



## Terästen hitsaussavun/huurun tavoitetasoperustelumuistio

---

**Työterveyslaitos**

Topeliuksenkatu 41 a A, 00250 Helsinki  
puh. 030 4741, faksi 030 474 2779

## Sisällysluettelo

1 Hitsausprosessit ja niissä syntyvät hitsaussavut/huurut.....	3
1.1 Yleisimmät hitsausprosessit.....	3
1.2 Hitsaussavujen/huurujen muodostuminen ja koostumus.....	4
2 Altistuminen .....	5
2.1 Altistumistasot suomalaisilla työpaikoilla .....	5
2.2 Muut altistumistutkimukset työympäristössä .....	8
3 Altistumisen hallintakeinot .....	9
4 Terveysvaikutukset .....	11
4.1 Kulkeutuminen elimistöön, aineenvaihdunta ja poistuminen elimistöstä .....	11
4.2 Eläinkokeiden havainnot .....	11
4.3 Havainnot ihmisillä.....	12
5 Ehdotus terästen hitsaussavujen/huurujen tavoitetasoksi .....	14
6 Kirjallisuus.....	14

## YHTEENVETO

### Ehdotetut tavoitetasot ilmapitoisuuksille sekä suositeltavat mittausmenetelmät:

Hitsattava materiaali	HTP-taso*	Tavoitetaso*	Määrittymenetelmä
Ruostumaton teräs ja muut seostetut teräkset	Hitsaushuuru: ei HTP-arvoa (Hollanti: 1 mg/m <sup>3</sup> /8h**)	Hitsaushuuru 0,1 mg/m <sup>3</sup> /8h	Gravimetria (IOM)
	Kromi(VI) 5 µg Cr/m <sup>3</sup> /8h	Kromi(VI) 0,5 µg Cr/m <sup>3</sup> /8h	ICP-MS
	Nikkeliyhdisteet 50 µg Ni/m <sup>3</sup> /8h	Nikkeliyhdisteet 2 µg Ni/m <sup>3</sup> /8h	ICP-MS
Seostamattomat teräkset	Hitsaushuuru: ei HTP-arvoa (Hollanti: 1 mg/m <sup>3</sup> /8h**)	Hitsaushuuru 0,1 mg/m <sup>3</sup> /8h	Gravimetria (IOM)
	Mangaani, alveolijae 0,02 mg Mn/m <sup>3</sup> /8h	Mangaani, alveolijae 0,01 mg Mn/m <sup>3</sup> /8h	ICP-MS

\* Hengittyvä jae (ellei muuta mainittu).

\*\* Hollannin työhygieeninen raja-arvo.

## 1 Hitsausprosessit ja niissä syntyvät hitsaussavut/huurut

### 1.1 Yleisimmät hitsausprosessit

Yleisimmin käytetyt hitsausprosessit ovat kaarihitsausprosesseja, jossa hitsaukseen tarvittava lämpö synnytetään valokaaren avulla:

- MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus (metal inert/active gas welding, MIG/MAG, gas metal arc welding, GMAW)
- MAG-täytelankahitsaus (flux cored arc welding, FCAW)
- TIG-hitsaus (tungsten inert gas welding, TIG, gas tungsten arc welding, GTAW)
- plasmahitsaus (plasma arc welding, PAW)
- puikkohitsaus (manual metal arc welding, MMA, MMAW)
- jauhekaarihitsaus (submerged arc welding, SAW)

MIG/MAG-hitsaus on yleisimmin käytetty hitsausprosessi. Siinä valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista hapettavaa kaasuseosta, yleensä argonin ja hiilidioksidin tai argonin ja hapen seosta. MIG-hitsauksessa suojakaasuna on inertti jalokaasu, argon ja/tai helium. Terästen hitsaus on pääsääntöisesti MAG-hitsausta, ei-rautametallien hitsaus MIG-hitsausta (Lukkari 2006a). MAG-täytelankahitsauksessa hitsauslangan jauhemaisella täytteellä on samanlaisia tehtäviä kuin hitsauspuikon päällysteellä puikkohitsauksessa. Täytelankahitsausta voidaan tehdä myös ilman suojakaasua.

TIG-hitsauksessa valokaari palaa sulamattoman volfrاميةlektrodin ja työkappaleen välillä inertin suojakaasun ympäröimänä. TIG-hitsausta käytetään pääasiassa pienissä korjaushitsauksissa sekä erityistä tarkkuutta vaativissa kohteissa. Plasmahitsauksessa käytetään suojakaasun lisäksi erittäin kuumaa plasmakaasua.

Puikkohitsauksessa valokaari palaa hitsauspuikon pään ja työkappaleen välillä. Suojakaasua ei käytetä, vaan puikon päällysteestä syntyvät kaasut ja kuona suojaavat hitsaustapahtumaa. Jauhekaarihitsaus on lähes poikkeuksetta koneellinen prosessi. Siinä valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä suojaavan hitsausjauheen alla.

Kaarihitsausprosesseja selvästi vähäisemmässä käytössä on kaasuhitsaus, jossa tarvittava lämpö tuotetaan kaasuliekillä. Lisäksi käytössä on erityishitsausprosesseja kuten kitka-, räjähdys- ja diffuusionhitsaus.

Tämä muistio koskee *ruostumattoman teräksen* ja muiden *seostettujen terästen* ( $Cr \leq 30 \%$ ;  $Ni \leq 30 \%$ ;  $Mo \leq 7 \%$ ;  $Mn \leq 2 \%$ ) sekä *seostamattomien terästen* hitsausta kaarihitsausprosesseilla. Muistio ei koske kovametallien (esim. volframikarbidi-koboltti-komposiitti) hitsausta.

## 1.2 Hitsaussavujen/huurujen muodostuminen ja koostumus

Kaikissa hitsausprosesseissa muodostuu hitsaussavua, joka on metallihuurujen ja kaasujen seos. Hitsaussavun määrä ja koostumus riippuvat käytettävästä hitsausprosessista, hitsausparametreista (hitsausvirta ja kaarijännite), hitsattavasta materiaalista, käytettävistä lisäaineista (mm. hitsauspuikot ja -langat) ja suojakaasuista (Lukkari 2006a).

Hitsaushuuruista valtaosa on peräisin hitsauslisäaineista. Huurut koostuvat pääasiassa erittäin pienistä metallioksidihiuksista (0,01-0,5 µm), jotka syntyvät valokaarena höyrystyvien metallien hapettuessa ja kondensoitua valokaaren ulkopuolella (Vainio ym. 2005). Lisäksi metalli- ja kuonaroiskeiden jähmettyessä muodostuu hiukkasia, jotka ovat halkaisijaltaan yli 1 µm. Valtaosa huurujen hiukkasista on kuitenkin kooltaan < 1 µm.

