Melun häiritsevyys teollisuudessa ja häiritsevyyden hallinta

Esa Nousiainen, Rauno Pääkkönen, Riku Tanila, Saana Romula
A-Insinöörit Suunnittelu Oy, Puutarhakatu 10, Tampere

Tiivistelmä

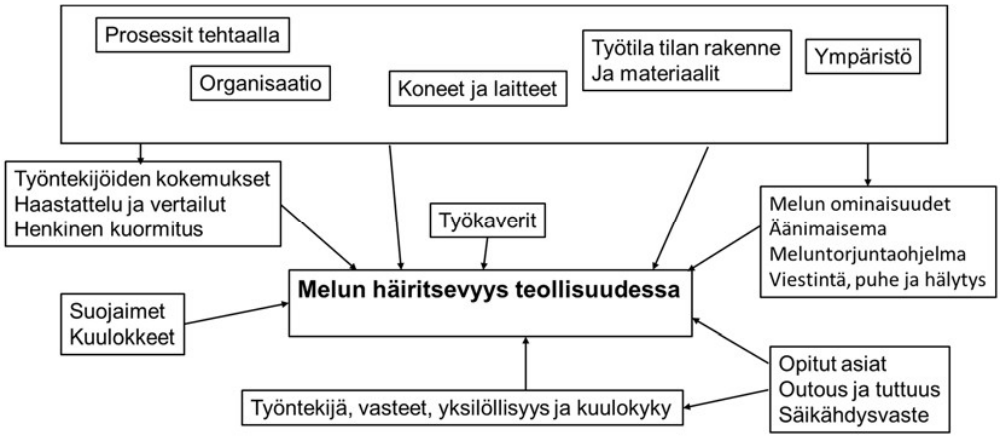
Tutkimushankkeen ”Työn äänet” tavoitteena on ymmärtää teollisuusmelun häiritsevyyttä työntekijöiden näkökulmasta ja kehittää menetelmiä sen arviointiin ja hallintaan. Hankkeen päärahoittaja on Työsuojelurahasto. Häiritsevyys ei aina liity kuulovaurioriskiin, vaan voi ilmetä viestinnän vaikeutena, työtehon laskuna tai psyykkisenä kuormituksena. Tutkimuksen keskeiset havainnot olivat: häiritsevyys on yksilöllistä ja siihen vaikuttavat mm. melun ennakoitavuus, taajuus, lähde ja kuulokyky. Impulssimainen ja vaihteleva melu koetaan häiritsevämmäksi kuin tasainen taustamelu. Muiden aiheuttama melu häiritsee enemmän kuin oma työmelu.

1. Melun häiritsevyys

Teollisuuden melun tutkimus ja meluntorjunnan suunnittelu on perinteisesti ja oikeutetusti keskittynyt terveydelle eli kuulolle vaaraa aiheuttavan melun torjuntaan ja vaimentamiseen. (asetus 85/2006). Ympäristönsuojelulaki ja terveydensuojelulaki käyttävät yläkäsitteenä sanaa terveyshaitta, joka määritellään ihmisessä todettavana sairautena, muuna terveydenhäiriönä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymisenä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä. Maailman terveysjärjestön, WHO, määritelmän mukaan: ”Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity” [1]. Terveys on voimavara, jonka avulla myös monet muut hyvinvoinnin osatekijät ja hyvä elämä ylipäänsä voivat toteutua [2].

