17 dB. Vaimennuksen suurin arvo oli 36 dB ja pienin arvo 3 dB. Tutkimuksen perusteella kupusuojaimet vaimentavat melun ekvivalenttitason lisäksi myös sen impulssimaisuutta. Kuulonsuojainten vaimennuskyky riippuu voimakkaasti melun taajuudesta. Pienet taajuudet vaimenevat vähiten ja suuret taajuudet eniten (kuva 8).

Kuulonsuojaimen vaimennuskykyyn vaikuttavat seuraavat tekijät:

- työpisteessä vallitsevan melun taajuussisältö
- työntekijän pään (korvakäytävän) muoto
- kupusuojaimen sangan puristusvoima
- tiivisterenkaan eheys
- silmä- tai suojalasin käyttö kupusuojaimen kanssa
- kuulonsuojaimen tyyppi ja merkki.

Rakojen aiheuttamista ilmapuodoista ja kuvun värähtelystä johtuen saattaa vaimennus olla pienillä taajuuksilla lähes olematon. Muutaman millimetrin suuruinen reikä kuvussa tai rako tiivisteiden ja ihon välissä vähentää vaimennusta merkittävästi.

Lisätietoa:

1. [www.tthvyo.fi/tthvyo/Suomi/Verkkokoulutus/Melu+ja+tyo/](http://www.tthvyo.fi/tthvyo/Suomi/Verkkokoulutus/Melu+ja+tyo/)

## 3.2 Tärinä ja sen torjunta

### 3.2.1 Yleistä, käsitteet

Täriseviä työkaluja käyttäviä työntekijöitä on Suomessa arvioitu olevan noin 100 000. Lisäksi on paljon työntekijöitä, jotka altistuvat koko kehon tärinälle. Tärinän aiheuttamia ammattitauteja on vuosittain muutama kymmenen. Tärinä jaetaan vaikutustensa perusteella koko kehoon kohdistuvaan tärinään ja käsitärinään. Käsitärinän haittavaikutukset kohdistuvat tiettyihin ammattiryhmiin kuten porareihin, metsätyöntekijöihin, valunpuhdistajiin tai pyörivien ja vasaroivien työkalujen käyttäjiin. Koko kehon tärinähaitat kohdistuvat usein liikkuvien työkoneiden tai ajoneuvojen kuljettajiin.

Tärinää syntyy yleensä liikkuvien koneenosien massavoimien vaikutuksesta. Epäkeskeiset massat, edestakaisin liikkuvat osat, hammaspyörät, pyörteiset kaasu- ja nestevirrat ja vialliset laakerit ovat tyypillisiä tärinän aiheuttajia. Tärinä voi edetä rakenteissa ja saattaa muuttua ilmaääneksi (pienitaajuinen melu). Näin tärisevä kone voi häiritä rakennuksessa olevia muita laitteita sekä altistaa työntekijöitä tärinälle ja mahdollisesti runkoäänenä etenevälle melulle.

Tärinä on kiinteän aineen värähtelyä. Tärinää kuvaavia suureita ovat kiinteän aineen massapisteen poikkeama, nopeus ja kiihtyvyys. Massapisteen poikkeamalla, josta käytetään usein nimitystä amplitudi, tarkoitetaan tarkasteltavan värähtelykohdan poikkeamaa lepoasennosta. Nopeus on värähtelevän massapisteen heilahdusnopeus eli poikkeaman muuttumisnopeus. Kiihtyvyydellä tarkoitetaan nopeuden muutosnopeutta eli massapisteen kiihtyvyyttä. Työhygieniassa tärinää kuvataan tärinän voimakkuuden (kiihtyvyyden rms-arvo), taajuuden ja keston avulla. Tärinän kiihtyvyys ( $m/s^2$ ) voidaan laskennallisesti tai mittausteknisesti muuntaa nopeudeksi tai siirtymäksi.

Todellisissa olosuhteissa esiintyvistä tärinästä mitataan työhygieniassa tavallisesti terssi-kaistoittain tärinän kiihtyvyys,  $a$  (yksikkö  $m/s^2$ ). Mittauksia tehtäessä on muistettava, että mitataan tärinäsuureiden tehollisarvoja (rms-arvoja).

Siten sinimuotoisesti värähtelevälle kappaleelle on

$$(6) \quad a_{\text{rms}} = a_{\text{huippu}}/\sqrt{2} = 0,71 a_{\text{huippu}}$$

Kaavan (6) perusteella saadaan maan vetovoiman kiihtyvyydelle

$$g_{\text{huippu}} = 9,80 \text{ m/s}^2$$

$$g_{\text{rms}} = 6,94 \text{ m/s}^2$$

Tärinän kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ ) ilmaistaan joskus myös desibeliyksiköissä lähinnä mittaustekniikasta johtuen (yhtälö (7)).

$$(7) \quad L = 20 \log \frac{a}{a_0}, \text{ missä}$$

$L$  = tärinän kiihtyvyys (dB)

$a$  = tärinän kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )

$a_0$  = kiihtyvyyden vertailuarvo  $10^{-6} \text{ m/s}^2$

### 3.2.2 Haittavaikutukset ja ohjearvojen perusteet

Tärinä on haitallista, jos koneen käytön jälkeen sormia pistee tai kädet ovat kipeitä. Kehotärinän osalta selkävaihat, vatsavaihat ja nivelvaihat ovat ensimmäisiä merkkejä haitallisuudesta.

Käsiin kohdistuvan tärinän haittavaikutuksina voi esiintyä valkosormisuusoireita, nivelvaurioita sekä hermo- ja lihaskudosvaurioita. Hakkaavien paineilmatyökalujen aiheuttamiksi tulkitaan usein nivelvauriot. Polttomoottorikäyttöisten työkalujen tyypilliset haitat ovat valkosormisuusoireita. Hakkaavien paineilmatyökalujen haitallisin taajuus on alle 50 Hz ja esimerkiksi moottorisahojen haitallisin taajuus 40–300 Hz. Koko kehon tärinän on kuvattu aiheuttavan verenpaineen ohimenevää nousua, hermostollisia vaikutuksia ja selän kulumamuutoksia. Koko kehon tärinän tutkimustulokset ovat osin ristiriitaisia tarkasteltaessa terveydellisiä haittavaikutuksia. Monet elimet resonoivat tällä taajuusalueella. Hyvin pienitaajuisia tärinää (alle 1 Hz) esiintyy mm. laivoissa ja moottoriajoneuvoissa, josta saattaa olla seurauksena matkapahoinvointia. Tästä tärinästä käytetään joskus nimitystä heilunta.

Tärinän haitallisuuteen on todettu vaikuttavan:

- tärinän kiihtyvyys ja taajuus
- tärisevän laitteen ja kehon välinen yhteys
- altistusaika ja tauotus
- työasento ja lihasjännitys
- sääolot, tupakointi, lääkkeet ja melu
- työntekijän yksilölliset ominaisuudet.

Käsiin kohdistuvan tärinän osalta standardissa ISO 5349/2001 on esitetty tärinän kokonaiskiihtyvyyden, valkosormisuusoireiden ilmaantuvuuden ja yksilöllisten herkkyysien kokonaisarvio. Tärinäasetuksen mukaan päivittäinen (8 h) toiminta-arvo on käsiin kohdistuvalle tärinälle  $2,5 \text{ m/s}^2$  ja koko kehoon kohdistuvalle tärinälle  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Valtioneuvoston asetus 48/2005 asettaa toiminta-arvoksi käsitärinälle  $2,5 \text{ m/s}^2$  ja kehotärinälle  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Konedirektiivi ja sitä vastaava valtioneuvoston päätös asettavat ilmoitusvelvollisuuden käsityökalujen aiheuttamalle tärinälle. Arvo  $2,5 \text{ m/s}^2$  tarkoittaa, että korkeintaan 10 % altistuneista (4 tuntia päivässä työ-

päivinä) todennäköisesti esiintyy valkosormisuusoireita kymmenen vuoden altistuksen jälkeen. Vaikka riskiarvio esitetään standardin liitteenä, siihen liittyy epävarmuustekijöitä. Vastaavasti koko kehoon kohdistuvalle tärinälle ilmoitusvelvollisuusraja on  $0,5 \text{ m/s}^2$  koneiden turvallisuutta koskevan valtioneuvoston päätöksen mukaan. Koko kehoon kohdistuva tärinä ei ole aiheuttanut ammattitauteja johtuen selkeiden vaikutustapojen puuttumisesta ja diagnostisista ongelmista.

Valtioneuvoston asetuksessa 48/2005 ja Euroopan Unionin tärinän altistumisdirektiivissä annetaan tärinän taajuuspainotetuille kokonaiskiihtyvyyksille raja-arvo käsiin kohdistuvalle päiväaltistukselle (8 h)  $5,0 \text{ m/s}^2$  ja koko kehoon kohdistuvalle päiväaltistukselle  $1,15 \text{ m/s}^2$ . Ulkomaiset ja kansainväliset normit poikkeavat toisistaan. Normeissa on lisäksi yleensä huomioitu vain tärinän kiihtyvyys, taajuus ja suunta. Näin ollen terveydellisten vaikutusten kytkeminen tärinäaltistukseen (myös tärinän kestoaika) ja edelleen tärinätasoihin on vaikeaa. Käytännössä tärinän mittaustuloksia tehdään käsitärinän osalta ISO:n standardi 5349 mukaan ja koko kehoon kohdistuvan tärinän osalta standardin ISO 2631/1 mukaan.

### 3.2.3 Altistuminen eri toimialoilla

Käsityökalujen käyttö teollisuudessa ja harrastustoiminnoissa on merkittävin käsitärinä-altistuksen aiheuttaja. Koko kehon tärinää esiintyy metsä- ja maataloustraktoreiden aiheuttamana. Pienissä puutarha-ajoneuvoissa moottorin tärinä ylittää usein ISO:n normit. Kaivannaistoiminnassa kuljetuskaluston (kuormaajat, porausalustat) aiheuttama koko kehon tärinä-altistus alkaa olla merkittävämpi kuin porien yläraajoihin aiheuttama tärinäaltistus. Teollisuudessa koko kehon tärinää esiintyy esimerkiksi trukkien ja kuljetusvälineiden aiheuttamana. Käsitärinää aiheuttavat mm. naulaimet, hiomalaitteet, kallioporakoneet, kiilareikäporakoneet, täryttimet (sauvatäryttimet, putkitäryttimet, laattakoneet), paineilmataltat, penkkihiomakoneet, tyhjennystäristimet, paineilmaporat, takomapuristimet ja konevasarat.

Rakennusalalla käsityökalujen tärinäaltistusta aiheuttavat sähköporat, moottorisahat, hiomalaikat, talttausvasarat ja porakoneet. Maantieliikenteessä pystysuoran tärinän kiihtyvyyden maksimiarvot esiintyvät traktoreilla ja autoilla taajuusvälillä 2–8 Hz. Autokorjaamoissa esiintyy yläraajoihin kohdistuvaa tärinää etupäässä paineilmatyökalujen (mutterivääntimet, peltileikkurit, paineilmataltat, hiomakoneet) aiheuttamana.

### 3.2.4 Tärinän torjunta

Ensimmäinen vaihe yritystasolla tärinän torjunnassa on kiinnittää huomiota tärinään koneita ja laitteita hankittaessa ja vaatia tärinän pysymistä asetetun tärinätason alapuolella. Prosesseja tai toimintoja suunniteltaessa tai valmistettaessa tulisi kiinnittää huomiota valmistustarkkuuteen, muotoiluun, epätasapainojen välttämiseen yms. seikkoihin tärinän vähenemisen kannalta. Tärinän syntyä voidaan yleisesti vähentää värähtelevän systeemin massaa kasvatamalla tai voimaa pienentämällä. Nämä saattavat olla ristiriidassa työn tehokkuuden kanssa tarkasteltaessa esimerkiksi käsityökalujen tärinän vaimentamista. Valmiin koneen tai laitteen tärinän vaimentaminen on usein vaikeaa verrattuna suunnittelun aikana toteutettuihin ratkaisuihin. Tämän takia usein ainoaksi keinoksi jää värähtelyjen etenemisen katkaisu tai käytännössä etenemisen vaimentaminen. Yleisimmin käytettyjä eristinmateriaaleja ovat kumi ja teräs. Myös korkki, huopa, mineraalivilla, ilmajouset sekä erilaiset yhdistemateriaalit ovat käytettyjä eristinmateriaaleja. Vaimentimien valmistajat tai maahantuojat antavat yleensä myös mitoitusohjeita vaimentimien valitsemiseksi. Vaimentimia mitoitettaessa pyritään saattamaan taajuusherätteen ja järjestelmän ominaistaajuuden suhde  $n$  alle 0,5 (alikirittinen tilanne) tai yli 2 (ylikirittinen tilanne). Kun  $n = 0,5\text{--}2$  ollaan järjestelmän resonanssialueella, jolloin vaimenemista ei välttämättä tapahdu. Useimmat koneet, jotka tulisi vaimentaa,

sisältävät runsaasti erilaisia värähtelylähteitä ja näin ollen värähtelytaajuuksia. Tällöin on käytännössä usein tärkeää tietää alimmat esiintyvät taajuudet ylikriittiseksi mitoittamiseksi.

On huomattava, että vaimennettaessa koneen ja alustan välistä värähtelyä siirtymistä, jää värähtelyenergiaa osa koneen runkoon, josta voi olla seurauksia esim. koneen toimintaan ja kestävyys. Tästä syystä tulisi käyttää koneen alla massaa tai kiinnittää kone ns. uivaan lattiaan. Käsityökalujen aiheuttama värähtelyaltistus on vaikeasti vähennettävissä teknisillä toimenpiteillä. Kuitenkin kehitystyötä tällä alueella tehdään ja on toteutettu mm.

- rekyylitön talttasara
- vaimennetut kädensijat
- vaimennukset moottorisahoissa.

Koneiden ja laitteiden hyvällä huollolla ja kunnossapidolla voidaan vähentää värähtelyä kuten esimerkiksi voitelemalla liikkuvat osat, pitämällä leikkaavat tai talttaavat terät teroitettuna, poistamalla turhat välykset sekä kiristämällä irronneet ruuvit ja mutterit. Käytettävät keinot täytyy miettiä tapauskohtaisesti. Teknisen torjunnan lisäksi voidaan värähtelyä vähentää esimerkiksi työmenetelmää muuttamalla tai automatisoimalla (laattatäryttimet → valukoneet) altistusaikaa vähentämällä tai työtä tauottamalla. Esimerkiksi käsineillä on todettu olevan vain vähän merkitystä värähtelyä siirtymisen estämiseksi koneesta käteen. Työntekijän toimenpiteillä, kuten tupakoinnin vähentämisellä ja työssä lämpimänä pysymisellä voidaan arvioida myös olevan vaikutusta värähtelysairauden vähentämiseksi.

Lisätietoa:

1. [www.hse.gov.uk/vibration/](http://www.hse.gov.uk/vibration/)

## 3.3 SÄTEILYT

### 3.3.1 Johdanto

Säteily on aineetonta ilmassa, kudoksissa tai myös tyhjiössä etenevää sähkömagneettista aalloitusta poikkeuksena ionisoiva hiukkassäteily. Tässä se eroaa muista fysikaalisista tekijöistä, joita ovat akustinen (etenee ilmassa tai vedessä) ja mekaaninen värähtely (etenee kiinteissä kappaleissa) sekä lämpötekijät. Näistä lämpösäteily kuuluu sekä säteilyyn että lämpötekijöihin. Yleensä säteilysuureiden käsittely on varsin matemaattista.

Säteily voidaan jakaa hiukkassäteilyyn ja sähkömagneettiseen säteilyyn (sm) syntytapansa perusteella tai ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn sen toisille atomeille aiheuttavan vaikutuksen perusteella. Sähkömagneettinen säteily on eräs energian ilmenemismuoto kuten hiukkassäteilykin ja liian suuri säteilyenergia voi olla terveydelle haitallista. Ionisoivaan säteilyyn lasketaan kuuluvaksi hiukkassäteily sekä sm-säteilyistä gamma- ja röntgensäteily ja osin ultraviolettisäteily (aallonpituudet 10–100 nm). Ionisoivan säteilyn ominaisuuksia kuvataan radioaktiivisuudella (bequerel, Bq), säteilyn energialla (elektronivoltti (eV)), joka sisältää välillisesti aallonpituuskäsitteen ja säteilyn lajilla (elektroni, (β-säteily) alfa-, neutroni, gamma- tai röntgensäteily). Ihmisen terveyden kannalta säteilyä arvioidaan biologisen vaikutuksen perusteella. Biologisessa vaikutustekijässä (yksikkö sievert, Sv) on huomioitu mm. kudokseen absorboitunut säteilyenergia ja säteilylaji. Elimistöön absorboituneen säteilyn määrän yksikkö on gray (Gy).

Ionisoimatonta säteilyä ovat:

	aallonpituus, $\lambda$	taajuus, f
ultraviolettisäteily (UV)	100–400 nm	
- UV-A	315–400 nm	
- UV-B	280–315 nm	
- UV-C	100–280 nm	
valo	400–780 nm	
infrapunasäteily (IR)	780 nm–1 mm	
- IR-A	780–1400 nm	
- IR-B	1400–3000 nm	
- IR-C	3000 nm–1 mm.	
mikroaaltosäteily	1 mm–1 m	300 GHz–300 MHz
radiotaajuinen sm-säteily	1 m–10 km	300 MHz–30 kHz
pientaajuinen sm-säteily	>10 km	30 kHz–DC

IR-AB:ta sanotaan lyhytaaltoiseksi ja IR-C:tä pitkäaaltoiseksi infrapunasäteilyksi. Tämän takia puhutaan myös lyhyt- ja pitkäaaltosisista IR-säteilijöistä. Infrapunasäteilyn, valon (=voimakas valoenergia) ja ultraviolettisäteilyn ominaisuuksia luonnehditaan työhygieniassa tehotiheydellä ( $W/m^2$ ) ja aallonpituudella (nm).

Sähkömagneettisen säteilyn energiansiirto pinta-alayksikköä kohti ilmoitetaan tehotiheytenä, yksikkönä  $W/m^2$ . Radiotaajuisen sähkömagneettisen säteilyn sähkökenttäkomponentin voimakkuus ilmoitetaan yksikkönä V/m ja magneettikentän voimakkuus yksikkönä A/m. Sähkömagneettisen kentän luonne riippuu siitä, ollaanko säteilylähteen lähikentässä vai kaukokentässä. Lähikentästä puhutaan silloin, kun tarkastelupisteen etäisyys säteilijästä on selvästi pienempi kuin säteilyn aallonpituus, ja kaukokentästä, kun ollaan usean aallonpituuden etäisyydellä säteilijästä.

Lasersäteily on koherenttia sähkömagneettista säteilyä. Lasereissa on paitsi valon aallonpituusalueella toimivia, myös ultravioletti- ja infrapunasäteilyn alueella toimivia laitteita. Lasersäteilyn keila leviää vähän etäisyyden lähteestä kasvaessa, jos samalla säteilykeilassa on suuri tehotiheys. Lasersäteily voi olla jatkuvaa tai eri tavoin sykkivää.

Radioaktiivisen aineen aktiivisuuden mittayksikkö on bequerel (Bq), joka ilmaisee tarkasteltavassa ainemäärässä yhden sekunnin aikana tapahtuvien ydinmuutosten lukumäärän. Jos jossakin kappaleessa tapahtuu 10 ydinmuutosta sekunnissa, on sen aktiivisuus 10 Bq. Aktiivisuus ilmaistaan usein massaa (kg) tai tilavuusyksikköä ( $m^3$ ) kohti. Esimerkiksi ilmassa oleva radonpitoisuus ilmaistaan mittayksikkönä  $Bq/m^3$ . Radonpitoisuuden enimmäisarvo jatkuvassa työssä on  $400 Bq/m^3$ .

Kun säteily kohtaa kudoksen, osa sen energiasta imeytyy kudokseen. Imeytynyt annos (D) ilmaistaan energiana massayksikköä kohti ( $J/kg$ ), jolla on säteilyssä oma nimensä Gray (Gy). Annoksen imeytymisnopeutta kuvataan annosnopeutena Gy/s. Annosnopeus kertaa altistus aika = imeytynyt annos. Ekvivalenttiannos ottaa lisäksi ns. painotuskertoimen avulla huomioon säteilyn suhteellisen vahingollisuuden. Ekvivalenttiannoksen mittayksikkö on sievert (Sv). Säteilyn painotuskerroin on esimerkiksi röntgen- ja gammasäteilylle 1, neutroneille ja protoneille 5–20 sekä alfahiukkasille 20. Kun lisäksi säteilyn osuminen erilaisiin elimiin tai kudoksiin otetaan huomioon painotuskertoimilla (0,01–0,20), saadaan säteilyn efektiivinen annos, joka kuvaa säteilyn haitallisuutta. Sievert on suuri yksikkö, joten käytetään sen tuhannesosia (millisievert, mSv) tai miljoonasosia (mikrosievert,  $\mu Sv$ ). Nykyään monet mittarit ilmaisevat gamma- ja röntgensäteilyn annosnopeuden, esimerkiksi  $\mu Sv/s$ ,  $\mu Sv/h$ , josta saadaan ekvivalenttiannos kertomalla keskimääräinen annosnopeus altistumisajalla. Säteilyasetuksen (1512/1991, muutos 1143/1998) mukaan säteilytyöntekijän suurin sallittu vuosittainen ekvivalenttiannos on 20 mSv.

Röntgen- ja gammasäteilyille  $1 \text{ mSv} = 1 \text{ mGy} = 1 \text{ mJ/kg}$ . Yksiköt rad ja rem on poistettu käytöstä ( $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$ ).

Säteilyturvakeskus on säteilylain tarkoittama ionisoivan säteilyn asiantuntijalaitos, josta saa tietoa, mittauspalveluita ja viranomaisapua. Gamma- ja beetasäteilyn mittareita on mm. palokunnilla, teknillisillä oppilaitoksilla ja useilla yrityksillä. Radonsäteilyn mittauspalveluita saa myös yliopistoilta ja korkeakouluilta.

Optinen säteily koostuu ultraviolettisäteilystä (UV), näkyvän valon alueesta ja infrapuna- eli lämpösäteilystä (IR). Optinen säteily syntyy aineen elektronikuoren tai molekyylien välisten energianmuutosten seurauksena. Ultraviolettisäteilyn säteilyteho ilmaistaan watteina (W), ja voimakkuus ihmiseen kohdistuessaan tehotiheytenä ( $\text{W/m}^2$ ), joka voidaan mitata. Ultraviolettisäteilyn tehotiheydellä tarkoitetaan tehoa (W) tietylle pinta-alalle ( $\text{m}^2$ ). Usein yksinkertaiset ultraviolettisäteilyn mittarit painottavat säteilyn aallonpituutta ihmisen ihon tai silmän haitallisen vasteen mukaan, jolloin sanotaan biologisesti aallonpituuspainotetun tehotiheyden olevan esimerkiksi  $1 \text{ mW/m}^2$ .

Kun tehotiheys kerrotaan altistumisajalla, saadaan energia pinta-alaa kohti ( $\text{J/m}^2$ ), jota nimitetään usein annokseksi. Energia on teho kertaa aika ( $\text{Ws} = \text{J}$ ). STMP 1474/91 antaa ultraviolettisäteilyn ohjearvoksi  $50 \text{ J/m}^2$  (aallonpituuspainotettuna). Tarkemmissa tutkimuksissa mitataan tai lasketaan ultraviolettisäteilyn voimakkuus aallonpituuskaistoittain, jolloin em. biologisesti painotettu tehotiheys saadaan kertomalla kunkin kaistan tehotiheys sen suhteellista haitallisuutta kuvaavalla painotuskertoimella ja kaistanleveydellä sekä laskemalla kaikkien kaistojen tulot yhteen. Pienintä punoituksen antavaa UV-annosta mitataan yksiköllä MED, minimi eryteema annos. Yhden MED yksikön suuruus riippuu henkilön ihotyypistä, yleensä se on suomalaisilla  $100\text{--}500 \text{ J/m}^2$ . Usein myös auringon säteilyä luonnehditaan MED-yksiköissä, esimerkiksi Helsingissä vuosiansos on  $2\ 800 \text{ MED}$ . Tässäkin annosnopeus kertaa aika antaa kokonaisannoksen (esim.  $3 \text{ MED/h} \times 5 \text{ h} = 15 \text{ MED}$ ).

