



Jenna Reinikainen,  
Arja Asikainen,  
Otto Hänninen

TYÖPAPERI

# Tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointivaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä

**TYÖPAPERI 37/2017**

Jenna Reinikainen, Arja Asikainen, Otto Hänninen

**Tie- ja raideliikennemelun  
terveys- ja hyvinvointivaikutukset  
Kuopiossa ja Jyväskylässä**



TERVEYDEN JA  
HYVINVOINNIN LAITOS

© Kirjoittajat ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitos



Jyväskylän kaupunki



**KUOPIO**

---

ISBN 978-952-302-941-5 (painettu)  
ISBN 978-952-302-942-2 (verkkajulkaisu)  
ISSN 2323-363X (verkkajulkaisu)  
<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201709278751>

Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy  
Helsinki, 2017

## Esipuhe

Tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointivaikutukset (LIMETKU) on Terveyden- ja hyvinvoinnin laitoksen sekä Kuopion ja Jyväskylän kaupunkien yhteistyöhanke tie- ja raideliikenteen melun aiheuttamien terveys- ja hyvinvointivaikutusten arvioimiseksi. Projekti toteutettiin touko-lokakuussa 2017.

Hankkeen tavoitteena oli päivittää tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointiarviointi Kuopion ja Jyväskylän alueille vuoden 2017 altistustietojen perusteella. LIMETKU-projektissa arvioitiin myös liikennemelun yhteiskunnallisia kustannuksia, mikä on hyödyllinen lisä kuntien päätöksenteon tueksi. Lisäksi tarkasteltiin nykyisen ulkomelun terveysvaikutusarviointimenetelmään liittyviä epävarmuuksia suomalaiseseen rakennuskantaan, meluallistukseen ja haittojen kokemiseen liittyen.

LIMETKU-projektin ovat rahoittaneet Kuopion ja Jyväskylän kaupungit. Kirjoittajien lisäksi projektiin ovat osallistuneet Kuopion kaupungin ympäristönsuojelupalveluista ympäristönsuojelutarkastaja Erkki Pärjälä sekä Jyväskylän kaupungilta ympäristöjohtaja Päivi Pietarinen sekä ympäristötarkastaja Petteri Ahonen. Kiitokset yhteistyöstä myös Ilkka Niskaselle, Sirpa Lappalaiselle ja Mirkku Kauhaselle WSP Finland Oy:stä.

## Tiivistelmä

Jenna Reinikainen, Arja Asikainen, Otto Hänninen. Tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointivaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpäpaperi 37/2017. 46 sivua. Helsinki 2017.

ISBN 978-952-302-941-5 (painettu); ISBN 978-952-302-942-2 (verkkojulkaisu)

Ympäristömelun on arvioitu olevan toiseksi tärkein terveyshaittaa aiheuttava ympäristötekijä Suomessa (esim. Asikainen ym. 2014, Asikainen ym. 2013). Tärkeimmät melulähteet ovat tie- ja raideliikenne. Liikenteen melun terveys- ja hyvinvointivaikutuksiin kuuluvat keskittymis- ja unihäiriöt, sydänsairaudet, kuulovauriot sekä yleisen viihtyisyyden aleneminen. Melun haitat on tunnustettu laajalti ja altistuneiden määrän selvittämisestä ja liikennemelun vähentämiseksi tähtäävistä toimenpiteistä on säädetty muun muassa Euroopan parlamentin ja neuvoston ympäristömeludirektiivissä (49/2002) ja Suomen ympäristönsuojelulaissa (527/2014).

Tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointivaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä (LIMETKU) -projektin tavoitteena oli liikennemelun terveysvaikutusten arviointi kansanterveydellisestä näkökulmasta vuoden 2017 altistustietojen perusteella. Liikennemelulle altistuneiden määrät arvioitiin ensimmäistä kertaa yhteiseurooppalaisella CNONNOS-EU-mallilla, joka huomioi melualtistuksen asuinrakennuksissa aiempaa tarkemmin. Suuren kiusaantuneisuuden, suuren unihäiriintymisen ja sydäninfarktitaipauksien määrät laskettiin Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) suosittelemien altistusvastefunktioiden avulla. Arvioinnissa käytettiin yhteiseurooppalaisia ( $L_{den}$  ja  $L_n$ ) tunnuslukuja.

Liikennemelusta aiheutuu suuria unihäiriöitä yli kahdelle tuhannelle hengelle (noin 2 % asukkaista) ja suurta kiusaantuneisuutta yli viidelle tuhannelle hengelle (4–5 %) vuosittain sekä Kuopiossa että Jyväskylässä. Tie- ja raideliikennemelusta johtuvia sydäninfarktitaipauksia arvioitiin olevan noin 1 vuodessa kummassakin kaupungissa. Aiempien arvioiden tapaan tieliikenteen melu oli raideliikennettä merkittävämpi asukkaiden terveyttä ja hyvinvointia heikentävä tekijä. Raidemelun osuus terveyshaitoista oli alle kymmenesosa tiemelun aiheuttamista.

Kiusaantuneisuuteen liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita. Noin puolet väestöstä kyseisissä kaupungeissa altistui 50–65 dB(A) äänitasoille ( $L_{den}$ ), mutta näillä tasoilla aiheutui noin kaksi kolmasosaa suuresta kiusaantuneisuudesta. Suurista unihäiriöistä yli puolet arvioitiin aiheutuvan alle 50 dB(A) yöaikaisilla ulkoäänitasoilla ( $L_n$ ). Tutkituissa kaupungeissa kynnsarvon 60 dB(A) ylittävälle ulkomelutasoille ( $L_{den}$ ) altistuvien ja siten arvioitujen sydäninfarktitaipauksien määrät olivat vähäisiä.

Liikennemelun arvioidaan aiheuttavan terveydelle ja hyvinvoinnille haitallisia vaikutuksia jo EU:n raportointirajoja 55 ( $L_{den}$ ) ja 50 ( $L_n$ ) dB(A) sekä kansallisia ohjearvoja (päivä 55 ja yö 50/45 dB(A),  $L_{Aeq}$ ) alhaisemmilla äänitasoilla. Tässä arvioimme liikennemelun terveyshaittojen johtavan myös merkittäviin yhteiskunnallisiin kustannuksiin vuosittain.

Liikennemelun terveysvaikutusten tunteminen on tärkeää, jotta nämä voidaan huomioida päätöksenteossa ja suunnittelussa. Sekä Kuopiossa että Jyväskylässä liikennemelun terveyshaittoja on pyritty torjumaan melusteiden avulla sekä maankäytön suunnittelussa ja kaavoituksessa. Muita mahdollisia toimenpiteitä ovat muun muassa liikenteen nopeuksien ja raskaan liikenteen osuuden sääntely asuinalueilla, hiljaisemmat tiepäällysteet, sähköbussien käyttö joukkoliikenteessä sekä kevyen liikenteen lisäämiseen tähtäävät toimenpiteet.

Avainsanat: ympäristömelu, vaikutusarviointi, ympäristöterveys, päätöksenteon tuki

## Sammandrag

Jenna Reinikainen, Arja Asikainen, Otto Hänninen. Tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointivaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä. [Väg- och spårtrafikbullrets effekter på hälsan och välbefinnandet i Kuopio och Jyväskylä]. Institutet för hälsa och välfärd (THL). Diskussionsunderlag 37/2017. 46 sidor. Helsingfors 2017.

ISBN 978-952-302-941-5 (tryckt); ISBN 978-952-302-942-2 (nätpublikation)

Omgivningsbuller uppskattas vara den näst viktigaste miljöfaktorn som orsakar sanitär olägenhet i Finland (t.ex. Asikainen m.fl. 2014, Asikainen m.fl. 2013). De viktigaste bullerkällorna är väg- och spårtrafiken. Till de effekter på hälsan och välbefinnandet som trafikbullret medför hör koncentrations- och sömnstörningar, hjärtsjukdomar, hörselskador och försämrad allmän trivsel. De olägenheter buller medför har erkänts i stor utsträckning och bestämmelser om åtgärder som syftar till att klarlägga antalet personer som utsätts för buller och att minska trafikbullret finns bland annat i Europaparlamentets och rådets direktiv om omgivningsbuller (2002/49) och den finska miljöskyddslagen (527/2014).

Projektet om väg- och spårtrafikbullrets effekter på hälsan och välbefinnandet i Kuopio och Jyväskylä (LIMETKU) har haft som mål att bedöma trafikbullrets effekter på hälsan ur ett folkhälsoperspektiv på basis av uppgifter om exponeringen år 2017. Antalet personer som utsätts för trafikbuller uppskattades för första gången med hjälp av den sameuropeiska modellen CNONNOS-EU som på ett noggrannare sätt än tidigare beaktar bullerexponering i bostadshus. Antalet fall av stor irritation, stora sömnstörningar och hjärtinfarkter beräknades med hjälp av exponerings-responsfunktioner som definierats för dessa. Vid bedömningen användes sameuropeiska mått ( $L_{den}$  och  $L_n$ ).

Trafikbuller ger årligen upphov till stora sömnstörningar hos mer än tvåusen personer (ca 2 % av invånarna) och stor irritation hos mer än femtusen personer (4–5 %) i både Kuopio och Jyväskylä. Antalet fall av hjärtinfarkt som beror på väg- och spårtrafikbuller uppskattades till ungefär ett fall per år i respektive stad. På samma sätt som i tidigare bedömningar hade vägtrafikbullret en större betydelse i att försämra invånarnas hälsa och välbefinnande än bullret från spårtrafiken. Spårbullrets andel av de sanitära olägenheterna var mindre än en tiondel av vägtrafikens.

När det gäller fallen av stor irritation, som kan vara förknippad med känslor av obekvämheter, ilska, nedstämdhet och hjälplöshet, orsakades en avsevärd del på exponeringsnivån ( $L_{den}$ ) 50–65 dB(A). Mer än hälften av fallen med stora sömnstörningar bedömdes bero på nattliga utomhusnivåer ( $L_n$ ) som understiger 50 dB(A). Antalet personer utsatta för utomhusbullernivåer ( $L_{den}$ ) som överstiger 60 dB var lågt i de undersökta städerna och därmed var också det uppskattade antalet fall av hjärtinfarkter lågt.

Trafikbullret bedöms orsaka skadliga effekter på hälsan och välbefinnandet redan på ljudnivåer som understiger rapporteringsgränsvärdena 55 ( $L_{den}$ ) och 50 ( $L_n$ ) dB(A) i EU:s direktiv om omgivningsbuller och de nationella riktvärdena (dag 55 och natt 50/45 dB(A),  $L_{Aeq}$ ). Sanitära olägenheter till följd av trafikbuller har också uppskattats leda till betydande årliga kostnader för samhället. Det är viktigt att känna till hälsoeffekterna av trafikbuller så att de kan beaktas i beslutsfattandet och planeringen. Både i Kuopio och i Jyväskylä har man strävat efter att motverka sanitära olägenheter till följd av trafikbuller med hjälp av bullerskydd och i samband med planeringen av markanvändningen och planläggningen. Andra möjliga åtgärder är bland annat reglering av hastighetsbegränsningar och andelen tung trafik i bostadsområden, mjukare vägbeläggning, användning av elbussar i kollektivtrafiken och åtgärder som syftar till att öka andelen gång- och cykeltrafik.

Nyckelord: omgivningsbuller, konsekvensbedömning, miljöhälsa, stöd för beslutsfattandet

## Abstract

Jenna Reinikainen, Arja Asikainen, Otto Hänninen. Tie- ja raideliikennemelun terveys- ja hyvinvointivaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä [Health and welfare effects of road and railway traffic noise in Kuopio and Jyväskylä]. National Institute for Health and Welfare (THL). Discussionpaper 37/2017. 46 pages. Helsinki, Finland 2017.

ISBN 978-952-302-941-5 (printed); ISBN 978-952-302-942-2 (online publication)

Environmental noise has been estimated to be the second-most important cause of environmental health burden in Finland (e.g. Asikainen et al. 2014, Asikainen et al. 2013). Most important sources of environmental noise are road and railway traffic. The effects of traffic noise to health and welfare include disturbance to sleep, communication, performance and cognitive processes, heart diseases, hearing impairment and increased levels of discomfort. The adverse health effects of noise are widely acknowledged and traffic noise assessment and exposure reduction are regulated e.g. in Environmental Noise Directive (49/2002/EC) and in the Finnish Environmental Protection Law (527/2014).

The goal of the Effects of road- and railway traffic noise to health and welfare in Kuopio and Jyväskylä (LIMETKU) – project was to assess public health impacts of traffic noise based on noise exposure assessment data of 2017. Noise exposure assessments were conducted for the first time with common European noise assessment methods (CNOSSOS-EU), that accounts for exposure in residential buildings more precisely than previous methods. Number of persons affected by high annoyance, high sleep disturbance and myocardial infarctions were calculated utilizing exposure-response functions recommended by European Environmental Agency (EEA). Health effects were assessed with common European noise indicators ( $L_{den}$  and  $L_n$ ).

Traffic noise causes high sleep disturbance to over two thousand (around 2 %) and high annoyance to over five thousand (4-5 %) residents of Kuopio as well as Jyväskylä annually. Myocardial infarctions caused by road and railway traffic noise annually were assessed to be around 1 case per city. Road traffic noise was more significant contributor to adverse health effects than railway traffic noise, as is also seen in previous assessments. The health effects of railway traffic noise were under one tenth of that caused by road traffic noise.

Noise annoyance includes discomfort, anger, depression and helplessness. Roughly half of the population of the target cities was exposed to noise levels of 50-65 dB ( $L_{den}$ ), but these levels represent two thirds of the high annoyance. Over half of high sleep disturbance was caused by outside night noise levels ( $L_n$ ) under 50 dB(A). The number of residents exposed to noise over threshold level 60 dB(A) ( $L_{den}$ ) were low in both cities and hence were also the number of traffic noise induced myocardial infarctions.

The used EEA response functions suggest that traffic noise induces health effects at levels lower than the EU reporting limits of (55 ( $L_{den}$ ) and 50 ( $L_n$ ) dB(A)) and the national guideline levels for daytime (55 dB(A)) and nighttime (50/45 dB(A)) levels ( $L_{Aeq}$ ). Here we also estimated that health and welfare effects of traffic noise cause significant public health costs.

Knowledge of traffic induced health effects is important for decision making and planning processes. In Kuopio and Jyväskylä traffic noise is mitigated by physical barriers, and taken into account in the land use and planning processes. Other possible methods for noise mitigation include speed limits and controlling heavy traffic in residential areas, quieter road surfaces, use of electric buses and measures supporting cycling and walking.

Keywords: Environmental noise, Impact assessment, Environmental health, Support for decision making

## Sisällys

Esipuhe.....	3
Tiivistelmä.....	4
Sammandrag.....	5
Abstract.....	6
LYHENTEET.....	9
1. YMPÄRISTÖ- JA LIIKENNEMELU.....	10
1.1 Ääni ja sen ominaisuudet.....	10
1.2 Ympäristömelun lähteet.....	10
1.3 Melulainsäädäntö.....	12
2. YMPÄRISTÖMELUN TERVEYSVAIKUTUKSET.....	14
2.1 Kiusaantuneisuus ja häiritsevyys.....	16
2.2 Unen häiriintyminen.....	17
2.3 Sydäninfarktit ja muut sydän – ja verisuonitaudit.....	19
3. ALTISTUNEIDEN ARVIOINTI.....	20
3.1 Meluallistuksen arviointimenetelmät.....	20
3.2 Altistuneiden määrät Kuopiossa ja Jyväskylässä.....	21
4. KÄYTETYT TERVEYSVAIKUTUSTEN ARVIOINTIMENETELMÄT.....	22
4.1 Suuri kiusaantuneisuus.....	22
4.2 Suuret unihäiriöt.....	23
4.3 Sydäninfarktitaapaukset ja – kuolleisuus.....	23
5. TERVEYSVAIKUTUKSET KUOPIOSSA JA JYVÄSKYLÄSSÄ.....	24
5.1 Arvioidut terveys- ja hyvinvointivaikutukset.....	24
5.2 Terveysvaikutukset melutasoittain.....	25
6. ARVIOINTIIN LIITTYVIÄ EPÄVARMUUKSIA.....	27
6.1 Melun vuorokautinen vaihtelu.....	27
6.2 Sisämelu vs. ulkomelu.....	28
6.3 Rakennusten ääneneristävyys.....	28
6.4 Hiljaisten tilojen ja visuaalisten tekijöiden vaikutus.....	29
6.5 Epävarmuudet terveysvaikutusten arvioinnissa.....	30
7. YHTEISKUNNALLISET KUSTANNUSVAIKUTUKSET.....	32
7.1 Käytetyt terveys- ja hyvinvointikustannusten arviointimenetelmät.....	32
7.2 Terveys- ja hyvinvointikustannusvaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä.....	33
8. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	34
LÄHTEET.....	35
LIITTEET.....	38
Liite 1. Äänitasojen likimääräiset muunnoskaavat.....	38
Liite 2. Melulle altistuneet julkisivun korkeimman äänitason mukaan laskettuina.....	39
Liite 3. Julkisivulle korkeimman äänitason mukaan arvioidut terveysvaikutukset ja epävarmuudet.....	40
Liite 4. Liikennemelun terveyshaittojen määrät arvioituina melutasoittain.....	41
Liite 5. Tie- ja rautatieliikenteen melusta johtuva tautitaakka Kuopiossa ja Jyväskylässä.....	44





# LYHENTEET

**A-painotus** A-taajuuspainotus. Äänenvoimakkuuksien mittauksessa käytetty suure, joka kuvaa ihmisen korvan herkkyyttä ja kykyä havaita melun häiritsevyyttä.

## CNOSSOS-EU

EU:n jäsenvaltioiden strategisissa melukartoituksissa sovellettava yhteinen laskentamalli (**C**ommon **N**oise **a**SSessment meth**O**d**S** in the EU).

**dB(A)** A-painotettu äänitaso, desibeliä.

**dB** Desibeli. Äänenpainetaso kuvaamiseen käytetty termi, jonka asteikko on logaritminen. +10 dB muutos aistitaan noin melun kaksinkertaistumisena.

**EEA** Euroopan ympäristökeskus (European Environment Agency).

**END** Ympäristömeludirektiivi (Environmental Noise Directive, 2002/49, 2015/996).

**ICD10** Kansainvälinen tautiluokitusjärjestelmä (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems).

**L<sub>Aeq</sub>** tietyn ajanjakson A-painotettu ekvivalenttiäänitaso.

**L<sub>d</sub>** päiväajan ekvivalenttiäänitaso (klo: 7-22). Sama kuin **L<sub>päivä</sub>** tai **L<sub>day</sub>**.

**L<sub>den</sub>** vuorokauden painotettu äänitaso (day-evening-night), jossa ilta-ajan (e) klo: 19–22 ekvivalenttiäänitasa korotetaan + 5 dB ja yöajan (n) +10 dB melun häiritsevyyden kuvaamiseksi.

**L<sub>max</sub>** mittausjakson aikana mitattu korkein äänitaso (ns. enimmäisäänitaso).

**L<sub>n</sub>** yöajan ekvivalenttiäänitaso (klo: 22-7). Sama kuin **L<sub>yö</sub>** tai **L<sub>night</sub>**.

**THL** Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos

**WHO** Maailman terveysjärjestö (World Health Organization).

## WTP-tutkimus

Maksuhalukkuuteen (willingness to pay) perustuva kyselytutkimusmenetelmä, joka kuvaa kuinka paljon tietty väestöryhmä on tietystä lisäarvosta valmis maksamaan.

**Äänitaso** tai äänenpainetaso. Äänen voimakkuutta kuvaava mittasuure.

# 1. YMPÄRISTÖ- JA LIIKENNEMELU

## 1.1 Ääni ja sen ominaisuudet

Ääni on ilmassa, vedessä tai kiinteässä aineessa liikkuvaa mekaanista värähtelyä eli aaltoliikettä. Ilmassa ääniaaltojen muodostama paineen vaihtelu muodostaa äänen voimakkuuden ja kuuloaistimuksen. Äänen voimakkuutta kutsutaan äänenpainetasoksi ja sen yksikköä kutsutaan desibeliksi (dB). Äänen taajuutta kuvataan yksiköllä hertsi (Hz), joka vastaa yhtä ääniaalloa sekunnissa. Ihmisen korva on herkin alueella 2-5 kHz (2 000–5 000 Hz). Alle 20 Hz taajuuksien ollessa kyseessä puhutaan infraäänistä ja alle 200 Hz:n taajuuksilla pienitaajuisista äänistä. Äänen taajuus vaikuttaa sen kuuluvuuteen ja eri taajuuksien äänenpainetasot kuullaan herkemmin kuin toisten (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Äänitasoja mitattaessa tätä vaihtelua kuvataan termillä taajuuspainotus. Ihmisen laajakajaistaisen melun aistimista kuvaa parhaiten niin sanottu A-painotus, dB(A). Äänen aistimiseen vaikuttaa lisäksi sen korkeus. Ihmisen aistima äänenkorkeus muodostuu eri taajuuksien äänten yhteisvaikutuksesta ja komponenteista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017).

