

FINAVIA

Lentomelun vaikutuksista

ja niihin liittyvistä tekijöistä

Insinööritoimisto
Kari Pesonen Oy
2018



Insinööritoimisto
Kari Pesonen Oy
Helsinki

FINAVIA

Kari Pesonen

Lentomelun vaikutuksista ja niihin liittyvistä tekijöistä

Vuoden 2008 julkaisun päivitys – Vuosi 2018

Finavia Oyj
25.10.2018

Sisällysluettelo

1	ESIPUHE	5
2	YHTEENVETO.....	7
3	JOHDANTO	9
4	MELUN VAIKUTUKSET.....	11
4.1	POIKITTAIS- JA PITKITTÄISTUTKIMUKSET	15
4.2	MELUVAIKUTUSTEN SUURUUS, ASTE JA/TAI VAKAVUUS	15
4.3	MELUVAIKUTUSTEN AJALLINEN YHTEYS MELUUN JA ALTISTUKSEEN: AKUUTIT JA KROONISET MELUVAIKUTUKSET	16
4.4	MELUN VAIKUTUKSET, YLEINEN RIIPPUVUUS MELUSTA JA ALTISTUKSESTA.....	17
4.5	MELUN VAIKUTUKSET, VOIMAKKUUS- ELI VAKAVUUSASTEEN JA YLEISYYDEN ESITTÄMISTAVAT	19
4.6	VAIKUTUSTEN INDIKAATTOREINA KÄYTETYT MELUTASOT	21
4.6.1	<i>Lentomelun äänitason ja ominaisuuksien ajallinen vaihtelu.....</i>	<i>23</i>
4.6.2	<i>L_{DEN}-tason ilta- ja yöajan painoutuksen historiallinen tausta.....</i>	<i>27</i>
4.7	MELUN VAIKUTUKSET IHMISIIN.....	27
4.8	KIUSALLISUUS JA HÄIRITSEVYYS.....	33
4.8.1	<i>Kiusallisuus</i>	<i>34</i>
4.8.1.1	<i>Kiusallisuus mittaus kyselytutkimuksin.....</i>	<i>35</i>
4.8.1.2	<i>Kiusallisuuden voimakkuuden luokittelu ja kiusallisuusvasteet</i>	<i>38</i>
4.8.1.3	<i>Lentomelun kiusallisuusvasteet</i>	<i>41</i>
4.8.1.4	<i>Kiusallisuuden ero ulkona ja sisällä</i>	<i>44</i>
4.8.1.5	<i>Päivä- ja yöaikaisen lentomelun kiusallisuuden ero.....</i>	<i>46</i>
4.8.1.6	<i>Lentomelu kiusallisuusvasteen muutos viimeisen 50 vuoden aikana.....</i>	<i>47</i>
4.8.1.7	<i>Asumismuodon ja -ympäristön vaikutuksesta kiusallisuuteen</i>	<i>49</i>
4.8.1.8	<i>Asenteet ja odotukset lentomelun kiusallisuuden selittäjänä.....</i>	<i>50</i>
4.9	UNENHÄIRINTÄ, UNIHÄIRIÖT	52
4.9.1	<i>Unihäiriöiden tutkimusmenetelmistä.....</i>	<i>52</i>
4.9.1.1	<i>Unen laadun luokittelu ja mittaus aivosähkökäyrästä</i>	<i>54</i>
4.9.1.2	<i>Unen laadun mittaus kyselytutkimuksin</i>	<i>61</i>
4.9.2	<i>Melun aiheuttamien unihäiriöiden ja (terveys)vaikutusten syntymekanismi ..</i>	<i>62</i>
4.9.3	<i>Unihäiriövasteet, unihäiriön riippuvuus melun voimakkuudesta</i>	<i>64</i>
4.9.4	<i>Useiden yöaikaisten melutapahtumien yhteensä aiheuttama heräämistodennäköisyys.....</i>	<i>69</i>
4.9.5	<i>Useiden henkilöiden heräämisten arviointi.....</i>	<i>71</i>
4.9.6	<i>Itse arvioitu unihäiriöiden esiintyvyyden riippuvuus melusta</i>	<i>71</i>
4.9.7	<i>Unihäiriöriskien ikäriippuvuus</i>	<i>74</i>
4.9.8	<i>Kortisolieritykseen perustuva yöaikaisen lentomelun haitallisuuden arviointi 75</i>	
4.9.9	<i>Yöaikaisten lentojen rajoittamisen vaikutus unihäiriöiden esiintymiseen</i>	<i>76</i>
4.10	YMPÄRISTÖMELUN VAIKUTUS SYDÄN- JA VERISUONISAIRAUKSIIN JA ENNENAIIKAIISIIN KUOLEMIIN	80
4.11	YMPÄRISTÖMELUN YHTEYS DIABETESEN ESIINTYVYYTEEN.....	90
4.12	YMPÄRISTÖMELUN YHTEYS LIIKA- JA VYÖTÄRÖLIHAVUUTEEN.....	91
4.13	MELU JA MIELENTERVEYS - MASENNUS JA AHDISTUNEISUUS	91
4.14	MELUN VAIKUTUKSET NUORTEN OPPIMISEEN JA KOGNITIIVISIIN TOIMINTOIHIN SEKÄ OPPILAIKEN TERVEYTEEN	93
4.15	MELUVAIKUTUKSET ULKOILU- JA VIRKISTYSALUEILLA	95
4.16	VALITUKSET LENTOMELUSTA.....	96
4.17	MELUN VAIKUTUKSET ELÄIMIIN JA LUONTOON	98
4.18	MELUVAIKUTUSTEN REVERSIIBELIYS.....	103
5	RAKENNUSTEN ÄÄNENERISTÄVYYS LENTOMELUA VASTAAN.....	104

6	MELUVAIKUTUSTEN RIIPPUVUUDESTA KIITOTEIDEN JA LENTOREITTIENTEN KÄYTTÖSUHTEESTA JA LENTOMÄÄRISTÄ ERI REITEILLÄ.....	109
6.1	KIITOTEIDEN JA LENTOREITTIENTEN KÄYTÖN VAIHTELU.....	109
6.2	MELUVAIKUTUSTEN RIIPPUVUUS MELUN JA MELUALTISTUKSEN VAIHTELUSTA VUODEN ERI PÄIVINÄ	110
6.3	PITKÄN AJAN L_{AEQ} -TYYPPINEN TASO MELUVAIKUTUSTEN INDIKAATTORINA	112
7	MELUNTORJUNTATOIMIEN HYVÄKSYTTÄVYYS	115
8	LENTOMELUA KOSKEVA KANSAINVÄLISEN TUTKIMUKSEN LAAJUUS JA REFEROIDUN TUTKIMUKSEN EDUSTAVUUS	116

Kirjallisuusluettelo

1 ESIPUHE

Ilmailulaitos Finavia päätti kesällä 2007 teettää kirjallisuusselvityksen lentomelun vaikutuksista. Tarkoituksena oli saada kattava kuva viime vuosina julkaistusta alan tutkimuksesta, tutkimustavoista ja tuloksista. Tämä selvitys valmistui vuonna 2008. Vuonna 2016 Finavia päätti, että vuoden 2008 selvitys päivitetään. Päivityksen pääkohteena oli lentomeluvaikutuksia koskevan uuden tutkimuksen huomioon ottaminen.

Finavia oli tilannut vuoden 2008 selvityksen Insinööritoimisto Kari Pesonen Oy:ltä, Helsinki. Päivitys tilattiin samalta toimistolta. Selvitysten laatijan, dipl.ins. Kari Pesosen tiedettiin laatineen useita vastaavan tapaisia selvityksiä muun muassa sosiaali- ja terveysministeriölle ja sen edeltäjille sekä ympäristöministeriölle. Erityisesti on syytä mainita ehdotus lääkintöhallituksen vuoden 1979 meluohjekirjeksi¹³ ja ehdotukset vuosina 1997, 2003, 2005 ja 2007 julkaistuiksi meluohjearvo-ohjeiksi ja niiden soveltamisoppaiksi sekä laaja selitys ”Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita”.^{14, 15, 16, 17, 19, 82} Kari Pesonen osallistui myös asumisterveysasetuksen 545/2015⁹⁸ meluosan laadintaan sekä tämän asetuksen toimeenpano-ohjeen¹⁷ laadintaan.

Kari Pesosen tiedettiin perehtyneen melualaan konsulttitoiminnan ohella myös opetustehtävissä. Hän opetti Teknillisessä korkeakoulussa erikoisopettajana ympäristön ja teollisuuden meluntorjuntaa vuosina 1982 – 2004 ja Helsingin teknillisessä oppilaitoksessa, nykyisin Metropolia, hän opetti vuosina 1978 – 2007 akustiikkaa tuntiopettajana. Kari Pesosella tiedettiin olevan myös hyvät yhteydet alan kansainväliseen tutkija- ja asiantuntijayhteisöön, josta merkinä on muun muassa se, että USA:n meluntorjuntainsinööri-instituutti, INCE/USA, on myöntänyt instituutin hallituksen kutsusta hänelle statuksen Distinguished International Member.

Yhteyshenkilönä Finaviassa on ollut kestävän kehityksen johtaja Mikko Viinikainen.

Yhteystiedot

Insinööritoimisto Kari Pesonen Oy
Sorvaajankatu 9 A 341
00880 Helsinki

Kari Pesonen: +358 400 423 728
sähköposti: Kari.Pesone@welho.com

2 YHTEENVETO

Ihmisten elinikä on kasvanut. Samalla on kasvanut myös se aika, jonka väestö elin-aikanaan altistuu erilaisille terveyteen vaikuttaville tekijöille. Väestön eliniän kas-vaessa monien maiden terveystieteissä on alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota väestön sairastavuuteen, sen syihin ja sairastavuuden vähentämiseen. Sai-rastavuuden ja sen hallinnan ohella on alettu kiinnittää huomiota myös väestön elä-män laatuun. Elin- ja työympäristön melu on todettu yhdeksi monista tekijöistä, jot-ka vaikuttavat väestön sairastavuuteen ja elämän laatuun. Huonon elämänlaadun tiedetään lisäävän sairastavuutta ja hyvän vähentävän. Tämä on ollut yhtenä motii-vina tutkia aiempaa tarkemmin pitkäaikaisen melualtistuksen vaikutuksia sairasta-vuuteen sekä elinympäristön ja elämän laatuun.

Melun sairastavuutta lisäävä vaikutus on melultaan tavanomaisissa asuinympäris-töissä yleensä hyvin pieni verrattuna kaikkien syiden yhteensä aiheuttamaan sairas-tavuuteen niihin tauteihin – esimerkkinä verenpainetauti – joihin asuinympäristön melualtistuksella on nykykäsitysten mukaan jokin osuus.

Melun vaikutus altistuneiden itse arvioimaan elämän ja elinympäristön laatuun on paljon merkittävämpi ja selvempi, kuin itse arvioitu vaikutus sairastavuuteen. Vai-kutusta elämän ja elinympäristön laatuun sekä subjektiiviseen hyvinvointiin tutki-taan pääasiassa kyselytutkimuksin. Tulokset riippuvat siitä, millaisia kysymyksiä tehdään, mikä tutkijain kielelle käännettynä tarkoittaa: millaisin tai kuinka herkin/epäherkin mittarein itse arvioidun laadun ja hyvinvoinnin riippuvuutta melu-oloista tutkitaan. Tulosten tulokinnan vaikeutena on se, että meillä ei ole mitään objektiivista referenssiä, mihin elämän laadun- ja hyvinvoinnin astetta tai suuruutta verrattaisiin. On vain sanallinen arvio tai lukuarvo jollakin asteikolla.

Kiusallisuus, eli kyselytutkimuksin mitattu altistettujen arvio asuinympäristön me-lun kielteisyydestä, on tullut tärkeimmäksi kielteisten meluvaikutusten mitaksi arvi-oitaessa ihmisen elinympäristön akustista laatua. Unihäiriöitä pidetään nykyisin tärkeimpänä melun terveyshaittana. Nämä kaksi, kiusallisuus ja unihäiriöt, maini-taan ympäristömelun päävaikutuksiksi esimerkiksi EU:n vuoden 2002 ympäris-tömeludirektiivissä.

Kirjallisuudessa on esitetty lukuisia vasteita sille, kuinka näiden molempien voimakkuus ja esiintyvyys riippuvat eri tutkimusten mukaan melusta ja melualtis-tuksesta. Tähän selvitykseen on kerätty näitä vasteita ja tietoja tutkimuksista. Tutki-mukset, joihin vasteet perustuvat, ovat tehty suureksi osaksi maissa, joissa vuoden-aikavaihtelut, elintapojen vaihtelu vuodenaikojen mukaan sekä vuodenaikavaihte-luiden vaikutukset melun tuottoon ja etenemisvaimentumiseen ovat pienempiä ja vähemmän vaihtelevia kuin Suomessa on tyypillistä.

Suurimmassa osassa vaikutustutkimuksia altistavan melun voimakkuus on arvioitu lasketun melutason perusteella. Osassa tutkimuksia arvio altistavasta melusta perus-tuu melko lyhytaikaiseen mittaukseen. Eri malleilla ja menetelmillä lasketut ja eri aikoina mitatut melutasot saattavat poiketa melkoisesti toisistaan. Tämä on yksi syy eri tutkimusten vaikutusvasteiden vaihtelulle ja osaltaan myös sille, että melun voi-makkuus selittää vain pienen osan vaikutusten vaihtelusta. Toinen monista vaihte-lun syistä on se, että monissa tutkimuksissa osalla melultaan erilaisista asuinalueista

on ollut hyvin vähän koehenkilöitä, esimerkiksi vain 15. Jos tällaisella alueella on verenpainetta sairastavia viisi ($\text{odds} = 5/10 = 0,5$) kahden ($\text{odds} = 2/13 = 0,154$) asemasta, ero näkyy matemaattisessa riskianalyysissä suurena riskierona ($OR = 0,5/0,154 = 3,25$), mutta ero voi olla näin pienessä otoksessa sattuman, ei meluallisuuden, aiheuttama.

Säädökset edellyttävät maankäytössä ja ympäristölupaharkinnassa otettavan huomioon myös vaikutukset eläimiin ja luontoon. Vaikka vaikutuksia eläimiin ja luontoon on tutkittu paljon, näistä vaikutuksista tiedetään paljon vähemmän kuin vaikutuksista ihmisiin. Suurimmalle osalle maailman eläimistä ei edes tiedetä niiden kuuloaistin herkkyyttä (kuulokynnystä) eli sitä, mikä on eri taajuuksilla hiljaisiin kuultu ääni. Hyönteisten kuulosta ja meluvaikutuksista on tätäkin vähemmän tietoa. Eläinten kokemien meluvaikutusten tutkimusta vaikeuttaa se, että suurimpaan osaan melun tuottoa liittyy ihmisten ja/tai meluavien laitteiden oleskelu tai liikkuminen tutkittavassa elinympäristössä tai lähellä sitä. Monet tutkimukset päätyvät siihen, että melun tuottoon liittyvä ihmisten oleskelu ja liikkuminen aiheuttaa suurempia häiriöitä, kuin äänienergia eli itse melu.

Rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys (ja ikkunoiden aukipitotavat/tarpeet) vaikuttavat ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuuteen. Jotkut vaikutukset, kuten ulkoa sisään kuuluvan melun aiheuttamien unihäiriöiden esiintyvyys, riippuvat ainakin periaatteessa ulkokuoren tuottamasta vaimennuksesta, mutta esimerkiksi mitatut, asukkaita altistavat sisämelutasot ja asuinalueen melun kiusallisuus riippuvat hyvin huonosti rakennuksen ulkokuoren ääneneristävyydestä.

3 JOHDANTO

Asuin- ja elinympäristön melua ja sen vaikutuksia on tutkittu pitkään. Ensimmäinen tunnettu taajamien melututkimus tehtiin vuonna 1929.¹ Ensimmäinen tunnettu meluhaittoja koskeva kyselytutkimus tehtiin vuonna 1943.² Vuonna 1996 kansainvälisessä kirjallisuudessa raportoituja tutkimuksia laskettiin olevan yli 350 ja vuonna 2002 yli 520.^{3, 4} Nykyisin ympäristömelun terveydellisistä vaikutuksista ilmestyy ammattilehdissä pari sataa uutta julkaisuja vuosittain.* Esimerkiksi terveysalan ammattilehtiä referoivasta PubMed[†] tietokannasta löytyy 296 vuonna 2016 julkaistua tutkimusartikkelia hakusanalla ”health effects environmental noise” ja 16 hakusanalla ”health effects aircraft noise”. Kustannusyhtiö Elsevierin omia lehtiään referoiva ScienceDirect[‡] mainitsee viimeksi mainitulla haulla 233 julkaisua vuonna 2016. Vastaavat luvut vuodelta 2017 olivat 197, 15 ja 371. Tieteellisten julkaisujen hakukone Google Scholar[§] löysi vuodenvaihteessa 2016/2017 noin 6 500 vuonna 2016 julkaistuksi merkittyä terveysvaikutusjulkaisua, jotka koskevat lentomelua tai, joissa mainitaan lentomelu. Vastaava luku vuonna 2017 julkaistuksi merkitystä oli vuodenvaihteessa 2017/2018 4060.

Ensimmäinen laaja ($N^{**} = 3\,635$) tutkimus, jossa selvitettiin lentomelun kiusallisuutta ja sen syitä tehtiin USA:ssa vuonna 1953.⁵ Tämän tutkimuksen taustalla oli muun muassa se, että kahden perättäisen lento-onnettomuuden⁶ vuoksi yleisön odottamattoman voimakas kielteinen reagointi lentotoimintaan ja sen meluun oli johtanut yhden kentän väliaikaiseen sulkemiseen. Tutkimuksen päätarkoituksena oli selvittää voimakkaan reagoinnin syyt. Pääsyiksi todettiin lentoliikenteeseen assosioituvat, turvallisuushäiriöiden virittämät pelot ja lentokoneiden kasvaneen liikenteen melu, johon ei oltu osattu kiinnittää huomiota.^{7, 8, 9} 1950- ja 1960-luvun lentomelututkimukset johtivat muun muassa siihen, että ilmailuviranomaiset vahvistivat lentokoneiden melupäästöille ensimmäiset tyyppihyväksyntäraajat.¹⁰ Kuten tunnettua, tyyppihyväksynnän meluvaatimukset ovat vuosien mittaan sittemmin kiristyneet.

Edellä mainittua vuoden 1953 kyselytutkimusta voidaan pitää jonkinlaisena merkki-paaluna myös lentomelun aiheuttaman kiusallisuuden (engl. annoyance) tutkimukselle. Tarvittiin muuttuja, joka mittaisi altistettujen kokemaa meluun assosioituvaa kielteisyyttä ja menetelmä, jonka avulla voitaisiin tutkia ja selittää tämän kielteisyyden syitä. Käyttäytymistieteissä käytössä vakiintunut kyselytutkimusmenetelmä ja vastausten monimuuttuja-analyysit tarjosivat valmiin ”työkaluympäristön”. Tarvitsi vain testein selvittää validit ja reliabelit kysymysosiot. Matemaattiset menetelmät olivat jo olemassa.^{11, 332, 331}

Lentomelun kiusallisuuden todettiin 1950- ja 1960-luvun tutkimuksissa riippuvan melun voimakkuuden lisäksi monista tekijöistä ja oloista, kuten

* Nykyisin on yleistä, että saman tutkimuksen tuloksia julkaistaan useana versiona, kukin eri julkaisussa, kuten ammattilehdissä ja kongressijulkaisuissa. Tällainen lisää hakukoneiden referoimien julkaisujen määrää.

† <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

‡ <http://www.sciencedirect.com/>

§ <http://scholar.google.fi/> hakusanat: aircraft+noise+health+effects

** N on tutkimukseen osallistuneiden, kyselytutkimuksissa (hyväksytysti) vastanneiden, määrä. Sairauksia koskevissa riskitutkimuksissa N sisältää melulle altistettujen lisäksi ei-altistetut eli verrokki eli ei-altistetun kohortin tai molemmat luvut ilmoitetaan erikseen.

- erilaisista häiritsevyysvaikutuksista, kuten itse arvioidusta eli subjektiivisesta sekä myös objektiivisesti mitatusta unen- ja puheenhäirinnän voimakkuudesta,
- lentoliikenteen turvallisuushkiin liittyvien asenteiden ja pelkojen voimakkuudesta ja laadusta, kuten maahanputoamismahdollisuudesta, johon liittyy vää pelkoa esimerkiksi voimakas ylilennon melu vahvistaa,
- arvioista, oletuksista tai uskomuksista, että lentomelu on vaaraksi terveydelle ja hyvinvoinnille,
- arvioista, oletuksista tai uskomuksista, että lentotoiminnan harjoittajat toimivat säädösten tai altistettujen edun vastaisesti eli kyseessä on epäluottamus reiluuteen ja avoimuuteen,
- sekä siitä, miten tärkeäksi tai ei-tärkeäksi tahi kielteiseksi tai myönteiseksi altistetut kokevat lentotoiminnan harjoittamisen yleensä ja asuinalueensa/seutunsa kannalta erityisesti.

Tunnetusti lentokoneet, etenkin suihkumoottorikoneet, ovat olleet meluisia ja tunnetusti lentokenttien ja reittien lähellä asuvat ovat valittaneet lentoliikenteen melusta. Tämä selittää sen, että suuri osa asuinympäristön meluvaikutustutkimuksista on kohdistunut lentomeluun. Tutkimus on tuottanut tulosta. Nykyiset suihkumatkustajakoneet ovat aikaisempaa hiljaisempia, niiden ”melujalanjäljet”¹² ovat aikaisempaa pienempiä ja monien siviililiikenteen kenttien melualueet ovat pienentyneet siitä huolimatta, että operaatiomäärät ovat kasvaneet.

Parin viimeisen vuosikymmenen aikana vaikutustutkimus on suuntautunut entistä enemmän sellaisiin melun vaikutuksiin, joilla katsotaan olevan merkitystä väestön sairastavuuden ja elämän laadun kannalta. Tässä selvityksessä on tarkasteltu erityisesti lentomelun kiusallisuutta sekä vaikutuksia uneen, sydän- ja verisuonitauteihin sekä vaikutuksia nuorten oppimisympäristössä, vaikutuksia eläimiin ja luontoon sekä rakennusten ulkokuoren vaimennusta lentomelulle.

Selvityksessä on rajoitettu käsittelemään vain niitä vaikutuksia, joille on esitetty valideja riippuvuuksia, kuten annosvasteita tai tilastollisia riskilukuja, lentomelun tai lentomelualtistuksen voimakkuudesta. Esimerkiksi ylilentojen aiheuttama puheenhäirintä on vaikutus, jonka asteelle tai voimakkuudelle ei ole olemassa tällaisia yleisesti hyväksyjä vaikutusvasteita. Tästä syystä lentomelun puheenhäirintää ei ole tarkasteltu erikseen.

Edellä mainitut 1950- ja 1960-luvun lentomelun tutkimukset vaikuttivat Suomessa muun muassa siihen, että allekirjoittaneen konsulttityönä tekemässä ehdotuksessa lääkintöhallituksen vuoden 1979 meluohjekirjeeksi¹³ kiusallisuuden (engl. annoyance) katsottiin mittaavan eri vaikutusta kuin erilaisten häiritsevyysvaikutusten (engl. disturbance), jotka kuvaavat/mittaavat melun vaikutuksia toimiiin tai tekemiseen tahi edellytyksiin suoriutua toimista ja tekemisistä. Tämä kansainvälistä vaikutustermiologiaa vastaava käytäntö on jatkunut sosiaali- ja terveyshallituksen, sittemmin sosiaali- ja terveysministeriön ohjeissa ja oppaissa, joita on julkaistu allekirjoittaneen konsulttityönä tekemien ehdotusten pohjalta tai selvityksinä.^{14, 15, 16, 17, 18, 19, 82} Tässä selvityksessä on noudatettu tätä terminologiaa.

4 MELUN VAIKUTUKSET

Melulla – tai oikeammin melulle altistumisella – on monenlaisia vaikutuksia. Näitä vaikutuksia nimitetään melureaktioiksi tai -vasteiksi. Vaste ymmärretään usein riippuvuudeksi, joka kuvaa vaikutuksen voimakkuuden tai esiintyvyyden (yleisyyden, levinneisyyden) riippuvuutta melun voimakkuudesta tai muusta sen ominaisuudesta. Suurin osa tutkimuksista koskee melun vaikutuksia ihmisiin ja ihmisen kokemaan elinympäristöön. Melun tiedetään vaikuttavan myös eläimiin ja luontoon. Vaikutuksia eläimiin ja luontoon on tarkasteltu erikseen luvussa 4.17

Melu – lentomelu mukaan luettuna – poikkeaa muista ympäristön terveyteen, viihtyisyyteen ja elinympäristön laatuun vaikuttavista tekijöistä, kuten ionisoivasta säteilystä, kemikaaleista* tai pienhiukkasista, siinä, että sen havainnointiin on erityinen aistinelin, kuuloaisti. Altistetut pystyvät tekemään omia arvioitaan kulloisenkin melun syistä ja ominaisuuksista sekä palauttamaan muististaan mielikuvan aiemmin esiintyneestä melusta, sen syistä ja ominaisuuksista tekemistään arvioista. Ristiriitatilanteita syntyy helposti etenkin silloin, kun melun aiheuttajan, melututkijoiden tai viranomaisten ilmoittamat arviot melusta tai melun vaikutuksista eivät altistetun mielestä vastaa sitä, mitä hän itse kuulee tai kokee – tai olettaa tulevaisuudessa kuulevansa ja kokevansa.

Meluvaikutukset jaetaan usein kuuloon ja sen toimintaan (tai toimintaedellytyksiin) kohdistuviin sekä kuuloaistin ulkoisiin (engl. non-auditory) vaikutuksiin. Esimerkiksi melun aiheuttama ohimenevä ja pysyvä kuulon alentuminen ovat kuuloaistin toimintaan kohdistuvia vaikutuksia. Kiusallisuus ja unihäiriöt puolestaan ovat ulkoisista vaikutuksista, joilla ei ole nykykäsitysten mukaan suoraa vaikutusta kuuloon.

Ihmisten elinikä on kasvanut viimeisen 100 vuoden aikana suuresti. Eliniän pidentyessä on alettu – tai jouduttu – kiinnittämään aiempaa enemmän huomiota sellaisiin ympäristövaikutuksiin, jotka lisäävät väestön sairastavuutta ja auttavat selittämään sairauksien syitä sekä vähentämään sairastavuutta. Asuin- ja työympäristön melu on todettu yhdeksi sairastavuuteen vaikuttavaksi tekijäksi. Voimakas, jatkuva melu lisää väestön sairastavuutta.

Viime vuosina on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota myös ympäristön ja elämän laatuun sekä laadun merkitykseen sairastavuutta lisäävänä tai vähentävänä tekijänä.^{20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 56, 35, 36, 37, 38} Huonon ympäristön ja elämän laadun on todettu lisäävän sairastavuutta, hyvän vähentävän. Tutkimukset osoittavat, että haitalliseksi tai kielteiseksi koettu asuinympäristön melu on yksi monista tekijöistä, jotka huonontavat ympäristön ja elämän laatua. Tämä argumentti on ollut yhtenä perusteena etsittäessä heikkojakin yhteyksiä ja selityksiä sille, missä määrin ympäristön ja elämän laatua huonontava melu vaikuttaa kansanterveyden kannalta merkittävimpiin tauteihin sairastavuuteen. Kun tutkijat raportoivat mielellään heikoistakin yhteyksistä ja korostavat tätä kautta lisätutkimusten tarvetta yhteyksien varmentamiseksi, niin poliitikkojen ja viranomaisten asia on harkita, millaisiin tutkimusnäyttöihin kansallinen melupolitiikka ja kansalliset melua koskevat ohjeistukset ja suunnitteluohjeet perustetaan.

* Joitakin terveydelle vaarallisia tai haitallisia elinympäristössä esiintyviä kemiallisia aineita voidaan haistaa, nähdä tai tuntea esimerkiksi kirvelynä silmissä.

Melun tunnettujen vaikutusten vakavuus ja esiintyvyys vaihtelevat suuresti. Osa vaikutuksista on nykykäsitysten mukaan terveyttä haittaavia tai vaarantavia, osa puolestaan ei aiheuta mitään sellaisia elimellisten toimintojen tai käyttäytymisen muutoksia, joita (hoitavan) lääketieteen kriteereiden mukaan pitäisi katsoa terveydelle tai elintoiminnoille haitalliseksi tahi esimerkiksi reaaliomaisuuden tai asuinympäristön arvoa tai arvostusta (melun vuoksi) muuttavaksi. Tasapuolisuuden vuoksi on mainittava, että melulla – ja etenkin melua tuottavalla toiminnalla – on usein myös hyödylliseksi katsottavia vaikutuksia.^{39, 40, 41, 42, 43, 44} Esimerkiksi arvioitaessa liikenteen terveysvaikutuksia ja terveysvaikutusten vakavuutta unohdetaan usein ottaa huomioon se, miten liikenteen tuottama kansantulo ja liikenteen työpai-
kat vaikuttavat myönteisesti väestön terveyteen ja elämän laatuun.

Kuvassa 1 on esitetty eräs meluvaikutusten ja melun aiheuttamien sairauksien, ”melusairauksien”, vakavuuden luokittelu. Vastaavaa pyramidia käytetään monien muidenkin elinympäristössä esiintyvien altisteiden terveysvaikutusten luokittelussa.^{45, 22} Kuvan 1 pyramidin alle voitaisiin lisätä joukko melun ja sen tuoton/tuottamattomuuden (esim. liikenteen) potentiaalisia vaikutuksia ja niiden indikaattoreita. Esimerkiksi kansalaisten fyysisen liikunnan, autoistumisen ja (melu)sairauksien välillä on tilastollisia yhteyksiä, jotka tukevat sairastavuuden vähentämistä lisäämällä liikuntaa autonkäyttörajoituksin.^{46, 47, 48}



Kuva 1: Meluvaikutusten luokittelu vakavuuden perusteella. Eri vaikutusten esiintyvyyssuhteet (ihmisten määrä, laatikoiden vaaka-akselien keskinäiset pituussuhteet) eivät vastaa todellisuutta.⁴⁹

Melulle altistetut pystyvät omien kokemustensa perusteella arvioimaan (kuva 1) vain alimman, tai kahden alimman, vakavuusasteen henkilökohtaisesti kokemiaan vaikutuksia. Altistetut eivät pysty kokemustensa perusteella itse luotettavasti arvioimaan, mikä osuus melulla on ollut – tai tulevalla pitkäaikaiselle altistuksella voi olla – heidän mahdollisesti potemiin somaattisiin (elimellisiin, fyysisiin) tai mielen sairauksiin.* Altistetut eivät myöskään pysty kokemustensa perusteella arvioimaan luotettavasti, mikä osuus melulla ja melulle altistumisella on yleiseen väestön sairastavuuteen. Toisaalta altistetut pystyvät pätevästi arvioimaan, missä määrin he kokevat asuinalueensa jonkun melun kiusallisena tai häiritsevänä, esimerkiksi, mis-

* Siksi, että altistetut eivät pysty itse arvioimaan melun osuutta sairauteensa, puhutaan myös tiedostamattomista meluvaikutuksista.

sä määrin omaan makuuhuoneeseen kuuluva yöaikainen melu huonontaa subjektiivista unen laatua 10-portaisella asteikolla: ei lainkaan (0) – äärimmäisen paljon (10). Kokonaan eri asia sitten on, kuinka luotettavasti tällaiset arviot ennustavat henkilökohtaisia kolmen ylimmän vakavuusluokan vaikutuksia.

Kuvan 1 toiseksi alimman luokan vaikutuksista, reaktioista, voidaan mainita esimerkiksi yöaikaisten melutapahtumien aiheuttamat vaihtelut aivosähkökäyrissä, verenpaineessa, sykkeessä tai niin sanottujen stressihormonien määrässä aamuvirtaussa. Vaikutusten voimakkuuden mittana käytettyjen henkilökohtaisten mittausarvojen perusteella on kuitenkin mahdotonta päätellä yksikäsitteisesti ja tarkasti, miten esimerkiksi jokin määrä (yössä/vuodessa) EEG-heräämiseksi luokiteltuja tapahtumia tai aamuvirtsan eri hormonien pitoisuus ja jakautuma vaikuttavat kyseisen henkilön terveydentilaan, saattikka väestön sairastavuuteen. Voimme esittää epidemiologisten tutkimusten perusteella vain tilastollisia yhteyksiä ja riskejä sille, miten kolmen ylimmän luokan vaikutusten esiintyvyys ja ilmaantuvuus riippuvat suuresta väestöjoukosta mitatuista arvoista.

Melultaan tavanomaisessa elinympäristössä kuvan 1 vakavat melun terveysvaikutukset esiintyvät hyvin heikkoina. Melun aiheuttaman sairastavuuden osuuden esiin kaivaminen edellyttää laajoja epidemiologisia tutkimuksia, joissa verrataan melultaan erilaisilla alueilla pitkään asuneiden terveydentilaa ja erilaisten sairauksien esiintyvyyttä keskenään. Vaihtoehtona on hyvin pitkään kestävät pitkittäistutkimukset, joissa seurataan samojen, eri melualueilla asuvien henkilöiden sairastavuutta tutkittaviin tauteihin. Melun osuutta on hyvin vaikea – monien mielestä mahdotonta – eristää luotettavasti muiden altisteiden ja olosuhdetekijöiden vaikutuksista. Esimerkiksi asuinalueilla, joilla liikenne on vilkasta ja liikennemelu voimakasta, asukkaiden verenpaine saattaa olla tilastollisesti hieman korkeampi⁵⁰ kuin alueilla, joilla liikenne ja sen melu ovat hiljaisia.⁵³⁷ Myös päivastainen riippuvuus, pieni systolisen ja diastolisen verenpaineen lasku ulkomelun kasvaessa on todettu.⁵¹

Liikenteen kaasumaisten päästöjen ja pienhiukkasten vaikutusten tutkijoiden mukaan liikenteen terveysvaikutusten pääsyynä on ilman saasteet, kun melututkijat yleensä päätyvät siihen, että merkittävin syy on melu.^{52, 528, 532, 537, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59} Syyn tai syyosuuden erottamista vaikeuttaa se, että ilman saasteet eivät välttämättä esimerkiksi vaikuta tilastollisesti merkittävästi suoraan verenpaineeseen, vaan aiheuttavat tauteja, jotka vaikuttavat verenpaineeseen tai lisäävät sydän- ja verisuonitautien riskiä. Alueilla, joilla liikennemelu on voimakasta esimerkiksi myös väestön vähäinen fyysinen liikunta voi olla yksi piilevä (liikuntatottumuksia ei yleensä kysellä meluvaikutustutkimuksissa) sairastavuutta lisäävä tekijä.

Monet meluvaikutukset ovat konteksti- eli olosuhde- ja ympäristöriippuvaisia. Esimerkiksi 100...120 dB(A) hetkelliseen äänitasoon yltävä musiikki on konserttiyleisölle nautintoa aiheuttavaa, mutta saattaa 30 dB(A) tasoon (L_{Aeq} -taso) makuuhuoneessa yltäessään estää nukahtamisen. Oman moottorikelkalla tai perämoottoriveineellä ajelun melun ei koeta huonontavan erämaan hiljaisuutta, mutta moni kokee naapurin tuottamana vastaavan melun rikkovan luonnon rauhaa heti kun ääni on kuulohavainnoin erotettavissa. *Pelkkä äänitaso, so. desibelilukema, ei ole meluvaikutusten yksikäsitteinen mitta tai indikaattori.*

Olisi toivottavaa, että olisi tieteellisesti valideja – tai edes yhteiskuntapoliittisin päätöksin sovittuja – menetelmiä, joita käyttäen voitaisiin verrata erilaisten sairauksien ja ympäristöterveysvaikutusten ja ympäristön aiheuttamaksi katsottujen sairauksien keskinäisiä vakavuus- ja haitta-asteita. Sairauksille luokitteluja on, mutta useimmille melu- ja ympäristöterveyshaittoille ei ole. Taulukossa 1 on esitetty muu-

tamasta lähteestä kerättyjä sairauksien haitta- ja vakavuusasteiden luokituksia. Käytetyn asteikon nolla vastaa täysin tervettä tai haitatonta terveydelle ja arvo yksi suurinta sairauden vakavuutta tai haitta-asetetta, esimerkiksi kuolemaa. Meluvaikutusten vakavuusarviot perustuvat Sveitsin tapaturmavakuutusrahaston (SUVA⁶⁰) lääkäreiden arvioimaan luokitteluun⁶¹, de Hollanderin väitöskirjassaan⁶⁵ ja WHO:n Euroopan osaston esittämiin²⁹ arvioihin.

EU:n ympäristömeludirektiivin 2002/49/EC⁷⁸ uudistamistarpeiden analysoinnin yhteydessä on esitetty vakavan kiusallisuuden painoarvosuosituksiksi 0,02 (vaihtelualue 0,01 – 0,12) ja unenhäirinnän painoarvosuosituksiksi 0,07 (vaihtelualue 0,04 – 0,1).⁶⁶

Taulukon 1 vakavuusluokittelu perustuu lääketieteen ja kansanterveyden asiantuntijoiden arvioihin ja laskelmiin. Potilaat, vaikutuksista kärsivät ja potilaiden omaiset – kuten myös poliitikot kansanterveyden ympäristönsuojelun painopisteistä ja rahoituksen ohjauksesta päättäessään – todennäköisesti päätyvät toisenlaisiin arvioihin.

Taulukko 1: Esimerkkejä tautien ja kolmen meluvaikutuksen vakavuuden luokittelusta. Vakavuusasteet vaihtelevat 0 – 1.^{61, 62, 63, 64, 65, 66, 29, 67}

Terveydentila, sairaus, meluvaikutus	Haitta- tai vaikeusaste
Täysin terve	0
lenssairaus, gingiviitti (kiinnityskudoksen tulehdus)	0
lenssairaus, parodontiitti (yli 6 mm syviä taskuja)	0,01
Lievä heikkonäköisyys (hieman vaikeutta lukea pientä sanomalehtitekstiä, ei vaikeutta tunnistaa kasvat 4 m etäisyydeltä [silmälasein])	0,02
Lievä kuulon alenema aikuisiässä (25 – 34 dB kuulokyn- nys)	0,01 – 0,02
Lievä tai kohtuullinen astma (oireeton ilman lääkitystä tai lääkityksellä)	0,03 – 0,04
<i>Melun aiheuttama vakava⁶⁸ kiusallisuus</i>	0,012 – 0,12
<i>Melun aiheuttama kommunikoinnin vaikeutuminen</i>	0,033
Lievä kuulon alenema aikuisiässä (35 – 40 dB kuulokyn- nys, hieman vaikeuksia saada selvää keskusteluista tai osallistua niihin aktiivisesti)	0,03 – 0,04
Alkava eturauhasen liikakasvu	0,04
<i>Melun aiheuttamat unihäiriöt</i>	0,055 – 0,10
Krooninen hepatiitti B infektiio (keltatauti)	0,06
Diabetes (kun ei merkittäviä komplikaatioita)	0,07
Unettomuus	0,10
Kuurous ja vaikea aikuisiän huonokuuloisuus	0,21 – 0,37
Sydäninfarktista toipuneet, infarktista pitkä aika	0,23 – 0,30
Vaikea heikkonäköisyys (ei näe lukea pientä sanoma- lehtitekstiä, ei tunnista kasvoja 4 m etäisyydeltä [silmäla- sein, so. näkö korjattuna])	0,40 – 0,50
Akuutti sydäninfarkti	0,29 – 0,80
Keskivaikea dementia (ei pysty elämään ilman valvon- taa, joka ei kuitenkaan jatkuva)	0,50 – 0,60
Sokeus	0,19 – 0,60
Vaikea masennus (depressio, johon liittyy psykoosi ja/tai hallusinaatioita)	0,70 – 1,00

Haitta- ja vakavuus/vaikeusasteen luokittelussa otetaan huomioon erilaisia arvotuksia, kuten eliniän lyhentymisen ja sairastavuuden odotettavissa olevat kulut.^{69, 65, 70, 71, 72, 73} On kyseenalaista, missä määrin vahvasti arvotusperusteisia arvioita voidaan siirtää sellaisenaan maasta toiseen. Esimerkiksi sosiaaliturvassa, eri tauteihin sairastavuudessa ja terveydenhuollossa on maakohtaisia eroja, jotka pitäisi ottaa huomioon. Toisena esimerkkinä eroista se, että Välimeren maissa sairastavuus sydän- ja verisuonitauteihin on alhaisempi kuin Suomessa. Tästä syystä saman meluallistuksen vaikutus ilmaantuu erilaisena osuutena tai riskinä sairastua näihin tauteihin melun vuoksi.⁷⁴ Lisäksi Välimeren maissa rakennusten ulkokuoren alhaisemman ääneneristävyyden ja erilaisten ikkunoiden aukipitotapojen vuoksi saman ulkomelun tuottama sisämelu on erilainen kuin Suomessa. Tämä näkyy muun muassa unihäiriöiden esiintyvyydessä sekä siinä, miten ulkoa sisään kuuluva meluosuus vaikuttaa melutauteihin* sairastavuuteen. Nämäkin pitäisi ottaa huomioon arvioitaessa melun osuutta sairastavuudessa eri maissa ja tulosten siirrettävyyttä maasta toiseen. Taulukon 1 arvojen validiutta Suomen oloissa ei ole tarkistettu.

Koska sairauksilla on keskinäisvaikutuksia, niin tutkittaessa asuinympäristön melutauteja olisi syytä selvittää melutautien lisäksi muiden sairauksien esiintyvyys eri melualueilla ja tautien keskinäisvaikutusten osuudet. Esimerkiksi korkean verenpaineen on todettu lisäävän riskiä saada voimakkaasta pitkäaikaisesta työmelusta pysyvä kuulovamma ja kuulonalenema saattaa vaikuttaa verenpaineeseen tai siihen, miten ympäristömelu vaikuttaa altistetun verenpaineeseen. Monet työperäiset altisteet (epäorgaaniset ja orgaaniset kemialliset aineet, alkuaineet, pölyt, ym.) ja työympäristön ja -yhteisön olot lisäävät verenpaineen riskiä ja stressiä.⁷⁵

4.1 POIKITTAIS- JA PITKITTÄISTUTKIMUKSET

Terveysvaikutustutkimukset, melututkimukset mukaan lukien, jaetaan vaikutuksen selvittämisstrategian perusteella kahteen luokkaan: 1) *poikittaistutkimukset* (engl. cross sectional study tai cross study), joissa verrataan samanaikaisesti voimakkuudeltaan eri meluille altistuneiden vasteita tai vastauksia, kun 2) *pitkittäistutkimuksessa* (engl. longitudinal study) seurataan voimakkuudeltaan eri meluille altistuvien henkilöiden vasteen tai vastauksen kehittymistä henkilötasolla useiden vuosien ajan määrävälillä. Pitkittäistutkimuksia pidetään kroonisen melutaudin tai -vasteen selvittämisen kannalta luotettavampina kuin poikittaistutkimuksia.

4.2 MELUVAIKUTUSTEN SUURUUS, ASTE JA/TAI VAKAVUUS

Meluvaikutuksen suuruus, aste, voimakkuus tai vakavuus arvioidaan ja ilmoitetaan kahta päätapaa käyttäen:

1. Altistetulla havaittavan (subjektiivisesti tai objektiivisesti mitatun/arvioitun) melureaktion voimakkuutta kuvaavalla mittaluvulla. Esimerkkinä vaikkapa tietyn äänialtistustason (L_{AE} eli ASEL) omaavan ylilennon melun aiheuttama valveille heräämisen todennäköisyys tai se, kuinka kiusalliseksi (jollakin asteikolla mitattuna) koehenkilö kokee tietyn ylilennon melun tai asuinalueensa tyypillisen keskimääräisen melun.

* Tässä selvityksessä melutaudeiksi kutsutaan tauteja, joille a) on tautiluokitus ja b) on tutkimuksissa löytynyt tilastollinen taudin esiintyvyyden tai ilmaantuvuuden yhteys asuinalueen ulko- tai sisämeluun. Monilla näistä taudeista on tilastollinen yhteys myös työpaikakamelaaltistuksen voimakkuuteen.

2. Tietyn asteisen vaikutuksen esiintyvyyttä eli prevalenssia kuvaavalla luvulla. Esiintyvyys ilmaisee ”tauditapausten” määrää suhteessa samalle tai samanlaiselle melulle altistuvaan koko väestöön. Tietyn suuruisen ulkomelun, kuten $L_{DEN, vuosi} = 55 \text{ dB(A)}$, vähintään suuresti kiusalliseksi kokevien ihmisten prosenttiosuus [vakiintunut symboli: %HA, eli % Highly Annoyed] on tunnetuin ja maailmassa eniten käytetty haitallisen melun vaikutusta mittaava muuttuja.

Kumpikaan pääatapa ei sovellu kovin hyvin eläinten melureaktioiden ja -vasteiden kuvaamiseen. Esimerkiksi yksittäisen eläimen kokeman meluvaikutuksen subjektiivista voimakkuutta on hyvin vaikea – ellei mahdotonta – mitata. Myös vaikutus luontoon, esimerkiksi maaperään tai kasvillisuuteen, on aluetta, jolle ei löydy tutkimustuloksia eikä yleisesti hyväksyttyjä mittaustapoja.*

Meluvaikutusten yhteiskuntapoliittisen tai yhteiskunnallisen vakavuuden katsotaan riippuvan myös siitä, kuinka usein ja kuinka laajalle levinneinä vaikutuksia on odotettavissa. Esimerkiksi akuuttien vaikutusten vakavuutta arvioitaessa otetaan huomioon, kuinka usein tiettyyn vaikutukseen (esim. valveille heräämiseen) johtavaa melua esiintyy ja kuinka monta tautitapausta on pitkällä ajalla, esimerkiksi vuosittain, odotettavissa. Vaikutusten yhteiskunnallista vakavuutta arvioitaessa otetaan esimerkiksi taulukon 1 tapaisia kroonisten sairauksien vakavuusluokituksia tehtäessä huomioon melun vuoksi kasvaneesta sairastavuudesta sekä menetetystä työ- ja elinajasta koituvat kustannukset. Melun taloudellisessa arvotuksessa otetaan huomioon muun maussa vaikutus kiinteistöjen arvoon.

Koska yksittäisen altistetun (ihmisen) kokeman vasteen voimakkuus korreloi hyvin huonosti (kenttätutkimuksissa) melun voimakkuuteen – melun voimakkuus selittää tyypillisesti vain 2...40 % vaikutuksen (yksilöllisen melureaktion) voimakkuuden vaihtelusta (varianssista) – vaikutuksia on alettu mittaamaan pääsääntöisesti esiintyvyytenä tai riskinä, joiden tilastollinen riippuvuus melun voimakkuudesta on paljon parempi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pystymme arvioimaan paljon luotettavammin esimerkiksi sen, kuinka monta prosenttia tietyn lentomelualueen asukkaista herää tietyn äänen voimakkuuden omaavan ylilennon meluun tai montako heräämistä alueella on vuosittain, kuin sen, keitä nämä ihmiset ovat, kuinka herkästi tietty henkilö herää tai, mihin ylilentoon kukin heistä herää.

4.3 MELUVAIKUTUSTEN AJALLINEN YHTEYS MELUUN JA ALTISTUKSEEN: AKUUTIT JA KROONISET MELUVAIKUTUKSET

Melun vaikutukset voidaan jakaa ajallisen riippuvuutensa ja pysyvyytensä suhteen karkeasti kahteen luokkaan:†

1. Välittömiin eli akuutteihin eli niihin, jotka ilmaantuvat altistuksen (esim. ylilennon) aikana tai välittömästi altistuksen loputtua ja, jotka häviävät tai laimentuvat melko nopeasti altistuksen loputtua.
2. Pitkäaikaisiin, kroonisiin, eli vaikutuksiin, joiden syntyminen edellyttää jatkuva pitkäaikaista tai pitkällä ajalla usein toistuvaa altistumista. Nämä vaikutukset pysyvät ainakin niin kauan kuin henkilön altistus jatkuu tai toistuu, esimerkiksi, niin kauan kuin henkilö asuu melultaan samalla tai samanlaisella asuinalueella. Osa pitkäaikaisvaikutuksista voi jäädä pysyviksi, osa voi ainakin osin ”parantua”, jos altistus vähenee pysyvästi.

* Melun vaikutuksia eläimiin ja luontoon on tarkasteltu jäljempänä luvussa 4.15

† Tarkempi, kolmiluokkainen jako on esitetty luvussa ”Melun vaikutukset ihmisiin”.

Välittömien vaikutusten suuruuden (vakavuuden, esiintyvyyden) katsotaan riippuvan parhaiten melun hetkellisestä voimakkuudesta ja altistuksen kestoista melu- tai altistustapahtumaa kohden. Pitkäaikaista altistumista edellyttävien vaikutusten katsotaan riippuvan parhaiten asuin- tai elinympäristön keskimääräisestä melutasosta eli siitä tyypillisestä melusta, joka altistaa asukasta tai eläintä päivin ja öin vuosien ja vuosikymmenien ajan.⁷⁶

Melun vaikutus sairastavuuteen riippuu validimmin kroonisista vaikutuksista kuin akuuteista.

4.4 MELUN VAIKUTUKSET, YLEINEN RIIPPUVUUS MELUSTA JA ALTISTUKSESTA

Meluvaikutukset voidaan jakaa esiintymiskirjonsa puolesta kahteen luokkaan. Ensimmäiseen luokkaan voidaan ryhmittää ne vaikutukset, joilla on taudin tavoin vain kaksi arvoa: joko tauti on tai sitä ei ole. Esimerkiksi tiedostettu eli valveille herääminen melutapahtumaan on tällainen vaikutus: altistettu joko herää tai ei herää. Myös valittaminen melusta on kaksiarvoinen eli dikotominen meluvaikutus: henkilö joka valittaa tai ei valita. Toiseen luokkaan kuuluvat ne vaikutukset, joiden voimakkuus tai vakavuusaste on jatkuva melun voimakkuudesta tai toistuvuudesta riippuva muuttuja. Esimerkiksi kiusallisuus mitattuna 10-portaisella asteikolla ei-lainkaan kiusallista (0) – äärimmäisen kiusallista (10) on tällainen vaikutus, jolle on mahdollista määrittää esimerkiksi tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden annosvasteen keskiarvon riippuvuus melusta tai tietyn asteisen vaikutuksen (kiusallisuuden) esiintyvyyden riippuvuus melusta.

On myös vaikutuksia, joiden luokka riippuu tutkimustavasta. Esimerkiksi melun vaikutus väestön verenpaineeseen on tällainen muuttuja. Voidaan tutkia, miten asukkaiden (altistettujen) verenpaine (ylä- ja/tai alapaine mmHg) riippuu asuinalueen ulkomelun pitkän ajan L_{Aeq} -tyyppisestä tasosta, kuten lentomelun L_{DEN} -tasosta. Asetetaan verenpaineelle tietty raja-arvo, esimerkiksi 140 mmHg yläpaine, jonka ylittyessä henkilöllä katsotaan olevan verenpainetauti ja alittuessa tautia ei ole. Voidaan myös tutkia verenpaineen riippuvuutta asuinalueen ulkomelutasosta. Yleisimmin tutkitaan (lääkärin toteaman ja lääkitystä edellyttävän) verenpainetaudin esiintyvyyden riippuvuutta asuin ympäristön melutasosta ja pyritään löytämään esimerkiksi melultaan erilaisia alueita vertaamalla, mikä on melun tautia lisäävä osuus. Verenpainetautia sairastavat voidaan selvittää kysymällä altistetuilta (kyselytutkimuksessa) tai hakemalla tarvittavia tietoja ja indikaattoreita kansallisista terveydenhuollon tietokannoista.⁷⁷

Yleensä oletetaan, että meluvaikutuksen voimakkuus (tai tietyn asteisen vaikutuksen esiintyvyys), V , riippuu altistavan melun voimakkuudesta tai voimakkuuden ja altistusajan pituuden yhteisvaikutuksesta eli meluannoksesta, E ,

$$V = f(E). \quad (1)$$

Esimerkiksi EU:n ympäristömeludirektiivissä (2002/49/EC)⁷⁸ on esitetty, että jos, tai kun, meluvaikutuksia arvioidaan, arvioinnin olisi perustuttava kaavan (1) mukaiseen kenttätutkimuksin mitattuun väestövasteeseen eli (tietyn asteisten) haitallisten (terveys)vaikutusten esiintyvyyteen.

Meluvaikutustutkimuksissa yleensä oletetaan, että kutakin henkilöä, eläintä tai kohdetta altistavan melun tai meluannoksen voimakkuudella/suuruudella, E , on vain yksi lukuarvo koko sinä aikana, jonka aikaisen vaikutuksen suuruutta se indikoi. Kuten kuvasta 2 voidaan todeta, lentomelun E (tässä eri päivien L_{DEN} -taso) vaihtelee ja on tilastollisessa mielessä jakautuma. Haettaessa meluvastetta eli vaikutuksen riippuvuutta melun voimakkuudesta, tai annoksen suuruudesta, kullakin altistetulla ja tapauksella (havainnolla, näytteellä) voi olla – kuten jo edellä todettiin – kaavassa (1) vain yksi E :n arvo ja yksi V :n arvo. Kun melu ja/tai annos vaihtelevat ajallisesti, niin vaikutusvastetta haettaessa olisi osattava vastata ainakin kahteen kysymykseen:

- mikä on se jakautuman vaihteluväliltä valittava melun voimakkuuden tai annoksen suuruuden E lukuarvo, joka kuvaaisi parhaiten sitä vakiomelua tai vakiona toistuvaa melua (esim. päivittäinen L_{DEN} -taso), joka johtaa samaan vaikutukseen?
- mikä on se melun voimakkuus tai altistuksen suuruus (E :n lukuarvo), jonka perusteella koehenkilö arvioi (esimerkiksi kyselytutkimuksissa muistinvaraisesti⁷⁹) kokemansa vaikutuksen suuruuden ja, miten tämä eroaa edellisestä E :stä?

Meluvaikutusten riippuvuutta melun ominaisuuksista* tutkitaan sekä laboratorio-oloissa että koti- eli kenttäoloissa. Laboratorio- ja kotioloissa tehtyjen tutkimusten tulokset poikkeavat yleensä merkittävästi toisistaan. Laboratorio-oloissa esimerkiksi koehenkilöiden herkkyys unihäiriöille on paljon suurempi kuin kotioloissa. Laboratorio-oloissa annosvasteiden – vaikutuksen voimakkuuden riippuvuus melun voimakkuudesta tai meluannoksen suuruudesta – korrelaatiokertoimet ovat suuria, yleensä yli 0,9. Kenttätutkimuksissa korrelaatiokertoimet jäävät monesti alle 0,6. Korrelaatiokerroin 0,9 tarkoittaa sitä, että melun voimakkuus selittää $0,9 \cdot 0,9 = 0,8$ osan eli 80 % eri henkilöiden kokeman vaikutuksen voimakkuuden vaihtelusta (varianssista), kun kerroin 0,6 selittää vain $0,6 \cdot 0,6 = 0,36$ eli 36 % vaihtelusta. Kenttätutkimuksissa melun voimakkuuden selitysprosentti voi jäädä jopa 2 prosenttiin, mikä tarkoittaa sitä, että muut syyt kuin melun voimakkuus tai annoksen suuruus selittävät 98 % eri henkilöillä todetun vaikutuksen vaihtelusta. Esimerkiksi pitkän ajan keskimääräinen ulkomelun $L_{Aeq, yö}$ -taso (so. melun voimakkuus) saattaa selittää vain 4 – 5 % siitä unihäiriöiden asteen (voimakkuuden, vakavuuden) vaihtelusta, jonka tietyllä lentomelualueella asuvat asukkaat itse arvioivat lentomelun aiheuttavan.⁴⁶¹ Alhainen selitysprosentti kertoo sen, että koettu unihäiriöiden aste tai vakavuus riippuvat todellisuudessa paljon enemmän muista seikoista kuin lentomelun voimakkuudesta tai toistuvuudesta. Esimerkiksi tutkittaessa yksilöllistä unihäiriöherkkyttä muun samanaikaisen sisämelun ja rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden tapauskohtainen vaihtelu vaikuttavat selitysprosenttia alentavasti.

Vaikutustutkimuksia tehdään sekä akuuteissa altistustilanteissa että tilanteissa, joissa altistus on retrospektiivistä ja prospektiivista. Retrospektiivinen altistus on jo tapahtunut tutkimustilannetta aikaisemmin, eli tutkitaan esimerkiksi ohilentojen muistinvaraista äänekkyyttä, unenhäirintää tai kiusallisuutta viimeisen vuoden ajalta. Prospektiivinen altistus on tulevaisuudessa tapahtuvaa. Esimerkiksi altistuvien ottaessa kantaa lentokenttien laajennuksiin tai uusien kenttien ympäristölupiin, kyse

* Suomen Ympäristönsuojelulaki 527/2014 tuntee (§ 142) käsitteen ääniympäristön laatu: Kaikessa toiminnassa on tavoiteltava sellaista ääniympäristön laatua, jossa haitallista tai vaarallista ääntä (melua) ei esiinny terveyshaittaa tai muuta merkittävää lain 5 §:n 1 momentin 2 kohdassa tarkoitettua seurausta tai sen vaaraa aiheuttavassa määrin. Ääniympäristön laatu on laajempi käsite kuin äänen tai melun ominaisuus.

on tulevaisuudessa esiintyvän melun ja sen haittojen arvioinnista. Arvioidut retrospektiiviset että etenkin prospektiiviset meluvaikutukset voivat olla huomattavasti suurempia kuin ne todellisuudessa ovat vastaavissa meluoloissa.^{80, 81, 82, 83, 84}

Kun tarkastellaan kaavan (1) mukaisia vasteita, on syytä kysyä, missä määrin vaste on reversiibeli eli palautuuko vaikutus ennalleen (vastekäyrän mukaiseksi), jos meluannos ensin kasvaa tietyn määrän ja sitten palautetaan esimerkiksi meluntorjuntatoimin entiselleen? Reversiibeliyttä on tarkasteltu luvussa 4.18.

Tiedeyhteisö, muun muassa ICBEN⁸⁵, on pyrkinyt harmonisoimaan meluvaikutustutkimusten menetelmiä. Esimerkiksi on laadittu suositus kyselytutkimusten kiusallisuutta mittaavista asteikoista.⁸⁶ EU:n ympäristömeludirektiiviä valmisteltaessa yhdeksi tavoitteeksi julistettiin jäsenmaissa tehtävien meluvaikutustutkimusten harmonisointi. Tästä esimerkkinä on direktiivin artiklassa 6 ja liitteessä III määritelty periaate: melun arvioinnin perustuessa haitallisiin vaikutuksiin, arvioinnin olisi perustuttava kentällä (so. kotioiloissa) mitattuihin annos-vaikutusvasteisiin.⁸⁷ EU:n parlamentin ja neuvoston päätöksessä 1386/2013/EU ”Hyvä elämä maapallon resurssien rajoissa” on kohdassa 54 asetettu tavoite ”Pannaan täytäntöön unionin ajantasaistettu ja viimeisimmän tieteellisen tiedon mukaan mukautettu melupolitiikka sekä toimenpiteitä melun ehkäisemiseksi sen lähteellä, mukaan luettuna parantunut kaupunkisuunnittelu”.⁸⁸

4.5 MELUN VAIKUTUKSET, VOIMAKKUUS- ELI VAKAVUUSASTEEN JA YLEISYYDEN ESITTÄMISTAVAT

Kaksiarvoisten vaikutusten yleisyys voidaan ilmoittaa kahdella luvulla: esiintyvyydellä (engl. prevalence) ja ilmaantuvuudella (engl. incidence). Tautien *esiintyvyys* tai *vallitsevuus* eli prevalenssi ilmaisee tautitapausten määrää suhteessa koko väestöön; meluvaikutuksista puhuttaessa suhteessa tietyllä melualueella asuvien tai tietylle melulle altistuvien määrään verrattuna. Tautien *ilmaantuvuus* eli insidenssi tarkoittaa uusien tapausten määrää henkilövuosia (tai muuta aikajännettä) kohden.^{89, 90}

Voimakkuudeltaan tai vakavuudeltaan moniarvoisten, jatkuvasti muuttuvien vaikutusten riippuvuus melusta esitetään yleensä vastekäyränä (yhtälö tai graafi), joka kuvaa vaikutuksen jonkun tilastollisen tunnusluvun riippuvuutta melun voimakkuudesta. Tilastollinen tunnusluku voi olla esimerkiksi pelkkä keskiarvo (esim. tietyllä melualueella asuvien verenpaineen keskiarvo tai meluun heräämisten keskiarvo/yö) tai keskiarvon lisäksi esitetään jakautuman hajontaa (vaihtelua) kuvaavat tiedot, esimerkiksi rajat, joiden sisään 95 %, 90 % ja 68 % havaintoarvoista sijoittuu. Pelkkä keskiarvo ei kerro hajonnasta eli havaintojen vaihtelusta mitään.

Kaksiarvoisten vaikutusten riippuvuus melusta ilmoitetaan usein vedonlyöntisuhteella (engl. odds), jonka kuvaa todennäköisyyttä (P_a), että vaikutus esiintyy jaettuina todennäköisyydellä ($\bar{P}_a$), että vaikutus ei esiinny. Kun verrataan vaikutuksen esiintyvyyttä kahdessa eri ryhmässä (esim. altistettut, ei-altistettut), vertailusuurena käytetään usein altistusryhmien vedonlyöntisuhteiden välistä suhdetta (engl. odds ratio, *OR*) tai suhteellista riskiä (engl. relative risk, *RR*). Myös *OR*:ää nimitetään usein vedonlyöntisuhteeksi, mutta myös ristitulosuhteeksi. Kun halutaan selvittää, mikä osuus melulla on elinympäristön melutauteihin, tarvitaan vertailualueeksi meluton tai vähämeluinen asuinalue ja yksi tai useampi alue, jossa melu on voimakasta. Esimerkiksi alue, jolla pitkäaikainen $L_{Aeq,07-22h}$ -taso on enintään 50 dB(A) ja alue, jolla se on vähintään 65 dB(A).⁹¹ Lasketaan (logistista regressiomallia käyt-

täen) alueiden väliseen esiintyvyyseroon perustuen vaikutuksen (taudin) – esimerkiksi astman tai verenpainetaudin^{92, 93} – muiden altisteiden ja muuttujien vaikutuksista mahdollisimman hyvin pudistettu *OR*-luku eli riski saada ko. tauti pelkästään melun (melueron) vuoksi (*OR* = 1 tarkoittaa, että melu ei vaikuta, alle 1 tarkoittaa, että melu vähentää riskiä ja yli 1 tarkoittaa, että melu lisää sitä). Kun tutkitaan melun vaikutusta (osuutta), vaikeutena on eliminoida (puhdistaa) riskiarvio muiden saman aikaisesti vaikuttavien seikkojen vaikutuksista.^{94, 90, 89} Usein esitetään, että heikosti tai epävarmasti olosuhteista (altistuksesta) riippuvien tautien vedonlyöntisuhteiden vedonlyöntisuhteen tulisi olla vähintään 3, jotta olisi (pelkästään *OR*:n perusteella) riittävä varmuus taudin riippuvuudesta oletetuista muuttujista.

Esimerkki. Asuinalueella A (ulkomelun L_{DEN} -taso on X_A dB), jolla asuu 1000 aikuista, oli 75 verenpainetautia sairastavaa (lääkitystä saavaa) henkilöä. Tämä tarkoittaa, että $1000 - 75 = 925$ ei sairastanut verenpainetautia eli olivat tässä mielessä terveitä.
 $Odds_A = 75/925 = 0,081$.

Luku kuvaa todennäköisyyttä sairastua (75/1000) jaettuna todennäköisyydellä, että ei sairastu (925/1000).

Asuinalueella B (ulkomelun L_{DEN} -taso on X_B dB, $X_B > X_A$), jolla asuu 1250 aikuista, asuu 107 verenpainetautia sairastavaa (lääkitystä saavaa).
 $Odds_B = 107/1143 = 0,094$.

Jos alueiden B ja A verenpainetaudin lääkitystä saavien eron syynä on **vain** ulkomelu (alueella B suurempi melutaso kuin alueella A), niin melun aiheuttamaa sairastumisen riskiä voidaan kuvata seuraavilla tunnusluvuilla:

Vedonlyöntisuhteiden suhde eli OR = $(107/1143)/(75/925) = 1,15$.
Suhteellinen riski eli RR = $(107/1250)/(75/1000) = 1,14$.

Jos alueen B melutaso laskee arvosta X_B arvoon X_A , on
Absoluuttinen riskin vähenemä ARR = $(107/1250) - (75/1000) = 0,011$ eli 1,1 %-yksikköä.

Jos sairastavuuden mittana käytetyt lääkitystä saavien lukumäärä olisi molemmilla alueilla sama kuin edellä (75 ja 107), mutta alueella A asuisi 10 000 henkeä ja alueella B 12 500 henkeä, olisi $Odds_A = 0,0076$ ja $Odds_B = 0,0086$, *OR* = 1,14, *RR* = 1,14 ja *ARR* = 0,0011 eli 0,11 %-yksikköä. *OR*-luku eroa hieman (0,01-yksikköä) edellisestä, *RR*-luku on sama, mutta *ARR* on 1/10.

Jos meluntorjunta (esimerkiksi rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden parantaminen) maksaisi molemmissa tapauksissa Y €/asukas, olisivat torjuntakustannukset per sairastavuuden alentaminen $107 - 75 = 32$ hengellä jälkimmäisessä tapauksessa (asukkaita 12 500) 10-kertaiset verrattuna siihen, että asukkaita olisi alueella B 1 250 henkeä. Meluntorjuntakustannusten arvottamisen toisessa vaakakupissa ovat säästöt terveydenhoidossa ja elinympäristön laadun parantumisen arvotus. Kansanterveyden tasolla tehtävässä strategisessa suunnittelussa on esimerkiksi verenpainetaudin sairastavuuden ennalta ehkäisemisen tutkimuksissa perusteltua selvittää myös muut taudin syyt ja näiden syiden kautta tarjoutuvat mahdollisuudet sairastavuuden hallintaan.

Riskitutkimusten tuloksia tulkittaessa on syytä selvittää, kuinka paljon ”tauteja” esiintyi meluttomissa tai vähämeluisissa referenssioloissa ja meluisissa. Lisäksi on

syötä varmistua, että otos on erilaisten sairauksien kannalta edustava eli, että molemmissa ryhmissä esiintyy muista syistä kuin meluerosta johtuvia tutkittavien sairauksien ja vaikutusten esiintyvyyteen vaikuttavia sairauksia yhtäläisesti ja koko väestön keskiarvoja vastaavasti. Vedonlyöntisuhteen ja suhteellisen riskin lisäksi on syytä ottaa huomioon absoluuttinen vaikutus eli tapausmäärä koko melualueen väestöä kohden ja referenssinä eli vertailuna käytetyllä alueella. Suuruusluokan kannalta on merkittävää tarkoittaako esimerkiksi riski $OR = 1,3$ kymmentä vai 1 000 tautitapausta lisää.

Johdettaessa kaksiarvoisten muuttujien vastefunktioita ja määritettäessä niiden tilastollista luotettavuutta on syytä huomata, että vastefunktioita ei pidä laskea jatkuville tai diskreeteille, moniarvoisille satunnaismuuttujille tarkoitetuilla menetelyillä, esimerkiksi lineaariseen regressioanalyysiin ja pienimpään neliösummaan perustuvalla menetelmällä. Kaksiarvoiset eli dikotomiset muuttujat tunnetaan Bernoulli-jakautuneiksi suureiksi. Niiden tilastolliseen analyysiin on kehitetty omat menettelynsä.

4.6 VAIKUTUSTEN INDIKAATTOREINA KÄYTETYT MELUTASOT

Melun aiheuttamia haittoja – tai oikeammin: haitallisiksi katsottujen vasteiden ja reaktioiden voimakkuutta – säädellään meluun ja meluallistuksiin kohdistuvilla vaatimuksilla ja toimenpiteillä. Tällainen säätely edellyttää – ollakseen järkevää – että on olemassa sellaisia mittavissa olevia melun ja altistustilanteen fysikaalisia ominaisuuksia (suureita, indikaattoreita) ja niitä vastaavia havaintomaailman muuttujia (ulottuvuuksia, indikaattoreita), joista varsinaiset haitallisiksi luokitellut reaktiot riippuvat.

Valtioneuvoston asetus 801/2004 käyttää (ympäristömeludirektiivissä määritellystä) indikaattorista nimitystä tunnusluku.^{99, 95} Käsitettä tunnusluku käytettiin myös lentoasemien ympäristölupien erityispiirteitä selvittäneen työryhmän mietinnössä.⁹⁶

Suomen asuin- ja elinympäristön melua koskevat säädökset ja ohjeet tuntevat seuraavat melun voimakkuutta kuvaavat meluindikaattorit (suureet, joilla on tietty luokuarvo):

- $L_{Aeq, 07-22h}$ eli päiväajan ekvivalentti- eli keskiäänitaso,^{97, 98, 101}
- $L_{Aeq, 22-07h}$ eli yöajan ekvivalentti- eli keskiäänitaso,^{97, 98, 101,}
- $L_{DEN, vuosi}$ eli yhden vuoden ajalta määritetty sääoloiltaan keskimääräisen vuoden L_{DEN} -taso,⁹⁹
- $L_{päivä}$ eli $L_{Aeq, 07-197h, vuosi}$ eli vuoden ajalta määritetty sääoloiltaan keskimääräisen vuoden päiväaika-ajan ekvivalentti- eli keskiäänitaso,⁹⁹
- $L_{yö}$ eli $L_{Aeq, 22-07h, vuosi}$ eli vuoden ajalta määritetty sääoloiltaan keskimääräisen vuoden yöaika-ajan ekvivalentti- eli keskiäänitaso,⁹⁹
- L_{ilta} eli $L_{Aeq, 19-22h, vuosi}$ eli vuoden ajalta määritetty sääoloiltaan keskimääräisen vuoden ilta-aika-ajan ekvivalentti- eli keskiäänitaso,⁹⁹
- $L_{eq, 1h}$, yöaikaisen musiikkimelun A-painotettu ekvivalentti- eli keskiäänitaso klo 22 – 02h välisenä aikana sekä pienitaajuuden sisämelun terssipainetaso kaistoilla 20 – 200 Hz,^{98, 101}
- $L_{Aeq, T}$ eli viiteajan (T pituisen toiminta-ajan tai -jakson) ajalta määritetty ekvivalentti- eli keskiäänitaso,¹⁰⁰
- L_{AFmax} eli enimmäistaso määritettynä taajuuspainotusta A ja aikapainotusta F (Fast) käyttäen,^{97, 98, 100, 101, 102}
- L_{AImax} eli enimmäistaso määritettynä taajuuspainotusta A ja aikapainotusta I (Impulse) käyttäen,^{103, 104}

- L_{AE} eli äänialtistustaso määritettynä taajuuspainotusta A käyttäen,¹⁰⁵
- L_{Cpeak} eli huipputaso taajuuspainotusta C käyttäen.⁹⁸

Oppaassa ”Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen” todetaan, että lentomelulle käytetään yleensä Fast-aikapainotettuja enimmäistasoja.¹⁰² Raideliikennemelun mittausohjeessa¹⁰⁶ mainitaan enimmäistason Fast- eli F-aikapainotuksen lisäksi aikapainotus Slow- eli S-painotettu sekä 1 sekunnin L_{eq} -taso, jonka suurimman arvon katsotaan vastaavan L_{ASmax} -tasoa. Lentoasemien ympäristölupien erityispiirteitä käsitelleen työryhmän mietinnössä⁹⁶ mainitaan (taulukko 4), että myös lentomelulle käytettäisiin Slow-painotusta enimmäistasoa mitattaessa. Mietinnössä ei mainita, mihin lähteisiin käsitys perustuu. L_{ASmax} mainitaan FAR 36 ja ICAO Annex 16 dokumenteissa (suurena, jonka avulla voidaan mm. arvioida EPNL,max-taso) ja myös ECAC:in lentomelun laskentamalliehdotuksessa.^{112, 107, 108} $L_{Aeq,1s,max}$ -tasoa eli ohilennon yhden sekunnin liukuvaa keskiääni- eli ekvivalenttitasoa (vastaa suurin piirtein L_{ASmax} -tasoa suurinta arvoa) on käytetty enimmäistason mittana mm. UK:ssa tehdyssä melko laajassa lentomelun unihäiriötutkimuksessa.⁷²⁷ Sotilaskoneiden ylilennon enimmäistaso mitataan esimerkiksi Nato-maissa usein L_{AFmax} -tasona.¹⁰⁹

Suomessa ei ole toimivaltaisen viranomaisen¹¹⁰ asettamaa erillistä indikaattoria eikä erillisiä melutason ohjearvoja* lentomelulle (ulkona ja/tai sisällä). Lentomelutoimikunta esitti komiteamietinnössään¹¹¹ vuonna 1976 lentomelulle (ulkona) kahta indikaattoria:

1. WECPNL-lukua¹¹² lentoasemille ja vilkasliikenteisille lentopaikoille ja lentosuunnille,
2. Kertamelua (yhden ohilennon enimmäistasoa, L_{Amax}) vähäliikenteisille lentopaikoille ja lentosuunnille.

Melualueet ehdotettiin jaettavan kolmeen luokkaan, joille kullekin ehdotettiin omat maankäytön sopivuudet ja rajoitukset. Komitean ehdotuksia ei toteutettu. Joillakin vähäliikenteisillä lentopaikoilla maankäytön ohjaus nähtävästi perustuu edelleen vanhoihin 1970- ja 1980-luvulla kertameluna (L_{Amax} -tasoina) arvioituihin melualuekartoihin. Komiteamietinnössä ja sen liitteenä olevassa kertamelualueiden arviointiohjeessa ei mainita, mitä aikapainotusta (Fast vai Slow) oli tarkoitus käyttää.

Lentomelulle on vuosien mittaan esitetty yli 20 erilaista mittayksikköä, indikaattoria.^{113, 114}

Monissa maissa on lentomelulle(kin) moniportainen maankäytön ja terveysperusteinen ohjearvojärjestelmä.¹¹⁵ Esimerkiksi Saksassa on viime vuosina puhuttu lentomelun terveysperusteisesta ohjearvojen hierarkiasta, jossa erotetaan a) kynnysarvo (Schwellenwert), b) ennakoiva ohjearvo (Präventive Richtwert) ja c) kriittinen sietoraja (Kritischen Toleranzwert).^{116, 117} Kriittistä sieto- tai toleranssirajaa ei saisi ylittää kuin satunnaisesti ja rajoitetun ajan kerrallaan. Kynnysarvo ilmoittaa melutason, jonka alapuolella ei esiinny haitallisia vaikutuksia tai vaikutusta pitkäaikaisessakaan altistuksessa. Ennakoiva ohjearvo on arvo, jonka ylittyessä pitäisi ryhtyä toimenpiteisiin meluimmission (tai altistuksen) vähentämiseksi. Suomessakin on julkaistu saman tapainen kolmiportainen ohjearvojärjestelmä maaperän pilaantuneisuuden arviointiin.¹¹⁸

* Valtioneuvoston asetuksissa 993/1992, 1107/2015, 903/2017 ulkomelua koskevia arvoja nimitetään ohjearvoiksi. STM:n terveydensuojeluasetuksessa 545/2015 sisämelutasojen ”ohjearvot” on annettu toimenpideraja-arvoina. Erillisiä arvoja lentomelulle ei näissä asetuksissa esitetä.

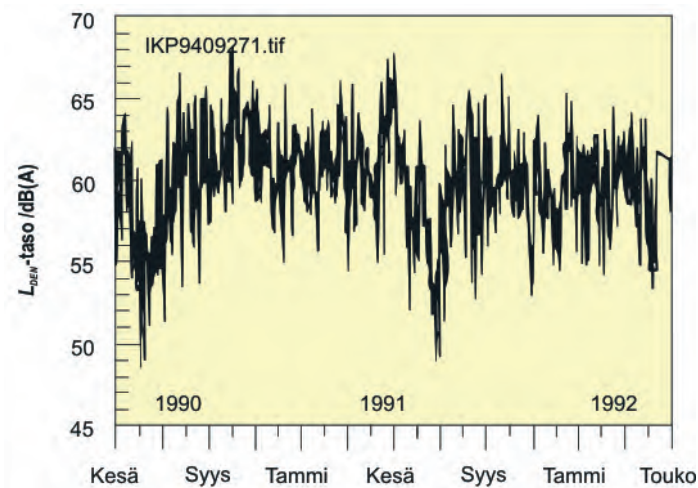
4.6.1 LENTOMELUN ÄÄNITASON JA OMINAISUUKSIEN AJALLINEN VAIHTELU

Edellä todettiin, että vaikutusvastetta määriteltäessä [kaava (1), s. 17] tietyn suuruisen vaikutus syntyy tietyn suuruisen melun tai meluannoksen seurauksena. Lentomelun voimakkuus ja muut ominaisuudet kuitenkin vaihtelevat kenttien ympäristössä ajallisesti ja alueellisesti. Syynä ovat muun muassa

- melun tuoton vaihtelu (operaatioiden määrän vaihtelu, eri kone- ja moottorityyppien meluerot sekä koneiden äänitehoon ja tehon suuntaavuuteen vaikuttavien lentomenetelmien vaihtelu eri lentokerroilla),
- kiitoteiden käytön (käyttösuhteen) vaihtelu,¹¹⁹
- eri kiitoteitä käyttävien koneiden lentoreittien vaihtelu (on useita nimellisiä reittejä, joita pitkin kone voi lentää, ja tiettyä nimellistä reittiä pitkin lennetäessä todellinen koneen käyttämä ”lentoviiva” vaihtelee, eli etäisyys koneesta kulloinkin tarkasteltavaan vastaanottopisteeseen vaihtelee, mistä syystä myös äänen etenemisvaimentuminen vaihtelee),
- sääolojen vaihtelu, mikä aiheuttaa äänen etenemisvaimentumisen vaihtelua. Tämä vaihtelu voidaan jakaa kahteen osaan: a) nopeaan, esimerkiksi turbulenssin (tuulipyörteiden) aiheuttamaan ja b) hitaaseen eli laajajhon alueen meteorologisten olojen vaihteluun aiheuttamaan. Nopea vaihtelu näkyy muun muassa L_{AF} - ja L_{AS} -painotetun äänen tasoeron vaihteluna (ks. kuva 3C).

Ainakin hetkelliset eli akuutit lentomelun vaikutukset vaihtelevat, koska eri koneiden ylilentojen melu vaihtelee (ks. kuva 3). On kysyttävä: mitä melun voimakkuutta kuvaavaa lukuarvoa pitäisi käyttää indikaattorina arvioitaessa a) akuutteja vaikutuksia ja b) pysyviä tai toistuvia vaikutuksia?

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkinä päivittäisen L_{DEN} -tason vaihtelu Arlandan kentällä kahden vuoden ajalta. Mittauspiste oli noin 6 km etäisyydellä kiitotien päästä.



Kuva 2: Esimerkki lentomelun päivittäisen L_{DEN} -tason vaihtelusta kahden vuoden ajalta noin 6 km etäisyydellä Arlandan kentän kiitotien päästä $L_{DEN, 2\text{ vuotta}}$ on 61 dB(A).¹²⁰

Kuvassa 2 vuosien 1990 ja 1991 heinäkuussa melun voimakkuus on alentunut päivittäisten lentojen määrän vähentymisen vuoksi. Syksyisin ja keväisin kauas kantautuvaa melua voimistaa se, että aamu- ja/tai iltaruuhka sattuu tyypilliseen aamu-

tai ilta-inversion – vähäisen etenemisvaimentumisen – aikaan, mikä lisää päivän $L_{Aeq,07-22h}$ - ja L_{DEN} -tasoa verrattuna siihen, että samat lennot lennettäisiin muuna aikana.

Kuvassa 2 päivittäinen L_{DEN} -taso vaihtelee pitkällä aikavälillä tarkasteltuna noin 18 dB(A). Hetkellinen melutaso ja eri lentojen enimmäistaso, esimerkiksi L_{AFmax} -taso, vaihtelevat tätä enemmän ja tilastollisesti vaikeammin ennustettavalla tavalla.^{121, 122, 123}

Nykykäsitysten mukaan pitkän ajan L_{Aeq} -tyyppinen taso eli keskiäänitaso indikoi parhaiten kroonisia, pysyviä vaikutuksia, joiden kehittyminen edellyttää jatkuvaa vuosikausia kestävästä altistumisesta eli altistumista, joka jatkuu tai toistuu päivästä toiseen. Äänialtistustasoa (L_{AE} , ASEL eli L_{Ax}) pidetään yleisesti parhaana yksittäisten melutapahtumien (yli/ohilennon) akuuttien eli välittömien vaikutusten indikaattorina.¹³³ Pääsyynä on se, että äänialtistustaso ottaa huomioon melun voimakkuuden lisäksi melun keston (mitä pitempää melu kestää, sitä suurempi äänialtistustaso), mitä enimmäistaso ei tee. Äänialtistustaso on työläämpi mitata kuin enimmäistaso.

Taajuuspainotusta A käyttäen mitatut arvot katsotaan yleisesti paremmiksi – eli paremman validiuden ja reliabeliuden takaaviksi – tai vähintään yhtä hyväksi kuin B-, C- tai D-painotusta* käyttäen mitatut arvot. C-painotettuja enimmäistasoja on käytetty lentokoneiden yliaänipamausten melun voimakkuuden mittana. Äskettäin tehdyissä yhdysvaltalais tutkimuksissa on ehdotettu C-painotettuja tasoja (L_{Cmax} , L_{CE} , L_{Ceq}) tapauksiin, joissa lentomelu aiheuttaa varsinaisen lentomelun lisäksi rakenteiden värinä-ääntä.¹²⁴ Suomessa rakennukset lienevät vähemmän värinäherkkiä kuin on tyyppillistä Yhdysvalloissa, jossa suurin osa pientaloista on puusta tehtyjä (ns. vaneri-puurakennejärjestelmä on yleinen).