Näkyvän valon käsittely optisten säteilyiden yhteydessä rajoitetaan useimmiten valonheitinten ja lasereiden tarkasteluun. Tällöin tarkasteltava suure on valon tai valolähteen teho (W) ja tehotiheys ( $\text{W/m}^2$ ). Valaistustekniset suureet (valovoima, valovirta, valaistusvoimakkuus ja luminanssi) käsitellään yleensä valaistuksen yhteydessä eikä näiden suureiden avulla tarkastella silmälle tai iholle vaarallista tehotiheyttä.

Infrapunasäteily (IR) jaetaan aallonpituuden suhteen kolmeen alueeseen, IRA =  $780\text{--}1\ 400 \text{ nm}$ , IRB  $1\ 400\text{--}3\ 000 \text{ nm}$  ja IRC  $3\ 000 \text{ nm}\text{--}1 \text{ mm}$ . Infrapunasäteilyn voimakkuuden mittayksiköt ja suureet ovat hyvin samanlaiset kuin ultraviolettisäteilyn ja näkyvän valon eli tehotiheys ( $\text{W/m}^2$ ) on lähtösuure, jota yleensä mitataan. Tarkemmissa arvioinneissa otetaan huomioon myös aallonpituusjakautuma ja aallonpituuspainotus. Usein IR-säteilyn ensimmäisenä karkeana ohjearvona käytetään arvoa  $100 \text{ W/m}^2$ , kriittisenä elimenä silmä.

Optisten säteilyjen (UV, laser, valo, IR) mittaus-, koulutus- ja tutkimuspalveluja saa mm. Työterveyslaitoksesta ja Säteilyturvakeskuksesta. Teknillisillä yliopistoilla, korkeakouluilla ja oppilaitoksilla on valmiuksia mitata ja tutkia optisia säteilyjä. Työterveyslaitos on akkreditoitunut laserlaitteiden tyyppi hyväksynnän testauslaboratorio.

Sähkömagneettiset kentät syntyvät sähköisten varausten liikkeen seurauksena. Paikallaan pysyvä varaus luo ympärilleen ns. staattisen sähkökentän sekä magneetin ja tasavirtajohdon ympärille muodostuu staattinen magneettikenttä. Kiihtyvässä liikkeessä olevat varaukset ja sähkövirrat luovat ympärilleen värähtelevän sähkömagneettisen kentän. Sähkömagneettinen kenttä jaetaan optisen säteilyn taajuuksien alapuolella mikroaltoihiin ( $0,3\text{--}300 \text{ GHz}$ ), radiotaajuisiin ( $0,3\text{--}300 \text{ MHz}$ ) ja pientaajuisiin (alle  $300 \text{ kHz}$ ) kenttiin. Kuitenkin sanaa radiotaajuinen sähkömagneettinen kenttä käytetään myös kuvaamaan koko taajuusaluetta  $300$

Hz–300 GHz, siis erilaisten radiolähettimien taajuuDET (ULA, TV, NMT ym.). Käyttötaajuiset (50 Hz) ja staattiset (DC –0 Hz) sähkömagneettiset kentät erotetaan yleensä omaksi ryhmäkseen.

Sähkömagneettisten kenttien voimakkuuden eli intensiteetin keskeinen suure on tehotiheys (S) mittayksikkönä ( $W/m^2$ ). Radiotaajuisissa ja pientaajuisissa kentissä tehotiheys jaetaan useimmiten sähkökentän (E) ja magneettikentän (H) voimakkuuden tarkasteluun. Sähkökentän voimakkuuden mittayksikkö on voltti metriä kohti (V/m) ja magneettikentän voimakkuuden mittayksikkö ampeeri metriä kohti (A/m). Lisäksi magneettikentän voimakkuuden kuvaamiseen on vakiintunut toinen suure, magneettivuon tiheys, jonka mittayksikkö on tesla (T). Sen tuhannesosa on millitesla (mT), miljoonasosa mikrottesla ( $\mu T$ ) ja miljardiosa nanotesla (nT). Jos tarkastellaan ihmiseen kohdistuvaa magneettikenttää ilmassa, magneettivuon tiheys ( $\mu T$ ) saadaan kertomalla magneettikentän voimakkuus (A/m) luvulla 1,26.

Usein sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet muunnetaan vastaavan kentän tehotiheydeksi, jolloin puhutaan sähkökenttäkomponentin tehotiheydestä tai magneettikenttäkomponentin tehotiheydestä. Koska sähkömagneettinen kenttä lähellä lähettä on usein monimutkainen, ei pelkkä tehotiheys yleensä riitä kuvaamaan kenttää muutoin kuin mikroaaltotaajuuksilla, jolloin aallonpituus on riittävän lyhyt. Suurtaajuuslaitteille sähkökentän voimakkuuden raja-arvo on 60 V/m ja magneettikentän voimakkuuden 0,2 A/m (vastaava vuon tiheys 0,25  $\mu T$ ). Näistä voidaan johtaa vastaava tehotiheys 10  $W/m^2$  (VNp 473/85). Staattisten magneettikenttien voimakkuuden mittasuurena käytetään magneettivuon tiheyttä, jolloin enimmäisarvoksi on esitetty arvoa 2 T (ACGIH). Staattisen sähkökentän enimmäisarvoksi on esitetty arvoa 25 000 V/m eli 25 kV/m (ACGIH). Maan magneettikentän voimakkuus Suomessa on noin 50  $\mu T$ .

Radiotaajuisilla sähkömagneettisilla kentillä käytetään terveysvaikutusten laskentaan kehoon imeytyvää tehoa eli ominaisabsorptionopeutta (SAR = specific absorption rate). SAR ilmaisee sähkömagneettisesta kentästä biologiseen kudospäätäälisiin lämmöksi absorboituvaa tehoa jaettuna kudospäätäälisiin massalla. Ominaisabsorptionopeuden mittayksikkö on W/kg tai joskus W/g. Esimerkiksi STMp 1474/91 rajaa työaltistukselle taajuusalueella 10 MHz–300 GHz suurimmaksi keskimääräiseksi ominaisabsorptionopeudeksi 0,4 W/kg koko keholle ja 20 W/kg raajojen uloimmille osille. Jos sähkömagneettinen kenttä kohdistuu vain hyvin pieneen osaan kehoa, käytetään arvioinneissa paikallista ominaisabsorptionopeutta, joka määritellään esimerkiksi 10 g massayksikköä kohti. Myös suomalaisissa sähkömagneettisia kenttiä koskevissa teksteissä tullaan entistä enemmän pohjautumaan ominaisabsorptionopeuden arvoihin.

Kattava erilaisten sähkömagneettisten kenttien mittaus-, koulutus-, ja tutkimuspalvelu on saatavissa Säteilyturvakeskuksesta ja Työterveyslaitoksesta. Käyttötaajuisien sähkömagneettisten kenttien tutkimusvalmius on Työterveyslaitoksessa, Säteilyturvakeskuksessa, Tampereen teknillisessä yliopistossa ja Kuopion yliopistossa. Mikroaaltouunien vuotosäteilyn mittausvalmiuksia on runsaasti työsuojelussa, työterveyshuollossa, laitevalmistajilla ja huoltokorjaamoissa. Työterveyslaitoksen on akkreditoitunut näyttöpäätteen testauslaboratorio (MPR II).

### 3.3.2 Työelämässä huomioon otettavat säteilyn lajit

#### Ionisoiva säteily

Terveysriskiä aiheuttavaa ionisoivaa säteilyä voi esiintyä esimerkiksi ydinvoimalassa, röntgen-tutkimuksissa tai radioaktiivisia aineita käsiteltäessä. Hitsausaumojen laadun tarkastamiseen voidaan käyttää röntgen- tai gammasäteilyä. Säteilyturvakeskuksen mukaan ionisoivan säteilyn käyttäjiä on noin 7 000 ja asennus- ja huoltotoissa tämän säteilyn kanssa voi joutua tekemisiin 1000 työntekijää. Ydinvoimaloiden ja terveysalan työntekijöiden säteilytietoisuus on selvästi parempaa kuin satunnaisesti radioaktiivisia aineita käsittelevän tai kellarissa radonille altistuvan työntekijän. Ionisoivan säteilyn käyttö on muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta luvanvaraista. Säteilyturvakeskus myöntää hakemuksesta turvallisuusluvan, jossa määritellään tarkoin ehdot

miten ja missä ionisoivaa säteilyä saa käyttää. Luvassa määritellään myös säteilyn käytöstä vastaava henkilö (vastaava johtaja), jonka on täytettävä tietyt pätevyysvaatimukset. Lisäksi Säteilyturvakeskus tekee tarkastuksen säteilyn käyttöpaikalla. Työpaikalla ionisoivan säteilyn lähteet ja kuljetuspakkaukset pitää merkitä varoitusmerkein (SFS 4016). Joitakin vaaratilanteita on Suomessa syntynyt esimerkiksi tulipalon jälkeen tapahtuneen vaurioituneen laitteen siirron ja teollisuudessa tehtävien röntgenkuvausten yhteydessä. Ionisoivaa säteilyä käyttävien työntekijöiden annosvalvonta on tarkasti säädeltyä (säteilylaki 592/1991, lain muutokset 1334/1994 ja 1142/1998, asetus 1512/1991, asetuksen muutos 1143/1998, asetus valvonnasta 1513/1991, asetus työntekijöiden vuosilomista 1045/1994 ja asetus Säteilyturvakeskuksesta 1515/1991). Ionisoivalle säteilylle altistuvan työntekijän efektiivinen annos ei saa ylittää 20 mSv vuodessa viiden vuoden aikana eikä minkään vuoden aikana 50 mSv.

Työpaikan radonista on Säteilyturvakeskuksen katsaus vuodelta 1992 (STUK 90–70821). Asuntojen huoneilman radonpitoisuudesta on sosiaali- ja terveysministeriön päätös 944/1992. Radon voi aiheuttaa keuhkosityövän ja erityisesti yhteisvaikutuksena asbestialtistuksen ja tupakanpolton kanssa riskitekijät kasvavat nopeasti. Radonaltistus aiheuttaa Suomessa arviolta 100–500 keuhkosityöpää vuodessa, kun kaikkia keuhkosityöpiä ilmaantuu vuosittain noin 2 000.

### Optiset säteilyt

Ultraviolettisäteilyn merkittävin altistaja työssä on hitsauksen valokaari, mutta auringonvalo, solariumit, ja osa laserlaitteista ovat myös merkittäviä ultraviolettisäteilyn lähteitä. Kansanterveydellisesti aurinko on merkittävin ultraviolettisäteilyn aiheuttaja. Ultraviolettisäteilyä esiintyy myös elintarviketeollisuudessa ja graafisessa teollisuudessa (bakteerituholamput, painovärien kuivatus, kuvien valotus). Ultraviolettisäteilylle altistumista koskee STMp 1474/91, joka rajaa silmään tai iholle kohdistuvan painotetun energiatihedyyden alle 50 J/m<sup>2</sup> vuorokaudessa. Ultraviolettisäteily aiheuttaa noin sata ammattitautia vuosittain (ns. hitsarin silmiä). Ultraviolettisäteilyyn liittyy myös ihosyöpävaara. Luultavasti kaikkia UV-säteilyn aiheuttamia vammoja ei edes tule tietoon. Ultraviolettisäteilyä vastaan voidaan suojautua suojalaseilla, käsineillä, vaatetuksella, suojaverhoilla yms.

Silmälle haitallista, voimakasta näkyvää valoa voi esiintyä erilaisissa kuvaus- ja esiintymistilanteissa. On esitetty, että näissä saattaa olla verkkokalvon vaurioitumisriski. Samalla tavalla lasersäteily voi aikaansaada esimerkiksi vahingossa syntyviä verkkokalvovaurioita. Yhdysvalloissa on selvitetty laboratorioissa tapahtuneita laseronnettomuuksia, jolloin vammat olivat pääosin sattuneet kokemattomille työntekijöille. Tutkijat ehdottivat luvanvaraista toimintaa tutkimuslaserien käyttöön. Lasereiden aiheuttamien riskien arvioimiseksi ensimmäinen vaihe on selvittää turvallisuusluokitus (1, 2, 2M, 3M, 3B ja 4, ks. kohta laserit). Tehokkaimpien työstö-laserien aallonpituus on infrapunasäteilyn aallonpituusalueella.

Infrapuna- eli lämpösäteilyä esiintyy valimoissa (esim. sulatusuunit) sekä metalli- ja lasiteollisuudessa. Lämpösäteilyä käytetään lisäksi lämmityksessä, graafisessa teollisuudessa, maalaimoissa, betonielementtitehtaissa, sairaaloissa ja fysikaalisissa hoitolaitoksissa. Lisäksi lähes kaikista koneista ja laitteista säteilee hukkalämpöä. Normaalisti lämpösäteilystä ei ole terveydellistä haittaa muuten kuin lisäämällä lämpökuormitusta esimerkiksi kesäaikaan. Sitä ei kuitenkaan käsitellä tässä tarkemmin. Klassillinen terveyshaitta on ns. lasinpuhaltajan kaihi, jonka syntyyn vaikuttaa lämpösäteilyn lisäksi työntekijän ikä. Näitä kaihitapauksia on esiintynyt ammattitautitilastoissa yksittäisinä. Lämpösäteily saa aikaan myös työntekijöille lämpökuormittumista ja edelleen kehon syvälämpötilan nousua. Infrapunasäteilyn tehottiheyden ohjearvona on käytetty arvoa 100 W/m<sup>2</sup>, jota arvoa ollaan osittain kansainvälisesti muuttamassa herkemmin eri aallonpituuksia huomioivaksi. Lämpösäteilyltä voidaan suojautua mm. suojalasiin ja heijastavan vaatetuksen avulla.

### Radiotaajuiset sähkömagneettiset kentät

Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamat terveysvaikutukset saattavat olla toistaiseksi huonosti selvillä. Nykyiset ohjearvot perustuvat lämpövaikutukseen, joka näillä kentillä elimistöön on. Jatkuvasti käydään myös keskustelua siitä, voiko radiotaajuinen sähkömagneettinen kenttä aiheuttaa syöpää tai voivatko nämä kentät myötävaikuttaa syöpälajien syntyyn. Mikroaaltosäteilyä käytetään liimojen kovetuksessa, kuivauksessa, lääketieteellisissä hoidoissa, ruuan valmistuksessa, tutkissa ja radiolähtimissä. Suurtaajuuslämmittimien ja induktio-uunien läheisyydessä esiintyy 60 Hz–10 MHz taajuisista sm-säteilyä, eikä ohjearvojen ylityksiä paljon tapahdu. Taajuusalueella 10–300 MHz toimivia laitteita on teollisuudessa (liiman-kuivaimet ja suurtaajuussaumaimet) ja fysikaalisissa hoitolaitoksissa. Radiopuhelimet toimivat myös tällä aallonpituusalueella. Fysikaalisia hoitolaitteita käytettäessä ohjearvot eivät yleensä ylitä yli 1 m etäisyydellä elektrodeista tai siirtojohtoista (ohjearvot 60 V/m ja 0,2 A/m). Suurtaajuuslaitteiden säteilyä on voitu vähentää rakentamalla koneiden ympärille ns. Faradayn häkkirakenteita, suojaamalla siirtojohtoja ja maadoittamalla (kuva 9). Etäisyyden kasvattaminen säteilylähteestä vähentää yleensä merkittävästi altistumista, olipa kyseessä minkäläatuinen säteilylähde tahansa. Silmän ja ihon suojaaminen säteilyltä on keskeistä.



Kuva 9. Muovisaumaimen magneettikentän mittausta työntekijän kohdalta (kuva Arimo Ristola)

Käytännössä jokainen altistuu nykyään radiotaajuisille sähkömagneettisille kentille niin työssä kuin kotonakin. Kysymys on lähinnä kentän voimakkuudesta ja siitä, onko terveysvaikutuksille jokin kynnyisarvo vai ei. On kuitenkin varsin todennäköistä, että pohdintaa radiotaajuisien sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutuksista tullaan käymään edelleenkin vilkkaasti. Suuret pientaajuiset tai radiotaajuiset sähkö- ja magneettikentät voivat aikaansaada suuria indusoituneita tai kosketusvirtoja, joille on ulkomailla alettu antaa ohjearvoja (ACGIH).

### Pientaajuiset sähkömagneettiset kentät

Pientaajuisista sähkömagneettisista kentistä merkittävimpiä ovat sähkövoiman tuottamisessa, siirrossa ja jakelussa syntyvät käyttötajuiset (50 Hz) sähkömagneettiset kentät. Voimalinjat, jakelumuuntamot, sähkömoottorit sekä voimakoneet ja laitteet voivat synnyttää ympärilleen magneettikenttiä. Teollisuudessa yli 500  $\mu\text{T}$  olevia vuontiheyksiä on raportoitu esimerkiksi piste-hitsauksessa, halkeamien tarkastuksessa magneettivuopenkissä, sähkövetureissa sekä sähkösulatusuunien lähellä.

Suomessa käyttötajuisen kentän voimakkuudelle ei toistaiseksi ole raja-arvoa, mutta kansainvälinen säteilysuojelujärjestö ICNIRP suosittaa työaltistuksen ohjearvoksi magneettikentälle 500  $\mu\text{T}$ . Peruste tälle arvolle on kehonsisäiset indusoituvat sähkövirrat, joiden voimakkuus kasvaa sekä magneettikentän että sähkökentän myötä. Tämän hetkisen näkemyksen mukaan pohdintaa käydään kovasti käyttötajuisien sähkömagneettisten kenttien aiheuttamalle

leukemia- tai aivokasvainriskille. Riskit ovat kuitenkin pienet, jos ne edes jatkossa voidaan todeta. Pientaajuisten magneettikenttien tekninen ja henkilökohtainen vähentäminen on vaikeampaa kuin radiotaajuisten sähkömagneettisten kenttien. Sähkökenttä kyetään vaimentamaan helpommin kuin magneettikenttä. Paitsi sähkölaitteiden pientaajuiset kentät, myös näyttöpäätteiden pientaajuinen kenttä ja siitä aiheutuvat mahdolliset terveysvaikutukset esimerkiksi raskaana olevalle työntekijälle ovat olleet tutkimuksien kohteena. Näyttöpäätteiden pientaajuiselle magneettikentälle on teknisin perustein asetettu tavoitearvo 0,25  $\mu\text{T}$  (taajuusalue 5-2 000 Hz). Kuitenkin syöpätutkimuksissa lähinnä Ruotsissa on asetettu jonkinlaiseksi kynnysarvoksi myös 0,2  $\mu\text{T}$ , mistä on seurannut sekaannusta. Suurin osa nykyisistä näyttöpäätteistä alittaa tavoitearvon 0,25  $\mu\text{T}$  50 cm etäisyydellä monitorin edessä. Eräs ongelma on sähkömagneettiset häiriöt, minkä sähkölaitteet aiheuttavat toisilleen. Jo 0,2  $\mu\text{T}$  magneettivuon tiheys esimerkiksi jakelumuintajasta voi häiritä näyttöpäätteen kuvan muodostumista, jolloin kuva liikkuu, väreilee tai kuvan värit saattavat muuttua. Sähköyliherkkyys on uusi työntekijöiden oireyhtymä, jota on selvitetty lähinnä Ruotsissa, jossa on tehty useita tutkimuksia aiheesta. Syitä oireisiin haetaan pientaajuisista tai staattisista sähkömagneettisista kentistä, allergiataipumuksista yleensä, stressitekijöistä sekä psyykkisistä tekijöistä. Työntekijällä näkyvät oireet ovat kasvojen ja käsivarsien ihon laikkaisuus, pistely ja huono olo, joka paranee poistuttaessa sähkölaitteiden läheltä.

Pientaajuisia sähkömagneettisia kenttiä ovat myös staattiset sähkö- ja magneettikentät, joiden sovelluksista voidaan mainita tietokonekuvauslaitteet, suprajohdemagneetit, elektrolyysihallit, nosto- ja erotusmagneetit ja kattilaveden erotusmagneetit. Staattiset ja pientaajuiset magneettikentät ovat suhteellisen pieniä ja huippuarvot rajoitetulla alueella esimerkiksi hitsauksessa (DC) ja induktiouunien lähellä. Maapallo on iso magneetti, esimerkiksi Suomessa asutaan noin 50  $\mu\text{T}$  vuontiheydessä koko ajan. Näin ollen tavallisin ohjearvo staattisen magneettikentän hetkelliselle altistukselle on 2 T ja päivittäiselle altistukselle 60 mT (ACGIH 99).

### 3.3.3 Säteilyiden aiheuttaman terveysriskin arviointi

Säteilyiden osalta silmämääräinen arviointi on vaikeaa. Usein tarvitaan ulkopuolista asiantuntijaa, jos säteileviä laitteita käytetään. Kone- ja laitevalmistajilla on myös vastuuta haitallisuuden ilmoittamisesta.

Erityisriskien kuten säteilyn osalta koko riskien tunnistamisen, arvioimisen ja hallinnan ketju voidaan teettää ulkopuolisella asiantuntijalla. Taulukkoon 12 on luonnosteltu säteilyiden osalta riskien arviointia ja sen apuvälineitä.

Säteilyjen ja sähkömagneettisten kenttien osalta nykyiset ohjearvot perustuvat säteilyn lämpövaikutuksiin tai kenttien aiheuttamiin kehonsisäisiin sähkövirtoihin. Keskustelua kuitenkin käydään useimmiten, voivatko erilaiset ionisoimattoman säteilyn lajit lainkaan aiheuttaa syöpää. Tarkasteltaviin syövän lajeihin liittyy aina monia muitakin syitä, jolloin pohdinnan kohde epidemiologisissa tutkimuksissa on suhteellisen riskin avulla arvioida tilannetta. Mikä sitten on liiallinen riski säteilyiden suhteen? Liiallinen riski voisi tarkoittaa tilannetta, jota työsuojeluhallinnossa on totuttu luonnehtimaan termillä välitön terveyden menettämisen vaara, kuten alumiinin MIG-hitsaus ilman maskia tai voimakkaiden gammaisotooppien käsittely ilman suojausta. Kohtalaisena riskinä voitaneen pitää jatkuvaa työskentelyä taulukossa 12 mainittujen altistumisrajojen tasolla. Riski on merkityksetön silloin, kun haittatekijästä ei tiedetä aiheutuvan terveydellisiä tai viihtyvyyteen liittyviä riskejä. Merkityksettömästä riskistä esimerkkejä ovat esimerkiksi mikroaaltouunin käyttö ruuan lämmittämiseen, kun uuni on kunnossa. On kuitenkin syytä muistaa myös välilliset terveysriskit, riskit erityisryhmille, taloudelliset riskit, esinevahingot

yms. Välillisistä riskeistä ei sovi unohtaa esimerkiksi magneettikenttien aiheuttamia laitehäiriöitä vaikkapa sydämentahdistimeen tai näyttöpäätteen monitoriin.

*Taulukko 12. Fysikaalisten säteilyriskien karkeat arviointiperusteet. Raja-arvot ovat suuntaantavia, ja yksityiskohtaisemmat raja- ja ohjearvot ovat löydettävissä normeista tai niitä tukevista ohjeista*

riskitekijä	riskinarviointi			riskinhallinta
	altistumisraja	normi	haitan kohde	
säteily, ionisoiva	20 mSv/a	A 1512/91	elin, koko keho	tekninen suojaus
- ultravioletti	1 mW/m <sup>2</sup> E <sub>eff 8h</sub>	STMp 1474/91	silmät, iho	henkilönsuojaimet
- radioaallot	10 W/m <sup>2</sup>	STMp 1474/91	koko keho	tekninen suojaus
- mikroaallot	50 W/m <sup>2</sup>	STMp 1474/91	silmät, koko keho	tekninen suojaus
- laserit	Cl 3-4	STMp 1474/91	silmät, iho	tekninen suojaus
- infrapuna	100 W/m <sup>2</sup>	ACGIH 1999	iho, silmät	tekninen suojaus

Säteilyn mittaaminen on yleensä asiantuntijoiden tehtävä. Tilannetta selvitettäessä tulee pohtia säteilyn käyttöä, altistumista, koneita ja laitteita, toimintataajuutta, torjuntaa ja suojautumista sekä lisäselvitystarvetta.