Melun häiritsevyys (annoyance = riesa, yhden sanakirjan mukaan) on Suomessakin vakiintunut käsite, mutta sitä ei usein tarkemmin määritellä. Merriam-Websterin sanakirjan mukaan häiritsevyys on vähäinen ahdistus ja tunne siitä, että on häiriintynyt tai jotakin, mikä aiheuttaa vähäisen ahdistuksen tai ärsytyksen tunteen. On myös käytetty sanaa kiusallisuus (nuisance), joka edellä mainitun sanakirjan mukaan tarkoittaa asiaa, joka häiritsee tai aiheuttaa huolta. Edelleen käytetään sanaa häiriö (disturbance), joka em. sanakirjan mukaan estää toimimasta tai nukkumasta. Pedersenin (2011) tulkinnan mukaan melun häiritsevyyden kokeminen on WHO:n määritelmän valossa haittavaikutus, jota tulisi välttää hyvinvoinnin ylläpitämiseksi [3]. Häiritsevyyttä voidaan myös tarkastella mitattavissa olevana indikaattorina kasvavalle terveysriskille, koska korkeilla ympäristömelutasoilla (yli 56 dB LAeq,24h) on havaittu olevan yhteys esimerkiksi verenpainetautiin [4].

Erityisesti kapeakaistaista, impulssimaista ja ajassa vaihtelevaa melua on pidetty muuta melua häiritsevämpänä ja tähän liittyen mittauksissa ja tulosten tarkasteluissa on sovellettu erityisiä lisätekijöitä [5]. Yksi merkittävä ulottuvuus häiritsevän melun osalta on, että nykyään työpaikoilla on monenlaista viestintää, mitä muu melu häiritsee. Häiritsevyyden kokeminen on yksilöllistä ja ihmisten väliset reaktiot eroavat. Myös yksilöllinen kuulokyky vaihtelee ihmisten välillä. Kuva 1 havainnollistaa tätä viitekehystä.



Kuva 1. Melun häiritsevyyteen vaikuttavia asioita teollisuudessa.

2. Teollisuusmelun häiritsevyydestä

Teollisuusmelun häiritsevyyttä on nostettu muutaman viime vuoden aikana tutkimuksen kohteeksi Työsuojelurahaston TSR tuella [6]. Vuosina 2021…2023 tehdyssä Työpaikkojen ääniympäristön ratkaisukeskeinen kehittäminen-hankkeessa selvitettiin keinoja meluntorjunnan käytännön toteuttamiseksi tehokkaasti, ja sosiologian tutkimuskeinoin meluntorjunnan esteitä ja työpaikan organisaation ja kulttuurin tekijöitä, jotka vaikuttavat meluntorjunnan onnistumiseen. Haastattelututkimuksen kiinnostavia tuloksia olivat teollisuusmelun häiritsevyyteen liittyvät luonnehdinnat:

- muiden aiheuttama melu häiritsee enemmän kuin omasta työstä johtuva melu
- ennakoimaton hetkittäinen melu häiritsee enemmän kuin jatkuva tasainen
- jos työntekijän kuulo on jo alentunut, alempikin taustamelun taso häiritsee pahasti puheviestintää ja varoitussignaalien kuulumista
- tehokas henkilösuojaus kuulosuojaimilla yhdistettynä työpaikan meluun häiritsee puhetta ja viestintää
- melu häiritsee työtehtävän suorittamista: laaduntarkkailu kuuloaistin perusteella on epävarmaa taustamelussa

Häiritsevyydellä on kaksi tasoa: melu häiritsee paitsi työntekijää, myös työn tekemistä.

Edellisen Työsuojelurahaston hankkeen jatkohankkeena tehtävää tutkimushanketta ”Työntekijöiden työhyvinvointi ja osaamisen kehittyminen teollisuuden äänimaisemissa-työn äänet” [7] rahoittavat Työsuojelurahasto päärahoittajana ja tutkimusyritykset AGCO Power, Promeco, Teollisuuden Voima TVO, Ruukki Construction ja Nokian Renkaat. Hankkeessa selvitetään sellaisen melun mikä koetaan häiritsevänä mutta ei ole vielä lainsäädännön tarkoittamalla tavalla terveydelle vaarallista, tai tasoltaan yli 85 dB(A), vaikutuksia ja tehokasta meluntorjuntaa.