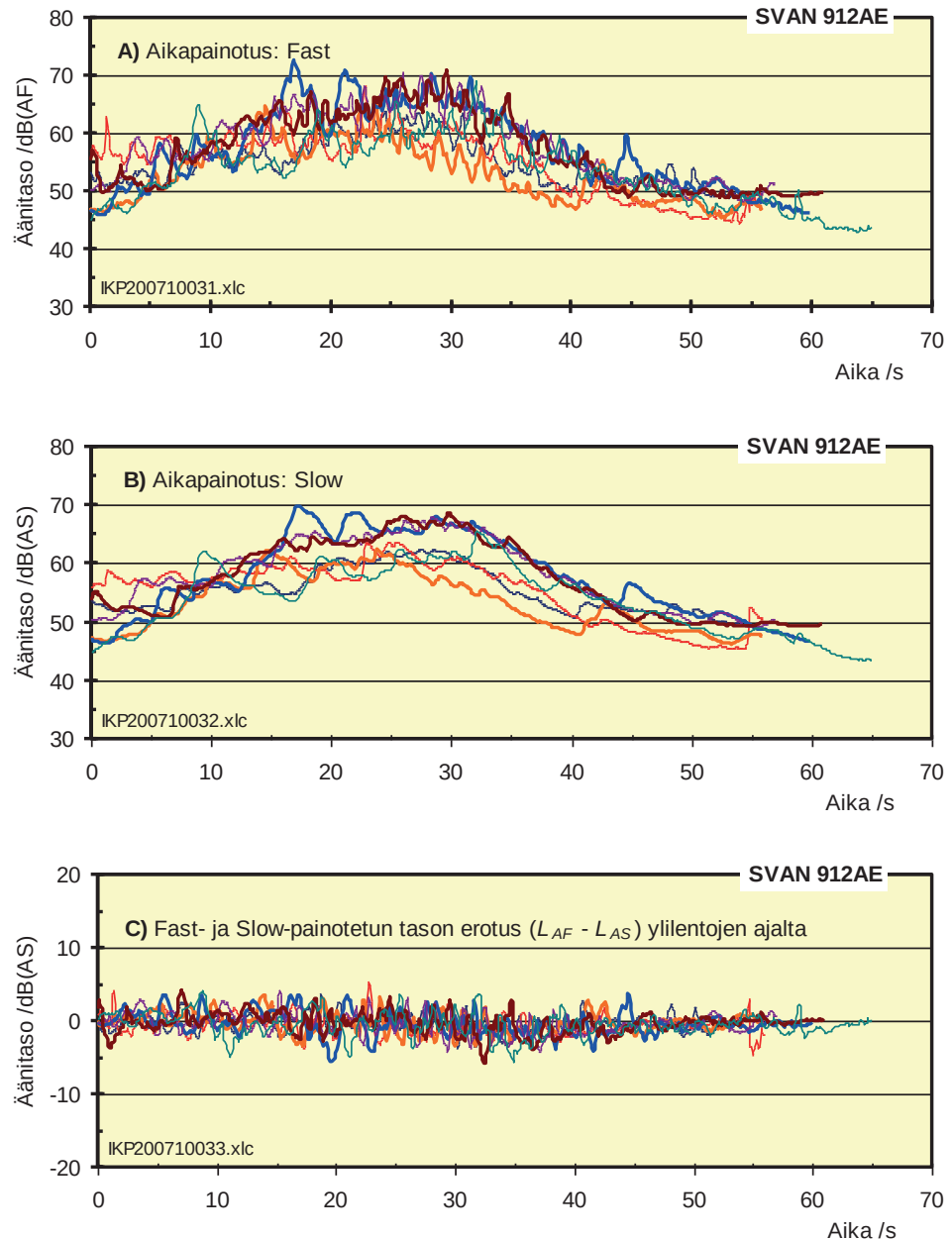
On syytä muistaa, että tietyssä vastaanottopisteessä melun ajallisella vaihtelulla on tietty tilastollisuus, joka sitoo eri tavoin määritetyt äänitasot melko tiukasti yhteen. Toisin sanoen kaikki eri tavoin samasta populaatiosta (ajallisen melutason vaihtelusta pitkällä aikavälillä, esim. tunnin tai vuoden ajalta) mitatut melutasot korreloivat hyvin keskenään.¹²⁵

Sisämelun L_{AE} -taso on nykyisin parhaaksi katsottu (taustamelusta erottuvan) lentomelutapahtuman aiheuttaman unihäiriön todennäköisyyden indikaattori. Sitä käytetään myös akuutin (so. ylilennon aikaisen) puheenhäirinnän indikaattorina. Puheenhäirinnän indikaattorina käytetään myös L_{AF} -tasoa ja aikaa, jonka melu ylittää tietyn ennalta määritetyn puheen peittokynnystä kuvaavan tason.^{126, 127, 128, 129} Yleensä melutapahtumien, kuten ohilentojen, L_{AF} -tason ajallinen vaihtelu on L_{AS} -tason vaihtelua suurempi. Yleensä myös eri melutapahtumien (lentojen) L_{AFmax} -taso vaihtelee enemmän kuin L_{ASmax} -taso (ks. kuva 3).

Erotukset $L_{AF} - L_{AS}$ ja $L_{AFmax} - L_{ASmax}$ riippuvat melun ajallisesta vaihtelusta. Molemmat erotukset ovat usein sisällä pienempiä kuin ulkona. Suurimmillaan erotus $L_{AFmax} - L_{ASmax}$ on hyvin lyhyillä äänillä ja äänillä, jotka sisältävät hyvin lyhyitä (alle 125 ms) voimakkaita osia, $10 \lg(1000/125) \approx 9$ dB(A). Hiljaisia meluja mitattaessa Slow-painotettu taso on käytännön mittauksissa vähemmän herkkä lyhytkestoisille häiriöäänille kuin Fast-taso. Tästä syystä mahdolliset häiriöäänit ja niiden (mahdollinen häiritsevä) vaikutus mittaustulokseen (esim. L_{AE} - tai L_{Aeq} -tasoon) on helpompi havaita Fast-painotetusta signaalista kuin Slow-painotetusta.

* D-taajuuspainotus esitettiin standardissa DS/IEC 537:1977 lentokoneiden melun mittaukseen. Nykyisissä äänitasomittareissa tätä painotusta ei ole.

Kuvasta 3 voidaan tehdä johtopäätös, että tietyssä vastaanottopisteessä ylilennon aikainen L_{AF} - ja L_{AS} -taso, niiden erotus ja myös L_{AE} -taso ovat satunnaismuuttujan kaltaisia suureita. Osaksi satunnaisuus johtuu siitä, että eron aiheuttajana on ilmakehän turbulentsisuuden aiheuttama äänen etenemisvaimentumisen vaihtelu, fluktuatio. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että ennalta on mahdotonta ennustaa tarkasti, miten kunkin lennon mainitut suureet vaihtelevat ja eroavat muiden koneiden (lentojen) vastaavista arvoista. Suureilla ja niiden vaihtelulla on kuitenkin tietyt tilastolliset ominaisuudet, jotka voidaan selvittää esimerkiksi riittävän suuresta mittaushavaintojen joukosta.



Kuva 3: Esimerkki lentomelun L_{AF} - ja L_{AS} -tason ajallisesti vaihtelusta seitsemän eri suihkumatkustajakoneen ylilennon aikana ulkona. Mittauspaikka oli noin 2,6 km etäisyydellä kiitotien päästä ja noin 300 m sivussa laskeutumisreitistä nimellisestä linjasta. Ylilentojen L_{AE} -tasot vaihtelevat 73 – 80 dB(A). Näytteenottonopeus oli 10 näytettä sekunnissa.

Lentomelujen vaikutuksia arvioitaessa joudutaan usein arvioimaan, mikä olisi tiettyä Slow-painotettua enimmäistasoa vastaava Fast-painotettu taso tai päin vastoin. Osa kirjallisuudessa esitetyistä unihäiriövasteista on esitetty enimmäistason funktiona, osa äänialtistustason funktiona. Näitä käytettäessä joudutaan lisäksi arvioimaan, mitä enimmäistasoa jokin äänialtistustaso vastaisi tai, mitä äänialtistustasoa jokin enimmäistasoa vastaisi. Tarkastelemme joitakin kirjallisuudessa esitettyjä vastavuuksia ja muunnoskaavoja.

Vuodelta 1974 peräisin oleva Boeing-yhtiön edustajan julkaisu¹³⁰ esittää, että suihkukoneiden ohilentojen L_{FAmax} -tasot olisivat 5 – 10 dB(A) L_{SAmax} -tasoa suurempia. 1970-luvun äänitasomittareissa osa tehollisarvon integroinnista saattoi perustua osoittimen (”viisarin”) mekaniikkaan, mistä syystä silloin mitattujen eri tavoin aikapainotettujen tasojen erotukset saattavat poiketa siitä, mitä nykyiset digitaaliset mitarit osoittaisivat samoista meluista. Kuvassa 3C ero on suurimmillaan noin 5 dB(A).

Ohilennon enimmäistason, L_{AFmax} , ja äänialtistustason, L_{AE} , lukuarvojen välille voidaan kirjoittaa seuraava matemaattinen yhteys

$$L_{AFmax} = L_{AE} - 10 \lg t_e \approx L_{AE} - 10 \lg \left(\frac{ad}{v + d/b} \right) \text{ dB(A)}, \quad (2)$$

jossa t_e on melun efektiivinen kesto [s], kerroin $a = 1,5 \dots 3$ ja $b \approx 50$, d ohilennon lyhyin etäisyys vastaanottopisteestä [m] ja v koneen nopeus [m/s]. Vastaava kaava voidaan kirjoittaa ohilennon L_{ASmax} -tasolle. Vakioiden lukuarvot ovat tällöin toiset.

INM-niminen* lentomelun laskentamalli olettaa (siviilikoneiden) ohilennon L_{ASmax} - ja L_{AE} -tasojen väliseksi riippuvuudeksi¹³¹

$$L_{ASmax} = L_{AE} - 7,73 \lg d + 12,0 \text{ dB(A)}. \quad (3)$$

Kun $d > 30 \dots 40$ m, $L_{ASmax} < L_{AE}$. Kun d on 1 km, $L_{ASmax} - L_{AE} = -11,2$ dB(A). Kun d on 0,5 km, $L_{ASmax} - L_{AE} = -8,9$ dB(A). Tässä kaavassa kaavan (2) termit a , v ja b on korvattu etäisyydellä d , vakiolla 12,0 dB(A) sekä pienentämällä logaritmitermin kerroin $7,73/10 = 0,773$ -kertaiseksi. Kirjallisuudessa on esitetty muitakin L_{AE} - ja L_{ASmax} -tason välisen riippuvuuden kaavoja.^{132, 133, 472}

Lentoreittien alla ja sivulla olevien asuntojen etäisyys, d , laskeutuviin koneisiin on tyypillisesti lyhyempi kuin etäisyys kiitotieltä ko. suuntaan nouseviin koneisiin. Etäisyys vaikuttaa erotusten $L_{Fmax} - L_{AE}$ ja $L_{ASmax} - L_{AE}$ lisäksi ohilennon melun voimakkuuden kasvu- ja hiljentymisnopeuteen [dB/s].

Vaikutustutkimuksissa altistavan lentomelun voimakkuus arvioidaan yleensä lentokentän melualuekartan tai melko lyhytaikaisten mittausten perusteella. Enimmäistasojen mittaauksissa on saatettu rekisteröidä vain ylilennon aikainen suurin hetkellinen enimmäistaso tai jopa muutama, esimerkiksi viiden lennon, enimmäistasojen keskiarvo. On tutkimuksia, joissa kunkin ylilennon enimmäistaso tai/ja äänialtistustaso on oletettu olevan sama. Yleensä tutkijat eivät ole selvittäneet, mitä pitkän ajan vaihtelun tilastollista pysyvyysarvoa altistusta kuvaava lukuarvo tai lukuarvosarja vastaa.

* Integrated Noise Model.

Lentomelun laskentamallien tarkkuudesta ja virheherkkyydestä on julkaistu kymmeniä tutkimuksia.^{134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152}

4.6.2 L_{DEN} -TASON ILTA- JA YÖAJAN PAINOTUKSEN HISTORIAALLINEN TAUSTA

Lentokenttien melualuekarttoja on jo pitkään esitetty L_{DEN} -tasoja käyttäen. L_{DEN} -tasoa (DEN on lyhennys sanoista Day-Evening-Night) määritettäessä yöajan melun L_{Aeq} -tasoon lisätään 10 dB(A) ja ilta-ajan 5 dB(A). Illan aikarajoina on yleensä käytetty 19 – 22 h ja yön 22 – 07 h, jolloin

$$L_{DEN} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \left(\int_{07}^{19} 10^{L_A(t)/10} dt + \int_{19}^{22} 10^{(L_A(t)+5)/10} dt + \int_{22}^{07} 10^{(L_A(t)+10)/10} dt \right) \right], \quad (4)$$

jossa T on vuorokauden kesto integroinnin aikayksikössä. EU:n ympäristömeludirektiivissä ulkomelun pääindikaattori on L_{DEN} -taso. Direktiivi sallii jäsenmaalle yhden tai kahden tunnin siirtymän illan ja yön alku- ja loppuaajoissa. Jos kaikkien lentojen äänialtistustaso, L_{AE} , olisi sama, 5 dB(A) iltapainotus (”rangaistus”) tarkoittaa sitä, että yhden ilta-aikaisen lennon oletetaan vastaavan vaikutuksiltaan 3,16 ($10^{5/10} = 3,16$) päiväaikaista lentoa. 10 dB yöaikainen painotus sisältää oletuksen, että yksi yöaikainen lento vastaisa vaikutuksiltaan kymmentä päiväaikaista.

Ilta- ja yöajan painotusten idea perustuu 1950-luvulla USA:ssa lanseerattuun CNR-tasoon (engl. Composite Noise Rating).¹¹³ Tällöin yöajan 10 dB(A) painotus koostui kahdesta osasta: 5 dB(A) siksi, että yöajan taustamelu oli päiväaikaista hiljaisempaa, mistä syystä melun katsottiin erottuvan paremmin kuin päivällä. Toinen 5 dB(A) lisättiin siksi, että yöajalle katsottiin tarvittavan tiukempi meluraja lähinnä oletettujen vaikutusten vuoksi. Ilta-ajan 5 dB(A) painotusta perusteltiin sillä, että asuntoalueilla iltaisin olevien asukkaiden määrä on suurempi kuin päivisin ja ihmiset herkempiä vaikutuksille, mistä syystä on syytä käyttää tiukempaa kriteeriä vaikutuksia arvioitaessa. 1960-luvulla Lontoon Heathrown lentokentän meluhaittojen ensimmäisessä kyselytutkimuksessa päädyttiin siihen, että lähinnä kiusallisuuden vuoksi yöajan melulle tulisi olla 17 yksikköä päiväajan melua alhaisempi NNI-taso (Noise and Number Index). Tämä vastasi karkeasti 10 dB(A) painotusta L_{DEN} -tasossa.¹⁵³ Sittemmin tietous vaikutusten ja melun välisistä riippuvuuksista on lisääntynyt ja täsmentynyt. Onkin esitetty, että eri vaikutuksia arvioitaessa olisi syytä käyttää muitakin kuin 5 ja 10 dB painotuksia eri vuorokauden ajoille, mutta L_{DEN} -tason painotuksia ei ole kuitenkaan tarkistettu eikä rinnalle ole hyväksytty muita.¹⁵⁴

4.7 MELUN VAIKUTUKSET IHMISIIN

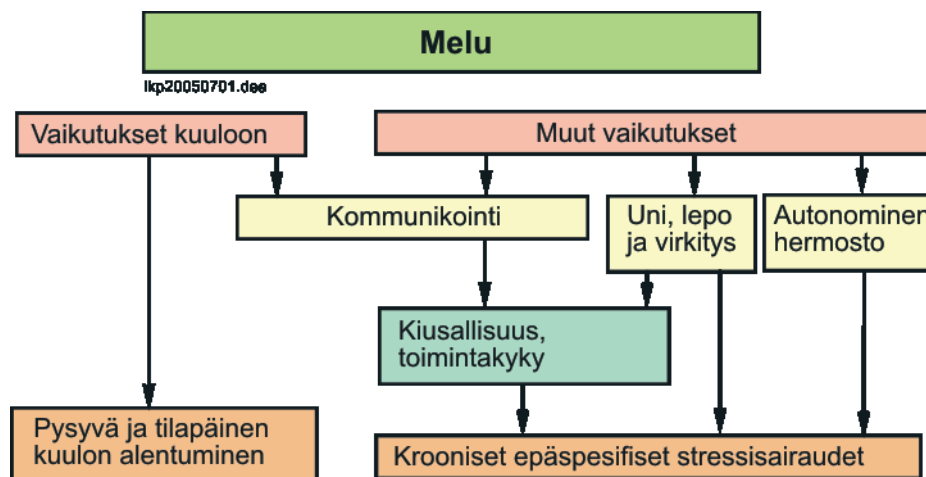
Melu välittyy vaikutuksiksi kuulon kautta. Näköhavainnot tosin voivat vaikuttaa siihen, miten melu koetaan. Noin 90 % elinympäristöstämme saamastamme informaatiosta on näköaistin välittämää. Vaikka kuuloaistin välittämä osuus informaation määrästä on pieni, audioinformaatio on kuitenkin tärkeää ihmiselle. Pystymme esimerkiksi kuulemaan ääniä kaikista suunnista eli myös suunnista, joihin emme näe kääntämättä päätä. Kuulo analysoi ääniä ja toimii hälytysjärjestelmänä, toisin kuin näkö, myös nukuttaessa. On vaikea sanoa, kumpi – näkö vai kuulo – on ihmiselle

tärkeämpi aisti. Kuuloinformaation ja kuulemisen näköä suurempaa merkitystä ihmiselle on perusteltu muun muassa sillä, että korkeasti koulutetuissa on tilastollisesti suurempi osuus syntymästään sokeista kuin syntymästään kuuroista henkilöistä.

Kuvassa 4 on esitetty riippuvuuksia kuvaavalla yksinkertaisella kaaviolla melun tärkeimmät vaikutukset ja niiden riippuvuussuhteet.

Meluvaikutukset jaetaan nykyisin kolmeen luokkaan:

1. *Primääriset eli välittömät vaikutukset* eli vaikutukset, jotka ilmenevät melu-altistuksen aikana. Näitä ovat erilaiset häiritsevyysvasteet, kuten unen ja puheenhäirintä sekä autonomisen hermoston kautta välittyvät vaikutukset, kuten EKG-mittauksessa* näkyvät muutokset ja verenpaineen reagointi (yleensä nousu) melutapahtumaan.
2. *Sekundääriset eli primäärivaikutusten välittämät tai niiden seurauksena lyhyen ajan sisällä ilmenevät vaikutukset.* Tällaisia ovat esimerkiksi kiusallisuus ja toimintavalmiuksien tai toimintojen huononemisena ilmenevät vaikutukset.
3. Pitkän ajan jatkuvan tai jatkuvasti toistuvan altistumisen aiheuttamat *pysyvät eli krooniset vaikutukset.* Pysyvä vaste/vaikutus ei katoa – ei ainakaan lyhyen ajan sisällä – vaikka altistuminen keskeytyisi tai vähentyisi. Tällainen vaikutus on esimerkiksi pysyvä verenpaineen kasvu sekä melun ”kovat”[†] tautivaikutukset. Myös kiusallisuutta pyritään mittaamaan pysyvänä vaikutuksena, kun instruktiossa annetaan aikaviitekehys pitkäksi ajaksi, esimerkiksi viimeisen vuoden aikainen asuinalueen melu tai koko se aika, jonka henkilö on alueella asunut.



Kuva 4: Melun päävaikutusten luokittelu ja niiden riippuvuussuhteet. Huomattakoon, että melun vaikutus voi olla kielteinen, nolla tai myönteinen.

* EKG eli elektrokardiografia, sydänsähkökäyrän mittausta.

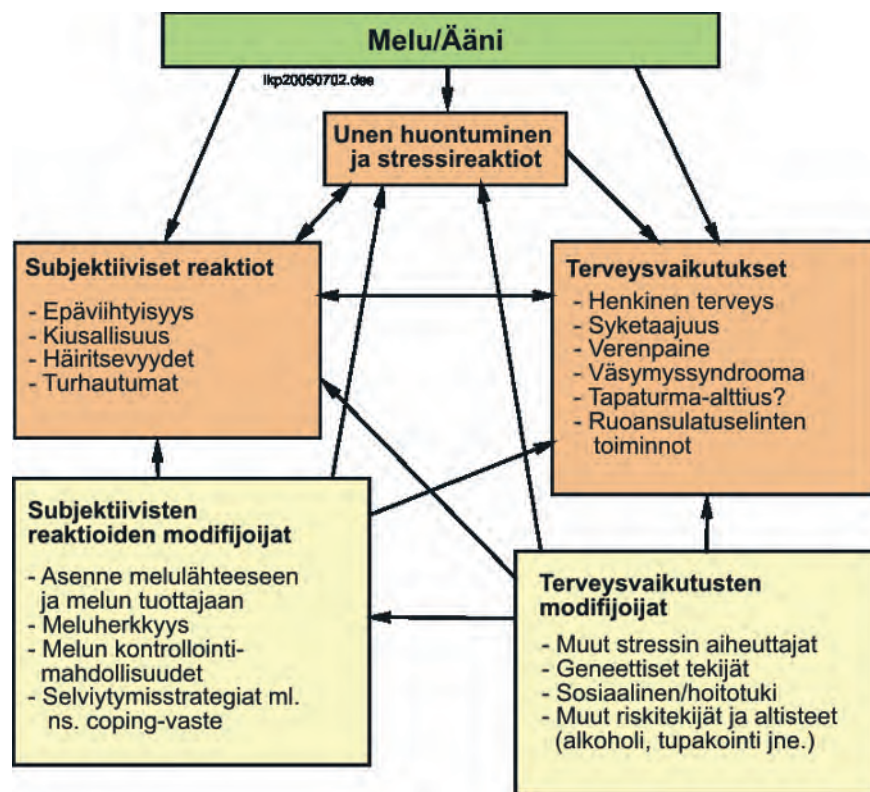
[†] Kovilla tautivaikutuksilla tarkoitetaan tässä selvityksessä melu-altistuksen aiheuttamia tauteja, joille voidaan esittää ICD-tautiluokituksen mukainen diagnoosiin perustuva nimi. Esimerkiksi sydän- ja aivoinfarkti, dementia ja diabetes. Näille on tunnusomaista se, että niiden riippuvuudelle melusta voidaan esittää vain tilastollinen riippuvuus, so. kasvanut taudin riski (esiintyvyys- tai ilmaantuvuusero) verrattuna alhaisemmalle melulle altistuneiden riskiin.

Kahden ensimmäisen luokan vaikutuksia voidaan kutsua yhteisnimellä akuutit vaikutukset erotukseksi kolmannen luokan pysyvistä eli kroonisista vaikutuksista, joista käytetään myös nimitystä tertiäriset vaikutukset.

Vain tilapäinen ja pysyvä kuulon alenema sekä audioinformaation peittovaikutus ovat melulle spesifisiä eli ominaisia vaikutuksia. Muut ovat epäspesifisiä, mikä tarkoittaa sitä, että moni muukin olosuhde tai tekijä aiheuttaa samoja vaikutuksia.

Primääriset vaikutukset ilmenevät altistuksen aikana ja katoavat heti altistuksen loputtua. Sekundääriset vaikutuksetkin yleensä alkavat jo altistuksen aikana. Palautuminen voi tapahtua välittömästi altistuksen loputtua tai se saattaa kestää esimerkiksi verrannollisena altistavan melun voimakkuuteen ja keston. Krooniset vaikutukset ovat, kuten mainittiin, yleensä hyvin epäspesifisiä. On hyvin vaikea osoittaa, että ne olisivat pelkästään melun aiheuttamia, sillä moni muu ympäristöaltiste aiheuttaa näitä samoja stressireaktioina tunnettuja vaikutuksia.⁴⁰⁸ Useat tutkimukset esimerkiksi osoittavat lievää tilastollista riippuvuutta asukkaiden verenpaineen (esim. koehenkilöiden yläpaineiden keskiarvon) pienehkön nousun tai verenpainetaudin esiintyvyyden ja asuinalueen suurien ulkomelutasojen välille, mutta alueilla, joilla on suuria melutasoja, on yleensä myös muita verenpainetta nostavia tekijöitä.^{155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 428}

Erilaisten kroonisten vaikutusten riippuvuutta meluallistuksen muutoksista, esimerkiksi vaikutuksen lieventymistä ulkomelutason alentuessa, on tutkittu vähän (ks. luku Meluvaikutusten reversiibeliys, sivu 103).



Kuva 5: Eräs nykykäsitysten mukainen kielteiseksi luokiteltujen melureaktioiden (vaikutusten) syy-seurausmalli (kuvaa ja sen käsitteitä on hieman modifioitu alkuperäiseen nähden). Coping-vaste tarkoittaa elämän olojen sovittamista vallitseviin oloihin (esim. ikkunan sulkemista tai muuttamista pois melualueelta hiljaisempiin oloihin).¹⁶²

Kuvassa 5 on esitetty eräs nykykäsitysten mukainen tunnettujen (kielteisten) melu-reaktioiden syy-seurausmalli.^{162, 163} Tämä malli painottaa sitä, että yksittäisiä meluvaikutuksia ei voida erottaa toisistaan riippumattomiksi reaktioiksi. Tämän tapaiset kokonaismallit painottavat melureaktioita modifioivien vaikutusten ja olosuhteiden merkitystä.¹⁶⁴ Mallikaaviossa on suora tie melusta terveysvaikutuksiin ja neljä laattikkaa, joissa mainitut tekijät tai olosuhteet toimivat vaikutusten *moderaattoreina* eli (oheis)vaikuttajina.^{165, 82}

Eri ympäristömelujen vaikutusten riippuvuus melun voimakkuudesta eroaa ainakin jossain määrin toisistaan.^{28, 233, 166, 167} Syynä on muun muassa se, että melun ja melu-altistuksen voimakkuuden mittana käytetty suure, esimerkiksi $L_{DEN, vuosi}$ tai tyypillinen yöajan keskiäänitaso $L_{Aeq, 22-07h}$, ovat eri melujen vaikutusten kannalta epäspesifisiä. Esimerkiksi $L_{Night, vuosi}$ -tyyppinen meluindikaattori ei ota unihäiriöriskin mittana riittävän spesifisesti huomioon yksittäisten melutapahtumien voimakkuutta, lukumäärää tietyssä ajassa, kestoa ja melutapahtumien väliin jäävien taukojen pituutta ja määrää. Eri liikennemuodoilla nämä voivat olla hyvin erilaisia, vaikka $L_{Night, vuosi}$ - eli $L_{Aeq, 22-07, vuosi}$ -taso on sama.

Kuvassa 6 on esitetty syy-seurauskaavio, jonka tarkoitus on selittää erityisesti sydän- ja verisuonitautien yhteys asuinalueen ulkomeluun. Tilastollista epidemiologista riippuvuutta näiden tautien ja melun voimakkuuden välillä alkaa nykykäsitysten mukaan esiintyä niillä asuinalueilla, joilla ulkomelun $L_{Aeq, 07-22h, vuosi}$ -taso ylittää 60...70 dB(A).^{*} Joissakin uusissa tutkimuksissa on päädytty tätä alhaisempaan liikennemelun tasoon[†], $L_{DEN, vuosi} = 45 - 52,5$ dB, josta lähtien sairastumisriski alkaa kasvaa.^{565, 579, 168, 169, 170}

Kuvassa 6 vaikutustie on jaettu kahtia: suoraan ja epäsuoraan. Suora vaikutustie aktivoi keskushermostoa ja sen kautta elimiä suoraan, epäsuora vaikutustie aktivoituu tunnepitoisesti melusta tehtyjen tietoisien havaintojen ja arvioiden perustella. Tietoiset ja tunnepitoiset reaktiot aktivoivat sekundäärisesti ainakin osittain samoja elimellisiä vaikutuksia kuin suora vaikutustie. Epäsuora vaikutustie saattaa toimia hyvin vakavienkin henkilökohtaisten sydän- ja verisuonitautien aiheuttajana.¹⁷¹

Stressireaktioiden välittämät ilmansaasteiden terveysvaikutukset poikkeavat melun vaikutuksista oleellisesti siinä, että epäsuoran vaikutustien osuus on yleensä hyvin pieni verrattuna suoran vaikutustien osuuteen.^{172, 173} Selityksenä on se, että suurin osa terveysvaikutteisista ilman saasteista on sellaisia, joiden pitoisuudesta tai voimakkuudesta ei voida tehdä tietoisia havaintoja. Erona on myös se, että nykykäsitysten mukaan tottuminen altistukseen voi lieventää – joskin joissain tapauksissa myös herkistää[‡].¹⁷¹ – epäsuoran vaikutustien kautta välittyviä reaktioita paljon suuremmassa määrin kuin suoran vaikutustien kautta välittyviä.

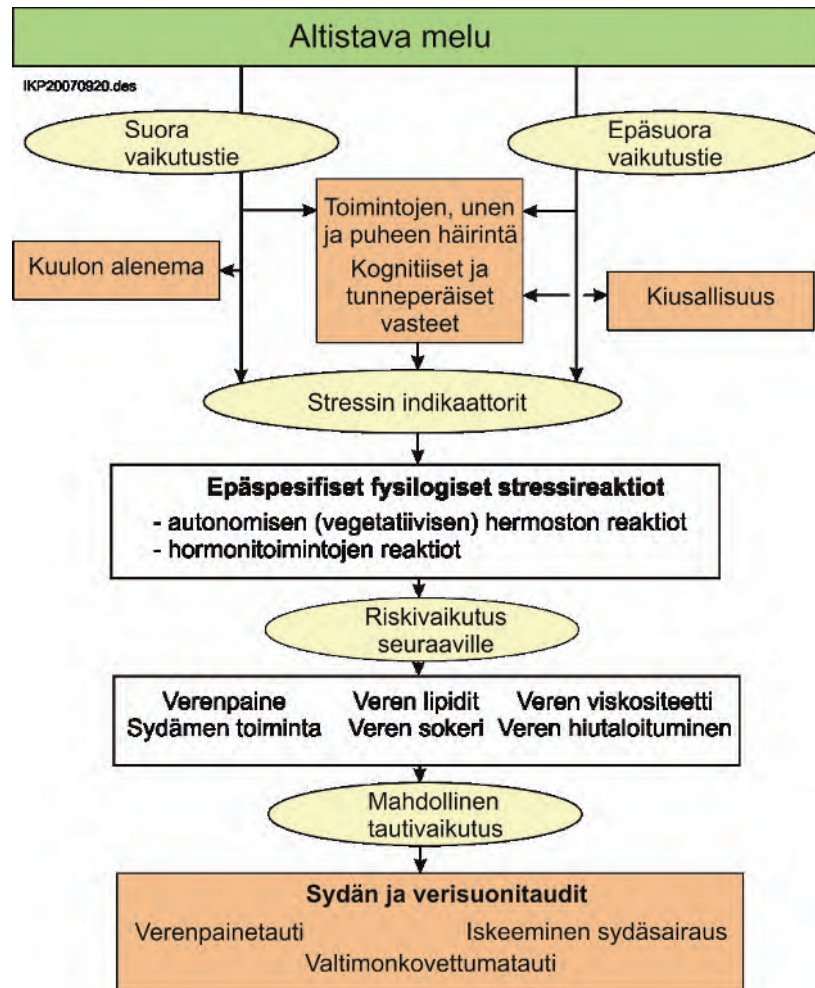
Kuva 6 korostaa melun muita kuin kuuloon kohdistuvia vaikutuksia (engl. non-auditory effects). Näitä tutkittiin ja löydettiin ensin työympäristössä, jossa melutasot ja -altistukset ovat usein huomattavasti suurempia kuin asuinympäristössä. Asuin-

^{*} Liikennemelun eri meluindikaattoreiden lukuarvojen välillä on suurin piirtein seuraavat yhteydet, kun päivämelun lisäksi on yöaikaista liikennettä: $L_{DEN} \approx L_{DN} + 0,6$ dB(A), $L_{DEN} \approx L_{Aeq, päivä} + 2$ dB(A) ja $L_{DEN} \approx L_{Aeq, 24h} + 5$ dB(A).

[†] Yleensä ulkomelun voimakkuus luokitellaan vaikutustutkimuksissa 5 dB levyisiin luokkiin. Luku tarkoittaa luokan keskiarvoa. Esimerkiksi 52,5 dB on luokkavälin 50 – 55 dB keskiarvo.

[‡] Esimerkiksi meluun ja melun aiheuttajaan kohdistuvat tunnepitoiset reaktiot voivat herkistää ja vahvistua aikaa myöten melun jatkuessa ja toistuessa. Ks. esimerkiksi kuva 15.

ympäristön melun ei-kuuloon kohdistuvien vaikutusten tutkimusmenetelmät alkoi-
vat parantua 1980-luvulla, minkä jälkeen alettiin löytää yhteyksiä. Tutkimusten pää-
kohteena ovat olleet asuinympäristön melun vaikutukset verisuoni- ja sydänsairauk-
siin, mielenterveyteen ja immuunivasteisiin.¹⁷⁴



Kuva 6: Eräs nykykäsitysten mukainen melun terveysvaikutusten syy-seurausmalli. Tässä painotetaan melun osuutta epäspesifisiin stressireaktioihin ja tätä kautta mahdollista vaikutusta sydän- ja verisuonitauteihin. Riskivaikutus mainittujen sydän- ja verisuonitautien esiintyvyyden kasvuun alkaa, kun ulkomelun pitkän ajan keskimääräinen $L_{Aeq,07-22h}$ -taso ylittää asuinalueella 60...70 dB(A). Viimeaikaisissa tutkimuksissa on päädytty alhaisempiinkin kynnysarvoihin.^{523, 537,}

Kuvan 6 mallissa stressi toimii *mediaattorina* eli altistavan melun ja varsinaisen vaikutuksen (sydän- ja verisuonitaudit) välillä olevana suodattimena.^{82, 165} Stressin voimakkuutta mitataan esimerkiksi tietyn hormonin pitoisuudella tai useiden hormonien pitoisuuden perusteella määritellyllä indeksiluvulla tai/ja standardoiduilla kysymyssarjoilla.

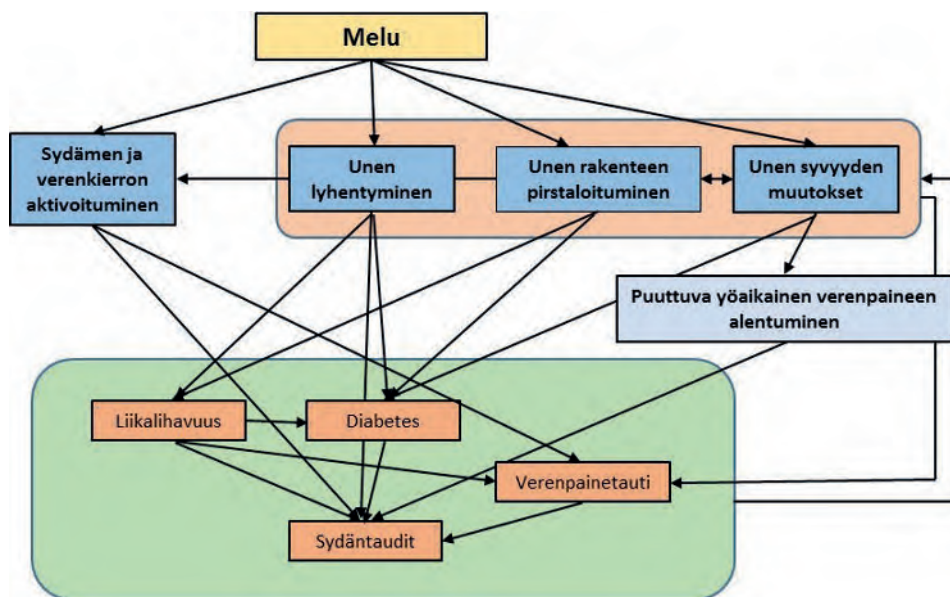
On syytä todeta, että edellä mainittuja stressivälitteisiä melutautien selitysmalleja ei ole pystytty vahvistamaan eikä kumoamaan eläinkokein. Yhtenä syynä on se, että ei

ole tehty eläinkokeita, joissa olisi tutkittu sydän- ja verisuonitautien yhteyttä pitkäaikaiseen melualtistukseen.* Akuuteista ja lyhytaikaisista melun stressivaikutuksista löytyy muutama tutkimus.^{175, 176, 177, 691} Vaikutukset ovat samansuuntaisia kuin ihmisillä. Eläinkokeissa käytetään yleensä paljon voimakkaampaa melualtistusta kuin on tavanomaista ihmisten asuinympäristössä.

Monien melun terveysvaikutusten oletetaan olevan yöaikaisen unen laadun huonontumisen välittämiä. Kuvassa 7 on esitetty eräs (oletetuksiin perustuva) melun unen huonontumisen kautta aiheuttama ”kovien” terveysvaikutusten välitystiemalli. Tämän mallin mukaan on hyvin monia välitysteitä, joilla on keskinäisvaikutuksia. Lienee itsestään selvää, että tällaisen mallin oikeaksi tai vääräksi osoittaminen on hyvin vaikeaa, ellei peräti mahdotonta. Yhteistä tälle ja monille muille selitysmalleille on unen ja sen virkistävän vaikutuksen huonontumisen keskeinen asema.^{178, 179, 187, 213}

Kuvan 7 mallissa on esitetty ”kovina” melutauteina liikalihavuus, diabetes (tyyppi 2), verenpainetauti ja sydäntaudit. Näiden lisäksi tutkimuksissa on löydetty melun voimakkuudesta ja laadusta riippuvia tilastollisia riskiyhteyksiä

- yhteys aivohalvauksen esiintyvyyteen,¹⁷⁰
- heikko mahdollinen yhteys rintasyövän esiintyvyyteen,^{167, 180, 580, 181, †}
- mahdollinen yhteys imukudossyövän (non-Hodgkinin lymfooma) esiintyvyyteen,¹⁸²
- mahdollinen yhteys dementian ja lievään kognitiivisten kykyjen alentumisen esiintyvyyteen,^{183, 184}
- mahdollinen yhteys ennenaikaisiin synnytyksiin.¹⁸⁵
- mahdollinen yhteys sydämen eteisvärinään.¹⁸⁶



Kuva 7: Eräs nykykäsitysten mukainen unen laadun huonontumisen välityksellä tapahtuva melun terveysvaikutusten syy-seurausmalli.¹⁸⁷

* Tietoja vuosia kestäneistä altistuskokeista ei löytynyt lainkaan kirjallisuushaussa.

† Norah-tutkimuksessa todettiin heikko yhteys rintasyövän esiintyvyyden yöaikaisen voimakkaan ($L_{Aeq,23-05h} = 55 - 60$ dB) lentomelun välillä Frankfurtin kentän melualueilla. Vastaavaa yhteyttä ei todettu rintasyövän ja muiden liikennemuotojen melun välillä. Kirjallisuudesta löytyy useita tutkimuksia, joissa ei ole löydetty yhteyttä rintasyövän ja liikennemelujen välille.

Viime vuosina on painotettu sitä, että nykyiset vaikutusvasteet eivät huomioi riittävän hyvin meluherkkiä väestöryhmiä eivätkä lapsia.¹⁸⁸

Kuvien 5 – 7 mallien selitysvoimaa arvioitaessa herää kysymys: miten tottuminen, so. pitkään asuminen tietyllä melualueella, vaikuttaa vasteisiin? Melko yleinen tutkijoiden käsitys on, että fysiologisissa, elimellisissä vasteissa* ei ilmene tottumista, mutta tottumisella on vaikutuksia psyykkisiin, tunneperäisiin vasteisiin. Tunneperäisten vasteiden muutoksilla on takaisinkytkentä (vaikutus) fysiologisiin vasteisiin.²¹³ Koska kovien terveysvaikutusten kehittyminen edellyttää pitkäaikaista altistumista, niin pitkään asuminen voimakkaan melun ympäristössä on tekijä, joka vaikuttaa henkilön riskiin sairastua johonkin tai yhteensä useampaan melutautiin riskiä lisäävästi.

4.8 KIOUSALLISUUS JA HÄIRITSEVYYS

Melun aiheuttamat elämykselliset – mukaan lukien kognitiiviset ja emotionaaliset – haittavaikutukset jaetaan nykyisin kahteen luokkaan: 1) tehtävistä tai toiminnoista suoriutumisen vaikeutuminen ja 2) melun aiheuttamat kielteiset elämykselliset kokemukset. Melu voi altistetuista mielestä aiheuttaa enemmän tai vähemmän kielteisiä elämyksellisiä kokemuksia silloinkin, kun se *ei häiritse* mitenkään tehtävistä tai toiminnoista suoriutumista tai jopa silloinkin, kun melu helpottaa niistä suoriutumista tai parantaa suoriutumistulosta. Melun aiheuttamaa elämyksellistä kokemusta ja sen voimakkuutta kuvaavaa ja mittaavaa muuttujaa kutsutaan *kiusallisuudeksi* etenkin silloin, kun halutaan korostaa, että kiusallisuus (engl. annoyance, saks. Lästigkeit tai Belästigung, norj. støjlage) ja häiritsevyys (engl. disturbance, saks. Störung, norj. forstyrrelse) ovat eri käsitteitä tai eri meluvasteita.^{189, 190, 191}

Edellä on todettu, että kiusallisuus ja häiritsevyys ovat melun aiheuttamia reaktioita tai vaikutuksia. On kuitenkin tutkijoita, jotka painottavat, että melu ei ole häiritsevyyden eikä kiusallisuuden yksikäsitteinen syy, vaan ainoastaan tekijä tai olosuhde, joka mahdollistaa kyseisen reaktion.¹⁹²

Käsite "häiritsevyys" tai "kiusallisuus" on mainittu monien maiden lainsäädännössä melun haitallisuuden mitaksi tai kriteeriksi. Monesti säädöksissä käytetään myös paljon yleisempiä haittakäsitteitä, kuten Suomen naapuruussuhdelaisissa käsitettää "kohtuuton rasitus". Käsitteiden juridinen merkitys – tai merkitys juristille (so. miten esimerkiksi tuomari tai lautamies sen tulkitsee) – saattaa poiketa suurestikin siitä, mitä esimerkiksi psykoakustikot tai sosiologit niillä ymmärtävät. Joillekin käsitteille ei ole tiedemaailmassa sovittua mittaa ja mittaustapaa lainkaan. Tällainen haitan mitta on esimerkiksi edellä mainittu kohtuuton rasitus. Viihtyisyys on toinen käsite (suure), jolle ei löydy tiedeyhteisön hyväksymää mittaustapaa. Esimerkiksi Suomen ympäristönsuojelulaissa¹⁹³ mainitaan ympäristön viihtyisyys ja sen vähentyminen mahdolliseksi ympäristöä pilaavaksi melun vaikutukseksi.

Mainittakoon, että EU:n ympäristömeludirektiivin englanninkielisessä versiossa meluvaikutusten pääkriteeri on annoyance ja saksalaisessa Belästigung, tanskalaisessa gene, mutta ruotsalaisessa störning. Unihäiriötä mittaavat vasteet ovat samassa kielijärjestyksessä: sleep disturbance, Schlafstörung, søvnforstyrrelse, sömnstörning. Ruotsinkielellä ei ole konnotatiivisesti hyviä erotussanoja englannin käsitteille annoyance ja disturbance. Ruotsissa vaikutustutkijat ovat käyttäneet termiä "störningsupplevelse" tarkoittaessaan englannin annoyancea. Viime vuosina ruotsissa on

* Esimerkiksi vegetatiivisen hermoston vasteet meluun.

alettu käyttää melustakin puhuttaessa besvär/besvär-johdannaisia sanoja, kun tarkoitetaan kiusallisuutta ja kiusaantumista.^{194, 195, 196} Ympäristömeludirektiivin kotimaisessa toimeenpano-ohjeessa, VnA 801/2004, direktiivin annoyance on käännetty sanaksi häiritsevyys, joka on asetuksessa esitetyn määrittelyn mukaan ”melun aiheuttama kielteiseksi koettu elämyspiirre”.

4.8.1 KIUALLISUUS

Käsitettä *melun kiusallisuus* (engl. annoyance) ja sen erikielisiä vastineita käytetään kirjallisuudessa monessa merkityksessä.^{82, 197, 198, 199, 200, 201, 202} Käsittemaailman sekavuutta lisää vielä se, että kiusallisuus jaetaan usein kahteen alalajiin: a) *epäspesifinen kiusallisuus* (engl. non-specific annoyance tai general annoyance) eli asuinympäristön kokonaismelun (melun yleensä) aiheuttama kiusallisuus tai melun yleensä aiheuttama kielteinen asennoituminen (melulähteeseen tai sen aiheuttajaan) ja b) *spesifinen kiusallisuus* (engl. specific annoyance) eli tietyn melun tai melulajin tietyssä altistustilanteessa tai -oloissa aiheuttama kiusallisuus tai myös häiritsevyys.^{203, 204} *Piileväksi kiusallisuudeksi* (engl. hidden private annoyance) kutsutaan kiusallisuutta, joka ei manifestoidu valituksiksi tai muiksi toimenpiteiksi melua tai sen aiheuttajaa vastaan.²⁰⁵ Käsitteiden sekavuutta lisää myös se, että kiusallisuutta on mitattu, ja mitataan, kymmenillä eri tavoilla.²⁰⁶

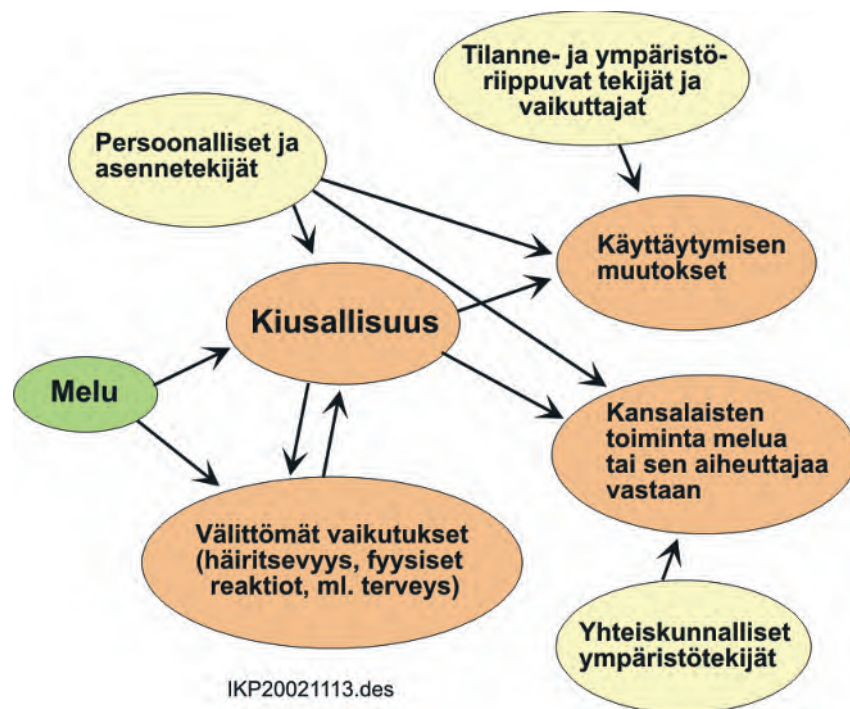
Kiusallisuus on herkin nykyisin laajassa käytössä olevista melun vaikutusvasteista. Esimerkiksi melusta suuresti kiusaantuneiden esiintyvyys (%HA) tietyssä melutasossa on suurempi kuin itse raportoitujen suuresti unihäiriöisten esiintyvyys (%SHA) ja ainakin kertaluokkaa suurempi kuin se osuus verenpainetaudin esiintymisestä, joka nykytutkimuksen perusteella voidaan enimmilläänkin katsoa melusta johtuvaksi. Kyselytutkimuksissa melusta kiusaantuneita alkaa esiintyä ulkomelun $L_{DEN, vuosi}$ -tason ylittäessä ulkona 35... 45 dB(A). Tällöin yöaikainen L_{Aeq} -taso on tyypillisesti 25... 35 dB(A)-luokkaa.

Kuvassa 8 on esitetty kiusallisuuden syntymekanismia selittävä malli. Syntymekanismia voidaan tarkastella kahdesta lähestymiskulmasta. Yleinen lähestymistapa on tarkastella vain kiusallisuuden riippuvuutta melun voimakkuudesta. Toisessa lähestymistavassa yritetään löytää teoreettinen selitys kiusallisuusreaktiolle. Tällöin oletetaan, että kaikilla ympäristön äänisignaaleilla on vastaanottajalleen jokin psykologinen funktio, so. sisältö, merkitys tai vaikutus. Esimerkiksi ääni (ja melu) välittää tietoa ympäristön tilasta ja antaa palautetta yksilön oman toiminnan tuloksista. Ääntä käytetään myös viestintään ja ympäristön tilan tarkkailuun. Kiusallisuusreaktion selitetään olevan seuraus siitä, että vastaanotettu äänisignaali ei vastaa sisällöltään, merkitykseltään tai vaikutukseltaan sitä funktiota, joka sillä pitäisi olla, tai odotetaan olevan, tai äänisignaali vaikeuttaa tai estää ko. funktion toteutumista (esim. luetun tekstin mieleen painamista tai muistista palauttamista).^{207, 208, 209, 210, 211} Tästä selityksestä puuttuu monien moderaattoreiden kuten asenteiden, kansalaistoisminnan ja yhteiskunnallisten ympäristötekijöiden osuus.

Jotkut tutkijat katsovat, että kiusallisuus olisi melun aiheuttaman stressin indikaattori eli, että se indikoisi sitä osaa melun voimakkuudesta ja ominaisuuksista, joka aiheuttaa stressiä. Tämä näkemyksen mukaan kiusallisuus indikoisi subjektiivisen melun voimakkuuden lisäksi erilaisten stressireaktioiden välittämien sairauksien esiintymistä tai ainakin esiintymismahdollisuutta.^{212, 452, 213} Kiusallisuus ei kuitenkaan ole yksikäsitteinen melusairauksien mittari, sillä kiusallisuuden ja sairauksien (vaikutusten) välillä on takaisinkytkentä (ks. kuva 5 ja 8). Monet ovat pitäneet, ja edelleen pitävät, kiusallisuutta pelkästään elinympäristön laadun indikaattorina.

Kyselytutkimuksissa mitattua kiusallisuutta on käytetty joissakin meluvaikutustutkimuksissa altistavan melun voimakkuuden mittana mitattujen tai laskettujen äänitasojen asemasta. Kiusallisuusasteen, toisin sanoen meluvaikutuksen käyttö toisen meluvaikutuksen, esimerkiksi unihäiriöiden tai verenpainetaudin esiintyvyyden selittäjänä (indikaattorina), parantaa usein tilastollista korrelaatiota, mutta häivyttää melun todellista osuutta selittäjänä.

Asennoituminen meluun ja sen aiheuttajaan – sekä altistustilanne eli konteksti – voivat vaikuttaa arvioon melun haitallisuudesta enemmän kuin äänen voimakkuus. Monissa maissa ollaan tutkimassa, miten asenteet vaikuttavat lentomelun kokemiseen. Esimerkiksi Eurocontrol²¹⁴ on teettänyt kyselytutkimuksia asenteiden vaikutuksista lentomelun kokemiseen.²¹⁵ Näissä tutkimuksissa ($N = 647$) päädyttiin muun muassa siihen, että eri maiden kenttien (UK/Manchester, Ranska/Lyon, Romania/Otopani) ympäristön asukkaiden asenteet lentomeluun olivat erilaisia ja riippuivat erilaisella selittäjäpainolla tutkituista tekijöistä ja oloista.^{216, 217} Englannissa julkaistiin marraskuussa 2007 laaja tutkimus, jossa päädyttiin siihen, että kansalaisten kielteiset asenteet lentomeluun ovat voimistuneet ja lentomelun kiusallisuusvaste herkistynyt verrattuna 1980-luvun alussa tehdyn tutkimuksen tuloksiin.²⁹⁵



Kuva 8: Nykykäsitysten mukainen kiusallisuuden ja muiden vaikutuksen ja tekijöiden syy-seurausmalli.

4.8.1.1 KIUUSALLISUUS MITTAUS KYSELYTUTKIMUKSIN

Kiusallisuutta mitataan kyselytutkimuksin. Tutkimuksissa käytetään 3 – 6 portaista kategoria- tai 5 – 11-portaisia lämpömittariasteikkoja. Kategoria-asteikolla kiusallisuuden voimakkuusasteet on määritelty sanallisesti, esimerkiksi

- ei lainkaan kiusallista,
- siedettävän kiusallista,
- äärimmäisen kiusallista.

Vastaaja valitsee arviotaan vastaavan vaihtoehdon.

Lämpömittariasteikko on numeroasteikko, jossa vain ala- ja yläpää on määritelty sanallisesti, esimerkiksi 11-portainen asteikko (0 – 10): 0 = ei lainkaan kiusallista/häiritsevää ja 10 = äärimmäisen kiusallista/häiritsevää. Vastaaja laittaa kruksin kokemansa voimakkuuden kohdalle.

Nykyisin suositellaan, että kyselytutkimuksessa käytetään rinnan kategoria- ja lämpömittariasteikkoa.⁸⁶ ISO/TS 15666:2003 teknisen standardin mukaisten kiusallisuusasteikkojen lähtökohta on se, että alin kiusallisuuden aste vastaa kunkin kielen vähäisintä kielteisyyttä tai voimakkuutta kuvaavaa määrettä (yleensä ”ei lainkaan”) ja ylin kielen suurinta tai voimakkainta, esimerkiksi englannissa *extremely* (annoyed or bothered) ja norjassa *voldsomt* (plaget). Kategoria-asteikolla väliporaille haetaan voimakkuusmääreet (sanat), jotka jakavat alimman ja ylimmän määreen välisen osuuden tasavälisiin luokkiin. Koska eri ihmiset mieltävät kiusallisuuden voimakkuutta kuvaavien vaihtoehtojen määresanojen merkityksen hieman eri tavoin, niin esimerkiksi ISO/TS 15666:2003 standardi edellyttää asteikon testaamista, jotta erikieliset versiot mittaisivat kiusallisuuden voimakkuutta ja esiintyvyyttä mahdollisimman yhdenmukaisesti.

Kyselytutkimuksissa noudatetaan kahdenlaista käytäntöä. Haastatteluissa vastaajalle esitetään kysymys kerrallaan. Vastaaja ei voi ennen vastaamista tutustua kysymyksiin. Kirjekyselyissä ja joissakin nettikyselyissä vastaaja voi tutustua kaikkiin kysymyksiin ennen kuin vastaa yhteenkään. Tutustuminen kysymyksiin ennen vastaamista todennäköisesti vaikuttaa henkilön vastauksiin.

Vaikka kysymyksissä käytettäisiin testattuja asteikkoja, eri tutkimuksissa päädytään hyvin yleisesti toisistaan melkoisesti poikkeaviinkin vasteisiin. Esimerkiksi, vaikka kiusallisuuden mittaukseen käytettäisiin samoja kysymyksiä ja asteikkoja, tutkimuksen muut kysymykset ja kysymysten järjestys voivat vaikuttaa. Vaikutusta on myös sillä, koskeeko kysely vain tiettyä melua, esimerkiksi lentomelua, vai pyydetäänkö samalla kyselyllä arvioita useiden asuin ympäristön melujen kiusallisuudesta. Esimerkiksi Schipholin kentän meluvaikutuskyselyssä ($N = 293$) todettiin, että lentomelun keskimääräiset kiusallisuusvasteet olivat herkempiä niissä asuin ympäristöissä, joissa oli samanaikaisesti voimakasta tieliikennemelua. Tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että asuin ympäristössä, jossa on samanaikaisesti useita meluja, meluherkkyyden vaikutus korostuu kiusallisuuden moderaattorina.²¹⁸

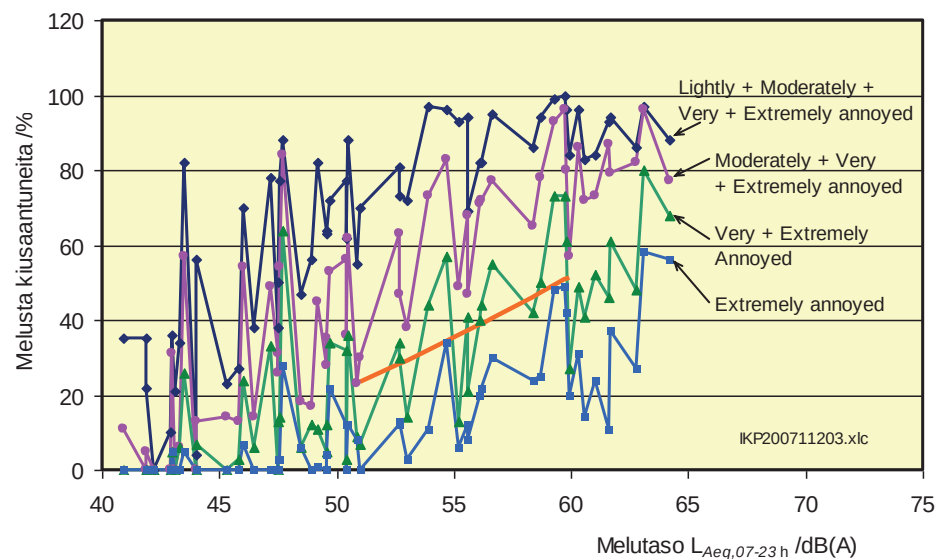
Äärimmäisenä, muiden tutkimusten tuloksista poikkeavana esimerkkinä voidaan mainita kanadalainen tutkimus, jossa päädyttiin siihen, että lentomelusta (Montrealin kentän ympäristö) ja raideliikenteen melusta suuresti kiusaantuneiden (%HA) vaste ei riippunut ulkomelun voimakkuudesta, mutta tieliikennemelusta suuresti kiusaantuneiden vaste riippui. Yhteensä eri liikennemuotojen meluille altistettuja oli tutkimuksessa mukana 4 336 henkeä. Tutkimuksen yhtenä heikkoutena on vastaajia alistavan ulkomelun voimakkuuden arvioinnin ja luokittelun epätarkkuus.²¹⁹

Kuvassa 9 on esimerkki Englannissa vuosina 2005 – 2006 tehdystä lentomelun kiusallisuuden kyselytutkimuksesta.^{295, 220} Kysely tehtiin yhdeksän suuren lentokentän ympäristössä yhteensä 55 eri asuntoalueella. Kuvassa kyselyn ($N = 2\,722$) tulokset on esitetty asuntoalueiden ulkomelun $L_{Aeq, 07-23h}$ -tason mukaisessa voimakkuusjärjestyksessä. Kiusallisuuden esiintyvyyden (montako prosenttia vastauksista missäkin luokassa) perusteena on kategoria-asteikolla annetut vastaukset. Kategorioiden nimet ovat kuvassa oikeassa laidassa. Asuntoalueiden $L_{Aeq, 07-23h}$ -tasot, 41 – 64 dB(A), eivät jakaannu aivan tasavälisesti eri melutasoihin. Vastaajien määrät olivat erilaisia melultaan erilaisilla asuinalueilla. Pienissä otoksissa määrän vaihtelu

voi lisätä satunnaisvaihtelua. Kuvaan on piirretty luokkaan ”Very + Extremely Annoyed” välille 50 – 60 dB(A) murtoviivakäyrän vaihtelua estimoiva toisen asteen polynomi (värikuvassa oranssi käyrä), joka estimoiki keskimääräistä kulkua.

Kuvan 9 eriasteisen kiusallisuuden suuri vaihtelu melutason funktiona herättää monia kysymyksiä, joista päälimmäisenä ovat

- mitkä seikat ja olosuhteet aiheuttavat sen osuuden vaihtelusta, joka ei näytä riippuvan melun voimakkuudesta eli sen, että kiusallisuus ja kiusallisuuden esiintyminen voi olla keskimääräistä trendiä alhaisempi tai suurempi melusta riippumatta?
- onko mahdollista vähentää kiusallisuuden esiintymistä vaikuttamalla näihin muihin syihin ja oloihin?
- onko mahdollista, että tietynasteisen kiusallisuuden esiintyvyys ei alene, vaikka melutaso alentuisikin tai esiintyvyys ei kasva, vaikka melu lisääntyisi?



Kuva 9: Englannissa tehdyn lentomelun kiusallisuuden kyselytutkimuksen ($N = 2\,722$) tulokset, kiusallisuuden esiintyvyyden jakaantuminen vähintään tietyn asteisesti kiusaantuneiden luokkiin melutasoltaan 55 eri asuinalueella. Melusta ei-lainkaan kiusaantuneiden esiintyvyys on 100 % ja ylimmän käyrän väliin jäävä osuus. Murtoviivakäyrään ”Very + Extremely Annoyed” (vihreä viiva) on piirretty sitä pienimmän neliösumman menetelmällä approksimoiva toisen asteen polynomi (oranssi käyrä), trendikäyrä, välillä 50 – 60 dB(A).²²⁰

Kiusallisuuden vaihteluun on monia syitä. Jo aikaisemmin on viitattu siihen, että melun voimakkuus selittää tyypillisesti 2 – 40 % kiusallisuuden voimakkuuden vaihtelusta (varianssista). Asenteet melua ja melun aiheuttajaa kohden, henkilökohmainen meluherkkyys sekä olosuhteet ovat usein tärkeimmät vaihtelua aiheuttavat tekijät. Niitä on tarkasteltu luvussa 4.8.1.8 Asenteet ja odotukset lentomelun kiusallisuuden selittäjänä. Tutkimuksissa löydetyistä muista selityksistä kerrotaan muun muassa STM:n julkaisusta ”Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita”.⁸²

Fidell kumppaneineen on kehittänyt kiusallisuuden kyselytutkimusten analyysimenetelmän, jossa pyritään erottamaan muista kuin melusta riippuva

tapaus/kohdekohtaisen* kiusallisuuden vaihtelun osuus melun voimakkuudesta riippuvasta. Tässä menetelmässä melusta riippuvan kiusallisuuden voimakkuuden osuuden oletetaan riippuvan melun voimakkuudesta, jota mitataan äänekkyuden tapaisella suureella.[†] Muusta kuin melusta riippuva osuus määritellään tapauskohtaisesti. Menetelmää on käytetty mm. useiden eri lentokenttien ($N = 43$) kiusallisuuden kyselytutkimusten vasteiden erojen analysointiin.^{221, 222, 223, 224, 225, 255, 226, 227,}

²²⁸ Kuvan 10 lentomelun %HA-vastekäyrä vastaa hyvin CTL-vastetta, jossa CTL eli %HA = 50 %, on m 73,3 dB DNL-tasona. Eri kentillä CTL vaihtelee yli 30 dB.

Community Noise Tolerance level, CTL, on otettu melun kiusallisuuden vaihtoehtoiseksi mitaksi ja kiusallisuusvasteiden määrittämenetelmäksi vuoden 2016 ISO-standardissa 1996-1.²²⁹

Gjestlandin ja Gelderholmin²³⁰ CTL:ään perustuvan analyysin mukaan kiusallisuuden (%HA) esiintyvyys riippuu melutason, L_{DN} , lisäksi tietyn L_{DN} -tason tuottavien lentojen määrästä sellaisilla kentillä ($N = 14$)[‡], joiden päivittäinen liikenne on kasvanut merkittävästi 3 - 5 viimeisen vuoden aikana tai asukkaille on tiedotettu tulevasta liikennemäärän lisäyksistä. Vaikka L_{DN} -taso ei tällaisilla kentillä kasvanut, lentojen määrän kaksinkertaistuminen lisäsi %HA-esiintyvyyttä samalla määrällä kuin L_{DN} -tason kasvu 1,8 dB. Gjestlandin kumppaneineen^{231, 283} Norjassa tekemän viiden kentän melun kiusallisuuskyselyssä päädyttiin CTL-analyysissä tulokseen, jossa muutoksentällä (Oslo) kiusallisuus oli herkistynyt lentojen määrän kasvusta, mutta kentillä, joilla ei ollut muutoksia lentojen määrässä, tällaista lentojen määräästä riippuvaa %HA-esiintyvyyden lisäherkistymistä ei todettu.

4.8.1.2 KIUALLISUUDEN VOIMAKKUUDEN LUOKITTELU JA KIUALLISUUSVASTEET

Melun kiusallisuuden voimakkuus tai voimakkuusaste luokitellaan nykyisin monissa tutkimuksissa seuraavasti:

- oletetaan kiusallisuuden voimakkuuden asteikko, jolla 0 vastaa voimakkuutta ”ei lainkaan kiusallista tai häiritsevää” ja 100 käsitettä ”äärimmäisen[§] kiusallista tai häiritsevää”.
- suuresti kiusaantuneita (engl. Highly Annoyed, HA) ovat ne, joiden arvio on 72 tai suurempi,
- (vähintään) kiusaantuneita (Annoyed, A) ovat ne, joiden arvio on 50 tai suurempi,
- (vähintään) lievästi kiusaantuneita (Lightly Annoyed, LA) ovat ne, joiden arvio on 28 tai suurempi.

Laskettaessa tutkimusmateriaalista vasteita alimman kategorian (esim. ei lainkaan kiusallista/häiritsevää) voimakkuudeksi merkitään 0 ja suurinta vaikutusta kuvaavan

* On havaittu, että kiusallisuusvasteiden herkkyys vaihtelee suuresti eri lentokenttien tutkimuksissa. Fidell on analysoinut tätä vaihtelua Community Noise Tolerance nimisellä indikaattorilla, joka on se L_{DN} -taso (tai vaihtoehtoisesti L_{DEN} -taso), jossa 50 % vastaajista ilmoittaa kokevansa melun suuresti kiusalliseksi.

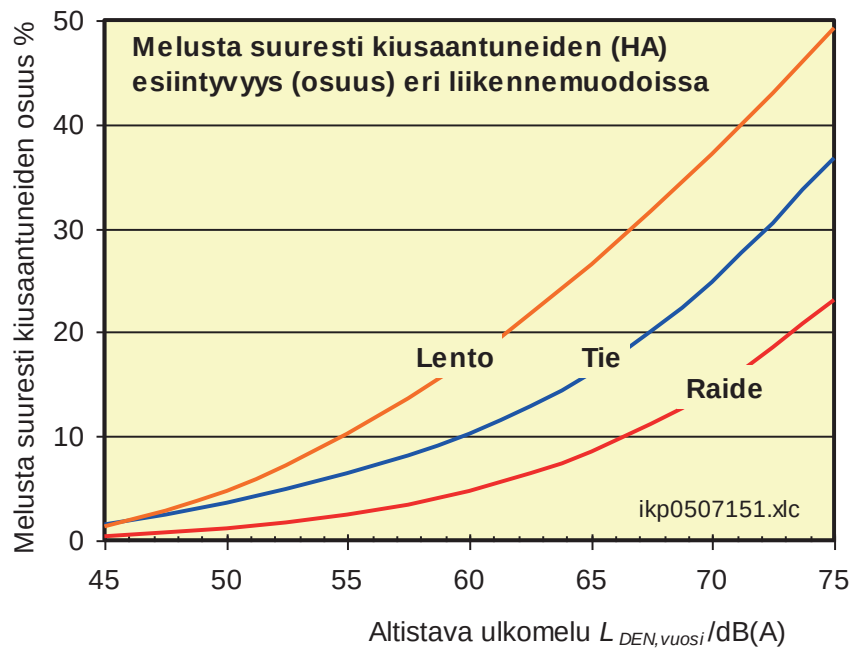
[†] Pitkäaikaisen keskimääräisen L_{DN} -tason perusteella määritetty ”äänekkyys”, L , joka määritellään lähtökohtana on oletus: 10 dB kasvu L_{DN} -tasossa vastaa äänekkyuden kaksinkertaistumista ja 10 dB alentuminen äänekkyuden puoliintumista [$L \sim (10^{L_{DN}/10})^{0,3}$].

[‡] vertailukohteena oli 15 kenttää, joilla ei ollut merkittäviä muutoksia liikennemäärästä eikä ilomoituksia määrän kasvusta.

[§] Tässä on oletettu, että määre ”äärimmäisen” vastaa suurinta suomenkielellä ilmaistavissa olevaa kiusallisuuden astetta tai määrää.

kategorian (esim. äärimmäisen kiusallista/häiritsevää) voimakkuudeksi 100. Arvoja 28, 50 ja 72 vastaavat vastausten prosenttiosuudet interpoloidaan vastausten jakautumasta eri kategorioihin.

Kuvassa 10 on esitetty EU:n ympäristömeludirektiiviä valmistelleen työryhmän WG2 esittämät melusta suuresti kiusaantuneiden esiintyvyysvasteet eri liikennemuotojen melulle.^{232, 233} Näitä vasteita suositellaan käytettävän ellei jäsenmaalla ole tieteellisesti pätevämpiä omia vasteitaan. Hollannin ”VTT:n”, TNO:n, suuressa ympäri maailmaa kerättyjen tutkimusten (yli 80 000 henkilön vastaukset²⁸¹) tietokannassa, josta vasteet on laskettu, suuri osa kyselytutkimusten tuloksia on yli 15...20 vuotta vanhoja. On tutkimuksellisia näyttöä siitä, että väestön kiusallisuusvaste on herkastynyt viimeisen 50 vuoden aikana (ks. luku 4.8.1.6).



Kuva 10: EU:n ympäristömeludirektiiviä valmistelleen työryhmän WG2 esittämät melusta suuresti kiusaantuneiden vasteet eri liikennemuotojen melulle.²³² Jäljempänä tämän kuvan lentomelun kiusallisuusvastetta on verrattu joidenkin muiden tutkimusten vasteeseen esimerkiksi kuvassa 12.

Tiedeyhteisö alkaa olla melko yksimielinen siitä, että käytettäessä $L_{Aeq, pitkä aika}$ -tyyppisiä suuria melun voimakkuuden mittana, lentomelun kiusallisuus ja sen prevalenssi ovat tiettyssä melutasossa suurempia kuin tieliikenteen kiusallisuus ja molemmat ovat suurempia kuin raideliikenteen melun kiusallisuus. Löytyy kuitenkin tutkimuksia, jotka eivät tue tätä järjestystä. Esimerkiksi Japanissa on julkaistu tutkimuksia, joissa ei ole todettu raideliikenteen melun kiusallisuuden poikkeavan edukseen tieliikennemelun kiusallisuudesta.^{234, 235} Hollannin ympäristöministeriön rahoittaman tutkimuksen²³⁶ mukaan moottoriteiden tieliikennemelun %HA-esiintyvyys on melko lähellä lentoliikenteen vastaavaa vastetta. Tuoreessa alppivuoristoympäristön meluvaikutustutkimuksessa todettiin, että raideliikenteen melun kiusallisuus riippui L_{Aeq} -tason lisäksi etäisyydestä rataa. Lähellä rataa sama L_{Aeq} -taso tuotti suuremman kiusallisuuden kuin etäämpänä.²³⁷ Samassa tutkimuksessa päädyttiin siihen, että sekä tieliikenne- että raideliikennemelusta suuresti kiusaantuneiden (%HA) esiintyvyys kasvoi paljon jyrkemmin melutason kasvun funktiona kuin kuvassa 10 on esitetty.¹⁷²

Tutkimusten (ks. luku 4.8.1.6) perusteella tiedetään, että eri liikennemuotojen kiusallisuusvasteet ovat (ainakin olleet) erilaisia, mutta ei tiedetä, mistä syystä. Vuosien mittaan on esitetty monia syitä. Jäljempänä on esitetty pari selitystä erojen syyksi.

Yleensä altistavaksi melutasoksi otetaan asuinrakennuksen sen puolen ulkomelun voimakkuus, joka on suurin.* Tie- ja raideliikenteessä meluero kadun ja ”suojan” puolella voi olla suuri, 10...25 dB(A). Lentoliikenteen melulla ero on pienempi. Taajamissa mm. heijastukset lähirakennuksista pienentävät usein rakennuksen eri puolilla valitsevaa melutasoeroa.²³⁸ Melutasoero vaikuttaa siihen, millainen sisämelutaso on eri puolella rakennusta olevissa huoneissa. Oletetaan, että ne, joilla on suojan (hiljaisen fasadin puolella) puolella olevia huoneita – erityisesti makuuhuone tai -huoneita – kokisivat alhaisempaa kiusallisuutta kuin ne, joilla on vain meluisan puolen huoneita. Hiljaisen fasadin puoleinen katuliikenteen ”hiljaisuus” vaikuttaa asukkaiden kokemaan kiusallisuuteen korkeintaan saman verran kuin kadun puolen melutason alentuminen 2 – 8 dB(A), keskimäärin 5 dB(A).^{239, 240} Belgiassa tehdyssä kyselytutkimuksessa ($N = 100$) päädyttiin siihen, että hiljaisella puolella oleva asunnon makuuhuone vähentää itse arvioitua meluun heräämisten määrää ja helpottaa nukahtamista. Ne, joilla on makuuhuone talon hiljaisella puolella, nukkuvat useammin ikkuna auki kuin ne, joilla makuuhuone on talon meluisalla puolella.²⁴¹ Tämä saattaa ulosmitata osan siitä terveyshyödyistä, mitä oletetaan saavutettavan tapauksissa, joissa asunnon makuuhuone on talon hiljaisella puolella.

Monissa kyselytutkimuksissa on käytetty samaa keskimääräistä ulkomelun tasoa kaikille samalla melualuekartan melualueella (esim. kaikki $L_{DEN} = 55 - 60$ dB(A) alueella asuvat altistuvat 57,5 dB(A) melulle) asuville tai vastaajan asuintalon sen julkisivun melutasoa, joka on suurin. Tällainen tutkimusasetelma ei huomioi suojan puolella asumisen/nukkumisen mahdollista vaikutusta kiusallisuuteen (eikä itsearviointuun unenhäirintään). Hiljaisen fasadin vaikutuksen tutkimusta vaikeuttaa se, että laskentamalleilla laskettu hiljaisen fasadin (sisäpihan, suojan puolen) äänitaso saattaa poiketa (todellinen laskettua suurempi) 5 – 15 dB(A) mitatusta.^{82, 242, 243, 244}

2000-luvun alkupuolella tehty norjalaistutkimus viittaa siihen, että altistetut eivät arvioi asuinympäristönsä melua ja sen vaikutuksia pelkästään rakennukseen kohdistuvan melun tai ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuuden perusteella, vaan ottavat huomioon vähintään 50 – 100 m etäisyydellä rakennuksesta ilmenevän melun.^{245, 246} Kyseisen tutkimuksen mukaan tämän etäisyyden sisällä ilmenevä voimakas melu (voimakkaampi kuin asuntoon/pihan puolen julkisivuun kohdistuva) lisää kiusallisuutta, mutta vastaavan etäisyyden sisällä ulkona olevat hiljaiset ”lähi-suojaj-alueet” eivät asuinympäristön ulkomelun kiusallisuutta alenna.

Ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuus vaikuttaa ainakin jossain määrin siihen, millaiseksi altistetut asuinalueensa melun ja eri melulähteiden aiheuttamat haitat, esimerkiksi unihäiriöt, kokevat. Rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys sekä ikkunoiden aukipitotavat ja -tarpeet ovat erilaisia eri ilmastoissa. Tämä aiheuttaa eroja eri maissa ja oloissa tehtyjen kyselytutkimusten tuloksiin. On syytä huomata, että esimerkiksi kysyttäessä asukkailta, kuinka kielteiseksi tai usein toistuvaksi he kokevat yöaikaisen melun aiheuttamat unihäiriöt, ikkunoiden erilaiset aukipitotavat ovat mukana kontrolloimattomasti, mutta tutkittaessa unihäiriöitä mittauksin asunnoissa,

* EU:n ympäristömeludirektiivin vuonna 2015 julkaistu päivitys (Comission Directive 2015/996) ja uudet CNOSSOS laskentamallit edellyttävät, että voimakkuudeltaan erilaiselle tie- ja raideliikenteen melulle altistuneiden asukkaiden määrä arvioidaan rakennusten eri puolilla olevien asuntojen julkisivuäänitason perusteella.

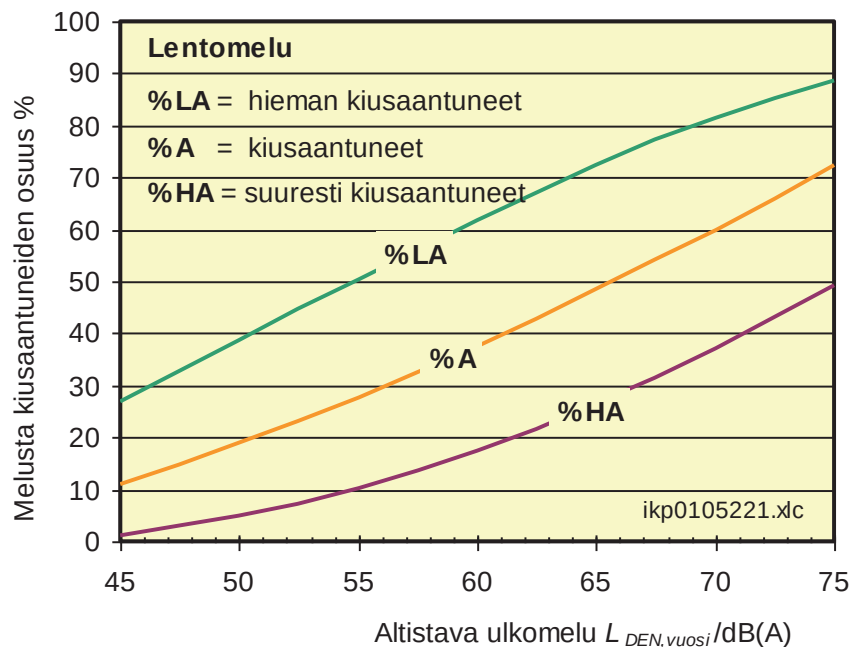
ikkunat saattavat olla kaikissa koeasunnoissa kokeen ajan kiinni tai raollaan (so. tilanne on kontrolloitu).

Monet muut seikat, esimerkiksi altistetun asenne melulähteeseen ja melun aiheuttajaan, yksilöllinen meluherkkyys ja/tai asuinympäristön yleinen laatutaso, selittävät yhteensä vähintään yhtä suuren tai suuremman osuuden henkilökohtaisen melureaktion vaihtelusta kuin melutaso.^{247, 248, 249, 250, 661, 8, 251, 300} Altistetun asenne kyseiseen meluun ja melun aiheuttajaan vaikuttaa muun muassa siihen, kuinka kiusalliseksi kyselytutkimuksissa vastaaja melun arvioi. Kiusallisuuden kokemisen voimakkuus (herkkyys) ja meluherkkyys vaihtelevat vuorokauden eri aikoina. Molemmat ovat yleensä epäherkimillään päivällä ja herkimillään ilta- ja aamyöstä.^{252, 253, 292, 300, 254}

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan altistettujen arvioima lentomelun kiusallisuus on voimistunut joko siksi, että asenteet lentomeluun ja sen aiheuttajiin ovat muuttuneet aikaisempaa kielteisemmäksi, vastaajat ovat herkistyneet lentomelulle tai melun ominaisuudet ovat muuttuneet siten, että sama melutaso aiheuttaa aikaisempaa voimakkaamman vaikutuksen. Kiusallisuusvasteen muutoksia on tarkasteltu luvussa 4.8.1.6.

4.8.1.3 LENTOMELUN KIUSSALLISUUSVASTEET

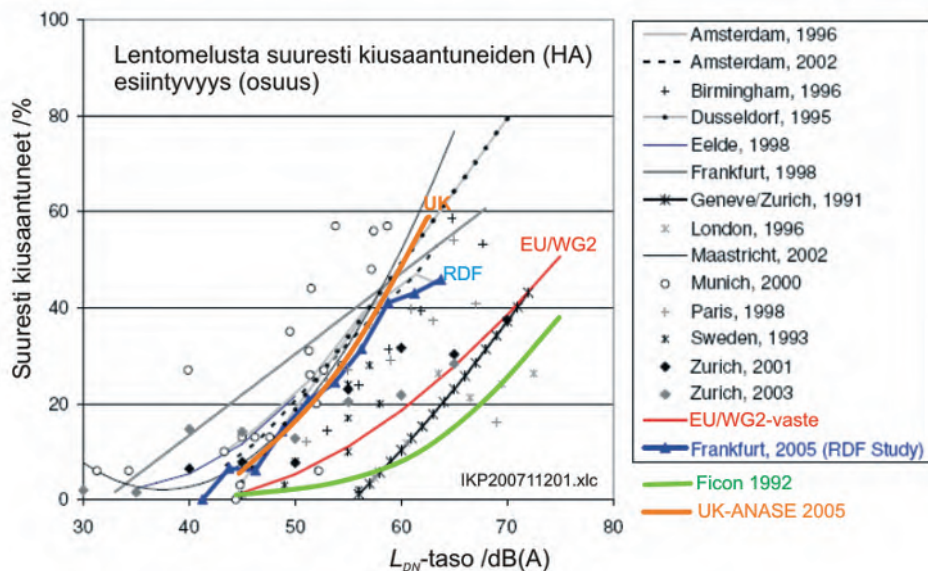
Kuvassa 11 on esitetty EU:n ympäristömeludirektiiviä valmistelleen työryhmän WG2 esittämät eriasteisesti kiusaantuneiden esiintyvyyssvasteet lentomelulle.^{232, 233} Tässä yhteydessä on syytä mainita Fidellin ja Silvatin melko tuore meta-analyysi ($N = 52\,778$, 356 asuinalueita) lentomelusta suuresti kiusaantuneiden esiintyvyydestä ja esiintyvyyssvasteista.²⁵⁵



Kuva 11: EU:n ympäristömeludirektiiviä valmistelleen työryhmän WG2 esittämät eriasteisesti kiusaantuneiden esiintyvyyssvasteet lentomelulle.^{232, 233}

Kuvassa 12 on esitetty EU:n työryhmän WG2 lentoliikenteelle esittämä %HA-vaste verrattuna 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa Euroopassa tehtyihin sekä Yhdysvaltain hallinnon yhteistyökomitean, FICONin, vuonna 1992 esittämään vastaavaan

kiusallisuusvasteeseen.^{232, 256, 257, 258} Erojen syitä ei ole tämän raportin yhteydessä selvitetty. Erään japanilaisen lentomelututkimuksen mukaan altistettut arvioivat asuin ympäristön lentomelun enemmän kiusalliseksi silloin, kun kysytään nimenomaan lentomelun kiusallisuutta kuin silloin, kun kysytään yleensä henkilön asuin ympäristön melun kiusallisuutta.²⁵⁹



Kuva 12: EU:n ympäristömeludirektiiviä valmistelleen työryhmän WG2 esittämä lentomelusta suuresti kiusaantuneiden esiintyvyyssvaste verrattuna 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa Euroopassa tehtyjen sekä Yhdysvaltain hallinnon yhteistyöryhmän (FICON) vuonna 1992 esittämiin HA-vasteisiin.^{232, 256, 281, 258, 260} Ficon 1992- ja UK-vasteet ovat Kari Pesosen lisäämiä.

Kuva 12 kertoo hyvin sen, että eri kenttien ympäristöissä ja eri aikoina tehtyjen kiusallisuuden kyselytutkimusten tulokset (vastausten perusteella lasketut eri kiusallisuusasteiden trendikäyrät) vaihtelevat suuresti. On syytä kysyä:

- missä määrin eri ympäristöissä eri aikoina tehtyjen tutkimusten tulokset ovat siirrettävissä toisiin ympäristöihin ja aikoihin?
- mikä olisi se kiusallisuuden esiintyvyys, jota kulloinkin pitäisi käyttää hyvälaatuisin ja terveellisen elinympäristön tavoitearvona?