Ionisoivan säteilyn aiheuttamasta syöpäkuoleman riskistä perustietoina käytetään usein Hiroshiman ja Nagasakin uhrien suhteellisen riskin käyriä. Käytännössä kuitenkin kukaan ei altistu tämän tasoiselle säteily määrälle. Riskiarviot ovat olleet luokkaa 1:250/Sv aikuiselle henkilölle tai 1:2,5/Sv sikiölle. Kuitenkin nykyisin tässäkin arviointi on monimutkaisempaa, ja arviointi etenee säteilyn kohde-elinten riskin ja säteilylajien arviointien kautta kokonaisriskin arviointiin. Ionisoivalle säteilylle vuosittainen kokonaisannoksen raja-arvo on 20 mSv, joka yksinkertaisen lineaarisen mallin mukaan tarkoittaisi riskiä 1:12 500 aikuiselle henkilölle. Pienten säteilyannosten merkityksen arviointi on vilkkaan tutkimuksen kohteena.

Ultraviolettisäteilyn (UV-säteily) työhygieeninen riskinarviointi perustuu fotokeratiitin eli silmän sarveiskalvon tulehdusriskin ja minimieryteeman kynnsarvoihin. Tällä perusteella on laadittu UV-säteilyn aallonpituuspainotus, jota käytetään työhygieenisissä riskiarvioinneissa. Näillä ja muilla perusteilla on laadittu tehokkuuden ja sallitun päivittäisen altistusajan käyrä ja altistuksen raja-arvo. Ultraviolettisäteilyn aiheuttama ihon palamis- ja ruskettumisherkkyys riippuu myös voimakkaasti ihotyypistä. Valtaosa Suomen väestöstä kuuluu ihotyyppeihin II tai III (87 %), mutta herkästi ihonsa polttavia, ihotyyppiin I kuuluvia on väestöstä 2–5 %. UV-säteilyn aiheuttama melanooman ilmaantuvuus (100 000 ihmistä kohti) on lisääntynyt kahdesta kuuteen viimeisten kolmenkymmenen vuoden aikana. Melanooman henkilökohtaisia riskitekijöitä ovat mm. ärjyluomet, runsaasti pigmenttiluomia, ihotyyppi I tai II, pisamaisuus sekä punertava tai vaalea tukka. Tavallisesti ihon sietoon liittyvät muuttujat yhdistetään auringonvaloon ja ulkotyöhön, mutta työelämän UV-altistukset esimerkiksi graafisessa teollisuudessa tai elintarvikealalla voivat olla samanlaiset.

Sähkö- ja magneettikenttien terveysvaikutuksia on viime vuosina pohdittu runsaasti. Jaottelua on tehty ensinnäkin lämpövaikutuksiin ja muihin vaikutuksiin. Nykyiset eri maissa noudatettavat raja-arvot perustuvat lämpövaikutuksiin ja edelleen kehonsisäisiin virtatiheyksiin (esim. 10 mA/m<sup>2</sup>). Lämpövaikutuksia luokitellaan toisaalta koko kehon absorptionopeuden (SAR<sub>wb</sub>) tai paikallisen absorptionopeuden (SAR<sub>loc</sub>) avulla. Ainakin yhtenä perusteena tullee säilymään SAR-arvoille annettavat raja-arvot. Erityisesti magneettikenttien mahdollinen syöpäriski ei ole ohje- arvojen perusteena, koska magneettikenttien ja syöpäriskin välistä riippuvuutta ei tunneta, jos se yleensä on olemassa. Edelleen pulssimuotoisten sähkömagneettisten kenttien mahdolliset terveysvaikutukset ovat pohdinnan alla.

Lasersäteily voi myös aiheuttaa tapaturman luonteisia riskejä esimerkiksi silmiin tai iholle. Siksi laserlaitteet on turvaluokitettu niiden mahdollisten riskien mukaan luokkiin 1, 2, 3M, 3B ja 4. Erityisesti luokkiin 3B ja 4 kuuluvien laserlaitteiden kanssa on oltava varovainen, koska niillä riskit edustavat melko korkeata tasoa (mm. pysyvä sokea kohta silmän verkkokalvolla). Teholtaan muutaman mW näkyvää valoa antavien ja luokkaan 3B kuuluvien lasereiden aiheuttama silmäläiski on kuitenkin pieni.

### Säteilyn haittavaikutuksista

Ionisoivan säteilyn käyttö aiheuttaa Suomessa korkeintaan muutaman ammattitautin vuodessa, jotka ovat veren kuvan muutoksia. "Normaali" kansalainen saa vuodessa noin 4 mSv:n annoksen (luonnollinen säteily + lääketieteellinen hoito). Suomalaiseen keskimäärin kohdistuvaa säteilyaltistusta on havainnollistettu taulukossa 13.

*Taulukko 13. Suomalaiseen keskimäärin kohdistuva säteilyaltistus muutettuna efektiiviseksi annosekvivalentiksi (ionisoiva säteily)*

säteilylähde	säteilyannos vuodessa		
	keskiarvo mSv	vaihteluväli mSv	osuus %
kosminen säteily	0,3		
sisäinen säteily kehon kaliumista	0,17		5
sisäinen säteily muista luonnon radionuklideista	0,3		16
ulkoinen säteily maaperästä ja rakennuksista	0,5	0,1-1	16
asuin ympäristön radon (hengitysilma)	0,6	0,1–500	39
röntgendiagnostiikka (potilaat)	0,6	0,0–50	19
radionuklidien käyttö (potilaat)	0,03		1
säteilytyöntekijät	0,00	0,0–50	0
yhteensä	4,1		100

Ultraviolettisäteilyn vaikutukset kohdistuvat iholle ja silmään. Ultraviolettisäteily aiheuttaa lähinnä ns. hitsarin silmiä eli silmän sarveiskalvon tulehduksia. UV-A-säteily ei pysty yleensä aiheuttamaan terveessä ihossa oleellisia muutoksia, mutta UV-B- ja UV-C-säteilyt aiheuttavat ihon punoitusta. UV-säteilyn on joskus katsottu osaltaan vaikuttaneen myös ihosyövän syntyyn.

Infrapunasäteilyn vaikutukset kohdistuvat lähinnä silmään, jolloin pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa kaihin (lasinpuhaltajan kaihi). Alle 1000 K IR-säteilyä pidetään melko vaarattomana ja kaihia on todettu aiheutuneen tehotiheystasoista 800–4000 W/m<sup>2</sup> alkaen. Iholla säteily saattaa aiheuttaa palovammoja, punoitusta ja ihon pigmentoitumista. Pitkäaaltoinen IR-säteily lisää lämpökuormitusta. Infrapunasäteilyn aiheuttamaksi on luokiteltu yksittäisiä ammattitaitteja Suomessa. Lasersäteily voi helposti polttaa silmän verkkokalvoon mustia kohtia (400–1400 nm). Ihovauriot ovat myös mahdollisia. Yleensä alle 1 mW laserit eivät aiheuta terveydellistä riskiä. Yli 0,5 W lasereita sanotaan suuritehoisiksi ja niiden hajaheijastuksetkin voivat olla vaarallisia.

Mikroaaltosäteilyn on todettu aiheuttaneen silmän linssi- ja verkkokalvomutoksia tehotiheyden oltua yli 1000 W/m<sup>2</sup>. Tutkittavana ovat mikroaaltosäteilyn mahdolliset keskushermosto-, mutageeniset ja hormonaaliset vaikutukset sekä vaikutukset verta muodostaviin elimiin. Radiotaajuuden säteilyn aiheuttamiksi subjektiivisiksi oireiksi tai vaikutuksiksi esitetään tutkimuksissa päänsärkyä, unettomuutta, väsymystä, EKG-mutoksia ja kilpirauhasen toiminnan muutoksia.

Lisätietoa:

1. [www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)
2. [www.ssi.se](http://www.ssi.se)

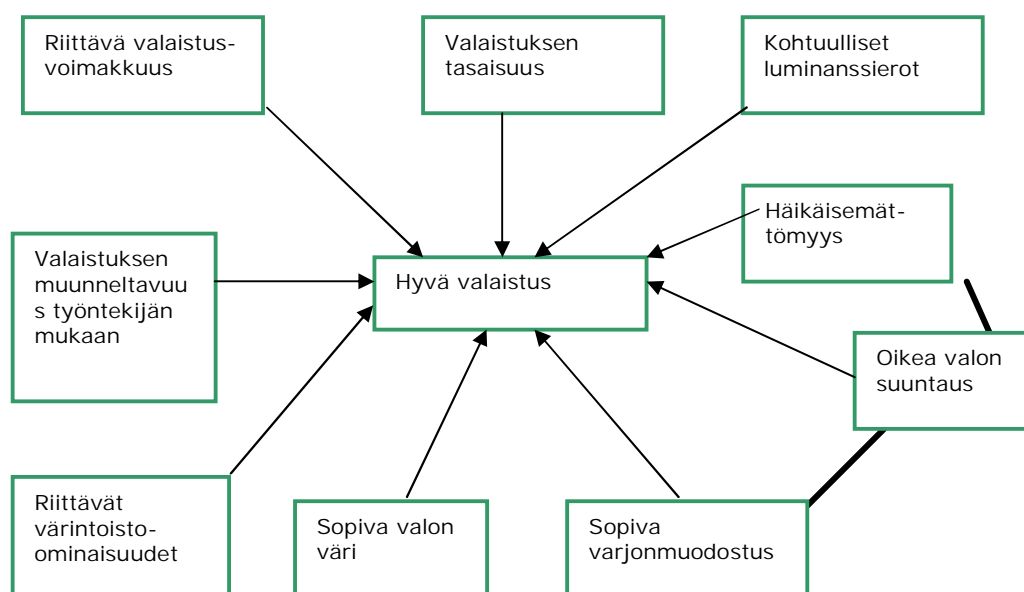
## 3.4 VALAISTUS

### 3.4.1 Yleistä

Valaistus on kohteiden ja/tai niiden ympäristön saattamista näkyväksi valon avulla. Valaistusvoimakkuus (lx) kuvaa pinnalle tulevan valon määrää ja luminanssi (cd/m<sup>2</sup>) pintojen säteilemän tai heijastaman valon määrää. Valaistusolot vaikuttavat työntekijän työtehoon, turvallisuuteen, viihtyisyyteen ja työn tarkkuuteen. Puutteellisessa valaistuksessa suora tai välillinen tapaturmariski kasvaa. Huonoista näkemisoloista voi seurata päänsärkyä, vääriä työasentoja, silmien vetistelyä ja silmien punoitusta. Valaistukseen ei ehkä aina kiinnitetä riittävästi huomiota, koska haitat eivät ilmene erityisinä tautitiloina, selvinä oireina tai viihtyvyyden haittoina. Hyvään valaistukseen vaikuttavia tekijöitä on esitetty kuvassa 10.

Puutteellinen valaistus ei aiheuta silmävammoja, mutta huonon valaistuksen seurauksena työntekijöiden tapaturmariski ja työssä väsyminen lisääntyy.

On löydettävissä tapaturmaselostuksia, joissa mainitaan valaistuksen tai näkemisen puutteet myötävaikuttavina tekijöinä. Tapaturmaselostuksissa ei välttämättä ole huomioitu olosuhde-tekijöitä riittävästi. Valaistuksen toimivuus ja ilmastointi (yleisilmanvaihto, kohdepoistot, lämmitys, jäähdytys ym.) pitäisi ottaa huomioon suunniteltaessa uusia tiloja, mutta myös arvioitaessa käytössä olevien tilojen toimivuutta. Lasersäteily voi myös aiheuttaa tapaturman luonteisia riskejä esimerkiksi silmiin tai iholle.



Kuva 10. Hyvään valaistukseen vaikuttavia tekijöitä

Silmän näkötarkkuus, kontrastiherkkyys, havaitsemisnopeus sekä näkemisen varmuus paranevat valaistusvoimakkuuden kasvaessa siten, että useimmat ihmiset mieluummin valitsisivat 1500–3000 lx valaistusvoimakkuuden. Ikä vaikuttaa ratkaisevasti näkemistarkkuuden aiheuttamaan valontarpeeseen. Häikäisy on valaistuksen pahimpia epäkohtia. Liian suuren valaistusvoimakkuuden tunne johtuu usein häikäisystä. Epäsuorassa häikäisyssä esim. valaisimen tai ikkunan kirkas pinta kuvastuu kiiltävästi pinnasta silmiin ja häiritsee näkemistä. Jos häikäisyn aiheuttaa valonlähde, johtuu kiusahäikäisyn suuruus:

- valolähteen luminanssista
- ympäristön keskimääräisestä luminanssista
- silmän näkemästä valolähteen alasta
- valolähteen sijainnista näkökentässä
- valolähteen ympäristön luminanssijakautumasta
- valolähteen muodosta.

Silmä rasittuu, jos vuorotellen joudutaan katsomaan erilaisen luminanssin omaavia pintoja tai joudutaan liikkumaan suurien valaistusvoimakkuuserojen omaavien tilojen välillä. Valoisuuserojen ohella värierot auttavat havaintojen tekemistä. Valo ja väri vaikuttavat mielentilaan ja sitä kautta työtehoon. Valon värisävyjä arvostellaan värilämpötilan (K) avulla. Jokaisen värilämpötilan arvolla on olemassa pienin ja suurin valaistusvoimakkuus, minkä synnyttämä valaistus koetaan miellyttävänä. Valon värisävyyn lisäksi valon värintoisto-ominaisuuksien tulee olla sopivat, jotta värit aistittaisiin luonnollisina. Valon värintoisto-ominaisuuksista on myös esitetty suositusarvoja eri tiloille.

Suosittelvat valaistusvoimakkuusarvot on esitetty valaistussuosituksissa SFS-EN 12464-1. Kuitenkin riittäväksi valaistusvoimakkuuden arvoksi usein katsotaan arvo, joka on yli puolet suositusarvosta (ei yleensä alle 150 lx). Perusteeksi pienimmälle työtilojen hyväksyttävälle valaistusvoimakkuudelle on otettu, että tuttujen pystysuorien piirteiden erottaminen sujuu helposti. Eri työtiloille on esitetty valaistusvoimakkuuden suositusarvoja esimerkiksi Suomen Valoteknillisen Seuran julkaisuissa. Suositusarvot pätevät 40-vuotiaalle henkilölle, jolla on normaali näkökyky. Samassa työssä heikoimmin valaistun työpaikan valaistusvoimakkuuden tulisi olla yli 70 % parhaiten valaistun tilan valaistusvoimakkuudesta.

#### Luminanssieroista suositellaan

- katseltavan kohteen ja sitä ympäröivän pinnan luminanssien suhde ei saisi ylittää 3:1
- katseltavan kohteen ja näkökentän uloimpien osien luminanssien suhde ei saisi ylittää 10:1
- kahden toisiinsa rajoittuvan pinnan luminanssien suhde ei saisi näkökentässä olla suurempi kuin 20:1.

#### Paikallisvalaistusta suositellaan käytettäväksi, kun

- tarvitaan suurta näkötarkkuutta ja valaistusvoimakkuutta pienellä alalla
- muotojen ja rakenteiden havaitseminen edellyttää voimakkaasti suunnattua valoa
- yleisvalaistuksella ei saada valaistuksi kaikkia paikkoja
- epäsuoraa häikäisyä on vähennettävä
- näkökyky huononee esim. iän vuoksi.

Valaisinten, lamppujen ja heijastimien puhtaus sekä säännöllinen lamppujen vaihto ovat toimenpiteitä, joilla valaistusvoimakkuus saadaan pidettyä tietyllä tasolla. Myös ikkunoiden ja tilan pintojen puhdistaminen auttavat.

Epäsuoran häikäisyn torjumiseksi:

- sijoitetaan valaisimet ja työskentelypaikat niin, ettei valo pääse heijastumaan katse-  
lukulmiin
- vältetään kiiltäviä pintoja
- käytetään laajapintaisia valaisimia, joilla on pieni luminanssi
- käytetään esim. ritoilaita, ettei valoa pääse heijastumaan työntekijään päin
- lisää tilan valaistusvoimakkuutta.

### 3.4.2 Valaistusolot eri aloilla

Yleistä

Pelkästään valaistusoloja eri aloilla käsittelevää ja kartoittavaa tutkimusta ei ole, mutta valaistusta koskevia arvioita on sisällytetty useimpiin ala- tai ammattikohtaisiin työolo-  
kartoituksiin. Kokemusperäisestäkin tiedetään, että eri tehtävissä samallakin toimialalla  
valaistustaso vaihtelee huomattavasti, koska mitoitusperusteena käytetään useimmiten näke-  
misen edellyttämää minimivoimakkuutta. Eri aloilla valaistus koetaan ongelmaksi hyvin eri  
tavoin.

Näyttöpäätetyöpaikkaan suositellaan valaistusvoimakkuudeksi 300–500 luksia (lx). Tarve tälle  
valaistustasolle päätetyössä johtuu siitä, että runsas valo heikentää kuvaruudun merkkien ja  
taustan välistä kontrastia ja vaikeuttaa näin merkkien lukemista. Sopiva valaistuksen taso  
riippuu työntekijästä, työstä ja päätteen kuvaruudun rakenteesta. Jos päätetyö sisältää  
paperilla olevan tekstin lukemista, valaistustasoksi voidaan valita noin 500 lx. Jos päte on  
pääasiallinen työväline, valaistuksen tasoa voidaan laskea aina 200 lx:iin.

Hyvässä loisteputkivalaisimessa on paraboliset peilit varjostimessa ohjaamassa valoa ja  
häikäisysuojana mattapintainen ristikkolamelli. Yleisvalaistuksen ohella voidaan tarvita myös  
paikallisvalaisimia, jos työ on lähinnä paperilla olevan tekstin lukemista tai jos yleisvalaistus ei  
esimerkiksi pimeään vuodenaikaan ole riittävä.

## 3.5 Lämpöolot

### 3.5.1 Johdanto

Vaatetetulla henkilöllä on voimassa tasapainolauseke

$$(8) \quad M - W = H = H_{RES} + H_{cl} + -\Delta S, \text{ missä}$$

M = aineenvaihdunta (80–1000 W)

W = ulkoinen työ (W)

H = lämmöntuotanto (W)

$H_{RES}$  = lämmönluovutus hengittämällä (W)

$H_{cl}$  = lämmönluovutus vaatteiden tai ihon kautta jakaantuen kuivaan lämpövirtaan ja  
haihtumislämpöön (W)

$\Delta S$  = muutos elimistön lämpösisällössä (W)

Elimistön ollessa lämpötasapainossa ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ovat elimistön aineenvaihdunnan  
kehittämä lämpömäärä ja elimistön ja ympäristön välillä siirtyvät lämpömäärät tasa-  
painossa.

Lämpöolosuhteiden tiedetään vaikuttavan

- lämpöviihtyvyyteen
- työn kuormittavuuteen
- fyysiseen ja henkiseen suorituskykyyn
- terveyteen.

Työntekijän lämpöolosuhteiden kokemiseen vaikuttavat

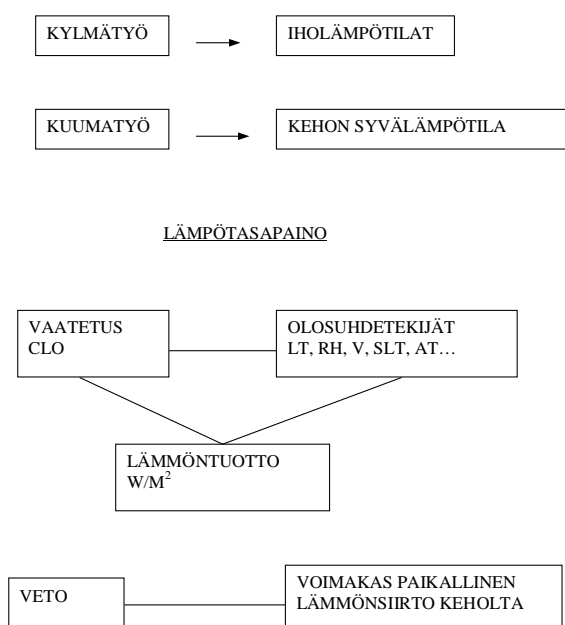
- ilman lämpötila
- ilman kosteus
- ilman virtausnopeus
- ympäröivien pintojen ja kappaleiden lämpötila
- työn raskaus ja vaatetuksen lämmöneristävyys.

Näillä ns. lämpöolosuureilla (lämpötila, kosteus, liikenopeus ja lämpösäteily) on vaikutusta hengityksen ja vaatteiden kautta tapahtuvaan lämmön luovutukseen tai vastaanottoon keholta. Kun ympäristön lämpötila ylittää keskimääräisen ihon lämpötilan, ihminen voi luovuttaa lämpöä ympäristöön vain hikoilun avulla (haihtumislämpö).

Lämpöolosuhteet jaetaan ilmastollisin perustein kylmiin ja kuumiin työlöihin, sekä lämpöviihtyvyyden alueeseen. Kylmä työympäristö vaikuttaa ensivaiheessa kehon ääreisosiin kuten jalkoihin, käsiin ja päähän. Kylmässä on vaikeaa tehdä tarkkuutta vaativaa työtä ja esimerkiksi jäisten esineiden käsittelyssä voi syntyä tapaturman vaaroja. Lämpöviihtyvyyden alueella hikoilu ei ole vielä tehokkaasti käynnistynyt vaan lämmönsäätely tapahtuu säteilyn avulla. Vetoisuus koetaan hyvin usein työpaikoilla lämpöolosuhteista ongelmallisimmaksi (Kuva 11).

Vedon tuntemus aiheutuu kehon pinnan osan jäähtymisestä aiheutuen

- suurella nopeudella liikkuvasta normaalilämpöisestä ilmasta
- normaalinopeudella liikkuvasta kylmästä ilmasta
- suurehkosta säteilyhukasta
- eo. suureiden yhdistelmästä tai siitä, että jokin suure muuttuu säännöllisesti tai epäsäännöllisesti ajan myötä.



Kuva 11. Lämpöolojen kokemiseen vaikuttavia tekijöitä

Kuumassa työympäristössä lämmönsäätelyjärjestelmä sekä sydän ja verenkiertoelimistö kuormittuvat. Sydän ja verenkiertoelimistön kuormitusta lisää se, että lämmönsäätelyjärjestelmän käskystä verta on kuljetettava iholle lämmönpoistumisen helpottamiseksi. Kuumassa merkittävä lämmönluovutuskeino on hikoilu, jolloin ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden merkitys kasvaa. Tämä johtuu siitä, että jos suhteellinen kosteus on suuri, on hien haihtuminen iholta vaikeampaa.

### 3.5.2 Ohjearvoista ja niiden perusteista

Mitkä ovat ne lämpöolosuhteet, joiden vaikutuksen alaisena teollisuuden normaalikuntoinen työntekijä voi työskennellä vuosikautia? Tähän kysymykseen ei voida vastata seuraamalla vain yhtä lämpöolomuuttujaa, vaan joudutaan tarkastelemaan eri suureiden yhteisvaikutusta. Perustana kaikille arvioinneille ovat ihmisen fysiologiset reaktiot, joista ohjearvoja laadittaessa on tavallisesti tarkasteltu syketaajuutta, kehon lämpötilaa, keskimääräistä ihon lämpötilaa ja hikoilun määrää aikayksikössä. Eo. suureista on kehitetty erilaisia lämpöindeksejä, joiden tavoitteena on ollut kytkeä fysiologiset lämpöolosuhteet kehon fysiologisiin suureisiin ja näin kehon lämpö- tai kylmäkuormittumiseen. Työntekijän yksilöllisistä ominaisuuksista, jotka vaikuttavat optimaalisiin lämpöolosuhteiden raja-arvoihin, voidaan mainita myös työntekijän ikä, sairaudet, sopeutuminen ja tauotus työssä. Suomessa ei ole tarkkoja lämpölonormeja.

Epäedullisista lämpöoloista aiheutuu mm. paleltumia, lämpökramppeja tai -halvauksia. Paleltumien riski ulkotyössä on olemassa ja todentuu ajoittain. Vesiliikenteessä hukkumisriski yhdistettynä veden lämpötilaan ja vedessä oloaikaan on selvästi tutkimuksin todettu. Lämpöolojen ohjearvot eivät kuitenkaan perustu suoraan todetuille terveystarpeille, vaan lämpöolojen arvioinneissa on mukana viihtyvyys- tai epävihtyvyystekijöitä. Työntekijäpuolella lämpöolojen haitat mm. vetoisuus, kylmyys tai kuumuus haittaavat työntekoa merkittävästi ja lämpöolojen puutteita pidetään merkittävänä koettuna haittatekijänä työympäristössä.