Ihmisen kuuloalueen kuvataan yleensä alkavan nolasta desibelistä, joka muodostaa desibelias- teikon referenssitason. Käytännössä kuuloalue on kuitenkin hyvin ihmiskohtainen ja kyky aistia ääntä heikkenee ikääntyessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Äänten havaitsemiskynnys on tyy- pillisesti 4 - 10 dB henkilökohtaista kuulokynnystä korkeampi ja hyväkuuloiset ihmiset aistivat ta- vanomaista noin 8 - 11 dB alhaisempia ääniä kuin muut. Koettu melun äänekkyyys voi siis vaihdella paljonkin (Pesonen 2005). Yleensä aistitaan ääniä, jotka ylittävät infraäänitaajuuden (20 Hz), mutta tutkimuksissa on havaittu mahdolliseksi tietyissä tilanteissa aistia kuulla myös alempia taajuuksia. Yleensä alle 10 Hz:n äänet aistitaan paineen vaihteluina korvassa. Riittävän voimakas äänenpaineta- so voi myös aiheuttaa värinää ja paineentunnetta kehossa (esim. 50–80 Hz yli 80 dB:n tapauksessa). Tämä on mahdollista hyvin alhaisten taajuuksien eli hiljaisesti kuultavien äänten ollessa kyseessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Melun laadun, voimakkuuden ja altistuksen keston lisäksi, sen kokemiseen vaikuttavat yksilöllinen herkkyys ja ryhmä- ja kulttuurisidonnaisuus.

## 1.2 Ympäristömelun lähteet

Ympäristömeluksi kutsutaan ihmisten elinympäristössä esiintyvää melua. Ympäristömelu on yleensä laaja- kaistaista eli siinä yhdistyy ääniä useilta eri taajuuksilta – ja usein myös monista lähteistä (Työ- ja elinkei- noministeriö 2017).

Ympäristömelun tärkein lähde on tieliikennemelu, jonka yli 55 dB:n keskiäänitasolle altistuu vuosittain 125 miljoonaa ihmistä Euroopassa (Asikainen & Hänninen 2016, Eriksson ym. 2017). Tieliikenteen melu syntyy renkaiden ja tien välisestä kosketuspinnasta, aerodynaamisesta melusta ja moottorin äänistä. Synty- viin melutasoihin vaikuttavat muun muassa tien pinta ja geometria, ajoneuvojen nopeus ja määrä sekä ras- kaan liikenteen osuus (Liikonen & Leppänen 2005). Tieliikennemelulle altistuvat varsinkin maanteiden ja vilkkaiden pääväylien varsilla asuvat. Maanteiden yli 55 dB:n ( $L_{Aeq}$ ) päiväaikaiselle melulle altistuneita on Suomessa noin 330 000 henkeä ja yli 50 dB:n yömelulle ( $L_n$ ) noin 175 000 henkeä (Liikennevirasto 2016). Lisäksi tieliikennemelulle altistutaan erityisesti taajamissa (Ympäristöministeriö 2004).

Toiseksi tärkein ympäristömelun lähde Euroopassa on raideliikenne, jonka melulle altistuneita on noin 8 miljoonaa (Eriksson ym. 2017). Raideliikenteessä melua aiheuttavat junan pyörän ja radan kohtauspinnat, aerodynaaminen melu sekä alhaisilla nopeuksilla moottorimelu dieseljunien tapauksessa ja johdinmelu sähköjunien ollessa kyseessä. Raideliikenteen melutasoihin vaikuttavat kiskojen kunto, vaihteiden ja siltojen määrä, käytetyt junatyypit ja nopeudet sekä liikenteen määrä (Liikonen & Leppänen 2005). Raideliikenteen päiväaikaiselle yli 55 dB:n ( $L_{Aeq}$ ) melulle altistuu noin 150 000 ja yöaikaiselle yli 50 dB:n ( $L_n$ ) melulle noin 110 000 suomalaista vuosittain (Liikennevirasto 2016). Raideliikenteelle yöaikaan altistuneiden määrät ovat usein suurempia kuin päiväaikaan, johtuen raskaimman tavaraliikenteen ajoittumisesta yöaikaan (Liikonen & Leppänen 2005).

Kolmanneksi eniten ympäristömelua Euroopassa aiheuttaa lentoliikenne, jonka melulle altistuneita on 3 miljoonaa henkeä (Eriksson ym. 2017). Muita ympäristömelun lähteitä ovat vesiliikenne, teollisuuden toiminnot, rakennus- ja korjaustyöt, vapaa-ajan toiminta, kuten konsertit ja ajoradat, sekä erilaiset laitteet ja koneet. Ympäristömelu häiritsee paitsi vakituisia asukkaita, myös alueen loma-asukkaita ja alueen virkistyskäyttäjiä (Liikonen & Leppänen 2005).

Melu vaimenee etäntyessään melulähteestä. Vaimenemiseen vaikuttavat sääolot kuten tuuli, lämpötila ja ilmanpaine. Tiet, kadut ja rautatiet ovat viivamaisia melulähteitä, joten niistä kuuluva melu vaimenee noin 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Melu vaimenee myös kasvillisuuden, pinnanmuotojen tai ilman absorptioon vuoksi. Äänilähteen tuottama melu voi myös vaimentua esteeseen (ns. absorboitua), heijastua, säröytyä, taipua tai voimistua tietyissä tapauksissa. Esteiden vaimennuskyky riippuu äänen taajuudesta sekä esteen massasta, rakennusmateriaalista ja ääniteknisistä ominaisuuksista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Tieliikennemelu on suhteellisen matalatasoista ja siinä on suuri määrä melutapahtumia, kun taas raideliikennemelussa on vähäisesti melutapahtumia (melutapahtumalla voidaan tarkoittaa alle viisi minuuttia kestävää melua), mutta ne ovat korkeampia tasoltaan (WHO 2009). Äänen voimistumista tapahtuu esimerkiksi niin sanotun seisovan aallon tapauksessa, jossa äänen aallonpituus moninkertaistuu sen heijastuessa pinnoista takaisin alkupisteeseensä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Tämä ilmiö on osittain syynä esimerkiksi tapauksissa, joissa kerrostalojen korkeampien kerrosten asunnoissa katumelu voi kuulua alempia kerroksia tehokkaammin.

Taustamelu voi vaikuttaa muuhun melutasoon peittämällä sitä tai vaikuttamalla sen kanssa yhdessä joko aistittujen äänitasojen tai koetun äänimaiseman kautta. Taustamelun taso on yleensä alhaisempi yöaikaan sekä ihmistoiminnasta peräisin olevan kuin luonnonääniensäkin osalta, joten ympäristömelun osuus korostuu yöllä (WHO 2009). Myös yöaikaiset sääolosuhteet, kuten lämpötilainversio, saattavat lisätä äänten kuuluvuutta yöaikaan (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017).

### **Ympäristömelun lähteet Kuopiossa**

Kuopio on 117 740 asukkaallaan väkiluvultaan Suomen 9. suurin (Sotkanet.fi 2017, Kuopion kaupunki 2017a). Tärkein ympäristömelun lähde Kuopiossa on tieliikenne. Suurin osa tieliikenteen melulla altistuvista asukkaista asuu keskustan, sen sisääntuloväylien ja lähiöiden läpiajokatuja sekä valtatie 5:n varrella Haja-asutusalueilla ja maaseututaajamissa melulle altistutaan selvästi vähemmän kuin keskeisellä kaupunkialueella (WSP Finland Oy 2017).

Raideliikenteen päärata kulkee Kuopion halki pohjois-etelä suunnassa. Raideliikenteen melulle altistutaan etenkin yöaikaan, jolloin raskaiden tavarajunien osuus raideliikenteessä korostuu. Kuopion lentoasema sijaitsee noin 14 kilometrin päässä kaupungin keskustasta, Rissalassa. Kuopiossa lentokentän melualueella on hyvin vähäisesti asutusta. Lisäksi Kuopiossa melua aiheuttavat teollisuus- ja energiantuotantolaitokset, harrastustoiminta, kuten moottoriurheilu- ja ampumaradat, yleisötapahtumat, kunnossapitotyöt (Kuopion kaupunki 2017b) sekä vesiliikenne.

## Ympäristömelun lähteet Jyväskylässä

Jyväskylä on asukasluvultaan Suomen 7. suurin kaupunki ja asukkaita Jyväskylässä on 138 850 (Sotkanet.fi 2017, Jyväskylä.fi 2017). Jyväskylää halkovat valtatie 4, 9, 13, 18 ja 23 (Jyväskylä.fi 2017) ja tieliikenne onkin Jyväskylän tärkein ympäristömelun lähde. Vilkkaimmin liikennöidyt väylät ovat valtatie 4 ja 9 (Jyväskylän kaupunki ja Jyväskylän yliopisto 2008) ja liikennemelua esiintyy huomattavasti etenkin Vaajakosken moottoritien ja Vaajakoskentien välisellä alueella (Jyväskylän kaupunki 2017).

Jyväskylän läpi kulkevat raidelinjat sekä pohjois-etelä että itä-länsi suuntiin (Jyväskylä.fi 2017). Altistumista raideliikenteen melulle tapahtuu yleisesti Jyväskylän ja Vaajakosken välisellä rataosuudella (Jyväskylän kaupunki 2017). Jyväskylän lentoasema sijaitsee 23 kilometrin päässä keskustasta Tikkakoskella (visitjyväskylä.fi 2017), mutta asutus lentoaseman melualueen läheisyydessä on vähäistä (Jyväskylän kaupunki 2017). Myös teollisuus, työmaat ja tapahtumat aiheuttavat ympäristömelua Jyväskylässä (Jyväskylän kaupunki ja Jyväskylän yliopisto 2008).

## 1.3 Melulainsäädäntö

### Ympäristömeludirektiivi (49/2002) ja ympäristönsuojelulaki (527/2014)

Ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan kaikessa toiminnassa on tavoiteltava sellaista ääniympäristön laatua, jossa vaarallista tai muuten haitallista ääntä (ns. melua) ei esiinny terveyshaittaa aiheuttavassa määrin. Melua ei saa myöskään esiintyä muuta merkittävää haittaa, kuten haittaa luonnolle, ympäristön yleiselle viihtyvyydelle tai virkistyskäytölle, tai sen vaaraa aiheuttavassa määrin.

EU:n ympäristömeludirektiivi (2002/49/EY) eli niin sanottu END-direktiivi vaatii, että yli 55 dB:n vuorokausimelutasoille ja yli 50 dB:n yömelutasoille altistuvien asukkaiden määrät raportoidaan ja melualtistuksen vähentämiseksi laaditaan meluntorjunnan toimintasuunnitelma. END-direktiivi on sisällytetty Suomessa ympäristönsuojelulakiin (527/2014), jossa säädetään, että meluselvitys ja meluntorjunnan toimintasuunnitelma on laadittava

- 1) yli 100 000 asukkaan kaupungeissa
- 2) yleisistä teistä, joiden liikennemäärä vuodessa on yli kolme miljoonaa ajoneuvoa
- 3) rautateistä, joiden liikennemäärä vuodessa on yli 30 000 junaa.

Raportointivelvollisuus on myös yli 50 000 lentoa ja laskua vuodessa ylittävillä lentoasemilla. Suomessa ympäristönsuojelulain mukaan raportointivelvollisia kuntia ovat: Espoo, Helsinki, Jyväskylä, Kauniainen (osana pääkaupunkiseutua), Kuopio, Lahti, Oulu, Tampere, Turku ja Vantaa. Kuntien tulee myös laatia meluselvitykset, joissa kuvataan yleisesti alueen nykyinen ja tuleva melutilanne, hiljaiset alueet mukaan lukien, sekä esitetään melulle altistuvien henkilöiden määrä.

### Valtioneuvoston päätös melun ohjearvoista (VNp 993/1992)

Suomessa kansallinen lainsäädäntö ohjaa meluntorjuntatoimien suunnittelua kunnissa ja valtiotasolla. Valtioneuvoston päätöksellä (VNp 993/1992) on säädetty melutason ohjearvoista, että melu ei saa ylittää asuinalueilla ulkona melun A-painotetun ekvivalenttitason ( $L_{Aeq}$ ) päiväohjearvoa (klo 7-22) 55 dB, eikä yöohjearvoa (klo 22-7) 50 dB (taulukko 1). Uusilla asuinalueilla on ulkomelutason yöohjearvo kuitenkin 45 dB. Loma-asumiseen käytettävillä alueilla taajamassa voidaan myös soveltaa taajamien ohjearvoja.

Asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa on ohjeena, että ulkoa kantautuvasta melusta aiheutuvan äänitason sisällä tulee alittaa melun A-painotetun ekvivalenttitason ( $L_{Aeq}$ ) päiväohjearvo (klo 7-22) 35 dB ja yöohjearvo (klo 22-7) 30 dB. Kapeakaistaiselle ja/tai iskumaiselle melulle lisätään +5 dB:n korjaus ennen sen vertaamista ohjearvoihin (taulukko 1) (VNp 993/1992).

**Taulukko 1. Valtioneuvoston päätöksen (993/1992) mukaiset melun ohjearvot ulko- ja sisätiloissa**

Melun ohjearvot ulkona	LAeq (07-22)	LAeq (22-07)
Asuinalueet, asutuskeskuksissa sijaitsevat virkistysalueet, sairaalat ja oppilaitokset	55 dB	45–50 dB <sup>(1,2)</sup>
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, asutuskeskusten ulkopuolella sijaitsevat virkistys- ja luonnonsuojelualueet	45 dB	40 dB <sup>(3,4)</sup>
Melun ohjearvot sisätiloissa	LAeq (07-22)	LAeq (22-07)
Asuinhuoneistot, sairaala- ja majoitustilat	35 dB	30 dB
Oppilaitokset ja kokoontumistilat	35 dB	-
Liike- ja toimistotilat	45 dB	-

<sup>1</sup> Yöaikaan uusilla asuinalueilla  $L_{Aeq}$  45 dB(A);

<sup>2</sup> Yöaikaiset ohjearvot eivät koske oppilaitosalueita;

<sup>3</sup> Yöaikaiset ohjearvot eivät koske luonnonsuojelualueita, joilla ei yöaikaan tehdä luonnon havainnointia;

<sup>4</sup> Asutuskeskuksissa sijaitsevia loma-asutukseen käytettäviä alueita voidaan pitää tavanomaisina asuinalueina.

### Muut melutasoihin taajamissa vaikuttavat säädökset

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (545/2015) määritellään asuinhuoneistojen ja oleskelutilojen melun toimenpiderajoiksi (tällöin toimenpiteisiin ryhdyttävä altistuksen vähentämiseksi) päiväajan (7-22) 35 dB ( $L_{Aeq}$ ) ja yöajan 30 dB ( $L_{Aeq}$ ) keskiäänitasot. Muiden tilojen, kuten keittiön ja kylpyhuoneen, äänitasoiksi on määritelty 40 dB ( $L_{Aeq}$ ) sekä päivä- että yöaikana (STMa 545/2015). Tämän pohjalta laaditussa asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valvira 2016) kokoontumistilojen melun toimenpideraja on sisätiloissa 35–40 dB ja työhuoneiden 45 dB.

Yöaikaisen musiikkimelun tai vastaavan taustamelusta erottuvan nihäiriöitä aiheuttavan melun osalta on säädetty, että tämä ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona ( $L_{Aeq, 1h}$ ) (klo: 22.00–07.00) nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa. Kuulovaurion välttämiseksi melun äänitasot eivät saa ylittää 100 dB ( $L_{Aeq, 4h}$ ), 115 dB ( $L_{AFmax}$ , maksimiarvo) tai 140 dB ( $L_{Cpeak}$ , huippuarvo). Impulssimaisen melun haitallisuuskorjaus on +5 tai +10 dB, riippuen impulssimaisuudesta. Kapeakaistaisen melun osalta haitallisuuskorjaus on +3 tai +6 dB riippuen kapeakaistaisuudesta. Korjaukset tehdään ajalle, jossa tätä melua esiintyy (STMa 545/2015).

Terveysturvallisuudessa säädetään, että asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskelevalle terveyshaittaa (TervSuojeluL 763/1994). Kunnat voivat myös antaa ympäristönsuojelulain (527/2014) perusteella paikallisista olosuhteista johtuvia ympäristönsuojelumääräyksiä erityisen häiritsevän tilapäisen melun tai tärinän torjuntaan.

## 2. YMPÄRISTÖMELUN TERVEYSVAIKUTUKSET

Melun tunnettuihin haittavaikutuksiin kuuluu tilapäinen kuulon aleneminen, tinnitus eli korvien soiminen tai suhina sekä pysyvät kuulovauriot, jotka aiheutuvat suurilla tai jatkuvasti haitallisilla äänenpainetasoilla. Tilapäistä kuulokyvyn huonontumista voi esiintyä jo tasoilla 65–75 dB(A) ( $L_{Aeq, 24h}$ ) (STM 2003). Ympäristömelu aiheuttaa kuitenkin epäsuoria terveystaiteita jo paljon alemmilla ulkoäänitasoilla, usein pitkäaikaisessa altistuksessa (taulukko 2).

**Taulukko 2. Melun todetut terveystaikutukset, käytetyt indikaattorit ja kynnsarvot (muokattu EEA 2010)**

Vaikutus	Indikaattori	Kynnsarvo (dB)
Kiusaantuminen <sup>1</sup> , häiriintyminen <sup>2</sup>	Lden	42
Itseraportoitu unen häiriintyminen	Ln	42
Oppiminen, muisti (suorituskyky)	Leq <sup>3</sup>	50
Stressihormonien pitoisuuksien muutokset	Lmax, Leq	Ei saatavilla
Uni (vireystila, liikehdintä, unenlaatu)	Lmax, sisä-äänitaso	32
Herääminen	SEL, <sup>4</sup> sisä-äänitaso	53
Yleisen terveydentilan muutokset	Lden	50
Verenpainetaso muutokset	Lden	50
Iskeemiset sydänsairaudet (ml. sydäninfarktit)	Lden	60

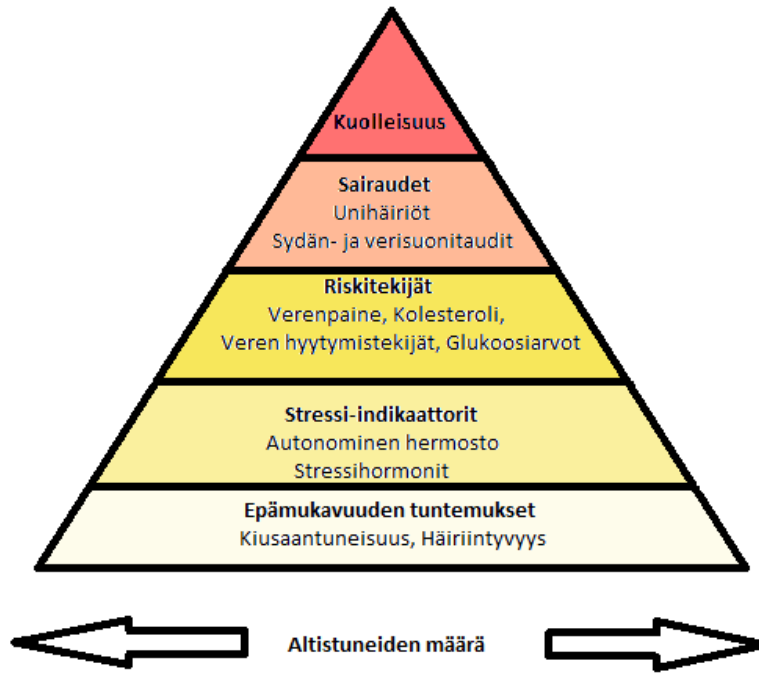
<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Melu voi häiritä mm. keskittymistä, kommunikointia, rentoutumista tai tehtävissä suoriutumista;

<sup>3</sup>  $L_{eq}$  keskimääräinen äänitaso;

<sup>4</sup> SEL sound exposure level, vakioäänitaso, jossa on sekunnissa yhtä paljon äänienergiaa kuin alkuperäisessä melutapahtumassa

Melu aktivoi autonomista hermostoa ja umpieritysjärjestelmää, kuten aivolisäketä ja adrenaliinin tuotantoa, joista voi olla seurauksena muun muassa vireystilan nousua ja mahdollinen säikähdys-vaste. Melu voi aiheuttaa haitallisia vaikutuksia muun muassa verenpaineeseen, veren rasva- ja glukoosiarvoihin sekä hyytymistekijöihin ja altistaa iskeemisille sydänsairauksille sekä ateroskleroosille (Kuva 1) (EEA 2010, WHO 2011, Selander ym. 2009). Sydän- ja verisuonitauteja on myös havaittu etenkin pitkäaikaisen melualtistuksen yhteydessä (Erikson ym. 2017, WHO 2011). Madridissa tehdysä tutkimuksessa ympäristömelun vaikutukset yhdistettiin selkeästi sydänkuolleisuuteen ja sen vaikutukset ylittivät jopa pienhiukkasten haittavaikutukset sydänterveydelle tietyissä ikäryhmissä (Recio ym. 2017).