Puikkohitsauksessa ja MAG-täytelankahitsauksessa huuruja muodostuu enemmän kuin MIG/MAG-hitsauksessa. TIG-, plasma- ja jauhekaarihitsauksessa huurujen muodostuminen on vähäistä (Lukkari 2006a). Huurujen koostumus riippuu pääasiassa hitsauslisäaineen koostumuksesta. Alhaisen kiehumispisteen metallien, kuten mangaanin, suhteellinen pitoisuus huuruissa on kuitenkin korkeampi kuin aineen suhteellinen pitoisuus lisäaineessa ja korkean kiehumispisteen metallien, kuten nikkelin, vastaavasti alhaisempi (IARC 1990).

Ruostumattoman teräksen MIG/MAG-hitsauksessa huurujen kokonaiskromipitoisuus on tyypillisesti noin 10-13 %, kromi(VI):n pitoisuus 1-2 % nikkelpitoisuus 4-6 % ja mangaanipitoisuus 8-11% (IARC 1990; Lukkari 2006a). Ruostumattoman teräksen puikkohitsauksessa kokonaiskromin osuus on 5-10 %, kromi(VI):n 2-6%, nikkelin 0,5-2 % ja mangaanin 2-8 %. Puikkohitsauksessa huurujen kromista suuri osa (yli 50 %) on kuusiarvoista, koska puikonpäällysteen alkalimetallit suosivat kuusiarvoisen kromin muodostumista. Ruostumattoman teräksen MAG-täytelankahitsauksessa kokonaiskromin osuus on 8-12 %, kromi(VI):n 0,3-2 %, nikkelin 1,5-2,5 % ja mangaanin 5-8 % (Lukkari 2006a).

Seostamattomien terästen hitsaushuurujen terveyden kannalta keskeisin komponentti on mangaani, jonka osuus huuruista on hitsausprosessista ja lisäaineesta riippuen tyypillisesti noin 2-18 % (Lukkari 2006a).

Hitsaussavujen sisältämät kaasut muodostuvat pääasiassa valokaaren synnyttämän korkean lämpötilan ja säteilyn vaikutuksesta. Otsonia muodostuu MIG-, MAG-, TIG- ja plasmahitsauksessa (Lukkari 2006a). Hetkelliset pitoisuudet valokaaren välittömässä läheisyydessä voivat olla korkeita, mutta pitoisuus pienenee nopeasti etäisyyden kasvaessa. Typenoksideita muodostuu ilman typen ja hapen reagoidessa korkeassa lämpötilassa. Hiilimonoksidia voi muodostua suojakaasun hiilidioksidista (MAG-hitsaus) tai työkalun pinnoitteiden epätäydellisessä palamisessa. Maalattuja tai pinnoitettuja kappaleita hitsattaessa voi lisäksi muodostua haitallisia orgaanisia lämpöhajoamistuotteita kuten isosyanaatteja (Engström ym. 2007).

## 2 Altistuminen

### 2.1 Altistumistasot suomalaisilla työpaikoilla

Työntekijöiden keskimääräiset altistumistasot hitsaushuuruille hitsaustyössä Työterveyslaitoksen vuosina 1994 - 2007 tekemien palvelumittausten perusteella on esitetty taulukossa 1 (Heikkilä ja Saalo 2005; Saalo ym. 2010). Tuloksiin sisältyvät ruostumattoman teräksen hitsaushuurut ja ne metallien hitsaushuurut, joita ei ole tarkemmin määritelty. Vuonna 2009 Työterveyslaitoksella mitatut virtsan kromi- ja nikkelpitoisuuden keskiarvot seostetun teräksen hitsaajilla olivat 0,01  $\mu\text{mol Cr/l}$  (n=605) ja 0,03  $\mu\text{mol Ni/l}$  (n=238) (Työterveyslaitos 2011).

**Taulukko 1.** Hitsaushuurujen pitoisuudet Työterveyslaitoksen palvelumittauksissa vuosina 1994 - 2007 (hengitysvyöhykkeen ja kiinteän pisteen näytteenkeräys) (Heikkilä ja Saalo 2005; Saalo ym. 2010).

	Hitsaushuurut, keskiarvo ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Hitsaushuurut, mediaani ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Näytteiden määrä
1994 - 1998	5,3	1,7	276
1999 - 2003	5,8	3,4	28
2004 - 2007	2,4	0,7	54

Työterveyslaitoksella vuonna 1999 tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin hitsaajien (n = 36) altistumista metallihuuruille viidellä työpaikalla (Kiilunen ym. 1999). Tutkimuksen tuloksia on koottu taulukoon 2. Korkeimmat kromi- ja nikkelpitoisuudet hitsaajien hengitysvyöhykkeellä mitattiin liitettäessä seostamatonta terästä ruostumattomaan teräkseen MIG-hitsauksella.

Työterveyslaitoksen 1990-luvulla keräämissä seostetun teräksen hitsaajien hengitysvyöhykenäytteissä (n=19) huurupitoisuuden keskiarvo oli 2,9 (0,63 - 6,0)  $\text{mg}/\text{m}^3$ , kokonaiskromipitoisuus 79 (22 - 265)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kromi(VI)-pitoisuus 12 (1,1 - 34)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja nikkelpitoisuus 50 (15 - 170)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (julkaisematonta dataa). Kromi(VI):n osuus kokonaishuurusta oli 0,4 (0,03 - 1,1) % ja nikkelin osuus 1,8 (0,6 - 3,9) %.

**Taulukko 2.** Hitsaajien hengitysvyöhykkeeltä mitattuja metallipitoisuuksia (vaihteluväli ja keskiarvo) (nd = ei dataa) (Kiilunen ym. 1999).

Menetelmä	Materiaali	Huurut (mg/m <sup>3</sup> )	Kokonaiskromi (µg/m <sup>3</sup> )	Liukoinen kromi(VI) (µg/m <sup>3</sup> )	Nikkeli (µg/m <sup>3</sup> )
MAG-täytelanka, suojaimen ulkopuolella (11)	Ruostumaton teräs	1,6-3,5 (2,2)	28 - 114 (62)	nd	18-56 (38)
MAG-täytelanka, suojaimen sisäpuolella (11)	Ruostumaton teräs	0,32-6,2 (2,0)	4,9-194 (53)	<0,1-7,0	4,9-63 (28)
MIG, suojaimen ulkopuolella (5)	Ruostumaton teräs + seostamaton teräs	2,8-6,0 (4,2)	51-265 (149)	nd	33-170 (104)
MIG, suojaimen sisäpuolella (5)	Ruostumaton teräs + seostamaton teräs	1,5-7,0 (3,5)	37 - 188 (113)	0,3-3,7	21 - 188 (80)
MIG, suojaimen sisäpuolella (5)	Nikkelirikas erikoisteräs	nd	2,4-48	<0,1-15	2,4-36
Plasma, suojaimen sisäpuolella (4)	Haponkestävä teräs	nd	0,5-6,5	<0,1-0,8	0,3-6,2
Plasma, suojaimen sisäpuolella (1)	Ruostumaton teräs	nd	0,5	nd	0,5