Kylmälle altistuneiden joukko on suuri, noin 400 000 ja kuumatyötä tekeviä arvioidaan olevan noin 60 000. Näillä perusteilla puutteellisia lämpöoloja tulee arvioida ja arviointimenetelmiä kehittää, vaikka suora riski on vaikeasti laskettavissa. On myös muistettava epäedullisten lämpöolojen vaikutukset tapaturmariskeihin ja toisaalta tuottavuuteen. Kylmäaltistus voi merkittävästi lisätä tapaturmariskiä (kömpelyys tai kankeus). Samoin kuumatyö (pyörtymisriski), melu (varoitussäenät eivät kuulu, ohjeet ymmärretään väärin, suuntakuulo ei toimi) tai valaistus (putoamisriski, törmäysriski) voivat olla mukana tapaturmariskiä kasvattamassa.

Olosuhteiden arvioinnit perustuvat viranomaisten osalta aina viime kädessä työturvallisuuslakiin, siitä annettuihin järjestysohjeisiin ja asetuksiin tai lain perusteella tehtyihin ennakkopäätöksiin (esim. raja-arvo +28 °C tekstiiliteollisuuden erällä työpaikoilla). Kuumatyön osalta usein näkee sovellettavan ACGIH:n WBGT-indeksiä. Kylmien työolosuhteiden osalta ei ole edes ohjearvoja epämääräisiä pakkasrajoja lukuun ottamatta. Tuulen nopeuden ja lämpötilan yhteisvaikutuksen arvioimiseksi on usein käytetty ns. Windchill-indeksiä, jonka yhteydessä annetaan myös altistumisaikarajoja paleltumisen ehkäisemiseksi. Kylmissä työoloissa huomio kiinnitetään yleensä tautotukseen ja vaatetukseen. Lämpövihtyvyyden arvioimisessa käytetään Fangerin teorioita apuna (mm. PMV-indeksi ISO 7730).

Tavallisimmin on Suomessa kuumatyötä arvioitaessa sovellettu WBGT-lämpöindeksiä, joka lasketaan sisätiloissa yhtälöstä (9):

$$(9) \quad \text{WBGT} = 0,7 t_{\text{im}} + 0,3 t_{\text{g}}, \text{ mistä}$$

WBGT = indeksin arvo (°C)

$t_{\text{im}}$  = luonnollinen märkälämpötila (°C)

$t_{\text{g}}$  = pallolämpötila (°C).

WBGT-indeksin käyttökelpoisuus perustuu myös indeksin mittaamisen helppouteen ja yksinkertaisuuteen.

Standardi ISO 7730

Lämpöviihtyisyysindekseillä (PMV ja PPD) arvioidaan optimaalinen operatiivinen lämpötila suhteessa aineenvaihdunnan tehoon ja vaatetuksen lämmöneristävyyteen. Operatiivinen lämpötila on likimain ilman lämpötila tai pallolämpötila toimisto-oloissa.

Seuraavassa on lueteltu muutamia lisäedellytyksiä lämpöoloille kevyessä istumatyössä sekä kesä- että talviaikana. Suosituksia määritettäessä vaatetuksen lämmöneristävyydeksi on oletettu 0,5 clo:ta kesällä ja talviaikana 1,0 clo:ta. Jos työympäristön lämpöolot täyttävät alla luetellut edellytykset, voidaan olettaa, että vain alle 5 % työntekijöistä kärsii paikallisista epämiellyttävistä lämpötuntemuksista.

Kevyt, pääasiassa istumatyö talviaikana (lämmityskausi):

- operatiivinen lämpötila 20–24 °C
- pään ja nilkan kohdalta mitattujen lämpötilojen ero korkeintaan 3 °C
- lattian lämpötila 19–26 °C, lattialämmitystiloiissa enintään 29 °C
- keskimääräinen ilman nopeus alle 0,15 m/s
- ikkunoiden ja muiden kylmien pintojen aiheuttama epäsymmetrinen lämpösäteily alle 10 °C
- lämpimän kattopinnan aiheuttama epäsymmetrinen lämpösäteily alle 5 °C.

Kevyt, pääasiassa istumatyö kesäkaudella (lämmittämätön kausi):

- operatiivinen lämpötila 23–26 °C
- nilkan ja pään korkeudelta mitattujen lämpötilojen ero korkeintaan 3 °C
- keskimääräinen ilman nopeus alle 0,25 m/s.

### 3.5.3 Lämpöongelmien esiintyminen

Säästä aiheutuvat lämpöongelmat

Säästä aiheutuvaa kylmyyttä ja kuumuutta esiintyy useilla toimialoilla. Toimialakohtaisia eroja on ilmeisen vaikea saada näkyviin. Ammattikohtainen tarkastelu sen sijaan tuo selviä eroja. Siksi työt on jaettu ryhmiin sen mukaan, mitkä ovat työntekijän käytännön mahdollisuudet suojautua sään vaihteluilta:

1) Ulkotyöt, kuten

- satama- ja telakkatyöt
- ulkosähkö- ja puhelinasennustyöt
- eräät kunnallistekniset rakennus- ja kunnossapitotyöt
- metsä- ja maataloustyöt
- kalastus
- eräät palvelualueiden ulkotyöt
- puunjalostusteollisuuden vesivarastotyöt ja puiden nosto vesivarastoista

## 2) Puutteellisesti suojatut työt, kuten

- satama-, asennus-, rakennus-, kunnossapito-, jne. työt, jotka voidaan enimmäkseen tehdä tilapäisissä suojissa
- useat metalli- ja rakennus-, sekä puunjalostusteollisuuden työt tyypillisesti prosessin alku- ja loppupäässä
- eräät palvelualojen "ovensuutyöt", esim. ovimiehen työ
- työt liikkuvissa työkoneissa ja ajoneuvoissa, joiden hytit on puutteellisesti lämpöeristetty ja tiivistetty

## 3) Työt, jotka tehdään tavanomaisesti eristetyissä sisätiloissa, mutta joissa puutteellisista ilmastointi- ym. ratkaisuista johtuen esiintyy veto- ja kylmyysongelmia talvella.

## 4) Työt, jotka yleensä tehdään tavanomaisesti eristetyissä sisätiloissa, ja joissa säästä aiheutuvia ongelmia esiintyy vain hellekausina.

## Työprosessista aiheutuvat lämpöongelmat

Työprosessista aiheutuvaa kuumuutta esiintyy lähes kaikessa teollisuustuotannossa, missä energiankulutus kesäaikaan ylittää selvästi toimisto- ja asuintilojen ominaiskulutuksen (n. 100 W/m<sup>3</sup>). Monissa töissä, joissa käytetään uuneja tms. tehokkaita lämmönmuodostajia, työprosessin aiheuttama kuumuus on (tai olisi) talviaikaankin merkittävä. Tällaisia töitä ovat mm.:

- sulatus- ja valutyöt, lämpökäsittely, takominen, valssaus, profiilien pursotus, langanveto ym. kuumamuokkaustyöt metalliteollisuudessa
- eräät lasi- ja keraamisen teollisuuden työt
- useat paperi- ja graafisen teollisuuden työt
- leipomo- ja eräät einestyöt elintarviketeollisuudessa
- mm. ruiskupuristustyöt muoviteollisuudessa
- mm. vulkanointityöt kumiteollisuudessa
- monet tekstiili-, nahka- ja kemian perusteollisuuden työt
- eräät keittiötyöt hotelli- ja ravintola-alalla
- pesula- ja saunotustyöt
- asfalttityöt ja eräät rakennusaineteollisuuden uunityöt
- lämmittäjien ja siivoojien työt useilla aloilla, jne.

Lisäksi voidaan edellisistä erottaa työt, joissa kuumarasitus lähinnä aiheutuu työn suuresta ruumiillisesta raskaudesta ja siihen soveltumattomasta muutoin normaalista lämpötilasta. Tällaisia töitä esiintyy lähes kaikilla aloilla. Tyypillisesti ne ovat raskaita lastaus- ja purkaustöitä.

Omana ryhmänään voidaan vielä erottaa suppea ryhmä töitä, joissa kylmyys aiheutuu työprosessista. Tällaisia töitä ovat jäähdyttämö- ja kylmävarastotyöt, lihankäsittelytyöt sekä muut lähinnä elintarvikealan työt, mutta myös monet hitsaus- ym. metalliteollisuuden työt, joissa jatkuvasti käsitellään ulkoa tuotuja kylmiä kappaleita, kylmiä nesteitä jne.

## Esimerkkejä kuumatyöstä

Kuumien työolosuhteiden merkittävin lämpökuormittuneisuuden aiheuttaja metalliensulatuksessa on yleensä voimakas lämpösäteily. Sitä mitataan tavallisimmin pallolämpömittaria käyttäen. Taulukossa 14 on esitetty eräitä mittaustuloksia valimoissa, teräs- ja rautatehtaissa.

Taulukko 14. Lämpöoloesimerkkejä eri työtehtävissä

työtehtävä	ilman lämpötila (°C)	pallo-lämpötila (°C)	ilman liike (m/s)	suhteellinen kosteus %	WBGT (°C)	WBGT ohje-arvo (°C)
valimo, valukoneen käyttäjä	26 – 29	35 – 54	0,3 – 1,3	55 – 60	25 – 31	30
valimo, kuonan poisto	35	60	1,0 – 1,2	50	35,5	26,5
masuunin lasku	25 – 30	66 – 143	1,0 – 3,0	20	38,5 – 66,5	25
terästehtaan valutason muuraus	-	58 – 68	0,3 – 1,5		34 – 35	26,5
valusenkan kunnostus	-	62 – 68	0,3 – 0,6	30	34 – 37	25
sulatusuunin kaato	27 – 30	35 – 65	0,7 – 5,0	40 – 60	24 – 33	26,5
saosraudan valmistus	30	44	0,3 – 1,0	55	29,5	26,5
valukanavien irrottaminen	25 – 32	67 – 77	0,2 – 1,2	60	40 – 42	25

Mittaustulosten mukaan on todettu korkeita lämpökuormituksia, mutta rajojen ylityksestä ja kestosta ei ole täyttä selvyyttä. Eräissä tutkimuksissa todettiin kuitenkin, että työskentely ohjearvojen ylittävissä olosuhteissa oli jaksottaista johtuen työtehtävän luonteesta. Erikoistilanteissa saatetaan joutua vielä rankempiin lämpökuormittumisoloihin.

### 3.5.4 Lämpöolosuhteista aiheutuvien haittojen torjuntamenetelmistä

Lämpöolosuhteista aiheutuvien haittojen torjumiseksi suoritettavat menetelmät ovat lämpölähteisiin, työpaikan ilmastoon ja työntekijään kohdistuvia. Kuumissa olosuhteissa voidaan ilmastoinnilla vaikuttaa lähinnä kuumaan ilmaan ja kosteuteen, mutta lämpösäteilyn säätelemiseksi täytyy käyttää muita menetelmiä. Vedon torjunnassa ilmastoinnin erikoispisteitä tarkastelemalla päädytään yleensä tyydyttävään ratkaisuun ja kylmien olosuhteiden tapauksessa vaatetus, ilmastoitu puku ja suojautumisen tuulelta ovat mahdollisia keinoja.

Ilmastoinnin mahdollisuudet lämpöolosuhteiden hallinnassa ovat moninaiset. Ilmastoinnin avulla voidaan käytännössä yleensä hoitaa tilojen lämmitys. Usein lämmitykseen käytetään myös patteriverkostoa. Ilmastointi ei sovellu erityisen hyvin hatarien lämpöeristämättömien tilojen lämmittämiseen. Lämmitystilanteessakin on kiinnitettävä huomiota siihen, että lämmitysilma tulee tasaisesti jaetuksi huonetilaan aiheuttamatta vetoa. Ilmastoinnin avulla voidaan jäähdyttää käyttäen joko ulkoilmaa tai koneellisia jäähdytyslaitteita. Kylmä ilma aiheuttaa kuitenkin helposti vetoa. Tämän vuoksi ilmastoinnin käyttö jäähdytykseen on rajoitettu. Jos lämpökuormat ylittävät 50 W lattianeliötä kohden on matalissa tiloissa lämpötilan hallinta pelkästään ilmastointia käyttäen jo vaikeata.

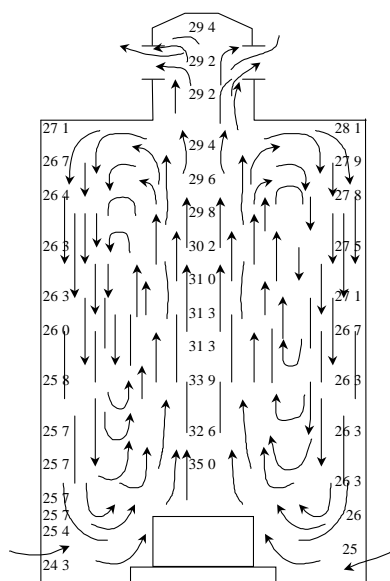
Koska Suomen ilmasto sallii ulkoilmalla tapahtuvan jäähdytyksen, tulisi sitä myös tehokkaasti käyttää hyväksi. Koneelliset jäähdytyslaitteet ovat vain harvoissa tapauksissa tarpeellisia työturvallisuuden tai terveellisuuden vuoksi. Ne saattavat olla kuitenkin taloudellisesti perusteltavissa, niillä aikaan saatavan paremman sisäilmaston mukanaan tuoman parantuneen työtehon muodossa. Ilman kosteus hallitaan teknisesti suhteellisen helposti ilmastoinnin avulla. Ilman kuivattaminen Suomen ilmastossa on tarpeen vain poikkeustapauksessa silloin, kun esim. työhuoneessa vapautuu runsaasti vesihöyryä. Ilman kosteuttaminen ei yleensä ole tarpeellista työturvallisuuden tai terveellisuuden vuoksi. Ilman kostuttaminen tulee suhteettoman kalliiksi pelkkää viihtyisyyden parantamista tavoiteltaessa. Yksittäisten ilman kuivuu-

desta kärsivien työntekijöiden ongelmia voidaan parantaa esimerkiksi huonekohtaisilla ilman kostuttimilla.

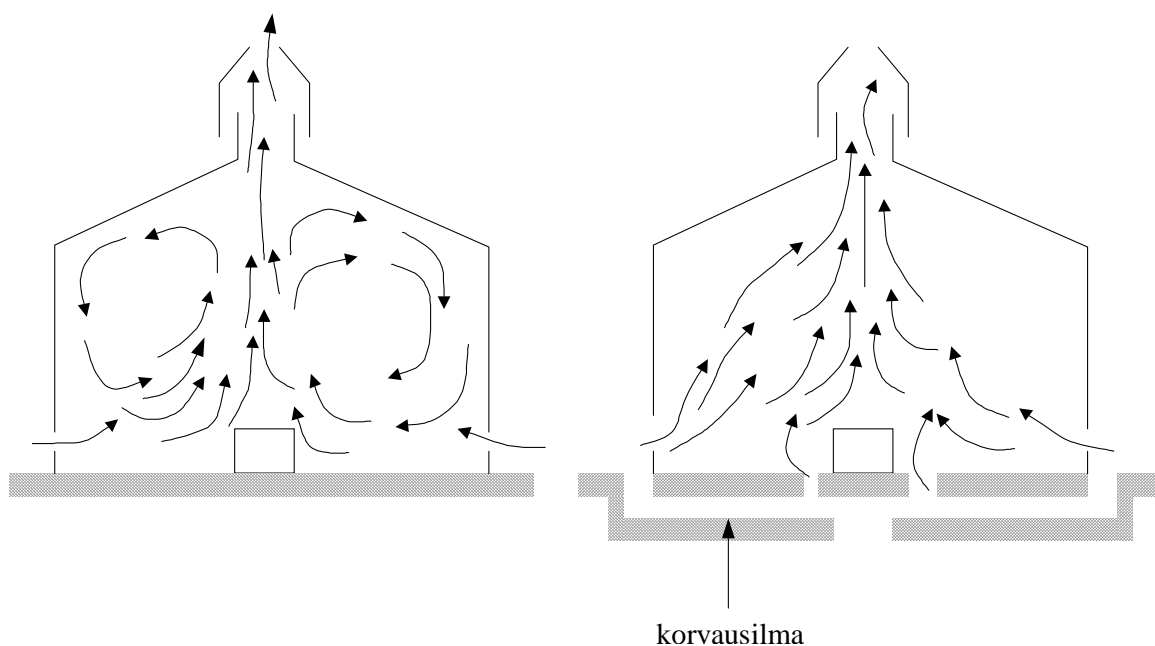
Jos poistettava ilmamäärä on liian pieni, kuuman ilman noustessa ylöspäin osa siitä poistuu ja osa tulee takaisin työskentelyvyöhykkeelle. Tilannetta saadaan parannetuksi suurentamalla poistollmämäärää ja tuomalla korvausilmaa kuuman kohteen ympäristöön. Tilannetta havainnollistavat kuvat 12 ja 13.

#### Tuloilmasuihkut lämpökuorman vähentämiseksi

On mahdollista vähentää työntekijän lämpökuormaa tuloilmasuihkuja käyttäen, mutta ongelmaksi yleensä muodostuu vedon tunne. Näin ollen sallitaan suositusarvoja korkeampia ilman virtausnopeuksien arvoja, mikäli työntekijälle on varattu mahdollisuus itse säätää ilmavirran suuntaa tai nopeutta.



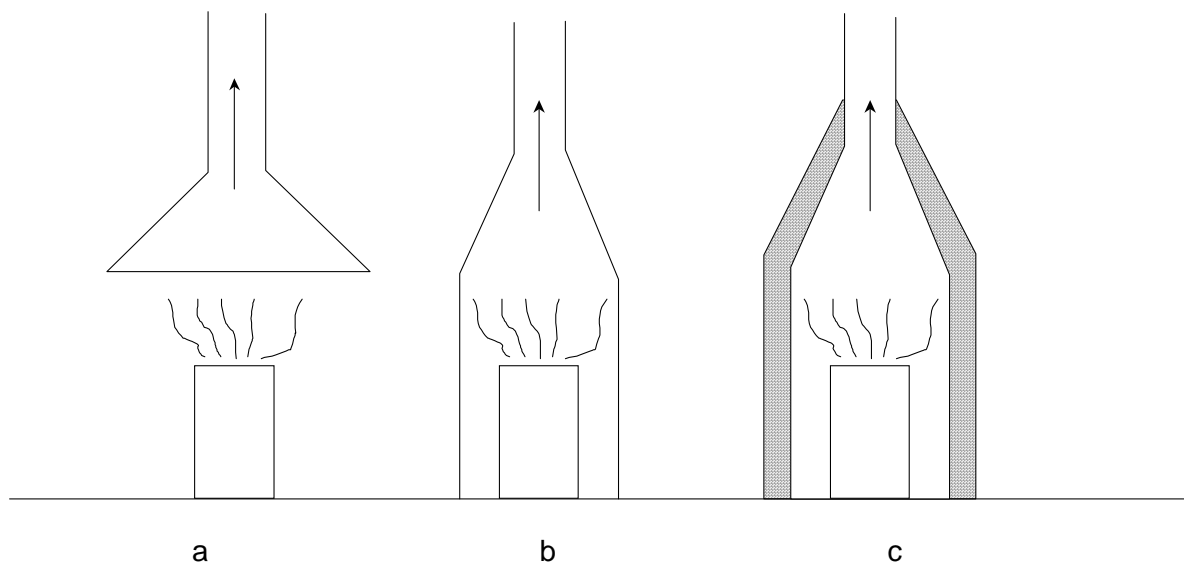
Kuva 12. Lämpimän ilman termiset virtaukset. Numerot kuvaavat lämpötiloja asteina



Kuva 13. Ilmanvaihdon tehostaminen termisten virtausten vaikuttaessa

### Paikallispoistolaitteet

Paikallispoistolaitteet eivät ole käyttökelpoisia, jos kyseessä on säteilylämmön vähentäminen. Sen sijaan esimerkiksi kuuman höyryn tai muun lämpimän ilman poistamisessa kohdepoistolaite on hyvä. Systeemi voi olla esimerkiksi kuvan 14a) mukainen. On aina parempi, jos kuuma kohde voidaan varustaa paikallispoistolla ja koteloida osittain tai kokonaan (kuva 14b). Paras tulos saavutetaan, jos kohdetta vielä lämpöeristetään (kuva 14c).



Kuva 14. Kuumien ilmavirtauksien kohdepoistolaitevertailua

Joillakin teollisuuden aloilla on mahdotonta yrittää hallita oloja koteloimalla esimerkiksi jokin prosessin osa. Jos tällaisen systeemin kauko-ohjaus on mahdollista, voidaan rakentaa ilmastoituu valvomo, johon voidaan luoda halutut ilmasto-olosuhteet.

### Säteilylämmön vähentäminen

Lämpösäteily on sähkömagneettista energiaa, jolla on suhteellisen pitkä aallonpituus, lähinnä infrapunasäteilyn aallonpituusalueella. Tästä johtuen lämpösäteilyä voidaan vähentää:

- alentamalla lämpösäteilijän pintalämpötilaa
- vähentämällä säteilylähteen *emissiviteettiä eli pinnan säteilyominaisuutta*
- asettamalla suoja työntekijän ja säteilylähteen väliin
- vaatettamalla työntekijä lämpösäteilyä heijastavalla vaatetuksella
- järjestämällä työntekijälle työskentelytila, jonka seinät päällystetään ulkopuolelta lämpösäteilyä heijastavalla materiaalilla.

### Pintalämpötilan alentaminen

Lähtevän infrapunasäteilyn määrään vaikuttaa pääasiallisesti pintalämpötila. Emittoitunut energia riippuu pintalämpötilan ja ympäröivän ilman lämpötilan erotuksesta. Pintalämpötilaa voidaan alentaa, jos se on prosessin kannalta mahdollista, vähentämällä lähteeseen vietävää lämmitystehoa tai lisäämällä pintaan lämpöeristettä.

### Säteilylähteen emissiviteetin vähentäminen

Erilaisilla aineilla ja pinnoilla on erilainen lämpösäteilyn emissiviteetti. Jos esimerkiksi kuuma-vesisäiliö maalataan alumiinivärillä, sen pinnan emissiviteetti vähenee ja toisaalta lämpö säilyy paremmin laitteen sisällä, jolloin laitteeseen tarvitaan pienempi lämmitysteho. On kuitenkin muistettava, että muutoksen jälkeen laitteen lämpötasapaino järkkyy, mistä voi olla seurauksena laitteen rikkoutuminen.

### Suojan asettaminen työntekijän ja säteilylähteen väliin

Lämpösäteilyn etenemisen estämiseksi työntekijään, voidaan käyttää seuraavia suojia:

- heijastavat: alumiini, ruostumaton teräs tai muut kiiltävät materiaalit
- absorboivat: (vesijähdytteinen): oksidoitunut rauta tai teräs; litteät, mustat tai vesijähdytteiset pinnat
- läpinäkyvät: erityinen heijastava tai absorboiva lasi, riippuvat ketjut, metalliverkko
- taipuisat: alumiinipintaiset tuotteet.

### Työntekijän vaatetus ja puvun ilmastointi

Nykyään on saatavissa materiaaleja, jotka heijastavat yli 90 % siihen osuvasta lämpösäteilystä. Kun tällaisia vaatteita pidetään, ne ovat yleensä melko tiiviitä ja voidaan harkita myös ilmastointia puvun sisäpuolelle. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi paineilmalla toimivaa ns. vortex-putkea. Sen toimintaperiaatteena on, että paineilmaa johdetaan putkeen, jossa se joutuu voimakkaasti pyörivään liikkeeseen. Tällöin reunalla pyörivä ilma lämpenee ja keskellä oleva jäähtyy. Kylmää ilmaa voidaan sitten johtaa eri kehon osiin.

### Etäisyys lämpösäteilyn lähteestä

Etäisyyden kasvattaminen kuumista pinnoista vähentää ratkaisevasti säteilemällä tapahtuvaa lämmönsiirtoa työntekijään.