Kuva 1. Melun terveysvaikutusten vakavuus ja altistuneiden määrä (mukailtu WHO 2011).

Etenkin yöaikaan autonomiset vasteet yksittäisille melutapahtumille on tutkimuksissa havaittu selvästi, ja melun on huomattu olevan yhteydessä unihäiriöihin ja unenlaadun heikkenemiseen (taulukko 3). Ympäristömelun on huomattu aiheuttavan myös kiusaantuneisuutta sekä kognitiivisen suorituskyvyn laskua etenkin lapsilla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Norjalaisen kansanterveyslaitoksen tekemässä tutkimuksessa arvioitiin tieliikennemelun terveysvaikutuksista 69 prosenttia syntyneen unihäiriöistä, 30 prosenttia melun aiheuttamasta kiusaantuneisuudesta ja 1 prosentti sydän- ja verisuonisairauksista. Ruotsissa melun aiheuttamasta kiusaantuneisuudesta arveltiin kärsivän 3 - 6 prosenttia väestöstä, unihäiriöistä 2 - 3 prosenttia ja sydän- ja verisuonisairauksista 0,5 prosenttia. Osa negatiivisista terveysvaikutuksista saattaa esiintyä myös samoilla henkilöillä, jolloin tulokset vääristyvät ylöspäin (Eriksson ym. 2017).

Taulukko 3. Yöaikaisen melun havaitut haitalliset terveysvaikutukset (muokattu WHO 2011)

Äänitaso, (Ln, ulkoäänitaso)	Havaitut terveysvaikutukset
< 30 dB(A)	Huomattavia terveysvaikutuksia ei ole havaittu.
30–40 dB(A)	Havaittujen terveysvaikutusten määrä nousee: liikehdintää ja heräilyä yöaikaan, vireystilan nousua ja itse arvioidun unenhäiriintymisen lisääntymistä. Vaikutukset ovat kohtuullisia, herkäät väestöryhmät (lapset, vanhukset, kroonisesti sairaat) ovat alttiimpia haittavaikutuksille.
40–55 dB (A)	Haitallisia terveysvaikutuksia on havaittu. Monet ihmiset joutuvat mukauttamaan elämänsä selvitäkseen yöaikaisen melun kanssa. Vaikutukset ovat erityisen haitallisia erityisryhmille.
> 55 dB (A)	Tilanne on kasvamassa määrin vaarallinen kansanterveydelle. Haitallisia terveysvaikutuksia on havaittu usein, suuri osa ihmisistä kokee melun erittäin kiusalliseksi ja kärsii unihäiriöistä. Sydän- ja verisuonisairauksien riski kasvaa.



Melu voi aiheuttaa psykososiaalisia vaikutuksia muun muassa lisääntyneen stressin ja unihäiriöiden kautta. Kohonneiden tieliikenteen ulkomelutasojen on huomattu olevan yhteydessä muun muassa masennukseen ja ahdistuneisuuteen. Riski on suurempi herkillä väestöryhmillä, etenkin unihäiriöisillä, meluherkillä ja ahdistuneisuuden taipuvaisilla henkilöillä. Meluherkät (kyky aistia melua tai häiriintyä siitä keskimääräistä herkempi) kokevat melun häiritsevämpänä ja heidän elimistönsä reagoi siihen voimakkaammin. Myös totuttuminen meluisuuteen on hitaampaa. Meluherkkiä on eri tutkimusten mukaan noin 20–40 prosenttia väestöstä ja suomalaistutkimuksessa noin 38 prosenttia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Myös monet jo kuulovaurioista kärsivät, sekä kuuloon tukeutuvat näkövammaiset ja sokeat, häiriintyvät melusta herkästi (WHO 1999).

Pitkäaikainen melualtistus on yhdistetty myös kohonneeseen hengityselinten, niveltulehduksen ja migreenin riskiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Joissain tutkimuksissa ympäristömelu on myös yhdistetty metabolisiin ongelmiin kuten liikalihavuuteen ja diabetekseen. Ympäristömelun terveysvaikutukset aiheuttavat vuosittain suuria yhteiskunnallisia kustannuksia. Esimerkiksi Ruotsissa väestön melunaltistuksen on arvioitu aiheuttavan vuosittain 1,7 miljardin euron kustannusvaikutukset yhteiskunnalle (Eriksson ym. 2017).

## 2.1 Kiusaantuneisuus ja häiritsevyys

Ympäristömelu aiheuttaa psykososiaalisia vaikutuksia mm. häiritsemällä keskittymistä, kommunikointia ja rentoutumista (WHO 2011, Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Melu häiritä tehtävissä suoriutumista (engl. disturbance) tai aiheuttaa kielteisiä elämyksellisiä kokemuksia silloinkin kun se ei varsinaisesti vaikeuta toimintaa. Kiusaantuneisuus (engl. annoyance) on melun aiheuttamaa elämyksellistä kokemusta kuvaava termi (Pesonen 2005). EEA (2010) määrittelee kiusaantuneisuuden henkiseksi tilaksi, johon liittyy epämu-kavuuden, vihaiisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita. Sekä kiusaantuneisuus ja häiriintyvyys ovat melusta aiheutuvia reaktiota ja vasteita, joilla voi olla negatiivisia terveysvaikutuksia. Kiusallisuus on yleisin melun kielteisyyden vaikutusvaste (Pesonen 2014).

Kiusaantuneisuuden määrä riippuu suuresti melun määrästä, laadusta ja lähteestä. Melun asiasisältö vaikuttaa koetun melun kiusallisuuteen. Kaikkein kiusallisinta on yleensä informaatioisältöinen melu, kuten puhe tai musiikki, joka koetaan kiusalliseksi jopa alle 10 dB äänitasoilla. Liikennemelu on informaatioisältöltään vähäisempää (Pesonen 2005), mutta matalataajuista. Melun matalan taajuuden on koettu lisäävän sen kiusalliseksi kokevien määrää (EEA 2010).

Helsingin kaupungin (Haahla & Heinonen-Guzejev 2012) teettämässä kyselytutkimuksessa tieliikennemelu todettiin kaikkein häiritsevimmäksi melun lähteeksi. 34 prosenttia vastaajista koki tieliikennemelun häiritseväksi tai erittäin häiritseväksi päivisin ja 23 prosenttia öisin. Lähes puolet vastaajista koki melun häiritsevän ikkunoiden auki pitämistä sekä tämän koettiin myös häiritsevän nukkumista, parvekkeella tai pihalla oloa, rentoutumista ja ulkoilua virkistysalueilla. Suomalaisessa kyselytutkimuksessa (Okokon ym. 2015) tutkittiin liikennemelun ja pakokaasujen aiheuttamaa kiusaantuneisuutta. Tulosten mukaan 65 prosenttia raportoi kokeensa jonkintasoista kiusaantuneisuutta ja noin 17 prosenttia vastanneista vastasi koke-neensa suurta kiusaantuneisuutta. Kiusaantuneiden määrä oli suurempi kaupunkikeskusta- (34 % kiusaantuneita) kuin lähiöalueilla (21 % kiusaantuneita). Lisäksi tietämyksen melun terveyshaitoista nähtiin korre-loivan meluherkkyyden kanssa. Myös tieliikenteen päästöt lisäävät melun häiritsevyyttä ja melun häiritse-vyys lisää liikenteen päästöjen aistittavuutta (Okokon ym. 2015).

## Melutason vaikutus kiusaantuneisuuteen

Euroopan komission ympäristömeludirektiivin (2002/49/EY) asiantuntijatyöryhmä (European Commission 2002) on arvioinut tieliikennemelun ollessa kyseessä, kiusaantuneiden henkilöiden määrän alkavan lisääntyä noin 37 dB tasolta lähtien ( $L_{den}$ ) ja suuresti kiusaantuneiden noin 42 dB:n ( $L_{den}$ ) tasolta (taulukko 2). Samantyyppisiä arvoja on havaittu myös raideliikennemelun tapauksessa (EEA 2010). Suuresti kiusaantuneiden määrää on pidetty hyvänä kiusaantuneisuuden arviointi-indikaattorina, sillä kiusaantuneiden osuuden arviointiin tarvittavia alhaisille ulkomelutasoille altistuneiden määrällisiä arvioita heikosti saatavilla. Suurin osa ihmisistä myös altistuu myös melulle 42 dB(A):n ja kansallisen lainsäädännön mukaisen rajan välillä (European Commission 2002). Uudemmissa tutkimuksissa on kuitenkin esitetty viitteitä edellä esitettyjä herkemmissä vaikutusvastetasoista (Pesonen 2014). Toisaalta ruotsalaistutkimuksessa vasta ihmisillä, jotka altistuivat yli 50 dB:n ( $L_{den}$ ) ulkomelutasoille, on havaittu kiusaantuneisuutta, joka on vaikeuttanut keskittymistä ja keskustelemista sekä aiheuttanut uniongelmia (Erikson ym. 2017).

Ihmiset kokevat yleensä raideliikenteen melun tieliikenteen melua vähemmän häiritseväksi. TieliiKENNEMELU on havaittu ruotsalaistutkimuksessa raideliikennemelua kiusallisemmaksi äänitasoilla 45–54 dB(A). Korkeammilla tasoilla raidemelun häiritsevyyden osuus korostui ja tämä oli yli 60 dB(A):n tasoilla jopa tieliikennettä häiritsevämpää (Bodin ym. 2015). Tauot raideliikenteen melussa ovat mahdollisesti syynä sen vähäisempään ärsyttävyyteen tieliikenteen aiheuttamaan meluun verrattuna (Miedema 2007). Yöaikaiseen häiriön kokemiseen vaikuttaa kuitenkin suuresti raskaan liikenteen osuus yöajan melutapahtumista (Jakovljevic ym. 2009).

## 2.2 Unen häiriintyminen

Melu häiritsee unenlaatua ja pituutta, aiheuttaa väsyneisyyttä ja laskee suorituskykyä sekä voi aiheuttaa kroonisia uniongelmia. Univajeen on todettu vaikuttavan muun muassa psykomotoriseen suorituskykyyn, muistiin, luovuuteen, havaintokykyyn ja altistavan onnettomuuksille (WHO 2011). Ruotsalaisessa tutkimuksessa liikennemelun havaittiin vaikuttavan etenkin unen laatuun ja ärtyneisyyteen (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Liikennemelun on havaittu aiheuttavan muutoksia unijaksoihin ja uneen vaipumiseen, heräilyä, liikehdintää, ja vaikutuksia sykkeeseen. Unettomuudesta puhutaan, kun henkilöllä on pitkäaikaisesti vähintään kolme kertaa viikossa vaikeuksia nukahtaa, pysyä unessa tai heräillä aikaisin sekä tämä aiheuttaa negatiivisia päiväajan seurauksia. Unettomuus on yleisin unihäiriö aikuisilla, mutta yhteyttä melun ja sen välillä on tutkittu vähän (Evandt ym. 2017).

Yöaikainen liikennemelun on yhdistetty myös seuraavan päivän terveystautille kuten mielialan muutoksiin, kognitiivisen suorituskyvyn laskuun, aamuväsymykseen ja uupumukseen sekä pidempiaikaisiin terveystautille kuten liikalihavuuteen, diabetekseen, verenpaineeseen ja sydän- ja verisuonitauteihin. Nämä samat terveystautille on yleisesti yhdistetty unenpuutteeseen ja juuri häiriintyneen unen ajatellaankin olevan syynä pitkäaikaisen meluallistuksen ja näiden terveystautille välillä (Evandt ym. 2017). Yöaikainen melu aiheuttaa terveystautille silloinkin kun se ei aiheuta heräilyä. Nämä vaikutukset kumuloituvat pidemmällä aikavälillä lisäten epäsuorasti sydän- ja verisuonisairauksien riskiä (Pirrera 2010).

## Melutason vaikutus unihäiriöihin

WHO on todennut yöaikaisen häiriintyneisyyden lisääntyvän ja unenlaadun heikkenevän jo 30 dB(A) ( $L_n$ ) ulkoäänitasoilla (WHO 2011). Myös meluvalitusten määrän on arvioitu nousevan 35 dB:n ( $L_n$ , ulkoäänitaso) jälkeen (WHO 2009). 30–40 dB(A):n ( $L_n$ ) tasoilla on raportoitu kohtalaisia terveysvaikutuksia (taulukko 3) sekä itse arvioitun unenlaadun heikentymistä (taulukko 4) etenkin lapsilla, vanhuksilla ja kroonisesti sairailta (WHO 2011). Ympäristömelu voi aiheuttaa myös haitallisempia uniongelmia vuorotyöläisille, jotka usein nukkuvat päiväaikaan (Evandt ym. 2017).

Ulkomelutasoilla 40–55 dB(A) on havaittu haitallisia terveysvaikutuksia (taulukko 3) (WHO 2011). Ihmisten itse raportoiman unenlaadun on todettu heikkenevän jo 42 ( $L_n$ ) dB:n yöaikaisilla ulkoäänitasoilla (taulukko 4). Tämä aiheuttaa paitsi somaattisia, myös elämänlaadullisia haittavaikutuksia (EEA 2010). Lyhytaikaiset unihäiriöt on yhdistetty kohonneeseen verenpaineeseen, sympaattisen hermoston aktivoitumiseen, sisäeritysjärjestelmän ja hormonitoiminnan muutoksiin sekä kohonneisiin tulehdusvälittäjäaineiden pitoisuuksiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). WHO:n (2009) yömelun ohjearvoissa on määritelty, että haitallisten terveysvaikutusten välttämiseksi ihmisten ei tulisi altistua yöaikaan yli 40 dB:n ( $L_n$ ) ulkomelulle. Näillä tasoilla on havaittu alhaisimmat (lowest observed adverse effect level, LOAEL) terveysvaikutukset, jotka koskettavat etenkin herkimpää ihmisryhmiä kuten lapsia, vanhuksia ja kroonisesti sairaita (taulukko 3) (WHO 2011). Ruotsalaisessa melututkimuksessa havaittiin haitallisten vaikutusten unenlaatuun alkavan ja ihmisten sulkevan ikkunoitaan noin 44 dB:n äänitasoilla ( $L_n$ ) mitattuna ulkoa makuuhuoneen puoleiselta seinustalta (Öhrström ym. 2006). Alle 45 dB (A) ( $L_n$ ) yömelun tasojen arviointi on kuitenkin epätarkkaa, siihen vaikuttavat monet sekoittavat tekijät ja eri ympäristömelun osuuksien hahmottaminen voi olla haastavaa (WHO 2011).

**Taulukko 4. Todistetut melun vaikutukset uneen, indikaattorit ja altistuskynnykset (muokattu WHO 2009)**

Terveysvaikutukset		Indikaattori	Altistuskynnys(dB)
Biologiset	EEG:ssa havaitut heräämiset	$L_{Amax}^1$ , sisääänitaso	35
	Liikkumisten lisääntymisen alkaminen	$L_{Amax}$ , sisääänitaso	32
	Muutokset unijaksojen pituudessa, unirytmisissä ja unen pirstoutuminen	$L_{Amax}$ , sisääänitaso	35
Unenlaatu	Heräily yöllä/herääminen liian aikaisin aamulla	$L_{Amax}$ , sisääänitaso	42
	Keskimääräisen unenaikaisen liikkumisen lisääntyminen	$L_n$ , ulkoäänitaso	40
Hyvinvointi	Itse raportoitu unenhäiriintyminen	$L_n$ , ulkoäänitaso	42
	Unilääkkeiden ja rauhoittavien lääkkeiden käyttö	$L_n$ , ulkoäänitaso	40
Sairaudet	(Ympäristöstä johtuva) unettomuus	$L_n$ , ulkoäänitaso	42

<sup>1</sup>  $L_{Amax}$  A-painotettu maksimiäänitaso

Suomalaisessa tutkimuksessa unihäiriöiden havaittiin lisääntyneen vasta yli 55 dB(A):n ulkoaikaisilla äänitasoilla ja yli 50 dB(A):n äänitasoilla ahdistuneisuuteen taipuvilla ihmisillä. Yli 55 dB(A):n ulkomelutasoilla suuri osa ihmisistä on melusta suuresti häiriintynyt ja kärsii unihäiriöistä (Halonen ym. 2012). Itse raportoidut unihäiriöt ja ulkona mitatut liikenteen yöäänitasot eivät tutkimusten mukaan välttämättä kuitenkaan korreloi hyvin keskenään (Pesonen 2014).

## 2.3 Sydäninfarktit ja muut sydän – ja verisuonitaudit

Epidemiologisissa tutkimuksissa on tieliikennemelun nähty nostavan iskeemisten sydänsairauksien riskiä sekä verenpainetta (WHO 2011). Iskeemisillä sydänsairauksilla tarkoitetaan sydänlihaksen hapenpuutteesta johtuvia sydänoireita kuten sydäninfarkteja, rasisusrintakipua ja sepelvaltimotautia. Sydäninfarktien osuus kaikista kuolemista Suomessa on noin neljännes. Monesti sydänperäisen kuoleman taustalla on sepelvaltimotautikohtaus (Pesonen 2014). Tieliikennemelun on havaittu lisäävän korkean verenpaineen riskiä etenkin miehillä (European Commission 2008). Korkea verenpaine myös altistaa muille sairauksille ja tieliikennemelu onkin yhdistetty myös lisääntyneeseen aivohalvauksen ja sydämen vajaatoiminnan riskiin (WHO 2011, Työ- ja elinkeinoministeriö 2017).

Melun vaikutuksia sydänterveyteen on havaittu myös tyypillisillä liikenteen ulkoäänitasoilla asutuskeskuksissa (WHO 2011). Tieliikennemelun 10 dB:n nousun on huomattu eräissä tutkimuksissa lisäävän sydäninfarktin riskiä 4 - 12 prosenttia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017, Babisch 2014). Raideliikenteen aiheuttaman melun vaikutuksesta sydänterveyteen on saatavilla hyvin vähän tutkimustietoa (WHO 2011). Monivuotisessa kanadalaisessa seurantatutkimuksessa (Gan ym. 2011) huomattiin liikenne- ja yhdyskuntamelun nostavan sepelvaltimotaudin riskiä keskimäärin 6 prosenttia ikäryhmässä 45–85-vuotiaat, ulkomelutasoilla <58 ja 70 dB(A). Tutkimuksissa on myös yhdistetty etenkin yöaikainen melualtistus sydänoireisiin (WHO 2009, European Commission 2008).

Meluvaikutusten lisäksi liikenteen aiheuttamat ilmansaasteet, kuten pienhiukkaset, aiheuttavat osaltaan merkittäviä terveysvaikutuksia muun muassa hengityselin- ja sydän- ja verisuonitauteja (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Tutkittaessa pienhiukkasten ja liikennemelun yhteyttä, on melu kuitenkin todettu itsenäiseksi sydän- ja verisuonisairauksien riskitekijäksi (Haahla & Heinonen-Guzejev 2012).

### Melutason vaikutus sydänterveyteen

Euroopan ympäristökeskuksen mukaan melun negatiivisia vaikutuksia verenpaineeseen ja iskeemisiin sydänsairauksiin on havaittu 50 ja 60 dB:n äänenpainetasoilla ulkona (Taulukot 2 & 3). Tätä tasoa on kuvattu terveydelle vaaralliseksi ja muun muassa sydänsairauksien riskin on nähty lisääntyvän (WHO 2011). Useissa tutkimuksissa (Babish 2014) on havaittu suuren osan populaatiosta todennäköisesti altistuvan joillekin haittavaikutuksille jo alle 55 dB (A):n pitoisuuksilla, alkaen jopa 52 dB(A):sta (Babisch 2014). Lisäksi joissain tutkimuksissa yöaikaisen ulkomelun ( $L_n$ ) aiheuttama altistuskynnys verenpaineen nousulle ja sydäninfarktille on arvioitu olevan 50 dB (WHO 2009).

