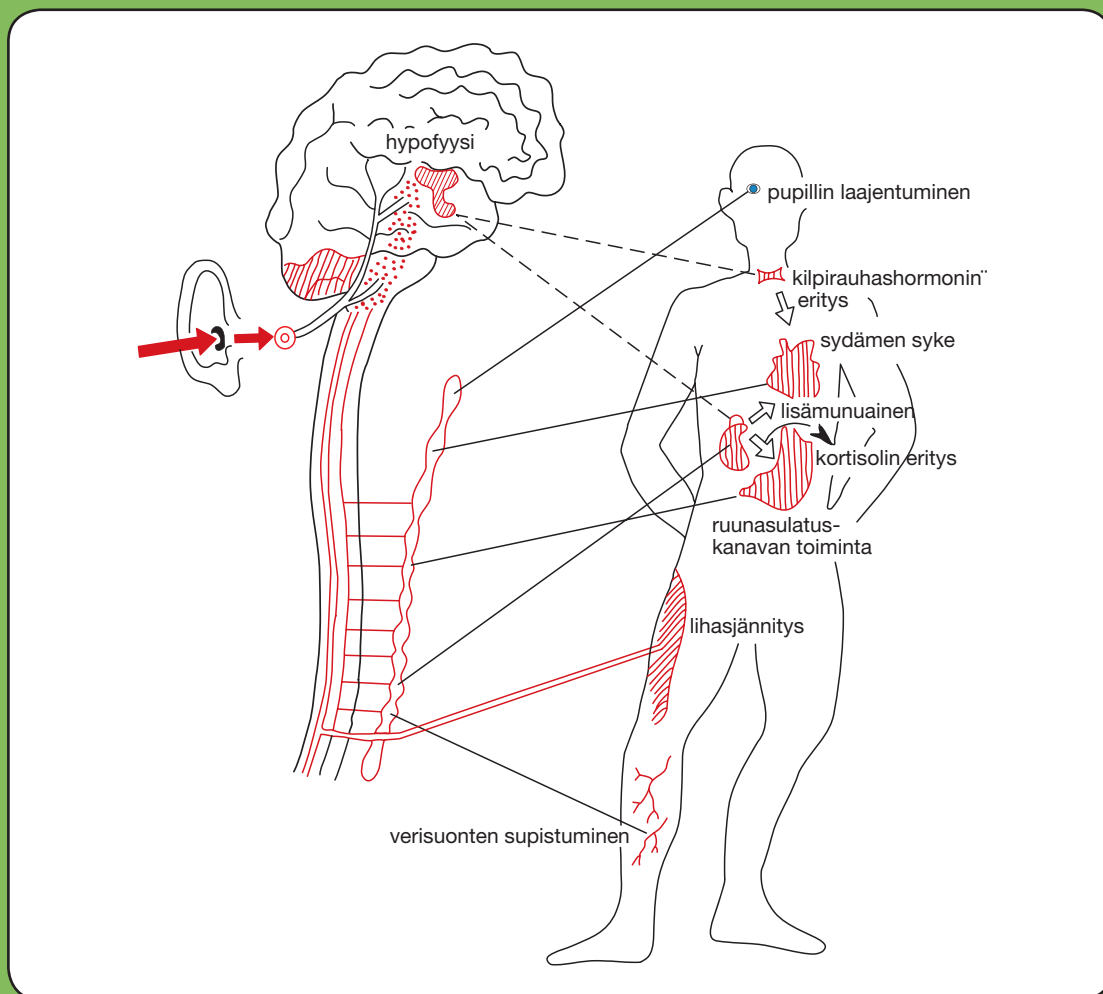


# Ympäristömelun vaikutukset

**Tapani Jauhiainen**  
**Heikki S. Vuorinen**  
**Marja Heinonen-Guzejev**

YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU





SUOMEN YMPÄRISTÖ 3 | 2007

# Ympäristömelun vaikutukset

**Tapani Jauhiainen**  
**Heikki S. Vuorinen**  
**Marja Heinonen-Guzejev**

Helsinki 2007

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



**YMPÄRISTÖMINISTERIÖ**  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

**SUOMEN YMPÄRISTÖ 3 | 2007**

Ympäristöministeriö  
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: DTPage Oy

Julkaisu on saatavana myös internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

ISBN 978-952-11-2563-8 (nid.)  
ISBN 978-952-11-2564-5 (PDF)  
ISSN 1238-7312 (pain.)  
ISSN 1796-1637 (verkköj.)



## ESIPUHE

Maailman terveysjärjestö (WHO) julkaisi vuonna 1980 melun terveysvaikutuksia koskevan ensimmäisen selvityksensä ja suosituksensa melutasoarvoja varten. Pohjoismaisen virkamieskomitean alainen melutyöryhmä esitti jo vuonna 1988 WHO:lle meluvaikutusjulkaisun päivittämistä. Tämän aloitteen jälkeen professorit Birgitta Berglund (Stockholms universitet, Psykologiska institutionen) ja Thomas Lindvall (Karolinska institutet, Institutionen för miljömedicin) laativat kansainvälisen asiantuntijaryhmän tuella vuonna 1992 ehdotuksen uutta WHO:n ympäristömelujulkaisua ja sen perusteella tehtäviä suosituksia varten. Ympäristöministeriön yhteydessä toiminut meluntorjunnan neuvottelukunta asetti vuonna 1993 projektiryhmän toimittamaan ympäristömelun terveysvaikutuksia koskevan suomenkielisen julkaisun WHO:lle laaditun esityksen pohjalta. Työn tuloksena ympäristöministeriö julkaisi ”Ympäristömelun vaikutukset” (Suomen ympäristö 94/1997). WHO:n uusittu ympäristömelun vaikutuksia käsittelevä julkaisu valmistui lopullisesti vuonna 2000.

Koska yli kymmenen vuoden aikana tutkimus on tuottanut lisätietoa ympäristömelun vaikutuksista, ympäristöministeriö tilasi työryhmältä (LKT, dosentti Tapani Jauhiainen, LKT, dosentti Heikki S. Vuorinen ja LL, työterveyshuollon erikoislääkäri Marja Heinonen-Guzejev) päivityksen uutta meluvaikutusjulkaisua varten toukuussa 2006. Työryhmä on kuullut asiantuntijoina TkT Tapio Lahtea, PsT, tutkija Teija Kujalaa ja LKT, dosentti Eeva Salaa ja pyrkinyt muutoinkin huomioimaan Suomessa tehtävää tutkimusta. Julkaisun laatimista on valvonut ympäristöneuvos Sirkka-Liisa Paikkala ympäristöministeriöstä.

Uusi julkaisu painottaa entistä selkeämmin ympäristömelun terveysvaikutuksia alkaen häiritsevyydestä yleisimpänä ja keskeisimpänä. Se käsittelee melun terveyshaittoja ja niiden seurannaisvaikutuksia samalla jaottelulla kuin WHO esittää käytettäviksi sairauksista ja niistä johtuvista elintoiminnan vaurioista, toiminnanvajauksista ja haitoista. Tämän tavoitteen tukemiseksi on julkaisuun liitetty epävirallinen käännös WHO:n vuonna 2000 valmistuneeseen raporttiin sisältyvästä ympäristömelua koskevasta suosituksesta.

Terveysvaikutuslähtökohtaisena raportti pyrkii tukemaan ympäristöviranomaisia kiinnittämään huomiota ja tunnistamaan melun haittavaikutuksia sairastuvuuteen ja sosiaaliseen hyvinvointiin, mitä melun akustisia ja äänekkyyttä lähtökohtia painottavat selonteot eivät mahdollista.

Ympäristöministeriö kiittää kaikkia julkaisun toteuttamisessa mukana olleita.

Helsingissä maaliskuussa 2007

Ympäristöministeriö



## SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>I Johdanto</b> .....	7
1.1 Melun määrittely .....	7
1.2 Melun vaikutukset .....	8
1.3 Melu ympäristöongelmana .....	9
<b>2 Ääni ja melu</b> .....	10
2.1 Äänen/melun elämys- ja havaintopiirteet .....	10
2.2 Äänen/melun akustiset piirteet .....	11
2.3 Äänen/melun mittaus .....	12
2.4 Ympäristömelulähteet .....	14
<b>3 Melun häiritsevyys</b> .....	15
3.1 Melun häiritsevyyden mittaus ja arviointi .....	16
3.2 Melun häiritsevyydestä johtuva haitta .....	18
3.3 Toimenpiteet häiritsevyyden vähentämiseksi .....	19
<b>4 Fysiologiset vaikutukset</b> .....	20
4.1 Melun aiheuttamat neuraalisten toimintojen häiriöt .....	21
4.1.1 Lihasrefleksit .....	22
4.1.2 Levon ja unen häiriöt .....	22
4.2 Melun aiheuttamat kognitiiviset häiriöt .....	26
4.3 Melun aiheuttamat kielellisen viestinnän häiriöt .....	28
4.3.1 Melun vaikutus puheen kuulemiseen .....	28
4.3.2 Puheen tuottoon liittyvät häiriöt melussa .....	32
4.4 Vaikutukset verenpaineeseen ja muihin somaattisiin sairauksiin .....	33
<b>5 Korvan vaurio</b> .....	36
5.1 Korvan rakenne ja toiminta .....	36
5.2 Melun aiheuttamat kudosaauriot korvassa .....	37
5.3 Melun aiheuttamat kuulomuutokset .....	37
5.4 Meluallistuksen ja kuulokynnysmuutoksen suhde .....	40
<b>6 Pitkäaikaisvaikutukset</b> .....	42
6.1 Ympäristömelun vaikutus väestön sairastuvuuteen .....	42
6.2 Ympäristömelun pitkäaikaisvaikutukset toiminnan häiriöissä ja toiminnanvajauksessa .....	43
6.3 Ympäristömeluallistuksen pitkäaikaishaitta .....	43

<b>7</b>	<b>Melun vaikutukset eri väestöryhmissä .....</b>	<b>44</b>
7.1	Ikä .....	44
7.2	Sukupuoli .....	44
7.3	Meluperkkyys .....	45
7.4	Terveydentila .....	47
7.5	Muut vaihtelua aiheuttavat tekijät .....	47
<b>8</b>	<b>Meluvaikutustutkimukset.....</b>	<b>48</b>
8.1	Melualtistukseen liittyvät muuttajat .....	49
8.1.1	Kokonaismelualtistus .....	50
8.2	Meluvaikutuksiin liittyvät tutkimustavoitteet .....	50
<b>9</b>	<b>Ympäristömelun torjuntatoimet .....</b>	<b>52</b>
9.1	Yhteiskunnan käytössä olevat torjuntatoimet .....	52
9.2	Altistetun yksilön käytössä olevat torjuntatoimet.....	53
<b>10</b>	<b>Päätelmät .....</b>	<b>55</b>
<b>Liitteet</b>		
1	WHO:n suositukset ympäristömelusta, suositusarvot .....	57
1	Johdanto .....	57
2	Eri vaikutukset .....	58
2.1	Viestinnän häiriintyminen .....	58
2.2	Melun aiheuttama kuulovaurio.....	58
2.3	Unen häiriintyminen .....	59
2.4	Kardiovaskulaariset ja psykofysiologiset vaikutukset.....	59
2.5	Vaikutukset mielenterveyteen.....	60
2.6	Vaikutus suoriutumiseen.....	60
2.7	Häiritsevyys .....	60
2.8	Vaikutukset sosiaaliseen käyttäytymiseen .....	60
3	Eri ympäristöt .....	61
3.1	Asunnot .....	61
3.2	Koulut ja päiväkodit.....	61
3.3	Sairaalat.....	61
3.4	Erilaiset tilaisuudet, juhlat ja huvitapahtumat .....	62
3.5	Kuulokkeet ja korvalappustereot.....	62
3.6	Lelujen, ilotulisivälineiden ja ampuma-aseiden impulssimelu.....	62
3.7	Puistot ja luonnonsuojelualueet .....	62
4	WHO:n suositusarvot.....	62
2	Käsitteet ja määritelmät .....	64
3	Lyhenteet .....	70
4	Kirjallisuusluettelo .....	71
	Kuvailulehdet .....	77



# 1 Johdanto

Melu on yleisin ja yksi tärkeimmistä ympäristötekijöistä, joka heikentää ympäristön laatua ja voi aiheuttaa terveyshaittoja. Melua esiintyy sekä asuin- että muussa toimintaympäristössä, päivin ja öin, vapaa-aikana ja työssä. Ääniympäristö ei ole koskaan täysin hiljainen. Meluksi luokiteltavien äänien osuus ja melun aiheuttamat haitat ovat vuosien mittaan lisääntyneet etenkin kaupungistumisen ja liikenteen kasvun takia niiden teknisen kehityksen vaikutuksesta.

Elinympäristössämme melu voi voimakkuudeltaan ja laadultaan olla sellaista, että se aiheuttaa moninaisia haitallisia terveysvaikutuksia niihin liittyvine seuraamuksineen. Maailman terveysjärjestön (WHO) mukaan terveydellä tarkoitetaan täydellistä fyysisen, psyykkisen ja sosiaalisen hyvinvoinnin tilaa. Sen mukaan melun aiheuttama haitallinen terveysvaikutus ei rajoitu vain sellaisiin ilmielviin sairauksiin tai häiriöihin, joissa melulla on ratkaiseva syy-seuraussuhde.

Melun terveysvaikutuksia voidaan selvittää yhtäältä yksilötasolla, jolloin melu voi olla yhtenä niistä lukuisista epäsuotuisista tekijöistä, jotka yhdessä johtavat sairauden tai elimistön toiminnallisen häiriön ilmaantumiseen. Toisaalta melun osuutta väestön terveydentilaan ja sairastuvuuteen voidaan tarkastella myös epidemiologisesti väestötasolla ja arvioida meluallistuksen osuutta sairastuvuudessa.

1.1

## Melun määrittely

Melulla (ruotsiksi *buller*, englanniksi *noise*, ranskaksi *bruit* ja saksaksi *Lärm*) tarkoitetaan ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritsevänä tai joka on muulla tavoin ihmisen terveydelle vahingollista taikka hänen muulle hyvinvoinnilleen haitallista. Määrittely pitää sisällään siis kolmenlaisia haitallisia vaikutuksia ja seuraamuksia. Melu vähentää viihtyisyyttä, koska se koetaan epämiellyttävänä ja häiritsevänä. Tämä aiheuttaa pitkään jatkuessaan terveysvaikutuksia, vaikka se lyhytkestoisena, tilapäisenä ja satunnaisena olisikin

pääosin vain viihtyvyyskysymys. Melu on myös muilla tavoin ihmisen terveydelle vahingollista tai hänen muulle hyvinvoinnille haitallista, minkä seurauksena voi olla toiminta- ja työkyvyn heikentymistä. Tämän mukaisesti äänen määrittäminen meluksi ja sen meluisuuden asteen arviointi riippuu joko sen

1. subjektiivisesti aistituista/koetuista kielteisistä piirteistä, joihin kuuluu myös melun merkityssisältö, tai sen aiheuttamista
2. fysiologisista elintoimintojen muutoksista tai
3. kudosaivourioista.

Kokonaisuudessaan melu voidaan siis vain osittain määrittää fysikaalisesti, koska se määräytyy yhtäältä fysiologisten vaikutusten ja toisaalta aistittujen/koettujen häiritsevyyspiirteiden perusteella. Ne eivät riipu yksinomaan melun äänitasosta, vaan myös melun ajallisesta esiintymisestä, sen koetuista elämäspiirteistä ja merkityssisällöstä sekä yksilöllisistä ja yhteisöön sidoksissa olevista muista tekijöistä (kuva 1.1). Ääntä meluna ei niin ollen voi määrittellä irrallaan sen vaikutuksista. Jos millään äänillä ei olisi haitallisia, ei-toivottuja tai terveysvaikutuksia, käsitettä melu ei lainkaan tarvittaisi. Äänien merkityssisältö ja elämäspiirteet liittyisivät tällöin vain viestintään ja esimerkiksi laadullisiin ja ainoastaan myönteisiin esteettisiin vaikutelmiin. Akustiikassa ei liioin olisi tarvetta käsitellä ääntä meluna. Käsite meluisuus ja melun häiritsevyys olisivat absurdeja, eikä tarvittaisi meluntorjuntaa. Niin ikään melua työterveyden ja työsuojelun puitteissa ei tunnettaisi.

Englanninkielinen sana *noise* tarkoittaa sekä ääni- että muita signaaleita käsiteltäessä myös kohinaa, häiriösignaalia, hälyä, jaksotonta tai satunnaista värähtelyä (ruotsiksi *brus*, saksaksi *Geräusch*, ranskaksi näitä merkityksiä ei erotella). Näiden käsitteiden piirteinä on myös melun ei-toivottu ja häiritsevä luonne, mikä liittyy myös suomenkieliseen kansanomaisempaan sanaan meteli. Melu-sanan yleisimpänä mielikuvana on nimenomaan voimakas ääni, mutta melua koskevassa kirjallisuudessa sanalla melu on siis myös häiritsevän äänen merkityssisältö.

Akustiikassa melukäsite ulotetaan usein koskemaan myös voimakkaita pienitaajuisia infraääniä ja suuritaajuisia ultraääniä, vaikka kuuloaistin herkkyys ei näille taajuuksille ulotukaan. Tämä johtunee siitä, että infra- tai ultraääntä säteilevä äänilähde samalla usein säteilee myös kuultavaa hyvin matalaa tai hyvin korkeaa ääntä.

1.2

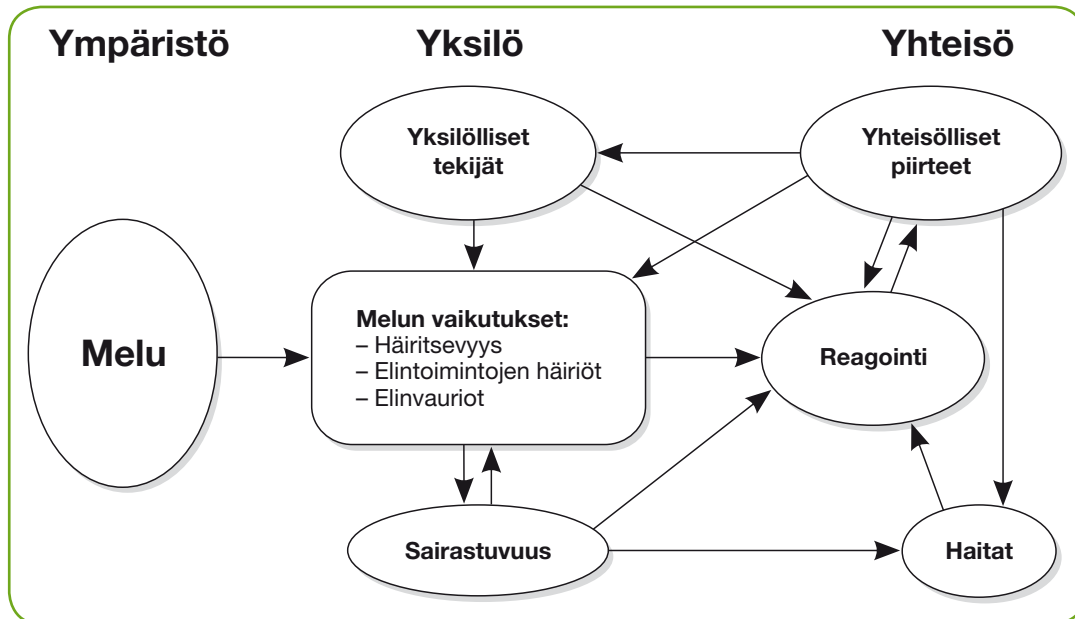
## Melun vaikutukset

Tässä julkaisussa seurataan pääosin luvussa 1.1 esitettyä meluvaikutusten jaottelua. Yksityiskoh- taisemmin melun eri vaikutuksia käsitellään lu- vuissa 3, 4 ja 5. Kaikissa näissä ryhmissä voidaan lisäksi periaatteessa erotella melualtistuksen aikai-

set, välittömästi altistuksen jälkeen ilmenevät sekä pitkäaikaisvaikutukset (luku 6).

Melun edellä lueteltuja terveysvaikutuksia voi- daan myös tarkastella, samoin kuin WHO on ryh- mittänyt muita ulkoisista tai sisäisistä syistä johtu- via sairauksia ja niiden seuraamuksia, nelipor- tai- sen hierarkkisen käsitteistön mukaan seuraavasti:

1. Käsite sairaus (ruotsiksi *sjukdom*, englanniksi *disease*) tarkoittaa nimenomaan kudonsvauriota esimerkiksi melun aiheuttamaa sisäkorvavau- riota.
2. Sairauden aiheuttamaan yleensä mitattavaan, toiminnalliseen häiriöön, toiminnan vaurioon (ruotsiksi *skada*, englanniksi *impairment*) kuu- luu esimerkiksi sisäkorvavaurion aiheuttama kuulokynnysmuutos tai vastaavasti melun ai- heuttamien unen häiriöiden osalta esimerkiksi



Kuva 1.1. Melun vaikutuksiin liittyvät tekijät, joista seuraavassa on mainittu keskeisimpiä:

**Melu:** Lähde, merkityssisältö, laatu, voimakkuus, kesto, jatkuvuus, satunnaisuus, hallittavuus.

**Yksilölliset tekijät:** Meluherkkyys, ikä, sukupuoli, terveydentila.

**Yhteisön piirteet:** Vaatimukset, rajoitukset, asenteet, odotukset, asuminen, työolosuhteet.

**Melun vaikutukset:**

**Häiritsevyys:** Koettu häiritsevyys.

**Elintoimintojen häiriöt:** Uni ja lepo.

kognitiiviset toiminnat (keskittyminen, tarkkaavaisuus, muisti, oppiminen),

viestintä (puheen kuuleminen, äänenkäyttö),

stressiperäiset toiminnat (sydän ja verenkiertoelimistö,

sisäeritysrauhaset, aineenvaihdunta, immuunijärjestelmä)

**Elinvauriot:** Korva, äänihuulet.

**Sairastuvuus:** Sydän- ja verisuonisairaudet, infektiot, psykye.

**Reagointi:**

**Reagointitavat:** Alistuminen (passivoituminen), sopeutuminen, aktivoituminen, aggressiivisuus.

**Reagointitoimet:** Muuttaminen, valitukset, meluntorjuntatoimenpiteet.

heräämisten määrä yöunen aikana. Nämä ovat siis häiriöitä fysiologisissa elintoiminnoissa, joita voidaan usein fysiologisin mittauksin todeta. Voidaan siis puhua toiminnan vauriosta, kun tarkastellaan melun aiheuttamia muutoksia unen aikaisissa fysiologisissa toiminnoissa (luku 4.1), melun vaikutuksia erilaisiin kognitiivisiin toimintoihin, joita voidaan esimerkiksi tarkkaavaisuus-, muisti- ja oppimistestien mitata (luku 4.2), melun puheviestintää heikentäviä vaikutuksia (luku 4.3), melun vaikutuksia vegetatiivisiin esimerkiksi sydämen ja verenkierron toimintoihin (luku 4.4) sekä endokrinologisiin ja immunologisiin elintoimintoihin (luku 4.4), joiden yhteydessä ei vielä sinänsä tarvitse ilmetä kudosis- ja elinvaurioita.

3. Toiminnan vauriot aiheuttavat vuorostaan toiminnanvajausta (ruotsiksi *funktionsnedsättning*, englanniksi *disability*) asianomaisen päivittäisessä toiminnassa ja tehtävissä. Ne ovat heikentyneen toimintakyvyn piirteitä, joiden laatua ja vaikeusastetta vain asianomainen itse voi arvioida, koska niiden merkitys määräytyy myös sen perusteella millaisia odotuksia ja vaatimuksia työ-, toiminta- ja elinympäristö asettavat asianomaisen toimintakyvylle. Esimerkiksi melun aiheuttaman unen häiriönä koetun toiminnanvajauksen, kuten väsymyksen, mielialan laskun tai keskittymisen vaikeuden vain asianomainen itse pystyy arvioimaan.
4. Toiminnanvajausta vuorostaan voi johtaa haittaan (*handicap*), johon määritelmän mukaisesti lasketaan kuuluvan muun muassa sosiaaliset, pedagogiset ja ammatilliset seuraamukset, kuten suoritus- ja työkyvyn huonontuminen, oppimis- ja koulutusmahdollisuuksia heikentyminen, ansio- ja elintason lasku, ihmissuhteiden ja sosiaalisen kanssakäymisen vaikeutuminen, osallistumismahdollisuuksien rajoittuminen, asuin- ja muiden elinolosuhteiden ja elämänlaadun huonontuminen sekä syrjäytyminen ja sairastumis- ja tapaturmariskin kasvu. Nämä haitat liittyvät melun pitkäaikaisvaikutuksiin (luku 6).

Kuvassa 1.1 esitetään melun haitallisia terveysvaikutuksia kuvaava kaavio, jossa akustisena ympäristötekijänä olevan melun lisäksi erotellaan yksilön ja yhteisön käsittämien tekijöiden osuus melun aiheuttamiin vaikutuksiin.

1.3

## Melu ympäristöongelmana

Melu ympäristön laatua heikentävänä ja terveyshaittoja aiheuttavana tekijänä ei ole saanut osakseen samaa huomiota kuin monet muut biologiset, kemialliset ja säteilyaltisteet, vaikka melu eittämättä on niistä yleisin. Melu aiheuttaa myös suurimman osan viranomaisten saamista ympäristöä koskevista yhteydenotoista ja valituksista. Moni mieltää melun haittojen rajoittuvan pääasiassa vain kuulovaurioihin nimenomaan työperäisenä altistuksena. Ympäristömelun yleisimpänä terveyshaittana häiritsevyys tulkitaan usein myös vain viihtyisyys-tekijäksi, eikä mielletä sen luonnetta ja seuraamuksia terveydentilan kannalta toimintakyvyn häiriöiden ja sairastuvuuden riskitekijänä.

Yksilölliset vaihtelut melun haitoissa johtuvat ihmisten välisistä fysiologisista eroista. Näitä perimän ja ympäristötekijöiden välisen vuorovaikutuksen aiheuttamia eroja ei vielä tarkemmin tunneta. Yksilökohtaiset erot näkyvät samalla tavoin myös muiden ympäristöaltisteiden kohdalla. Vaikutukset ovat erilaisia eri-ikäisillä sekä ilmenevät erilaisina naisilla ja miehillä. Se, että melu havaittavana äänenä tiedostetaan toisin kuin monet muut ympäristöaltistukset, on johtanut usein esitettyyn virheelliseen johtopäätökseen, jonka mukaan yksilöllinen meluhaitan vaihtelu johtuu ihmisen psykisestä tilasta tai jopa mielenterveysongelmista.

Meluntorjunnan asema kansallisessa ja paikallisessa ympäristösuojelutyössä on tähän asti ollut heikko. Melun vaikutuksia ei tunneta tai niitä vähätellään päätöksenteossa. Meluhaitat mielletään vain altistuksen aikaisiksi ja tilapäisinä esiintyviksi, eikä ihmisillä ole tietoa melun pitkäaikaisvaikutuksista. Viranomaisillakaan ei aina ole käsitystä melulle altistuvista eikä meluhaittojen osalta herkeitä väestöryhmistä ja niiden osuudesta väestössä. Keinot melu-altistuksen vähentämiseksi voivat edellyttää kustannuksia tai muutoksia jo suunniteltuun kaavoitukseen tai yhdyskuntasuunnitteluun. Jo kauan vallinnut ja paheneva ”melupandemia” on vaatinut ja edelleen vaatii suorasti ja epäsuorasti ihmisuhreja koko maailmassa enemmän kuin viime vuosien lintuinfluenssa.

## 2 Ääni ja melu

Elin- ja toimintaympäristöömme kuuluu keskeisesti esineellisen, kemiallisen ja visuaalisen ympäristön ohella ääniympäristö. Havainnoimme ääniympäristöä kuulon avulla. Mutta äänet vaikuttavat myös elimistön eri toimintoihin joko kuulojärjestelmän kautta tai suoraan. Osa näistä vaikutuksista on haitallisia ja voi aiheuttaa pysyviä vaurioita, toiminnanvajausta ja haittaa.

Meluksi kutsutaan ei-toivottua, elintoimintoja haittaavaa tai elimistöä vaurioittavaa ääntä. Melu voidaan vain osittain määritellä fysikaalisesti (akustisesti). Melu määrätty yhtäältä aistittujen/koettujen häiritsevyySPIIRTEIDEN ja toisaalta fysiologisten vaikutusten perusteella.

### 2.1

#### Äänen/melun elämys- ja havaintopiirteet

Käsitteellä ääni tarkoitetaan fysikaalisen äänen ohella myös kuultua subjektiivista ääniaistimusta. Kuuloaisti palvelee äänien aistimista, havainnointia, erottamista ja tunnistamista. Koemme ympäristömme äänet erilaisten elämys- ja sisältöpiirteiden moninaisuutena. Kaikkiin ääniin liittyy yhtenä aistimuksen peruspiirteenä elämysvoimakkuus, jota kutsutaan äänekkyydeksi tai kuuluvuudeksi (*loudness*). Toinen ryhmä elämysmuuttujia liittyy äänen soinnillisuuteen, kuten sen selkeys (*pitch strength*) ja (sävel)korkeus (*pitch*). Soinnillisuuden suhteen äänet voivat olla kohinatyyppisiä tai soivia. Äänet koetaan sointiväriiltään (*timbre*) myös erilaisiksi. Muita aistimuspiirteitä ovat esimerkiksi äänen karheus (*roughness*) ja terävyys (*sharpness*).

Äänien elämyspiirteisiin kuuluu myös tunneperäisesti ladattuja ominaisuuksia. Voimakkaisiin ääniin liittyy äänekkyydestä johtuvaa epämiellyttävyyttä (*discomfort*) (normaalisti äänitason ylittäessä laajakaistaisilla äänillä noin 90 dB ja ääneksillä noin 110 dB) ja jopa kipua (vastaavasti noin 110 dB ja noin 130 dB). Mutta äänet voivat äänekkyydestä riippumattakin olla meluisia, epämiellyttävän häi-

ritseviä, uhkaavia, outoja, pelottavia, vääristyneitä, säröytyneitä, epäsointuisia ja -vireisiä.

Sisällöllisesti äänet voidaan ryhmittää esimerkiksi puheeksi ja musiikiksi. Ympäristömme äänet opitaan tunnistamaan tutuiksi kuten luonnon (eläinten äänet, tuulen suhina), koneiden (auton moottori, kodinkoneet), hälytinlaitteiden (puheliimen soitto, herätyskello), asuinympäristön (askeleet, oven sulkeutuminen), työympäristön (tietokoneen tuuletin, koneet) ja vapaa-ajan ympäristön (pallopelin äänet, uimahallin äänimaisema) ääniksi. Äänet, joita emme pysty tunnistamaan tutuiksi ja joiden lähteestä emme ole varmoja, herättävät meissä luonnostaan epäluuloa, epävarmuutta ja jopa pelkoa.

Psykoakustiikassa on selvitelty ääniaistimusten elämyspiirteiden ja ääniärsykkeiden akustisten piirteiden välisiä suhteita. Äänekkyyys (kuuluvuus) riippuu ensisijaisesti äänenpainetasosta, mutta myös taajuudesta. Jälkimmäistä riippuvuussuhdetta esittää vakioäänekkyyyskäyrät, joiden mukaan ääneksillä äänekkyyys heikkenee äänenpainetason pysyessä vakiona keskitaajuuksista (1 kHz) pieniin ja hyvin suuriin taajuuksiin siirryttäessä (katso kuva 2.2). Vakioäänekkyyyskäyrät esittävät siis äänekkyytasot, joiden yksikkönä on foni. Äänekkyyteen vaikuttaa myös taajuusspektri ja sen kaistaleveys sekä kesto lyhytkestoisilla äänillä (alle 200 ms). Sävelkorkeus on riippuvainen ensisijaisesti taajuudesta, mutta myös äänenpainetasosta ja kestosta (lyhytkestoisilla ääniärsykkeillä). Äänen karheus on riippuvainen ääniärsykkeen nopeista taso- ja taajuusvaihteluista. Äänen terävyys on riippuvainen taajuusspektrin muodosta. Äänen meluisuus (*noisiness*) ja häiritsevyys (*annoyance*) ovat riippuvaisia äänekkyyden tavoin niin ikään äänenpainetasosta, mutta myös taajuussisällöstä ja ajallisista vaihteluista, osin äänilähteen laadusta ja myös äänen merkityssisällöstä.

Kuulojärjestelmän herkkyys äänien havainnoinnissa liittyy ulkoisen äänen tasoon. Kuuloherkkyys mitataan kuulokynnyksenä, jolla tarkoitetaan heikointa juuri havaittavan ääneksen tai seosäänen tasoa. Kuulokynnyksarvo ilmoitetaan standardin mu-

kaisesti kuulotasona (dB HL), jonka vertailuarvon perustana on normaali kuulokynnys ja joka eroaa keskitaajuuksilla noin 10 dB äänenpainetason vertailuarvosta (ISO 389). Kuuloherkkyys on jatkuvasti ympäristön äänitasoon sopeutuva (adaptoituva). Hiljaisuudessa, kun ympäristön äänitaso on heikko, kuuloherkkyys paranee muutaman dB. Jos ympäristön äänitaso on voimakas, kuuloherkkyys huononee. Muutoksen suuruus (jopa useita dB) on riippuvainen ympäristön äänitasosta.

Toisaalta kuulojärjestelmä on selektiivisesti herkkä. Sen erotuskyky perustuu mahdollisuuteen erotella ääniä niiden elämyspiirteiden, kuten sävelkorkeuden ja äänekkyyden, perusteella ja kykyyn tunnistaa ääniä oppimiemme äänihahmotyyppien perusteella. Erottelimme esimerkiksi eri vokaali- ja konsonanttiaanteita kielemme äänneryhmien mukaisesti, tunnistamme tuttujien ihmisten ääniä ja tyypillisiä ympäristön ääniä kuten ovikellon ja puhelimen, koneiden, luonnon ja soittimien ääniä.

Kolmas kuulojärjestelmän erottelukyky perustuu äänilähteen suunnan ja paikan erotteluun, mikä edellyttää riittävää kuulokykyä kummassakin korvassa.

Hiljaisuus on äänien elämysmaailmaan liittyvä havaintotila. Ympäröivä äänimaailma ei akustisesti ole koskaan täysin äänetön. Vastaavasti korvan ja aivojen kuulojärjestelmässä on aina perustoimintaa, jonka voimme kuulla äänenä, tinnituksena. Hiljaisuus edellyttää opittua kykyä siirtää huomio pois ympäristön heikoista äänistä ja kuulojärjestelmän oman perustoiminnan äänestä.

## 2.2

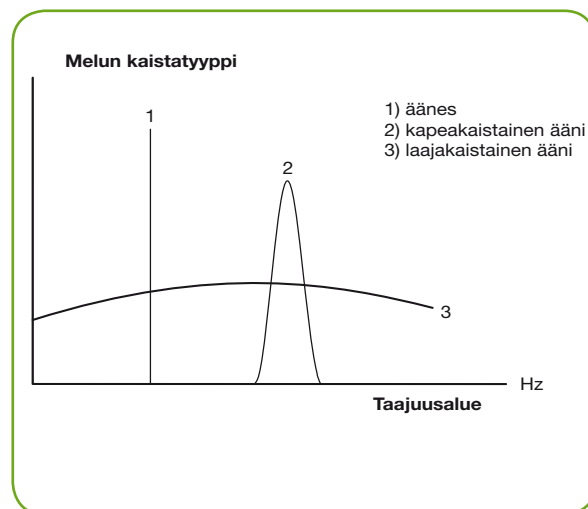
### Äänen/melun akustiset piirteet

Melun akustinen kuvaus on äänen kuvausta. Äänen fysikaalisina perusominaisuuksina ovat äänen taajuus, äänenpaine ja äänen ajalliset piirteet kuten kesto. Ääni on aaltoliikkeenä väliaineessa (yleensä ilmassa) etenevää värähtelyä. Kun se on jaksollista, sen taajuus ilmoittaa värähtelyjen tai jaksosten lukumäärän aikayksikössä. Sen yksikkönä on Hz (Hertsi, 1 Hz = 1/s). Värähtelyn laajuutta, voimakkuutta mitataan paineen muutoksina. Äänenpaineen yksikkö on Pascal (Pa = N/m<sup>2</sup>). Koska kuuloalueen äänenpaine vaihtelee monimiljoonakertaisesti, käytetään äänenpaineen sijaan suhteellista logaritmistä suuretta, äänenpainetasoa, jonka yksikkö on

dB. Sen vertailuarvo on 20 µPa eli äänenpainetason ollessa 0 dB, äänenpaine on 20µPa.

Yksittäisiä ja eri äänilähteille ominaisia ääniä kuvataan kahdella tavalla. Yhtäältä ilmoitetaan määrättyinä hetkenä äänen/melun äänenpainetaso eri taajuuksilla (taajuusspektri). Toisaalta voidaan ilmoittaa äänenpainetason muutokset ajan kuluessa sisältäen äänen kaikki kuuluvat taajuudet. Edellisessä kuvauksessa muuttujana on siis taajuus, joka yleensä merkitään myös logaritmisena (yleensä oktaavijakoisena), jälkimmäisessä aika.

Näiden kuvausten perusteella ympäristön ääniä voidaan ryhmitellä taajuuden suhteen laaja- ja kapeakaistaisiin (kuva 2.1). Esimerkiksi ns. valkoinen kohina on laajakaistaista. Sen äänenpainetaso on vakio kaikilla taajuuksilla. Kapeakaistaisessa äänessä äänienergia keskittyy rajoitetulle taajuuskaistalle, joka voidaan määrittellä keskitaajuuden ja kaistaleveyden (tai ylä- ja alarajataajuuden) avulla. Jos ääni muodostuu vain yhdestä taajuudesta, sitä kutsutaan äänekseksi. Äänigeneraattorin tuottamaa keinoitekoista äänestä käytetään kuulon tutkimuksissa. Kaikki muut äänet ovat seosääniä sisältäen useita taajuuksia erilaisilla hetkestä toiseen vaihtelevilla äänenpainetasoilla. Seosäänen kokonaisvoimakkuus määräytyy sen eri taajuuskaistojen osuudesta kokonaisäänitasossa. Kaikki elinympäristömme äänet ovat seosääniä.



Kuva 2.1. Kaavio äänen/melun kaistaleveydestä, äänenpainetaso (pysty-akselina), taajuus (vaaka-akselina); (1) äänes, (2) kapeakaistainen ääni, (3) leveäkaistainen ääni.

Ajan suhteen ryhmiteltyinä ympäristössä esiintyy sekä lyhyt- että pitkäkestoisia ääniä. Lyhytkestoista (alle 1 s) ääntä kutsutaan impulssiääneksi. Isku, kolaus, laukaus, paukahdus ja räjähdys aiheuttavat impulssiääniä. Niiden taajuussisältö voidaan analysoida akustisin mittauksin. Lyhytkestoisten ja nopeasti tasoltaan muuttuvien äänien äänenpainetaso voidaan mitata käyttäen tarkoituksenmukaisia aikapainotuksia (ks. luku 2.3).

Ympäristömme ei koskaan ole täysin hiljainen, vaan ympärillä on jatkuvasti ainakin heikkoa taustääntä, -kohinaa, -hälyä, -melua. Yksittäisten äänien erottelu taustakohinasta riippuu häiriöetäisyydestä (kohinaetäisyydestä), joka ilmoittaa taustakohinan ja erotettavan äänen äänitasojen erotuksen (signaali-kohina-suhde) yksikkönä dB.

### 2.3

## Äänen/melun mittaus

Äänen/melun mittauksessa joudutaan huomioimaan useita tekijöitä muun muassa

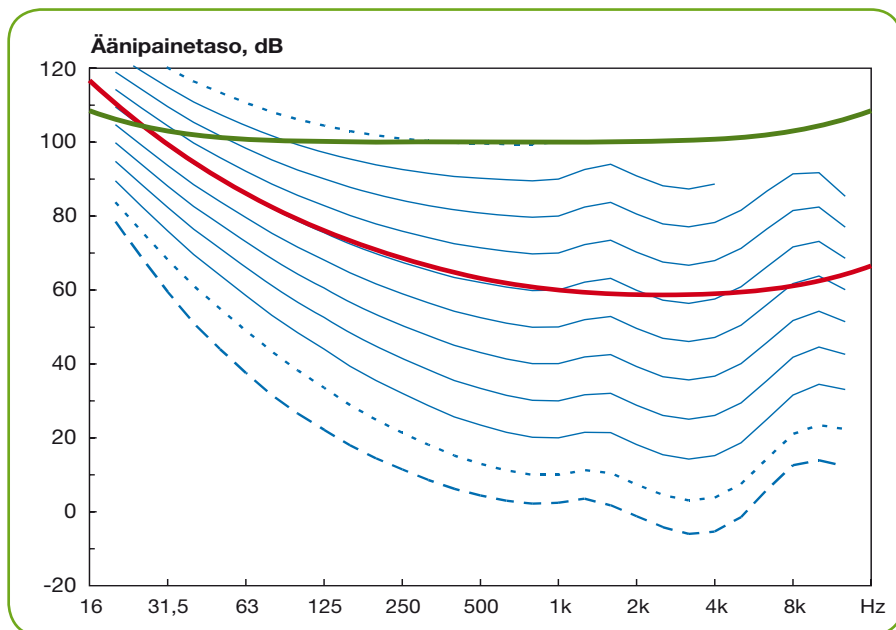
- ääni-/melulähteen laatu,
- kuulijan/kohteen/mittauspisteen etäisyys äänilähteestä,
- mittauspisteen sijainti heijastaviin pintoihin nähden,
- mittausajankohta ja mittauksen kesto,

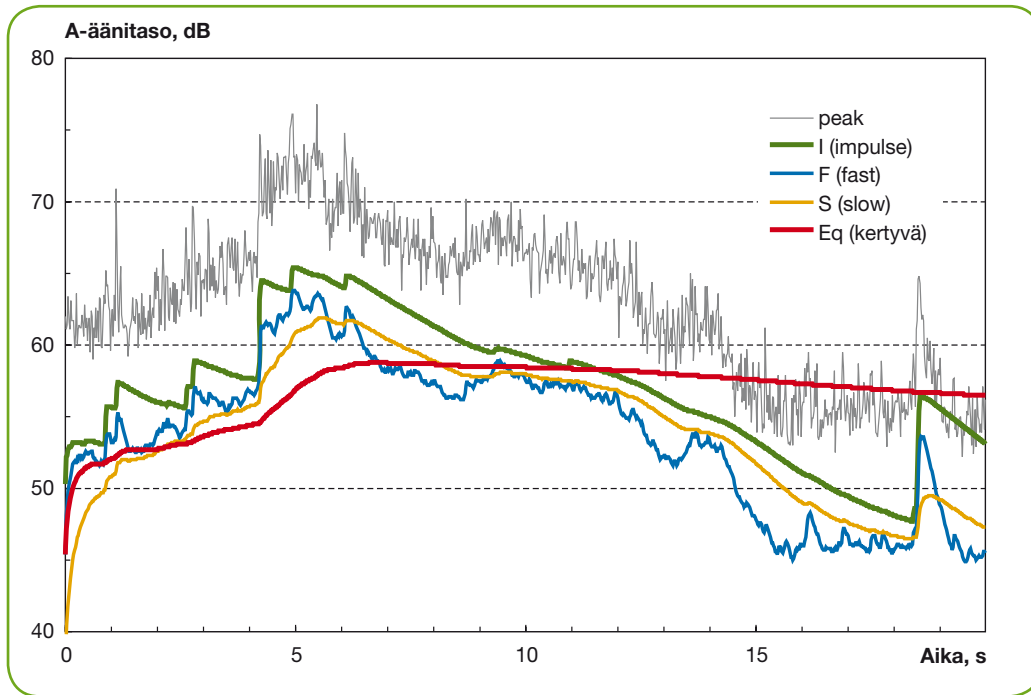
- mittauksessa käytetyt taajuus- ja aikapainotukset,
- mittausten määrä ja niiden edustavuus melulähteen ja tutkittavan vaikutuksen kannalta.

Näitä seikkoja käsitellään muissa selonteoissa ja oppaissa. Joskus tarvitaan äänitasomittarin (melumittarin) ohella myös muita mittalaitteita esimerkiksi taajuusanalyysin ja -spektrin sekä jälkikäiunta-ajan mittausta varten.