Kuvassa 12 esitettyä uudempien erillis- ja yhteenvetotutkimusten %HA-vasteiden vaihtelu on ollut suurin piirtein yhtä suurta kuin tässä kuvassa. Esimerkiksi $L_{DEN} = 60$ dB-tasossa lentomelun suuresti kiusalliseksi kokevien määrä on vaihdellut välillä 10 – 70 %.^{261, 262, 263, 264, 265}

Monissa maissa maankäytön suunnittelussa meluohjearvot perustuvat kiusallisuuden esiintyvyyteen. Esimerkiksi USA:ssa maankäytön suunnittelussa yleinen asuinalueiden lentomelun haitattomuuden ylärajan, $L_{DN} = 65$ dB(A), taustalla on se, että %HA ei ylitä hyväksyttävää 12,5 % esiintyvyyttä (em. FICONin vuoden 1992 vasteen mukaan). Fidellin²²¹ meta-analyysin mukaan %HA on ollut $L_{DN} = 65$ dB tasossa monissa lentokenttien ympäristön kiusallisuustutkimuksissa paljon suurempi kuin 12,5 %, kuten kuvan 12 vasteetkin osoittavat.

Yleisesti taajamien asuin ympäristön ulkomelun ohjearvona käytetty $L_{Aeq,päivä, vuosi} = 55$ dB(A), vastaa lentomelulla EU/WG2-käyrän mukaan noin arvoja %HA = 10 % ja %A = 28 %. 1970 – 1990-luvuilla katsottiin, että hyvälaatuisessa asuin ympäristössä melusta suuresti kiusaantuneita ei saisi olla yli 5...10 %.²⁶⁶ Yhdenkään suuren

lentokentän ympäristössä tähän ei päästäne (vaikka käytettäisiin EU/WG2- tai Ficon 1992 vastetta). Esimerkiksi Lontoossa Heathrown kentän ympäristössä asuu noin 400 000 henkeä alueilla, joilla $L_{DEN,vuosi}$ ylittää 55 dB(A).²⁶⁷

Monista lentomelun kiusallisuuteen vaikuttavista tekijöistä mainittakoon tässä lentomelun voimakkuuden lisäksi voimakkuuden kasvunopeus (dB/s), voimakkuuden ajallinen vaihtelu, melun kesto sekä spektraaliset ominaisuudet.^{268, 269, *} Kasvunopeus vaikuttaa kiusallisuuteen tyypillisesti siten, että alle 15 dB/s kasvunopeuksilla kasvunopeuden vaikutus kiusallisuuteen on melko pieni, mutta kasvunopeuden ylitäessä 15...30 dB/s kiusallisuuden kasvu melutason funktiona jyrkistyy. Lennettäessä suoraviivaisesti havaintopaikan ohi lentonopeuden kasvaessa melun voimakkuuden kasvunopeus jyrkistyy (kasvaa), mutta samalla ohilennon melun kesto lyhenee.

Yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa suositellaan kiusallisuutta arvioitaessa lisättävän (matalalentojen) L_{DN} -tasoon korjaus $\Delta L = 11 \lg(OR) - 12,9$ dB(A), kun melun kasvunopeus (OR, Onset Rate) on 15 – 150 dB/s. Alle 15 dB/s kasvunopeuksilla korjaus on 0 dB(A).^{270, 271, 272, 273} Saksalaisessa asiantuntijaraportissa esitetään, että 4 – 15 dB/s kasvunopeuskin voi lisätä kiusallisuutta verrattuna tätä alhaisempaan nopeuteen.²⁷⁴ Lentomelun voimakkuuden kasvunopeuden on todettu vaikuttavan myös unihäiriöiden riskiin.³⁶⁴ Kuten edellä todettiin, kasvunopeuden kasvu, so. melun voimakkuuden nousunopeuden jyrkistyminen, lisää riskiä. Samalla kuitenkin ohilennon kesto yleensä lyhenee, minkä pitäisi pienentää riskiä. Lentokenttien ympäristössä olevilla asuntoalueilla reittiliikenteen koneiden ylilentojen melutason kasvunopeus on yleensä alle 5 dB/s, tyypillisesti esimerkiksi L_{AS} -taso kasvaa enintään 1 – 4 dB/s (vert. esim. kuva 3). Tällöin melun keston (ja tietysti myös voimakkuuden) vaikutus yhden ohilennon kiusallisuuteen on merkittävämpi tekijä kuin kasvunopeus.

Samana enimmäistason omaavan laskeutumisen melun voimakkuuden kasvu- ja hiljenemisnopeus on tyypillisesti suurempi kuin vastaavan kokoluokan nousevan koneen melun. Nousevan koneen melun kesto on tällöin pitempi kuin laskeutuvan koneen. Nousevan koneen L_{AE} -taso on pitemmästä kestoista johtuen suurempi kuin laskeutuvan koneen. Taustatekijänä on se, että kun laskeutuvan ja nousevan koneen enimmäistaso on sama, etäisyys laskeutuvaan koneeseen on tyypillisesti merkittävästi lyhyempi kuin nousevaan koneeseen.[†]

Ruotsissa tutkittiin vuonna 2011 ulkomelun L_{ASmax} -tason ja lentojen määrän käyttöä kiusallisuuden ja terveysvaikutusten indikaattorina L_{DEN} -tason asemasta tai sen lisänä. Tutkimukseen sisältyi sekä kyselytutkimus ($N = 3\,130$) että kuuntelutestejä ($N = 30$) laboratorioissa. Tutkimuksessa päädyttiin mm. siihen, että melusta kiusaantuneiden määrä kasvaa merkittävästi, kun L_{ASmax} -tason 70 dB ylittävien päivittäin lentojen määrä kasvaa suuremmaksi kuin 3 - 5.²⁷⁵

Suomessa on tämän raportin kirjoittajan tietojen mukaan tehty kaksi lentomelun vaikutusten kyselytutkimusta.^{276, 277} Höglundin tutkimuksessa²⁷⁶ käytetty kiusallisuuden mittaamenetelmä ja tulosten analysointitapa eivät vastaa nykyisin tiedeyhteisön suosittamia. Allekirjoittaneen vuonna 1998 Höglundin julkaisun tulosten perusteella tekemän pikaisen analyysin perusteella ei ollut syytä olettaa suomalais-ten %HA-kiusallisuusvasteen poikkeavan kovin paljoa vastaavasta EU/WG2-vas-

* Äänitason kasvunopeus riippuu siitä, mitä aikapainotusta (Fast, Slow, tai jokin muu) käyttäen melutason ajallinen muutosnopeus mitataan.

† ks. kaavat (2) ja (3).

teesta asuinalueilla, joilla L_{DEN} -taso on 55 – 65 dB(A). Tämän melutason yläpuolella Höglundin tutkimus antoi alhaisemman esiintyvyyden kuin EU/WG2-vaste. Finavian toimeksiannosta tehdyssä kyselytutkimuksessa ($N = 1302$) $L_{DEN} \geq 55$ dB melualueella* asuvien vastaajien[†] määrä, 19, oli hyvin pieni – tosin 33 % kaikista ruokakunnasta ($N = 58$), joille kysely lähetettiin. 9 % vastaajista koki kaupallisen lentoliikenteen ulkomelun suuresti kiusalliseksi. Ulkoa sisään kuuluvan kaupallisen lentoliikenteen melun koki 3 % vastaajista suuresti kiusalliseksi. Yleisilmailun ja sotilasilmailun vastaavat luvut olivat suurempia. Esimerkiksi sotilaslentoliikenteen melun ulkona suuresti kiusalliseksi kokevien osuus oli 60 % vastaajista. 19 vastaajaa vastausten yleistettävyyden ja edustavuuden kannalta pieni.²⁷⁷

EU/WG2-vaste on määritetty lähes kaksi kertaluokkaa suuremmasta havaintomateriaalista kuin Höglundin vaste ja asuinympäristöissä, joilla esimerkiksi rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys on alhaisempi ja enemmän asuntoja lähempänä kiitoteitä ja lentoreittejä kuin Helsinki-Vantaalla.

4.8.1.4 KIUALLISUUDEN ERO ULKONA JA SISÄLLÄ

Monista tutkimuksista tiedetään, että (kyselytutkimuksiin perustuva) kiusallisuus korreloi paljon paremmin ulkomelun voimakkuuteen kuin sisämelun voimakkuuteen. Tiedeyhteisö ei ole yksimielinen eron syistä. Usein sisämelun voimakkuus ja sen ajallinen vaihtelu riippuu enemmän asukkaiden elintavoista kuin ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuudesta. Tämä tarkoittaa sitä, että sisämelun voimakkuus ja vaihtelu korreloivat huonosti tietyn melulähteen ulkomelun vastaaviin.⁸²

Jo 1960-luvulla UK:ssa tehdyissä kuuntelukokeissa koehenkilöiden todettiin arvioivan tietyn voimakkaan lentomelun häiritsevyyden sisällä pahemmaksi kuin ulkona. Kuvassa 13 on esitetty ohilentojen häiritsevyyden (engl. disturbance²⁷⁸) voimakkuuden riippuvuus lentomelun hetkellisen enimmäistason voimakkuudesta sisällä ja ulkona. Sisämelun tuli olla noin 18 dB(A) hiljaisempaa ollakseen ulkomelun kanssa yhtä häiritsevää. Tutkijat epäilivät, että kuulijat ottavat häiritsevyyttä arvioidessaan tiedostamattaan huomioon rakennuksen ulkokuoren vaimennuksen.^{279, 280} Tässä tutkimuksessa häiritsevyyden (tai meluisuuden v. 1996) kategoria-asteikko on ainakin suomennettuna (kuva 13, pystyakseli) epälooginen. Se ei mittaa häiritsevyyden voimakkuutta monotonisesti ja tasavälein kasvavalla kategoria-asteikolla.

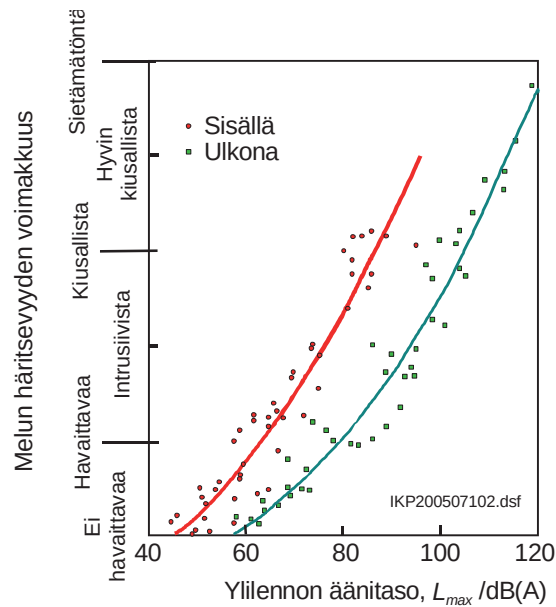
Ruotsissa vuonna 2011 tehdyssä lentomelun vaikutusten kyselytutkimuksessa ($N = 3\,130$) todettiin, että vastaajat kokivat asuntoalueensa lentomelun vähemmän kiusallisena ollessaan sisällä kuin ulkona. Esimerkiksi ulkomelun $L_{DEN} = 50 - 54$ dB meluluokassa ulkomelun koki suuresti kiusalliseksi noin 43 % vastaajista, kun tätä ulkomelua vastaavan sisämelun koki suuresti kiusalliseksi noin 34 %.²⁷⁵

Myös Finavian toimeksiannosta tehdyssä Tampere-Pirkkalan lentoasema-alueen asukastutkimuksessa todettiin, että lentomelualueilla asuvat kokivat sisämelun (ulkoa sisään kuuluva lentomelu) vähemmän kiusalliseksi kuin ulkomelun.²⁷⁷

* Kentän melualueet on laskettu ottaen kaikki lentoliikenne. Nähtävästi L_{DEN} -tason laskennassa on käytetty koko vuoden keskimääräistä eri konetyyppien päivä-, ilta- ja yö-ajan liikennettä lähtöarvona.

† Kysely lähetettiin kaikille ko. melualueella asuviksi tunnistetuille 58 ruokakunnalle (osoitteeseenn). Vastaus saatiin 19 ruokakunnalta. Yksi ruokakunta/osoite laskettiin yhdeksi vastaajaksi.

Helsinki-Vantaan kentän kyselytutkimuksessa²⁷⁶ vastaajat ilmoittivat kokevansa lentomelun ulkona häiritsevämmäksi kuin sisällä. Höglund olettaa eron johtuvan siitä, että vastaajat assosioivat kysymyksen tarkoittavan melun voimakkuutta. Ei ole selvitetty, missä määrin eri syyt, kuten Helsinki-Vantaan kentän ympäristön rakennusten monia muita maita parempi ulkokuoren ääneneristävyys ja tutkimuksen teko-aika (syksy) mahdollisesti vaikuttivat. Kiusallisuuden tiedetään riippuvan ainakin jossain määrin vuodenajasta (kesällä voimakkaan kiusallisuuden esiintyvyys on suurempi kuin talvella), sääoloista ja lämpötilasta.^{281, 282, 283, 300}



Kuva 13: UK:ssa 1960-luvulla tehdyn kuuntelututkimuksen mukainen ulkona ja sisällä koetun häiritsevyyden voimakkuuden riippuvuus lentomelun enimmäistason

Hollantilaisen metatutkimuksen²⁸¹ mukaan 15 °C lämpötilaero (kyselytutkimuksen ajankohdan 3 kk keskilämpötila) vastaa samaa vaikutusta kiusallisuuteen kuin 1 – 3 dB(A) ero ulkomelun L_{DEN}/L_{DN} -tasossa.

Norjalaisessa viiden kentän meluvaikutustutkimuksessa²⁸³ ($N = 1\,504$) lentomelun koki 80 % ko. kysymykseen vastanneista ($N = 518$), enemmän kiusalliseksi kesäaikaan kuin muina vuodenaikoina. Tosin tässä tutkimuksessa vain 34 % ($N = 518$) tutkimukseen osallistuneista ($N = 1\,504$) vastasi kysymykseen, joka koki kiusallisuutta eri vuodenaikoina. Sotilaslentokentällä (Bodø) erot eri vuodenaikojen melun kiusallisuudessa ei ollut näin selvä.*

Suomessa suuret vuodenaikavaihtelut vaikuttanevat asukkaiden tyypillisiin elintapoihin enemmän kuin esimerkiksi Keski- ja Etelä-Euroopan EU-maissa. Esimerkiksi pien- ja rivitaloissa asukkaat käyttävät meillä piha-alueitaan paljon enemmän kesäisin kuin talvisin ja yleisesti oletetaan, että piha-alueen melulla on kesäisin suurempi merkitys kiusallisuuteen kuin talvella. Suomessa piha-alueiden käyttöön sovelias aika on monia muita maita lyhempi. Talvisin puolestaan meillä pidättäneen suurempi osa vuorokaudesta ikkunoita kiinni kuin maissa, joissa ulkolämpötilat ovat meikäläisiä suurempia talvisinkin.

* Tässä tutkimuksessa kysyttiin kiusallisuuden voimakkuutta (yleensä) vastaajan ollessa kotona. Erikseen kysyttiin kiusallisuutta myös eri vuorokauden ja vuoden aikoina vastaajan ollessa kotona.

Finavian lentomelusta tehtyjen vuosittaiset jakautumat vahvistavat sen, että yhteydenottoja ja valituksia esiintyy enemmän kesäaikaan kuin talvella.^{284, 285}

UK CAA:n* vuoden 2014 kyselytutkimuksessa ($N = 1\,877$) päädyttiin siihen, että koettu lentomelun kiusallisuus ei riippunut – kun sosiaalisen asema otettiin huomioon sekoittavana tekijänä – siitä oliko asunnossa yksinkertaiset vai kaksinkertaiset lasit ikkunoissa.³⁰⁰

4.8.1.5 PÄIVÄ- JA YÖAIKAISEN LENTOMELUN KIUSSALLISUUDEN ERO

Kiusallisuuden kyselytutkimuksissa on ollut tapana kysyä vain asuinalueen melun kiusallisuutta (viimeisen vuoden ajalta) yleensä. Joissakin tutkimuksissa on kysytty erikseen yö- ja päiväaikaisen melun kiusallisuutta ja joissakin on tutkittu kokeillen minkälaista päivä- ja yöajan painotuseroa (yö- ja iltajaajan lisäpainotus) käyttäen kiusallisuus korreloi parhaiten L_{DN} - ja L_{DEN} -tyyppiseen melutasoon.^{286, 287, 258} Näissä tutkimuksissa on päädytty siihen, että luokkaa 10 dB(A) oleva painotus (lisäys) yöajan L_{Aeq} -tasoon koko vuorokauden L_{Aeq} -tasoa määritettäessä tuottaa parhaan korrelaation. Arviot perustuvat pitkälle meneviin yksinkertaistuksiin ja oletuksiin lentokoneiden melujen vaihtelusta.

Tutkimuksista, joissa on selvitetty erikseen lentomelun kiusallisuutta päivä- ja yöaikana mainittakoon Frankfurtin lentokentän ympäristössä tehty tutkimus. Kentän melualueilla asuvat ($N = 2\,309$) ilmoittivat kokevansa lentomelun yöaikaisen kiusallisuuden eri ulkomeluissa hieman suuremmaksi kuin päiväaikaisen, mutta samalla hieman vähäisemmäksi kuin koko vuorokauden kiusallisuuden. Tämän tutkimuksen yhteydessä 200 henkeä raportoi usean päivän ajalta päiväajan (07 - 23 h) kunakin tuntina kokemansa lentomelun kiusallisuuden. Tästä tuntikiusallisuudesta laskettu 200 hengen päiväajan keskimääräinen kiusallisuus oli kaikilla melualueilla viisiportaisella asteikolla yhden portaan alhaisempi kuin päätutkimuksessa saatu koko päiväajan kiusallisuus.^{256, 260} Syynä lienee se, että muistinvarainen kiusallisuus on yleensä suurempi kuin hetkellinen yhtä voimakkaan melun aiheuttama.

Vuonna 1998 tehdyssä Frankfurtin kentän meluvaikutustutkimuksessa²⁸⁸ ($N = 1\,147$) oli päädytty siihen, että melusta suurehko²⁸⁹ kiusaantuneiden esiintyvyys (lineaarisesti sovitettu vaste) riippui suurin piirtein samalla tavalla L_{Aeq} -tasosta sekä päivällä että yöllä. Kyseisen tutkimuksen datat analysoitiin uudelleen tämän selvityksen yhteydessä. Esimerkiksi toisen asteen polynomilla approksimoidut trendikäyrät olivat lähes identtiset (päiväajan melun $R^2 = 71\%$ ja yöajan $R^2 = 59\%$). Tämän tutkimuksen mukaan yöaikaista melua ei tarvitsisi painottaa muodostettaessa L_{DEN} -tyyppinen koko vuorokauden melun kiusallisuuden indikaattori.

Saksassa tehtiin 2000-luvun alussa tutkimus ($N = 1\,110$), jossa selvitettiin tie- ja raiteliikenteen päivä- ja yöaikaisen eron kiusallisuutta. Tulokset osoittavat, että tieliikennemelun kiusallisuus oli herkimmillään iltapäivisin klo 16 – 19 ja raiteliikenteen klo 18 – 22. Lentomelun kiusallisuutta ei tutkittu. Eri vuorokaudenaikojen välinen kiusallisuuden ero kasvoi vuorokautisen liikennemäärän (ja $L_{Aeq,24h}$ -tason) kasvaessa.²⁹⁰ Vastaavan tyyppinen koko vuorokauden liikennemäärästä riippuva eri vuorokauden aikojen kiusallisuuden ero saattaa päteä myös lentomelulle. Tämä tarkoittaa sitä, että liikennemäärän ja painottamattoman $L_{Aeq,24h}$ -tason kasvaessa tietty $L_{Aeq,1h}$ -taso tuottaa eri suuren kiusallisuuden ja erilaisen tietyn asteisen kiusallisuuden esiintyvyyden.

* CAA eli Civil Aviation Authority eli siviili-ilmailu virasto

EU-rahoitteisessa COSMA-tutkimuksessa²⁹¹ kysyttiin kolmen lentokentän (Heathrow/ Lontoo, Cologne/Bonn ja Arlanda/Tukholma) ympäristön asukkailta muun muassa mihin vuorokauden aikaan he kokivat lentomelun kaikkein kiusallisemmaksi. Colognen ja Arlandan ympäristössä suurin lentomelun kiusallisuus koettiin klo 15 – 00 h. Arlandassa huippu ajoittui klo 17 – 20 h, Colognessa 21 – 24 h. Heathrown kentän ympäristössä suurin kiusallisuus ajoittui klo 04 – 07 h.²⁹² Raportissa ei kerrota, miten eri kenttien liikennemäärät erosivat toisistaan vuorokauden eri aikoina ja, miten liikenne jakaantui eri kentillä vuorokauden eri tunneille.

Norjalaisessa viiden kentän meluvaikutustutkimuksessa ($N = 1\,508$) kysyttiin, minä vuorokauden aikana* vastaaja koki melun kaikkein kiusallisimmaksi. Vain 43 % ($N = 646$) vastasi tähän kysymykseen. 42 % ($N = 275$) heistä ilmoitti kokevansa klo 12 – 18 välisen melun kaikkein kiusallisemmaksi ja 23 % ($N = 131$) yöaikaisen, klo 23 – 06, melun. Tutkimuksesta ei selviä, mikä oli eri aikojen vastaajan asunnon ulkotali sisämelunmelun L_{Aeq} -taso, eikä sitä, paljonko ja millaisia koneita eri aikoina vuorokaudesta lensi.²⁸³

Ihmiset vastaavat kyselytutkimuksiin yleensä päiväaikaan. Kyselyyn vastaamisen aikainen tai ennen vastaamista lähiaikoina, esimerkiksi aamulla heräämisen aikana, kuultu melu saattaa vaikuttaa siihen, kuin voimakkaaksi henkilö arvioi yöaikaisen melun kiusallisuuden.

4.8.1.6 LENTOMELU KIUALLISUUSVASTEEN MUUTOS VIIMEISEN 50 VUODEN AIKANA

Kuvassa 14 on vertailtu vuoden 1964 jälkeen lentomelun kiusallisuuden kyselytutkimuksen tuloksia. Kuvassa on esitetty, mikä on kussakin tutkimuksessa ollut se L_{DEN} -taso, jossa 25 % vastaajista on arvioinut melun vähintään suuresti kiusalliseksi. Eri tutkimusten kiusallisuusasteikot on saatettu laskennallisesti mahdollisimman hyvin toisiaan vastaaviksi. Lentomelusta suuresti kiusaantuneiksi on katsottu ne, joiden vastaus osuu 10-portaisella ekvivalenttisella muunnosasteikolla kolmeen ylimpään kategoriaan tai asteeseen tai, joiden arvio 100-portaisella asteikolla on 72 tai suurempi. Mitattaessa kiusallisuutta viisiportaisella kategoria-asteikolla monet tutkijat luokittelevat melusta suuresti kiusaantuneiksi kahteen ylimpään luokkaan vastanneet. Kuvan 14 38 tutkimuksesta 14 ovat samoja kuin on kuvan 10 vastekäyrien tietokannassa,^{232, 233} kuusi havainnoista on vuonna 2005 julkaistusta hollantilaisutkimuksesta²⁹³ ja loput muista uusista tutkimuksista.^{294, 295, 296, 297, 298, 466, 275, 220}

Kuvan 14 havainnot viittaavat siihen, että joko saman L_{DEN} -tason tuottava lentomelun luonne on muuttunut aikaisempaa kiusallisemmaksi,[†] altistettujen kiusallisuusvasteen herkkyys on kasvanut tai molemmat ovat vaikuttaneet siten, että lentomelusta suuresti kiusaantuneiden esiintyvyys on kasvanut ja/tai kiusallisuuden arviointivaste on herkistynyt. Kiusallisuusvasteen herkkyys on voinut muuttua myös meluun tai melun tuottajiin kohdistuvien asenteiden tai ympäristölle asetettujen laatuodotusten muutosten vuoksi. Myös kiusallisuuden mittausten menetelmien, esimerkiksi

* klo 06 – 09, 09 – 12, 12 – 18, 18 – 23 ja 23 – 06.

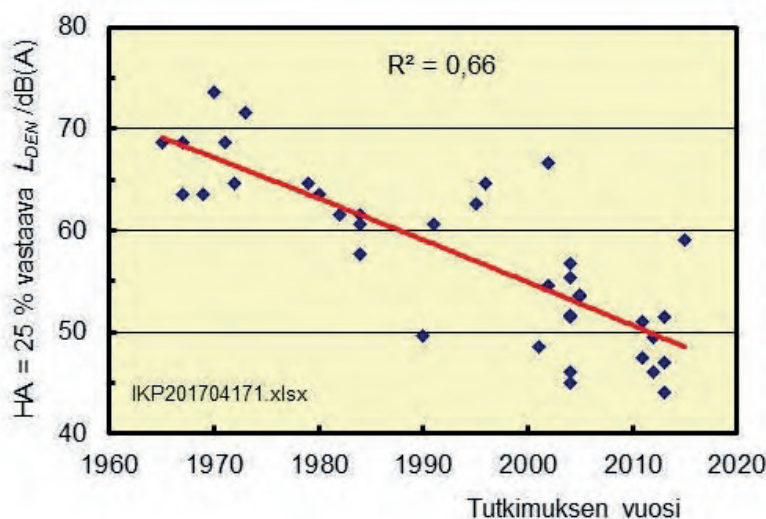
† Kaupallisen liikenteen kentillä on yleistä, että meluisten koneiden määrä on vuosien mittaan vähentynyt, mutta vähemmän meluisten määrä on samalla kasvanut. Tapauksissa, joissa melun pitkän ajana keskiäänitaso ei ole muuttunut oleellisesti, lentojen määrän kasvu yleensä lisää kiusallisuutta.

kysymysten muotoilun, määrän, järjestyksen ja asteikkojen muutokset ovat voineet olla ainakin osasyynä.²⁹⁹

On myös tutkimuksia, joissa ei ole todettu kovin merkittävää lentomelun kiusallisuusvasteen herkimistä. Esimerkkinä voidaan mainita UK CAA:n* vuosina 1982, 2003, 2004, 2013 ja 2014 tehtyjen kyselytutkimusten tulosten vertailut. L_{DEN} -taso, jossa 25 % vastaajista ilmoittaa olevansa suuresti kiusaantunut oli vuonna 1982 noin 65 dB, kuten myös vuonna 2014. Lentomelun kasvuun tai reagoinnin herkimiseen viittaa kuitenkin se, että vuoden 2014 tutkimuksessa 6 % vastaajista arvioi lentomelun kasvaneen sen jälkeen kun muuttivat nykyiseen asuntoonsa ($OR = 13,7$). Kielteisiä meluasenteita tulevaan kehitykseen kuvaa se, että vuoden 2014 kyselyssä 35 % vastaajista arvioi melun kasvavan ensi kesänä.³⁰⁰

Esimerkkinä tuoreesta metatutkimuksesta, jossa päädyttiin siihen, että viimeisen 50 vuoden aikana ei ole tapahtunut merkittävää väestön kiusallisuusvasteen yleistä herkimistä voidaan mainita Gelderblom *et al.*³⁰¹ tutkimus. Tämän tutkimuksen mukaan todetun herkiminen pääsyy on se, että tutkimukset, joissa on todettu herkimistä aiempaan verrattuna, on tehty melko lyhyen (enintään 3 vuotta) ajan sisällä merkittävästä lentotoiminnan ja lentomelun kasvusta. Toiminnaltaan ja melultaan vakiona pysyneiden, tai vain vähän muuttuneiden, kenttien kiusallisuustutkimuksissa ei ole todettu vastaavaa herkimistä. Tutkijoiden mukaan muutos melutilanteesta aiheuttaa sen, että ihmiset raportoivat kokevansa voimakkaampaa kiusallisuutta, kuin ne samansuuruiselle lentomelulle altistuvat ihmiset, joiden asuinympäristön lentomelu ei ole kasvanut.³⁰¹

Toisena esimerkkinä tuoreesta lentomelun kiusallisuuden meta-analyysistä on WHO-Euroopan toimiston asiantuntijatyöryhmän selvitys. Sen mukaan herkimistä on tapahtunut vuosien 2000 – 2014 välillä, mutta eri tutkimusten välillä on hyvin suuri heterogeenisyys.¹⁹¹



Kuva 14: Lentomelun kiusallisuuden muuttuminen vuosien 1965 – 2015 välillä. Kuvassa on esitetty, miten se ulkomelun L_{DEN} -taso, jossa 25 % kyselytutkimuksiin vastanneista ilmoittaa olevansa suuresti melusta kiusaantunut on muuttunut 50 vuoden aikana. Kuvassa oleva käyrä selittää 66 % havaintojen vaihtelusta. Oletettu, että $L_{DEN} \approx L_{DN} + 0,6 \text{ dB(A)}$, $L_{DEN} \approx L_{Aeq,päivä} + 2 \text{ dB(A)}$ ja $L_{DEN} \approx L_{Aeq,24h} + 5 \text{ dB(A)}$, kun on myös yöaikaista liikennettä. Trendikäyrä, toisen asteen polynomiapproksimaatio, on määritetty tämän selvitystyön yhteydessä.

* CAA Civil Aviation Authority eli siviili-ilmailu virasto.

Kuvan 10 lentomelun %HA-käyrän mukaan 25 % altistetuista on suuresti kiusaantuneita noin 65 dB ulkomelun L_{DEN} -tasossa. Kuvan 14 mukaan tämä tilanne vastaa noin vuotta 1981. Kuten aikaisemmin on todettu kuvan 10 lentomelun kiusallisuustutkimuksista suuri osa on hyvin vanhoja,

Norjassa vuosina 2014 - 2015 tehdyssä viiden kentän meluvaikutusten kyselytutkimuksessa ($N = 1\,504$) päädyttiin siihen, että neljän kentän* ympäristössä melusta suuresti kiusaantuneiden (%HA) vaste oli epäherkempi kuin kuvien 10 ja 11 %HA-vaste. Oslon-Gardemon kentän ympäristön asukkaiden %HA-vaste oli näiden kuvien vastetta herkempi.²⁸³

Kun tarkastellaan, miten saman L_{DEN} -tason tuottava lentomelu on muuttunut kuvan 14 tutkimuksissa mukana olevien tyyppisten suurten lentokenttien ympäristössä, niin yleinen trendi on, että yksittäisten ylilentojen (etenkin nousujen) melun voimakkuus on pienentynyt, mutta koneiden määrä (liikennetiheys) on kasvanut. Monien kenttien ympäristössä asutus on levinnyt lähemmäksi kenttiä ja lentoreittien alle on saattanut joutua tai tulla aikaisempaa suurempi osuus kyselytutkimukseen osallistuneesta asutuksesta. On myös viitteitä siitä, että tieto tai oletus tulevasta lentomelun kasvusta tai kentän toiminnan vilkastumisesta tai reittien merkittävistä muutoksista näkyy kyselytutkimuksissa herkistyneenä kiusallisuusvasteena.^{302, 303, 304, 80, 305, 306, 307, 308, 309, 310}

4.8.1.7 ASUMISMUODON JA -YMPÄRISTÖN VAIKUTUKSESTA KIUSSALLISUUTEEN

Tutkimusten mukaan asumismuoto- ja ympäristö vaikuttavat asukkaiden kokemaan ympäristömelun kiusallisuuteen.^{311, 312, 313, 314, 315, 316} Esimerkiksi englantilaisessa rautatiemelututkimuksessa todettiin, että kaupungeissa asuvat kokivat (tilastollisesti) saman L_{Aeq} -tasoisen melun kiusallisempaan kuin maaseudulla asuvat. Ero vastasi noin 4 dB(A) eroa altistavassa tasossa.³¹⁷ Joillain meluilla ja joissakin tutkimuksissa tilanne voi olla päinvastainen. Esimerkiksi Itävallassa maaseudun vasteet ovat kaupunkivasteita herkempiä. Omakoti- ja rivitaloissa asuvien on todettu kokevan liikennemelun kiusallisempaan kuin kerrostaloissa asuvien.³¹⁸ Asuinalueen yleisen laatutason on todettu vaikuttavan kiusallisuuteen. Mitä korkealaatuinen alue on, sitä suurempi on eriaistisen kiusallisuuden esiintyvyys.

Tutkimuksia asumismuodon vaikutuksista lentomelun kiusallisuuteen ei löytynyt. Sen sijaan taustamelun voimakkuuden on todettu vaikuttavan lentomelunkin kiusallisuuteen. Sama lentomelu aiheuttaa hiljaisen taustamelun alueilla voimakkaamman kiusallisuusvasteen kuin voimakkaan taustamelun alueilla.^{319, 320} Löytyy myös tutkimuksia, joissa on päädytty siihen, että taustamelun voimakkuus verrattuna tutkittavaan lentomeluun ei vaikuta merkittävästi sen kiusallisuuteen.^{305, 321}

Muun muassa maisema-arkkitehtuuriin alaan kuuluvissa ja kasvillisuuden ympäristövaikutuksia koskevissa tutkimuksissa taajama-alueiden kasvillisuuden määrän ja laadun on todettu vaikuttavan erilaisten ympäristöaltisteiden ja tekijöihin aiheuttamaan stressiin ja jopa väkivaltaisen käyttäytymisen (rikosten) esiintyvyyteen.³²² Trendinä näyttää olevan, että kasvillisuuden (puusto, pensaat) määrän lisäys lieventää asuinalueella ympäristötekijöiden, kuten melun, aiheuttamaa stressin esiintyvyyttä ja parantaa asuinalueen laatua.^{322, 323} Melututkimuksissa kasvillisuuden stressiä ja

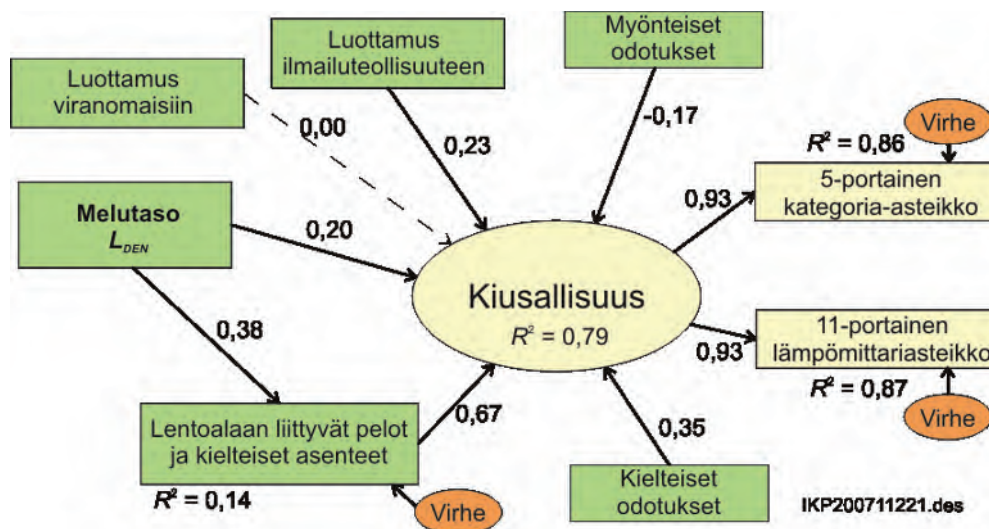
* Stavanger-Sola, Trondheim-Værnes, Tromsø-Langnes ja Bodø.

muita meluvasteita mahdollisesti moderoivaa vaikutusta ei ole yleensä otettu huomioon mahdollisena melusta riippumattoman kiusallisuuden vaihteluiden selittäjänä.

4.8.1.8 ASEENTEET JA ODOTUKSET LENTOMELUN KIUSSALLISUUDEN SELITTÄJÄNÄ

Kuten edellä on useassa yhteydessä todettu, melun voimakkuus selittää suoraan yleensä vain osan, tyypillisesti 2 – 40 %, kyselytutkimuksiin vastanneiden henkilöiden ilmoittaman kiusallisuuden voimakkuuden vaihtelusta. Muut seikat selittävät melua suuremman osuuden. Monesti asenteet, turvallisuushkapelot ja odotukset (yhteensä) selittävät melun voimakkuutta suuremman osuuden.^{305, 304, 320, 302, 324, 81, 325, 326, 82, 5, 7, 8, 617, 327, 328, 329}

Frankfurtin kentän laajennussuunnittelun yhteydessä tehtiin vuonna 2005 laajojen ympäristövaikutusselvitysten yhteydessä myös kyselytutkimus, jossa selvitettiin niitä tekijöitä, joista kyselytutkimuksin mitattu kiusallisuus riippui. Kyselyyn vastasi 2 312 asukasta 66 eri asuntoalueelta.²⁵⁸ Kuvassa 15 on esitetty parhaiten kiusallisuuden syitä ja vaihtelua selittävä riippuvuusmalli, niin sanottu path-malli. Koko malli selittää 79 % kiusallisuuden satunnaisvaihtelusta (varianssista). Nuolien vieressä olevat luvut ilmoittavat kyseisen riippuvuussuhteen (path) standardoidun korrelaatiokertoimen, r . Valitettavasti julkaistut tiedot analyysimenetelmistä ovat kovin suppeita, mistä syystä esimerkiksi analyysin tuloksien yksikäsitteisyyttä (olisiko jokin toinen menettely antanut tämän kanssa ristiriidassa olevan path-mallin) on mahdotonta arvioida.



Kuva 15: Esimerkki tekijöistä, joista lentomelun kiusallisuuden riippuu. Kyseessä on ennen Frankfurtin kentän laajennusta tehdyn kyselytutkimuksen ($N = 2\,313$) tulosten perusteella tehdystä analyysistä. Analyysissä käytetty mallinnusmenetelmä ei ollut kausaalinen, eli se ei eliminoinut toisen suuntaista syy-seuraussuhdetta.²⁵⁸

L_{DEN} -tason suoran riippuvuustien standardoitu (ko. mallin) korrelaatiokerroin $r = 0,20$ eli se selittää $0,20^2 = 0,04 = 4\%$ eri henkilöiden ilmoittaman kiusallisuuden voimakkuuden vaihtelusta (varianssista). Kun otetaan huomioon se, että koko malli selittää 79 % vaihtelusta, on L_{DEN} -tason kokonaisselittävyys $0,79 \cdot 4 = 3,1\%$. L_{DEN} -

taso vaikuttaa kiusallisuuteen myös lisäämällä erilaisia lentokoneisiin ja -liikenteeseen liittyviä pelkoja (mm. lento-onnettomuudet kentän läheisyydessä) ja kielteisiä asenteita muita päästöjä/haittoja kuin melua kohtaan. Luottamus ilmailuteollisuuden ilmentää luottamusta siihen, että teollisuus pystyy vähentämään tulevaisuudessa koneiden melua (ja päästöjä). Myönteiset odotukset ($r = -0,17$), joiden kasvu vähentää kiusallisuutta, sisältää muun muassa odotuksia, että kenttä vaikuttaa positiivisesti alueen yleiseen kehittymiseen, parantaa palveluja ja liikenneyhteyksiä, turismin tuottoja ja elämän laatua. Kielteiset odotukset ($r = 0,35$) puolestaan sisältää vastaavia kielteisiä odotuksia ja asenteita, joiden mukaan kentästä ja sen laajennuksesta koituu vain kielteisiä vaikutuksia ja seuraamuksia.

Tässä Frankfurtin kyselytutkimusten tulosten analyysissä päädyttiin siihen, että luottamuksella tai epäluottamuksella viranomaisten toimintaan ei ollut tilastollista vaikutusta. Epäluottamusta ilmentää esimerkiksi se, että uskotaan viranomaiset voivan (halutessaan) tehdä melun ja haittojen vähentämiseksi toimenpiteitä, mutta eivät tee tai toimi altistettujen etua ajaen. Tulos poikkeaa tältä osin esimerkiksi Fieldsin³⁰⁵ tekemän laajan meta-analyysin tuloksesta.

Frankfurtin tutkimuksen tulokset eivät sinänsä ole uusia. Vastaavista raportoitiin jo 1950-luvulla.^{5,7} Asenteiden,³³⁰ pelkojen ja uskomusten todettiin selittävän melua suuremman osan kiusallisuudesta useissa 1960-luvulla ja 1970-luvun alussa tehdyissä lentomelun kiusallisuustutkimuksissa.^{8, 331, 332, Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.}

Allekirjoittanut kävi läpi suurimman osan ko. aikakauden julkaistuista tuloksista tehdessään konsulttityönä ehdotusta lääkintöhallituksen vuoden 1979 meluohjekirjeeksi ja sen ohjearvoiksi. Silloisten käsitysten mukaan asenteiksi katsottavia tai väitteinä esitettyjä lausumia terveydentilasta tai siihen vaikuttavista seikoista tai oloista ei voitu pitää terveyshaittana.

UK CAA:n* vuoden 2014 kyselytutkimuksessa ($N = 1\,877$) päädytään mm. siihen, että suuri itse arvioitu meluherkkyys voimistaa todennäköisyyttä kokea melu suuresti kiusalliseksi. Suuresti melun kiusalliseksi kokemista herkisti se, jos nykyiselle asuinpaikalle muuton jälkeen melu koettiin voimakkaammaksi kuin oli ennalta arvioitu.³⁰⁰

Filippiinien Manilan kentän meluvaikutusten kyselytutkimuksessa ($N = 321$) päädyttiin siihen, että meluherkkyys ja taloudellinen asema olivat merkittävimmät koettua kiusallisuutta selittävät oheismuuttajat. Itse arvoidun meluherkkyuden voimakkuus ja hyvä taloudellinen asema selittivät positiivisesti koetun kiusallisuuden voimakkuutta. Suuri meluherkkyys selitti merkittävästi myös itse arvioitua meluun heräämisten helppoutta/herkkyyttä.³³³

Saksassa vuonna 2012 tehdyssä laajassa ($N = 19\,294$) GEDA 2012 tutkimuksessa päädyttiin siihen, että alhaisessa sosioekonomisessa asemassa olevat kokivat tie- ja raideliikenteen sekä naapurimelun suuresti kiusalliseksi herkemmin kuin keskimääräisessä ja hyvässä asemassa olevat. Lentoliikenteen melun osalta tilanne oli miehillä päinvastainen ja naisista herkimpiä olivat keskimääräisessä taloudellisessa asemassa olevat.³³⁴

Ruotsalaisessa tutkimuksessa ($N = 3\,406$) selvitettiin kyselytutkimuksella melu-, kemikaali-, sähkö- ja rakennusoloille herkkyuden esiintyvyyttä ja herkkyysien välistä yhteyttä. Vähintään yhdelle edellä mainituista tekijöistä herkkiä oli 6,8 % kyselyyn vastaajista. 5,8 %:lla oli samanaikaisesti herkkyys vähintään kahdelle

* Civil Aviation Authority

edellä mainituista ja 1,3 %:lla vähintään kolmelle. Moniherkkyyden syytä tai mekanisme ei pystytty selittämään.³³⁵

4.9 UNENHÄIRINTÄ, UNIHÄIRIÖT

Yöaikaisen (sisä)melun pahimpana terveyshahtana pidetään sen mahdollisesti aiheuttamia unihäiriöitä. Nukahtamisen vaikeutumista ja unen virkistävää vaikutusta vähentäviä kokemuksia ja elimistön toiminnallisia muutoksia voidaan kutsua (normaalin unen) *unihäiriöiksi*. Unitilan häiriöiksi nimitetään myös tiettyjä melun aiheuttamia muutoksia nukkuvan aivosähkö- eli EEG-käyrissä.³³⁶ *Unenhäirintä* puolestaan on nimitys sille prosessille, jossa melu aiheuttaa kielteisiä muutoksia uneen ja sen laatuun.

Pahimpana melun aiheuttamana unihäiriönä pidetään heräämistä valvetilaan ja nukahtamisen (tai uudelleen nukahtamisen) estymistä tai vaikeutumista. Säännöllisesti toistuvien unihäiriöiden (univajeen) oletetaan aiheuttavan, vahvistavan, pahentavan tai pitkittävän monia tauteja, minkä katsotaan lisäävän unihäiriöitä aiheuttavan melun terveydellistä haitallisuutta.^{337, 338, 339} Toisaalta kokemuksesta tiedetään, että lepo ja uni auttavat, jouduttavat tai varmistavat monista taudeista parantumista, ja että erityisesti moniin mielensairauksiin liittyy (tautia pahentavana) oireena unettomuus. Se, että moniin sairauksiin liittyy seurauksena unen laadun huononeminen, vaikeuttaa ulkoisten unihäiriöiden syiden, kuten melun, osuuden ”esiin kaivamista”.

Vuoden 2000 terveystutkimuksen ($N = 7\,262$) mukaan suomalaisten aikuisten keskimääräinen yönunen pituus oli 7,5 tuntia. Keskihajonta oli 1,24 h. Henkilöitä, jotka nukkuivat 6 h tai vähemmän oli 14,5 % ja henkilöitä, jotka nukkuivat 9 tuntia tai enemmän oli 13,5 %.³⁴⁰ Unen pituus on vuosien mittaan lyhentynyt noin 5,5 min 10-vuosittain ja näyttää edelleen lyhentyvän.³⁴¹ Duodecimin terveyskirjaston mukaan 70 % suomalaisista menee nukkumaan 21.30 – 23.30 välisenä aikana. Yli 60 % nousee aamuisin klo 5.30 – 7.30 välillä. Noin 7 % koko kansasta nousee ennen klo 5.30. Teollisuustyöntekijöistä noin 12 % nousee ennen klo 5.30.³⁴²

Yksilöllinen unen tarve vaihtelee, samoin kuin herkkyys unihäiriöille. Kymmenen vuotta sitten julkaistussa 22 vuoden pituisen kaksosten terveyden seurannan suomalaistutkimuksessa on tultu tulokseen, että sekä normaalia lyhempi että pitempi uni lisäävät riskiä ennenaikaiseen kuolemaan.³⁴³ Univajeeseen johtavan normaalia lyhemmän unen ja liian pitkän unen on todettu lisäävän veren tulehdusmarkkereiden pitoisuutta. Markkereiden pitoisuuden kasvua pidetään mm. stressin indikaattorina.^{426, 428, 429, 213, 339}

Sinänsä unihäiriöt ja huonounisuus ovat yleisiä. Arvioidaan, että noin 10 % väestöstä kärsii jatkuvasta jonkinasteisesta unettomuudesta ja noin 30 % ajoittaisesta.^{344, 345} Unihäiriöiden ja huonounisuuden tautiluokituksessa tunnetaan yli 50 erilaista tautinimeä.³⁴⁶ Unettomuus voi olla myös oire muusta sairaudesta. Huonon unen (olipa syy mikä tahansa) tuottamalla päiväväsymyksellä on monia kielteisiä seuraamuksia. Esimerkiksi Ranskassa arvioidaan noin 20 % vakavissa liikenneonnettomuuksissa kuljettajan väsymyksen olevan pääsyy.³⁴⁷

4.9.1 UNIHÄIRIÖIDEN TUTKIMUSMENETELMISTÄ

Melun vaikutusta uneen on tutkittu pääasiassa kolmella tavalla:

- *Kyselemällä altistuneilta* heidän omia arvioitaan tietyn melun aiheuttamista uni-häiriöistä. Puhutaan itse arvioiduista tai itse raportoiduista unihäiriöistä, kuten itse raportoitujen (valveille) heräämisten määrästä. Koehenkilöiden määrä kyselytutkimuksissa on yleensä suuri, usein luokkaa 1000 henkilöä.
- Mittaamalla *laboratorio-oloissa* melutapahtuman (esim. ohilento) aiheuttamia muutoksia aivosähkökäyristä (EEG-käyristä), sydämen toiminnasta (ECG-käyristä), silmän liikkeistä (EOG-käyristä) tai lihasjännityksestä (EMG-käyristä) tahi liikeantureilla (kehon tai raajojen liikkeet unen aikana). Polysomnografiaksi³⁴⁸ (PSG) tai laajaksi unitutkimukseksi kutsutaan mittausta, jossa samanaikaisesti monitoroidaan monia muuttujia. Edellisten lisäksi rekisteröidään esimerkiksi hengitystä, veren happisaturaatiota eli happikylläisyysastetta sekä sykevaihtelua (ECG-käyristä). Yleensä koehenkilöitä altistetaan kaiuttimista toistetulle nauhoitetulle melulle, kuten ohilennoille, joiden välissä on hiljaisia jaksoja. Tutkimukseen voi myös sisältyä aamulla heti heräämisen jälkeen tai päivällä tehtyjä suorituskyky- tai vireystestejä. Koehenkilöiden määrä on laboratoriotutkimuksissa yleensä melko pieni, muutamasta henkilöstä muutamaan kymmeneen henkilöön.
- Mittaamalla *kotioiloissa* unitilaa ja sen muutoksia samoilla menetelmillä kuin laboratoriossa. Yleensä kotioiloissa tehdyissä mittauksissa rekisteröidään kustannussyistä pienempää muuttujamäärää kuin laboratoriotutkimuksissa, esimerkiksi vain nukkuvan liikeitä ja sykevaihtelua. Liikeanturi voi olla sängyssä, jolloin tulos on (pääasiassa kehon) unen aikainen liikehdintää. Anturi voi olla myös raajassa, esimerkiksi ranteessa, jolloin unitilan aikaisen liikehdinnän lisäksi valvetilan aikainen (ml. vuoteesta poissaolon, esim. WC:ssä käynnin aikainen) liikehdintä näkyy tuloksissa. Altistava melu voi olla normaalia nukkumutilaan kuuluvaa asunnon ja asuinalueen melua tai kaiuttimesta toistettua nauhoitettua ääntä. Kotioiloissa tehtäviin omatoimisiin unenlaatumittauksiin on saatavissa älykello- ja puhelinsovellutuksia. Koehenkilöiden määrä on kotioiloissakin tehdyissä tutkimuksissa yleensä hyvin pieni, enintään muutamia kymmeniä.

Ihmiset ovat kotioiloissa paljon epäherkempiä melun aiheuttamille unihäiriöille kuin laboratoriossa nukkuessaan.^{418, 349} Kyselytutkimukset antavat yleensä paremman kuvan unihäiriöiden yleisyydestä ja koetusta unen laadusta kuin objektiiviset mitaukset. Ero riippuu kuitenkin siitä, kuinka herkkää indikaattoria, esimerkiksi kuinka vähäistä aivosähkökäyrän muutosta, käytetään unihäiriön objektiivisena mittana ja millaisin kysymyksiin unihäiriöitä mitataan kyselytutkimuksissa.^{350, 351}

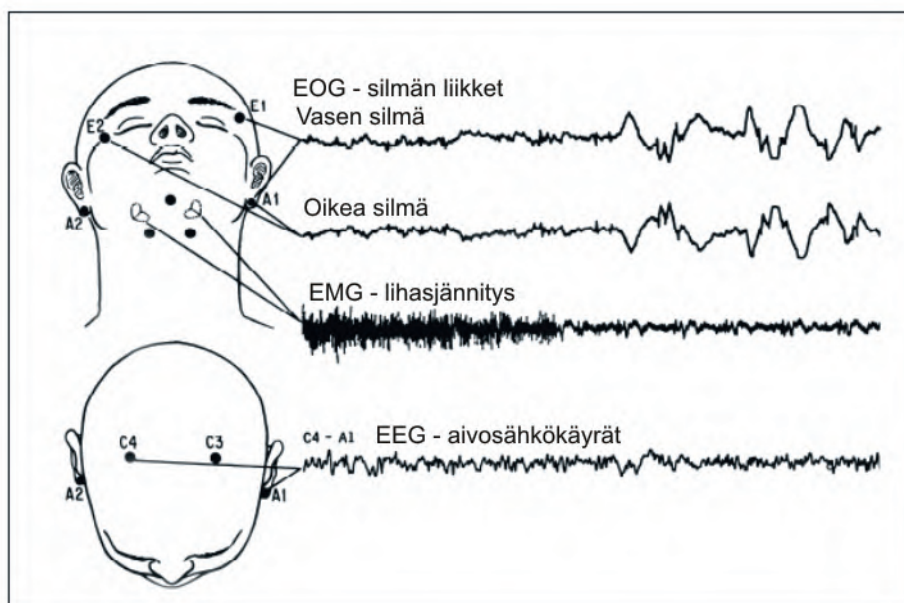
Edellisten lisäksi on tutkittu muun muassa, miten melu vaikuttaa nukkuvan verenpaineeseen ja sykkeeseen, eri hormonien pitoisuuteen veressä ja virtsassa sekä vaikutuksia immuunivasteeseen. Esimerkiksi melu, joka ei aiheuta selviä EEG-rytmin (taajuuden) muutoksia, voi aiheuttaa lyhytaikaisen verenpaineen (vähäisen) muutoksen. On esitetty, että usein toistuvat ja/tai pitkään kestävät melko vähäisetkin verenpaineen kasvut (muutama mmHg) voivat johtaa vuosikausia kestäessään verenkiertoelimistön sairauksiin tai jo olemassa olevan verenpainetaudin hoitovasteen huonontumiseen.^{352, 508} Suomalaisen Finriskilaskurin mukaan muutaman mmHg verenpaineen kasvu tai alentuminen ei muuta merkittävästi sydäninfarktin, sepelvaltimotaudin eikä aivohalvauksen riskiä.⁵⁰¹ Ruotsalaisen kirjallisuustutkimuksen mukaan 20 mmHg systolisen verenpaineen ja 10 mmHg diastolisen paineen alentaminen (esim. lääkkeillä) alentaa iästä riippuen 30 – 64 % riskiä kuolla sydän- ja aivoinfarktiin tai muuhun verisuonisairauteen.^{510, 511} Viime aikoina on yritetty löytää tilastollisia yhteyksiä ennenaikaisten kuolemien, esimerkiksi sydäninfarktien aiheuttamien, ja ympäristömelun välille.

Saksalaisessa Norah-tutkimuksen⁶¹³ laboratorio-oloissa tehdyssä unihäiriötutkimuksessa ($N = 81$) todettiin, että kielteiset asenteet lentoliikenteeseen vaikuttivat henkilön unen laatuun. Kielteisesti lentoliikenteeseen asennoituvilla oli jonkin verran pitempi nukahtamis- ja uudelleen nukahtamisviive ja lyhempi koko yön kesto kuin ei-kielisesti suhtautuvilla. Suhtautumista lentoliikenteeseen mitattiin kyseillä, unta polysomnografisella tutkimuksella.³⁵³

4.9.1.1 UNEN LAADUN LUOKITTELU JA MITTAUS AIVOSÄHKÖKÄYRISTÄ

Tutkittaessa nukkuvan unta aivosähkökäyrien avulla nukkuvan päähän kiinnitetään ohuiden nappien tapaisia aivojen sähköistä toimintaa rekisteröiviä antureita, jotka voivat olla irtoamisen estämiseksi myssyn suojassa. Kuvassa 16 on esitetty tyypillinen pienin unitutkimuksen antureiden määrä ja sijoittelu.³⁵⁴

Antureiden ilmaisemien heikkojen sähköjännitteiden vaihtelu tallennetaan nykyisin mittauslaitteen tai tietokoneen muistiin (kovalevylle), josta ne saadaan esimerkiksi tietokoneen näytölle tutkijan analysoitavaksi. Aikaisemmin mittaustulokset piirrettiin monikanavaisella piirturilla suoraan paperille. Yhdelle paperiarkille tallennettiin 30 s pätkä. Unianalyysissä nykyisinkin yleisesti käytetty 30 s jaksojen eli epookkien pituus perustuu tähän paperiarkin pituuteen, ei esimerkiksi siihen, että 30 s olisi jonkinlainen unen syvyyden vaihtelun analysoinnin optimipituus. Tulokset riippuvat ainakin jossain määrin käytetystä epookin pituudesta.³⁵⁵



Kuva 16: Unitutkimuksessa käytettävät tyypilliset anturit ja niiden paikat. EEG-antureita voi olla useampiakin ja lisäksi voidaan monitoroida muun muassa sykettä, verenpainetta ja hengitystä.³⁵⁴

Unitutkimuksissa nukkuma-ajan (joskus vuoteeseen menon jälkeinen aika) uni jaetaan 15 – 45 s kestäviin jaksoihin eli epookkeihin. Yleensä unitutkijat käyttävät, kuten edellä todettiin, 30 s jaksoja. Tutkija tyypittää kunkin jakson univaiheen/vaiheet ja tutkii, onko jakson aikana tapahtunut muutoksia, jotka indikoivat unen syvyyden muuttumista. Tutkittaessa melun vaikutusta uneen epookkien aikaisten univaiheiden

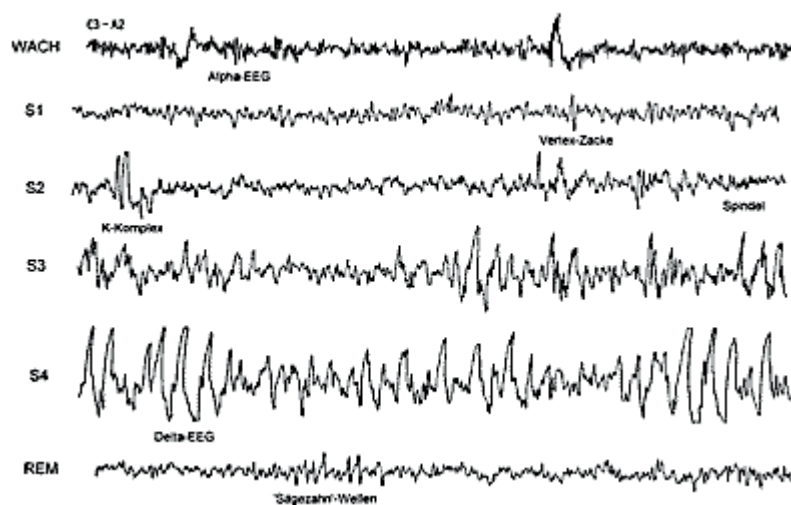
luokitus perustuu useimmiten vuonna 1968 julkaistuun Rechtschaffen-Kales-ohjeeseen, joka kutsutaan usein R&K-ohjeeksi.³⁵⁴ Toinen yleisesti käytetty luokitteluohe tunnetaan ASDA-ohjeen nimellä.³⁶⁷

Univaiheiden luokittelun luotettavuutta (validiutta ja reliaabeliutta) on selvitetty useissa tutkimuksissa.³⁵⁵ Harjaantuneiden luokittelijoiden väliset luokitteluerot ovat yleensä kohtuullisen pieniä, mutta joissakin tapauksissa, esimerkiksi S1-univaiheen tunnistuksessa on melkoista epävarmuutta. Amerikkalainen työryhmä on esittänyt vuonna 2007 joitakin muutoksia ja tarkennuksia luokitteluoheisiin.³⁵⁶ Luokitteluun on kehitetty tietokoneohjelmia, mutta toistaiseksi konetunnistuksen luotettavuus on ihmisen tekemää huonompi.

Univaiheiden tunnistuksessa yöaikainen aivojen vireystila luokitellaan karkeasti kolmeen luokkaan: 1) valveilla olo (W), 2) ei-REM-uni³⁵⁷ eli NREM ja 3) REM-uni. Paradoksisissa eli REM- eli vilkeudessa (PS tai REM) aivosähkökäyräanalyysi (EEG-käyrät) näyttää aivokuoren aktivoituneen saman tyyppisesti kuten valvetilassa (desynkronoitu EEG).

Ei-REM uni jaetaan neljään syvyysluokkaan, S1 – S4. S1 on unen ja valveilla olon rajamailla olevaa torkeunta. S3 ja S4 luokitellaan syväksi, virkistäväksi uneksi. Niitä kutsutaan aivosähkökäyrille tunnusomaisen taajuuden perusteella hidasytymiseksi eli SWS-uneksi (engl. Slow Wave Sleep). Ei-REM-unen aikana aivokuorelta voidaan havaita suuriamplitudisia, pienitaajuisia EEG-aaltoja, jotka esiintyvät synkronoidusti merkkinä aivosolujen yhtäaikaista aktiivisuudesta. Hyvässä unessa vireystilat (S1 – S4, REM-uni) vuorottelevat säännöllisesti läpi yön. Yhden kierroksen kesto on ihmisellä noin 60 – 90 minuuttia.³⁵⁸ Luokituksen perusteella on kehitetty muitakin unta kuvaavia tunnuslukuja, kuten nukahtamisviive (engl. SOL, Sleep Onset Time), kokonaisnukkumisaika (engl. TST, Total Sleep Time), unen tehokkuus (engl. Sleep Efficiency) ja hereillä olon sekä liikkumisen eli motiliteetin kokonaisaika yössä.

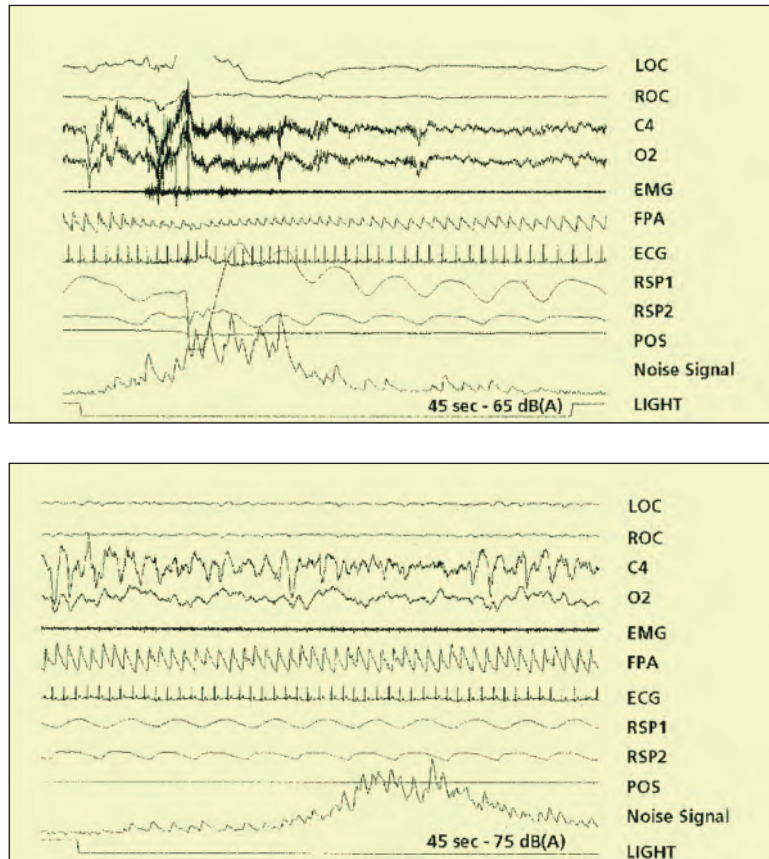
Kuvassa 17 on esitetty eri univaiheiden tyypilliset aivosähkökäyrät. Ylimmäisenä on valvetilan (W) tyypillistä alfa-aaltoa. Toiseksi alimmaisena on syvän unen, S4-vaiheen, hidasta, suuriamplitudista delta-aaltoa. Alimmaisena on näyte REM-unen aikaisesta sähköisen aktiviteetin vaihtelusta.



Kuva 17: Eri univaiheille tyypilliset aivosähkökäyrät. Käyrät kuvaavat mitattua (mittarin vahvistaman) sähköjännitteen ajallista vaihtelua.

Valvetilan ja unen syvyyden tunnisteena käytetään kuvan 17 tyypillisten aaltomuotojen lisäksi muun muassa käyrissä esiintyvien purskeiden eli spindeleiden ja kompleksien aaltomuotoa. Esimerkiksi spindelipurskeessa on valvetilassa ja torkeudessa voimakas ”piikki”, joka puuttuu (on inhibitoitunut) unitilassa.³⁵⁹ Tunnistuksen apuna käytetään usein myös lihasjännitystä, silmien liikkeitä, sydämen sykettä ja verenpainetta mittaavilta antureilta saatavaa tietoa.

Kuvassa 18 on esitetty kaksi näytettä lentomelun unihäiriötutkimuksen mittaussignaaleista. Ylemmässä kuvassa lentomelu aiheuttaa unihäiriön, EEG-heräämisen, alemmassa kuvassa ei aiheuta mitattavissa olevia muutoksia.



Kuva 18: Esimerkki lentomelun unihäiriötutkimuksesta. Ylemmässä kuvassa melu [nukkuvaa altistava $L_{ASmax} = 65 \text{ dB(A)}$] aiheuttaa EEG-heräämisen, alemmassa kuvassa [$L_{ASmax} = 75 \text{ dB(A)}$] melu ei aiheuta muutoksia unitilaan. LOC = vasemman silmän liike, ROC = oikean silmän liike, C4 ja O2 = EEG- eli aivosähkökäyrä, EMG = lihasjännitys, FPA = pulssi sormesta, ECG = sydän, RSP1 ja RSP2 = hengitys, POS = liike/asema vuoteessa, Noise signal = ylilennon melutason ajallinen vaihtelu, mikrofoni lähellä nukkujaa. Light = 45 s kestänyt melutapahtumaan liittyvä analyysijakso (epookki), josta tutkijalle ilmoitettiin merkivalolla.³⁶⁰

Kuvassa 19 on esitetty, miten eri unen syvyysvaiheet vaihtelevat tyypillisesti yön aikana. Eri henkilöiden ja saman henkilön unen syvyyden vaihtelu eri oloissa voi erota suurestikin näistä näytevaihteluista. Ylempi kuva esittää hyvälaatuisiksi luokitellun unen keskimääräistä vaihtelua meluttomissa oloissa. Keskimmaisessä kuvassa esitetään, miten yöaikaiset voimakasmeluiset melutapahtumat aiheuttavat edelliseen nähden unen rakenteen eli uniarkkitehtuurin fragmentoitumista. Alin kuva esittää sellaista meluttoman yön normaalia unenvaihtelun rekisteröintiä, jossa on mukana

myös lyhytaikaisia EEG-heräämisiä ja lyhytaikaisia unen syvyyden vaihteluja (mutta ei EEG-havahtumisia).³⁶¹

Unen fragmentoitumiseen liittyvän sympaattisen hermoston yliaktivoitumisen on todettu nostavan aikuisilla systolista verenpainetta.³⁶²

Normaalissa unessa valvetilan (W) osuus on enintään noin 5 – 7 %, S1 vaiheen osuus on 5 – 10 %, S2 vaiheen noin 50 %, S3 noin 10 %, S4 noin 10 % ja REM unen osuus noin 20 – 25 % kokonaisuniajasta.³⁶³

Heräämisen ja unen syvyyden muutos voi olla joko *spontaani* eli ilman ulkoista syytä tapahtuva tai ulkoisen syyn, kuten melun, aiheuttama.

Tietyn melutapahtuman aiheuttama unen syvyyden ja heräämisen todennäköisyys riippuu unen vaiheesta. Mitä kevyempi unen vaihe on, sitä helpommin (todennäköisemmin) melutapahtuma muuttaa unen vaihetta heräämisen suuntaan tai herättää henkilön.³⁶¹ Sikeimmin ihminen nukkuu syvän unen (S3, S4) aikana. Kuvasta 19 (ylin ja alin kuva) huomataan, että kevyen unen osuus kasvaa aamuyötä kohden, mistä syystä todennäköisyys tai riski unen syvyyden alentumiseen ja heräämiseen on aamuyöstä suurempi kuin alkuyöstä.^{364, 365} Toisaalta lähellä normaalia ylös nousun aikaa tapahtunut herääminen ei huononna **koko** yön unta, vaikka uudelleen nukahdaminen viivästyisi tai estyisi. Ainakin silloin, kun syy tunnistetaan, meluun herääminen – ja etenkin toistamiseen aamuyöstä heräämiset⁴¹⁸ – vaikuttaa kuitenkin suuresti itse arvioituun unen laatuun.

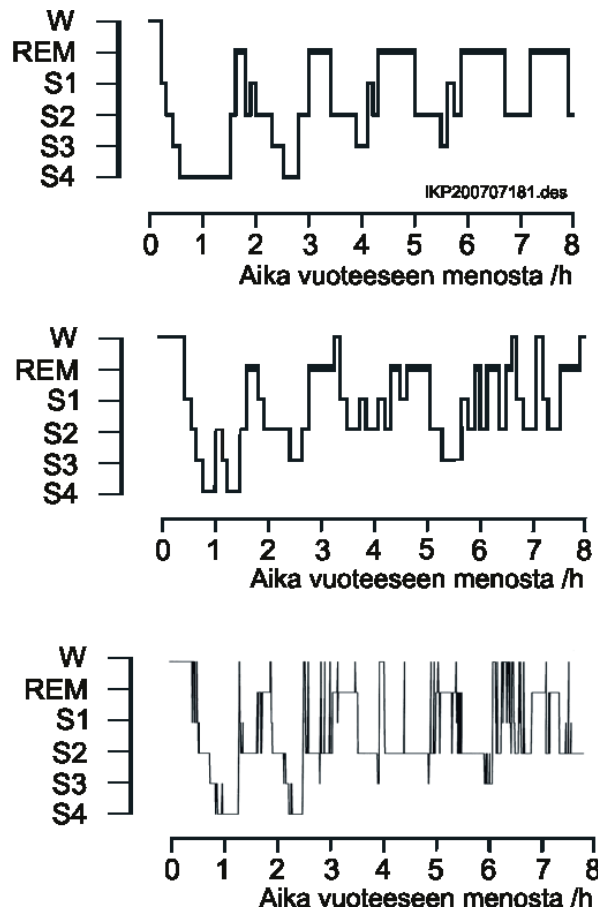
Unihäiriötutkimuksissa puhutaan nykyisin ainakin kolmenlaisista ”heräämisistä”: 1) EEG-heräämisistä, 2) EEG-havahtumisista ja 3) tiedostetuista heräämisistä. *EEG-heräämiseksi* kutsutaan yleensä sellaista aivosähkökäyrän äkillistä vähintään 15 sekuntia kestänyttä ja *EEG-havahtumiseksi* yleensä vähintään kolme sekuntia kestänyttä muutosta (taajuuden kasvu), jonka tuloksena käyrä muistuttaa valvetilan käyrää (ns. alfa-rytmiä, 8...13 Hz³⁶⁶).^{*, 355, 367, 368, 369, 370} EEG-heräämiseksi luokiteltu edellyttää (yleensä) lisäksi lihasjännityksen selvän nousun. Tiedostettu herääminen tarkoittaa heräämistä, jossa henkilö herää joksikin aikaa tietoiseen valvetilaan. Univaihtelun syklisen vaihtelun analyysissä (engl. cyclic alternating pattern, CAP) erotetaan kolmenlaisia NREM-unen aikaisia EEG-”heräämisistä”.³⁷¹

Hermoston vireystila voi vaihdella unen laatua huonontavasti myös ilman aivokuorelta mitattavissa olevien havahtumisia. Esimerkiksi uniapneataudissa veren happipitoisuuden vaje aiheuttaa hengitystä tehostavan havahtumisen. Ulkoiset ärsykkeet, kuten melu, voivat aiheuttaa havahtumisia, jotka lisäävät hetkellisesti sykettä ja/tai verenpainetta tai lihasjännitystä ja kehon/raajojen liikkeitä. Näiden luokitteluun ei ole vastaavia kansainvälisesti sovittuja unen laadun mittaamisen ohjeita, kuin on EEG-analyysissä.

Unitutkimuksissa on käytetty erilaisia EEG-heräämisen ja -havahtumisen kriteereitä. Mitä lyhemmät EEG-havahtumiset lasketaan unen laatua huonontavaksi ”heräämiseksi”, sitä enemmän niitä on sekä spontaanisti ja melun aiheuttamana. Tyypillisesti näitä vähintään kolme sekuntia kestäneitä EEG-havahtumisia on noin nelinkertainen

* ASDA-ohje määrittelee EEG-havahtumisen: ”Äkillinen vähintään kolme sekuntia kestävä EEG-signaalin taajuuden muutos, jonka tuloksena voi olla theta tai alfa-aaltoja ja/tai aaltoja, joiden taajuus ylittää 16 Hz, mutta signaalissa ei ole spindeleiksi luokiteltavia osia.” Jos on kyse REM-unen vaiheesta, niin edellytetään lisäksi EMG-signaalin voimakkuuden kasvu.

määrä tunnissa verrattuna vähintään 15 sekuntia kestäneiden EEG-heräämisten määrään.³⁷² Esimerkkinä edellisistä poikkeavista heräämiskriteereistä olkoon Zaltzarulo *et al.* tutkimus: Tutkiessaan vanhusten unta huonontavia spontaaneja heräämisiä meluttomissa oloissa he laskivat heräämiseksi vain sellaiset tiedostetut ja EEG-heräämiset, jotka kestivät vähintään kaksi minuuttia.³⁷³



Kuva 19: Kaaviollisia esityksiä terveen aikuisen henkilön univaiheiden vaihtelusta nukkuttaessa hiljaisessa (ylin ja alin kuva) ympäristössä ja ympäristössä, jossa on monia (kymmeniä) voimakkaita melutapahtumia yön aikana (keskimmäinen kuva). Alin kuvaa esittää sellaista meluttoman ympäristön univaiheiden vaihtelua (rekisteröintiä), jossa on mukana lyhytaikaiset (yhdestä muutama minuutti) unen syvyyden muutokset.

Tiedostettujen heräämisten (engl. behavioural awakening) määrä mitataan esimerkiksi pyytämällä henkilöä painamaan rekisteröintilaitteen nappia aina kun herää. Melun aiheuttamaksi on joissakin tutkimuksissa luokiteltu jopa herääminen, joka tapahtuu viisi minuuttia melutapahtuman jälkeen.³⁷⁴ Vanhoissa tutkimuksissa tiedostettujen heräämisten määrä on mitattu myös kysymällä heräämisten määrä koehenkilöltä ylös nousun jälkeen.³⁷⁵ Kyselymenetelmää pidetään epäluotettavana.

Spontaaneja tiedostettuja heräämisiä on meluttomissa oloissa normaalissa terveen henkilön unessa tyypillisesti 1 – 3 yössä.^{376, 377, 378, 418} Lyhytaikaisten *EEG-havahtumisten* (engl. EEG arousal, kesto vähintään 3 s) lukumäärä (aikuisilla) on meluttomissa kotioloissakin suuri, 60...150 yössä.^{379, 380, 381, 382} Näistä noin 60 % on kestoltaan alle 10... 15 s ja suurin osa alle 45 s. Lyhyen keston vuoksi niitä ei muisteta seuraavana päivänä. *EEG-heräämisiä* (kesto vähintään 15 s) on meluttomissa oloissa

tyypillisesti 15 – 50 yössä.^{379, 381} Yleensä EEG-havahtumisten ja -heräämisten määrä ilmoitetaan joko yhtä nukuttua tuntia tai epookkia kohden. Kaikkien heräämisten määrä kasvaa iän myötä.

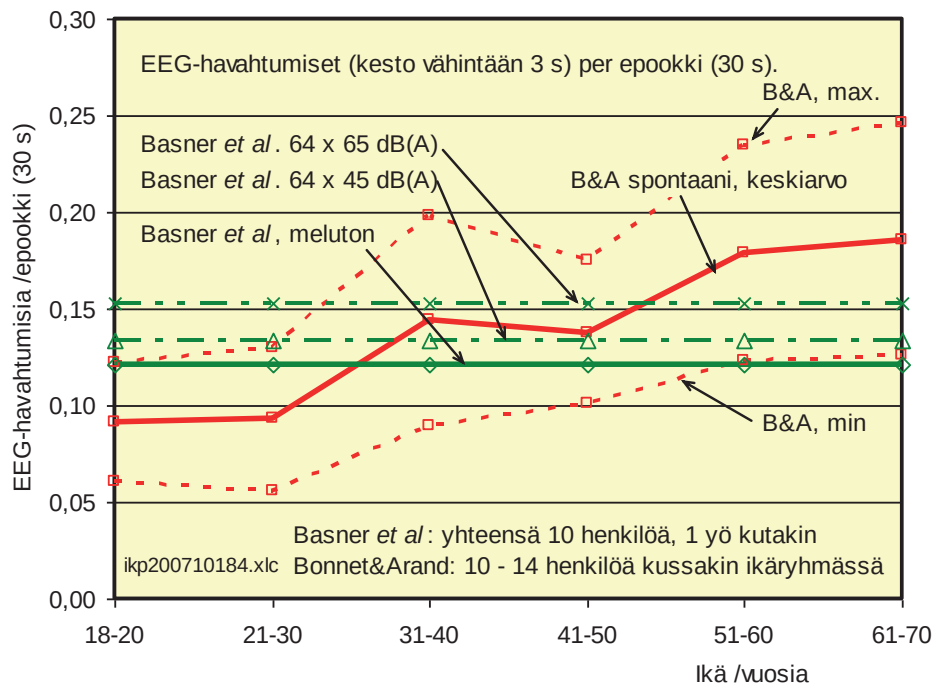
Melun aiheuttamiin EEG-havahtumisiin liittyy yleensä myös autonomisen hermoston aktiivisuuden kasvu, mikä näkyy mm. syketaajuuden ja verenpaineen nousuna.³⁸³ Näiden oletetaan olevan osana sitä välitystietä ja -mekanismia, joka johtaa melun aiheuttamiin sydänverisuonitautien kehittymiseen.^{213, 248} Melu voi olla myös osatekijä, joka tämän mekanismin kautta jouduttaa tai vahvistaa sydänverisuonitautien kehitystä.

Kuvassa 20 on esimerkki, jossa on verrattu eräässä saksalaisessa lentomelun unihäiriötutkimuksessa^{381, 390} (kuvassa viitteenä Basner *et al.*) todettuja EEG-havahtumisten esiintyvyyttä (havahtumisia kpl per 30 s epookki) meluttomissa oloissa nukkuvien henkilöiden spontaanien EEG-havahtumisten normaaliarvoiksi katsottuun määrään (kuvassa viitteenä B&A-käyrät). Lentomelun unihäiriötutkimuksessa koehenkilöt nukkuivat a) meluttomissa oloissa ja oloissa, joissa yön aikana esitettiin kaiuttimesta b) 64 äänitettyä ohilentoa, joiden L_{ASmax} -taso oli 45 dB(A) ja c) 64 ohilentoa, joiden taso L_{ASmax} -taso oli 65 dB(A). B&A-käyrät esittävät terveiden, normaaliuunisten henkilöiden normaaliksi katsottavaksi spontaanien EEG-havahtumisten keskiarvoa ja sen vaihtelua (min – max) eri ikäluokissa.³⁷⁹ Nämä B&A-käyrät on laadittu unihäiriötutkimuksiin normaaliarvoiksi. Molemmat tutkimukset on tehty laboratorio-oloissa. Saksalaistutkimuksessa koehenkilöiden EEG-havahtumisia ei luokiteltu iän perusteella, vaan kaiken ikäisten oletettiin reagoivan 10 henkilön keskiarvon mukaisesti. Kuvasta havaitaan, että Basner *et al.*-tutkimuksen mukainen lentomelun aiheuttama EEG-havahtumisen lisäys peittyy normaalin ikävaihtelun sisään.

Lyhytaikaisten EEG-havahtumisten määrää on alettu pitää monien unihäiriöitä aiheuttavien tautien – esimerkkinä uniapneatauti ja keuhkoastumatauti – vakavuuden indikaattorina (mittarina). Unihäiriölääketieteestä on puuttunut yleisesti hyväksytyt normaaliarvoiksi katsotut EEG-havahtumisten arvot. B&A-tutkimuksen³⁷⁹ tarkoitus oli tuottaa tällaiset arvot. Tiedossa ei ole tutkimuksia, joissa olisi vertailtu millaiset lentomelujen aiheuttamat EEG-havahtumisten määrät vastaisivat vakavuudeltaan eri tautien, esimerkiksi uniapneataudin tai unettomuuden, vakavuusluokkia tai -asteita.

Aivosähkökäyristä luokitellun EEG-heräämisen aikana tietoisuus voi nousta niin suureksi, että melutapahtuma kuullaan ja sen aiheuttaja todennäköisesti tunnustetaan. Jotta ihminen muistaisi aamulla yöaikaisen heräämisensä, valvetilan tulee kestää vähintään 1...2 minuuttia. Niin sanottu poikkeavuusnegatiivisuus-tutkimus (engl. mismatch negativity) viittaa siihen, että aivot analysoivat äänien erilaisuutta tai muutoksia unitilassa, mutta alentuneella herkkyydellä verrattuna valvetilaan.³⁸⁴ Unitilassa tapahtuvaan analysointiin ja luontaiseen tunnistamistarpeeseen viittaa myös se, että outoihin hiljaisiinkin ääniin herätään helpommin kuin tuttuihin voimakkaisiin.

Aivosähkökäyrien ja liiketutkimusten tulkintaa vaikeuttaa se, että ei ole olemassa yksikäsitteistä tieteellistä perustetta sille, kuinka suuret ja/tai usein toistuvat aivosähkökäyrien muutokset tai, kuinka usein tapahtuvat ja kuinka pitkään kestävät nukkuvan liikkeet ja valveille heräämiset pitäisi katsoa terveyttä haittaaviksi.³⁸⁵ Monissa unitutkimuksissa on päädytty siihen, että alle 30 s kestänyt yöaikainen EEG-valvetila ei huononna unen virkistävää vaikutusta paitsi tapauksissa, joissa niitä on yhden yön aikana hyvin monta.^{378, 386, 387, 388, 389}



Kuva 20: Yön aikaisten EEG-havahtumisten määrä epookkia (30 s) kohden meluttomissa oloissa (punaiset B&A-käyrät ja alin vihreä käyrä) verrattuna kahden erilaisen yöaikaisen lentomelualtistuksen (vihreät katkoviiva-käyrät) aiheuttamaan havahtumisriskiin. B&A-käyrät viittaavat eri ikäryhmien normaaliarvoiksi ehdotettuihin arvoihin: keskiarvo sekä normaaliksi katsottu vaihteluväli minimi – maksimi. Basner *et al.*-vaakaviivakäyrät on mitattu kolmessa eri altistus-tilanteessa: a) meluton, b) 64 ohilentoa yössä, kunkin L_{ASmax} 45 dB(A) ja c) 64 ohilentoa yössä, kunkin L_{ASmax} 65 dB(A). Nämä Basner *et al.*-käyrät ovat koehenkilöiden (10 henkeä) havahtumisten keskiarvoja (ilman ikäerottelua).^{379, 381, 390} Kuva on koostettu tässä selvityksessä tutkittaessa Basner *et al.*-käyrien edustavuutta (käyrät eivät ole tämän vertailun mukaan edustavia eri ikäluokissa).

Nykykäsitysten mukaan ulkoa sisään kuuluvan liikennemelun päävaikutukset (silloin kun tilastollisesti merkittäviä vaikutuksia on) EEG-mittauksissa näkyvät unen rakenteen fragmentoitumisena eli pirstaloitumisena, johon liittyy REM-unen osuuden vähentyminen, S2-vaiheen unen osuuden kasvaminen sekä EEG- että tiedostettujen heräämisten määrän kasvu. EEG-heräämisten määrä kasvaa jyrkemmin melutapahtuman voimakkuuden funktiona kuin tiedostettujen heräämisten.