Verrattaessa ruostumatonta terästä säiliön sisällä hitsanneita hitsareita, jotka käyttivät samanlaisia suojaimia raitisilmapuhalluksella ja ilman (n = 4/ryhmä), mitattiin suojaimen sisältä ilman raitisilmapuhallusta korkeampia huuru- ja metallipitoisuuksia kuin suojaimen ulkopuolelta (Taulukko 3) (Kiilunen ym. 1999). Puhalluksella varustetun suojaimen sisäpuolella huurupitoisuus oli 0,3 - 2,0 mg/m<sup>3</sup>, kun pitoisuus suojaimen ulkopuolella oli 1,7 - 3,5 mg/m<sup>3</sup>. Ilman puhallusta varustetulla suojaimella vastaavat pitoisuudet olivat 2,0 - 6,2 mg/m<sup>3</sup> ja 1,3 - 3,2 mg/m<sup>3</sup>.

**Taulukko 3.** Hengityksensuojaimen vaikutus altistumistasoon (Kiilunen ym. 1999).

Suojain	Huuru suojaimen sisäpuolella/ ulkopuolella	Cr(tot) suojaimen sisäpuolella/ ulkopuolella	Cr(VI) suojaimen sisäpuolella/ ulkopuolella	Ni suojaimen sisäpuolella/ ulkopuolella
Ilman puhallusta	243 %	147 %	158 %	221 %
Puhalluksella	10 %	12 %	30 %	21 %

Tutkimuksessa, jossa selvitettiin telakalla työskentelevien hitsaajien (n = 10) altistumista mangaanille seostamattoman teräksen hitsauksessa, hengitysvyöhykkeeltä hitsausmaskin takaa mitatut mangaanipitoisuudet työpäivän aikana olivat 0,05 - 1,5 mg/m<sup>3</sup> (Järvisalo ym. 1992). Työterveyslaitoksella vuosina 2007–2011 tehdyissä palvelumittauksissa mangaanipitoisuuden keskiarvo hitsaajien hengitysvyöhykenäytteissä oli 0,14 mg/m<sup>3</sup> (n=5) ja kiinteistä mittauspisteistä

kerätyissä näytteissä 0,06 mg/m<sup>3</sup> (n=13) (Työterveyslaitos 2011). Mangaanin osuus kokonaishuurusta oli hengitysvyöhykenäytteissä 1,6 % ja kiinteiden pisteiden näytteissä 6,8 %.

Kiilusen ym. 1999 tutkimuksessa selvitettiin myös suoraan osoittavilla mittareilla altistumista hitsaussavujen kaasumaisille komponenteille. Hiilimonoksidi- ja typenoksidipitoisuudet olivat korkeimmillaan 25 ppm (CO) ja 3 ppm (NO<sub>2</sub>). Otsonin keskipitoisuus hitsaajan hengitysvyöhykkeellä oli 0,1 - 0,3 ppm, mutta pitoisuuden ajallinen vaihtelu oli voimakasta. Suurimmat pitoisuudet mitattiin lähellä valokaarta ja pitoisuus laski nopeasti etäisyyden kasvaessa. Otsonia ei havaittu enää 30 - 50 cm päässä valokaaresta. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty hitsaustyössä mitattuja tyypillisiä altistumistasoja typenoksideille ja otsonille (Vainio ym. 2005).

**Taulukko 4.** Tyypillisiä altistumistasoja typenoksideille hitsaustyössä (Vainio ym. 2005).

Menetelmä	Typpimonoksidi (NO) (ppm)	Typpidioksidi (NO <sub>2</sub> ) (ppm)
Puikkohitsaus	0,2 - 4	<0,01 - 0,4
Täytelankahitsaus	0,03 - 0,3	<0,01
MAG-hitsaus	0,01 - 5	<0,01 - 0,6
TIG-hitsaus	<0,01 - 5	<0,01 - 2

**Taulukko 5.** Hitsausmaskin sisäpuolelta mitattuja otsonipitoisuuksia (Vainio ym. 2005).

Menetelmä	Materiaali	Otsoni, lyhytaikainen, keskiarvo (ppm)	Otsoni, lyhytaikainen, vaihteluväli (ppm)	Mittausten lukumäärä
MAG- täytelanka	Ruostumaton teräs	0,02	0,02-0,03	3
MAG- täytelanka	Seostamaton teräs	0,1	0,07-0,2	8
MAG	Ruostumaton teräs	0,2	0,003-0,8	51
MAG	Seostamaton teräs	0,04	0,001-0,2	42
MIG	Alumiini	0,1	0,007-0,3	15
TIG	Ruostumaton teräs	0,02	0,001-0,1	30
TIG	Alumiini	0,01	0,009-0,01	4



## 2.2 Muut altistumistutkimukset työympäristössä

Brittiläinen konsulttiyritys TWI on julkaissut verkossa tietokannan, joka sisältää noin 5000 Britanniaassa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa vuosina 1973–2003 tehdyn hitsaushuromittauksen tulokset taustatietoineen (TWI 2011). Taulukossa 6 on esitetty tietokannasta kootut tulokset ruostumattoman ja seostamattoman teräksen puikko- ja MIG/MAG-hitsauksessa kerätyille hengitysvyöhykenäytteille vuosina 1990–2003. Britannian työterveysviranomaisen mittaustuloksia ruostumattoman teräksen hitsauksessa vuosilta 2000–2010 on esitetty taulukoissa 7a ja 7b (HSE 2010).

Hobson ym. (2011) kokosi hitsaushuuron ja mangaanin pitoisuustasot 27 julkaistussa tutkimusartikkelissa. Hitsaushuorujen keskipitoisuuksien keskiarvo oli vuosina 1990–1999 julkaistuissa tutkimuksissa 2,9 mg/m<sup>3</sup> (keskiarvojen vaihteluväli 0,63–5,8 mg/m<sup>3</sup>) ja mangaanin 0,30 mg/m<sup>3</sup> (0,01–0,67 mg/m<sup>3</sup>). Vuosina 2000–2009 julkaistujen huurupitoisuuksien keskiarvo oli 5,0 mg/m<sup>3</sup> (0,16–9,3 mg/m<sup>3</sup>) ja mangaanin 0,17 mg/m<sup>3</sup> (0,01–0,64 mg/m<sup>3</sup>). Tulosten tarkemmassa analyysissä mangaanipitoisuuden todettiin odotetusti riippuvan ilmanvaihdosta (ei lainkaan > yleisilmanvaihto > kohdepoisto), mutta huurujen osalta vastaavaa trendiä ei havaittu. Tämän oletettiin johtuvan muiden työskentelytilassa olevien huurujen/pölyjen sekoittavasta vaikutuksesta.