Sydäninfarkteja on tutkittu kaikkein eniten melun sydänvaikutuksista ja melun vaikutus sydäninfarkteihin ovat helpommin havaittavissa epidemiologisissa tutkimuksissa kuin monien muiden sydän- ja verisuonisairauksien. Akuuttien sydäninfarktien diagnosointivirheet ovat vähäisempiä kuin muiden iskeemisten sydänsairauksien kuten rasisusrintakivun ja ateroskleroosin (WHO 2011). WHO:n käyttämä laskentatasa ja sydän- ja verisuonisairauksien riskienarvioinnissa melun yhteydessä on 60 dB ( $L_{den}$ ), mutta esimerkiksi Erikson ym. (2017) Ruotsissa käyttävät terveysvaikutusten arvioinnissaan arvoa 55 dB ( $L_{den}$ ), sillä tämä vastaa useampien tutkimusten tuloksia. Toisessa ruotsalaistutkimuksessa (Selander ym. 2009) havaittiin selvä yhteys sydäninfarktien ja pitkäaikaisen melualtistuksen yli 50 dB:n ulkoäänitasoille ( $L_{Aeq, 24 h}$ ) välillä 45–70-vuotiailla, jotka olivat altistuneet melulle 1970-luvulta lähtien (22–24 vuotta). Samaisessa ruotsalaistutkimuksessa huomioitiin myös pienemmät tiet taajamissa, jolloin altistuksen arviointi 50 dB(A):n tasolta alkaen oli mahdollista. Tulokset ruotsalaistutkimuksessa viittaavat siihen että sydäninfarktien kasvaa jo 50 dB:n ( $L_{Aeq, 24 h}$ ) tasolta (Selander ym. 2014).

Liikennemelun terveysvaikutusten arviointia (kuten EEA 2010) Suomen oloissa ei ole tehty, joten vaikutuksia suomalaisten sydänterveydelle ei tarkasti tiedetä. Sydän- ja verisuonitaudeille altistavimmat tekijät ovat ikä, tupakointi, korkea kolesteroli ja verenpaine sekä sukutausta. Geeniperimän osuus on arviolta noin 30–60 prosenttia. Melun on eräissä tutkimuksissa osoitettu lisäävän verenpaineen riskiä etenkin ihmisillä, joilla on perinnöllinen taipumus tähän. Suomessa sairastavuus ja kuolleisuus sydänsairauksiin ovat useimpia melun terveysvaikutusten tutkinnassa mukana olleita maita suurempia (Pesonen 2014).

# 3. ALTISTUNEIDEN ARVIOINTI

## 3.1 Melualtistuksen arviointimenetelmät

Ensimmäistä kertaa liikennemelulle altistuneiden määrän arvioinnissa oli Kuopiossa ja Jyväskylässä käytössä yhteiseurooppalainen CNOSSOS-EU-melulaskentamalli (*Common NOise aSSessment MethOdS*) (Kephalopoulos ym. 2012). CNOSSOS-EU- laskentamallissa melulle altistuvien määrät arvioidaan omakotitaloille suurimman julkisivulle kohdistuvan ulkoäänitason mukaan. Kerros- ja rivitalojen asukkaat sijoitetaan laskennallisesti eri altistumislukuihin eri puolille julkisivuja kohdistuvien ulkomelutasojen perusteella. Melu on arvioitu neljän metrin korkeudelta maan pinnasta laskennallisesti (Kephalopoulos ym. 2012, Liikennevirasto 2017).

Malli huomioi sääolosuhteissa melun leviämisen kannalta suotuisat myötätuuli- ja inversio-olosuhteet Ilmatieteenlaitoksen esiintyvyystietojen mukaan (Jyväskylän kaupunki 2017, WSP Finland Oy 2017). Laskentamalliin on Suomessa tehty korjaus nastarenkaiden aiheuttamaa melunlisäyksestä (+ 1 dB) 5 kuukauden kaudelle. Tämä kompensoi osittain tien pinnoitteen karheuden ja kostean tienpinnan vaikutusta, joita ei ole muuten mallissa huomioitu (Kokkonen ym. 2015). Rautatiemelu osalta malli huomioi sillat ja tieliikenteen osalta risteykset ja mäet (Liikennevirasto 2017). Laskelmissa ei huomioida liikenneväylien läheisen kasvillisuuden ja muiden vaimentavien rakenteiden vaikutusta eikä esimerkiksi lumen absorptiovaikutusta tai jäätyneen maanpinnan heijastusvaikutusta. Mallissa ei ole myöskään huomioitu vesi- ja muiden kovien pintojen aiheuttamia melun vahvistumisvaikutuksia, mitkä saattavat oleellisesti nostaa melutasoja ranta-alueilla. Melulle altistuneiden arvioinnin teki molempien kaupunkien osalta WSP Finland Oy (Jyväskylän kaupunki 2017, WSP Finland Oy 2017). Alhaisemmille 40–45 dB:n ulkoäänitasoille altistuneiden määrät on toimitettu erikseen tätä tutkimusta varten. Vain yhteiseurooppalaisia melun tunnuslukuja ( $L_{den}$  ja  $L_n$ ) on käytetty tämän raportin laadinnassa.

### Vertailu yhteispohjoismaisiin melun laskentamalleihin

Aiemmin melulle altistuneiden määriä Suomessa on arvioitu yleensä yhteispohjoismaisten mallien avulla (Pohjoismaiden neuvosto 1996 a&b). Näissä äänitasot esitetään laskettuina asuinrakennusten julkisivulle, kahden metrin korkeudelle maan pinnasta arvioituina. Tähän verrattuna CNOSSOS-EU-mallin myötä voidaan arvioida paremmin rakennusten eri puolilla asuvien melualtistuksen määriä (Kokkonen ym. 2015). Terveysvaikutukset esitetään tässä raportissa CNOSSOS-EU-mallilla arvioituina. Korkeimman julkisivun ulkoäänitason ( $L_{den}$  ja  $L_n$ ) mukaan arvioidut melun altistujamäärät ovat vertailun vuoksi liitteenä (LIITE 2, taulukot 11 & 12).

Yhteispohjoismaisissa melun leviämismalleissa huomioidaan ajoneuvomäärien, raskaan liikenteen osuukien ja ajonopeuksien lisäksi ajoradan ja vastaanottopisteen korkeus suhteessa muuhun maastoon. Laskennoissa on huomioitu maa- ja estevaimennukset äänen etenemisreitillä sekä etäisyysvaimennus. Nämä yhteispohjoismaiset laskentamallit tarkastelevat melun leviämistä melun leviämislle suotuisissa olosuhteissa. Olosuhteet toteutuvat tilanteessa, jossa tuulen suunta on melun päästökohdasta melulle altistuvaan kohteeseen tai alailmakehässä valitsee inversiotilanne. Yhteispohjoismaisissa laskentamalleissa ei (yleensä) huomioida kasvillisuuden ja maanpinnan vuodenaikaismuutoksia tai kosteaa maanpintaa, eikä sää- ja vuodenaikaisvaihteluiden vaikutusta tienpintaan tai rengasmeluun. Näissä ei huomioitu myöskään nastojen vaikutusta äänitasoihin, joka nyt uudempaan arviointiin on sisällytetty. Vuodenajan vaikutukset ajonopeuksiin huomioidaan (Eurasto 2005).

### 3.2 Altistuneiden määrät Kuopiossa ja Jyväskylässä

CNOSSOS-EU-mallilla laskettaessa melulle altistuneen väestön määrä on yhteispohjoismaalaisia malleja pienempi muuttuneen laskentatavan vuoksi. Kuitenkin huomattavan osan sekä Kuopion (taulukko 5) että Jyväskylän (taulukko 6) väestöstä altistuu liikennemelulle. Yhteiseurooppalaisella mallilla laskettaessa korostuvat matalampien ulkoäänitasojen (40–55 dB(A)) osuudet sekä päivä- että yöaikaisissa altistuslaskelmissa vanhempaan arvioitimalliin verrattuna sekä tie- että erityisesti raideliikenteen osalta.

**Taulukko 5. Vuorokausi- ja yöaikaiselle tie- ja raideliikennemelulle altistuvat meluluokittain Kuopiossa**

dB	Tie vrk (Lden)	Väestö- osuus (%)	Raide vrk (Lden)	Väestö- osuus (%)	Tie yö (Ln)	Väestö- osuus (%)	Raide yö (Ln)	Väestö- osuus (%)
40 - 45	12 970	11	10 390	9	24 070	20	5 370	5
45 - 50	21 930	19	6 280	5	19 510	17	1 770	2
50 - 55	23 450	20	2 440	2	12 530	11	740	<1
55 - 60	17 610	15	710	<1	4 460	4	100	<1
60 - 65	10 620	9	230	<1	690	<1	20	<1
65 - 70	3 530	3	30	<1	10	<1	0	0
70 - 75	390	<1	0	0	0	0	0	0
yli 75	10	<1	0	0	0	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>90 510</b>	<b>77</b>	<b>20 080</b>	<b>17</b>	<b>61 270</b>	<b>52</b>	<b>8 000</b>	<b>7</b>

**Taulukko 6. Vuorokausi- ja yöaikaiselle tie- ja raideliikennemelulle altistuvat meluluokittain Jyväskylässä**

dB	Tie vrk (Lden)	Väestö- osuus (%)	Raide vrk (Lden)	Väestö- osuus (%)	Tie yö (Ln)	Väestö- osuus (%)	Raide yö (Ln)	Väestö- osuus (%)
40 - 45	24 900	18	14 490	10	28 670	21	8 410	6
45 - 50	29 570	21	9 590	7	20 790	15	4 600	3
50 - 55	26 560	19	5 690	4	11 230	8	1 700	1
55 - 60	17 330	12	2 410	2	5 020	4	710	<1
60 - 65	8 840	6	770	<1	940	<1	160	<1
65 - 70	4 110	3	430	<1	30	<1	0	0
70 - 75	310	<1	40	<1	0	0	0	0
yli 75	10	<1	0	0	0	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>111 630</b>	<b>80</b>	<b>33 420</b>	<b>24</b>	<b>66 680</b>	<b>48</b>	<b>15 580</b>	<b>11</b>

# 4. KÄYTETYT TERVEYSVAIKUTUSTEN ARVIOINTIMENETELMÄT

Tässä projektissa arvioitiin tie- ja raideliikennemelun pitkäaikaisaltistukseen liittyviä terveysvaikutuksia kansanterveydellisestä näkökulmasta. Terveysvaikutukset arvioitiin yhteiseurooppalaisilla tunnusluvuilla (LIITE 1) käyttäen Euroopan ympäristökeskuksen (EEA 2010) ja Maailman terveysjärjestön (WHO 2011) uusimpaan ohjeistusta melun terveysvaikutusten arvioinnista.

Liikenne terveysvaikutuksia on arvioitu 40 dB:n keskiäänitasoilta alkaen suuren kiusaantuneisuuden ja suurten unihäiriöisten tapauksessa ja 60 dB:n keskiäänitasolta alkaen sydäninfarkteille. Tässä raportissa esitetään CNOSSOS-EU-melualtistusmallin pohjalta laskettujen melulle altistuneiden määrien mukaan arvioitujen terveysvaikutusten tulokset. Rakennusten julkisivujen korkeimpien äänitason mukaan tehdyt terveysvaikutusten arvioinnit löytyvät kuitenkin liitteestä 3 (taulukko 13). Terveysvaikutusten arvioinnin osalta on huomattava näiden määrien olevan sidoksissa altistuneen väestön määrään kullakin ulkomelutasolla. Arvioidut terveysvaikutukset melutasoittain löytyvät liitteestä 4 (taulukot 15–20). Laskelmissa on huomioitu EEA:n (2010) arvioima keskimääräinen rakennusten äänteneristävyystaso (21 dB) ulkomelutasoihin verrattuna.

EEA:n (2010) melun altistusarviointioppaassa on määritelty terveysvaikutusten arviointikaavat kolmelle melun terveyshaitalle: kiusaantuneisuudelle, unihäiriöille, sydän- ja verisuoniterveydelle. Näitä on käytetty koko asukasmäärän terveyshaittojen arvioinnissa ilman jakoa ikäryhmiin. Melun aiheuttamia kognitiivisia häiriöitä on huomioitu kiusaantuneisuuden yhteydessä oletettuna keskittymis- ja toimintakyvyn häiriöinä. Arvion tuloksena esitetään kustakin terveyshaitasta kärsivien henkilöiden määrät ja osuudet. Lisäksi arvioitiin liikennemelun terveysvaikutuksia tautitaakka-menetelmällä (LIITE 5, taulukot 21–24).

## 4.1 Suuri kiusaantuneisuus

Suuren kiusaantuneisuuden arvioinnissa on vaikutusrajana käytetty EEA:n (2010) ohjeen mukaisesti 42 desibeliä ( $L_{den, ulkoäänitaso}$ ). EEA on määritellyt altistusvastefunktiot suuresti kiusaantuneille (% HA, highly annoyed) ja kiusaantuneille (% A, annoyed) sekä tie- että raideliikenteen melulle. Kiusaantuneisuudelle käytössä olevat altistusvastefunktiot perustuen kyselytutkimusten tuloksiin. Tässä tutkimuksessa käytössä olivat suuren kiusaantuneisuuden altistusvastefunktiot (kaavat 1 & 2).

*Tieliikenteen melun altistusvastefunktio suuresti kiusaantuneille (osuus väestöstä %):*

$$\% HA = 9.868 * 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 1.436 * 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0.5118 (L_{den} - 42) \quad (1)$$

*Rautatieliikenteen melun altistusvastefunktio suuresti kiusaantuneille (osuus väestöstä %):*

$$\% HA = 7.239 * 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 7.851 * 10^{-3} (L_{den} - 42)^2 + 0.1695 (L_{den} - 42) \quad (2)$$

## 4.2 Suuret unihäiriöt

Unihäiriöiden arvioinnissa on vaikutusrajana käytetty EEA:n (2010) ohjeen mukaisesti 42 desibeliä ( $L_n$ , ulkoäänitaso) ja kyselytutkimusten tuloksiin perustuvia altistusvastefunktioita. EEA on määritellyt altistusvastefunktiot suuresti unihäiriöisille (% HSD, highly sleep disturbed) ja unihäiriöisille (% SD, sleep disturbed) sekä tie- että raideliikenteen melulle. Tässä tutkimuksessa suuria unihäiriöitä arvioitiin kaavojen 3 & 4 avulla.

*Tieliikenteen melun altistusvastefunktio suuresti unihäiriintyneille (osuus väestöstä %):*

$$\% HSD = 20.8 - 1.05 L_n + 0.01486 L_n^2 \quad (3)$$

*Rautatieliikenteen melun altistusvastefunktio suuresti unihäiriintyneille (osuus väestöstä %):*

$$\% HSD = 11.3 - 0.55 L_n + 0.00759 L_n^2 \quad (4)$$

## 4.3 Sydäninfarktitapaukset ja – kuolleisuus

EEA (2010) suosittelee sydäninfarktien (engl. myocardial infarctions) arviointia iskeemisten sydänsairauksien indikaattoriksi, joten näitten määriä on arvioitu myös tässä työssä. Sydäninfarktikohtausten määrät Kuopiossa ja Jyväskylässä laskettiin seuraavasti. Sydän- ja verisuonitautirekisteristä saatavista sydäninfarktitapausten ja -kuolleisuuden määristä huomioitiin Kuopion yliopistollisen sairaalan erityisvastuualue, joka sisältää myös Jyväskylän rekisteröidyt vuosittaiset sydäninfarktitapaukset. Sydäninfarktit olivat ICD10-luokissa I21 & I22 (akuutti/uusiva sydäninfarkti, vuodelta 2014, THL 2017a) ja sydäninfarktikuolleisuus (THL 2017b). Tapausmäärät suhteutettiin erityisvastuualueen asukasmäärään (815 0893 asukasta vuoden 2016 lopussa) ja Kuopion ja Jyväskylän kaupunkien väestömääriin (Kuntaliitto 2017, Sotkanet.fi 2017). Laskelmia varten ei-kuolemaan johtaneiden infarktitapausten määrät ja infarktikuolemien määrät eriteltiin.

Sydäninfarktitapausten arvioinnissa vaikutusrajana on käytetty EEA:n (2010) ohjeen mukaisesti 60 desibelin ulkoäänitasoa ( $L_{den}$ ) ja EEA:n ohjeistamia altistusvastefunktiota (kaava 5).

*Sydäninfarktien altistusvastefunktio (esiintyminen väestössä %) <sup>1</sup>:*

$$OR (odds ratio) = 1.629657 - 0.000613 (L_{d,16h})^2 + 0.000007357 * (L_{d,16h})^3 \quad (5)$$

<sup>1</sup> $L_{d,16h} = L_{den} - 2$  dB(A) kaupunkimaiselle tieliikenteen melulle,  $L_{d,16h} \approx L_{den} \leq 60$  dB(A) (EEA 2010).



# 5. TERVEYSVAIKUTUKSET KUOPIOSSA JA JYVÄSKYLÄSSÄ

## 5.1 Arvioidut terveys- ja hyvinvointivaikutukset

Molemmissa kaupungeissa tieliikenteen melu aiheutti aiempien kansallisten arvioiden mukaisesti enemmän kiusaantuneisuutta kuin raideliikenne. Suuresti kiusaantuneita määrän arvioitiin Kuopiossa olevan noin 5 prosenttia väestöstä. Raidemelun osalta melun aiheuttama suuri kiusaantuneisuus kosketti vain noin prosentin kymmenesosaa väestöstä (taulukko 7), mutta kuitenkin yli sata ihmistä kärsii raideliikennemelun aiheuttamasta suuresta kiusaantuneisuudesta vuositasolla. Suuresti unihäiriöisiä oli Kuopiossa noin 2 prosenttia väestöstä. Suurin osa unihäiriöistä aiheutui tieliikenteen aiheuttamasta melusta, mutta myös raideliikenne aiheutti häiriöitä pienellä osalla (0,1 %) väestöä. Tiemelun aiheuttamiksi sydäninfarktien määräksi laskettiin noin yksi tapaus vuodessa. Raidemelun arvioitiin aiheuttavan alle yhden sydäninfarktitaapauksen kymmenessä vuodessa (taulukko 7). Liikennemelun arvioitiin aiheuttavan noin yhden sydäninfarktikuoleman kahdessa ja puolessa vuodessa Kuopiossa.

Myös Jyväskylässä tiemelun aiheuttamaa suurta kiusaantuneisuutta esiintyi huomattavasti raideliikenteen aiheuttamaa yleisemmin. Tiemelun aiheuttamasta suuresta kiusaantuneisuudesta kärsi noin 4 prosenttia asukkaista. Raidemelulla vastaava osuus oli vain 0,3 prosenttia asukkaista. Tieliikennemelusta suuresti unenhäiriintyneitä oli noin 2 prosenttia väestöstä. Raideliikennemelun osuus oli kymmenesosa tästä (taulukko 7). Tieliikennemelusta johtuvia sydäninfarktitaapauksilla arvioitiin olevan Jyväskylässä noin yksi tapaus vuodessa. Raideliikenteestä johtuvia sydäninfarktitaapauksia arvioitiin aiheutuvan alle yksi kahdessa vuodessa (taulukko 7). Myös Jyväskylässä liikenteen melun aiheuttamien sydäninfarktikuolemien arvioitu määrä oli noin yksi tapaus kahdessa ja puolessa vuodessa.

**Taulukko 7. Tie- ja raideliikenteen melun arvioidut terveysvaikutukset**

Kuopio	Tiemelu	Väestöosuus (%)	Raidemelu	Väestöosuus (%)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	5 400	5	150	0,1
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	2 700	2	120	0,1
Sydäninfarktitaapaukset <sup>3</sup>	1	<0,1	<0,1	<0,1
Jyväskylä	Tiemelu	Väestöosuus (%)	Raidemelu	Väestöosuus (%)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	5 700	4	390	0,3
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	2 800	2	300	0,2
Sydäninfarktitaapaukset <sup>3</sup>	1	<0,1	<0,5	<0,1

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta;

<sup>3</sup> Laskennallinen sydänkohtausten määrä n. 1,1 tapausta/v tiemelulle (molemmat kaupungit) sekä n. 0,013 Kuopiossa ja 0,11 Jyväskylässä tapausta/v raidemelulle

<sup>4</sup> Kuolemaan johtaneiden sydäninfarktien menetettyjen elinvuosien kustannuksia ei ole huomioitu tässä yhteydessä.

## 5.2 Terveysvaikutukset melutasoittain

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu Kuopiossa ja Jyväskylässä tietyillä äänitasoilla arvioitujen eri terveys- ja hyvinvointivaikutusten osuudet. Tarkat terveys- ja hyvinvointihaitoista kärsivien määrät melutasoittain löytyvät liitteestä 4.