### Kylmästä aiheutuvien haittojen torjunnasta

Kylmä määritellään usein tunteeksi lämmönhukasta. Lämpö on energian muoto ja lämpö virtaa aina korkeammassa lämpötilassa olevalta alueelta alemman lämpötilan alueelle. Kylmältä eristettäessä pyritään säätelämään tilasta, kappaleesta tai keholta siirtyvää lämpövirtaa pienimpään mahdolliseen tai halutuksi.

Kylmän aistimiseen nähden työt voidaan jakaa kolmeen osaan seuraavasti:

- ulkotyö
- sisällä suoritettava kylmätyö
- lämpöviihtyvyyalueella suoritettava työ

Ongelmat kullakin osa-alueella ovat osittain toisistaan poikkeavia, mistä johtuen haittatekijöiden torjuntaa käsitellään kullakin osa-alueella erikseen. Kylmän aiheuttamat haitat voidaan jakaa koko kehoon kohdistuviin ja paikallisiin, esim. jalkoihin kohdistuviin, haittatekijöihin.

Kylmän torjumiseksi merkittävin keino on vaatetus. Vaatetuksen lisäksi käytetään monia muita keinoja, joilla lämpövirtoja säädetään. Teoreettisesti torjuntaa tarkasteltaessa voidaan ajatella työntekijä suljetuksi suurempiin ja suurempiin laatikoihin riippuen siitä miten alaston työntekijä eristetään kylmästä ilmasta esimerkiksi vaatteilla, valvomoilla ja rakennuksilla.

### Ulkona suoritettava työ

Ulkotyön osalta ei kyetä vaikuttamaan ympäristöolosuhteisiin. Kun tarkastellaan työn suorittamista ulkona, on lämpötilan lisäksi tarkasteltava tuulen nopeutta, ilman suhteellista kosteutta ja auringon lämpösäteilyn osuutta. Arvioitaessa tuulen ja lämpötilan yhteisvaikutusta ihmiseen voidaan käyttää apuna Siplen ja Passelin kehittämää ns. Windchill-indeksiä. Mahdolliset keinot kylmäaltistuksen vähentämiseksi ulkona rajoittuvat vaatetukseen, tuulensuojiiin, taukotupien ja työmaakoppien käyttöön sekä altistusajan lyhentämiseen työtä tauottamalla tai rajoittamalla. Tuulensuojan merkitystä voidaan myös arvioida Windchill-indeksin avulla. Esimerkiksi lämpötilaa +30 °C ja tuulen nopeutta 10 m/s vastaavat sääolosuhteet, jolloin lämpötila on -12 °C ja tuulen nopeus 2 m/s.

Taukotupien ja työmaakoppien sisällä työntekijät voivat viettää taukoajat lämpimässä. Tällöin myös ruoka ja juoma pysyvät paremmin lämpimänä. Jos olosuhteet muuttuvat ankarammiksi voidaan työ/tauko ajankäyttöä muuttaa. On pyrittävä välttämään olemista kylmässä paikallaan toimettona, koska liikkuminen lisää ihmisen itsensä tuottamaa lämpöenergiaa merkittävästi. Ulkona, jos sähköä on saatavana, voidaan käyttää infrapunalämmittimiä esimerkiksi silloin, kun ei voida käyttää käsineitä kädessä ja tehdään sorminäppäryyttä vaativaa työtä.

#### Sisällä suoritettava kylmätyö

On olemassa kylmähuoneita, pakastamotiloja, koestushuoneita ja kylmäkammioita, joiden lämpötilaan ei yleensä kyetä vaikuttamaan tilan käyttötarkoituksen takia. Tällaisissa tiloissa voidaan kuitenkin eräin teknisin toimenpitein saada olosuhteita ihmisen kannalta miellyttävimmiksi. Ilmanvaihdon tulee olla järjestetty siten, ettei työntekijä joudu alttiiksi haittaaville ilmajirroille. Ruotsalaisen ohjeen mukaan ylärajana olisi pidettävä 0,15 m/s. Työpisteet tulisi sijoittaa kauas kylmää ilmaa puhaltavista tuloilmasuuttimista. Kylmätilaan johtavia ovia ei saisi pitää tarpeettomasti auki. Ilman suhteellinen kosteus tulee säätää niin alhaiseksi kuin mahdollista (alle 60 %), etteivät työntekijöiden vaatteet tai käsineet kostu kovin nopeasti.

Ns. säteilyvedon torjunta on myös merkittävä tekijä. Kylmät pinnat tulisi sijoittaa mahdollisimman etäälle työntekijästä. Jos tätä ei kyetä toteuttamaan, voidaan kylmän pinnan ja työntekijän väliin sijoittaa varjostin, jolla vähennetään työntekijän vaatteista lähtevää lämpösäteilyä. Kylmätilassa niin sisällä kuin ulkonakin tulisivat käsiteltävät esineet ja tartuntakahvat olla tehdyt esimerkiksi puusta tai muovista, jotta välttyttäisiin lämmön virtaamiselta kylmään metallipintaan. Jos näin ei voida menetellä, on käytettävä riittävästi lämpöjä eristäviä käsineitä. On myös olemassa ratkaisuja, joilla käsineisiin ja vaatteisiin tuodaan lämpöenergiaa esimerkiksi sähkön avulla. Tällaisia käsineitä ovat käyttäneet esimerkiksi lentokonemekaanikot huoltaessaan koneita ulkona talviaikana.

Työn automatisointi on eräs keino vähentää työntekijäkohtaista kylmäaltistusta. Jo nykyisellään on olemassa esimerkiksi erilaisia automaattisia varastotiloja, joissa ei ole lainkaan työntekijöitä.

#### Lämpöviihtyvyyalueella suoritettavat työt

Tämän lämpöolosuhtealueen ongelmana yleisimmin on vetoisuus. Vetohaittojen torjunnassa on ilmastonin säätämällä saavutettavissa merkittäviä parannuksia. Vetohaittoja voidaan torjua tasapainottamalla tulo- ja poistoilmavirtoja, jolloin ns. vuotoilmana tilaan tulevan ilmajirroituksen osuus vähenee. Myös vuotokohtia tukkimalla päästään vedottomampiin oloihin. Puhallussuihkujen riittävä hajottaminen ja suuntaaminen siten, ettei ilmavirtaus osu työntekijään on tärkeää. Kylmän ulkoilman virtaamista sisätiloihin voidaan vähentää varustamalla oviaukot tuulikaapeilla. Tuulikaapeissa voi lisäksi olla lämminilmapuhaltimia. Jos ovia joudutaan pitämään auki eikä tuulikaappeja voida käyttää, on oviverhokojen käyttö monesti mahdollista.

Kylmää pintaa valuva ilmavirtaus saavuttaa helposti pinnan alareunan kohdalla nopeuksia, jotka koetaan vetona, jos työpiste on esim. ikkunan lähellä. Ikkunavedon torjumiseksi voidaan käyttää seuraavia menetelmiä:

- ikkunan alapuolelle järjestetään lämmönlähde, jonka konvektiovirtaus kompensoi kylmän virtauksia (esim. patterilämmitys)
- ikkunan alapuolelta puhalletaan ilmaa ylöspäin (esim. suutin- ja puhallinkonvektorit)
- ikkunan pintalämpötilaa nostetaan (esim. poistoilmaikkuna)
- ikkunan alareunasta järjestetään poistoilman imu.

Jos tila on kylmä, saavutetaan paremmat olosuhteet tuomalla tilaan lisälämmittämiä esim. sähköllä toimivia radiaattoreita.

#### Altistusajan lyhentäminen

Esimerkiksi kylmissä olosuhteissa työskenteleville voidaan altistusaikaa lyhentää taukotupia käyttämällä. Samoin kuumissa olosuhteissa voidaan tehdä töitä esim. 50 minuuttia ja pitää taukoa 10 minuuttia tunnissa. Tällaiseen tauotukseen johdattaa myös WBGT-indeksi ohje-arvoineen.

#### Yhteenveto

Mikäli työpaikan lämpöolosuhteiden on todettu kuormittavan työntekijää, on ryhdyttävä torjuntatoimenpiteisiin seuraavassa järjestyksessä:

- lämpölähteisiin kohdistuvat toimenpiteet
- ilmastoon kohdistuvat toimenpiteet (työpaikan)
- työntekijään kohdistuvat toimenpiteet.

#### Lämpölähteet:

- alennetaan (nostetaan) lämpöä säteilevien pintojen lämpötilaa ja emissiviteettiä (IR-säteilijät kylmässä)
- vähennetään (lisätään) lähteiden määrää tai pienennetään niiden pinta-alaa
- koteloidaan lämmönlähteitä ja otetaan hukkalämpö talteen
- käytetään lämpösäteilyä heijastavia kaihtimia työntekijän ja lämpölähteen välillä
- käytetään lämpösäteilyä absorboivaa kaihdinta.

#### Ilmasto:

- ilmastoinnilla alennetaan (nostetaan) ilman lämpötilaa
- liian suuren kosteuden eliminoiminen korkeissa lämpötiloissa
- ilman puhtausasteen parantaminen.

#### Työntekijä:

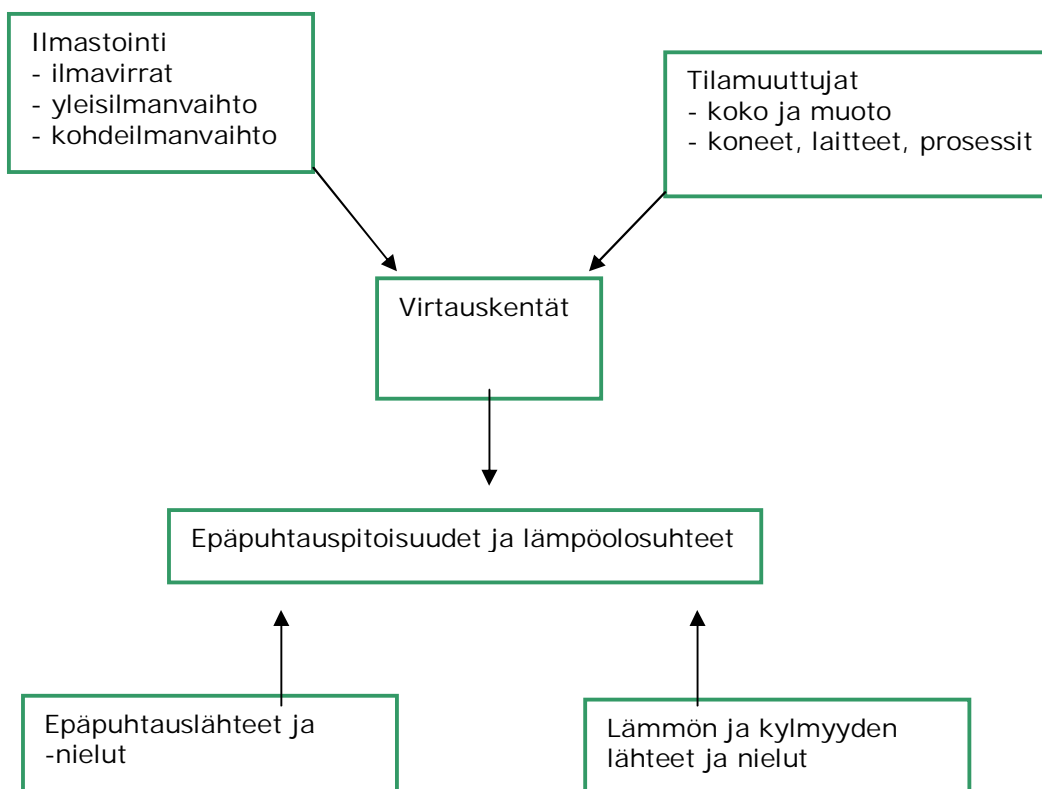
- vaatetuksen lämmöneristävyyttä muuttamalla
- lämpösäteilyä heijastavan puvun käyttö

## 3.6 Ilmastointi

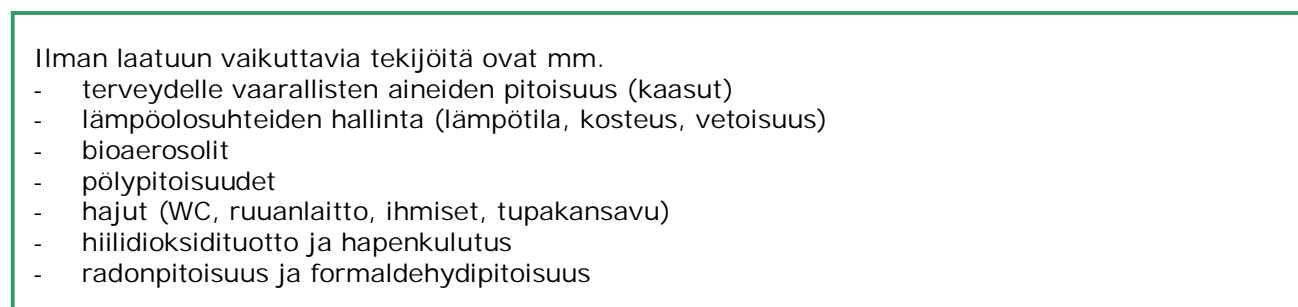
### 3.6.1 Merkitys työympäristöön

#### Ilman laatu ja ilmanvaihto

Työympäristössä ilmanvaihdon tehtävänä on saada aikaan hyvät sisäilman laatutekijät mm. pienet epäpuhtauspitoisuudet ja hyvät lämpöolosuhteet, jotka muodostuvat kuvan 15 mukaisesti. Ilman laatutekijöiden vaikutus kohdistuu ensisijaisesti työntekijöihin, mutta myös hyödykkeisiin, koneisiin, laitteisiin, rakennuksiin ja ympäristöön.



Kuva 15. Ilman laadun muodostuminen



Ilmastoinnista seuraavaan huonoon tai huonontuneeseen sisäilmastoon vaikuttavat:

- a) korkeat epäpuhtauspitoisuudet
  - kohdepoiston toiminnan huononeminen
  - liian vähäinen tuloilma
  - huoneilman kierto
  - epätiivit kotelot
  - tulo- ja poistoilman oikosulku

## b) vetoisuus

- epätiivit rakenteet, alipaineesta seuraavat vuotoilmavirrat, tuulen vaikutus
- ulko-ovet
- kylmän ilmvirran valuminen pitkin kylmiä pintoja
- liian suuret sisäänpuhallus ilmamäärät liian pienistä aukoista
- tuloilman suunta virheellinen tai lämpötila liian matala
- tuloilman törmäys esteeseen ja kulkeutuminen työskentelyalueelle

## c) kuumuus tai kylmyys

- pienentynyt lämmitys tai jäähdytysteho
- korkea ulkolämpötila
- auringonsäteily katolle tai ikkunoihin
- lämmön tai kylmän kulkeutuminen tilasta toiseen
- lämpöä koneista ja prosesseista
- kylmää ilmaa oviaukoista, epätiivistä rakenteista tai alipaineen seurauksena

## d) alentunut jäähdytys- tai lämmitysteho

- jäähdytys- tai lämmitysveden väärä lämpötila
- säätöventtiilit tai -järjestelmät väärin säädetty
- virheellinen ilmamäärä
- puhaltimien toiminnassa vikaa
- ilmanottoaukko liian lämpimässä paikassa
- kanavistossa vuotoja tai -tukoksia, peltejä kiinni

## e) virheellinen ilmamäärä

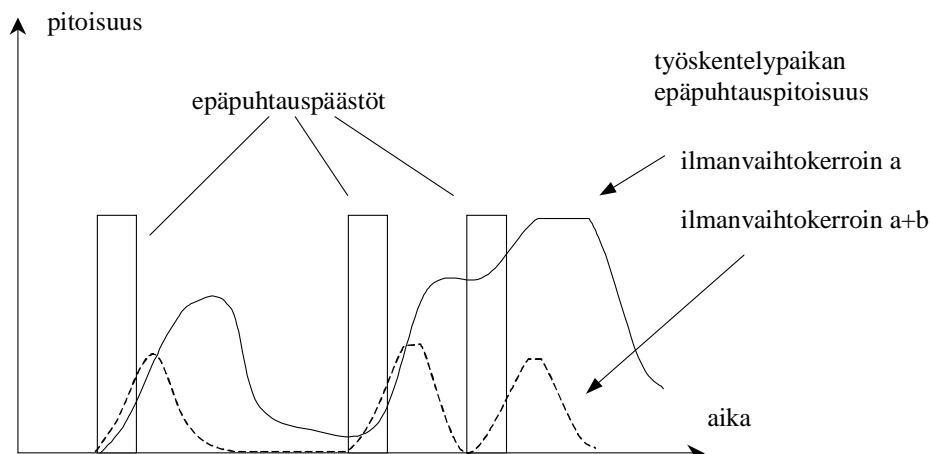
- ilmanottoaukko tukkeutunut
- sekoituskammion tai tuloilmakanavan pelti väärin säädetty
- puhaltimen siivet likaiset tai vialliset
- suodatin ja pölynerotin tukossa
- lämmityspinnat likaiset
- ilmapuhaltimen suodatin kalkkeutunut
- kanavassa tukos
- tuloilmasäleiköt likaiset
- peltejä lukkiutunut
- vuotoja kanavistossa
- kiilahihna luistaa tai on poikki

Huonon ilmanlaadun seuraukset näkyvät työntekijöissä poissaoloina, sairauksina ja epäviihtyvyytenä. Prosesseihin seurannaisvaikutukset ovat tuotannollisia häiriöitä. On esitetty, että esimerkiksi kemiallisten haittatekijöiden aiheuttamia ammattitautteja voitaisiin torjua ilmastointitekniikkaa parantamalla 50–75 %. Työntekijöiden arvion mukaan puutteellisten ilmastointiolosuhteiden aiheuttama subjektiivinen haitta on suuri. Sisäilmaston valituksista varsin suuri osa kohdistuu ilmanvaihdon huonoon toimintaan. Myös vetoisuus, lämpötila, kosteus, pölyt, kemialliset aineet ja liuottimet haittaavat jossain määrin kyselytutkimuksissa yli 10 % vastanneista.

Kiireellisimpinä ilmastoinnin parantamiskohteina pidettiin maalaamoita, hitsaushalleja, lujitemuovin valmistusta, autokorjaamoja, valimoja ja pintakäsittelylaitoksia. Ilmanvaihdon järjestäminen työskentelypaikoille aiheuttaa kustannuksia ensin: ilmastointilaitteiden hankinta ja asentaminen sekä myöhemmin käyttö- ja huoltokustannukset. Energian hinnan noustessa ovat käyttökustannukset kasvaneet. Käyttökustannuksista suurimpia ovat lämmitysenergia, sähkönkulutus- ja huoltokustannukset.

### Yleisilmanvaihto

Ilmanvaihdolla pyritään poistamaan huonetilassa vapautuvat epäpuhtaudet ja tuomaan riittävä määrä raitista ilmaa tilalle. Kun tilaan lisätään kohdepoistoja, tulisi tuloilmaa lisätä kohdepoistojen poistaman ilmamäärän verran. Tämä usein muutosten aikana unohdetaan. Jos tilaan pääsee epäpuhtauksia, yleisilmanvaihdolla laimennetaan ne koko tilaan ja ne poistuvat vähitellen (kuva 16).



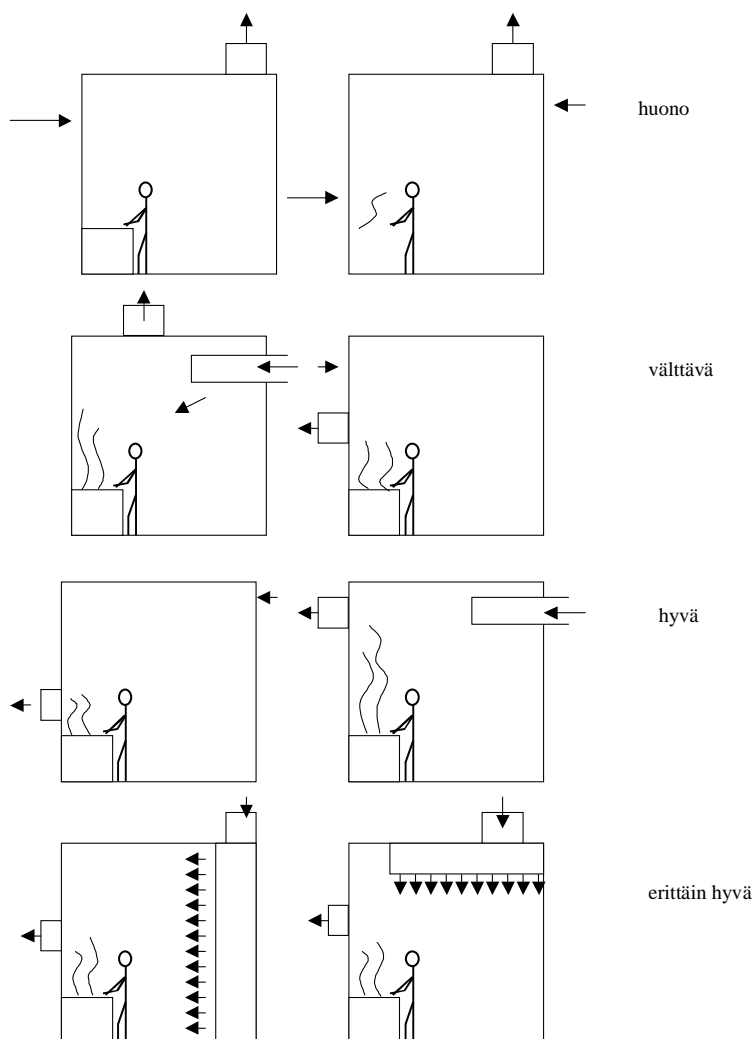
Kuva 16. Ilmanvaihdon vaikutus epäpuhtauspitoisuuksiin

Säätämällä vierekkäisiin työtiloihin erilaisia tulo- ja poistoilmamääriä saadaan tilojen välille paine-eroja, jolloin kyetään vaikuttamaan epäpuhtauksien leviämiseen. Laimennusilmanvaihdon tehokkuuteen vaikuttavat myös ne periaatteelliset keinot kuinka ilmanvaihto on järjestetty (kuva 17).

Yleisilmanvaihdon avulla voidaan työskentelytila lämmittää, jäähdyttää ja kosteuttaa. Ilmastointikojeesiin on saatavissa tätä varten omia yksiköitään. Puhallettaessa työskentelytilaan lämmintä tai viileätä ilmaa on huomattava heittokuvion muuttuminen tasalämpöiseen puhallukseen nähden, koska esimerkiksi viileä puhallus laskeutuu nopeasti työskentelyalueelle ja se myös koetaan helpommin vetona.

Pelkkää laimennusilmanvaihtoa voidaan käyttää vain kun

- kohdepoistoja ei voida käyttää
- epäpuhtaudet eivät ole kovin haitallisia tai niiden määrä ei ole kovin suuri
- työntekijät eivät altistu välittömästi ilmaan kehittyville epäpuhtauksille.



Kuva 17. Ilmanvaihdon tehokkuuteen vaikuttavat ilman tuonti ja poisto

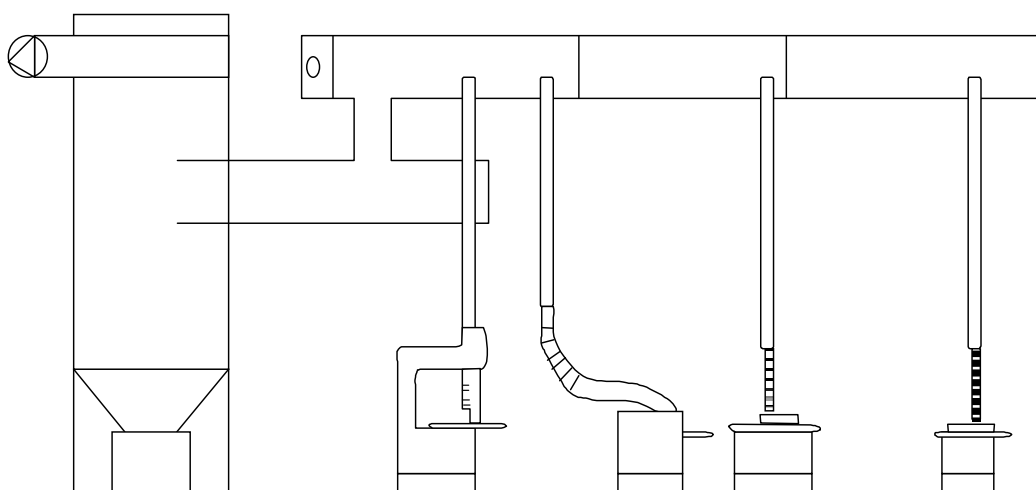
#### Paikallisilmastointi

Paikallisilmastointi toimii erityisesti silloin, kun epäpuhtauslähteet ovat pieniä, kiinteitä tai muuten selvästi rajattuja. Kohdepoistojen tavoitteena on eri tuotantovaiheissa syntyvien epäpuhtauksien poistaminen ilmanvaihtoteknisin keinoin ennen niiden leviämistä työilmaan. Hyvin harvoin kohdeilmastoinnilla hallitaan kaikki syntyvät epäpuhtauspäästöt. Kohdepoiston sieppausaste ilmoittaa kuinka paljon syntyvistä epäpuhtauksista kohdepoistojärjestelmä sieppaa. Loppuosa jää sisäilmaan ja se on laskettava yleisilmanvaihdon kuormitustekijäksi.