**Taulukko 6.** Britanniaassa, USA:ssa ja Kanadassa vuosina 1990–2003 mitattuja altistumistasoja hitsaushuuruille ja huurujen sisältäville metalleille (hengitysvyöhykenäyte). Sarakkeet: mittaustulosten vaihteluväli (suluissa mittausten lukumäärä), keskiarvo ja mediaani (ka / md) (nd = ei dataa).

	Huurut (mg/m <sup>3</sup> )	Huurut, ka / md (mg/m <sup>3</sup> )	Mn (mg/m <sup>3</sup> )	Mn, ka / md (mg/m <sup>3</sup> )	Cr(tot) (mg/m <sup>3</sup> )	Cr(tot), ka / md (mg/m <sup>3</sup> )	Cr(VI) (mg/m <sup>3</sup> )	Cr(VI), ka / md (mg/m <sup>3</sup> )	Ni (mg/m <sup>3</sup> )	Ni, ka / md (mg/m <sup>3</sup> )
MMA, seostamaton teräs	0,5-7,9 (70)	2,5 / 2,1	0,01- 0,07 (8)	0,03 / 0,03	0,00003- 0,001 (62)	0,0004 / 0,0004	nd	nd	<0,004 (62)	0,0004 / 0,0002
MMA, ruostumaton teräs	0,08-1,8 (17)	0,64 / 0,52	nd	nd	0,0002- 0,034 (4)	0,012 / 0,008	<0,0001- 0,04 (11)	0,011 / 0,006	nd	nd
MIG/MAG, seostamaton teräs	0,2-23 (59)	5,3 / 3,9	0,006- 1,1 (54)	0,24 / 0,17	0,002- 0,04 (10)	0,007 / 0,003	nd	nd	0,002- 0,009 (25)	0,004 / 0,003
MIG/MAG, ruostumaton teräs	0,05-2,6 (16)	1,1 / 1,0	0,004 (1)	nd	0,001 (1)	nd	0,0007 (1)	nd	nd	nd

**Taulukko 7a.** Britannian työterveysviranomaisen mittaustuloksia ruostumattoman teräksen hitsauksessa (hengitysvyöhykenäyte) vuosilta 2000–2010 (HSE 2010).

	Huurut (mg/m <sup>3</sup> )/8h	Cr(tot) (mg/m <sup>3</sup> )/8h	Cr(VI) (mg/m <sup>3</sup> )/8h	Ni (mg/m <sup>3</sup> )/8h
MMA (n=10)	-	≤0,62	≤0,42	-
MIG (n=9)	0,83-15	≤0,01-1,3	≤0,04	0,01-0,56
TIG (n=16)	0,09-6,3	≤0,04	-	≤0,01
Yhdistelmämenetelmät (n=11)	1,5-9,4	0,01-0,71	≤0,05	≤1,2

**Taulukko 7b.** Mitatut altistumistasot (geometrinen keskiarvo) ruostumattoman teräksen hitsauksessa (hengitysvyöhykenäyte) Britanniassa vuonna 2010 tehdyssä selvityksessä (HSE 2010).

	Huurut (mg/m <sup>3</sup> )	Cr(tot) (mg/m <sup>3</sup> )	Cr(VI) (mg/m <sup>3</sup> )	Ni (mg/m <sup>3</sup> )
MAG-täytelanka (n=9)	2,85	0,054	0,0067	0,015
MIG (n=23)	1,95	0,068	0,0002	0,028
TIG (n=12)	1,24	0,024	0,0012	0,014

### 3 Altistumisen hallintakeinot

Tärkeimpiä altistumisen hallintakeinoja hitsauksessa ovat:

- Automatisointi ja kotelointi
- Vähäpäästöisemmän hitsausprosessin valinta (esim. puikkohitsauksen korvaaminen MIG/MAG-hitsauksella)
- Kohdepoisto JA hyvä yleisilmanvaihto
- Työasento, jossa hitsaussavu ei nouse suoraan kasvoille (esim. kappaleenkäsittelylaitteet, joilla työkappaleen asentoa hitsaajaan nähden voidaan säätää)
- Puhallinsuojaimen käyttö on suositeltavaa

Tehokas kohdepoisto on usein ensisijainen keino altistumisen hallinnassa. Kiinteissä hitsaustyöpisteissä kohdepoiston toteuttamiseen voidaan käyttää esimerkiksi imupöytiä ja -seiniä, vetokaappeja, huuvia, hitsauskiinnittimeen liitettyjä poistoja tai liikuteltavia imuletkuja (Lukkari 2006a; Työterveyslaitos 2008). Oleellista on tuoda poisto mahdollisimman lähelle valokaarta, vähintään noin 30 cm etäisyydelle. Kohdepoiston virtausnopeuden kanavassa tulisi olla vähintään 5 - 10 m/s (Työterveyslaitos 2009). Lisäksi yleisilmanvaihdolla tulisi taata työpisteen ilman vaihtuminen 5 - 10 krt/h.

Liikkuvassa työssä voidaan käyttää liikuteltavalla imuletkulla varustettuja kannettavia/liikuteltavia kohdepoistolaitteita. MIG/MAG-hitsauksessa ja MAG-täytelankahitsauksessa voidaan käyttää myös hitsauspistoolia, johon on kiinteästi liitetty kohdeimu (Lukkari 2006b). Kohdeimulla varustetun hitsauspistoolin etuna on imun sijainti päästölähteen välittömässä läheisyydessä, mikä mahdollistaa tehokkaan poiston ja energiansäästön, koska virtausnopeudet voidaan pitää pieninä.

Valaistuksen tulee olla hyvä ja hitsausmaskin puhdas, jotta hitsaajan ei tarvitse huonon näkyvyyden vuoksi kumartua lähelle valokaarta.

Maaleista/pinnoitteista muodostuvien lämpöhajoamistuotteiden osalta altistumista voidaan vähentää:

- Tekemällä pinnoitustyöt hitsauksen jälkeen
- Jättämällä hitsattava kohta pinnoittamatta
- Poistamalla pinnoite mekaanisesti ennen hitsausta

Maalattujen/pinnoitettujen kappaleiden hitsaamista tulee mahdollisuuksien mukaan välttää. Mikäli pinnoitetta ei voida poistaa ennen hitsausta, tulee käyttää hengityksensuojainta, joissa on hiukkassuodattimen lisäksi kaasunsuodatin (A).