Koska äänen/melun äänekkyyys riippuu äänen taajuussisällöstä, otetaan mittauksessa eri taajuuksien osääniä suhteellinen painoarvo huomioon. Jos kaikki taajuuskaistat huomioidaan samantapoisina, on kyseessä lineaarinen äänenpainetason mittaus. Koska kuulojärjestelmän herkkyys vähenee (kuulokynnyksen arvo äänenpainetasona kasvaa) taajuuden pienentyessä, painottamaton äänenpainetason mittaus ei anna sellaista käsitystä äänen voimakkuudesta, joka vastaisi sen äänekkyyttä/kuuluvuutta. Tämän takia painotetaan eri taajuuksia eri tavalla ja käytetään standardisoituja painotuskäyriä (kuva 2.2, IEC 61672-1). Sen mukaan painotuskäyrä A mallintaa normaalikuuloisen taajuudesta riippuvia herkkyyseroja noin 60 fonin äänekkyytasolla. Painotuskäyrä C on suurin piirtein taajuudesta riippumaton keskitaajuuksilla noin 100 fonin tasolla. Jälkimmäistä voidaan käyt-

Kuva 2.2. Kuuloaistin standardisoidut, "tavalliset" vakioäänekkyysskäyrät äänekkyyden funktiona (ISO 226: 2003). Alin katkoviiva on kuulokynnys. Ylin 100 fonin käyrä on merkitty pisteviivalla, koska äänekkyystieto on rajallinen. Kuvaa on merkitty myös A- ja C-painotukset (A: punainen, C: vihreä) (IEC 61672-1)(Lahti, 2006).





Kuva 2.3. Esimerkki eri A-äänitasoista ajan funktioina, A-äänitaso (pystyakselina), aika (vaaka-akselina): A-huippuäänitaso  $L_{Apeak}$ , liukuva A-äänitaso  $LA(t)$  aikapainotuksella S, F ja I sekä kertyvä keskiäänitaso  $LA_{eq}$ . Ääni: kivilouheen kippauksen melua rakennustyömaalla (Lahti, 2006).

tää muun muassa voimakkaiden impulssiäänien mittauksissa. Kahden tai useamman samanaikaisen erillisen äänilähteen antama kokonaistaso voidaan laskea logaritmistien laskusääntöjen mukaan.

Taajuuspainotuksen lisäksi joudutaan valitsemaan aikapainotus (kuva 2.3). Standardin mukaan aikapainotus S (slow) antaa äänitason (esimerkiksi  $L_{AS}$ ) keskiarvona 2 s kestoiselta aikajaksolta. F (fast) vastaavasti kuvaa äänitason (esimerkiksi  $L_{AF}$ ) 250 ms ajalta. Kolmas, aikaisemmin käytetty aikapainotus on I (impulse), jonka aikavakio on 35 ms. Hetkellinen huippuäänitaso ( $L_{Apeak}$  tai  $L_{Cpeak}$ ) saadaan asennolla "peak". Se ei ole kuitenkaan aikapainotus.

Yleinen äänen/melun voimakkuutta kuvaavan A-äänitason mittayksikkönä on dB. Koska aikaisemmin on ollut käytössä myös muita painotuskäyriä, on ollut tapana käyttää muotoa dB(A). Vastaavasti tulisi ilmoittaa myös käytetty aikapainotus, jonka valinta riippuu melulähteestä. Jos A-äänitason kanssa käytetään aikapainotusta, se soveltuu tasaisen melun mittaukseen sekä myös enimmäisäänitason ( $L_{Amax}$ ) mittaukseen, joka on mittausaikana valinnut suurin A-äänitason.

Yleisin vaihtelevan ympäristömelun voimakkuutta kuvaava suure on keskiäänitaso (samanarvoinen jatkuva äänitaso, ekvivalenttitaso,  $L_{Aeq}$  tai joskus  $L_{Ceq}$ ). Se ilmoittaa keskimääräisen äänitason tarvittavan aikaikkunan osalta. Se on käyttökelpoinen verrattaessa esimerkiksi samanlaisten melulähteiden häiritsevyyttä keskenään, meluja, jotka taajuussisällöltään ovat samanlaisia, mutta joiden ajalliset vaihtelut ovat erilaisia. Se ei sovi pientaajuisten melun ja hyvin kapeakaistaisen melun vertailuun muiden melutyyppejen kanssa. Keskiäänitason vastaava suure on äänialtistustaso ( $L_{AE}$  tai  $L_{CE}$ ), joka kuvaa aikarajoitetun äänitapahtuman tuottaman meluannoksen tasoa. Äänialtistustaso yhdistää yhdeksi mittaluvuksi lyhyiden tapahtumien enimmäisäänitason, keston ja lukumäärän.

Melumittauksia ja -arvioiteja tarkasteltaessa myös altistusajan kesto ja vuorokauden aika ovat keskeisiä tekijöitä melun haittoja ajatellen. Samoin yksittäisten melutapahtumien lukumäärä ja ajallinen jakauma voivat olla melun vaikutuksien kannalta olennaisia. Tarvittaessa joudutaan huomioimaan tasaiseen laajakaistaiseen meluun liittyvät impulssiäänit, voimakkaat matalat äänit,

voimakkaat äänekset tai kapeakaistaiset äänet. Mil-lään akustisella mittausjärjestelyllä tai monipuoli-sellakaan analysoinnilla ei voida vertailukelpoisesti kuvata kaikkien melutyypin ”voimakkuutta”, koska melun erilaisia haitallisia vaikutuksia tarkas-teltaessa on melun fysikaalisten ominaisuuksien ohella otettava huomioon muitakin tekijöitä.

On kuitenkin pyrittävä kehittämään erilaisia akus-tisiin mittauksiin perustuvia tunnuslukuja, jotka huomioisivat tai painottaisivat melualtistuksen eri-koispiirteitä. Niihin kuuluu esimerkiksi äänitason vaihtelun huomioiva tapa ilmoittaa voimakkaiden tasojen osuus prosentteina altistusajasta pysyvyy-sasena, kuten  $L_{10}$ , joka ilmoittaa tason, joka ylittyy 1 % mittausajasta. Päivä- ja yöaikaisen melun keski-näisen painotuksen huomioiva keskiäänitaso mer-kitään  $L_{DN}$ . Aikaisemmin on käytetty myös muun muassa melun häiritsevyyttä kuvaavia tunnuslu-kuja, kuten NNI (Noise and Number Index) sekä NPL (Noise Pollution Level), joka määrittelee ns. meluhäiriötason  $L_{NP}$  keskiäänitason histogrammi-jakauman perusteella. Lukuisten eri mittalukujen käyttö vaikeuttaa meluvaikutustutkimusten vertai-lua, minkä takia olisi suositeltavaa pitäytyä tavan-omaisissa taajuuspainotetussa keskiäänitasossa ja aikapainotetuissa äänitasoissa.

Kun tarkastellaan melua rakennetussa ympä-ristössä, etenkin huonetiloissa, on usein tarpeel-lista mitata myös tilalle ominainen kaikuisuus. Melulähteen säteilemä ääni saavuttaa kuuntelijan tai altistetun paitsi suoraan myös seinistä, katosta ja lattiasta tai huoneessa olevista muista pinnois-ta heijastuneena. Jos kyseiset pinnat ovat kovia ja heijastavat hyvin ääniaaltoja, kuuntelija voi havaita äänen/melun kaikumisen pitkään. Kaikuisuus mi-tataan jälkikäiunta-aikana, jolla tarkoitetaan sitä ai-kaa, jona impulssiäänien äänitaso heikkenee 60 dB. Kaikuisuudella on erityisesti merkitystä puheen erotuskyvyn kannalta.

## 2.4

### Ympäristömelulähteet

Elinympäristössämme on suuri joukko erilaisia ääni-/melulähteitä. Yllämainitun määrittelyn mu-kaisesti periaatteessa mikä tahansa ääni voi olla melua, jos se koetaan häiritsevänä, tai se vaikuttaa haitallisesti elintoimintoihin taikka vaurioittaa eli-miä. Tässä yhteydessä ei käsitellä työpaikkame-lua. Toki jollekin henkilölle tyypillinen työperäinen melu voi toiselle olla ympäristömelua. Niin ikään omasta toiminnasta syntyvä ääni/melu ja vastaa-vasti muiden aiheuttama melu on seikka, jolla on merkitystä meluvaikutuksia ajatellen. Siihen liit-tyvä mahdollisuus hallita ja ennakoida melua voi olla ratkaisevaa kyseisen äänilähteen luokittelussa meluksi.

Taulukossa 2.1 on lueteltu esimerkkejä ylei-simmistä ympäristömelulähteistä ja -tyypeistä. Kullakin niistä on tyypillisiä ominaisuuksia paitsi akustisissa mittauksissa myös vuorokauden ajan, keston, toistuvuuden, säännöllisyyden, leviämi-sen, merkityssisällön ja hallittavuuden kannalta. Eri melulähteisiin liittyvät ongelmat voivat kuulua eri hallinnonalojen vastuulle.

Taulukko 2.1.  
Esimerkkejä ympäristömelun lähteistä.

Liikenne	tieliikenne raideliikenne lentoliikenne vesiliikenne (myös moottori- veneet ja vesiskootterit) moottorikelkat
Ulkoisen teollisuusmelu	teollisuuslaitokset voimalaitokset (myös tuulivoimalat) louhimot ja murskaamot rakentaminen
Asuin ympäristön melu	ilmastointilaitteet hissit kodin- ja puutarhakoneet naapurimelu ja askeläänet itse tuotettu melu (puhe, lasten itku, TV, radio, soittimet, huone- kalut, ovet, myös askeläänet)
Vapaa-ajan melu	moottoriurheilu ampuma-aseet ja -radat ulkoilmatilaisuudet ravintolat, diskot harrastusvälineet ja lelut ilotulitteet
Luonto	tuuli, kosket, ukkonen eläimet



## 3 Melun häiritsevyys

Ympäristömelun yleisin haittavaikutus on sen häiritsevyys (englanniksi *annoyance*, ruotsiksi *störning* ranskaksi *la gêne* ja saksaksi *Belästigung*). Häiritsevyydellä tarkoitetaan tekijää, jonka yksilö tai ryhmä kokee kielteisenä, epämiellyttävänä ja ei-toivottuna (WHO 1980). Se on siis subjektiivinen, havainnon kaltainen kielteinen tuntemus, kokemus, joka ilmenee altistuksen aikana, sen jälkeen tai odotettavaa altistusta edeltävänä ajanjaksona. Eri kielissä edellä mainittujen käyttöön vakiintuneiden sanojen merkityssisällöt eivät täydellisesti kata häiritsevyykokemusta, vaan sitä täydennetään muilla sanoilla (englanninkielessä esimerkiksi *nuisance, disturbance, unpleasantness, dissatisfaction, interference, irritation, displeasure, vexation*). Mielekkäänä määrittelyä voidaan myös katsoa häiritsevän melun olevan ääntä, joka varaa tahtomattamme huomiotamme, vaikka emme haluaisi jäädä sitä kuuntelemaan. Häiritsevyys kuvaa myös reaktiota epämiellyttävään ääneen.

Psykoakustiikassa käsitellään häiritsevyyden suhdetta äänen fysikaalisiin muuttujiin etenkin meluksi luokitellun äänen äänitasoon. Suhde on äänekkyyden ja meluisuuden kanssa samankaltainen (luku 2.1). Meluisuus riippuu äänekkyyttä enemmän myös muista akustisista muuttujista. Häiritsevyyteen vaikuttavat äänitason lisäksi äänen fysikaalinen taajuussisältö ja ajalliset muuttujat, joita vastaavia elämyksellisiä piirteitä ovat muun muassa äänen terävyys, vaihteluvoimakkuus ja karheus, äänen koetut kielteiset ja epämiellyttävät elämyspiirteet sekä äänen merkityssisältö. Häiritsevyyden ja epämiellyttävyyden (*discomfort*) vastakohtana on äänen miellyttävyyden (*comfort, pleasantness*). Häiritsevyys on siis yksilökohtaisesti koettu, subjektiivinen havaintopiirre, jonka mittaus ei ole akustisin menetelmin mahdollista, vaan edellyttää melualtistetun omaa häiritsevyysoimakkuuden tai -asteen arviointia. Häiritsevyys on kielteisenä kokemuksena toiminnanvajakuksen kaltainen tekijä, jonka vain altistettu voi itse arvioida (ks. luku 1.2).

Häiritsevyyteen vaikuttavat täten

1. melun akustiset ominaisuudet,
2. tilanteeseen ja olosuhteisiin liittyvät tekijät, kuten altistuneen asuinolot ja sosioekonomiset tekijät,
3. yksilön oma mahdollisuus vaikuttaa melulähteeseen (vertaa itse aiheutettu melu ja naapurin aiheuttama melu) ja altistetun meneillään oleva toiminta (ks. luku 4) sekä
4. meluun liittyvät psykologiset tekijät, esimerkiksi melulähteen tunnistamismahdollisuus ja suhtautuminen melulähteeseen sekä siihen liittyvät ennakkoasenteet ja pelot.

Edellä esitettyjä muita kuin akustisia muuttujia kutsutaan modifioiviksi tekijöiksi. Niidenkin takia melun äänitasolle ja häiritsevyyden asteelle ei ole yleispätevää annos-vastesuhdetta. Suurissa väestötöissä erilaisten modifioivien tekijöiden vaikutus kuitenkin tasaantuu, minkä takia ympäristömelun haittavaikutuksia arvioitaessa lähtökohtana voidaan määrätyillä ehdoilla käyttää tiedeyhteisön todentamia annos-vastesuhteiden keskiarvoja.

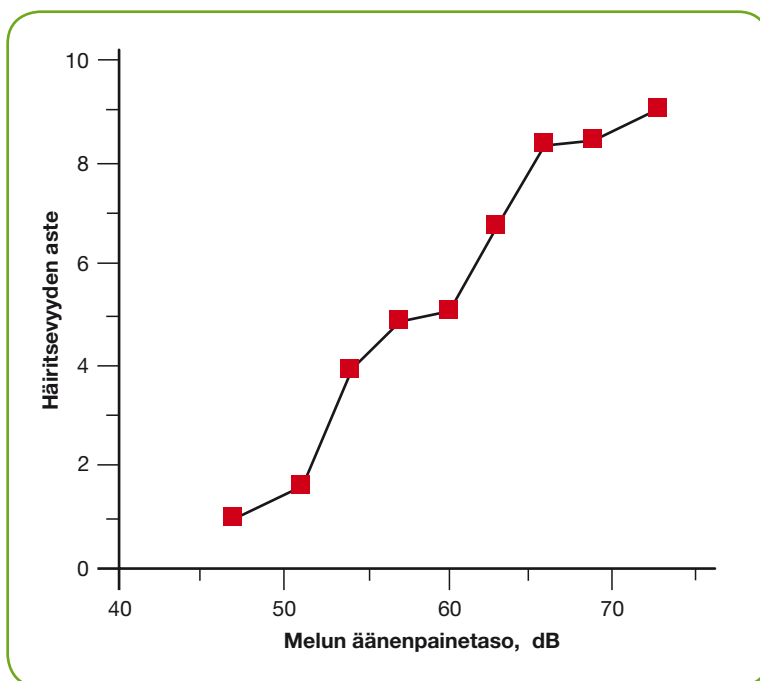
Koska häiritsevyys osaltaan lisää erilaisissa elintoiminnoissa todettavia muutoksia, sekoittuvat ne arkikielenkäytössä helposti häiritsevyyteen. Tällaisia ovat nukahtamisen, rentoutumisen ja unen (luku 4.1), keskittymisen ja muiden kognitiivisten toimintojen (luku 4.2), kuulemisen ja viestinnän (luku 4.3) sekä vegetatiivisten elintoimintojen (luku 4.4) häiriöt. Ei toki ole poissuljettua, etteikö häiritsevyydentuntemuksella ja edellä mainituilla elintoimintojen häiriöillä olisi keskinäistä vuoro-vaikutusta, mutta häiritsevyys melun aiheuttamana tuntemuksena esiintyy toki myös silloin, kun ei ole kysymys vaikutuksista uneen, kognitiiviseen suorituskykyyn, kuulonvaraiseen viestintään tai vegetatiivisiin toimintoihin.

## Melun häiritsevyyden mittausta ja arviointi

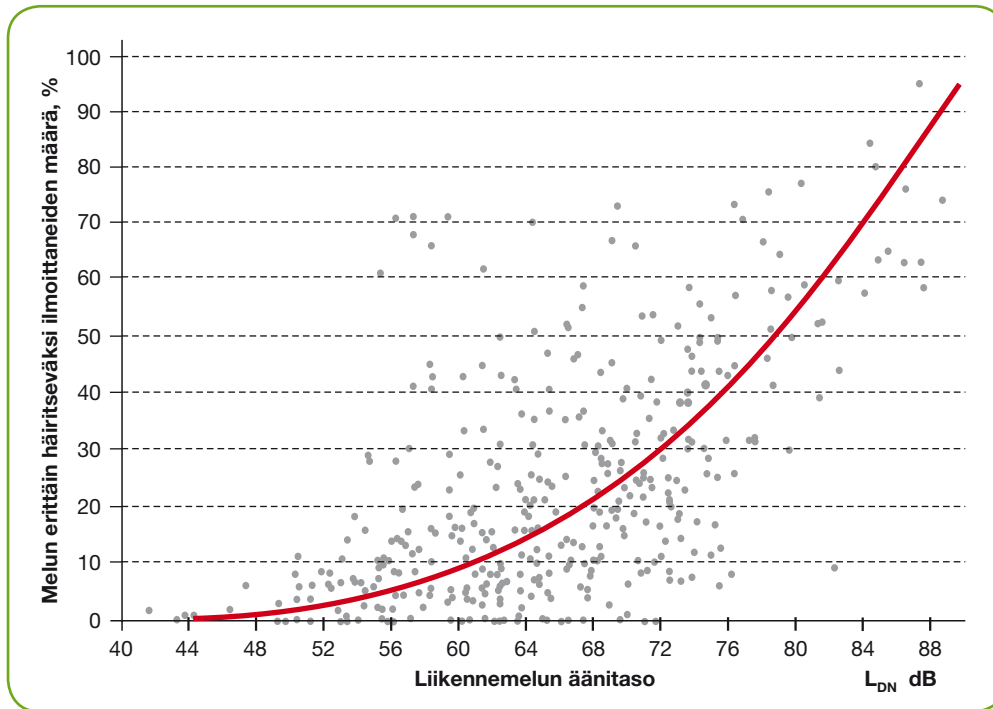
Melun häiritsevyyttä voidaan arvioida vain psyykoakustisesti yksilö- tai ryhmätasolla. Arviointi voidaan tehdä joko laboratorio-oloissa, jolloin voidaan tarkemmin hallita melun äänitaso ja sen muut akustiset muuttujat, tai kenttätutkimuksena. Tutkimuksissa altistuneet arvioivat itse häiritsevyyden ja ilmoittavat sovitulla tavalla sen voimakkuusasteen. Tähän käytetään sovittua sanallista kuvausta (esimerkiksi "ei", "vähän", "melko", "hyvin" ja "erittäin" häiritsevä, englanninkielisen suosituksen mukaan; "not at all", "slightly", "moderately", "very", "extremely"), numeerista arviota 11 voimakkuusluokkaan (0–10) tai muuta ilmaisua, kuten viivan pituuden arviointia (Visual Analog Scale, VAS), joka kuvaa suhteellista melun häiritsevyyden voimakkuutta/määrää. Häiritsevyyden voimakkuutta ilmoittavien sanojen tarkka merkitys eri kielissä voi olla erilainen. Englannin kielessä "slight" vastaa numeerista voimakkuutta 1, "moderate" 5, "very" 8 ja "extreme" 10. Väestötasolla tehtävää tutkimusta koskeva suositus sisältyy dokumenttiin ISO/TS 15666:2003.

Häiritsevyyden yksilö- tai väestötutkimusten tavoitteena on saada annos-vastesuhde, joka ilmoittaa häiritsevyysoimakkuuden suhdetta ensisijaisesti melun äänitasoon. Mitatut annos-vastesuhteet osoittavat häiritsevyyden asteen kasvavan monotonisesti (samaan suuntaan jatkuvasti muuttuvana) äänitason lisääntyessä kuvan 3.1 esittämän psykofyysinen funktion mukaan, joka kuvaa vasteen voimakkuuden muutosta altisteen voimakkuuden muuttuessa. Heikkona häiritsevyyttä voi esiintyä jo noin 20 dB A-äänitasosta alkaen, ja häiritsevyys saavuttaa suurimman voimakkuutensa usein 70–80 dB tasolla. Koska annos-vastesuhde on monotoninen eikä siinä ole selkeitä epälineaarisia taitekohtia, kynnyksiä, raja-arvojen määrittäminen ympäristömelulle ei niiden perusteella ole mahdollista. Annos-vastesuhteen edellä kuvattu tutkimus edellyttää paitsi melun äänitason muuttamista kyseisen äänitasoalueen rajoissa, myös meluna koetun äänen muiden akustisten muuttujien hallintaa kyseisen melun äänilähteen osalta.

Kyselytutkimuksissa tarkastellaan yleensä häiritsevyyden yleisyyttä väestössä määrätyillä häiritsevyyden asteilla (kuten erittäin häiritsevänä koettuna) suhteessa mitattavan melun äänitasoihin, jolloin saadaan psykometrinen funktio, joka esittää määrätyn kriteerin mukaisen vasteen esiintyvyyttä



Kuva 3.1. Kaavio häiritsevyyden psykofyysisestä annos-vastesuhteesta, jossa häiritsevyyden aste (pystyakselinä, asteikolla 0–10) kasvaa melun äänenpainetason (vaaka-akselinä) lisääntyessä (Lambert & Maurin, 1988).



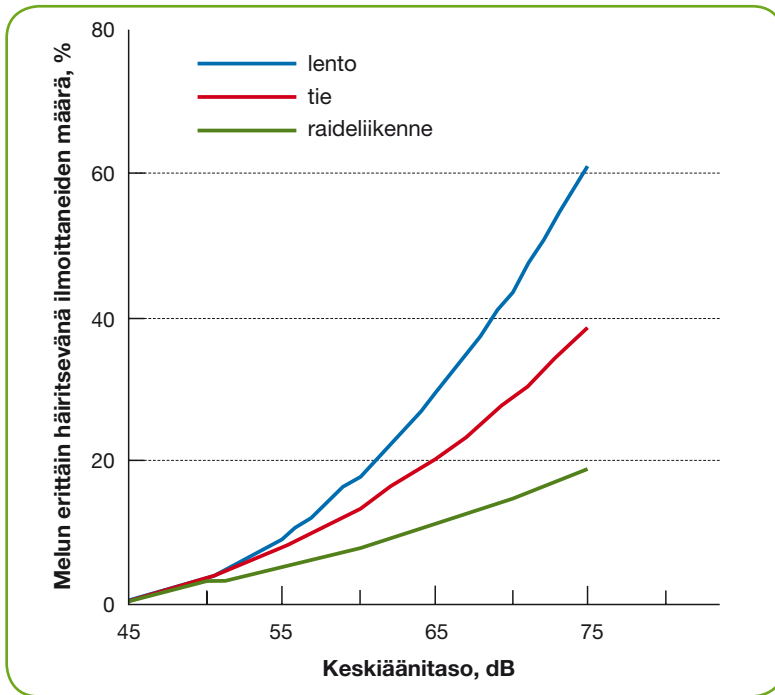
Kuva 3.2. Melun erittäin häiritseväksi ilmoittaneiden määrä (pystyakselina) liikennemelualtistuksen lisääntyessä (vaaka-akselina) (Fidell et al.,1991).

tutkitussa väestöotoksessa altisteen voimakkuuden muuttuessa (kuva 3.2). Saatua väestövasteen suhde melun äänitasoon on myös monotonisesti kasvava eikä se liioin anna kiinnekohtia raja-arvoja varten. Meluvaikutusselvityksessä tulee kysymykseen joko määrätty melulähde tai asuinympäristön kokonaismelu, jolloin siitä ei ole eriteltävissä eri melulähteitä. Niin ikään kyselyssä tulee määrittellä altistusajankohta (päivä, yö, vuodenaika, määrättyt päivät, viikot tai kuukaudet) ja altistuksen kokonaiskesto (kuinka monta vuotta). Myös muita altistettujen tilanteeseen vaikuttavia seikkoja, kuten melun aiheuttamaa levon, nukahtamisen tai unen häiriötä, viestinnän ja suorituskyvyn vaikeutumista sisällytetään usein samaan kyselyyn.

Yksilölliset erot häiritsevyydessä ovat suuria. Melun häiritseväneä kokevissa osa on erityisen meluherkkiä. Kyseessä on yksilöllinen psykofysiologinen ominaisuus, jonka ominaispiirteitä on viime aikoina alettu paremmin ymmärtää (luku 7). Muuten yksilölliset erot selittyvät edellä mainituista altistettujen olosuhteisiin, tilanteeseen ja sen hetkiseen toimintaan liittyvistä seikoista. Selvitysten mukaan

melun äänitaso yksin selittää noin viidenneksen häiritsevyydestä. Tämän takia on välttämätöntä, että häiritsevyys kartoitetaan tilannekohtaisesti altistettujen omien vastausten perusteella, eikä sen arviointia voi perustaa riittävällä luotettavuudella vain äänitasomittauksiin.

Ympäristömelun häiritsevyyttä tarkasteltaessa käytetään melun fysikaalista voimakkuutta ilmoitettaessa yleensä keskiäänitasoa ( $L_{Aeq}$ ), joka sopii hyvin esimerkiksi melko tasaisen ja laajakaistaisen liikennemelun mittaukseen. Usean eri melulähteen kyseessä ollessa voidaan käyttää Zwickerin esittämää usean äänilähteen aiheuttamaa kokonaisäänenekkyyden arviointimenetelmää (ISO 532B). Käytännössä usein voimakkaimman (dominoivan) melun äänitaso on usein määrävä kokonaisaltistusta arvioitaessa. Koska häiritsevyys riippuu myös melun lähteestä ja luonteesta, pelkästään äänitason huomioiminen ei anna oikeaa kuvaa. Esimerkiksi lentomelu aiheuttaa voimakkaamman häiritsevyyden kuin tieliikennemelu, joka vuorostaan on häiritsevämpää kuin raideliikennemelu, vaikka niillä olisi sama keskiäänitaso (kuva 3.3).



Kuva 3.3. Lento- (sininen), tie- (punainen) ja raideliikenne- melun (vihreä) häiritsevyys. Hyvin häiritseväenä ilmoittaneiden osuus (pystyakselina), meluallistustas (vaaka-akselina) (Miedema & Vos, 1998).

Meluhuippujen enimmäistasojen mittaus ( $L_{max}$ ) kuvaa impulssimaista meluallistusta esimerkiksi ampumaratamelun häiritsevyyttä arvioitaessa. Muissakin yhteyksissä esimerkiksi liikennemelua tarkasteltaessa enimmäistasot voivat kuvata meluhaittoja paremmin kuin keskiäänitaso.

Melun äänitasa kuvaavien suureiden lisäksi muutkin melun taajuusspektriin liittyvät muuttajat vaikuttavat häiritsevyyteen, vaikka yksinkertaista mallia niiden mittaamiseksi, arvioimiseksi ja huomioimiseksi, esimerkiksi sopivan tunnusluvun löytämiseksi tai korjausarvon käyttämiseksi, ei aina ole käytössä. Melun kapeakaistaisuus lisää usein häiritsevyyttä, jolloin korjausarvona keskiäänitasoon lisätään esimerkiksi 5 dB. Voimakas pienitaajuinen melu ja värinä aiheuttavat häiritsevyyttä, jota voi pahentaa paineen tunne korvassa ja puheen kuulonvaraisen erotuskyvyn tavallista herkempi vaikeutuminen. C-painotetun äänitason mittaus on usein tarpeen pienitaajuisen melun todentamiseksi (ks. kuva 2.2).

Melun esiintymisaika on huomioitava esimerkiksi yöaikaisen melun häiritsevyyttä arvioitaessa. Yöaikainen melu koetaan häiritsevämpänä kuin päiväaikainen, mikä viittaa siihen, että häiritsevyys riippuu myös häiriöetäisyydestä ympäristön muun äänitason ollessa yöaikaan vähäisempää.

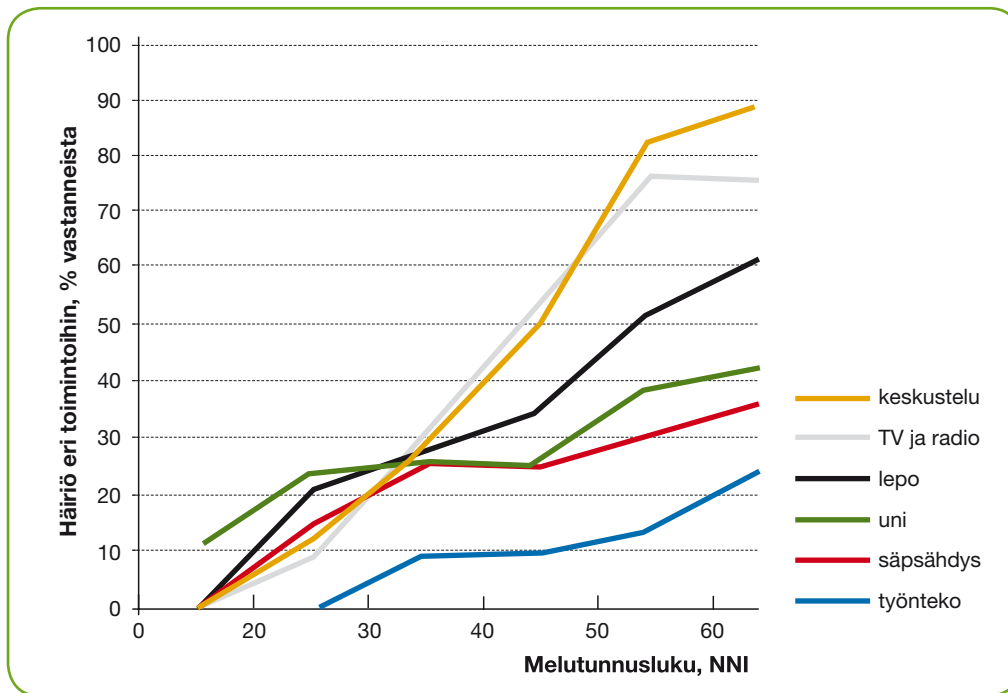
Joskus on myös tarpeen huomioida melutapahtumien lukumäärä. Se vaikuttaa häiritsevyyteen etenkin silloin, kun melutapahtumia on harvoin. Jos melutapahtumia on vuorokauden aikaan vähän ja ne ovat epäsäännöllisiä, keskiäänitaso yksin ei enää ole sopiva tapa kuvata melua ja sen vaikutusta häiritsevyyteen.

### 3.2

## Melun häiritsevyydestä johtuva haitta

Samoin kuin sairauden aiheuttamasta toiminnanvajeuksesta seuraa haittoja, melun häiritsevyydellä on haittavaikutuksia altistetun suoritus-, työ- ja toimintakykyyn ja elämänlaatuun (kuva 3.4). Toimintakyvyn alenema voi pahimmillaan huonontaa toimeentuloa ja elintasa ja edesauttaa syrjäytymistä.

Edellä on jo todettu, että koettu häiritsevyys voi lisätä melun haitallisia vaikutuksia uneen, suorituskykyyn ja kommunikointiin. Vastaavasti fysiologisten elintoimintojen muutoksilla saattaa olla häiritsevyyttä lisäävä vaikutus. Häiritsevyys voi niin ikään lisätä stressiä ja siitä seuraavia tervey-



Kuva 3.4. Eri toimintojen häiriintyminen lentomelualtistuksessa, ilmoitettu häiriö vastanneista (pystyakselina), melutunnusluku (vaaka-akselina) (Grandjean et al., 1973).

delle haitallisia vaikutuksia, altistaa elintoimintojen häiriöille ja lisää sairastuvuutta (luku 4).

Häiritsevyys voi haitata ja kärjittää ihmissuhteita. Aggressiivisuuden lisääntyminen ja toisten huomioon ottamisen ja auttamishalun vähentyminen ovat piirteitä, joita häiritsevyyden on useissa tutkimuksissa todettu aiheuttavan.

### 3.3

## Toimenpiteet häiritsevyyden vähentämiseksi

Altistuneiden omat toimet häiritsevyyden vähentämiseksi asuinalueilla voivat olla esimerkiksi ikkunoiden sulkemista, muutoksia huonejärjestyksessä ja miellyttävänä koetun peiteäänien käyttöä. Muuttohalukkuus on meluisilla alueilla yleistä. Asukkaat myös valittavat melusta viranomaisille. Näistä seikoista johtuen melu voi vaikuttaa asuin-kiinteistöjen hinnanmuodostukseen, jolloin sillä voi olla hyvinkin laaja-alaisia taloudellisia ja sosiaalisia seuraamuksia.

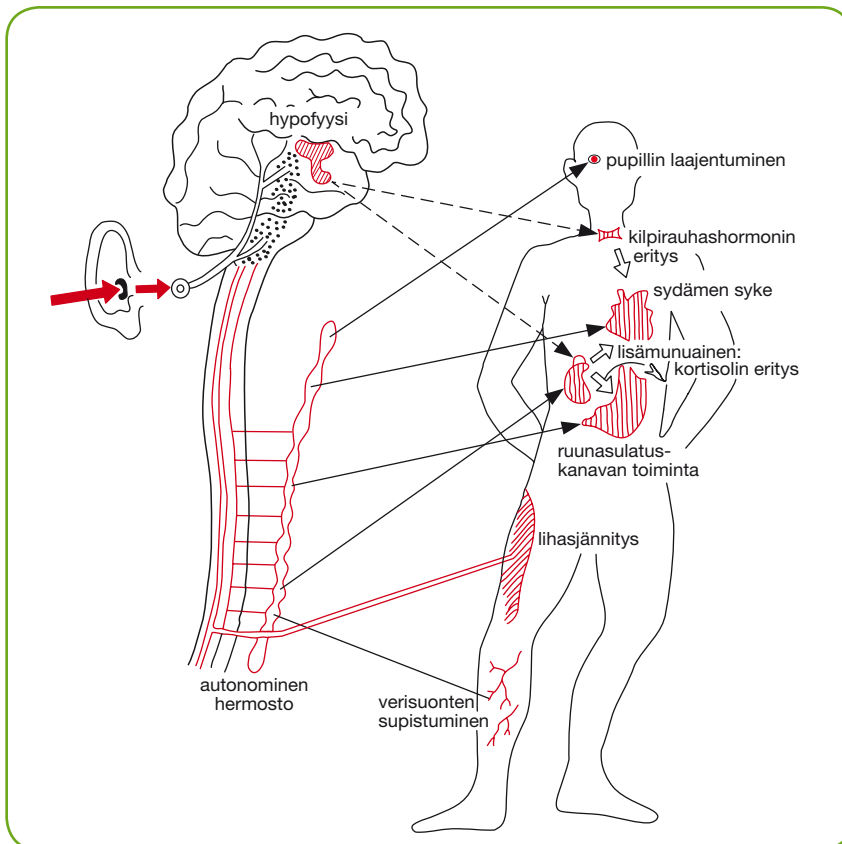
Viranomaisten toimesta häiritsevyyttä voidaan vähentää maankäytön ja kaavoituksen keinoin, tie- ja raideliikennemeluestein ja rakennusten äänieristystä ja suunnittelua parantamalla. Viimeksi mainitulla ei kuitenkaan ole aina toivottua tehoa, koska osa asukkaista pitää kuitenkin ikkunoita auki eikä rakentamisen laatu vähennä melun äänitasoa ja sen häiritsevyyttä parvekkeilla, terasseilla ja piha-alueilla. Torjuntatoimia on käsitelty laajemmin luvussa 9.

## 4 Fysiologiset vaikutukset

Kuten luvussa 1 on tuotu esille, melun aiheuttamia terveysvaikutuksia voidaan tarkastella vastaavalla tavalla kuin muista ulkoisista tai sisäisistä syistä johtuvia sairauksia elimistön ja kudosten rakenteellisina muutoksina ja häiriöinä fysiologiassa elintoiminnoissa, joita voidaan fysiologisin mittauksin todeta. WHO:n käsitteistön mukaan niitä kutsutaan vaurioiksi. Toiminnan vauriot aiheuttavat vuorostaan toiminnanvajausta asianomaisen päivittäisessä toiminnassa ja tehtävissä. Ne ovat seikkoja, joiden laatua ja vaikeusastetta vain asianomainen itse voi arvioida. Esimerkiksi melu voi aiheuttaa toiminnan vauriota vaikeuttamalla nukahtamista ja lepoa. Nämä vauriot voidaan todentaa myös mittauksin, mutta koetun melun aiheuttaman unen häiriön voi vain asianomainen itse arvioida toiminnanvajauksena. Toiminnanvajaus voi vuorostaan merkitä asianomaisen suoritus- ja

työkyvyn huonontumista, heikentää oppimis- ja koulutusmahdollisuuksia, vaikeuttaa ihmissuhteita ja sosiaalista kanssakäymistä, alentaa ansiotasoa, huonontaa asuin- ja muita elinolosuhteita, johtaa syrjäytymiseen ja lisätä muuta sairastumis- ja tapaturmariskiä. Nämä vaikutukset WHO:n käsitteistössä ryhmitellään haitaksi.

Melun/äänen vaikutukset fysiologisiin toimintoihin välittyvät kuulojärjestelmän kautta. On ilmeistä, että melu voi olla fysiologisia toimintoja häiritsevää vain, jos se myös kuullaan ja voidaan havaita. Tosin hyvin pienitaajuinen ja infraäänialueen melu voimakkaana värinä ja painemuutoksina voi aiheuttaa fysiologisia toimintavaurioita. Vastaavasti hyvin voimakas suurtaajuinen ja ultraäänialueen melu voi myös vaikuttaa elintoimintoihin. Silloin vaikutukset välittyvät muiden aistin- tai elinjärjestelmien kuin kuulon kautta.



Kuva 4.1. Kaavio äänen vastaanotosta ja meluvaikutuksen välittymisestä muihin elinjärjestelmiin (Ising & Rebentisch, 1993).

Kuulojärjestelmän (korva ja keskushermoston kuuloradat) kautta välittyvät vaikutukset perustuvat lukuisiin yhteyksiin keskushermoston kuuloradasta motorisiin, kognitiivisiin ja vegetatiivisiin keskuksiin (kuva 4.1). Ne ohjaavat elintoimintoja neuraalisten (hermosto ja osin lihaksisto) tai humoraalisten (sisäeritysrauhaset) säätelypiirien kautta. Koska ihminen on kokonaisuus, jossa erilaiset elintoiminnot vaikuttavat toisiinsa, mitään toimintaa ei tarkkaan ottaen voi tarkastella muista täysin riippumattomana. Samoin nyt käsiteltäviin fysiologisiin toiminnan häiriöihin voi vaikuttaa myös koettu häiritsevyys (luku 3) ja kääntäen häiritsevyyteen voivat vaikuttaa muutokset fysiologisissa toiminoissa. Samoin kuin koettu häiritsevyys voi suuresti vaihdella eri yksilöillä, esiintyy fysiologisten elintoimintojen vaikutusten suhteen merkittäviä yksilöllisiä eroja, joita käsitellään eri muuttujien osalta myös luvussa 7.

Melu on yksi ulkoinen tekijä, joka ei-toivottuna, voimakkaana, jatkuvana tai toistuvana voi aiheuttaa stressireaktion (ks. myös kuva 4.13). Fysiologisesti siihen osallistuu retikulaariaktivaatiojärjestelmä, joka vastaanottaa aktivoivaa ärsytystä keskushermoston kuuloradasta ja muista aistinjärjestelmistä. Se vaikuttaa ratkaisevalla tavalla uhkaavien ja vaarasta varoittavien havaintojen aiheuttamiin reaktioihin, jolloin yksilö joko pyrkii torjumaan vaaran tai pakenemaan ("fight or flight"). Tässä mielessä kuulo etäaistina ja 24 tuntia vuorokaudessa toimivana palvelee varoitusjärjestelmää. Ulkoinen ääni/melu aikaansaa retikulaariaktivaatiojärjestelmässä kaikkiin keskushermoston toimintoihin vaikuttavan valpastumisen (*arousal*) vaaran uhan arvioimiseksi ja tarvittavien reaktioiden ohjelmoimiseksi. Neuraalisten yhteyksien kautta toimivat motoriset vasteet ovat osa näkyviä reaktioita (luku 4.1). Stressiksi melu muodostuu silloin, kun yksilöllä ei ole keinoja sen torjumiseksi. Stressireaktioon kuuluu herkistyminen kyseiselle ärsykkeelle, jolloin valpastumisvaste ei totu (habituoidu) ja huomio kiinnittyy siihen (luku 4.2). Se johtaa fysiologisten toimintojen muutoksiin (luvut 4.1, 4.4). Melun muodostuminen stressitekijäksi johtuu paitsi sen akustisista ominaisuuksista myös sen henkilökohtaisesta ja yhteisöllisestä merkitysisällöstä.

Seuraavassa tarkastellaan tärkeimpiä melun aiheuttamia fysiologisten toimintojen häiriöitä, niitä mitattaessa todettuja meluallistuksen annosvastesuhteita sekä niiden yksilöille aiheuttamaa toiminnanvajausta ja haittaa. Monet fysiologisten

toimintojen muutokset ilmenevät meluallistuksen aikana ja palautuvat normaaleiksi allistuksen loputtua. Muutos voi normalisoitua (adaptoitua) allistuksen jatkuessa pitempään. Jotkut fysiologiset muutokset habituoituvat toistuviin ääniallistuksiin. Pitkään kestänyt allistus voi aiheuttaa jälkivaikutuksia niin, että toiminta pysyy pitkään tai pysyvästi poikkeavana. Pitkään kestänyt toiminnan häiriö voi jopa muuttaa kyseisen elintoiminnan säätelyjärjestelmää niin, että kehittyy pysyviä toiminnan muutoksia, vähitellen myös kudosaivourioita tai rakenteellisia elin- tai kudosaivourioita, jotka voivat tarkoittaa sairastavuusriskin kasvua, sairauden puhkeamisen ja sairauskäyttäytymistä (luku 6).

Seuraavassa lähemmin tarkasteltavat fysiologisten elintoimintojen häiriöt on ryhmitelty

1. neuraalisiin, joista keskeinen on levon, nukahdamisen ja unen häiriintyminen (luku 4.1),
2. kognitiivisiin, kuten keskittymisen, suorituskyvyn ja muistin vaikeutuminen (luku 4.2),
3. akustiseen viestintään liittyviin puheen kuulemisen ja oman puheen tuoton osalta (luku 4.3),
4. vegetatiivisiin, nimenomaan sydän- ja verenkiertoelimistön osalta (luku 4.4).

Jos erilaiset edellä mainitut fysiologiset vaikutukset ovat toimintaa huonontavia tai heikentäviä, meluallistus muodostuu stressitekijäksi, johon elimistö reagoi pyrkien löytämään keinoja normaalien elintoimintojen palauttamiseksi ja elimistön haitallisen yllirasittumisen estämiseksi.

#### 4.1

### Melun aiheuttamat neuraalisten toimintojen häiriöt

Äänen/melun aiheuttama hermotoiminta välittyy keskushermoston kuuloradasta ja -tumakkeista lihastoimintoja ohjaaviin keskuksiin, muihin aistinjärjestelmiin (näkö-, tasapaino- ja tuntoaistit) sekä retikulaariaktivaatiojärjestelmään, joka säätelää elimistön valve- ja vireystilaa ja eri toimintoja. Sopiva ääniärsyke saa näin aikaan lihasrefleksejä, muutoksia muiden aistinjärjestelmien toimintata- soissa ja muutoksia valve- ja vireystilassa riippuen siitä, minkälainen vaihe yksilön vuorokausirytmän, toiminnan tai tehtävien vaatiman suorituskyvyn osalta vireystilassa sillä hetkellä on sekä muutoksia toiminnassa, joita ohjaa autonominen hermosto.

## Lihastreleksiit

Riittävän voimakas ja nimenomaan äkkiä ja odottamatta alkanut ääni laukaisee lihasrefleksejä eli heijasteita, jotka pohjimmiltaan ovat synnynnäisiä. Tällaisia ovat säpsähdyks (startle) ja osana tätä refleksikokonaisuutta luomirefleksi ja välikorvalihasrefleksi. Säpsähdyksessä useita kehon ja raajojen lihasryhmiä supistuu reflektorisesti. Säpsähdyks koetaan pelon värittäjänä tunteena, minkä takia puhutaan myös pelästymisheijasteesta. Välikorvalihasrefleksi (stapediusrefleksi) voidaan mitata korvan akustisen vastuksen muutoksena. Menetelmää käytetään hyväksi kuulojärjestelmää tutkittaessa.

Synnynnäiset motoriset suojarefleksiit palvelevat kuulojärjestelmän kautta toimivana varoitusjärjestelmänä, minkä merkitys etenkin ihmisen biologisessa evoluutiiossa on ollut tärkeä. Suojarefleksiit ovat osin epäspesifisiä, ne voidaan aikaansaada myös muilla aistinärsykeillä. Ne laukeavat jo laajakaistaisen äänitason ylittäessä noin 70 dB, ääneksillä noin 100 dB ja refleksivasteen voimakkuus kasvaa äänitason edelleen lisääntyessä. Refleksiit habituoituvat toistuviin ääniärsykeisiin nopeasti, mutta vaste palautuu normaalille herkkyydelle riittävän pitkän tauon jälkeen. Valtaosalla huonokuuloisista motoristen suojarefleksiien herkkyyks säilyy ennallaan kuulokynnyksen alentumasta huolimatta. Säpsähdyks on siis normaali motorinen reaktio voimakkaalle, odottamattomalle äänelle/melulle (ammunta, räjähdys, paukahdus, huuto, ylääänikone, jne.). Vaikka säpsähdyks ei sinänsä ole normaalista poikkeava fysiologinen vaste, sen esiintyminen melussa voi kuitenkin häiritä altistuneen muuta toimintaa, kuten tarkkuutta vaativaa keskittymistä ja motorista suoritusta. Keskittymisen herpaantuminen ja säpsähdykseen liittyvät tahattomat äkilliset liikkeet voivat aiheuttaa myös vaaratilanteita.