3. Työssä käytetyt menetelmät

Teollisuuden melua arvioidaan tavallisesti mitattavilla fysikaalis-akustisilla suureilla: jälkikaiunta-aika leviämisvaimennus, melutaso. Käytetään tarkkuusäänitasomittaria ja äänilähteenä kaiutinta tai kaasuasetta. Samoin arvioidaan äänilähteiden melupäästö ja melun leviäminen erilaisissa tiloissa ja ympäristöissä. Tilojen akustisia ominaisuuksia selvitetään arvioimalla ja laskemalla. Työntekijöiden melulle altistumista mitataan erilaisilla meluannosmittareilla

Häiritsevyyden arvioimisessa perusmittaukset eivät riitä, vaan tarvitaan haastatteluja, havainnointeja, merkityksellisyyden arviointeja sekä työntekijöiden kokemuksista nousevia arviointeja. Esimerkiksi ihmisäänestä kuulija päättelee välittömästä paljon asioita sanojan mielentilasta tai tarkoitusperistä. Näitä varten ollaan kehittämässä hankkeen yhteydessä teollisen äänimaisemakävelyn menetelmää.

4. Melun häiritsevyyden vähentäminen kaiuntaa alentamalla

Aiemmassa kirjallisuudessa on selvitetty mm. kuinka tarkasti ihminen kuulee musiikkiäänten ja erilaisten testisignaalien kaiunnan pituuden [8]. Vaikuttaa, että kaiunta-ajan pituuden arviointi on vaikeaa eikä tutkimuksissa ole saatu kovin selvää tulosta. Selkeämpi havainto oli, että havaintotarkkuus riippuu soitettavan testiäänen laadusta. Kaiunta-ajan muutoksen havaitsemisesta emme löytäneet tutkimusta.

Kokemuksen perusteella arvioimme, että noin 1/3-suuruisen kaiunta-ajan muutoksen ihminen voi havaita. Tätä kokemusperäistä sääntöä on käytetty seuraavassa esitettävissä suunnitteluesimerkeissä. Kohteiden mittaustuloksia ja laskentaa on esitelty Tanilan Rakennusfysiikka 2025-esitelmässä [9] ja diplomityössä [10].

Onnistunut esimerkki rakennustyötilan melun häiritsevyyden vähentämisestä on Tredun Siltakampuksen Rakennusalan opetustilan meluntorjuntaohjelman laatiminen. Uudet tilat olivat standardin SFS 5907 vaatimuksen mukaiset, mutta aiempaan opetustilaan verrattuna tilavuudeltaan isommat ja kaikuisammat. Tilan kaiuntaa alennettiin huolellisella huonevaimennuksen suunnittelulla ja toteutuksella, ja puheen erottuvuutta edellyttävältä osin parannettiin sopivalla osastoinnilla. Myös kaiunnan alentaminen paransi puheen erottuvuutta.

Käyttäjän palaute korjauksen jälkeen oli ”*raksan osalta toimenpiteet ovat hyvin parantaneet lähtötilannetta. Jopa niin hyvin, että muuraushallin pölyimurille ei tarvitse tehdä enää mitään melunhallintatoimenpiteitä”.*

Mittaustuloksena jälkikaiunta-aika pieneni merkittävästi (Taulukko 1). Mittaustuloksen perusteella sädeseurantaohjelmisto ennustaa katosta ripustettavien melusieppojen vaimennuksen hyvin, ja siepot toimivat tilan kaiuntaa vähentäessä hyvin.

Taulukko 1. Mitattu jälkikaiunta-aika työhallissa ennen ja jälkeen korjauksen.

Taajuus [Hz]	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
T60 [s] ennen	1,3	1,2	1,4	1,4	1,1
T60 [s] suunniteltu	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8
T60 [s] jälkeen	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8

4.1 Huonevaimennuksen vaikutus vaihtelevaan meluun

Häiritseväksi koetun muiden tekemän työn melun, joka vielä voimakkaasti vaihtelee ajassa vaimentamisesta on esimerkkinä TSR:n aiemmassa hankkeessa tehty JTK Power Oy:n Vöyrin hitsauskonepajan kokoonpanohallin vaimentaminen [6]. Koettiin muiden työntekijöiden työstä aiheutuva melu häiritseväksi, hiomakoneiden, moukaroinnin ja vanhan ilmanvaihtokoneen melu häiritsee. Suuri hallitila on kaikuisa (Taulukot 2 ja 3).