Tyypillisiä kohdeilmavaihdon käyttökohteita ovat:

- kotelointien pitäminen alipaineisina
- lämpimien lähteiden kaavut
- epäpuhtauksia haihduttavat altaat
- pölyävä puhdistustyö, käsityöstökoneet
- liimaus, maalaus ja muiden liuotinaineiden käyttö
- hitsaustyö
- työstökoneet (puu, metalli, muovi yms.)
- pölyävän aineen kuljetus ja käsittely.

Kohdeilmavaihdon energiansäästövaikutukset ovat kiistattomat eikä toisaalta aina edes ole mahdollista yleisilmavaihdolla laimentaa epäpuhtauksia riittävästi työntekijän altistumisen kannalta. Kohdeilmavaihto asettaa vaatimuksia tuloilman jakotavalle, koska imukenttä häiriytyy helposti häiriövirtauksista ja runsas alipaine pienentää kohdepoistojen ilmamääriä. Kohdepoiston toimintaa voidaan joskus parantaa puhallussuihkun avulla. On kuitenkin oltava varovainen puhalluksen käytössä kun epäpuhtaus on pölyä. Esimerkki kohdepoistojärjestelmästä on kuvassa 18.



*Kuva 18. Kohdepoistojärjestelmä puusepänteollisuudesta*

Kohdepoistojen käyttö ei ole aina helppoa. Työtila, työkappaleet, työn liikkuvuus yms. seikat saattavat tehdä kohdepoistojen käytön hyvin vaikeaksi ja varsinkin urakkatyössä niitä ei useinkaan käytetä. Kohdepoistoa käytettäessä ei useinkaan ymmärretä, että suulakkeen tai huuvan täytyy olla hyvin lähellä epäpuhtauden syntykohtia, jotta epäpuhtaudet kyettäisiin imemään pois. Sähköstaattisia suodattimia käytettäessä suodatustulos ei ole aina ollut hyvä puutteellisen huollon takia.

Kohdepoiston toimintaa arvioitaessa kannattaa kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

1. mahdollisimman pieni sieppausetaisyys
2. riittävä sieppausnopeus
3. käytä painovoimaa pölyhiukkasten sieppaamiseksi
4. riittävä hiukkasten kuljetusnopeus kanavissa
5. mahdollisimman vähän painehäviöitä
6. koteloi epäpuhtauslähteet jos mahdollista
7. luo tasainen ilmavirta huuuvan suuntaan
8. sijoita puhallin järjestelmään viimeiseksi.

Ilmanvaihdon osuus työympäristön parantamiseksi

Kun työympäristöön pyritään työsuojelumielessä vaikuttamaan, kootaan suositeltavat toimenpiteet yleensä seuraavasti:

- prosessien muuttaminen
- aineen, koneen tms. vaihto vähemmän haitalliseen
- kotelointi tai eristäminen prosessille tai sen osalle ilmanvaihtotekniset keinot
- valvomot, kauko-ohjaus, robottien käyttö
- suojaimet.

Ilmanvaihdolla toteutettavat ratkaisut ovat varsin tavallinen keino olosuhteiden parantamiseksi. Kuitenkin esimerkiksi ruotsalaisten selvitysten mukaan toimivien ilmanvaihtoratkaisujen osuuden on todettu olevan 30–50 %. Kuvitelma siitä, että ilmanvaihto aina toimii hyvin luo väärää turvallisuuden tunnetta.

Miksei ilmanvaihto sitten toimi? Syitä on useita:

- iv-laitoksen laadusta tingitty hinnan alentamiseksi
- ilmanvaihtolaitteiston huolto riittämätöntä
- ilmanvaihtolaitteiston käyttökoulutus riittämätön
- kokeellisen tiedon ja mittaustulosten puute
- normiston ja vaatimusten puute
- ilmanvaihdon muutostöiden jälkeen ei ole tutkittu kokonaisvaikutuksia
- ilmastointilaitosten vastaanottotarkastukset ovat olleet puutteellisia
- ilmanvaihtosuunnittelijoiden ja rakentajien puutteellinen tieto ja palaute töistään.

Yleisilmastoinnin puutteita ovat olleet:

- vetoisuus
- virheelliset painesuhteet
- tuloilmaa ei puhalleta työskentelyalueelle
- tuloilmaa ei ole tai se otetaan lämmittämättömänä.

### 3.6.2 Mitoitusperiaatteista

Yleisilmanvaihto

Ilmanvaihtolaitos mitoitetaan nykyään yleisimmin kokemusperäisesti vanhaan kokemukseen perustuen. Laskennallisen mitoituksen vaikeutena ovat riittämättömät lähtötiedot, riittämätön tieto rakennukseen tuotavista prosesseista, päästöjen voimakas ajallinen vaihtelu, päästöjen määrällinen tuntemattomuus yms. Stationäärisessä tilanteessa (päästö ja ilmanvaihtuvuus vakio) työtilan ilman epäpuhtauspitoisuus riippuu merkittävimmin päästövirroista ja -tavoista, ilmavirrasta, tilan virtauskentästä, tuloilman epäpuhtauspitoisuudesta ja mahdollisten suodat-

timien suodatusasteesta. Jos oletetaan, että tuloilman epäpuhtauspitoisuus = 0 eikä kiertoilmaa käytetä, vallitsee tasapainotilassa ja ilman täydellisesti sekoittuessa

$$(10) \quad C = \frac{G}{Q}$$

missä: C = epäpuhtauspitoisuus,  
G = päästö aikayksikössä ja  
Q = ilmavirta.

Poistettavien ilmamäärien tilalle on työtiloihin tuotava korvausilmaa, joka useimmiten puhalletaan koneellisesti sisään huonetiloihin. Tavallisimmin käytetään sisäänpuhallusta seiniltä, katon rajasta suorakulmaisista säädettävistä sisäänpuhallusventtiileistä tai isoissa halleissa katosta alaspuhallusta. Jos vaatimukset sisäilman suhteen ovat korkeat ja jäähdytystarve suuri, voidaan käyttää sisäänpuhallusta rei'itetystä katosta tai piennopeustuloilmalaitteista.

Ilmanvaihdon tehokkuutta voidaan mitata mm. tehokkuuskertoimella

$$(11) \quad E = \frac{C_p}{C_h}$$

E = tehokkuuskerroin

$C_p$  = poistoilman epäpuhtauspitoisuus

$C_h$  = työtilan keskimääräinen epäpuhtauspitoisuus tai paikallisesti työskentelyvyöhykkeen pisteestä h mitattu epäpuhtauspitoisuus

Tehokkuuskerroin E voi olla lukua 1 pienempi tai suurempi riippuen tuloilman sekoittumisen tehokkuudesta.

Rakennuksen tasaisen lämpötilan säilyttämiseksi täytyy lämpölähteiden ja lämpöhäviöiden olla joka hetki tasapainossa. Muussa tapauksessa lämpötila joko nousee tai laskee. Lämpötaseeseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakennuksen lämmöneristävyys, ikkunapinta-alat, auringonsuojat, koneiden synnyttämät lämmöt, valaistus, työntekijöiden määrä sekä ilmanvaihtolaitoksen kapasiteetti ja rakenne. Monissa rakennuksissa lämpöä syntyy liikaa. Tällöin olosuhteita voidaan yrittää parantaa tarkastelemalla:

- lämmityslaitoksen toimintaa
- valaistuskuormaa
- konelämmön kotelointia ja kohdepoistoja
- aurinkolämmön varjostamista ikkunoista tai kattopintoja eristämällä. Myös seinien heijastavuuden parantaminen voi auttaa.

Lämpöylimäärä tai lämmönhukka ei yleensä säily tasaisena vuorokauden tai vuoden aikana. Auringon aiheuttamaa lämpösäteilyä ikkunoiden kautta voidaan vähentää asentamalla markiiseja, auringonsuojakalvoja, auringonsuojaverkkoja jne. On kuitenkin etukäteen selvitettävä kuinka paljon toimenpide vähentää päivänvaloa sisätiloissa ja aiheuttaa keinovalaistuksen tarvetta. Auringonsuojat voivat myös vähentää päivänvalosta johtuvaa häikäisyä työskentelypaikoilla. Rakennusten lämmöneristyksessä otetaan huomioon mm. lämmitysenergia, sisäilmasto ja rakennusjärjestelmän kestävyys. Kun rakennusten lämmöneristävyyttä parannetaan, voidaan joutua siirtämään enemmän hukkalämpöä työtilasta pois esimerkiksi käyttöveteen tai rakennuksen kylmempiin osiin.

Huoneen kaikilla pystysuorilla pinnoilla tapahtuu termisiä ilmavirtauksia, jos pinnan lämpötila poikkeaa huoneen lämpötilasta. Rakennuksissa, joissa on korkeita ja kylmiä pintoja, tapahtuu kylmän ilman virtaamista alaspäin, joka vuorostaan voi aiheuttaa vedon tunnetta osuessaan työskentelyalueelle. Kylmä ilmavirtaus voi myös muuttaa suuntaa osuessaan esteeseen. Ns. ikkunaveto koostuu tavallisesti epätiiviiden ikkunoiden, kylmän ilman alasvalumisen ja epäsymmetrisen lämpösäteilyn yhteisvaikutuksesta. Kylmän ilman alasvaluminen voi myös häiritä työtilan virtauskenttiä ja aiheuttaa epäpuhtauksien leviämistä.

Työtilaan vapautuvia liuotinmääriä voidaan arvioida kulutustietojen ja haihtumisnopeuksien avulla. Haihtumisnopeuksia on löydettävissä eri lähteistä, esimerkiksi kemian käsikirjoista. Haihtumisnopeus riippuu mm. astian koosta, muodosta ja kansien käytöstä, liuoksen höyrynpaineesta, lämpötilasta ja muista ominaisuuksista. Työhygieenisillä pitoisuuksilla seoksen tiheys ei merkittävästi poikkea ilman tiheydestä eikä näin ollen aiheuta voimakasta liikekomponenttia seoksen käyttäytymisessä.

Kiinteiden hiukkasten käyttäytymiseen ilmassa vaikuttavat niiden koko, muoto, ominaispaino, sähköisyys sekä pinnan ominaisuudet. Käytännössä joudutaan usein tarkastelemaan tilanteita, jossa hiukkasten laskeutumisnopeus ja kulkeutuminen ilmavirtojen mukana joudutaan ottamaan huomioon. Edelleen on otettava huomioon kohdepoistojen toiminta silloin kun hiukkaset sinkoutuvat tietyllä lähtönopeudella johonkin suuntaan. Kun hiukkanen irtoaa prosessista alkunopeudella  $v_0$  liikkumattomaan ilmaan, vähenee hiukkasen kineettinen energia ( $0,5 mv^2$ ) ilman vastuksen ansiosta.

Pölyn leviäminen työtilaan tapahtuu pääasiassa primäärisen pulvaation (pölyn äkillinen leviäminen) ja sitä seuraavien virtausten avulla. Teollisilla työpaikoilla esiintyy aina joukko häiriövirtauksia, joiden syynä ovat esimerkiksi

- ilmanvaihtojärjestelmän tuloelimet
- henkilöliikenne ja ajoneuvoliikenne
- avoimet ovet ja ikkunat
- liikkuvat koneenosat ja paineilmavuodot
- termiset virtaukset.

Karkeita partikkeleita voidaan hallita järjestämällä imukaavun sijainti partikkelien liikeakselille, koska kohdepoisto ei kykene sieppaamaan liikkuvia hiukkasia tai poikkeuttamaan niitä radaltaan.

### Ilman puhdistaminen

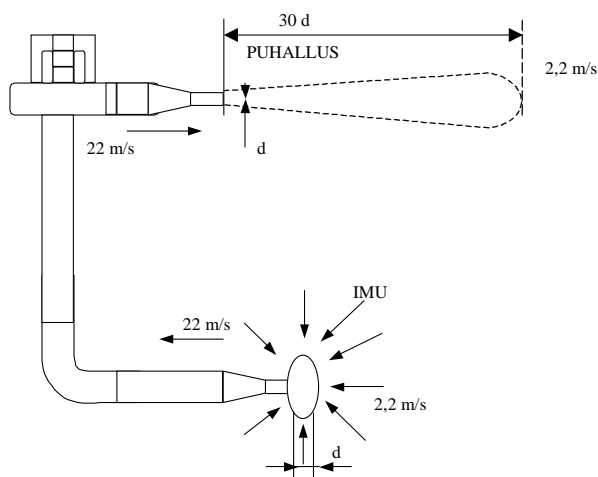
Hiukkasmaisia epäpuhtauksia voidaan suodattaa työtilan tulo- tai poistoilmasta. Tuloilman suodattamisella estetään ulkoilman epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Suodatettua poistoilmaa voidaan käyttää uudelleen ilmastointitarkoitukseen. Edelleen suodattamisella vähennetään ilmanvaihtokojeen laitteiden kulumista ja pyritään estämään ympäristön likaantumista. Myös kaasumaisille epäpuhtauksille on kehitelty suodattimia esimerkiksi aktiivihiihen adsorptiokykyyn perustuen. Suodatinlaitteiden tehoa ja erotuskykyä ei ole Suomessa vielä virallisesti normitettu. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien suodattimet ovat tavallisesti kuitusuodattimia. Hienopölyn suodattamiseen on kehitetty sähkösuodattimia. Sähkösuodattimen edessä on tavallisesti kuitusuodatin. Kuitusuodattimet luokitellaan kolmeen pääryhmään perussuodattimiin (G), hienosuodattimiin (F) ja mikrosuodattimiin (M). Taulukossa 15 on esitelty suodatinluokkia ja niiden käyttöalueita.

Taulukko 15. Suodatinluokkia ja niiden käyttöalueita

suodatinryhmä	luokka	Eurovent-luokka	erotusaste %	testimenetelmä
perussuodattimet	G80	EU1–EU2	75–85	punnitus
	G90	EU3–EU4	85–95	ASHRAE 52–76
Hienosuodattimet	F50	EU5–EU6	45–65	pölytäplä
	F85	EU7	65–90	ASHRAE 52–76
	F95	EU9	90–98	ASHRAE 52–76
mikrosuodattimet	M95		>95	DOP-testi
		M99,97	>99,97	Na-liekki
		M99,99	>99,99	Na-liekki

### Kohdepoistojen tehokkuus

Epäpuhtauden leviäminen estyy, jos kohdepoistolaitteella saadaan aikaan sen syntypaikalle riittävä ilman virtaus kohti imuaukkoa. Vaadittavan virtausnopeuden on oltava suurempi kuin epäpuhtauden leviämisenopeus. Imun suuntausvaikutus on huomattavasti heikompi kuin sisään puhallusvaikutus. Tilannetta havainnollistaa kuva 19.



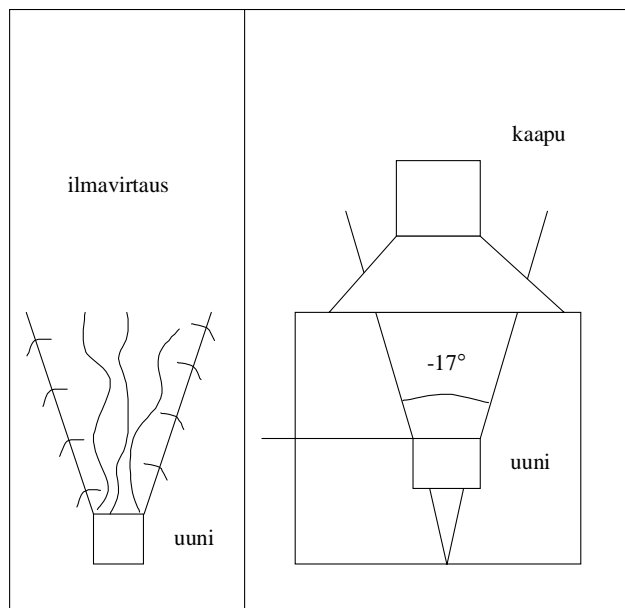
Kuva 19. Kohdepoistolaitteen puhalluksen vaikutusetäisyys on noin 30-kertainen imun vaikutusetäisyyteen verrattuna

Imettäessä vaikutus jakautuu tasaisesti joka puolelle ja vaikutus pienenee nopeasti etäisyyden kasvaessa. Ilman nopeus on kääntäen verrannollinen aukosta lasketun etäisyyden neliöön. Imuvaikutusta voidaan tehostaa aukon halkaisijaa tai suukappaleen muotoa muuttamalla. Sieppausnopeudella tarkoitetaan poistaukon tai kuvun lähellä tarvittavaa virtausnopeutta, joka pystyy voittamaan häiritseviä ilmavirtauksia ja poistamaan saastuneen ilman. Esimerkiksi hitsaushuuruille on ehdotettu sieppausnopeuden arvoksi 0,5–1,0 m/s.

Kohdepoistot voidaan luokitella seuraavasti:

- koteloinnit ja vetokaappityyppiset kaavut
- imukaavut
- vastaanottokaavut
- LVHV-laitteet (Low Volume High Velocity).





Kuva 20. Termisen virtauksen kohdepoistokaavun mitoituksesta

Ylöspäin kohoava lämmin ilmavirtaus laajenee noin  $17^\circ$  kulmassa etäisyyden kasvaessa lämmönlähteestä (kuva 20).

Työpaikoilla kuumia virtauksia poistetaan useimmiten yläkaavun avulla. Paitsi termisen virtauksen laajuus ja nopeus tulee tällöin ottaa huomioon häiriövirtaukset. Usein ehdotetaan, että kaavun halkaisijan tulee olla vähintään  $0,8 X$  suurempi kuin termisen virtauksen halkaisija kaavun kohdalla ( $X$  = kaavun reunan ja lämmönlähteen ylätasoinen etäisyys):

$$(16) \quad D_{\text{kaapu}} = D + 0,8 \cdot X,$$

missä:  $D_{\text{kaapu}}$  = kaavun halkaisija  
 $D$  = uunin halkaisija  
 $X$  = uunin yläpinnan etäisyys kaavun alapinnasta.

Kaavun tarvitseman ilmamäärän voidaan arvioida laskennallisesti olevan:

$$(17) \quad Q_{\text{kaapu}} = Q + Av,$$

missä:  $Q_{\text{kaapu}}$  = kaavun ilmavirta  
 $Q$  = kuuma ilmavirta  
 $A$  = kaavun otsapinta-ala tai kaavun pinta-ala miinus termisen virtauksen pinta-ala  
 $v$  = otsapintanopeus (noin  $0,3$ – $0,5$  m/s tilanteesta riippuen).

### Oviverhokojheet

Tuotantorakennusten ulko-ovia joudutaan pitämään usein auki kuljetusten takia myös talvi-aikana. Avoimen oven kautta virtaavaa kylmää ilmaa voidaan vähentää oviverhokojetta käyttämällä, jolloin kylmän ilman sisäänvirtaus katkaistaan poikittain, vinosti sitä vastaan suunnatulla ilmasuihkulla.

Oviverhokojeen puhaltimen tulisi käynnistyä mahdollisimman nopeasti oviaukon auettua, puhaltimet on tarvittaessa varustettava äänenvaimentimilla. Edellytyksenä oviverhon käytölle voidaan pitää, ettei huonetilassa esiinny voimakkaita yli- tai alipaineita. Lämmitetyn ilman käyttöä suositellaan siksi että kylmän ilman vuoto sekoittuessaan yllämpöiseen ilmaan lämpenee lähelle huonelämpötilaa eikä näin aiheuta vedon tunnetta. Alhaalta puhaltavat oviverhokojet ovat osoittautuneet toimivimmiksi. Ilman puhallusraon tulisi olla vähintään oviaukon mittainen.

### 3.6.3 Toiminnan arviointi

#### Ilmanvaihtolaitteiden käyttö työpaikalla

Kun uusi ilmanvaihtolaitteisto on asennettu ja toimii, suoritetaan vastaanottotarkastus, jossa ovat edustettuina suunnittelija, urakoitsija ja rakennuttaja. Rakennuttajan edustajalla tulisi olla riittävä LVI-suunnitelman mukainen asiantuntemus. Rakennuttajan tulee saada ns. luovutuskansio, jossa on mm. kojekortit, automatiikan toimintaselostus, yleinen ilmanvaihdon toimintaselostus, mittauspöytäkirjat sekä ohjeita huollosta. Vastaanoton jälkeen alkaa yleensä 2 vuotta kestävä takuuaika, jonka aikana rakennuttajan pitäisi valvoa, että urakoitsija tekee tai teettää takuuaikaiset sekä ilmanvaihdon että automatiikan säädöt ja huollot. Takuuaikana työpaikan ilmanvaihdon käyttöhenkilöstön kuuluu saada koulutusta laitteiden käytöstä ja huollosta.

Kun takuuaika on kulunut, selvitetään työpaikalla, miten kojeiden ja automatiikan huolto hoidetaan eli huolletaanko ne itse vai teetetäänkö huollot alan liikkeillä. Joka tapauksessa huolloista kannattaa tehdä kirjallinen suunnitelma, jota myös todella noudatetaan. Jos ilmanvaihtojärjestelmiin tehdään muutoksia, pitäisi tilanne selvittää huolellisesti ennen muutoksia ja myös selvittää muutoksen vaikutukset (painesuhteet, virtauskentät yms.). Muutosten seurauksena ilmanvaihdon kokonaissäätö voi osoittautua tarpeelliseksi.

#### Käyttö, huolto ja kunto

Työpaikalla on syytä selvittää ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ainakin seuraavat seikat:

- kuka tietää ilmanvaihtolaitteiden toiminnasta?
- kuka käynnistää ja pysäyttää laitteet?
- mitä tapahtuu vikatilanteissa (mitä hälytyksiä on ja mitä toimenpiteitä ne aiheuttavat)?
- kuka huoltaa (mm. suodattimet ja automatiikan)?
- miten käyttöhenkilökunta on koulutettu?
  - o kojeiden toiminta
  - o esim. LVI-suunnitelman avulla
  - o kiertoilman käyttö, ulkoilmaosuus, rajoitukset käytölle
- ilmanvaihtojärjestelmään tehtyjen muutosten vaikutus ilmanvaihdon toimivuuteen
- kohdepoistojen ja kaapujen käyttö
- onko vikoja kanavissa, kaavuissa, suodattimissa, sulkupelleissä, puhaltimissa, moottoreissa, kiilahihnoissa jne.
- onko ilmanvaihdon mittaustuloksia.

### Toimintakokeet

Savukokein voidaan selvittää painesuhteita eri työtilojen välillä tai kanavistossa sekä epäpuhtauksien liikkeitä ja leviämistä. Savujen avulla on mahdollista havainnollistaa myös tuloilman jakoa ja heittopituuksia sekä häiriövirtausten vaikutusta kohdepoistojen toimintaan ja kohdepoiston sieppausetaisyyttä.

Sisäilmastomuuttajat kuten virtauskentät, lämpöolot ja epäpuhtauspitoisuudet ovat osaltaan riippuvaisia tilan ilmanvaihdosta. Ilmanvaihtomittauksin voidaan määrittää tulo- ja poistoilmamäärät (kanava, venttiili- tai aukkomittauksin). Kohdepoistojen ja ilmanvaihdon tehokkuutta on mahdollista määrittää myös merkkiainemenetelmin.