4.9.1.1 Kuinka pitkäksi aikaa melutapahtuma herättää henkilön?

Tapauksissa, joissa melu aiheuttaa EEG-havahtumisen, EEG-heräämisen tai tiedostetun heräämisen, on syytä kysyä, missä määrin heräämisen kesto vaikuttaa unen laatua huonontavasti? Lyhytaikaisten heräämisten katsotaan huonontavan unen laatua vähemmän kuin pitkään kestävien. Saksalaisessa kenttätutkimuksessa³⁹¹ selvitettiin, miten melun voimakkuus vaikuttaa heräämistilan kesto. Todettiin, että nukkuvaa altistavien lentomelutapahtumien L_{ASmax} -tason ollessa 45 – 65 dB(A) EEG-heräämisajan kesto ei poikennut merkittävästi meluttomien olojen spontaanien heräämisten kesto. Noin 50 %:ssa heräämisistä kesto oli enintään puoli minuuttia. Tason ollessa 70 – 80 dB(A) vastaava aika oli noin kaksinkertainen eli minuutti. Noin 90 % spontaanisti tai enintään 65 dB(A) meluun EEG-heränneistä nukahti uudelleen 3 – 3,5 minuutissa.

Arvioitaessa melun vaikutusta koko yön unen laatuun, yhtenä mittana on koko yöaikaisen unen lyheneminen. Useissa unitutkimuksissa lyheneminen on ollut vain minuuttien luokkaa. Tällä hetkellä ei ole tieteellisiä kriteereitä, joiden perusteella pystyttäisiin arvioimaan, mikä merkitys muutaman minuutin kokonaisuniajan lyhenemisestä on henkilön terveydelle.⁴⁴⁴

Ranskassa kolmen lentokentän* ympäristössä tehdyssä tutkimuksessa ($N = 1\,244$) päädyttiin siihen, että yöaikaisella lentomelulla oli merkittävä vaikutus lyhytunisuuden esiintyvyyteen ja heräämisen jälkeiseen väsymyksen (riittämätön uni) kokemukseen. 10 dB yöaikaisen melutason kasvu lisäsi lyhytunisuuden (alle 6 h kokonaisuniajan) riskiä 1,63-kertaiseksi ($OR = 1,63$, 95%CI 1,15 – 2,32) ja heräämisen aikaisesta väsymyksen tunteen riskiä 1,23-kertaiseksi ($OR = 1,23$, 95%CI 1,00 – 1,54).^{392, 393} Tätä tutkimusta laajennettiin neljän vuoden pitkittäisseurantaan ja objektiiviseen unen laadun mittaukseen. Objektiivisen unenlaadun mittaustuloksia ei ole vielä julkaistu.³⁹⁴

4.9.1.2 UNEN LAADUN MITTAUS KYSELYTUTKIMUKSIN

Kyselytutkimuksia on käytetty tutkittaessa sekä meluun heräämisen määrää että melun vaikutuksia unen laatuun. Laadun mittana voidaan käyttää arvioitua unihäiriöiden voimakkuutta tai yleisyyttä. Altistettujen omaa arviota unen laadusta kutsutaan *subjektiiviseksi unen laaduksi*. Subjektiiviseen unen laatuun eniten vaikuttavat seikat ovat: koettu hyvinvoinnin aste heräämisen jälkeen, arvio todellisesta unen laadusta ja nukahtamisen tarvittu aika. Myös muu melu kuin yöaikainen voi vaikuttaa arvioon yöaikaisen unen laadusta. Yleensä ihmiset vastaavat kyselyihin päiväaikaan. Esimerkiksi aamuiset, heräämisen jälkeiset melutapahtumat voivat vaikuttaa arvioihin melun osuudesta unen laatuun.

Kyselytutkimuksin mitattu subjektiivinen unen laatu riippuu myös siitä, miten tutkimuksen kohteena oleva melu mainitaan kysymyslomakkeella. Jos mainitaan, että kysely koskee tiettyä melua, saadaan yleensä herkempiä vasteita kuin tapauksessa, jossa ko. melua ei mainita.³⁵⁰

Subjektiivinen unen laatu korreloi yleensä huonosti objektiivisten mittausten perusteella arvioituun unen laatuun ja melun aiheuttamaan laadun vaihteluun.^{374, 350} Subjektiivisen ja objektiivisen laadun eron suuruus riippuu oleellisesti siitä, kuinka pieniä ja lyhytkestoisia muutoksia pidetään merkinä objektiivisesti arvioitun unen laadun huononemisena. Mitä pienempiä ja lyhytkestoisempia muutoksia luokitetaan unihäiriöksi, sitä huonommin objektiivinen, unitutkijan arvioimaa unen laatu vastaa itse arvioitua, subjektiivista unen laatua.

Unettomuuden, huononunisuuden ja erilaisten unihäiriötä aiheuttavien tautien vaikutuksia elämän laatuun on totuttu mittaamaan kyselytutkimuksin.^{395, 396, 397} Tautien ja unihäiriöiden vaikutuksia terveyteen ja elämän laatuun mitataan esimerkiksi SF-36-, WHO-QoL-, WHO-QoL-brev-, ISAAC-, KINDL-, SSS-, ISI- ja EES-nimisillä tunnetuilla kyselyosiolla tai asteikoilla.^{398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407} Tiedeyhteisö ei kuitenkaan ole esittänyt varta vasten melun aiheuttamien unihäiriöiden ja niiden terveysvaikutusten mittaamiseen kehitettyä kyselytutkimusmittaria (so. kysymyssarjaa, jonka validius ja reliabelius olisi testattu), joka olisi levinnyt laajaan käyttöön.

* Paris-Charles de Gaulle, Lyon-Saint-Ecupery, Toulouse-Blagnac.

Mikäli spontaanin heräämisen ja uudelleen nukahtamisen välisenä aikana kuullaan voimakkaita melutapahtumia, esimerkiksi ohilento, henkilöt näyttävät helposti assosioivan melutapahtuman heräämisensä aiheuttajiksi.⁴¹⁸ Tämä on yksi syy pitää objektiivisia unimittauksia luotettavimpina kuin subjektiivisia, kun tarkoituksena on mitata melun todellista vaikutusta uneen. Kyselytutkimukset antavat kuvan asukkaiden kokemasta elinympäristön laadusta, mitä puolestaan objektiivinen unen laadun mittaaminen ei kerro suoraan.

4.9.2 MELUN AIHEUTTAMIEN UNIHÄIRIÖIDEN JA (TERVEYS)VAIKUTUSTEN SYNTYMEKANISMI

Kuvassa 21 on esitetty eräs monista melun univaikutusten selitysmalleista. Mallien tarkoitus on helpottaa eri tekijöiden ja niiden yhteisvaikutusten esille tuomista sekä asioiden ja vaikutusten ymmärtämistä. Kuvan 21 selitysmallissa vaikutukset on jaettu kahteen luokkaan: objektiivisiin ja subjektiivisiin. Niiden välillä on keskinäisvaikutuksia ja riippuvuuksia, joita on kuvattu nuolilla.

Moderaattorit ovat ulkoisia ja sisäisiä vaikuttaja-muuttujia tai -olosuhteita, joilla useimmiten on hyvin suuri melun ja vasteen välisen riippuvuuden satunnaishajontaa lisäävä vaikutus. Tällaisia ovat mm. sosiaalinen elämäntilanne, ikä, sukupuoli ja kullonkin terveydentila, lääkkeiden käyttö, meluherkkyys ja jopa makuuhuoneen lämpötila, kun puhutaan melun vaikutuksista uneen.

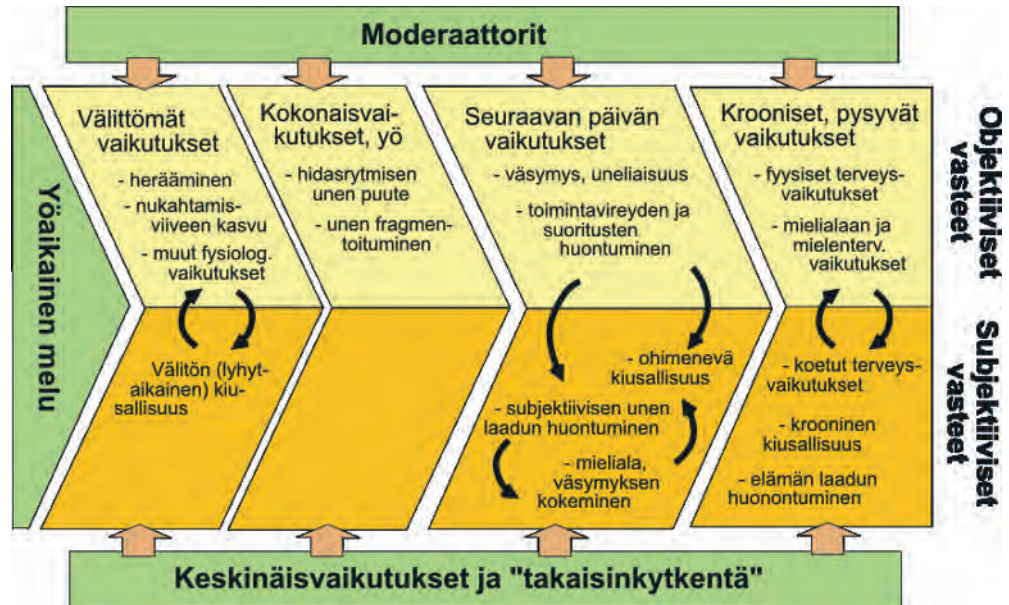
Välittömillä eli akuuteilla vaikutuksilla (vasteilla) on suora, ajallisesti välitön syyseuraus-suhde meluun. Esimerkiksi herääminen meluun, jonka täytyy tapahtua melutapahtuman aikana tai tietyn, lyhyen ajan sisällä tapahtumasta. Muita yöaikaista fysiologisia meluvaikutuksia, joita on nukkuvilla todettu (riittävän voimakkaassa meluallistuksessa, yleensä L_{AFmax} yli 50 dB(A)) ovat mm. verenpaineen, sydämen syketaajuuden, verisuonten supistumisasteen ja stressihormonien (esim. kortisoli) erittymisen kasvu.^{408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 428, 213} Akuutteja vasteita kutsutaan myös välittömiksi biologisiksi vasteiksi.⁴¹⁸

Kokonaisvaikutuksilla tarkoitetaan yhden yön (sen ajan, joka nukutaan tai oli tarkoitus nukkua) ajan vaikutuksia yhteensä. Seuraavan päivän vaikutukset, esimerkiksi päiväväsymys, ärtyneisyys ja vireyden huonontuminen, ovat kokonaisvaikutusten seurausvasteita.

Subjektiivisella unen laadulla tarkoitetaan itse arvioitua edellisen yön (tai öiden) unen laatua. Laadun huononeminen ilmenee usein kiusallisuusvasteen voimistumisena, mikä taas voi vahvistaa käsitystä unen laadun huonontumisesta; eli kiusallisuus- ja häiritsevyysvasteet vaikuttavat ”unipuolellakin” toinen toisiinsa.

Melu voi vaikuttaa uneen ja unen laatuun kahdella tavalla, suoraan ja epäsuorasti. Suoraksi vaikutukseksi kutsutaan unihäiriötä, joka riippuu vain melun ominaisuuksista, kuten voimakkuudesta ja informaatioisällöstä. Epäsuora vaikutus syntyy silloin, kun unihäiriön, esimerkiksi nukahtamisen vaikeutumisen, syynä on melun herättämä ”tunnekuohunta”, kuten voimakas kielteinen asennoituminen meluun tai sen tuottajaan, tai melun tuottama masennus, voimattomuus, stressi tai muu psyykinen reaktio. Usein oletetaan, että melun aiheuttamat unihäiriöt lisäävät koettua melun kiusallisuutta, mutta reaktio voi olla myös – kuten kuvassa 21 esitetään – päin vastainen: koettu kiusallisuus aiheuttaa unihäiriöitä. Esimerkiksi voimakas akuutti kiusallisuus voi vaikeuttaa uudelleen nukahtamista. On myös mahdollista, että jokin kolmas tekijä, esimerkiksi henkilön meluherkkyys tai sairaus, selittää suurimman

osan sekä suorien että epäsuorien unihäiriöiden voimakkuudesta (vaikka henkilö itse arvioi unihäiriöt melusta johtuviksi).^{419, 420, 421, 493}



Kuva 21: Eräs monista melun univaikutusten ja -vasteiden selitysmalleista. Kyse on mahdollisista vaikutuksista, eli vaikutuksista ja vasteista, joita on tunnistettu ja, joita saattaa esiintyä ja, joilla on todettu tai oletetaan olevan yhteisvaikutuksia. On syytä todeta, että suuri osa meluista on sellaisia, jotka eivät aiheuta mitattavissa olevia vaikutuksia.⁴²²

Valveilla oloajan meluallistuksen vaikutusta yönun laatuun on tutkittu kovin vähän. Yksi tunnettu tutkimus viittaa siihen, että päiväaikaisen meluallistuksen voimakkuudella saattaisi olla vaikutusta yöaikaisen unen laatuun.⁴²³

Ainakin periaatteessa krooniset, pysyvät unihäiriöiden terveysvaikutukset riippuvat kuvan 21 mukaisesti monien tekijöiden kokonaisvaikutuksesta. Pysyvät krooniset vaikutukset pitäisi olla pääkriteereitä arvioitaessa melun pysyviä vaikutuksia uneen asuin- ja elinympäristössä eli arvioitaessa, millaisia väestöön kohdistuvia kansanterveydellisiä vaikutuksia yöaikaisella melulla on. Valitettavasti tiedeyhteisöllä ei ole tutkimustietoa, jonka perusteella voitaisiin riittävän luotettavasti arvioida kroonisten vaikutusten riippuvuus yöaikaisesta melusta, esimerkiksi yömelun vaikutus sydänsairauksien esiintyvyyteen tai ilmaantuvuuteen.^{424, 410, 422, 163, 425}

Tuoreen, 72 eri tutkimusta kattavan meta-analyysin mukaan unihäiriöt (virkistävän unen lyhentymisen) ja liian pitkä uni (yli 8 tuntia yössä aikuisilla) lisäävät veren tulehdusmarkkereiden (C-reaktiivinen proteiini eli CRP, Interleukin-6 eli IL-6) pitoisuutta.⁴²⁶ Molempia pidetään muun muassa sydänverisuonitautien, verenpaine-taudin ja tyyppi 2 diabeteksen indikaattoreina. Toisessa tuoreessa tutkimuksessa päädyttiin siihen, että yöaikaisen unen pituuden lisäksi päiväaikaisten ”nokkaunien” määrä vaikuttaa CRP-pitoisuuteen ainakin nuorilla aikuisilla.⁴²⁷

Päinvastaisiakin tuloksia on saatu. Esimerkkinä voidaan mainita saksalainen kokeellinen, lyhytaikainen (yksi hiljainen tottumisyö, kaksi meluyötä) unihäiriötutkimus (N = 88, hyväksyttyä 75), jossa päädyttiin siihen, että yöaikaisella lentomeluallistuksella (laboratoriossa, melu kaiuttimista) ei ollut vaikutusta heräämisen jälkeiseen

CRP- eikä IL-6 pitoisuuteen.^{428, 429, *} On ymmärrettävää, että melun vaikutus tulehdusmarkkereihin edellyttäneen pitkään kestävästä melulle altistumista, jos pitoisuuksien kasvu liittyy melutaudin, kuten sydänverisuonitaudin tai diabeteksen, ilmaantumiseen.

4.9.3 UNIHÄIRIÖVASTEET, UNIHÄIRIÖN RIIPPUVUUS MELUN VOIMAKKUDESTA

Yleensä katsotaan, että yksittäisten, muusta melusta selvästi erottuvien melutapahtumien aiheuttama unihäiriön[†] todennäköisyys riippuu parhaiten melutapahtuman äänialtistustasosta (L_{AE}) tai enimmäistasosta (L_{ASmax} , L_{AFmax}). Melutapahtuman aikana nukkuvan aivot prosessoivat ärsytyksen aiheuttamaa potentiaalista herättävyyskertymää (engl. awakening potential). On esitetty, että heräämisvasteen prosessoinnin aikavakio[‡] on 10 – 100 s.^{430, 431} Tämä on merkittävästi pitempi kuin äänitasomittareihin standardoidun Slow-aikapainotuksen 1 s ja Fast-aikapainotuksen 0,125 s vakio. Toisaalta, heräämiseen johtavassa prosessoinnissa aivot ottavat huomioon muitakin äänen ominaisuuksia kuin tämän 10 – 100 s aikana vastaanotetun äänienergian. Esimerkiksi heräämistodennäköisyys tuttuihin, turvalliseksi koettuihin ääniin on pienempi kuin outoihin tai aikaisemmin vaarallisiksi koettuihin.

Unihäiriön todennäköisyys riippuu myös siitä, kuinka selvästi (paljon) melutapahtuman taso eroaa taustamelusta.^{432, 433, 434} Useimpien kotioiloissa mitattujen tuttujen melutapahtumien vasteiden kynnysarvo, eli alhaisin melutaso, josta lähtien voidaan osoittaa jokin validi riippuvuus melun ja vasteen välille, on L_{AE} -tasona mitattuna noin 40 dB(A) ja L_{AFmax} -tasona noin 45 dB(A). Yhteen melutapahtumaan valveille heräämisen äänialtistustason kynnysarvo[§] on nykykäsitysten mukaan noin 55 dB(A).⁴¹⁸ Kirjallisuudesta löytyy myös tätä suurempia ja alhaisempia kynnysarvoja tukevia tutkimuksia.⁴³⁵ Nukahtaminen tai uudelleen nukahtaminen voi vaikeutua edellistä hiljaisemmissa melutasoissa. Nukahtamista vaikeuttavana ääniesimerkkeinä voidaan mainita samassa huoneessa olevan itikan tai sänkyyn kuuluvan tippuvan vesihanauksen ääni.

Eri henkilöiden unihäiriövasteet, esimerkiksi heräämisherkkyyys meluun, vaihtelevat suuresti. Saman henkilön vastekaani ei ole vakio, vaan voi vaihdella melkoisesti eri öinä ja erilaisille meluille. Tutkimusten tuloksena esitettävät vastekäyrät on ymmärrettävä keskiarvohenkilön vasteeksi tai ihmisille tyypilliseksi vasteeksi.

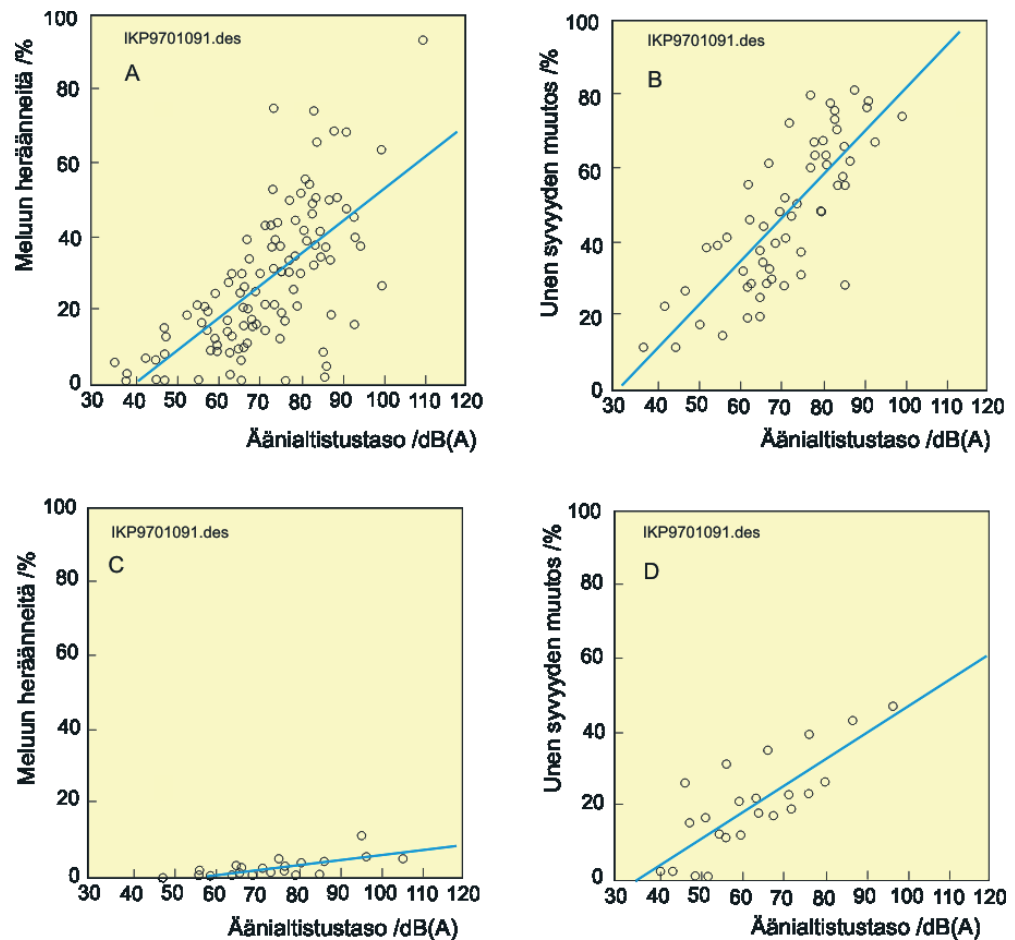
* Tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että yöaikainen (melko voimakas ja usein toistuva) lentomelu näkyi heikosti verisuonten supistumisena ja stimuloi adrenaliinin eristystä vereen.

† Melun aiheuttamaksi unihäiriöksi lasketaan meluun heräämisen lisäksi melutapahtuman aiheuttamaksi katsottu unen syvyyden keventyminen sekä melun aiheuttama nukahtamisen tai uudelleen nukahtamisen vaikeutuminen.

‡ Termille awakening potential ei ole vakiintunutta suomenkielistä vastinetta. Suora käännös olisi heräämispotentiaali. Kun kysymys on aikavakion aikana tapahtuvasta unen syvyyteen vaikuttavasta heräämisestä aktivoivien aivotoimintojen kertymästä, tässä raportissa on päädytty termiin ”potentiaalinen herättävyyskertymä”. Se on integraalin tapainen summasuure. Mitä lyhempi äänitapahtuma on, sitä pienempi on sen 10 – 100 s aikavakion la prosessoitu heräämistarpeen kokonaisvoimakkuus.

§ Muistettakoon, että kynnysarvo ei ole välttämättä se melutaso, jonka ylittyessä melu olisi katsottava terveyshaitaksi. Terveyshaittaa arvioitaessa on otettava huomioon myös unihäiriöitä aiheuttavien melutapahtumien määrä tai yleisyys. Kynnysarvon on laboratorio-oloissa alhaisempi kuin kotioiloissa.

Kuten on jo todettu, eri mittaustavoilla ja eri tutkimuksissa saadut tulokset vaihtelevat suuresti. Kuvassa 22 on yhteenveto 21 eri tutkimuksesta.⁴⁴¹ Kuvaa 22C vastaava kotilojen heräämisvaste todettiin myös USA:n ilmavoimien toimeksiannosta tehdystä tutkimuksesta ($N = 1\,887$ koehenkilöyötä). Tässä tutkimuksessa vaste korreloi parhaiten heräämistä ennen vallinneeseen $L_{AE, 5\text{ min}}$ -tasoon. Keskimäärin koehenkilöt heräsivät hieman yli 2 kertaa yössä.⁴³⁶ Yhdysvaltain avaruusviraston toimeksiannosta tehdystä tutkimuksessa päädyttiin myös samaa suuruusluokkaa oleviin heräämisvasteisiin kotiloissa.⁴³⁶ Ratkaisematta on edelleenkin laboratorio- ja kotilojen uni-häiriövasteiden suurten erojen syyt. Tottuminen (pitkän ajan tottuminen) meluun on yksi syistä.^{437, 438, 439} Osasyynä voi olla myös se, että koeympäristöt eivät vastaa toisiaan äänioloiltaan. Laboratorio-oloissa äänilähteenä on yleensä kaiutin (ja nauhoitettu melu), kun kotiloissa tehdyissä tutkimuksissa lähteenä on yleensä normaali lentomelu tai muu liikennemelu.



Kuva 22: Yksittäisten melutapahtumien vaikutus uneen laboratoriossa (A, B) ja kotiloissa (C, D). Kuvissa A ja C on esitetty meluun heräämisen (tiedostettu ja EEG-herääminen) todennäköisyyden (% melutapahtumalle altistetuista henkilöistä) riippuvuus yöaikaisen nukkuvaa altistavan melun äänialtistustasosta (sisämelusta) ja kuvissa B ja D unen syvyyden keventymisen todennäköisyyden (% melutapahtumalle altistetuista) riippuvuus yöaikaisen melun äänialtistustasosta.⁴⁴¹

Kuten edellä todettiin, koehenkilöt heräävät laboratorio-oloissa huomattavasti herkemmin meluun kuin koti-oloissa (kuva 22, vrt. A ja C). Heräämisherkkyiden eroa pyritään tasoittamaan totuttamalla koehenkilöt nukkumaan laboratoriohuoneessa ennen varsinaisia kokeita.⁴⁴⁰ Tottumisen on useimmissa tutkimuksissa todettu

vähentävän merkittävässä määrin (ainakin) valveille heräämisiä. Melutapahtumien aiheuttamiin unen syvyyden muutoksiin totuttamisella on pienempi vaikutus. Ainakin ensimmäisinä öinä heräämisiä tapahtuu laboratoriossa noin 10 dB(A) alhaisempiin melutasoihin kuin kotona. Varovaisestikin arvioiden samaan meluun heräämisten todennäköisyys on kotona noin 1/10 siitä, mitä kirjallisuudessa referoidut laboratorio-kokeet ovat antaneet tyypillisiksi tuloksiksi.^{378, 441, 369}

On myös tutkimustulos, jonka mukaan voimakkaan lentomelun alueilla pitkään asuneet, so. meluoloihin tottuneet, heräävät laboratorio-oloissa herkemmin* lentomeluun, kuin ne, jotka ovat asuneet alueilla, joilla ei ole merkittävää lentomelua. Tutkijat eivät osanneet esittää selitystä tähän eroon.⁴³⁹

Kuvassa 23 on esitetty yhdeksän (meta)tutkimuksen ja julkaisun tulokset. Kuvan vasen pysty akseli esittää yhteen melutapahtumaan heräämisen todennäköisyyden riippuvuuden melutapahtuman äänialtistustasosta ja oikea pysty akseli todennäköisyyttä, että melutapahtuma ei aiheuta heräämistä. Suuressa osassa näitä tutkimuksia melun aiheuttajana on ollut lentoliikenne.⁴⁴² Kuvan DLR/Basner-vaste,⁴⁴³ jossa alkuperäistutkimuksessa nukkuvaa altistavan lentomelun voimakkuus on mitattu L_{ASmax} -tasona, on muutettu muita kuvan käyriä vastaavaksi olettaen, että melutapahtuman $L_{AE} - L_{ASmax} = 8$ dB. Näiden vastekäyrien lisäksi on syytä mainita EU:n työryhmän HSEA (WG Health and Socio-Economic Aspects)⁴²⁴ vaste-ehdotukset, jotka perustuvat TNO:n tutkimusraporttiin.⁴⁵⁵

Kuva 23 kertoo, että ulkoa sisään kuuluva melu aiheuttaa hyvin vähän tiedostettuja heräämisiä. Esimerkiksi riski tai todennäköisyys herätä yhteen $L_{AE} = 80$ dB(A) melutapahtumaan on 0,7 % (alin TNO vaste). Tämä tarkoittaa sitä, että (meluun tottunut, so. melualueella kauan asunut) henkilö herää valveille yhteen 143 lennosta. DLR:n tutkimusta on kritisoitu muun muassa siitä, että tutkimusasetelma ja tulosten analyysi ei ole kansanterveydellisten vaikutusten arvioinnin kannalta relevantti; melussa ja ei-melussa (kontrolliryhmä) nukkuttujen öiden yön pitempi ero oli esimerkiksi vain 2 minuuttia, eikä ole riittävästi otettu huomioon altistettujen sairauksien vaikutuksia (sairauksista johtuvia eroja) todettuihin unihäiriöihin eikä selvitetty, millaisia vaikutuksia yöaikaisella lentomelulla on altistettujen sairastumiseen.⁴⁴⁴⁴⁴⁵ Yöaikainen melu voi lisätä lyhytunisten (enintään 6 h uni/yö) esiintyvyyttä.³⁹²

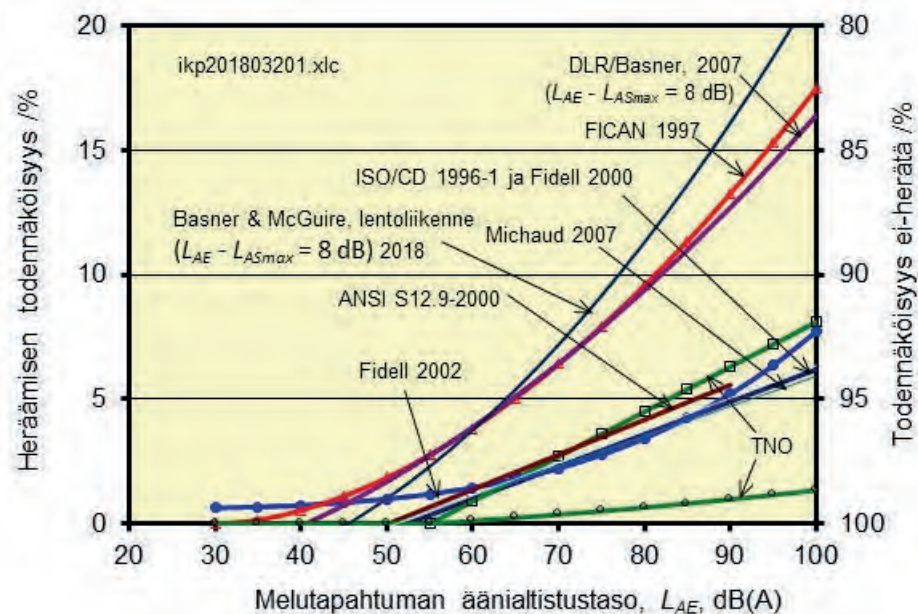
FICAN-1997 vaste ei nimestään huolimatta ole USA:n hallinnon virallisen melupolitiikan mukainen vaste, vaikka onkin FICANin (Federal Interagency Committee on Aviation Noise) julkaisema. Se esittää pahinta tapausta suojaamaan yleisöä kaiken asteisilta unihäiriöiltä.⁴⁴⁶

WHO:n julkaisusarjassa ilmestyneessä asiantuntijaraportissa⁴⁵² suositellaan unihäiriöiden välttämiseksi ulkoa sisään kuuluvien melutapahtumien enimmäistasoksi, L_{AFmax} , 45 dB(A). WHO edustaja on todennut ko. raportin ohjearvojen esittävän ns. 0 %:n riskiarvoja, eli arvon alittuessa ei pitäisi ilmetä haitallisia terveysvaikutuksia, mutta ylittyessä on riski, että vaikutuksia esiintyy.⁴⁴⁷ Raportissa viitataan mm. ranskalaiseen tutkimukseen, jonka mukaan uskotaan, että hyvä uni edellyttää, että enimmäistasoltaan noin 45 dB(AF) melutapahtumia ei esiinny makuuhuoneessa enempää kuin 10...15 kertaa yössä.⁴⁴⁸ Vertailuksi voidaan mainita Saksassa pitkään jonkinlaisena normina ollut unihäiriöiden kynnyksarvo ”6 x 60 dB(A)”, jonka mukaan

* Lentomeluoloihin tottuneet heräsivät valveille samalla todennäköisyydellä noin 8 dB alhaisempaan lentomelun enimmäistasoon kuin tottumattomat. Laboratoriossa nukkuvaa altistava, nauhoitettu lentomelu (makuuhuoneen melu) toistettiin kaiuttimista. Tämä melu on ainakin jossain määrin erilaista kuin se melu, joka altistaa kutakin lentomelualueilla asuvaa koehenkilöä kotiloissaan.

lentomelu ei aiheuta terveyshaittaa, ellei nukkuvaa altistava enimmäistaso ylitä 60 dB(A) ja ellei 60 dB(A)-melutapahtumien määrä yössä ylitä kuutta.^{449, 116} Uusissa tutkimusjulkaisuissa tätä arvoyhdistelmää on esitetty suurimmaksi siedettäväksi meluohjearvoksi.^{450, 484}

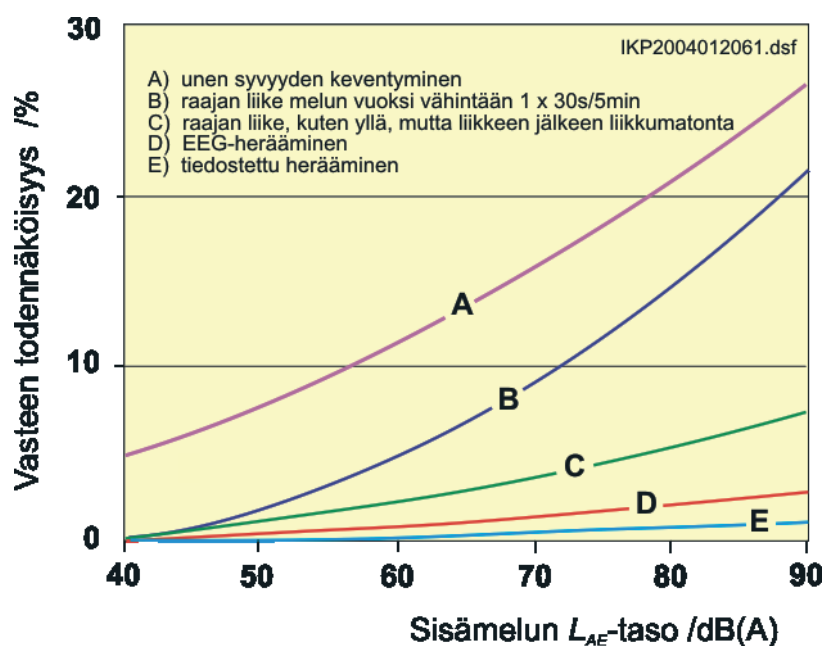
WHO:n Euroopan alueen toimiston on tarkoitus julkaista vuoden 2018 aikana uusi ympäristömelun terveysvaikutusten arviointiopas.⁴⁵¹ Oppaan taustamateriaalina julkaistiin maaliskuussa 2018 unenhäirinnän metatutkimusraportti.³⁵¹ Kuvassa 23 on esitetty tästä raportista peräisin oleva lentoliikenteen melun unihäiriövaste ”Basner & McGuire”. Tästä vasteesta on eliminoitu tyypillinen spontaanien heräämisten osuus. Muissa kuvan 23 vasteissa vastaavaa eliminointia ei ole tehty.



Kuva 23: Heräämisen todennäköisyys (yhteen) melutapahtumaan kotiloissa sisämelun äänialtistustason funktiona. Alin käyrä (TNO-vaste) koskee tiedostettuja heräämisiä koko yön ajalta, keskimäinen vasteryhmä EEG- ja tiedostettuja heräämisiä yhteensä koko yön ajalta ja kolme ylintä pahinta tapausta eli esimerkiksi heräämistä (tiedostettu tai EEG-herääminen, DLR:llä ja Basner & McGuirella lisäksi unen keventymien S1-tilaan) aamuyöstä tunti, pari ennen normaalia heräämisaikaa.

Monet tutkijat ja mm. WHO:n asiantuntijaryhmä⁴⁵² katsovat, että tiedostettujen valveille heräämisten lisäksi melun aiheuttamat unen syvyyden muutokset pitäisi ottaa huomioon arvioitaessa melun kielteisiä vaikutuksia uneen. Kuvassa 24 on esitetty Hollannin kansallisen terveysasioiden asiantuntijakomitean vuonna 2004 esittämät yhden ylilennon tai ohiajon tyyppisen melutapahtuman unihäiriövasteet. Kyseessä on vasteen todennäköisyys nukkuvaa altistavan melutapahtuman L_{AE} -tason funktiona. Käyrä A) unen syvyyden muutos kevyemmäksi, B) raajojen liike melun vuoksi ainakin yhtenä 30 sekunnin tarkastelujaksona 5 minuutin sisällä melutapahtumasta, C) raajojen liike ainakin yhtenä 30 sekunnin tarkastelujaksona 5 minuutin sisällä melutapahtumasta, jonka jälkeen liikkumatonta aikaa, D) EEG-herääminen, E) tiedostettu herääminen.⁴⁵⁵ Vaihtoehdossa C sekvenssin ”ensin liike sitten liikkumatta” katsotaan vahvistavan sitä, että kyse ei ole spontaanista raajojen liikkeestä, vaan kyseessä on melun aiheuttama liikevaste (”kääntyily sängyssä”).

Kotioloissa tehdyissä unihäiriötutkimuksissa nukkuvaa altistavan sisämelun voimakkuus on usein arvioitu olettamalla rakennusten ulkokuoren äänenvaimennukselle jokin vakioarvo, joka on vähennetty mitatusta ulkomelun tasosta. Verrattaessa tällaisia eri maissa tehtyjä tutkimuksia pitäisi ottaa huomioon se, että ilmasto-oloista johtuen eri maissa tyypilliset rakennusten ulkokuoren ääneneristävyydet ovat erilaisia. Rakennuksen ulkokuorelta vaadittu lämmöneristävyys ja ikkunoiden aukipitotavat vaikuttavat ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuuteen. Mitä suurempi eristävyys on, sitä alhaisempi on tietyn ulkomelun tuottama sisämelutaso (ikkunoiden ollessa kiinni).⁴⁵³ On syytä ottaa huomioon myös se, että melualueilla rakennuksissa saattaa olla parempi ulkokuoren ääneneristävyys kuin hiljaisilla alueilla.⁴⁵⁴ Tämä on omiaan pienentämään unihäiriöeroja eri melualueiden välillä.



Kuva 24: Hollannin kansallisen terveysasioiden asiantuntijakomitean esittämät unihäiriövasteiden riippuvuudet nukkuvaa altistavan (sisämelun) melutapahtuman L_{AE} -tasosta.⁴⁵⁵

Kun arvioidaan erilaisten unihäiriöiden esiintyvyyttä ulkomelutasojen perusteella, joudutaan niistä vähentämään rakennusten (oletettu) ulkokuoren tuottama äänitaso alentuminen. Menetelmä saattaa olla epätarkka, sillä esimerkiksi hollantilaisessa lentomelun unihäiriötutkimuksessa⁴⁵⁶ ei pystytty löytämään validia tilastollista yhteyttä melutapahtuman ulkomelun voimakkuuden (mitattu L_{AE} -taso) ja nukkuvan motiliteetin (nukkuvan liikkeiden) välille. Syynä nähtävästi se, että nukkuvaa altistavan sisämelun voimakkuus riippui liian epäspesifisesti ulkomelusta. Huomattakoon, että esimerkiksi kiusallisuusvasteiden osalta tilanne on toinen. Ulkoa sisään kuuluvan melun (asuntoalueen melun) vasteet riippuvat paljon paremmin ulkomelusta kuin sisämelusta. Yhtenä syynä on se, että sisämeluun vaikuttaa moni muukin melu kuin ulkoa sisään kuuluva kulloinkin tarkastelun kohteena oleva melu.⁴⁵⁷

Ulkoa sisään kuuluvien melutapahtumien unihäiriöriski riippuu myös siitä, kuinka paljon tapahtuman melutaso ylittää sisämelun tason eli, missä määrin muu sisämelu peittää ulkoa sisään kuuluvaa melua.⁴³⁴

Tapauksissa, joissa yön aikana esiintyy useista eri melulähdelajeista, esimerkiksi lento- ja raideliikenteestä, peräisin olevia, mahdollisesti unihäiriöitä aiheuttavia

melutapahtumia, joudutaan esimerkiksi meluhaitan vähentämisvaihtoehtoja arvioitaessa selvittämään, mikä osuus milläkin melulajilla on. Sveitsiläistutkimuksessa⁴⁵⁸ on esitetty yksi mittauksiin perustuva menettely.

Yhteenvedona voidaan todeta, että ulkoa sisään kuuluvan melun aiheuttamien yöaikaisista heräämisten osuus kaikista heräämisistä on yleensä pieni. Esimerkiksi UK:ssa tehdyssä tutkimuksessa lentomelun aiheuttamien heräämisten osuus oli 4 %.⁴²² Yksilöllinen meluherkkyys (ja ”heräämisherakkyys”) vaikuttaa suuresti siihen, kuinka herkästi tietty henkilö herää meluun. Lentomelualueilla asuvat myös tottuvat meluun sikäli, että tiedostettujen heräämisen todennäköisyys pienenee verrattuna samalle melulle satunnaisesti altistuviin, mutta EEG-heräämisten ja unen syvyyden alentumisen todennäköisyys ei pienene. Ei ainakaan samassa määrin.

Pyrittäessä soveltamaan sellaisia ulkomaisia tutkimuksia Suomen oloihin, joissa on tutkittu ulkoa sisään kuuluvan melun unenhäirintää ulkomelutasojen funktiona, tulokset joudutaan yleensä korjaamaan vastaamaan Suomessa tyypillisiä vastaavien rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyksiä. Saattaa olla, että myös ulkomelun voimakkuus – ja jopa työperäinen meluallistus – vaikuttavat tavalla tai toisella tutkittaviin henkilöihin, mikä joudutaan myös ottamaan huomioon ainakin tietyn yksittäisen tutkimuksen tuloksia sovellettaessa.

4.9.4 USEIDEN YÖAIKAISTEN MELUTAPAHTUMIEN YHTEENSÄ AIHEUTTAMA HERÄÄMISTODENNÄKÖISYYS

Yleensä oletetaan, että kun melutapahtumien väliin jää riittävän pitkiä taukoja, niin todennäköisyys herätä melutapahtumaan ei riipu aikaisemmista melutapahtumista. Kun tarkastellaan todennäköisyyttä nukkua koko yö heräämättä, niin tämä todennäköisyys riippuu yöaikaisten melutapahtumien määrästä. Merkitään melutapahtuman i äänialtistustasoa $L_{AE,i}$ ja todennäköisyyttä herätä siihen $P_{L_{AE,i}}$. Tällöin todennäköisyys nukkua heräämättä tapahtumaan

$$\bar{P}_{L_{AE,i}} = (1 - P_{L_{AE,i}}). \quad (5)$$

Kun yön aikana on $i = 1 \dots n$ kappaletta tasoltaan erilaisia melutapahtumia, on todennäköisyys nukkua heräämättä niistä yhteenkään eli nukkua koko yö heräämättä

$$\bar{P}_{kok} = (1 - P_{L_{AE,1}}) \cdot (1 - P_{L_{AE,2}}) \cdot \dots \cdot (1 - P_{L_{AE,n}}). \quad (6)$$

Jos kaikkien melutapahtumien äänialtistustaso on sama, L_{AE} , ja heräämistodennäköisyys on P_i , on todennäköisyys nukkua koko yö heräämättä

$$\bar{P}_{kok} = (1 - P_{L_{AE}})^n, \quad (7)$$

ja todennäköisyys herätä ainakin kerran

$$P_{kok} = 1 - (1 - P_{L_{AE}})^n. \quad (8)$$

Esimerkki: Kuvan 23 mukaan tiedostetun keräämisen todennäköisyys (alin TNO-käyrä) $L_{AE} = 60$ dB(A) melutapahtumaan $P_{60\text{ dB}} = 0,12\% = 0,0012$. Jos yöaikana on 20 tällaista tapahtumaa, olisi todennäköisyys nukkua koko

yö heräämättä $(1 - 0,0012)^{20} = 0,97$ eli 97 % ja todennäköisyys herätä vähintään kerran $100 - 87 = 3$ %. Tämä tarkoittaa tilastomatematisesti sitä, että jos henkilö nukkuu tällaisessa melussa 100 yötä, niin 97 yönä hän ei herää lainkaan ja 3 yönä herää vähintään kerran. Jos kriteerinä on kuvan 23 keskimäinen käyräjoukko, $P_{60\text{ dB}} \approx 1,2$ %. Tämän mukaan todennäköisyys nukkua koko yö heräämättä on 79 % ja todennäköisyys herätä ainakin kerran 21 %. On syytä korostaa, että arvio koskee unenlahjoiltaan keskiver-tohenkilöä, joka on tottunut kyseiseen meluun.

On mahdollista, että melutapahtuman aikainen, todennäköisyydellä $P_{L_{AE,i}}$ havaittu herääminen olisi voinut tapahtua spontaanisti eli syynä ei olekaan ko. melutapahtuma. Tämä tilastollinen mahdollisuus on perustelua ottaa huomioon määritettäessä melun aiheuttamia unihäiriövasteita. Merkitään todennäköisyyttä herätä satunnaisella tietyllä aikavälillä (so. myös melutapahtuman/tapahtumia sisältävän ajan sisällä) spontaanisti P_{spont} ja tutkimuksessa todettua todennäköisyyttä herätä melutapahtumaan $P_{melu,havaittu}$. Tällöin melutapahtuman sisältävän aikavälin aikaisen lisäheräämisten todennäköisyys, $P_{lisä}$, on

$$P_{lisä} = P_{melu,havaittu} - P_{spont} \quad (9)$$

Tällöin ”varmasti” melutapahtuman aiheuttama heräämisen todennäköisyys, P_{melu} , on

$$P_{melu} = \frac{P_{melu,havaittu} - P_{spont}}{1 - P_{spont}} \quad (10)$$

Mitä pitempi on se aikaväli, jonka sisällä tapahtuva herääminen lasketaan melutapahtuman aiheuttavaksi, sitä suurempi $P_{melu,havaittu}$ on. Kasvun syynä on se, että mitä pitempää aikaväliä tarkastellaan, sitä todennäköisempää on, että sen sisällä on vähintään yksi spontaani herääminen, joka kuitenkin tulkitaan melutapahtuman aiheuttamaksi. Lentomelun unihäiriötutkimuksissa on käytetty melko yleisesti 60 – 90 s pituisia aikavälejä eli 2 – 3 normaalipituista EEG-tutkimuksen epookkia. Tyyppillinen lentomelun kesto, aika jonka se ylittää kentätutkimuksissa makuuhuoneen taustamelun, on 30 – 90 s. Aikavälin alkuhetki määritellään yleensä siksi ajanhetkeksi, jona nukkuvaa altistavan lentomelutapahtuman voimakkuus ylittää taustamelutason tai sen EEG-epookin alkuhetkeksi, jonka sisällä tämä ylitys tapahtui.⁴⁵⁹

Kaavaa (9) käytettäessä pulmana on se, onko $P_{melu,havaittu}$ ja P_{spont} toisistaan riippumattomia vai ei. Mitä huonounisempi henkilö on, eli mitä suurempi hänen P_{spont} on, sitä suurempi on myös $P_{melu,havaittu}$. Pääsyyinä on se, että ilmenee enemmän lentomelutapahtumien aikavälejä, joiin unen syvyysaste on valmiiksi sellainen (so. kevyt), jona herääminen melutapahtumaan on syvää unta herkempää, so. todennäköisempää. Kaavan (9) etuna on se, että $P_{lisä}$ kuvaa sitä todennäköisyyttä, johon meluntorjuntatoimin voidaan enintään vaikuttaa.⁴⁵⁹

Heräämistodennäköisyys riippuu myös siitä, kuinka kauan on kulunut aikaa nukah-tamisesta. Amerikkalaisessa lentomelun unihäiriötutkimuksessa^{460, 365, *} päädyttiin seuraavaan todennäköisyyteen herätä yhteen L_{AE} -tasoiseen [dB] lentomelutapahtu-maan:

$$p_{her,yksi\ tapahtuma} = \frac{1}{1 + e^{-Z}}$$

jossa

$$Z = -10,723 + 0,0861 \cdot L_{AE} + 0,00402 \cdot T_{nuk} + \beta_g, \quad (11)$$

* Tutkimukseen osallistui 67 henkilöä, joiden unta seurattiin yhteensä 865 yönä, joiden aikana oli yhteensä 11 084 lentomelutapahtumaa.

joissa T_{nuk} on nukahtamisen ja ko. lentomelutapahtuman välinen aikaero [min] ja β_g kyseessä olevan henkilön heräämisherkkyttä kuvaava lukuarvo. Lentomelutapahtuman aika on määritetty tapahtuman alun ja lopun keskikohdaksi. Henkilöiden heräämisherkkyys luokiteltiin 33 eri luokkaan.

Kaavan (11) mukaan esimerkiksi kuusi tuntia nukahtamisen jälkeen heräämistodennäköisyys yhteen lentotapahtumaan on noin kolminkertainen verrattuna todennäköisyyteen herätä samaan meluun yhden tunnin päästä nukahtamisesta. Heräämisherkkyiden β_g arvo kaikkein epäherkimmille on -4,00 ja kaikkein herkimmille +4,00. Kaikkein herkimpien todennäköisyys herätä tiettyyn lentomelutapahtumaan on tämän tutkimuksen mukaan (L_{AE} -tasosta ja ajasta T_{nuk} riippuen) 1 000...2 500-kertainen verrattuna kaikkein epäherkimpien todennäköisyyteen ja noin 50-kertainen verrattuna keskimääräisen herkkien todennäköisyyteen herätä samaan meluun.

4.9.5 USEIDEN HENKILÖIDEN HERÄÄMISTEN ARVIOINTI

Kun tarkastellaan suuren ihmisjoukon, esimerkiksi kaikkien melualueella asuvien henkilöiden, unihäiriöitä, eri ihmisten heräämisten riippuvuus melusta katsotaan toisistaan riippumattomiksi tilastollisiksi ilmiöiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että henkilön A mahdolliset heräämiset tai heräämättömyydet eivät vaikuta mitenkään henkilön B heräämistodennäköisyyteen.

Esimerkki: Oletetaan melutapahtumia, joiden L_{AE} -taso on sisällä 55 dB(A), olevan 10 kpl yössä. Valveille heräämisen todennäköisyydeksi luetaan kuvan 23 ISO-vasteesta $P_{55dB} = 0,35 \%$. Kun 1000 asukasta altistuu vuoden tällaiselle melulle, on odotettavissa olevien valveille heräämisten kokonaismäärä $N = 1000 \cdot 10 \cdot 0,0035 \cdot 365 = 10\,000$. TNO-vasteen mukaan tiedostettuja valveille heräämisiä ei olisi lainkaan. FICAN 1997- ja DLR/Basner-vasteiden mukaan heräämisiä olisi (jos kaikki lennot aamuyöstä) pahimassa tapauksessa vuosittain $N = 1000 \cdot 10 \cdot 0,028 \cdot 365 = 102\,200$. Muista syistä (meluttomissa oloissakin) tiedostettuja valveille heräämisiä on tyypillisesti ainakin 1 – 2 yössä, eli vuosittain vähintään 365 000 – 730 000.

Eri tutkimuksissa on käytetty erilaisia heräämisten kynnys- tai enimmäisarvoja haettaessa, mikä on suurin sallittu tai suositeltu melutaso ja melutapahtumien määrä yössä tai vuodessa. Esimerkiksi melko tuoreessa hollantilaisessa tutkimuksessa alimaksi pahimman tapauksen vasteeksi mainitaan yksi tiedostettu melun aiheuttama herääminen per altistettu per vuosi.³⁷⁴ Tämä johtaa huomattavasti alhaisempaa melutapahtumien määrään ja melutasoon, kuin esimerkiksi usein käytetty kriteeri: korkeintaan yksi tiedostettu lisäherääminen yössä.

4.9.6 ITSE ARVIOITU UNIHÄIRIÖIDEN ESIINTYVYYDEN RIIPPUVUUS MELUSTA

Itse arvioitujen unihäiriöiden vakavuutta (kuinka kielteisenä henkilö kokee sen, että herää/on herännyt yöllä meluun) ja yleisyyttä (kuinka usein omasta mielestään herää öisin meluun) on kysytty monien kyselytutkimusten yhteydessä. Tutkimuksista tehtävää yhteenvetoa vaikeuttaa se, että eri tutkimusten unihäiriöitä koskevat kysymykset ovat hyvin erilaisia.^{461, 462, 463, 464, 620, 404, 252, *}

* Itse arvioidun unenhäirinnän mittaustavasta ei ole kansainvälistä standardia tai tiedeyhteisön suositusta.

Itse arvioidun unenhäirinnän voimakkuus ja esiintyvyys näyttää olevan epäherkemmin eri liikennemuotojen melusta riippuva kuin kiusallisuus. Esimerkiksi hollantilaisessa tutkimuksessa 22 % vastaajista oli lentomelusta suuresti kiusaantuneita (HA), mutta vain 11 % heistä oli suuresti unihäiriöisiä. Tutkimuksessa otettiin huomioon ne ($N = 2\,589$), jotka ilmoittivat kuulevansa asunnossaan lentomelua. Vastaavat luvut tieliikennemelulle* ($N = 1\,451$) olivat: %HA = 27 % ja %HSD = 4 %.⁴⁶⁵ On syytä muistaa, että eri tutkimuksissa on saatu erilaisia %HA- ja %HSD-vasteita. Esimerkiksi kuvan 25 ehjän viivan %HSD-vaste ei ole epäherkempi kuin kuvan 10 %HA lentomelun kiusallisuusvaste. Toisaalta, saksalaisessa NORAH-tutkimuksessa päädyttiin samaan tulokseen. Suuresti lentomelusta unihäiriöisten, %HSD, esiintyvyyssvaste näyttää olevan epäherkempi kuin lentomelusta suuresti kiusaantuneiden, %HA.⁴⁶⁶ Kiusallisuuden ja itsearvioidun unenhäirinnän vastausten välillä on kuitenkin hyvä korrelaatio.⁴⁶⁵

Unihäiriöitä koskevien kyselytutkimusten tulokset poikkeavat yleensä objektiivisten tutkimusten tuloksista. Kyselytutkimuksin on selvitetty sekä meluun heräämisen määrää että melun vaikutuksia unen laatuun. Laadun mittana voidaan käyttää arvioitua unihäiriöiden voimakkuutta tai unihäiriöiden esiintymisen määrää, yleisyyttä tai toistuvuutta.

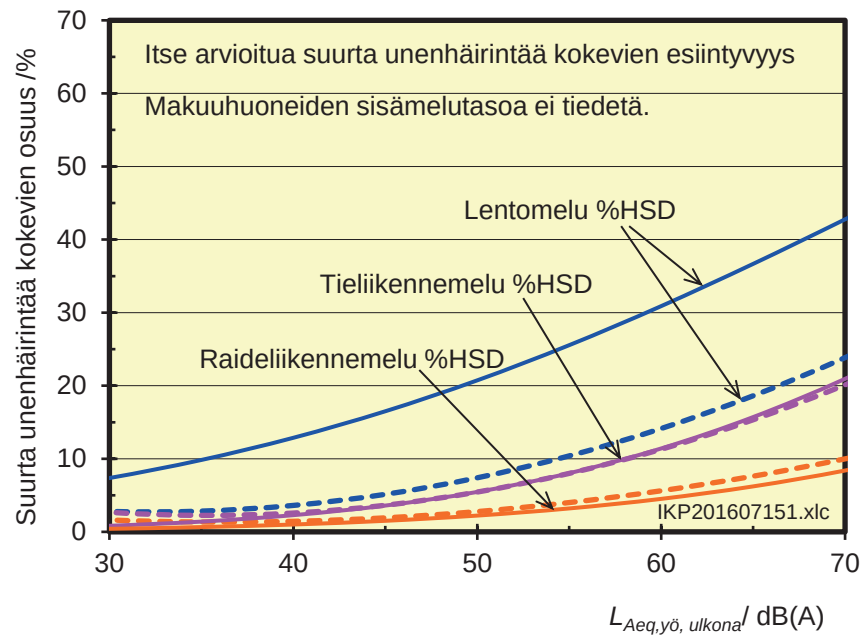
Altistettujen omiin arvioihin perustuva suuresti unihäiriöisten (engl. highly sleep disturbed eli HSD, mikä selittää myös itse raportoidut heräämiset) esiintyvyys on yleensä suurempi, kuin mitä objektiivisilla mittausten menetelmillä (kotioiloissa, meluun tottuneilla) mitattujen tiedostettujen heräämisten esiintyvyys on. Esimerkiksi Schipholin lentokentän ympäristössä vuonna 1998 tehdyn kyselytutkimuksen mukaan suuresti unihäiriöisten osuus asukkaista kasvoi yhdeksästä 23 prosenttiin, kun (ulkomelun perusteella arvioitu) sisämelun $L_{Aeq,23-07h}$ -taso kasvoi 22 dB(A)-tasosta (yli/ohilento kerran 1,5 tunnissa) 32 dB(A)-tasoon (n. 7 yli/ohilentoa tunnissa). Vastaavissa melurajoissa lentomelun aiheuttamien tiedostettujen heräämisten määrän pitäisi nykytutkimusten mukaan vaihdella pahimmassakin tapauksessa välillä 1 – 13 heräämistä per altistettu per vuosi. Meluttomissa oloissa tiedostettuja heräämisiä on normaaliunissa nykytutkimusten mukaan tyypillisesti noin 400... 700 per henkilö per vuosi. Vanhuksilla määrä on voi olla keskimäärin luokkaa 10 heräämistä yössä eli lähes 4000 vuodessa.³⁷⁴

Kuvassa 25 on vertailtu vuonna 2014 julkaistuja vasteita⁷⁴ vuonna 2007 julkaistun metatutkimuksen (24 tutkimusta, yhteensä $N = 22\,771$ henkilön vastaukset) %HSD-vasteet eri liikennemuodoille ($N_{raide liikenne} = 3\,187$, $N_{tieliikenne} = 10\,231$, $N_{lentoliikenne} = 9\,982$) vasteisiin. Vuoden 2007 julkaisussa tutkijat pyrkivät saattamaan eri tutkimusten unihäiriöitä koskevien vastausten asteikot yhteismitallisiksi siten, että lievintä ko. kyselyn haitallisuuden voimakkuuden tai häiriöiden luokkaa (olipa kysymys millainen tahansa) merkittiin voimakkuudella 0 ja pahinta voimakkuudella 100. Suuresti unihäiriöiseksi (engl. %HSD, Highly Sleep Disturbed) luokiteltiin ne, joiden vastaus tällä asteikolla vastasi lukuarvoa 72 tai sitä suurempaa. Jos kyselytutkimuksessa oli esimerkiksi vain kolmiportainen kysymys (arvot 0, 50, 100, joissa kussakin vastanneita oli n_0 , n_{50} ja n_{100} henkilöä), niin näistä tiedoista laskettiin vastausjakautuman tilastollisen muodon perusteella arvio, miten vastaukset olisivat sijoittuneet asteikolle 0, 28, 50, 72 ja 100.^{461, 467}

Edellä referoidun vuoden 2007 metatutkimuksen mukaan yöaikainen lentomelun taso, $L_{Aeq,yö}$, selitti 4 % vastaajien itse arvioiman unenhäirinnän voimakkuuden vaihtelusta. Tämä tarkoittaa sitä, että muut seikat kuin melun voimakkuus ($L_{Aeq,yö}$

* Kyselyssä otettiin huomioon henkilöt, jotka asuivat sellaisten pääteiden varsilla, joilla nopeusrajoitus oli 50 km/h tai suurempi.

taso) selittävät pääosan niistä unihäiriöistä, joita asukkaat ilmoittivat kyselytutkimuksissa lentomelun aiheuttavan.



Kuva 25: Kyselytutkimuksiin perustuva melusta suuresti unihäiriöisten (%HSD, engl. Highly Sleep Disturbed) esiintyvyyden (osuus) riippuvuus eri liikennemuotojen ulkomelun pitkän ajan keskimääräisestä $L_{Aeq,yö}$ -tasosta. Katkoviivoilla esitetyt vasteet perustuvat vuoden 2007 tietoihin^{461, 467}, yhtenäisellä viivalla esitetyt vuonna 2014 julkaistuun edellisiä täydentävään tutkimusjulkaisuun.⁷⁴

Voitaneen olettaa karkeasti, että Suomessa ympärivuotisessa käytössä olevien asuinrakennusten ulkokuoren ääneneristävyys* on tyypillisesti vähintään 5 – 10 dB(A) parempi kuin kuvan 25 tapauksissa.

Sveitsissä tehdyn kyselytutkimuksen mukaan noin 12 % koki 46 – 50 dB(A) ja noin 14 % 51 – 55 dB(A) L_{Aeq} -tasoisien tieliikennemelun (ulkomelu) suuresti kiusalliseksi unihäiriöiden voimakkuutta kysyttäessä.⁴⁶⁸ Lukuarvot ovat suurempia kuin kuvassa 25 esitetyt.

Japanilaisessa tutkimuksessa ($N = 648$, kaikki naisia) selvitettiin muun muassa miten itse raportoitu unettomuus⁴⁶⁹ riippui asunnon etäisyydestä asuinalueen päätiehen (yöaikainen liikenne 900 ajoneuvoa/h, 50 km/h). Unettomuuden ei todettu vaihtelevan tilastollisesti merkittävästi eri etäisyyksillä. Samassa tutkimuksessa kysyttiin myös syytä (melulähdettä), joka vastaajan mielestä aiheutti unettomuuden tai yöaikaisia unihäiriöitä. Merkittävin unihäiriöiden (heräämisten) syy oli samassa huoneessa nukkuvat muut henkilöt (herääminen tästä syystä monena yönä viikossa, $OR = 9,0$). Naapuritaloista kantautuva melu oli toiseksi yleisin syy ($OR = 8,7$). Ajoneuvojen melu oli kolmantena ($OR = 3,1 - 3,9$).⁴⁷⁰ Japanissa rakennustavat (mm. ulkokuoren ääneneristävyys) ja rakennustehokkuus (rakennusten ala/maa-ala) poikkeaa siitä, mikä on tyypillistä Suomessa, mistä syystä tulosten suora siirrettävyys Suomen oloihin on syytä suhtautua varauksin.

* Ikkunoiden ollessa kiinni. Kyselytutkimuksissa ei yleensä kysytty/kerrota, millaisia ikkunoiden aukipitotapoja vastaajilla on yöaikaan. Joissakin tutkimuksissa on kysytty kiusallisuuden voimakkuutta selvittävänä lisäosiona tarvetta pitää asunnon tai makuuhuoneen ikkunoita kiinni.

Vertailuksi kuvan 25 eri liikennemuotojen vasteiden erolle mainittakoon saksalainen laboratoriotutkimus⁴⁷¹ ($N = 24$, 12 yötä kukin), jossa päädyttiin siihen, että rai-deliikennemelu aiheutti hieman herkemmin tiedostettuja ja EEG-heräämisiä kuin lentomelu, joka puolestaan aiheutti niitä hieman herkemmin kuin tieliikennemelu. Melutapahtuman melun voimakkuutena oli nukkuvaa altistava L_{ASmax} -taso.

EU-maissa tehtiin vuosina 2002 – 2003 laaja kyselytutkimus asuin- ja elinympäris-tön vaikutuksista kaupunkiväestön terveysriskeihin.²¹² Yhtenä osiona oli melun vai-kutukset terveyteen. Ihmisten omien arvioiden mukaan ulkoa sisään kuuluva lii-kennemelu aiheutti unihäiriöitä. Mitä suurempi kaupunki, sitä suurempi oli unihäi-riöiden esiintyvyys. Tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että melu lisää riskiä sydänverisuonitautiin syyn tai taudin indikaattorin ollessa pitkään kestäneet uni-häiriöt. Tulkinta tarkoittaa sitä, että yöaikaiset melun aiheuttamat stressireaktiot olisivat välittävä mekanismi.²¹³

Yhdysvalloissa julkaistiin vuonna 2015 tutkimus, jossa selvitettiin riittämättömäksi koetun unen ja levon esiintyvyyttä. Vastaajilta (745 868 henkilöä*) kysyttiin yhtenä kysymyksenä laajaa vuosittaista BRFSS[†]-tutkimusta, missä määrin he olivat koke-neet riittämättömää unta tai lepoa viimeisen 30 vuorokauden aikana vuosina 2008 ja 2009. 10,8 % vastaajista ilmoitti unensa riittämättömäksi kaikkina 30 kyseessä olevana vuorokautena ja 30,1 % ilmoitti, ettei kokenut untaan tai lepoaan riittämät-tömäksi yhtenäkin näistä 30 vuorokaudesta. Tutkijat erottivat tästä aineistosta ne henkilöt, jotka asuivat 95 eri lentokentän eri melualueilla. Vastaajat oli jaettu lentomelualueiden mukaan: 1) $L_{DN,vuosi} > 65$ dB (855 henkilöä), 2) $L_{DN,vuosi} 60 - 65$ dB (2 368 henkilöä), 3) $L_{DN,vuosi} 55 - 60$ dB (4 576 henkilöä) ja vertailu- eli kohortti-ryhmänä ne, jotka asuivat alueilla joilla lentomelun $L_{DN,vuosi} < 55$ dB (738 069 henkilöä). Tutkimuksen tulos oli, että itse arvioidun riittämättömän unen ja levon määrä/esintyvyys ei eronnut tilastollisesti merkittävästi näillä neljällä eri melu-alueella asuvilla henkilöillä. Tutkimuksessa ei selvitetty, mitä muuta melua näillä neljällä alueella esiintyi.⁴⁶⁴

Vuonna 2015 tehdyssä Korean Seoulin lentokentän ympäristön asukkaiden uni-häiriötutkimuksessa ($N = 3308^{\ddagger}$) päädyttiin siihen, että voimakkaan lentomelun alueella asuvilla unettomuusriski⁴⁰⁴ oli 3,24-kertainen ja päiväväsymysriski⁴⁰⁶ 3,43-kertainen verrattuna kohorttina toimineeseen ei-lentomelulle altistuvaan hiljaisilla alueilla asuvien riskiin. Alhaisen lentomelun alueilla vastaavat luvut olivat 3,45 ja 2,58. Voimakkaan lentomelun alueilla ulkomelun WECPNL-taso oli 80 – 90 ja alhaisen melun alueella 75 – 80. Tutkimusjulkaisusta ei käy selville millainen rakennusten ulkokuoren tyypillinen ääneneristävyys kyseisillä asuinalueilla oli.⁴⁰⁷ Voimakkaan lentomelun alueen WECPNL 80 – 90 vastaa noin L_{DEN} -tasoaluetta 64 – 72 dB ja alhaisen melun WECPNL 75 – 80 noin 60 – 64 dB.^{472, 473}

4.9.7 UNIHÄIRIÖRISKIEN IKÄRIIPPUVUUS

Ympäristömelun unihäiriöt riippuvat ainakin tilastollisessa mielessä siitä, kuinka pitkään ja mihin aikaan vuorokaudesta (meluun nähden) henkilö nukkuu. Vastasyntyneillä vuorokautinen nukkuma-aika on noin 16 tuntia ja REM-unen osuus noin 40

* 365 326 henkilön puhelinhaastattelussa saadut vastaukset vuonna 2008 ja 380 542 vuonna 2009. Vastaajia oli kaikista USA:n 50 osavaltiota.

† Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS), lisätietoja esim.: https://en.wikipedia.org/wiki/Behavioral_Risk_Factor_Surveillance_System

‡ näistä 1428 asui alhaisen lentomelun alueella, 1403 voimakkaan lentomelun alueella ja 477 kohorttina toimineella hiljaisella ei-lentomelua alueella.

– 50 %. Ikääntyessä molemmat lyhenevät siten, että 50 ikävuoden jälkeen nukku-
ma-aika on keskimäärin 6 – 7 tuntia ja REM-unen osuus noin 15 %.^{474, 363}

Jo elämäkokemuksesta tiedetään, että ympäristön melutapahtumat vaikuttavat vä-
hemmän lasten kuin vanhusten uneen. Nuorten EEG-syvyysmuutosten herkkyys on
noin 10 dB(A) keski-ikäisiä epäherkempi.⁴⁷⁵ Tiedostetun valveille heräämisen kyn-
nystaso on sikiöillä noin 120 dB(A), yksivuotiaalla noin 70 dB(A) ja 10-vuotiaalla
noin 60 dB(A).⁴⁷⁶ Kuvan 25 meta-analyysissä päädyttiin siihen, että keski-ikäisillä,
noin 50-vuotiailla, %HSD-esiintyvyys on melutasosta riippuen noin 2 – 5 prosent-
tisyksikköä suurempi kuin 18- ja 81-vuotiailla. Jälkimmäisillä kahdella ryhmällä
%HSD-vaste on suurin piirtein sama.

Kuvan 19 mukaan EEG-havahtumisten määrä epookkia kohden kasvaa meluttomis-
sa oloissa iän myötä (alkaen 18-20 vuotiaista) 50 vuodessa noin kaksinkertaisesti.
Kun samalla uniaika (tuntia/yö) lyhenee tunnin tai puolitoista, havahtumisten koko-
naismäärä kasvaa hieman vähemmän.

4.9.8 KORTISOLIERITYKSEEN PERUSTUVA YÖAIKAISEN LENTOMELUN HAITALLISUUDEN ARVIOINTI

Yö- ja päiväaikaiset (riittävänä voimakkaat) melutapahtumat lisäävät stressihormo-
neina tunnettujen hormonien, kuten kortisolin, eritystä. Stressihormonien erityksen
kasvu puolestaan indikoi stressireaktioita, jotka saattavat lisätä riskiä sairastua
sydänverisuonitauteihin, kuten verenpainetautiin (ks. kuva 6 sivulla 31). Tätä taustaa
vasten on perusteltua hakea hormonieritykseen perustuvia riippuvuuksia ja rajoja
yöaikaiselle melulle. Pulmana on tietysti se, että ei ole olemassa tiedeyhteisön
sopimia melutautiriskirajoja eri hormonien pitoisuuksille. Hormonipitoisuudet,
kuten myös eri hormonien pitoisuutta kuvaavat indeksitkin, ovat jatkuvia muuttujia,
toisin kuin taudit (tauti joko on tai ei ole). Kun esimerkiksi lasketaan melun aiheutta-
maa verenpainetaudin riskiä (*OR*, *RR*) olettaen jonkin stressihormonin pitoisuus
mediaattoriksi, niin tutkija joutuu päättämään, minkä lukuarvon ylittävä arvo on
”taudin” indikaattori.

Spreng⁴⁷⁷ suosittelee kortisoli-hormonin eritysvasteeseen perustuvan sallittujen yöai-
kaisten lentomelun (sisämelu) enimmäistason, L_{Amax} [dB(A)], riippuvuudeksi tapah-
tumien määrästä, n [kpl] ($n > 2$)

$$L_{Amax} = 31,25 \left(\frac{3,257}{n} - \lg n + 0,813 \right) + 53 \text{ dB(A)}. \quad (12)$$

Julkaisusta ei käy selville, mitä aikapainotusta (Slow, Fast) pitäisi käyttää. Kaava
olettaa, että kaikkien ylilentojen enimmäistaso on (suurin piirtein) sama. Kun ylilen-
toja on kolme, olisi sallittu L_{Amax} 97 dB(A) ja, kun niitä on 10 olisi se 57 dB(A).

Huomattakoon, että suurella osalla ihmisiä kortisolin erityks kasvaa heräämisten jäl-
keisen valvetilan alussa noin 30 – 45 minuutin ajan.^{478, 479, 480} Toistuvan liiallisen
(yöaikaisen) kortisolierityksen oletetaan huonontavan immuunivastetta, aiheuttavan
insuliiniresistanssia, lisäävän sydän- ja verisuonisairauksien, osteoporoosin ja ruoan-
sulatuselinten vaivojen riskiä.^{481, 482, 428, 213} Liiallisen yöaikaisen melun katsotaan
lisäävän vuorokautista kortisolieritystä ja huonontavan hormonitoimintojen palau-
tumista hyvään, tasapainoiseen tilaan.^{483, 213}

Frankfurtin lentokentän ympäristövaikutusselvityksessä⁴⁸⁴ päädyttiin esittämään edellä mainittua kaavaa haettaessa yöaikaisten lentojen hormonaalisiin eli stressivaikutuksiin perustuvaa lentomelun enimmäistasoa. Huomattakoon, että kaavaa (12) ei ole validoitu sellaisin epidemiologisin tutkimuksin, jotka osoittaisivat yhteyden altistettujen sairastavuuteen erilaisiin sydän- ja verisuonitauteihin.

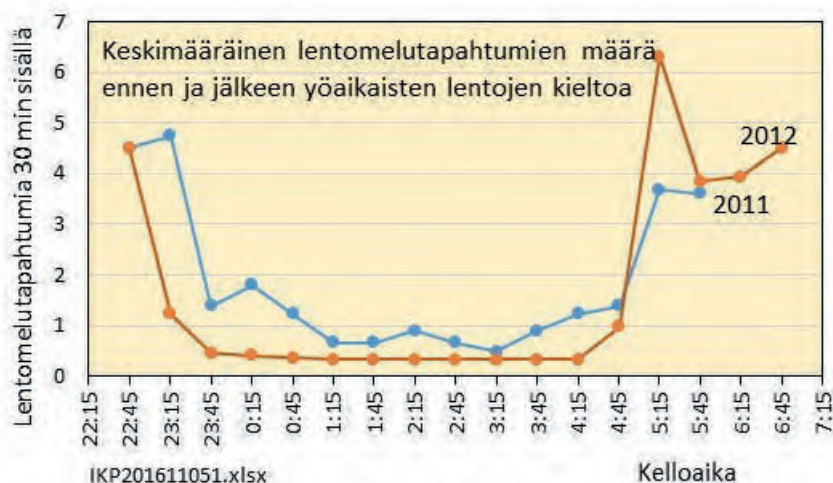
Kolmen ranskalaiskentän ympäristömelun terveysvaikutustutkimuksessa ($N = 1244$ yli 18-vuotiasta) päädyttiin siihen, että melu ei vaikuttanut heräämisen jälkeiseen syljen kortisolipitoisuuteen, mutta muutti lievästi kortisolipitoisuuden vuorokautista vaihtelua. Melualtistus kasvatti hieman ilta-aikaista pitoisuutta. Sylkinäyte otettiin heräämisen jälkeen ja ennen nukkumaan menoa.⁴⁸⁵

Kortisolierityksessä on todettu merkittävää viikonpäivä- ja vuodenaikavaihtelua. On tutkimuksia, joissa tätä ei ole otettu huomioon. Erilaiset mittausmenetelmät antavat erilaisia tuloksia ja saattavat antaa tuloksia, jotka yliestimoivat stressin astetta.^{486, 487} Päiväaikaisen toiminnan laatu ja määrä saattavat vaikuttaa merkittävästi heräämisen jälkeiseen kortisolipitoisuuteen.⁴⁸⁸

Päiväaikaisen, melko lyhytaikaisen voimakkaan ($L_{Aeq,20\text{ min}} = 75\text{ dB}$) melualtistuksen todettiin lisäävän laboratorio-oloissa syljestä mitattujen stressihormonien, alfa-amylaasin ja chromogranin A, mutta ei kortisolin, pitoisuutta.⁴⁸⁸

4.9.9 YÖAIKAISTEN LENTOJEN RAJOITTAMISEN VAIKUTUS UNIHÄIRIÖIDEN ESIINTYMISEEN

Saksalaisessa laajassa Norah-tutkimuksessa^{613, 489, 490, 491} selvitettiin Frankfurtin kentän yöaikaisten (klo 23 – 05 välisten) lentojen kiellon vaikutusta unihäiriöihin. Yöaikaiset lennot kiellettiin samassa yhteydessä kun neljäs kiitotie otettiin käyttöön lokakuussa 2011. Kielto lakkautti 17 yöaikaista lentoa. Klo 23 – 05 välisten lentojen kieltä ei vaikuttanut kovin merkittävästi klo 22 – 06 välisten lentojen (nousut ja laskeutumiset yhteensä) määrään, joka oli yhteensä keskimäärin noin 150 lentoa.⁴⁹²



Kuva 26: Norah-tutkimuksen unitutkimuksen keskimääräiset lentomelutapahtumien määrät yön eri aikoina ennen (2011) ja jälkeen (2012) yöaikaista (klo 23 – 05) lentokieltä. Laskenta perustuu 30 minuutin jaksoihin (asteikko aika $\pm 15\text{ min}$). Vaaka-asteikon kelloaika on kunkin jakson keskivälin aika.⁴⁹³

Kuvassa 26 on esitetty lentomelutapahtumien keskimääräinen määrän jakaantumisen yö aikana ennen (2011) ja jälkeen (2012) yöaikaisen lentomelukiellon. Kielto sallii aikataulusta myöhästyneiden koneiden laskeutumisen. Tästä syystä vuoden 2012 yöaikaisten lentojen pitkän ajan (vuosi) keskimääräinen määrä klo 23 – 05 välillä ei ole nolla.

Uni- ja melumittauksia tehtiin kotioiloissa yhteensä kolmena yönä ennen ja jälkeen yöaikaisten lentojen kieltoa. Tutkimuksiin osallistui vuosina 2011 – 2013 yhteensä 202 tervettä aikuista henkilöä. Ikäjakautuma oli 18 – 78 vuotta. Ainakin osassa mitauksia makuuhuoneen ikkuna oli auki (raollaan), mikä selittää ainakin osaksi suuret lentomelutapahtumien $L_{A_{Smax}}$ -tasot. Melutasojen suuren vaihtelun pääsyyinä on se, että tutkimuksiin osallistuneiden henkilöiden asuntojen etäisyys lentokoneisiin (nimellisiin lentoreitteihin) vaihteli suuresti.

Vuonna 2011, ennen lentojen kieltoa, tutkimuksiin osallistui 49 henkilöä. Koehenkilöitä altistavia lentomelutapahtumia oli yhteensä 3946. Näistä 8,1% luokiteltiin aiheuttaneen heräämisen lentomeluun. Kiellon jälkeen vuonna 2012 tutkimuksiin osallistui 83 henkilöä (79 univastemittauksiin). Altistavia lentomelutapahtumia oli yhteensä 4871. Näistä 7,7 % luokiteltiin aiheuttaneen heräämisen.

Molempien ryhmien unihäiriövasteita mitattiin PSG:llä eli polysomnografialla. Vuonna 2013 unihäiriövasteita mitattiin lisäksi 187 henkilöllä (132 mukana lopullisissa analyyseissä) uudella VMM-vastemittauksella, jossa unihäiriön laadun indikaattori perustui syketaajuuden (ECG) ja kehon liikkeiden monitorointiin ja tutkimuksen yhteydessä kehitettyyn automaattiseen unen syvyyden luokitteluun. Koehenkilöitä altistavia lentomelutapahtumia oli yhteensä 4102, joista 13 % luokiteltiin aiheuttaneen VMM-heräämisen.

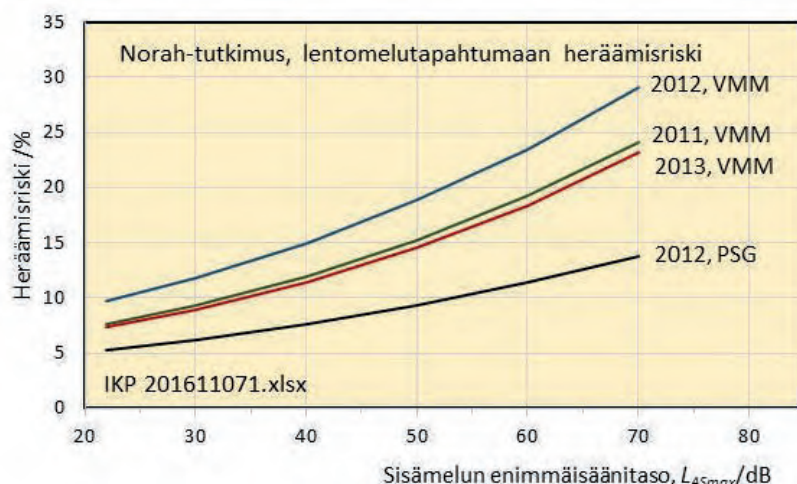
Osa koehenkilöistä (39 henkilöä) osallistui kaikkiin kolmena vuotena tehtyihin unitutkimuksiin, osa osallistui vain yhteen kolmen yön mittaukseen. Kaikissa mittauksissa monitoroitiin lukuisten unenlaatua mittavien muuttujien lisäksi ajallisesti synkronoituna yöaikaista sisämelutasoa läheltä nukkuvan korvaa.

Vuoden 2011 tutkimuksessa vuoteeseen menoaika oli klo 22.00 – 22.30 ja heräämisaika 06.00 – 06.30. Vuosien 2012 ja 2013 mittauksissa koehenkilöt oli jaettu kahteen ryhmään. Ryhmän 1 nukkumaanmeno- ja heräämisaika olivat samat kuin vuonna 2011. Ryhmän 2 ajat olivat tuntia myöhemmät.

Lentomelun aiheuttamiksi luokiteltujen valveille heräämisten keskimääräinen määrä per henkilö oli vuonna 2011 2,0 per yö. Vuonna 2012 lentokiellon astuttua voimaan määrä oli ryhmässä 1 0,8 heräämistä per henkilö ja yö. Ryhmässä 2 heräämisiä oli keskimäärin 1,9 per yö ja henkilö. Nämä lentokiellon jälkeiset heräämiset ajoittuivat aamuöisten, klo 05 jälkeisten, lentojen aikaan. Taustamelun keskimääräinen voimakkuus ($L_{Aeq,1 min}$ ennen melutapahtumaa) oli kaikissa tutkimuksissa 28,8 dB(A). Tästä tasosta lähtien heräämisriski (Odds) kasvoi 23 % per lentomelun enimmäistason 10 dB(A) kasvua kohden.

Vaikka yöaikaisten lentojen lopettaminen vähensi objektiivisesti mitattujen heräämisten esiintyvyyttä, niin koehenkilöiden itse arvioima huonon unen esiintyvyys kasvoi vuosien 2011 ja 2013 aikavälillä 5 %:sta 11 %:iin riippumatta altistavan melun voimakkuudesta. Tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että unen määrässä ja laadussa (nukkumisaika per yö, uneliaisuus aamulla, unen tehokkuus, nukahtamiseen kulunut aika ja valveilla olo aika yössä) ei ollut tilastollisesti merkittäviä

eroja eri vuosina. Lentoliikenteen kielteisyyden kokemisen voimakkuuden ja uni-häiriöiden välillä todettiin positiivinen tilastollinen yhteys. Tutkimuksessa ei selvinnyt, lisäksi kielteisyys unihäiriöitä vai unihäiriöt kielteisyyttä.