### Suuresti kiusaantuneet

Tieliikenteen melun aiheuttamaa kiusaantuneisuutta esiintyi etenkin 50–65 desibelin A-painotetuilla ulkoäänitasoilla sekä Kuopiossa että Jyväskylässä. Tiemelun aiheuttamasta suuresta kiusaantuneisuudesta kärsi ulkoäänitasoilla 50–55, 55–60 ja 60–65 dB(A) yli tuhat henkeä kullakin molemmissa kaupungeissa. Raideliikennemelun osalta tästä kärsi vastaavissa arviointiluokissa joitakin kymmeniä henkiä kussakin (taulukot 15 & 16, LIITE 4). Tätä korkeammilla äänitasoilla suuren kiusaantuneisuuden esiintyminen oli selvästi vähäisempää.

Raidemelusta suuresti kiusaantuneiden määrä oli suhteellisen tasainen arviointivälillä 45–70 dB (kuvio 1). Liikenteen melusta johtuvasta suuresta kiusaantuneisuudesta kärsi alle 55 dB(A):n vuorokausiaikaisella ulkoäänitasoilla ( $L_{den}$ ) Kuopiossa tieliikenteen melun vuoksi lähes 1 800 henkeä ja raideliikenteen takia reilut 100 henkeä. Jyväskylässä samoilla ulkoäänitasoilla kärsi tieliikenteen melun aiheuttamasta suuresta kiusaantuneisuudesta lähes 2 200 henkeä ja raideliikenteen osalta noin 200 henkeä.

### Suuresti unihäiriöiset

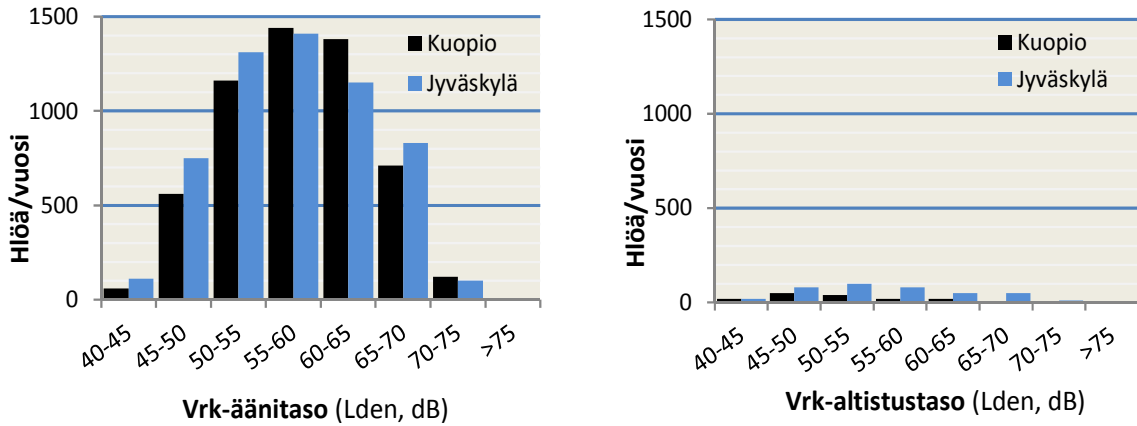
Tieliikenteen melusta johtuvien suuresti unihäiriöisten määrän huomattiin korostuvan etenkin 45–55 desibelin ulkoäänitasoilla sekä Kuopiossa että Jyväskylässä (kuvio 2). Ulkoäänitasoilla 45–50 ja 50–55 dB(A) tiemelusta johtuvasta suuresta unenhäiriintymisestä kärsiviä oli noin 750–950 henkeä meluluokassaan sekä Kuopiossa että Jyväskylässä. Rautatiemelunkin osalta unihäiriöille altistuttiin jo 40–45 dB(A) ( $L_n$ ) tasolta alkaen, vaikkakin erot äänitasojen välillä olivat tieliikenteen yöaikaiseen meluun verrattuna vähäisempiä (taulukot 17 & 18, LIITE 4).

Alle 50 dB(A) yöaikaisen liikennemelun ( $L_n$ ) aiheuttamista suurista unihäiriöistä kärsi Kuopiossa yli 1 300 henkeä tiemelun osalta ja noin sata henkeä raidemelun tapauksessa. Jyväskylässä vastaavilla äänitasoilla suurista unihäiriöistä kärsi vajaat 1 500 henkeä tiemelun vuoksi ja noin 200 henkeä raideliikenteen aiheuttaman melun vuoksi.

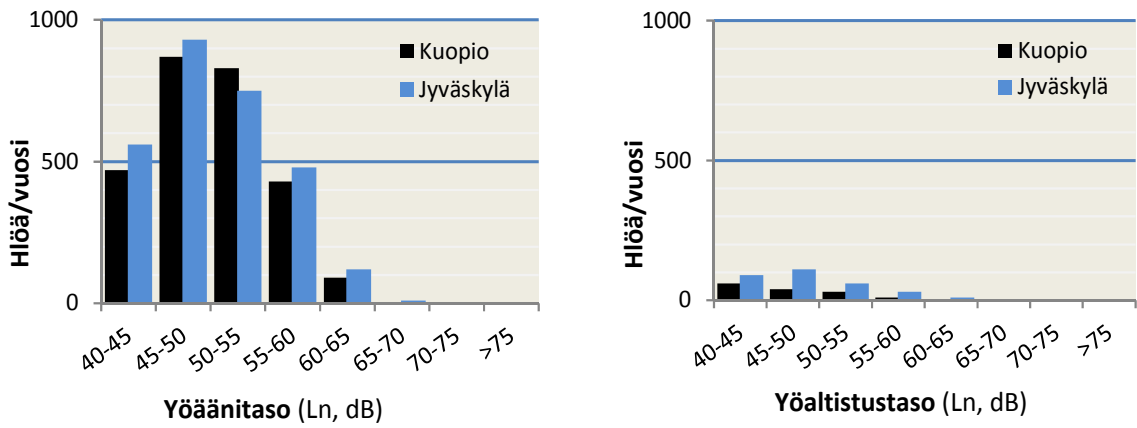
### Sydäninfarktitaipaukset ja -kuolleisuus

Kuopiossa ja Jyväskylässä liikenteen melusta johtuvien sydäninfarktitaipauksien esiintyvyys oli hyvin alhainen kaikilla mitatuilla ulkoäänitasoilla (kuvio 3). Sekä Kuopiossa että Jyväskylässä ulkoäänitasoilla 65–70 dB(A) ( $L_{den}$ ), jossa infarktiriske oli suurin, arvioitiin syntyvän hiukan alle yhden tieliikennemelun aiheuttaman sydäninfarktitaipauksen vuodessa. Ulkoäänitasoilla 60–65 dB(A) tapausmäärä oli alle puoli tapausta vuodessa ja yli 70 dB(A):n äänitasoilla vielä tätäkin pienempi. Raidemelun ollessa kyseessä sydäninfarktitaipauksien määrän arvioitiin jäävän alle puoleen tapaukseen vuodessa yhteensä kaikilla mitatuilla äänitasoilla (taulukot 19 & 20, LIITE 4).

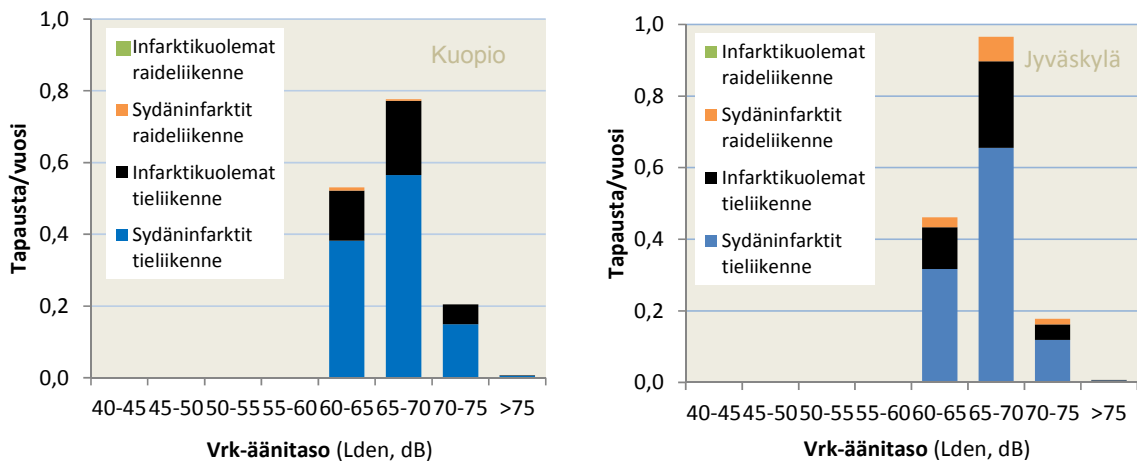
Liikenteen melusta johtuva sydäninfarktikuolleisuus Kuopiossa ja Jyväskylässä arvioitiin olevan noin yksi tapaus kahdessa ja puolessa vuodessa. Suurimman infarktirisikin aiheutti tieliikenne, raideliikenteen osuuden jäädessä todella alhaiseksi. Jyväskylässä raidemelun aiheuttamien sydäninfarktitaipauksien ja -kuolleisuuden arvioitu määrä oli hiukan Kuopiota suurempi.



Kuvio 1. Tie- (vas.) ja raideliikenteen (oik.) melun aiheuttama suuri kiusaantuneisuus äänitasoittain.



Kuvio 2. Tie- (vas.) ja raideliikenteen (oik.) melun aiheuttama suuri unihiiriintymisen äänitasoittain.



Kuvio 3. Tie- ja raideliikenteen melun aiheuttamat sydäninfarktitapaukset ja -kuolleisuus äänitasoittain.

# 6. ARVIOINTIIN LIITTYVIÄ EPÄVAR- MUUKSIA

## 6.1 Melun vuorokautinen vaihtelu

EU:n END-direktiivin (2002/49/EY) mukaan melutasot tulee arvioida erikseen koko vuorokaudelle ( $L_{den}$ ) ja yöajalle ( $L_n$ ). Laskettaessa päiväaikaista taajamamelun arvoja ( $L_{den}$ ) käytetään tunnettua tieliikenteen vuorokausijakaumaa, mikäli tämä on tiedossa. Ellei, oletetaan vuorokautisen melun jakautuvan päivä-, ilta, yöaikaaisesti suhteessa 10:3:1 (Eriksson ym. 2017). Melutason laskennassa yöajan ulkomelutasoja painotetaan hättäkertoimella +10 dB(A) ja iltaa +5 dB(A) (Eriksson ym. 2017, WHO 2009). Mikäli melun vuorokausijakauma ei vastaakaan todellista tilannetta, voivat keskiäänitasot laskennallisesti vääristyä.

Melun voimakkuus, taajuus ja jaksollisuus vaikuttavat sen koettuun haitallisuuteen (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Kaupunkimaisessa ympäristössä tienmelun taso yöaikaan on yleensä noin 7 - 10 dB (A) päiväaikaista alhaisempi. Raidemelu välttämättä vaihtelee samalla tavoin, vaan voi usein olla voimakkaampaa yöaikaan (WHO 2009). Päivä- ja yöajan ulkomelutasojen välinen ero pienenee asukastiheyden kasvaessa. Suurissa taajamissa (noin 80 000 asukasta/km<sup>2</sup>) yöajan keskiäänitaso on yleensä 4 - 8 dB(A) alhaisempi, kun taas noin 2 000 as./km<sup>2</sup> taajamissa äänitaso on noin 10–15 dB(A) päiväaikaista alhaisempi (Pesonen 2005). Suomessa kaupunkien asukastiheys on alle 2 000 asukasta/km<sup>2</sup>, Helsinkiä lukuunottomatta.

Päiväaikaisen tieliikenteen aiheuttamat ulkomelutasot ovat yleensä yöaikaista suurempia, mutta yöaikaan altistutaan selkeämmille yksittäisille melutapahtumille. Melutapahtumien määrä ja suurimmat ulkomelutasot määräävätkin merkittävältä osin yöaikaisen melun terveysvaikutukset (WHO 2011).

Etenkin alkuyön äänitasoilla on vaikutus kykyyn nukahtaa (WHO 2009). Meluisten väylien varrella asuvien unihäiriöissä taas korostuu heräily liian aikaisin, ei niinkään nukahtamisvaikeus, sillä liikenteen melutapahtumien määrät kasvavat yleensä aamuyöstä. Yhteys unettomuuden oireiden, kuten nukahtamisvaikeuksien ja liian aikaisen heräilyn, ja liikennemelun välillä havaittiin myös Evandtin ym. (2017) tutkimuksissa. Yhteys liikennemelun ja yöaikaisen heräilyn välillä ei ollut niin selvä, mikä saattaa johtua siitä että liikennemäärät keskellä yötä ovat huomattavasti vähäisempiä kuin myöhään illalla ja aikaisin aamulla (Evandt ym. 2017). WHO:n arviot liikennemelun osalta pohjaavat laskelmiin, joissa ihmiset joiden makuuhuoneeseen melu kuuluu, altistuvat suhteellisen tasaisesti melulle läpi yön. Melualtistuksen on myös näissä oletettu olevan läpivuotista (WHO 2011).

Melusta kiusaantuneiden suhteellinen osuus korostuu aamuisin (klo 6-9), ja jossain määrin myös iltaisin (klo 19–22). Tieliikenteen kiusallisuusvaste yöaikaan on arvioitu noin 5 dB(A) herkemmäksi kuin päiväaikaan. Ihmisten herkyys kiusaantua melusta eri vuorokauden aikoina vaihtelee, eivätkä läheskään kaikki häiriinny yhtä suuresti yö- ja päiväaikaisestä melusta. Näiden tutkimista erikseen onkin suositeltu etenkin päiväajan äänitasojen ollessa korkeita (55–65 dB(A)) (Pesonen 2005, Pirrera 2010).

Sydänsairauksia ajatellen ei ole tarkoituksenmukaista painottaa vuorokausiarvoja lisäfaktoreilla, vaan erillinen yö- ja päiväaikaisten arvojen tarkastelu sopisi paremmin. Sydänsairauksia ja mahdollisesti muitakin terveysvaikutuksia ajatellen parasta olisi pystyä huomioimaan altistusarvioissa yöaikaiset melutasot makuuhuoneessa ja päiväaikaiset olohuoneessa (WHO 2009).

## 6.2 Sisämelu vs. ulkomelu

Rakennusvaatimuksissa ja kaavoituksessa ympäristömelua tarkastellaan usein sisämelutasojen kautta. Terveysvaikutusten esiintymistasot ovat erilaiset asunnon sisä- kuin ulkopuolella esiintyvän ympäristömelun suhteen. Mitatun unenlaadun muutoksia kuten vireystilan nousua, lisääntyvää yöaikaista liikkumista ja unenlaadun heikkenemistä, on havaittu 32 dB:n sisällä mitatuilla äänenpainetasoilla (32  $L_{max}$ ) (EEA 2010). 1999 WHO:n ohjeiden mukaan sisämelun tason ei tulisi ylittää 30 dB(A) jatkuvaluonteisesti, jotta negatiivisilta terveysvaikutuksilta voitaisiin välttyä. Enimmäisäänitasoja 45 dB ( $L_{Amax}$ ) suositellaan käytettäväksi ohjearvona jos taustamelun taso on yleisesti alhainen. Herkemmille ihmisryhmille tämäkin voi olla liian korkea (WHO 2009).

Lähellä kuulokynnystä äänen äänekkyyys ja kiusallisuus eivät riipu samalla tavalla äänen spektraalisista ja ajallisista ominaisuuksista kuin kuulokynnyksen vähintään 30–35 dB ylittävien äänten ollessa kyseessä (Pesonen 2005). Laajakaistaisen ympäristömelun joukossa on yleensä myös pienitaajuisia melua, jonka on todettu olevan jopa suurempitaajuisia melua häiritsevempää ja WHO (1999) onkin todennut tämän voivan sisätiloissa aiheuttaa häiriötä levolle ja unelle jopa alle 30 dB(A):n äänitasoilla. Pienitaajuisen melun yhteydessä on tutkimuksissa havaittu muun muassa psykososiaalisia oireita, päänsärkyä, unihäiriöitä, häiriintymistä sekä häiriöitä elimistön kortisolitasoissa. Altistusarvioinneissa ei yleensä huomioida pienitaajuisen melun vaikutusta, sillä alhaisilla äänenpainetasoilla esiintyvän matala- ja pientaajuisen melun terveysvaikutuksesta on yleisesti vähän tutkimustietoa. Japanilaisessa tutkimuksessa liikennemelu koettiin pienitaajuisia ja infraääntä häiritsevemmäksi (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017).

Unen pituus, aikuisella noin 8 tuntia yössä, ja sen riittävä syvyys ovat tärkeitä sen virkistävän vaikutuksen aikaansaamiseksi. Lapset, sairaat ja toipilaat vaativat huomattavasti enemmän unta ja päiväaikaista lepoa (STM 2003). Sisällä mitatuista äänenpainetasoista puhuttaessa on muistettava, että myös asukkaat itse aiheuttavat omilla toimillaan melua asuntojen sisällä. Sisällä mitatuissa äänitasoissa korostuu asukaspe- räisen melun osuus etenkin alhaisilla ulkomelutasoilla. Rakennuksen ulkokuoren ääneneristävyyden ollessa hyvä, sisämelun osuus korostuu entisestään. Äänten välittyessä ulkoa rakennusten sisälle niiden äänitaso ja äänten ominaisuudet, kuten tulokulmajakauma voivat muuttua. Tähän vaikuttaa muun muassa rakennusten sisäinen kaiunta. Sisämelu saattaa myös peittää alleen ulkoa kuuluvaa melua (Pesonen 2005).

## 6.3 Rakennusten ääneneristävyys

Yöaikainen ympäristömelu vaikuttaa yleensä asukkaisiin heidän kodeissaan (WHO 2009). Asuinrakennusten ulkokuoren eristävyys on merkittävä ulkoa tulevan liikennemelun vaimentumiseen (Working Group on Health and Socio-Economic Aspects 2004) ja terveysvaikutusten syntyyn vaikuttava tekijä kaavan 6 mukaan (WHO 2009):

$$L_n = L_{n,sisä-äänitaso} + Y \text{ dB} \quad (Y = \text{makuuhuoneen puoleisen seinän ääneneristävyys}) \quad (6)$$

Rakennusten ääneneristävyys riippuu suuresti paikallisesta rakennuskulttuurista, ikkunoiden aukiopitovoista ja ilmastosta (Working Group on Health and Socio-Economic Aspects 2004, Pesonen 2005). Etenkin ikkunat ja korvausilmaventtiilit ovat merkittävässä roolissa (Pesonen 2014, Öhrström 2006).

Yleensä heikoimmin ääntä eristävä kohta ovat ikkunat (WHO 2009). Ikkunoiden ääneneristävyyteen vaikuttaa muun muassa lasien paksuus ja määrä, näiden välien leveys sekä eristävät kaasuseokset kuten ilma ja argon. Yleisesti ottaen lasien paksuuden eli niiden massan kaksinkertaistuminen lisää ääneneristävyyttä noin 6 dB. Tämä eristävyyden parantuminen on havaittavissa etenkin korkeammilla äänitaajuuksilla. Käytännössä ikkunoiden eristävyyteen vaikuttavat kuitenkin suuresti resonanssi ja koinsidenssi eli äänten ja näiden värähtelutaajuuksien samankaltaisuus (Garg ym. 2011).

Euroopan unionin alueella ikkunat vaihtelevat eristämättömistä yksikerrosikkunoista (ääneneristävyys alle 24 dB) hyvin eristettyihin nelikerrosikkunoihin (eristävyys yli 45 dB), jotka ovat yleensä käytössä kylmemmissä ilmastoissa. Yleensä Keski-Euroopassa ääneneristävyys on noin 30–35 dB suljetuilla ikkunoilla (WHO 2009, Working Group on Health and Socio-Economic Aspects 2004).

WHO (2009) arvioi ulkomelun aiheuttavan terveysvaikutuksia 40 dB(A):n äänitasoilta ( $L_n$ ) alkaen. Laskelmissa on huomioitu ikkunoiden ja rakennusten ulkokuoren ääneneristävyystasoksi 21 dB. WHO:n arvio ääneneristävyystasosta pohjaa hollantilaiseen tutkimukseen, jossa huomattiin, että ihmiset sulkevat ikkunansa vain 25 prosenttia öistä. EU:n asiantuntijaryhmän (Working Group on Health and Socio-Economic Aspects 2004) mukaan 21 dB:n eristävyystaso on määritetty tilanteille, joissa ikkunoita pidetään auki osan vuodesta. Asunnoissa, joissa ikkunat ovat aina kiinni, ääneneristävyystasoksi on arvioitu 30 dB (WHO 2009).