Ongelmatilanteet. Jos ilmanvaihto ei toimi oikein tai riittävästi, selitetään huolto- tai laitoshenkilölle, työsuojelu- tai linjaorganisaatiohenkilöstölle tai ilmanvaihtosuunnittelijalle viat ja niiden syyt, jotta työpaikalla saadaan korjaustoimenpiteet alkuun. Asioista kannattaa myös tiedottaa päättäjille.

Lisäselvitysten saamiseksi voidaan tehdä mm.

- ilman epäpuhtaus- tai lämpöolomittauksia
- ilmanvaihtomittauksia
- suodattimien pölynerotuskyvyn mittauksia
- ilmanvaihdon tehokkuusmittauksia.

Takuuajaksiin tai ei-vastaanotettuihin systeemeihin ei pidä koskea, eikä myöskään säädettyihin venttiileihin tai kojeiden ja automatiikan säätöihin. Parannuskeinoina voidaan kokeilla esimerkiksi suodattimien puhdistamista, kohdepoiston liikuttamista tai ilmanvaihdon kokonaissäätöä.

## 4 ALTIISTUMINEN ERÄISSÄ TÖISSÄ

### 4.1 Hitsaus

#### HYVÄT KÄYTÄNNÖT HITSAUKSESSA

Paikallispoisto ja hyvä yleisilmanvaihto tarvitaan, kun:

- hitsaustyö on luonteeltaan jatkuvaa
- hitsataan huonosti tuulettuvassa tilassa kuten säiliössä, vaikka työ olisi lyhytaikaistakin
- hitsattaessa kromi-, nikkeli- tai kobolttiseosteisia teräksiä, alumiinia tai stelliittiä
- hitsattaessa pinnoitettuja kappaleita esim. maalattuja

Hitsauksen valokaarelta pitää suojautua ja suojata lähellä olevia. Hiottaessa syntyvältä melulta ja lentäviltä hiukkasilta pitää suojautua.

Ammattitautitapauksista n. 200 tapausta vuosittain koskee hitsareita. Suurin ammattitautien aiheuttaja on melu (noin puolet), sitten UV-säteily ja toistuva yksipuolinen työliike. Ilman epäpuhtaudet aiheuttavat 10–20 tapausta. Näistä suurimman osan aiheuttavat hitsaussavut, mutta hitsareilla on myös ammattitauteja, joiden aiheuttajia ovat muun työskentelyn tuottamat ilman epäpuhtaudet esim. teollisuuden kunnossapitotöissä. Paitsi varsinaisia ammattitauteja, melu, säteily ja hitsaussavut aiheuttavat yleisimmin työpaikoilla ärsytysoireita ja häiritsevät työntekoa.

Hitsaussavu koostuu sekä kaasumaisista että kiinteistä hiukkasmaisista aineista. Koostumus vaihtelee hitsausmenetelmistä ja materiaalista riippuen. Savun muodostukseen vaikuttavat lisäävästi virran voimakkuuden, puikkojen paksuuden ja langan syöttönopeuden kasvu. Hitsaajan hengitysvyöhykkeellä olevaan pitoisuuteen vaikuttavat savun muodostumisnopeus, työtilan koko, ilmanvaihto, kaariaikasuhde ja hitsausasento.

Hitsaajan suojautuminen. Hitsaajan suojautumiseen kuuluu ultraviolettisäteilyltä suojaava hitsausmaski oikealla tummuusasteella olevalla suojalasilla, käsineet, kipinöitä suojaava vaatetus, turvakengät, kuulonsuojaimet, suojalasit hiottaessa sekä tarpeen mukainen hengityksensuojain.

#### Hitsaushuurut

Hitsaushuurun muodostuminen ja koostumus vaihtelevat eri menetelmillä ja hitsausparametrien muuttuessa. Suurinta huurun muodostuminen on puikkoja ja täytelankoja käytettäessä, umpilangoista savun muodostuminen on vähäisempää.

Hiukkasten muodostuessa tapahtuu lukuisia kemiallisia reaktioita, kuten hapettumista ja kompleksin muodostumista. Huuruista yli 90 % on peräisin lisäaineesta. Hiukkaskoko on pieni, alle 1 µm. Puikkohitsauksessa syntyvät huurut ovat koostumukseltaan monimutkaisia sisältäen kymmeniä alkuaineita, jotka ovat todennäköisesti oksideina, silikaatteina ja fluorideina. Kaasukaarihitsauksessa huuruja kehittyä vähemmän ja ne ovat koostumukseltaan yksinkertaisempia. Esimerkiksi teräksen MAG-hitsauksessa huuru on pääasiassa rautaa ja rautaoksidia. Seostamattoman teräksen puikkohitsauksessa syntyvistä huuruista noin 80 % on suhteellisen vaarattomia aineita, silikaatteja, alkalimetalleja ja kalsiumyhdisteitä.

Hitsaushuurujen kokonaismäärälle käytetään yleisesti työhygieenisenä vertailuarvona  $10 \text{ mg/m}^3$  pitoisuutta. Konepajaolosuhteissa puikkohitsauksessa pitoisuus voi nousta  $20 \text{ mg/m}^3$  tasolle, jos hitsaus on jatkuvaa ja käytetään paksuja puikkoja. Ahtaissa ja huonosti tuulettuvissa tiloissa pitoisuus voi nousta jopa  $100 \text{ mg/m}^3$  tasolle.

Myrkyllisiä aineita huurussa on mangaanin ja fluorin yhdisteet sekä kromi- ja nikkeliyhdisteet. Savussa mangaanin vaikealiukoisia yhdisteitä on 2–10 % pääasiassa oksideina. Hitsaajan hengitysvyöhykkeellä mangaanipitoisuudet ovat  $1\text{--}2 \text{ mg/m}^3$  (HTP<sub>8h</sub> on  $0,5 \text{ mg/m}^3$ ), kuitenkin hitsaajilla ei ole todettu mangaanin aiheuttamia myrkytyksiä Suomessa. Fluoriyhdisteitä on emäspäälysteisten puikkojen savussa 10–20 % pääasiassa vesiliukoisina kompleksiyhdisteinä. Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että fluoridien HTP ( $2,5 \text{ mg/m}^3$ ) ylittyy, kun hitsaushuurun kokonaispitoisuus on  $15\text{--}20 \text{ mg/m}^3$ .

Kaasukaarihitsauksessa (MIG, MAG ja TIG) huurupitoisuudet ovat yleensä alle  $10 \text{ mg/m}^3$ , mutta suuretkin huurupitoisuudet ovat mahdollisia, esim. MIG-hitsauksessa, jos hitsaus on luonteeltaan jatkuvaa. Alumiinin hitsauksessa huurupitoisuudet ovat jonkin verran korkeammat kuin teräksiä hitsattaessa. Eräät täytelangat voivat sisältää bariumfluoridia, jolloin savussa voi esiintyä myrkyllisiä vesiliukoisia baryumyhdisteitä. Jotta näiden pitoisuus ei ylittäisi HTP-tasoa ei kokonaishuurumäärä saa ylittää  $2 \text{ mg/m}^3$ .

#### Ruostumattoman teräksen hitsaus

Ruostumattoman teräksen hitsauksessa savu sisältää kromi- ja nikkeliyhdisteitä. Puikkohitsauksessa kuudenarvoisten kromiyhdisteiden määrä huurussa on keskimäärin 3 %, kun se kaasukaarihitsauksessa on pienempi, yleensä alle 0,5 %. Laskennallisesti kromin HTP ylittyy puikkohitsauksessa, jos kokonaishuurupitoisuus ylittää  $2 \text{ mg/m}^3$ . (Jos hitsaaja tekee myös hiontaa, "nyrkkisääntö" ei päde.)

Puikkohitsaushuurun kromista suurin osa, 60–90 %, on VI-arvoisina liukoisina yhdisteinä, kun taas kaasukaarihitsauksessa kromista alle 10 % on kuudenarvoisia ja suurin osa vaikealiukoisina III-arvoisina yhdisteinä. Vaikealiukoiset yhdisteet imeytyvät huonosti keuhkoista verenkiertoon. Nikkeli esiintyy hitsaushuurussa kahdenarvoisena ja varsin usein sekaoksidina.

Kuudenarvoiset kromiyhdisteet sekä nikkeli ja sen epäorgaaniset yhdisteet kuuluvat syöpäsairauden vaaraa aiheuttaviin aineisiin. Kun työympäristössä esiintyy syöpää aiheuttavia aineita, on työolosuhteisiin ja altistuksen vähentämiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Työhön liittyvän syöpävaaran torjunnassa on valtioneuvoston asetus (716/2000), jossa mm. työnantaja veloitetaan ilmoittamaan altistuneet työntekijät vuosittain ASA-tiedostoon.

#### Kaasumaiset epäpuhtaudet

Suojakaasut, argon ja hiilidioksidi ovat myrkyttömiä, kuitenkin ahtaissa tiloissa syrjäyttäessään hapen ne voivat aiheuttaa tukehtumisvaaran. Pelkistyessään hiilidioksidi voi ahtaissa tiloissa muodostaa merkittäviä pitoisuuksia hiilimonoksidia. Konepajaolosuhteissa suuret pitoisuudet ovat harvinaisia.

Kaasukaarihitsauksessa muodostuu typenoksideja, joista typpidioksidi on merkittävin. Pitoisuudet voivat ahtaissa ja huonosti tuulettuvissa tiloissa olla korkeita, mutta avoimissa tiloissa yleensä alle 5 ppm. Puikkohitsauksessa kaasumaisten epäpuhtauksien muodostuminen on vähäistä.

Kaasumaisista epäpuhtauksista otsoni muodostaa käytännössä suurimman ongelman. Eniten otsonia syntyy alumiinin ja ruostumattoman teräksen MIG-hitsauksessa, jolloin esiintyy yli 0,3 ppm pitoisuuksia. Muita materiaaleja ja muilla menetelmillä hitsattaessa pitoisuudet ovat alle 0,1 ppm. Muodostuvaan otsonipitoisuuteen vaikuttavat hitsausparametrit, kuten jännite, suojakaasu, suojakaasun virtaus ja kaaripituus. Samoin otsonipitoisuus on riippuvainen tyypimonoksidipitoisuudesta. Jos tyypimonoksidipitoisuudet ovat korkeita, niin otsonipitoisuudet ovat matalia.

#### Pintakäsittelyn vaikutus hitsaussavuun

Hitsattavan materiaalin pintakäsittely lisää sekä hitsaushuurun kokonaismäärää että muodostuvien yhdisteiden lukumäärää. Konepajapohjamaaleissa on pigmentteinä yleensä rautaoksidia, sinkkiyhdisteitä ja titaanioksidia, sideaineena on epoksihartsi tai jokin tekohartsiyhdistelmä.

Maalikalvon palaessa hajoamistuotteina syntyy useita kymmeniä erilaisia orgaanisia yhdisteitä, joita kaikkia ei edes tunneta. Hajoamistuotteista on analysoitu mm. hiilivetyjä, aldehydejä ja fenoleja. Korjaushitsauksen yhteydessä harvoin tiedetään, millaisia maaleja vanhoissa rakenteissa on käytetty. Niissä voi olla lyijy- ja kromipigmenttejä, jolloin hitsaussavussa on muiden aineiden lisäksi lyijyn ja kromin yhdisteitä. Kloorikautsumaaleista muodostuu hajoamistuotteina mm. kloorivetyä. Sinkityn materiaalin hitsauksessa syntyy suuret määrät sinkkioksidia.

#### I lman epäpuhtauksien poistaminen

Yleisesti käytössä olevilla menetelmillä hitsattaessa suurimmat huurupitoisuudet esiintyvät puikkohitsauksessa. Ruostumatonta terästä hitsattaessa huurut sisältävät myös kromi- ja nikkeliyhdisteitä. Alumiinin hitsauksessa syntyy alumiinihuurujen lisäksi otsonia.

Hitsaussavujen aiheuttamaa terveydellistä vaaraa ja haittaa voidaan vähentää ilmanvaihdolla ja muilla teknisillä toimenpiteillä. Saatavilla on erilaisia paikallispoistolaitteita ja valmiita imuysiköitä. Uusien laitteiden käyttömukavuus ja poistotehot ovat parantuneet merkittävästi viime vuosina. Erityisesti paikallispoistojen tarve on hitsattaessa puikolla. Kohdepoistoa tarvitaan hitsattaessa ruostumatonta terästä, alumiinin hitsauksessa, maalattujen ja öljyisten kappaleiden hitsauksessa sekä hitsattaessa ahtaissa kohteissa.

Paikallispoistojen käytössä yhtenä ongelmana on se, että imu on liian kaukana savun muodostumispaikasta, jolloin sillä ei saavuteta tyydyttävää tulosta (kuva 21). Imusuulakkeiden ja letkujen rikkoutumiset aiheuttavat myös painehäviöitä ja näin heikentävät paikallispoistojen toimivuutta.



*Kuva 21. Kohdepoiston aukko on sijoitettava mahdollisimman lähelle epäpuhtauslähdettä. Imuteho heikkenee, kun aukon etäisyys on suurempi kuin aukon halkaisija. Poistoilmavirran tulisi olla vähintään 1000 m<sup>3</sup>/h. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan poistoimu alensi pölypitoisuutta käyttöolosuhteissa 65 % ja laboratorio-olosuhteissa jopa 70–90 %. Paikallispoistojen lisäksi hitsaustyökohteissa on huolehdittava riittävästä yleisilmanvaihdesta.*

Lisätietoa:

1. KAMAT-tietokortit. Levyseppä -hitsaajantyö, terminen leikkaus, terminen ruiskutus.  
<http://www.ttl.fi/internet/partner/kamat>
2. Kemikaalit ja työ -kirja. Metallit -luku.  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/>
3. Hitsaus työ ympäristö. Työturvallisuuskeskus. Helsinki 1991. 90 s.
4. Hitsauksen työturvallisuus. Hitsausuutiset 2/2006. Tietopaketti hitsauksen turvallisuudesta. [http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/HU\\_2\\_06-2.pdf](http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/HU_2_06-2.pdf) (luettu 25.9.2007)

## 4.2 Juotostyöt

Kolofoni aiheuttaa vuosittain muutaman ammattiaistman, muutaman allergisen nuhan ja ammatti-ihottuman. Kolofonihartsin käyttö on laajaa. Sitä käytetään mm. eräissä paperilaaduissa, painoväreissä, juotosflukseissa, leikkuunesteissä, liimoissa, tarrojen "liimoissa" pintakäsittelyaineena, teipeissä, vahoissa, kosmeettisissa tuotteissa ja saippuoissa.

Pehmeäjuotossa käytetään tina-lyijy juotoslankaa ja juoksutteena hartsijuoksutetta, joka on kolofoni. Juoksute helpottaa juottamisessa täytemetallin leviämistä sekä poistaa liitettäviltä pinnoilta likaa ja metallioksideja. Elektroniikassa, varsinkin käsin juotettaessa, juoksute on tinalangassa täytteenä. Sarjatuotannossa juottaminen tehdään juotuskoneilla, jolloin juoksute on tavallisesti erillisenä liuoksena. Yleinen juoksutteen liuotin on isopropanoli tai etanoli.

Kolofonin perusaine on mäntyhartsi (gum rosin tai wood rosin), joka valmistetaan eri tavoin männystä. Kolofoni on koostumukseltaan hyvin samanlainen kuin mäntyöljyhartsi (tall oil rosin), jota valmistetaan mäntyselukeiton sivutuotteena. Juoksutteessa kolofoniin on lisätty 2–4 % aktivaattoria, joka on tavallisesti jokin orgaaninen halogenoitu amiini tai karboksyylihapo, tertiäärinen alifaattisen amiinin hydrokloridi tai hydrobromidi.

Mäntyhartsi on koostumukseltaan monimutkainen orgaaninen aine. Se sisältää 90 % hartsi-happoja (mm. abietiinihappo, levopimaarihappo) ja neutraaleja yhdisteitä, kuten hartsihap-pojen estereitä, rasvahappoja ja rasvahappojen estereitä sekä terpeenihillivetyjä.

Pehmeäjuotoslämpötilassa 180–450 °C hartsihapot höyrystyvät sekä muodostuu kolofonin lämpöhajoamistuotteita. Juotoshuuru koostuu pääasiassa hartsihapoista (abietiinihappo, neoabietiinihappo ja pallustriinihappo). Lisäksi juotoshuuruista on analysoitu alifaattisia aldehydejä, asetonia, metanolia, hiilidioksidia, hiilimonoksidia ja etaania. Lyijy höyrystyy vasta 538–540 °C eli juotostyössä altistumista lyijylle ei tapahdu. Sen sijaan juotoskoneiden huoltotoissa lyijy pitää huomioida altisteena. Sulan "tinan" pinnalle kertyvä kuona sisältää hienojakoista lyijyoksidipölyä, joka käsiteltäessä leviää helposti ympäristöön.

### Terveyshaitat

Kirjallisuudessa on raportoitu useita kymmeniä kolofonihuurun aiheuttamia astmatapauksia. Mikä huurussa on astman aiheuttaja, ja mikä on kolofonin sisältämien aktivaattoreiden merki-tys, ei tunneta. Hartsihappoja ja niiden johdannaisia pidetään astman kannalta tärkeinä kom-ponentteina. Jo sangen pienten huurupitoisuuksien on havaittu voivan aiheuttaa astmaoireita herkistyneille, mutta oireita eivät ole näissä pitoisuuksissa saaneet aikaisemmin altistumat-tomat. Myös kolofonipölyn on kuvattu kirjallisuudessa aiheuttavan astmaa.

Aikaisemmin on katsottu alifaattisten aldehydien pitoisuuden parhaiten kuvaavan altistumista kolofonihuurulle. Hajoamistuotealdehydeille on amerikkalainen vertailuarvo, aldehydien yh-teispitoisuus formaldehydiksi laskettuna 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Mitatut pitoisuudet ovat olleet aina alle tämän ja kuitenkin vuosittain juotostöissä tulee useita ammattiasmatapauksia. Astmariskin kannalta tarkasteltuna työilmasta tulisi mitata hartsihappopitoisuudet aldehydien asemesta. Hartsihapoille ei ole asetettu työhygieenisiä vertailuarvoja, mikä käytännössä vaikeuttaa mittaustulosten tulkintaa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että juotostöissä työntekijä on suojattava kaikelta altistumiselta mahdollisimman hyvin eli juotoskohteissa tulee olla aina kohdepoisto.

Kolofoni aiheuttaa ihon ärsytystä ja herkistymistä. Ihotesteissä on todettu hartsin sisältävän useita allergisoivia aineita, eikä merkittävintä allergeenia ole voitu osoittaa.

## 4.3 Maalaus

Maalareiden pääasialliset altisteet ovat liuotinaineet (esim. liuotinbensiini, ksyleeni, glykoli-yhdisteet) ja maaliumu. Varsinaisen maalaustyön aikana pitoisuudet ovat suurimmat, mutta liuottimia haihtuu myös maalin kuivumisen aikana. Liuottimille, samoin kuin muille haihtuville yhdisteille altistutaan myös maaleja annosteltaessa ja sekoitettaessa sekä välineitä puhdis-tettaessa.

Polyuretaanimaalit sisältävät hengitysteitä herkistävää (R42) isosyanaattia (esim. MDI, TDI, HDI), jolloin ruiskumaalauksessa altistuminen isosyanaateille on merkittävää. Altistumiseen liittyy astmariski. Tällöin hengityssuojaimen huolellinen käyttö on välttämätöntä, vaikka pitoi-suudet olisivatkin pieniä ja maalausta tehtäisiin satunnaisesti.

Pulverimaalin maalipöly voi sisältää reaktiivisia ja herkistäviä aineita, esim. TGIC, tällöin pölyä ei voida pitää vähätehoisena. Altistumiseen liittyy herkistymisriski. Pulverimaalien kuivausuu-nissa muodostuu polymeerien lämpöhajoamistuotteita, joiden joukossa on ärsyttäviä ja herkistäviä aineita, kuten esim. happoanhydridejä.

Happokovetteisista aminohartsimaaleista vapautuu sekä maalauksen aikana että maalin kuivumisen aikana formaldehydiä. Formaldehydin määrä ilmoitetaan yleensä käyttöturvallisuustiedotteessa. Epoksimaaleissa on ihoa herkistäviksi luokiteltuja reaktiivisia yhdisteitä (R43), joten epoksimaalien käyttöön liittyy ihottumariski.

Maali voi sisältää pigmenttinä kromaatteja, jotka on luokiteltu syöpäsairauden vaaraa aiheuttavaksi tekijäksi (R45, R49). Kromaatit eivät haihdu maalista, mutta niille altistutaan, kun muodostuu maaliumua (ruiskumaalaus). Altistuvat pitää ilmoittaa ASA-rekisteriin.

Maalaamoissa epäpuhtaudet on poistettava tehokkaalla ja tarkoituksenmukaisesti toimivalla yleisilmanvaihdolla ja kohdepoistoilla. Tyypillinen kohdepoistoratkaisu on ruiskumaalauskaappi, jossa on poistoilmansuodatin. Ruiskumaalauksessa vapautuvat epäpuhtaudet eivät leviä kaapin ulkopuolelle, kun ruiskutusosuunta on kohti kaappia ja ilmannopeus kaapin koko aukolla  $\geq 0,5$  m/s.

Haihdutusalueella on oltava tehokas kohdeilmanvaihto, joka estää epäpuhtauksien siirtymisen alueen ulkopuolelle. Haihdutusalue olisi rakenteilla erotettava muusta työtilasta, jos se sijaitsee maalaamon ulkopuolella.

Epäpuhtaudet eivät saa siirtyä maalaamoa ympäröiviin tiloihin. Sen vuoksi maalaamon poistoilmavirran on oltava korvausilmavirtaa (= tuloilmavirtaa) suurempi. Poisto- ja tuloilmavirtojen asianmukaisen suhteen säilyttäminen edellyttää muun muassa ilmanvaihtokojeiden oikeata käyttötapaa ja poistoilmasuodattimien riittävää vaihtotiheyttä.

Maalivarastossa on oltava tehokas ilmanvaihto. Maalien sekoituspaikassa ja useimmiten myös tislaimessa on oltava kohdepoisto. Avonaiset maali- ja liuotinastiat lisäävät merkittävästi epäpuhtauksien määrää ja työntekijöiden altistumista.

Sisäasiainministeriön asetuksen nro 802/2001 mukaisesti on pelastustoimilain nojalla ilmanvaihtolaitteistot, joissa kanaviin kerääntyy paljon palavia aineita, vähintään kerran vuodessa tarkastettava ja puhdistettava tarpeelliseksi todetuilta osin.

Maalarin suojautumisen. Maalareilla kuuluu olla maaleilta suojaava vaatetus ja käsineet. Lisäksi maalarit käyttävät useimmiten kasvosuojainta tai visiiriä maaliroskeilta suojautumiseksi. Hengityksensuojain voi olla tarpeen maalipölyn tai maaleista vapautuvien kaasumaisten yhdisteiden takia. Hengityksensuojaimeksi soveltuu hiukkas- ja kaasunsuodattimella varustettu yhdistelmäsuojain (P2–A2) tai paineilmahappu. Turvakengät kuuluvat myös usein maalarin varustukseen.

Suojaimet on säilytettävä asianmukaisessa tilassa. Käyttämättömiä kaasunsuodatinpatruunoita ei saa säilyttää suojaamattomina maalivarastossa tai muussa tilassa, jossa ilmaan vapautuu liuotinhöyryjä tai muita kaasuja.

## 4.4 Muovi- ja muovituoteteollisuus

Lähteenä on käytetty: Työhygieniä — työolot ja niiden parantaminen, kuvat kirjoittajan.

Kemialliset tekijät	Terveysvaarat
<ul style="list-style-type: none"> <li>- reaktiiviset lähtöaineet ja monomeerit</li> <li>- apuaineet (pehmittimet, värit, täyteaineet ym.)</li> <li>- kovettimet</li> <li>- työstön lämpöhajoamistuotteet</li> <li>- maalit, lakat, liimat (haihtuvia ja reaktiivisia yhdisteitä)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- monet herkistäviä, joukossa karsinogeeneja</li> <li>- joukossa herkistäviä ja karsinogeeneja</li> <li>- monet herkistäviä</li> <li>- joukossa herkistäviä</li> <li>- ihottumat ja hermostovaikutukset, monet herkistäviä</li> </ul>

Valmiit muovituotteet ovat yleensä inerttejä.