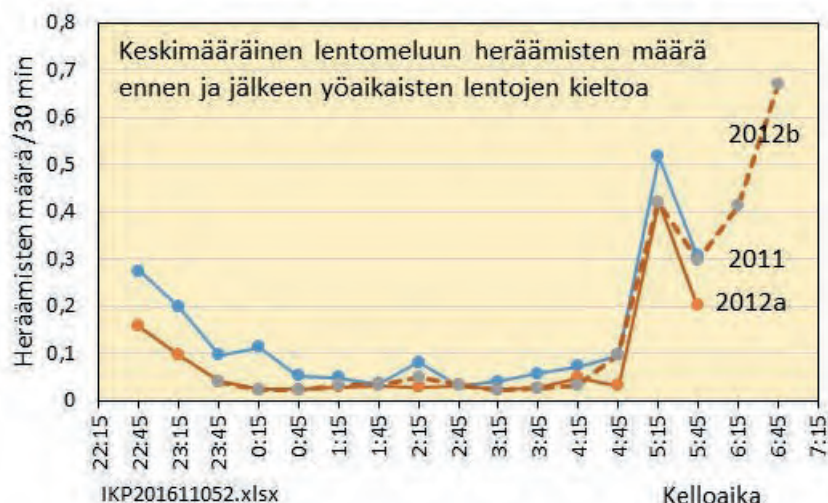
Kuva 27: Norah-tutkimuksen unitutkimuksessa saadut lentomelutapahtumiin heräämisen riskivasteet. VMM vasteet on mitattu käyttäen indikaattorina syketaajuuden muutosta ja kehon liikkeitä. PSG-vaste on mitattu käyttäen polysomnografista mittausta.^{494, 491}

Kuvassa 27 on esitetty eri vuosina 2011 – 2013 mitattuja heräämisriskivasteita. Polysomnografisissa mittauksissa (PSG-vaste kuvassa) heräämiseksi katsottiin valveille herääminen (W-tyypin EEG-vaste) ja unen syvyyden herkistyminen S1-asteeseen (S1 tyypin EEG-vaste).^{*} Lentomeluun liittyviksi luokiteltiin ne unen syvyyden muutoksen perusteella heräämiseksi luokitellut univasteet, jotka ajoittuivat 90 s sisälle lentomelutapahtumasta. Osa näistä on tilastollisesti spontaaneja heräämisiä eli olisivat tapahtuneet ilman lentomeluakin. Spontaani heräämisten tilastollinen osuus on vähennetty vasteista. Kuva 27 kertoo selvästi sen, että polysomnografiaan perustuva vaste on epäherkempi kuin VMM-vasteet.

Kuvassa 28 on esitetty heräämisten määrän keskimääräinen jakaantuminen yön eri ajalle (30 minuutin aikaväleille) ennen ja jälkeen yöaikaisten lentojen kieltoa. Kuvasta huomataan, että sekä ennen että jälkeen yöaikaisten lentojen kieltoa heräämiset keskittyvät aamuyöhön eli aikaan, jona lentomelutapahtumia alkaa esiintyä yön hiljaisen liikenteen jälkeen.

Suurin osa Norah-tutkimuksen heräämisriskivasteiden (kuva 28) määrittelyn perusteena olevista heräämisistä näyttää ajoittuneen aamuyöhön hyvin lyhyen ajan sisälle, klo 5.00 – 6.00 (kuva 28, käyrät 2011 ja 2012a). Tämä – aamuyö ja lentojen suuri määrä lyhyen ajan sisällä – on todennäköinen pääsyy siihen, että riskivasteet (kuva 28) ovat huomattavasti herkempiä kuin monissa aikaisemmissa tutkimuksissa. Norah-tutkimusta vastaavia herkkiä vasteita saatiin myös saksalaisessa Airora-tutkimuksessa⁴⁹⁵ ja aikaisemmin, vuosina 1999 – 2002, tehdyssä Kölnin-Bonnin lentokentän yöaikaisen melun ympäristövaikutustutkimuksessa ($N = 61$, yhteensä 482 tutkimusyötä ja 15 566 lentomelutapahtumaa).^{496, 497} Kölnin-Bonnin kentällä ei tosin ollut yöaikaisten lentojen rajoitusta.

^{*} Katso luku 4.9.1.1 Unen laadun luokittelu ja mittaus aivosähkökäyrästä. Kuvassa 27 melun mittana on L_{A5max} -taso, ja esimerkiksi kuvassa 23 L_{AE} -taso. L_{AE} -tasoa pidetään näistä validimpana, sillä se ottaa huomioon myös melun keston.



Kuva 28: Norah-tutkimuksen heräämisten (PSG-vasteesta mitatut heräämiset) määrien keskimääräinen jakaantuminen yöaikana 30 minuutin jaksoille (asteikko aika ± 15 min) ennen yölentokieltoa (2011) ja sen jälkeen. Käyrä 2012a koskee nukkujaryhmää 1 eli niitä, jotka menivät nukkumaan klo 22.00 – 22.30 ja nousivat ylös 06 – 06.30. Käyrä 2012b koskee ryhmää 2 eli niitä, jotka menivät nukkumaan 23.00 – 23.30 ja nousivat ylös 07.00 – 07.30.⁴⁹³

Norah-tutkimuksessa kysyttiin Frankfurtin kentän ympäristön* asukkailta myös itse arvioidun unenhäiriönnän voimakkuutta. Suuresti unihäiriöisten, %HSD, esiintyvyyssvaste oli vuosina 2012 ja 2013, yöaikaisten lentojen rajoituksen jälkeen, epäherkempi kuin vuonna 2011, ennen rajoitusta. Esimerkiksi vuonna 2011 ulkomelun $L_{Aeq,22-06h}$ -tasossa 55 dB %HSD oli noin 47 %, kun se vuosina 2012 ja 2013 tehdyssä kyselyssä oli 24 – 26 %.⁴⁶⁶

Yöaikaisten lentorajoitusten vaikutuksia asukkaiden uneen ja terveyteen tutkittiin kyselytutkimuksin vuosina 2000 ja 2003 Zurichin kentän ympäristössä. Vuoden 2000 yöaikaisten lentojen rajoitukset johtuivat kiitotien 10/28 määräaikaisesta sulkemisesta uuden terminaalin rakentamisen vuoksi. Vuoden 2003 rajoitusten syynä oli Saksan vaatimus rajoittaa alku- ja loppuyön aikaisia laskeutumisia Saksan alueiden yli. Näiden rajoitusten vuoksi lentojen määrä ja yöaikainen melu kasvoivat muiden reittien alla. Tutkijat päätyivät siihen, että 1 dB(A) yöaikaisten ulkomelun kasvu lisäsi unihäiriöistä kärsivien henkilöiden määrää 6,6 %.[†] Tutkijat päätyivät ehkä vähän yllättäen myös siihen, että päiväaikaisten melun kasvukin lisäsi unihäiriöiden riskiä 1 dB(A) kasvu lisäsi riskiä 7,42 %.⁴⁹⁸ Tutkimusraportista ei selviä, miten unihäiriöriski mahdollisesti tasaantui seuraavina vuosina asukkaiden tottuessa meluun. Tiedetään, että ympäristön melumuutoksiin reagoidaan yliherkästi ja yliherkkyys tasaantuu aikaa myöten.^{499, 438} Tutkimusten tulokset etenkin tasaantumisen (tottumisen, adaptaation) osalta ovat ristiriitaisia.⁵⁰⁰

* Kysely osoitettiin alueille, joilla päivä- ja yöajan lentomelun L_{Aeq} -taso ylitti 40 dB. Yhteensä 9244 asukasta vastasi kyselyihin. Näistä 3508 osallistui kaikkiin kolmeen kyselyyn.

† Prosenttiarvo ilmaisee vedonlyöntisuhteen (odds): henkilö kokee kyselytutkimuksen mukaan unihäiriöitä verrattuna siihen, että ei koe. Tutkimuksessa kokeiltiin kahta erilaista tilastollista riippuvuusmallia. Toisen mukaan tilastollisia eroja ei ollut, toisen mukaan päädyttiin mainittuihin riskin kasvuihin per 1 dB(A) yö- tai päiväajan keskiäänitason kasvu.

4.10 YMPÄRISTÖMELUN VAIKUTUS SYDÄN- JA VERISUONISAIRAUKSIIN JA ENNENAIKAISIIN KUOLEMIIN

Kuten jo aikaisemmin on todettu, elinikä on pidentynyt merkittävästi useimmissa maissa viimeisen 100 vuoden aikana. Tämän seurauksena terveyspolitiikassa on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota väestön sairastavuuteen, sairauksien syihin ja sairastavuuden ennalta estämiseen. Sairaudet ja niiden aiheuttamat ennenaikaiset kuolemat aiheuttavat taloudellisia menetyksiä ja sairauksien hoito kustannuksia terveydenhuollolle ja sairastuneille. Sairastumisen katsotaan huonontavan myös elämän laatua. Sydän- ja verisuonisairaudet ovat merkittävien tautiryhmistä, joihin sairastavuuden on todettu olevan jossain määrin suurempi ympäristöissä, joissa liikenteen ympäristöpäästöt ovat suuria verrattuna asuinympäristöihin, joissa liikenne on vähäistä.

Kuvassa 6 (sivu 31) on esitetty selitysmalli sydän- ja verisuonitautien riippuvuudelle melusta. Melun aiheuttamat krooniset stressireaktiot toimivat päävälitystienä.

Verenpaine on yleisin sydän- ja verisuonisairauksien riskin indikaattori. Korkea verenpaine lisää sairastavuutta ja ennenaikaista kuolleisuutta.⁵⁰¹ WHO:n kriteereiden^{502, 503} mukaan lievän korkean verenpaineen (luokka 1) tunnusmerkit ovat

- diastolinen eli alapaine 90 – 99 mmHg ja
- systolinen eli yläpaine 140 – 159 mmHg tai
- henkilöllä on lääkärin määräämä verenpainetaudin lääkitys.

Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Verenpaineyhdistys ry:n käypähoito-suositusten⁵⁰⁴ mukaan kohonneen verenpaineen lääkitystä suositellaan, jos

- jos vastaanotolla mitattu systolinen painetaso on elintapahoidoista huolimatta vähintään 140 mmHg tai diastolinen painetaso vähintään 90 mmHg tai
- verenpaineen pitkäaikaisrekisteröinnissä systolisen paineen päivätaso on vähintään 135 mmHg tai diastolinen päivätaso vähintään 85 mmHg.

Optimaaliseksi katsotaan verenpaine silloin, kun systolinen paine on alle 120 mmHg ja diastolinen alle 80 mmHg. Verenpaineen yleinen hoitotavoite on alle 140/90 mmHg päiväajan paineet vastaanotolla ja 135/85 mmHg kotona mitattaessa. Diabetesta sairastavilla hoitotavoite on kotimittauksissa 135/75 mmHg.

Useimpien sydän- ja verisuonisairauksien, kuten verenpainetaudin, esiintyvyys ja riski sille, että tietty sairaus johtaisi kuolemaan tai sairaalahoitoon vaihtelevat suuresti eri maissa.^{505, 506, 507, 59} Tämä vaihtelu vaikuttaa siihen, miten eri syiden, kuten melun, vaikutus näkyy näiden sairauksien esiintymisessä. Tästä syystä voimakkuudeltaan sama asuinalueen ulkomelu voi näkyä erilaisina sairastavuuden riskeinä eri maissa.

Suomessa arvioitiin terveys 2000-tutkimuksessa aikuisista miehistä noin 49 % ja naisista 36 % olevan kohonnut verenpaine (yli 140/90 mmHg).^{514, 508} Vuoden 2012 Finriskitutkimuksen mukaan vastaavat luvut olivat 41 % ja 22 %.⁵⁰⁹ Ruotsissa vastaavat arviot olivat vuoden 2004 sekä miehillä että naisilla 27 %.^{510, 511} Terveys 2000-tutkimuksessa 28 % miehistä ja 24 % naisista ilmoitti sairastavansa verenpainetauti.⁵¹² Suomessa yhteensä noin 0,5 milj. kansalaista käyttää säännöllisesti verenpainelääkitystä ja noin 0,3 milj. muiden verisuonitautien lääkitystä. Verenpainetaudin lääkekustannukset olivat vuonna 2004 noin 101 milj. euroa, josta potilaille korvattiin 88 milj. euroa.^{513, 514, 515} Vuonna 2015 kroonisen verenpainetaudin lääke-

kustannukset olivat 91 milj. euroa ja korvaukset 61 milj. euroa.⁵¹⁶ Ruotsissa verenpainelääkkeitä myytiin verenpainetaudin hoitoon vuonna 2002 noin 177 milj. eurola.⁵¹⁰

Tiedossa ei ole tutkimuksia, joissa arvioitaisiin, mikä on ympäristöaltistusten osuus verenpaineeseen ja verenpainelääkkeiden käyttöön. Ympäristömelun osuus voisi olla Suomessa enintään 0,1 – 1 %.⁵¹⁷ Tämä arvo on lähinnä ”heitto”, jonka tarkoitus on antaa lukijalle mielikuva suuruusluokasta. Kohonnut verenpaine, hypertensio, on nykykäsitysten mukaan lähes poikkeuksetta essentiaalista, alkuperältään tuntematonta ja luokittelematonta. Verenpainetaudin synnyssä geenien osuuden on arvioitu olevan 30 – 60 %.⁵¹⁸

Jo 1920-luvulla tehdyissä unitutkimuksissa yöaikaisen auton ohiajomelun todettiin nostavan (lyhytaikaisesti) nukkuvan verenpainetta, vaikka melu ei herättänytään nukkuvaa.⁵¹⁹ Toistuvien ohiajomelujen voidaan olettaa aiheuttavan toistuvia verenpaineen nousuja. Verenpaineen vaihtelua ei sinänsä voida pitää ihmiselle vaarallisena, yhtä vähän kuin syketaajuuden vaihtelua.

Suurimmalla osalla ihmisistä verenpaine laskee yöaikana ellei nukkumaympäristössä ole paineeseen vaikuttavia häiritseviä tekijöitä, kuten melua. Henkilöitä, joiden verenpaine laskee päiväarvoon nähden vähintään 10 %, kutsutaan dippaajiksi (engl. dipper) ja henkilöitä, joiden paine laskee tätä vähemmän, ei-dippaajiksi (engl. non-dipper).^{*} Ei-dippaajilla on paljon suurempi verenpainetaudin esiintyvyys kuin dippaajilla.^{520, 521, 522} On oletettu – ja jonkinlaista näyttöäkin on – että yöaikainen melu aiheuttaisi tai lisäisi ei-dippaamista ja tätä kautta verenpainetaudin, sydänverisuonitautien ja muiden melutautien riskin kasvua.

Melun aiheuttama pysyvä (krooninen) verenpaineen nousu selitetään usein kroonisella stressireaktiolla, jonka yhtenä merkinä tutkijat pitävät yöaikaista stressihormonien erityksen kasvua verrattuna vähämeluisissa oloissa asuviin.^{523, 524, 525, 526, 527,}

⁵⁶³ Kuvassa 6 (sivulla 31) on eräs kirjallisuudessa esitetyistä kaaviollisista riippuvuuksista, joilla havainnollistetaan sydän- ja verisuonitautien riippuvuutta stressireaktioista ja stressireaktioiden riippuvuutta melusta.

Melun ja sydän- ja verisuonisairauksien välisten riippuvuuksien tutkimusta vaikeuttaa se, että siellä missä on liikennemelua, etenkin tieliikennemelua, on myös muita altisteta, joiden on epidemiologisissa tutkimuksissa osoitettu nostavan (vähäisessä määrin) asukkaiden verenpainetta sekä lisäävän sydän- ja verisuonisairauksien esiintyvyyttä.^{528, 529, 530, 531, 532, 533} Esimerkiksi Madridissa tehdyssä tutkimuksessa päädyttiin siihen, että 1 dB(A) muutos melutasossa muutti sydänoireisiin liittyviä sairaalan päivystyskäyntejä saman verran kun 25 µg/m³ muutos ilmansaasteiden konsentraatiossa.⁵³⁴ Tätä Madridin tutkimusta on tosin kritisoitu huonosti kontrolloiduksi ja tutkittujen henkilöiden meluallistuksen vaihtelualuetta liian pieneksi. Tukholmassa tehdyssä tutkimuksessa arvioitiin liikenteen ilmansaasteiden aiheuttavan 10 infarkti-kuolemaa 100 000 henkilövuotta kohden. Lentomelun aiheuttamien uusien verenpainetautien ilmaantuvuudeksi arvioitiin vuonna 1997 yksi 100 000 henkilövuotta kohden.⁵³² Rosenlund päätyy väitöskirjatutkimuksessaan siihen, että 30 vuoden ajan kestävä 30 µg/m³ keskimääräinen ero liikenteen NO₂:lle (typpidioksidi) altistumisessa vastaa 1,51-kertaista eroa kuolemaan johtavassa sydäninfarktiriskissä (OR = 1,151, 95 % luotettavuusrajat 0,96 – 2,37).⁵³²

* Nykyisin yöaikaiset verenpaineen dippaus-ominaisuudet jaetaan neljään kategoriaan.

Verenpaineen sekä sydän- ja verisuonisairauksien riippuvuus ympäristömelusta on heikko ja melun osuus vaikeasti eristettävissä luotettavasti. Tästä esimerkkinä on hollantilainen vuonna 2002 julkaistu metatutkimus,⁴²⁵ jossa päädyttiin siihen, että tutkimusmateriaali ($N = 53\,212$) ei riitä tekemään luotettavia johtopäätöksiä asuin-alueiden ulkomelun (päiväajan L_{Aeq} -taso 55 – 80 dB(A), yöajan melun voimakkuutta ei oltu selvitetty) osuudesta sydän- ja verisuonisairauksiin. Tutkijat kuitenkin esittävät muun muassa, että verenpaineen ja lentomelun voimakkuuden välillä on positiivinen yhteys (päiväajan L_{Aeq} -tason ylittäessä 55 dB(A)). Tuoreimmissa tutkimuksissa on päädytty siihen, että ulkomelun pitkäaikaisen $L_{Aeq,07-22h}$ -tason ylittäessä 65 dB(A) melu lisää ainakin verenpainetaudin riskiä.^{535, 537} Vuonna 2016 julkaisussa laajaan terveystilastoon ($N = 0,654$ milj. lentomelun riskianalyyseissä) perustavassa saksalaistutkimuksessa päädyttiin siihen, että sydän- ja verisuonisairauksien riski alkaa lisääntyä jo alueilla, joilla lentomelun ulkomelun L_{Amax} -tasot ylittävät vähintään kuusi kertaa yössä 50 dB.^{579, *} Tutkimuksesta ei käy selville, millainen oli eri alueilla olevien asuinrakennusten tyypillinen ulkokuoren ääneneristävyys.

Monissa epidemiologisissa tutkimuksissa, joista osa sisältyy edellä mainittuun Hollannissa tehtyyn meta-analyyysiin ja osa on sen jälkeen tehtyjä, on päädytty siihen, että jatkuva pitkäaikainen altistuminen voimakkaalle työ- tai asuinympäristön melulle nostaa osalla altistettuja verenpainetta ja lisää verenpainetaudin sekä sydänsairauksien esiintyvyyttä.^{73, 408, 425, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 572, 627, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547}

Verenpainetauti puolestaan on yksi tekijöistä, joka lyhentää odotettavissa olevaa elinaikaa lisäämällä muun muassa infarkteihin kuolleisuutta.^{548, 549, 510, 389}

Laajassa, vuonna 2006 julkaistussa Saksan ympäristöviraston meta-analyyseissä käydään läpi 62 tutkimusta (yhteensä $N \approx 0,3$ milj. altistettua verrokkeineen).^{537, 540, 550}

Yhteenvetona todetaan

- *verenpaine* (yhteensä $N \approx 23\,000$): ei ole riittävää näyttöä siitä, että asuinympäristön (ulko)melu lisäisi tai vähentäisi verenpainetta. Löytyy joitakin tutkimuksia, joiden mukaan melu lisää lievästi systolista, diastolista ja/tai molempaa painetta, mutta suurimmassa osassa tutkimuksia yksikäsitteistä yhteyttä ei ole pystytty osoittamaan. Osassa tutkimuksia suuremman melun asuntoalueen asukkailla on ollut tilastollisesti alhaisempi verenpaine kuin alemman melun asuntoalueella.
- *verenpainetauti* (yhteensä $N \approx 75\,000$): tulokset eivät ole yksikäsitteisiä, erot tutkimusten välillä ovat suuria. Näyttää siltä, että asuinalueilla, joilla pitkän ajan $L_{Aeq,päivä}$ -taso ylittää 60 – 70 dB(A), verenpainetaudin esiintyvyys (riski) on suurempi kuin tätä hiljaisemmilla alueilla. Tietoa ei ole esimerkiksi siitä, miten rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys mahdollisesti vaikuttaa riskiin. Muutamassa mukana olevassa tutkimuksessa on verrattu kadun ja pihan puolen asunnoissa asuvien sairastavuutta tai ikkunoiden aukipitotavan (öisin auki/kiinni) vaikutusta sairastavuuteen (riskiin). Riski on pienempi pihan puolella asuvilla ja pienempi niillä, jotka nukkuvat ikkuna(t) kiinni. Nämä erot viittaavat siihen, että riski riippuisi ääneneristävyydestä (ja ikkunoiden kiinnipitotavasta).
- *iskeeminen sydänsairaus* eli sepelvaltimotaudin tai muun syyn aiheuttama sydänkudoksen krooninen hapen puute (yhteensä $N \approx 56\,000$): Suurimassa osassa tutkimuksia todettiin yli 1 oleva riski (OR tai RR, 1,1 – 1,5)[†] pitkän ajan $L_{Aeq,päivä}$ -tason ollessa vähintään 65 – 70 dB(A), mutta vain harvoissa

* Kohorttina oli tautien esiintyvyys melualueilla, joilla $L_{Aeq,24h} < 40$ dB ja $L_{Amax} < 50$ dB. Kun kriteerinä on $L_{Amax} > 50$ dB, mukana on varmasti suuriakin ylityksiä.

† kun RR (suhteellinen riski) tai OR (vedonlyöntisuhde) ovat pieniä, alle 10%, niiden välillä ei ole merkittävää eroa.

tutkimuksissa riski on tilastollisesti merkittävä. Riski on suurempi melusta suuresti kiusaantuneilla (HA) kuin tätä vähemmän kiusaantuneilla.

Tutkimuksen tekijä, Wolfgang Babisch, itse esittää lopputulokset lyhyesti: 1) näyttö asuinalueen voimakkaan pitkäaikaisen melun ja iskeemisen sydänsairauden kasvaneen riskin välillä on riittävä, 2) näyttö asuinalueen voimakkaan pitkäaikaisen melun ja kasvaneen verenpainetaudin riskin välillä puutteellisen ja riittävän rajamailla ja 3) näyttö asuinalueen melun vaikutuksesta verenpaineeseen ja muihin biologisiin vasteisiin on riittämätön.

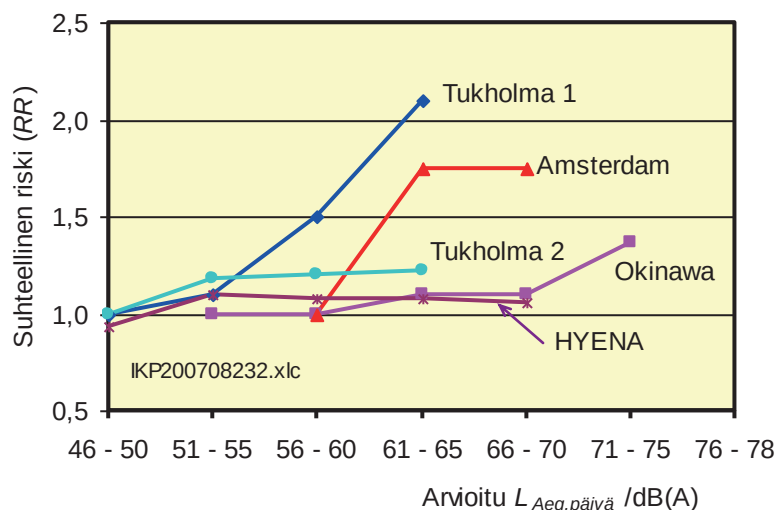
Edellä mainitussa saksalaisessa meta-analyysissä⁵³⁷ on esitetty (vain) kolmen tutkimuksen yhteenveto lentomelun aiheuttamasta verenpainetaudin suhteellisesta riskistä (kuva 29). Näiden kolmen tutkimuksen tulokset poikkeavat toisistaan paljon. Ruotsissa Arlandan kentän ympäristössä tehdyssä tutkimuksessa⁵⁵² (kuvassa Tukholma 1, $N = 2\,959$, joista 266 Arlandan melualueilla) kahdella suurimman melun alueella ($L_{DEN} > 55$ dB(A)) sekä altistettujen ($N = 138$) että esiintyneiden verenpainetautien ($n = 27$) yhteismäärä oli pieni. Seitsemän tautitapausta vähemmän olisi pudottanut melun aiheuttamaksi katsotun verenpainetaudin esiintyvyyden ($n. 20\%$) samaan kuin verenpainetaudin kannalta meluttomaksi katsottujen alueiden, $L_{DEN} < 50$ dB(A), asukkailla ($n. 14\%$). Verenpainetaudin esiintyvyys perustui kyselytutkimukseen osallistuneiden henkilöiden omaan ilmoitukseen. Kummastuttaa, että tämän Arlandan kentän ympäristön (vertailualueina muita Tukholman alueita) verenpainetutkimuksen tutkimusjulkaisuissa^{532, 552} ei mainita paljonko asukkaita ja tautitapauksia oli melualueilla 55 – 60, 60 – 65 ja yli 65 dB(A). Ilmoitetaan vain edellä mainitut kaksi kokonaislukua (138, 27), vaikka suhteellinen riski on esitetty erikseen melualueille 5 dB(A) portain. Väitöskirjassaan⁵³² Rosenlund antaa ymmärtää (s. 34), että $L_{DEN} > 60$ dB(A) melualueella olisi ollut vain 7 verenpainetapausta, ja alueella 55 – 60 dB(A) 20. Molemmat ovat kovin pieniä. On syytä kysyä, kuinka edustava otos on koko Ruotsin väestön sairastavuuteen nähden? Missä määrin muut tekijät kuin meluttomuus ja melu ovat aiheuttaneet verenpainetautia?

Kuvassa 29 mainittua japanilaista Okinawan lentokenttien melututkimuksen ($N = 28\,781$) ympäristön asukkaiden meluallistusta kuvaavat tiedot saattavat osin olla epäluotettavia. Hetkellinen melutaso ylittää ajoittain asutuksessa 110 dB(A). Mukana oli vain 40 vuotta ja sitä vanhempia henkilöitä.^{551, 554, 555}

Vuonna 2005 julkaistussa väitöskirjassaan⁵³² Rosenlund, yksi edellisen kuvan Tukholma-vasteen julkaisun⁵⁵² tutkijoista, toteaa (tähän samaan tutkimusmateriaaliin perustuen) $L_{DEN} 55$ dB(A) ylittävillä lentomelualueilla asuvilla olevan 1,59-kertainen verenpainetaudin riski (OR) verrattuna 46 – 50 dB(A) alueilla asuviin. Riski on tutkijan mukaan sama kuin yli 20 savuketta päivittäin polttavilla verrattuna tupakointimattomiin.⁵³²

Tukholman Arlandan kentän ympäristön asukkaiden verenpainetaudin riskiä tutkitiin edellisen tutkimuksen (kuvassa 29 Tukholma 1) jälkeen toisessa tutkimuksessa.⁵⁵⁶ Tässä tutkimuksessa oli mukana 411 Arlandan melualueilla ($L_{DEN} \geq 50$ dB(A)) vähintään 10 vuotta asunutta miestä, joilla ei oltu todettu 10 vuotta aikaisemmin tehdyssä tutkimuksessa verenpainetautia. Verrokkina oli 1616 miestä, jotka asuivat alueilla, joilla lentomelun L_{DEN} oli alle 50 dB(A). Näillä 411 Arlandan melulle altistetusta 90 oli todettu verenpainetauti viimeisen 10 vuoden sisällä ja lisäksi 59 miehellä todettiin tutkimuksen yhteydessä järjestetyssä mittauksessa vähintään 140/90 mmHg verenpaine. Molemmat ryhmät laskettiin altistetuiksi, joilla on verenpainetauti. Tämän tutkimuksen riskikäyrä on lisätty kuvaan 29 tunnisteella Tukholma 2

(on arvioitu, että $L_{Aeq,päivä} = L_{DEN} - 2$ dB). Verenpainetaudin riski on kahdessa ylemmässä altistusluokassa huomattavasti alhaisempi kuin aikaisemmassa tutkimuksessa eikä ole tilastollisesti merkittävä. Verenpainetaudin esiintyvyys näiden 411 altistettujen joukossa oli 36 %, mikä on suurempi kuin verenpainetaudin esiintyvyys (27 %) koko Ruotsissa. Verrokkiryhmässä verenpainetaudin esiintyvyys oli 29 %. Jos otetaan huomioon vain diagnosoidut verenpainetaudit, niin taudin esiintyvyys oli altistetuilla 22 % ja verrokeilla 16 %.



Kuva 29: Itse raportoidun verenpainetaudin suhteellisen riski (RR) eri lentomelualueilla. Ulkomelun $L_{Aeq,päivä}$ -taso arvioitu esim. melualuekartan perusteella (Tukholma 1, Amsterdam, Okinawa).^{537, 552, 532, 553, 554, 555} Kuvaan on lisätty marraskuussa 2007 julkaistun uuden Arlandan kentän ympäristön verenpainetaudin riskitutkimuksen riskikäyrä, Tukholma 2, ja HYENA-tutkimuksen helmikuussa 2008 julkaistut tulokset.⁵⁵⁶ Viimeksi mainittu on kuuden EU-maan pääkentän ympäristön asukkaille tehty tutkimus. Sen tulokset ilmoitettiin vedonlyöntisuhteiden suhteena eli OR-lukuina. Ero RR-lukuun eli suhteelliseen riskiin on pieni.

Arlandan kentän ympäristön asukkaiden verenpainetaudin riskiä on analysoitu kolmannessakin tutkimuksessa. Tämä tutkimus tehtiin saman diabetestutkimuksen lisätutkimuksena, joka referoidaan edellä Tukholma 2 tutkimuksessa. Tutkimukseen osallistujat ($N = 4\,851$) jaettiin ryhmiin A) ne, joiden asuinalueen lentomelu $L_{DEN} < 50$ dB(A) [1695 miestä, 2 551 naista] ja B) ne, joiden asuinalueen $L_{DEN} \geq 50$ dB(A) [294 miestä, 311 naista]. Viimeksi mainittu ryhmä jakaantui eri melualueille seuraavasti B1: 50 – 54 dB(A) $N = 384$ [175 miestä, 209 naista], B2: 55 – 59 dB(A) $N = 384$ [67 miestä, 37 naista] ja B3: $L_{DEN} \geq 60$ dB(A) $N = 12$ [5 miestä, 7 naista]. Kun tarkasteltiin vain alueiden B ja A ($RR_A = 1,0$) riskieroa, verenpainetaudin suhteellinen riski $RR = 1,02$, mutta riski jakaantui siten, että miesten riski oli 1,09 ja naisten 0,92. Kun aineistosta poistettiin tupakoivat ja nuuskaa käyttävät henkilöt, vastaava miesten riski oli 1,25 ja naisten 0,98. Kun analyysiin otettiin mukaan asuminen eri melualueilla, verenpainetaudin riskin kasvu oli miehillä 1,08 per 5 dB(A) ulkomelun kasvu L_{DEN} -tason ylittäessä 50 dB. Naisilla ei todettu vastaavaa riskiriippuvuutta melutason kasvaessa, $RR = 0,98$ per 5 dB(A) kasvu.⁵⁵⁷

Schipholin lentokentän ympäristössä on tehty kyselytutkimus lentomelun vaikutuksista vuosina 2002 ja 2005. Vuoden 2002 tutkimus tehtiin ennen uuden kiitotien avaamista (v. 2003) ja vuoden 2005 tutkimus avaamisen jälkeen. Molemmissa tutkimuksissa kysyttiin tietoja henkilöiden verenpaineesta ja verenpainelääkityksestä.

Lisäksi tutkittiin kansallisista tietokannoista verenpainelääkityksen käyttöä eri melualueilla ja väestön sairastavuutta sairaaloiden sairaustietojen perusteella. Uuden kiitotien ei todettu vaikuttaneen sydän- ja verisuonitautien esiintyvyyteen. Itseraportoidun verenpainetaudin esiintyvyys oli kasvanut samassa suhteessa kuin vuosien 2001 ja 2004 välillä koko Hollannin väestössä (8,6 %:sta 9,9 %:iin). Vuoden 2002 tutkimuksessa ei todettu tilastollista riippuvuutta itseraportoidun verenpainetaudin ja lentomelun välillä. Vuoden 2005 tutkimuksessa todettiin heikko assosiaatio: 3 dB(A) ero asuinalueen L_{DEN} -tasossa vastasi vedonlyöntisuhdetta $OR = 1,2$. Vuoden 2005 tutkimuksessa verenpainelääkkeiden käytön todettiin lisääntyvän 3 – 6 % L_{DEN} -tason 3 dB(A) kasvua kohden. Vuoden 2005 tutkimus päättyi myös siihen, että melun kiusallisuuskokemuksen voimakkuuden ja itseraportoidun verenpaineen välillä oli positiivinen assosiaatio (riippuvuus). Tutkijat eivät kuitenkaan pystyneet tutkimusmateriaalin perusteella toteamaan, aiheuttaako melu verenpaineen nousun suoraan (so. stressireaktion välityksellä) vai toimiiko kiusallisuus mediaattorina (välitystiellä olevana henkilökohtaisena suodattimena).⁵⁵⁸

WHO-rahoitteisessa LARES-tutkimuksen lentomelua koskevien tulosten analysoinnissa päädyttiin siihen, että verenpainetaudin riski oli suurempi niillä, jotka kokivat lentomelun suuresti kiusalliseksi ($N = 3\,511$, $OR = 3,0$, verenpainetautiä sairastavia 32), kuin niillä, jotka kokivat melun kohtuullisen kiusalliseksi ($N = 4\,058$, $OR = 1,1$, verenpainetautiä sairastavia 171). Tässä tutkimuksessa ei selvitetty (ei ainakaan ole esitetty tuloksissa), kuinka voimakasta tutkimukseen osallistuneiden objektiivinen meluallistus oli.^{559, 560, 212} Verenpainetaudin esiintyvyys koko havaintomateriaalissa oli 12,1 %. Edellä mainittujen altistettujen ja tautitapausten lukujen ja vedonlyöntisuhteiden välillä on ristiriita, jonka syytä ei pystytty selittämään julkaisujen perusteella.

Kölnin-Bonnin lentokentän meluvaikutuksia tutkittiin analysoimalla eri tauteihin määrättyjen lääkkeiden käyttöä melualueilla verrattuna alueeseen, jolla lentomelu oli hiljaista. Esimerkiksi verenpainelääkkeiden käyttö oli yleisempää voimakkaan melun alueilla kuin hiljaisella alueilla. Parhaiten tutkittujen lääkkeiden käyttöä selitti aamuyön tuntien (klo 03 – 05) melun voimakkuus.^{561, 562}

Australiassa Sydneyn lentokentän ympäristössä vuonna 2003 tehdyssä väitöskirjatutkimuksessa ($N = 704$) päädyttiin siihen, että lentomelu ei lisännyt suoraan altistettujen verenpainetaudin riskiä, mutta ”riittävän voimakas lentomelu” aiheutti kroonisen stressireaktion riskin ($OR = 2,61$). Niillä, joilla oli todettu krooninen stressireaktio, oli riski ($OR = 2,74$) sairastua verenpainetautiin. Lentomelun todettiin lisäksi vaikuttavan jossain määrin altistettujen itse arvioimaan elämän laatuun, jota mitattiin SF-36-kyselysarjalla.³⁹⁶ Tutkimuksessa lentomeluna otettiin huomioon vain ne lennot, joiden enimmäistaso ylitti 70 dB(A). Varsinaisena melun voimakkuutta kuvaavana muuttujana oli näiden lentojen $L_{Aeq,päivä}$ -tyyppisen tason ja vallitsevan taustamelun $L_{Aeq,päivä}$ -tyyppisen tason erotus eli se, kuinka paljon voimakkaan lentomelun päiväajan L_{Aeq} -taso ylitti taustamelun vastaavan tason. Tavanomaisesta poikkeavan meluindikaattorin vuoksi tuloksia on vaikea verrata muihin tutkimuksiin.^{563, 564}

Ranskalaisessa, vuosien 2007 – 2010 kuolleisuustilastot koskevassa tutkimuksessa selvitettiin sydänverisuonitauteihin kuolleisuutta kolmen lentokentän, 1) Pariisin Charles de Gaullen, 2) Lyonin Saint-Exupéryn ja 3) Toulousen Blagnacin, melualueilla ja ympäristössä. Meluallistuksen voimakkuuden mittana käytettiin L_{DENAEI} -tasoa:

$$L_{DENAEI} = 10 \lg \left(\frac{1}{\sum_k P_k} \sum_{j \geq 1} \left(P_j 10^{\frac{L_{DEN,j}}{10}} \right) \right) \text{ dB}, \quad (13)$$

jossa i on lentokentän ympäristön kuntaa (paikallinen hallintoyksikkö, joita oli mukana 161) koskeva indeksi, P_j melutasolle $L_{DEN,j}$ altistuneiden asukkaiden määrä ja $\sum_k P_k$ asukkaiden kokonaismäärä (melualueet ja ei-melualueet), joka oli yhteensä 1,9 miljoonaa. De Gaullen kentän ympäristössä melualueiksi katsottiin alueet, joilla $L_{DEN}AEI_i$ -taso oli 50 dB tai suurempi. Muilla kahdella kentällä rajana oli 45 dB. Altistukset laskettiin 1 dB resoluutiolla. $L_{DEN}AEI_i$ -tason vaihtelualue oli 42,0 – 64,1 dB, keskiarvon ollessa 49,6 dB. Suhteellinen riski (RR) kuolla sydänverisuonitautiin oli 1,18, riski kuolla sepelvaltimotautiin oli 1,24 ja riski kuolla sydäninfarktiin 1,28 per 10 dB kasvu $L_{DEN}AEI_i$ -tasossa. Meluallistuksen yhteys riskiin kuolla aivohalvaukseen oli heikko, 1,08 per 10 dB kasvu $L_{DEN}AEI_i$ -tasossa.⁵⁶⁵

Edellä referoidussa ranskalaistutkimuksessa käytetty meluallistuksen epätavallinen mitta vaikeuttaa tulosten vertailtavuutta muihin vastaaviin tutkimuksiin. Esimerkiksi saksalaisessa Norah-tutkimuksessa ($N = 851\ 366$, joista infarktitaapauksia eri melualueilla yhteensä 19 632) päädyttiin siihen, että akuutin sydäninfarktiin (I21) riski (OR) aleni lineaarisen trendikäyrän mukaan 0,7 % 10 dB kasvua kohden, ulkomelun $L_{Aeq,24h}$ -tason kasvaessa 40 dB:sta 65 dB:iin. Riski oli kuitenkin suuri, 1,42 (95 % luotettavuusalue 0,62 – 3,25)*, tutkimuksessa mukana olleella suurimman melun, $L_{Aeq,24h} = 60 - 65$ dB, alueella.^{580, 566, 565}

Edellä mainitun kolmen ranskalaiskentän lentomelun vaikutustutkimuksen yhteydessä tutkittiin myös verenpainetaudin esiintyvyyttä eri lentomelualueilla ($N = 1244$ yli 18 vuotiasta). Verenpainetaudin riski (OR) kasvoi 1,34-kertaiseksi (95 % CI 1,00 – 1,97) L_{Night} -tason kasvaessa 10 dB, mutta vain miehillä.⁵⁶⁷

Itävaltalaistutkimuksessa on päädytty siihen, että moottoriteiden melu aiheuttaa lisääntyneen verenpainetaudin riskin vain niille, joilla on suvussa verenpainetautia, mutta ei niille, joilla geneettistä taipumusta ei ole. Valtateiden ja raideliikenteen vastaavan suuruinen melu ei lisännyt riskiä tilastollisesti merkittävästi kummassakaan ryhmässä. Tuoreessa suomalaisessa väitöskirjassa on tarkasteltu sydän- ja verisuonitautien geneettisiä riskitekijöitä Suomen ja muiden Pohjoismaiden väestöotoksien perusteella.⁵⁶⁸

Suur-Pariisin alueella käynnistyi vuonna 2005 laaja ($N \approx 4500$) potilaiden ja heitä hoitavien lääkäreiden tekemiin arvioihin perustuva tutkimus, jossa selvitetään mm. melun osuutta verenpainetauteihin sairastavuuteen.^{569, 570} Osa tuloksista on jo julkaistu ranskan kielellä.

Hyena-tutkimuksessa^{571, 539, †} oli mukana kuusi EU-maiden pääkenttää: Heathrow (Lontoo, UK), Tegel (Berliini, D), Schiphol (Amsterdam, NL), Arlanda (Tukholma, S), Malpensa (Milano, I) ja Eleftherios (Ateena, Gr). Koehenkilöitä altistava ulkomelutaso perustui laskettuun melualuekartoilta luettuun melutasoon. Verenpainetaudin riski vaihteli eri maissa. Kaikkien maiden yhteistuloksena määritelty päiväaikaisen lentomelun ($L_{Aeq,16h}$) aiheuttama taudin riski (OR) aleni lievästi – tai oli melusta riippumaton – melutason kasvaessa 50 – 54 dB(A) alueelta 5 dB portain alueelle ”melutaso yli 65 dB(A)”.⁵⁷² Tämä riskikäyrä on esitetty kuvassa 29.

* Pienen tapausmäärän (6 infarktia, 196 kohorttihenkilöä) vuoksi riskiarvo $OR = 1,42$ (95% CI 0,62 – 3,25) ei ole tilastollisesti merkittävä.

† Hypertension and Exposure to Noise near Airports. Tutkimusrahoitus 2,3 milj. €. $N = 4861$ haastateltua.

Hyena-tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että kiusallisuus toimii ainakin heikkona moderaattorina, joka vaikuttaa eri melualueilla asuvilla todettuun verenpaineeseen. Herkkä tai voimakas melusta riippuva kiusallisuusvaste herkistää verenpainevastetta lentoliikenteen melualueilla asuvilla. Tutkimuksessa ei pystytty osoittamaan, kumpi – melutaso vai kiusallisuuden voimakkuus – on parempi verenpaine-taudin riskin estimaattori.⁵⁷³

Hyena-tutkimuksessa selvitettiin myös, miten lentomelun aiheuttama verenpaine-taudin riski (*OR*) riippui yöajan melutasosta, $L_{Aeq,yö}$, niillä kentillä, joilla oli yöajan liikennettä. Tässäkin tapauksessa havaintomateriaaliin perustuva riski aleni ulkomelutason kasvaessa 5 dB(A) portain alueelta ” $L_{Aeq,yö} = 40 - 44$ dB(A)” alueelle ” $L_{Aeq,yö} = 50 - 54$ dB(A)”. Suurin riski ($OR \approx 1,3$) oli melualueella $L_{Aeq,yö} = 40 - 44$ dB(A). Havaintomateriaalin trendikäyrä osoittaa kuitenkin riskin kasvavan melutason kasvun funktiona.

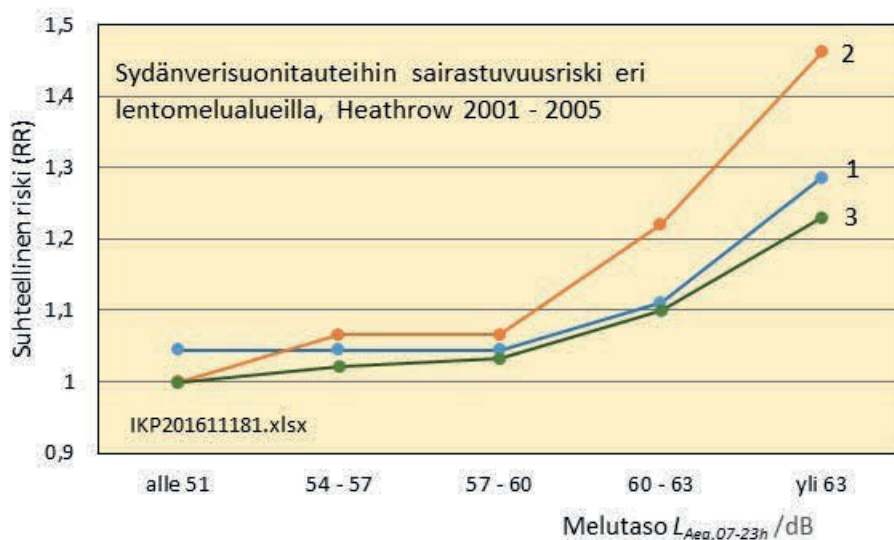
Hyena-tutkimuksessa myös seurattiin 140 lentomelualueilla asuvan yöaikaista verenpainetta 15 minuutin välein tehdyin mittauksin yhden yön ajan. Samalla mitattiin (ja nauhoitettiin) nukkuvaa altistavaa melua. L_{AFmax} 35 dB(A) ylittävien melutapahtumien (ulkoa sisään kuuluva lentomelu ja tieliikennemelu sekä erilaiset sisämelutapahtumat) todettiin lisäävän joksikin aikaa systolista ja diastolista verenpainetta. Systolisen paineen kasvu oli noin 0,6... 0,7 mmHg per 5 dB(A) nousu L_{AFmax} -tasossa. Keskimäärin unenaikainen systolinen verenpaine kasvoi 6,2 mmHg ja diastolinen 7,4 mmHg sinä 15 min aikana, jona lentomelun L_{AFmax} ylitti sisällä 35 dB. Muukin sisään kuluva liikennemelu ja sisämelutapahtumat aiheuttivat samaa suuruusluokkaa olevan verenpaineen nousun. Lento- ja liikennemelun aiheuttama sydämen sykkeen vaihtelu ei ollut tilastollisesti merkittävää, mutta sisämelujen aiheuttama oli.^{574, 575} Melutapahtumien aikaista verenpaineen nousua pidetään merkkinä siitä, että henkilön kuuloaisti ja hermosto reagoivat meluun, vaikka hän ei heräisikään.

Saksassa, Berliinissä, vuosina 2010 – 2011 tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin kohonneen verenpaineen (mitattu $\geq 140/90$ mmHg) esiintyvyyden riippuvuutta vilkasliikenteisten teiden varrella asuvilla ($N = 753$, kohorttina vilkasliikenteisen tien lähellä olevan hiljaisen tien varrella asuvat, $N = 1017$). Tutkimuksessa päädyttiin kadunpuolen L_{DEN} -tason ylittäessä 50 dB riskiin $OR = 1,15$ (CI 95% 1,05 – 1,26) ulkomelutason 10 dB kasvua kohden.* Tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että verenpaine riippui tilastollisesti merkittävästi vain niillä, joiden asunnon olohuone oli kadun puolella. Niillä, joiden asunnon kaikki huoneet olivat talon hiljaisella puolella, ei todettu verenpaineen yhteyttä ulkomelutasoon. Riskin tilastollista riippuvuutta ei todettu myöskään verenpaineen ja laskennallisen yöaikaisen makuuhuoneen melun voimakkuuden (onko kadun vai pihan puolella) välillä.⁵⁷⁶

Kuten jo aikaisemmin on mainittu, verenpainetaudin vakavin seuraus on kuolemaan tai sairaalahoitoon johtava sydänverisuonisairaus. Riski saada kuolemaan tai sairaalahoitoon johtava sydäninfarkti tai aivohalvaus seuraavan 10 vuoden aikana riippuu Suomessa kansanterveyslaitoksen Finriski-tutkimuksen^{501, 577} mukaan iän lisäksi eniten tupakoinnista, seerumin kokonais- ja HDL-kolesterolipitoisuudesta, systolisesta verenpaineesta ja sukutausta, jonka mittana on sydäninfarktin esiintymisen jommallakummalla vanhemmista. Jos muita edellä mainittuja riskitekijöitä ei ole kuin kohonnut systolinen verenpaine, niin suomalaisella 30-vuotiaalla miehellä 5 mmHg paineen nousu lisää riskiä 0,02 – 0,05 prosenttiyksikköä ja 50-vuotiaalla

* Tutkimusjulkaisuissa esitetään useita erilaisiin rajauksiin perustuvia vedonlyöntisuhteita (*OR*).

0,1 – 0,4 prosenttiyksikköä riippuen siitä, mikä on se lähtöpaine, johon mainitun nousun vaikutusta verrataan.



Kuva 30: Sairaalakäyntien perusteella laskettu suhteellinen sairastumisriski Heathrown kentän eri lentomelualueilla. Käyrä 1: aivohalvaukseen sairastumisen riski, käyrä 2: iskeemiseen sydänsairauteen sairastumisen riski ja käyrä 3: kaikkien sydänverisuonisairauksien riski. Kuvassa on esitetty viitejulkaisussa esitetyn kahden eri mallin vasteiden keskiarvovaste. Mallien erona on tilastoanalyysissä huomioon otetut sekoittavat tekijät. Suurin mallin välinen riskiero oli iskeemisissä sydänsairauksissa melualueella $L_{Aeq,07-23h}$ yli 63 dB (malli 1: noin 1,7, malli 2: noin 1,2).

Englannissa selvitettiin lentomelun aiheuttamaa sydänverisuonitauteihin sairastumisen esiintymistä ja riskiä vertailemalla Lontoon Heathrown kentän eri lentomelualueilla vuosina 2001 – 2005 tilastoituja sairaalakäyntejä. Alueilla asuu yhteensä 3,6 miljoonaa asukasta. Tutkimuksessa selvitettiin sairaalakäynteihin johtaneet aivoinfarktien*, iskeemisten sydäntautien† ja kaikkien sydänverisuonitautien‡ tapaukset sekä myös näihin sairauksiin kuolleisuus. Sairaalakäynteihin johtaneiden tapausten suhteellinen riski (RR) eri melualueilla on esitetty kuvassa 30. Käyrä 1: aivohalvaukseen sairastumisriski, käyrä 2: iskeemiseen sydänsairauteen sairastumisen riski, käyrä 3: kaikkien sydänverisuonitautien riski. Viitejulkaisussa on esitetty kahdella eri mallilla lasketut riskikäyrät. Kuvassa 30 esitetyt ovat näiden keskiarvovasteita.⁵⁷⁸

Heathrow'n tutkimuksessa päädyttiin siihen, että kuolemaan johtava aivohalvauksen, iskeemisen sydänsairauden ja kaikkien sydänverisuonitautien suhteellinen riski (RR) ylitti selvästi vertailualueen ($L_{Aeq,06-23h} = 51 - 53$ dB) riskin 1,0 alueilla, joilla $L_{Aeq,06-23h}$ -taso oli suurempi kuin 60 dB. Näillä alueilla mainittuihin tauteihin kuolleisuusriski vaihteli 1,15 – 1,29.

Laajassa, vuonna 2013 julkaistussa amerikkalaisessa tutkimuksessa ($N = 6$ milj.)[§] tutkittiin, missä määrin 89 lentokentän eri melualueilla asuvien 65 vuotiaiden tai

* ICD-10 tautiluokat I60, I63, I64, yhteensä eri melualueilla 16 983 tapausta.

† ICD-10 tautiluokat I20 – I25, yhteensä eri melualueilla 64 448 tapausta.

‡ ICD-10 tautiluokat I00 – I99, yhteensä eri melualueilla 189 226 tapausta.

§ 6 milj. Medicaren terveystakuutuksen piirissä olevaa henkilöä, jotka asuivat $L_{DN} \geq 45$ dB melualueen sisällä. 47 % asui $L_{DN} 45 - 50$ dB melualueella, 30 % $50 - 55$ dB ja 23 % yli

sitä vanhempien ihmisten sydäninfarkteihin* sairastuneiden sairaalakäyntien riski (esiintyvyys) riippui ulkomelusta. Tutkimuksessa päädyttiin siihen, että sairaalakäyntiin johtaneiden infarktien riski kasvoi 3,5 % (95% CI 0,2 – 7 %) per 10 dB ulkomelun L_{DN} -tason kasvu. Riskiä selvitettiin kolmella eri mallilla, joissa otettiin mukaan eri määrä sekoittavia tekijöitä. 3,5 % riski saatiin mallilla 3. Mallin 1 mukainen riski oli 2,9 % (95% CI 0,8 – 5,0%) ja mallin 2 1,6 % (95% CI –0,2 – 3,5 %) per 10 dB melutason kasvu. On syytä huomata, että ”per 10 dB melutason kasvu” toteutuu tässä tutkimuksessa $L_{DN} > 55$ dB melualueilla.⁵⁴²

Saksassa julkaistiin Norah-tutkimukseen liittyen vuosina 2015 - 2016 tulokset erittäin suuren henkilömäärän ($N = 1\,026\,670$) terveystietoihin perustuva sydän- ja verisuonitautien[†] riskitutkimus. Lähtötietoina olivat kolmen suuren lakisääteisen terveysvakuutusrahaston vähintään 40 vuotiaille asiakkailleen korvaamat sydän- ja verisuonisairauksien hoidot vuosina 2005 – 2010. Riskin määrittämiseen hyväksytyjä tautitapauksia oli yhteensä 104 145 ja kohorteiksi hyväksyttiin 654 172 henkilöä. Henkilöitä altistavan ulkomelun (tie- raide- ja lentomelu) voimakkuus määritettiin melualuekartoista ($L_{Aeq,24h}$, L_{Amax}) osoitetietojen perusteella. Lentomelulle altistuvat henkilöt asuivat Frankfurtin kentän ympäristössä. Eri melualueilla asuvien riskiä (OR) verrattiin tautien esiintyvyyteen alueilla, joilla $L_{Aeq,24h} < 40$ dB ja samanaikaisesti $L_{Amax} < 50$ dB. Riskin riippuvuus asuinalueen melusta oli kaikilla liikennemuodoilla melko pieni, 1,6 – 3,1 % kasvu per 10 dB melutason kasvu. Tie- ja raideliikenteen melun riski oli hieman lentoliikenteen melun riskiä suurempia. Poikkeuksena oli verenpainetaudin aiheuttama sydänsairauksien (I11) riski lento- ja tiemelualueilla. Vakioituista sekoittavista tekijöistä riippuen OR oli lentomelualueilla 12,6 – 13,5 % ja tieliikenteen melualueilla 5,1 – 5,2 % per 10 dB melutason ($L_{Aeq,24h}$) kasvu.^{579, 580}

Lentomelualueilla sydän- ja verisuonitautien riski kasvoi 1,6 % ($OR = 1,016$) per 10 dB melutason kasvu melun ylittäessä edellä mainitut rajat $L_{Aeq,24h} < 40$ dB ja samalla $L_{Amax} < 50$ dB. Sydämen vajaatoimintataudin (I50, $N = 70\,012$) riskille ei löytynyt tilastollisesti merkittävää riippuvuutta lentomelun tason kasvusta. Verenpainetaudin aiheuttaman sydänsairauden (I11.-) riskin todettiin riippuvan lentomelun voimakkuudesta: $OR = 1,126$ per 10 dB kasvu asuinalueen melutason $L_{Aeq,24h}$ ylitettyä 40 dB tai L_{Amax} ylitettyä 50 dB.⁵⁷⁹

Sveitsiläisessä vuonna 2010 julkaistussa tutkimuksessa⁵⁸¹ tutkittiin lentomelun ja tieliikenteen ilmansaasteiden (PM_{10}) yhteyttä sydäninfarkteihin[‡] kuolleisuuteen. Tutkimus kattoi vuosien 2000 – 2005 väestö- ja sairaustilastot. Mukana oli 65 lentokentän ympäristön asukkaat. Henkilöiden määrä oli 4,6 milj. Näistä melututkimuksen kohortin osuus, ympäristömelultaan $L_{DN} < 45$ dB melualueilla asuvien, oli 91,4 %. Infarktkuolleisuuden riippuvuutta asuinalueen melun voimakkuudesta tutkittiin kolmea eri mallia käyttäen. HR (Hazard Ratio) ylitti 1,0 eri malleissa seuraavasti:

55 dB alueella. Tutkimuksessa verrattiin eri alueilla asuneiden henkilöiden sairaalakäyntejä vuonna 2009.

* ICD-9 koodin sairaudet 428, 426-427, 430 – 438, 410 – 414, 429, 440 – 448 yhteensä.

† Mukaan otettiin ICD-10 luokituksen taudit I50 ($N = 70\,012$), I11.0 ($N = 8945$), I11.-, ($N = 50\,681$), joka sisälsi $N = 37\,893$ henkilöä, joilla I11.9 (verenpainetaudin aiheuttama sydänsairaus ilman sydämen vajaatoimintaa). Luokituskoodeilla I13.0 tai I13.2 oli yhteensä 1 054 hoidettua.

‡ ICD-10 tautiluokat I21 ja I22, yhteensä 15 532 kuolemaa. Tutkimuksessa tutkittiin myös muidenkin ICD-10 tautiluokituksen tautien riippuvuutta: I00 – I99 yhteensä 177 836 kuolemaa, C33 ja C34 yhteensä 14 095 kuolemaa ja I60 – I64 (poisluettuna I63,6) yhteensä 25 231 kuolemaa. Lukumäärät koskevat yli 15 vuotta samassa osoitteessa asuneita.

- malli 1, $HR = 1,27$ (95 % CI 0,94 – 1,71), kun $L_{DN} \geq 60$ dB,
- malli 2, $HR = 1,01$ (95 % CI 0,91 – 1,11), kun $L_{DN} = 50 - 54$ dB,
- malli 2, $HR = 1,04$ (95 % CI 0,91 – 1,18), kun $L_{DN} = 55 - 60$ dB,
- malli 2, $HR = 1,28$ (95 % CI 0,95 – 1,73), kun $L_{DN} \geq 60$ dB,
- malli 3, $HR = 1,02$ (95 % CI 0,93 – 1,12), kun $L_{DN} = 45 - 49$ dB,
- malli 3, $HR = 1,02$ (95 % CI 0,92 – 1,13), kun $L_{DN} = 50 - 54$ dB,
- malli 3, $HR = 1,05$ (95 % CI 0,92 – 1,19), kun $L_{DN} = 55 - 60$ dB,
- malli 3, $HR = 1,30$ (95 % CI 0,96 – 1,76), kun $L_{DN} \geq 60$ dB,

Lisäksi mallissa 3 otettiin lisävaihtoehtona mukaan vain ne, jotka olivat asuneet vähintään 15 vuotta samassa osoitteessa. Tälle populaatiolle sydäninfarktien HR oli jonkin verran suurempi kaikissa L_{DN} 45 dB ylittävissä luokissa. Esimerkiksi suurimman melun luokassa:

- malli 3 sub, $HR = 1,48$ (95 % CI 1,01 – 2,18), kun $L_{DN} \geq 60$ dB.

Muiden tutkittujen tautien (kaikki verenkiertotaudit yhteensä, aivoinfarktit ja syöpätaudit) ja melun välille ei löydetty tilastollista riskiriippuvuutta.⁵⁸¹

Sveitsiläisessä vuonna 2015 julkaistussa tutkimuksessa arvioitiin tie- raide- ja lentoliikenteen melun ja ilmansaasteiden terveysvaikutuksia koko maassa. Terveysvaikutuksina olivat sydänverisuonitautien vuoksi menetettyjen elinvuosien määrä (YLL) ja kuolleisuuteen päätyneiden ”melu- ja ilmansaastetautien” sairaalapäivien määrä vuonna 2010. Lentomelualueilla arvioitiin asuvan 0,58 milj. asukasta. Suurin osa heistä asui alueilla, joilla L_{DEN} ei ylittänyt kovin merkittävästi kynnysarvona ollutta 48 dB tasoa.* Lentomelun vuoksi sydänverisuonitauteihin menetettyjen elinvuosien määrän arvioitiin olevan noin 200 (95% CI 70,370). Lentomelun aiheuttamien kuolemaan johtaneen iskeemisen sydänsairauden hoidon arvioitiin vieneen vuonna 2010 470 (95% CI 150,790) sairaalapäivää, aivoinfarktien hoidon 150 (95% CI 0,700) ja verenpainetaudin hoidon 140 (95% CI 60,220) sairaalapäivää. Liikennemelun ja ilmansaasteiden aiheuttamien sairauksien ulkoisten kustannusten arvioitiin olevan 1,7 – 1,8 miljardia CHF per vuosi. Lentoliikenteen osuutta ei tässä julkaisussa esitetä erikseen.⁵⁸²

4.11 YMPÄRISTÖMELUN YHTEYS DIABETEKSEN ESIINTYVYYTEEN

Tehdyn kirjallisuushaun perusteella maailmassa on julkaistu vuoteen 2017 mennessä kymmenen merkittäväksi katsottavaa tutkimusta melualtistuksen aiheuttamasta diabetesriskistä. Näistä kuudessa^{583, 584, 585, 586, 587, 588} on tutkittu tyypin 2 diabeteksen esiintyvyyttä ulkomelutasoltaan erilaisilla asuinalueilla ja neljässä^{589, 590, 591, 592} diabetesriskin riippuvuutta työympäristön melusta. Diabetesriskin kasvun pääsyyksi on esitetty sitä, että melualtistus ja sen aiheuttama allostaaattinen stressi lisäävät glukokortikoidien tuotantoa ja vähentävät haiman insuliinin tuotantoa.^{593, 594, 213}

Vain yhdessä tutkimuksessa on tutkittu diabeteksen esiintyvyyden riippuvuutta asuinalueen lentomelusta. Tässä ruotsalaistutkimuksessa ($N = 1\,191$, kohortti $N = 3965$) ei löydetty selvää riskiriippuvuutta diabeteksen ja lentomelun välille.⁵⁸⁷

Diabetes on tauti, joka lisää ennenaikaisen kuoleman riskiä ja aiheuttaa invaliditeettiä luettavaa elämänlaadun haittaa tai alentumista.⁵⁹⁵

* Tutkijat arvioivat lentomelualueilla asuvia asukkaita keskimäärin altistavan melutason ylittävän 48 dB kynnysarvon 0,37 desibelillä.

Eri tutkimuksissa todettu diabetesriskin riippuvuus ympäristömelun voimakkuudesta vaihtelee suuresti. Joissakin tutkimuksissa ei ole todettu riippuvuutta, joissakin on.

4.12 YMPÄRISTÖMELUN YHTEYS LIIKA- JA VYÖTÄRÖLIHAVUUTEEN

Ylipainoisuus, liika- ja vyötärölihavuus, on melutautien, diabeteksen ja sydän-verisuonitautien, riskiä lisäävä tekijä. Ylipainoisuus (lihavuus) lisää myös monien muidenkin tautien riskiä. Lihavuus johtuu normaalia suuremmasta kehon rasvamäärästä. Lihavuus jaetaan kahteen päätyyppiin:

- 1) vyötärö- eli keskivartalo- eli omenalihavuus, jossa rasvaa kertyy ensisijaisesti vatsaan, ja
- 2) päärynälihavuus, jossa rasvaa kertyy ensisijaisesti lantioon, reisiin ja paka-roihin.

Lihavuutta mitataan painoindeksillä, BMI (engl. Body Mass Index), joka määritellään: $BMI = \text{paino}[\text{kg}] / \text{pituus}^2 [\text{m}^2]$. Ylipainoiseksi katsotaan nykyisin henkilö, jonka BMI on yli 30. Liiallisen vyötärölihavuuden rajana on naisilla 90 cm ja miehillä 100 cm.

On useita tutkimuksia, joissa asuinympäristön melun ja liika- ja vyötärölihavuuden välille on löydetty (lievä) yhteys.^{587, 596, 597, 598, 599, 600} Esimerkiksi tanskalaisessa tutkimuksessa ($N = 39\,720$) päädyttiin siihen, että riski painon kasvuun 5 seurantavuoden aikana vähintään 5 kg oli 1,10 (CI95% 1,04 – 1,15) asuinalueen tieliikenteen ulkomelutason (L_{DEN}) 10 dB kasvua kohden.⁶⁰⁰ Ruotsalaisessa tutkimuksessa ($N = 5\,156$, joista lentomelulle, $L_{DEN} = 48 - 65$ dB, altistuvia 3 965), jossa osatutkimuksena oli lentomelun ja liikalihavuuden välinen yhteys, päädyttiin siihen, että 8,9 vuoden keskimääräisen henkilöiden sairauksien seurannan aikana ei todettu tilastollisesti merkittävää yhteyttä painoindeksin riippuvuuteen asuinympäristön melusta. Lievä yhteys keskivartalolihavuuteen todettiin.⁵⁸⁷

4.13 MELU JA MIELENTERVEYS - MASENNUS JA AHDISTUNEISUUS

Asuinympäristön melu ymmärretään nykyisin tekijäksi tai olosuhteeksi, joka voi aiheuttaa melulle altistetuilla stressireaktiota⁶⁰¹ jo melko alhaisissakin melutasoissa.⁵²³ Pitkään jatkuvan stressi lisää nykykäsitysten mukaan monien tautien, kuten sydänverisuonitautien, mielenterveystautien ja unihäiriöiden riskiä ja esiintyvyyttä.²¹³ Depressio*,⁶⁰² ja ahdistuneisuus†,⁶⁰³ ovat mielenterveystauteja, joiden riskin ja esiintyvyyden on todettu riippuvan ympäristömelusta ainakin jossain määrin.^{604, 605, 739}

On arvioitu, että Suomessa noin 5 % kansalaisista kärsii vuosittain depressiosta ja joka kymmenes kansalainen kärsii jossain elämänvaiheessa ahdistuneisuushäiriöstä. 1 – 7 % kärsii ahdistuneisuushäiriön yleistyneestä muodosta.^{606, 607, 608} Asuinympäristön melu selittää vain pienen osan esiintyvyydestä.

* Depressio eli masennustila on yksi pitkään kestävästä masennuksen taudiksi lueteltu muoto.

† Tautiluokituksessa käytetään nimitystä ahdistuneisuushäiriö.

Asumisympäristön melun yhteyttä ja osuutta mielenterveystautien riskiin ja esiintyvyyteen on tutkittu melko vähän verrattuna esimerkiksi unihäiriötutkimusten määrään. Vain osassa näitä tutkimuksia on ollut mukana myös lentomelu.

Hollantilaisessa vuosien 2002 ja 2005 välillä tehdyssä tutkimuksessa, joka liittyi Schipholin kentän viidennen kiitotien avaamiseen, ei todettu tilastollista yhteyttä kasvaneen melun ja mielenterveysvaikutusten välillä. Masennuksen ja ahdistuneisuuden esiintyminen ei poikennut tilastollisesti merkittävästi niiden yleisestä esiintyvyydestä ennen eikä jälkeen laajennuksen. Yhteys todettiin kuitenkin kielteisten mielenterveysvaikutusten ja kiusallisuuden voimakkuuden kokemisen välillä. Melusta suuresti kiusaantuneilla esiintyi muita enemmän masennusta ja ahdistuneisuutta.^{609, 610, 611}

Saksalaisessa vuonna 2012 tehdyssä laajassa ($N = 19\,294$) GEDA 2012 tutkimuksessa päädyttiin siihen, että tie- ja raideliikenteen sekä naapurimelun koetun kiusallisuuden ja mielenterveyden välillä oli selvä tilastollinen yhteys eli, mitä voimakkaammin kiusalliseksi henkilö ilmoitti ko. melun kokevansa asuinympäristössään, sitä todennäköisemmin hänellä oli tutkimuksessa käytetyn mittarin mukaan mielen-terveyteen* (ahdistuneisuus, masennus, yleisen positiivisuuden puute, tunne-elämän kontrollointi) liittyviä pulmia tai vaikeuksia. Lentoliikenteen osalta vastaava selvä tilastollinen yhteys[†] todettiin miehillä, mutta ei naisilla.⁶¹²

Saksalaisessa vuosina 2011 – 2015 toteutetussa Norah-tutkimuksessa⁶¹³ päädyttiin ylösalaisen U:n muotoiseen lentomelun[‡] depressioriskin riippuvuusvasteeseen. Melualueella $L_{Aeq,24h} < 40$ dB määritellyn vertailuriskin ollessa 1,0, saavutti riski maksimin, 1,17, tasossa 50 – 55 dB. Melualueella 55 – 60 dB riski oli 1,01 ja alueella 60 – 65 dB 0,56.[§] Tutkijat esittävät selitykseksi oletuksen, että henkilöt, joille melu aiheuttaa stressiä, muuttavat harvemmin suuren lentomelun asuinalueille kuin hiljaisen lentomelun alueille. Tutkijat esittävät, että depression riskin on syytä arvioida kasvavan 8,9 % melun kasvaessa 10 dB.^{614, 580}

Saksalaisessa Guttenbergin laajassa terveystutkimuksessa⁶¹⁵ ($N = 15\,010$) selvitettiin sydänverisuonitautiriskien lisäksi asukkailla ilmenneen depression ja ahdistuneisuuden yhteyttä melun kiusallisuuden koettuun voimakkuuteen. Erillisjulkaisussa⁶¹⁶ on raportoitu, missä määrin eri liikennemuotojen melun kiusallisuuden kokemisen voimakkuus assosioituu depression ja ahdistuneisuuden voimakkuuteen. Koetun kiusallisuuden kasvaessa arvosta ”jossain määrin kiusallista” (engl. slightly annoyed) arvoon ”äärimmäisen kiusallista” (engl. extremely annoyed) samanaikaisen koetun depression esiintymisriski kasvoi 2-kertaiseksi ja ahdistuneisuuden riski 1,8-kertaiseksi. Koska lentomelun aiheuttama kiusallisuus tietyssä melutasossa on suurempi ja suuresti melun kiusalliseksi kokevien esiintyvyys suurempi kuin vas-

* Mielenterveyttä mitattiin viiden kysymyksen MHI-5 testillä. Tässä testissä on mukana ahdistuneisuutta, masentuneisuutta, tunne-elämän positiivisuutta ja tunne-elämän ja käyttäytymisen kontrollointia mittaavat kysymykset.

† Kiusallisuuden ja mielenterveyden välistä tilastollista riippuvuutta tutkittiin kolmea eri mallia käyttäen. Mallit erosivat toistaan huomioon otettujen sekoittavien tekijöiden vakioinnin osalta. Naisillakin kaksi malleista osoitti selvän riippuvuuden, mutta kolmas ei.

‡ Tieliikennemelulla riskivaste oli monotonisesti kasvava $L_{Aeq,24h}$ -tason funktio. Kasvu oli 4,1 % per 10 dB melutason kasvu. Raideliikennemelulla riskivaste kasvoi välillä 40 – 50...55 dB monotonisesti, pieneni tämän jälkeen, mutta oli aikaisempaa suurempi 60 – 65 dB melualueella, mutta aleni sitä suuremmilla meluilla ollen 0,9 yli 70 dB melualueilla. Tutkijat esittävät, että riski kasvaa 3,9 % per 10 dB melutason kasvu.

§ Nämä luvut perustuvat sekoittavien muuttujien huomioon ottamisen osalta ns. Basismodell 3:een.

taavat muiden liikennemuotojen, teollisuuden ja naapurien tuottaman melun vastavat suuret, tutkijat päätyvät siihen, että tietyn voimakas lentomelu aiheuttaa suuremman depression ja ahdistuneisuuden esiintymisen riskin kuin mainitut muut melut.

Edellinen tutkimus vahvistaa sitä hypoteesia, että kiusallisuuden aiheuttama turhautuminen ja voimattomuus saada aikaa parannuksia meluolosuhteisiin lisäävät pitkään jatkuessaan depression ja ahdistuneisuuden riskiä ja esiintyvyyttä melu-alueilla. Turhautuminen ja voimattomuus todennäköisesti ovat ainakin osasyynä siihen, että joillakin henkilöillä depression ja ahdistuneisuuden oireet pahenevat kielteiseksi koettujen asuinympäristön meluolosten jatkuessa parannusvaatimuksista huolimatta.⁶¹⁷

Meluherkkyiden tiedetään vaikuttavan muun muassa koettuun melun kiusallisuuteen. Frankfurtin lentokentän ympäristöterveystutkimuksessa ($N = 2310$, mielen-terveysvaikutusten analyysissä $N = 190$) päädyttiin siihen, että meluherkkydellä ei ollut vaikutusta mielenterveyteen, mutta meluherkkyys vaikutti kyselytutkimukseen vastaajien fyysiseen terveyteen.⁶¹⁸

Korealaisessa kyselytutkimuksessa ($N = 1\,005$) päädyttiin siihen, että sotilaskentän⁶¹⁹ voimakkaan ($L_{DEN} \geq 67$ dB) ja keskivoimakkaan ($L_{DEN} \approx 47 - 67$ dB) ympäristömelun (ulkomelu, laskettu melumallilla) alueilla asuvat kokivat voimakkaampaa masennusta, ahdistuneisuutta ja stressiä kuin vertailualueella ($L_{DEN} < 47$ dB) asuvat. Esimerkiksi masennuksesta kärsiviksi luokiteltuja esiintyi vertailualueella 5,2 %:lla, keskivoimakkaan melun alueella 47,0 %:lla ja voimakkaan melun alueella 47,8 %:lla asukkaista. Vastaavat ahdistuneisuuden esiintyvyydet olivat 20,8 %, 27,2 % ja 33,5 % ja stressin esiintyvyydet 4,6 %, 10,0 % ja 15,3 %. Tässä tutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että masennus, ahdistuneisuus ja stressi lisäsivät erilaisten unihäiriöiden esiintyvyyttä.⁶²⁰ Tutkimusjulkaisussa ei esitetä arvioita ulkoa sisään kuuluvan lentomelun voimakkuudesta.

Saksan Ruhrin alueella on selvitetty pitkäaikaistutkimuksin depression esiintyvyyttä tieliikennemelualueilla ($N = 3\,300$). Depression esiintyvyyttä ja riskiä mitattiin kyselytutkimuksin ja tutkimukseen osallistuneiden depressiolääkkeiden käytöllä.⁶²¹

Norjassa Oslossa tehdyssä tutkimuksessa löydettiin lievä yhteys mielenterveyden ja tieliikennemelun välillä, mutta vain niillä henkilöillä, jotka raportoivat kärsivänsä unihäiriöistä.⁶²²

Iso-Britannian Etelä Walesissa vuonna 1996 tehdyssä tutkimuksessa ($N = 1\,725$, vain miehiä) ei todettu melutason kasvaessa voimistuvaa yhteyttä tieliikennemelun ja depression esiintyvyyden välillä.⁶²³

4.14 MELUN VAIKUTUKSET NUORTEN OPPIMISEEN JA KOGNITIIVISIIN TOIMINTOIHIN SEKÄ OPPILAIDEN TERVEYTEEN

Elämäkokemuksen perusteella tiedämme, että ulkoa sisään opetushuoneeseen kuuluvat, muusta melusta selvästi erottuvat, huomiota herättävät melutapahtumat häiritsevät ainakin hetkellisesti opetusta ja oppimiseen liittyvistä tehtävistä suoriutumista. Opettajat ja oppilaat sietävät kuitenkin yllättävän voimakkaita melutapahtumia (jopa yli 70...80 dB L_{AE} -tasoja) ilman, että tieteellisin mittauksin voidaan todeta kielteisiä vaikutuksia.⁶²⁴ On päädytty myös edellistä alhaisempaan melutasoon, jossa lentomelu alkaa vaikuttaa kielteisesti muistiin painamiseen ja sieltä

palauttamiseen. Alhaisempien tasojen vaikutus riippuu tapahtumien määrästä mielenpainamisjakson aikana.⁶²⁵ Häirintävoimakkuus riippuu ainakin jossain määrin melun informaatioisisällöstä.⁶²⁶

Viime aikoina on tutkittu melko paljon melun vaikutusta lasten ja nuorten oppimiseen ja oppimiseen liittyviin kognitiivisiin toimintoihin, kuten muistettavaksi tarkoitettujen asioiden muistiin painumiseen ja muistista palauttamiseen, erilaisista (yksinkertaisista) tehtävistä suoriutumiseen sekä melun vaikutuksia lasten terveyteen.^{627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637}

Lentokenttien ympäristömelun L_{DEN} - ja $L_{Aeq, 07-22h}$ -taso eivät välttämättä ole kovin valideja mittoja arvioitaessa lentomelun vaikutusta opetukseen ja päiväkodeissa oleviin lapsiin. Ainakin osalla lentokenttiä merkittävä osa melutapahtumista painottuu aamu- ja myöhäisen iltapäivän aikaan, kun opetus- ja päiväkotitoiminta painottuu näiden välille.⁶³⁶

UK:n parlamentin tiede- ja teknologiatoimiston parlamentille laatimassa tulevaisuuden selvityksessä ”Aviation and environment” todetaan Heathrown kentän ympäristön kouluissa tehtyjen tutkimusten päätyneen tulokseen, jonka mukaan ”kun sosio-ekonomiset tekijät otettiin huomioon, ei voida todeta, oliko oppimissaavutusten huonontumisen (erot melultaan erilaissa kouluissa) syynä suorat meluvaikutukset vain muut syyt, kuten (osittain) se, että lentomelutapahtumat keskeyttävät opetuksen, mikä vähentää opetusaikaa”.⁶³⁸

Monikansallisen, EU:n rahoittaman RANCH-tutkimuksen⁶³⁹ yhteenvedotulokset julkaistiin kesällä 2005.^{640, 641, 642, 643} Tutkittuja kouluja oli kolmesta maasta (UK, Hollanti, Espanja) yhteensä 89 ja oppilaita oli mukana 2 844 (ikä 9 -12 vuotta). Koulut sijaitsivat melualueilla, joiden päiväajan $L_{Aeq07-23h}$ -taso (melualuekartasta luettu) vaihteli 30 – 77 dB(A). Meluiseksi katsottiin ne koulut, joiden ulkomelun $L_{Aeq,07-23h}$ oli vähintään 66 dB(A). Lukemisoppimistutkimuksiin ei otettu mukaan kouluja, joissa oli kaksin- tai kolminkertaiset ikkunat (perusteena se, että näissä oli tutkijoiden mukaan tutkimustarkoitusten kannalta liian hyvä ääneneristävyys eli liian alhainen ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuus). Lukemaan oppiminen viivästyi UK:ssa (29 koulua, $N = 1174$) noin 2 kk ja Hollannissa (33 koulua, $N = 762$) noin 1 kk per 5 dB(A) lisäys lentomelussa. Espanjassa (27 koulua, $N = 908$), jossa koulut olivat melultaan UK:n ja Hollannin kouluja hiljaisemmilla alueilla, vaikutusta lukemisen oppimiseen ei voitu määrittää lainkaan (lukemisen oppimisikää ei voitu todeta riittävän yksikäsitteisesti). Tutkimuksessa todetaan, että oppilaiden koulu- ja kotiympäristön lentomelun melutaso riippuivat toisistaan eli, kun kouluympäristön melu oli voimakasta, niin myös asuinympäristön melu oli voimakasta, ja päinvastoin.

RANCH-osatutkimuksessa päädyttiin myös siihen, että koululaisten (62 koulua, $N = 1283$, ikä 9 – 11 vuotta) krooninen (so. jatkuva, pitkäaikainen) koulussaoloaikainen altistuminen lentomelulle ei vaikuttanut tilastollisesti merkittävästi heidän terveydentilaansa eikä mielenterveyteen. Selvää koulussa altistavan lentomelun vaikutusta oppilaiden verenpaineeseenkaan ($N = 853$) ei tässä tutkimuksessa todettu. Hollannissa 3 % ja UK:ssa 1% oppilaista diastolinen (ns. alapaine) verenpaine ylitti (syys-tä tai toisesta) arvon 85 mmHg ja/tai systolinen (ns. yläpaine) 135 mmHg.^{644, 642}

RANCH-tutkimuksen tulosten mukaan koululaisten kyky arvioida melun äänekkyyttä ja epämiellyttävyyttä ei poikennut aikuisten kyvystä ja arvioinnin tuloksista. Todettiin myös, että lapset, joilla oli hyvä stressistä palautumiskyky kokivat koulu- ja kotiympäristön melun vähemmän kiusalliseksi kuin ne, joilla palautumiskyky oli alhainen.

RANCH-tutkimuksen tuloksia ei voitane suoraan yleistää Suomen oloihin, sillä meillä kouluissa on yleensä kaksin- tai kolmenkertaiset, hyvin tiivistetyt ikkunat eikä Suomesta löytyne montaakaan koulua, jotka sijaitsevat lentomelualueilla, joilla päivääjän $L_{Aeq,16h}$ -taso ylittää 60 dB(A). RANCH-tutkimuksessa yli puolessa kouluja oli yksilasiset ikkunat.

Saksassa Münchenin lentokentän ympäristössä 1990-luvulla tehdyissä tutkimuksissa koulut jaettiin ulkomelun perusteella kahteen luokkaan: voimakkaan ja hiljaisen melun kouluihin. Voimakkaan lentomelun alueella oppilaiden diastolinen verenpaine oli keskimäärin 0,17 mmHg alhaisempi ja systolinen 1,92 mmHg korkeampi kuin hiljaisemman alueella olevien koulujen oppilailla. Voimakkaan melun alueilla koulujen keskimääräinen ulkomelutaso oli $L_{Aeq,24h} = 68,1$ dB(A) ja hiljaisen melun alueilla 59,1 dB(A).^{645, 646} Tutkijat eivät esitä, kuinka vakavia terveysvaikutuksia ero aiheuttaa.

Tutkittaessa, miten kouluaikainen melualtistus vaikuttaa afrikkalaisten normaali-kuuloisten yläkoululaisten ($N = 220$, ikä 10 – 19 vuotta) verenpaineeseen ja pulssiin verrattuna saman ikäisiin kuuroihin ($N = 79$, ikä 10 – 24 vuotta) oppilastovereihin, kuurojen oppilaiden verenpaine todettiin kuulevia suuremmaksi.⁶⁴⁷ Eräässä aikaisemmassa kiinalaisessa tutkimuksessa (kuulevia ala-koululaisia $N = 583$, kuuroja $N = 309$) on päädytty päin vastaiseen tulokseen.⁶⁴⁸

Australialaisessa tutkimuksessa⁶⁴⁹ ($N = 115$) verrattiin meluisilla asuntoalueilla ($L_{DN} > 60$ dB(A), puolet koehenkilöistä) ja hiljaisilla asuntoalueilla ($L_{DN} < 50$ dB(A), puolet koehenkilöistä) asuvien neljäsluokkalaisten terveyttä keskenään. Melualueilla asuvien keskimääräinen diastolinen verenpaine (ns. alapaine) oli 0,25 mmHg alhaisempi (73,00 versus 72,75 mmHg), mutta systolinen (ns. yläpaine) paine oli 1,97 mmHg (117,29 versus 115,32 mmHg) korkeampi. Sykkeessä ei ollut tilastollista eroa. Yöaikainen kortisolieritys oli melualueilla asuvilla hieman suurempi kuin hiljaisilla alueilla asuvilla (4,87 µg/8h versus 3,86 µg/8h). Meluisilla alueilla asuvilla todettiin hieman kohonnut reaktiivisuus akuuttiin stressiin (mitattiin lukemisaikavaikeustestillä). Tutkijoiden mielestä erot ovat pieniä, joskin osa tilastollisesti merkittäviä. He eivät esitä, mikä merkitys eroilla on henkilöiden terveyteen tai aikuisiän terveyden ennusteeseen.