Ilmastosta johtuvat erot ikkunoiden aukiopidossa ja eristävytydessä, vaikuttavat liikennemelun unenhäirintään. Yleisesti on havaittu kesäaikaisen melun olevan kiusallisempaa. Lämpimillä alueilla ihmiset pitävät yleensä ikkunoita avoinna huomattavasti korkeammilla ulkomelutasoilla kuin kylmemmillä. Tällä ei aina ole suoraviivaista vaikutusta koettujen melutasojen häiritsevyyteen (Pesonen 2005). Myös Pohjoismaissa pidetään ilmaston vuoksi ikkunoita suuren osan vuotta pääsääntöisesti kiinni.

Suurin osa tutkimuksista, joihin EU:n melun terveysvaikutusten arviointi perustuu, on tehty Etelä-Euroopan maissa ja Iso-Britanniassa, joissa rakennusten ääneneristävyys on pääsääntöisesti noin 5-10 dB Suomea huonompi suljetuilla ikkunoilla (Pesonen 2014). On ehdotettu, että Suomessa asuntojen hyvä eristys ja yleisesti käytetyt triplaikkunat (tai vähintään tuplaiikkunat) voisivat vähentää ulkoa sisään kuuluvan melun osuutta WHO:n laskelmista (Halonen 2012). Jo 5 dB paremman ääneneristävytyden huomiointi terveysriskien arvioinnissa alentaisi altistuneiden määrää huomattavasti (Pesonen 2014).

Yleensä Euroopassa asukkaat myös sulkevat ikkunat korkeilla ulkoäänitasoilla. Esimerkiksi Ruotsissa puolet ikkunoista suljettiin tiemelun aiheuttamilla yli 55 dB:n ( $L_{Aeq}$ ) ulkoäänitasoilla. Raideliikenteen osalta vain 35 prosenttia asukkaista sulki ikkunansa 55 dB ulkoäänitasoilla. Suljetut ikkunat johtavat usein kuitenkin huonompaan unenlaatuun huonon ilmanlaadun vuoksi (WHO 2009). Ikkunoiden pito hiukan auki on suurimmassa osassa Eurooppaa käytäntö, jotta huoneet tuuletuvat öisin. WHO:n (1999) raportissa todetaan, että melueristykseen ei tulisi perustua siihen että ikkunat pidetään öisin kiinni, eivätkä ihmiset voisi tuulettaa asuntojaan. Suomalaisten tuuletustottumuksista ei ole tarkkaa tietoa. Suomalaisten häiriintymiseen melusta voi myös vaikuttaa kulttuurillinen rauhallisen ja luonnollisen äänimaiseman arvostus.

## 6.4 Hiljaisten tilojen ja visuaalisten tekijöiden vaikutus

Göteborgin yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin pääsyn rakennuksen hiljaiselle puolelle vastaan terveysvaikutuksiltaan noin 5 dB:n ( $L_{Aeq, 24h}$ ) vähennystä julkisivuun kohdistuvissa melutasoissa (Öhrström ym. 2006). Ruotsissa on jopa hallitustasolla ehdotettu, että asunnoissa, joissa on vähintään puolet ikkunoista hiljaisella puolella, voisi asuntoja rakentaa yli 55 dB(A):n liikennemelualueille. Ruotsissa tehdyn meluhaittojen kyselytutkimuksen mukaan kuitenkin hiljaisella puolella asuvista vielä 27 prosenttia kärsi kiusaantuneisuudesta 55–59 dB(A) ja 41 prosenttia asukkaista yli 60 dB(A):n ulkoäänitasoilla (Bodin ym. 2015).

Norjalaistutkimuksessa liikennemelun ja nukahtamisvaikeuksien suhde oli selkeämpi niillä, joiden makuuhuone sijaitsi meluisalla puolella rakennusta. Ikkunoiden auki pitämisellä, nähtiin norjalaistutkimuksessa olevan vain vähäinen vaikutus liian aikaiseen heräilyyn. Kuitenkin henkilöillä, jotka asuivat rakennuksen meluisammalla puolella, nukahtamisvaikeudet ja yöaikainen heräily olivat tavallisempia (Evandt ym. 2017). Ruotsalaistutkimuksessa makuuhuoneen ikkunan sijainti hiljaisemmalla puolella vähensi unihäiriöiden todennäköisyyttä. Noin 50 prosenttia kyselytutkimukseen vastanneista, joilla ei ollut ikkunaa hiljaisella puolella rakennusta, kokivat melun kiusalliseksi ulkoäänitasoilla 50–54 dB(A). Puolet vastanneista, joilla oli ikkuna hiljaiselle puolelle rakennusta, koki kuitenkin ulkomelun ärsyttäväksi vasta 60 dB(A):n tai tätä korkeammalla äänenpainetasolla (Bodin ym. 2015).

Henkilökohtaiset ominaisuudet kuten ihmisten meluherkkyys, tottuminen, tapa reagoida meluun sekä asenteet melulähteitä kohtaan vaikuttavat suuresti melun aistimiseen ja haittavaikutuksiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Meluherkkien ihmisten on myös havaittu hyötyvän hiljaisen puolen hyödyistä valtaväestöä enemmän (Bodin ym. 2015). Ihmisten audio-visuaalinen hermotus on osittain yhteydessä ja havaittuun ääni-informaatioon vaikuttavat myös näköhavainnot, etenkin se onko melunlähde näköyhteyden päässä (Pesonen 2005). Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Bodin ym. 2015) se, että asunnossa ainakin yksi ikkuna oli kohti pihaa, vesistöä tai viheraluetta, yhdistettiin alentuneeseen kiusaantumisen ja keskittymishäiriöiden riskiin.

Makuuhuoneen sijainnin merkitystä terveysvaikutusten arvioinnissa vaikuttaa myös se tosiasia että ihmiset vaihtavat huonejärjestyksiään (Working Group on Health and Socio-Economic Aspects 2004). Yleensä ihmiset haluavat valita makuuhuoneen sijainnin rakennuksen hiljaiselta puolelta (WHO 2009). Melun kokemiseen vaikuttaa myös asunnossa oleskeluaika (Jakovljevic ym. 2009). Yleensä altistuksen arvioinnissa ei ole voitu huomioida myöskään taustamelun osuutta äänitasoihin. Taustamelulla voi olla vaikutusta etenkin matalammilla äänitasoilla, koska asuntojen ääneneristävyys on matalammilla taajuuksilla yleensä huonompi (WHO 2009, STM 2003). Kaupunkimaisessa ympäristössä taustamelun taso ulkona jää harvoin alle 50 dB(A):n (WHO 2011). Yleensä taustamelun taso sisällä on kuitenkin alhainen (WHO 2009).

## 6.5 Epävarmuudet terveysvaikutusten arvioinnissa

EEA:n (2010) esittämät altistusvastefunktiot on yleistetty tätä tutkimusta varten koskemaan koko väestöä. Nämä perustuvat kuitenkin pääsääntöisesti aikuisväestölle kohdistettujen kyselytutkimusten tuloksiin, eivätkä kuvaa suoraan lapsiin, nuoriin ja vanhempiin ikäpolviin kohdistuvien terveysvaikutusten esiintyvyyttä. Näin ollen arvioidut terveyshaitoista kärsivien määrät tässä työssä ovat voineet vääristyä lievästi ylöspäin.

Ajantasainen tutkimustieto tukee suhteellisen hyvin WHO:n (2011) ja EEA:n (2010) suuren kiusaantuneisuuden arvioinnissa käyttämää vaikutusrajaa. Sitä vastoin sydäninfarktien ja yleisesti iskeemisten sydänsairauksien altistuksen arviointitasoon liittyy epävarmuuksia. Näyttöä on esitetty etenkin sen puolesta, että infarktiin altistavia terveysvasteita alkaisi mahdollisesti esiintyä jo alhaisemmilla – yli 50 dB:n ulkoäänitasoilla (Babisch 2014, Selander 2014, WHO 2009). Tässä arvioinnissa tarkasteltiin ulkoäänitason laskemisen (50 dB:iin) vaikutusta terveysvaikutusten arviointiin. Havaitut vaikutukset, kuten koko liikennemelusta johtuville sydäninfarkteista kärsivien määrät, olivat hyvin pieniä. Äänitason lasku johtaisi noin yhden sydäninfarktitapauksen lisääntymiseen sekä Kuopiossa että Jyväskylässä.

Unihäiriöiden arviointi on haastavaa ja siihen vaikuttavat monet henkilökohtaiset ja terveydelliset kuin myös rakennustekniset seikat. Merkittävää epävarmuutta terveysvaikutusten arvioinnille aiheuttaa ihmisten yömelun häiritsevyyssynnyksen arviointi. Tämän osalta tutkimustulokset ovat vaihtelevia ja on viitteitä siitä, että jo yli 30 desibelin yöaikaiset ulkoäänitasot saattavat aiheuttaa lieviä kohtalaisiin vaikutuksia unenlaatuun etenkin herkemmille ihmisille (WHO 2011).

Toinen unihäiriöiden arvioinnissa merkittävää epävarmuutta aiheuttava seikka on pohjoismaisen, ja yleensäkin kylmempien kehittyneiden maiden rakennuskannan ääneneristävyys. On esitetty, että rakennuskannan ääneneristävyys voisi olla Suomessa jopa 5-10 dB Keski-Euroopan maita parempi, jolloin terveyshaittoja alkaisi mahdollisesti esiintyä vasta korkeammilla ulkomelutasoilla (Halonen 2012, Pesonen 2014). Nykyisten arviointimenetelmien käyttö johtaisi tässä tapauksessa unihäiriöiden esiintyvyyden yliarviointiin Suomessa.

Yllä mainittujen tekijöiden aiheuttamaa epävarmuutta tarkasteltiin vaihtoehtoisessa laskelmassa, jossa unihäiriöiden vaikutusrajoina käytettiin äänitasoja 32 dB  $L_n$  ja 52 dB  $L_n$ . Tämän laskelman tulokset on esitetty taulukossa 8. Julkisivun suurimman äänitason mukaan lasketut tulokset ( $L_{den}$ ) on vertailun vuoksi esitetty taulukossa 14 (LIITE 3).

**Taulukko 8. Tie- ja raideliikenteen melusta johtuvien suuresti unihäiriintyneiden määrän arviointiin liittyvät epävarmuudet havainnollistettuina**

Terveysvaikutus <sup>1,2</sup>	Tiemelu	Väestöosuus (%)	Raidemelu	Väestöosuus (%)
Suuresti unihäiriöiset <sup>3</sup> Kuopiossa	1 060–2 950	0,9-3	20–160	0,0-0,1
Suuresti unihäiriöiset <sup>4</sup> Jyväskylässä	1 090–3 150	0,8-2	80–340	0,1-0,2

<sup>1</sup> arvioinnissa esiintyvä epävarmuus johtuen mahdollisesti eristävämmästä rakennuskannasta arvioitu tasolla 52 dB L<sub>n</sub> (alempi vaihteluvälin raja);

<sup>2</sup> arvioinnissa esiintyvä epävarmuus unihäiriöiden mahdollisesta alhaisemmasta terveysvaikutusten esiintymistasosta johtuen arvioitu tasolla 32 dB L<sub>n</sub> (ylempi vaihteluvälin raja);

<sup>3</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaiisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>4</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta.

Tuloksista huomataan, että vakavasti unihäiriöisten arvioinnissa käytetyn ulkoäänitason pudottaminen suositellusta arviointitasosta (42 dB, L<sub>n</sub>) kymmenen desibeliä alemmaksi (32 dB, L<sub>n</sub>), kasvattaisi unihäiriöistä kärsivien määrää maksimissaan yhden prosentin Kuopiossa ja Jyväskylässä (verrattuna taulukkoon 7).

Rakennuskannan paremman ääneneristävyyden olettaminen, vaikuttaisi unihäiriöiden yleisyyden arviointiin huomattavasti enemmän. Kuten taulukosta 8 on nähtävissä, 10 dB:ä korkeamman vaikutusrajan käyttö terveysvaikutusten arvioinnissa, verrattuna WHO:n ja EEA:n käyttämään (taulukko 7), johtaisi suuresti unihäiriöisten vähentymiseen reilusti alle puoleen Kuopiossa ja Jyväskylässä. Helsingissä tehty tutkimus (Halonen ym. 2012) antaa viitteitä siitä, että suomalaisten rakennusten ääneneristävyyden vuoksi terveys- ja hyvinvointivaikutuksia alkaisi syntyä vasta 50–55 dB(A) ulkoäänitasoilla (L<sub>n</sub>). Näyttö on toistaiseksi kuitenkin liian vähäistä, jotta unenhäirinnän vaikutusrajaa voitaisiin kansallisissa arvioinneissa luotettavasti muuttaa.



# 7. YHTEISKUNNALLISET KUSTANNUS- VAIKUTUKSET

## 7.1 Käytetyt terveys- ja hyvinvointikustannusten arviointimenetelmät

Liikennemelusta suuresti kiusaantuneiden kustannusarvio perustuu Euroopan komission -työryhmän tekemään arviointiin (HEATCO 2005). Nämä perustuvat Euroopan maissa (ml. Suomi) tehtyihin kyselytutkimusten tuloksiin väestön maksuhalukkuudesta meluhaitan vähentämiseksi.

Suuresti unihäiriöisten aiheuttamien kustannusten arvioinnissa on käytetty Liikenneviraston määrittämää liikenteen päästöjen haittakustannusarvioita (Gynther ym. 2012). Suurten unihäiriöiden kustannukset on laskettu lievästi (10 %) alentuneen toimintakyvyn päivän mukaan (23 euroa/pv) (taulukko 9). Arviossa ei ole huomioitu lääkekustannuksia. Laskennallinen arvo perustuu menetetyin työn arvoon sekä maksuhalukkuuteen. Liikenneviraston arvio perustuu työikäisen väestön mukaan laskettuihin kustannuksiin, jotka tässä raportissa on yleistetty koko väestöön.

Sydäninfarktien aiheuttama toipumisaika, kustannukset ja kuolleisuus ovat hyvin tapauskohtaisia ja siksi haastavia arvioida. Sydäninfarktitaapauksen kustannusten laskemisessa on tässä raportissa käytetty keskimääräiseksi arvioitua infarktin jälkeistä sairausloma-aikaa 28 päivää (Perk 2007, Satakunnan sairaanhoitopiiri 2015, Hyvä Terveys 2008, Mehiläinen 2017). Tätä arvoa on myös yleisesti käytetty sydäninfarktin tautitaakan arvioinnissa (esim. Salomon ym. 2015). Haitan arvona on käytetty Liikenneviraston (Gynther ym. 2012) arvioiman rajoittuneen toimintakyvyn päivää, joka käsittää poissaolon työstä sekä alentuneen työ/toimintakyvyn ja hyvinvoinnin aleneman (taulukko 9). Lääkekustannuksia ei huomioitu. Lisäksi Kuopion yliopistollisen keskussairaalan (KYS 2017), jonka sairaanhoidon erityisvastuualue on sama kuin Jyväskylässä, klinikkahinnaston keskimääräistä arvoa sydäninfarktitaapauksen (ICD10: I21 & I22) hoidolle käytettiin sydäninfarktitaapauksen kustannusten arviointiin (taulukko 9).

Kustannusten arvioinnissa on pääosin käytetty samoja menetelmiä kuin vuoden 2010 altistusarviointien pohjalta Kuopion kaupungille tehtyjen melun terveysvaikutusten kustannusten arvioinnissa (Asikainen ym. 2014). Ajantasaisia tietoja on kuitenkin hyödynnetty kustannuslaskelmien tarkentamiseksi.

**Taulukko 9. Tie- ja raideliikennemelun arvioidut yhteiskunnalliset terveys- ja hyvinvointikustannukset tapausa kohti vuodessa**

Terveyshaitta	Tieliikenne	Raideliikenne
Suuresti kiusaantuneet	85 €/hlö/vuosi <sup>1</sup>	59€/hlö/vuosi <sup>1</sup>
Suuresti unihäiriöiset	23 €/hlö/vrk <sup>2</sup> =8 395 €/hlö/vuosi	23 €/hlö/vrk <sup>2</sup> =8 395 €/hlö/vuosi
Sydäninfarktitaapaukset	142 €/hlö <sup>3</sup> x 28pv <sup>4</sup> + hoitokulut 4 550 € <sup>5</sup> =8 526 €/hlö/vuosi	142 €/hlö <sup>3</sup> x 28pv <sup>4</sup> + hoitokulut 4 550 € <sup>5</sup> =8 526 €/hlö/vuosi

<sup>1</sup> HEATCO 2005;

<sup>2</sup> Lievästi alentuneen (10 %) toimintakyvyn päivä (Liikennevirasto 2012);

<sup>3</sup> Poissaolo työstä ja alentunut toimintakyky sekä hyvinvoinnin alenema (Liikennevirasto 2012);

<sup>4</sup> arvioitu sairausloma-aika (Perk 2007, Satakunnan sairaanhoitopiiri 2015, Hyvä Terveys 2008, Mehiläinen 2017);

<sup>5</sup> hoitokustannukset (KYS 2017)

## 7.2 Terveys- ja hyvinvointikustannusvaikutukset Kuopiossa ja Jyväskylässä

Tie- ja raideliikenteen melun terveys- ja hyvinvointivaikutusten kustannuksia arvioitaessa, nousivat merkittävimäksi suuresti unenhäiriintyneiden arvioidut yhteiskunnalliset kustannukset (taulukko 10). Liikennemelusta johtuvien unihäiriöiden kustannuksiksi arvioitiin tieliikenteen osalta Kuopiossa noin 22,5 miljoonaa euroa ja raideliikenteen osalta noin miljoona euroa vuosittain. Jyväskylässä tieliikennemelun aiheuttamista unihäiriöistä arvioitiin aiheutuvan vuosittain vajaan 24 miljoonan euron ja raideliikenteen osalta noin 2,5 miljoonan vaikutukset.

Myös liikenteen melun aiheuttamasta suuresta kiusaantuneisuudesta arvioitiin syntyvän merkittäviä yhteiskunnallisia kuluja. Tieliikennemelusta johtuvan kiusaantuneisuuden terveys- ja hyvinvointikustannukset olivat Kuopiossa arvioilta noin 460 000 euroa vuosittain ja raideliikennemelun hiukan alle 9 000 euroa. Liikennemelusta aiheutuvan kiusaantuneisuuden arvioidut yhteiskunnalliset vaikutukset olivat Jyväskylässä noin 480 000 euroa vuodessa tieliikennemelun ja raideliikenteen melun vajaan 23 000 euroa, mikä oli Kuopiota merkittävästi enemmän (taulukko 10).

Sydäninfarktien arvioidut yhteiskunnalliset kustannusvaikutukset sekä Kuopiossa että Jyväskylässä olivat huomattavasti muita arvioituja terveysvaikutuksia alhaisemmat – reilut 9 000 euroa. Raideliikenteen vaikutus oli vain joitakin kymmeniä euroja Kuopiossa ja joitakin satoja euroja Jyväskylässä (taulukko 10). Sydäninfarkti kuolleisuuden yhteiskunnallisia vuosikustannuksia ei ole tässä työssä tarkasteltu. Liikennevasto on kuitenkin arvioinut menetetyin elinvuoden arvoksi 55 000 € (Gynther ym. 2012). Infarkti kuolemien osalta syntyvät terveys- ja hyvinvointikustannukset ovat siis merkittäviä.

**Taulukko 10. Tie- ja raideliikenteen melun arvioidut yhteiskunnalliset terveys- ja hyvinvointikustannukset**

Kuopio	Tiemelu eur/vuosi	Raidemelu eur/vuosi	Yhteensä eur/vuosi
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	460 300	8 900	469 200
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	22 561 700	1 070 500	23 632 200
Sydäninfarktitaapaukset <sup>3</sup>	9 400	60	9 460
<b>Yhteensä<sup>4</sup></b>	<b>23 031 400</b>	<b>1 079 460</b>	<b>24 110 860</b>
<b>Jyväskylä</b>			
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	480 700	22 800	503 500
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	23 824 200	2 474 000	26 298 200
Sydäninfarktitaapaukset <sup>4</sup>	9 350	530	9 880
<b>Yhteensä<sup>5</sup></b>	<b>24 314 250</b>	<b>2 497 330</b>	<b>26 811 580</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta;

<sup>3</sup> Laskennallinen sydänkohtausten määrä n. 1,1 tapausta/v tiemelulle (molemmat kaupungit) sekä n. 0,01 tapausta/v Kuopiossa ja 0,1 tapausta/v Jyväskylässä tapausta/v raidemelulle;

<sup>4</sup> Kuolemaan johtaneiden sydäninfarktitaapauksen kustannuksia ei ole huomioitu tässä yhteydessä;

<sup>5</sup> Laskelmissa ei ole huomioitu mahdollista päällekkäisaltistusta molemmille melulähteille

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä arvioitiin tie- ja raideliikenteen melun terveyshaittoja Jyväskylässä ja Kuopiossa vuoden 2017 tilanteessa. Kuopion ja Jyväskylän asukkaiden melualtistuksen arviointiin käytettiin ensimmäistä kertaa yhteiseurooppalaista CNOSSOS-EU-melumallia, joissa huomioidaan muun muassa asuinrakennusten asukkaiden jakautumisen eri puolelle rakennusta. Tämä selvästi laskee arvioita altistuneiden määristä (4-40 % vähemmän altistuneita tie- ja raideliikenteen melulle) ja terveysvaikutuksista (suuri kiusaantuneisuus ja suuri unihäiriö sekä sydäninfarktit). Melualtistuksen laskentamalleille ei ole kuitenkaan tietojemme mukaan suoritettu Suomessa arviointimittauksia, eikä niitä olla validioitu suomalaisessa rakennuskannassa.