Taulukko 2. Jälkikaiunta-ajan muutos korjaussuunnitelman toteutuksen jälkeen.

Taajuus [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T60 [s] ennen	3,9	3,0	3,1	3,0	1,9	1,4
T60 [s] suunnitteluarvo	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
T60 [s] jälkeen	1.9	2.1	2.1	2.1	1.9	1.4

Taulukko 3. Mitattu meluannos ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteiden toteuttamisen.

$L_{pAeq\ 8h}$ [dB]	ennen	jälkeen
hitsari	88	94
plasma	86	88
taivutus	88	95
hitsaus, vaimennin	88	93
ison puolen hitsaus	103	97
logaritminen keskiarvo	96,5	94,3

Korjauksen jälkeen tuotantopäällikkö sanoi: ”*tila tuntuu hiljaisemmalta, siellä voi puhua puhelimeen ja tuotannon ollessa käynnissä voi poiketa työhuoneesta ilman kuulosuojaimia*”.

Mutta mitatut meluannokset tuotannoltaan periaatteessa samanlaisina päivinä eivät tässä mittauksessa osoita tilanvaimennuksen parantamisella olevan käytännössä vaikutusta. Tämä johtuu hitsauskokoonpanotyön hyvin vaihtelevasta melun tuotosta: kulmahiomakoneen käyttö, vasaralla osien sovittaminen ja pakottaminen vaihtelevat paljon. Melu on myös aiemman tutkimuksen kuvaamaa vaihtelevaa ja ajallisesti ennakoimatonta ja siis häiritsevää. Tässä siis perinteiset melun mittausmenetelmät eivät kuvaa vaikutuksia työntekijöiden näkökulmasta.

4.2 Huonevaimennuksen vaikutus tasaiseen meluun

Hyvin onnistunut esimerkki sädeseurantaohjelmiston (Odeon) teollisesta sovellutuksesta on kattilalaitoksen monimutkaisen sisätilavuuden melutason alentamisen suunnittelu sädeseurantaohjelmistolla. Kattilalaitos toimiessaan ”tehoajolla” on tasaisen melutason kohde, melun lähtötaso ei vaihtele ennen / jälkeen vaimennusmateriaalin asennuksen tilanteessa. Äänilähteitä ovat esimerkiksi polttokattilan palamisilmanvaihdon puhaltimet, pumput ja kompressorit ja höyrylinjojen venttiilit.

Sädeseurantaohjelmistolla Odeon ennustettiin monimutkaisessa laitoksen sisätilavuudessa 2…5 dB(A) alenema, enemmän lähellä seinää ja vähemmän keskellä tilavuutta. Tilaan suunniteltiin asennettavan noin 600 m^2 vaimennusmateriaalia. Meluannosmittareilla ja näytemittauksilla äänitasomittarilla todettiin huonevaimennuksen olevan vastaavissa pisteissä 3…6 dB(A). Sädeseurantaohjelmisto huolellisesti ja oikein käytettynä toimii oikein hyvin teollisuusmelun vaimentamisen suunnitteluun.