Toinen lihasrefleksikokonaisuus on paikantamis- tai suuntautumisrefleksi käsittäen äänilähteen paikantamisen katseella ja päätä kääntämällä ja huomion kiinnittämisen ääneen. Se kehittyi alun perin säpsähdyksrefleksistä, sillä onhan luonnollista, että uhkana koettu äänilähde pyritään paikantamaan. Paikantamisrefleksi kypsyy ensimmäisen elinvuoden aikana siten, että se ilmenee myös heikoille äänille. Melureaktionä sen voidaan ajatella olevan häiriöksi, jos melulähde epätarkoituksen-

mukaisesti vetää huomion puoleensa sekä pään kääntönä että tarkkaavaisuuden suuntautumisena siihen.

Edellä mainitut motoriset vasteet perustuvat refleksiyhteyksiin kuuloradan ja lihastoimintaa ohjaavien tumakkeiden ja keskusten välillä. Kuuloradan hermosäikeiden ja lihashermotumakkeiden välillä on kuitenkin yksi tai useampia välineuroneja, jotka kuuluvat toiminnallisesti retikulaariaktivaatiojärjestelmään. Näin ollen esimerkiksi huomattavat valvetilan muutokset voivat säädellä myös motorisia suojarefleksiä, kuten ääritapauksissa tajuttomilla potilailla ilmenevä refleksin puuttuminen osoittaa.

## Levon ja unen häiriöt

Ihmisen kaikille fysiologisille toiminnoille on tyyppillistä vuorokauden mukaan esiintyvä uni-valverytmi. Tavanomaisen yönun lisäksi siihen kuuluu lepoa ja rentoutumista myös muina vuorokauden aikoina tai nukkumista myös päiväsaikaan. Tarkkaa rajaa unen ja valveen välillä ei ole määriteltävissä. Levossa, fyysisessä rentoutumisessa, nukahtaessa ja uneen vaipuessa retikulaariaktivaatiojärjestelmä säätelee sekä motorisia että vegetatiivisia elintointoja. Lihasten rentoutuminen ja lihastonuksen vähentyminen on yksi tarpeellinen osa tätä tapahtumaa. Muutokset sydämen syketaajuudessa, verenpaineessa, veren jakautumisessa elimistössä sekä hengitystiheydessä ja -syvyydessä niin ikään mahdollistavat nukahtamisen. Normaalin nukahtamisen edellytykset koskevat nimenomaan sekä valo- että ääniympäristöä.

Melun aiheuttamat levon, unen, nukahtamisen ja nukkumisen häiriöt ovat häiritsevyyden jälkeen yleisin melun terveyshaitta. Voimakkaat, toistuvat tai epäsäännölliset melutapahtumat voivat vaikeuttaa lepoa, rentoutumista, nukahtamista ja unen saantia, herättää kesken unen sekä aiheuttaa muita unen laadun, sen vaiheiden jaksotuksen, syvyyden ja keston muutoksia, jotka ovat rekisteröintimenetelmän todettavissa ja mitattavissa. Meluallistuksen aiheuttamalle unihäiriölle on tyyppillistä se, että sen oireet, kuten unettomuus ja väsymys, tulevat esiin meluallistuksen yhteydessä ja vähentyvät tai lakkaavat välittömästi tai vähitellen altistuksen loputtua. Ympäristömelun aiheuttamien unen ja nukkumisen häiriöiden jatkuessa pitkään voi ilme-



tä terveydellistä haittaa, kuten suorituskyvyn huonontumista, onnettomuusalttiuden lisääntymistä, lisääntynyttä infektiotaltiutta, verenpaineen nousua ja sydäninfarktirikkin kasvua (luvut 6 ja 4.4).

Uneen liittyvien fysiologisten tapahtumien rekisteröinti ja mittaaminen edellyttävät joko laboratoriossa toteutettuja yleensä yön aikaisia melualtistus-tutkimuksia tai vastaavan laitteiston käyttöä kotio-oloissa. Mitattavina muuttujina voidaan käyttää aivosähkötoimintaa (elektroenkefalografia, EEG), silmien liikkeitä (elektro-okulografia, EOG), lihasten jännitystä (elektromyografia, EMG), kehon ja raajojen liikkeitä ja nukkumisasentoa (liikeanturilla aktigrafiassa), neurovegetatiivisina vasteina hengitystä, sydämen sykettä, verenpainetta, veren happikyllästeisyyttä ja myös kortisolien tasoa. Aivosähkötoiminnan analysoinnilla voidaan unen laatua ja syvyyttä ryhmitellä eri vaiheisiin (torke S1, kevyt uni S2, syvä uni S3 ja S4 ja vilkeuni, rapid eye movements, REM). Usein nämä ryhmittyvät unisykleiksi, joiden kesto on 70–110 min. Myös päivällä valveilla ollessa vireystila vaihtelee 90 min sykleissä. Vilkeunen aikana melun aiheuttaman heräämisen todennäköisyys on suurempi kuin muissa unen vaiheissa. Jotkut rekisteröintimenetelmät voivat haitata normaalia unta, mutta joitain muuttujia, kuten kehon liikkeitä, voidaan mitata unipatjalla unta häiritsemättä ja ilman altistettuun kiinnitettäviä antureita tai elektrodeja.

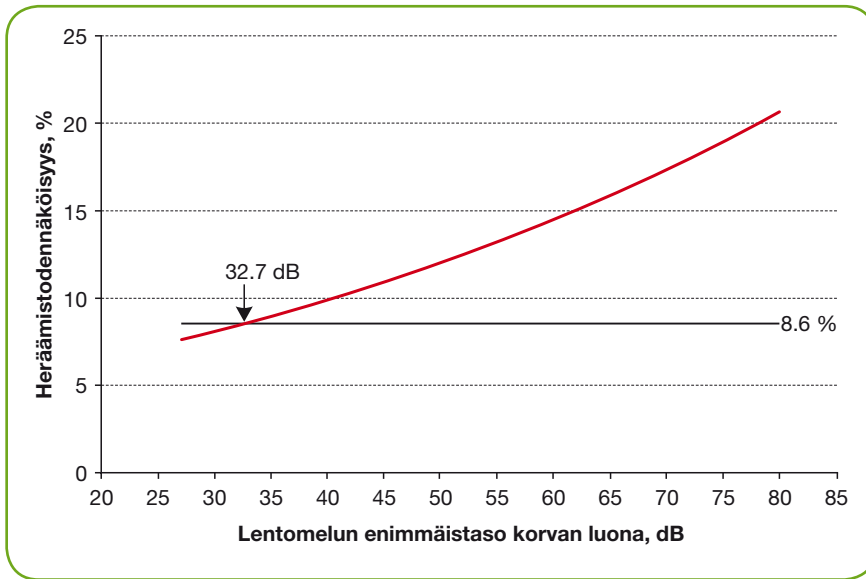
Toisaalta muutoksia voidaan kartoittaa kyselyllä, jossa altistettu arvioi kokemansa häiriöt, kuten nukahtamisen vaikeuden ja viiveen, heräämisen määrän, unen laadun ja aamuväsymyksen. Tulokset tarkentuvat, jos altistettu pitää unipäiväkirjaa. Vastaavasti voidaan altistetun itsensä arvioimana kartoittaa unihäiriöiden aiheuttamaa välitöntä tai pitkäaikaista haittaa kuten väsymystä, suoritus- ja työkyvyn huonontumista, mielialan laskua ja vaihtelua, ärtyisyyttä ja vaikutusta ihmissuhteisiin, infektiotaltiuden lisääntymistä sekä muun yleisen sairastuvuuden muutoksia.

Kolmas ryhmä seuraamuksia, jotka ovat kyselyin selvitettävissä, ovat altistettujen torjuntatoimet melun aiheuttamien unihäiriöiden osalta, kuten korvatulppien käyttö, unilääkkeiden käyttö, ikkunoiden sulkeminen, makuuhuoneen vaihto asunnon hiljaisemmalle puolelle, huoneiston tai talon äänieristyksen parantamiseksi tarkoitetut rakenteelliset toimenpiteet ja asunnon tai asuinalueen vaihto sekä melua koskevien valitusten tekeminen viranomaisille.

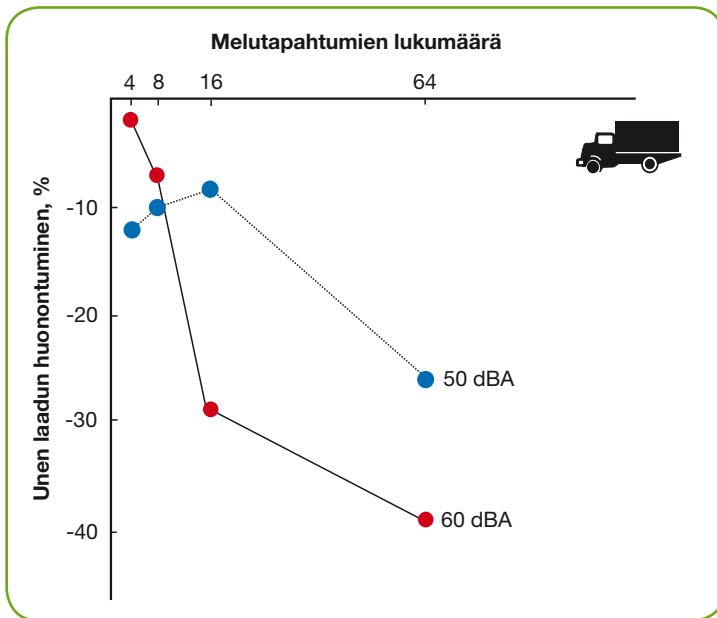
Melun aiheuttamien unihäiriöiden annos-vastesuhteita on tutkittu ensisijaisesti tie- ja lentoliikenteen osalta. Luonnollisesti myös muu asuinympäristön melu, ilmastointilaitteiden melu ja jopa naapurimelu ovat käytännössä tärkeitä melulähteitä. Liikennemelun keskiäänitaso, enimmäistaso sekä melutapahtumien määrä ja ajallinen esiintyminen ovat ne melun muuttajat, joita tässä yhteydessä on eniten käytetty kuvaamaan melualtistuksen voimakkuutta ja ajallista jakaamaa. Mutta myös muita eri seikkoja painottavia melun mittalukuja on esitetty käytettäväksi.

Kuten edellä on todettu, unen aikaisten fysiologisten vasteiden rekisteröinti joko laboratoriossa tai kotona antaa määrättyssä määrin erilaisen kuvan annos-vastesuhteesta kuin altistetun oma arviointi. Ihminen ei muista kaikkia yönun aikaisia lyhyitä heräämisiä. Toisaalta altistettu voi kokea olleensa hereillä ”koko yön”, vaikka olisikin nukkunut valtaosan yöstä. Samoin ihminen ei pysty itse arvioimaan tai muistamaan kehon liikkeitä. Rekisteröinti ei kuvaa ihmisen omaa kokemusta huonosti nukumista yönunesta eikä sen jälkeisestä aamuväsymyksestä. Unen häiriintymisen voi altistettu arvioida itse myös pitemmän ajanjakson ja eri melulähteiden osalta, kun taas rekisteröinti on käytännössä mahdollista vain rajattuna ajanjaksona. Unen laadun omakohtaisessa arvioinnissa voi vaikutuksia ”mitata” myös numeerisesti tai VAS asteikolla (ks. luku 3).

Annos-vastesuhde ilmoitettuna heräämisen todennäköisyytenä tai mitattuna unitason kevenemisenä melutason noustessa voi alkaa 35 dB tasolta (kuva 4.2). Heräämistodennäköisyys kasvaa yleensä monotonisesti laboratorio-olosuhteissa lähes 100 % asti noin 70–80 dB tasolla. Valtaosa heräämisistä kestää vain muutaman minuutin, kesto riippuu kuitenkin melun äänitasosta. Fysiologisia unen aikaisia reaktioita, kuten sydämen syketaajuuden muutoksia, voi esiintyä jo noin 30 dB tasolla, kun taas heikommilla tasoilla ne voivat yhtä hyvin kuulua spontaaneihin muutoksiin eivätkä välttämättä johdu melutapahtumasta tai taustamelun äänitasosta. Selvemmin neurovegetatiiviset vasteet ilmenevät melutason noustessa yli 45 dB. Unen häiriintymisen reaktioista herkimmin muutoksia ilmenee unen syvyydessä unen keventymisenä. Kehon liikkeitä lisääntymistä esiintyy myös melko herkästi. Herääminen ei ole yhtä herkkä kuvastamaan melun aiheuttamaa unen häiriötä.



Kuva 4.2. Lentomelun aiheuttama heräämistodennäköisyys (pystyakselina) makuuhuoneessa mitatun enimmäisäänitason (vaaka-akselina) kasvaessa, kun spontaanin heräämisen todennäköisyys on 8,6 % (Basner et al., 2004).

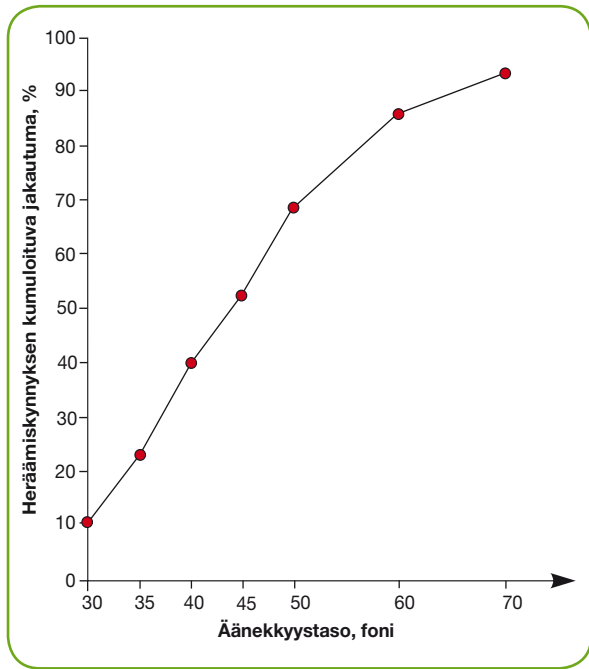


Kuva 4.3. Unen laadun (pystyakselina) heikentyminen liikennemelutapahtumien lukumäärän lisääntyessä (vaaka-akselina) muuttujana keskiäänitaso (Öhrström et al., 1988).

Melutapahtumien määrän lisääntyessä unen laatu aluksi heikkenee, mutta melutapahtumien määrän ollessa suuri, unen laadun huononeminen ei enää lisääny (kuva 4.3). Tähän vaikuttaa kuitenkin myös melutapahtumien keskinäinen väliaika ja ajoitus yöunen aikana. Heräämisriski on suurin, jos aikaväli on 40 minuuttia. Herääminen samanlaisiin ja -tasoiisiin melutapahtumiin on todennäköisempää aamuyöstä kuin iltayöllä. Melutapahtumien määrä melualtistuksen muuttujana pätee unihäiriöiden osalta annos-vastesuhteen alkuosaan, mut-

ta melutapahtumien määrän vaikutus tasoittuu määrän edelleen lisääntyessä. Heräämisen todennäköisyys kasvaa, jos yksittäisen melutapahtuman äänitaso nousee nopeasti, verrattuna hitaampiin nousuihin. Jo muutaman sekunnin ero on merkittävä.

Altistetun itsensä kokemaa ja ilmoittamaa nukahtamisvaiheen pidentymistä (yli 7-15 minuuttia) voi esiintyä 45 dB tasosta alkaen. Heräämiskynnys on herkeimmillään noin 40 dB tasolla ja sen todennäköisyys suurenee siitä edelleen monotonisesti



Kuva 4.4. Heräämiskynnyksen kumuloitua jakauma (pystyakselina) äänekkyytason (vaaka-akselina) lisääntymässä (Grandjean, 1960).

(kuva 4.4). Itse arvioitu unen laatu riippuu myös melun laadusta, jossa niin ikään erot tie-, raide- ja lentoliikenteen melun välillä tulevat esille samalla tavalla kuin häiritsevyydessä (luku 3).

Pitkäaikaishaitta sekä lisääntynyt korvatulppi- ja unilääkkeiden käyttö on todettu henkilöillä, joiden asuinalueilla tieliikenteen keskiäänitaso ylittää 70 dB. Melun aiheuttamien unihäiriöiden haitta esimerkiksi lisääntyvänä halukkuutena asunnon tai asuinpaikan vaihtoon kasvaa myös annos-vas-tesuhteen mukaan.

Yhteenvedona on yöaikaisen melun aiheuttami- en häiriöiden altistuskynnysten tasot esitetty tau- lukossa 4.1. Siinä melutasoarvot vastaavat suurinta äänitasa- soa, joka ei vielä aiheuta haitallista vaiku- tusta (NOEL, no observed effect level, tai NOAEL, no observed adverse effect level). Taulukko esittää myös eri vaikutusten osalta tutkimusnäytön vah- vuudet (katso luku 8), joihin meta-analyyseissä on päädytty.

Melun aiheuttamat nukahtamisen ja unen häi- riöt eivät yleensä osoita pitkällä aikavälillä habi- tuoitumista, vaan toiminnan häiriö, siitä johtuva

Taulukko 4.1. Yöaikaisen melun vaikutusten kynnystasot ja tutkimusnäytön vahvuus.

Vaikutusryhmä	Vaikutus	NOAEL	dB-yksikkö	Näyttö
vaurio	EEG-herääminen	30–35	$L_{\max}$ sisällä	riittävä
	kardiovaskulaariset muutokset unen aikana	30–35	$L_{\max}$ sisällä	riittävä
	unen vaiheiden keston ja jakautumisen muutokset	30–35	$L_{\max}$ sisällä	riittävä
	mitatut yöaikaiset kehon liikkeet	32	$L_{\max}$ sisällä	riittävä
toiminnanvaja- us	stressihormonien pitoisuudet		$L_{Aeq}$	rajattu
	heräämiset	42	$L_{Amax}$	riittävä
	nukahtamisen vaikeus		$L_{Aeq}$	riittävä
	unen laadun huonontuminen		$L_{Aeq}$	riittävä
haitta, terveys	unen pirstoutuminen ja vähentyminen		$L_{Aeq}$	riittävä
	lisääntyneet kehon liikkeet		$L_{Aeq}$	riittävä
	päiväväsymyksen lisääntyminen		$L_{Aeq}$	rajattu
	mielialan huonontuminen		$L_{Aeq}$	rajattu
	ilmoitetut terveysongelmat	35	$L_{yö}$	riittävä
haitta, sosiaalinen	lääkkeiden käytön lisääntyminen		$L_{Aeq}$	riittävä
	kognitiivisten toimintojen heikkeneminen		$L_{Aeq}$	riittävä
	unettomuus	65	$L_{yö}$ ulkona	riittävä
	kohonnut verenpaine	55	$L_{Aeq}$ ulkona	rajattu
	sydäninfarktiris- ki	50	$L_{yö}$ ulkona	rajattu
psykkinen sairastuvuus	60	$L_{Aeq}$ ulkona	rajattu	
haitta, sosiaalinen	sozialisten kontaktien väheneminen			rajattu
	onnettomuusalttiuden lisääntyminen			rajattu

toiminnanvajausta ja haitta jatkuu usein vuosikausia ja voi siten olla altistamassa tai lisäämässä yleistä sairastumisriskiä. Jotkut väestöryhmät ovat herkempiä. Unihäiriöiden määrä kasvaa iän myötä, sukupuolten kesken on eroja ja epäsäännöllisessä tai vuorotyössä olevat kuuluvat myös tässä suhteessa herkempään ryhmään (luku 7).

#### 4.2

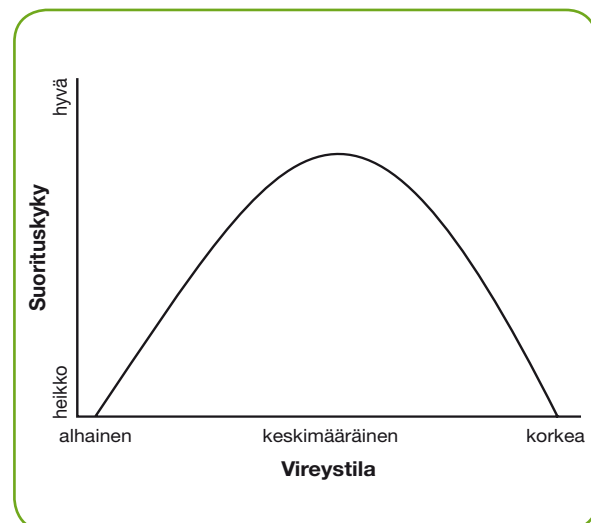
### Melun aiheuttamat kognitiiviset häiriöt

Viime vuosina on yhä enemmän kiinnitetty huomiota ja ryhdytty laajemmin selvittämään melun vaikutusta keskeisiin kognitiivisiin toimintoihin (keskittyminen ja tarkkaavaisuus, muistitoiminat, suoritustarkkuus, lukeminen ja oppiminen) paitsi aikuisilla myös päiväkotij- ja kouluikäisillä lapsilla. Aikuisilla selvitykset liittyvät ensisijaisesti työkykyyn, lapsilla sen sijaan oppimiseen ja koulusuoriutumiseen. Koska lasten kognitiiviset taidot ovat voimakkaan kehittymisen ja kypsymisen vaiheessa, melun aiheuttamat häiriöt voivat johtaa koko loppuelämään vaikuttaviin haittoihin. Luonnollisesti melusta johtuvat kognitiiviset häiriöt tulisi huomioida myös ikääntyvillä, joilla ne voivat johtaa sosiaalisessa suoriutumisessa ja omatoimisuudessa ilmeneviin haittoihin. Väestörakenteen muuttuessa tällä voi olla myös huomattava kansantaloudellinen merkitys.

Kognitiiviset toiminnot koskevat suorituksia, jotka liittyvät eri aistintoimintojen havainnointiin, tietojen vastaanottoon, käsittelyyn, tallentamiseen ja hyväksikäyttöön sekä henkisiin ja motorisiin suorituksiin. Kuulon ollessa viestinnän kannalta keskeinen aisti, tarkkaa rajanvetoa ei ole helppo tehdä varsinaisesti kuulon erotuskyvyn ja toisaalta äänitiedon kognitiivisen käsittelyn, oivaltamisen ja ymmärtämisen välillä. Luonnollisesti myös kielellisillä valmiuksilla on tässä suhteessa merkitystä. Kognitiiviset toiminnot ovat voimakkaasti myös valve- ja vireystilasta riippuvia, näiden säädelläessä tarkkaavaisuutta ja huomion kohdistamista sekä vastaanotettavaan että suoritettavaan toimintaan. Tärkeänä osana kognitiivisissa toiminnoissa ovat erilaiset muistitoiminnot. Niin ikään motivaatio ja persoonallisuuteen liittyvät seikat kytkeytyvät kognitiiviseen suorituskkyyn.

Valve- ja vireystilan merkitystä kuvataan usein käänteisellä U-muotoisella riippuvuussuhteella (kuva 4.5). Yksilön ollessa väsynyt ja vireystason ollessa alhainen, suoritusta varten ei ole käytävissä riittävästi keskittymiskykyä ja tarkkaavaisuutta. Toisaalta yliaktiivisen hermostuneena ja ärsyyntyneenä yksilö ei pysty kohdistamaan huomiokykyään riittävällä tarkkaavaisuudella tehtävään, jota tulisi suorittaa. Paras suoritustarkkuus saavutetaan silloin, kun asianomainen virkeänä pystyy kohdistamaan huomiokyvyn keskittyneesti käsillä olevaan asiaan ja torjumaan mahdolliset ulkoiset häiritsevät tekijät, kuten melun. Ympäristöllä äänimaailmalla on oma osuutensa ihmisen vuorokautisen valve- ja vireystilan säätelyssä. Näin ollen ääniympäristöllä voi olla merkitystä sekä suoritusta kohentavana että huonontavana tekijänä.

Työympäristön melun vaikutus suoritukseen on seikka, jota selvitetään työterveyshuollossa. Tulokset viittaavat siihen, että rutiinitehtävissä, jotka voivat olla yksitoikkoisia ja ikävyyttäviä, kohtuullinen ympäristön äänitaso voi kohentaa vireystilaa ja parantaa suoritustarkkuutta. Samoin sopiva ääniympäristö voi parantaa lyhytaikaisen työmuistin nopeutta esimerkiksi sarjamuistitehtävissä, mikä tapahtuu kuitenkin pitkäaikaisen muistin kustannuksella. Huomattavaa ja moninaista keskittymistä, tarkkaavaisuutta ja vaativaa muistin käyttöä edellyttävissä tehtävissä ääniym-



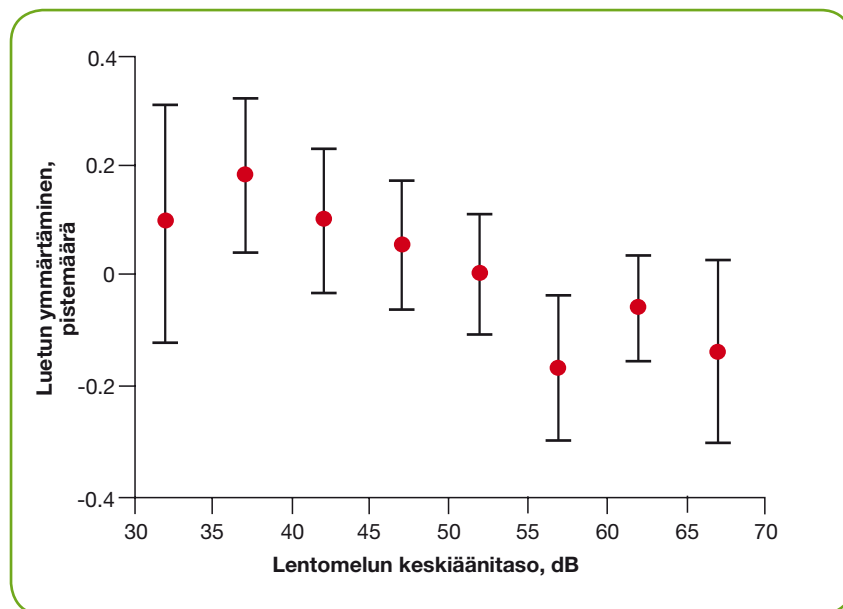
Kuva 4.5. Suorituskyvyn (pystyakselina) riippuvuus vireystilasta (vaaka-akselina) (Yerkes & Dodson, 1908).

päristö, varsinkin jos se sisältää odottamattomia ja häiritsevänä meluna koettuja piirteitä, heikentää suoritustarkkuutta. Aivokuoren tapahtumasidon- naisissa kuulojärjestelmän herätevastemittauksissa on todettu tähän viittaavia löydöksiä.

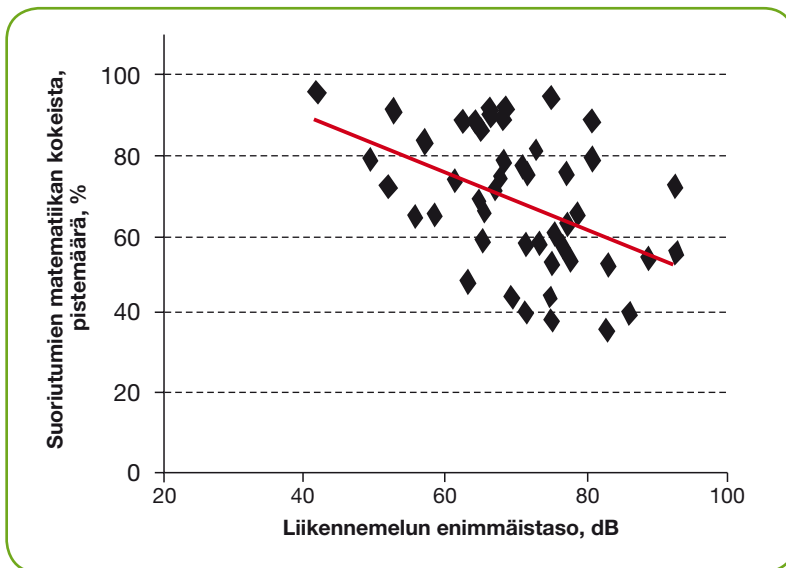
Lasten kognitiivisten toimintojen muutoksia melussa ja hälyssä on pyritty selvittämään useissa tutkimuksissa lähinnä luokkatilanteissa. Kyseessä on joko eri lähteistä peräisin oleva liikennemelu tai itse luokkahuoneessa syntynyt melu, joka silloin usein käsittää verbaalista puhemelua. On ymmärrettävää, että verbaalinen melu häiritsee eri tavalla kuin liikenne-, ilmastointi- tai jokin muu ei-verbaalinen melu. Ongelmavyöhytiin liittyy myös melun aiheut- tama puheen peittovaikutus esimerkiksi opettajan puheen erottamisen vaikeutena, jota käsitellään tarkemmin luvussa 4.3. Selviä melun aiheuttamia kognitiivisten toimintojen häiriöitä on voitu osoittaa useissa tutkimuksissa. Kognitiivisesti vaativat tehtävät, esimerkiksi lukeminen, vaikeutuvat herkemmin melussa. Annos-vastesuhde alkaa melun keskiäänitasosta noin 40 dB ja vaikutus kasvaa monotonisesti (kuva 4.6). Riippuvuussuhteen jyrkkyys on eri kognitiivisissa toiminnoissa erilainen. Muistitoiminnot ja lukeminen vaikeutuvat helpommin ja suorituskyvyn huonontuminen riippuu melutasosta enemmän kuin erottelu- ja huomiokyky. Melun kognitiivisia toimintoja häiritsevä vaikutus riippuu myös melun laadusta. Tutkimuksissa on kiinnitetty lisäksi huomiota

vaikeuteen motivoida oppilaita, mikä johtaa lasten passiivisuuteen (*helplessness*) ja heikentyneeseen halukkuuteen yrittää suoriutua tehtävistä. Useiden tutkimusten mukaan lentomelu vaikeuttaa enemmän lukemista ja tunnistamista, kun taas tieliikennemelun vaikutus koskee enemmän muistitoimintoja. Oppi- misympäristössä melun kognitiiviset häiriövaiku- tukset tulevat erityisesti ilmi niillä lapsilla, joilla on myös kielellisen kehityksen viivettä, lukivaikeuk- sia, muita oppimisvaikeuksia ja tarkkaavaisuushäi- riöitä tai joilla on eri äidinkieli.

Tarvitaan edelleen yksityiskohtaisempaa kartoi- tusta ja laajempia tutkimuksia eri kognitiivisten toimintojen osalta, eri ikäryhmissä aina päiväkotii- käisistä lähtien, erilaisten melulähteiden kysees- sä ollen ja eri pituisia altistusaikoja ajatellen, jotta ongelman vaikeusaste ja merkitys seurannaisvai- kutusten ja -haittojen osalta voitaisiin arvioida. Tutkimusnäyttöä on siitä, että pitkään kestäessään keskittymiskyvyn ja tarkkaavaisuuden oppimi- nen häiriytyy, kielellisten valmiuksien taso jää riittämättömäksi, akateemiset oppimissuoritukset heikkenevät ja koulutusmahdollisuudet vähenevät (kuva 4.7). Näiden haitat voivat ilmetä syrjäytymi- senä, työttömyytenä ja muina sosiaalisina ongel- mina myöhemmin aikuisiällä. Alustavia viitteitä meluhaitoista on raportoitu myös jo vauvoilla ja leikki-ikäisillä, mikä on omiaan häiritsemään kie- lellistä kehitystä.



Kuva 4.6. Luetun ymmärtä- miskyvyn heikkeneminen (pystyakselina) lentomelun keskiäänitason lisääntyessä (vaaka-akselina) (Stansfeldt et al., 2005).



Kuva 4.7. Suorittuminen matematiikan kokeissa (pystyakselina) tieliikennemelun enimmäistasoilla (vaaka-akselina) (Shield et al., 2005).

Kyseessä voi olla laajempi yhteiskunnallinen ongelma, jonka ratkaisu edellyttää toimenpiteitä ei ainoastaan liikenne- ja muun ympäristömelun osalta, vaan myös luokkakoon, luokkahuoneiden ja koulujen akustiikan ja opetusmenetelmien osalta, jotta sekä päiväkodissa että koulussa voitaisiin luoda akustisesti sopivin kehitymis- ja oppimisympäristö. Niin ikään nuorten vapaa-ajan ääniympäristö kotona ja kodin ulkopuolella on seikka, jolla on merkitystä tässä kokonaisuudessa. Tutkimustulokset viittaavat siihen, että meluallistus paitsi koulussa myös kotona ja vapaa-aikana on omiaan lisäämään koulussa todettavia melun aiheuttamia kognitiivisia vaikeuksia.

#### 4.3

### Melun aiheuttamat kielellisen viestinnän häiriöt

Kielellinen viestintä on kaksisuuntaista. Vastaanottaessaan kuulonvaraisesti puhetta ihminen joutuu erottelemaan puheen eri äänipiirteitä erilaisissa ääniympäristöissä. Toki sama asia koskee muitakin merkki- ja hälytysääniä. Ihminen joutuu myös itse puhumaan erilaisissa meluisissa tilanteissa. Melulla on vaikutusta sekä puheen kuulemiseen että oman puheen tuottoon. Kummankin merkitys tulee huomioida koskien sekä ympäristömelua että työperäistä melua.

#### 4.3.1

### Melun vaikutus puheen kuulemiseen

Puheen kuulonvaraisen erottamisen tarkkuus riippuu lukuisista seikoista. Keskeisiä akustisia muuttujia ovat puheen äänitaso (ja puhujan etäisyys kuulijaan) nimenomaan suhteessa taustan äänitasoon (hälyetäisyys), kuuntelutilan kaikuisuus ja puheäänien muut akustiset piirteet (taajuuskaista, säröt), jotka koskevat lähinnä sähköisesti välitettyä puheääntä (kuten radio, TV, puhelin, äänitteet, kuuntelutilojen vahvistimet, kuulutuslaitteet, kuulokoje). Puhujan tuottaman puheen selkeys ja puhenopeus ovat myös seikkoja, jotka käytännössä tulee huomioida. Niin ikään puheen kielellinen sisältö ja rakenne (esim. äidinkieli tai vieras kieli, asian tuttuus tai outous) suhteessa kuulijan kielen hallintaan ja kielelliseen oivaltamiskykyyn on ratkaisevaa. Tässä yhteydessä kielen kehityksen ajanjakso lapsilla murrosikästä asti ja muun kuin äidinkielen käyttö asettaa suurempia vaatimuksia myös häiriöetäisyyden osalta. Luonnollisesti kuulokyky, tarkkavaisuus ja huomiokyky (katso luku 4.2), motivaatio, tilanne- ja asiayhteyksien merkitys on otettava huomioon.

Jokaisella riittävän voimakas melun äänitaso tai riittävän pieni häiriöetäisyys vaikeuttaa puheen erottamista johtaen siihen, että puheen eri yksiköitä (lauseet, sanat ja äänitteet) ei aina voi luotettavalla tarkkuudella tunnistettua. Vaikka sanaerotuskyky jonkun verran huononisi, lause-erotuskyky ja jat-

kuvan puheen seuraaminen voi vielä tyydyttävästi onnistua. Tämä johtuu siitä, että kielen rakenteen ja asiasisällön mukainen konteksti sisältää tietoa, jota kuulija tai kuuntelija hyödyntää äänne- ja sanaerotuskyvyn lisänä. Lause-erotuskyky ilmoitettuna avainsanojen oivaltamisena onnistuu 95 %:sesti, vaikka yksittäisten sanojen erotuskyky olisikin vain 75 %. Sanaerotuskyvyn huonontuminen 50 % kuitenkin käytännössä merkitsee, että puheen kuulonvarainen seuraaminen käy mahdottomaksi. Puheen ja melun äänitason ollessa sama (häiriöetäisyys 0 dB) sanaerotuskyky on noin 95 %. Mahdollisuus seurata puhujan kasvoja ja huulten liikkeitä voi kuitenkin helpottaa tilannetta erotuskykynä mitattuna 15–20 % vastaten 2–3 dB äänitason lisäystä, vaikka yksinomainen huulioluku mahdollistaa parhaimmillaan vain 50 %:n sanaerotuskyvyn.

Puheen peitto voi riippua paitsi melun A-painotusta äänitasosta, myös etenkin epäsäännöllisen melun ajallisista piirteistä esimerkiksi impulssimelun yhteydessä. Tällöin kuulija joutuu arvaamaan puheen sisältöä niiltä jaksoilta, jotka sattuvat melun takia peittymään. Puheen erottaminen riippuu tällöin melun peittovaikutuksen kestoista ja toistumisesta. Niin ikään melun taajuussisältö joudutaan huomioimaan varsinkin, jos melu on voimakkaasti pieniä tai vastaavasti hyvin suuria taajuuksia sisältävää.

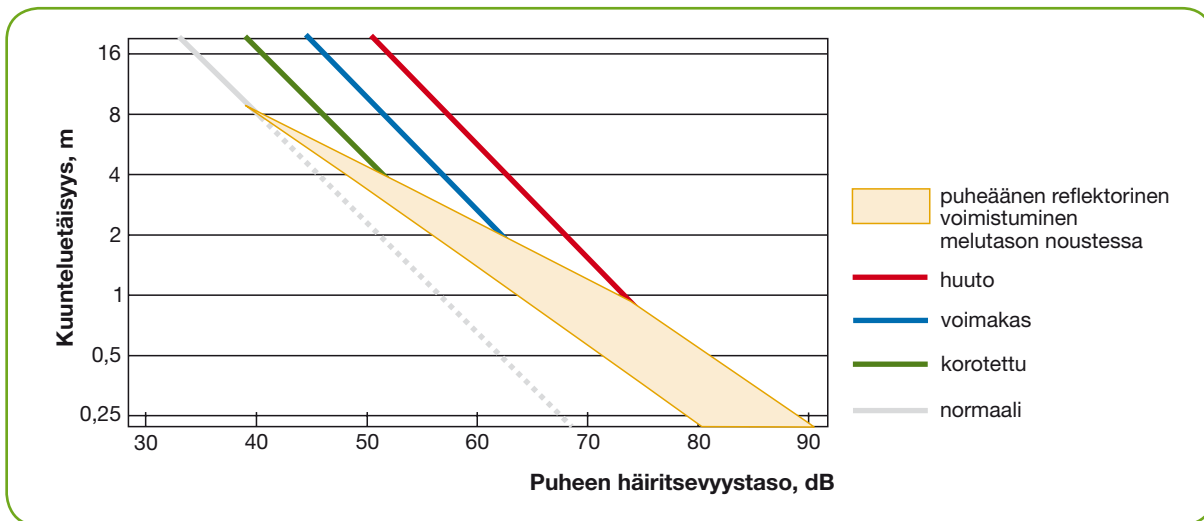
Puheen kuulonvaraisen erottamisen ongelmana usein on ensinnäkin se, että puheen seuraaminen ei onnistu riittävällä varmuudella ja toiseksi se, että epätäydellisen ja epätarkan puheen kuunteleminen vaatii ylimääräistä ponnistusta, jota kuuntelija ei jaksa ylläpitää pitkään ja joka johtaa nopeasti väsymiseen. Tämä on puheen erotuskykyhäiriön toiminnanvajakseen kuuluva piirre, jonka mittaaminen erotuskyvyn tarkkuutena ei ole mahdollista, mutta joka käytännössä on päällimmäisenä melun vaikeuttaessa puheen kuulemista.

Puhetasoon nähden riittävän voimakkaana melu aiheuttaa puheääneen peittovaikutusta, joka ensin vaikeuttaa konsonanttien, myöhemmin vokaalien ja puheen aikapiirteiden (puhenopeus, rytmi, intonaatio ja painotukset) erottelua. Jopa lievissä kuulovauriotapauksissa (luku 5) puheen erottaminen vaikeutuu suhteellisesti enemmän kuin äänestien kuuleminen, jota kynnysaudiometrinen kuulontutkimus kuvaa. Huonokuuloiset tarvitsevat jopa 15 dB paremman häiriöetäisyyden erottaakseen puhetta normaalikuuloisen veroisesti, vaikka kuulokynnyssalenema olisi vahvistuksella korjattu. Vahvistimet (myös kuulokoje) eivät voi erotella hälyä/melua

puheesta. Korvan ja kuulojärjestelmän muut sairaudet voivat vaikeuttaa lieväästeisina puheen erottamista melussa, vaikkei äänesaudiometrinen kynnysmuutosta olisi vielä mitattavissa.

Akustisia mittauksia varten on esitetty erilaisia laskentamalleja puheen kuulemisvaikeuksien arvioimiseksi ja ennakoimiseksi. Kun tunnetaan sekä puheäänen että melun keskiäänitasot, voidaan mallintamalla normaalikuuloisten puheen erotuskyky-suoritusta arvioida puheen häiritsevyytaso erilaisissa äänikentissä ja huonetiloissa eri etäisyyksiltä puhujasta. Lähtökohtana laskentamalleissa on ”normaalin” keskusteluvoimakkuuden antama puheen äänitaso, joka metrin etäisyydeltä on noin 55 dB. Käytännössä yksilökohtaiset vaihtelut voivat kuitenkin olla jopa 30 dB. Puheen häiritsevyytaso (kuva 4.8) ilmoittaa melutasoa vastaavan suurimman keskustelu-ääntäisyyden vapaassa äänikentässä, jotta saavutetaan vähintään 95 %:n sanaerotuskyky. Vastaavasti huonetilassa voidaan saavuttaa hyvä (95 %) erotuskyky, jos melutaso ei ylitä 45 dB, koska huonetilassa kaikuisuus, joka mitataan jälkikaiunta-aikana (kohta 2.3), vaikeuttaa peittovaikutuksen kaltaisesti puheen erottamista. Peitto syntyy tällöin heijastuvien puhesignaalin aiheuttamana. Kaikuisuuden takia (puhe)ääni ei huonetilassa vaimene 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessaa, kuten vapaassa äänikentässä, avarassa ulkotilassa, vaan tätä huomattavasti vähemmän. Jos puheen äänitaso mitataan puhujan sivulta tai takaa, puheäänen taso on noin 3–8 dB heikompa kuin puhujan edessä. Yhdistyneenä tilassa mahdollisesti myös esiintyvään meluun, puheen erottaminen edelleen vaikeutuu. Jälkikaiunta-aika ei saisi ylittää 0,5 s. Tämä arvo pohjautuu kokeellisiin tutkimuksiin ja johtuu normaalitahtisen puheen tuoton ääniteiden ja tavujen kestosta ja sanan sisäisestä peittovaikutuksesta.

Jos puhuja korottaa puheääntä, puheen keskiäänitaso nousee, millä puhuja pyrkii kompensoimaan melun peittovaikutusta. Äänen voimistaminen puhuessa johtaa kuitenkin myös muihin muutoksiin puheäänen akustisissa piirteissä. Voimakkaassa puheäänessä vokaalien äänitaso nousee konsonanteja enemmän, minkä takia puheen eri ääniainesten aiheuttama sanan sisäinen peittovaikutus lisääntyy vokaalien peittäessä herkemmin niiden jälkeen esiintyvät heikot konsonantit. Tämä johtaa ymmärrettävästi sanaerotuskyvyn huonontumiseen. Niin ikään puheen perusäänen taajuus kasvaa, jonka kuulija voi kokea vääristymänä.



Kuva 4.8. Puheen häiritsevyytaso (vaaka-akselina) kuunteluetaisyden (pystyakselina) muuttuessa (Taylor & Young, 1980).

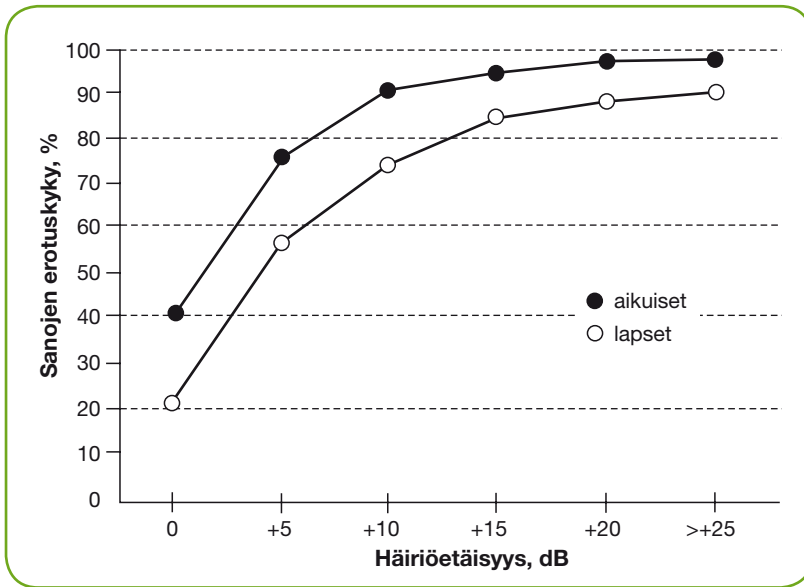
Melun vaikeuttaessa puheen kuuntelua toiminnanvajeuksena, haittana esiintyy viestintäongelmia työssä, kotona ja vapaa-aikana. Työtilanteissa tällainen voi vaikeuttaa työkykyä. Kotona se vaikuttaa ihmissuhteisiin, koska tästä johtuva kuulemisvaikeus kehittyy yleensä vähitellen eikä ole näkyvä ongelma. Viestinnän toinen osapuoli voi mielessään laskea sen yksinomaan toisen huonokuuloisuuden tilille, vaikka se olisi korjattavissa sulkemalla pois tarpeettomat melulähteet (kilpaileva puhe, puheen sorina, radio, TV) ja toimimalla lyhyellä keskusteluetaisytydellä (samassa huoneessa).