Pyrittäessä soveltamaan ulkomaisia tutkimuksia, joissa on tutkittu ulkoa sisään kuuluvan melun vaikutuksia oppimiseen ja kognitiivisiin toimintoihin, tulokset joudutaan yleensä korjaamaan vastaamaan Suomessa tyypillisiä vastaavien rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyksiä. Saattaa olla, että myös ulkomelun voimakkuus vaikuttaa tavalla tai toisella tutkittavien henkilöiden oppimis- ja muistitoimintoihin, mikä joudutaan myös ottamaan huomioon tuloksia sovellettaessa.

4.15 MELUVAIKUTUKSET ULKOILU- JA VIRKISTYSALUEILLA

Ympäristöministeriö on julkaissut selvityksen melun vaikutuksista ns. hiljaisilla alueilla.⁶⁵⁰ Selvityksestä löytyy tietoja myös lentomelun vaikutuksista alueilla, joilla ihmiset ulkoilevat.

Eräässä norjalaistutkimuksessa ($N = 975$) melun voimakkuus ja muut ominaisuudet selittivät vain 2 % alueella vierailun aikana kuuluvan melun kiusallisuuden yksilöllisestä vaihtelusta.^{651, 652, 653} Melun hiljaisuutta huonontava vaikutuksen on joissakin

tutkimuksissa todettu riippuvan paremmin siitä, kuinka suuren osan (vierailu-) ajasta ihmisen toiminnan melua (kuten lentomelua) kuullaan kuin yksittäisten melutapahtumien melun voimakkuudesta.^{654, 652, 652, 655} Myös vierailun syy, esimerkiksi alueen hiljaisuudelle ennalta asetettujen odotusten suuruus tai voimakkuus, voi selittää kiusallisuuden yksilöllistä vaihtelua enemmän kuin melun voimakkuus.⁶⁵² Tällaiset ulkoisten determinististen tekijöiden mahdollinen vaikutus pitäisi ottaa huomioon tutkimusta ja analysointitapoja suunniteltaessa.⁶⁵⁶

4.16 VALITUKSET LENTOMELUSTA

Nykykäsitysten mukaan henkilökohtaisesti koetun akuutin kiusallisuuden suuri voimakkuus (aste) on spontaanien valitusten pääselittäjä.^{657, 658, 659, 660} Yleisin spontaanin, voimakkaan kiusallisuuden aiheuttaja on ääneltään epätavallisen voimakas tai odottamaton melutapahtuma. On syytä muistaa, että yleensä kyselytutkimuksin mitatun kiusallisuuden on tarkoitus selvittää pitkäaikaista, kroonista kiusallisuutta, ei hetkellistä, valituksen taustalla olevaa akuuttia kiusallisuutta. Yksilölliset ominaisuudet, kuten meluherkkyys sekä asennoituminen lentomeluun ja melun aiheuttajaan selittävät useimmiten merkittävästi suuremman osan molemmista kiusallisuuden lajeista kuin melun voimakkuus ja ominaisuudet.

Valitustilastot kertovat valitusten määrän ja alueet/paikat, joista valituksia tehdään, mutta eivät valitusten ”voimakkuutta”. Valitus on kaksiarvoinen muuttuja. Henkilö (tai joskus henkilöryhmä) joko valittaa tai ei valita. Valituksen laukaissut meluvaikeus, esimerkiksi spontaani kiusallisuus, on yleensä intensiteettimuuttuja, jolla on tietty suuruus tai voimakkuus ainakin subjektiivisella mitta-asteikolla.

Saksassa tehdyssä lentomelun vaikutusten hallintaa koskevassa tutkimuksessa⁶⁶¹ ($N = 340$) todettiin, että itse arvioitu melun äänekkyys selitti 52 % kiusallisuudesta, kun laskettu (melualuekartasta luettu) lentomelun melutaso selitti vain 8 %. Tässä tutkimuksessa pelko lentomelun aiheuttamasta reaaliomaisuuden (vastaajan omistama talo tai asunto) arvon alenemisesta selitti 36 % kiusallisuuden vaihtelusta. Tulokset vahvistavat sitä käsitystä, että pelko (tai tieto) melun aiheuttamasta reaaliomaisuuden arvon alenemisesta voi olla merkittävämpi syy meluvalituksiin (ja kiusallisuuteen) kuin melun todellinen voimakkuus. Tutkimuksessa ei selvitetty, miksi melun kiusalliseksi kokevien itse arvioima lentomelun äänekkyys ei vastaa laskettua melun voimakkuutta.

Manschesterin kentän valitustilastojen tutkimus osoitti, että valitusten määrä per 1000 lento-operaatiota (so. todennäköisyys valittaa lentoa kohden) on suurimmillaan alkuyöstä ja yöaikaan yleensä suurempi kuin päivisin ja iltaisin.⁶⁶² Tutkimusraportista ei käy selville, millainen valittajien asuntoihin kohdistuva ylilentojen ulkomelun taso ja rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys oli.

Amerikkalaisessa tutkimuksessa⁶⁵⁹ selvitettiin kuuden eri lentokentän meluvalituksia. Yhtenä kohteena oli selvittää, miten meluvalitusten määrä jakaantui eri talouksien (tietystä numerosta tulleet valitussoitot) kesken. Tutkimuksessa havaittiin, että vuosittaisten valitusten määrä per talous noudatti kaikilla kuudella kentällä tyypillistä Zipfin jakautumaa.⁶⁶³

Zipf-jakautuneille valituksille on tunnusomaista se, että suuret valitusmäärät kasaantuvat hyvin pienelle talousmäärälle. Esimerkiksi, kun luokitellaan valitukset vuosittaisen määrän perusteella, niin suurin määrä voi olla 100 valitussoittoa per talous per vuosi. Soittomäärältään tätä alemmalle sijalla päässeiden talouksien

soittomäärä voi olla tällöin luokkaa 10, sitä seuraavien 5 ja sitä seuraavien 2. Kun vuosittaisten valitusten määrä per talous esitetään koordinaatistossa, jossa x-akselilla on talouskohtainen valitussoittomäärä logaritmisella akselilla (esim. 1...20 tai enemmän) ja y-akselilla tietyn valitussoittomäärän tehneiden kotitalouksien määrää logaritmisella akselilla, niin jakautuma asettuu melko hyvin suoralle. Tällaisen tilastollisen yleisen säännönmukaisuuden taustalla täytyy olla jokin ei-akustinen syy eli syy, joka ei riipu yksikäsitteisesti lentomelun voimakkuudesta. Ainakin osa syistä lienee samoja tai samantapaisia kuin ne, jotka aiheuttavat henkilökohtaisesti koetun kiusallisuuden voimakkuuden vaihtelua. Valitusten syiden analyysi saattaisi antaa tietoa sellaisista muuttujista ja oloista, jotka toimivat kiusallisuusvasteen sekoittavina tekijöinä.

Eri kenttien lentomelusta tehtyjen valitusten määrän perusteella ei pidä tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä todellisista meluhaitoista, kansalaisten valitusherkyydestä eikä valitusten aiheellisuudesta. Esimerkiksi Amsterdamin Schipholin lentokentän melusta tehtiin vuonna 1998 200 000 valitusta. Valittajia oli 12 549.⁶⁶⁴ Vuonna 2016 tehtiin yli 210 000 valitusta. Tästä määrästä lähes 160 000 oli 35 valittajan tekemiä. Loppuosa, noin 58 390 valitusta, oli 5 927 henkilön tekemiä.⁶⁶⁵ Lontoon Heathrown kentän melusta tehtiin vuonna 2015 hieman yli 100 000 valitusta. Valittajien määrä oli 5 573 henkilöä. Noin puolet valituksista oli 10 henkilön tekemiä.⁶⁶⁶ Schipholin kentän $L_{DEN} \geq 55$ dB melualueilla asui vuonna 2011 noin 55 400 henkilöä.⁶⁶⁷ Heathrown kentän $L_{DEN} \geq 55$ dB melualueilla asui vuonna 2011 noin 766 000 henkilöä.⁶⁶⁸

Helsinki-Vantaan kentällä meluvalitussoittojen lukumäärä on ollut 1990-luvun loppuvuosina ja 2000-luvun alussa 400...700 vuosittain. Nykyisin vuosittaisten meluvalitusten määrä on pienempi. Esimerkiksi vuonna 2015 Finaviassa vastaanotettiin 372 liikenteen meluun liittyvää meluvalitusta. Valittajien määrä oli 244. Vuonna 2016 vastaanotettiin 290 melua koskevaa valitusta.^{669, 670, 671, 672} Vuoden 2011 meluselvityksen mukaan $L_{DEN} \geq 55$ dB melualueilla asui 14 000 henkilöä.⁶⁷³ Vuonna 2015 vastaava henkilömäärä oli 18 600.⁶⁷⁴ Vuoden 2017 selvityksen mukaan $L_{DEN} \geq 55$ dB melualueilla asuin 25 300 asukasta.⁶⁷⁵

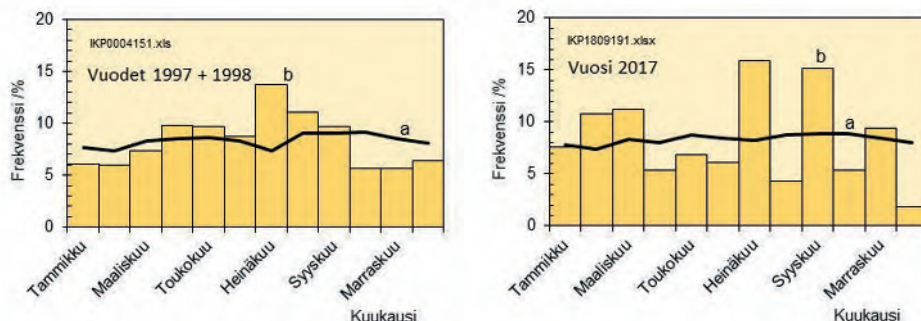
Vertailtaessa eri maiden kenttien meluvalitustilastoja keskenään ja Suomeen, on syytä muistaa, että eri maissa tyypilliset rakennusten ulkokuoren ääneneristävyydet ovat erilaiset. Eristävyyseroista johtuen saman ulkomelun aiheuttama sisämelu voi olla hyvin erilainen. Ainakin ilta- ja yöaikaisten meluvalitusten todennäköisyys riippuneen ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuudesta.*

Kuvassa 31 on esitetty, miten valitussoitot ja liikenne jakaantuivat Helsinki-Vantaan kentällä vuosien 1997 ja 1998 keskiarvona ja vuonna 2017.^{670, 676} Kuvasta huomataan, että vuosina 1997 ja 1998 suurin kuukausittainen valitusmäärä on ollut heinäkuussa (lomakuukausi), jolloin kuitenkin kuukausiliikenteen määrä on ollut pienin. Vuonna 2017 valituksia tehtiin keskimääräistä enemmän heinä- ja syyskuussa.

USA:ssa havaittiin samantyyppinen valitusten kasaantuminen kesäkuukausille tutkittaessa J.K. Kennedyn kentän valitustilastoja vuosilta 1959 – 1967.⁶⁷⁷

* Ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuus riippuu siitä, pitääkö asukas/melulle altistettu ikkunoita kiinni vai auki. Useimmissa maissa rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys mitataan ikkunat kiinni. Osa lentomelulle altistuvista saattaa pitää ikkunoita päivisin ja öisin auki tai raollaan

Tiettyä melun aiheuttajaa koskeville valituksille on usein tyypillistä ”ammattivalittajat” eli henkilöt, joiden lukumäärä on pieni, mutta osuus valituksista suuri. Esimerkiksi Manchesterin lentokentän vuoden 1998 yhteensä 2 072 lentomeluvalituksesta 41 % oli kolmen henkilön tekemiä.^{678, 679, 680} Amsterdamin Schipholin kentällä laskeaan ammattivalitusten osuudeksi 10...20 %.



Kuva 31: Helsinki-Vantaan kenttä. Vuotuisten meluvalitusten (pylväät, b) ja lentoliikenteen (käyrä a) jakaantuminen eri kuukausille. Vuosien 1997 ja 1998 keskiarvo. Vuoden 1997 häiriikkösoittoja ei ole otettu huomioon. Vertailuna on vuosi 2017.^{670, 676}

Amerikkalaisessa julkaisussa referoidaan yhdeksän lentokentän* meluvalitustilastoja vuodelta 2014 tai 2015. Näille kentille tehtiin yhteensä 944 000 meluvalitusta vuodessa. Kenttäkohtainen vaihtelu oli 688 – 890 376. Eri kentillä ”pienen joukon”[†] valitusten osuus vaihteli 42 – 92 % valitusten kokonaismäärästä.⁶⁸¹

4.17 MELUN VAIKUTUKSET ELÄIMIIN JA LUONTOON

Eläinten kokemia meluvaikutuksia arvioidaan yleensä niiden käyttäytymistä seuraamalla, esimerkiksi vertaamalla käyttäytymistä erilaisissa meluoloissa tai seuraamalla, miten melutapahtuma tai toistuvat tapahtumat muuttavat käyttäytymistä tai lajin esiintyvyyttä melualueella.

Melun ja erityisesti lentomelun vaikutuksia eläimiin ja luontoon on tutkittu etenkin Yhdysvalloissa melko paljon.^{682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692} On yleistä, että melun oletetaan vaikuttavan eläimiin paljon enemmän kuin se tutkimusten mukaan vaikuttaa. On kuitenkin edelleenkin vaikutuksia, joista ei löydy luotettavia tutkimustuloksia ja paljon eläinlajeja, joiden äänen aistimisesta ja meluherkkyydestä ei tiedetä mitään – ei ainakaan niin paljoa, että voitaisiin luotettavasti arvioida erilaisen ympäristömelujen vaikutuksia. Esimerkkinä voidaan mainita melun vaikutus eläinten uneen ja häiriintyneen unen vaikutus tai merkitys eläimien ravinnon saannille, lisääntymiselle tai muille toimille, jotka ovat välttämättömiä yksilön ja lajin hengissä pysymiselle.

Monet eläinten meluvaikutustutkimukset perustuvat erilaisilla melualueilla oleskelevien eläinten elämästä ja käyttäytymisestä tehtyihin vertailuihin, esimerkiksi lintujen pesintätiheyden tai lentokykyisten poikasten määrän per pesä vertailuihin. Tulokset antavat arvokasta tietoa, mutta asianmukaisten kontrollialueiden (kaikki muut

* Ronad Regan Washington, Denver International airport, Dulles Washington, McCarran Las Vegas, Los Angeles International, Portland International, Phoenix Sky Harbor International ja Seattle-Tacoma International.

† Pieni joukko oli eri kentillä tyypillisesti 1 – 5 henkilöä.

olot samat, vain melun esiintymisessä eroja) ja kokeiden toistojen puuttumisen tai puutteellisuuden vuoksi, on oikeutettua asettaa tulosten tieteellinen yleistettävyyks ja edustavuus kyseenalaiseksi. On esimerkiksi mahdotonta tehdä (käytännössä) tutkimusta, jossa lentokenttä aiheuttaa tietyn melun ilman, että kentällä ja ympäristössä liikkuisi lentokoneita, ajoneuvoja ja ihmisiä.

Yleensä melun tuottoon liittyy ihmisten ja melulähteiden liikkumista lähellä eläimiä, mikä usein aiheuttaa suurempia muutoksia eläinten käyttäytymisessä kuin ääni (melu). Etäällä lentokentästä lentokoneiden ja maassa (ja vedessä) elävien eläinten etäisyydet ovat tyypillisesti suuria. On todennäköistä, että lentokoneiden liikkuminen ei vaikuta kovin paljoa, ja että eläimet tottuvat kaukana lentäviin koneisiin ja niiden meluun.

Ihmisillä on tapana olettaa, että eläimet kuulevat äänet ja kokevat melun ihmisten tavoin. Eläinten kuulokyky kuitenkin yleensä poikkeaa ihmisen kuulosta (ks. kuva 32) ja ympäristön äänien funktio (merkitys) eläimille ei ole sama kaikille eläimille eikä sama kuin ihmiselle.^{693, 694, 695, 696} Lajin kannalta merkittävä äänen taajuusalue eli alue, jolla melu vaikeuttaa kommunikointia, saalistusta tai pakenemista saalistajilta, vaihtelee suuresti. Eri eläinten oman äänen taajuusalueet vaihtelevat hyvin paljon. Esimerkiksi hevosten ääni (härnähdykset, hörähdykset) keskittyy 50 – 100 Hz alueelle, mutta useiden lepakkolajien yli 80...100 kHz taajuuksille.⁶⁹⁷

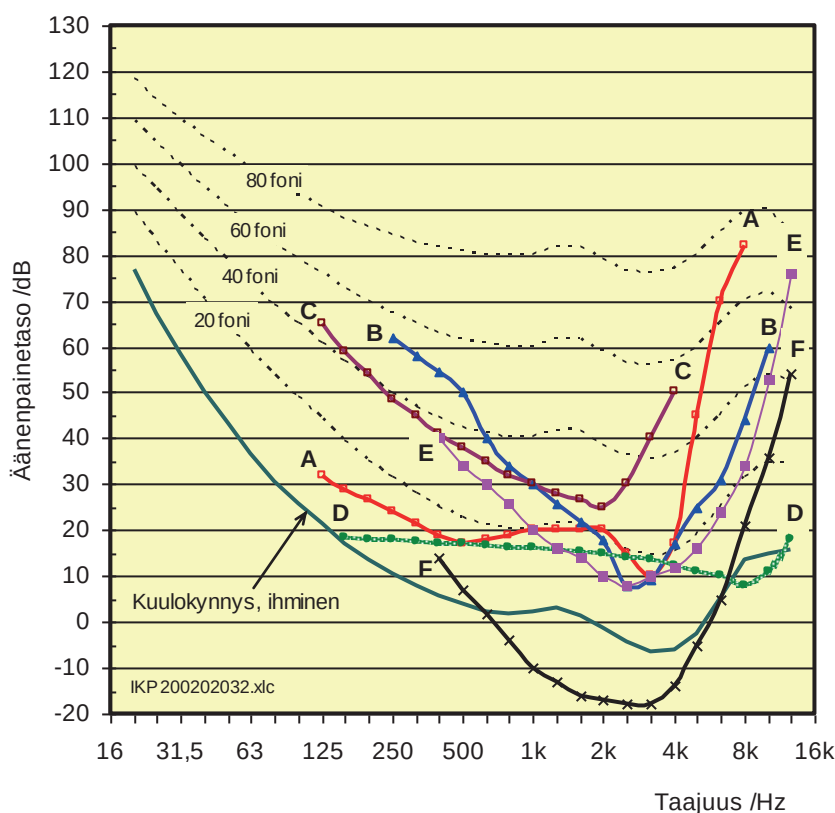
Melun ja ympäristön äänien merkitys eläimelle lisäksi vaihtelee elämän tai elinvaiheen aikana. Esimerkiksi monilla linnuilla laulu ja sen erottaminen ja erottuminen riittävän etäältä on reviirin ylläpitoon liittyvä väline. Melu (etenkin jatkuva melu) voi peittää reviirin ylläpitoon liittyviä ääniä, mikä saattaa pienentää reviirin kokoa ja heikentää täten ravinnon saantia. Esimerkiksi Suomessa lintujen reviirin merkitys on suurin pesintäaikana alkukesästä.⁶⁹⁸ Suurin osa linnuistamme muuttaa talveksi pois (so. altistettujen yksilöiden määrä alenee) eikä talvehtivat lajitkaan pesi talvela. Maassamme on talvisin ulkona esiintyviä hyönteislajeja vähän.

Joitakin eläinlajeja, esimerkiksi marsuja, rottia, kissoja ja chinchilloja⁶⁹⁹ on käytetty koe-eläiminä tutkittaessa melun vaikutuksia kuuloon (tutkittaessa kuulovaurioiden syntyä ja kuulon väsymistä). Pysyvää kuulon alenemaa ei yleensä voida todeta meluallistuksissa, joissa altistavan melun $L_{Aeq,24h}$ -taso ei ylitä 75...85 dB(A) olipa altistusaika kuinka pitkä tahansa. Sama melu vaikuttaa eri tavoin eri eläinten ohimenevään kuulonalenemaan ja pysyvään kuulovaurion riskiin.⁶⁹⁵ Tutkimusten puutteen vuoksi suurimmalle osalle eläimiä ei pystytä esittämään välittömän kuulovauriorisikin melurajaa eikä mahdollisen pysyvän tai tilapäisen kuulon aleneman riippuvuutta meluannoksesta.

Toinen tutkijoiden ja tutkimusten usein esille tuoma melun kielteinen vaikutus on poikasten ja emon välistä kommunikointia haittaava peitto eli maskeeraus⁷⁰⁰ tai kommunikoinnin (ajoittainen) estyminen. Kommunikointi (esim. varoitus- ja kutsuäänet) voivat peittyä joko osittain tai kokonaan (esim. aika jona, tai etäisyys jolla, äänet erottuvat, lyhenee). Tiedetään, että näin voi tapahtua, mutta esimerkiksi ajoittain esiintyvän lentomelun vaikutuksia yksilön ja lajin selviytymiselle on vaikea arvioida ja todentaa.

Kuten jo edellä todettiin, saman melun peittovoimakkuus on hyvin erilainen eri eläimille. Osaltaan tähän vaikuttaa se taajuusalue – verrattuna melun voimakkuuteen samalla taajuusalueella – jolla kommunikointi tai informaation välitys tapahtuu. Tämän lisäksi peittovaikutusta arvioitaessa olisi tunnettava ko. eläimen kuu-

loaistin toiminta. Ei esimerkiksi tiedetä, missä määrin peittomekanismi ja sen riippuvuus kriittisten kaistojen leveydestä, vastaa ihmiskorvan toimintaa. Hyönteisten kuulon toiminasta ei tiedetä edes sitä, miten mahdollinen peittomekanismi toimii.



Kuva 32: Eläinten kuulokynnyksiä verrattuna ISO 226:2000-standardin mukaiseen ihmisen kuulokynnykseen ja vakioäänekkyysskäyriin. A – A: kyyhkynen, B – B: kanarialintu, C – C: kananpoika, D – D: lammas, E – E: linnut keskimäärin, F – F: pöllö (tieteellistä nimeä ei mainittu).

Jossain tutkimuksissa on todettu meluisilla alueilla elävien lintupopulaatioiden muuttaneen lauluääntään, joko lisäämällä äänen volyyymiä tai/ja muuttamalla taajuussisältöä ja signaalin ajallisia ominaisuuksia.⁷⁰¹ Myös ihminen korottaa ääntään melussa. On esitetty, että uusi laulu olisi vähemmän meluun peittyvää kuin vanha eli erottuisi paremmin ja pitemmille etäisyyksille kuin vanha. On oletettu, että laulutavan ja sisällön muutoksesta olisi haittaa saman lajin eri populaatioiden (esim. eri paikkakunnilla kasvaneiden yksilöiden) välisessä kommunikoinnissa, esimerkiksi reviirin ylläpidossa.

Berlinin Tegel'n kentän ympäristössä tehdyssä tutkimuksessa todettiin lentokentän läheisyydessä elävien lintujen aiantaneen aamuksen ”kuorolaulun” aloitusta 5 - 10 minuutilla verrattuna hiljaiseen kontrollialueeseen. Lintujen todettiin myös välttävän päiväaikana laulamista aikoina, jona lentomelu ylitti noin tason 78 dB(A).^{*} Aamuksen laulun aloitusajan aikaistuksella on tutkijoiden mukaan myönteistä merkitystä koiraille jälkeläisten saannin onnistumiseen.⁷⁰²

* Tutkijoiden arvio on, että laulun aikaistaminen aamulla aikoina, jona lentoliikennettä ei ole, tai se vielä vähäistä, lisää monilla lajeilla sitä aikaa, jona melu ei vaikeuta laulun houkutukseen perustuvaa parinmuodostusta. Jopa 5 minuutin pidennys voi olla merkittävä. Parin houkuttelun lisäksi laulu toimii reviirin säilyttämisen välineenä. Toimivuus edellyttää, että pariehdokas tai reviiriä loukkaava/uhkaava yksilö erottaa lauluään.

Eläimien kokemien melun vaikutusten tutkiminen ja tulkinta on vaikeaa ja usein aikaa vievää. Esimerkiksi tutkittaessa eläimen kuulokykyä ja melun peittovaikutusta, eläin täytyy ensin kouluttaa reagoimaan tietyllä yksikäsitteisellä tavalla, jolla ei kuitenkaan voida selvittää kuin sen, erottaako eläin tietyn äänen (joko lainkaan tai jostakin vertailuäänestä) vai ei. Lisäksi eläimet adaptoituvat eli tottuvat helposti erilaisiin meluihin. Esimerkiksi kaatopaikoilla ja lentokentillä lintuja on yritetty karkottaa propaanitoimisilla tykeillä. Aluksi laukausäänet karkottavat linnut, mutta jonkun ajan tottumisen jälkeen laukauksilla ei ole merkittäviä vaikutuksia käyttäytymiseen (esim. ruokailu ei keskeydy kuin ehkä ympärille vilkaisun ajaksi).⁷⁰³

Tiedetään, että ainakin nisäkkäät ja linnut nukkuvat ja hyvä yöuni on niille – kuten ihmisellekin – tärkeää.^{704, 705, 706, 691, 707} Hyönteisten nukkumisesta ja unen tarpeesta tiedetään sen sijaan kovin vähän. Näyttää siltä, että hyönteisilläkin olisi jokin unen kaltainen olotila. Sen ja sen häiriintymisen vaikutuksista ei tiedetä kovinkaan paljoa.^{708, 709, 710, 711}

Suomessa ei ole viranomaisohjeita siitä, miten ja millaisia muuttujia ja suureita (indikaattoreita, mittaustapoja) käyttäen melun vaikutuksia eläimiin ja luontoon pitäisi arvioida ja miten vaikutusten vakavuus luokitellaan.

Tutkimuksissa meluvaikutukset jaetaan usein seuraavasti:

1. Primääriset eli suorat vaikutukset, joita ovat kuuloaistin toiminnan pysyvät ja palautuvat muutokset. Tällaisia ovat mm. tärykalvon puhkeaminen, pysyvä ja tilapäinen kuulokyvyn alentuminen sekä melun peitto- eli maskeerausvaikutuksen vuoksi tapahtuva audioinformaation erottumisen huonontuminen ja sen välittömät seurannaisvaikutukset. Huomattakoon, että linnuille on ominaista, että melun vuoksi tuhoutuneet karvasolut voivat korvautua uusilla soluilla eli ainakin osa kuulovauriosta paranee. Hyönteisten kyvystä aistia ääniä ja tärinöitä sekä melun vaikutuksista hyönteisiin, on kovin vähän tietoa. Tiedetään, että monet lajit aistivat ainakin omien lajitovereidensa (esim. vastakkaisen sukupuolen) tai saaliseläimien ääniä ja/tai tärinöitä (mekaanisia värähtelyjä).^{712, 713} Monet näistä hyönteisille tärkeistä äänistä ovat suuritaajuisia eli ovat taajuusalueella, jolla tavanomaisten ympäristömelujen voimakkuus on yleensä vähäinen (esim. 15 kHz taajuinen suihku-moottorimelu vaimentuu 0,5 km etäisyydelle moottorista edessään n. 150 - 170 dB).
2. Sekundääriset eli toissijaiset vaikutukset, joita ovat muun muassa erilaiset stressireaktiot (esim. stressihormonien lisääntynyt erittyminen, verenpaineen nousu, syketaajuuden kasvu), käyttäytymisen muutokset ja pakoreaktiot, häiriövaikutukset pariutumisen ja lisääntymisen sekä huonontunut kyky tai mahdollisuus hankkia ruokaa (ja juomaa) ja suojaa. Sekundääriset vaikutukset ovat primäärivaikutuksia yleisempiä ja helpompia havaita (observoida).
3. Tertiääriset eli kolmannen asteen seurausvaikutukset, jollaisia ovat elinympäristön muuttuminen lajille sopimattomaksi, lajin yksilöiden esiintymistiheyden vähentyminen, äärimmäisenä mahdollisena vaikutuksena lajin katoaminen, so. esiintymisen loppuminen ko. melualueella.

Ympäristömelulla voi olla myös positiivisia vaikutuksia lajille ja sen yksilölle. Esimerkiksi melu ja/tai sen tuottoon liittyvät tapahtumat (esim. ihmisten ja koneiden

liikkuminen) saattavat karkottaa melualueelta tehokkaammin saalistajana kuin (tietyn) saalistettavana olevaa lajia. On myös lajeja, joille tyypillinen meluisa taajama- ja lentokenttäympäristö ovat ainakin yksilöiden tiheydestä ja lisääntymismääristä arvioituna suotuisampi ympäristö kuin täysin luonnonrauhainen erämaa, mutta on myös lajeja, joille luonnonrauhainen erämaa on em. kriteerein suotuisampi ympäristö.

Eläimiin kohdistuvien meluvaikutusten vakavuusaste jaetaan esimerkiksi USA:n ilmavoimien ja armeijan tutkimuksissa ja ympäristövaikutusarvioinneissa neljään luokkaan:

1. Mitättömät vaikutukset

- melun kohteena ei ole lainkaan eläimiä ja odotettavissa on ainoastaan hyvin vähäisiä vaikutuksia, olipa kyseessä mikä tahansa eläinlaji,
- mahdollisilla vähäisillä vaikutuksilla ei ole merkittäviä sekundäärisiä eikä tertiäärisiä, so. pitkäaikaisia tai eläinpopulaatiota koskevia vaikutuksia.

2. Vähäiset tai alhaiset vaikutukset

- kyse on ei-pesivistä tai ei-poikasia kasvattavista/ruokkivista eläimistä, joiden lukumäärä alueella on vähäinen,
- kyseessä ei ole lajin eloonjäämisen kannalta kriittisestä elinalueesta ja vastaavia elinalueita löytyy muualtakin kuin tarkastelun kohteena olevalta melualueelta,
- melun tuotto voi aiheuttaa satunnaisia pako/pelästymisreaktioita, mutta ilman että niistä olisi häiriötä lajin ravinnon saannille, lisääntymiselle, tai muille toimille, jotka ovat välttämättömiä lajin hengissä pysymiselle.

3. Kohtuulliset (engl. moderate) vaikutukset

- kyse on pesivistä tai poikasia kasvattavista/ruokkivista eläimistä, joita on vähäinen määrä ko. melualueella ja/tai eläimet ovat melulle altistuessaan erityisen meluherkässä elämän tai elinvaiheessa, kuten muuttamassa tai on talviaika,
- on odotettavissa, että melu aiheuttaa satunnaisesti kuolleisuutta tai häiriötä hengissä pysymiseen tarvittaville toiminnoille,
- kuolleisuus tai hengissä pysymisen häirintä ei kuitenkaan uhkaa lajin olemassa oloa.

4. Merkittävät tai suuret vaikutukset

- kyse on pesivistä tai poikasia kasvattavista/ruokkivista yksilöistä, joita esiintyy suuria määriä ja/tai eläimistä, jotka ovat erittäin melulle herkässä elämän tai elinvaiheessa,
- kyseessä on elinalue, jota kyseinen laji on tottunut käyttämään melulle herkässä elämän tai elinvaiheessa eivätkä eläimet löydä vastaava aluetta, jossa meluvaikutuksia ei ole,
- melun odotetaan aiheuttavan säännönmukaisesti kuolleisuutta tai muita vakavia haittoja, kuten sairauksia, psyykkistä stressiä, lisääntymisen vähentymistä tai hidastavan nuorten yksilöiden kasvua (lähinnä emojen ruokinnan vähentymisen vuoksi),
- vaikutukset vaarantavat kyseisen lajin henkiinjäämisen.

Pahimmat lentomeluvaikutukset on todettu sotilaskoneiden matalalentoharjoitusalueilla. Myös helikopterilentojen (lentävät usein paljon matalammalla kuin lentokoneet) ja lentokoneiden ylläänipamausten on raportoitu aiheuttavan suurempia vaikutuksia kuin tavanomaisen lentoliikenteen.⁶⁸⁴ Tutkimustulokset ovat kuitenkin hyvin vaihtelevia ja erilaisia eri eläinlajeille.

Lentoliikenteen melun vaikutuksia luonnossa maaperään pidetään harvinaisina ja mitättömänä. Ulkomaisissa ympäristövaikutusselvityksissä on mainittu yleisön epäilevän, että esimerkiksi vuoristoisilla alueilla lentoliikenne saattaisi aiheuttaa lumivyöryjä.

Lentokentillä voidaan katsoa olevan myös myönteisiä vaikutuksia luontoon ja eläinten elinoloihin. Kentät tarjoavat monille lajeille suotuisan elinympäristön.

4.18 MELUVAIKUTUSTEN REVERSIIBELIYS

Prosessia, joka muutoksen jälkeen korjautuu tai palautuu ennalleen tahi voidaan korjata tai palauttaa ennalleen kutsutaan reversiibeliksi. Kun arvioidaan, miten ulko- ja/tai sisämelualtistuksen muutokset – kasvu ja vähentyminen – vaikuttavat erilaisiin meluvaikutuksiin, olisi tiedettävä, missä määrin vaikutus on reversiibeli. Esimerkiksi: jos ulkomelutaso ensin nousee A_1 päivän tai vuoden sisällä Y_1 desibeliä ja sitten laskee A_2 päivän tai vuoden sisällä saman Y_1 desibeliä, palautuuko (ja missä ajassa) vaikutuksen voimakkuusaste, vaikutuksen tilastollinen esiintyvyys ja uusien tapausten ilmaantuvuus entiseksi? Voidaan myös kysyä: miten altistettujen reagointiherkkyys on mahdollisesti muuttunut? Ilmaantuuko vaikutus melun uudelleen muuttuessa herkemmin, epäherkemmin vai entisellä herkkyydellä?

On syytä esittää myös seuraava kysymys: jos melualtistus sisätiloissa kasvaa ensin Y_1 desibeliä ulkomelun kasvun vuoksi ja sitä alennetaan sittemmin Y_1 desibeliä parantamalla rakennuksen (rakennusten) ulkokuoren ääneneristävyyttä, palautuvatko vaikutukset ennalleen?

Näihin kysymyksiin ei löydy yksikäsitteisiä kaikkiin vaikutuksiin päteviä vastauksia. Tiedetään, että altistetut usein ylireagoivat muutoksiin melutasoissa tai liikennemäärissä. Melun tai liikenteen kasvaessa esimerkiksi kiusallisuus kasvaa suuremmaksi kuin on asuinalueilla, joilla on pitkään vallinnut sama L_{Aeq} -tyyppinen melutaso kuin on uudessa, muuttuneessa tilanteessa. Vastaavasti melun tai liikenteen vähentäminen (etenkin altistettujen ”painostuksesta”) johtaa usein siihen, että uudessa tilanteessa esimerkiksi suuresti kiusaantuneiden esiintyvyys (%HA) on jonkin aikaa alhaisempi, kuin on muutoin vastaavissa, mutta melultaan pitkään uutta tilannetta vastaavissa oloissa.⁸²

5 RAKENNUSTEN ÄÄNENERISTÄVYYS LENTOMELUA VASTAAN

Rakennusosan *ääneneristävyys* (engl. sound reduction index), R [dB], määritellään siihen kohdistuneen äänitehon, P_1 [W], ja sen läpäisseen (eli sen säteilemän) äänitehon, P_2 [W], suhteen, eli *läpäisysuhteen* $\tau = P_2/P_1$, avulla,

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}. \quad (14)$$

Tehoja P_1 ja P_2 ei pystytä mittaamaan suoraan. Huomattakoon, että ohilennon aikana molemmat vaihtelevat ajallisesti ja vaihtelevat eri tavoin eri taajuuksilla. Toisin sanoen suhde P_1/P_2 ei ole ajallisesti vakio. Rakennusosien *ääneneristävyys*, R , on lisäksi eri suuri eri taajuuksilla. Yleinen oletus on, että tietyn rakennusosan ja tyyppirakenteen *ääneneristävyys* olisi sille ominainen, ympäristöstä riippumaton vakio. Näin ei kuitenkaan ole.

Rakennusosaan kohdistuvan ja sen säteilemän äänitehon mittaamiseen on esitetty monia likiärvokaavoja, joissa lähtösuurena on kohdistuvan äänen ja läpäisseen äänen äänenpainetasot L_1 ja L_2 [dB]. Joitakin kaavoja on esitetty jäljempänä.

Rakennuksiin kohdistuva lentomelu on peräisin ilmassa tai maassa liikkuvista, vastaanottopisteestä katsottuna pienikokoisista suuntaavista melulähteistä. Ohilennon aikainen rakennukseen kohdistuvan melun hetkellinen voimakkuus, tulokulma ja spektri vaihtelevat ajallisesti. Nämä kaikki seikat vaikuttavat rakennukseen kohdistuvaan hetkellisen melun voimakkuuteen ja spektriin, mutta myös sisämelun hetkelliseen voimakkuuteen ja spektriin. Rakennuksen ulkokuoren *ääneneristävyys* (äänenvaimennuskyky) riippuu äänen tulokulmasta.⁷¹⁴ Muun muassa tästä tulokulmariippuvuudesta johtuen ulko- ja sisämelun hetkellinen arvo voi saavuttaa suurimman arvonsa (esim. L_{AFmax} -tason) eri aikana.⁷¹⁵ On todennäköistä, että ohii/ylilennon aikainen ulko- ja sisämelun enimmäistasojen erotus poikkeaa vastavasta L_{Aeq} -tasojen erosta. Lukuarvoltaan ulkokuoren painotettu *ääneneristävyys*, R'_w , poikkeaa molemmista.

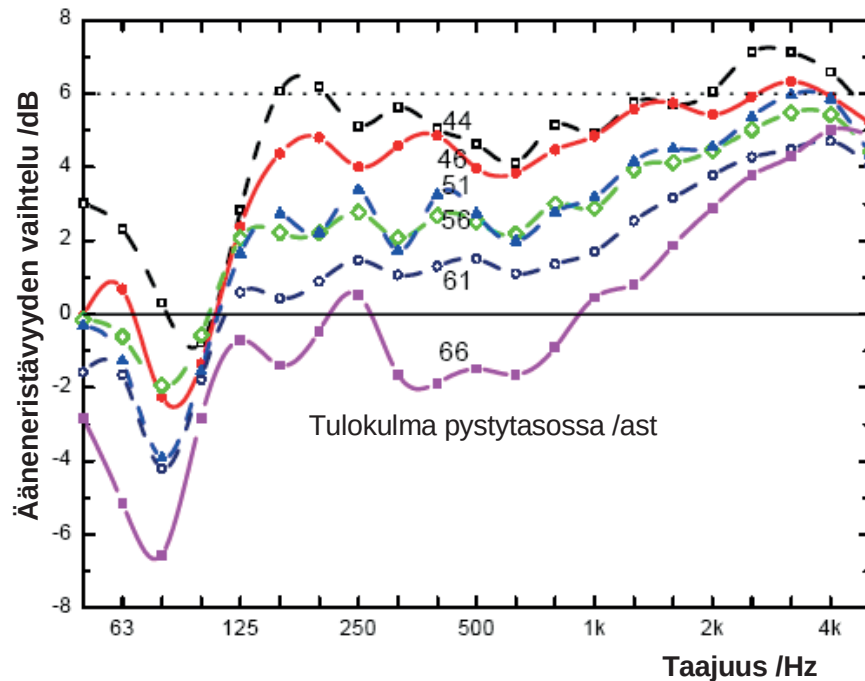
Yleensä melulähde, lentokone, on melko kaukana, vähintään useiden satojen metrien etäisyydellä, rakennuksesta. Sääolot vaikuttavat äänen etenemisvaimentumiseen sitä enemmän, mitä pitempi etenemismatka on. Koska sääolot vaihtelevat, etenemisvaimentuminenkin vaihtelee ja tämä vaihtelu vaikuttaa kulloisenkin ohilennon meluun sekä rakennuksen ulkopuolella että sisäpuolella.

Äänen heijastuminen rakennuksen seinästä vaikuttaa siihen äänitasoon ($L_{1,free}$), joka rakennuksen seinän kohdalla ja seinän edessä olisi ilman rakennusta. Esimerkiksi ISO 1996-2:2007-standardin⁷¹⁶ liitteessä B on esitetty oletus

$$L_{1,free} = L_{1,near} - 3 = L_{1,facade} - 6 \text{ dB}, \quad (15)$$

jossa $L_{1,free}$ on vapaakenttätaso eli taso ilman rakennuksen seinän heijastusta [dB], $L_{1,near}$ taso ”lähellä seinää” [dB] ja $L_{1,facade}$ taso seinän pinnalla [dB]. Liitteessä on esitetty äänilähdettä (koko, sijainti) ja mittauspisteen etäisyyttä koskevat ehdot, joiden sisällä kaava (15) on voimassa. Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että ISO-standardin kaavan (15) voimassa oloa koskevat ehdot ja oletukset eivät ole yleispäteviä.^{717, 718, 723, 719, 720, 721, 722}

Kuvassa 33 on esimerkki mitatuista arvoista tulokulman funktiona.⁷²³ Kuvassa on verrattu rakennuksen pinnalle asennetun mikrofonin indikoimaa terssipainetasoa [$L_{1,facade}$ kaavassa (15)] 8,5 m korkeudella maan pinnasta vapaakentässä [ei rakennusta lähellä, $L_{1,free}$ kaavassa (15)] mitattuun. Parametrina on lentokoneen ohilennon korkeuskulma (0° olisi seinän normaalin suunta). Mitä korkeammalla kone on (esim. 66°), sitä lähempänä äänitaso on vapaakenttäarvoa, lukuun ottamatta pieniä taajuuksia. Niillä suoran äänen ja maanpinnasta heijastuneen äänen interferoituminen muuttaa kovin eri tavoin 8,5 m korkeudella ja seinällä mitattua äänenpainetasoa.



Kuva 33: Esimerkki rakennuksen seinään kohdistuvan lentomelun ja saman melun vapaakenttäarvon erosta eri terssikaistoilla. Yleensä rakennuksen ulkokuoren ääneneristävyyden mittausten menetelmät olettavat eron olevan 6 dB kaikilla taajuuksilla. Lentokone: Fokker F28 suihkumatkustajakone⁷²³

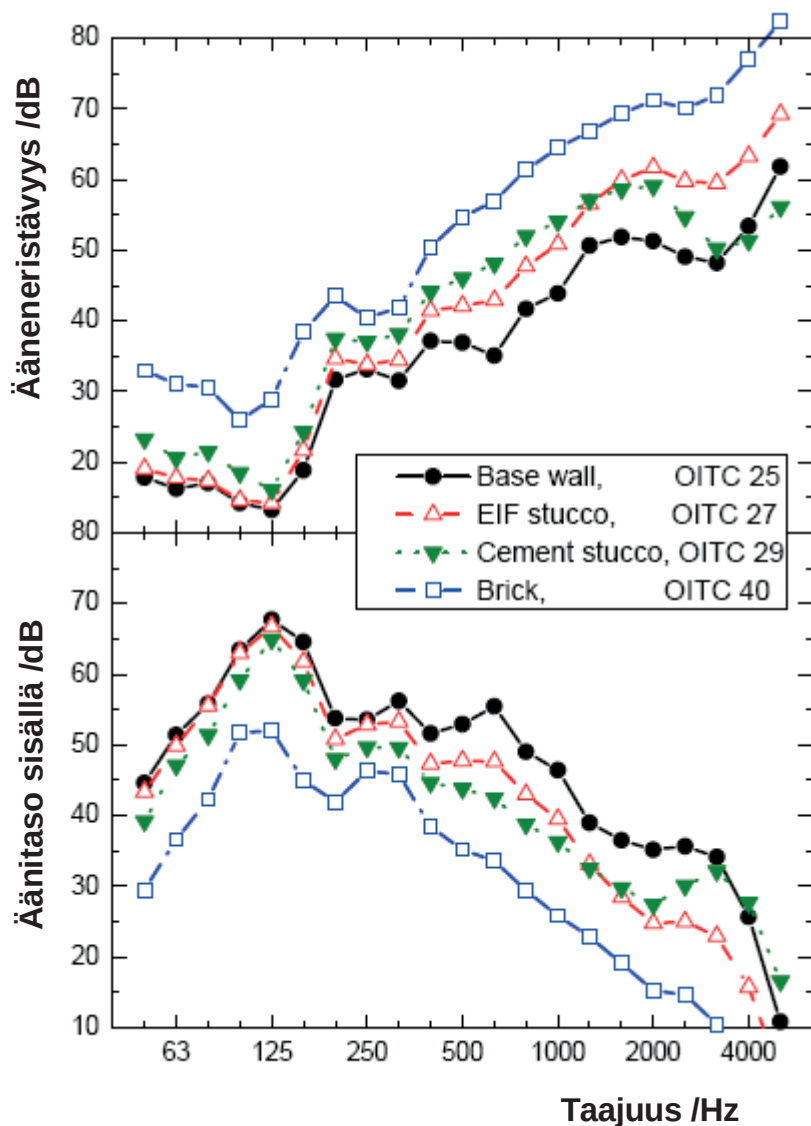
Ääneneristävyyden tulokulmariippuvuus näkyy muun muassa siten, että ulkoseinään kodistuva ja sisällä vallitseva äänitaso sekä niiden erotus riippuvat koneen suunnasta ulkoseinään nähden. Suunta voidaan kytkeä siihen aikaan, jona melu on kuultavissa sisällä. Molemmat tasot ja niiden erotus (äänenvaimentuminen) riippuvat täten ajasta ja mittauksen kestostosta (integraation ajasta).⁷²⁴

Rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden tulokulmariippuvuus voidaan mitata myös resiprookisesti eli käänteisesti. Tällöin äänenesäteilyltään suuntaukseton kaiutin on sisätilassa. Ulkona kaiuttimen tuottamaa (seinän säteilemää) ääntä mitataan halutussa suunnassa seinästä hyvin suuntavaalla mikrofoniryhmällä (mikrofoniantennilla).⁷²⁵

Kuvassa 34 on esimerkki neljän eri seinän mitatusta ääneneristävyydestä ja tyyppikoneen ohilennon sisämelutason spektristä. Sisämelun spektrit ovat A-taajuuspainotettuja. Kaikissa seinissä on samanlainen puurunko (ja kipsikartonkilevyt molemmien puolin + lämpöeristys välissä), mutta ulkopinnan verhous on erilainen (ks. kuvateksti).⁷²³ Rakenteet ovat Kanadassa tyypillisiä sekä pien- ja rivitaloissa että enintään 3 – 4 kerroksissa kerrostaloissa. Kuvan tarkoitus on esittää kahta asiaa: a)

sisämelun äänekkyys on peräisin pienitaajuisesta melusta ja b) seinärakenteen massan lisäys parantaa eristävyttä. Sisämelu on määritetty kanadalaista lentomelun mallispektriä^{726, 715} käyttäen.

Yleensä ikkuna on ulkokuoren ääneneristävyyden ”heikoin lenkki” (lentomelulle katto saattaa olla heikoin lenkki, kun ikkunat kiinni). Etenkin kesäaikaan asukkaat haluavat pitää ikkunoita jatkuvasti auki ja monet pitävät, jos melun tai muiden ympäristötekijöiden vuoksi mahdollista. Jo melko pieni aukipitorako (n. 20...25 mm) alentaa ikkunan äänenvaimennuskykyä 10... 15 dB(A).⁷¹⁵



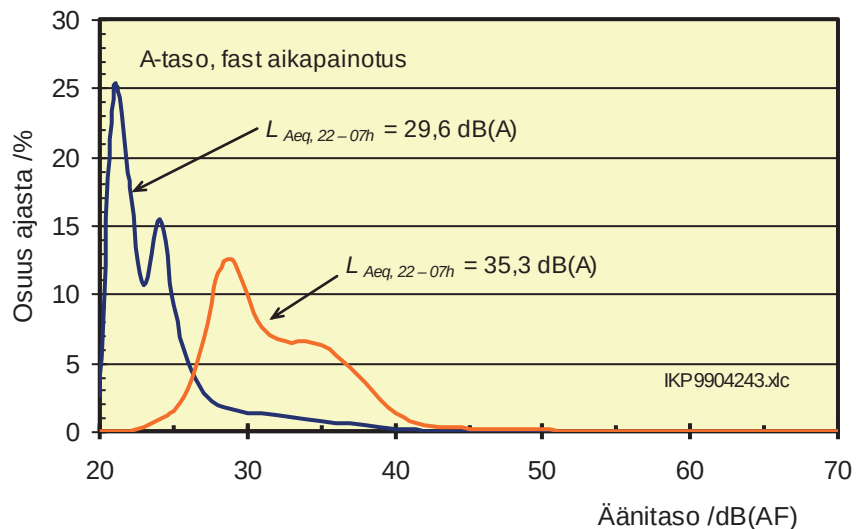
Kuva 34: Esimerkki neljä eri ulkoseinän mitatusta ääneneristävyydestä ja niitä vastaavat mallikoneen lentomelun A-painotut terssispektrit sisällä. Base wall: peruseinä (puurakenteinen) ilma ulkopinnoitusta; EIF-stucco: EIF-rappaus; Cement stucco: sementtirappaus; Brick: tiiliverhous. OITC on seinän ääneneristävyys OITC-lukuna.⁷²³

Kirjallisuudessa julkaistut rakennusten ulkokuoren ja ikkunoiden tyypilliset arvot vaihtelevat melko paljon. Esimerkiksi USA:ssa 1970-luvulla tehdyssä tutkimuksessa päädyttiin siihen, että maan lämpimissä osissa (Florida) ikkunoiden keskimääräinen äänenvaimennus (ulko- ja sisämelun A-tason ero) oli 22,4 dB(A). Kylmissä osissa (New York) ero oli 26,4 dB(A). Molemmat luvut pätevät suljetuille ikkunoille.⁷¹⁵

UK:ssa lentomelun unihäiriötutkimuksen yhteydessä tehtyjen mittausten mukaan asunnon ulko- ja sisämelun äänitason ero oli yhdeksän asunnon keskiarvona ikkunoiden ollessa kiinni 32,2 dB(A) ja ikkunoiden ollessa auki 27,3 dB(A).⁷²⁷ Tässä tutkimuksessa havaittiin, että lentomelualueilla rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden oli jonkin verran parempi kuin asuntoalueilla, jotka luokiteltiin hiljaisiksi.

Jälkikäteen tehdyissä ulkokuoren ääneneristävyyden parantamishankkeissa tulokset ovat vaihdelleet suuresti. Esimerkiksi Missouriissa ohilentojen sisämelun SEL taso aleni $-4,0 \dots +8,3$ dB(A), ollen keskimäärin 3,3 dB(A).⁷¹⁵ Saavutettavissa oleva parannus riippuu tietysti talon alkuperäisten rakenteiden äänenvaimennuskyvystä, ei ainoastaan siitä, mikä on parannettujen rakennusosien (esim. ikkunan) äänenvaimennuskyky.

Kuvassa 35 on esimerkkinä ulkokuoren vaimennuskyvyn parantamisesta mittaus-tulos, jossa esitetään (yöajan katuliikenteen) sisämelun L_{AF} -tason yhden yön (perjantain ja lauantain vastainen yö) jakautuma ennen ($L_{Aeq, 22-07h} = 35,3$ dB(A)) ja jäl-keen ($L_{Aeq, 22-07h} = 29,6$ dB(A)) eristävyyden parantamisen. Molemmissa tapauksis-sa $L_{AF} = 45$ dB(A) ylityksiä oli kovin vähän. Huomiota kannattaa kiinnittää jakau-tuman muodon muuttumiseen.



Kuva 35: Esimerkki siitä, miten rakennuksen ulkoseinän ääneneristävyyden parantami-nen muutti ulkoa sisään kuuluvan yöaikaisen katuliikennemelun L_{AF} -tason tilastollista jakautumaan ja $L_{Aeq, 22-07h}$ -tasoa.

Hollannissa tutkittiin rakennusten parannetun ulkokuoren ääneneristävyyden ja il-manvaihdon vaikutuksia Schipholin kentän ympäristön asuntojen ($N = 92$) sisäme-lun ja ilman saasteiden pitoisuuksiin. Parannusten ei todettu vaikuttaneen tilastolli-sesti merkittävästi lentomelun kiusallisuuteen eikä olohuoneissa mitattuihin ilman-saasteiden pitoisuuksiin.⁷²⁸

Suomessa ympäristöministeriö on julkaissut rakennusten ulkokuoren ääneneristä-vyyden mitoitusoppaan.¹⁰² Lentomelulle suositellaan eristävyysvaatimusta lasket-taessa samaa spektrisovitustermiä (C_{tr}) kuin tieliikennemelulle. Rakennuksiin kohdistuvan lentomelun spektrit voivat kuitenkin vaihdella melko paljon ja voivat erota C_{tr} :n perusteena olevasta tieliikennemelun tyyppispektristä. Esimerkiksi eri lentokoneiden sekä saman koneen nousu- ja laskeutumisen spektrit ovat ainakin jossain määrin erilaisia.^{729, 730}

Saksassa on DIN-standardi ulkokuoren ääneneristävyyden mitoitukseen.⁷³¹ EU:ssa on julkaistu harmonisoitu standardi rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden mitoitamiseen.⁷³² Norjassa on julkaistu rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden määrittämisen käsikirja.⁷³³ Kanadassa on tehty kaupallinen tietokoneohjelma rakennusten ulkokuoren lentomelun ääneneristävyyden laskentaan.⁷³⁴ Kaikki edellä mainitut menetelmät perustuvat hieman erilaisiin algoritmeihin (laskentamenetelmiin, kaavoihin) eli on syytä varautua siihen, että tulokset eroavat toisistaan jossain määrin.

Hollannissa tutkittiin alustavana osana tohtoritason väitöskirjatyötä, miten matalalla lentävän koneen äänitaso ja spektri erosivat kiitotien pään läheisyydessä lentoreitin sivulla olleen rakennuksen julkisivuilla. Päädyttiin siihen, että rakennusten muotoilulla ja sijoittelulla voidaan aikaansaada laskeutumisreittien sivuilla jopa 12 – 14 dB eroja reitin (koneen) ja talon suojan puolen seiniin kohdistuvaan lentomeluun. Tutkijat ehdottavat, että pitäisi perustaa erityinen akustiikan tutkimusala ”lentomelu-akustiikka taajamaympäristössä”*,⁷³⁵

Ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuus suhteessa ulkomeluun ja sisä-äänikentän rakenne riippuvat ulkokuoren ääneneristävyyden lisäksi huoneen koosta, muodosta ja kaiuntaisuudesta. Nukkuvaa altistavan melun osalta myös etäisyys ikkunaan (ulkoseinään) vaikuttaa. Ruotsissa tehty laboratoriotutkimus⁷³⁶ ($N = 12$) viittaa siihen, että kaiunta-aika saattaisi vaikuttaa siihen, miten melutapahtumat vaikuttavat uneen. Kaiunta-ajan lyhentäminen paransi tutkimuksen mukaan unen laatua osalla tutkituista. Tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden määrä on hyvin pieni ja muistettakoon, että laboratoriossa tehtyjen unitutkimusten unihäiriövasteet ovat yleensä herkempiä kuin kotiooloissa tavataan.

Saksalaisessa tutkimuksessa päädyttiin siihen, että kaiunta-ajalla (0,42 s, 0,12 s ja tavanomainen kodin makuuhuone) ja taustamelun voimakkuudella (L_{Aeq} 24,9 dB, 19 dB ja tavanomainen kodin makuuhuone) ei ollut vaikutusta unen tehokkuuteen (sängyssä vietetty aika/aika unessa), mutta oli lievää vaikutusta unen rakenteeseen. Syvän unen aika oli pisin laboratoriohuoneessa, jonka kaiunta-aika oli 0,12 s ja taustamelu 19 dB.⁷³⁷

Usein oletetaan, että rakennuksen ulkokuoren ääneneristävyyden parantaminen vähentäisi unihäiriöitä. Japanissa tehdyssä tutkimuksessa päädyttiin siihen, että itse arvioitujen unihäiriöiden määrä ei eronnut merkittävästi asunnoissa, joissa oli tehty ulkokuoren eristävyyden parantaminen ja asunnoissa, joissa ei oltu tehty. Asukkaat eivät kokeneet eristyksen parantamisen vähentäneen ulkoa sisään kuuluvan melun puuhenkärintääkään.^{738, 739, 740} Tuloksien yleistettävyyttä kyseenalaistaa se, että hetkellinen ulkomelun melutaso on ylittänyt osalla lentokoneita 110 dB(A). Ulkokuoren ääneneristävyyden parantamisen jälkeenkin osalla koneista sisään kuuluva melu lienee voimakasta. Raporteissa ei kerrota paljonko eristävyyttä parannettiin tai, mikä oli ulkoa sisään kuuluvan melun voimakkuus ennen ja jälkeen eristyksen parantamisen. Tämä tutkimus on referoitu esimerkkinä tarkoituksella kiinnittää lukijan huomio siihen, että on aina syytä käydä tarkoin läpi alkuperäinen julkaisu ja selvittää, missä määrin tulokset ovat siirrettävissä Suomessa tyypillisiin oloihin tai niihin oloihin, jotka vallitsevat kulloisessakin kohteessa. Muistettakoon myös, että muun muassa ulkomelun voimakkuus ja ilmasto vaikuttavat ikkunoiden aukipitotapoihin ja tätä kautta siihen sisämelun voimakkuuteen, joka vaikuttaa itseraportoituun unenhäirintään.

* engl. urban aircraft acoustics

6 MELUVAIKUTUSTEN RIIPPUVUUDESTA KIIOTOTEIDEN JA LENTOREITTIIEN KÄYTTÖSUHTEESTA JA LENTO-MÄÄRISTÄ ERI REITEILLÄ

6.1 KIIOTOTEIDEN JA LENTOREITTIIEN KÄYTÖN VAIHTELU

Turvallisuussyistä koneet nousevat ja laskeutuvat yleensä vastatuuleen. Tällä pyritään siihen, että koneen siiven nopeus olisi etenemissuunnassa ympäröivään ilman nähden mahdollisimman suuri. Mitä suurempi nopeus, sitä suurempi nostovoima siivellä on. Etelä- ja Keski-Suomessa yleisin tuulen suunta on lounaasta. Tarkasteltaessa kentälle tehtyjen laskeutumisten ja nousujen vuotuista jakaantumaa, yhdellä kiitotiellä on kaksi mahdollista, toisilleen päinvastaista nousu- ja laskeutumissuuntaa. Lennonjohdolisesti nämä erotetaan eri kiitoteiksi. Esimerkiksi, jos meillä olisi itä-länsisuuntainen kiitotie, sen lentotekniset kiitotiet voisivat olla nimetty kiitoteiksi 09 ja 27. Numeroarvot ovat ilmansuunnat (koneen nokan suunta nousussa ja laskussa) kymmenen asteen tarkkuudella. 09 eli 90° on itä ja 27 eli 270° on länsi. Itätuulella (tuulen suunta idästä lähteen) koneet nousevat radalta 09 ja laskeutuvat sille. Sivutuulella lennonjohto päättää nousun ja laskeutumisen suunnan. Tällöinkin turvallisuus on pätevä.

Yhdeltä lentokentältä lähtee liikennettä useille eri suunnissa oleville kentille ja kentälle tulee lentoja useasta ilman suunnasta. Kentän lähi-ilmatila on jaettu ohjeellisiin reitteihin, joita pitkin lähtevät ja tulevat koneet ohjataan. Nousevat koneet suuntaavat usein lentonsa määränpään suuntaan jo nousun aikana, mutta laskeutuvat koneet hakeutuvat kiitotien jatkeelle jo 15 – 25 km ennen kiitotien päättämistä. Koko maan ilmatila on jaettu (ilmatilakartoissa) ohjeellisiin kenttien välisiin reitteihin tai lentoväyliin, joilla lentämistä ohjataan esimerkiksi lentomajakkoilla, nykyisin myös automaattisen suunnistuslaittein, kuten GPS-laitteilla. Lentomajakka on radiolähetin, jonka suunnan koneen radiolaitteisto suuntii ja näyttää lentäjälle.

Tuulen pitkän ajan suuntatilasto on yksi niistä syistä, jotka vaikuttavat kentän kiitoteiden ja reittien käyttösuhteisiin. Monilla kentillä on lisäksi pysyväisohjeita, joilla rajoitetaan kiitoteiden ja reittien käyttöä muun muassa meluhaittojen vähentämiseksi. Pyritään esimerkiksi vähentämään lähellä kenttää olevien asuntoalueiden tai hautausmaan yllentoja ohjaamalla lennot – aina kun on mahdollista – reiteille, joilla lento aiheuttaa mahdollisimman vähän haittoja.

Lentojen ohjaamisesta eri kiitoteille ja reiteille on tullut yksi lentokenttien *melunhallinnan* työkalu. Tässä melunhallinnassa – tai oikeammin *meluvaikutusten hallinnassa*, jota melunhallinnalla tavoitellaan – joudutaan tarkastelemaan, miten meluvaikutukset riippuvat kiitoteiden ja reittien käyttösuhteista eli siitä, miten lennot jakaantuvat määrällisesti ja ajallisesti kiitoteille ja reiteille.

Melunhallinnassa tarkastellaan lentotapahtumien melua ja sen esiintymistä. Esimerkiksi laskentamalleja käyttäen tutkitaan, miten kentän päivä- ja yöajan melualueiden rajojen kulku riippuu siitä, miten lennot jakaantuvat eri kiitoteille ja reiteille. Pyritään hakemaan kiitotiet ja reitit, jotka tuottavat mahdollisimman alhaisia melutasoja tai pieniä vuotuisia melutapahtumamääriä niillä kentän ympäristön alueilla, joilla melua halutaan vähentää (hallita). Tuloksena saadut reittivalinnat merkitään kentän yleisiin lento-ohjeisiin ja lennonjohdon ohjeisiin.

6.2 MELUVAIKUTUSTEN RIIPPUVUUS MELUN JA MELUALTISTUKSEN VAIHTELUSTA VUODEN ERI PÄIVINÄ

Kiitoteiden ja reittien käytön vaihtelu aiheuttaa melu vaihtelua vuoden eri päivinä. Kuvassa 2 (sivu 23) on esimerkki päivittäisen L_{DEN} -tason vaihtelusta noin 6 km etäisyydellä erään kentän (Arlanda, Tukholma) kiitotien päästä kahden vuoden aikana. Osa tästä vaihtelusta johtuu päivittäisten lentojen määrän ja konetyyppien vaihtelusta, osa kiitoteiden ja reittien käyttösuhteen vaihtelusta.

On syytä kysyä, missä määrin eri meluvaikutukset riippuvat ulkomelun vaihtelusta asuinalueella, jolla ulkomelu vaihtelee päivittäin kuvan 2 tapaan? Lentokentän ympäristön asukkaille kertyy tietoa ja kokemusta melusta ja sen vaihtelusta. Syntyy myös odotuksia tulevasta melusta. Osa asukkaista on yleensä päivisin töissä tai muusta syystä poissa asunnostaan, mistä syystä he eivät altistu asuinalueensa melulle ollessaan muualla. Altisvan lentomelun voimakkuus on erilainen ulkona ja sisällä asunnossa. Asukkaiden todellinen henkilökohtainen lentomelualtistus (esim. meluannosmittarilla mitattu) sekä heidän omat päivittäiset arvionsa melun voimakkuudesta ja ominaisuuksista saattavat poiketa suuresti kuvan 2 esittämästä. Lisäksi muistinvarainen arvio menneisyydessä esiintyneestä haitalliseksi koetusta melusta ja sen kiusallisuudesta on yleensä voimakkaampi kuin se arvio, joka olisi tehty samasta melusta todellisessa eli akuutissa altistustilanteessa.^{741, 742, 743, 744} Samoin on yleistä, että uusien lentokenttien ja laitosten melu ja sen vaikutukset arvioidaan suuremmiksi kuin arviot samasta melusta ja sen vaikutuksista todellisessa altistustilanteessa.^{80, 745, 303}

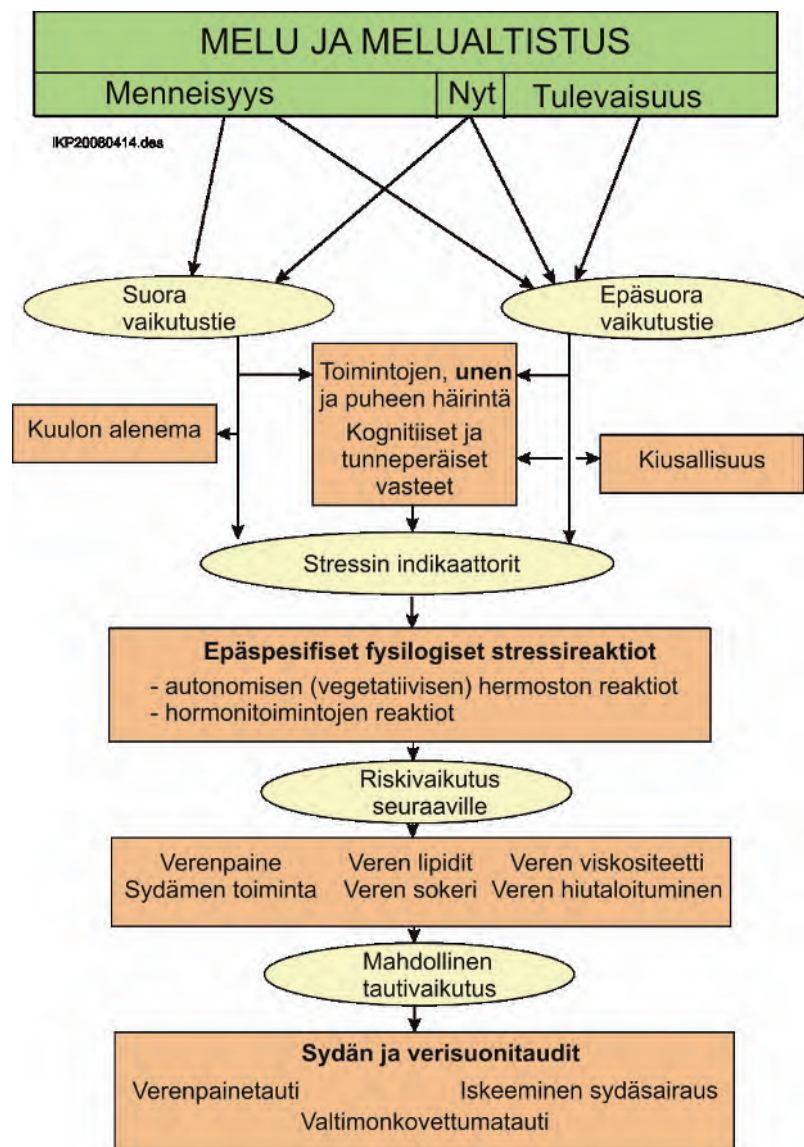
Kuvassa 36 on esitetty kaaviollisesti meluvaikutusten yhteys menneisyydessä, nykyisyydessä ja tulevaisuudessa tapahtuvaan melualtistukseen. Vaikutusten arviointia vaikeuttaa se, että on kolme altistavaa ajallista komponenttia: menneisyys, kulloinkin kulumassa oleva hetki ja tulevaisuus sekä kaksi vaikutustietä: suora ja epäsuora. Menneisyyden altistus on vaikuttanut sekä suoraa että epäsuoraa tietä pitkin. Kulumassa olevan hetken melukin vaikuttaa molempia teitä, mutta tulevilla melulla on vain epäsuora vaikutus.

Menneisyydessä kuultu melu ja melualtistus ovat aiheuttaneet oppimista, joka ilmenee joko tottumisenä meluun tai päin vastaisena reaktiona: kielteisen asennoitumisen kasvuna. Tottuminen näkyy selvästi esimerkiksi tiedostettujen heräämisten todennäköisyydessä. Pääsääntöisesti todennäköisyys herätä alenee.⁷⁴⁶ Meluun ”oppiminen” näkyy myös elämäntapojen ja -olojen sopeuttamisena vallitseviin meluoloihin (engl. coping-vaste, ks. kuva 5, sivu 29). Tottuminen ilmenee myös kykynä olla (tietoisesti tai tiedostamatta) havaitsematta ääniärsyksiä ja erityisesti kykynä olla tekemättä eroja korostavia vertailuja aiempiin tai samanaikaisiin muihin melukokemuksiin.^{747, 326, 748}

Kuvassa 36 käsite nykyisyys (”nyt”) eli se melutapahtumaan sidottu aikajänne, jonka sisällä tapahtuman vaikutuksen täytyy ilmetä ollakseen ko. melun aiheuttama, riippuu tarkasteltavasta vaikutuksesta. Kyse on useimmiten sopimuksesta, jolle ei ole yksikäsitteistä tieteellistä perustetta. Kun tarkastellaan yhtä ylilennon tapaista melutapahtumaa, akuutin vaikutuksen on tyypillisesti ilmentävä

- EEG-havahtuminen: melutapahtuman aikana tai välittömästi sen jälkeen, 3–15 s kestänyt palautuva muutos, jonka aikana aivosähkökäyrät muistuttavat valvetilaa (lisäksi yleensä muutoksia mm. lihasjännityksessä).^{354, 367, 369}

- EEG-herääminen: melutapahtuman aikana tai heti sen jälkeen, 15 – 90 s kestänyt palautuva muutos, jonka aikana aivosähkökäyrät muistuttavat valvetilaa. Lisäksi samaa aikajänteen sisällä palautuvia muutoksia mm. lihasjännityksessä, verenpaineessa ja sykkeessä.^{354, 367, 369}
- Tiedostettu herääminen: noin 90 % spontaanisti tai meluun heräämisistä päättyy uudelleen nukahtamiseen 3 – 3,5 minuutin sisällä heräämisestä ja noin 50 % puolen minuutin sisällä.³⁹¹
- Motiliteetti eli melutapahtuman aiheuttama nukkujan kehon tai raajan liike tai liikesarja, joka katsotaan kyseisen melutapahtuman aiheuttamaksi, jos se ilmenee tapahtuman aikana tai enintään noin 30 s sisällä tapahtuman loppumisesta (joissain tutkimuksissa 60 s).^{749, 750}



Kuva 36: Kaaviollinen esitys meluvaikutusten riippuvuudesta melun ja meluallistuksen vaihtelusta pitkän aikavälin sisällä. Lentomelusta puhuttaessa vaihtelun syynä on usein kiitoteiden ja reittien käytön riippuvuus sääoloista ja sääolojen vaihtelusta.

Krooniset vaikutukset ilmenevät menneisyydessä tapahtuneen altistuksen tuloksena. Esimerkiksi melun vuoksi ilmenevä sydän- ja verisuonitautien ilmeneminen edellyttää vuosia kestävästä toistuvasta ja jatkuvasta altistumisesta. Tutkimustietoa ei ole löytynyt siitä, miten eri pituiset (vuorokausia, viikkoja, kuukausia kestävät) tauot altistuksessa vaikuttavat riskiin. Yhden meluyön jälkeen (esim. laboratorioaltistus) stressihormonien tasapaino palautuu, jos melualtistus loppuu kokonaan, yleensä jo yhdessä vuorokaudessa normaalikiertoon. Tästäkään (palautumisesta) ei tehdyssä kirjallisuudessa löydetty lentomelun vaikutustutkimuksia.

Kiusallisuuden kyselytutkimuksissa viitekehyksenä on nykyisin melu, melualtistus ja niiden aiheuttama kiusallisuus viimeisen vuoden ajalta. Tiedetään, että yleensä liikennemeluilla liikenteen määrä (so. kuulo- ja näköhavaintoihin perustuva määrä) vaikuttaa voimakkaammin arvioihin kuin saman keskiäänitason muutoksen tuottava muutos ajoneuvojen melupäästön voimakkuudessa. Erityisen korostunut määrän vaikutus on tulevaa melun haitallisuutta arvioitaessa.⁸⁰

6.3 PITKÄN AJAN L_{Aeq} -TYYPPINEN TASO MELUVAIKUTUSTEN INDIKAATTORINA

Aikoinaan, kun 1960- ja 1970-luvulla haettiin mahdollisimman hyvää yleispätevää meluhaittojen indikaattoria – lentomelun vaikutustutkimus oli silloin usein tien näyttäjänä – päädyttiin A-taajuuspainotettuun ekvivalentti- eli keskiäänitasoon, joka on englanniksi equivalent continuous sound level, symbolina L_{Aeq} . Suomen nettuna nimitys on samanarvoinen jatkuvan (eli tasaisen, tasoltaan vakion) melun A-äänitaso. Aluksi käytettiin eri lukuarvoja päivä- ja yöajan L_{Aeq} -tasaille, kuten edelleenkin on tapana monissa maissa; myös Suomessa.

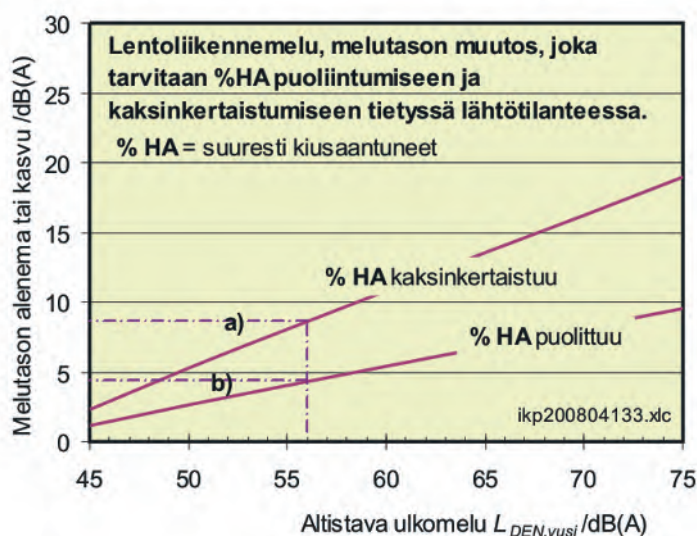
ICAOn ensimmäistä meluohjetta (Annex 16, vuodelta 1971)⁷⁵¹ valmistellut työryhmä, kuten myös ISO R 1996:1971-standardia⁷⁵² valmistellut työryhmä esittivät menetelmät, joissa erilaisia painotuksia käyttäen voitiin määritellä yleispätevä meluhaittaindikaattori, joka luokitteli yhdellä lukuarvolla melun voimakkuuden haitallisuuden kannalta. ICAOn ja ISON menetelmät poikkesivat muun muassa erilaisten korjausten osalta toisistaan. Nykyinen L_{DEN} -taso ja L_{DN} -taso ovat perua näistä esityksistä. Menetelmät perustuivat oletuksiin tai tulkintoihin, joiden tueksi ei ollut kovin vahvaa tieteellistä näyttöä.

Kuten tässä raportissa on jo aikaisemmin esitetty, niin yleisesti on hyväksytty, että pitkän ajan L_{Aeq} -tyyppinen taso, kuten koko vuoden päiväajan $L_{Aeq,07-22h, vuosi}$ tai $L_{DEN, vuosi}$ -taso, indikoi parhaiten useimpia kroonisia meluvaikutuksia ja erityisesti kiusallisuuden esiintyvyyttä. Taustalla on se, että suurin osa asuin ympäristön melusta, etenkin liikenne- ja teollisuusmelu, toistuu alueilla, joissa suurin osa altistetuista asuu, lähes samanlaisena ainakin arkipäivisin. Esimerkiksi EU:n ympäristömeludirektiiviin^{76, 753} $L_{DEN, vuosi}$ ja $L_{Aeq, yö, vuosi}$ valittiin ympäristömelun (ulkomelu) indikaattoriksi siksi, että niiden katsottiin olevan parhaat vaihtoehdot ottamaan huomioon myös sellaiset melut, joita esiintyy vain osan vuoden päivistä ja/tai öistä. Direktiivin liitteessä 1 tosin todetaan luvussa ”3. Täydentävät indikaattorit”, että voi olla hyödyllistä käyttää täydentäviä indikaattoreita tapauksissa, joissa

- tarkasteltava melulähde toimii vain pienen osan tarkasteluajasta (esimerkiksi alle 20 prosenttia koko vuoden päiväajoista, koko vuoden ilta-ajoista tai koko vuoden yöajoista,
- yhden tai useamman tarkasteltavan jakson aikana on keskimäärin hyvin vähän melutapahtumia (esimerkiksi vähemmän kuin yksi melutapahtuma

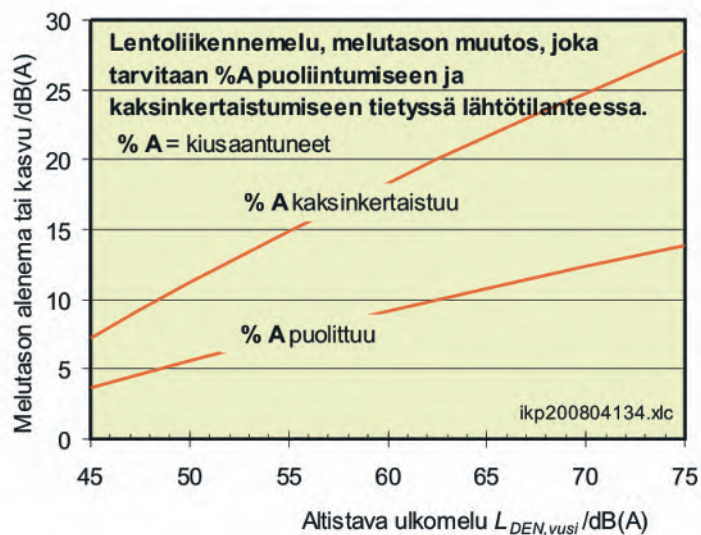
tunnissa; melutapahtumalla voidaan tarkoittaa alle viisi minuuttia kestävää melua, esimerkiksi ohikulkevan junan tai ylilentävän lentokoneen aiheuttamaa melua),

Tarkastellaan, miten kiusallisuuden esiintyvyys riippuu melutilanteen muutoksesta. Kuvassa 37 on esitetty kuinka suuri melutason muutos tarvittaisiin tietyssä lähtötilanteessa (taso vaakaa-akselilla) kuvan 11 vastekäyrien mukaan siihen, että lentomelusta suuresti kiusaantuneiden (%HA) esiintyvyys (prosenttiosuus) puoliintuisi tai kaksinkertaistuisi. Kuvassa 33 on vastaavasti esitetty millaiset muutokset tarvittaisiin melusta kiusaantuneiden (%A) esiintyvyyden puoliintumiseen ja kaksinkertaistumiseen.



Kuva 37: Melutason alentuminen tai kasvu, joka tarvitaan tietyssä lähtötilanteessa melusta suuresti kiusaantuneiden (%HA) esiintyvyyden puoliintumiseen ja kaksinkertaistumiseen. Esimerkiksi, jos $L_{DEN, vuosi}$ -taso on 56 dB(A), niin melusta suuresti kiusaantuneiden määrän puoliintuminen edellyttäisi tason alentumista noin 4,5 dB(A):lla ja taso saa kasvaa noin 8 dB(A), ennenkuin määrä kaksinkertaistuu (ks. viivat a) ja b) kuvassa).

Jos kentän viikoittainen melun tuotto ($L_{DEN, viikko}$) on vakio, niin kentän sulkeminen puoleksi vuodeksi alentaisi $L_{DEN, vuosi}$ -tasoa 3 dB(A). Kuvan 37 mukaan $L_{DEN, vuosi}$ -tason tulisi olla noin 50 dB(A), jotta melusta suuresti kiusaantuneiden määrä (%HA) puoliintuisi 3 dB(A) tason alentumisen vuoksi. Lähtötason ollessa tätä suurempi, 3 dB(A) melutason alentumisen tuottama %HA-alentuma on puoliintumista vähäisemmän parannuksen tuottava. Oletetaan tilanne, jossa lentoja olisi tietyllä reitillä vain 36 päivänä vuosittain ja että reitin ”alla” $L_{DEN, vuosi}$ -taso riippuu vain siitä, monenako päivänä vuosittain reitti on käytössä. Jos reittiä käytettäisiin 365 päivää vuodessa, L_{DEN} -taso kasvaisi 10 dB(A). %HA kaksinkertaistuu, kun lähtötaso 59 dB(A). Jos lähtötaso on pienempi, %HA kasvaa enemmän kuin kaksinkertaiseksi.



Kuva 38: Melutason aleneminen tai kasvu, joka tarvitaan tietyssä lähtötilanteessa melusta kiusaantuneiden esiintyvyyden puoliintumiseen ja kaksinkertaistumiseen.

7 MELUNTORJUNTATOIMIEN HYVÄKSYTTÄVYYS

Suomen meluntorjuntapolitiikka, mukaan lukien ympäristölupien ehtojen asettamisen perusteet (”filosofia”), lähtee siitä, että kaikki saman dB(A)-määrän muutoksen tuottavat meluntorjuntatoimet ovat vaikutustensa ja hyväksyttävyytensä kannalta samanarvoisia. Myös ympäristöministeriön esittämä, vuoteen 2020 ulottuva valtakunnallinen melustrategia^{754, 755} lähtee samanarvoisuudesta (jota ei kyseenalaisteta).

Hyväksyttävyydellä tarkoitetaan sekä altistettujen että muiden arvioita, käsityksiä, asenteita ja suhtautumista meluntorjuntatoimeen. Hyväksyttävyyttä voidaan mitata esimerkiksi pyytämällä henkilöitä arvioimaan eri vaihtoehtojen hyväksyttävyyttä pisteyttämällä koulutodistuksen arvosanojen (4 – 10) tavoin tai pyytämällä heitä asettamaan vaihtoehdot hyväksyttävyyssjärjestykseen. Hyväksyttävyyttä voidaan seurata myös hankkeiden uutisoinnista mediassa.

Koettu hyväksyttävyys modifioi (toimii moderaattorina) melun vaikutuksia, esimerkiksi kiusallisuutta. Mitä vähemmän hyväksyttävä vaihtoehto on, sitä vähemmän se vähentää kiusallisuutta suhteessa melutason alenemaan desibeleissä.

Monet seikat vaikuttavat tietyn melun vähentämistoimenpiteen hyväksyttävyyteen. Esimerkiksi lentoreitin muuttamisen hyväksyttävyys riippuu monista muistakin seikoista, kuin siitä, miten melun voimakkuus muuttuu. Punnittaessa eri vaihtoehtojen eroja ja paremmuutta, on syytä ottaa huomioon melutasomuutoksen lisäksi myös niiden hyväksyttävyys ja se, miten kyseisen toimenpiteen hyväksyttävyys vaikuttaa erilaisiin meluvaikutuksiin.