5. Leviämisvaimennuksen merkitys

Muiden työntekijöiden aiheuttaman melun tehokas vaimentaminen edellyttää kaiunnan ja melutason alentamisen lisäksi melun leviämisen estämistä. Jos huonevaimennus on korkea, on tilan jakaminen erilaisilla akustisilla verhoilla, meluesteillä ja tilan jakavia varastohyllyjä

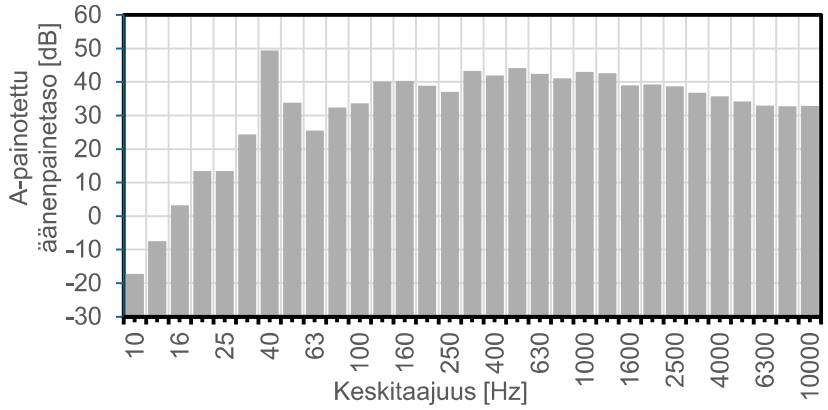
hyödyntämällä tehokas keino parantaa leviämisvaimennusta. Työsuojelurahaston hankkeen nro. 240052 puitteissa tutkimusyrityksissä ja A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n asiakasyrityksissä osana suunnittelutyötä on selvitetty teollisten tilojen leviämisvaimennus mittaamalla (Taulukko 4). Signaalilähteenä on käytetty kaasuasetta kal. 9 mm jonka tuottaman äänisignaalin maksimipainetaso on n. 115 dB(A) 10 m etäisyydellä. [9, 10]

Taulukko 4. Mitatut leviämisvaimennuksen D2 arvot eri halleissa ja luonnehdinta akustisesta ympäristöstä. [9]

D2 [dB]	Jälkikaiunta-aika T60 125…8000 Hz [s]	tilavuus [m^3]	luonnehdinta
6…8	0,8	56X32X6	pituuteen ja leveyteen suhteessa matala halli, vaimean kuuloinen
4…5	1,2…0,7 s	42X15X8	sähkökokoonpano-halli, lämmöneriste katossa
3	1,4…2,0	45X21X8	tavanomainen kokoonpanotila, hitsausverhot jakavat tilaa
4	6,4…2,0	105X35X8	betoni- ja PVP-rakenteinen halli, kaikuisa

6. Pienitaajuisen ja kapeakaistaisen melun häiritsevyys

Häiritsevän melun erikoistapauksena on noussut varavoimakoneen pakoputken aiheuttamana toimistossa kuuluva melu. Tutkimuksen tapauksessa melu on 37,5 Hz taajuudella ja kuuluu viereisessä avotoimistossa hyvin. Pienitaajuinen komponentti on sen verran voimakas, että se jo yksin määrää A-painotetun melutason voimakkuuden.



Kuva 2. Pienitaajuinen häiritseväksi koettu varavoimakoneen pakoputken melu A-painotettuna, mittaus toimistossa.

Melun häiritsevyyteen toimistotyön kannalta saadaan tietoa syksyn aikana tehtävän äänimaisemakävelyn ja tulosten analyysin jälkeen. Samoin saadaan tieto vaimennusratkaisuna suunnitellun tarkkuusäänenvaimentimen toimivuudesta.

7. Pohdinta

Tällä hetkellä näyttää siltä, että perinteisillä melun mittaus- ja arviointimenetelmillä saadaan varsin rajatusti arvioitua melun häiritsevyyttä. Tämän takia tutkimushankkeessa tehdään äänikävelyitä moniammatillisesti sekä haastatellaan alueiden työntekijöitä. Näiden tulosten avulla rakennetaan melun häiritsevyyden arviointimenetelmä. Yksi liittymäpinta on oppiminen äänimaisematutkimuksista, joita on selvitelty palvelualoilla ja musiikkituotannossa [11…14].