Opetustilanteissa koulussa melu ja samalla liian kaikuva opetustila johtaa puheen kuulemisen vaikeuteen ja rasittavuuteen, joka edellyttäisi opetusta seuraavalta oppilaalta ylimääräistä tarkkaavaisuutta ja ponnistusta. Lapsilla puheen erottaminen vasta kehittymässä olevien kielellisten valmiuksien takia on rajoitetumpaa, mikä ei välttämättä tule ilmi hiljaisissa kuuntelutilanteissa, mutta selkeästi hälyssä (kuva 4.9). Melun erotuskykyä heikentävä vaikutus on sitä suurempi, mitä nuoremasta lapsesta on kyse (kuva 4.10 ja taulukko 4.2). Mikäli hälyn ja kaikuisuuden lisäksi opettajan puheääni on melussa puhumisesta käheytyntynyt (luku 4.3.2), lasten mahdollisuus seurata opetusta entisestään

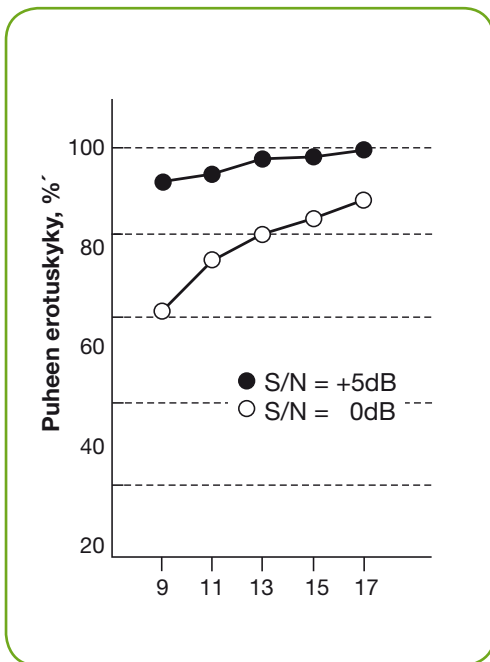
heikkenee. Oppimis- ja keskittymishäiriöiset, huonokuuloiset ja muun äidinkielen omaavat esimerkiksi maahanmuuttajalapset, kuuluvat tässä suhteessa erityisesti riskiryhmään (kuva 4.11). Puheen kuulemisvaikeudet koulussa johtavat sekä äidinkielen kehityksen että vieraan kielen oppimisen vaikeutumiseen, keskittymis- ja tarkkavaisuusongelmiin, oppimisvaikeuksiin, koulutusmahdollisuuksien rajautumiseen ja syrjäytymisriskiin.

Melusta johtuviin viestintävaikeuksiin, joita jokaisella eri vaiheissa ja eri tilanteissa on, kaikki eivät osaa soveltaa tilannetta helpottavia kuuntelu- ja viestinstrategioita (etäisyys, istumapaikka, sopiva valaistus huulioluvun helpottamiseksi, asian toistaminen tai kysyminen uudestaan, huomion kiinnittäminen asiaan), jos melua suoranaisesti ei voi vähentää. Kuuntelemisen ponnistaminen voi johtaa päänsärkyyn ja rasittumiseen. Niin ikään stressi voi lisääntyä siitä, että kuuntelija jää epävarmaksi siitä, mitä on keskustelussa käsitelty ja sovittu. Koulun opetustiloissa yhtenä osana ratkaisukokonaisuutta ovat nimenomaan akustiset toimenpiteet, joilla kaikuisuutta voi vähentää. Muut koulutilanteisiin liittyvät toimenpidetarpeet ovat samanlaatuisia kuin lasten kognitiivisten vaikeuksien kohdalla on jo mainittu (luku 4.2).

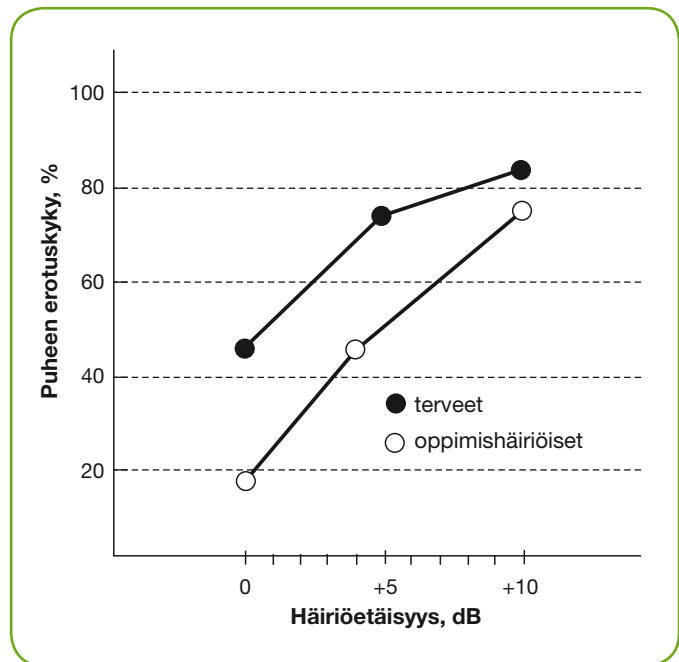




Kuva 4.9. Puheen erotuskyky (pystyakselina) lapsilla ja aikuisilla häiriötäisyydestä riippuen (vaaka-akselina) (Ström et al., 2001).



Kuva 4.10. Puheen erotuskyky (pystyakselina) eri-ikäisillä lapsilla (vaaka-akselina) kahdella eri häiriötäisyydellä (Elliott, 1979).



Kuva 4.11. Puheen erotuskyky (pystyakselina) terveillä ja oppimishäiriöisillä lapsilla vaikeutetuissa kuunteluolosuhteissa häiriötäisyyden muuttuessa (vaaka-akselina) (Nabelek, 1983).

Taulukko 4.2.

Hyväksyttävä suurin taustamelutaso riittävän puheen erotuskyvyn varmistamiseksi eri ikäisillä lapsilla luokahuoneessa, jonka jälkikaiunta-aika on 0.5 s (Picard & Bradley, 2001).

Lapsen ikä (vuosia)	Melun äänitaso, dB	
	Lapsilla, joiden kuulon, kielen ja puheen kehitys on normaali	Lapsilla, joilla on kielen kehityksen häiriöitä
> 12	40	33
10–11	39	32
8–9	34,5	27,5
6–7	28,5	21,5

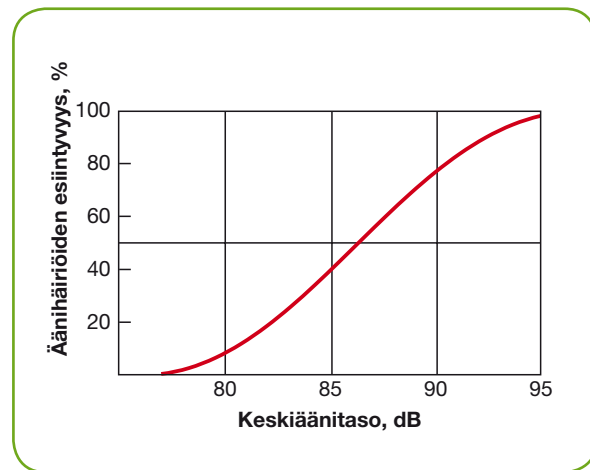
#### 4.3.2

### Puheen tuottoon liittyvät häiriöt melussa

Ääni-/meluympäristön vaikutus puheen motoriiseen tuottoon perustuu puheen tuoton (perusäänen laatu ja voimakkuus, äännön tarkkuus, puheen rytmitys ja ajallisten piirteiden ohjaus) säätelyjärjestelmään, jossa yhtenä ohjaavana tekijänä on kuulojärjestelmän kautta saatava tieto ympäristön äänitasosta ja omasta puheesta. Tiedostamattaan ihminen korottaa puheääntään, kun hän joutuu puhumaan melussa (ns. Lombardin ilmiö). Puheäänien äänitaso alkaa nousta jo melutason ylittäessä 45 dB ja nousee noin 3–5 dB kun melutaso nousee 10 dB. Maksimaalinen puheen äänitaso ei kuitenkaan yllä 80 dB voimakkaammaksi, kun puhetaso mitataan 1 m etäisyydeltä (kuva 4.8).

Puheen äänitason voimistuminen rasittaa äänihuulia, jotka tuottavat puheen perusäänen. Puheäänien voimakkuus riippuu äänihuulten alapuolisen tilan (hengitystiet) ilmanpaineesta ja äänihuulten jännityksestä. Melun aiheuttama puheäänien voimakkuuden nousu on lyhytaikaisena yleensä puhujan hallinnassa, ellei ole muusta syystä kyse äänihuulten toimintahäiriöstä tai sairaudesta (esimerkiksi kurkunpään tulehdus, ikämuutokset kurkunpäässä). Tilanteen jatkuessa pitkään, etenkin äänityöläisillä, riski pitkäaikaisiin toimintahäiriöihin ja äänihuulten kudosvaurioihin kasvaa (kuva 4.12). Kurkunpään äänihuulten toimintaa ohjaavien lihasten väärä jännitys voi jäädä pysyväksi, äänihuulten limakalvo voi turvotuksen omaisesti paksuuntua ja punoittaa ja kudosvauriona voi kehittyä myös äänihuulikyhmyjä. Tällöin myös soinnillisen äänen tuottamiseksi tarvittava ääniraon sul-

keutuminen fonaatiossa jää puutteelliseksi, jonka seurauksena puheääni on käheä, karhea, vuotoisa eikä enää riittämiin kannaa, mikä edelleen vaikeuttaa puheviestintää. Vaivoina voi lisäksi olla äänen väsymistä, kurkun kutinaa, palan tunnetta ja jopa kipua kurkunpäässä, lisääntynyttä liman eritystä ja rykimisen tarvetta. Vääräksi muodostunut äänen tuotto voi herkistää kurkunpään tulehduksille ja puristeinen kurkunpään lihasten toiminta voi altistaa hartian, niskan ja kaulan lihasvaivoille.



Kuva 4.12. Puheäänien häiriöiden esiintyvyys (pystyakselinalla) puhuttaessa eri melutasoilla (vaaka-akselina) (Klingholz et al., 1978).

Ongelmavyhyhti pitkään kestävänsä koskee ensisijaisesti työikäisiä, se voi vaikuttaa työkykyyn ja sen hoito kuuluu työterveyshuoltoon. Toki vapaa-ajan runsas meluallistus (poplaulun harrastajat) voi myös johtaa samaan tilanteeseen. Ympäristömeluun liittyy, kuten vastaavat kognitiiviset ja kuulemisongelmatkin, lasten ääniongelmia päiväkodissa ja koulussa. Lapsilla voi melussa olla houkutuksena käyttää ääntä liikaa ja oppia väärä äänenkäyttö. Se johtaa usein myös äänihuulikyhmyjen kehittymiseen lapsilla. Aikuiset, joilla on ääniongelmien riskitekijöitä (kurkunpääntulehdusherkkyyttä, äänihuulihalvaus, hyperfunktionaalinen äänen käyttö, ikämuutokset äänihuulissa) voivat jo voimakkaassa liikennemelussa puhuessaan esimerkiksi autossa, huomata äänen käheytyvän, mikä yleensä kuitenkin on tilapäistä, ellei tilanne ole usein toistuvaa tai jatkuva.

## Vaikutukset verenpaineeseen ja muihin somaattisiin sairauksiin

Kuulon avulla ollaan yhteydessä ympäristöön. Kuuloaistin tarkoituksena on toimia varoitusjärjestelmänä ulkopuolisen vaaran varalta ja näin varmistaa eloonjääminen. Äänet voivat aiheuttaa erilaisia heijastevasteita erityisesti silloin, kun ne ovat luonteeltaan outoja tai epämieluisia. Keskushermosto prosessoi äänen voimakkuuden ja taajuuden verraten niitä aikaisempiin kokemuksiin ja saa aikaan useita heijastevasteita, jotka ilmenevät mm. sydämen, verisuonten, suoliston ja umpieritysrauhasten toiminnassa (kuvat 4.1 ja 4.13).

Toiminnallisesti tarkasteltuna melu vaikuttaa varuillaan oloon, havainnointiin ja motoriseen toimintaan. Äkillisessä vaaratilanteessa autonominen hermosto reagoi. Adrenaliini ja noradrenaliini ovat sympaattisen hermoston välittäjäaineita. Stressitilanteessa kortisoli-, adrenaliini- ja noradrenaliinihormonien pitoisuus veressä kohoaa ja verenpaine nousee. Adrenaliini ja noradrenaliini supistavat verisuonia, vapauttavat reniiniä ja lisäävät sydänlihaksen hapen tarvetta nostamalla sykettä ja sydänlihaksen supistuvuutta.

Nyky-yhteiskunnassa monet tekijät, kuten kaupungistuminen, tiedotusvälineet, tietoteknologia, työolosuhteet ja melu, ylikuormittavat ihmisen aistiympäristöä. Melu on ympäristön stressitekijä. Stressitekijänä melu voi vaikuttaa yksilöllisten prosessien muuntamien fysiologisten reaktioiden kautta moniin elintoihintoihin (kuva 4.1) Työ- ja asuinympäristössä tehdyissä epidemiologisissa tutkimuksissa on löydetty jonkinasteinen yhteys meluallistuksen ja stressihormonien plasmapitoisuuksien sekä virtsasta tai syljestä määritetyissä kortisolipitoisuuksien välillä. Mikä terveydellinen merkitys näillä löydöksillä on, ei ole helposti tulkittavissa. Syljestä tutkittavaa kortisolipitoisuutta on kuitenkin pidetty suhteellisen vaivattomana tapana mitata yksilön stressiä.

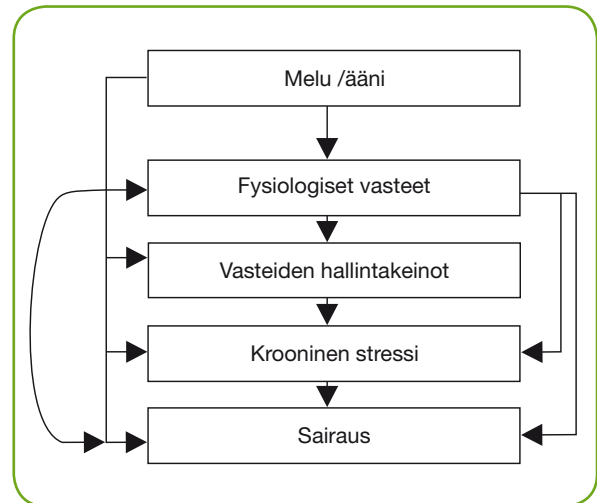
Ketju, joka lopulta johtaa stressinä koetusta ympäristömelusta kliinisesti todettavaan sairauteen voidaan kaavamaisesti kuvata kuvan 4.13 mukaisena ketjuna. Äänten merkityssisältö ja ennustettavuus ja vähemmässä määrin äänenpainetaso ovat tärkeitä tekijöitä, jotka määrittävät tulevat reaktiot. Nämä ominaispiirteet määrittävät sen, koetaanko ääni meluna eli negatiivisena ympäristötekijänä

vai normaalina hyväksyttävänä tekijänä, kuten vesiputouksen ääni. Äkillinen meluallistus aiheuttaa orientaatiorefleksin. Lihasjännitys lisääntyy, pulssi nopeutuu ja hengitystiheys hidastuu, mitkä valmistavat elimistöä fyysiseen toimintaan. Fysiologiset vasteet eivät normaalisti jatku pitkään, vaan ne joko adaptoituvat tai habituoituvat.

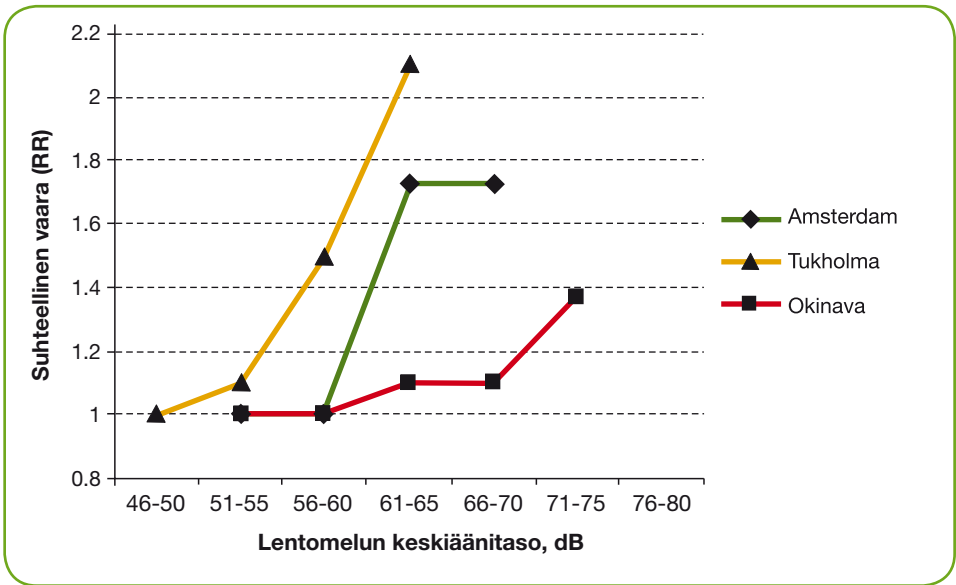
Elimistömme keinot hallita fysiologiaa vasteita eivät kuitenkaan aina riitä. Aiheuttaessaan fysiologisen stressireaktion toistuva meluallistus voi johtaa siihen, että esimerkiksi tilapäinen verenpaineen nousu muuttuukin pysyväksi. Useissa tutkimuksissa on osoitettu jatkuvan meluallistuksen aiheuttavan ääreisverisuonten supistumista, minkä oletetaan johtavan lopulta verenpaineen kohoamiseen.

Perinnölliset ja rakenteelliset yksilölliset erot voivat lisätä todennäköisyyttä sille, että määrätty elintoihinnot ja elimet reagoivat stressiin enemmän kuin toiset ja ajan mittaan aiheuttavat kyseisiin elintoihinnotiin liittyvän sairauden. Osalla melulle altistuneista kohde-elin on sydän ja verenkiertoelimistö, ja ääniärsykkeet aiheuttavat heille ajoittaisia verenpaineen nousuja. Ne voivat lopulta johtaa sellaisiin muutoksiin verisuonissa, jotka aiheuttavat pysyvän verenpaineen kohoamisen.

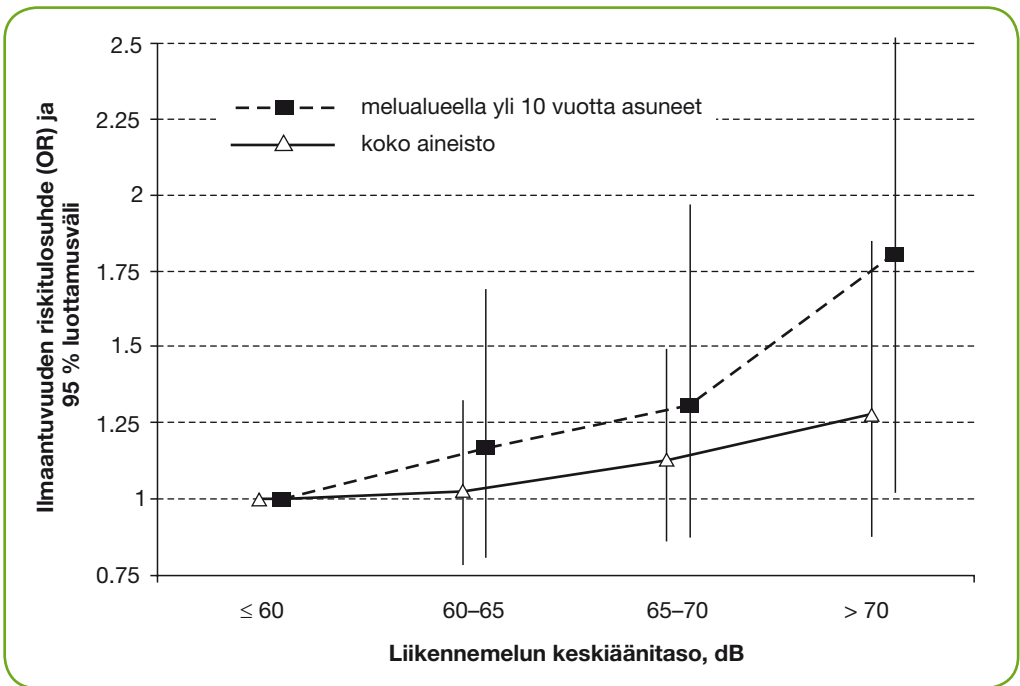
Viimeaikaisissa epidemiologisissa tutkimuksissa on saatu näyttöä siitä, että työpaikka- tai liikenne-meluallistus on yksi kohonneen verenpaineen ja sydän- ja verisuonisairauksien riskitekijöistä. Verenpaineen on todettu olevan korkeampi lentokenttien lähistöllä olevilla meluisilla alueilla asuvan väestön keskuudessa kuin kontrolliväestöllä (kuva 4.14).



Kuva 4.13. Melun vaikutukset ja stressi sairauksien synnyssä.



Kuva 4.14. Kohonneen verenpaineen (pystyakselina) ja lentomelun (vaaka-akselina) välinen suhde eri tutkimuksissa (Babisch, 2006).



Kuva 4.15. Sydäninfarktin ilmaantuvuuden (pystyakselina) ja tieliikennemelun (vaaka-akselina) välinen suhde (Babisch, 2005).

Tieliikennemelun yhteys verenpaineen nousuun ei ole yhtä ilmeinen kuin lentomelun. Tutkimuksissa on todettu melulastituksen lisäävän verenpainetauti, sydäninfarkteja ja sydän- ja verisuonitautikuolleisuutta (kuva 4.15). Tämä riski lisääntyy iän ja työvuosien myötä sekä miehillä että naisilla. Monille työpaikoille ominaisen jatkuvan melulastituksen on todettu liittyvän lisääntyneeseen sydäninfarktikuolleisuuteen. Suomalaisessa tutkimuksessa meluherkkyys lisäsi merkittävästi naisten kuolleisuutta sydän- ja verisuonitauteihin (kuva 7.1).

Melulastituksen ja epäspesifisten terveysvaikutusten välisen syy-seuraussuhteen arvioinnissa on teoreettisia vaikeuksia. Verenpaineen nousulla, sydänsairauksilla, mahahaavalla ja muilla stressiin liittyvillä sairauksilla on useita etiologisia tekijöitä. Melun vaikutuksista ruoansulatuselimistön toiminnan häiriöihin ei ole riittävästi tietoa, vaikka

sillä on oletettu olevan vaikutuksia myös niihin. Joissain tutkimuksissa on todettu yhteyksiä melulastituksen ja ruoansulatuselimistön oireiden, itse raportoitujen yleiseen terveydentilaan liittyvien oireiden ja fyysisten oireiden vuoksi tehtyjen lääkarissäkäyntien välillä (kuva 7.2). Äidin raskaudenaikaisen työpaikkamelulastituksen on myös osoitettu olevan yhteydessä vastasyntyneen pienipainaisuuteen. Näitä vaikutuksia ei ole vielä osoitettu laajoilla väestötutkimuksilla, joten johtopäätösten tekeminen ei tässä vaiheessa ole mahdollista.

Kokeelliset tutkimukset, joissa on osoitettu melun toimivan stressiä aiheuttavana tekijänä ja erityyppisten stressien voivan muokata immuunijärjestelmää, ovat perustana olettamukselle, että melu voi vaikuttaa terveyteen immuunijärjestelmän kautta.

## 5 Korvan vaurio

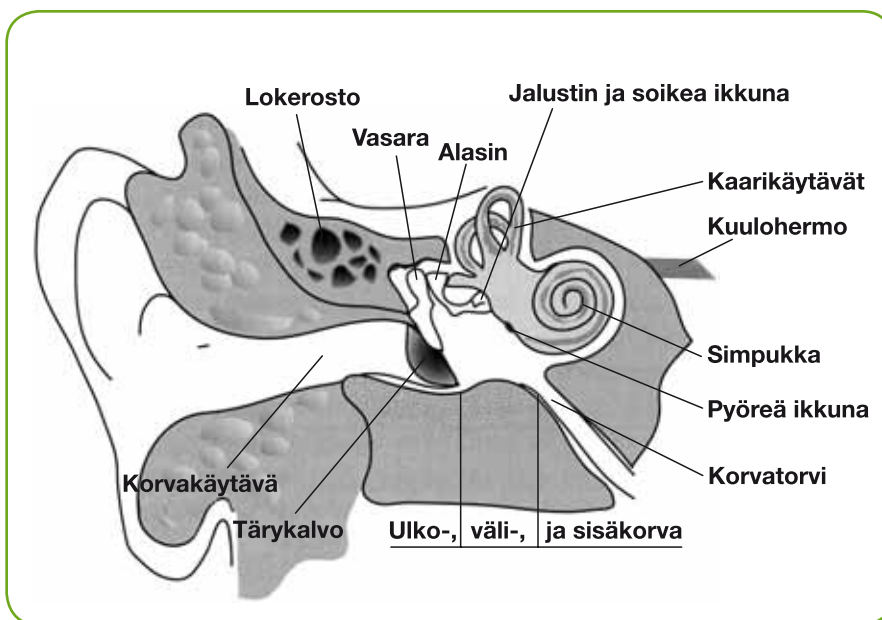
Korva on äänille erityisen herkkä elin ja sen takia tarkoituksenmukainen vastaanottamaan ja välittämään äänitietoa. Korvan ja keskushermoston kuulojärjestelmä kokonaisuudessaan palvelee kuulemista, äänien tuoman tiedon vastaanottoa ja käsittelyä sekä äänien laukaisemia refleksejä ja reaktioita, kuten motorisia paikantamis- ja suoja-refleksejä sekä vegetatiivisia refleksejä.

Korvan herkkyys äänivärähtelyille aiheuttaa myös sen, että korva on vaurioalttiimpi kuin muut elimet ja kudokset, joihin äänienergia pääsee vaikuttamaan heikompana. Äänitason ollessa riittävä äänienergiaa siirtyy ilmasta kaikkiin kudoksiin, mutta kudovaurioita esimerkiksi solukalvojen repeytymistä, verenkierron häiriötä ja verenvuotoa esiintyy vasta, kun äänitaso nousee kudoksissa yli 100 dB. Voimakkailla infraäänitasoilla (alle 20 Hz) voi kudovauriomahdollisuus esiintyä sisäelimissä resonanssin takia muutaman Hz taajuuksilla. Hyvin voimakkailla ultraäänitasoilla (yli 20 kHz) voi esiintyä lämpövaikutuksia.

5.1

### Korvan rakenne ja toiminta

Äänen siirtyessä ilmasta nestepitoiseen kudokseen valtaosa äänienergiasta heijastuu kudosten pinnasta, koska kudosten ääniaaltovastus on yli tuhat kertaa suurempi kuin ilman ääniaaltovastus. Korvakäytävän resonanssi lisää kuitenkin äänenpainetasoa tärykalvolla noin 20 dB 2–6 kHz taajuusalueella. Korvan herkkyys äänille perustuu ensisijaisesti kuitenkin välikorvan äänenvahvistusominaisuuksiin. Välikorvamekanismi sovittaa ilman ja nesteen ääniaaltovastuseroa keräämällä ääntä suuremmalta tärykalvon pinnalta ja kohdistaa sen pienelle jalustinkuuloluun levyille, joka väli- ja sisäkorvan välillä olevassa soikeassa ikkunassa välittää ääntä sisäkorvan nesteisiin ja kudoksiin (kuva 5.1). Välikorvan äänen vahvistus on noin 25 dB. Jos välikorvan vahvistusjärjestelmä puuttuu (välikorvasairauksissa ja -epämuodostumissa), sisäkorvaan kuten kaikkiin muihinkin kudoksiin tuleva ääni on 60 dB heikompi. Välikorvavika toimii siis tehokkaana kuulosuojaimena.



Kuva 5.1. Korvan rakenne.

Välikorvan normaaliin toimintaan vaikuttaa esimerkiksi välikorvan jalustinlihas. Reflektori-estisesti äänen laukaisemana (laajakaistaisella äänellä yli 60 dB, ääneksellä yli 80 dB) se supistuessaan (stapediusrefleksi) lisää kuuloluuketjun (vasara, alasin, jalustin) jäykkyyttä, mikä vaimentaa äänen välittymistä välikorvassa matalilla äänillä enimmillään noin 25 dB. Tämä palvelee luonnostaan myös kuulosuojaimena. Korva, jossa refleksi syystä tai toisesta ei toimi, on siis melussa herkempi vaurioitumaan.

Äänet aikaansaavat simpukan muotoisessa sisäkorvassa aaltoliikkeen sisäkorvaonteloita jakavalla tyvikalvolla ja sillä olevat kuuloelimen aistinsolut, karvasolut, ärsyyntyvät. Tämä ilmenee muutoksina karvasolujen solukalvojen biosähköisissä ominaisuuksissa. Biosähköinen toiminta välittyy niistä edelleen kuulohieron soluihin. Ärsytys etenee kuuloradan hermosoluja pitkin keskushermoston kuulojärjestelmän ratoihin, tumakkeisiin ja keskuksiin. Se osa sisäkorvan kuuloelintä, joka on lähellä kierteisen simpukan tyveä ja soikeaa ikkunaa, reagoi ensisijaisesti korkeisiin ääniin, karkiosa vain mataliin ääniin. Mutta ulkoisen äänen taajuus välittyy suoraan myös kuulohermosolujen toiminta- taajuuteen. Värähtelyliikkeen laajuus sisäkorvassa on sitä suurempaa ja laajemmalle osalle tyvikalvoa ulottuvaa, mitä voimakkaammasta äänitasosta on kysymys. Hyvin voimakkailla laajakaistaisen äänen tasoilla koko tyvikalvo värähtelee.

## 5.2

### Melun aiheuttamat kudosvauriot korvassa

Toiminnalliset ja rakenteelliset muutokset meluallistuksessa esiintyvät ensisijaisesti simpukan kuuloelimen ulommissa karvasoluissa. Jo kohtalainen ja lyhytaikainen äänitaso muuttaa niiden biosähköistä toimintaa ja herkkyyttä reagoida ääniin. Niiden toiminta adaptoituu vallitsevaan äänitasoon. Nämä muutokset ovat muutamassa minuutissa palautuvia, mikä johtuu karvasolujen energiasaannista. Voimakas ja pitkäaikainen ääni-/meluallistus aiheuttaa väsymyksen kaltaista toiminnallista muutosta, joka kestää useita tunteja, jopa vuorokausia, ennen täydellistä palautumistaan (ks. tilapäinen kynnysmuutos, luku 5.3). Silloin myös solujen

energian saantimekanismi väsyä. Mutta merkittävämmät ja pitkään jatkuvat toiminnalliset muutokset voivat myös johtaa rakenteellisiin muutoksiin, jotka jäävät pysyviksi. Ihmisen sisäkorvan tuhoutuneet karvasolut eivät korjaudu tai korvaudu uusilla, mikä johtaa muutoksiin korvan herkkyydessä reagoida ääniin. Toisaalta katsotaan, että rakenteelliset muutokset eivät pahene, jos vaurioitava äänienergia-altistus lakkaa. Ihmisellä sisäkorvan kudos- ja soluvaurioita ei voida mikroskooppisesti tai kuvauksin (röntgen, magneettikuvaus) tutkia. Niistä tietoa on saatavissa vain epäsuorasti kuulon- tutkimuksin ja kuulojärjestelmän toimintakokein.

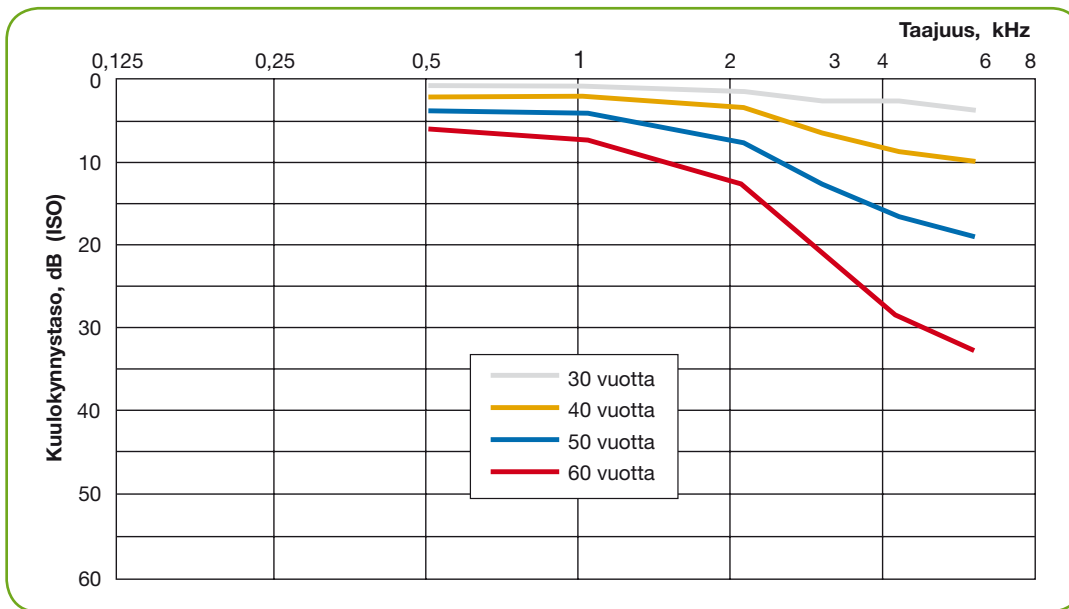
Hyvin voimakas ääni/melu, nimenomaan impulssimelu, voi aiheuttaa myös muissa sisäkorvan kalvosokkelon osissa vaurioita, kuten repeämiä ja verenvuotoja. Osa niistä voi korjautua, osa jäädä pysyviksi. Niin ikään voimakas impulssimelu räjähdysten paineaaltoon liittyen voi vaurioittaa tärykalvoa ja kuuloluuketjua ja johtaa myös välikorvaperäiseen vaurioon.

## 5.3

### Melun aiheuttamat kuulomuutokset

Tavallisimmin mitattu ja huomioitu meluallistukseen liittyvä kuulomuutos koskee kuuloherkkyttä, joka mitataan kuulokynnynä (ks. luku 2.1). Kuulokynnysmittauksella (audiometria) voidaan erottaa välikorva- (konduktiivinen) ja sisäkorvaperäiset (sensorineuraalinen) kuulovauriot toisistaan. Mutta muuten kuulon alenema kuulokynnysmuutoksena ei sellaisenaan kuitenkaan aina ilmaise korvavaurion syytä. Melukuulovaurioita tarkasteltaessa diagnostiseksi ongelmaksi muodostuvat muiden korvan sairauksien lisäksi erityisesti iän mukaiset kuulomuutokset (presbycusis).

Kuulokynnysmuutoksena ilmenevä ikähuonokuuloisuus alkaa vähitellen 25–30 vuoden iässä aluksi lievänä ja rajoittuen suuriin taajuuksiin (yli 6 kHz, ks. kuva 5.2). Myöhemmin kuulokynnys huononee iän myötä edelleen suurilla taajuuksilla ja kynnysmuutos alkaa ilmetä myös pienillä taajuuksilla, joskus koko kuulokynnysmittauksessa käytetyllä taajuusalueella (125 Hz – 8 kHz). Samoin kuin meluvaurioon liittyvä kuulokynnysmuutos myös ikähuonokuuloisuus kehittyä ja ilmenee



Kuva 5.2. Kuulokynnyksen huonontuminen iän mukaan; kuulokynnystaso (pystyakselina), taajuus (vaaka-akselina) (Fields & Hall, 1987).

kovin yksilöllisesti. Yli 70-vuotiaiden ikäryhmisessä pienellä osalla kuulokynnys saattaa vielä olla ”normaalialueella”, kun taas osalla se ei enää ole suurilla taajuuksilla lainkaan mitattavissa (yli 120 dB kuulokynnystasoa). Vastaava hajonta nuorilla normaalikuuloisilla on vain 10–15 dB.

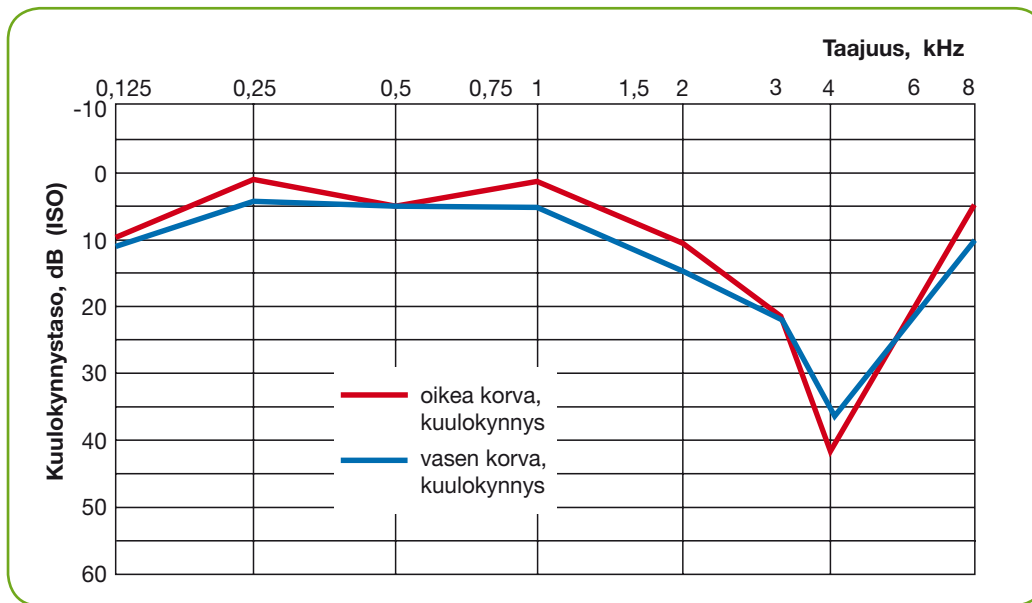
Jotkut tutkijat ovat epäilleet, että ikähuonokuuloisuuden yhtenä syynä on myös ympäristömelu ja käyttävät käsitettä socioacusis. Koska meluvaurioon tyypillisesti liittyvä kuulokynnyksenmuutos kuitenkin muodoltaan eroaa ikääntymiseen liittyvän kynnyskäyrän muodosta, ei ole varmuutta ympäristömelun osuudesta ikähuonokuuloisuuteen. Sen sijaan arvellaan perinnöllisten tekijöiden selittävän suuren osan yksilöllisistä eroista. Lisäsyynä voi olla myös muu sairastavuus, ravitsemus ja jopa stressi. Melun aiheuttamien kuulomuutosten vaikeusastetta tulee yksilötasolla tarkastella suhteessa ikähuonokuuloisuuteen ja ikäkorjaus voidaan huomioida kansainvälisen standardin mukaan (ISO 7029). Iäkkäillä aikanaan työssään meluallistuneilla ei toistaiseksi ole mahdollista erottaa iän ja melun osuutta kuulovauriossa.

Mitattaessa kuulokynnystä välittömästi päivittäisen meluallistuksen loputtua voidaan todeta normaalista tai aikaisemmasta mittauksesta poikkeavia kuulokynnyksisarvoja etenkin 4 kHz taajuudella. Ne eivät yleensä kuitenkaan ole pysyviä

kynnysmuutoksia. Riittävän äänilevon (vähintään 16–24 h) jälkeen kuuloherkkyys toipuu. Tällaista tilapäistä ääni-/meluallistuksen aiheuttamaa kynnysmuutosta (Temporary Threshold Shift, TTS) ei voi tulkita pysyvän meluperäisen kuulovaurion aiheuttamaksi kuulokynnyksenmuutokseksi (Noise-Induced Permanent Threshold Shift, NIPTS), joka voidaan luotettavasti mitata vasta vähintään vuorokausi altistuksen päättymisestä. Tilapäistä äänialtistuksen aiheuttamaa kynnysmuutosta on ehdotettu menetelmäksi yksilöllisen melukuulo- vaurioherkkyuden arviointiin, mutta sillä ei kuitenkaan pystytä luotettavasti ennakoimaan pysyvän melukuulo- vaurion vaikeusastetta.

Voimakas ja pitkään kestävä meluallistus aiheuttaa sisäkorvan karvasoluvauriota niin, että kuulokynnyksenmuutos ilmenee aluksi lievänä poikkeavuutena normaalista 2–6 kHz taajuusalueella, erityisesti 4 kHz taajuudella. Kuulokynnys 8–10 kHz taajuudella on yleensä selvästi parempi. Melukuulo- vauriossa kynnysmuutokselle on tyypillistä 4 kHz kuoppa. Kynnysmuutos on yleensä symmetrinen molemmissa korvissa. Mikäli altistus on impulssimelua, voi kynnysmuutos olla huonompi suuremmilla taajuuksilla kuin 4 kHz. Äänitason noustessa ja altistusajan kasvaessa kuulokynnys edelleen huononee muutaman kymmenen vuoden aikana tällä taajuusalueella ja laajenee koskemaan





Kuva 5.3. Esimerkki melun aiheuttamasta kuulovauriosta kuulokynnysmuutoksena; kuulokynnystaso (pystyakselina) ja äänestien taajuus (vaaka-akselina).

myös pienempiä taajuuksia (kuva 5.3). Melukuulovauriossa kynnyksimuutos ei kuitenkaan ole tasainen koko taajuusalueella. Tasaisessa kynnyksimuutoksessa pienten taajuuksien alueella vaurion syy on muu kuin melu.

Kuulokynnysmuutoksen lisäksi melukuulovaurion piirteisiin kuuluvat usein lisäksi

- odotettua huonompi puheen erotuskyky,
- kaventunut kuulon dynaaminen alue,
- hälyn voimakkaasti suuriin taajuuksiin laajentunut peitevaikutus, joka osaltaan vaikeuttaa puheäänien erottamista,
- ääniyliherkkyys (hyperacusis) ja
- tinnitus,
- äänikuvan vääristyminen ja
- äänen paikantamisen vaikeus.

Käytännössä ongelmallisin on puheen erottamisen vaikeus hälyssä, joka rajatusta ja vähäisestä kynnyksimuutoksesta huolimatta aiheuttaa käytännön toiminnanvajautta, vaikei hiljaisissa kuunteluolosuhteissa puheen erottamisessa ole vielä mitään ongelmia. Koska melukuulovaurio yleensä kehittyy hitaasti vuosikymmenien kuluessa, asianomainen itse tottuu siihen, eikä miellä sitä yhtä herkästi kuin nopeasti kehittyvää akuuttia kuulovauriota.

Tinnitusista, joka voi liittyä mihin tahansa korvavaurioon, esiintyy noin puolella melukuulovauriois-

ta. Sitä voi ilmetä silloinkin, kun karvasoluvaurio on niin lievä, ettei se vielä kuulokynnysmuutoksena esiinny. Normaalin rajoissa oleva kuulokynnys ei siis sulje pois lievää karvasoluvauriota, jonka ilmentymänä voi olla tinnitusta, ääniyliherkkyyttä, äänien vääristymistä ja puheen erotuskyvyn vaikeutta. Toisaalta tinnitusta voi esiintyä jopa täysin kuulonsa menettäneilläkin. Tinnitus johtuu korvan karvasolujen toiminnan häiriintymisestä tilapäisesti tai pysyvän lievänkin soluvaurion muuttuessa tai lisätessä kuulohermon itseistoimintaa, joka näin muuttuneena tulee tietoisuuteen äänenä. Se on periaatteessa jatkuvaa, mutta siihen yleensä habituoituu niin, ettei se aiheuta jatkuvaa häiritsevyyttä. Tottuminen tapahtuu aikuisella kuitenkin hitaasti useiden kuukausien kuluessa ja edellyttää hiljaisuuden välttämistä ja hallittua ääniympäristöä.

Vakuutusten korvauslainsäädännön mukaan korvattava melukuulovaurio lasketaan kuulokynnysmuutosten perusteella ja rajana on Suomessa 25 dB keskiarvona kolmella taajuudella (500 Hz, 1 ja 2 kHz), joka vastaa haittaluokkaa 2 tai 10 %:n haittastetta. Koska melukuulovaurioissa, joissa kuulokynnysmuutos laskee jyrkästi suurilla taajuuksilla, puheen erottaminen on usein huonompaa kuin mitä kuulokynnyskeskiarvo antaa aiheen odottaa, haittaluokkaa voidaan korottaa yhdellä. Sen sijaan vakuutuskorvauksessa ei huomioida tinnitusta.