Monien maiden lainsäädännössä ja mm. EU:n asetuksessa 598/2014⁷⁵⁶ edellytetään, että kansalaisia (sidosryhmiä) kuullaan sellaisten hankkeiden toteuttamisessa, jotka vaikuttavat tai voivat vaikuttaa elinympäristön (lentokentän) meluun.⁷⁵⁷ Osallistumisen on todettu vähentävän melua ja meluoloja muuttavia hankkeita kohtaan osoitettua kielteisyyttä.^{758, 759, 760, 761, 762}

Meluntorjuntatoimien hyväksyttävyydestä ja siitä, miten hyväksyttävyys moderoi erilaisia meluvaikutuksia, on tehty kovin vähän tutkimuksia. Sen verran kuitenkin on tietoa, että asiaan – esimerkiksi siihen, millä keinoin hyväksyttävyyttä voitaisiin ennakoita ja parantaa (esimerkiksi asenteisiin vaikuttavalla tiedottamisella) – kannattaa kiinnittää huomiota. Esimerkiksi Sveitsissä on julkaistu rakenteellisten meluntorjuntatoimien hyväksyttävyydestä tutkimus.⁷⁶³ Lentomelun meluntorjuntatoimien hyväksyttävyyttä ei tässä sveitsiläisten tutkimuksessa ole selvitetty.

Vaihtoehtoisten meluntorjuntatoimien hyväksyttävyyttä voidaan tutkia maksuhalukkuudella eli sillä paljonko melualueilla asuvat olisivat valmiita maksamaan joko kertakorvauksena tai esimerkiksi lisäyhtiövastikkeena kuukausittain meluolosten parantumisesta. Ruotsalaisessa maksuhalukkuustutkimuksessa todettiin, että Bromman kentän ympäristössä osa asukkaista – sekä melualueilla että niiden ulkopuolella asuvista – olivat valmiita maksamaan aamu- ja iltalentojen melujen vähentämisestä, mutta ei päivääjän lentojen. Yölentoja Bromassa ei ole.^{764, 765}

Hollannissa on harkittu tutkimusta siitä, miten asukkaiden asenteisiin vaikuttamalla voitaisiin vähentää lentomelun kielteisyyttä ja kielteisyyden esiintyvyyttä. Englannissa julkaistiin loppuvuodesta 2007 tutkimus, jossa selvitettiin muuan muassa asenteiden ja olosuhteiden vaikutusta lentomelun kiusallisuuteen.²⁹⁵ Aikaisemmin jo mainittiin, että Eurocontrol on käynnistänyt viiden A:n (Attitudes to Aircraft Annoyance Around Airports) tutkimuksen.²¹⁵

8 LENTOMELUA KOSKEVA KANSAINVÄLISEN TUTKIMUKSEN LAAJUUS JA REFEROIDUN TUTKIMUKSEN EDUSTAVUUS

Tässä raportissa on referoitu vain osaa julkaistusta kansainvälisestä lentomelua ja sen vaikutuksia koskevasta tutkimuksesta. Viitteiksi on kuitenkin pyritty valitsemaan edustava otos ja läpileikkaus julkaisuista. Insinööritoimisto Kari Pesonen Oy:n arkistoista löytyy arviolta ainakin 10-kertainen julkaisumäärä referoituun verrattuna. Suuri osa näistä on kuitenkin lyhyitä kongressijulkaisuja ja esitelmiä. Kansainvälisen tietouden laajuuden selvittämistä vaikeuttaa se, että esimerkiksi kongressi- ja koulutustilaisuuksien esityksistä, viranomaisten sekä tutkimuslaitosten ja -konsortioiden julkaisemista raporteista vain pieni osa päätyy kaupallisiin bibliografisiin hakutietokantoihin. Google-Scholarin⁷⁶⁶ haku ”aircraft noise” tuotti 1.11.2007 noin 176 000 dokumenttia ja haku ”aircraft noise effect” noin 84 600 dokumenttia. 6.4.2017 samat hakusanat tuottivat 1 420 000 ja 888 000 dokumenttia. Vain pieni osa näistä ovat varteenotettavia tutkimusjulkaisuja.

Lentomelun arviointia, (lento)melun etenemisvaimentumista ja sen pitkäaikaisvaihtelua koskevaa tutkimusta on selvitetty ja referoitu hyvin suppeasti verrattuna siihen, mitä maailmalla on julkaistu. Pääkysymyksenä on: mikä olisi milloinkin paras estimaatti sille melun voimakkuudelle (ja miten arvioituna), jonka perusteella altistettut arvioivat vaikutukset ja, joka ilmentää parhaiten vaikutuksia ja miten tämä pitäisi arvioida (laskea/mitata)? Se melun ominaisuus, jonka perusteella altistettut arvioivat melunvaikutuksia, ei kuitenkaan ole välttämättä sama suure, kuin se, joka ilmentää parhaiten vaikutuksia tai tiettyä vaikutusta. Melun voimakkuuden ja ominaisuuksien arvioinnissa sivutaan myös juridisia seikkoja. Laitosten lupaehdot annetaan yleensä melutasoina. Todelliset melutasot kuitenkin vaihtelevat ja voivat ainakin ajoittain poiketa merkittävästi niistä lukuarvoista, joita melualuekartat esittävät.

Tämän julkaisun vuonna 2008 versiossa lentomelun kiusallisuutta koskevia vasteita esiteltäessä pääviitteenä, josta referoitujen julkaisujen vastekäyrät (esim. kuvat 10 ja 11) on määritetty, oli TNO:n (”Hollannin VTT”) suuri tietokanta. Tässä tietokannassa on mm. 20 eri puolilla maailmaa lentomelusta tehdyn kyselytutkimuksen tulokset, joihin sisältyy noin 20 000 ihmisen vastaukset. TNO:n tietokanta on tietävästi maailman laajin. Kaikki TNO:n tietokannan lentomelun kyselytutkimukset ovat kuitenkin melko vanhoja. Tämän tietokannan päivittäminen uusilla tutkimuksilla on saadun tiedon mukaan loppunut,

Tässä vuoden 2018 päivityksessä on mukana paljon uusia kiusallisuus-, unihäiriö- ja terveysvaikutustutkimuksia. Referoituja julkaisuja on 280 enemmän kuin vuoden 2008 versiossa. Mukana olevien tutkimusten kattavuus on laaja. Suuren ja laajalaisen viitejulkaisujen määrän yhtenä tarkoituksena on helpottaa ja jouduttaa lukijaa löytämään lisätietoa lentomelusta ja sen vaikutuksista.

On paljon ympäristötekijöitä, joiden vaikutuksista meluvasteisiin ei ole luotettavaa tietoa. Suomen oloja ajatellen tällaisia ovat mm. suomalaistyyppisten suurten vuodenaikavaihteluiden (jotka vaikuttavat mm. elämäntapoihin eri vuodenaikoina) vaikutukset, asumismuodon vaikutukset, rakennusten ulkokuoren (suuren?) äänen-eristävyyden vaikutukset sekä suuren vapaa-ajan asuntokantamme (yli 500 000 vapaa-ajan asuntoa, joilla osa kansaa viettää merkittävän osan ajasta/viikonlopuista) vaikutukset.

Myös tässä raportissa esitetyjä vasteita määritettäessä lähteenä käytetty unitutkimus voidaan katsoa kattavaksi ja edustavaksi. Unitutkimuksen osaltakin voidaan todeta sama kuin edellä kiusallisuustutkimuksesta. Tutkimukset on yleensä tehty oloissa, joissa vuodenaikavaihtelut ja niiden vaikutus elinympäristöön ja elintapoihin on vähäisempää kuin Suomessa on tyypillistä. Yksittäisiä unitutkimuksia ja tutkimusjulkaisuja, etenkin laboratoriotutkimuksia, löytyisi kuitenkin paljon referoitua enemmän.

Eläimiin ja luontoon kohdistuvia meluvaikutuksia on käsitelty melko suppeasti. Tältä alueelta löytyy paljon referoitua enemmän (kertaluokaltaan satoja kertoja enemmän) yksittäisiä tutkimuksia ja julkaisuja. Niistä kuitenkin vain pieni osa koskee primäärisesti lentomelun vaikutuksia. Toisaalta vaikutukset eläimiin ovat paljon tuntemattomampi alue kuin vaikutukset ihmisiin. Syyn on mm. siinä, että eri eläinlajeja on paljon ja eri lajit altistuvat ja reagoivat eri tavoin kuin ihminen ja eri tavoin keskenään.

Rakennusten ulkokuoren ääneneristävyys lentomelua vastaan on alue, jossa tutkimus jakaantuu kahtia. Suurin osa olettaa ns. tilastollisen eli statistisen akustiikan oletusten pätevän myös ulkoa sisään kuuluvalla lentomelulle. Vain pieni osa julkaisuista lähtee teoreettisesti oikeista lähtökohdista ja selitysmalleista. Viimeksi mainituissa julkaisuissa on yleensä todettu, että yksittäisissä tapauksissa todellisuus (todellinen eristävyys – tai paremminkin ulko- ja sisä-äänitason ero ja sen vaihtelu ajallisesti ja alueellisesti – ja asiat, joista nämä riippuvat) voi poiketa suuresti statistisen akustiikan olettamasta. Tosin, keskimäärin statistinen akustiikka toimii insinöörisuunnittelun kannalta riittävän hyvin.

Kirjallisuusviitteet

- 1) Flecher H, Beyer A, Duel A, Noise measurement in city noise, Report of the Noise Abatement Commission, Department of Health, City of New York, 1930, 308 s. esim. jälkipainos s. 111 – 123 kirjassa Crocker M J, Noise control, van Nostrand Reinhold, 1984, 415 s, ss. 369 – 381.
- 2) Fields J M, Designing community surveys to provide a basis for noise policy, report TM-80110, NASA, 1980
- 3) Fields J M, Progress toward the use of shared noise reaction questions, Inter-Noise 1996 Proc., 2389 – 2394.
- 4) Fields J M, An updated catalogue of 521 social surveys of residents' reactions to environmental noise (1943 - 2000), NASA/CR-2001-211257, 155 s.
- 5) Borsky P N, Community aspects of aircraft annoyance, NORC Report no. 54. National Opinion Research Center, Chicago 1954. Referoitu edellisessä viitteessä.
- 6) Lienee kyse näistä:
<http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19520122-0>
<http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19520211-0> !tarkistettu 4.4.2017
- 7) Borsky P N, A comparison of a laboratory and field study of annoyance and acceptability of aircraft noise exposures, NASA CR-2772, 1977, 75 s.
http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19770010664_1977010664.pdf !tarkitsetu 4.4.2017
- 8) Borsky P N, New insight into community annoyance with aircraft noise, Noisexpo 1976 Proc. 30 – 46.
- 9) Säännölliseen matkustajaliikenteeseen suihkumoottorikoneet tulivat hieman myöhemmin: deHavilland Commet 1 ensilento Englannissa vuonna 1949, Boeing 707 USA:ssa vuonna 1954 (joidenkin tietojen mukaan 1957). Sotilaspuolella suihkukoneet yleistyivät 1940-luvulla.
- 10) Kansainvälisesti sovittu tyyppihyväksyntämenettely ja melupäästörajat julkaistiin vuonna 1971 ICAO toimesta: International standards and recommended practises, Aircraft noise, Annex 16 to the convention on international civil aviation, 1971, 51 s. Monet maat, Suomi mukaan lukien, sääti ilmailua ja lentokoneita koskevia lakeja, jotka edellyttivät tämän Annex 16 (tai vastaavan kansallisen standardin) mukaista tyyppihyväksyntää. Yhdysvaltain ilmailuvirasto, FAA, oli julkaissut omat meluvaatimuksensa, FAR 36-dokumentissa, tätä ennen, vuonna 1969.
- 11) Borsky P N, A new field survey-laboratory methodology for studying human response to noise, Proceedings of ICBEN 1973, 743 – 763.
- 12) Melujalanjälki on sen tietyn dB-lukuarvon rajoittaman maa-alueen koko ja muoto, joka syntyy yhdestä laskeutumisesta ja noususta. Alueen rajat määritetään nykyisin useimmiten äänialtistustasoina, L_{AE} . Esimerkiksi 90, 85 ja 80 dB(A)-tasona.
- 13) Terveystietolain (469/65) ja -asetuksen (55/67) nojalla annetut melun terveydelliset ohjeet sekä niiden mittaamista ja meluun liittyvien asioiden käsittelyä koskevat ohjeet, lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1676/1979, 27 s. Kirje uudistettiin lähes sellaiseen 1987 ohjeena 21/87..
- 14) Pesonen K, Opas terveydentietolain (469/65) soveltamisesta meluntorjunnassa: Ampuma- ja moottoriradat sekä lentokentät, Sosiaali- ja terveyshallitus, West Point Oy, Rauma 1992, 97 s. ISBN 952-9637-03-9.
- 15) Sisäilmaohje, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1, Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 1997, 72 s. Melua koskeva osuus perustuu Kari Pesosen konsulttityönä tekemään ehdotukseen.
- 16) Asumisterveysohje, Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, Sosiaali- ja terveysministeriö, Oppaita 2003:1, 93 s. Melua koskeva osuus perustuu Kari Pesosen konsulttityönä tekemään ehdotukseen.
- 17) Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa II, Asumisterveysasetus § 11 – 13, 12 s.
<http://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje+osa+II.pdf/e414b4a5-b609-4106-9c33-5d3362ecd49a> ! Tarkistettu 10.11.2016. Kari Pesonen on laatinut tämä konsulttityönä.
- 18) Asumisterveysopas, Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas, Sosiaali- ja terveysministeriö, 2005, 184 s. ISBN 952-9637-

- 30-6. Melua koskeva osuus perustuu Kari Pesosen konsulttityönä laatimaan ehdotukseen.
- 19) Edellä mainitusta oppaasta julkaistaan uudistettu versio vuodenvaihteessa 2007/2008. Melua koskeva osuus perustuu Kari Pesosen konsulttityönä tekemään ehdotukseen.
 - 20) Prüss-Üstün A, Corvalán C, Preventing disease through healthy environments, Towards an estimate of the environmental burden of disease, WHO 2006, 106 s.
http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventingdisease.pdf
!tarkistettu 6.4.2017
 - 21) WHO: Quantifying environmental health impacts,
http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/en/index.html !tarkistettu 6.4.2017
 - 22) Kay D, Pruss A, Corvalán C, Methodology for assessment of environmental burden of disease, WHO, Geneva, 2000, 93 s.
http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/methods/en/wsh0007.pdf !tarkistettu 6.4.2017
 - 23) van Kamp I, Environmental quality and human well-being. Outcomes of a workshop, Utrecht 2002, RIVM report 630950001/2003, 40 s.
 - 24) Breugelmans O R P *et al.*, Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002, RIVM rapport 630100001/2004, 128 s.
 - 25) Leidelmeijer K, Kamp I van, Kwaliteit van de leefomgeving en leefbaarheid, Naar een begrippenkader en conceptuele inkadering, RIVM rapport 630950002/2003, 104 s.
 - 26) Bowling A, *et al.*, Do perceptions of neighbourhood environment influence health? Baseline findings from a British survey of aging, J Epidemiol Community Health. **30**(2006)6, 476 – 483.
 - 27) Bullinger M *et al.*, Fluglärm und Lebensqualität, Machbarkeitsstudie, Endbericht im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt, Ja, 2003. 404 s.
<http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/pdf/MS-Fluglaerm-LQ.pdf> !tarkistettu 6.4.2017
 - 28) Anon, Quantifying burden of disease from environmental noise: Second technical meeting report, Bern 15 – 16 Dec. 2005, WHO Europe, 73 s.
 - 29) Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, 2011, 106 s.
http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1 !tarkistettu 11.7.2016
 - 30) Environmental Noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet, DEFRA, 2012, 57 s.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/380852/environmental-noise-valuing-impacts-PB14227.pdf !tarkistettu 15.7.2016
 - 31) Anon., Quality of life indicators – measuring quality of life - Eurostat, Statistics Explained, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Quality_of_life_indicators_-_measuring_quality_of_life !tarkistettu 4.6.2016
 - 32) Anon., Chapter 5: environment, health and quality of life, European Environment Agency, State and Outlook, 21 s,
<http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis/environment-health-and-quality-of>
!tarkistettu 4.6.2016
 - 33) Roswall N *et al.*, Residential Exposure to Traffic Noise and Health-Related Quality of Life - A Population-Based Study, Plos One, March 13, 2015, 13 s.
<http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0120199&type=printable> !tarkistettu 16.11.2016
 - 34) Streimikiene D, Environmental indicators for the assessment of quality of life, Intellect. Econ., **9**(2015), 67 – 79, http://ac.els-cdn.com/S1822801115000077/1-s2.0-S1822801115000077-main.pdf?_tid=f72e2e2c-ac0e-11e6-988f-00000aabb0f02&acdnat=1479309275_014acf36a2eb9f9bf5b1970ccb3c9882 !tarkistettu 15.11.2016
 - 35) Shepherd D *et al.*, Exploring the relationship between noise sensitivity, annoyance and health-related quality of life in a sample of adults exposed to environmental noise, Int. J. Environ. Res. Public Health, **7**(2010)10, 3579 – 3594.

- 36) Shepherd D *et al.*, Annoyance and health-related quality of life - a cross-sectional study involving two noise sources, *J. Env. Protect*, **5**(2014), 400 – 407.
- 37) Lawton R, Fujiwara D, Living with aircraft noise: Airport proximity, aviation noise and and subjective wellbeing in England, *Transport Res. Part D* **42**(2016), 104 – 118.
- 38) Eriksson C, Bodin T, Selander J, Burden of disease from road traffic and railway noise - a quantification of healthy life years lost in Sweden, *Scand J Work Environ Health*, **43**(2017)6, 519 - 525
- 39) Blauert J, Jekosch U, Sound quality evaluation – A multilayered problem, *Acustica-Acta Acustica* **83**(1997), 747 – 753.
- 40) Esimerkkejä hyödyllisistä vaikutuksista: Liikennevälineiden äänet (melu) auttavat jalkakulkijoita hahmottamaan ympäristöä ja välttämään onnettomuuksia. Melun perusteella saadaan hyödyllistä informaatiota mm. koneiden ja laitteiden kunnosta. Neutraali melu peittää häiritsevää melua, minkä koetaan vähentävän viimeksimainitun haitallisuutta. Kolmas esimerkki on se, että alhaisilla äänitasoilla (alle 50 dB(A)) melun (äänen) voimakkuuden lisäys lyhentää kuulijan reaktioaikaa tehtävissä, joissa pitää nopeasti reagoida ko. ääneen.
- 41) Cautilli J, Brief report: use of an antecedent procedure to decrease night awakening in an infant: Areplication, *J. Early Intens. Behav Interv.*, **2**(2005)1, 9 – 13.
- 42) Mehta R, Zhu R, Cheema A, Is noise always bad? Exploring the effects of ambient noise on creative cognition, *J. Consumer Research*, **39**(2012)4, 784 – 799.
- 43) Ahlfeldt G, Nitsch V, Wendland N, Ease vs. noise: On the conflicting effects of transportation infrastructure, August 2016, 35 s.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2851720# !tarkistettu 22.3.2017
- 44) Conzález-Oreja J, Relationships of area and noise with the distribution and abundance of songbirds in urban greenspaces, *Landscape and Urban Plan.*, **158**(2017), 117 – 184. Tässä tutkimuksessa mainitaan kaksi lintulajia, joiden todettiin hyötävän melusta.
- 45) Esim. Wichmann H E, Quantitative Abschätzung von Risiken durch chemische Noxen. Luku III-1.5.1 kirjassa Wichmann H E, Schipkötter H W, Fülraff G (eds) *Handbuch der Umweltmedizin*, Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co, KG, Landsberg/Lech 1992.
- 46) Esim. Duodecimin käypähoitosuositukset ”Liikunta on lääketä”,
<http://www.kaypahoito.fi/web/kh/potilaalle/suositus?id=khp00077&suositusid=hoi50075> !tarkistettu 6.4.2017
- 47) Kävelyn ja pyöräilyn valtakunnallinen toimenpidesuunnitelma 2020, Liikenneviraston suunnitelmia 2/2012, 76 s. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ls_2012-02_kavelyn_ja_pyorailyn_web.pdf !tarkistettu 3.4.2017
- 48) Myös UKK-Instituutti on argumentoinut päivittäisen fyysisen liikunnan lisäyksen, esimerkiksi päivittäisten työmatkojen tekemisen jalan tai pyörällä, vähentävän (sairastavuuden lisäksi) moottoriajoneuvoliikennettä ja tätä kautta sen melua.
<http://www.ukkinstituutti.fi/ammattilaisille/terveysliikunnan-edistaminen/kavelyn-ja-pyorailyn-edistaminen> !tarkistettu 6.4.2017
- 49) American Thorax Society. Guidelines as to what constitutes an adverse respiratory health effect, with special reference to epidemiological studies on air pollution. *American Review of Respiratory Diseases*. **135**(1985), 666 – 668.
- 50) Yleensä kyse on ollut hyvin pienistä eroista [keskiarvo alle 1 mmHg per 5 dB(A) ero pitkäaikaisessa L_{Aeq} -tasossa], joskin, kun tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden määrä on suuri (tuhansia), osassa tutkimuksia tilastollisesti merkittävästä (so. ei sattuman aiheuttamasta) erosta. Vertailuna esimerkiksi se, että ylipainoisilla verenpainepotilailla systolisen verenpaineen lasketaan alentuvan karkeasti 1 mmHg ja diastolisen puolet tästä per kilo painon alentumista.
- 51) Zijlema W *et al.*, Road traffic noise, blood pressure and heart rate: Pooled analyses of harmonized data from 88,336 participants, *Env Research*, **151**(2016), 804 – 813.
- 52) Brook R D *et al.*, Air pollution and cardiovascular disease, *Circulation* **109**(2005)21, 2655 – 2671. <http://circ.ahajournals.org/content/109/21/2655.full.pdf?download=true> tarkistettu 15.11.2016
- 53) Kälisch H *et al.*, Are air pollution and traffic noise independently associated with atherosclerosis: the Heinz Nixdorf recall study, *Eur. Heart J.*, **35**(2014)13, 853 – 860.
- 54) Fecht D *et al.*, Spatial and temporal associations of road traffic noise and air pollution in London: Implications for epidemiological studies, *Environ Int.*, **88**(2016), 235 – 242.

- 55) Stansfeld S A, Noise Effects on Health in the Context of Air Pollution Exposure, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **12**(2015)10, 12735 – 12760.
- 56) Shepherd D *et al.*, The covariance between air pollution annoyance and noise annoyance, and its relationship with health-related quality of life, *Int. J. Environ. Res. Public Health* **13**(2016)8, 792 – 792.
- 57) Oiamo T H, Environmental health effects of multiple exposures: systemic risks and the detroit river international crossing study, PhD thesis, The University of Western Ontario, 2015, 246 s. <http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=4060&context=etd> !tarkistettu 12.12.2016.
- 58) Fuks K, *et al.*, Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE), *Eur Heart J.* **38**(2017)13, 983 – 990.
- 59) Fuks K *et al.*, Arterial Blood Pressure and Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution: An Analysis in the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE), *Environ Health Perspect.*, **122**(2014)9, 896 – 905.
- 60) <http://www.suva.ch/> !tarkistettu 15.7.2016
- 61) Müller-Wenk R, Attribution to road traffic of the impact of noise on health, *Environmental Series No 339*, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, Bern, Switzerland, 2002.
- 62) Stouthard M E *et al.*, Disability weights for diseases, A modified protocol and results for a Western European region, *European J. Publ. Health* **10**(2000)1, 24 – 30.
- 63) Taulukot 3A.6 ja 3A.7 kirjassa Lopez *et al.*, Global burden of disease and risk factors, 475 s, ISBN-10: 0-8213-6262-3. Mailmanpankin, Maailman terveysjärjestön (WHO) ja kahden muun yhteistyöorganisaation toteuttama, pääosin Bill ja Melinda Gatesin säätiön rahoittama sairauksien vakavuuden selvitys vuodelta 2001: <http://dcp-3.org/sites/default/files/gbd/GBD03.pdf> !tarkistettu 6.4.2017
- 64) Essink-Bot M-L *et al.*, Cross-national comparability of burden of disease estimates: the European disability weights project, *Bulletin of the World Health Organization* **80**(2002)8, 644 – 652.
- 65) de Hollander A E, Assessing and evaluating the health impact of environmental exposures, “Deaths, DALYs or Dollars?”, Väitöskirja, Universiteit Utrecht, 2004, 212 s. ISBN 90-393-3703-9
- 66) Evaluation of Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, Workshop working paper 3: Cost-benefit analysis, September 23rd 2015, Brussels, 34 s, [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/Working%20Paper%203%20\(cost%20benefit%20analysis\).pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/Working%20Paper%203%20(cost%20benefit%20analysis).pdf) !tarkistettu 11.7.2016
- 67) Salomon J A, *et al.*, Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study, *Lancet Glob Health*, **3**(2015)11, e712 – 723.
- 68) Vakava kiusallisuus, severe annoyance, on määritelty em. de Hollanderin väitöskirjassa sivulla 150: Regularly (and partly inescapably) persons are disturbed during daily activities, such as having conversation, listening to the radio, watching television, reading a book or a magazine. Furthermore persons may have feelings of resentment, displeasure, discomfort, dissatisfaction or offence, occurring when noise interferes with their thoughts, feelings or daily activities.” Lisäksi on mainittu seuraavat tunnusmerkit: 1) No problems walking about (mobility), 2) No problem with washing or dressing oneself, 3) No problems with usual activities (work, study, housework, family or leisure activities), 4) No pain or discomfort, 5) Not (95%) or mildly (5%) anxious or depressed, 6) No (95%) to some (5%) cognitive impairment (e.g. problems with memory, concentration, disorganisation, IQ-level). de Hollander on olettanut, että vakava kiusallisuus ennustaa riittävän validisti mm. melun aiheuttamien ennenaikaisten kuolemien esiintyvyyden.
- 69) Hollander A E, *et al.*, An aggregate public health indicator to represent the impact of multiple environmental exposures, *Epidemiol.* **10**(1999)5, 606 – 617.
- 70) Botteldooren D, Lercher P, Putting noise annoyance in the broader context of sustainable development, *Inter-Noise 2006 Proc.* CD-ROM tiedosto IN06_043.pdf
- 71) STM:n tapaturmalain perusteella antama haittaluokitusasetus ja sen liitteet 1 ja 2 kertovat monien eri vammojen haittaluokat ja antavat ainakin jonkinlaisen perusteen erilaisten

- vammojen väliselle haittaavuusvertailulle.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20091649> !tarkistettu 1.3.2017
- 72) Kela julkaisee eri tautien ja vammojen hoidon erityiskorvattavien lääkkeiden korvausperusteet netissä: http://www.kela.fi/laakkeet-ja-laakekorvaukset_erytyiskorvaus !tarkistettu 4.4.2017
 - 73) Rhodes D, Weston E, Jones K, Proposed methodology for estimating the cost of sleep disturbance from aircraft noise, Civil Aviation Authority, ERDC Report 1209, 2013, 13 s.
 - 74) Houthuijs D *et al.*, Health implication of road, railway and aircraft noise in the European Union, Provisional results based on the 2nd round of noise mapping, RIVM Report 2014-0130, 59 s. Esimerkiksi kuvassa A9 on esitetty arviolaskelma sydäninfarkteihin kuolleisuuden lisäriskistä EU:n eri jäsenmaissa ulkomelun L_{DEN} -tason funktiona.
 - 75) Westerhol P (ed), Arbetssjukdom – skadlig inverkan – samband med arbete. Ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (sju skadeområden) – Andra, utökade och reviderade utgåvan. Arbete och hälsa, Nr 2002:15, 282 s. ISBN 91-7045-655-0, ISSN 0346-7821. Erytisesti luku 8 Hörselskadan i arbetsskadeförsäkringen ja luku 6 Arbetsrelaterad hjärt-kärlsjukdom.
http://gupea.ub.gu.se/dspace/bitstream/2077/4278/1/ah2002_15.pdf !tarkistettu 4.4.2017
 - 76) Esimerkiksi EU:n ympäristömeludirektiivissä 2002/49/EC meluindikaattoreina ovat yhden vuoden L_{Aeq} -tyyppiset keskiäänitasot (L_{DEN} , $L_{Aeq,yö}$), normalisoituna melun tuoton ja etenemisvaimentumisen osalta meteorologisesti keskimääräiseen vuoteen.
 - 77) Tällöin on selvitettävä lisäksi henkilöiden asunto-osoite ja melutaso asuinalueella. Joissakin tutkimuksissa on oletettu, että tietyn asuinalueen apteekkeista ostettujen tiettyyn sairauteen tarkoitettujen lääkkeiden määrä kuvaa ko. sairauden esiintyvyyttä alueella ja eri alueiden väliset lääkemääräerot tautien esiintyvyyden eroja.
 - 78) Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY, annettu 25 päivänä kesäkuuta 2002, ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta, 14 s. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=URISERV%3A121180> !tarkistettu 4.4.2017
 - 79) Kaikki arviot yli 100...300 millisekuntia aikaisemmin tapahtuneesta melusta ja koetusta vaikutuksesta ovat muistinvaraisia eli perustuvat muistiin tallentuneisiin mielikuviin. Niin sanotun työmuistin pituus on 3...10 sekuntia. Tätä aikaisemmin tapahtuneen melun ja vaikutuksen arviot perustuvat kestonmuistista palautuneisiin mielikuviin.
 - 80) Fidell S, Pearsons K, Sensitivity to prospective transportation noise exposure, Noise Control Eng. J., 51(2003)2, 106 – 113.
 - 81) Hatfield J, *et al.*, The influence of psychological factors on self-reported physiological effects of noise, Noise Health, 3(2001)10, 1 – 13.
 - 82) Pesonen K, Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita, Sosiaali- ja terveysministeriö, Selvityksiä 2005:14, 174 s.
<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/111445/Selv200514.pdf?sequence=1> !tarkistettu 4.4.2017
 - 83) Stallen P, Maris E, Perceived seriousness of sleep disturbance by aircraft noise: the importance of media and mindset, Inter-Noise 2004 Proc., CD-ROM, tiedosto 849.pdf
 - 84) Basner M, *et al.*, ICBEN review of research on the biological effects of noise 2011 – 2014, Noise Health, 17(2015)75, 57 – 82.
 - 85) ICBEN, International Commission on Biological Effects of Noise, ks.
<http://www.icben.org/> !tarkistettu 3.2.2017
 - 86) ISO/TS 15666:2003, Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys, 15 s.
 - 87) Direktiivin valmisteluvaiheessa suositus perustaa melunarviointi vaikutusvasteisiin oli paljon selkeämmin vaatimusluonteisena kuin on lopullisessa direktiivissä. Tämä tieto perustuu Kari Pesonen jäsenyyteen direktiiviä valmistelleen komission asiantuntijatyöryhmässä WG1 (Indikaattorit). Melualuilla asuvien ihmisten määrä otettiin mukaan helpotamaan jäsenmaiden ja eri alueiden välisiä tilastollisia vertailuja.
 - 88) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1386&from=FI> !tarkistettu 2.2.2018
 - 89) Anon, Käypä hoito käsikirja, Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2004, 54 s.
http://www.duodecim.fi/pls/kotisivut/docs/F10436/KH-kasikirja_2004_net.pdf !
Tarkistettu 29.12.2016.

- 90) Auvinen A, Johdatus epidemiologiaan,
https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja4_06.pdf/d4d3446e-30aa-49b7-b53c-a3a1259561ae !Tarkistettu 22.3.2017.
- 91) Useissa tutkimuksissa on lisäksi ns. kontrollialue eli muutoin vastaava alue, jolla melu on niin hiljaista, että sen ei pitäisi aiheuttaa tutkittavia tauteja tai vaikutuksia.
- 92) WHO:n laajan LARES-tutkimuksen mukaan sekä astma että verenpainetauti ovat sairauksia, joihin sairastumisen riski riippuu (muiden tekijöiden ohella) elinympäristön melusta. Suhteellinen sairastumisen riski oli suurempi niillä, jotka ilmoittivat kyselytutkimuksessa kokevansa melun suuresti kiusalliseksi verrattuna niihin, joka eivät kokeneet melua kiusalliseksi tai kokivat vain kohtuullisesti kiusalliseksi.
- 93) Maschke C, Niemann H, Health effects of noise-induced sleep disturbances in the daily environment, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN06_338.pdf
- 94) Vedonlyöntisuhteen laskemista ja tautiriskien määrittämisen pulmia käsitellään kuvailevan tilastotieteen opetuksessa ja oppikirjoissa kattavasti. Esimerkkeinä:
<http://www.kttl.helsinki.fi/sarna/Biostatistiikka%20lyhyesti.pdf> !Tarkistettu 22.3.2017
<http://www.helsinki.fi/~kvehkala/mmm/moniste.pdf> !Tarkistettu 22.3.2017
<http://www.mv.helsinki.fi/home/janpitka/Luento8k2007.pdf> !tarkistettu 22.3.2017
<http://cs.uef.fi/~mauranen/biostatistiikka/biostatistiikka2.pdf> !tarkistettu 22.3.2017
- 95) Käsitteellä ”tunnusluku” on monia muitakin merkityksiä. Esimerkiksi keski- ja hajontaluvut ovat tilastollisen jakautuman tunnuslukuja. Luottokortin tai sähköpostitilin tunnusluvun toinen nimi on salasanaluku. Käyttökateprosentti, liikevoittoprosentti ja Quick ratio ovat tuloslaskelman tunnuslukuja. VnA 801/2004 käsite ”tunnusluku” näyttää osoittavan unohtavan muuttujien indikaattoriluonteen eli sen, että ko. muuttujan/suureen on tarkoitus indikoida, ilmentää, vaikutuksia, so. lukuarvo (melun voimakkuus) ei ole pääasia, vaan itse suure, muuttuja ja sen kyky ilmentää vaikutuksia.
- 96) Lentoasemien ympäristölupien erityispiirteet, Työryhmän mietintö, Moniste 118, Ympäristöministeriö, Helsinki 2003, 75 s.
- 97) Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista, 2 s.
- 98) Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, 2015, 12 s.
<http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/> !tarkistettu 12.12.2016.
- 99) Valtioneuvoston asetus 801/2004 Euroopan yhteisön edellyttämistä meluselvityksistä ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmista, 2004, 3 s.
- 100) Ääneneristys- ja meluntorjunta rakennuksessa, Määräykset ja ohjeet 1999, Rakentamismääräyskokoelma, osa C1, 1998, 9 s.
- 101) Asumisterveysohje, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. 93 s.
- 102) Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen, Ympäristöopas 108/2003, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Edita Prima, 2003, 37 s.
- 103) Valtioneuvoston päätös 53/1997 ampumaratojen melutason ohjearvoista, 1 s.
- 104) Ampumaratamelun mittaaminen – Mätning ab buller från skjutbanor, Ympäristöministeriö, Ympäristöopas 61/1999, ISBN 952-11-0496-1, 20 s.
- 105) Asumisterveysopas, Sosiaali- ja terveysministeriö, Asumisterveysohjeen 2003:1 soveltamisopas, 2005, 183 s. Sivulla 109 on annettu ohjeellisia L_{AE} -tason arvoja erilaisten uni-häiriöiden kynnystasoille.
- 106) Raideliikennemelun mittaaminen, Mätning ab buller från spårburen trafik, Ympäristöopas 5:1996, Ympäristöministeriö, 1996, 68 s.
- 107) Environmental technical manual on the use of procedures in the noise certification of aircraft, third edition — 2004, ICAO Doc 9501-AN/XXX, 122 s.
- 108) Methodology for computing noise contours around civil airports, Volume 1: Applications Guide, DRAFT Version 6.0, 12 May 2004, 104 s.
- 109) Kerry G, Lomax C, The use of short L_{eq} measurements for assessment of military aircraft noise heard under flight path, Euro-Noise 2003 Proc. 6 s. Paper 129-IP.
- 110) Ympäristönsuojelulain 527/2014 9 § ja 142 § mukaan yleisiä meluohjearvoja antava toimivaltainen viranomais on valtioneuvosto. Sosiaali- ja terveysministeriö voi antaa melua koskevia yleisiä ohje/toimenpidearvoja terveydensuojelulain perusteella. Ympäristöministeriö voi antaa rakentamismääräyksissä mm. rakennuksen ulkokuoren ääneneristävyydelle yleisiä ohjearvoja ja mitoitusohjeita. Kunta voi antaa (vahvistaa) omalla alueellaan noudatettavia melutasojen ohjearvoja muun muassa terveydensuojelu- ja

- ympäristönsuojelusäädösten nojalla. Kaavoissa voidaan antaa määräystasoisia vaatimuksia melusta.
- 111) Lentomelutoimikunnan mietintö, Komiteamietintö 1976:7, Helsinki 1976, 277 s. ISBN 951-46-1228-4.
 - 112) ICAO, Annex 16 Environmental protection, Volume I, Aircraft noise, Fourth Ed. July 2005, 155 s.
 - 113) Bennet R K, Pearsons K S, Handbook of aircraft noise metrics, NASA CR 3406, 1981, 226 s.
http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19810013341_1981013341.pdf
 !tarkistettu 5.10.2016
 - 114) More S, Aircraft noise characteristics and metrics, Purdue University, PhD Dissertation, 2011, 362 s.
<http://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/proj24/noisethesis.pdf> !tarkistettu 3.3.2017
 - 115) Ohjearvojen juridinen status vaihtelee eri maissa. Juridinen status tarkoittaa sitä, missä määrin sitovia arvot ovat ennalta ja millaisia sanktioita arvojen ylittämisestä seuraa sekä millaista oikeudellista prosessia sanktioiden laukeaminen edellyttää. Vertailtaessa eri maiden ohjearvojen juridista statusta, on syytä ottaa huomioon myös se, millaisin edellytyksin niihin on mahdollista saada poikkeuksia (ylitysmahdollisuus) ja millaisin edellytyksin voidaan vaatia/toteuttaa alhaisempia arvoja.
 - 116) Kundi M *et al.*, Bewertung und Auswirkungen von unzumutbaren Belästigungen durch Fluglärm Ergänzte und Korrigierte Fassung Fluglärm, Medizinische Universität Wien, Institut für Umwelthygiene, Zentrum für Public Health, 5.9.2011, 115 s.
<https://www.bmvit.gv.at/verkehr/luftfahrt/flughaefen/downloads/Fluglaerm2011.pdf>
 !tarkistettu 27.3.2017
 - 117) Scherer R, Rechtsschutzanforderungen gegen Fluglärm an Verkehrsflughäfen – Integration der An- und Abflugrouten in das luftverkehrsrechtliche Planfeststellungsverfahren, Inauguraldissertation, Juristischen Fakultät der Universität Rostock, 2008, 226 s.
http://rosdok.uni-rostock.de/file/rosdok_derivate_000000004089/Dissertation_Scherer_2009.pdf !
 tarkistettu 4.4.2017
 - 118) Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, Annettu 1 päivänä maaliskuuta 2007, 6 s.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214> !tarkistettu 27.3.2017
 - 119) Turvallisuussyistä tuulisissa oloissa lentokoneilla on tapana nousta ja laskeutua vasta- tuuleen. Vaikka kentällä olisi yksi kiitorata, niin sillä on kaksi vastakkaisiin suuntiin kulkevaa kiitotietä, jotka yleensä nimetään kompassisuunnan mukaan jättämällä aseteiden ykkösluku pois (esim. nousussa itään kompassisuunta on 90° ja vastaava kiitotien suuntaa osoittava numero on 09).
 - 120) Larson C, Flygbullermått och krav på mätförhållanden, Bilaga 8. Kihlman T (ed.), Handlingsplan mot buller, SOU 1993:65. Göteborg 1993.
 - 121) Isobe M, *et al.*, Analysis of the relationship of aircraft noise observations with meteorological conditions based on long-term noise measurement, Inter-Noise 2006 Proc. CD-ROM, tiedosto IN06_211.pdf
 - 122) Adams K, Noise monitoring and extraction of new information from older instruments and archives, Acoustics 2015 Proceedings, Hunter Valley, Australia, 10 s.
https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2015/papers/p56.pdf
 !tarkistettu 12.12.2016. Tämä viite on mukana pääosin siksi, että siitä löytyy esimerkiksi tietoja lentoliikenteen äänispektrien ja äänekyyden nopeasta vaihtelusta nousun ja laskeutumisen aikana.
 - 123) Yamada I *et al.*, Validity of the method of estimating long-term average cumulative aircraft noise exposure based on repetitive short-term noise measurements, Inter-Noise 2012 Proc. http://www.aerc.jp/en/pdf/201105/in08_0718.pdf !tarkistettu 22.2.2017
 - 124) Esim. Sharp B H, Gurocich Y A, Albee W W, Status of low-frequency aircraft noise research and mitigation, Wyle Acoustics Group, 2001, 36 s.
 - 125) On syytä huomata, että esimerkiksi L_{max} -taso voi tarkoittaa laskettua tasoa tai suuren havaintojoukon suurinta arvoa. Tällainen lukuarvo ei korreloi esimerkiksi lentoliikenteen todelliseen L_{DEN} -tasoon niin hyvin kuin korreloi lentojen L_{max} -taso saman lennon L_{AE} - ja L_{Aeq} -tasoon ja muihin eri tavoin mitattuun ko. lennon melutasoihin.

- 126) Anon, Using supplemental noise metrics and analysis, Department of Defense Noise Working Group, Dec. 2009, 20 s.
- 127) FICAN (Federal Interagency Committee On Aviation Noise), The use of supplemental noise metrics in aircraft noise analyses, Febr. 2002, 10 s. Huom. FICAN toimi ennen vuotta 1993 nimellä FICON (Federal Interagency Committee On Noise).
- 128) Mestre V, Effects of Aircraft Noise: Research Update on Select Topics, A Synthesis of Airport Practice, Transportation Research Board, 2008, 98 s.
<http://www.trb.org/Publications/Blurbs/160286.aspx> !tarkistettu 5.10.2016
- 129) Kujala T, Brattico E, Detrimental noise effects on brain's speech functions, Biol Psychol. **81**(2009)3, 135 – 143.
- 130) Callaway V E, Rebuttal to papers on aircraft noise by S. R. Lane at the 86th Meeting of ASA, J. Acoust. Soc. Am. **55**(1974)6, 1343 – 1355.
- 131) Integrated NoiseModel vers. 7.0 User Guide, Federal Aviation Agency, April 2007, 449 s.
https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/inm_model/ !tarkistettu 5.2.2018
- 132) Anon, Støy og søvnforstyrrelser, Helsefaglig utredning som grunnlag for begrensning av støynivå om natten, Nasjonalt folkehelseinstitutt, Rapport 2003:6, 13 s.
- 133) Passchier-Vermeer W *et al.*, Sleep disturbance and aircraft noise exposure - exposure effect relationships. TNO, Netherlands, Report 2002.027, 2002.
- 134) Resyrick K, Error sensitivity analysis of the integrated noise model, EURO-CONTROL Experimental Centre, Report EEC/ENV/2002/006, 2002, 98 s.
http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/016_Integrated_Noise_Model_Error_Sensitivity_Analysis.pdf !tarkistettu 5.10.2016
- 135) de Lépinay I, EGNOS Flight trials at nice airport noise impact study, EUROCONTROL Experimental Centre, Report EEC/ENV/2002/007, 2002, 26 s.
- 136) Jopson I, Rhodes D, Havelock P, Aircraft noise model validation – How accurate do we need to be? UK Civil Aviation Authority, 27 s.
- 137) Page J A, *et al.*, Validation of aircraft noise prediction models at low levels of exposure, NASA/CR-2000-210112, 100 s.
- 138) Yoshioka H, *et al.*, Reliability of an airport noise prediction model in the long distance from the airport, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN06_643.pdf
- 139) Caerels J *et al.*, Noise impact of an airport measured and calculated : a comparison, Inter-Noise 2004 Proc., CD-ROM tiedosto 474.pdf
- 140) Zambon G, Bisceglie A, Tassan F, INM reliability on single flight noise prediction, Forum Acust 2005 Proc., 811 – 814, CD-ROM, tiedosto 414-0.pdf
- 141) Brown, R E, INM contour validation – a case study, Noise-Con 1994 Proc., 953 – 958.
- 142) Miller N, *et al.*, Integrated Noise Model Accuracy for general aviation aircraft, 2014, 91 s, <http://nap.edu/22269> !tarkistettu 1.9.2016
- 143) Yoshioka H, *et al.*, Improvement of the accuracy of an L_{Aeq} -based airport noise model, Inter-Noise 2008 Proc. 7 s.
- 144) Shinohara N, Yamada I, Reliability of aircraft noise evaluation by measurement for comparison with prediction, Inter-Noise 2014 Proc. 14 s.
- 145) Dhanasekaran, D, Improved prediction of runway usage for noise forecast, Development and comparison of runway usage models to improve accuracy of runway usage prediction for noise forecast, MS-Thesis in Aerospace Eng., Delft Univ., 2014, 94 s, <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:59f39b44-b292-4677-bed7-da6b9b310a46/datastream/OBJ/download> !tarkistettu 13.9.2016
- 146) Rosin C, Iachino L, Aircraft noise monitoring: Comparison of aircraft noise indexes calculated with two different methods of aircraft noise detection, Inter-Noise 2015 Proc. 12 s.
- 147) He H, Enhancing aircraft noise propagation modeling - Overview of FAA's research, Inter-Noise 2015 Proc. 11 s.
- 148) Plotkin K *et al.*, Detailed weather and terrain analysis for aircraft noise modeling, Wyle Report 13-01, April, 2013, 107 s, <http://ntl.bts.gov/lib/51000/51500/51557/DOT-VNTSC-FAA-14-08.pdf> !tarkistettu 13.9.2016
- 149) Clemente J *et al.*, Sensitivity of the FAA Integrated Noise Model to input parameters, Appl. Acoust. **66**(2005)3, 263 – 276.

- 150) Rosin C, Iachino L, Aircraft noise monitoring: Comparison of aircraft noise indexes calculated with two different methods of aircraft noise detection, Inter-Noise 2015 Proc. 12 s.
- 151) Bertsch L *et al.*, The parametric aircraft noise analysis module - status overview and recent applications, 17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2011, 24 s.
http://elib.dlr.de/70013/1/final_paper.pdf ! tarkistettu 15.11.2016
- 152) Shinohara N, Hanaka K, Yamada I, Study of lateral attenuation under meteorological conditions for airport noise modeling, Inter-Noise 2016 Proc. 795 – 804. <http://pub.dega-akustik.de/IN2016/data/articles/000656.pdf> ! tarkistettu 15.11.2016
- 153) Anon., Time of day corrections to aircraft noise metrics, Nasa Conference publication, FAA-EE-80-3, 1980, 81 s.
- 154) Brooker P, The UK aircraft noise index study: 20 years on, Proc. Inst. Acoust. **26**(2004)2, 20 – 30.
- 155) Forastiere F, *et al.*, Case-crossover analysis of out-of-hospital coronary deaths and air pollution in Rome, Italy, Am J Respir Crit Care Med. **172**(2005)12, 1549 – 1555.
<http://www.atsjournals.org/doi/pdf/10.1164/rccm.200412-1726OC> ! tarkistettu 5.10.2016
- 156) Tomson J, Lip G Y, Blood pressure demographics: nature or nurture - genes or environment?, BMC Med. **3**(2005)1, 4 s.
<https://bmcmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/1741-7015-3-3> ! tarkistettu 5.10.2016
- 157) Zanobetti A, *et al.*, Ambient pollution and blood pressure in cardiac rehabilitation patients, Circulation. **110**(2004), 2184 - 2189.
- 158) Wystrychowski G, *et al.*, Selected climatic variables and blood pressure in Central European patients with chronic renal failure on haemodialysis treatment, Blood Press. **14**(2000)2, 86 – 92.
- 159) Kirschbaum C, Hellhammer D H, Noise and stress – Salivary cortisol as a non-invasive measure of allostatic load, Noise Health, **1**(1999)4, 57 – 65.
- 160) Lundberg U, Coping with stress: neuroendocrine reactions and implications for health, Noise Health, **1**(1996)4, 67 – 74.
- 161) Neus H, Boikat U, Evaluation of traffic noise-related cardiovascular risk, Noise Health, **2**(2000)7, 65 – 77.
- 162) Job R F S, Noise-reaction relationships and their effects on other health outcomes, ICA 1995 Proc. Vol 2, 291 – 294.
- 163) Porter N D, Flindell I H, Berry B F, Health effect-based noise assessment methods: A review and feasibility study, National Physical Laboratory, Report CMAN 16, 1998. 35 s + liitt.
- 164) Thompson S J, Non-auditory health effects of noise – an updated review. Inter-Noise 1996 Proc. Vol 4, 2177 – 2182.
- 165) Baron R M, Kenny D A, The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations, J. Person. Social Psych. **51**(1986), 1173 – 1182.
- 166) Basner M *et al.*, Single and combined effects of air, road, and rail traffic noise on sleep and recuperation, Sleep, **34**(2011)1, 11 – 23.
- 167) Guski R *et al.*, NORAH (Noise related annoyance, cognition, and health): Questions, designs, and main results, ICA 2016 Proc., <http://elib.dlr.de/107152/1/ICA2016-0157.pdf> ! tarkistettu 28.12.2016
- 168) van Kempen E, Babisch W, The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: A meta-analysis, J Hypertens **30**(2012)6, 1075 – 1086.
- 169) Babisch W, Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis, Noise Health, **13**(2014)68, 1 – 9.
- 170) Dzhambov A, Dimitrova D, Exposure-response relationship between traffic noise and the risk of stroke: a systematic review with meta-analysis, Arh Hig Rada Toksikol **67**(2016)2, 136 – 151.
- 171) Münzel T *et al.*, Airborne disease: a case of a Takotsubo cardiomyopathie as a consequence of nighttime aircraft noise exposure, Eur Heart J. **37**(2016)37, 2844
- 172) Muun muassa ennakkotieto ALPNAP-tutkimuksen <http://www.alpnep.org/> tuloksista (Peter Lercherin ja Kari Pesosen välinen tiedonvaihto syksy 2007).

- 173) Münzel T *et al.*, Environmental stressors and cardio-metabolic disease - part II mechanistic insights, *Eur Heart J.* 26. Jul. 2016, ennakkokopio ennen julkaisua, <http://eurheartj.oxfordjournals.org/content/ehj/early/2016/07/25/eurheartj.ehw294.full.pdf> !tarkistettu 12.12.2016
- 174) Thompson S, Non-auditory health effects of noise: updated review, *Inter-Noise 1996 Proceedings*, Vol 4, 2177 – 2182.
- 175) Said M, El-Gohary O, Effect of noise stress on cardiovascular system in adult male albino rat: implication of stress hormones, endothelial dysfunction and oxidative stress, *Gen Physiol Biophys* **35**(2016)3, 371 – 377.
- 176) Lyamin O, *et al.*, Cardiorespiratory changes in beluga in response to acoustic noise, *Doklady Biological Sciences* **440**(2011), 275 – 278. http://beluga.sevin-expedition.ru/netcat_files/106/57/11_Lyamin_ECG_acoustic_noise_beluga_DAN_E.pdf !tarkistettu 29.12.2016
- 177) Tennessen J *et al.*, Anthropogenic noise and physiological stress in wildlife, *Adv Exp Med Biol* **875**(2016), sivut 1145 – 1148, ko. kirjassa.
- 178) Oluwaseun A *et al.*, Sleep as a mediator in the pathway linking environmental factors to hypertension: A review of the literature, *Int. J. Hypertension*, 2015, 15 s. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4363706/pdf/IJHY2015-926414.pdf> !tarkistettu 2.4.2017
- 179) Schmidt F *et al.*, Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease, *Clin Res Cardiol.*, **104**(2015)1, 23 – 30. Huom. testeissä käytetyt yöaikaiset lentomelutapahtumien tasot olivat melko korkeita ja tapahtumien määrä suuri.
- 180) Norah study – Results Summaries: Hardly any connections discovered for breast cancer, <http://www.laermstudie.de/en/results/results-of-the-study-on-health-risks/hardly-any-connections-discovered-for-breast-cancer/> !tarkistettu 6.4.2016
- 181) Roswall N *et al.*, Residential road traffic noise exposure and survival after breast cancer - A cohort study, *Environ Res.*, **151**(2016), 814 – 820.
- 182) Sørensen M *et al.*, Residential exposure to traffic noise and risk for non-hodgkin lymphoma among adults, *Environ Res.*, **142**(2015), 61 – 65.
- 183) Chen H *et al.*, Living near major roads and the incidence of dementia, Parkinson's disease, and multiple sclerosis - a population-bases cohort study, *Lancet*, on line 4.1.2017, [http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(16\)32399-6/abstract](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(16)32399-6/abstract) !tarkistettu 10.2.2017
- 184) Tzivian L *et al.*, Long-term air pollution and traffic noise exposures and mild cognitive impairment in older adults: A cross-sectional analysis of the heinz nixdorf recall study, *Environ Health Perspect.*, **124**(2016)9, 1361 – 1368.
- 185) Arroyo V *et al.*, Short term effect of airpollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain), *Env Research* **145**(2016), 162 – 168.
- 186) Hahad H *et al.*, Annoyance to different noise sources is associated with atrial fibrillation in the Gutenberg Health Study, *Int J. Cardiol.* **264**(2018), 79 – 84.
- 187) Swift H, A review of the literature related to potential health effects of aircraft noise, MIT Partner Project 19, Final Report, July 2010, 99 s. <http://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/proj19/proj19-healtheffectnoise.pdf> !tarkistettu 11.12.2016
- 188) esim. <http://www.apug.de/archiv/projekttabelle.htm>
http://cordis.europa.eu/project/rcn/54302_en.html
http://www.euro.who.int/document/NOH/WHO_Lares.pdf !tarkistettu 5.10.2016
- 189) Guski R, Conceptual, methodological, and dose-response problems related to annoyance and disturbance, *Inter-Noise 97 Proc.*, 1077 – 1082.
- 190) Haider M *et al.*, Empfehlungen für die Verwendung medizinischer Begriffe im Rahmen umwelthygienischer Beurteilungsverfahren, *Mitteilung Österr. San. Verw.* **85**(1984), 277 – 279.
- 191) Guski R, Schreckenberger D, Schuemer R, The WHO evidence review on noise annoyance 2000 – 2014, *Inter-Noise 2016 Proc.* 2564 – 2570. <http://pub.dega-akustik.de/IN2016/data/articles/000036.pdf> !tarkistettu 4.4.2017
- 192) Schick A, Noise effects from the psychological viewpoint, *Fourth International Congress on Sound and Vibration 1996 Proc.*, 1357 – 1365. Schick korosti esityksessään

- sitä, että melu ei ole kiusallisuuden (sisältäen häiritsevyyden) syy, vaan ainoastaan tekijä tai olosuhde, joka mahdollistaa kiusallisuusreaktion.
- 193) Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §§ 1, 5, 11 ja 142.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527> !tarkistettu 5.4.2017
 - 194) Anon, Slutraport, De tio viktigaste miljöåtgärderna för att förbättra hälsan hos befolkningen i Stockholms län 20.6.2005, 48 s.
http://sammantradeshandlingar.sll.se/sites/sammantradeshandlingar.sll.se/Handlingar/lan_dstingsstyrelsen/2005/2005-08-23/rap1184.pdf !tarkistettu 5.10.2016
 - 195) Nordling E, Bluhm G, Tåg buller och hälsa – en en besvärstudie av exponering för buller från tågtrafiken i Sollentuna och Upplands Väsby, Rapport från Arbets- och miljömedicin, 2002:5, 32 s. <http://docplayer.se/12304561-Tagbuller-och-halsa-en-besvarsstudie-av-exponering-for-buller-fran-tagtrafiken-i-sollentuna-och-upplands-vasby.html> !tarkistettu 5.10.2016
 - 196) <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=26&pl=1> !tarkistettu 5.10.2016
 - 197) Schick A, Different interpretations of the meaning of annoyance, Inter-Noise 94 Proc., 785 – 790.
 - 198) Vallet M, Schmeltz P, Cross-cultural differences in annoyance response to traffic noise, Inter-Noise 94 Proc., 809 – 814.
 - 199) Kryter K, Perception of noisiness, Noise-Con 91 Proc., 29 – 42.
 - 200) Florentine M, Namba S, Kuwano S, Concepts of loudness, noisiness, noise, and annoyance in the U.S.A, Japan and England, Inter-Noise 86 Proc., 831 – 834.
 - 201) Knall V, Railway noise and vibration: Effects and criteria, J. Sound Vibr. **193**(1996)1, 9 – 20.
 - 202) Lercher P, The concept of annoyance and its inherent limitations: An epidemiologic appraisal, Inter-Noise 97 Proc., 1083 – 1088.
 - 203) Kamp I *et al.*, Indicators of annoyance: a psychometric approach; the measurement of annoyance and interrelations between different measures, Inter-Noise 2001 Proc., 1697 – 1701.
 - 204) Hatfield J, What is reaction to noise and how should it be measured, Inter-Noise 2001 Proc. 1817 – 1822.
 - 205) Fields J M, Explaining community response at low noise levels: Evidence and a theoretical respective, Noise-Con 90 Proc., 209 – 214.
 - 206) Maurin M, The measurement of noise annoyance responses, Inter-Noise 85 Proc., 993 – 996.
 - 207) Gunn W J, Field and laboratory research on human response to aircraft noise: the need to consider effects on health and welfare, Noisexpo Proceedings 1977 Chicago March 14 – 17, s. 15 – 22.
 - 208) Gibson J, The ecological approach to visual perception, Houghton Mifflin Co. Boston, 1979.
 - 209) Cutting, D, Two ecological perspectives: Gibson vs. Shaw and Turvey, American J. Psych. **95**(1982), 199 – 222.
 - 210) Kalveram K, Psychologische Test-theorie und der Zusammenhang zwischen physikalischer Lärm, Menge and Belästigungswirkung, Z. Lärmbekämpfung **42**(1995), 131 – 140.
 - 211) Kalveram K, Dassow J, Vogt J, How information about the source influences noise annoyance, 137th Meeting of the ASA and 2nd Convention of the EAA, Forum Acusticum. Paper 1pNSa_8.
 - 212) esim. WHO LARES, Final report: Noise effects and morbidity
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0015/105144/WHO_Lares.pdf?ua=1 !tarkistettu 4.10.2016
 - 213) Recio A *et al.*, Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms, Environ Res. **146**(2016), 359 – 370.
 - 214) The European Organization for the Safety and Air Navigation eli Euroopan ilmailukenteen turvallisuus- ja lennonjohto-organisaatio,
<http://www.eurocontrol.int/articles/who-we-are> !tarkistettu 4.10.2016

- 215) tutkimus Attitudes to Aircraft Annoyance Around Airports (5A),
https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/proj_5A.html ! tarkistettu 4.10.2016
- 216) Heaver C, Attitudes to Aircraft Annoyance around Airports (5A), Focus group Report, EEC/ENV/2002/009, 67 s,
https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/report/2002/026_Attitudes_to_Aircraft_Annoyance_Around_Airports.pdf !tarkistettu 4.10.2016
- 217) Bristow A, Warsman M, Further analysis of the 5A attitudinal and stated preference data sets - Final Report, EEC/SEE/2005/006, 58 s,
https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/report/2005/009_5A_Attitudinal_and_Stated_Preference_Data.pdf !tarkistettu 4.10.2016
- 218) Kroesen M. Molin E, van Wee B, Measuring subjective response to aircraft noise: The effects of survey context, J. Acoust. Soc. Am., **133**(2013)1, 238 – 246.
- 219) Ragetti M *et al.*, Annoyance from road traffic, trains, airplanes and from total environmental noise levels, Int J. Environ. Res. Public Health, **13**(2016)90, 13 s.
- 220) Masurier P L *et al.*, ANASE, Attitudes to noise from aviation sources in England, Technical appendices for department for transport, Queen's Printer and Controller of HMSO, October 2007, 430 s.
- 221) Fidell *et al.*, A first-principles model for estimating the prevalence of annoyance with aircraft noise exposure, J. Acoust. Soc. Am., **130**(2011)2, 791 – 806.
- 222) Schomer P *et al.*, Role of community tolerance level (CTL) in predicting the prevalence of the annoyance of road and rail noise, J. Acoust. Soc. Am., **131**(2012)4, 2772 – 2786.
- 223) Fidell S *et al.*, A systematic rationale for defining the significance of aircraft noise impacts, J. Acoust. Soc. Am., **136**(2014)3, 1129 – 1138.
- 224) Fidell S, A Modern Standardized Method for Predicting Community Response to Aircraft Noise, Civil Eng and Arch., **6**(2018)2, 71 – 77.
- 225) Taraldsen G, Gelderholm F, Gjestland T, How to measure community tolerance levels for noise, J. Acoust. Soc. Am., **140**(2016)1, 692 – 701.
- 226) Green D, Fidell S, Variability in the criterion for reporting annoyance in community noise surveys, J. Acoust. Soc. Am., **89**(1991)1, 234 – 243.
- 227) Anon, Supplemental metrics for day-night average sound level and day-evening-night average sound level, Final Report, INCE Technical Study Group on Metrics for Environmental Noise Assessment and Control (TSG 9), 111 s. <http://i-ince.org/files/publications/iince151.pdf> !tarkistettu 13.9.2018
- 228) Morinaga M, *et al.*, Community tolerance level for transportation noises derived from the Socio-Acoustic Survey Data Archive, SASDA, ICBEN 2017 Conference Proceedings, 12 s.
http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea06_Morinaga_P263876.pdf !tarkistettu 13.9.2018
- 229) Anon, ISO 1996-1:2016(en) Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures, 2016,
<https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:1996:-1:ed-3:v1:en> !tarkistettu 17.8.2018
- 230) Gjestland T, Gelderblom F B, Prevalence of Noise Induced Annoyance and Its Dependency on Number of Aircraft Movements, Acta Acustica unit. Acustica, **103**(2017)1, 28 – 33.
- 231) Gjestland T *et al.*, Noise seurveys at five Norwegian airports, Inter-Noise 2016 Proceedings, 7 s, <http://pub.dega-akustik.de/IN2016/data/articles/000031.pdf> !tarkistettu 17.9.2018
- 232) EU's future noise policy, WG2 – Dose/Effect, Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, 20 February 2002, 40 s.
- 233) Miedema H M, Vos H, Exposure-response relationships for transportation noise, J. Acoust. Soc. Am., **104**(1998)6, 3432 – 3445.
- 234) Kaku J, Yamada I, The possibility of a bonus for evaluating railway noise in Japan, J. Sound Vib., **193**(1996)1, 445 – 450.
- 235) Ma Y, Yano T, An experiment on auditory and non-auditory disturbances caused by railway and road traffic noises in outdoor conditions, J. Sound Vibr. **277**(2004)3, 201 – 209

- 236) Miedema H M, Response functions for environmental noise in residential areas, Report no. 92.021. Leiden, Netherlands:TNO-PG, 1992.
- 237) Lercher P *et al.*, The effects of noise from combined traffic sources on annoyance: the case of interactions between rail and road noise, Inter-Noise 2007 Proc. Kari Pesosen saama ennakkopio esitelmästä.
- 238) Anon., Guidelines for the sound insulation of residences exposed to aircraft operations, Wyle research report WR 89-7, 1989, 233 s.
- 239) Öhrström E *et al.*, Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness, J. Sound Vibr., **295**(2006)1–2, 40–59.
- 240) Kluizenaar Y, Adverse effects of long term exposure to road traffic noise, väitöskirja (yhteenvetokirja julkaisuista), Erasmus University Rotterdam, 8.4.2015, 185 s.
http://repub.eur.nl/pub/78214/150408_Kluizenaar-Yvonne-de.pdf !tarkistettu 24.1.2017
- 241) Van Renterghem T, Botteldooren D, Focused study on the quiet side effect in dwellings highly exposed to road traffic noise, Int J. Environ. Res. Public Health **12**(2012)9, 4292 – 4310.
- 242) Öhrström E, Skånberg A, Annoyance and activity disturbances caused by road traffic noise – field studies on the influence of access to quietness, Inter-Noise 2004 Proc, CD-ROM tiedosto IN04-159.pdf.
- 243) Kropp W, Ögren M, The failure of traditional traffic noise control for quiet areas, Inter-Noise 2004 Proc. CD-ROM, tiedosto IN04-629.pdf
- 244) van Renterghem T *et al.*, Improving the accuracy of engineering models at shielded building facades: experimental analysis of turbulence scattering, Inter-Noise 2013 Proc., 5 s.
- 245) Klæboe R, Engelen E, Steinnes M, Context sensitive noise impact mapping, Appl. Acoust. **67**(2006)7, 620 – 642.
- 246) Klæboe R, Are adverse impacts of neighbourhood noisy areas the flip side of quiet area benefits?, Appl. Acoust. **68**(2007)5, 557 – 575.
- 247) Johnsson E, Sörensen S, Relation between annoyance reactions and attitude to the source of annoyance, Public Health Reports **85**(1970), 1070 – 1074.
- 248) Schulte-Fortkamp B, Noise from combined sources: How attitudes towards environment and sources influence the assessment, Inter-Noise 1999 Proc., 1383 – 1386.
- 249) Weinstein N D, Individual differences in critical tendencies and noise annoyance, J. Sound Vibr. **68**(1980)2, 241 – 248
- 250) Job R F S, Over-reaction to changes in noise exposure: The possible effect of attitude, J. Sound Vibr. **126**(1988)3, 550 – 552.
- 251) Paulin J, Andersson L, Nordin S, Characteristics of hyperacusis in the general population, Noise Health, **18**(83), 178 – 184.
- 252) Brink M *et al.*, Aircraft noise indexes for effect oriented assessment, Acta Acustica unit Acustica **96**(2010)6, 1012 – 1025-
- 253) Bauer M *et al.*, COSMA, A European approach on aircraft noise annoyance research, Inter-Noise 2014 Proc., 12 s.,
https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p40.pdf !tarkistettu 20.9.2018
- 254) Brink M *et al.*, A new noise impact assessment method for noise policy, Inter-Noise 2007 Proc., 11 s.
- 255) Fidell S, Silvati L, Parsimonious alternatives to regression analysis for characterizing prevalence rates of aircraft noise annoyance, Noise Control Eng. J., **52**(2004)2, 56 – 68.
- 256) Schreckenber D, Meis M, Effects of aircraft noise on noise annoyance and quality of life around Frankfurt airport, IFOK GmbH – Institut für Organisationskommunikation, 22th February 2007, 18 s.
- 257) Federal agency review of selected airport noise analysis issues, FICON (Federal Interagency Committee On Noise), 1992, 119 s.
ftp://ftp.agl.faa.gov/Materials%20Released%20Related%20to%20the%20OM%20EIS/3-31-2005%20World%20Gateway%20Related%20Documents/787_122.pdf !tarkistettu 5.10.2016
- 258) Schreckenber D, Meis M, Noise annoyance around an international airport planned to be extended, Inter-Noise 2007 Proc., Kari Pesosen kollegoiltaan saama CD-ROM version täydennetty kopio esitelmästä.

- 259) Kaneko T, Goto K, Noise annoyance, stress and health around an airport in Japan, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN06_236.pdf
- 260) Schreckenberg D *et al.*, Aircraft noise and quality of life around Frankfurt airport, Int. J. Environ. Res. Public Health, **7**(2010), 3382 – 3405.
- 261) Guski R, Schreckenberg D, Schurer R, WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance, Int. J. Environ. Res. Public Health, **14**(2017)12, 42 s.
- 262) Guski R, Schreckenberg D, Schurer R, Supplementary Materials: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance, Int J. Environ. Res. Public Health, **14**(2017)12, 73 s.
- 263) Anon, Aircraft Noise and Annoyance: Recent findings, Civil Aviation Authority, Environmental Research and Consultancy Department, Report CAP 1588, Febr, 2018, 57 s. https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP1588_FEB18.pdf !tarkistettu 17.9.2018
- 264) Guski R, Schurer R, Schreckenberg D, Aircraft noise annoyance - Present exposure-response relations, Euronoise 2018 Proc., 473 – 478.
- 265) Guski R, The increase of aircraft noise annoyance in communities. Causes and consequences, ICBEN 2017 Congr. Proc., 12 s.
- 266) Perusteena oli muun muassa se, että kyselututkimuksissa vähintään 5 %, joidenkin mielestä jopa 10 %, vastaajista ilmoittaa kokevansa melun suuresti kiusallisena tutkit-tavan melun voimakkuudesta riippumatta.
- 267) Kari Pesosen saama ennakkotieto ympäristömeludirektiivin edellyttämästä arvioista melualueilla asuvien määrästä Heathrown kentän ympäristössä.
- 268) Paté A *et al.*, Perceived unpleasantness of aircraft flyover noise: Influence of temporal parameters, Acta Acust United Acust., **103**(2017)1, 34 - 47.
- 269) Wang Y *et al.*, Effects of acoustic characteristics on annoyance of aircraft flyover noise, Noise Control Eng. J., **63**(2015)3, 279 – 286.
- 270) Plotkin K J, Bradley K W, The effect of onset rate on aircraft noise annoyance, Vol. 1, laboratory experiments, Wyle Laboratories, May 1992, 135 s.
- 271) Stusnick E *et al.*, The Effect of onset rate on aircraft noise annoyance, Volume 2: Rented home experiment, Wyle Laboratories, March, 1992. 103 s.
- 272) Stusnick E, Bradley K A, Bossi M A, The effect of onset rate on aircraft noise annoyance, Vol. 3, Hybrid own-home experiment, Wyle Laboratories, Dec. 1993, 110 s.
- 273) Stusnick *et al.*, The effect of onset rate on annoyance to military aircraft noise, Noise-Con 1993 Proc., 379 – 384.
- 274) Guski R *et al.*, Fluglärm 2004, Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt, Berlin, September 2004, 116 s. http://www.gesundheitsfoerdernde-hochschulen.de/Inhalte/G_Themen/G13_Laerm/UBA_2004.pdf !tarkistettu 4.10.2016
- 275) Nilsson M *et al.*, Flygbuller på uteplats - besvärsupplevelser och hälsa i relation till maximalnivå och antal flygbullerhändelser, Slutrapport från forskningsprogrammet MAXFLYG, Naturvårdsverket, Rapport 6570, 2013, 100 s.
- 276) Höglund K, Lentomelu asuin ympäristössä, Kyselytutkimus lentomelun vaikutuksista Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäristössä, Vantaan kaupunki, Ympäristökeskus, Julkaisu C15:96, 43 s + liitt.
- 277) Anon, Tampere-Pirkkala lentoasema-alueen asukastutkimus, kesäkuu 2015, Taloustutkimus Oy: ja Research-Insight Finland Oy:n Finaviantoimeksiannosta yhteistyönä tekemä tutkimus, 33 s.
- 278) 1960-luvulla annoyance ja disturbance eivät olleet vakiintuneet eri käsitteiksi.
- 279) Robinson D W, Bowsher J M, Copeland W C T, On judging the noise from aircraft in flight, Acustica, **13**(1963)5, 323 – 336.
- 280) Bowsher J M, Johnson D R, Robinson D W, A further experiment on judging the noisiness of aircraft in flight, Acustica, **15**(1966)5, 245 – 267.
- 281) Miedema H M E, Fileds J M, Vos H, Effect of season and meteorological conditions on community noise annoyance, J. Acoust. Soc. Am. **117**(2005)5, 2853 – 2865.
- 282) Gelderblom T *et al.*, The impact of civil versus military aircraft noise on noise annoyance, Inter-Noise 2014 Proc., 10 s. https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p106.pdf !tarkistettu 10.4.2017

- 283) Gelderblom T, Gjestland T, Granøien I, Undersøkelse av støyplage ved norske flyplasser, Sintef Rapport A27596, 2016, 60 s.
<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2382313> !tarkistettu 10.4.2017
- 284) Keskustelut Finavian lentomelusta ja ympäristöasioista vastaavien henkilöiden kanssa ja vuosittaiset tilastot. ks. luku 4.16 Valitukset lentomelusta.
- 285) Hammarström Puhakka Partners Oy, Vastine Vaasan hallintoikeudelle ympäristölupapäätökseen dnro ESAV/75/04.08/2010, 245 s. Viitteenä on tämän vastineen kuva 26 sivulla 127. Kuvassa on esitetty miten melua koskevat vuoden 2010 yhteydenotot jakaantuvivat ajallisesti eri päville ja riippuen lasketumisten määrästä ja lasketumisten määrästä 04-suuntaiselle kiitotielle.
- 286) Fields J M, The relative effect of noise at different times of day, An analysis of existing data, NASA Contractor Report 395, 1986, 81 s.
- 287) Miedema H M, Vos H, de Jong R G, Community reaction to aircraft noise: Time-of-day penalty and tradeoff between levels of overflights, J. Acoust. Soc. Am. **107**(2000)6, 3245 – 3253.
- 288) Kastka J, Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafen Frankfurt, Düsseldorf 1999, 89 s.
- 289) Suurehkosti kiusaantuneiksi laskettiin ne, jotka arvioivat melun seitsenportaisella kategoria-asteikolla kolmeen ylämpään luokkaan. Tämä on hieman herkempi asteikko, kuin jos katkaisukohtana olisi 72 sataportaisella asteikolla.
- 290) Schreckenber D, Guski R, Lärmbelästigung durch Straßen- und Schienenverkehr in Abhängigkeit von der Tageszeit, Einzelaufgabe 2131 des Forschungsverbundes Leiser Verkehr – Lärmwirkung gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, ZEUS GmbH, 2004, 119 s.
- 291) <http://www.fp7-cosma.eu/> !tarkistettu 3.4.2017
- 292) Bauer M, Accompanying document & publishable summary report of technical achievements, 31.7.2013, 28 s. <http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/8670/final1-130731-cosma-234118-final-report-accompanying-document-v2.pdf> !tarkistettu 3.4.2017
- 293) van Kempen E E, van Kamp I, Annoyance from air traffic noise, Possible trends in exposure-response relationships. Report 01/2005, Reference 00265/2005, Bilthoven (NL), RIVM.
- 294) Wirth K, Bröer Ch, More annoyed by aircraft noise than 30 years go? Some figures and interpretations, Inter-Noise 2004 Proc. CD-ROM tiedosto 441.pdf
- 295) Masurier P *et al.*, ANASE, Attitudes to noise from aviation sources in England, Final report for Department for Transport, Oct 2007, Queen's Printer and Controller of HMSO – 2007, 144 s.
- 296) Babisch W *et al.*, Associations between road traffic noise, aircraft noise and noise annoyance, preliminary results of the HYENA study, Proc. ICA 2007, CD-ROM, tiedosto ENV-04-001.pdf
- 297) Schreckenber D, *et al.*, Norah Modul 1, Wirkungen von Verkehrslärm auf Belästigung & Lebensqualität, ICANA-Health Conference, Frankfurt, 12 – 13.11.2015, esitelmäkalvot, 46 s.
- 298) Yano T *et al.*, Community response to a step change in aircraft noise exposure: the first socio-acoustic survey around Noi Bai airport in Hanoi, ICSV22, Florence, Italy, 12 – 16 July 2015, 8 s.
- 299) Brink M *et al.*, Effects of scale, question location, order of response alternatives, and season on self-reported, noise annoyance using ICBEN scales: a field experiment, Int. J. Environ. Res. Public Health, **23**(2016)11, 19 s.
- 300) Anon, Survey of noise attitudes 2014: Aircraft, CAP 1506, Civil Aviation Authority, Policy Programmes Team, 2017, 117 s.
<http://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP%201506%20FEB17.pdf> !tarkistettu 13.2.2017
- 301) Gelderblom F *et al.*, On the stability of community tolerance for aircraft noise, Acta Acustica unit. with Acustica, **103**(2017)17 – 27.
- 302) Job R F S *et al.*, Public reactions to changes in noise levels around Sydney Airport, Inter-Noise 1996 Proc., Vol 5, 2419 – 2424.
- 303) Guski R, How to forecast community annoyance in planning noisy facilities, Noise Health, **6**(2004)22, 59 – 64.

- 304) Miedema H, Vos H, Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transport noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, **105**(1999)6, 3336 – 3344.
- 305) Fields J M, Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas, *J. Acoust. Soc. Am.*, **93**(1993)5, 2753-2763.
- 306) Maziul M, Socio-organisational interface design between airport residents and airport management, Doctoral Thesis, University of Dortmund, Faculty 14 Humanwissenschaften und Theologie, November 2005, 168 s.
- 307) Flindell I H, Stallen P J, Non-acoustical factors in environmental noise, *Noise Health*, **1**(1999)3, 11 – 16.
- 308) Stallen P J, A theoretical framework for environmental noise annoyance, *Noise Health*, **1**(1999)3, 69 – 79.
- 309) Schuemer R, Schreckenberg D, Änderung der Lärmbelästigung bei Massnahmen bedingter, stufenweise veränderter Geräuschbelastung, *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* **47**(2000)4, 134 – 143.
- 310) Flindell I, Masurier P, Schreckenberg D, Aircraft noise assessment – alternative approaches, *Inter-Noise 2013 Proc.*, 7 s.
- 311) Yano T, *et al.*, Comparison of community response to road traffic noise in Japan and Sweden – Part II: Path analysis, *J. Sound Vib.*, **250**(2002)1, 169-174.
- 312) Foreman J, Dickinson S M, Emmerson M, Noise measurements and attitudinal surveys of the cities of London and Woodstock, Ontario, Canada, *Noiseexpo 1974 Proc.*, Chicago, Illinois, June 4 -6, 1974, 26 – 34.
- 313) Hayashi M *et al.*, Effects of planting on relief of annoyance – field survey at urban roadside, *Inter-Noise 94 Proc.*, 989 – 992.
- 314) Bradley J, Jonah H, The effects of site selected variable on human response to traffic noise, *J. Sound Vibr.* **66**(1979), 589 – 604.
- 315) Vallet M, Carrere C, Lacoste P, La gêne due au bruit des liaisons interurbaines en rase campagne, *11th ICA Proc.* 1983, 155 – 168.
- 316) Rasmussen B, Ekholm O, Neighbour and traffic noise annoyance at home-prevalence and trends among Danish adults, *Euro-Noise 2015 Proc.* 1895 – 1900.
http://www.conforg.fr/euronoise2015/output_directory/data/articles/000604.pdf
tarkistettu 11.4.2017
- 317) Fields J M, Policy-related goals for community response, *Proc.*, Noise as a Public Health Problem, 1988, Stockholm, Vole 5, Part II, 115 – 134.
- 318) Sato T, *et al.*, Comparison of community responses to road traffic noise among residents of different types of housing, *Inter-Noise 96 Proc.*, 1321 – 1326.
- 319) Lim C, Kim J, Lee S, Effect of background noise levels on community annoyance from aircraft noise, *J. Acoust. Soc. Am.* **123**(2008)2, 766 – 771
- 320) Johnston G, Haasz A, The influence of background noise and signal duration on the judged annoyance of aircraft noise, Report No 228, Institute for aerospace studies, University of Toronto, 1978, 35 s.
- 321) Taylor M, Hall F, Birnie S, Effect of background noise on community response to aircraft noise, *J. Sound Vibr.*, **71**(1980)2, 261 – 270.
- 322) Lim J, The moderating effects of vegetation on human violent behavior caused by environmental stressors, The university of Texas at Arlington, MSc Thesis, 2005, 95 s.
Tämän DI-työn kirjallisuusluettelossa on mainittu useita asiaa valaisevia tutkimuksia.
- 323) Pesonen K, Istutukset ja kasvillisuus meluhaittojen vähentäjänä asuinympäristössä, Plantings and vegetation as measures to reduce noise nuisances in residential areas, Insinööritoimisto Kari Pesonen Oy, 1995, 3. painos, 42 s. Alun perin julkaistu TKK:n Ympäristönsuojelutekniikan laboratorion julkaisusarjassa. Kts. luku 3 Kasvillisuuden vaikutus meluhaittojen kokemiseen.
- 324) Job R F S, Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction, *J. Acoust. Soc. Am.*, **83**(1988)3, 991 – 1001.
- 325) Hatfield *et al.*, Public reactions to changes in noise influences physiological responses: evidence supporting causality, *Inter-Noise 1998 Proc.* CD-ROM tiedosto IN980440.pdf
- 326) Guski R, Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance, *Noise Health*, **1**(1999)3, 45 – 56.

