

Katsaus tutkimuksiin tuulivoiman infraäänen haitallisista vaikutuksista terveyteen



Kimmo Suomi, professori emeritus & Pirjo Keronen, tutkimusassistentti

Tutkimuksen tekijät



Professori emeritus Kimmo Suomi tunnetaan liikuntainfran kuten liikunta- ja virkistyspaikkojen tutkijana ja kehittäjänä. Hän oli professori Jyväskylän yliopiston liikunnan yhteiskuntatieteissä vv. 1995-2018. Hän on ollut vuodesta 2002 lähtien terveystieteissä liikuntasuunnittelun, erityisesti hyvinvointia edistävän suunnittelun dosentti Jyväskylän yliopistossa.



Tutkimusassistentti Pirjo Keronen toimii nykyisin kouluttajana ja tulkkina. Aiemmin hän on toiminut assistenttina Saksan valtion ydintutkimuskeskuksessa sekä yrittäjänä kansainvälisissä tehtävissä.

© Kimmo Suomi ja Pirjo Keronen, 2021

ISBN 978-952-94-4455-7

Elektroninen julkaisu:

https://www.dropbox.com/sh/uvhjuzhwrklhltm/AADcm77Noruno7E_Kq9g0x7Ma?dl=0

Etu- ja takakannen kuvat © 3D Consulting Oy

Katsaus tutkimuksiin tuulivoiman infraäänen haitallisista vaikutuksista terveyteen

Kimmo Suomi, professori emeritus & Pirjo Keronen, tutkimusassistentti

Sisällysluettelo

Esipuhe	7
I LUKU	
JOHDANTO	9
1. Aihepiirin määrittely	9
2. Tuulivoimailmiön laajuus ja vaikuttavuus	11
3. Argumentaation ja vallan logiikka	12
4. Läpivaltiollistunut tutkimus	13
5. Esimerkki läpivaltiollistuneesta tuulivoimatutkimuksesta	16
5.1 Postikysely ja puhelinhaastattelut	16
5.2 Pitkäaikaismittaus	16
5.3 Kuuntelukoe	17
5.4 Tutkimusjohtopäätökset	18
6. Katsauksen tarkoitus	18
7. Katsauksen tutkimuskysymykset	19
7.1 Päättämiskysymys	19
7.2 Osatutkimuskysymykset	19
8. Tämän katsauksen ongelmat	19
9. Katsauksen tutkimuskohteen määrittely	19
10. Katsauksen viitekehys	20
11. Katsaukseen valittujen tutkimusten tutkimusmenettely	22

II LUKU

TUULIVOIMAN INFRAÄÄNEN IHMISILLE HAITALLISET VAIKUTUKSET

23

12. Matalien taajuuksien fysiologiset ja psykologiset vaikutukset ihmiseen

23

13. Melua koskeva regulaatio

26

14. Perustutkimuksia infraäänestä

29

14.1. Pienitaajuisen äänen vaikutukset rottiin:

todisteet kromosomaalisista poikkeavuuksista luuydinsoluissa ja pienimolekyylipainoisen DNA:n vapautuminen verioplasmassa

29

14.2. Genotoksisten vaurioiden havaitseminen pienitaajuisesta äänestä ja infraäänestä verioplasmassa

30

14.3. Myrkylliset vaikutukset immuunijärjestelmään

32

14.4. Infraäänen vaikutukset solunsisäisen kalsiumionipitoisuuden muutokseen ja ryanodiinireseptorien ilmentymiseen rotan aivojen hippokampuksessa

35

15. Perustutkimuksia ihmisillä.

Fyysisen alueen tutkimuksia

36

15.1. Infraäänestä aiheutuvat fysiologislääketieteelliset oireet

36

15.2. Korkean tason infraäänen negatiivinen vaikutus ihmisen sydänlihaksen supistumiseen: In vitro -kontrolloitu koe

37

15.3. Tutkimus sodankäynnin alueelta

39

16. Psykkisen alueen tutkimuksia

41

16.1. Kuulokynnyksen lähellä infraäänestä johtuva kortikaalinen ja subkortikaalinen yhteys – funktionaaliseen magneettikuvaukseen (fMRI) perustuvien löydösten mukaan

41

16.2. Laboratoriotutkimus tuuliturbiinimelun vaikutuksista uneen: tuuliturbiinien melu-efekti nukkuessa laajassa unitutkimuksessa