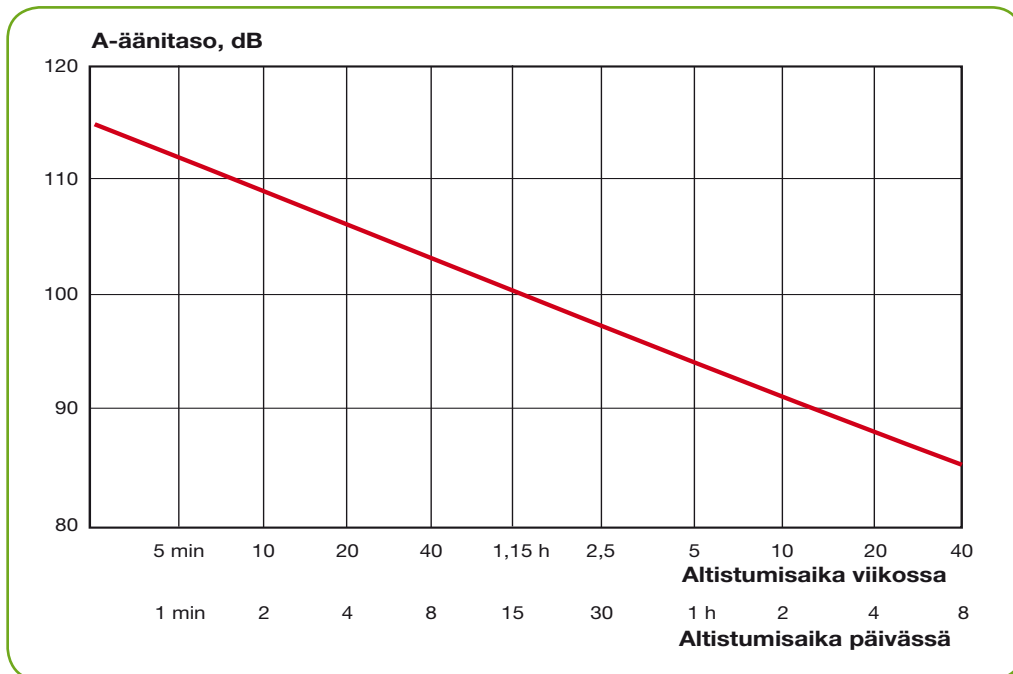
## Melualtistuksen ja kuulokynnysmuutoksen suhde

Tietämyksemme melun aiheuttamasta korvan karvasolusolvauriosta ja sitä kuvastavasta kuulovauriosta on peräisin toisaalta koe-eläintutkimuksista ja toisaalta sellaisista laajoista työperäisen melukuulovaurion tutkimuksista eri teollisuuden aloilta useiden vuosikymmenien ajalta, joissa on mitattu melualtistusta.

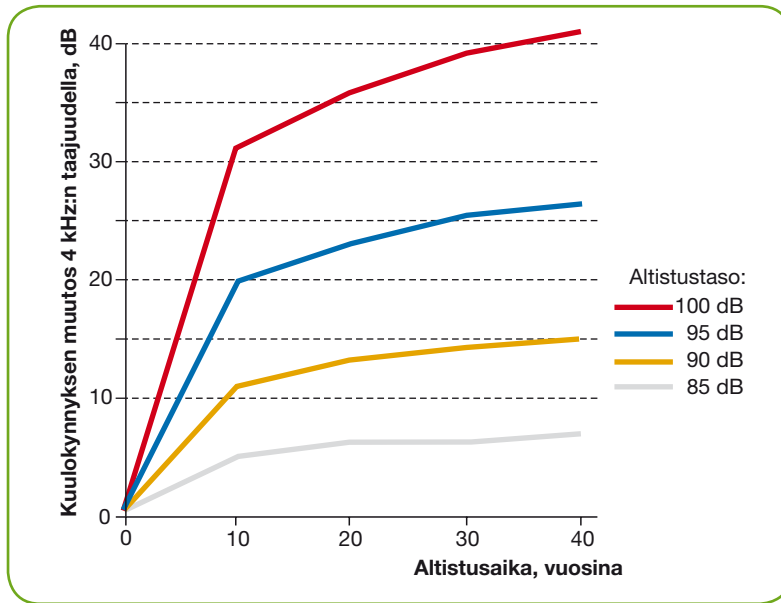
Kriittinen fysikaalinen suure, joka on suhteutettavissa melukuulovaurion vaikeusasteeseen, on kokonaisäänienergian määrä, joka vastaa altistustason ja altistuksen keston tuloa. Tämän vakioenergiaperiaatteen mukaan vaurion vaikeusaste on sama, jos tason kasvaessa 3 dB, altistusaika vastavasti puolittuu (kuva 5.4). Melutaso ilmoitetaan tällöin keskiäänitasona ( $L_{Aeq}$ ). Valtaosa melusta, joka kuulovaurioissa tulee kysymykseen, on laajakaistaista eikä melun taajuusspektrillä ole yleensä suurta osuutta kuulovaurion vaikeusastetta tai tyyppiä arvioitaessa. Myös voimakkaat impulssiäänet omaavat melko laajakaistaisen, tosin jonkun verran korkeisiin ääniin painottuvan, spektrin.

Melukuulovaurion ilmaantuminen ja kehittyminen on, kuten edellä on todettu, huomattavan yksilöllistä. Kuten ikähuonokuuloisuudessakin, yksilöllisyys selittyy ensisijaisesti perinnöllisten tekijöiden perusteella, joita ei vielä kuitenkaan tarkkaan tunneta, eikä sen takia osata geenitasolla määrittää. Millään tutkimuksella ei siis vielä voida alttiutta luotettavasti ennakoita. Toistaiseksi ei liioin ole mitään näyttöä siitä, että sen enempää nuoret kuin iäkkäätkään olisivat muita herkempiä saamaan melukuulovaurioita. Koe-eläintutkimuksista tiedetään, että ns. ototoksiset aineet (jotkut lääkeaineet ja teollisuuskemikaalit), jotka voivat yksinäänkin riittävinä annoksina vaurioittaa korvan karvasoluja, voivat melualtistuksen aikana käytettyinä herkistää myös meluvaurioille. Samanlainen vaikutus arvellaan olevan myös tupakoinnilla.

Melukuulovaurion riskirajana, 8 h päivittäisen usean vuoden altistuksen seurauksena, pidetään keskiäänitasoa 85 dB. Vakioenergiaperiaatteen mukaan sama riski on 88 dB tasolla, kun altistusaika on 4 h (kuva 5.4). Käsite riskiraja tarkoittaa tällöin sitä, että puolella (50 %) altistetuista on riski saada kymmenen vuoden jatkuvan melualtistuksen jälkeen kuulokynnysmuutos, joka on 5 dB 4 kHz



Kuva 5.4. Melukuulovaurion riskiraja vakioenergiaperiaatteen mukaan, keskiäänitaso (pystyakselina), altistusaika (vaaka-akselina) (ISO 1999, 1990).



Kuva 5.5. Melukuulovaurion kehitys (pystyakselina, kynnyksenmuutos, 4 kHz ääneksellä) altistuksen keston lisääntyessä (vaaka-akselina), eri altistustasoilla (käyrät alhaalta ylös; 85, 90, 95 ja 100 dB) (Taylor & Wilkins, 1980).

taajuudella ja 10 % riski on vastaavasti 7 dB (ISO 1999). Riski lisääntyy, jos altistustaso kasvaa.

Kynnyksenmuutos kehittyy nopeimmin ensimmäisten kymmenen vuoden altistuksen aikana, minkä jälkeen kynnyksenmuutos hitaammin saavuttaen lähes enimmäistasonsa noin 40 vuoden altistuksen kuluttua (kuva 5.5). Pitkäaikaisen melu-altistuksen ei katsota johtavan edes suurilla taajuuksilla täydelliseen kuulonmenetykseen (kuulokynnykseen yli 120 dB 2–6 kHz taajuuksilla).

Akuutti melukuulovaurio voi syntyä yksittäisestäkin yleensä voimakkaasta impulssimelualtistuksesta, jos sen hetkinen huipputaso ylittää 140 dB. Kuvan 5.4 esittämä vakioenergiaperiaatteen ekstrapolointi hyvin lyhyillä altistusajoilla on epäluotettava riittämättömien tutkimustulosten ja mittausarvojen takia. Joidenkin ympäristömelutyypin sisältämien impulssiäänien aiheuttamaa riskiä on sen takia vaikeaa arvioida. Runsaasti impulssiäänisiä sisältävä melun katsotaan merkitsevän suurempaa kuulovaurioriskiä, minkä takia suositellaan keskiäänitasoarvoihin lisättävän 2–8 dB:n korjausarvo.

Ympäristömelusta valtaosa on tasoltaan ja/tai päivittäiseltä tai kokonaisaltistusajaltaan sellaista, ettei melukuulovaurioriski ole ajankohtainen, vaikka lyhyillä altistusajoilla niiden keskiäänitaso voi olla selvästi riskirajan ylittävää. Poikkeuksena tästä ovat voimakkaat lyhytkestoiset äänialtisteet ja impulssimelulähteet. Tällaisina melulähteinä huomioon otettavia ovat esimerkiksi moottoriurheilu, ampuma-aseet, ilotulitteet ja jotkut lelut.

Raportteja konsertti- ja diskomusiikin herkillä yksilöillä aiheuttamista kuulovaurioista on tuotu tiedotusvälineissä esiin. Päinvastoin kuin teollisuusmelu monet ympäristöäänit, kuten musiikki, eivät samalla tavalla ole jatkuvia, jolloin taukojen ja tasovaihteluiden aikana korvan karvasolut voivat toipua mahdollisista äänirasituksista, mikä vähentää vaurioherkkyyttä. Suosituksina konserttien ja diskojen asiakkaita ajatellen esitetään kuitenkin samoja arvoja, joita niissä työskenteleville muusikoille ja henkilökunnalle on asetettu: 100 dB 4 h ajan konsertissa ja 90 dB vastaavasti diskossa. Yksittäisiä kuulovauriotapauksia voi lisäksi esiintyä esimerkiksi impulssiäänialtistuksessa (ammunta, ilotulitteet, lelut, moottoriurheilu, matalat ylilennot jne.).

Ympäristömelu voi kuitenkin liittyneenä työperäiseen melu-altistukseen olla lisäaltisteena huomioon otettavaa, minkä takia työssään voimakkaalle melulle altistuvien tulee arvioida vapaa-ajan melun riskit yksilöllisesti.

Kokonaisuudessaan väestötasolla iän mukaiset muutokset huomioiden ympäristömelulla ei ole varmuudella voitu osoittaa osuutta kuulokynnyksenmuutoksena mitatun kuulovaurion kehittymisessä. On esitetty, että ympäristömelun lisääntymisen takia tinnitus olisi lisääntynyt. Tinnituksen yleisyydestä ei kuitenkaan ole kontrolloituja tutkimuksia, joilla voitaisiin osoittaa sen yleistyneen.

## 6 Pitkäaikaisvaikutukset

Luvuissa 3, 4 ja 5 on käsitelty melun terveysvaikutuksia nimenomaan melualtistuksen aikana ja välittömästi sen jälkeen. Ympäristömelulle altistuminen on monilla kuitenkin pitkäaikaisvaikutuksia, vuosia tai jopa vuosikymmeniä kestävä. Kansanterveyden kannalta olisi tärkeää tuntea melun pitkäaikaisvaikutukset. Osa näistä voi liittyä pitkäaikaiseen ympäristömelualtistukseen. Osa vaikutuksista voi ilmetä, vaikka melualtistus olisi oleellisesti vähentynyt. Ympäristömelualtistus ei käytännössä koskaan täysin lopu toisin kuin työperäinen melualtistus.

Kansanterveydellisesti merkittävien sairauksien synty on yleensä monien tekijöiden yhteisvaikutusta. Tavanomaisesti syyt ryhmitellään perinnöllisiin ja ympäristötekijöihin, joista erilaiset altistukset, muun muassa ympäristömelu on yksi. Koska vain ani harvoin jonkin yksittäisen altisteen voidaan selkeästi katsoa olevan taudin aiheuttaja, kuten esimerkiksi säteilytaudit, ja koska ei tunneta mitään ilmeistä ja merkittävää ympäristömelusta aiheutuvaa ”melusairautta”, on melun vaikutuksia tarkasteltaessa kysymyksessä todennäköisyys siitä, että ympäristömelu toimii yhtenä syynä sairauden kehittymiseen tai yhtenä sen etenemiseen vaikuttavista tekijöistä. Tällöin voidaan puhua sairastumisriskin kasvamisesta pitkäaikaisen ympäristömelualtistuksen vaikutuksesta. Väestötutkimuksessa olisi näissä tapauksissa tarpeen myös huomioida ne altistetut, joilla riski on suurempi (luku 7).

Toinen ryhmä pitkäaikaisvaikutuksia liittyä jatkuvan ympäristömelualtistuksen aiheuttamiin toiminnanvajauksiin. Luvuissa 3 ja 4 on käsitelty melun aiheuttamaa toiminnanvajausta, joka voi vähetä tai poistua melualtistuksen oleellisesti vähentyessä. Mutta on myös mahdollista, että toiminnanvajausta, mikä huonontaa altistuneiden toimintakykyä ja elämänlaatua, jää melun lakattuakin.

Kolmas ryhmä pitkäaikaisvaikutuksia liittyä jatkuvasta ympäristömelualtistuksesta johtuvaan haittaan altistuneiden elin- ja toimintaolosuhteissa. Haitan väheneminen ja elinolosuhteiden pa-

lautuminen altistuneiden ikää ja taustaa muuten edellyttävälle tasolle ei ehkä enää ole mahdollista edes kuntoutustoimenpitein melualtistuksen aikana menetettyjen mahdollisuuksien takia.

Ympäristömelun pitkäaikaisvaikutusten toteaminen ja luotettava selvitys ympäristömelun riskeistä on monien tekijöiden huomioon ottamisen takia vaikeaa ja edellyttää laajoja ja vertailukelpoisia väestötutkimuksia. Tällaisia tutkimuksia on toistaiseksi vähän. Useissa tutkimuksissa on voitu löytää viitteitä pitkäaikaisvaikutuksista, joiden varmistamiseksi joudutaan vielä odottamaan varmentavia tutkimuksia, ennen kuin näyttöä vaikutuksista voidaan luotettavasti koota.

### 6.1

## Ympäristömelun vaikutus väestön sairastuvuuteen

Jatkuva altistuminen ympäristömelulle voi aiheuttaa sellaisia elintoimintojen pitkäaikaisia häiriöitä, jotka lisäävät sairastumisriskiä yhdessä muiden sairauden ilmenemiseen vaikuttavien tekijöiden kanssa. Valtaosan näistä voidaan katsoa liittyvän stressinä ymmärrettyihin elimistön toimintojen muutoksiin sydän- ja verenkiertoelimistössä, aineenvaihdunnassa, sisäeritysrauhasten toiminnassa, immunologisissa puolustusmekanismeissa ja ruuansulatuselimissä ja hengitysteissä, joiden säätely elin- ja solutasoilla kytkeytyy saumattomasti toisiinsa. Niin ikään stressi vaikuttaa koettuun elämänlaatuun, mikä ilmenee mielialan ja käyttäytymisen muutoksina ja esimerkiksi mahdollisina mielenterveyden ongelmina.

Tutkimustuloksia on siitä, että väestötasolla melualtistuneiden riski sydän- ja verisuonisairauksiin kasvaa. Heidän verenpaineensa nousevat, sydäninfarktiriski lisääntyy samoin ennenaikaisen kuoleman vaara (luku 4.4).

Ympäristömelun aiheuttamaan lisääntyneeseen sairastuvuusriskin mahdollisuuteen on myös viitteitä immunologisissa häiriöissä esimerkiksi infektiotiltiliuden lisääntymisenä sekä mielenterveyden häiriöissä. Tutkimuksissa, joissa on selvitelty ympäristömelun vaikutuksia kotieläimiin, on niin ikään viitteitä häiriöistä raskauden ja synnytyksen aikana.

6.2

## Ympäristömelun pitkäaikaisvaikutukset toiminnan häiriöissä ja toiminnanvajauksissa

Osa pitkäaikaisen ympäristömelun aiheuttamista häiritsevyyteen, nukkumisvaikeuksiin, kognitiivisiin ja puheviestinnän vaikeutumiseen liittyvistä toiminnanhäiriöistä voi jäädä pitkäaikaisiksi tai pysyviksi. Jatkuvan ympäristömelun aiheuttama voimakas häiritsevyys voi muokata altistetun asennoitumista ympäristömeluun. Nukkumisen laatu voi jäädä melun vähennyttyäkin huonoksi ja levollisen yöneden uudelleen oppiminen voi vaikeutua varsinkin, kun altistettujen ikä kasvaa. Pitkäaikaiseen melualtistukseen liittyvä väärä äänenkäyttö voi jäädä tottumuksiksi aiheuttaen äänihäiriöitä myös rauhallisessa ympäristössä. Ongelma ei aina korjaudu ilman kuntoutusta.

Toistaiseksi kartoittamaton, mutta kansanterveydellisesti ja yhteiskunnallisesti merkittävä, pitkäaikaisvaikutus voi liittyä melun aiheuttamiin kognitiivisiin häiriöihin lapsuudessa. Tällöin lapsen tulisi oppia tarkkaavaisuutta, keskittymään ja kuuntelemaan, kehittymään muistisuorituksissa ja uuden tiedon omaksumiskyvyssä sekä kielellisiltä taidoiltaan. Ympäristömelulle altistuminen voi tapahtua sekä kotona, vapaa-aikana että päivähoitossa ja koulussa. Edellä mainitut kognitiiviset toiminnanhäiriöt korjautuvat, kun melu on lyhytkestoisista (luku 4.2). Toistaiseksi ei ole selvityksiä siitä, miten nämä toiminnanhäiriöt korjautuvat, jos melualtistus kestää vuosia juuri lapsen kriittisen kehitysvaiheen aikana. Aistivammojen aiheuttamasta pitkäaikaisesta deprivatiosta (aistinärsykkeiden ja virikkeiden puute), joka tässä suhteessa johtaa samankaltaiseen häiriöön, on sen sijaan näyttöä.

6.3

## Ympäristömelualtistuksen pitkäaikaishaitta

Kuten luvussa 1 on mainittu, terveysvaikutuksen haitalla ymmärretään asianomaisen toiminta- ja osallistumismahdollisuuksiin liittyviä seikkoja. Se käsittää

- asumisolosuhteet,
- koulutus- ja työmahdollisuudet,
- sosiaalisen aseman,
- osallistumismahdollisuudet yhteiskunnan erilaisiin toimintoihin, muun muassa kulttuuripalvelujen hyväksikäyttömahdollisuuden,
- terveyshaitan taloudelliset seuraamukset, kuten asianomaisen toimeentulotason ja
- elämän laadun muutokset.

Missä määrin ympäristömelualtistuksen häiritsevyydestä ja yöneden häiriintymisestä on haittaa asianomaisen elämänlaatuun, on vielä selvittämättä. Monilla asuinalueilla melu rajoittaa asumisen laatua, koska mahdollisuus pitää ikkunoita auki ja käyttää parvekkeita, terasseja sekä piha- ja ulkoilualueita rajoittuu. Taloudellisesti vaikutus näkyy asuinkiinteistöjen arvossa. Jatkuvan melun aiheuttama häiritsevyys ja nukkumisvaikeudet voivat stressinä myös heikentää koulutus-, työ- ja ansiomahdollisuuksia. Niiden kautta sosiaalinen elinympäristö voi myös muuttua.

Pitkään kestäessään ympäristömelu voi kognitiivisten toimintojen häiriöiden kautta vaikuttaa lasten ja nuorten koulumenestykseen, pitkällä tähtäimellä koulutus- ja työmahdollisuuksiin ja niistä edelleen ilmeneviin seuraamusvaikutuksiin. Ne voivat pahimmassa tapauksessa johtaa syrjäytymiseen sekä alkoholin ja huumeiden käyttörikin kasvuun ja sitä kautta vakaviin ja myös taloudellisesti merkittäviin yhteiskunnallisiin haittoihin.

Tutkimukset ovat osoittaneet myös, että ympäristömelun aiheuttama häiritsevyys, stressi ja nukkumisvaikeudet johtavat lääkkeiden ja terveyspalveluiden käytön lisääntymiseen. Välinpitämättömyyden ja jopa aggressiivisuuden on todettu lisääntyvän ja toisaalta auttamishalukkuuden ja empaattisen käytöksen vähentyvän.

## 7 Melun vaikutukset eri väestöryhmissä

Ympäristömelulle altistunut väestö ei ole meluvaikutusten suhteen yhtenäistä. Eri tekijöistä johtuen esimerkiksi melun välittömät fysiologiset vaikutukset, pitkäaikaiset terveysvaikutukset ja vaikutukset kuuloon vaihtelevat. On tärkeää tunnistaa vaihtelun syyt. Niiden ymmärtäminen antaa paremman mahdollisuuden mieltää annos-vastesuhteen tilastollinen luonne ja suhtautua kriittisesti erilaisten väestöotosten perusteella tehtyihin johtopäätöksiin. Esimerkiksi meluherkät kokevat melun häiritsevämmäksi kuin ei-meluherkät, ja heillä melun fysiologiset vaikutukset voivat olla voimakkaampia kuin ei-meluherkillä.

Tutkimukset yksilöllisten vaihteluiden selvittämiseksi mahdollistavat niiden väestöryhmien tunnistamisen, joiden huomioiminen ympäristömelun torjunnassa on välttämätöntä. Tällaisia ryhmiä ovat ikääntyneet, lapset ja nuoret, sairaat ja raskaana olevat. Ikä ja sukupuoli tulee ottaa huomioon kaikissa epidemiologisissa tutkimuksissa, sillä ne aiheuttavat vaihtelua lähes minkä tahansa tutkittavalla ilmiön kohdalla.

### 7.1

#### Ikä

On tärkeää ottaa esille iän takia eri meluvaikutuksille herkät, kuten ikääntyvät ja ikääntyneet sekä erityisesti lapset ja nuoret. Oppimisen viiveet ja häiriöt, jotka koskevat keskittymistä, kuuntelemista, kielenoppimista, lukemista, muistitoimintoja, oivaltamista, ymmärtämistä sekä luonnollisesti koulun oppiaineiden omaksumista, voivat johtaa joidenkin yksilöiden koko loppuelämään vaikuttaviin koulutuksen, suoritus- ja työkyvyn, sosiaalisen sopeutumisen ja ihmissuhteiden ongelmiin. Melun kognitiivinen vaikutus lapsilla ja vaikutus kielelliseen viestintään on esitetty tarkemmin luvuissa 4.2 ja 4.3.

Pitkäkestoinen melualtistus näyttää lisäävän lasten avuttomuuden tunnetta ja vähentävän motivaatiota ja itsetuntoa. Lapsuudenaikaisen pitkäkestoisien melualtistuksen vaikutuksista myöhempään

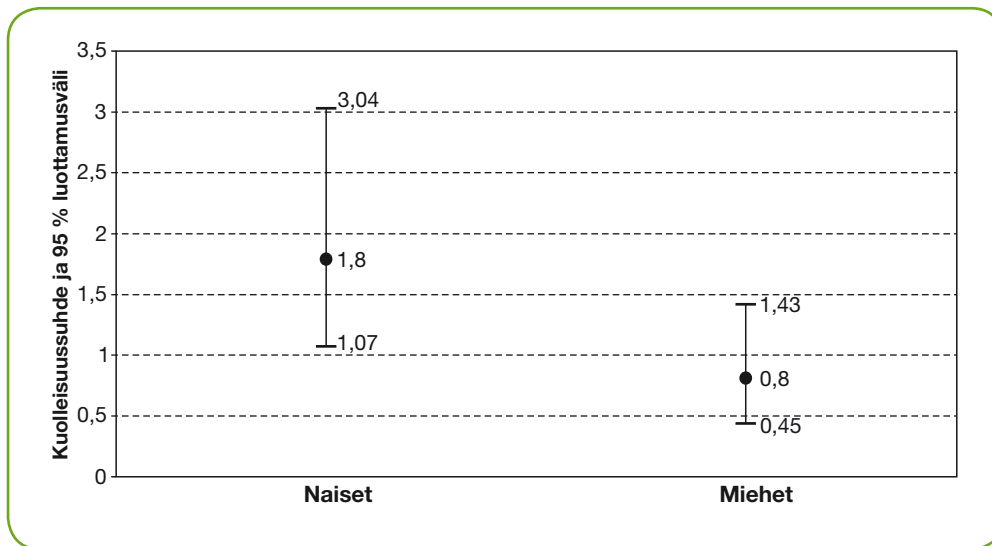
sosiaaliseen selviämiseen ja siitä mahdollisesti seuraaviin mielenterveys- ja muihin terveysongelmiin ei toistaiseksi ole tutkimustietoa.

Kirjallisuudesta löytyy vain rajoitetusti tietoa yksilöllisistä eroista unihäiriötaipumuksessa. Eräät tutkimukset viittaavat siihen, että lasten ja nuorten uni häiriintyy melusta vähemmän kuin keski-ikäisten tai vanhempien henkilöiden uni. Heräämisen todennäköisyys kasvaa iän lisääntyessä. Toisaalta 4–6-vuotiaita lapsia näyttäisi erityisesti häiritsevän äkillinen havahtuminen unen IV-tasolta. Lapset myös reagoivat psykofysiologisesti herkemmin (esimerkiksi sydämen lyöntitiheyden muutoksin) kuin aikuiset. Sairaantapaiset lapset saattavat olla herkempiä melulle.

### 7.2

#### Sukupuoli

Tarkasteltaessa erilaisia melualtistuksia (työpaikka-, tieliikenne-, lentomelu) ja melun erilaisia vaikutuksia verenkiertoelimistöön (kuten verenpainetauti, sepelvaltimotauti, lääkkeiden käyttö, sydäninfarkti) ovat tutkimusten tulokset usein vaihdelleet sukupuolen mukaan. Suurimmassa osassa tutkimuksia vaikutus on todettu miehillä mutta osassa taas naisilla. Miehillä tehdyssä epidemiologisessa tutkimuksessa liikennemelun häiritsevyys on liittynyt korkeampaan sepelvaltimotaudin ilmaantuvuuteen. Miehillä on myös todettu yhteys liikennemelualtistuksen ja sydäninfarktirisikin välillä. Eräässä tutkimuksessa taas naisilla todettiin marginaalisesti kohonnut sydäninfarktirisiki, joka liittyi liikennemelun häiritsevyyteen. Sydän- ja verisuonitautien oireet taas ovat liittyneet meluherkkyyteen naisilla mutta ei miehillä. Suomalaisessa tutkimuksessa on todettu meluherkkyyden liittyvän korkeampaan naisten sydän- ja verisuonitautikuolleisuuteen (kuva 7.1). Raportoitu melualtistus lisää kyseisen tutkimuksen mukaan meluherkkien naisten sydän- ja verisuonitautikuolleisuutta. Eräät tutkimustulokset osoittavat, että naiset ovat miehiä herkempiä unen aikaiselle melulle.



Kuva 7.1. Sydän- ja verisuonitautikuolleisuussuhde (pystyakselina) meluherkillä naisilla ja miehillä (Heinonen-Guzejev et al., 2007).

7.3

## Meluherkkyys

Huomattava osa väestöstä on iästä tai sukupuolesta riippumatta meluherkkiä. Eri maissa tehdyissä tutkimuksissa on meluherkkiä todettu olevan noin 25–40 % väestöstä, Suomessa 38 % (heistä naisia oli 52 %). Meluherkkyys on ihmisen kokemaa alttiutta melun erilaisille vaikutuksille. On yksilöitä, jotka eivät juuri huomaa ääntä ja myös niitä, jotka kokevat samantasoisien melun erittäin häiritseväksi. Meluherkkyys selittää yksilöllisiä eroja melun häiritsevyydessä (luku 3), ja se on äänenpainetason lisäksi merkittävin häiritsevyyttä ennustava tekijä.

Melun häiritsevyys ja meluherkkyys ennakoivat melun terveysvaikutuksia sekä unihäiriöitä paremmin kuin itse melutaso. Meluherkkyys lisää melun häiritsevyyttä ja meluallistuksen muita vaikutuksia. Meluherkkyys on samalla itsenäinen melun häiritsevyydestä erillään oleva yksilöiden välisiä eroja selittävä tekijä.

Meluherkkyys kuvaa reagoititapaa meluun. Meluherkät kokevat melun uhkaavampana, reagoivat siihen voimakkaammin ja tottuvat siihen hitaammin kuin ei-meluherkät. Kyseessä on pysyvä, todennäköisesti periytyvä piirre, joka on aikaisemmasta meluallistuksesta riippumaton.

Meluherkkyys näyttää olevan henkilön itsensä arvioima osoitus alttiudesta stressitekijöille yleensä, ei ainoastaan melulle. Se saattaaakin liittyä yleiseen stressihaavoittuvuuteen, ja sitä voitaisiin mahdollisesti käyttää tämän indikaattorina. Meluherkät ovat raportoineet olevansa herkkiä myös muille ympäristötekijöille, muun muassa ilma-asteille. Kemikaaliherkkyyden on todettu liittyvän meluherkkyyteen.

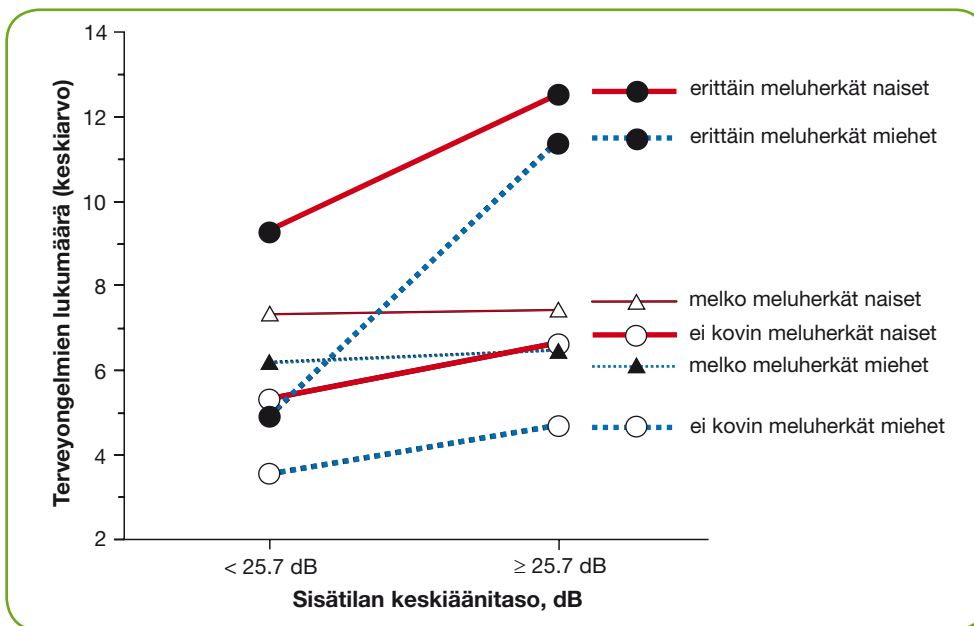
Melun subjektiivista kokemista, meluherkkyyttä ja melun häiritsevyyttä, voidaan selvittää kysely- ja haastattelututkimuksilla. Meluherkkyyttä voidaan mitata laajoilla kysymyssarjoilla (esimerkiksi Weinsteinin käyttämä) tai lyhyillä suorilla kysymyksillä, kuten ”Kuinka herkkä mielestänne olette melulle?”. Suomalaisessa tutkimuksessa meluherkkyys selvitettiin kysymyksellä: ”Ihmiset kokevat melun eri tavoin. Koetteko Te melun yleensä 1) hyvin häiritseväksi, 2) melko häiritseväksi, 3) ei erityisen häiritseväksi, 4) ei lainkaan häiritseväksi, 5) en osaa sanoa”. Vastaajat luokiteltiin tämän perusteella ”erittäin” tai ”melko meluherkiksi” sekä ”ei kovin” tai ”ei lainkaan” meluherkiksi. Tilastollisia analyysejä varten kaksi ensin mainittua ryhmää luokiteltiin meluherkiksi ja kaksi jälkimmäistä luokiteltiin ei-meluherkiksi. Laajojen kysymyssarjojen ja lyhyiden kysymysten on todettu korreloivan hyvin tai melko hyvin.

Suomalaisessa tutkimuksessa on selvitetty muun muassa meluherkkyyden luonnetta ja yleisyyttä, sen fysiologista ja mahdollisesti persoonallisuuteen liittyvää taustaa sekä sen perinnöllisyyttä. Meluherkkyys näytti kyseisessä tutkimuksessa vähenevän iän myötä. Aikaisemmissa tutkimuksissa iän, sukupuolen ja meluherkkyyden välisestä yhteydestä on saatu ristiriitaisia tuloksia. On tutkimuksia, joissa meluherkkyys on lisääntynyt iän myötä, meluherkkyyttä on ollut eniten keski-ikäisillä naisilla tai se ei ole lainkaan liittynyt ikään tai sukupuoleen.

Meluherkkyydellä on sekä somaattinen että psykologinen komponentti. Sen on todettu liittyvän kroonisiin sairauksiin (esimerkiksi sydän- ja verisuonitauteihin, kuten kohonneeseen verenpaineeseen), lääkkeiden käyttöön, erilaisiin psykologisiin

tekijöihin, stressiin ja univaikeuksiin (kuva 7.2). Suomessa tehdyssä tutkimuksessa meluherkkyys liittyi verenpaineeseen, emfyseemaan, stressiin, vihamielisyyteen, tupakointiin, särkylääkkeiden sekä uni- ja rauhoittavien lääkkeiden käyttöön. Meluherkillä on todettu huonontunut koettu unen laatu heidän altistuessaan liikennemelulle, jonka enimmäistaso on yli 45 dB.

Meluherkkyyden on esitetty olevan yksi sydän- ja verenkiertoelimistön meluvastetta ennakoiva tekijä. Tutkimuksissa itsensä meluherkiksi kuvaavat henkilöt ovat reagoineet melulle voimakkaammin verisuonten supistumisella kuin heidän verrokkinsa. Melun verenkiertoelinvaikutukset vaihtelevat altistuneen sukupuolesta ja meluherkkyydestä riippuen.



Kuva 7.2. Terveystietojen lukumäärät (pystyakselina) sisätilojen melun keskiäänitason (vaakakselina) mukaan eri-asteisesti meluherkillä naisilla ja miehillä (Nivison, 1992).



## **Terveydentila**

Terveydentilansa takia herkät, kuten sairaat (erityisesti pitkäaikaissairaat), huonokuuloiset, huonokuntoiset ja toipilaat, ovat herkkiä melun vaikutuksille. Esimerkiksi sairaaloissa unihäiriö muodostaa melun tärkeimmän vaikutuksen. Melun aiheuttama kuulomuutos ja vaikutus puheen kuulemiseen on esitetty luvuissa 5 ja 4.3.

Melun vaikutusten tulkinta mielenterveyteen on ongelmallista. On esitetty, että muuta väestöä herkkiä melun aiheuttamille vaikutuksille mielenterveyteen ovat naiset, lapset, korkealle koulutetut ja sosiaalisesti korkean ammattiaseman omaavat. Melun häiritsevyyden, meluherkkyyden ja mielenterveyden häiriöiden keskinäiset suhteet ovat monimutkaisia ja tutkimuksen tässä vaiheessa vielä huonosti selvitettyjä.

## **Muut vaihtelua aiheuttavat tekijät**

Henkilöt, joiden mahdollisuudet omatoimiseen torjunta- ja suojaustoimiin (esimerkiksi ikkunan sulkeminen) ovat rajoittuneet, kuten vuodepotilaat, liikuntarajoitteiset, kehitysvammaiset ja lapset, kuuluvat (myös tämän takia) melun vaikutuksille poikkeuksellisen alttiin väestöryhmään. Lisäksi henkilöt, joiden yö- tai vuorotyön takia tai muusta syystä tulee voida saada levätä ja nukkua päivällä, ovat melulle erityisen alttiita.

Melualtistus, kuten yleensä muutkin terveyttä vahingoittavat tekijät, kasautuvat sosiaalisesti heikoimmassa asemassa oleville. Mikä osuus melualtistuksella on havaittuihin sosiaaliryhmittäisiin eroihin sairastamisessa ja kuolleisuudessa, on toistaiseksi selvittämättä.

Yksilölliset tekijät, kuten sairaus, ikä, meluherkkyys ja epäsäännölliset nukkumisajat, ovat tärkeitä melun aiheuttamia unihäiriöitä tarkasteltaessa. Esimerkiksi henkilöt, jotka stressaantuvat tai ahdistuvat helposti, iäkkäät ihmiset ja vuorotyöntekijät, ovat hyvin herkkiä melun aiheuttamille unihäiriöille.

Vaikka systemaattisesti kerättyä tietoa yksilöllisen herkkyyden vaihtelusta melun aiheuttamiin unihäiriöihin on rajoitetusti, on WHO:n suosituksissa päädytty yhteisymmärrykseen siitä, että välttämämme haitallisilta seuraamuksilta jatkuvan melualtistuksen kohdalla yöaikainen keskiäänitaso ei saisi ylittää 30 dB.

## 8 Melunvaikutustutkimukset

Äänen/melun vaikutukset ihmiseen voidaan jakaa edellisissä luvuissa esitetyillä tavoilla kolmeen pääryhmään:

1. koettuun häiritsevyyteen (luku 3),
2. fysiologisissa elintoiminnoissa ilmeneviin vaikutuksiin (luku 4) sekä
3. kudosis- ja elinvaurioita aikaansaaviin muutoksiin (luku 5).

Kaikkien niiden osalta esiintyy myös pitkäaikaisvaikutuksia (luku 6). Osa meluvaikutuksista ilmenee altistuksen aikana. Näiden tutkiminen ja selvittäminen tulee tapahtua altistuksen kestäessä tai välittömästi sen loputtua. Yhteiskunnallisesti merkittävä osa melun haitallisista vaikutuksista liittyy pitkäaikaisen melualtistuksen aikana ilmenevään tai altistuksen loputtuakin jatkuvaan sairastavuusriskin nousuun, pysyvään toiminnalliseen vaurioon, toiminnanvajauteen ja haittaan (tässä käytettyjen käsitteiden merkitys on selvitetty luvussa 1).

Melunvaikutustutkimukset ovat tutkimusmenetelmien osalta vaativia ja edellyttävät usein lukuisien muuttujien huomioimista. Käytettävät tutkimusmenetelmät koskevat lääketieteellistä diagnostiikkaa, fysiologisia mittauksia, psykoakustisia tutkimuksia, itsearviointimenetelmiä haastattelu- tai kyselytutkimuksissa ja sosiometrisiä menetelmiä. Melualtistustietojen lisäksi tutkittavista tarvitaan ikää, sukupuolta, terveydentilaa, koulutusta, työhistoriaa, asuin- ja toimintaympäristöä, sosiaalista elämänpiiriä ja toimeentulotasoa koskevaa tietoa. Tämä edellyttää moniammatillista yhteistyötä eri muuttujien hallitsemiseksi ja tulosten tulkitsemiseksi. Usein on vaikeaa saada luotettavaa tietoa riittävän pitkältä ajalta esimerkiksi melualtistuksesta ja sairastuvuuteen ja toimintahäiriöihin vaikuttavista muista tekijöistä.

Koska valtaosa melun vaikutuksista on sellaisia toiminnan vaurioon, toiminnanvajauteen ja haittaan liittyviä muutoksia tai häiriöitä, joihin myös voi vaikuttaa useita muitakin tekijöitä, tutkimusnäytön saaminen ja sen vahvuus edellyttää eri tekijöiden riittävää huomioimista. Tutkimusnäytön vahvuus joudutaan erityisesti me-

ta-analyyseissä yksittäisiä tutkimuksia kriittisesti tarkasteltaessa arvioimaan. Tämä edellyttää kannanottoa tutkimus- ja kontrolliryhmän valinnan, melulähteen ja sen tasojen mittauksen sekä mitattavan/arvioitavan meluvaikutuksen sopivuudesta kyseiseen tutkimustavoitteeseen. Näytön vahvuuden arvioinnin tulee perustua määritellyille kriteereille (taulukko 8.1).

Periaatteessa meluvaikutustutkimukset voidaan jakaa monilla eri tavoilla. Monet ympäristömelututkimuksista ovat epidemiologisia tutkimuksia. Ne

Taulukko 8.1. Tutkimusnäytön vahvuuden kriteerit (International Agency for Research on Cancer'n kriteerejä soveltaen).

Näytön vahvuus	Kriteerit
riittävä	jos, on osoitettavissa syy-seuraussuhde melualtistuksen ja vaikutuksen kesken tutkimuksissa, joissa satunnaistekijät, systemaattiset menetelmävirhemahdollisuudet ja tulosvääristymät on poissuljettu ja on mielekästä, että vaikutus on altistuksen aiheuttama
rajattu	jos, tutkimuksessa on todettu syy-seuraussuhde melualtistuksen ja vaikutuksen kesken, mutta satunnaistekijöitä, systemaattista menetelmävirhettä tai tulosvääristymää ei ole voitu sulkea pois, mutta olisi mielekästä, että vaikutus olisi altistuksen aiheuttama tai suora syy-seuraussuhdetta ei ole voitu todeta, mutta on olemassa hyvää epäsuoraa näyttöä siitä, että se olisi mahdollinen tai epäsuora näyttö on pääteltävissä, jos altistus aikaansaa välivaiheena vaikutuksen ja muut tutkimukset osoittavat, että tämä välivaikutus johtaa tarkasteltavaan vaikutukseen
riittämätön	jos, tutkimuksen laatu ja tuloksen tilastollinen tarkastelu ei mahdollista johtopäätöstä syy-seuraussuhteesta melualtistuksen ja vaikutuksen kesken ja sellaisen mielekkyyden olisi myös kyseenalaista

voivat kohdistua esimerkiksi koko samalla alueella altistuvaan väestöön, tai käsittää vain määrätyillä kriteereillä valitun otoksen. Aineiston keruu tällaisissa tutkimuksissa tapahtuu tavallisesti kyselyillä. Myöskään melualtistustiedot eivät ole tarkasti kunkin kyselyyn vastaajan kohdalta mitattuja.

Toinen suuri ryhmä melunvaikutustutkimuksista on kokeellisia. Silloin on mahdollisuus tarkkaan melualtistuksen mittaukseen jopa korvakohtaisesti. Kolmantena ryhmänä ovat kliiniset tutkimukset, joissa ei välttämättä mitata melualtistusta. Ne koskevat yleensä jo ilmenneen toiminnallisen tai elinvaurion tai mahdollisesti melualtistukseen liittyvän sairauden diagnostiikkaa. Kokeellisissa ja kliinisissä tutkimuksissa on mahdollisuus monipuolisemmin suorittaa esimerkiksi toimintamittauksia kuin laajaan väestöön tai väestötötköseen kohdistuvassa tutkimuksessa.

Poikkileikkaustutkimuksissa kerätään tietoa melualtistuksesta ja melunvaikutuksista ajallisesti rajattuna ajanjaksona. Melualtistuksen pitkäaikaisvaikutuksia ja niissä tapahtuvia muutoksia selvitetäessä useiden vuosien altistuksen aikana tai sen jälkeen edellyttää pitkäjänteisiä seurantatutkimuksia. Ne voivat antaa tietoa meluvaikutusten ennusteesta, mahdollisesta pahentumisesta tai korjautumisesta. Vastaavasti voidaan seurantatutkimuksin arvioida torjuntatoimien tehokkuus.

Laajat fysiologiset toimintamittaukset (kuten unitutkimukset, kognitiiviset testit, puhekuulututkimukset, kliinisyfysiologiset mittaukset, laboratoriokokeet, telemetriset mittaukset) voivat edellyttää (melu)laboratorio-olosuhteita. Osa niistä voidaan toteuttaa myös luonnollisissa altistustilanteissa, esimerkiksi kotona tai luokahuoneessa. On kuitenkin melualtistustilanteita, kuten liikenteessä, joissa yksilökohtaiset mittaukset eivät juuri tule kysymykseen.

8.1

## Melualtistukseen liittyvät muuttajat

Elinympäristön ääni-/melualtisteet (taulukko 2.1) ovat peräisin erilaisista lähteistä, kuten moottoreista ja niiden pyörivistä osista, ilmanvirtauksesta, esineiden liikkeistä, kaiuttimista tai muista äänen-toistojärjestelmistä, soittimista, ihmisistä ja eläimistä. Luvussa 2 on käsitelty ääntä/melua kuvaavia

akustisia muuttajia. Melun haittojen kannalta äänitason eri painotusten lisäksi ovat oleellisia yksittäisten melutapahtumien ja tasaisen taustamelun äänitasosuhte eli häiriöetäisyys, melun ajallinen luonne (jatkuva, jaksottainen, säännöllinen, epä-säännöllinen), melutapahtumien lukumäärä ja esiintyminen vuorokauden eri aikoina, esimerkiksi illalla esiintyvä ja yöaikainen melu. Illalla esiintyvä melu painotetaan usein 5 dB ja yöaikainen 10 dB voimakkaampana kuin päivällä esiintyvä melu. Niin ikään on huomioitava melun äänen laatu (esimerkiksi soiva, korkea- tai matalaäänien) ja merkityssisältö ja sen tunnistaminen (esimerkiksi puhemelu tai ammuttamelu).