Tuoreessa ruotsalaistutkimuksessa todettiin hitsaushuurualtistumisen hallintatoimien toimivan työpaikoilla odotettua huonommin (Christensson ym. 2010). Syynä olivat mm. liian pienet ilmavirrat kohdepoistoissa, muut sekoittavat ilmavirrat työpisteissä ja väärin sijoitetut kohdepoistot. Tutkimus päätyi suosittelemaan hitsauspistooliin liitettyä poistoimua tai, jos tällaista ei ole käytettävissä, korkeintaan 30 cm epäpuhauslähteen yläpuolelle sijoitettua kohdepoistoa. Hitsauspistooliin liitetyn kohdeimun on suomalaisella konepajalla tehdyssä tutkimuksessa todettu vähentävän työpaikan taustailman huurupitoisuutta jopa 80 % (Koskinen ym. 2006). Merkittävimmin työntekijöiden altistumista vähensi puhallinsuojaimen käyttö.

Hengityksensuojainta ei tule riisua heti valokaaren sammuttua, vaan vasta hitsaussavun hälvettyä. Suljetussa tilassa, esimerkiksi säiliössä, hitsattaessa suojain tulee riisua vasta tilasta poistumisen jälkeen.

## 4 Terveysvaikutukset

### 4.1 Kulkeutuminen elimistöön, aineenvaihdunta ja poistuminen elimistöstä

Pienen kokonsa vuoksi hitsaushuuruhiukkaset pidättyvät pääasiassa keuhkojen alveolialueelle (Yu ym. 2000). Hiukkaset kostuvat suurelta osin niukkaliukoisista metallioksideista, joiden imeytyminen hengitysteistä on vähäistä. Niukkaliukoiset hiukkaset poistuvat alveoleista pääasiassa syöjäsolujen kuljettamina keuhkojen ylempiin osiin ja edelleen ruuansulatuskanavaan (US EPA 1996). Hiukkaset saattavat myös kulkeutua alveolin epiteelin läpi ja päätyä imusuonistoon ja/tai verenkiertoon.

Hiukkasten sisältämät liukoiset metalliyhdisteet voivat imeytyä suoraan hengitysteistä verenkiertoon. Metalliyhdisteiden imeytyminen ruuansulatuskanavasta riippuu niiden liukoisuudesta. Ravintoaineet voivat vaikuttaa metallien imeytymiseen. Elimistöön imeytyneet metallit poistuvat pääasiassa munuaisten kautta erittymällä virtsaan (Sjögren ja Ulfvarson 1990).

### 4.2 Eläinkokeiden havainnot

Kokeessa, jossa rottia kerta-altistettiin ruostumattoman teräksen puikkohitsauksen hitsaussavuille ( $62 \text{ mg/m}^3/4\text{h}$ ) alveolialueen syöjäsolujen aktivoituminen oli ainoa eläinten keuhkoissa havaittu vaikutus kahden viikon tarkkailuaikana (Yu ym. 2000). Alveolialue oli puhdistunut hiukkasista viikon kuluttua altistumisesta. Kun rottia altistettiin vastaavalle savulle kaksi tuntia päivässä 90 päivän ajan ( $57\text{--}67 \text{ mg/m}^3$  ja  $105\text{--}118 \text{ mg/m}^3$ ), korkeammalle pitoisuudelle altistuneilla eläimillä havaittiin fibroottisia muutoksia, joiden tulkittiin liittyvän hiukkasten kertymiseen ja keuhkojen heikentyneeseen puhdistumiskykyyn (nk. *particle overload*) (Yu ym. 2001). Alhaisemmalla annostasolla vastaavia muutoksia ei havaittu.

NIOSH:n tuoreessa tutkimuksessa kahta hiirilajia altistettiin ruostumattoman teräksen MAG-hitsauksen hitsaushuuruille ( $40 \text{ mg/m}^3$ ) kolme tuntia päivässä 10 päivän ajan (Zeidler-Erdely ym. 2011). Molemmilla lajeilla keuhkohuuhteen syöjäsolujen sekä kudosaivuriin viittaavien proteiinien määrä oli selvästi koholla koko 28 päivän tarkkailuajan. Histopatologisessa tutkimuksessa 78 viikon kuluttua altistumisesta eläinten keuhkoissa ei havaittu kasvaimia tai muita kudosten muutoksia.

Tutkimuksissa, joissa koe-eläimiä on altistettu hitsaushuuruille kerta-altistumisena hengitysteitse tai injektoimalla hiukkasia keuhkoihin, on saatu viitteitä siitä, että ruostumattoman teräksen puikkohitsauksessa syntyvät huurut ovat keuhkoille haitallisempia kuin seostamattoman teräksen MIG/MAG-hitsauksessa muodostuvat (Antonini ym. 2003).

Ruostumattoman teräksen hitsaushuuruilla on bakteeri- ja nisäkässolukokeissa havaittu toksisia ja genotoksisia vaikutuksia, jotka on liitetty huurujen sisältämiin kromi(VI)-yhdisteisiin (Antonini ym. 2003).

### 4.3 Havainnot ihmisillä

Hitsaushuurualtistumisen yhteydestä astman kehittymiseen on saatu viitteitä useissa tapaustutkimuksissa (Antonini 2003; Lillienberg ym. 2008). Ruotsalaisessa väestöpohjaisessa tapaus-verrokkitutkimuksessa (251 astmatapausta; 2044 verrokkia) havaittiin hitsaushuuruille altistuneilla kohonnut astman esiintyvyys (OR 1,6; CI95% 1,1-2,6) (Toren ym. 1999). Tutkimuksessa, jossa verrattiin 316 eri puolilla Eurooppaa työskentelevää hitsaajaa ja 2610 hitsaushuuruille altistumatonta, ei havaittu merkitsevää eroa astman esiintyvyydessä ryhmien välillä (Lillienberg ym. 2008). Kroonisen keuhkoputkentulehduksen esiintyvyys oli hitsaajilla lievästi kohonnut (PR 1,33; CI95% 1,00-1,76).

Hitsaajille ja kaasuleikkaajille on kirjattu Työperäisten sairauksien rekisteriin ammatintautina tai ammattitautiepäilynä vuosittain 6-13 hengitystieallergiaa, 10-15 ihotautia ja 18-38 asbestisairautta vuosina 2005-2008 (Oksa ym. 2010; Karjalainen ym. 2009; 2008; Laakkonen ym. 2007). Ruostumattoman teräksen hitsaajien astmasairastuvuutta Suomessa vuosina 1994-2003 tarkastelleessa tutkimuksessa todettiin 34 ammattiastmaa (Hannu ym. 2007). Ammattiastman esiintyvyyden ruostumattoman teräksen hitsaajilla arvioitiin olevan noin 1/1000. Keskimääräinen työssäoloaika ennen oireiden puhkeamista oli 18 vuotta.