42

16.3. Meluherkkyys aivojen toiminnassa ja rakenteessa

44

17. Infraäänen mittaamiseen liittyviä tutkimuksia

44

17.1. Tuulivoimalan mikroseismisten ja infraäänien melun numeerinen mallintaminen

44

17.2. Tuulivoimaloiden infraääni ja mittausasemat

46

17.3. Infraääni ja sen merkitys kuultavalle äänelle

48

17.4 Tuulivoimaloiden infraäänien vaikutus sen leviämisen perusteella voimaloiden ympäristössä oleskelevien terveyteen Suomessa. Tilastollinen analyysi	49
17.5 Tuuliturbiineista lähtevä pieni-frekvenssinen ääni	51
III LUKU	
HEIKKOJA SIGNAALEJA TUULIVOIMASTA JA INFRAÄÄNESTÄ	53
18. Infraääniemissioiden meluvaikutukset Saksassa	53
19. Infraäänitutkimuksen käytäntöjä etsimässä	55
20. Seitsemäntoista (17 Hz) Hertzin infraäänikoe 700 kuulijalle	56
21. Kriittinen katsaus myytteihin, väärinkäsityksiin ja niiden merkitykseen musiikin havainnointitutkimuksessa	56
22. Onko infraäänitutkimus vain mittausprotokolla?	57
23. Tuulivoima ja ilmavalvonta	58
IV LUKU	
KATSAUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET	61
Suomen kielen aakkosten mukainen aakkosellinen lähdeluettelo	64
LIITE 1. Suomessa käynnissä olevat tuulivoimahankkeet aakkosjärjestyksessä 31.1.2020	67

ESIPUHE

Aikamme keskeinen eetos on ympäristötietoisuus. Kailta edellytetään toimia, jotka ehkäisevät ilmaston lämpötilan nousun enintään 1,5 C asteeseen ja maapallon uusiutumattomien voimavarojen käytön hillintää tai lopettamista.

Suomen ilmastopoliittia pidetään kansainvälisesti kaikkein kunnianhimoisimpana, kun maan nykyinen hallitus on sitoutunut hiilineutraaliin Suomeen vuoteen 2035 mennessä. Se on jo 14 vuoden päässä. Osa maan hallituksesta haluaisi edetä tätäkin nopeammin vuoteen 2030 mennessä. Lähes kaikkien mielestä maan hallituksen ilmastotavoitteen saavuttaminen on kannatettavaa, vaikka se ei aina nojaa tieteelliseen tietoon. Suomessa tuulivoima on suurin yksittäinen uusi infrastruktuuri, jonka terveydellisiä vaikutuksia ei tutkita systemaattisesti, pitkäaikaisesti, suurimmilla tuuliturbiineilla eikä monen muuttujan vaikuttaessa samaan aikaan.

Tämä raportti on lähes sadasta tutkimuksesta tehty katsaus tutkimattomuutta vastaan uusien tutkimusten puolesta. Tuulivoiman rakentaminen Suomessa juoksee alan tutkimuksen edellä, jolloin nyt on viimeinen aika ryhtyä tekemään tutkimusohjelmia ja niiden edellyttämiä yksittäisiä tutkimushankkeita, jotta vielä olisi mahdollisuus reagoida tuulivoiman hallitsemattomaan rakentamiseen ihmisten terveyden kustannuksella.

Katsauksen keskeisin tarkoitus on tuoda esiin tutkimuksia, joissa osoitetaan tuulivoiman infraäänen haitallisuus ihmisten terveydelle. Tämä on otettu

katsauksen kohteeksi, koska Suomessa julkaistuisa tutkimuksissa kerrotaan liian yksipuolisesti tuulivoiman haitattomuudesta.

Kyse ei ole meta-analyysistä tai systemaattisesta kirjallisuuskatsauksesta vaan tieteellistä metodia noudattavasta katsauksesta, johon on otettu mukaan julkaisut, joilla on riittävät kappaleessa 11. *“Katsaukseen valittujen tutkimusten tutkimusmenettely”* ilmenevät edellytykset. Katsaus on laadittu lukijaystävälliseksi siten, että tekstisivujen alalaidassa on lueteltu siinä käytetyt lähteet, joista useimmista on web-linkit alkuperäisiin tutkimuksiin. Tällä pyritään uudistamaan perinteistä viitekäytäntöä siten, että lukija pääsee heti alkuperäisiin tutkimuksiin tarkistamaan lähteiden paikkansapitävyyden suomen, englannin, saksan ja ruotsin kielellä. Parhaiten alkuperäislähteeseen pääsee kopioimalla linkki selaimen osoiteriville.