Altistettujen vastaanottamaan ääneen vaikuttaa lisäksi ympäristön tila ja olosuhteet, joissa ääni siirtyy äänilähteestä altistetulle. Yksittäisten äänilähteiden tuottamien äänien laatua ja voimakkuutta voidaan melko seikkaperäisesti mitata. Mittausmenetelmät ovat vakiintuneita tai jopa standardisoituja. Altistetun saama todellinen ääni-/melualtistus jää varsinkin väestötutkimuksissa usein kuitenkin vain likimääräisen arvion varaan, jossa virhemahdollisuus voi olla useita dB. Asuinalueilla toimivien melulähteiden aiheuttamia äänitasoja voidaan mitata eri kohdissa ja eri olosuhteissa rakennusten ulkopuolella. Asuinhuoneisiin kantautuvan melun ominaisuuksien ja tason arviointi on vaikeampaa. Siihen vaikuttaa muun muassa ikkunoiden tai parvekkeen oven aukiolo, minkä arvioidaan lisäävän äänitasoa keskimäärin 15 dB. Laajoissa väestötutkimuksissa ei ole mahdollista suorittaa asuntojen sisällä äänitasomittauksia varsinkaan, jos melu on ajoittain esiintyvää. Koska moni haluaa pitää ikkunoita auki, voi olla kyseenalaista pitää asuinhuoneiden sisäistä melutasoa uni-, kuulemis- ja viestintävaikeuksien kannalta asianmukaisena.

Koska melun aiheuttamat terveysvaikutukset ovat kovin erilaisia ja osin koskevat myös eri melutyyppejä ja -lähteitä, tulee melunvaikutustutkimuksissa ja -selvityksissä valita akustinen(set) muuttuja(t) tarkoituksenmukaisesti tutkimuksen kohteena oleva terveysvaikutus huomioiden. Esimerkiksi melutapahtumien lukumäärä on melualtistukseen liittyvä muuttuja, jolla on merkitystä erityisesti unen häiriöiden kannalta. Sen sijaan vegetatiivisten toimintahäiriöiden kannalta keskiäänitaso on sopivampi melun "mitta". Enimmäistaso on niin ikään unihäiriöissä etenkin heräämisriskiä arvioitaessa yksi tapa kuvata melun voimakkuutta. Yksilöllisen pitkällä aikavälillä kumuloituvan

edustavan annosmittauksen mahdollisuutta ei valitettavasti ole, vaikka sellainen antaisi parhaiten käsityksen melualtistuksen kokonaismäärästä.

#### 8.1.1

### Kokonaismelualtistus

Väestötutkimuksissa melu on yleensä peräisin useasta joko samanaikaisesta tai eri aikoina esiintyvistä lähteistä kokonaisaltistuksena. Alueen meluselvityksissä tulisi aina olla erikseen määritettyinä eri melulähteiden melualueet, siis esimerkiksi erikseen tieliikenteen ja raideliikenteen melualueet. Kirjallisuudessa on esitetty useita mahdollisuuksia kokonaisaltistuksen arvioimiseksi tai laskemiseksi, kun tunnetaan pääasialliset melulähteet ja niiden altistustasot. Koska äänitaso on logaritminen yksikkö, on luonnollista, että esimerkiksi kahden samanaikaisen eri melulähteen äänitasoja ei dB:nä voi laskea aritmeettisesti yhteen. Kaksi äänitasoiltaan yhtä voimakasta melua aiheuttaa yhdessä niitä 3 dB voimakkaamman äänitason. Jos taas toinen on heikompi, yhteisvaikutus äänitasona on suhteellisesti vähäisempi niin, että 10 dB heikompi melu ei enää juurikaan lisää yhteistä äänitasoa voimakkaampaan meluun verrattuna. Kokonaisäänitason voi näin ilmoittaa akustisena äänenpaineitasojen yhteenlaskutoimituksena. Koska melun vaikutukset riippuvat muistakin melulähteen tuottaman äänen ominaisuuksista, ei kokonaisäänitaso yksiselitteisesti kuvaa melua sen vaikutuksia ajatellen.

Usean melulähteen aiheuttamassa kokonaismelualtistuksessa käytetään hyvin yleisesti vallitsevan melun periaatetta, jolloin voidaan huomioida vaikutus, kuten häiritsevyydeltään pahin melu tai eniten unta häiritsevä melu. Vallitsevana meluna voidaan pitää myös altistettujen kannalta yleisintä melua. Yksilöllisistä eroista johtuen altistettujen omat arviot vallitsevasta ja eniten haittaavasta melusta voivat vaihdella. Tutkimuksessa tulisi myös ottaa kantaa siihen, missä määrin muut samanaikaiset melulähteet voivat lisätä vaikutuksia, jotka ovat keskeisessä asemassa kyseisessä tilanteessa.

Häiritsevyyden ollessa yleisin ympäristömelun haittavaikutus, usean eri melulähteen yhteisvaikutuksena arviointia varten on esitetty malli, jonka lähtökohdانا ovat samanarvoiset häiritsevyydet. Kuten luvussa 3 on todettu, eri liikennemelut koetaan eri tavalla häiritsevinä, jolloin niiden kes-

kiäänitasojen perusteella suoritettuihin kokonaisäänienenergiaan tai vain vallitsevan melulähteen tasoon pohjautuvat arviointimallit eivät anna oikeaa käsitystä kokonaismelualtistuksesta. Sen sijaan niiden kokonaisaltistus voidaan laskea samanarvoisia häiritsevyydetasoja hyväksikäyttäen edellyttäen, että eri melulähteet ovat toisistaan riippumattomia. Ongelmia arvioinnissa voi siitä huolimatta ilmetä, jos altistus tapahtuu hyvin eri suunnilta tai eri vuorokaudenaikoina.

Ne terveysvaikutukset, jotka voivat riippua melun kumuloituvasta kokonaisäänienenergiasta, esimerkiksi korvan aistinsoluvaurio, edellyttävät, että altistuksessa huomioitaisiin myös työperäinen melu sekä vapaa-ajan harrastuksiin liittyvä melu asuinalueen yhdyskuntamelun lisäksi. Myös häiritsevyyttä ja fysiologisten elintoimintojen häiriöitä tarkasteltaessa tulisi huomioida kaikki oleelliset melualtisteet vuorokauden, viikon, kuukauden, vuoden tai useiden vuosien aikana. Esimerkiksi päiväsaikainen melu voi lisätä melun aiheuttamia unen häiriöitä. Yöaikainen unta häirinyt melu voi lisätä melun aiheuttamaa häiritsevyyttä päivällä, onhan unihäiriöistä johtuva väsymys häiritsevyydelle altistava stressitekijä. Melun ohella muiden stressiä aiheuttavien tekijöiden huomioiminen voi olla tarpeen.

#### 8.2

### Melunvaikutuksiin liittyvät tutkimustavoitteet

Tavoitteina melunvaikutustutkimuksissa on todentaa suhde melualtistuksen ja jonkun tai joidenkin terveyshaittojen välillä. Eräät melun terveysvaikutukset ovat jo pitkään olleet tunnettuja ja tutkimuksin osoitettuja, kuten melun häiritsevyyttä sekä vaikutus korvaan ja kuuloon. Jotkut vaikutukset ovat ilmeisiä ja jokaisen päivittäin havaittavissa, esimerkiksi puheen kuulemista huonontava vaikutus, ja monilla myös uni häiriintyy melutapah- tumien seurauksena. Jotkut melun vaikutukset, etenkin pitkäaikaisvaikutukset, ovat vaikeammin osoitettavissa ja todennettavissa. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi sydän- ja verisuonitaudit tai riski niiden suhteen sekä niihin liittyvä kuolleisuus. On myös vaikeaa kerätä tutkimustietoa siitä, miten melu lisää tapaturma- ja onnettomuusrisiä. Kirjallisuudessa on pohdittu myös melun mahdollista

osuutta mielenterveyshäiriöihin, immunologisiin ja endokrinologisiin häiriöihin sekä esimerkiksi raskauden kulkuun ja sikiöön.

Melunvaikutustutkimuksen keskeisimpänä tavoitteena on löytää jopa matemaattisessa muodossa (lauseke tai graafinen kuvaus) esitettävä riippuvuusuhde, joka kuvaa ilmoitetulla tavalla mitattua tai arvioitua meluvaikutuksen vaikeusastetta altistamalla tai vaikutuksen yleisyyttä väestöotoksessa melun mitatun tai arvioitun voimakkuuden muuttuessa. Yleensä graafisena esityksenä todetaan vasteen määrän tai yleisyyden lisääntyvän monotonisesti melun voimakkuutta kuvaavan muuttujan kasvaessa. Tätä kutsutaan annos-vastesuhteeksi, josta on esimerkkejä edellä olevissa eri vaikutuksia käsittelevissä kappaleissa. Annos-vastesuhde alkaa usein asymptoottisesti ilman tarkkaa kynnyksrajaa. Kasvaessaan monotonisesti se ei yleensä liioin tarjoa sellaista tasannetta tai epälineaarista kiinnekohtaa, jota voisi perustellusti käyttää jonkinasteisen riskin raja-arvona. Suhde yleensä saavuttaa enimmäisarvonsa tai 100 % tason terveyshaittana voimakkaalla altistustasolla, mikä ymmärrettävästi

ei voi toimia suosituksena säädöksiä ja ohjearvoja varten. Kriittistä rajaa ei siis voi asettaa riskin 0 %:n mukaan. Vaikka se osa annos-vastesuhteesta, joka koskee heikkoja äänitasoja (tai muita vastaavia melun määrää tai voimakkuutta kuvaavia arvoja), liittyy melun terveysvaikutuksien osalta herkkiin osiin väestöä, ei annos-vastesuhde muodostu kaksijakoiseksi. Näin ollen kriittisten rajojen asettaminen on ympäristöterveyspoliittinen ratkaisu, jossa olisi toivottavaa voida suojata meluhaitoilta mahdollisimman suuri osa väestöstä (luku 9).

Melunvaikutustutkimuksissa pyritään lisäksi selvittämään eri terveysvaikutusten piirteet, kuten toiminnan häiriön palautuminen (adaptoituminen tai habituoituminen) tai häiriön jatkuminen pitempikestoisena tai pysyvänä, sekä häiriön ilmenemiseen vaikuttavat riskitekijät ja yksilölliset herkkyysvaihtelut (luku 7). Lisäksi voidaan selvittää mahdollisuuksia torjua yksilön omin toimenpitein häiritsevyyttä tai toiminnan häiriöt (kuulosuojain, makuuhuoneen valinta, ikkunoiden sulkeminen) (luku 9).

## 9 Ympäristömelun torjuntatoimet

Koska melu on ei-toivottua, häiritsevää tai vaurioita aiheuttavaa ääntä, ympäristömelun torjunta on äänen vaimentamista, vähentämistä tai rajoittamista. Ensi kädessä kysymykseen tulee ympäristömelun vähentäminen melulähteessä, sen leviämisen rajoittaminen tai altistuneiden suojaaminen melulta. Näitä keinoja voidaan toteuttaa teknisin ratkaisuin, mutta myös kaavoituksella, liikenne- ja yhteiskuntasuunnittelulla, arkkitehtonisin ja rakennusakustisin ratkaisuin. Vain poikkeustapauksessa voi olla ympäristömelun osalta mielekästä turvautua kuulosuojainten käyttöön.

Torjuntatoimien ratkaisuvaihtoehdot riippuvat nimenomaan melulähteestä. Tarkoitukseen sopivat akustiset ratkaisut eivät kuitenkaan voi erotella ei-toivottua ääntä viestinnän kannalta tarpeellisista äänistä, jotka voivat vaimentua jopa siinä määrin, että esimerkiksi puheviestintä vaikeutuu tai varoitussäänet eivät kuulu, mikä voi johtaa lisääntyneeseen onnettomuus- ja tapaturmariskiin.

### 9.1

#### **Yhteiskunnan käytössä olevat torjuntatoimet**

Ympäristösuojelun yleisenä periaatteena on aiheuttamisperiaate. Sen mukaan aiheuttaja vastaa vaikutuksien ennaltaehkäisystä tai haittojen poistamisesta tai rajoittamisesta mahdollisimman vähäiseksi. Yhteiskunnan käytössä olevat torjuntatoimet koskevat melupäästönormeja melun vähentämiseksi melulähteessä. Lisäksi yhteiskunta voi eri suunnittelujärjestelmien kautta vaikuttaa melun leviämisen estämiseksi, vaimentamiseksi ja rajoittamiseksi. Liikennemelun vähentäminen melulähteessä on tavoite, johon pyritään liikennevälineiden melupäästöjä koskevin määräyksin ja rajoituksin. Se edellyttää myös toimia rengasmelun vähentämiseksi sopivilla tiepinnoitteilla. Pienien polttomoottorikoneiden (kuten moottori-pyörät, perämoottorit, lumikelkat, puutarhojen ja kiinteistöjen huoltokoneet) melupäästöt saattavat

jäädä vähemmälle huomiolle ja aiheuttaa häiritsevyyttä puistoissa ja pihamailla asuinalueiden keskellä. Liikennemeluun voidaan myös vaikuttaa liikenneväylien linjauksella tai jo rakennettujen liikenneväylien läheisyyteen suunniteltujen asuinalueiden kaavoituksella, liikenneohjauksella ja rajoituksilla (nopeusrajoitukset, raskaiden ajoneuvojen ajokiellot tai yöaikaisen käytön rajoitukset). Liikenneväylien meluaitojen ja -vallien rakentaminen kuuluu niille, joiden vastuulla on myös itse liikenneväylien tai rataosuuksien rakentaminen. Ratkaisuina ne voivat olla maisema-arkkitehtonisesti joskus ongelmallisia. Niillä ei liioin voida vaimentaa lentomelua.

Teollisuuslaitosten ympäristöön päästämä melu ja esimerkiksi ampumaratamelu ovat liikenteeseen verrattuna erilaisia sen takia, että niissä melulähde pysyy paikallaan. Rakenteet, jotka estävät melupäästöjä ympäristöön (myös sisäämpumaratojen osalta) ovat ensisijainen ratkaisuvaihtoehto. Lisäksi tarvitaan usein kaavoitusratkaisuja asutusalueiden ja esimerkiksi koulujen ja terveydenhuollon hoitolaitosten suojaamiseksi. Ulkotiloissa sijaitsevat melulähteet, kuten ulkoampumaradat, moottoriurheiluradat, kivenmurskaamot ja tuulivoimalat, voivat olla ongelmallisia sen takia, että sääoloista riippuen melu saattaa kantautua pitkällekin lähteestä, seikka johon ei torjuntatoimin juuri voida vaikuttaa. Periaatteessa sama koskee lentokenttien lähellä olevia alueita silloin, kun lentokorkeus on vähäinen.

Asuinalueilla pääasiallisena melun rajoituksen keinona on aluekäytön suunnittelu, koska rakennusteknisin toimin on vain rajoitetussa määrin mahdollista vaikuttaa ulko-, piha- ja parveketilojen melutasoon. Ääneneristysvaatimuksia on olemassa sekä seinärakenteille että oville ja ikkunoille. Suojausvaikutus menee kuitenkin hukkaan silloin, kun asukkaat pitävät ikkunoita ja parvekkeenovia auki. Asuntojen suunnittelu siten, että makuuhuoneet ovat rakennuksen hiljaisemmalla puolella, ei liioin ole kaikkien rakennusten ja asukkaiden kannalta sopiva ratkaisu. Lähtökohtana tulisi olla se, että asuinalueen melutaso ulkona olisi riittävä ta-

kaamaan hyvät asuinolot. Tässä tulisi päiväkotien, koulujen, sairaaloiden ja hoitolaitosten suhteen olla erittäin tarkka, koska melusuojauksen tarpeessa on niissä pääsääntöisesti henkilöitä, joilla toiminta (opetuksen seuraaminen, sairauden hoito, toipuminen) on herkästi häiriintyvää tai jotka ovat yksilöllisesti meluherkkiä.

Edellä mainituissa rakennuskohteissa tulisi pyrkiä myös melua vähentäviin ratkaisuihin koskien kiinteistöissä syntyvää ilmastointilaitteiden, hissien moottorin, kylmäkoneiden ja naapureiden aiheuttamaa melua. Päiväkodeissa ja kouluissa ongelmallista on muun ympäristömelun lisäksi opetustiloissa syntyvä melu. Siihen tarvittavat ratkaisut käsittävät paitsi opetustilojen akustisia ratkaisuja (vaimennus ja kaikuisuuden vähentäminen) myös pedagogiseen toimintaan liittyviä ratkaisuja sekä ryhmäkokojen pienentämistä ja opetushenkilökunnan lisäämistä. Nämä edellyttävät asenteiden kehittymistä ja kypsymistä akustisesti hygieenisen ympäristön suuntaan.

Vapaa-ajan meluisten harrastusten osalta ongelmanna on usein se, että melun aiheuttajat (moottoriurheilun, ammunnan, populaarimusiikin ja diskojen harrastajat) eivät itse miellä tuottamaansa ääntä meluna. Kyseiset melulähteet ovat usein kuitenkin voimakkaasti häiritseviä kyseisten harrastustilojen lähellä asuville ja toimiville. Useassa tapauksessa harrastustoiminnassa mukana olevan itsensä tulisi käyttää kuulosuojaimia. Ulkopuolisia tulisi sitten suojata äänitasoja, toiminnan kestoa ja vuorokauden aikoja koskevin määräyksin.

Yhteiskunnalla on hyvin vähän keinoja vaikuttaa asuntojen sisällä esiintyvään meluun. Se koostuu paljolti TV:n, radion ja muiden kuuntelulaitteiden tuottamasta äänestä, mikä naapureille ja toisille samassa taloudessa asuville saattaa olla melua. Toiset voivat kokea sen toivottuna, vaikka toimintoja häiritsevänä se voi heille itselleenkin aiheuttaa meluhaittaa. Kodin elektroniikkaratkaisulla voi ongelmaa osittain helpottaa (kuuntelu kuulokkeilla), mutta lähtökohtaisesti tarvitaan asennemuokkausta, joka voi edellyttää ääniympäristön kulttuurin muuttamista.

Viime vuosina on panostettu myös hiljaisiin alueisiin puistoissa ja taajamien ulkopuolella, esimerkiksi luonnonsuojelualueilla. Niiden käyttö ei kuitenkaan vähennä arkipäivien asuin- ja toimintaympäristön melun haittoja, jotka hiljaisten vapaapäivien jälkeen saattavat tuntua entistä häi-

ritsevämmiltä, ellei ole mahdollisuutta kokonaan asua ja toimia hiljaisilla alueilla.

Julkinen ja tiedotusvälineiden tukema asennemuokkaus on edellytys yhteiskunnan melusaasteen vähentämiselle ja vähämeluisen asuin- ja toimintaympäristön arvostuksen kohentamiselle. Hiljaiset alueet eivät siihen riitä. Siihen tarvitaan toimenpiteitä liikennekulttuurin, kaavoituksen ja rakentamisen muuttamiseksi melua vähentäväksi. Se edellyttää myös toisia huomioon ottavaa elämänasennetta. Vähämeluisuuden arvostuksen nousu voi myös mahdollistaa sen tarvitsemat taloudelliset resurssit. Tavoitteeksi ei ole tarvetta asettaa täyttä hiljaisuutta, vaan miellyttävä ja kunkin hallittavissa oleva ääniympäristö.

Kansallisten, usein EU:ssa yhteisesti hyväksytyihin päätöksiin pohjautuvien määräysten ja suositusten perustana ovat melualtistustasot, jotka melulähte- ja vaikutuskohtaisesti on esitetty WHO:n julkaisun mukaan liitteessä 1.

## 9.2

### Altistetun yksilön käytössä olevat torjuntatoimet

Altistetun omat mahdollisuudet vaikuttaa suoraan melualtistuksen vähenemiseen asuin- ja toimintaympäristössä ovat rajoitetut. Ikkunoiden ja ovien sulkeminen, jotta ulkopuolinen liikennetai muu ympäristömelu vaimenisi, esimerkiksi unihäiriöiden vähentämiseksi, on yksi harvoista mahdollisuuksista. Sillä on kuitenkin haittapuolensa sisäilman laatua ajatellen. Samoin se rajoittaa ehkä psykologisesti tärkeäkin ääniyhteyttä ympäristöön ja luontoon. Koneellinen ilmastointi ei aina pysty korvaamaan luonnollista ilmanvaihtoa ja se tuottaa usein häiritsevässä määrin melua.

Naapurimelua on niin ikään vaikea torjua. Yritykset sen torjuntaan johtavat usein naapurisovun kariutumiseen ja taloyhteisön kannalta ikäviin risiriitoihin. Sen sijaan omissa asunossa syntyvän melun suhteen kukin voi tehokkaasti toimia meluhaittojen vähentämiseksi. Itse aikaansaataa äänimaailmaa monet eivät kuitenkaan pidä meluna, koska se on hallittavaa laadultaan ja voimakkuudeltaan. Se voi kuitenkin olla naapureille melua. Kuulokkeiden käyttö TV:n, radion ja äänitysten kuuntelussa olisi siksi suotavaa. Se säästää me-

lulta sekä muut asunnossa asuvat että naapurit. Taloyhtiön ja yleisen järjestyssäännön aikarajojen noudattaminen on myös vartenotettava keino.

Kuulosuojaimilla, jotka kotiolosuhteissa yleensä ovat tulppamallisia, voi akustisesti arvioituna melko tehokkaasti vaimentaa melua korkeilla äänillä jopa noin 20 dB, mutta matalilla äänillä hyvin vähän tai ei lainkaan. Kuulosuojainten käytöstä on kuitenkin myös merkittävää haittaa. Koska vaimentaakseen niiden tulisi tiiviisti sulkea korvakäytävä, ne vaikeuttavat korvakäytävän tarvitsemaa normaalia ilmastointia johtaen sen hikoilemiseen, ärsytykseen, kutinaan ja vahan poistumisen estymiseen. Tämä voi johtaa korvakäytävätulehdukseen ja korvakäytävän tukkeutumiseen korvavahan johdosta. Ne altistavat myös tinnitukselle ja ääniyliherkkyydelle, joista voi muodostua melun häiritsevyyttä suurempi ongelmavyhyti. Ne vaikeuttavat lisäksi puheen ja merkkiäänien (kuten puhelin, herätyskello, vauvan itku) kuulemista. Niiden käyttöä kotona tulisi rajata sen takia vain tilapäisiin hankalampiin unta ja keskittymistä häiritseviin melutilanteisiin.

Usein altistettu saattaa ajattelemattomuuttaan pyrkiä torjumaan melua peittoääntä käyttämällä. Naapurimelun häiritsevyyttä pyritään esimerkiksi

vähentämään laittamalla oma radio, soitin tai TV entistä voimakkaammalle. Akustisen hygienian kannalta tämä ratkaisu ei ole toivottavaa, vaikka se tilapäisesti tuntuisi helpottavan ei-toivotun äänen aiheuttamaa häiritsevyyttä. Taloyhtiössä se voi johtaa pahimmassa tapauksessa ristiriitaiseen umpikujaan.

Uni- ja rauhoittavien lääkkeiden käyttö melun häiritessä unta tai johtaessa mielialaongelmiin ei luonnollisestikaan ole ongelman ratkaisu. Vain hyvin tilapäisesti (esimerkiksi matkoilla ollessa) voidaan ajatella lääkitystä käytettävän melun aiheuttaman unihäiriön helpottamiseksi.

Yksilöt voivat valituksin ja yhteydenotoilla viranomaisiin niinkään toimia meluhaittojen vähentämiseksi. Kysymykseen tulee lähinnä kunnan ympäristö-, terveys-, rakennus- ja kaavoitusviranomaiset. Taloyhtiöissä meluvalitukset tulkitaan joskus väärin ja syyllistetään valituksen tekijä häiriintyneeksi johtuen väärästä tulkinnasta yksilöllisen meluherkkyyden luonteesta. Yhteiskuntamme on sellainen, että jo olemassa olevaan tai todennäköisesti ennakoitavaan meluhaittaan ei puututa, ellei siitä tehdä riittävästi asiallisia ja perusteltuja valituksia.



# 10 Päätelmät

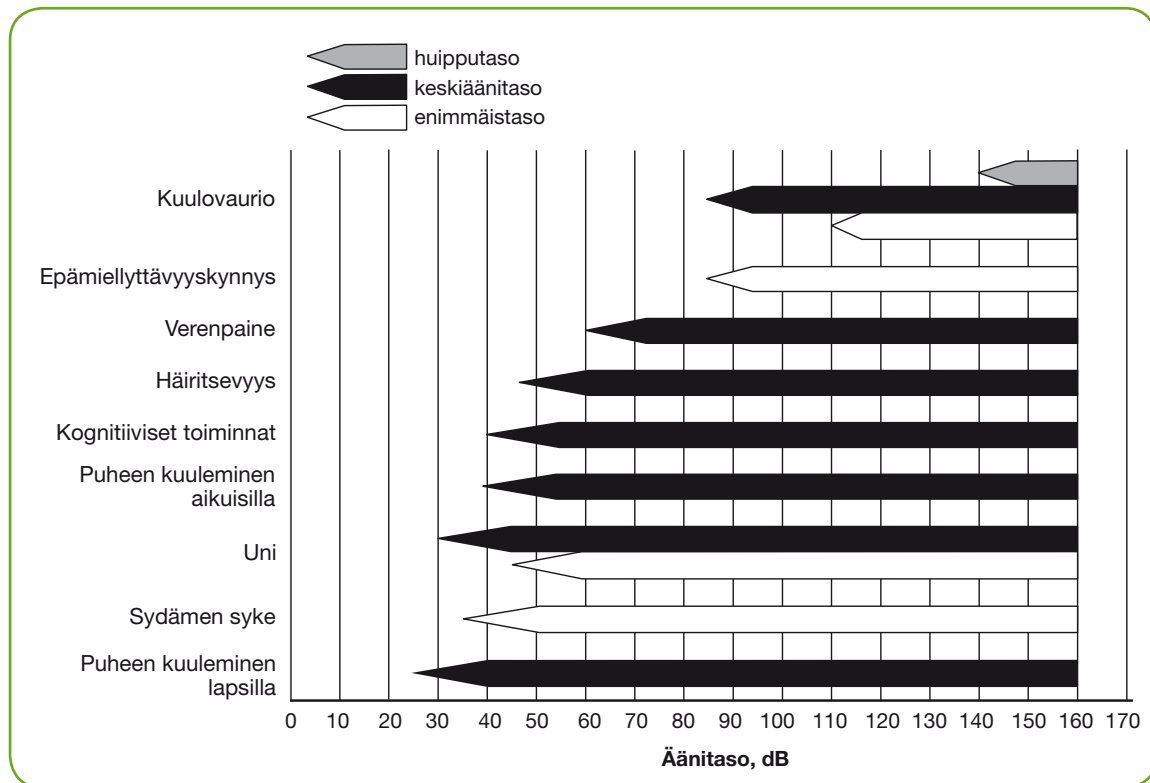
Edellä olevissa luvuissa (3–6) on käsitelty melun haitallisia vaikutuksia. Niitä on tarkasteltu samoin kuin muita sisäisistä tai ulkoisista syistä johtuvia terveydellisiä haittavaikutuksia WHO:n esittämällä tavalla ryhmitellen ne (luku 1)

- kudus- ja elinvaurioihin,
- fysiologisten elintoimintojen muutoksiin ja toiminnallisiin vaurioihin,
- toiminnanvajauksiin ja
- haittoihin.

Samoin kuin muidenkin ympäristöaltisteiden osalta, melun vaikutusten ilmeneminen on yksilöllistä, jos lähtökohtana on vain melun/äänien fysikaalinen voimakkuus tai siihen suhteutettu äänekkyyys. Tärkeä osuus melun terveysvaikutusten ilmenemiseen on melun lähteellä, merkityssisällöllä, laadulla ja

ajallisella esiintymisellä sekä tunnistettavuudella, hallittavuudella ja ennakoitavuudella. Osittain vaihtelut johtuvat myös moninaisista asuin- ja toimintaympäristön tekijöistä.

Koska näiden seikkojen takia vaihtelua ja yksilöllisiä eroja on paljon (luku 7), tutkimusten perusteella ei ole mahdollista löytää selkeitä perusteita melutasosuositusten määrittämiseksi tavanomaisien äänitasomittausarvojen tai moninaisesti painotettujen tunnuslukujen muodossa. Tässä julkaisussa on sen takia pyritty melun voimakkuutta tai annosta kuvattaessa pitäytymään ensisijaisesti vain keskiäänitasoon ( $L_{Aeq}$ ), enimmäistasoon ( $L_{Amax}$ ) ja melutapahtumien lukumäärään. Melulähteestä riippuen mittauksissa on joskus tarpeellista huomioida spektrin painottuminen pieniin taajuuksiin, kapeakaistaisuus tai voimakkaiden äänesten



Kuva 10.1. Tiivistelmä eri meluvaikutusten (pystyakselilla) kynnystasoista (vaaka-akselilla) keskiäänitasoina, enimmäistasoina tai huipputasoina.

osuus melussa sekä impulssimaisuus. Sama koskee tärinän huomioimista pientaajuisten melun vaikutuksia arvioitaessa.

Kuvassa 10.1 esitetään kooste sellaisten haitallisten vaikutusten raja-arvoalueista, joista on näyttöä. Ne on ryhmitelty sekä vaikutusten yleisyyden että äänitason mukaan. Näiden osalta viitataan myös liitteenä olevaan WHO:n suositukseen. Raja-arvot ja niiden vaihtelualueet koskevat ensisijaisesti melun välittömiä vaikutuksia, lukuun ottamatta korvan aistinsoluvauriosta johtuva kuulovauriosta, joka kehittyäkseen edellyttää vähintään raja-arvon mukaisen keskiäänitason jatkuvan vuosia ja jopa vuosikymmeniä. Tiedot melun muiden pitkäaikaisen terveysvaikutusten osalta ovat toistaiseksi niin puutteellisia, ettei ole vielä mahdollista arvioida esimerkiksi sydän- ja verisuonitautiriskiä nostavaa pitkäaikaisen melualtistuksen ”raja-arvoa” (luku 4.4).

Keskiäänitason ollessa alle 50 dB häiritsevyys on valtaosalla altistetuista enintään vähäistä tai sen tasoista ääntä/melua ei lainkaan koeta häiritseväksi (luku 3). On huomioitavaa, että siitä huolimatta yksittäiset melutapahtumat voidaan kokea häiritsevinä, vaikka niiden enimmäistaso jäisi tämän lukuarvon tuntumaan tai sen alle.

Yöaikaisen häiritsevyuden ja unihäiriöiden takia keskiäänitason yöllä tulisi olla ainakin 5–10 dB päiväaikaista matalampi. Unen ja nukahtamisen häiriöitä alkaa ilmetä jo noin 30 dB keskiäänitasosta alkaen (luku 4.1). Harvemmin liikennöityjen väylien varrella yksittäisten melutapahtumien enimmäistasolla on suurempi merkitys, jolloin herääminen alkaa olla hyvin todennäköistä enimmäistason saavuttaessa 45 dB.

Uusin tutkimus tuo erityisesti esille melun vaikutukset puheen kuulemiseen ja kognitiivisiin toimintoihin kaiken ikäisillä lapsilla (luvut 4.2 ja 4.3). Vauva- ja leikki-ikäisillä haitallisten vaikutusten mittaaminen ja arviointi on vaikeaa, minkä takia tutkimukset ovat kohdistuneet pääosin päiväkotit- ja kouluikäisiin lapsiin ja nuoriin. On ilmeistä, että lapsen kielen, puheen, keskittymisen, tarkkaavaisuuden, havainnointikyvyn, hahmottamisen, muistitoimintojen ja oppimiskyvyn kehityksen kannalta meluinen kasvuympäristö sekä kotona, päiväkodissa että koulussa on haitallista. Melual-

tistus lapsuudessa vaikuttaa haitallisesti lasten kehitykseen, oppimis- ja koulutusmahdollisuuksiin, ammattivaihtoehtoihin, työelämään sijoittumiseen ja sosiaalis-taloudellisiin mahdollisuuksiin koko elämän aikana.

Puheen kuulonvaraisen erottamisen kannalta hyvä kasvu- ja oppimisympäristö ala-asteella edellyttää enintään noin 20 dB taustamelun keskiäänitasoa ja yläasteellakaan sen ei tulisi ylittää 35 dB:n tasoa. Nämä asettavat vaatimuksia paitsi päiväkotien ja koulujen sijoitukselle esimerkiksi liikenneväyliin nähden myös luokkahuoneessa syntyvän melun hallinnalle. Koska tämä koskee nimenomaan sisätiloja, on välttämätöntä samalla ottaa kantaa jälkikäikunta-aikaan, joka ei saisi ylittää 0,5 s (luku 4.3).

Yhteiskunnalla on vastuu selvittää lapsuuden aikaisen melualtistuksen perusteella kehittyneen sairastuvuuden, syrjäytymisen, mielenterveysongelmien, alkoholin- ja huumeiden käytön riskit ja seuraamukset yksilöiden ja kansantalouden kannalta. Samoin ammatillisia, taloudellisia ja sosiaalisia haittoja esiintyy luonnollisesti myös melualtistuneilla aikuisilla, millä voi olla merkitystä ikääntyvien palvelujen tarpeen kannalta sekä yksilö- että väestötasolla jopa siinä määrin, että se tulisi huomioida kansantaloudellisesti (luku 6).

Ympäristömelun kuulovaurioriskin rajat on tarkoituksenmukaista perustaa työperäisen melualtistuksen pohjalta laadittuihin suosituksiin (luku 5). Ympäristömelu eroaa kuitenkin työperäisestä melusta, koska se on voimakkaana yleensä vain ajoittaista, kerrallaan ja koko altistushistorian ajan suhteellisen lyhytkestoista, spektrin ja tasovaihteluiden osalta erilaista ja merkityssisällöltään joskus jopa toivottua (musiikki), ennakoitavaa (ilotulitteet) ja itse hallittavaa (ammunta, kodin työkalut ja koneet). Pitkäaikaisena melualtistuksena 8 tunnin keskiäänitason 85 dB:n raja ja yksittäisten meluhuippujen ( $L_{Apeak}$ ) raja 140 dB on huomioitu kuvassa 10.1. Vaikka herkät yksilöt voivat ympäristömelusta saada sisäkorvavaurion siihen liittyvine kuulo-oireineen ja vaikka akustisen altistusmittauksen perusteella riskiraja joskus ylittyy, ei ympäristömelun vaikutusta ole kuitenkaan osoitettavissa väestön keskimääräisessä kuulotasossa.

## LIITTEET

### Liite I

#### WHO:n suositukset ympäristömelusta

[www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html](http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html)

Seuraavassa on suomenkielinen epävirallinen käännös suosituksista:

## Suositusarvot

### I Johdanto

Ympäröivä äänimaailma stimuloi jatkuvasti kuulorajestelmäämme. Äänet eivät välttämättä aina ole häiritseviä tai haitallisia. Kuulohermo välittää virikerikkaita ärsykeitä aivoihin, mikä auttaa hyvän suorituskyvyn vaatiman tarkkaavaisuuden ja vireyden säätelyssä. Toisaalta on tutkimustietoa niistä haitoista, joita aistimusten puuttuminen täydellisessä hiljaisuudessa aiheuttaa ihmiselle. Täten liian vähän tai liian paljon ääntä voi olla vahingollista. Ihmisellä tulee olla oikeus itse päättää, millaisessa ääniympäristössä hän haluaa elää.

Eri melulähteiden aiheuttama äänialtistus ilmoitetaan tavallisesti keskimääräisenä äänenpainetasona määrätynä aikana, yleensä vuorokauden aikana. Sama altistus saadaan, jos sinä aikana on paljon heikkoja ääniä tai vastaavasti vain vähän mutta voimakkaampia ääniä. Tämä tekninen esitystapa ei täysin kuvaa sitä, miten ympäristömelu koetaan tai miten ihmisen aistinjärjestelmä sen vastaanottaa.

Näkö-, kuulo-, tunto-, haju- ja makuaistille on ominaista hyvä erotuskyky ärsykkeiden voimakkuuseroille ja aleneva herkkyys jatkuville ärsykeille (adaptaatio tai habituaatio). Yksittäiset äänet pystytään erottamaan vain tiettyyn toistotahdin kynnysarvoon saakka, minkä jälkeen altistus koetaan jatkuvana. Nämä ominaisuudet liittyvät selviytymiseen tilanteissa, joissa uudet ja erilaiset ärsykkeet, joiden todennäköisyys on pieni ja informaatioarvo suuri, toimivat varoituksina. Siten taustamelutaso, melutapahtumien määrä ja melu-altistuksen taso tulee toisistaan riippumatta ottaa huomioon arvioitaessa ympäristömelun vaikutuksia ihmiseen.

Ympäristömelututkimukset ovat tavallisesti käsitelleet erillisten melulähteiden, kuten lento-, tie- ja raideliikenneteen häiritsevyyttä. Viime vuosina eri melulähteiden tutkimustuloksia on pyritty vertailemaan keskenään. Monet tiedot viittaavat siihen, että lentomelu on häiritsevämpää kuin tieliikennemelu, joka vuorostaan on häiritsevämpää kuin raideliikennemelu. Näiden erojen syitä ei kuitenkaan tunneta. Osalla väestöstä voi olla suurempi riski melun haittoihin. Lapset, joiden kielen kehitys on kesken, sokeat ja ehkä myös sikiöt ovat esimerkkejä tällaisista ryhmistä. Riskiryhmistä ei ole tarkkaa tietoa. Siksi tulee huomata, että tämän raportin suositusarvot perustuvat valtaväestössä tehtyihin tutkimuksiin, eivätkä ne ota kuin osittain huomioon mahdollisesti muita haavoittuvampia ryhmiä.

Suositusarvot esitetään eri vaikutuksien ja ympäristöjen mukaan ryhmitettynä. Suositusarvot on kussakin ympäristössä ja tilanteessa asetettu ottaen huomioon tunnistetut terveysvaikutukset ja ne perustuvat alhaisimpiin melutasoihin, jotka vaikuttavat terveyteen (kriittinen terveysvaikutus). Tyypillisesti suositusarvot, esimerkiksi puheen ymmärrettävyydelle sisätiloissa, vastaavat alhaisinta vaikutustasoa valikoitumattomassa väestössä. Sitä vastoin suositusarvot melun häiritsevyydelle on asetettu 50 tai 55 dBA:n tasolle, joiden (arvojen) alapuolella valtaosa aikuisväestöstä ei päiväsaikaan koe melua vastaavasti erittäin tai melko häiritseväksi.

Tässä yhteydessä esitetään vain suositusarvoja, jotka pääasiallisesti perustuvat meluallistuksiin, joilla terveysvaikutukset alkavat. Suositusarvot olisi mieluummin ollut hyvä asettaa annos-vastesuhteiden perusteella. Annos-vastesuhteet helpottaisivat normien asettamista äänenpainetasoille (meluimmissionormit), mutta samalla ne olisivat merkinä siitä, että melunormit on asetettu korkeammiksi kuin WHO:n suositusarvot. Koska tieteellisiä tutkimuksia on rajoitetusti, ei tällaisia annos-vastesuhteita voida määrittää. Parhaiten tutkittu annos-vastesuhde on melun ( $L_{dn}$ ) ja häiritsevyyden välillä.

## 2 Eri vaikutukset

### 2.1 Viestinnän häiriintyminen

Melu on omiaan häiritsemään kuulonvaraista viestintää, jossa puheella on erittäin keskeinen sija. On kuitenkin hyvin tärkeää pystyä kuulemaan myös hälytys- ja merkkiääniä, kuten ovikellon, puhelimen, herätyskellon ja palohälyttimen ääni, samoin kuin työhön kuuluvia ääniä ja merkkiääniä. Melun vaikutuksista puheen erottamiseen saadut hyvin monet koetulokset koskevat sanatasoa (sekä lauseita). Puheen erotuskyvyn vaikeutuminen alkaa jo ennen 50 dB:n äänenpainetasoa mitattuna 500, 1000 ja 2000 Hz:n oktaavikaistoilla keskusteluetäisyyden ylittäessä muutaman metrin. Melutason ja puheen erotuskyvyn kesken vallitsee laskennallisesti ja kokeellisesti saatu suhde, jonka mukaan 1 m keskusteluetäisyydellä:

- 100 %:n erotuskyky voidaan saavuttaa käytetäessä tavallista keskusteluvoimakkuutta, jos taustamelun taso on noin 35 dBA ja erotuskyky on vielä tyydyttävä, jos melutaso on 45 dBA.
- Hieman voimakkaampi puhe kuullaan melutason ollessa vielä 65 dBA.

Puheen häirinnän kannalta suurin osa väestöstä kuuluu herkkiin ryhmiin. Herkimät ryhmät muodostavat ikääntyneet ja huonokuuloiset. Vähäinenkin kuulonalentuma suurilla taajuuksilla vaikeuttaa puheen erottamista hälyssä. Jo 40-vuotiaiden on 20–30-vuotiaisiin verrattuna hankalaa erottaa hälyssä vaikeasisältöistä puhetta, jonka kielellinen redundanssi on vähäistä. On myös osoitettu, että lapsilla, joiden kielellinen kehitys on kesken, puheen erottaminen hälyssä ja kaikuisissa olosuhteissa on huonompaa kuin nuorilla aikuisilla.

Ulkona puheviestinnän kannalta pätee kohtuullisilla etäisyyksillä se, että äänitaso laskee 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Sisätiloissa tämä pätee vain noin 2 m etäisyyteen asti. Huoneen kaikuisuus vaikuttaa puheviestintään. Jälkikaiunta-ajan ollessa yli 1 s puheen erotuskyky on huonompi kuin pienemmällä jälkikaiunta-ajoilla. Pitempi jälkikaiunta-aika yhdistettynä taustameluun huonontaa puheen erottamista ja vaikeuttaa puheviestintää vielä enemmän.

Tilanteissa, joissa puheen erottaminen on tärkeää, esimerkiksi luokka- ja kokoushuoneissa, puheen erottamisen kannalta häiriöetäisyyden tulee

aina ylittää 0 dB. Puheviestinnän ollessa vaikeaselkoista (koulut, vieraan kielen kuuntelu, puhelinkeskustelu) häiriöetäisyyden tulee olla ainakin 15 dB. Kun puheen äänitaso on 50 dBA (vastaa sekä miehillä että naisilla tavallista keskusteluvoimakkuutta 1 m etäisyydellä), taustamelutaso ei saisi ylittää 35 dBA. Tämän takia esimerkiksi luokahuoneissa tulee pyrkiä mahdollisimman alhaiseen taustamelutasoon. Kuulijoiden ollessa huonokuuloisia, esimerkiksi vanhainkodeissa, alhainen taustamelutaso on erityisen toivottavaa. Alle 1 s jälkikaiunta-aika on hyvälle puheen ymmärrettävyydelle välttämätön pienissä huoneissa. Herkillä väestöryhmillä jälkikaiunta-ajan tulee jopa hiljaisessa ympäristössä olla alle 0,6 s, jotta puhe on riittävän ymmärrettävää.

### 2.2 Melun aiheuttama kuulovaurio

Kansainvälinen standardi (ISO 1999) sisältää menetelmän erityyppisen työpaikkamelun (jatkuva, jaksottainen, impulssi) aiheuttaman kuulovaurion laskemiseksi. Melukuulovauriot eivät kuitenkaan rajoitu yksinomaan työtilanteisiin. Voimakkaita melutasoja voi esiintyä myös ulkoilmakonserteissa, diskoissa, moottoriurheilussa ja ampumaradoilla sekä asunnoissa kaiuttimista tai muista vapaa-ajan toiminnoista. Myös muut lähteet ovat tärkeitä, kuten korvalappustereot sekä lelujen ja iltotulitteiden impulssimelu. Tutkimukset viittaavat vahvasti siihen, että työpaikkamelulle kehitettyä laskentamallia (kansainvälinen standardi, ISO 1999), pitäisi käyttää myös ympäristö- ja vapaa-ajanmelun kohdalla. Tämä tarkoittaa, että pitkäaikainen altistuminen alle 70 dBA keskiäänitasolle (LAeq, 24h) ei aiheuta kuulovauriota. Koska niissä tutkimuksissa, joihin nämä johtopäätökset perustuvat, on rajoituksia, niin seuraavat seikat on kuitenkin otettava huomioon:

- Eläinkokeet viittaavat siihen, että lapset voivat olla aikuisia herkempiä kuulovauriolle.
- Lyhytaikaiset hyvin voimakkaat äänenpainetasot voivat mekaanisesti vaurioittaa korvaa. Työpaikoilla äänenpaineen hetkelliselle huippuarvolle on asetettu raja-arvo 140 dBA. Tämän raja-arvon oletetaan sopivan aikuisille ympäristö- ja vapaa-ajanmelu-altistuksessa. Ottaen huomioon sen, miten lapset leikkivät meluisilla leluilla, äänenpaineen hetkellinen huippuarvo ei kuitenkaan saisi (lapsilla) heillä koskaan ylittää 120 dBA:n tasoa.