Yksi tutkimuksessa esiin noussut kysymys on äänimaisema kuulonsuojaimissa ja kuulonsuojainten käyttö häiritsevässä melussa. Kuulonsuojaimet on tarkoitettu suojaamaan kuulovaurioilta, mutta ne ovat nopeasti laajentuneet turvaamaan viestintää, musiikin ja muun puheen kuuntelulaitteiksi sekä välittämään johtamiskäytäntöjä kuulijalleen. Kuulonsuojaimen äänimaisema kaipaa lisäpohdintaa. Alustavat tulokset ovat ristiriitaisia, joissakin oloissa suojaimista on hyötyä, joissakin oloissa ne haittaavat työtä.

8. Johtopäätökset ja yhteenvetoa

Hankkeesta saadaan uutta tietoa melun häiritsevyydestä teollisuusympäristössä sekä haetaan melun häiritsevyyden vähentämisen mahdollisuuksia. Alustavien selvitysten perusteella voidaan todeta, että perinteisiä melun arviointimenetelmiä käyttämällä kohdataan haasteita, kun arvioidaan melun häiritsevyyttä. Edellisessä meluhankkeessa kehitimme meluntorjuntaohjelman, mikä on tavanomaista laaja-alaisempi ja se pystyy osittain vastaamaan tämänkin hankkeen haasteisiin, mutta häiritsevyyden arviointimenetelmä on tarpeen.

Lähdeluettelo

[1] WHO: Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948. Määritelmä on edelleen voimassa.

[2] Terveyden määritelmä: https://thl.fi/aiheet/hyvinvoinnin-ja-terveyden-edistamisen-johtaminen/hyvinvointijohtaminen/hyvinvointi-ja-terveyserot/keskeisia-kasitteita

[3] Pedersen E: Health aspects associated with wind turbine noise—Results from three field studies. Noise Control Eng. J. 59 (1), Jan-Feb 2011, 47-53.

[4] Barregard L, Bonde E and Öhrström E: Risk of hypertension from exposure to road traffic noise in a population-based sample", Occup. Environ. Med., 66, (2009), 410–415.

[5] Schewski L, Doss MM, Beldi G, Keller S (2025) Measuring negative emotions and stress through acoustic correlates in speech: A systematic review. PLoS One 20(7): e0328833. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0328833

[6] Nousiainen E., Järvensivu A., Otonkorpi-Lehtoranta K. & Pääkkönen R.: Teollisuuden työpaikkojen ääniympäristön ratkaisukeskeinen kehittäminen. A-Insinöörit ja Humak. Humanistinen ammattikorkeakoulu. Julkaisuja 156. Helsinki 2023, 81 s

[7] https://www.ttl.fi/tutkimus/hankkeet/tyontekijoiden-tyohyvinvointi-ja-osaamisen-kehittyminen-teollisuuden-aanimaisemissa-tyonaanet

[8] Blasinski L, Kocinski J, Perception of reverberation length in rooms with active acoustics enhancement systems, Forum Acusticum 2003 Torino, EAA

[9] Tanila R. Teollisuushallien akustisten parametrien määrittäminen mittaamalla ja mallintamalla, Tampereen yliopisto, 2025.

[10] Tanila R ym. Huonevaimennuksen merkitys teollisuustilan onnistuneen meluntorjunnan perustana, Rakennusfysiikka 2025, Tampere

[11] Lee, Y., Lee, S., & Lee, W. (2023). Occupational and environmental noise exposure and extra-auditory effects on humans: A systematic literature review. GeoHealth, 7, e2023GH000805. https://doi.org/10.1029/2023GH000805

[12] Maris, E. (2008, December 17). The social side of noise annoyance (De sociale kant van geluidhinder). Retrieved from https://hdl.handle.net/1887/13361

[13] Song C, Li H, Ma H, Han T, Wu J. Effects of Noise Type and Noise Sensitivity on Working Memory and Noise Annoyance. Noise Health 2022;24:173-81.

[14] Staffan Hygge, Anders Kjellberg & Ulf Landström: Störande buller i arbetslivet. Kunskapssammanställning. ISSN 1650-3171.