Kansainvälinen syöväntutkimusjärjestö IARC arvioi vuonna 1990 23:n epidemiologisen tutkimuksen perusteella hitsaushuuruksen olevan mahdollisesti ihmisessä syöpää aiheuttava altiste (ryhmä 2B) (IARC 1990). Suurin osa tutkimuksista viittasi 30-50 % lisääntyneeseen keuhkosityöpärisäihin hitsaajilla. Myös IARC:n arvioin jälkeen julkaistut noin 20 tutkimusta viittaavat hitsaajien lisääntyneeseen riskiin sairastua keuhkosityöpään ja muihin hengityselinsyöpiin (Sørensen ym. 2007). Altistumistietojen epätarkkuus ja sekoittavat tekijät kuten tupakointi ja altistuminen asbestille ja/tai kvartsi- ja silikaalipölyille vaikeuttavat kuitenkin tutkimustulosten tulkintaa. Kattavassa 60:n vuosina 1954-2004 julkaistun epidemiologisen tutkimuksen meta-analyysissä todettiin hitsaajilla 26 % kohonnut riski sairastua keuhkosityöpään (CRR 1,26; CI95% 1,21-1,32) (Ambroise ym. 2006). Ruostumattoman ja seostamattoman teräksen hitsaajien sairastuvuudessa ei havaittu eroa.

Tanskalaisessa tutkimuksessa, jossa verrattiin 4539 vuosina 1964-1984 hitsaajana työskennellyttä henkilöä muuhun samanikäiseen väestöön, havaittiin hitsaajilla vuoteen 2003 mennessä 35 % kohonnut riski sairastua keuhkosityöpään (SIR 1,35; CI95% 1,06-1,70) (Sørensen ym. 2007). Laskennallinen riski kasvoi suhteessa työskentelyn keston. Ruostumattoman ja seostamattoman teräksen hitsaajien sairastuvuudessa ei havaittu merkitsevää eroa, mutta annos-vastesuhde kumulatiivisen altistumisen ja sairastuvuuden välillä havaittiin vain ruostumattoman teräksen hitsaajilla. Keskimääräisen altistumistason hitsaushuuruille arviointiin olleen 1,6 mg/m<sup>3</sup> ruostumattoman ja 3,0 mg/m<sup>3</sup> seostamattoman teräksen hitsaajilla.

Ruostumattoman teräksen hitsaajista pääasiassa puikkohitsausta käyttäneiden sairastuvuus oli jonkin verran korkeampi (SIR 1,46; CI95% 0,95-2,16; n=1934) kuin niiden, jotka olivat käyttäneet vain muita hitsausprosesseja (SIR 0,72; CI95% 0,35-1,36; n=1151) (Sørensen ym. 2007).

Verrattaessa saman hitsaajajoukon sairastuvuutta sydän- ja verisuonitauteihin muun samanikäisen väestön sairastuvuuteen, todettiin hitsaajilla lievästi kohonnut sairastumisriski neljään yhdeksästä

tarkastellusta sairaudesta (Ibfelt ym. 2010). Sepelvaltimotaudin osalta tulokset viittasivat annos-vastesuhteeseen kumulatiivisen altistumisen ja sairastuvuuden välillä.

Kromi(VI)- ja nikkeliyhdisteiden on eläinkokeissa ja epidemiologisissa tutkimuksissa osoitettu lisäävän syöpäkasvainten esiintymistä hengitysteissä (mm. Glaser ym. 1986; 1988; NTP 1996a; 1996b; 1996c; SCOEL 2004; ECB 2008). Euroopan Komission työhygieenisten raja-arvojen komitean (SCOEL) arvion mukaan laskennallinen syöpäriski kromi(VI)-yhdisteille altistuttaessa on 0,5–3 ylimääräistä syöpäkuolemaa 10000 altistunutta kohti altistumistasolla 0,5 µg Cr(VI)/m<sup>3</sup> (SCOEL 2004). Maailman terveysjärjestö WHO on arvioinut epidemiologisten tutkimusten perusteella nikkeli-altistumisen (eri nikkeliyhdisteiden seokset) aiheuttamaksi syöpäriskiksi elinikäisessä altistumisessa  $4 \times 10^{-4}$  /µg Ni/m<sup>3</sup> (WHO 2000). Tämä tarkoittaa 1 ylimääräistä syöpätapausta 10000 altistunutta kohti altistuttaessa koko työuran ajan ilmapitoisuudelle 1 µg Ni/m<sup>3</sup>, jos annos-vastesuhteen oletetaan olevan lineaarinen (vrt. ECB 2008). SCOEL on arvioinut nikkeliyhdisteiden karsinogeenisuuden aiheutuvan epäsuoralla mekanismilla, jolle voidaan osoittaa annoskynnys (SCOEL 2011). SCOEL:n arvion mukaan karsinogeeniset vaikutukset ovat epätodennäköisiä altistumistason alittaessa 10 µg Ni/m<sup>3</sup>.

Mangaanin aiheuttamista keskushermostovaikutuksista hitsaajilla on saatu viitteitä useissa tapaustutkimuksissa (Flynn ja Susi 2009; Sjögren ym. 1996). Tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin suljetussa tilassa siltatyömaalla työskentelevän hitsaajan (n=44) neuropsykologisten testien tuloksia, todettiin työmuistin toiminnan (WMI) heikkenevän suhteessa kumulatiiviseen mangaanialtistumiseen (Park ym. 2009). Laskennallisen analyysin mukaan kahden vuoden altistuminen keskipitoisuudelle 0,05 mg Mn/m<sup>3</sup> johtaisi 5 % todennäköisyydellä alentuneeseen suoriutumiskykyyn. Lieviä neurologisia muutoksia on havaittu myös muissa töissä mangaanille altistuneilla (SCOEL 2009). Kuivaparistojen tuotannossa laskennallinen altistumistaso, joka johtaisi 5 % alentuneeseen suoriutumiskykyyn käden vakautta mittaavissa testeissä, oli 0,73 mg Mn/m<sup>3</sup> x vuosi (alveolijae) eli 20 vuoden altistumisessa 0,037 mg Mn/m<sup>3</sup> (alveolijae) (Roels ym. 1992). Metallilejeerinkien tuotannossa vastaavia muutoksia havaittiin keskimääräisellä altistumistasolla 0,036 mg Mn/m<sup>3</sup> (Bast-Pettersen ym. 2004). SCOEL on ehdottanut mangaanille keskushermostovaikutusten perusteella IOELV-arvoa 0,05 mg/m<sup>3</sup>/8h (alveolijae) (SCOEL 2009).