- c. Tilapäistä kuulokynnyksen muutosta koskevat tutkimukset viittaavat lisääntyneeseen kuulovaurion riskiin, kun ampumameluallistutus LAeq, 24 h on yli 80 dB.
- d. Melukuulovaurion riski kasvaa, kun meluallistus yhdistyy tärinään tai kuuloa vaurioittaviin lääkkeisiin tai kemikaaleihin. Tällöin pitkäaikainen altistuminen LAeq, 24 h 70 dB keskiäänitasolla voi johtaa lieviin kuulovaurioihin.
- e. On epävarmaa, voidaanko ISO 1999 standardia soveltaa tilanteissa, joissa ympäristöäänillä on lyhyt nousuaika. Esimerkiksi sotilaskoneiden matalalentoalueilla (lentokorkeus 75–300 m) 110–130 dB LAmx arvoja saavutetaan muutamassa sekunnissa siitä, kun ääni alkaa kuulua.

Tiivistettynä voidaan todeta, että tietoa puuttuu väestötason annos-vasteesta. Rajoitetun tutkimustiedon (koskien teini-ikäisiä, nuoria aikuisia ja naisia) perusteella ja olettaen, että altistus aika vastaa äänienergiaa, kuulovaurion riski on olematon, jos elinaikainen altistuminen on LAeq, 24 h 70 dB:n tasolla. Kuulovaurion välttämiseksi impulssimelualtistuksessa äänenpaineen hetkellinen huippuarvo ei aikuisilla koskaan saisi ylittää 140 dBpeak ja lapsilla 120 dB.

### 2.3 Unen häiriintyminen

Jatkuvan ja katkeilevan melun aiheuttamat unihäiriöt on osoitettu elektrofysiologisin ja käyttäytymistä havainnoivin menetelmin. Mitä voimakkaampaa melu on, sitä häiritsevempi on sen vaikutus uneen. Mitattavissa olevat vaikutukset alkavat noin 30 dBA:n keskiäänitasolla. Fysiologisia univaikutuksia ovat muutokset unen rakenteessa, erityisesti vilkeunen (REM-unen) osuuden vähenemisessä. Subjektiiivisiä vaikutuksia, kuten nukahtamisvaikeuksia ja heikentyneeksi koettua unen laatua, ja haitallisia jälkivaikutuksia, kuten päänsärkyä ja väsyneisyyttä, on myös havaittu. Herkkiin ryhmiin kuuluvat pääasiassa ikääntyneet, vuorotyöläiset ja fyysisesti tai psyykkisesti sairaat.

Jatkuvan melun keskiäänitason ei tulisi ylittää 30 dBA sisätiloissa, jos halutaan välttää haitallisia vaikutuksia uneen. Jos suuri osa melusta on pienitaajuisia, suositellaan vielä matalampia ohjearvoja, koska jopa heikko pienitaajuinen melu, esimerkiksi tuuletusjärjestelmästä, voi häiritä lepoa ja unta.

Melun haitat riippuvat osittain melulähteen luonteesta, mikä tulisi ottaa huomioon. Vastasyntyneet keskoskaapeissa muodostavat melun aiheuttamien unihäiriöiden ja muiden terveysvaikutusten suhteen erityisryhmän.

Jos melu ei ole jatkuvaa, enimmäistaso tai ääni-altistustaso (SEL) korreloi parhaiten unihäiriöihin. Yksittäisten 45 dBA:n tai vielä heikompien meluallistusten on todettu vaikuttavan uneen. Tämän vuoksi on tärkeää rajoittaa yli 45 dBA:n melutapahtumia. Suositusarvojen tulisi perustua 30 dB LAeq, 24 h ja 45 dB LAmx yhdistämiseen. Herkkien yksilöiden suojelemiseksi vieläkin matalammat ohjearvot ovat paikallaan, kun taustamelun tasot ovat matalat. Vaihtelevassa melussa unen häiriintyminen lisääntyy enimmäistason noustessa. Vaikka keskiäänitaso olisi kohtalaisen matala, pienikin määrä melutapahtumia, joilla on korkea enimmäistaso, häiritsee unta. Siksi ympäristömelua koskevat ohjeet, joilla voidaan välttää unen häiriintymistä, tulisi ilmaista keskiäänitasona samoin kuin enimmäistasoina tai ääni-altistustasoina (SEL) ja melutapahtumien määränä. Toimenpiteiden, jotka vähentävät häiriötä alkuyöstä, uskotaan olevan tehokkaimpia nukahtamisen kannalta.

### 2.4 Kardiovaskulaariset ja psykofysiologiset vaikutukset

Epidemiologiset tutkimukset osoittavat, että pitkäaikainen 65–70 dB LAeq, 24h tasoinen lento- ja tieliikennemelualtistus on heikosti yhteydessä sydän- ja verisuonivaikutuksiin. Meluallistuksen yhteys iskeemiseen sydäntautiin ja verenpaine-tautiin on jonkin verran voimakkaampi. Tämänkaltaiset vain vähän kohonneet riskit ovat kuitenkin tärkeitä, koska niin monet ihmiset ovat altistuneet tai tulevat altistumaan tällaisille melutasoille. Tutkimustulokset muista mahdollisista vaikutuksista, kuten vaikutukset stressihormonien tasoihin ja veren magnesiumipitoisuuteen tai muutoksiin immuunijärjestelmässä tai ruoansulatuselimistössä, ovat liian epä johdonmukaisia johtopäätösten tekoon. Tarvitaan lisätutkimuksia, jotta voitaisiin määrittellä pitkäaikaiset melun aiheuttamat kardiovaskulaariset ja psykofysiologiset riskit. Ristiriitaisista tuloksista johtuen mitään suositusarvoja ei voida antaa.

## 2.5 Vaikutukset mielenterveyteen

Melun mielenterveysvaikutukset tunnetaan puutteellisesti, joten mitään suositusarvoja ei voida antaa. Meluisilla alueilla rauhoittavien lääkkeiden ja unilääkkeiden käyttö on kuitenkin yleisempää, psykiatrisia oireita esiintyy enemmän ja niiden takia hakeudutaan enemmän hoitoon. Tämä viittaa vahvasti siihen, että ympäristömelu vaikuttaa haitallisesti mielenterveyteen.

## 2.6 Vaikutus suoriutumiseen

Melun vaikutuksia suoritustehtäviin on ensisijaisesti tutkittu laboratoriossa ja jossain määrin työtilanteissa. Ympäristömelun vaikutuksesta tuottavuuteen on tuskin yhtään yksityiskohtaista tutkimusta. On selvää, että jos suoritustehtävään kuuluu äänimerkkien havaitsemista, melu voi peittää ja häiritä niitä ja vaikuttaa näin suorituskyykyyn. Odottamaton tapahtuma, kuten tuntemattoman melun alkaminen, voi häiritä keskittymistä ja sen kautta monenlaisia suoritustehtäviä. Voimakas impulssimelu, esimerkiksi yliaänipamaus, voi aikaansaada säpsähdyksireaktion, minkä tyyppisissä reaktioissa habituaatio tapahtuu hitaasti.

Tehtävät, jotka edellyttävät hyvää muistia, tarkkaa keskittymistä moniin eri tekijöihin ja vaativia analyttisiä ratkaisuja, ovat herkkiä häiriintymään melun johdosta ja suorituskyyky sen takia huononee. Jotkut onnettomuudet saattavat myös olla seurausta melun aiheuttamasta suorituskyydyn häiriintymisestä. Paitsi suoria vaikutuksia suoriutumiseen, melulla on selviä jälkivaikutuksia kognitiivisiin suorituksiin kuten oikolukuun ja ongelmallisten ratkaisujen suorittamiseen. Motoriset tai yksitoikkoiset suoritustehtävät eivät aina häiriinny melusta.

Jatkuva lentomeluultistus varhaislapsuudessa näyttää haittaavan lukemaan oppimista. Tutkimustulokset osoittavat haitan olevan sitä vaikeamman, mitä pitempiaikainen meluultistus on. Tutkimusten perusteella ei kuitenkaan ole saatavissa riittävän seikkaperäistä tietoa erityisille suositusarvoille. On kuitenkin selvää, ettei päiväkotien ja koulujen tulisi sijaita lähellä huomattavia melulähteitä, kuten moottoriteitä, lentokenttiä ja teollisuuslaitoksia.

## 2.7 Häiritsevyys

Melun häiritsevyys riippuu monista sen fysikaalisista ominaisuuksista, kuten voimakkuudesta ja taajuusjakautumasta, sekä näiden ajallisista vaihteluista. Häiritsevyyteen vaikuttavat myös monet melusta riippumattomat sosiaaliset, psykologiset ja taloudelliset seikat, ja eri henkilöt reagoivat samaan meluun hyvin eri tavoin. Erityyppisten liikennemelujen (lento-, tie- ja raideliikenne) annosvastesuhteet osoittavat selvästi, että samalla LAeq, 24h tasolla erilaiset melulähteet voivat aiheuttaa erilaisia häiritsevyysvasteita ja että samanlainen melu, kuten lentomelu asuinalueilla, voi aiheuttaa erilaisia häiritsevyysvasteita eri maissa.

Häiritsevyyteen vaikuttavat monet tekijät, kuten keskiäänitaso, melutapahtuman enimmäisäänitaso, tapahtumien määrä ja vuorokaudenaika. Menetelmiä näiden tekijöiden yhdistämiseksi on tutkittu hyvin laajasti. Tutkimustulokset eivät ole ristiriidassa yksinkertaisen fysiikkaan perustuvan ekvivalenttienergiateorian kanssa, jota keskiäänitaso, LAeq, kuvaa.

Ympäristömelun häiritsevyys vaihtelee melua aiheuttavan toiminnan, esimerkiksi keskustelu ja radion kuuntelu tai TV:n katselu, mukaan. Päivällä hyvin harvat ihmiset kokevat melun erittäin häiritseväksi, jos keskiäänitaso on alle 55 dBA tai kokevat melun melko häiritseväksi jos keskiäänitaso on alle 50 dBA. Illalla ja yöllä melutason tulee olla 5-10 dB alhaisempi kuin päivällä. Melu, jossa on pienitaajuisia ääniä, vaatii jopa vielä alhaisempia arvoja. Kun kyseessä on katkonainen melu, on tärkeää ottaa melutapahtumien enimmäistaso ja lukumäärä huomioon. Suositusarvoissa ja melun torjunnassa tulisi ottaa huomioon myös toiminta ulkona asuinalueilla.

## 2.8 Vaikutukset sosiaaliseen käyttäytymiseen

Ympäristömelun vaikutuksia voidaan arvioida sen mukaan, miten ne häiritsevät eri toimintoja. Monien melulajien kohdalla tärkein näyttää olevan häiriö levon, virkistäytymisen ja TV:n katselun aikana. Tutkimukset osoittavat, että melulla on muitakin vaikutuksia sosiaaliseen käyttäytymiseen. Yli 80

dBAn melu vähentää auttamishalukkuutta ja voimakas melu lisää aggressiivisuuteen taipuvaisten henkilöiden aggressiivista käyttäytymistä. On oltu huolestuneita siitä, että altistuminen voimakkaalle, jatkuvalla melulla voisi lisätä koululaisten taipumusta aloitekyvyttömyyteen. Näihin kysymyksiin liittyvien suositusarvojen antaminen jää odottamaan lisätutkimuksia.

### 3 Eri ympäristöt

Keskiäänitasot eivät yksistään riitä kuvaamaan useimpia meluympäristöjä, eivätkä ota riittävästi huomioon melun vaikutuksia ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. Suositusarvojen laatimiseksi on myös mitattava melun enimmäisarvoja ja melutapahtumien lukumääriä. Jos meluun liittyy huomattavassa määrin pienitaajuista ääntä, tulisi soveltaa vielä pienempiä suositusarvoja, koska pienitaajuinen melu voi oleellisesti lisätä haittoja. Kun mukana on merkitsevästi pienitaajuista melua, niin A-painotetut mittaukset ovat epäasianmukaisia. Summittaisen kuvan pienitaajuisten melun osuudesta saa vertaamalla dBC (dBlin) ja dBA tasoja keskenään. Jos niiden ero on yli 10 dB, tulisi lisäksi tehdä melun taajuusanalyysi.

#### 3.1 Asunnot

Asunnoissa kriittiset vaikutukset kohdistuvat uneen, häiritsevyyteen ja puheen erottamisen vaikeuksiin. Suositusarvo makuuhuoneissa tasaiselle melulle on 30 dBAn keskiäänitaso ja yksittäisten melutapahtumien enimmäistasolle 45 dBA, jotta melun unta häiritsevä vaikutus vältetään. Matalammatkin melutasot saattavat häiritä unta riippuen melulähteen luonteesta. Melun enimmäistason mittausta tulisi tehdä mittarin asennolla "fast".

Jotta valtaosa väestöstä ei koe jatkuvaa, tasaista melua erittäin häiritseväksi päiväsaikaan, keskiäänitaso ei parvekkeilla, terasseilla ja asuinalueiden ulkotiloissa saa ylittää 55 dBA. Jotta vältetään kohtuulliseltakin häiritsevyydeltä, keskiäänitaso ei saa ylittää 50 dBA. Nämä arvot perustuvat häiritsevyytutkimuksiin, mutta useimmat Euroopan maat ovat ottaneet käyttöön 40 dB keskiäänitason

suurimpana sallittuna tasona uusilla asuinalueilla. Mikäli mahdollista, alemmaa arvoa tuleekin pitää suurimpana sallittuna äänenpainetasona kaikkea uudisrakentamista koskevassa päätöksenteossa.

Keskiäänitaso ulkona ei saa asuinalueilla yöaikaan ylittää 45 dBA eikä enimmäistaso 60 dB, jotta ihmiset voivat nukkua makuuhuoneen ikkunat auki. Perusteena tälle arvolle on, että äänen vaimentuminen sisätiloihin on 15 dB, kun ikkuna on osittain auki.

#### 3.2 Koulut ja päiväkodit

Kriittiset vaikutukset kouluissa ovat puheen erottaminen, opetuksen seuraaminen kuten uuden asian oppiminen ja lukemaan oppiminen, tiedon siirto ja häiritsevyyttä. Luokkahuoneen keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dBA, jotta opetusta voi seurata oppituntien aikana. Kuulovammaisten lasten kannalta vieläkin alhaisempi taso saattaa olla tarpeen. Luokkahuoneen jälkikäiunta-ajan tulee olla noin 0,6 s. Kuulovammaisia lapsia ajatellen vieläkin pienempi arvo on suositeltava. Koulujen juhla- ja ruokasaleissa jälkikäiunta-ajan tulee olla alle 1 s. Koulun pihalla muiden lähteiden aiheuttama keskiäänitaso ei saa ylittää 55 dBA, mikä on sama arvo kuin päiväsaikaan ulkona asuinalueilla.

Päiväkoteihin pätevät samat vaatimukset kuin kouluihin. Huoneissa, joissa lapset nukkuvat, pätevät asuntojen makuuhuoneiden vaatimukset.

#### 3.3 Sairaalat

Sairaaloitten useimmissa tiloissa kriittiset vaikutukset ovat unihäiriö, melun häiritsevyyttä sekä puheviestinnän ja merkkiäänien kuulemisen häirintä. Yöaikaisten melutapahtumien enimmäistaso ei sisätiloissa saa ylittää 40 dB. Potilashuoneiden yöaikaisen keskiäänitason suositusarvo on 30 dBA ja enimmäistason vastaavasti 40 dBA. Päivällä ja illalla sisätilojen keskiäänitason suositusarvo on 30 dB. Enimmäistaso mitataan mittauslaitteen asennolla "fast".

Koska sairaalat eivät siedä stressiä samassa määrin kuin terveet, keskiäänitason ei tule ylittää 35 dBA potilas-, tutkimus- ja toimenpidehuoneissa. Teho- ja leikkausosastojen melutasoon tulee kiinn

nittää huomiota. Äänet keskoskaappien sisällä voivat aiheuttaa terveysvaikutuksia, kuten unihäiriöitä ja voivat johtaa kuulovaurioon vastasyntyneillä. Ohjearvojen antaminen keskoskaappien äänenpainetasoille on jätettävä lisätutkimusten varaan.

### 3.4 Erilaiset tilaisuudet, juhlat ja huvitapahtumat

Monissa maissa on säännöllisesti erilaisia juhla- ja huvitilaisuuksia. Tällaisissa tapahtumissa on tyypillisesti voimakaita ääniä, kuten musiikkia ja impulssiääniä. Huoli voimakkaan musiikin ja impulssiäänien vaikutuksesta nuoriin, jotka käyvät usein esimerkiksi konserteissa, diskoissa, elokuvissa ja huvipuistoissa, on laajaa. Keskiäänitaso ylittää niissä tyypillisesti 100 dBA:n, joka usein toistuvana voi johtaa merkittävään kuulovaurioon.

Näissä paikoissa työskentelevien henkilöiden osalta tulee soveltaa työterveyshuollon vaatimuksia. Minimivaatimus on, että samoja normeja sovelletaan asiakkaisiin. Asiakkaat saavat altistua korkeintaan neljä kertaa vuodessa korkeintaan 100 dBA:n keskiäänitasolle neljän tunnin aikana. Äkillisen kuulovaurion välttämiseksi melun enimmäistason on aina oltava alle 110 dB.

### 3.5 Kuulokkeet ja korvalappustereot

Kuulovaurion välttämiseksi sekä aikuisilla että lapsilla musiikin ja muiden äänien, joita kuunnellaan kuulokkeista, LAeq, 24h ei saa ylittää 70 dB tasoa. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden tunnin keskiäänitaso ei saa ylittää 85 dB. Altistus ilmaistaan vastaavana vapaakenttä-äänepainetasona. Äkillisen kuulovaurion välttämiseksi melun enimmäistason on aina oltava alle 110 dB.

### 3.6 Lelujen, ilotulitusvälineiden ja ampuma-aseiden impulssimelu

Äkillisten kuulovaurioiden välttämiseksi aikuiset eivät saa koskaan altistua äänenpaineen hetkelliselle huippuarvolle, joka ylittää 140 dB. Koska lapset ovat vaurioherkkiä, lelujen tuottama, 100 mm päässä korvista mitattu, äänenpaineen hetkellinen huippuarvo ei saa ylittää 120 dB. Äkillisen kuulovaurion välttämiseksi melun enimmäistason on aina oltava alle 110 dB.

### 3.7 Puistot ja luonnonsuojelualueet

Hiljaiset ulkoilma-alueet tulee suojata melulta ja häiriötäisyyden olla alhainen.

## 4 WHO:n suositukset

WHO:n suositukset on taulukossa 4.1 ryhmitetty eri ympäristöjen mukaan. Kun useita haitallisia terveysvaikutuksia on tunnistettu tietystä ympäristöstä, suositukset on asetettu alhaisimmalle tasolle, missä jokin näistä haitallisista terveysvaikutuksista ilmenee (kriittinen terveysvaikutus). Melun aiheuttamalla haitallisella terveysvaikutuksella tarkoitetaan mitä tahansa meluallistukseen yhdistyvää tilapäistä tai pitkäaikaista fyysisen, psyykkisen tai sosiaalisen toiminnan huononemista. Suositukset viittaavat äänenpainetasoihin, jotka kohdistuvat eniten altistuneeseen henkilöön kussakin luettelon ympäristössä.

Keskiäänitason aikaikkuna päiväaikaiselle melulle on 16 tuntia ja yöaikaiselle 8 tuntia. Illalle ei ole annettu erillistä aikaikkunaa, mutta tyypillisesti suositusarvon on oltava 5–10 dB alhaisempi kuin 12 tunnin päiväajaksolle. Toiminnasta riippuen muita aikaikkunoita suositellaan kouluille, päiväkodeille ja leikkikentille.

Käytettävissä oleva tietopohja on riittävä suositusarvojen ehdottamiseksi seuraaville ympäristömelun aiheuttamille haitallisille terveysvaikutuksille:

- häiritsevyys,
- puheen erotuskyvyn ja viestinnän häiriöt,
- ymmärtämisvaikeudet,
- unen häiriöt,
- kuulovaurio.

Kriittiset terveysvaikutukset vaihtelevat ympäristöstä riippuen ja suositukset ympäristömelulle esitetään seuraaville ympäristöille:

- asuinrakennuksille, mukaan lukien makuuhuoneet ja ulkotilat,
- kouluille ja päiväkodeille, mukaan lukien lepo- ja ulkoleikkilat,
- sairaaloille, mukaan lukien potilas- ja toimenpidehuoneet,
- teollisuus-, kauppa- ja liikennealueiden sisä- ja ulkotiloille, mukaan lukien julkiset tilat,



- e. sisä- ja ulkotiloille erilaisissa juhla- ja huvitilaisuuksissa,  
 f. kuulokkeiden kautta kuunneltavalle musiikille ja muille äänille,  
 g. lelujen, ilotulitteiden ja ampuma-aseiden impulssimelulle ja  
 h. puistojen ja luonnonsuojelualueiden melulle.

Energian yhteenlaskuun perustuvat yksiköt tai indeksit (esimerkiksi keskiäänitaso) eivät riitä kuvaamaan ääniympäristöä, koska erilaiset kriittiset terveysvaikutukset edellyttävät erilaisia kuvauksia. Tämän vuoksi on tärkeää esittää vaihtelevan

melun enimmäisarvot, mielellään yhdistettynä melutapahtumien määrään. Erillinen yöaikaisten melutapahtumien kuvaus saattaa olla tarpeen. Jälkikäiunta-aika on tärkeä tekijä sisätiloissa. Jos melu sisältää merkittävän osuuden pienitaajuisia ääniä, on syytä soveltaa vielä matalampia suositusarvoja.

Taulukossa 4.1 annettujen suositusarvojen lisäksi on syytä herkkien ryhmien ja tiettyjen melutyypin (esimerkiksi pienitaajuiset äänet, matala taustamelu) osalta noudattaa edellä osissa 2 ja 3 mainittuja varovaisuussuosituksia.

Taulukko 4.1.  
Suositusarvot eri ympäristöissä.

Ympäristö	Kriittinen terveysvaikutus	Keskiäänitaso, dB	Aikaikkuna, tunteina	Enimmäistaso, fast, dB
Asuinalue, ulkona	Häiritsevyys, melu erittäin häiritsevä päivällä ja illalla	55	16	–
	Häiritsevyys, melu melko häiritsevä päivällä ja illalla	50	16	–
Asunto, sisällä	Puheen erotuskyky ja häiritsevyys, melu melko häiritsevä päivällä ja illalla	35	16	–
Makuuhuoneessa	Unihäiriö, yöllä	30	8	45
Makuuhuoneen ulkopuolella	Unihäiriö, ikkuna auki (ulkotilan arvoja)	45	8	60
Koulu (luokkahuone) ja päiväkotit, sisällä	Puheen erotuskyky, oppimisen vaikeutuminen, viestintä	35	opetustunti	–
Päiväkotit, lepoalueet, sisällä	Unihäiriö	30	päiväuniaika	45
Koulu, leikkikenttä, ulkona	Häiritsevyys (ulkoinen lähde)	55	ulkoilu-aika	–
Sairaala, potilashuone, sisällä	Unihäiriö, yöllä	30	8	40
	Unihäiriö, päivällä ja illalla	30	16	–
Sairaala, toimenpidehuone, sisällä	Levon ja toipumisen häiriöt	Mahdollisimman alhainen	–	–
Teollisuus-, liike-, kauppa- ja liikennealueet, sisällä ja ulkona	Kuulovaurio	70	24	110
Juhla- ja huvitapahtumat	Kuulovaurio (asiakkaat alle viisi kertaa vuodessa)	100	4	110
Julkiset tilat, sisällä ja ulkona	Kuulovaurio	85	1	110
Kuulokkeet	Kuulovaurio (vapaakenttäarvo)	85 <sup>1</sup>	1	110
Lelujen, ilotulitteiden ja ampuma-aseiden impulssiäänet	Kuulovaurio (aikuiset)	–	–	140 <sup>2</sup>
	Kuulovaurio (lapset)	–	–	120 <sup>2</sup>
Puisto ja luonnonsuojelualue, ulkona	Luonnonrauhan häiriintyminen	Olemassa olevat hiljaiset alueet tulee säilyttää ja melun ja luonnon taustaaänen suhde pitää mahdollisimman alhaisena		

<sup>1</sup> Mitattuna kuulokkeiden alta, muunnettuna vapaakenttäarvoiksi

<sup>2</sup> Äänenpaineen hetkellinen huippuarvo (ei L<sub>Amax</sub>, fast) mitattuna 100 mm päässä korvasta

## Liite 2

## Käsitteet ja määritelmät

Käsitteistä on mainittu myös vastaava ruotsinkielinen (r) ja englanninkielinen (e) muoto.

adaptaatio	vasteen heikkeneminen jatkuvan ärsytyksen kuluessa
aikapainotus r tidsvägning e time weighting	periaate, jonka mukaan huomioidaan mittauslaitteiston viive nopeita äänenpainemuutoksia mitattaessa
amplitudi	värähdyslaajuus, värähdysliikkeessä poikkeaman laajuus
annos-vastesuhde r dos-respons-kurva e dose-response relationship	matemaattinen tai graafinen esitys, joka kuvaa vasteen voimakkuuden muutosta vaikuttavan tekijän voimakkuuden (annos) muuttuessa
audiogrammi	kuulokynnyskäyrä, kuulokynnyksen muutos eri taajuuksilla
audiologia	tiede, joka tutkii kuulemiseen liittyviä ilmiöitä, vastaava hoitavan lääketieteen erityisala
audiometri	kuulontutkimuslaite
A-äänitaso r A-vägd ljudnivå e A-weighted sound level	standardin mukaisella A-suotimella taajuuspainotettu äänenpainetaso, $L_{A}$ , yksikkö desibeli
deprivaatio	ärsykkeiden tai virikkeiden puute
desibeli	suureen ja vertailusuureen suhteen kymmenlogaritminen arvo kymmenellä kerrottuna
emissio	päästö, melu-/äänilähteen akustinen säteily
endokrinologia	tiede, joka tutkii umpirauhasten toimintaan liittyviä ilmiöitä, vastaava hoitavan lääketieteen erityisala
enimmäistaso r maximal ljudnivå e maximum sound level	tarkasteluajana vallinnut suurin äänitaso, mitataan äänitasomittarin F-aikapainotuksella ja yleensä A-taajuuspainotettuna, $L_{AFmax}$ , yksikkö desibeli
epämiellyttävyyskynnys r obehagsnivå e loudness discomfort level, uncomfortable loudness level	taso, jolla ääni koetaan epämiellyttävän voimakkaana, yksikkö yleensä desibeli kuulokynnystasoa, ks. kuulokynnystaso
erotuskyky r diskriminationsförmåga e discrimination	kuulon erotuskyky, kyky erottaa kaksi tai useampia ääniä toisistaan, käytetään myös merkityksessä puheen erotuskyky, yksikkönä prosentti samalla tasolla esitettyjen ääniärsykkeiden määrästä
etiologia r etiologi e etiology	sairauden aiheuttaja, sairauden syy
fysiologinen	(normaaleihin, terveisiin) elintoimintoihin liittyvä
habituaatio	vasteen heikkeneminen toistuviin ärsytyksiin
haitta r handikapp e handicap	sairauden tai vaurion aiheuttama seuraamus esimerkiksi koulutuksessa, ammatillisen ja sosiaalisen toimintakyvyn alueilla
haitta-aste r handikapps grad e degree of handicap	sairauden tai vaurion aiheuttaman haitan vaikeusaste, joka ilmoitetaan prosentteina, vertaa haitta-luokka

haittaluokka r handikapp klass e degree of handicap	sairauden tai vaurion aiheuttaman haitan vaikeusaste, joka ilmoitetaan vaikeusasteryhmittelyinä (0...20), vertaa haitta-aste
heijaste r reflex e reflex	elimistön reaktio, yleensä tahdosta riippumaton liike, joka esiintyy vasteena ärsykkeelle, esimerkiksi äänelle, refleksi
hiljaisuus r tystnad e silence	koettu havaintotila, jossa huomio ei kiinnity ympäristön ääniin
huipputaso r toppnivå e peak level	määritetylle ajalle sattuva suurin hetkellinen (äänenpainetason) arvo, $L_{peak}$ yksikkö desibeli
häiriöetäisyys r störavstånd e signal-to-noise ratio	signaalin ja häiriöiden tasojen erotus, vertaa kohinaetäisyys, dynaaminen alue, signaali-kohinasuhde, yksikkönä desibeli
häiritsevyys r störning e annoyance	ärsykkeen (melun) aiheuttama kielteisenä koettu elämyspiirre
ikähuonokuuloisuus r åldersnedsättning e presbycusis	ikäntymiseen liittyvä kuulokyvyn heikkeneminen, yleensä kuulokynnyksen muutos
immissio	meluimmissio, tarkasteltavan paikan melutaso
immunologia	tiede, joka tutkii elimistön vastustuskykyyn kuuluvia ilmiöitä, vastaava hoitavan lääketieteen erityisala
impulssimelu r impulsbullen e impulse noise	melu, joka sisältää hetkellisiä, enintään 1 s kestoisia meluhuippuja
infraääni r infraljud e infrasound	ääni, jonka taajuus on ihmisen kuuloalueen alarajataajuutta (16–20 Hz) pienempi
intensiteettitaso r intensitetsnivå e intensity level	äänen intensiteetin ja standardoidun vertailuintensiteetin suhteen kymmenlogaritmi kerrottuna kymmenellä, yksikkönä desibeli
jäkikaiunta-aika r efterklangstid e reverberation time	suljetussa tilassa tietyn taajuiselle äänelle se aika, jonka kuluessa äänenpainetaso äänilähteen vaiettua on alentunut 60 dB, yksikkö sekunti
kaistanleveys r bandbredd e bandwidth	järjestelmän, esimerkiksi suodattimen rajataajuuksien erotus, $\Delta f$ , yksikkö hertsi
kapeakaistainen r smalbands e narrow band	seosääni, jonka taajuuskomponentit ovat lähellä toisiaan, kapealla taajuuskaistalla
kardiovaskulaarinen	sydämeen ja verisuoniin liittyvä
keskiäänitaso r ekvivalentnivå e equivalent continuous sound level	vakioäänitaso, jonka akustinen energia tarkasteluajana on sama kuin tänä aikana esiintyneen vaihtelevan äänen/melun energia, yleensä mitataan A-painotettuna keskiäänitasona, $L_{Aeq}$ vertaa samanarvoinen jatkuva äänitaso, ekvivalenttitaso, yksikkö desibeli
kohina r brus e noise	amplitudiltaan ja vaiheeltaan satunnainen värähtely
kohinaetäisyys	katso häiriöetäisyys
konduktiivinen kuulovaurio	ulko- ja välikorvaperäinen kuulovaurio, johtovika

kuuloalue r hörområde e auditory area	kuulo- ja epämielilyttävyy- (tai kipu-)kynnysten rajaama kuultavien taajuuksien alue
kuulohavainto r ljudförnimmelse e auditory perception	kuuloaistin äänielämys, kuuloaistimus
kuuloherkkyys r hörselsensitivitet e auditory sensitivity	kuulon kyky vastaanottaa heikkoja ääniä, mitataan kuulokynnyksenä
kuulokynnys r hörtröskel e threshold of hearing	jatkuvan äänen pienin äänenpaineen tehollisarvo, joka saa aikaan kuulohavainnon
kuulokynnyskäyrä r hörtröskelkurva, audiogram e threshold curve of hearing, audiogram	katso audiogrammi
kuulokynnystaso r hörtröskelnivå e hearing threshold level, HTL hearing level, HL	äänenpainetaso, jonka vertailuarvona on standardoitu (ISO) normaali kuulokynnysarvo, joka on taajuudesta riippuvainen, yksikkö desibeli
kuulonalenema r hörselnedsättning e hearing loss	mitatun kuulokynnyksen ja standardoidun normaalikuulokynnyksen ero, yksikkö desibeli HL (ISO)
kuulosuojain r hörselskydd e hearing protector	korvakäytävään tai korvan päälle asetettava ääntä vaimentava suojain
kuulovamma r hörselskada e hearing handicap, hearing disability	huonontuneesta kuulokyvystä, yleensä kuulonalenemasta johtuvat suoriutumisvaikeudet, kuulon toiminnanvaja
kuulovammariski r hörselskaderisk e risk of hearing impairment	todennäköisyys, jolla henkilölle kehittyy kuulovamma/-vaurio, esimerkiksi melun aiheuttama kuulovamma
kuulovaurio r hörselskada e hearing impairment	huonontunut kuulokyky, yleensä kuulonalenema
kuuluvuus r hörstyrka e loudness	vertaa äänekkyyttä
laajakaistainen r bredbandig e broad band	seosääni, jonka taajuuskomponentit ovat etäällä toisistaan, laajalla taajuuskaistalla
lause-erotuskyky r taluppfattning (med meningar) e sentence discrimination	puheen erotuskyky mitattuna lauseilla, yksikkönä prosentti
melu r buller e noise	ääni, jonka ihminen kokee epämielilyttävänä tai häiritsevänä tai joka on muulla tavoin ihmisen terveydelle vahingollista tai hänen muulle hyvinvoinnilleen haitallista
melualltistustaso r bullerexponeringsnivå e noise exposure level	tarkasteltavalla aikana valinnut keskiäänitaso normalisoituna 8 tuntiin, $L_{Aeq}$ yksikkö desibeli, vertaa äänialtistustaso

meluannos r bullerdos e noise dose	meluallistuksen energiamäärää tarkasteltavalla aikavälillä kuvaava luku
meluherkkyys r bullerkänslighet e noise sensitivity	yksilöllinen ominaisuus, joka kuvaa henkilön tapaa kokea melu ja reagoida siihen ja joka ennakoii melun häiritsevyyttä
meluisuus r bullrighet e noisiness	havaittu äänen piirre, joka kasvaa äänekkyyden kaltaisesti, yksikkö noy
meluntorjunta r bullerbekämpning e noise abatement	toimenpiteet melun vähentämiseksi
melutaso r bullernivå e noise level	melun äänitaso, yleensä A-painotettu keskiäänitaso, vertaa keskiäänitaso, $L_{Aeq}$ yksikkö desibeli
meluvamma r bullerskada e noise induced hearing loss	melun aiheuttama kuulovamma, kuulovaurio
monotoninen	jatkuvasti samaan suuntaan muuttuva
neurovegetatiivinen	autonomiseen hermostoon liittyvä
ototoksinen	aine tai muu tekijä, joka voi vaurioittaa sisäkorvaa
paikantamisrefleksi r ljudlokaliseringsreflex e orientation reflex	reflektorinen reaktio (esimerkiksi pään kääntö) äänilähteen paikantamiseksi, suuntautumisrefleksi
peittoilmiö r maskering e masking	tarkasteltavan äänen kuulokynnyksen tai äänekkyyden muutos, joka aiheutuu muista yleensä samanhetkisistä äänistä
presbyacusi	katso ikähuonokuuloisuus
psykoakustinen	äänien elämyspiirteiden ja ääniärsyksen akustisten ominaisuuksien välinen suhde, subjektiivisiin, havaittuihin kuulon elämyspiirteisiin perustuva kuulontutkimus
psykofysiologinen	psykeen ja elimistön fysiologisten toimintojen vuorovaikutukseen liittyvä
psykofyysinen	aistinjärjestelmän havaintopiirteiden ja ärsyksen fysiologisten ominaisuuksien välinen suhde, käytetään joskus myös puhuttaessa psykologisten ja fysiologisten tapahtumien välisestä suhteesta
psykofyysinen suhde	havaitun elämysvoimakkuuden muutoksen suhde ärsyksen voimakkuuden muutokseen
psykometrinen suhde	väestövasteen muutos ärsyksen (melun) muuttujan suhteen
puheaudiometria r talaudiometri e speech audiometry	kuulonvaraisesti vastaanotetun puheen erotuskyvyn mittaus
puheen erotuskyky r taluppfattning e speech discrimination speech recognition	kuulonvarainen kyky erottaa ja tunnistaa ääniteitä, sanoja tai lauseita, vertaa sanaerotuskyky, lause-erotuskyky, yksikkö prosentti käytetyistä puheen ärsykeysiköistä
puheen häiritsevyytaso r talinterferensnivå e speech interference level	keskitaajuisten (500, 1000, 2000 usein myös 4000 Hz) oktaavipainetasojen keskiarvo, joka kuvaa puheen peittoa, yksikkö desibeli
pysyvyytaso r varaktighetsnivå e probability distribution level	taso, jonka signaali ylittää tietyn osan ajasta, yksikkö desibeli

retikulaarinen aktivaatiojärjestelmä r retikulär aktiveringssystem e reticular activation system	se osa keskushermostoa, joka säätelee vireys- ja huomiotilaa, formatio reticularis
samanarvoinen jatkuva äänitaso	katso keskiäänitaso
sanaerotuskyky r orduppfattning e word discrimination word recognition	puheen erotuskyky mitattuna sanoilla, yksikkö prosentti samalla tasolla esitettyjen ärsykesanojen määrästä
sensorineuraalinen kuulovaurio	sisäkorva- tai kuulohermoperäinen kuulovaurio
seosääni r komplex ljud e complex sound	ääni, joka koostuu useista samanaikaisista taajuuskomponenteista, ääni, joka ei ole äänes
soinnillisuus r tonartig e tonality	äänen elämyspiirre, joka kuvaa äänen selkeyttä tai kirkkautta, elämyksenä se vastaa kaistaleveyttä
stapediusrefleksi	stapedius-välikorvalihaksen supistuminen vasteena ääniärsykkeelle, jalustinlihasheijaste, -refleksi
sävelkorkeus r tonhöjd e pitch	äänen elämysominaisuus, joka määrää äänen aseman sävelasteikolla, vertaa äänen korkeus
taajuus r frekvens e frequency	äänen jaksojen lukumäärän ja kuluneen ajan osamäärä, yksikkö Hz
taajuuspainotus r frekvensvägning e frequency weighting	periaate, jonka mukaan äänenpainetason mittauksessa huomioidaan eri taajuuskomponenttien osuus
tinnitus	yleensä korviin tai päähän paikannettu ääni, joka ei johdu ulkoisesta äänilähteestä, kuten soiminen, suhina, humina
toiminnanvajaus r funktionsnedsättning e disability	itse arvioitu sairauden tai vaurion seurauksena ilmenevä päivittäisiin toimintoihin liittyvä suoriutumisvaikeus
ultraääni r ultraljud e ultrasound	akustinen värähtely, jonka taajuus on suurempi kuin kuuloalueen ylärajataajuus (noin 20 kHz)
vakioenergiasääntö r likaenergiprincip e equal-energy principle	teoria, jonka mukaan äänen/melun aiheuttaman vaurion/vamman aste riippuu meluannoksen suuruudesta, äänitason ja altistusajan tulosta
valkoinen ääni/kohina r vitt brus e white noise	leveäkaistainen kohina, jonka spektritiheys on vakio
valpastuminen r aktivering e arousal	vireystilan, huomiokyvyn ja tarkkaavaisuuden parantuminen (ääni)ärsykkeen johdosta
vapaa äänikenttä r fritt ljudfält e free sound field	homogeenisessa väliaineessa oleva äänikenttä, jossa heijastavien rajapintojen vaikutus on mitätön
vaste r respons e response	elimistön reaktio tai tilan muutos (ääni)ärsykkeelle, vaste voi olla hermo-, lihas- tai muista elinjärjestelmistä peräisin
vaurio	katso kuulovaurio
vegetatiivinen	tahdosta riippumattomiin elintoimintoihin liittyvä

vilkeuni r REM-sömn, drömsömn e REM sleep	univaihe, jonka aikana esiintyy nopeita silmien liikkeitä, REM-uni
äänekkyyys r hörstyrka e loudness	ääniaistimuksen elämyksellinen voimakkuus, yksikkö soni, vertaa kuuluvuus
äänekkyytaso r hörnivå e loudness level	tarkasteltavan äänen ja 1 kHz ääneksen saman asteinen elämysvoimakkuus, äänekkyyys, kuuluvuus, yksikkö foni
äänen karheus r strävhet e roughness	seosäänen elämyspiirre
äänen korkeus r tonhöjd e pitch	äänen elämysominaisuus, jonka mukaan äänet sijoittuvat äänen voimakkuudesta riippumattomalle muuttujalle matalasta korkeisiin ääniin, vertaa sävelkorkeus, yksikkö meli
äänenpaine r ljudtryck e sound pressure	äänikentässä aiheutuvan hetkellisen paineen ja staattisen paineen ero, äänipaine, $p$ , yksikkö Pascal (Pa)
äänenpainetaso r ljudtrycksnivå e sound pressure level, SPL	äänenpaineen ja standardoidun vertailupaineen suhteen kymmenlogaritmi kerrottuna kahdella kymmenellä, $L_p$ , yksikkö desibeli
äänen terävyys r skarpnet e sharpness	seosäänen elämyspiirre
äänes r ton, ren ton e pure tone	ääni, joka sisältää vain yhtä taajuutta
äänialtistustaso r ljudexponeringsnivå e sound exposure level	tarkasteltavalla aikavälillä valinnut keskiäänitaso normalisoituna yhteen sekuntiin, kertyneen annoksen taso, esimerkiksi $L_{AE}$ , yksikkö desibeli
äänitaso r ljudnivå e sound level	A-taajuuspainotettu äänenpainetaso, $L_A$ , yksikkö desibeli
äänitasomittari r ljudnivåmätare e sound level meter	standardoitu äänenpainetason mittauslaite, äänitasomittari
ääniyliherkkyys r ljudöverkänslighet e hyperacusis	korvavaurioihin liittyvä oire, jossa epämiellyttävyyssynnys on herkistynyt
äänne r fonem e phoneme	puheen pienin erotettava segmentaalinen osa

## Liite 3

## Lyhenteet

ANSI	American National Standards Institute, amerikkalainen standardisointielin	NIPTS	noise-induced permanent threshold shift, melun aiheuttama pysyvä kuulokynnyksen muutos
CEN	Comité Européen de Normalisation, eurooppalainen standardisointielin	NITS	noise-induced threshold shift, melun aiheuttama kuulokynnyksen muutos
dB	desibeli, tason yksikkö	NITTS	noise-induced temporary threshold shift, melun aiheuttama tilapäinen kuulokynnyksen muutos
EEG	elektroenkefalografia, aivosähkökäyrän otto	NNI-luku	noise and number index, melun häiritsevyyttä kuvaava suure
EKG	elektrokardiografia, sydänsähkökäyrän otto	NOEL	no observed effect level, suurin melutaso, joka ei aiheuta vaikutuksia, katso NOAEL
EMG	elektromyografia, lihasten sähkötoimintatutkimus	NOEAL	no observed adverse effect level, suurin melutaso, joka ei aiheuta haitallisia vaikutuksia, katso NOEL
EN	Norme Européenne, eurooppalainen standardi	NPL	noise pollution level, meluallistusta kuvaava tunnusluku
EOG	elektro-okulografia, silmän verkkokalvon hitaiden sähköisten ilmiöiden tutkimus	Pa	Pascal, paineen yksikkö
f	frequency, taajuus	PTS	permanent threshold shift, pysyvä kuulokynnyksen muutos
HL	hearing level, kuulotaso, kuulokynnystaso	RASTI	rapid speech transmission index, mittaamenetelmä, jolla huonetilan akustisten ominaisuuksien perusteella arvioidaan puheen erotuskykyä, vertaa STI
HTL	hearing threshold level, kuulokynnystaso	REM-uni	rapid eye movement – uni, vilkeuni
Hz	Hertz, taajuuden yksikkö	SEL	sound exposure level, äänialtistustaso
I	intensiteetti	SFS	Suomen Standardisoimisliiton standardi
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköteknillinen standardisointijärjestö	SIL	speech interference level, puheen häiritsevyytystaso
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisointijärjestö	S/N	signal-to-noise ratio, häiriöetäisyys
L	level, taso	SPL	sound pressure level, äänenpainetaso, äänipainetaso
L <sub>1</sub>	pysyvyytystaso, joka ylittyy 1 % ajasta	STI	speech transmission index, mittaamenetelmä, jolla huonetilan akustisten ominaisuuksien perusteella arvioidaan puheen erotuskykyä, vertaa RASTI
L <sub>A</sub>	A-painotettu äänitaso	TNI	traffic noise index, liikennemelua kuvaava tunnusluku
L <sub>AE</sub>	A-painotettu äänialtistustaso	TTS	temporary threshold shift, tilapäinen kuulokynnyksen muutos
L <sub>den</sub>	päivä-, ilta-, yömelutaso, ympäristömeludirektiivin (2002/49/EY) mukainen melun indikaattori	VAS	visual analog scale
L <sub>DN</sub>	keskiäänitaso, jossa painotetaan yöaikaista tasoa enemmän kuin päiväaikaista	WHO	World Health Organization, Maailman terveysjärjestö
L <sub>eq</sub>	keskiäänitaso		
L <sub>eq,24 h</sub>	keskiäänitaso mittausaikavälillä 24 tuntia		
L <sub>F</sub>	aikapainotuksella F (fast) mitattu äänitaso		
L <sub>I</sub>	impulssipainotuksella mitattu äänitaso		
L <sub>max</sub>	enimmäistaso		
L <sub>peak</sub>	huipputaso		
L <sub>S</sub>	aikapainotuksella S (slow) mitattu äänitaso		
LL	loudness level, äänekkyystaso		



## Liite 4

## Kirjallisuusluettelo

- Alvarez, J., Angelakis, K. & Rindel, J. H. 2006. A study of pleasantness and annoyance in simulated soundscapes, EuroNoise 2006. Tampere.
- American Academy of Pediatrics. Committee on Environmental Health. 1997. Noise: a hazard for the fetus and newborn. *Pediatrics* 100: 724-727.
- American Academy of Sleep Medicine. 2005. International Classification of Sleep Disorders. Diagnostic and coding manual. 2<sup>nd</sup> ed. Westchester. Illinois.
- Andersson, K. & Lindvall, T. (eds.). 1988. Health Effects of Community Noise. Evaluation of the Nordic Project on "The Health Effects of Community Noise". Nordic Council of Ministers.
- Arlinger, S., Baldrsson, G., Jauhiainen, T., Laukli, E., Nielsen, P. & Svendsen, B. 2007. Nordisk Lärobok i Audiologi. Tegnér. Stockholm.
- ASHA 1995. Position Statement and Guidelines for Acoustics in Educational Setting. American Speech – Language – Hearing Association, ASHA 37, Suppl. 14: 15-19.
- Axelsson, A. 1991. Leisure noise exposure in adolescents and young adults. *J. Sound Vibr.* 151: 447-453.
- Babisch, W., Ising, H. & Gallacher, J. E. J. 2003. Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease. *Occup. & Environ. Med.* 60: 739-745.
- Babisch, W., Beule, B., Schust, M., Kersten, N. & Ising, H. 2005. Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology* 16(1): 33-40.
- Babisch, W. 2006. Transportation noise and cardiovascular risk: review and synthesis of epidemiological studies, dose-effect curve and risk estimation. *WaBoLu-Hefte* 1/06. Umweltbundesamt. Berlin. <http://www.umweltbundesamt.de>
- Basner, M., Maas, H., Müller, U., Quehl, J. & Samel, A. 2004. Current DLD research on effects of nocturnal aircraft noise on sleep and future prospective activities, CALM Workshop, Bruxelles.
- Berglund, B., Berglund, U. & Lindvall, T. 1976. Scaling loudness, noisiness and annoyance of community noises. *J. Acous. Soc. Am.* 60: 1119-1125.
- Berglund, B., Berglund, U., Karlsson, J. & Lindvall, T. 1988. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Congress on Noise as a Public Health Problem. Vol. 1-6. Swedish Council of Building Research. Stockholm.
- Berglund, B. & Lindvall, T. (eds.) 1995. Community Noise. Document prepared for the World Health Organization. Archives of the Center for Sensory Research, Vol. 2, issue 1. Stockholm.
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela D. & Groh, K. T. 2000. Guidelines for Community Noise. World Health Organization. Geneva. <http://www.who.int/publications>
- Berglund, B. & Nilsson M.E. 2001. Total annoyance (or total loudness) models of combined community sounds. *Arch. Center Sensory Res.* 6(3): 33-59.
- Berglund, B. 2005. Barns hälsa och inlärning försämras av bullriga ljudlandskap i skolan och hemmet. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 2-3: 2005, 43-47.
- Björkman, M. 1991. Community noise annoyance: Importance of noise levels and the number of noise events, *J. Sound Vibr.* 151: 497-503.
- Bluhm, G., Nordling, E. & Berglund, N. 2004. Road traffic noise and annoyance – An increasing environmental health problem. *Noise & Health.* 6(24): 43-49.
- Bluhm, G. 2006. Community noise and hypertension. Euro-Noise 2006. Tampere.
- Borenus, J., Jauhiainen, T., Lampio, E., Nuotio, J., Pesonen, K. & Pyykkö, I. 1981. Akustiikan Perusteet, Insinööritieto Oy.
- Botteldooren, D., Verkeyn, A., Cornelius, C. & de Cock, M. 2002. On the meaning of noise annoyance modifiers: a fuzzy set theoretical approach. *Acta Acoustica/Acustics* 88: 239-251.
- Brattico, E., Kujala, T., Tervaniemi, M., Alku, P., Ambrosi, L. & Monitillo, V. 2005. Long-term exposure to occupational noise alters the cortical organization of sound processing. *Clin. Neurophysiol.* 116: 190-203.
- Brink, M., Wirth, K. & Schierz, Ch. 2006. Effects of early morning aircraft overflights on sleep and implications for policy making. EuroNoise, 2006. Tampere.
- Burns, W. 1973. *Noise and Man*, 2<sup>nd</sup> ed. William Clowes & Sons Ltd. London.
- Carter, N., Henderson, R., Lal, S., Hart, M., Booth, S., & Hunyor, S. 2002. Cardiovascular and autonomic response to environmental noise during sleep in night shift workers. *Sleep* 25: 444-451.
- Cohen, S., Evans, G., Krantz, D. S. & Stokols, D. 1980. Physiological, motivational and cognitive effects of aircraft noise on children, moving from the laboratory to the field. *Am. Psychologist* 35: 231-243.
- Crandell, C. C. & Smaldino, J. J. 1996. Speech perception in noise by children for whom English is a second language, *Am J Audiol* 5: 47-51.
- Davies, H. W., Teschke, K., Kennedy, S. M., Hodgson, M. R., Hertzman, C & Demers, P. A. 2005. Occupational exposure to noise and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology* 16(1): 25-32.
- Department of Health. 2002. Aircraft noise at school and children's cognitive performance and stress responses, West London Schools Study. <http://www.dh.gov.uk/PolicyAndGuidance/HealthAndSocialCareTopics/NoisePollution>
- EC 2002. Position paper on dose-response relationship between transportation noise and annoyance, Luxembourg. Office for Official Publications of the EC.
- EC Directive 2002/49/EC: Directive of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise, *Off. J. Europ. Communities.* 189: 12-25.
- EC 2003. DG Research; hypertension and exposure to noise near airports (HYENA, QLK4-CT-2002-02501).
- EC 2004. Position paper on the dose-effect relationships for night time noise. <http://ec.europa.eu/environment/noise/home.htm#1>.
- Elliott, L. L. 1979. Performance of children aged 9 to 17 years on a test of speech intelligibility in noise using sentence material with controlled word predictability. *J Acoust Soc Am* 66: 651-653.