- 327) Bartels S, Márki F, Müller U, The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field - The COSMA study, *Sci Total Environ.* **358**(2015), 834 – 843.
- 328) Jabben J, Geluid en Informatie rondom vliegbases Leeuwarden en Volkel, Opties voor monitoring en informatievoorziening, RIVM Briefrapport 2015-0214, 126 s.
http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Wetenschappelijk/Rapporten/2016/februari/Geluid_en_Informatie_rondom_vliegbases_Leeuwarden_en_Volkel_Opties_voor_monitoring_en_informatievoorziening ! tarkistettu 2.3.2017
- 329) Woodward J, Lassman-Briscoe L, Dunholter P, Aircraft noise: A toolkit for managing community expectations, Transportation research board, ACRP Report 15, Washington D.C. 2019, 151 s.
- 330) Nykysosiologiassa asenne määritellään arvioksi jostakin, josta on tietoa. Asenne eli arvio, voi olla myönteinen, neutraali tai kielteinen. Esimerkiksi juridiikassa henkilön oma arvio ei riitä näytöksi, eikä lääketieteessäkään lähdetä siitä, että potilaan oma arvio sairautensa laadusta ja vakavuudesta olisi oikea.
- 331) McKennell A, Psycho-social factors in aircraft noise annoyance, *Proceedings of ICBEN 1973*, 627 – 644.
- 332) Borsky P N, A causal model for relating noise exposure, psycho-social variables and aircraft noise annoyance, *Proceedings of ICBEN 1973*, 691 – 705.
- 333) Phun V *et al.*, Effects of noise sensitivity, noise exposure and affluent status on aircraft noise annoyance, *J. Env. Protect.* **6**(2015)9, 976 – 985.
http://file.scirp.org/pdf/JEP_2015090713535134.pdf !tarkistettu 28.2.2017
- 334) Niemann H *et al.*, Noise annoyance – Results of the GEDA study 2012, Robert Koch Insitut, GBE Kompakt, 5(2014)4, 9 s. www.rki.de/gbe-kompakt !tarkistettu 3.3.2017
- 335) Palmquist E *et al.*, Overlap in prevalence between various types of environmental intolerance, *Int J Hyg Environ Health*, **217**(2014)4 – 5, 427 – 434.
- 336) EEG, engl. ElectroEncephaloGram, laitteisto, joka mittaa iholle kiinnitettyjen antureiden avulla aivosähkökäyriä.
- 337) Mignot E, Why We Sleep: The Temporal Organization of Recovery, *Plos Biology*, **6**(2008)4, 662 – 669.
<http://journals.plos.org/plosbiology/article/asset?id=10.1371/journal.pbio.0060106.PDF> ! tarkistettu 8.11.2016
- 338) Esimerkiksi uniapneataudissa unihäiriöiden (vai veren happivajeen?) on todettu mm. lisäävän verenpainetta ja huonontavan muistia, mutta tavanomaisen ympäristömelun aiheuttamille unihäiriöille tällaista ei ole pystytty näyttämään.
- 339) Ollila H, Genetics of sleep, Sleep and comorbidities: Connection at the genetic level, väitöskirja, University of Helsinki, Department of Psychiatry, 2013, 123 s.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37896/ollila_dissertation.pdf?sequence=1 !tarkistettu 3.4.2017
- 340) Kronholm E *et al.*, Self-reported sleep duration in Finnish general population, *J. Sleep Res.*, **15**(2006)1, 276 – 290.
- 341) Kronholm E *et al.*, Trends in self-reported sleep duration and insomnia-related symptoms in Finland from 1972 to 2005 - a comparative review and re-analysis of Finnish population samples, *J. Sleep Res.*, **17**(2008)3, 54 – 62.
- 342) Partonen M, Unesta terveyttä, 7.1.2009.
http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=onn00112 !tarkistettu 3.4.2017
- 343) Hublin C, Partinen M, Koskenvuo M, Kaprio J, Sleep and mortality: a population-based 22-year follow-up study, *Sleep* **30**(2007)10, 1245 – 1253.
- 344) Tuovinen M, Unettomuus, Lääkärikirja Duodecim, Unettomuus
http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00534 !tarkistettu 4.10.2016
- 345) Uniliitto ry www-sivut: <http://www.uniliitto.fi/> !tarkistettu 4.10.2016
- 346) Anon, The international classification of sleep disorders, revised diagnostic and coding manual, American Academy of Sleep Medicine, 2001, 208 s. ISBN: 0-9657220-1-5.
<http://www.esst.org/adds/ICSD.pdf> !tarkistettu 4.10.2016, Uusin painos:
<http://www.aasmnet.org/store/product.aspx?pid=849> ! tarkistettu 4.10.2016

- 347) Muzet A, Possible long-term health effects of sleep disruption and sleep reduction due to community noise, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN08_365.pdf
- 348) <https://en.wikipedia.org/wiki/Polysomnography> !tarkistettu 3.11.2016
- 349) Basner M, *et al.*, Nachfluglärmwirkungen, Band 1, Zusammenfassung, DLR, Forschungsbericht 2004-07/D, 93 s.
- 350) Basner, M, Brink, M, Elmenhorst, E M, Critical appraisal of methods for the assessment of noise effects on sleep, Noise Health **14**(2012), 321–329.
- 351) Basner M, McGuire S, WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep, Int. J. Environ. Res. Public Health, **15**(2018)3, 519 – 564.
- 352) Ekundayo O *et al.*, Isolated systolic hypertension and incident heart failure in older adults: A propensity-matched study, Hypertension **53**(2009)3, 458 – 465.
- 353) Elmenhorst E-M *et al.*, Residents' attitude towards air traffic and objective sleep quality are related, Inter-Noise 2016 Proc. 3 s.
http://elib.dlr.de/108427/1/Paper_Internoise.pdf ! tarkistettu 13.12.2016
- 354) Rechtschaffen A, Kales A, A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1968.
- 355) Bonnet M H, *et al.*, The scoring of arousal in sleep: Reliability, validity, and alternatives, J. Clin. Sleep Med., **3**(2007)2, 133 – 145 + liitt.
- 356) Silber M H *et al.*, The visual scoring of sleep in adults, J. Clin. Sleep Med., **3**(2007)3, 121 – 131 + liitt.
- 357) REM, engl. Rapid Eye Movements, nopea silmän liike (luomet suljettuna).
- 358) Lang H *et al.* (eds.) Sähköiset aivomme, Luku: Unen ja vireyden neurologinen säätely. Suomen klinisen neurofysiologian yhdistys ry., Turku, 1994, ss. 467 – 482.
- 359) Laing R J A, A sleep spindle detection algorithm, MS-Thesis, University of Waikato, 2002, 87 s.
- 360) Basner M, Samel A, Nocturnal aircraft noise effects, Noise Health, **6**(2004)22, 83 -93.
- 361) Basner M, Markov state transition models for the prediction of changes in sleep structure induced by aircraft noise, Forschungsbericht 2006-07, DLR, 159 s.
- 362) Chouchou F *et al.*, Sympathetic overactivity due to sleep fragmentation is associated with elevated diurnal systolic blood pressure in healthy elderly subjects - the PROOF-SYNAPSE study, Eur Heart J., **34**(2013) 2122 – 2131.
- 363) Griefahn B, Jansen G, Böhmer O, Schlafstörungen und Hypnotikakonsum bei unterschiedlicher Belastung durch Strassengeräusche, Z. Arb. Wiss, **39**(1985)1, 15 – 18.
- 364) Brink M, Wirth K, Schierz C, Effects of early morning aircraft overflights on sleep and implication for policy making, Euro-Noise 2006 Proc. CD-ROM tiedosto SS18-353.pdf
- 365) Miller N, Schomer P, How many people will be awakened by noise tonight?, Acoustics Today, April 2009.
<http://acousticstoday.org/issues/2009AT/Apr2009/index.html#?page=26> !tarkistettu 20.4.2017
- 366) Näytekuvia unen aikaisista erilaisista aivosähkökäyrien rytmeistä löytyy esimerkiksi: http://www.neurofys.uu.se/v2/docs/fredagsseminar_version2011_1.pdf Tarkistettu 5.10.2016.
- 367) Bonnet M *et al.*, EEG arousals: scoring rules and examples preliminary report from the sleep disorders atlas task force of the American Sleep Disorders Association, Sleep **15**(1992)2, 173 – 184.
- 368) Stevenson D, McKellar N, The effect of traffic noise on sleep of young adults in their homes, J. Acoust. Soc. Am. **85**(1989)2, 768 – 771.
- 369) Steinicke G, Die Wirkung von Lärm auf den Schlaf des Menschen. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums, NRW Nr. 416, 1957.
- 370) Hume K I, Van F, Watson A, Effects of aircraft noise on sleep: EEG-based measurements, Manchester Metropolitan University, June 2003, 52 s.
- 371) Terzano M G, *et al.*, Atlas, rules, and recording techniques for scoring of cyclic alternating pattern (CAP) in human sleep, Sleep Med. **3**(2002)2, 187 – 199.
- 372) Martin S E, *et al.*, Microarousals in patients with sleep apnoea/hypopnoea syndrome, J. Sleep Res. **6**(1997), 276 – 280.

- 373) Salzarulo P, *et al.*, Sleep stages preceeding spontaneous awakening in the elderly, *Sleep Res. Online*, **3**(1999)2, 73 – 77.1
- 374) Passchier-Vermeer W, Night-time noise events and awakening, TNO Intro Report, 2003-20, July 2003, 59 s.
- 375) Öhrstöm E, Rylander R, Björkman M, Effects of night time road traffic noise – An overview of laboratory and field studies on noise dose and subjective sensitivity, *J. Sound Vibr.* **127**(1988)3, 441 – 448.
- 376) Tiedostettujen heräämisten määrä vaihtelee suuresti eri henkilöillä ja eri öinä. Monet sairaudet, tunnetuimpina suurentunut eturauhanen ja uniapnea sekä runsas nesteen (esim. alkoholin) nautinta ennen nukkumaan menoa lisäävät yöaikaisia heräämisiä.
- 377) Ollerhead J, Past and present UK research on aircraft noise effects, *Noise-Con 93 Proc.*, 9 – 18.
- 378) van der Ploeg F, Schuller W, Recent developments with respect to aircraft noise and sleep disturbance, *Inter-Noise 93 Proc.*, 155 – 160.
- 379) Mathur R, Douglas N J, Frequency of EEG arousals from nocturnal sleep in normal subjects, *Sleep* **18**(1995)5, 330–333.
- 380) Bonnet M, Arand D L, EEG arousal norms by age. *J Clin Sleep Med.* **3**(2007)3, 271 – 274 .
- 381) Basner M, *et al.*, Aircraft noise: Effects on macro- and microstructure of sleep, *Sleep Med.* 2007, doi:10.1016/j.sleep.2007.07.002 (e-print ennakkojulkaisu).
- 382) Koca R *et al.*, Sleep disturbance in patients with lichen simplex chroniucus and its relationship to nocturnal scratching: A case control study, *South. Med. J.* **99**(2006)5, 482 – 485.
- 383) Basner, M, *et al.*, Aircraft noise effects on sleep: a systematic comparison of EEG awakenings and automatically detected cardiac activations, *Physiol Meas.*, **29**(2008)9, 1089 – 1103.
- 384) Sabri M, *et al.*, Effects of sleep onset on the mismatch negativity (MMN) to frequency deviants using a rapid rate of presentation, *Cogn. Brain Res.* **17**(2003)1, 164 – 176.
- 385) esim. Home J, *Why we sleep*, Oxford University Press, New York, 1990: ”En esimerkiksi tiedetä, mikä merkitys eri univaiheiden keston ja ajoituksen vaihteluilla on ihmiselle terveyden kannalta.”
- 386) Esimerkiksi uniapneatutkimuksissa on todettu yhteys EEG-heräämisten määrän ja unen virkistävän vaikutuksen välillä. Tällöin puhutaan yleensä yli 5...20 EEG-heräämisestä tunnissa.
- 387) Pitson D J, Stradling J R, Autonomic markers of arousal during sleep in patients undergoing investigation for obstructive sleep apnoea, their relationship to EEG arousals, respiratory events and subjective sleepiness, *J. Sleep Res.* **7**(1998)1, 53 – 59.
- 388) Scholle S, Zwacka G, Arousals and obstructive sleep apnea syndrome in children, *Clin Neurophysiol.* **112**(2001)6, 984 – 991.
- 389) Chouchou F *et al.*, Sympathetic overactivity due to sleep fragmentation is associated with elevated diurnal systolic blood pressure in healthy elderly subjects: the PROOF-SYNAPSE study, *Eur. Heart J.* **34**(2013)28, 2122 – 2131.
<http://eurheartj.oxfordjournals.org/content/34/28/2122> ! Tarkistettu 19.12.2016
- 390) Basner M *et al.*, Nachtfluglärmwirkungen – eine Teilaswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlafabornächten, DLR, Forschungsbericht 2001-26, 208 s.
- 391) Samel A, Basner M, Aircraft noise effects on sleep: DLR research results and their application, *Euro-Noise 2006 Proc.* CD-ROM tiedosto SS18-151.pdf
- 392) Nassur A, *et al.*, Aircraft noise exposure and subjective sleep quality: The results of the DEBATS study in France, ICBEN- 2017. Kongressiesitelmä.
http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea05_Nassur_0511_2441.pdf !tarkistettu 23.7.2018
- 393) Nassur A, *et al.*, Aircraft noise exposure and subjective sleep quality: The results of the DEBATS study in France, *Behav Sleep Med*, Published online 15 Dec 2017. Riskiluvut, OR eroavat muutaman sadasosan verrattuna edelliseen Nassur *et al.* viitejulkaisuun.
- 394) Evrard E *et al.*, DEBATS, Discussion on the health effects of aircraft noise, IFSTTAR, 2018, Esitelmä.
http://www.sfse.org/userfiles/files/11_Evenements_partenaires/2018_Workshop_bruit/Workshop_Bruit_06_Anne-Sophie_Evrard_DEBATS_study.pdf

- 395) Krystal A, Treating the health, quality of life, and functional impairments in insomnia, *J. Clin. Sleep Med.* **3**(2007)1, 63 – 72.
- 396) Leger D *et al.*, SF-36: evaluation of quality of life in severe and mild insomniacs compared with good sleepers. *Psychosom Med.* **63**(2001)1, 49 – 55.
- 397) Pittsburgh sleep quality index (PSQI), esim. Grander M A *et al.*, Criterion validity of the Pittsburgh sleep quality index: Investigation in a non-clinic sample, *Sleep and Biol. Rhythms*, **4**(2006)2, 129 – 136.
- 398) http://www.rand.org/health/surveys_tools/mos/36-item-short-form.html !tarkistettu 5.10.2016
- 399) Turner-Bowker D M, Bartley P.J, Ware J E Jr, SF-36, Health survey and SF Bibliography: Third Edition (1988-2000). Lincoln, RI, QualityMetric Incorporated, 2002. Third Edition (1988-2000). Lincoln, RI: QualityMetric Incorporated, 2002.
- 400) WHO - Quality of Life (WHOQOL) !
http://www.who.int/mental_health/publications/whoqol/en/ !tarkistettu 4.10.2016
- 401) WHO - Quality of Life (WHOQOL)-Bref, 2004, 5 s.
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/77773/1/WHO_HIS_HSI_Rev.2012.02_eng.pdf !tarkistettu 4.10.2016
- 402) Asher M I, *et al.*, International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC): rationale and methods, *Eur Respir J.* **8**(1995), 483 – 491.
- 403) Ravens-Sieberer U, Bullinger M, Assessing health-related quality of life in chronically ill children with the German KINDL: first psychometric and content analytical results, *Quality Life Res.* **7**(1998)5, 399 – 407.
- 404) Dement W C, Stanford sleepiness scale, 2009. <http://web.stanford.edu/~dement/sss.html> !tarkistettu 14.12.2016
- 405) Bastien C, Vallieres A, Morin C, Validation of the Insomnia Severity Index as an outcome measure for insomnia research, *Sleep Med* **4**(2001)2, 297–307.
- 406) Johns M, A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale, *Sleep*, **14**(1991)6, 540 – 545.
- 407) Kwak K M *et al.*, The effect of aircraft noise on sleep disturbance among the residents near a civilian airport: a cross-sectional study, *Ann Occupand Environ Med*, **28**(2016)1, 10 s. <http://aoemj.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s40557-016-0123-2?site=aoemj.biomedcentral.com> !tarkistettu 13.12.2016
- 408) Burchfield S, Review article – The stress reponse: A new perspective, *Psychsom Med* **41**(1979)8, 661 – 672.
- 409) Ising H, Babisch W, Günther T, Work noise as a risk factor in myocardial infarction, *J. Clin. Bas. Cardiol.* **2**(1999), 64 – 68.
- 410) Spreng M, Cortical excitation, cortisol excretion and estimation of tolerable night over-flight, *Noise Health*, **4**(2003)16, 39 – 46.
- 411) Öhrström E, Björkman M, Effects of noise-disturbed sleep – A laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity, *J. Sound Vibr.* **122**(1988) 2, 277 – 290.
- 412) Maschke C, Excretion of cortisol under nocturnal noise and differences due to analytic techniques, *Noise Health*, **5**(2002)17, 47 – 52.
- 413) Spreng M, Noise induced nocturnal cortisol secretion and tolerable overhead flights, *Noise Health*, **6**(2004)22, 35 – 47.
- 414) Bigert C, Bluhm G, Therell T, Saliva cortisol – a new approach in noise research to study stress effects, *Int. J. Hyg. Env. Health* **208**(2007)3, 227 – 230.
- 415) Ising H, Braun C, Acute and chronic endocrine effects of noise: Review of the research conducted at the institute for water, soil and air hygiene, *Noise Health* **2**(2000)7, 7 – 24.
- 416) Born J, Fehm H L, The neuroendocrine recovery function of sleep, *Noise Health*, **2**(2000)7, 25 – 37.
- 417) Spreng M, Central nervous system activation by noise, *Noise Health*, **2**(2000)7, 49 – 57.
- 418) Anon, The influence of night-time noise on sleep and health, Health council of the Netherlands, No. 2004/14E, The Hague, 22 July 2004. 196 s.
- 419) Job R F S *et al.*, Relationship between reactions to aircraft noise, psychological health and sleep disturbance, *Inter-Noise 98 Proc.*, CD-tiedosto IN980439.pdf.
- 420) Hume K I, Van F, Watson A, Effects of aircraft noise on sleep: EEG-based measurements, Manchester Metropolitan University, June 2003, 52 s

- 421) Nivison M E, Endresen I M, An analysis of relationships among environmental noise, annoyance and sensitivity to noise, and the consequences for health and sleep, *J Behav Med.* **16**(1993)3, 257 – 276
- 422) Porter N D, Kershaw A D, Ollerhead J B, Adverse effects of night time aircraft noise, R&D report 9964, CAA, Environmental Research and Consultancy Department, 2000, 49 s.
- 423) Blois R, Debilly G, Mouret J, Daytime noise and its subsequent sleep effects, *Noise as a Publ. Health Probl. Proceedings*, 1978, 425 – 432.
- 424) Miedema H M E, Passchier-Vermeer W, Vos H, Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance, TNO Intro report 2002-59, 2003, 64 s
- 425) van Kempen *et al.*, The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis, *Environ Health Perspect.*, **110**(2002)3, 307 – 317.
- 426) Irwin M R, *et al.*, Sleep disturbance, sleep duration, and inflammation: A systematic review and meta-analysis of cohort studies and experimental sleep deprivation, *Biol. Psychiatry* **80**(2016)1, 40 – 52.
- 427) Mantua J, Spencer R M, The interactive effects of nocturnal sleep and daytime naps in relation to serum C-reactive protein, *Sleep Med.* **16**(2015)10, 1213 – 1216.
- 428) Schmidt F P *et al.*, Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults, *Eur. Heart J.*, **34**(2013)45, 3508 – 3514.
- 429) Charakida M, Deanfield E, Nighttime aircraft noise exposure: flying towards arterial disease, *Eur. Heart J.*, **34**(2013)45, 3472 – 3474.
- 430) Tagusari J *et al.*, Night-time noise index based on the integration of awakening potential, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **13**(2016)3, 17 s.
- 431) Tagusari J, Matsui T, A neurophysiological approach for evaluating noise-induced sleep disturbance - Calculating the time constant of the dynamic characteristics in the brainstem, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **13**(2016)4, 15 s.
- 432) Namba S, Kuwano S, Okamoto T, Sleep disturbance caused by meaningful sounds and the effect of background noise, *J. Sound Vibration* **277**(2004)3, 445 – 425
- 433) Schieber J P, Analytical study in the laboratory of the influence of noise on sleep, Final report, Strasbourg Faculty of Medicine, April 1968.
- 434) Fidell S *et al.*, Aircraft noise-induced awakenings are more reasonably predicted from relative than from absolute sound exposure levels, *J. Acoust. Soc. Am.* **134**(2013)5, 3645–3653.
- 435) Jones J, Aircraft Noise and Sleep Disturbance: A Review, ERCD Report 0905, Civil Aviation Authority (CAA), 2009, 40 s.
- 436) Pearsons K, Recent field studies in the United States involving the disturbance of sleep from aircraft noise, *Inter-Noise 96 Proc.*, 2271 – 2276.
- 437) Thiessen G J, Habituation of behavioural awakening and EEG measures of response to noise, *Proc. ICBEN 1980*, 397 – 400.
- 438) Fidell S *et al.*, Field studies of habituation to change in nighttime aircraft noise and of sleep motility measurement methods, *US Air Force Res. Lab.* March 1998, 120 s. Kovin vähän tietoa tottumisen vaikutuksesta.
- 439) Basner *et al.*, Effects of aircraft noise on sleep: habituation in the laboratory and in the field, *Inter-Noise 2015 Proc.*, 8 s.
- 440) Thiessen G, Lapointe A, Effect of intermittent truck noise on percentage of deep sleep, *J. Acoust. Soc. Am.* **64**(1978)4, 1078 – 1080.
- 441) Pearsons K *et al.* Predicting noise-induced sleep disturbance, *J. Acoust. Soc. Am.* **97**(1995)1, 331 – 338.
- 442) Passchier-Vermeer W *et al.*, Slaapverstoring door vlieguiggeluid, TNO Rapport 2002.028, 2002, 102 s.
- 443) Basner M, Iserman U, Samel A, Die Umserzung ded DLR-Studie in einer lärm-medizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept, *Z. Lärmbek.* **52**(2005)4, 109 – 123.
- 444) prof. Eberhard Greiserin esitelmän kalvot: Was kann die Epidemiologie zur Beurteilung, der STRAIN-Studie beitragen?, <http://www.aefusch.de/literatur/Greiser/STRAIN-Kritik.pdf> !tarkistettu 5.10.2016

- 445) Dr. Klaus Giersiepenin ja prof. E. Greiserin lausunto 30.6.2003: Fluglärmbelästigungen: Stellungnahme aus epidemiologischer Sicht, <http://aefus.ch/de/literatur/BIPS-Stellung.rtf> !tarkistettu 5.10.2016
- 446) Michaud D S *et al.*, Review of field studies of aircraft noise-induced sleep disturbance, J. Acoust. Soc. Am. **121**(2007)1, 32 – 41.
- 447) WHO:n edustaja, tohtori Schwela, kertoi tämän mm. vastatessaan yleisökysymykseen esitellessään raporttia Inter-Noise 2001 kokouksen yhteydessä.
- 448) Vallet M, Vernet I, Night aircraft noise index and sleep research results, Inter-Noise 1991 Proc., 207-210.
- 449) Maschke C, Hecht K, Wolf U, Nocturnal awakenings due to aircraft noise. Do wake-up reactions begin at sound level 60 dB(A)? Noise Health, **6**(2004)24, 21 – 33.
- 450) Griefahn B, Spreng M, Disturbed sleep patterns and limitation of noise, Noise Health, **6**(2004)22, 27 – 33.
- 451) Anon, WHO Environmental Noise Guidelines For The European Region, Draft, Febr. 2018, 146 s.
- 452) Berglund B, Lindvall T, Schwela D E (Eds.), Guidelines for community noise, WHO, Geneva, 1999, 159 s. Huom. Tässä dokumentissa esitettyjä ohjearvoja kutustaan usein WHO:n ohjearvoiksi. Kyseessä on kuitenkin WHO:n kutsuman asiantuntijatyöryhmän ehdotus. <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html> !tarkistettu 4.10.2016
- 453) Locher B, *et al.*, Differences between Outdoor and Indoor Sound Levels for Open, Tilted, and Closed Windows, , Int. J. Environ. Res. Public Health, **15**(2018)1, 16 s.
- 454) Maissa, joissa ilmasto-oloista johtuen ei ole vaatimuksia rakennusten ulkokuoren lämmöneristävyydelle, käytetään yleensä huonosti tiivistettyjä yksilaisista ikkunoita. Melualueilla asuvat parantavat usein ääneneristävyyttä itse ja monissa maissa tuetaan julkisin tai melun aiheuttajilta kerätyin varoin melualueilla olevien rakennusten äänenvaimennuksen parantamista. Joissakin maissa rakennus- ja/tai kaavamääräykset edellyttävät melualueilla oleviin asuinrakennuksiin tavanomaista parempaa ulkokuoren äänenvaimennusta.
- 455) The influence of night-time noise on sleep and health, Health council of the Netherlands, No. 2004/14E, The Hague, 22 July 2004. 196 s
- 456) Passchier-Vermeer W, Sleep disturbance and aircraft noise exposure, report 2002.027/2002, 245 s.
- 457) Pirrera S, de Valk E, Cluyds R, Field study on the impact of nocturnal road traffic noise on sleep The importance of in- and outdoor noise assessment, the bedroom location and nighttime noise disturbances, Sci Total Environ. **500-501**(2014), 84 – 90.
- 458) Wunderli J *et al.*, Intermittency ratio: A metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure, J Expo Sci Environ Epidemiol **26**(2016)5, 575–585.
- 459) Brink M, *et al.*, Determining physiological reaction probabilities to noise events during sleep, Somnologie **13**(2009)4, 236 – 243.
- 460) Anderson G, Miller N, Alternative analysis of sleep-awakening data, Noise Control Eng. J., **55**(2007)2, 224 – 245.
- 461) Miedema H E, Vos H, Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalysis of pooled data from 24 studie, Behav. Sleep Med., **5**(2007)1, 1 – 20.
- 462) Diamond I *et al.*, Perceptions of aircraft noise, sleep and health, Report to Civil Aviation Authority, Dec. 2000, 55 s.
- 463) ALPNAP-tutkimuksen terveydentilaa ja unihäiriöiden kokemista koskevat kyselytutkimus, jonka kysymykset Kari Pesonen sai tutkimusryhmältä alkuvuodesta 2007. <http://www.alpnep.org/> !tarkistettu 5.10.2016
- 464) Holt J *et al.*, Airport Noise and Self-Reported Sleep Insufficiency, United States, 2008 and 2009, Prev Chronic Dis. **12**(2015)E49, 1 – 12.
- 465) van den Berg F, Verhagen C, Uitenbroek D, The relation between scores on noise annoyance and noise disturbed sleep in a public health survey, Int. J. Environ. Res. Public Health **11**(2014), 2314 – 2327.
- 466) Schreckenber D *et al.*, Effects of aircraft noise on annoyance and sleep disturbances before and after expansion of Frankfurt Airport - Results of the NORAH study, WP 1

- 'Annoyance and quality of life', Inter-Noise 2016 Proc. <http://pub.dega-akustik.de/IN2016/data/articles/000137.pdf> !tarkistettu 4.4.2017
- 467) Miedema H M E, Borst H C, Rating environmental noise on the basis of noise maps, Euro-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto SS18-476.pdf
- 468) Müller-Wenk R, A method to include in LCA road traffic noise and its health effects, Int J. LCA, **9**(2004)2, 76 – 85-
- 469) Unettomuus määritettiin ohjeiden “American Psychiatric Association, Quick Reference to the Diagnostic Criteria from DSMIV, Washington DC, 1994” ja “World Health Organization, The ICD-10 Classification of Mental and Behavioral Disorders: Clinical Description and Diagnostic Guidelines, Geneva 1992” mukaisen kriteerein.
- 470) Sasazawa Y, Kawada T, Suzuki S, The relationship between variety of community noise and sleep disturbance in Japanese, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN06_483.pdf
- 471) Griefahn B, Marks A, Kuenemund C, Awakenings by road-, rail- and airtraffic noise, Forum Acust. 2005 Proc., L159 – L164 , CD-ROM, tiedosto 583-0.pdf
- 472) Kim T *et al.*, Conversion Relationship of Aircraft Noise Indices between WECPNL and DENL, ICA 2010 Proc., 6 s.
https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA2010/cdrom-ICA2010/papers/p249.pdf !tarkistettu 13.12.2016
- 473) Park J *et al.*, A study on the comparison between WECPNL_K and L_{den} for military aircraft noise assessments, Inter-Noise 2015 Proc., 6 s.
- 474) Roffwarg H P, Muzio J N, Dement W C, Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle, Science, **152**(1966)3722, 604 – 619.
- 475) Muzet A, Ehrhart J, Eschenlauer R, *et al.*, Habituation and age differences of cardiovascular responses to noise during sleep, 5th European Congress on Sleep 1980 Proc. ss. 212 – 225.
- 476) Kahn A, Noise exposure from various sources – sleep disturbance dose-effect relationships on children. WHO technical meeting on exposure-response relationships of noise on health 2002. Paper 2002/7.
- 477) Spreng M, Cortical excitations, cortisol excretion and estimation of tolerable night over-flights, Noise Health, **4**(2002)16, 39 – 46.
- 478) Wust S *et al.*, The cortisol awakening response – normal values and confounds, Noise Health, **2**(2000)7, 79 – 88.
- 479) Pruessener J C *et al.*, Free cortisol levels after awakening: A reliable biological marker for the assessment of adrenocortical activity, Life Sci., **61**(1997)26, 2539 – 2549.
- 480) Elder G *et al.*, Assessing the daily stability of the cortisol awakening response in a controlled environment, BMC Psych. **4**(2016)3, 10 s.
- 481) Spreng M, Possible health effects of noise induced cortisol increase, Noise Health, **2**(2000)7, 59 – 64.
- 482) Ising H, Braun C, Acute and chronic endocrine effects of noise: Review of the research conducted at the Institute for Water, Soil and Air Hygiene, Noise Health, **2**(2000)7, 7 – 27.
- 483) Born J, Fehm H L, The neuroendocrine recovery function of sleep, Noise Health, **2**(2000)7, 25 – 37.
- 484) Griefahn B *et al.*, Gutachten G12.1, Allgemeiner Teil, Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept, 30. Juli 2004, 237 s.
- 485) Lefèvre M *et al.*, Effects of aircraft noise exposure on saliva cortisol near airports in France, Occup Environ Med., on-line 2017 before print.
- 486) Masche C, Excretion of cortisol under nocturnal noise and differences due to analytic techniques, Noise Health, **5**(2002)17, 47 – 52.
- 487) Masche C, *et al.*, Stress hormone changes in persons exposed to simulated night time noise, Noise Health, **5**(2002)17, 35 – 45.
- 488) Wagner J *et al.*, Feasibility of testing three salivary stress biomarkers in relation to naturalistic traffic noise exposure, Int J Hyg Environ Health **213**(2010)2, 153 – 155.
- 489) Müller U *et al.*, The NORAH-Sleep Study - Effects of the Night Flight Ban at Frankfurt Airport, Inter-Noise 2016 Proc, 7782 – 7786.
- 490) Anon, NORAH Wissen Nr 5, Lärmwirkungstudie NORAH, Schlafstudie: Auswirkungen von Fluglärm auf den Schlaf, 14 s.

- [http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/NORAH Wissen Nr-5.pdf](http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/NORAH_Wissen_Nr-5.pdf)
!tarkistettu 7.11.2016
- 491) Müller U, *et al.*, Verkehrslärmwirkungen im Flughafen umfeld, Endbericht, Band 4, Fluglärm und nächstlicher Schall, 29.09.2015.
[http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Schlafstudie Wiss Ergebnisbericht.pdf](http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Schlafstudie_Wiss_Ergebnisbericht.pdf) !tarkistettu 10.11.2016
- 492) <http://www.bverwg.de/entscheidungen/pdf/040412U4C8.09.0.pdf> !tarkistettu 8.11.2016
- 493) Müller U *et al.*, Lärminwirkungstudie NORAH, Schlafstudie, Kokousesitelmä, Berlin 22.9.2016,
http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Modul_2_Schlafstudie.pdf
!tarkistettu 9.11.2016
- 494) Basner M, NORAH Sleep Study, External Comment, kongressiesitelmä.
[http://icana.umwelthaus.org/fileadmin/files/Internationale Konferenz AS/Dokumentation 2015/3. ICANA Schlafstudie Ph.D. Sarah McGuire.pdf](http://icana.umwelthaus.org/fileadmin/files/Internationale_Konferenz_AS/Dokumentation_2015/3_ICANA_Schlafstudie_Ph.D._Sarah_McGuire.pdf) !tarkistettu 7.11.2016
- 495) Basner M, *et al.*, Single and combined effects of air, road and rail traffic noise on sleep, 9th 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT. http://www.icben.org/2008/pdfs/basner_et_al_aurora.pdf
!tarkistettu 10.11.2016
- 496) Basner M, *et al.*, Nachtfluglärmwirkungen – Band 1 – Zusammenfassung Köln April, 2004, 89 s.
<http://www.dlr.de/me/Portaldata/25/Resourcen/dokumente/flugphysiologie/BerichtBas5FB2004-07-D.pdf> !tarkistettu 10.11.2016
- 497) Basner M *et al.*, Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study, J. Acoust. Soc. Am. **119**(2006)5, 2772 – 2784.
- 498) Boes S, Nüesch S, Stillman S, Aircraft Noise, Health, and Residential Sorting: Evidence from Two Quasi-Experiments, IZA Discussion Paper No. 6744, July 2012, 30 s. <http://ftp.iza.org/dp6744.pdf> !tarkistettu 11.12.2016
- 499) Griffins I, Raw G, Adaptation to changes in aircraft noise exposure, J. Sound Vibr. **101**(1985)2, 273 – 275.
- 500) Brown A L, van Kamp I, Response to a change in transport noise exposure: A review of evidence of a change effect, J. Acoust. Soc. Am., 125(2009)5, 3018 – 3029.
- 501) esimerkiksi kansanterveyslaitoksen nettisivuilta löytyy Finriski-tutkimusten riskilaskuri, jonka avulla voi tarkastella verenpaineen ja muutaman muun tekijän osuutta riskiin saada sydäninfarkti, sepelvaltimotauti tai aivohalvaus seuraavan 10 vuoden aikana:
<https://www.thl.fi/fi/web/kansantaudit/sydan-ja-verisuonitaudit/finriski-laskuri>
!tarkistettu 5.10.2016
- 502) Esimerkiksi
http://www.who.int/cardiovascular_diseases/guidelines/hypertension_guidelines.pdf
!Tarkistettu 5.10.2016
- 503) 1999 World Health Organization - International Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension, Guidelines subcommittee, J. Hypertens **17**(1999)2, 151 – 183.
- 504) <http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituksset/suositus?id=hoi04010> !tarkistettu 5.10.2016
- 505) Conroy R M, *et al.*, Estimation of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: the Score project, European Heart Journal **24**(2003)11, 987 – 1003.
- 506) Lewington S *et al.*, Blood cholesterol and vascular mortality by age, sex, and blood pressure: a meta-analysis of individual data from 61 prospective studies with 55 000 vascular deaths, Lancet **370**(2007)9602, 1829 – 1839.
- 507) Zhou B *et al.*, Worldwide trends in blood pressure from 1975 to 2015: a pooled analysis of 1479 population-based measurement studies with 19,1 million participants, Lancet **389**(2017)10064, 37 – 55.
- 508) Käypä hoito, Kohonnut verenpaine. 22.09.2014.
<http://www.terveysportti.fi/xmedia/hoi/hoi04010.pdf> !tarkistettu 5.10.2016
- 509) Laatikainen T, Jula A, Salomaa V, Verenpaine Suomessa – FINRISKI-tutkimuksen tuloksia, Tutkimuksesta tiiviisti 2, Marraskuu 2012, Terveystien ja hyvinvoinnin laitos, Helsinki.

- http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/90883/TutkimuksestaTiiviisti2_verenpaine.pdf !tarkistettu 30.12.2016
- 510) Lindholm L *et al.*, Määttligt förhöjt blodtryck. En systematisk litteraturöversikt, Volym 1, Oktober 2004, Uppdatering april 2007, Statens beredning för medicinsk utvärdering, Rapport nr: 170/1U, 533 s. ISBN 978-91-85413-19-5, ISSN 1400-1403. http://www.sbu.se/contentassets/5e7cc1d364834ec0aa087968f6f9ea5a/Hypertoni_2004_vol_1.pdf !tarkistettu 30.12.2016.
- 511) Kahan T, *et al.*, Määttligt förhöjt blodtryck. En systematisk litteraturöversikt, Uppdatering av SBU-rapporten, Määttligt förhöjt blodtryck (2004), nr 170/1, Dec. 2007, 197 s. <http://www.sbu.se/contentassets/5e7cc1d364834ec0aa087968f6f9ea5a/hypertoni0712.pdf> !tarkistettu 30.12.2016
- 512) Aromaa A, Koskinen S (eds), Terveys ja toimintakyky Suomessa, Terveys 2000-tutkimuksen perustulokset, Kansanterveyslaitos, Terveiden ja toimintakyvyn osasto, Helsinki 2002, 176 s. <https://www.julkari.fi/handle/10024/78355> !tarkistettu 6.4.2017
- 513) Helmiö T, Verenpainelääkkeiden käyttö Suomessa vuonna 2004, Tabu – Lääkeinformaatiota Lääkelaitokselta, **14**(2006)4, 21 – 25. http://www.fimea.fi/documents/160140/753095/16697_tabu_tabu42006.pdf !tarkistettu 4.4.2017
- 514) Anon., Kohonnut verenpaine, Käypä hoito, <http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituks/suositus?id=hoi04010> !tarkistettu 6.4.2017
- 515) Anon., Erityiskorvattaviin lääkkeisiin oikeuttavat sairaudet 31.12.2014, Kela, 3 s. http://www.kela.fi/documents/10180/1630864/Erityiskorvattaviin_laakkeisiin_oikeuttavat_sairaudet_31_12_2014.pdf/9fcc5d29-ee6a-411e-9586-ce3f9760aa3f !tarkistettu 31.1.2017
- 516) Anon., Suomen lääketilasto 2015, Fimea ja Kela, 336 s. http://www.fimea.fi/documents/160140/1188389/Suomen_l%C3%A4%C3%A4ketilasto_2015.pdf/a813feac-1560-4cbf-80e1-44049449e0bf !tarkistettu 31.1.2017
- 517) Suurin osa lääkityistä saavista potilaista asuneet alueilla, joilla pitkän ajan päivämellun L_{Aeq} -taso on alle 55...65 dB(A), eli alle sen melutason, jonka ylittyessä alkaa esiintyä tilastollinen yhteys verenpainetaudin ja asuinalueen ulkomellun välillä. Ruotsissa on arvioitu, että lentomellu aiheuttaisi noin 0,6 % kaikista verenpainetautitapauksista.
- 518) Kontula K, *et al.*, Geenit ja verenpainetauti, Duodecim 2000, 1751 – 1758.
- 519) Editorial article, The harmful effects of noise, Can Med Assoc J. **20**(1929)3, 292–293. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?tool=pmcentrez&artid=1710473&blobtype=pdf> !tarkistettu 6.4.2017. Viitataan Michiganin yliopiston unitutkimuksiin.
- 520) Birkenhäger A, van den Meiracker A, Causes and consequences of a non-dipping, Review, Neth J Med. **65**(2007)4, 127-131. <http://www.njmonline.nl/getpdf.php?id=518> !tarkistettu 20.4.2017
- 521) Loredó J, Ancoli-Israel S, Dimsdale J, Sleep quality and blood pressure dipping in obstructive sleep apnea, Am J Hypertens., **14**(2001)9, 887 – 892.
- 522) Mancia G *et al.*, 2013 ESH/ESC Practice Guidelines for the Management of Arterial Hypertension, J Hypertens., **31**(2013)7, 1281 – 1357.
- 523) Babisch W, The noise/stress concept, risk assessment and research needs, Noise Health, **4**(2002)16, 1 – 11.
- 524) Spreng M, Possible health effects of noise induced cortisol increase, Noise Health, **2**(2000)7, 59 – 64
- 525) Babisch W, Stress hormones in research cardiovascular effects of noise, Noise Health, **5**(2003)18, 13 – 18.
- 526) Spreng M, Cortical excitation, cortisol excretion and estimation of tolerable night overflight, Noise Health, **4**(2003)16, 39 – 46
- 527) Ising H, Babisch W, Kruppa B, Noise-Induced endocrine effects and cardiovascular risk, Noise Health, **1**(1999)4, 37 – 48.
- 528) Rosenlund M *et al.*, Long-term exposure to urban air pollution and myocardial infarction, Epidemiology **17**(2006)4, 383 – 390.
- 529) Tonne C *et al.*, A case-control analysis of exposure to traffic and acute myocardial infarction, Environ Health Perspect., **105**(2007)1, 53 – 57.

- 530) Mutlu G M *et al.*, Ambient particulate matter accelerates coagulation via an IL-6-dependent pathway, *J. Clin. Invest.*, 20 Sep 2007, on line preprint <http://www.jci.org/cgi/reprint/JCI30639v1.pdf> !Tarkistettu 6.4.2017
- 531) Hoffman B *et al.*, Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis, *Circulation*, **116**(2007), 489 – 496.
- 532) Rosenlund M, Environmental factors in cardiovascular disease, Doctoral thesis, Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, 2005, 73 s. ISBN 91-7140-272-6.
- 533) Lyzwinski L-N, Public health perspectives on noise and cardiovascular disease, *World J Cardiovasc Dis.*, **4**(2014), 23 – 34.
- 534) Tobias A, Diaz J, Saez M, Alberdi J C, Use of Poisson regression and Box-Jenkins models to evaluate the short-term effects of environmental noise levels on daily emergency admissions in Madrid, Spain, *European Journal of Epidemiology* **17**(2001):765-771
- 535) Babisch W, *et al.*, Traffic noise and risk of myocardial infarction, *Epidemiology*, **16**(2005)1, 33 – 40.
- 536) Belojevic G, Saric-Tanaskovic M, Prevalence of arterial hypertension and myocardial infarction in relation to subjective ratings of traffic noise exposure, *Noise Health*, **4**(2002)16, 33 – 37
- 537) Babisch W, Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies. Dose-effect curve and risk estimation. Umweltbundesamt, Berlin 2006, 116 s.
- 538) Willich S N *et al.*, Noise burden and the risk of myocardial infarction, *Eur. Heart J.*, **27**(2006)3, 276 – 282
- 539) Jarup L, *et al.*, Hypertension and exposure to noise near airports (HYENA): Study design and noise exposure assessment, *Environ Health Perspect.*, **113**(2005)11, 1473 – 1478.
- 540) Babisch W, Transportation noise and cardiovascular risk: Updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased, *Noise Health*, **8**(2006)1, 1 – 29.
- 541) Münzel T *et al.*, Cardiovascular effects of environmental noise exposure, *Eur. Heart J.*, **35**(2014)13, 829 – 836.
- 542) Correia A *et al.*, Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases - multi-airport retrospective study, *Br Med J.*, **347**(2013), 5561, 11 s. <http://www.bmj.com/content/bmj/347/bmj.f5561.full.pdf> !tarkistettu 17.3.2017
- 543) Vienneau D *et al.*, The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis, *Env. Res.* **138**(2015), 372 – 380.
- 544) Halonen J, *et al.*, Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London, *Eur. Heart J.*, **36**(2015)39, 2653 – 2661.
- 545) Münzel T *et al.*, Environmental stressors and cardio-metabolic disease - part I - epidemiologic evidence supporting a role for noise and air pollution and effects of mitigation strategies, *Eur. Heart J.* **38**(2017)8, 550 – 556.
- 546) Tomei G *et al.*, Occupational exposure to noise and the cardiovascular system: A meta-analysis, *Sci Total Environ.* **408**(2010), 681 – 689.
- 547) Basner M, *et al.*, Aviation noise impacts: State of the science, *Noise Health*, **19**(2017)87, 41 – 50.
- 548) Integrated Management of Cardiovascular Risk, Report of a WHO meeting Geneva, 9–12 July 2002, 35 s., http://www.who.int/cardiovascular_diseases/media/en/635.pdf !tarkistettu 6.4.2017
- 549) Babisch W, Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm, Die NaRoMI-Studie, WaBoLu-Hefte 02/04, S. I-1 bis I-59, Umweltbundesamt, Berlin, 2004, 60 s.
- 550) Tässä luvussa (0,3 milj) on mukana on yksi suuri ($N = 145\,000$) Neuvostoliitossa vuonna 1969 tehty tutkimus sydänsairauksien riippuvuudesta melusta. Tästä tutkimuksesta ei ole julkaistu länsimaisessa kirjallisuudessa riittävästi tietoja, jotta tuloksia voitaisiin arvioida. Tutkimusta ei ole otettu huomioon.

- 551) Matsui T *et al.*, Monitoring and analysis of aircraft noise exposure around military and civil airfields in the Ruukyuus, Inter-Noise 1998 Proc., CD-ROM tiedosto In980298.pdf
- 552) Rosenlund M *et al.*, Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise, *Occup. Env. Med.*, **58**(2001), 769 – 773.
- 553) Knipschild P, Medical effects of aircraft noise: community cardiovascular survey, *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* **40**(1977), 185-190.
- 554) Matsui T *et al.*, Association between blood pressure and aircraft noise exposure around Kadena airfield in Okinawa, Inter-Noise 2001 Proc., Vol. 3, 1577 – 1582.
- 555) Matsui T *et al.*, The Okinawa study: effects of chronic aircraft noise on blood pressure and some other physiological indices, *J. Sound Vibr.* **277**(2004):469 – 470.
- 556) Eriksson C *et al.*, Aircraft noise and incidence of hypertension, *Epidemiology* **18**(2007)6, 716 – 721.
- 557) Eriksson C *et al.*, Aircraft noise and incidence of hypertension - Gender specific effects, *Environ Res.*, **110**(2010), 764 – 772.
- 558) van Kamp I *et al.*, Environmental noise and cardiovascular diseases: results from a monitoring programme on aircraft noise, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN06_579.pdf.
- 559) Niemann H, Maschke C, Hecht K, Belästigung und Erkrankungsrisiko – Ergebnisse de Pan Europäischen LARES-Survey zum Fluglärm, Berliner Zentrum Public Health, Update 27.05.2004, 9 s.
[https://www.researchgate.net/publication/237417413_Belastigung_und_Erkrankungsrisiko - Ergebnisse des Pan Europaischen LARES-Survey zum Fluglarm1](https://www.researchgate.net/publication/237417413_Belastigung_und_Erkrankungsrisiko_-_Ergebnisse_des_Pan_Europaischen_LARES-Survey_zum_Fluglarm1) !tarkistettu 6.4.2017
- 560) Niemann H *et al.*, Noise-Induced annoyance and morbidity results from the pan-European LARES study, *Noise Health*, **8**(2006)31, 63 – 79.
- 561) Greiser E, Janhsen K, Greiser C, Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen, Umweltbundesamt Nov. 2006, 112 s.
- 562) Greiser E, Greiser C, Janhsen K. Night-time aircraft noise increases the prescription for antihypertensive and cardiovascular drugs irrespective of social class - the Cologne-Bonn airport study, *J. Public Health*, **15**(2007)5, 327 – 337.
- 563) Issarayangyan T, Aircraft noise and public health: acoustical measurement and social survey around Sydney (Kinsforth Smith) airport, PhD-thesis, The University of New South Wales, March 2005, 376 s.
- 564) Black D A *et al.*, Aircraft noise exposure and resident's stress and hypertension: A public health perspective for airport environmental management, *J. Air Transp. Manag.* **13**(2007)5, 264 – 279.
- 565) Evrard A-S, *et al.*, Does exposure to aircraft noise increase the mortality from cardiovascular disease in the population living in the vicinity of airports? Results of an ecological study in France, *Noise Health*, **17**(2015)78, 328 – 336.
- 566) Seidler A *et al.*, Myocardial Infarction Risk Due to Aircraft, Road, and Rail Traffic noise, *Dtsch Arztebl Int.* **113**(2016)24, 407 – 414.
- 567) Evrard A-S, *et al.*, Does aircraft noise exposure increase the risk of hypertension in the population living near airports in France?, *Occup Environ Med.*, **74**(2017)2, 123 – 129.
- 568) Auro K, Candidate gene studies on cardiovascular traits, Academic dissertation, Department of Medical Genetics, University of Helsinki, Finland, Dec. 2007, 108 s.
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/20202/candidat.pdf?sequence=2> !tarkistettu 6.4.2017
- 569) Vallet M, *et al.*, An epidemiological study on noise in Paris area: methods and preliminary results, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM tiedosto IN06_573.pdf
- 570) Cohen J M, Etude "Bruit et sante en ile-de France", Rapport final, 2007, 112 s.
- 571) <http://www.hyena.eu.com/default.htm> !tarkistettu 6.4.2017
- 572) Jarup L *et al.*, Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA Study, *Environ Health Perspect.*, **116**(2008)3, 329 – 333. Ennokokjulkaisu on-line helmikuu 2008.
- 573) Babisch W *et al.*, Noise annoyance - A modifier of the association between noise level and cardiovascular health?, *Sci Total Environ.* **452-453**(2013), 50 – 57.

- 574) Haralabidis A *et al.*, Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports, *Eur. Heart J.*, **29**(2008)5, 658 – 664.
- 575) Haralabidis A S, *et al.*, Can exposure to noise affect the 24 h blood pressure profile? Results from the HYENA study, *J Epidemiol Community Health*, **65**(2011)6, 535 – 541.
- 576) Babisch W *et al.*, Road traffic noise and hypertension – Accounting for the location of rooms, *Environ Res.*, **133**(2014), 380 – 387.
- 577) Vartiainen E *et al.*, Sydäninfarkti- ja aivohalvausriskin arviointi Finriski-tutkimuksessa, *Suomen Lääkärilehti* **62**(2007)48, 4507 – 4513.
- 578) Hansell A L *et al.*, Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London - small area study, *Br Med J.*, **347**(2013)5432, 10 s.
- 579) Seidler A *et al.*, Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease - A case-control study based on secondary data, *Int J Hyg Environ Health* **219**(2016)8, 749 – 758.
- 580) Seidler A *et al.*, NORAH, Noise-related annoyance, cognition and health, Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld, Endbericht, Band 6, Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung, 9.10.2015, 296 s.
http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Krankheitsrisiken_Wiss_Ergebnisbericht.pdf !tarkistettu 22.1.2017
- 581) Huss A *et al.*, Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction, *Epidemiology*, **21**(2010)6, 829 – 836.
- 582) Vienneau D *et al.*, Years of life lost and morbidity cases attributable to transportation noise and air pollution - A comparative health risk assessment for Switzerland in 2010, *Int J Hyg Environ Health* **218**(2015)6, 514 – 521.
- 583) Rhee M *et al.*, The effects of chronic exposure to aircraft noise on the prevalence of hypertension, *Hypertens Res.* **31**(2008)4, 641 – 647.
- 584) Selander J *et al.*, Long-term exposure to road traffic noise and myocardial infarction, *Epidemiology*, **20**(2009)2, 272 – 279.
- 585) Sørensen M *et al.*, Long-term exposure to road traffic noise and incident diabetes: A cohort study, *Environ Health Perspect.*, **121**(2013), 217 – 222.
- 586) Heidemann C *et al.*, Residential traffic and incidence of Type 2 diabetes: The German Health Interview and Examination Surveys, *Diabet Med*, **31**(2014), 1269 – 1276.
- 587) Eriksson C, *et al.*, Long-term aircraft noise exposure and body mass index, waist circumference, and type 2 diabetes: A prospective study, *Environ Health Perspect.*, **122**(2014)7, 687 – 694.
- 588) Zhao Z *et al.*, Residential proximity to major roadways and risk of type 2 Diabetes Mellitus: A meta-analysis, *Int J. Environ. Res. Public Health* **14**(2016)3, 12s.
- 589) Song C, Occupational Noise Exposure and the Risk of Diabetes, Rheumatoid Arthritis, and Cardiovascular Disease, väitöskirja, University of British Columbia, Vancouver, 2013.
https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/44177/ubc_2013_spring_song_chaojie.pdf !tarkistettu 1.3.2017
- 590) Suadicani P, Hein H, Gyntelberg F, Occupational noise exposure, social class, and risk of ischemic heart disease and all-cause mortality - a 16-year follow-up in the Copenhagen Male Study, *Scand J. Work Environ Health*, **38**(2012)1, 19 – 26.
- 591) Bainbridge K, Cheng Y, Cowie C, Potential mediators of diabetes-related hearing impairment in the U.S. population: National health and nutrition examination survey 1999-2004, *Diabetes Care* **33**(2010)4, 811 – 816 .
- 592) Jang T *et al.*, The association between impaired fasting glucose and noise-induced hearing loss, *J. Occup. Health* **53**(2011)4, 274 – 279.
- 593) Tasali E, Leproult R, Spiegel K, Reduced sleep duration or quality: relationships with insulin resistance and type2 diabetes, *Prog Cardiovasc Dis.* **51**(2009)5, 381–391.
- 594) van Gauter E *et al.*, Metabolic consequences of sleep and sleep loss, *Sleep Med.* **9**(2008) Supplement 1, 23 – 28.
- 595) Anon, Perustietoa diabeteksesta, Diabetesliitto,
https://www.diabetes.fi/diabetesliitto/media/perustietoa_diabeteksesta_suomessa !tarkistettu 20.3.2017
- 596) Oftedal B *et al.*, Road traffic noise and markers of obesity – A population-based study, *Environ Res.*, **138**(2015), 144 – 153.

- 597) Dzhambov A, Dimitrova D, Road traffic noise exposure association with self-reported body mass index, *Noise Control Eng. J.*, **63**(2015)6, 572 – 581.
- 598) Schultz-Christensen J *et al.*, Road traffic and railway noise exposures and adiposity in adults - A cross-sectional analysis of the danish diet, Cancer, and Health Cohort, *Environ Health Perspect.*, **124**(2016)3, 329 – 335.
- 599) Pyko A *et al.*, Exposure to traffic noise and markers of obesity, *Occup Environ Med.*, **72**(2015)8, 594 – 601.
- 600) Christensen J *et al.*, Long-term exposure to residential traffic noise and changes in body weight and waist circumference - A cohort study, *Environ Res.*, **143**(2015), 154 – 161.
- 601) http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00976&p_haku=stressi !tarkistettu 2.6.2016
- 602) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs369/en/> !tarkistettu 1.6.2016
- 603) esim. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00555 !tarkistettu 2.6.2016
- 604) Hardoy M C *et al.*, Exposure to aircraft noise and risk of psychiatric disorders: the Elmas survey. *Soc Psych. Psychiatr Epidemiol.*, **40**(2005)1, 24 – 26.
- 605) Hiramatsu K, *et al.*, A survey on health effects due to aircraft noise on residents living around Kadena air base in the Ryukyus, *J. Sound Vibr.*, **205**(1997)4, 451 – 460.
- 606) <http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituksset/suositus?id=hoi50023> !tarkistettu 20.7.2016
- 607) <https://www.thl.fi/fi/web/mielenterveys/mielenterveyshairiot/ahdistuneisuushairiot> !tarkistettu 7.9.2016
- 608) <http://www.epshp.fi/files/5471/Ahdistuneisuushairiot.pdf> !tarkistettu 2.6.2016
- 609) Houthuis D J M *et al.*, Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol, RIVM Rapport 630100003, Feb. 2006, 115 s.
<http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=08ef83f0-d2f6-42d0-bea9-81803f787c93&type=org&disposition=inline> !tarkistettu 15.11.2016
- 610) van Kamp I *et al.*, Environmental noise and mental health: evidence from the Schiphol monitoring program, *Inter-Noise Proc.*, Istanbul, 2007, 7 s.
- 611) van Kamp I, Davies H, Environmental noise and mental health: Five year review and future directions, *ICBEN 2008 Proc.*, Foxwoods, 2008, 7 s.
- 612) Hammersen F, Niemann H, Hoebel J, Environmental noise annoyance and mental health in adults: Findings from the cross-sectional German health update (GEDA) study 2012, *Int. J. Environ. Res. Public Health* **13**(2016), 954 – 966.
- 613) <http://www.laermstudie.de/> !tarkistettu 7.8.2016
- 614) Anon, Knowledge No. 12, NORAH Noise Impact Study, Study on Health Risks, Results, 16 s.
http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/NORAH_Knowledge_12.pdf !tarkistettu 1.6.2016
- 615) <http://www.gutenberg-gesundheitsstudie.de/ghs/uebersicht.html> !tarkistettu 1.9.2016
- 616) Beutel M, *et al.*, Noise Annoyance Is Associated with Depression and Anxiety in the General Population - The Contribution of Aircraft Noise, *PLOS One*, 19 May 2016, 10 s.
<http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0155357&type=printable> !tarkistettu 11.11.2016
- 617) van den Berg F, *et al.*, The relation between self-reported worry and annoyance, *Int. J. Environ. Res. Public Health* **12**(2015), 2486 – 2500.
- 618) Schreckenber D *et al.*, The associations between noise sensitivity, reported physical and mental health, perceived environmental quality, and noise annoyance, *Noise & Health* **12**(2010)46, 7 – 16.
- 619) Kunsan sotilaskenttä: https://en.wikipedia.org/wiki/Kunsan_Air_Base !tarkistettu 14.11.2016
- 620) Kim S J *et al.*, Exposure-Response Relationship Between Aircraft Noise and Sleep Quality: A Community-based Cross-sectional Study, *Osong Public Health Res Perspect* **5**(2014)2, 108 – 114.

- 621) Orban E *et al.*, Residential Road Traffic Noise and High Depressive Symptoms after Five Years of Follow-up: Results from the Heinz Nixdorf Recall Study, *Environ Health Perspect.*, **124**(2016)5, 578 – 585.
- 622) Sygna K *et al.*, Road traffic noise, sleep and mental health, *Environ Res.*, **131**(2014), 17 – 24.
- 623) Stansfeld S A *et al.*, Road traffic noise and psychiatric disorder: prospective findings from the Caerphilly study, *Br Med J.*, **313**(1996), 266–267.
- 624) Schick A, Klatte M, Meis M, Noise stress in classrooms, Contributions to Psychological Acoustics Results of the 8th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Proceedings, 533 – 569.
- 625) Trimmel M *et al.*, Effects of low intensity noise from aircraft or from neighbourhood on cognitive learning and electrophysiological stress responses, *Int J Hyg and Environ Health*, **215**(2012)6, 547 – 554.
- 626) Hygge S, Boman E, Enmarker I, The effects of road traffic noise and meaningful irrelevant speech on different memory systems, *Scand. J. Psych.* **44**(2003)1, 13 – 21.
- 627) Passchier-Vermeer W, Noise and health of children, TNO report PG/VGZ/ 2000.042, September 2000, 52 s.
- 628) Evans G, Lepore S, Non-auditory effects of noise on children: A critical review, *Children's Env.* **10**(1993)1, 31 – 51.
http://www.jstor.org/stable/41515250?seq=1#page_scan_tab_contents tai
http://www.colorado.edu/journals/cye/10_1/10_1article3.pdf !Tarkistettu 6.4.2017
- 629) Hygge S, Evans G W, Bullinger M, A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren, *Psychol Sci.* **13**(2002)5, 469 – 474.
- 630) Lercher P, *et al.*, Ambient neighbourhood noise and children's mental health, *Occup. Env. Med.* **59**(2002)3, 380 – 386.
- 631) Fosnaric S, The influence of traffic noise on children's work efficiency while using a computer at school, *Psiholoska obsorja/Horizons of Psychol.* **12**(2003)1, 27 – 37.
- 632) Haines M M, *et al.*, A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition, *Int. J. Epidemiol.*, **30**(2001)839 – 845.
- 633) Haines M M, *et al.*, The West London schools study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health, *Psych. Med.* **31**(2001) 1385 – 1396.
- 634) Morrell S L, Aircraft noise and child blood pressure, PhD Thesis, University of Sydney, 2003, 386 s.
- 635) Matsui T, *et al.*, Children's cognition and aircraft noise exposure at home – The West London schools study, *Noise Health*, **7**(2004)25, 49 – 58.
- 636) Zusman A F (chairman), Findings of the FICAN pilot study on the relationship between aircraft noise reduction and changes in standardized test scores, FICAN, July 2007, 8 s.
 Poistettu netistä, tietoa löytyy:
http://www.hmmh.com/cmsdocuments/FICAN_Schools_Study_ppt.pdf !tarkistettu 6.4.2017
- 637) Jones K, Aircraft noise and children's learning, Civil Aviation Authority, ERCD report 0908, 2010, 20 s.
- 638) Aviation and environment, POST Report 195, Parliamentary Office of Science and Technology, April 2003, 76 s.
<http://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-Report-5/POST-Report-5.pdf> !tarkistettu 6.4.2017
- 639) RANCH-hankkeen kotisivu:
http://archive.wolfson.qmul.ac.uk/RANCH_Project/publications/FinalDraftGlossy_220405.pdf !tarkistettu 6.4.2017
- 640) Stansfeld. S A, *et al.*, Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: exposure-effect relationships. *The Lancet*, **365**(2005), 1942 – 1949.
- 641) Clark C, *et al.*, Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension, *A, J. Epidemiol.* **163**(2005)1, 27 – 37.
- 642) van Kempen E *et al.*, Het effect van geluid van vlieg- en wegverkeer op cognitie, hinderbeëving en de bloeddruk van basisschoolkinderen, RIVM rapport 441520021/2005, 100 s.

- 643) Stansfeld S A, Clark V, Alfred T, Night time aircraft noise and children's cognitive performance and health in the RANCH study, Inter-Noise 2006 Proc., CD-ROM, tiedosto IN06_526.pdf
- 644) van Kempen E *et al.*, Noise exposure and children's blood pressure and heart rate: the RANCH project. *Occup. Env. Med.* **63**(2006)9, 632 - 639.
- 645) Evans G W *et al.*, Chronic noise and psychological stress, *Psychol Sci.* **6**(1995)333 – 338.
- 646) Evans G W *et al.*, Chronic noise exposure and psychological response: a prospective study of children living under environmental stress, *Psychol Sci.* **9**(1998), 75 – 77.
- 647) Ogb N, OS A, Comparison of blood pressure in deaf secondary school children and their hearing counterparts: association between noise and blood pressure, *Nig. J. Med. Rehabil.* **11**(2006)20, 41 – 44.
- 648) Wu T N *et al.*, Comparison of blood pressure in deaf mute children and children with normal hearing: association between noise and blood pressure. *Int. Arch. Occup. and Env. Health*, **65**(1993)2, 119 – 123.
- 649) Evans H W *et al.*, Community noise exposure and stress in children, *J. Acoust. Soc. Am.* **109**(2001)3, 1023 – 1027.
- 650) Pesonen K, Hiljaiset alueet, Hiljaisuuteen vaikuttavat tekijät ja hiljaisuuden kriteerit, Suomen ympäristö 738/2004, Ympäristöministeriö, 2004, 48 s.
- 651) Krog N H, Engdahl B, Aircraft noise in recreational areas: Effects on visitors experience and well-being, *Noise Control Eng. J.*, **47**(1999)4, 147 - 149.
- 652) Krog N H, Engdahl B, Annoyance with aircraft noise in local recreational areas, contingent on changes in exposure and other context variables, *J. Acoust. Soc. Am.* **116**(2004)1, 323 – 333.
- 653) Aasvang, G M, Engdahl B, Subjective responses to aircraft noise in an outdoor recreational setting: a combined field and laboratory study, *J. Sound Vibr.* **276**(2004)3-5, 981– 996.
- 654) Stokes J B, Leese D J, Montgomery S L, Citizens get relief from recreational noise: The case in the skies from Hawaii, *Noise Control Eng. J.*, **47**(1999)4, 142 - 146.
- 655) Iglesias-Merchan C, Diaz-Balteiro L, Soliño M, Transportation planning and quiet natural areas preservation: Aircraft overflights noise assessment in a National Park, *Transport Res, Part D*, **41**(2015), 1 – 12.
- 656) Klæboe R, Aircraft noise annoyance in recreational areas after changes in noise exposure: comments on Krog and Engdahl (2004), *J. Acoust. Soc. Am.* **118**(2005)3 Pt1, 1265 – 1267.
- 657) Smith A, *et al.* Noise and insomnia: A study of community noise exposure, sleep disturbance, noise sensitivity and subjective reports of health, UK Dept. of Health. n. 400 s (julkaistu 2000-luvulla).
- 658) Fidell S, Howe R, Use of aircraft noise complaint files to improve understanding of community response to aircraft noise, NASA/CR-1998-207650, 52 s.
- 659) Fidell S, Mestre V, Sneddon M, A potential role for noise complaints as a predictor of the prevalence of annoyance with aircraft noise, *Noise Control Eng. J.* **60**(2012)1, 62 – 68.
- 660) Michaud D, Marro L, McNamee J, The association between self-reported and objective measures of health and aggregate annoyance scores toward wind turbine installations, *Canadian J. Public Health*, **102**(2018)2, 252 – 260.
- 661) Maziul M, Socio-organisational interface design between airport residents and airport management, Doctoral Thesis, University of Dortmund, Faculty 14 Humanwissenschaften und Theologie, November 2005, 168 s.
- 662) Hume K, Morley H, Thomas C, A review of complaints and social surveys at Manchester airport, Eurocontrol, EEC/SEE/2003/004, 70 s.
https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/report/2003/024_Complaints_and_Social_Surveys_at_Manchester_Airport.pdf !tarkistettu 6.4.2017
- 663) esim. https://en.wikipedia.org/wiki/Zipf%27s_law !tarkistettu 4.6.2017
- 664) Wiechen C *et al.*, Aircraft noise exposure from Schipol Airport: A relation with complaints, *Noise Health*, **17**(2002)17, 23 – 34.

- 665) Royal Schiphol Group, Annual Report 2016, 222 s.
<http://www.annualreportschiphol.com/pdfondemand/printpdf?docId=145598> !tarkistettu 30.3.2017
- 666) 2015 noise complaints report, Heathrow Airport Limited, 6 s.
http://www.heathrow.com/file_source/HeathrowNoise/Static/Noise_complaints_report_2015.pdf !tarkistettu 30.3.2017
- 667) Anon, Actieplan omgevingslawaa Schiphol, periode 2013 – 2018, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 14.1.2014, 49 s.
- 668) Environmental noise directive, Noise action plan 2013 – 2018, The action plan – Revised draft submitted in January 2014, 37 s.
http://www.heathrow.com/file_source/HeathrowNoise/Static/Noise_Action_Plan.pdf !tarkistettu 31.3.2017
- 669) Ilmailulaitoksen tilastot. Tietoa saatu myös sähköpostitse ympäristöpäällikkö Mikko Viinikaiselta Ilmailulaitoksesta vuonna 2000 Inter-Noise 2000 esitelmää varten.
- 670) Pesonen K, On noise assessment and noise control engineering problems caused by seasonal variations of noise emission and excess attenuation, Inter-Noise 2000 Proc., Vol 3, 1787 – 1792
- 671) Viinikainen M *et al.*, Lentomelun hallinta Helsinki-Vantaan lentoasemalla, Ympäristö ja terveys-lehti, **48**(2017)2, 48 – 58.
- 672) Vuoden 2016 Vastuullisuus raportti, Finavia, 77 s. <https://finavia-reports.studio.finavia.fi/pub/2016/Finavia+Vastuullisuusraportti+2016.pdf> !tarkistettu 31.3.2017
- 673) Finavia Oyj, Helsinki-Vantaan lentoasema Lentokonemeluselvitys, toteutunut tilanne vuonna 2011, 17.2.2012, 19 s.
http://archive.finavia.fi/files/finavia2/ymparistoraportit_pdf/EFHK_meluselvitys_2011_pieni.pdf !tarkistettu 2.4.2017
- 674) Finavia Oyj, Helsinki-Vantaan lentoasema Lentokonemeluselvitys, toteutunut tilanne vuonna 2015, 1.8.2016, 23 s,
https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/EFHK_meluselvitys_2015.pdf !tarkistettu 22.10.2018
- 675) Finavia Oyj, Helsinki-Vantaan lentoasema Lentokonemeluselvitys, toteutunut tilanne vuonna 2017, 28.6.2018, 24 s.
https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/EFHK_meluselvitys_2017.pdf !tarkistetty 22.10.2018
- 676) Vuoden 2017 valitus- ja lentomäärätilasto saatiin Finavialta sähköpostitse.
- 677) Patterson P P Connor W K, Community responses to aircraft noise in large and small cities in the USA, Proc. of ICBEN 1973, 707 – 718.
- 678) Hume K, *et al.*, Can complaints about aircraft noise be used as an index of annoyance, Inter-Noise 2001 Proc., 1629 – 1632.
- 679) Hume K, *et al.*, The influence of serial-complainers on complaint profiles at airport, Forum Acusticum 2002 Proc., paper noi01005.pdf
- 680) Guski R, Activity interference and noise annoyance: Contradictory results and possible interpretations, Inter-Noise 1996 Proc., 2357 – 2362.
- 681) Dourado E, Russell R, Airport noise NIMBYism: An empirical investigation, Oct 2016, Mercatus Center, George Mason University, 5 s.
- 682) Report to Congress: Report on Effects of Aircraft Overflights On the National Park System. Prepared Pursuant to Public Law 100-91, The National Parks Overflights Act of 1987. Washington, DC: National Park Service, September 1994.
- 683) Report on the Effects of Aircraft Overflights on the National Park System. Washington, DC: National Park Service, July 1995.
- 684) Efromson R., Rose W, Nemeth S, Suter G, Ecological Risk Assessment Framework for Low-Altitude Overflights by Fixed-Wing and Rotary-Wing Military Aircraft. Oak Ridge National Laboratory Report No. ORNL/TM-2000/289, ES 5048.
- 685) Lee C S Y, Fleming G G, General health effects of transportation noise, U.S. Department of Transportation and Federal Railroad Administration, Report DTS-34-RR297-LR2, FRA/RDV-03/01, 2002, 44 s. Mainitaan tehdyn yli 200 tutkimusraporttia melun vaikutuksista eläimiin ja luontoon.

- 686) Larkin R P, Effects of military noise on wildlife: a literature review, Center for Wildlife Ecology, 87 s.
https://www.leg.state.mn.us/docs/2015/other/150681/PFEISref_1/Larkin%201994.pdf
 !tarkistettu 6.4.2017
- 687) Mancini K M, Gladwin D N, Villella R, Cavendish M G, Effects of aircraft noise and sonic booms on domestic animals and wildlife: A literature synthesis. U.S. Fish and Wildlife Service. National Ecology Research Center, Ft. Collins, CO NERC-88/29. 1988. 88 s.
- 688) Fletcher J L, Review of noise and terrestrial species: 1983-1988, 181-188 in: B. Berglund and T. Lindvall, eds. Noise as a Public Health Problem Vol. 5: New Advances in Noise Research Part II. Swedish Council for Building Research, Stockholm 1990.
- 689) Military flight training, An environmental impact statement on military flying activities in Labrador and Quebec, Renewable Resources Consulting Services Ltd, 1994, 168 s.
- 690) Kull R, McGarrity C, Noise effects on animals: 1998 – 2002 Review, ICBEN 2003, Proc, 8 s, http://www.icben.org/2003/pdf/104_t7.pdf !tarkistettu 4.4.2017
- 691) Kight C, Swaddle J, How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review, Ecol Lett, **14**(2011)10, 1052 – 1061.
- 692) Belant J *et al.*, Habitat management to deter wildlife at airports, A synthesis of airport practice, Transportation research board, Washington D.C., 2014, 76 s.
- 693) Langemann, U, Klump, G M, Dooling R J, Critical bands and critical-ratio bandwidth in the European starling. Hearing Research, **84**(1995)1, 167-176.
- 694) Langemann U, Klump G M. Signal detection in amplitude-modulated maskers. I. Behavioural auditory thresholds in a songbird. Eur. J. Neurosci **13**(2001), 1025 – 1032.
- 695) Scholik A R, Yan H Y, The effects of noise on the auditory sensitivity of the bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. Com. Biochem Phys Part A, **133**(2002)1, 43 – 52.
- 696) Heffner H E, Heffner R S, Hearing ranges of laboratory animals, J. Am Ass Lab Animal Sci **46**(2007)1, 11 – 13.
- 697) Gould E, Mechanisms of mammalian auditory communication. Sivut 265-342 kirjassa: Eisenberg J F, Kleiman D G (eds), Advances in the study of mammalian behavior. Am. Soc. Mamm. Special Publ. 7. 1983.
- 698) jotkut lintulajit tuottavat kolmekin pesuetta vuosittain eli pesivät vielä heinä-elokuun vaihteessakin.
- 699) Lajeja, joiden kuulo muistuttaa herkkyydeltään ja taajuusalueeltaan ihmisen kuuloa ja joiden kuuloaistin elimet – esimerkiksi basilarin kalvo karvasoluineen – ovat helposti operoitavissa tutkimuksiin.
- 700) Leek, M R, Dent, M L, Dooling, R J, Masking by harmonic complexes in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). Journal of the Acoustical Society of America **107**(2000), 1737-1744.
- 701) Esim. Slabbekoorn H, Peet M, Birds sing at a higher pitch in urban noise. Nature, **424**(2003), 267.
- 702) Dominoni D *et al.*, Airport noise predicts song timing of European birds, Ecology and Evol. **17**(2016)3, 6151 – 6159.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.2357/epdf> !tarkistettu 3.3.2017
- 703) Anon, Bird control at airports, An overview of bird control methods and case descriptions, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, October 1999, 42 s.
- 704) Siegel J M, Review article: Clues to the functions of mammalian sleep, Nature **437**(2008)7063, 1207 – 1396.
- 705) Rabat A *et al.*, Deleterious effects of an environmental noise on sleep and contribution of its physical components in a rat model, Brain Res., **1009**(2004)1 – 2, 88 – 97. Vain abstrakti käytettävissä. Ei tietoa kuinka voimakasta unta häiritsevää melua kokeissa käytettiin.
- 706) Tobler I, Is sleep fundamentally different between mammalian species? Behav. Brain Res. **69**(1995)1 – 2, 35 – 45. Vain abstrakti käytettävissä.
- 707) lisäksi käytiin läpi kymmeniä muita eläinten unitutkimusten abstrakteja, joista useat lehdistä, joita ei ole tilattu Suomen kirjastoihin. Tätä julkaisua varten ei katsottu aiheelliseksi hankkia niitä kustantajilta tai kaukolainaksi.

- 708) Kaiser W, Steiner-Kaiser J, Neuronal correlates of sleep, wakefulness and arousal in a diurnal insect, *Nature* **301**(1983), 707 – 709. Tämä tutkimus oli ensimmäisiä, joissa todettiin hyönteisillä esiintyvän unenkaltaista tilaa.
- 709) Sauer S, Herrman E, Kaiser W, Sleep deprivation in honeys bees, *J. Sleep Res.* **13**(2004)2, 145 – 152.
- 710) Hendricks J C *et al.*, Rest in *Drosophila* is a sleep-like state, *Neuron* **25**(2000) 129 – 138.
- 711) Brownlee C, Losing sleep: Mutant flies need less shut eye, *Science News* **167**(2009)18, 275 – 276.
- 712) Stumpner A, von Helsen D, Evolution and function of auditory systems in insects, *Naturwissenschaften.* **88**(2001)4, 159 – 170.
- 713) Robert D, Gopfert M C, Novel schemes for hearing and orientation in insects, *Curr Opin Neurobiol.* **6**(2002)12:715 – 720.
- 714) Rondeau J-F, Jean P, Modelling aircraft noise inside dwellings, *Forum Acusticum 2002 Proceedings*, CD-ROM, paperi rbacib003.pdf
- 715) Bradley J S, Insulating buildings against aircraft noise: A review, *Institute for Research in Construction*, report 760, 47 s.
- 716) Anon, ISO 1996-2:2007, Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels, 43 s.
- 717) Memoli G, *et al.*, Effect on measured noise levels of the microphone position in front of a façade, *Inter-Noise 2006 Proc.*, CD-ROM, tiedosto IN06_349.pdf
- 718) Licitra G, *et al.*, Comparison between Italian and recommended European noise indicators, *Inter-Noise 2000*, Vol. 3. Proc. 1884 – 1886.
- 719) Hall F L, Bechrakis N, Effect of the angle of incidence on residential acoustical insulation, *Noise Control Eng. J.*, **22**(1984)2, 42 – 46.
- 720) Bradley J S, Chu W T, Errors when using façade measurements of incident aircraft noise, *Inter-Noise 2002 Proc.*, CD-ROM, tiedosto IN02_403.pdf
- 721) Vermeir G, Geentjens G, Bruyninckx W, Measurement and calculation experiences on façade sound insulation, *Inter-Noise 2004 Proc.*, CD-ROM, tiedosto 115.pdf
- 722) Kang H-J, *et al.*, An experimental investigation on the directional distribution of incident energy for the prediction of sound transmission, *Appl. Acoust.* **63**(2002)3, 283 – 294. Tutkijat eivät ole ymmäräneet, millainen äänen intensiteettikentän rakenne on ikkunan edessä ja, miten ikkunaan kohdistuva intensiteetti pitäisi mitata tällaisissa tapauksissa. Kts. esim. Frank Fahyn kommentit *Appl. Acoust.* **64**(2003) s. 533.
- 723) Bradley J S, Sound insulation issues, 12 s. Erillinen julkaisu.
- 724) Sharp B H, 25 years of airport sound insulation programs, *Noise-Con 1994 Proc.*, 641 – 648.
- 725) Dougherty R *et al.*, Improved Method for Estimating Noise Level Reduction of Residential Houses, *Inter-Noise 2015*, 12 s.
- 726) Anon, New housing and airport noise, *Canada Mortgage and Housing* 1981.
- 727) Flindell I, *et al.*, Aircraft Noise and sleep, 1999 UK trial methodology study, *ISVR Consultancy Services*, Nov. 2000, 164 s.
- 728) Strien R T, Douwes J, Brunekreef B, De invloed van geluidsisolatie en ventilatiegedrag in woningen rond Schiphol op de kwaliteit van het binnenmilieu, *RIVM rapport* 441520016, 2000, 55 s.
- 729) Anon, Spectral Classes for FAA's Integrated Noise Model Version 6.0, John A. Volpe Transportation Systems Center, Federal Aviation Administration, Report DTS-24-FA065-LR1, 101 s.
https://ntl.bts.gov/lib/44000/44600/44673/Spectral_Class_FAA_INM.pdf !tarkistettu 20.2.2017
- 730) Badjek C *et al.*, Review and evaluation of aircraft noise spectra used to estimate noise level reduction based on the loudspeakers test method, HMMH report No. 305220.008, Feb. 2016, Prepared for Federal Aviation Administration – Office of Environment & Energy (AEE-100), 69 s.
https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/science_integrated_modeling/media/pears_to43.pdf !tarkistettu 22.2.2017
- 731) DIN 4109 Schallschutz im Hochbau. Anforderungen und Nachweise. November 1989, 28 s.

- 732) EN 12354-3:1997 Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements, Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.
- 733) Falch E, Handbook 47 – control measurements of calculated facade sound insulations, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004, 8-10 June 2004, Mariehamn, Åland, 4 s.
- 734) Bradley J S, IBANA-Calc validation studies, National Research Council Canada, IRC-RR-125, 2002, 52 s.
- 735) Lugten M *et al.*, An experimental study on the shielding performance of buildings exposed to aircraft noise comparing measurements near front and rear facades, Inter-Noise 2016 Proc. 7180 – 7190. <http://pub.dega-akustik.de/IN2016/data/articles/000367.pdf> ! tarkistettu 23.2.2017
- 736) Berg S, Impact of reduced reverberation time on sound-induced arousals during sleep, Sleep **24**(2001)3, 289 – 292. Julkaisussa mainitaan, että tutkimuksen rahoitti Ekophoneniminen absorptiomateriaaleja valmistava kansainvälinen yritys.
- 737) Fietze I *et al.*, The effect of room acoustics on the sleep quality of healthy sleepers, Noise Health, **18**(2016)84, 240 – 246.
- 738) Miyakita T *et al.*, Is residential sound-proofing an effective measure in reducing the effects of aircraft noise?, Inter-Noise 1998 Proc., CD-ROM, tiedosto IN980299.pdf
- 739) Hiramatsu K *et al.*, Evaluation of the residential environment by the inhabitants around an air field in the ryukyus, Inter-Noise 1998 proc., CD-ROM tiedosto IN980215.pdf
- 740) Tokuyama T *et al.*, Disturbance of TV and telephone use by aircraft noise reported around an airfield in the Ryukyus, Inter-Noise 1998 Proc., CD-ROM tiedosto IN980165.pdf
- 741) Felscher-Suhr U, On the difference in the evolution of judgements depending on either retrospective or actual noise annoyance measurement, Inter-Noise 1997 Proceedings, CD-ROM, 213.pdf
- 742) Västfjäll D, Gulbol M-A, Kleiner, M, When more noise is preferred than less: Exploring the "peak-end rule" in retrospective judgements of sound quality, Inter-Noise 2002 Proc., CD-ROM, tiedosto IN02_136.pdf
- 743) Namba S, Kuwano S, Kato T, Relation between the image of long-term noise and the perception of short-term noise, Inter-Noise 2003 Proc., 1681 – 1688
- 744) Berry B, Zwicker E, Comparison of subjective evaluations of impulsive noise with objective measurements of the loudness-time function given by loudness meter, Inter-Noise 1986 Proc., 821 – 824.
- 745) Schaap D, Local attitudes towards an international project. A study of residents' attitudes towards a future high-speed rail line in general and towards annoyance in particular, J. Sound Vibr. **193**(1996)1, 411 – 415.
- 746) Thiessen G J, Habituation of behavioural awakening and EEG measures of response to noise, Proc. ICBEN 1980, 397 – 400.
- 747) Schulte-Fortkamp B, Combined methods to investigate effects of noise exposure and subjective noise assessment, Inter-Noise 1996 Proc., 2351 – 2356.
- 748) Botteldooren D, Lercher P, Verkeyn A, Noise annoyance and coping: A soft analysis, Proc. of the 8th Int. Congr. on Noise as a Public Health Problem, CD-ROM: doc.102_t6d.pdf
- 749) Giefahn B, *et al.*, Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Strassen- und Schienenverkehr, Zeitschrift für Lärmbekämpfung **47**(2000)4, 144 – 151.
- 750) Fidell S, *et al.*, Field study of noise-induced sleep disturbance, J. Acoust. Soc. Am **98**(1995)2, 1025 – 1033.
- 751) Aircraft noise, Annex 16, To the convention on international civil aviation, first edition – August 1971, 51 s.
- 752) ISO Recommendation R 1996 Acoustics – Assessment of noise with respect to community response, 1 st Edition, May 1971, 12 s.
- 753) Historiallisista syistä kerron, että olin esittämässä komission kutsumana direktiiviä valmistelleessa asiantuntijatyöryhmässä WG1/Indikaattorit sitä, että jäsenmailla olisi oikeus käyttää muitakin meluindikaattoreita harvoin esiintyvää tai tavanomaisesta poikkeavaa melua ja sen haitallisuutta arvioidessaan. Työryhmä hyväksyi tämän mahdollisuuden, mutta esitti komissiolle, että $L_{DEN, vuosi}$ ja $L_{Aeq,yö, vuosi}$ tasoja voidaan käyttää kaikille direktiivissä tarkoitetuille liikenne- ja teollisuusmeluille.

- 754) Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma, Suomen ympäristö 696/2004, Ympäristöministeriö, 2004, 64 s.
- 755) Valtioneuvoston periaatepäätöksen ja valtakunnallisen toimintaohjelman toteutumista meluntorjunnassa selvittäneen työryhmän raportti, Ympäristöministeriö, 2013, 67 s.
<http://www.ym.fi/download/noname/%7BF0DE1865-6DCE-483D-A3D6-A959B37B1173%7D/97005> !tarkistettu 6.4.2017
- 756) Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 598/201, annettu 16 päivänä huhtikuuta 2014, tasapainoisen lähestymistavan mukaista meluun liittyvien toimintatoimien asettamista unionin lentoasemilla koskevista säännöistä ja menettelyistä sekä direktiivin 2002/30/EY kumoamisesta. Esim. artikala 5, kohta e. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TEXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0598&from=EN> !tarkistettu 11.5.2017
- 757) esim. Suomen perustuslaki, 20 §, 2. momentti,
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990731> !tarkistettu 6.5.2017
- 758) Zeisler A, Reduction of noise annoyance through public, ICA 2016 Proc.
<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0067.pdf> !tarkistettu 6.4.2017
- 759) Flasbarth J, Wörner J-D, Sailer M, Öffentlichkeitsbeteiligung in Planungs- und Genehmigungsverfahren neu denken, Umweltbundesamt, 2012, 6 s.
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4370.pdf> !tarkistettu 6.4.2017
- 760) Taff D *et al.*, The role of messaging on acceptability of military aircraft sounds in Sequoia National Park, Appl. Acoust. **84**(2014), 122 – 128.
- 761) Phun V, Hirata T, Yai T, Effects of noise information provision on aircraft noise tolerability: Results from an experimental study, J. Air Trans. Manag. **52**(2016), 1 – 10.
- 762) Anon, European Aviation Environmental Report 2016, European Environmental Agency ja European aviation safety agency (EASA), 80 s. kts. esim. luku 5,
<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/european-aviation-environmental-report-2016-72dpi.pdf> !tark. 11.4.2017
- 763) Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmassnahmen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 318, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL, Bern 2000, 135 s.
- 764) Carlson F, Lampi E, Martinsson P, Measuring marginal values of noise disturbance from air traffic: Does the time of the day matter?
<http://gupea.ub.gu.se/dspace/bitstream/2077/2817/1/gunwpe0125.pdf> !tarkistettu 16.3.2017
- 765) Anon, Riksintrasseprecisering för Bromma Stockholm Airport, Trafikverket, 2015, 34 s. <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1813327> !tarkistettu 7.4.2017
- 766) <http://scholar.google.com/>