Katsauksen päätulos on, että **tuulivoiman hallitsematon lisääminen ilman riittävää tutkimustietoa merkitsee suuren riskin ottamista ihmisten terveyden kustannuksella.**

Jyväskylässä 15.2.2021

Kimmo Suomi
professori emeritus

Pirjo Keronen
tutkimusassistentti

JOHDANTO

1. Aihepiirin määrittely

Maailmanlaajuinen ilmaston lämpeneminen on länsimaissa nimetty kansallisissa ja kansainvälissä politiikkakäsityksissä, mutta myös tutkimustoiminnassa erääksi aikakautemme keskeisesti hyvinvointiin vaikuttavaksi tekijäksi.¹ Merkittäväksi syyksi ilmaston lämpötilan nousuun on nimetty globaali fossiilisten polttoainesten² käyttö energian lähteenä.³

Suuri joukko maailman maita sitoutui Pariisin ilmastopöytäkirjassa tavoitteeseen pitää maapallon keskilämpötilan nousu alle kahdessa asteessa verrattuna esiteolliseen aikaan. Sopimuksessa pyritään toimiin, joilla lämpeneminen saataisiin alle 1,5 asteeseen. IPCC eli hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) analysoi tieteellisesti tuotettua tietoa ilmastonmuutoksesta kansallista ja kansainvälistä päätöksentekoa varten. Raportti vastaa

Pariisin ilmastokokouksessa IPCC:lle esitettyyn pyyntöön tarkastella 1,5 asteen tavoitteeseen liittyviä seikkoja.⁴ IPCC julkaisi lokakuussa 2018 *Special Report on Global Warming of 1.5 °C* -erikoisraportin. Raportista on tehty myös lyhennelmä päätöksentekijöille (*Summary for Policymakers*, SPM).⁵

Yleisesti mm. Japanin Kioton ilmastopöytäkirjan asiakirjoissa pidetään ilmaston lämpenemisen hallintaa mahdollisena, jos lämpötilan nousu on alle 1,5 celsiusastetta.⁶ Kioton sopimusta täydentävä Dohan sopimuksen muutosasiakirja täydentää Kioton ilmastopöytäkirjassa sovittua ensimmäistä velvoitekautta.

Suomessa em. kansainvälisten sopimusten on katsottu vaikuttaneen keskeisesti Suomen ilmastopolitiikkaa ohjaaviksi asiakirjoiksi. Kansallista ilmastopolitiikkaa ohjaa tällä hetkellä maan poliittinen hallitusohjelma, jolla pyritään saamaan Suomi maailman ensimmäiseksi hiilineutraaliksi maaksi vuoteen 2035 mennessä seu-

¹ Vaarama, Marja; Moisio, Pasi; Karvonen, Sakari (toim.): Suomalaisten hyvinvointi 2010. Helsinki: Terveystieteiden tutkimuskeskus, 2010. ISBN 978-952-245-365-5.

² Korhola, Eija-Riitta 2014 The Rise and Fall of the Kyoto Protocol – Climate Change as a Political Process <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136507/therisea.pdf?sequence=1> Väitöskirja.

³ Lenzen et al., 2018 The Carbon Print of Global Tourism. *Nature of Climate Change*.

⁴ <https://atmoslehti.fi/teema/ilmasto-lampenee-halyttavalla-vauhdilla/>

⁵ <https://www.ipcc.ch/sr15/>

⁶ <https://ym.fi/kioton-poytakirja>

raavan 14 vuoden aikana.^{7,8} Kioton pöytäkirjaan lisätiin toinen velvoitekausi, joka kattaa vuodet 2013–2020.

Ilmaston lämpenemisen estäminen on globaali kansainvälisten organisaatioiden ja myös tutkimuslaitosten toiminnan kohde. Kansainväliset ja kansalliset johtavat instituutiot ovat alkaneet kiinnittää entistä enemmän huomiota tähän ja toimintavälineeksi on otettu usein kansainvälinen ja kansallinen ilmastopolitiikka, joita määrittävät Yhdistyneiden Kansakuntien em. ilmastopäätökset.

Suomen nykyistä hallitusohjelmaa on sanottu monissa yhteyksissä aikamme kunnianhimoisimmaksi ilmasto-ohjelmaksi, jota toteuttaa koalitionhallitus, jolla on selkeä enemmistö parlamentin jäsenten keskuudessa.

Hallitusohjelman mukaan:

”Hallitus toimii tavalla, jonka seurauksena Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Tämä tehdään nopeuttamalla päästövähennystoimia ja vahvistamalla hiilinielujä.”⁹

Keinoiksi esitetään mm.:

”Ilmastolain ohjausvaikutusta vahvistetaan. Lakia päivitetään siten, että tavoite hiilineutraaliudesta vuoteen 2035 mennessä toteutuu. Ilmastolain vuoden 2050 tavoitetta päivitetään. Lakiin lisätään hiilineutraaliuspolkua vastaavat päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040. Ilmastolakiin otetaan mukaan myös maankäyttösektori sekä hiilinielujen vahvistamista koskeva tavoite.”