## 5 Ehdotus terästen hitsaussavujen/huurujen tavoitetasoksi

### Lakisääteinen taso

Terästen hitsaushuuruille ei ole asetettu HTP-arvoa. Rautaoksidihuuruun HTP-arvo on 5 mg Fe/m<sup>3</sup>, kromi(VI)-yhdisteiden 0,005 mg Cr/m<sup>3</sup>, muiden kromiyhdisteiden 0,5 mg Cr/m<sup>3</sup>, nikkelioksidin 0,05 mg Ni/m<sup>3</sup> ja mangaanin 0,02 mg Mn/m<sup>3</sup> (alveolijae) (STM 2018). Vertailupitoisuutena on käytetty myös Hollannin työhygieenistä ohjeraja-arvoa hitsaushuuruille: 1 mg/m<sup>3</sup> (hengittyvä jae) (SZW 2006).

### Tavoitetaso

Sekä seostetun että seostamattoman teräksen hitsaajilla on epidemiologisissa tutkimuksissa havaittu kohonnut riski sairastua keuhkosyöpään. Tiedossa ei ole, mihin hitsaushuuruun komponenttiin kohonnut syöpäriski liittyy. Ruostumattoman/seostetun teräksen hitsaushuuruun sisällyttävän kuudenarvoisen kromin karsinogeenisuudesta on kuitenkin saatu vahva näyttö sekä eläinkokeissa että epidemiologisissa tutkimuksissa. Altistuttaessa kromi(VI)-yhdisteille tasolla 0,5 µg Cr(VI)/m<sup>3</sup>/8h laskennallinen syöpäriski on 0,5–3/10000. Tätä voidaan pitää pitoisuutena, joka hitsaustyöstössä on parhaita altistumishallintakeinoja hyödyntäen saavutettavissa, ja johon työpaikoilla tulisi vähintään pyrkiä. Genotoksisille syöpää aiheuttaville aineille ei voida osoittaa turvallista altistumistasoa, joten altistuminen on aina pidettävä mahdollisimman vähäisenä.

Työpaikkamittausten perusteella kromi(VI):n osuus hitsaushuuruista seostetun teräksen hitsauksessa on noin 0,5 %, joten tavoitetaso 0,5 µg Cr(VI)/m<sup>3</sup>/8h vastaa kokonaishuurupitoisuutta 0,1 mg/m<sup>3</sup>/8h. Nikkelin osuus kokonaishuuruista on noin 2 %, joten esitetty taso vastaa nikkelpitoisuutta 2 µg Ni/m<sup>3</sup>/8h. Nikkelin aiheuttama syöpäriski tällä tasolla on WHO:n laskelman mukaan 2/10000. SCOEL:n arvion mukaan syöpäriski ei tällä tasolla todennäköisesti ole kohonnut.

Seostamattoman teräksen hitsauksessa altistutaan mangaanille, jonka lievistä keskushermostovaikutuksista on saatu viitteitä altistumistasoilla 0,03 - 0,05 mg Mn/m<sup>3</sup>/8h (alveolijae). Keskushermostovaikutusten minimoimiseksi ehdotettu tavoitetaso seostamattoman teräksen hitsauksessa on 0,01 mg Mn/m<sup>3</sup>/8h (alveolijae). Mangaanin osuus seostamattoman teräksen hitsaushuuruista on noin 5 - 10 %, joten esitetty tavoitetaso vastaa kokonaishuurupitoisuutta noin 0,1 mg/m<sup>3</sup>/8h. Altistumisen alentaminen tavoitetasoon vähentää myös huurualtistumisen mahdollisia keuhkovaikutuksia.

## 6 Kirjallisuus

ACGIH (2010). 2010 TLVs and BEIs based on the documentation of the Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents & Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Ambroise D, Wild P, Moulin J-J (2006). Update of a meta-analysis on lung cancer and welding. *Scand J Work Environ Health* 32: 22-31.

Antonini JM (2003). Health Effects of Welding. *Crit Rev Toxicol* 33: 61-103

Antonini JM, Lewis AB, Roberts JR, Whaley DA (2003). Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies. *Am J Ind Med* 43: 350-360.

Arbejdstilsynet (2007). Graensevaerdier for stoffer og materialer. Kööpenhamina: Arbejdstilsynet.

Arbetsmiljöverket (2010). Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar. AFS 2005:17. Ändringar införda t.o.m. 16 november 2010. Solna: Arbetsmiljöverket.

Bast-Pettersen R, Ellingsen DG, Hetland SM, Thomassen Y (2004). Neuropsychological function in manganese alloy plant workers. *Int Arch Occup Environ Health* 774: 277-287.

Christensson B, Fjällström P, Östlund G, Antonsson A-B (2010). Effektivare åtgärder mot exponering för svetsrök. IVL Rapport B1931. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

DFG (2010). List of MAK and BAT Values 2010. Maximum Concentrations and Biological Tolerance Values at the Workplace. Weinheim: Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA.

ECB (2008). European Union Risk Assessment Report. Nickel. Inspra: European Commission/European Chemicals Bureau.

Engström B, Backlund P, Välimaa J (2007). Altistuminen orgaanisille lämpöhajoamistuotteille hitsauksessa. Turku: Työterveyslaitos.

Flynn MR, Susi P (2007). Neurological risks associated with manganese exposure from welding operations – A literature review. *Int J Hyg Environ Health* 212: 459-469.

Glaser U, Hochrainer D, Kloppel H, Oldiges H (1986). Carcinogenicity of sodium dichromate and chromium (VI/III) oxide aerosols inhaled by male Wistar rats. *Toxicology* 42: 219-232.

Glaser U, Hochrainer D, Oldiges H (1988). Investigations of the lung carcinogenic potentials of sodium dichromate and Cr VI/III oxide aerosols in Wistar rats. *Environ Hyg* 1: 111-116.

Hannu T, Piipari R, Tuppurainen M, Nordman H, Tuomi T (2007). Occupational asthma caused by stainless steel welding fumes: a clinical study. *Eur Respir J* 29: 85-90.

Heikkilä P, Saalo A (2005). Työpaikkojen ilman epäpuhtausmittaukset 1994-2003. Helsinki: Työterveyslaitos.

Hobson A, Seixas N, Sterling D, Racette BA (2011). Estimation of particulate mass and manganese exposure levels among welders. *Ann Occup Hyg* 55: 113-125.



HSE (2010). A small survey of exposure to stainless steel welding fume. RR770. Bootle, Merseyside: Health and Safety Executive.

IARC (1990). IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Vol 49. Chromium, Nickel and Welding. Lyon: International Agency for Research on Cancer.

Ibfelt E, Bonde JP, Hansen J (2010). Exposure to metal welding fume particles and risk for cardiovascular disease in Denmark: a prospective cohort study. *Occup Environ Med* 67: 772-777.

Järvisalo J, Olkinuora M, Kiilunen M, Kivistö H ym. (1992). Urinary and blood manganese in occupationally nonexposed populations and in manual metal arc welders of mild steel. *Int Arch Occup Environ Health* 63: 495- 501.

Karjalainen A, Palo L, Saalo A, Jolanki R ym. (2008). Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2006. Helsinki: Työterveyslaitos.