Ympäristömeludirektiivin raportointirajat liikenteen vuorokausimelulle ovat 55 dB ( $L_{den}$ ) ja yöaikaiselle 50 dB ( $L_n$ ). Tässä työssä arvioitiin altistuneiden määriä tämän lisäksi meluluokissa 40–45 dB ja 45–50 dB. Tämä lisää merkittävästi terveysvaikutuksista kärsivien arvioituja määriä kaupungeissa, esimerkiksi vuorokautiselle tiemelulle ( $L_{den}$ ) altistui näissä luokissa 64–73 prosenttia asukkaista. Terveys- ja hyvinvointihaitat arvioitiin Euroopan ympäristökeskuksen ohjeistuksen mukaisesti (EEA 2010) ja yhteiseurooppalaisia tunnuslukuja ( $L_{den}$  ja  $L_n$ ) käyttäen. Suomalaisen kulttuurin ja rakennuskannan erot moniin muihin maihin verrattuna lisäävät kuitenkin epävarmuutta terveysriskien, etenkin unihäiriöistä kärsivien arvioinnissa.

Kuopio ja Jyväskylä ovat väestöltään ja kaupunkirakenteeltaan samantyyppisiä kaupunkeja ja liikenteen melun terveyshaitat olivatkin samansuuntaisia väestömääriin suhteutettuina. Liikennemelusta aiheutuu suuria unihäiriöitä yli kahdelle tuhannelle hengelle (noin 2 %) ja suurta kiusaantuneisuutta yli viidelle tuhannelle hengelle (4-5 %) vuosittain molemmissa kaupungeissa. Liikenteen melusta johtuvia sydäninfarktitapauksia arvioitiin olevan noin 1 vuodessa ja kuolemaan johtavia infarkteja syntyvän noin yksi tapaus kahdessa ja puolessa vuodessa kummassakin kaupungissa. Suurta kiusaantuneisuutta, johon liittyy epämu-kavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita, arvioitiin aiheutuvan etenkin 50–65 dB vuorokautisilla ulkoäänitasoilla. Suurista unihäiriöistä yli puolen arvioitiin aiheutuvan alle 50 dB yöaikaisilla ulkoäänitasoilla. Sydäninfarkttien ja -kuolleisuuden riski oli korkein 65–70 dB meluluokissa. Useat melun negatiivista terveysvasteista korostuvat kuitenkin edelleen pitkällä aikavälillä

Aiempien arvioiden tapaan tieliikenteen melu oli raideliikennettä merkittävämpi asukkaiden terveyttä ja hyvinvointia heikentävä tekijä. Raideliikenteen osuudeksi terveyshaitoista arvioitiin alle kymmenesosa. Jyväskylässä raideliikenteen melun terveys- ja hyvinvointivaikutukset olivat väestöön suhteutettuna hiukan Kuopiota suuremmat. Alle viidesosan kaupunkien väestöstä arvioitiin kärsivän sekä tie- että raideliikennemelun aiheuttamista terveyshaitoista. Altistuserviöinnin menetelmällisten muutosten vuoksi terveys- ja hyvinvointihaittojen määrät pienenevät aiempiin laskelmiin verrattuna.

EU:n ympäristömeludirektiivin ja ympäristönsuojelulain raportointirajat 55 ( $L_{den}$ ) ja 50 ( $L_n$ ) dB ja Val-tioneuvoston ohjeavot (päivä 55 dB, yö 50/45 dB,  $L_{Aeq}$ ) ovat terveys- ja hyvinvointivaikutusten kannalta korkeat. Liikennemelun arvioidaan aiheuttavan terveydelle ja hyvinvoinnille haitallisia vaikutuksia jo näitä alhaisemmilla äänitasoilla. Liikennemelun terveyshaittojen on arvioitu johtavan myös jopa miljoonien eurojen yhteiskunnallisiin terveys- ja hyvinvointikustannuksiin vuosittain.

Sekä terveyden- että ympäristönsuojelulaki velvoittavat kunnat suojelemaan asukkaitaan ympäristötekijöiden terveyshaitoilta ja liikennemelun terveysvaikutusten tunteminen on tärkeää, jotta nämä voidaan huomioida päätöksenteossa ja suunnittelussa. Sekä Kuopiossa että Jyväskylässä liikennemelun terveyshaittoja on pyritty torjumaan ainakin melusteiden avulla sekä maankäytön suunnittelussa ja kaavoituksessa. Kaavoituksessa suurimpien tie- ja raidelinjojen meluhaittojen huomioiminen asuinalueiden sijaintia suunniteltaessa onkin yksi tehokkaimpia meluntorjunnan keinoja kunnissa. Terveyshaittojen ehkäisyssä tulisi myös huomioida asukkaiden oikeus tuulettamiseen sekä oleiluun parvekkeilla ja sisäpihoilla häiriintymättä melusta. Melusteiden ja rakennusteknisten toimenpiteiden lisäksi mahdollisia keinoja liikennemelun torjuntaan kunnissa ovat muun muassa liikenteen nopeuksien ja raskaan liikenteen osuuden sääntely asuinalueilla, hiljaisemmat tiepäällysteet, hiljaisten ajoneuvojen kuten sähköbussien käyttö sekä kevyen liikenteen lisäämiseen tähtäävät toimet.

## LÄHTEET

- Asikainen A. & Hänninen O. 2016. Tieliikennemelun torjunnan terveys- ja hyvinvointivaikutukset. Ympäristö- ja terveys 1: 52–58.
- Asikainen A, Hänninen O, Pekkanen J. 2013. Ympäristöaltisteisiin liittyvä tautitaakka Suomessa. Ympäristö- ja terveys 5:68-74.
- Asikainen A, Pärjälä E, Kettunen T, Savastola M, Niittynen M, Tuomisto J. 2014. Kuopion kaupunki ja Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos (THL). URGENCHE: Kasvihuonekaasupäästöjen vähennystoimenpiteiden vaikutukset päästöihin sekä väestön terveyteen ja hyvinvointiin Kuopiossa. [https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7583060/Kuopio+Urgenche+HIA+suomeksi\\_final\\_030914.pdf/ea51eb92-7c34-4419-bccc-4b6aaa0aac2a](https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7583060/Kuopio+Urgenche+HIA+suomeksi_final_030914.pdf/ea51eb92-7c34-4419-bccc-4b6aaa0aac2a).
- Babisch W. 2014. Updated exposure-response relationships between road-traffic noise and coronary heart diseases : A meta analysis. Noise & Health 16: 1-9. <http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2014;volume=16;issue=68;spage=1;epage=9;aulast=Babisch>
- Bodin T, Björk J, Ardö J, Albin M. 2015. Annoyance, Sleep and Concentration Problems due to Combined Traffic Noise and the Benefit of Quiet Side. International Journal of Environmental Research and Public Health 12: 1612-1628. doi:10.3390/ijerph120201612.
- Eriksson C, Bodin T, Selander J. 2017. Burden of disease from road traffic and railway noise – a quantification of healthy life years lost in Sweden. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health. doi: 10.52717/sjweh.3653.
- Eurasto R. 2005. Ympäristömeludirektiivin täytäntöönpanoon liittyvät laskentamallivertailut. Suomen ympäristö 753. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Edita Prima Oy. Helsinki.
- Eurasto R. 2010. Ympäristömeludirektiivi - Toisen vaiheen selvityksissä tarvittavat toimenpiteet. Ympäristöministeriön raportteja 17 / 2010. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41482>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta. 2002. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:012:0025:FI:PDF>
- Euroopan Parlamentti. 2017. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20130201FCS05558+0+DOC+XML+V0//FI>
- European commission. 2008. HYENA – Hypertension and Exposure to Noise near airports. Study summary. <http://www.hyena.eu.com/default.htm>
- European Commission. 2002. Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. EU's future noise policy, WG2 – dose/effect. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- European Environment Agency (EEA). 2010. Good practice guide on noise exposure and potential health effects. EEA technical report No 11/2010. ISSN 1725-2237. doi:10.2800/54080. [file:///C:/Users/jjez/AppData/Local/Temp/Tech%2011%202010%20Good%20practice%20guide%20on%20noise%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/jjez/AppData/Local/Temp/Tech%2011%202010%20Good%20practice%20guide%20on%20noise%20(3).pdf)
- Evandt J, Oftedal B, Hjerdager Krog N, Nafstad P, Schwarche P.E, Aaswang G. M. 2017. A Population-Based Study on Nighttime Road Traffic Noise and Insomnia. SLEEP 40: 1-10. <http://dx.doi.org/10.1093/sleep/zsw055>
- Gan W. Q, Davies H. W, Koehoorn M, Brauer M. 2011. Association of Long-term Exposure to Community Noise and Traffic-related Air Pollution with Coronary Heart Disease Mortality. American Journal of Epidemiology 175: 898-906. doi: 10.1093/aje/kwr424.
- Garg N, Sharma O, Maji S. 2011. Experimental investigations on sound insulation through single, double & triple glazing for traffic noise abatement. Journal of scientific & Industrial Research 70: 471-478.
- Gynther L, Tervonen J, Hippinen I, Lovén K, Salmi J, Soares J, Torkkeli S, Tikka T. 2012. Liikenteen päästökustannukset. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 23/2012. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2012-23\\_liikenteen\\_paastokustannukset\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-23_liikenteen_paastokustannukset_web.pdf)
- Haahla A, Heinonen-Guzejev M. 2012. Melun terveysvaikutukset ja ympäristömelun häiritsevyys. Helsingin kaupunki. Ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2012. Kopio Niini Oy. Helsinki.
- Halonen J. I, Vahtera J, Stansfield S, Yli-Tuomi T, Salo P, Pentti J, Kivimäki M, Lanki T. 2012. Associations between Nighttime Traffic Noise and Sleep: The Finnish Public Sector Study. Environmental Health Perspectives 120: 1391-1396. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1205026>
- HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Deliverable 7 Final Technical Report. 2005. European Commission EC-DG TREN. [http://heatco.iier.uni-stuttgart.de/HEATCO\\_D7\\_final.pdf](http://heatco.iier.uni-stuttgart.de/HEATCO_D7_final.pdf)
- Hyvä Terveys. 2008. Infarktista toipuminen. Nettartikkeli. Julkaistu 19.5.2008. [http://www.hyvaterveys.fi/artikkeli/terveys/infarktista\\_toipuminen](http://www.hyvaterveys.fi/artikkeli/terveys/infarktista_toipuminen)
- Hänninen O, Knol A (eds.), Jantunen M, Kollanus V, Leino O, Happonen E, Lim T-A, Conrad A, Rappolder M, Carrer P, Fannetti A-C, Kim R, Prüss-Üstün A, Buekers J, Torfs R, Iavarone I, Comba P, Classen T, Hornberg C, Mekel O, 2011. European perspectives on Environmental Burden of Disease; Estimates for nine stressors in six countries. THL Reports 1/2011, Helsinki, Finland. 86 pp + 2 appendixes. ISBN 978-952-245-413-3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-245-413-3>.

- Jakovljevic B, Paunovic K, Belojevic G. 2009. Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population. *Environment International* 35: 552–556. doi:10.1016/j.envint.2008.10.001.
- Jyväskylän.fi – Jyväskylän kaupungin internetsivut. 2017. Perustietoa Jyväskylästä. <http://www.jyvaskyla.fi/info/pahkinankuoressa>
- Jyväskylän kaupunki. 2017. Jyväskylän kaupungin meluselvitys 2017 – Raportti ympäristömeludirektiivin tunnusluvuilla. Laatinut WSP Finland Oy. Julkaisematon luonnos.
- Jyväskylän kaupunki & Jyväskylän yliopisto. 2008. Ympäristön tila Jyväskylässä. Jyväskylän kaupungin yhdyskuntatoimen ympäristöosasto ja Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus. [http://www.jyvaskyla.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/jyvaskyla/embeds/jyvaskylawwwstructure/32842\\_ymparisto2008.pdf](http://www.jyvaskyla.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/jyvaskyla/embeds/jyvaskylawwwstructure/32842_ymparisto2008.pdf)
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M. ja Anfosso-Lédée, F. 2012. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS -EU). European Commission Joint Research Centre reference reports, EUR 25379 EN. 180 s. Luxemburg, Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-25281-5 (PDF); ISSN 1831-9424 (online). [http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC72550/cnossos-eu%20jrc%20reference%20report\\_final\\_on%20line%20version\\_10%20august%202012.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC72550/cnossos-eu%20jrc%20reference%20report_final_on%20line%20version_10%20august%202012.pdf)
- Kokkonen J, Kontkanen K, Valli R. 2015. EU:n CNOSSOS-melumallin käyttöönotto Suomessa. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Sito Oy, Liikennevirasto ja ympäristöministeriö. Työryhmän raportti.
- Kuntaliitto. 2017. Sairaanhoidon erityisvastuualueet ja sairaanhoitopiirit 2017, väestö 31.12.2015. [https://www.kuntaliitto.fi/sites/default/files/media/file/Ervat\\_Sairaanhoitopiirit2017\\_0.pdf](https://www.kuntaliitto.fi/sites/default/files/media/file/Ervat_Sairaanhoitopiirit2017_0.pdf)
- Kuopion kaupunki – kaupungin viralliset internetsivut. 2017a. Kuopio-tietoa. <https://www.kuopio.fi/kuopio-esittely>
- Kuopion kaupunki – kaupungin viralliset internetsivut. 2017b. Melu. <https://www.kuopio.fi/melu>
- KYS – Kuopion yliopistollinen keskussairaala. 2017. Kliinisten erikoisalojen palvelutuotteet, suoritteet ja hinnat 2017. Talousjohtajan päätös 50§/15.12.2016. <https://www.pssh.fi/documents/11427/38559/Klinikkahinnasto+2017.pdf/6f51a48d-a5c1-4442-88ab-3cbde9102384>
- Liikennevirasto. 2016. Melu ja tärinä. <http://www.liikennevirasto.fi/ymparisto/melutarina#.Wa0FwrKg-vE>
- Liikennevirasto. 2017. CNOSSOS-EU-laskentamalli - Laskentasetukset ja mallinnuseriaatteen. Liikenneviraston ohjeita 4/2017. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2017-04\\_cnossos-eu\\_laskentamalli\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2017-04_cnossos-eu_laskentamalli_web.pdf)
- Liikonen L. & Leppänen P. 2005. Altistuminen ympäristömelulle Suomessa – Tilannekatsaus 2005. Suomen ympäristö 809. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. Edita Prima Oy. Helsinki.
- Mehiläinen. 2017. Sydänkohtaus eli sydäninfarkti. <https://www.mehilainen.fi/sydan/sydaninfarkti>
- Miedema H.M.E, 2007. Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise Policies. *Journal of Social Issues*: 63: 41–57.
- Okokon E. O, Turunen A. W, Ung-Lanki S, Vartiainen Anna-Kaisa, Tiittanen P, Lanki T. 2015. *International Journal of environmental research and Public Health* 12: 5712-5734. doi: 10.3390/ijerph120605712. ISSN 1660-4601.
- Opasnet.fi. 2017. Ympäristömelun vaikutuslaskentatiedot Suomi. [http://fi.opasnet.org/fi/Ymp%EF4rist%F6melun\\_vaikutuslaskentatiedot\\_Suomi#Altistuminen](http://fi.opasnet.org/fi/Ymp%EF4rist%F6melun_vaikutuslaskentatiedot_Suomi#Altistuminen)
- Perk J, Mathes P, Gohlke H, Monpère C, Hellemans I, McGee H, Sellier P, Saner H. Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. 2007. <https://mustafaqamar.files.wordpress.com/2015/01/cardiovascular-prevention-rehabilitation.pdf>
- Pesonen K. 2005. Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita. Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2005:14. ISSN 1236-2115 <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201504227010>
- Pesonen K. 2014. Ympäristömelun vaikutuksista sekä vaikutusten arvioinnista ja hallinnasta. Ympäristöministeriön raportteja 4/2014. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/135967>
- Pirrerá S, De Valck E, Cluydts R. 2010. Nocturnal road traffic noise: A review on its assessment and consequences on sleep and health. *Environment International* 36: 492–498. doi:10.1016/j.envint.2010.03.007.
- Pohjoismaiden neuvosto (Nordic Council of Ministers). 1996a: Railway traffic noise. Nordic Prediction method - TemaNord 1996:524.
- Pohjoismaiden neuvosto (Nordic Council of Ministers). 1996b: Road traffic noise. Nordic Prediction method - TemaNord 1996:525.
- Recio A, Linares C, Banegas J.R, Díaz J. 2017. Impact of road traffic noise on cause-specific mortality in Madrid (Spain). *Science of the Total environment* 590-591: 171-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.193>
- Salomon J. A, Haagsma J. A, Davis A, Maertens de Noordhout C, Polinder S, Havelaar A. H, Cassini A, [Devleeschauwer B](#), Kretzschmar M, Speybroeck N, Murray C. J. L, Vos T. Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. 2015. *The Lancet Global Health*: 3. p. 712-723.
- Satakunnan sairaanhoitopiiri. 2015. Ennen ja jälkeen sydänleikkauksen – ohjeet sydänleikkauspotilaalle. <http://papunet.net/selko/wp-content/uploads/2015/05/Syd%C3%A4nopas-Ennen-ja-j%C3%A4lkeen-syd%C3%A4nleikkauksen.pdf>
- Selander J, Nilsson M. E, Bluhm G, Rosenlund M, Lindqvist M, Nise G, Pershagen G. 2009. Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Myocardial Infarction. *Epidemiology* 20: 1-8. doi: 10.1097/EDE.0b013e31819463bd.

- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. [file:///C:/Users/jjez/AppData/Local/Temp/asumisterveysohje.pdf%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/jjez/AppData/Local/Temp/asumisterveysohje.pdf%20(2).pdf)
- Sotkanet.fi. 2017. Terveyden- ja hyvinvoinnin laitoksen tilasto- ja indikaattoripankki. Tilastotietoja suomalaisten terveydestä ja hyvinvoinnista. <https://www.sotkanet.fi/sotkanet.fi/index>
- STMa 545/2015. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>
- Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos (THL). 2017a. Sepelvaltimotauti-kohtaukset (myös kuolemaan johtaneet) diagnooseilla I21-I22. [https://sampo.thl.fi/pivot/prod/fi/cvdr/first/fact\\_chd\\_06](https://sampo.thl.fi/pivot/prod/fi/cvdr/first/fact_chd_06)
- Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos (THL). 2017b. Sepelvaltimotautikuolleisuus, I21-I22. [https://sampo.thl.fi/pivot/prod/fi/cvdr/first/fact\\_chd\\_01](https://sampo.thl.fi/pivot/prod/fi/cvdr/first/fact_chd_01)
- TervSuojeluL 763/1994. 1994. Terveydensuojelulaki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Lanki T, Turunen A, Maijala P, Heinonen-Guzejev M, Kännälä S, Toivo T, Toivonen T, Ylikoski J, Yli-Tuomi T. Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 28/2017. ISBN: 978-952-327-229-3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-229-3>
- Valvira. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Ohje 8/2016. <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumis/terveys>
- VNp 339/1992. 1992. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>
- Visitjyvaskyla.fi – Jyväskylän kaupungin matkailusivusto. 2017. Saapuminen Jyväskylään – lentäen. <http://visitjyvaskyla.fi/hyvatietaa/saapuminen-jyvaskytaan/lentaen>
- Working Group on Health and Socio-Economic Aspects. 2004. Position paper on Dose-effect relationships for Night time noise. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8ucGL-CfGtgoJ:www.noiseineu.eu/en/1383-a/homeindex/file%3Fobjectid%3D1308%26objectypeid%3D0+&cd=1&hl=fi&ct=clnk&gl=fi>
- World Health Organization (WHO). 1999. Guidelines for Community Noise (Editors Berglund B, Lindvall T, Schwela D. H). [file:///C:/Users/jjez/AppData/Local/Temp/a68672%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jjez/AppData/Local/Temp/a68672%20(1).pdf)
- World Health Organization (WHO). 2009. Night Noise guidelines for Europe. ISBN 978 92 890 4173 7. [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf)
- World Health Organization (WHO). 2011. Burden of disease from environmental health – qualification of healthy life years lost in Europe. ISBN: 978 92 890 0229 5. [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/136466/e94888.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf)
- WSP Finland Oy. 2017. Kuopion kaupungin EU-meluselvytys 2017. Julkaisematon luonnos.
- Ympäristöministeriö. 2004. Meluntorjunnan valtakunnalliset linjat ja toimintaohjelma. Suomen ympäristö 696. ISBN 952-11-1688-9 (PDF). Edita Prima Oy. Helsinki.
- YSL 527/2014. 2014. Ympäristönsuojelulaki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2014/20140527>
- Öhrström E, Skånberg A, Svensson H, Gidlöf-Gunnarson A. 2006. Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. Journal of Sound and Vibration 295: 40–59. doi:10.1016/j.jsv.2005.11.034.