Nykyisen hallituksen hallitusohjelman mukaan tuuli-voimalla on keskeinen rooli uuden ilmastopolitiikan toteuttamisessa:

”Tuulivoiman osuutta Suomen energiatuotannosta kasvatetaan. Maatuulivoiman määrän kasvun arvioidaan tapahtuvan markkinaehtoisesti. Merituulivoiman rakentamisen edellytyksiä parannetaan. Poistetaan tuulivoiman rakentamisen hallinnollisia, kaavoitukseen liittyviä ja muita esteitä. Selvitetään ja mahdollisuuksien mukaan toteutetaan keinoja

vähentää tutkista johtuvia rajoituksia tuulivoiman rakentamiselle.”

Vuoden 2019 valtiopäivillä silloinen elinkeinoministeri Katri Kulmuni (Keskustapuolue) vastasi kansanedustaja Kai Mykkäsen (Kokoomus) tekemään kysymykseen aihepiiristä:

”Hallitusohjelman mukaan tuulivoiman rakentamisen hallinnollisia, kaavoitukseen liittyviä ja muita esteitä poistetaan. Lisäksi selvitetään ja mahdollisuuksien mukaan toteutetaan keinoja vähentää tutkista johtuvia rajoituksia tuulivoiman rakentamiselle.”

Puolustusvoimat ovat suhtautuneet vain osittain kielteisesti tuulivoimaloihin, koska sen hallussa oleva tutkimustieto on osoittanut, että tuulivoimalat häiritsevät tutkien toimintaa ja voivat aiheuttaa mm. ilmavoimille, mutta myös muulle ilmailulle ongelmia. Ei siis vain ilmavoimille, vaan myös lentomatkustamiselle, muulle siviili-ilmailulle ja ilmailu-urheilulle.

Maan hallitus ilmoittaa, että se tekee energiaverotuksen kokonaisuudistuksen jo vuoden 2020 budjetitirihessä, jolloin mm. alennetaan merituulivoimaloiden kiinteistövero. Uskotaan, että tällä on vaikutusta siihen, kuinka houkuttelevaksi merituulivoimaloiden investoijat kokevat investointinsa. Kiinteistövero päätetään kuitenkin kunkin kunnan kunnanvaltuuston kokouksissa vuosittain marras-joulukuussa, ennen kuin kunnalle hyväksytään aina seuraavan vuoden tulo- ja menoarvio. Kiinteistövero ei kuitenkaan ole iso asia tuulivoimapolitiikassa.

Politiikkatoimien painotukset ovat lisänneet merkittävästi tuulivoimainvestointeja niin kansainvälisesti kuin kansallisesti, jolloin niihin kiinnitetään huomiota lähes kaikilla elämänoilla. Tällä hetkellä Suomessa on toiminnassa noin 800 tuulivoimalaa nimelliskapasiteetiltaan n. 2 500 MW. Niitä on tullut lisää vuoden 2013 jälkeen yli 600. Maan hallituksen tavoitteena on 1 000 MW:n tuulivoiman vuosittainen lisärakentaminen seuraavien 10–15 vuoden aikana.¹⁰

⁷ <https://ym.fi/fi/hiilineutraalisuomi2035>

⁸ https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/he_366+2014.pdf

⁹ Sanna Marinin hallitusohjelma, tavoite 3.1 [Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi](#) - Valtioneuvosto

¹⁰ Saarinen, Saana 2013 Totuus tuulivoimaloista. Mevidata Oy.

2. Tuulivoimailmiön laajuus ja vaikuttavuus

Vuoden 2019 aikana maahamme rakennettiin 56 uutta tuulivoimalaa. Kaikkiaan Suomessa oli vuoden 2019 lopussa 754 tuulivoimalaa, joiden nimellistuotantoteho oli 2 284 MW (megawatti). Suomen tuulivoimalat tuottivat vuonna 2019 sähköä 5,9 TWh, (terawattituntia) joka kattoi Suomen sähkönkulutuksesta v. 2019 noin seitsemän prosenttia.¹¹ Energiategollisuus julkaisi uusimmat tiedot sähköntuotannosta 4.2.2021.¹² Tuulivoiman tuotanto oli 11,8% sähkön tuotannosta ja 9,6% sähkön kulutuksesta vuonna 2020.