Karjalainen A, Palo L, Saalo A, Jolanki R ym. (2009). Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2007. Helsinki: Työterveyslaitos.

Kiilunen M, Teräsahde P, Engström B, Laukkanen P, Tossavainen A (1999). Altistuminen hitsaussavulle täytelanka- ja plasmahitsauksessa. Työterveyslaitos: Helsinki.

Koskinen A, Kasurinen H, Schimberg R, Hänninen H (2006). Hitsaushuurun vähentäminen teollisuudessa. HUURU-projektin loppuraportti. TTK-MTR-7/06. Espoo: Helsinki University of Technology, Laboratory of Engineering Materials.

Laakkonen A, Palo L, Saalo A, Jolanki R ym. (2007). Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2005. Helsinki: Työterveyslaitos.

Lillienberg L, Zock J-P, Kromhout H, Plana E ym. (2008). A population-based study on welding exposures at work and respiratory symptoms. *Ann Occup Hyg* 52: 107-115.

Lukkari J (2006a). Tularityt 4. Terveys ja turvallisuus hitsauksessa. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö ry.

Lukkari J (2006b). Hitsaustyön riskinarviointi ja riskinhallinta. *Hitsausuutiset* 2: 4-13.

NTP (1996a). Technical Report on the toxicology and carcinogenesis studies of nickel oxide (CAS No: 1313-99-1) in F344/N rats and B6C3F1 mice. (Inhalation studies). National Toxicology Program Technical Report Series 451 (NIH Publication No. 96-3370). Springfield (VA): National Institutes of Health.

NTP (1996b). Technical Report on the toxicology and carcinogenesis studies of nickel subsulphide (CAS No: 12035-72-2) in F344/N rats and B6C3F1 mice. (Inhalation studies). National Toxicology Program Technical Report Series 453 (NIH Publication No. 96-3370). Springfield (VA): National Institutes of Health.

NTP (1996c). Technical Report on the toxicology and carcinogenesis studies of nickel sulfate hexahydrate (CAS No: 10101-97-0) in F344/N rats and B6C3F1 mice. (Inhalation studies). National Toxicology Program Technical Report Series 454 (NIH Publication No. 96-3370). Springfield (VA): National Institutes of Health.

Oksa P, Palo L, Saalo A, Jolanki R ym. (2010). Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2008. Helsinki: Työterveyslaitos.

Park RM, Bowler RM, Roels HA (2009). Exposure-response relationship and risk assessment for cognitive deficits in early welding-induced manganese. JOEM 51: 1125-1136.

Roels HA, Ghyselen P, Buchet JP, Ceulemans E, Lauwerys RR (1992). Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust. Br J Ind Med 49: 25-34.

Saalo A, Vainiotalo S, Kiilunen M, Tuomi T (2010). Työympäristön kemikaalien altistumismittaukset 2004 - 2007. Helsinki: Työterveyslaitos.

SCOEL (2004). European Union Scientific Committee on Occupational Exposure Limits: Risk assessment for hexavalent chromium. SCOEL/SUM/86. Brussels: European Commission/Scientific Committee on Occupational Exposure Limits.

SCOEL (2009). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for manganese and inorganic manganese compounds. SCOEL/SUM/127. For public consultation. Brussels: European Commission/Scientific Committee on Occupational Exposure Limits.

SCOEL (2011). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for nickel and inorganic nickel compounds. SCOEL/SUM/85. Brussels: European Commission/Scientific Committee on Occupational Exposure Limits.

Sjögren B, Ulfvarson U (1990). Nordiska Expertgruppen för Gränsvärdesdokumentation. 90. Svetsgaser och svetsrök. Arbete och Hälsa 1990:28. Solna: Arbetsmiljöinstitutet.

Sjögren B, Iregren A, Frech W, Hagman M ym. (1996). Effects on the nervous system among welders exposed to aluminium and manganese. Occup Environ Med 53: 32-40.

STM (2018) HTP-arvot 2018. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisu 9/2018. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Stockmann-Juvala H, Hyytinen E-R, Zitting A, Santonen T (2010). Kromimetallin ja epäorgaanisten kromi(III)-yhdisteiden tavoitetasoperustelumuistio. Helsinki: Työterveyslaitos.

SZW (2006). Staatscourant 28-12-2006 nr. 252. Wijziging Arbeidsomstandighedenregeling. Den Haag: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Sørensen AR, Thulstrup AM, Hansen J, Ramlau-Hansen CH ym. (2007). Risk of lung cancer according to mild steel and stainless steel welding. *Scand J Work Environ Health* 33: 379-386.

Toren K, Jarvholm B, Brisman J, Hagberg S ym. (1999). Adult-onset asthma and occupational exposures. *Scand J Work Environ Health* 25: 430-435.

TWI (2011). Welding fume exposure database. Saatavissa:  
[http://www.twi.co.uk/content/fume\\_exposure\\_intro.html](http://www.twi.co.uk/content/fume_exposure_intro.html). Viitattu: 8.2.2011.

Työterveyslaitos (2008). KAMAT-tietokortti. Levyseppä-hitsaajan työ. Helsinki: Työterveyslaitos.

Työterveyslaitos (2009). Malliratkaisu levyseppä-hitsaajan työhön. Kohdepoistot hitsaustyössä. Helsinki: Työterveyslaitos.

Työterveyslaitos (2011). Työhygieenisten altistumismittausten rekisteri. Helsinki: Työterveyslaitos.

US EPA (1996). Air quality criteria for particulate matter. Volume II of III. Washington DC: United States Environmental Protection Agency.

Vainio H, Liesivuori J, Lehtola M, Louekari K ym. (2005). Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. Helsinki: Työterveyslaitos.

WHO (2000). Air Quality Guidelines for Europe. Geneva: World Health Organization.

Yu IJ, Kim KJ, Chang HK, Song KS ym. (2000). Pattern of deposition of stainless steel welding fume particles inhaled into the respiratory systems of Sprague-Dawley rats exposed to a novel welding fume generating system. *Toxicol Lett* 116: 103-111.

Yu IJ, Song KS, Chang HK, Han JH ym. (2001). Lung fibrosis in Sprague-Dawley rats induced by exposure to manual metal arc-stainless steel welding fumes. *Toxicol Sci* 63: 99-106.

Zeidler-Erdely PC, Battelli LA, Stone S, Chen BT ym. (2011). Short-term inhalation of stainless steel welding fume causes sustained lung toxicity but no tumorigenesis in lung tumor susceptible A/J mice. *Inhal Toxicol*, 23: 112-120.

## ASIAANTUNTIJAT

Tämän tavoitetasomuiston ovat toimittaneet Piia Taxell, Mirja Kiilunen, Tom Johnsson, Eija-Riitta Hyytinen ja Eero Priha, 2011.