# LIITTEET

## Liite 1. Äänitasojen likimääräiset muunnoskaavat

Näissä kaavoissa käytetyt aikapainotusermit on suurimmaksi osaksi arvioitu olettamalla kullekin melulähteelle tietty sille ominainen vuorokausiprofiili (ts. päivän, illan ja yön suhteelliset dB-tasot), laskemalla sitten tätä vuorokausiprofiilia vastaavat  $L_{den}$ -indikaattorin sekä alkuperäisen indikaattorin (esim.  $L_{Aeq\ 07-22}$ ) dB-arvot ja lopuksi näiden erotus.

### Likimääräiset muunnokset $L_{den}$ :ksi:

Maantiemelu:

$$L_{den} = L_{Aeq\ 24h} + 4\text{ dB}$$

(korjaustermistä 1.5 dB johtuu laskentakorkeuksien erosta ja 2.5 dB aikapainotuksista)

Katumelu:

$$L_{den} = L_{Aeq\ 07-22} + 3\text{ dB}$$

(korjaustermistä 1.5 dB johtuu laskentakorkeuksien erosta ja 1.5 dB aikapainotuksista )

Rautatiemelu:

$$L_{den} = L_{Aeq\ 07-22} + 7.5\text{ dB}$$

(korjaustermistä 1.5 dB johtuu laskentakorkeuksien erosta ja 6 dB aikapainotuksista)

Muut melulähteet:

$$\text{oletetaan, että näille } L_{den} = L_{Aeq\ 07-22} + 1.5\text{ dB}$$

(korjaustermi johtuu laskentakorkeuksien erosta )

### Likimääräiset muunnokset $L_n$ :ksi:

Maantiemelu:

$$L_n = L_{Aeq\ 24h} - 4.5\text{ dB}$$

(korjaustermistä 1.5 dB johtuu laskentakorkeuksien erosta ja -6 dB aikapainotuksista )

Katumelu:

$$L_n = L_{Aeq\ 07-22} - 6\text{ dB}$$

(korjaustermistä 1.5 dB johtuu laskentakorkeuksien erosta ja -7.5 dB aikapainotuksista )

Rautatiemelu:

$$L_n = L_{Aeq\ 22-07} + 1.5\text{ dB}$$

(korjaustermi johtuu laskentakorkeuksien erosta)

**Lähde: Opasnet.fi 2017**

## Liite 2. Melulle altistuneet julkisivun korkeimman äänitason mukaan laskettuina

**Taulukko 11. Vuorokautiselle ( $L_{den}$ ) ja yöajan ( $L_n$ ) tie- ja raideliikennemelulle altistuvat eri meluluokissa Kuopiossa**

Äänitaso (dB)	Tie ( $L_{den}$ )	Raide ( $L_{den}$ )	Tie ( $L_n$ )	Raide ( $L_n$ )
40 – 45	6 900	15 370	20 290	9 450
45 – 50	14 390	10 220	21 680	3 240
50 – 55	20 680	5 260	22 080	2 010
55 – 60	21 230	1 360	10 550	240
60 – 65	19 670	590	3 480	20
65 – 70	9 250	30	30	0
70 – 75	2 560	0	0	0
yli 75	10	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>94 690</b>	<b>32 830</b>	<b>78 110</b>	<b>14 960</b>

**Taulukko 12. Vuorokautiselle ( $L_{den}$ ) ja yöajan ( $L_n$ ) tie- ja raideliikennemelulle altistuvat eri meluluokissa Jyväskylässä**

Äänitaso (dB)	Tie ( $L_{den}$ )	Raide ( $L_{den}$ )	Tie ( $L_n$ )	Raide ( $L_n$ )
40 – 45	16 120	19 160	29 100	13 330
45 – 50	22 650	14 640	28 070	6 970
50 – 55	30 070	8 550	17 670	2 820
55 – 60	24 130	3 990	11 500	1 610
60 – 65	15 270	1 230	3 700	290
65 – 70	11 180	1 100	30	0
70 – 75	1 060	100	0	0
yli 75	10	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>120 490</b>	<b>48 770</b>	<b>90 070</b>	<b>25 020</b>



### Liite 3. Julkisivulle korkeimman äänitason mukaan arvioidut terveysvaikutukset ja epävarmuudet

**Taulukko 13. Tie- raideliikennemelun aiheuttamista terveyshaitoista vuosittain kärsivien määrät ja osuudet vuosittain**

Kuopio	Tiemelu	Väestö- osuus (%)	Raidemelu	Väestö- osuus (%)	Kuoleman- tapaukset	Väestö- osuus (%)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	8 330	7	290	0,2		
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	4 300	4	250	0,2		
Sydäninfarktitaipaukset	3	0	0	0	1	<0,01
<b>Jyväskylä</b>						
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	8 650	6	650	0,5		
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	4 580	3	490	0,4		
Sydäninfarktitaipaukset	3	0	0	0	1	<0,01

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaiisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta

**Taulukko 14. Tie- ja raideliikenteen melusta johtuvien suuresti unihäiriöisten osuuden arvioinnissa esiintyvä epävarmuus mahdollisesti eristävämmästä rakennuskannasta<sup>1</sup> sekä unihäiriöiden mahdollisesta alhaisemmasta terveysvaikutusten esiintymistasosta<sup>2</sup> johtuen**

Terveysvaikutukset	Tiemelu	Väestöosuus (%)	Raidemelu	Väestöosuus (%)
Suuresti unihäiriöiset <sup>3</sup> Kuopiossa	2 420–4 520	2–4	60–310	0,0-0,3
Suuresti unihäiriöiset <sup>3</sup> Jyväskylässä	2 350–4 890	2–4	160–570	0,1-0,4

<sup>1</sup> arvioitu tasolla 52 dB L<sub>n</sub>, alempi vaihteluvälin raja

<sup>2</sup> arvioitu tasolla 32 dB L<sub>n</sub>, ylempi vaihteluvälin raja;

<sup>3</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaiisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>4</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta

#### Liite 4. Liikennemelun terveyshaittojen määrät arvioituina melutasoittain

**Taulukko 15. Tie- ja raideliikenteen melusta suuresti kiusaantuneiden asukkaiden arvioidut määrät Kuopiossa desibelitasoittain kahdella meluallistustasolla laskettuna<sup>1</sup>**

Äänitaso (dB)	Julkisivun korkein äänitaso (Lden)		CNOSSOS-EU-malli (Lden)	
	Tiemelu	Raidemelu	Tiemelu	Raidemelu
40–45	30	20	60	20
45–50	370	80	560	50
50–55	1020	90	1160	40
55–60	1730	50	1440	20
60–65	2550	40	1380	20
65–70	1860	0	710	0
70–75	780	0	120	0
>75	0	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>8340</b>	<b>280</b>	<b>5430</b>	<b>150</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita

**Taulukko 16. Tie- ja raideliikenteen melusta suuresti kiusaantuneiden asukkaiden arvioidut määrät Jyväskylässä desibelitasoittain kahdella meluallistustasolla laskettuna<sup>1</sup>**

Äänitaso (dB)	Julkisivun korkein äänitaso (Lden)		CNOSSOS-EU-malli (Lden)	
	Tiemelu	Raidemelu	Tiemelu	Raidemelu
40–45	70	30	110	20
45–50	580	120	750	80
50–55	1480	150	1310	100
55–60	1970	140	1410	80
60–65	1980	80	1150	50
65–70	2240	120	830	50
70–75	320	20	100	10
>75	0	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>8640</b>	<b>660</b>	<b>5660</b>	<b>390</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita

**Taulukko 17. Tie- ja raideliikenteen melusta suuresti unihäiriöisten asukkaiden arvioidut määrät Kuopiossa desibelitasoittain kahdella meluallistumallilla laskettuna<sup>1</sup>**

Äänitaso (dB)	Julkisivun korkein äänitaso (Ln)		CNOSSOS-EU-malli (Ln)	
	Tiemelu	Raidemelu	Tiemelu	Raidemelu
40–45	400	100	470	60
45–50	970	80	870	40
50–55	1470	70	830	30
55–60	1010	10	430	10
60–65	460	0	90	0
65–70	10	0	0	0
70–75	0	0	0	0
>75	0	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>4320</b>	<b>260</b>	<b>2690</b>	<b>140</b>

<sup>1</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta

**Taulukko 18. Tie- ja raideliikenteen melusta suuresti unihäiriöisten asukkaiden arvioidut määrät Jyväskylässä desibelitasoittain kahdella meluallistumallilla laskettuna<sup>1</sup>**

Äänitaso (dB)	Julkisivun korkein äänitaso (Ln)		CNOSSOS-EU-malli (Ln)	
	Tiemelu	Raidemelu	Tiemelu	Raidemelu
40–45	570	140	560	90
45–50	1250	160	930	110
50–55	1170	90	750	60
55–60	1100	80	480	30
60–65	490	20	120	10
65–70	10	0	10	0
70–75	0	0	0	0
>75	0	0	0	0
<b>Yht.</b>	<b>4590</b>	<b>490</b>	<b>2850</b>	<b>300</b>

<sup>1</sup> Unen häiriintyminen sisältää sen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta

**Taulukko 19. Tie- ja raideliikennemelun aiheuttamien sydäninfarktitapausten ja -kuolleisuuden arvioidut tapausmäärät desibelitasoittain Kuopiossa kahdella meluallistussmallilla laskettuna**

Äänitaso (dB)	Julkisivun korkein äänitaso (Lden)				CNOSSOS-EU-malli (Lden)			
	Infarktit tiemelu	Kuolemaan johtaneet tiemelu	Infarktit raidemelu	Kuolemaan johtaneet raidemelu	Infarktit tiemelu	Kuolemaan johtaneet tiemelu	Infarktit raidemelu	Kuolemaan johtaneet raidemelu
60–65	0,7	0,3	<0,1	0,0	0,4	0,1	<0,1	0,0
65–70	1,5	0,5	<0,1	0,0	0,6	0,2	<0,1	0,0
70–75	1,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
>75	<0,1	<0,1	0,0	0,0	<0,1	<0,1	0,0	0,0
<b>Yht.</b>	<b>3,2</b>	<b>1,2</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,0</b>

**Taulukko 20. Tie- ja raideliikennemelun aiheuttamien sydäninfarktitapausten ja -kuolleisuuden arvioidut tapausmäärät desibelitasoittain Jyväskylässä kahdella meluallistussmallilla laskettuna**

Äänitaso (dB)	Julkisivun korkein äänitaso (Lden)				CNOSSOS-EU-malli (Lden)			
	Infarktit tiemelu	Kuolemaan johtaneet tiemelu	Infarktit raidemelu	Kuolemaan johtaneet raidemelu	Infarktit tiemelu	Kuolemaan johtaneet tiemelu	Infarktit raidemelu	Kuolemaan johtaneet raidemelu
60–65	0,5	0,2	0,2	0,0	0,3	0,1	<0,1	0,0
65–70	1,8	0,7	0,7	0,0	0,7	0,2	0,1	0,0
70–75	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	<0,1	0,0
>75	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,0
<b>Yht.</b>	<b>2,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>

## Liite 5. Tie- ja rautatieliikenteen melusta johtuva tautitaakka Kuopiossa ja Jyväskylässä

### Laskentamenetelmät

Terveysvaikutukset arvioitiin käytettiin tautitaakka-menetelmää, jonka yksikkönä on DALY/vuosi (disability-adjusted-life-year). Tautitaakka yhdistää sairauden kanssa eletyn ajan (YLD) ja sairauden aiheuttaman enneaikaisen kuoleman takia menetetyn elinajan (YLL) kuten kaavassa 7:

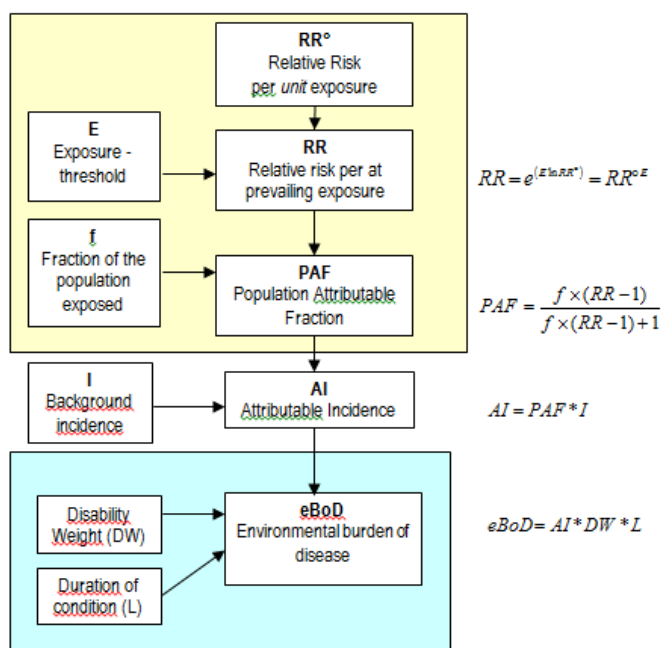
$$DALY = YLD + YLL \quad (7)$$

YLD lasketaan kertomalla altisteen vuosittain aiheuttamien tautikohtaisten uusien tapausten määrä (eli ositettu tapausmäärä (attributable incidence, AI) sairauden kestolla (L, vuotta) ja sairauden haittapainokerrotoimella (disability weight, DW). YLL lasketaan keskimääräisen elinajanodotteen ja sairauskohtaisen keskimääräisen kuolin iän avulla.

Ympäristötautitaakan (eBoD) laskemiseksi tarvitaan tietoa väestön altistustasoista (E and f), sairauksien altistusvastefunktiosta (RR<sub>0</sub> and RR) sekä sairauksien vuosittaisista tapausmääristä (I) (kuva 2) (Hänninen & Knol 2011, Asikainen ym. 2014).

EU: oletama DW (disability weight) melun aiheuttamille unihäiriöille on 0.04-0.10 (WHO 2011). Tässä terveysvaikutusten arvioinnissa on käytetty vakavasti unihäiriöisten arvioinnissa keskimääräistä arvoa 0.07. Vakastasi kiusaantuneiden arvioinnissa on käytetty haittapainokerrointa (DW) 0.02, mikä on myös EU:n ympäristökeskuksen (EEA 2010) käyttämä kerroin. Unihäiriöiden ja kiusaantuneisuuden on arvioitu kestävän vuoden ympäri ja olevan jokapäiväistä (365 pv).

Sydäninfarktien terveysvaikutusten on arvioitu kestävän keskimäärin 28 päivää. Ensimmäistä kahta päivää on suuremman riskin vuoksi painotettu suuremmalla haittapainokerrotoimella (DW 0.432) ja seuraavia päiviä (3-28) pienemmällä (DW 0.074) Perkin ym. (2007) mukaan. Keskimäärin akuutille sydäninfarktille käytetään yleensä haittapainokerrointa 0.405 ja iskeemisille sydänsairauksille kerrointa 0.350 (WHO 2011 & EEA 2010). Arvioissa ei ole huomioitu rakennuskannan vaikutusta terveyshaittoille altistuneiden arvioinnissa, kuten esimerkiksi Pesonen (2014) ehdottaa.



Kuva 2. Ympäristön tautitaakan arviointikaavio (Hänninen & Knol 2011).

## Tautitaakan arvioinnin tulokset

Taulukko 21. Tautitaakka (DALY:t) Kuopiossa CNOSSOS-EU-melualtistusmallilla laskettuna

Tautitaakka tieliikenne	Haittaa kärsivien määrä	Kesto/vuosi	Haitta-painokerroin	Menetetty elinikä	Kuolin-tapaukset	DALY:t (tapaus-ta)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	5 420	1,00	0,02			108
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	2 690	1,00	0,07			188
Sydäninfarktitapaukset	1,10	0,02	<sup>3</sup>	14,7	0,40	6
<b>Yht.</b>						<b>302</b>
Tautitaakka raideliikenne						
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	151	1,00	0,02			3
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	128	1,00	0,07			9
Sydäninfarktitapaukset	0,01	0,02	<sup>3</sup>	14,7	0,00	0
<b>Yht.</b>						<b>12</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta;

<sup>3</sup> haittapainokerroin 1-2pv 0,432 ja 3-28pv 0,074.

Taulukko 22. Tautitaakka (DALY:t) Jyväskylässä CNOSSOS-EU-melualtistusmallilla laskettuna

Tautitaakka tieliikenne	Haittaa kärsivien määrä	Kesto/vuosi	Haitta-painokerroin	Menetetty elinikä	Kuolin-tapaukset	DALY:t (tapaus-ta)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	5 660	1	0,02			113
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	2 840	1	0,07			199
Sydäninfarktitapaukset	1,10	0,02	<sup>3</sup>	14,7	0,40	6
<b>Yht.</b>						<b>318</b>
Tautitaakka raideliikenne						
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	386	1	0,02			8
Suuresti unihäiriöiset <sup>2</sup>	295	1	0,07			21
Sydäninfarktitapaukset	0,11	0,02	<sup>3</sup>	14,7	0,00	0
<b>Yht.</b>						<b>28</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epämukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta;

<sup>3</sup> haittapainokerroin 1-2pv 0,432 ja 3-28pv 0,074.

**Taulukko 23. Tautitaakka (DALY:t) Kuopiossa rakennusten julkisivulle kohdistuvan suurimman äänenpainetasen mukaan laskettuna**

Tautitaakka tieliikenne	Haittaa kärsivien määrä	Kesto/vuosi	Haittapainokerroin	Menetetty elinikä	Kuolintapaukset	DALY:t (tapausta)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	8 3330	1	0,02			167
Suuresti inihäiriöiset <sup>2</sup>	4 300	1	0,07			301
Sydäninfarktitapaukset	3,15	0,02	<sup>3</sup>	14,7	1,15	17
<b>Yht.</b>						<b>485</b>
Tautitaakka raideliikenne						
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	285	1	0,02			6
Suuresti inihäiriöiset <sup>2</sup>	253	1	0,07			18
Sydäninfarktitapaukset	0,03	0,02	<sup>3</sup>	14,7	0,00	0
<b>Yht.</b>						<b>23</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epä mukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta;

<sup>3</sup> haittapainokerroin 1-2pv 0,432 ja 3-28pv 0,074.

**Taulukko 24. Tautitaakka (DALY:t) Jyväskylässä rakennusten julkisivulle kohdistuvan suurimman äänenpainetasen mukaan laskettuna**

Tautitaakka tieliikenne	Haittaa kärsivien määrä	Kesto/vuosi	Haittapainokerroin	Menetetty elinikä	Kuolintapaukset	DALY:t (tapausta)
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	8 650	1	0,02			173
Suuresti inihäiriöiset <sup>2</sup>	4 580	1	0,07			321
Sydäninfarktitapaukset	2,73	0,02	<sup>3</sup>	14,7	1,01	15
<b>Yht.</b>						<b>508</b>
Tautitaakka raideliikenne						
Suuresti kiusaantuneet <sup>1</sup>	654	1	0,02			13
Suuresti inihäiriöiset <sup>2</sup>	489	1	0,07			34
Sydäninfarktitapaukset	0	0,02	<sup>3</sup>	14,7	0,00	0
<b>Yht.</b>						<b>47</b>

<sup>1</sup> Kiusaantuneisuus on melun koettu vaikutus, johon liittyy epä mukavuuden, vihaisuuden, masennuksen ja avuttomuuden tunteita;

<sup>2</sup> Unen häiriintyminen sisältää unen laadun heikkenemistä, heräilyä, unijaksojen lyhentymistä, unirytmien muutoksia, vireystilan nousua ja yöaikaisen liikkumisen lisääntymistä ja unettomuutta;

<sup>3</sup> haittapainokerroin 1-2pv 0,432 ja 3-28pv 0,074.