Muovituoteteollisuus työstää edelleen muoviteollisuuden sille valmistamaa raaka-ainetta, muovipolymeereja, erilaisiksi tuotteiksi ja käyttöesineiksi.

### Työmenetelmät

Muovituotteita valmistetaan noin parillakymmenellä menetelmällä. Tyypillisiä kesto-muovituotteiden valmistusmenetelmiä ovat ruisku- ja suulakepuristus, joita käytetään erityisesti muovituotteiden massatuotantoon (kalvot, putket, kotitaloustavarat ja tekniset osat). Ruiskupuristuksessa sula muovimassa ruiskutetaan kylmään muottiin, jossa se kovettuu valmiiksi tuotteeksi. Suulakepuristuksessa muovimassa puristetaan suulakkeen läpi yhtäjaksoiseksi putkeksi, profiiliksi tai kalvoksi. Muottinpuhallusmenetelmässä (pullot, kanisterit) suulakepuristimesta tuleva sula muoviletku tai -kalvo puhalletaan muotin seinämiä vasten ja jäähdytetään.

Kertamuovituotteita valmistetaan lähinnä ahtopuristuksella, laminoimalla ja muottiinvalulla. Ahtopuristuksessa raaka-aine puristetaan muotoon paineella lämpimässä muotissa. Laminoinnissa hartsia sivellään lujitteella. Ruiskulaminoinnissa hartsi ja lujitehake, esimerkiksi lasikuitu, levitetään muottiin samanaikaisesti. Lujitemuovituotteita valmistetaan myös koneellisesti (esim. kelaus- tai injektio menetelmät). Polyuretaanisolumuovituotteita valmistetaan jatkuvalla aihiovaahdotuksella tai muottiinvaahdotuksella. Tuote vaahdotuu, kun lähtöaineet reagoivat samanaikaisesti tai kun esipolymeeri isosyanaattiryhmät reagoivat veden kanssa.

Muovituotteiden, erityisesti kertamuovituotteiden, valmistukseen liittyy usein myös ennen työstöä materiaalien käsittelyä käsin tai koneellisesti, kuten kuljetusta, punnitusta, annostelua ja sekoitusta.

### Lämpöhajoamistuotteet

Muovin työstöön liittyvät terveyshaitat riippuvat sekä työstettävästä muovista että työstömenetelmästä. Kestomuovituotteita valmistettaessa valmis polymeeri sulatetaan, jolloin muoviaine voi lievästi hajota ja haitallisia *muovin lämpöhajoamistuotteita* saattaa vapautua ilmaan. Tärkeimmät kesto-muovit ovat polyeteeni, polypropeeni, polyvinyylikloridi ja styreenimuovit. Työstössä syntyvän lämpöhajoamistuotteita sisältävän käryn koostumus on kullekin kesto-muoville tyypillinen. Normaaleissa työstölämpötiloissa (150–370 °C, muovin ja menetelmän mukaan) syntyvien yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet ovat kuitenkin pieniä, ja

mahdolliset terveyshaitat saattavat ilmetä lähinnä allergiaoireina. Yleensä mitatut epäpuhtauspitoisuudet ovat 0,01–1 mg/m<sup>3</sup>. Käryt tuntuvat ärsyttäviltä ja epämiellyttäviltä.

Vapautuvien epäpuhtauksien määriin vaikuttavat työstömenetelmä ja työstölämpötila. Suljetuissa menetelmissä, kuten ruiskupuristuksessa, muottiin puhalluksessa ja profiili-ekstruusiossa, syntyy vähemmän käryjä. Menetelmät, joissa työstetään suuria, kuumina koneessa liikkuvia muovipintoja, tuottavat luonnollisesti enemmän epäpuhtauksia kuin suljetut menetelmät. Tällaisia ovat esimerkiksi kalanterointi, sively ja lämpömuovaus. Korkea lämpötila aiheuttaa enemmän käryä myös muovin saumauksessa (kuuma terä) ja hitsauksessa.

Kestomuovituotteiden valmistuksessa käytetään työstettävyyden tai muovin ominaisuuksien parantamiseksi *apuaaineita*. Osa tehtaista käyttää valmiita muovisekoitteita, mutta osa tekee niitä myös itse, jolloin altistuminen on mahdollista punnituksessa, annostelussa tai sekoituksessa. Erityisesti käsin sekoituksessa saatetaan altistua apuaineille (esimerkiksi väriaineet, pehmittimet, vaahdotusaineet, stabilisaattorit). Työstön aikana voivat apuaineet haihtua pienessä määrin työpaikan ilmaan. Työstön yhteydessä ilmasta on mitattu esimerkiksi vaahdotusaineena käytettävää atsodikarbonamidia, jonka vaikutukset kohdistuvat lähinnä hengitysteihin ja joka aiheuttaa allergista nuhaa ja astmaa. Myös pehmittimiä, lähinnä di-2-etyyliheksyyliftalaattia (DEHP), on mitattu ilmasta. Pitoisuudet ovat olleet yleensä alle HTP-arvon. Lisäksi DEHP:stä syntyy työstölämpötiloissa pieniä määriä ftaalihapponanhydridiä, joka on herkistävä yhdiste.

#### Kertamuovit

Muovi	Terveysvaara
polyuretaanit	-
- isosyanaatit	astma
- amiinit	herkistäviä
epoksimuovit	-
- pienimolekyylinen hartsi	herkistäviä
- reaktiiviset yhdisteet	herkistäviä
- amiinit	herkistäviä
polyesterihartsit	-
- styreeni	huumaava, hermostovaikutukset ym.
urea-fenoli- ja melamiinihartsit	-
- formaldehydi	ärsyttävä, herkistävä
akrylaatit	kovettumattomina monet ihoherkistäjiä
- metyylimetakrylaatti	astma, ihoherkistäjä
- syaniakrylaatti	astma, ihoherkistäjä

Kertamuovien (polyuretaanit, tyydyttymättömät polyesteri, fenolimuovit, aminomuovit ja epoksit) työstössä *lähtöaineet* polymeroidaan tuotetta valmistettaessa, jolloin altistuminen lähtöaineille on mahdollista. Monet kertamuovien lähtöaineet ovat herkistäviä. Polyuretaaneissa käytetään metyleenibisfenyyli-isosyanaattia (MDI) valmistettaessa jäykkää umpisoluista vaahtoa ja tolueenidi-isosyanaattia (TDI) joustavan vaahtomuovin valmistuksessa. Sekä MDI että TDI vaikuttavat hengitysteihin aiheuttaen mm. astmaa. Mittauksissa isosyanaatin pitoisuudet ilmassa ovat olleet yleensä alle HTP-arvon. Isosyanaatti-altistumisessa astmariski näyttää olevan merkittävä, vaikka pitoisuudet ovat pienet ja altistuminen luonteeltaan satunnaista. Lisäksi työntekijät voivat altistua katalyytteinä käytettäville, herkistäviksi tai ärsyttäviksi todetuille amiineille.

## POLYURETAANIT

### Herkistävät aineet:

- isosyanaatit (metyleenibisfenyyli-isosyanaatti (MDI), tolueenidi-isosyanaatti (TDI) ym.)
- amiinit

### Vaikutus terveyteen:

- astma (isosyanaatit)
- allerginen ihottuma

### Missä tuotteissa käytetään:

- jäykät umpisoluvaahdot (MDI)
- vaahtomuovit (TDI)
- maalit, lakat, liimat (MDI, TDI, ym.)
- sideaineet ja tekokumit

### Mittaus:

Mitataan altistumishuiput

Näytteenotto nesteeseen tai kiinteään absorbentiin, analyysi nestekromatografisesti

Reagoimatonta isosyanaattia sisältävien aineiden ja tuotteiden käsittelyyn liittyy herkistymisriski, vaikka altistumisaika olisi lyhyt ja pitoisuudet pienet.

*Epoksihartsista* valmistetaan mm. sähköeristeitä ja lujitemuovituotteita. Edellisissä hartsiosa on joko sykloalifaattinen tai bisfenoli-A-pohjainen ja kovettimena käytetään happoanhydridejä (ftaalihappoanhydridi tai sykloheksyylianhidridejä), jotka ovat herkistäviä. Anhydridin haihtuminen työilmaan on prosessilämpötiloissa mahdollista. Lujitemuovituotteissa kovete voi olla myös amiiniaddukti, jossa käytetyimmät amiinit ovat dietyleenitriamiini ja trietyleenitetramiini. Molemmat ovat herkistäviä. Amiini- ja anhydridimittaukset työilmasta osoittavat HTP-arvojen harvoin ylittyvän. Silti nämä kovettimet ovat aiheuttaneet työntekijöille astmaa ja allergista nuhaa. Epoksite tuotteiden aiheuttamat ihottumat, jotka ovat yleisimpiä epoksihartsien aiheuttamia ammattitauteja, ovat pääasiassa hartsiosasta johtuneita allergisia kosketusihottumia. Useimmiten herkistävänä yhdisteenä on ollut bisfenoli-A-diglysidyylietteri (oligomeeri MP 340).

Tyydyttymättömiä polyesterihartseja käytetään lasikuidulla vahvistettuna mm. veneisiin, putkiin ja säiliöihin. Reaktiivisena liuottimena käytetään *styreeniä*. Mittausten mukaan työilman styreenipitoisuudet ylittävät usein nykyisen HTP-arvon ( $20 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ). Eniten altistuva työntekijäryhmä on veneteollisuuden käsin laminoijat. Muita lujitemuoviteollisuudessa käytettyjä kemikaaleja ovat asetoni, peroksidit (yleisin metyylietyyliketoniperoksidi) ja dialkyyliiftalaatit (peroksidiliuotin) sekä kiihdyttimet, kuten esimerkiksi kobolttioktoaatti tai -naftenaatti. Altistuminen näille yhdisteille on kuitenkin paljon vähäisempää kuin altistuminen styreenille.

Muovituoteteollisuudessa urea-, fenoli- ja melamiinihartseista valmistetaan esimerkiksi sähkötarvikkeita. Näiden hartsien lähtöaineissa on *formaldehydiä*, joka on ärsyttävä ja herkistävä yhdiste. Fenoliformaldehydihartsit aiheuttava vuosittain useita toksisia ja allergisia ihottumia.

**EPOKSI****Kemiaa:**

epikloorihydriini + bisfenoli-A →  
epoksihartsi (DGEBA)

epoksihartsi + kovete → epoksimuovi  
kovetteet ovat happoanhydrideja ja amiineja.

**Vaikutus terveyteen:**

hartsi (erityisesti oligomeeri MP 340) ja kovetteet  
aiheuttavat allergisia kosketushohtumia.

**Altistuminen:**

kaikkialla, missä kovettumatonta epoksihartsia joutuu kosketuksiin  
ihon kanssa  
pienimolekyyliset MP 340–1000  
suurimolekyyliset MP >1000–2000 (kiinteitä)

**Mittaukset:**

ihoaltistumisen arviointi  
ilmapitoisuusmittaukset eivät kuvaa terveystriskiä  
pitoisuusmittaukset, jos tuotteessa haihtuvia komponentteja.

**Riskinhallinta:**

oikeat työmenetelmät  
ihon suojaus.

**Haittojen torjunta**

Kestomuovien työstössä ei yleensä pelkkä yleisilmanvaihto riitä, vaan kohdeilmanvaihtoa tarvitaan vähentämään ilman lämpö- ja epäpuhtauskuormitusta. Esimerkiksi ruiskupuristimissa suuttimen yläpuolelle asennetuilla kotelohuuvilla on saavutettu hyviä tuloksia. Kotelointi on suositeltavaa myös sivelylinjan ilmanvaihtoon. Vastaanottohuuvaa on hyvä käyttää myös lämpömuovauskoneella ja saumauskoneella välittömästi terän yläpuolella. Ekstruusio-päälylystyskoneen kohdepoistoon sopivat tasosuulakkeen kummallekin puolelle kiinteästi asennetut sieppaushuuvat. Kalanteroinnissa voidaan käyttää kotelointia ja kohdepoistoja.

Tehokkaan ilmanvaihdon lisäksi oikeat työskentelytavat ja siisteys ovat tärkeitä. Pölyävissä työvaiheissa saattaa olla tarpeellista käyttää hengityksensuojainta ja suojavaatetusta. Työstölämpötilojen ei pidä olla tarpeettoman korkeita. Jos muovia jää työstökoneen kuumille pinnoille, käryjen synty voidaan estää näiden osien huolellisella puhdistuksella.

Polyuretaanivaahtomuovien valmistuksessa tulisi käyttää esipolymeroituja isosyanaatti-valmisteita, joissa on vähän vapaita monomeereja. Jos käytetään "one shot" -muottiin-valumenetelmää, jossa lähtöaineena on isosyanaattimonomeeri, tulisi ilmanvaihdon siepata muoteista purkautuva ilma ennen kuin epäpuhtaudet leviävät työympäristöön. Yleensäkin on huomattava, että uretaanivaahdon muodostumisessa vapautuu lämpöä, jolloin altistuminen isosyanaateille ja erityisesti helpommin haihtuvalle TDI:lle on todennäköistä, jos ilmanvaihto on puutteellinen.

Epoksien aiheuttamia ihottumia voidaan ehkäistä välttämällä herkistävimpiä komponentteja, kuten bisfenoli-A-pohjaisten hartsien oligomeeri MP 340:a, pienimolekyylisiä amiineja sekä reaktiivisia ohenteita, ja siirtymällä vähemmän haitallisiin komponentteihin. Huolellisuus ja suojausten käyttö on tärkeää työvaiheissa, joissa aineita joudutaan käsittelemään (punnitus,

annostelu, sekoitus). Epoksityössä läpäisemättömien suojakäsineiden käyttö on välttämätöntä. Käytettäessä anhydridikovettimia, jolloin kovetus tapahtuu kohotetussa lämpötilassa ja aineet voivat haihtua työilmaan, tarvitaan useimmiten kohdeilmanvaihtoa.

Lujitemuoviteollisuudessa yleisin ja myös altistavin työmenetelmä on käsinlaminointi avomuotteihin. Suljettujen menetelmien käyttö vähentää huomattavasti altistumista styreenille. Avomuottimenetelmiä käytettäessä tulee pyrkiä löytämään toimivia ratkaisuja ilmanvaihtoon ja erityisesti työhön soveltuvaan kohdeilmanvaihtoon. Myös automaation käyttöönotto vapauttaisi työntekijät kaikkein altistavimmista työvaiheista. Altistuminen kovettumisvaiheessa olevasta tuotteesta haihtuvalle styreenille on vältettävissä erilaisin eristys-, ilmanvaihto- tai työnajoitusratkaisuin.

#### ALLERGEENIT TYÖHYGIEENISENÄ ONGELMANA

Tärkein toimenpide vaaran arvioinnissa on allergisoivien kemikaalien tunnistus käytettävistä tuotteista ja ilman epäpuhtauksista

- R-lauseet R42, R43
- ammattitautitapausten perusteella
- tietyt tuoteryhmät sisältävät usein allergeeneja (esim. epoksit, akrylaatit, uretaanit)

Altistuminen voi olla merkittävä, vaikka ilmapitoisuudet ovat pienet ja altistumisaika lyhyt

Ilmapitoisuusmittaukset kuvaavat yleisesti terveysriskiä huonosti

Riskinhallinnassa "aineen" korvaaminen paras vaihtoehto

- automaatio ja suljettu järjestelmä
- ilmastointi / kohdeilmastointi
- työtavat, töiden sijoitus työtilassa
- työn ajoitus
- henkilösuojaimet
- henkilökohtainen hygienia
- siisteys ja järjestys työpaikalla

Lisätietoa:

1. Muovit ja lämpöhajoaminen, kirjassa Kemikaalit ja työ.

<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+kemikaalitieto a/Kemikaalit+ja+tyo/sisallysluettelo.htm>

## 5 PAINETTUJA LÄHTEITÄ JA LISÄTIETOA

### Johdanto

1. ACGIH: Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices 2007. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Cincinnati Ohio 2007. 206 s.
2. Pääkkönen, R. ja Rantanen, S.: Työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten riskien arviointi ja hallinta. Työterveyslaitos 1999, 100 s.
3. Rantanen J (toim): Suomalaiset työssä: I Työympäristö ja sen vaikutukset terveyteen. Työ ja ihminen 2(1993).
4. Riskien arviointi työssä. EU-opas. Työhallinto, Tampere 1996.
5. Toivonen H, Rytömaa T, Paile W: Säteily, ihminen ja terveys. Valtion painatuskeskus. Säteilyturvakeskus. Valtion painatuskeskus. Helsinki 1987.
6. WHO: Occupational Hygiene in Europe. European Occupational Health Series No. 3. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 1992. 52 s.

### Kemialliset tekijät

1. Aitio A, Kallio A, Kiilunen M ym. (toim.): Kemiallisen altistumisen biomonitorointi. Näytteenotto-ohjeet. Työterveyslaitos, Helsinki 2001.
2. Aitio A, Luotamo M, Kiilunen M (toim.): Kemikaalialtistuminen. Biomonitorointi. Työterveyslaitos, Helsinki 1995.
3. Erityisäitiysloma. Ohjeet vaaran arvioimisesta erityisäitiysloman tarvetta harkittaessa ja siihen liittyvät säädökset. Lait ja asetukset 9. Työterveyslaitos, Helsinki 1991.
4. HTP-arvot 2007.
5. Starck J, Kalliokoski P, Kangas J, Pääkkönen R, Rantanen S & Riihimäki V: Työhygieniä. Työterveyslaitos, Helsinki 2008.
6. Työ ja terveys Suomessa v. 2006. Työterveyslaitos, Helsinki 2006.
7. Pääkkönen R, Rantanen S: Työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten riskien arviointi ja hallinta. 3. uudistettu painos. Työterveyslaitos, Helsinki 2003.
8. Pääkkönen R, Rantanen S, Uitti J: Työn terveysvaarojen tunnistaminen. 3. korjattu painos. Työterveyslaitos, Helsinki 2006.
9. Ahonen I, Pääkkönen R, Rantanen S: Työhygieeniset mittaukset. Työterveyslaitos, Helsinki 2007.
10. Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. Valmisteluryhmä Vainio H, Liesivuori J, Lehtola M. Työterveyslaitos, Helsinki 2005.

### Melu

1. Berglung, B. & Lindvall, T. (eds): Community noise. Document prepared for the World Health Organization. Stockholm: Center of Sensory Research. Jannes snabbtryck 1998, 180 p + appendix.
2. COM(96)540: The green paper on future noise policy. Bruxelles: European Commission November, 1996, 32 p.
3. EEC (European Economic Community): Council directive of 12 May 1986 on the protection of workers from the risks related to exposure to noise at work. EEC Council directive 86/88/EEC, Brussels 1986.
4. EEC (European Economic Community): Council directive of 14 June 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery. EEC Council directive 89/392/EEC amended by council directive 91/368/EEC, 93/44/EEC and 93/68/EEC. Brussels 1989.
5. ISO (International Organization for Standardization): Handbook of acoustical standards, Geneva 1995, >1000 p.

6. Pääkkönen, R.: Effects of cup, cushion, band force, foam lining and various design parameters on the attenuation of ear muffs. *Noise Control Eng. J.* 1992; 38(2), 59-65.
7. Pääkkönen, R.: Low-frequency impulse noise and its attenuation by hearing protectors and other technical means. Doctoral dissertation. Publications 117. Tampere Finland: Tampere University of Technology. 1993, 135 p.
8. WHO (World Health Organization): Noise. Environmental health criteria 12., Geneva 1980, 103 p.
9. Beranek, L.L., Noise and Vibration Control, McGraw-Hill Book Company, New York 1971.
10. Sharland, I.: Woods practical guide to noise control. Woods acoustics, a division of woods of Colchester Limited 1972, 1973.

#### Tärinä

1. Standardi ISO 2631/1: Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements 1999.
2. Guide for the measurement and assessment of human exposure to hand transmitted vibration. Standardiehdotus ISO 5349. 2001.

#### Säteilyt

1. Safety of laser products. Part 1: Equipment, classification and user´s guide. IEC-60825-1. Edition 1.2. IEC 2001-8.
2. Radioaktiivisuuden ja ionisoivan säteilyn suureet ja yksiköt. Standardi SFS 4670. Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki 1983.
3. VNp laserlaitteista ja niiden tarkastuksesta (472/85).
4. VNp suurtaajuuslaitteista ja niiden tarkastuksesta (473/85). 17. Gabrielsson, J.: Rakennusten lämpöaloustutkimus, sisäilmasto. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden rahasto. Sarja B, n:o 19. Helsinki 1975.
5. Valaistustekniikan käsikirjat I, II ja III. Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry. Sähköliikkeiden Palvelu ja Kustannus Oy. Helsinki 1977-1985.
6. Pääkkönen, R. ja Kyttälä, I.: Säteilystä ja sähkömagneettiset kentät työympäristössä. Työterveyslaitos, Helsinki, 2000. 71 s.

#### Lämpöolot

1. Hassi, J., Mäkinen, T., Holmér, I., ym.: Opas kylmätyöhön. Työterveyslaitos, Arbetstlivsinstitutet, Thelma as. Oulu 2002. 111 s.
2. Anttonen, H., Hyytiäinen, J., Norola, S., ym.: Metsuri ja kylmä. Työterveyslaitos. Metsähallitus, Helsinki 1995. 40 s.
3. Standard estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index 1982, ISO 7243 Hot environments
4. Hot environments — Analytical determination of thermal stress. Standardi ISO 7933. 1985.
5. Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index 1982. Standardi ISO 7243.
6. McIntyre, D.A.: Indoor climate. Applied Science Publishers LTD. London 1980. 443 s.
7. Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort 1984. Standardi ISO 7730.
8. Työpaikkojen ilmastointi. Työsuojeluhallituksen turvallisuustiedote 14/1985, Tampere. Työsuojeluhallitus, Valtion painatuskeskus.

## Ilmastointi

- 1 Socha, G.E.: Local exhaust ventilation principles AIHA Journal 40 1979, 1-10.
- 2 Rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö, Helsinki 2003.
- 3 Goodfellow, H. & Tähti, E.: Industrial Ventilation. Design Guidebook. Academic Press. London 2001. 1519 s.
- 4 SFS 5512. Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaaminen ilmastointilaitoksissa. Air conditioning. Measurements of air flows and pressure conditions in air conditioning systems. 1989.
- 5 SFS 5511. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. Air conditioning. Indoor climate in buildings. Field measurements of thermal parameters. 1989.
- 6 SFS 5517. Ilmastointi. Ilmastointijärjestelmän vastaanottomittaukset. Äänimittaukset. Air conditioning. Commissioning of air conditioning system. Noise measurements 1989.
- 7 SFS 5768. Ilmastointijärjestelmien säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset. Controls for air conditioning systems, function requirements. 1993.
- 8 SFS 338. Maalaus ja maalin kuivaus. Tilat, käyttö, huolto ja sammutuskalusto. Paint application, coating and drying operations using flammable liquids. Locations, operation, maintenance and fire fighting equipment. 1993.
- 9 SFS 3860. Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatinmenetelmällä. Measurement of dust concentration in workplace air with filter method. 1993.
- 10 SFS 3861. Työpaikan liuotinhöyrypitoisuuden määrittäminen hiiliputkimenetelmällä. Measurement of organic vapours in workplace air with charcoal tube method. 1978.
- 11 SFS-EN 689. Työpaikan ilma. Ohje hengitysteitse tapahtuvan kemiallisille tekijöille altistumisen arvioimiseksi raja-arvojen avulla sekä ohje mittausstrategiaksi. Workplace atmospheres. Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy. 1995.
- 12 SFS-EN 481. Workplace atmospheres. Size fraction definitions for measurement of airborne particles. 1993.
- 13 Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E7. 1980.
- 14 Halme, Alpo & Seppänen, Olli. Ilmastoinnin äänitekniikka. Suomen LVI-liitto. 2002
- 15 Talotekniikka RYL 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002. Osat 1 ja 2, Rakennustieto oy, 2003
- 16 Teollisuusilmastoinnin opas. Suomen talotekniikan kehityskeskus oy. 2000
- 17 Sisäilmastoluokitus 2000. Sisäilmayhdistys. 2001
- 18 Sisäilmaohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1. STM. 1997.