- Engdahl, B., Tambs, K., Borchgrevink, H. M. & Hoffman, H. J. 2005. Screened and unscreened hearing threshold levels for the adult population: results from the Nord-Trøndelag hearing loss study. *Int J. Aud.* 44(4): 213-230.
- Eurasto, R., Lahti, T. & Sysiö, O. 1990. Ympäristömelu, lähteet, leviäminen, arviointi. *Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosaston selvitys* 92/90.
- Evans, G. W. & Lepore, S. J. 1993. Nonauditory effects of noise on children: a critical review. *Childr. Environments.* 10(1): 31-51.
- Evans, G. W. & Maxwell, L. 1997. Chronic noise exposure and reading deficits: the mediating effects of language acquisition. *Environ. Behav.* 29: 638-656.
- Evans, G. W., Bullinger, M. & Hygge, S. 1998. Chronic noise exposure and psychological response: a prospective study of children living under environmental stress. *Psychol. Science* 9: 75-77.
- Evans, G. W., Lercher, P., Meis, M., Ising, H. & Kofler, W. W. 2001. Community noise exposure and stress in children. *J. Acoust. Soc. Am.* 109: 1023-1027.
- Fastl, H. 2006. Advanced procedures for psychoacoustic noise evaluation. *EuroNoise 2006*. Tampere.
- Fields, J. M. & Hall, F. L. 1987. Community effects of noise. In Nelson, P. M. (ed). *Transportation Noise Reference Book*. (3): 1-17. Butterworth & Co. London.
- Fidell, S., Barber, D. S. & Schultz, T. J. 1991. Updating a dose-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J. Acous. Soc. Am.* 89: 221-233.
- Findeis, H. & Petero, E. 2004. Disturbing effects of low frequency sound immissions and vibrations in residential buildings. *Noise & Health* 6(23): 29-35.
- Franssen, E. A., van Wiechen, C. M., Nagelkerke, N. J. & Lebreit, E. 2004. Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occ. Environ. Med.* 61(5): 405-413.
- Furmann, A. & Musial, K. 2006. The evaluation of sound sources loudness vs. sharpness. *EuroNoise 2006*. Tampere.
- Goto, M. & Kaneko, T. 2002. Distribution of blood pressure data from people living near an airport. *J. Sound Vibr.* 250: 145-149.
- Grandjean, E. 1960. Physiologische und psycho-physiologische Wirkungen des Lärms. *Doc. Geigy* 4: 13-42.
- Grandjean, E., Graf, P., Lauber, A. Meier, H. P. & Müller, R. 1973. A survey of aircraft noise in Switzerland. *Proced. Int. Congr. on Noise as a Public Health Problem*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.
- Griefahn, B. & Gros, E. 1986. Noise and sleep at home, a field study on primary and after-effects. *J. Sound Vibr.* 105: 373-383.
- Griefahn, B., Schemmer-Kohrs, A., Schemmer, R. et al. 2000. Physiological subjective and behavioural responses during sleep to noise from rail and road traffic. *Noise & Health* 3: 59-71.
- Griefahn, B. 2002. Sleep disturbances related to environmental noise. *Noise & Health* 4(15): 57-60.
- Guski, R. 1987. *Lärm – Wirkungen unerwünschter Geräusche*, Huber. Bern.
- Guski, R., Schuemer, R. & Felscher-Suhr, U. 1999. The concept of noise annoyance. How international experts see it. *J. Sound Vibr.* 223(4): 513-527.
- Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F. S., Berglund, B. & Head J. 2001. Chronic aircraft noise exposure, stress response, mental health and cognitive performance in school children. *Psychol. Med.* 31: 265-277.
- Haines, M.M., Stansfeld, S. A., Berglund, B., Lopez-Barrio, L., Fischer, P., Kamp, I. V., Öhrström, E. & Berry, B. 2003. Effects of aircraft noise and road traffic noise on children's health: preliminary results on dose-response relationships from the RANCH study. *Epidemiology.* 14(5): S 128.33.
- Halpern, D. 1995. *Mental Health and the Built Environment*. Taylor & Francis, London.
- Handlingsplan mot buller. 1993. Betänkande av utredning för en handlingsplan mot buller. Statens offentliga utredningar 1993:65, Göteborg.
- Hartikainen – Sorri et.al. 1991. No effect of experimental noise exposure on human pregnancy. *Obstetr. Gynecol.* 77(4): 611-615.
- Hartley, D. E. & Moore, D. R. 2002. Auditory processing efficiency deficits in children with developmental language impairments. *J. Acous. Soc. Am.* 112: 2962-2966.
- Health Council of the Netherlands. 2004. The Influence of Night-time Noise on Sleep and Health. Health Council of the Netherlands. Publ. no. 2004/14E. The Hague.
- Heinonen-Guzejev, M., Vuorinen, H. S., Kaprio, J., Heikkilä, K. Mussalo-Rauhamaa, H. & Koskenvuo, M. 2000. Self-report of transportation noise exposure, annoyance and noise sensitivity in relation to noise map information. *J. Sound Vibr.* 234(2): 191-206.
- Heinonen-Guzejev, M., Vuorinen, H.S., Mussalo-Rauhamaa, H., Heikkilä, K., Kaprio, J. & Koskenvuo, M. 2004. Somatic and psychological characteristics of noise-sensitive adults in Finland. *Arch Environ. Health* 59(8): 410-417.
- Heinonen-Guzejev, M., Vuorinen, H. S., Mussalo-Rauhamaa, H., Heikkilä, K., Koskenvuo, M. & Kaprio, J. 2005. Genetic component of noise sensitivity. *Twin Res. & Human Genetics* 8(3): 245-249.
- Heinonen-Guzejev, M., Vuorinen, H. S., Mussalo-Rauhamaa, H., Heikkilä, K., Koskenvuo, M. & Kaprio, J. 2007. The association of noise sensitivity with coronary heart and cardiovascular mortality among Finnish adults. *Science of The Total Environment* 372: 406-412.
- Hellman, R. P. 1985. Perceived magnitude of two-tone-noise complexes; loudness, annoyance and noisiness. *J. Acous. Soc. Am.* 77(4): 1497-1504.
- Hygge, S. 1994. Classroom experiments on the effect of aircraft, road traffic, train, and verbal noise presented at 66 dBAL<sub>eq</sub> and of aircraft and road traffic noise presented at 55 dBAL<sub>eq</sub> on long-term recall and recognition in children aged 12-14 years. *Naturvårdsverket*. Stockholm.
- Hygge, S., Evans, G. W. & Bullinge, M. 2002. A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. *Psychol. Sci.* 13(5): 469-474.
- Hygge, S., Boman, E. & Enmarker, I. 2003. The effects of road traffic noise and meaningful irrelevant speech on different memory systems. *Scand. J. Psychol.* 44(1): 13-21.
- Hygge, S. 2006. Noise exposure and cognitive impairment – attempts to establish dose-effect relationships. *EuroNoise 2006*. Tampere.
- IEC 61672-1, 2002. Sound level meters, International Electro-technical Commission. Geneva.

- Ising, H. & Rebertisch, E. 1993. Comparison of acute reactions and long-term extra-aural effects of occupational and environmental noise exposure, in Vallet, M. (ed.); Proc. Int. Conf. Noise as a Public Health Problem; 3: 280-287.
- Ising, H. & Kruppa, B. 1993. *Noise and disease*, Gustav Fischer, Stuttgart.
- Ising, H. & Ising, M. 2002. Chronic cortisol increase in the first half of the night caused by road traffic noise. *Noise & Health* 4(16): 13-21.
- Ising, H. & Kruppa, B. 2004. **Health effects caused by noise: Evidence in the literature from the past 25 years.** *Noise & Health* 6: 5-13.
- IARC, International Agency for Research on Cancer, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Preamble/eval.php>
- ISO 389: 1964. Standard reference zero for calibration of pure-tone audiometers, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 532: 1975. Acoustics – Methods for calculating loudness level, International Organization for Standardization, International Standard, Geneva.
- ISO 7029: 1984. Acoustics – Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 1999: 1990. Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 226: 2003. Normal equal-loudness level contours, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO/TS 15666: 2003: Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. International Organization for Standardization, Geneva.
- Jarup, L., Babisch, W., Houthoujis, D., Pershagen, G., Katsouyanni, K. & Cadum, E. 2003. Hypertension and exposure to noise near airports – The Hyena project. *Epidemiology* 14(5): S78, 34.
- Jauhiainen, T. 1995. *Kuulo ja viestintä, Yliopistopaino*. Helsinki.
- Jauhiainen, T., Vuorinen, H. S., Heinonen-Guzejev, M. & Paikala, S.-L. 1997. Ympäristömelun vaikutukset, Ympäristöministeriö, Suomen Ympäristö 94.
- Jauhiainen, T. & Yli-Pohja, P. 2003. *Tinnitus, Duodecim*. Helsinki..
- Job, R. 1999. **Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise.** *Noise & Health* 3: 57-68.
- Johansson, M. S. K. & Arlinger, S. 1983. Hearing threshold levels for an otologically unscreened, non-occupational noise-exposed population in Sweden. *Int. J. Audiol.* 41: 1801-194.
- Jokitulppo, J., Lahti, T. & Markkula, T. 2006. Ampumaratojen häiritsevyys, kirjallisuusselvitys. Akucon Oy.
- Karjalainen, M. 1999. *Kommunikaatioakustiikka, TKK, raportti 51*. Otaniemi.
- van Kempen, E. E., Kruize, H., Bolhuizen, H. C. Ameling, C. B., Staatsen, B. A.M. & de Hollander, A. E.M. 2002. **The association between noise-exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis.** *Environ. Health Perspect.* 110(3): 307-317.
- Kihlman, T., Öhrström, E. & Kånberg, A. 2002. Adverse health effects of noise and the value of access to quietness in residential areas. *InterNoise 2002*.
- Klatte, M., Seidel, J., Wegner, M., Hellbrück, J., Leister, P. & Weber, L. 2006. **Effects of classroom reverberation time on speech perception and noise ratings in elementary school children: a field study.** *EuroNoise 2006*. Tampere.
- von Klingholz, F., Siegert C., Schleier, E. & Thamm, R. 1978. Lärmbedingte Stimmstörungen bei Angehörigen unterschiedlicher Berufsgruppen, *HNO Praxis* 31(3): 193-201.
- Knipshild, P. V. 1977. Medical effects of noise: community cardiovascular survey. *Int. Arch. Environ. Health* 40:185-190.
- Kozou, H., Kujala, T., Shtyrov, Y., Toppila, E., Starck, J., Alku, P. & Näätänen, R. 2005. **The effect of different noise types on the speech and non-speech elicited mismatch negativity.** *Hear. Res.* 199: 31-39.
- Kryter, K.D. 1985. *The Effects of Noise on Man*. Academic Press, 2<sup>nd</sup> ed., New York.
- Kryter, K. D. 1990. Aircraft noise and social factors in psychiatric hospital admission rates: A re-examination of some data. *Psychol. Med.* 20(2): 395-411.
- Kujala, T., Shtyrov, Y., Winkler, I., Sauer, M., Tervaniemi, M., Sallinen, M. Teder-Särkijärvi, W., Alho, K. Reinikainen, K. & Näätänen, R. 2004. Long-term exposure to noise impairs cortical sound processing and attention control. *Psychophysiol.* 41: 875-881.
- Kurenieni, M. & Törmänen, E. 2003. Ympäristö menee ihon alle? Kaupunkirakenteen ja asuinalueiden laadun yhteys alueelliseen kuolleisuuteen Helsingissä. STAKES. Helsinki.
- Kurkela, P., Parkkola, K., Viljanen, V., Hongisto, V., Sala, E. & Pentti, J. 1997. Melu ja ääniympäristö kasarmien sisä- ja ulkotiloissa kuulemisen ja puheen tuoton kannalta. Turun ja Porin sotilaslääkärin esikunta. Ympäristövalvonta.
- Lahti, T. 2003. Ympäristömelun arviointi ja torjunta, Ympäristöministeriö. **Ympäristöopas 1001**.
- Lambert, J., Simonnet, F. & Vallet, M. 1984. **Patterns of behaviour in dwellings exposed to road traffic noise.** *J. Sound Vibr.* 92: 159-172.
- Lambert, J. & Plouhinec, M. 1985. Day and night annoyance: A comparison. *Proc. Inter-Noise*, 1985.
- Lambert, J. & Maurin, M. 1988. Perception and sensitiveness of the French population to road traffic noise. *Proc. Int. Congress. Noise as a Public Health Problem*, Stockholm, 3: 333-338.
- Lazarus, H. 1987. Prediction of verbal communication in noise – a development of generalized SIL curves and the quality of communication. *Appl. Acoustics* 20: 245-261.
- Lercher, P., Evans, G. W., Meis, M. & Kofler, W. W. 2002. Ambient neighbourhood noise and children's mental health. *Occ. Environ. Med.* 59(6): 380-386.
- Lercher, P. & Botteldooren, D. 2006. General and/or local assessment of the impact of transportation noise in environmental health impact studies. *EuroNoise 2006*. Tampere.
- Lukas, J.S. 1975. **Noise and sleep; a literature review and a proposed criterion for assessing effect.** *J. Acous. Soc. Am.* 58: 1232-1242.
- Lutman, M. E. & Davis, A. C. 1994. The distribution of hearing threshold levels in the general population aged 18-30 years. *Audiology* 33(6): 327-350.
- Maschke, C. 2003. Epidemiological research on stress caused by traffic noise and its effects on high blood pressure and psychic disturbance, *Proc. Int. Congr. Biol. Effects of Noise*. Schiedam.

- Maschke, C., Rupp, T. & Hecht, K. 2003. Epidemiological examinations of the influence of noise stress on the immune system and the emergence of arteriosclerosis. Report 298 62 515. Wabolu-Hefte 01/03. Berlin.
- Matsui, T., Uehara, T., Miyakita, T., Hitamatsu, K., Osada, Y. & Yamamoto, T. 2004. The Okinawa study: Effects of chronic aircraft noise on blood pressure and some other physiological indices. *J. Sound Vibr.* 277: 469-470.
- Miedema, H. M. E. & Vos, H. 1998. Exposure-response relationships for transportation noise, *J Acoust. Soc Am* 104(6): 3432-3445.
- Miedema, H. M. E., Passchier-Vermeer, W. & Vos, H. 2003. Night-time noise events and awakening. TNO-INRO: 23. Delft.
- Miedema, H. M. E. 2004. Self-reported sleep disturbance caused by aircraft noise. TNO-INRO: 15. Delft.
- Miedema, H.M.E. 2004. Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. *J. Acoust. Soc. Am.* 116(2): 949-957.
- Moore, B. C.. J. 1982. An introduction to the psychology of hearing. Academic Press. London.
- Muzet, A. & Eberhart, J. 2004. Habituation of heart rate and finger pulse responses to noise in sleep. *ASHA*. Rockville, Maryland.
- Muzet, A. 2002. The need for a specific noise measurement for population exposed to aircraft noise during night-time. *Noise & Health.* 4(15): 61-64.
- Nabelek, A. K. & Robinson, P. K. 1982. Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages. *J. Acous. Soc. Am.* 71: 1242-1248.
- Nabelek, A.K. 1983. Acoustics of enclosed spaces for linguistically impaired listeners, in Rossi, G. (ed.), *Proc. Int. Congr Noise as a Public Health Problem 1*: 501-511. Torino..
- Nelson, P. (ed.) 1987. *Transportation Noise Reference Book*. Butterworths, London.
- Nelson, P., Kohnert, K. & Sabur, S. 2005. Classroom noise and children learning through a second language, *Lang Speech Hear Serv Schools*, 36; 219-229.
- Neus, H. & Boikat, U. 2000. Evaluation of traffic noise-related cardiovascular risk. *Noise & Health.* 2(7): 65-77.
- Nivison, M. E. 1992. The relationship between noise as an experimental and environmental stressor, psychological changes, and psychological factors. *Univ. Bergen*.
- Ollerhead, J. B. 1992. Report on field study of aircraft noise and sleep disturbance. DoT. London.
- Otten, H. Schulte, W. & von Eiff, A. W. 1990. Traffic noise, blood pressure, and other risk factors. The Bonn traffic noise study. *Proc. Int. Conf. Noise as a Public Health Problem*, 4: 327-335.
- Passchier-Vermeer, W. & Passchier, W. F. 2000. Noise exposure and public health. *Environ. Health Persp.* 108. Suppl. 1: 123-131.
- Passchier-Vermeer, W., Vos, H., Steenbekker, J. H. M., van der Ploeg, F. D. & Groothuis-Oudshoorn, K. 2002. Sleep disturbance and aircraft noise exposure. Report nr. 2002.027. TNO-PG. Leiden.
- Pedersen, T. H. 2006. A model for noise annoyance. *EuroNoise 2006*. Tampere.
- Pekkarinen (Sala), E. 1984. Taustamelun ja kaikujen vaikutus puheen ymmärrettävyyteen, kirjassa Salmivalli, A. & Johansson, R. (toim.) *Kuulovammaisen koululainen*: 93-97. V Audiologian päivät. Turku.
- Pekkarinen (Sala), E. 1987. Taustamelun ja kaikujen vaikutus puheen erotuskykyyn, kirjassa Lehtihalmes, M. (toim.): *Lukemisen ja kirjoittamisen häiriöt. Log. Fon. Yhd. julk.* 20: 105.
- Pekkarinen (Sala), E. 1988. Effects of Noise and Reverberation on Speech Discrimination. *Ann. Univ. Turkuensis D* 31.
- Pekkarinen (Sala), E. 1989. The effect of reverberation on speech discrimination, kirjassa Vilkmán, E. et al. (toim.): *Clinical and related research in communication. Publ. Finn. Ass. Log. Phon.* 23: 49-55.
- Pekkarinen (Sala), E. & Viljanen V. 1989. Luokkahuone viestintäympäristönä, kirjassa Lahti, T., Linjamaa, J. & Pekkarinen, J. (toim.): *Akustiikkapäivät 1989*: 81-86.
- Pekkarinen (Sala), E. 1990. Melun vaikutus puheen kuulemiseen. *Lääketide* 1990: 70-71..
- Pekkarinen (Sala) E. & Viljanen, V. 1990. The effect of sound-absorbing treatment on speech discrimination in rooms. *Audiol.* 29: 219-227.
- Pekkarinen (Sala), E. & Viljanen, U. 1991. Acoustic conditions for speech communication in class-rooms. *Scand. Audiol.* 20: 257-263.
- Pekkarinen (Sala), E. 1992. Ympäristövaatimukset kuulemisessa. kirjassa; Turunen, L. (toim.); *Kuulonäkövammaisen vanhus. Suomen Audiol Yhd*: 70-74.
- Pekkarinen (Sala), E. & Viljanen, V. 1992. Luokkahuoneiden akustisten ominaisuuksien parantamisesta. kirjassa Sonninen, P. (toim.): *Tekniikka logopediassa ja foniatriassa. Log. Fon. Yhd. julk.* 26: 54-58.
- Pesonen, K. 2002. Musiikkimelun vaarallisuus. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 10.
- Pesonen, K. 2005. Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita. *Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä* 14.
- Picard, M. & Bradley, J. S. 2001. Revisiting speech interference in classrooms. *Audiology* 40(5): 221-244.
- Rahe, R. H. & Arthur, R. J. 1978. Life change and illness studies: past history and future directions. *J. Hum. Stress* 4: 3-15.
- Regecova, V. & Kellerova, E. 1995. Effects of urban noise pollution on blood pressure and heart rate in preschool children. *Hypertens.* 13:405-412.
- Rosenlund, M., Berglind, N., Pershagen, G. Järup, L. & Bluhm, G. 2001 Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. *Occ. Environ. Med.* 58: 769-773.
- Rossi, G. (Ed.): *Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Congress*. Vol. 1-2. Torino.
- Rylander, R., Sörensen, S. & Kajland, A. 1976. Traffic noise exposure and annoyance reactions. *J. Sound Vibr.* 46: 237-242.
- Rylander, R. 2004. Physiological aspects of noise-induced stress and annoyance. *J. Sound Vibr.* 277: 471-478.
- Sala, E., Viljanen V. & Honka, J. 1995. Improvement of acoustic conditions for speech communication in classrooms. *Appl Acoust* 45: 81-91.
- Sala, E., Olkinuora, P. & Airo, E. 2000. Päiväkodeissa meluisaa – kestääkö ääni? *Työterveiset*, (1):21-22.
- Sala, E., Laine, A., Simberg, S., Pentti, J. & Suonpää, J. 2001. The prevalence of voice disorders among day care centre teachers compared with nurses. A questionnaire and clinical study. *J. Voice* 15(3): 413-423.
- Sala, E., Airo, E., Olkinuora, P., Simberg, S., Ström, U., Laine A., Pentti, J. & Suonpää, J. 2002. *Vocal loading among day care centre teachers. Log. Phon. Vocol.* 27(1): 21-28.

- Sala, E. 2005. Melun vaikutus lapsiin. Ympäristö ja Terveys-lehti 2-3: 2005, 48-53.
- Salmivalli, A., Pekkarinen (Sala), E. & Viljanen, V. 1984. Luokkahuoneen akustiikasta, kirjassa Salmivalli, A.S. & Johansson R. (toim.): Kuulovammainen koululainen: 134-137. V Audiologian päivät. Turku.
- Samel, A. & Basner, M. 2006. Aircraft noise effects on sleep: DLR research results and their application. EuroNoise 2006. Tampere.
- Schell, L. M. 1981. Environmental noise and human prenatal growth. *Am. J. Physical Antropol.* 56: 63-70.
- Schomer, P. D., Suzuki, Y. & Saito, F. 2001. Evaluation of loudness level weightings for overcoming the annoyance of environmental noise. *J. Acous. Soc. Am.* 110(5): 2390-2397.
- Schreckenberg, D., Schumer-Kohrs, A., Schumer, R., Griefahn, B. & Moehler, U. 1999. An interdisciplinary study on railway and road traffic noise: annoyance differences. 137<sup>th</sup> ASA Meeting & 25<sup>th</sup> DAGA Conference.
- Schuschke, G. 1976. *Lärm und Gesundheit*, Verlag Volk und Gesundheit. Berlin.
- Schultz, T. J. 1978. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J. Acous. Soc. Am.* 64: 377-405.
- Schultz, T.J.: 1982. *Community Noise Rating*, Applied Science Publishers, New York.
- Sederholm, E. 1996. Hoarseness in ten year old children. Dissertation. Karolinska Institutet.
- Selye, H. 1955. Stress and disease. *Science* 122: 625-631.
- SFS 5100. 1985. Akustiikan sanasto. Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki.
- Shield, B., Dockrell, J. & Vilatarsana, G. 2005. Effect of road traffic and aircraft noise upon children's academic attainments. *J Acoust Soc Am* 117(4): 2365.
- Smith, A. 2003. The concept of noise sensitivity: implications for noise control. *Noise & Health*. 5: 57-59.
- Shtyrov, Y., Kujala, T., Ahveninen, J., Tervaniemi, M., Alku, P., Ilmoniemi, R. J. & Näätänen, R. 1998. Background acoustic noise and the hemispheric lateralization of speech processing in the human brain: magnetic mismatch negativity study. *Neurosc. Letters* 251: 141-144.
- Spoor, A. 1967. Presbycusis values in relation to noise induced hearing loss. *Int. Audiol.* 6: 48-57.
- Spreng, M. 2000. Possible health effects of noise induced cortisol increase. *Noise & Health* 2(3): 59-64.
- Stansfeld, S. A. 1992. Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysical studies. *Psycholog. Med. Suppl.* 22.
- Stansfeld, S. A. & Matheson, M. P. 2003. Noise pollution: non-auditory effects on health. *Br. Med. Bull.* 68: 243-257.
- Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Ohrström, E., Haines, M. M., Haed, J., Hygge, S., van Kamp, I & Berry, B. F. 2005. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-sectional study. *Lancet* 365(3475): 1942-1949.
- Stansfeld, S. A. & Clark, C. 2006. Environmental noise and psychosocial health: implications for public health and research. EuroNoise 2006. Tampere.
- Ström, U., Sala, E. & Airo, E. 2001. Speech recognition in background noise by day-care-children and adults, Proc XXV Congr. Int Ass. Log. Phon. Montreal.
- Suonpää, J., Pekkarinen (Sala), E & Salmivalli, A. 1988. Koulun luokkahuoneen akustiikka, kirjassa; Salmivalli, A. & Johansson, R. (toim.) Kuuleminen huonetilassa: 46-53. IX Audiologian päivät.
- Sörensen, S. & Magnusson, J. 1979. Annoyance caused by noise from shooting ranges. *J. Sound Vibr.* 62: 437-442.
- Tarnopolsky, A., Watkins, G. & Hand, D.J. 1980. Aircraft noise and mental health: prevalence of individual symptoms. *Psychol. Med.* 10(4): 683-398.
- Taylor, S. M. & Wilkins, P. A. 1987. Health effects. In Nelson, P. (ed.): *Transportation Noise Reference Book*. Butterworths. London.
- Taylor, S. M., Young, P. J., Bimie, S. E. & Hall, F. L. 1980. *Health Effect of Noise: Review of Existing Evidence*. Res. Report. McMaster Univ. Hamilton. Ontario.
- Taylor, S. M. 1982. A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources. *J. Sound Vibr.* 81: 123-138.
- Tiesler, G. & Oberdörster, M. 2006. Noise a stress factor? Acoustic ergonomics of schools, EuroNoise 2006. Tampere.
- Vallet, M.: (Ed.) 1993. *Noise as a Public Health Problem*, Proc. 6<sup>th</sup> Int. congress, Nice.
- Viljanen, V., Pääkkönen, R. & Pekkarinen (Sala), E. 1984. Kaiunta ja taustahäly häiritsevät oppimista. *Työ terveys ja turvallisuus* 9: 18-19.
- Viljanen, V. & Pekkarinen (Sala), E. 1988. Ääniliot opetusalailla. *Työ terveys ja turvallisuus*. 4: 23.
- Viljanen, V. & Pekkarinen (Sala), E. 1989. Oppilaitosten äänilosuhteet. Raporttisarja 3. Turun aluetyöterveyslaitos.
- Viljanen, V. & Pekkarinen (Sala), E. 1991. Koulujen akustiikka ja puheen erottaminen, kirjassa; Helle, S. et al. (toim.): *Akustiikkapäivät 1991*: 23-27.
- Vos, J. 2003. On the relevance of shooting-noise-induced sleep disturbance to noise zoning. Proc. Int. Congr. Biol. Eff. Noise. Schiedam.
- Vuorinen, H. S. 1984. Ympäristömelun vaikutus väestön terveyteen. Ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisu A:15. Ympäristöministeriö.
- Vuorinen, H. S. 1992. Verenpaine ja melu. Ympäristöministeriön ympäristösuojeluosaston selvityksiä 118.
- Ward, W. D. et al 1981. Total energy and critical intensity concepts in noise damage. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 90: 584-590.
- Waye, K. P., Clow, A., Edwards, S., Hucklebridge, F. & Rylander, R. 2003. Effects of night-time low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality. *Life Sci.* 72: 863-875.
- Weinstein, N. D. 1978. Individual differences in reactions to noise. A longitudinal study in a college dormitory. *J. appl. Psychol.* 63(4): 458-466.
- Weinstein, N.D. 1980. Individual differences in critical tendencies and noise annoyance. *J. Sound Vibr.* 68(2): 241-248.
- Westman, j. C. & Walters, J.R. 1981. Noise and stress: A comprehensive approach. *Environm. Health Perspect.* 41: 291-309.
- WHO 1980. *International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps (ICIDH)*, World Health Organization. Geneva.
- WHO 1980. *Noise. Environmental Health Criteria 12*. World Health Organization. Geneva.
- WHO 2000. *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization. Geneva.  
<http://www.who.int/docstone/peh/noise/guidelines2.html>
- van Wiechen, C., Franssen, E., de Jong, R. G. & Lebrecht, E. 2002. Aircraft noise exposure from Schiphol airport, relation with complaints. RIVM. Bilthoven.

- Williams, W. 2005. Noise exposure levels from personal stereo use. *Int. J. Audiol.* 44(4): 231-236.
- Willich, S. N., Wegschneider, K., Stallmann, M. & Keil, T. 2006. Noise burden and the risk of myocardial infarction. *Eur Health J.* 27(3): 276-282.
- Zimmer, K. & Ellermeier, W. 1999. Psychometric properties of four measures of noise sensitivity: a comparison. *J Environ. Psychol.* 19: 295-302.
- Zwicker, E. & Fastl, H. 1990. *Psychoacoustics – Facts and Models.* Springer. Heidelberg.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. 1908. The relationship of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *J. Comp. Neurol. Psychol.* 18: 459-482.
- Ympäristöministeriö 1989. Ohjekirjanen meluntorjuntalaista ja -asetuksesta. Ympäristösuojeluosaston sarja B 13/1989.
- Ympäristöministeriön 1990. Meluntorjunnan ilmoitusmenetely. Anmälningsförfarande enligt bullerbekämpningslagen. Ympäristösuojeluosaston opas 1/1990.
- Ympäristöministeriö 1990. Melutilanteen seurannan järjestäminen kunnissa. Ordnande av bevakning av bullersituationen i kommunerna. Ympäristömelun ympäristösuojeluosaston ohje 3/1990.
- Ympäristöministeriön 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Mätning av omgivningsbuller. Ympäristösuojeluosaston ohje 1/1995.
- Ympäristöministeriö 2004. Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma. **Suomen ympäristö 696.**
- Öhrström, E. 1982. On the Effect of Noise with Special Reference to Subjective Evaluation and Regularity. University of Gothenburg.
- Öhrström, E., Björkman, M. & Rylander, R. 1988. Primary and after effects of noise during sleep with reference to noise sensitivity and habituation studies in laboratory and field. In Berlund, B. & Lindvall, T. (toim.) *Proc. Int. Conf. Noise as a Public Health Problem*, Stockholm 5: 55-63.
- Öhrström, E. 1991. Psycho-social effects of traffic noise exposure. *J. Sound Vibr.* 151: 513-517.
- Öhrström, E. & Skånberg, A.-B. 1996. A field survey on effects of exposure to noise and vibrations from railway traffic I: Annoyance and activity disturbance effects. *J. Sound Vibr.* 193(1): 39-47.
- Öhrström, E. & Barregård, L. 2005. Undersökning av hälsoeffekter av buller från vägtrafik, tåg och flyg. **Lerums kommun.** Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum.

## KUVAILULEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto	Julkaisu-aika	Maaliskuu 2007
Tekijä(t)	Tapani Jauhiainen, Heikki S. Vuorinen ja Marja Heinonen-Guzejev		
Julkaisun nimi	<b>Ympäristömelun vaikutukset</b>		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>		
Tiivistelmä	<p>Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 1997 kansainvälisten meluvaikutusten asiantuntijoiden Maailman terveysjärjestöille (WHO) kokoaman selvityksen pohjalta julkaisun ”Ympäristömelun vaikutukset”. Tämän jälkeen tietämys melunvaikutuksista on syventynyt ja laajentunut, minkä takia julkaisun päivitys on tarpeen.</p> <p>Uusi julkaisu käsittelee melun vaikutuksia käyttämällä samaa ryhmittelyä, jota WHO käyttää ulkoisista tai sisäisistä syistä johtuvien sairauksien ja niiden seurannaisvaikutusten yhteydessä. Vaikutuksia ovat kudos- ja elinaurion lisäksi toiminnallinen vaurio, toiminnanvaja ja haitta. Julkaisussa lähtökohtana ovat nimenomaan melun vaikutukset eivätkä melun akustiset äänipiirteet, kuten äänekkyyt.</p> <p>Julkaisu esittelee ympäristömelun eri vaikutukset painottaen niiden yleisyyttä ja merkitystä. Niistä häiritsevyyt on merkityksellisin. Sen ohella käsitellään melun haitallisia vaikutuksia uneen, kognitiivisiin toimintoihin erityisesti lapsilla, puheviestintään, sydän- ja verenkiertoelimistön toimintoihin sekä joskus aiheutuvaa kuulovauriota. Uusimman tutkimustiedon mukaan pitkäaikaisen altistumisen ympäristömelulle on todettu lisäävän riskiä verisuonisairauksiin. Julkaisussa kiinnitetään lisäksi huomiota meluherkkyyteen, jota ei ole aiemmin otettu riittävästi huomioon.</p> <p>Julkaisun liitteenä ovat WHO:n suositukset ympäristömelusta vuodelta 2000.</p>		
Asiasanat	Melu, vaikutukset, terveys		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 3/2007		
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö		
	ISBN 978-952-11-2563-8 (nid.)	ISBN 978-952-11-2564-5 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)
	Sivuja 79	Kieli suomi	ISSN 1796-1637 (verkkokj.) Hinta (sis. alv 8 %)
			Luottamuksellisuus julkinen
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edita puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380 sähköposti: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a> , <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>		
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö		
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2007		
Muut tiedot	Yhteyshenkilö ympäristöministeriössä: ympäristöneuvos Sirkka-Liisa Paikkala, puh. 020 490 7359		

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet, miljövårdsavdelningen	Datum	Mars 2007
Författare	Tapani Jauhiainen, Heikki S.Vuorinen och Marja Heinonen-Guzejev		
Publikations titel	<b>Ympäristömelun vaikutukset</b> (Effekter av buller)		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet: <a href="http://www.environment.fi/publications">www.environment.fi/publications</a>		
Sammandrag	<p>Miljöministeriet utgav 1997 publikationen "Effekter av buller". Publikationen baserar sig på en utredning av bullrets effekter som gjordes för Världshälsoorganisationen (WHO) av en internationell expertgrupp. Eftersom ny kunskap inom området har tillkommit sedan dess fanns det anledning att uppdatera den finska publikationen.</p> <p>Den nya publikationen redogör för bullrets effekter enligt WHO:s rekommendation för klassificering av sjukdomar och deras följder av diverse yttre och inre orsaker. Utöver förändringar i vävnader och organ förekommer funktionella skador, funktionsnedsättning och handikapp. Den nya publikationen betonar själva effekterna, och utgår inte från bullrets egenskaper, som t.ex. hörstyrka.</p> <p>De olika effekterna av miljöbuller behandlas enligt förekomst och inverkan. Den vanligaste effekten är störning, men bullret inverkar dessutom på sömn, kognitiv prestation i synnerhet hos barn, kommunikation, hjärt- och cirkulationsorganens funktioner och leder ibland till hörselskador. Enligt nya forskningsresultat har en långvarig miljöbullerexponering påvisats öka risken för kärlsjukdomar. Publikationen betonar också den individuella bullerkänsligheten, vilken tidigare inte har uppmärksamats tillräckligt.</p> <p>I publikationens bilaga ingår WHO:s rekommendationer om miljöbuller från år 2000.</p>		
Nyckelord	Buller, effekter, hälsa		
Publikationsserie och nummer	Finlands miljö 3/2007		
Publikationens tema	Miljövård		
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet		
	ISBN 978-952-11-2563-8 (hft.)	ISBN 978-952-11-2564-5 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)
	Sidantal 79	Språk Finska	ISSN 1796-1637 (online)
			Pris (inneh. moms 8 %)
			Offentlighet Offentlig
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, Kundservice, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a> , <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>		
Förläggare	Miljöministeriet		
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Oy, Helsinki 2007		
Ovriga uppgifter	Kontaktperson vid miljöministeriet miljørådet Sirkka-Liisa Paikkala, tel. +358 20 490 7359		



## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment, Environmental Protection Department	<i>Date</i> March 2007		
<i>Author(s)</i>	Tapani Jauhiainen, Heikki S. Vuorinen and Marja Heinonen-Guzejev			
<i>Title of publication</i>	<b>Ympäristömelun vaikutukset</b> (Effects of noise)			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: <a href="http://www.environment.fi/publications">www.environment.fi/publications</a>			
<i>Abstract</i>	<p>In 1997 the Ministry of the Environment released a publication on "Effects of noise", which was based on a report prepared for the World Health Organization (WHO) by an international group of experts on effects of community noise. An updated version of the Finnish report was seen as necessary, because, since 1997, the knowledge about adverse effects of noise has accumulated.</p> <p>This new publication deals with noise effects in accordance with the WHO recommendation on the classification of diseases, impairments and disabilities due to various external and internal causes. In addition to lesions in tissues and organs, other complications that can arise are impairment, disability or handicap. The new publication stresses the various noise effects rather than taking a conventional approach and starting with the acoustic features of noise, such as loudness.</p> <p>The different effects of environmental noise are discussed in the order of their frequency and significance. Annoyance, which is the most widespread, is followed by effects on sleep, cognitive performance, especially in children, speech communication, cardiovascular functions, and finally by hearing impairment, which does not occur so frequently. According to the new research data, chronic exposure to environmental noise has been shown to increase the risk for cardiovascular disease. The publication also stresses individual noise sensitivity, which has not been well recognised earlier.</p> <p>The publication includes an appendix with WHO recommendations on environmental noise from the year 2000.</p>			
<i>Keywords</i>	Noise, environmental noise, community noise, effects, adverse effects, health			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 3/2007			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment			
	ISBN 978-952-11-2563-8 (pbk.)	ISBN 978-952-11-2564-5 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 79	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> For public use	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd., Box 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi/netmarket">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi/netmarket</a>			
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Oy, Helsinki 2007			
<i>Other information</i>	Contact at the Ministry of the Environment: Ms Sirkka-Liisa Paikkala, Environment Counsellor, phone +358 20 490 7359			

Ympäristömelun eri vaikutukset esitellään kirjassa painottaen niiden yleisyyttä ja merkitystä. Häiritsevyys on merkityksellisin. Lisäksi käsitellään melun haitallisia vaikutuksia uneen, kognitiivisiin toimintoihin erityisesti lapsilla, puheviestintään, sydän- ja verenkiertoelimistön toimintoihin sekä joskus aiheutuvaa kuulovauriota. Uusimman tutkimustiedon mukaan pitkäaikaisen altistumisen ympäristömelulle on todettu lisäävän riskiä verisuonisairauksiin. Lisäksi kiinnitetään huomiota meluherkkyyteen, jota ei ole aiemmin otettu riittävästi huomioon.

Julkaisun liitteenä ovat WHO:n suositukset ympäristömelusta vuodelta 2000.



**YMPÄRISTÖMINISTERIÖ**  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Myynti: Edita Publishing Oy  
PL 800, 00043 EDITA  
Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380  
Edita-kirjakauppa Helsingissä:  
Annankatu 44, puh. 020 450 2566

**ISBN 978-952-11-2563-8 (nid.)**

**ISBN 978-952-11-2564-5 (PDF)**

**ISSN 1238-7312 (pain.)**

**ISSN 1796-1637 (verkkoj.)**