STY:n vuosittain suorittaman tuulivoimahankkeiden kartoituksen mukaan helmikuuhun 2020 mennessä Suomessa oli julkaistu tuulivoimahankkeita noin 18 500 MW:n edestä eli lähes 10-kertainen määrä nykyiseen kapasiteettiin verrattuna, joista merelle suunniteltujen hankkeiden osuus on hieman alta 10 % eli noin 2 700 MW.¹³ 90 % maamme uudesta tuuliteollisuusalueiden kapasiteetista sijoitetaan siis sisämaahan.

Kaikki Suomessa käynnissä olevat tuulivoimahankkeet 31.1.2020 aakkosjärjestyksessä, yhteensä 218 tuuliteollisuusaluetta, on esitetty liitteessä 1.

Suomessa ei ole mitään muuta näin isoa rakennettavaksi aiottujen hankkeiden uutta kokonaisuutta, josta ei ole tehty eikä ole tekeillä tai suunnitelmassa tehdä ilmiön kokonaisvaltaista tutkimusta, selvitystä tai tutkimusohjelmaa. Kyse ei ole pienestä määrästä, vaan hankkeita on paljon ympäri maata.

STY:n mukaan v. 2021 maassamme on 249 hanketta. Kyseessä on myös alueellisia tuuliteollisuustihentymiä esim. Päijänteen rannoilla ja läheisyydessä samanaikaisesti kuusi: Jyväskylässä Korpilahden Salola, Toivakan Haukanmaa, Hartolan Kinkkulanmäki, Luhangan Latamäki ja Sysmän Rekolanvuori.¹⁴

Lisäksi Padasjoella on isot suunnitelmat tuulivoiman toteuttamiseksi.¹⁵

Ilmajoella kuntalaiset kävelivät kaupunginhallituksessa ja kunnanvaltuustossa esittelevien virkamiesten ja johtavien poliitikkojen yli. Päätöksiä varten kuntalaiset keräsivät 1 627 nimeä, mikä on 18 % äänioikeutetuista. Nimiä ei kerätty netissä vaan henkilökohtaisesti. Kunnanhallituksessa ja valtuustossa esitettiin kaavan hylkäämistä ja kuntalaisaloitteen hyväksymistä. Kunnanhallitus esitti äänin 9–1 uuden tuulivoiman vaihekaavan hylkäämistä valtuustolle ja sama toistui valtuustossa, kun äänestystulos oli 32–2 kaavan hylkäämisen puolesta. Samoisissa kokouksissa hyväksyttiin kuntalaisaloite tuulivoiman ja asuntojen väliseksi etäisyydeksi 3 km. Kunnanhallituksessa kuntalaisten aloitetta kannatti 8 kunnanhallituksen jäsentä ja vastusti 2. Valtuustossa luvut kuntalaisaloitteen puolesta olivat 30–5. Evijärvellä on vastaavaksi etäisyydeksi päätetty 4 km.¹⁶

Edellä mainituilla tuuliteollisuusalueilla on arvioitujen tuulivoiman terveyshaittojen lisäksi myös Päijänteen suurimpia selkivesiä tuhoavat maisemavaikutukset. Esim. monen kunnan – Jyväskylä, Muurame, Toivakka, Joutsa – Päijänteen selkien risteyksessä Ristiselällä on Suomen järvivesien syvin kohta noin 100 m syvyydessä jääkauden muovaaman Rappukallion edustalla. Paikka on erittäin suosittu matkailukohde, jolla on suuret matkailu- ja virkistysvaikutukset. Alueen matkailu-, veneily-, kalastus- ja majoitusyrittäjät uskovat Toivakan Haukanmaan tuuliteollisuusalueen toteutuessaan tuhoavan heidän elinkeinonsa. Päijänteen tuulivoimateollisuusalueiden vaikutusalueella asuu, mökkeilee ja vapaa-ajalla asustaa yli 160 000 ihmistä.

Kun toiminnan laajentuminen on näin mittavaa, tulisi tutkimustoiminnalla kerätä lisää tietoa ilmiön laajuudesta, vaikuttavuudesta ja yhteiskunnallisesta merkityksestä.

Maamme entinen sosialidemokraattinen pääministeri Paavo Lipponen vuosina 1995–2003 kirjoitti (12/2013) Suomen Kuvalehdessä:

¹¹ https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa 22.10.2020

¹² https://energia.fi/files/4428/Sahkokuusi_2020_nettti.pdf

¹³ <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/sunnittelussa-olevat-hankkeet> 1.11.2020

¹⁴ [Tuulivoimalat ja tuulivoimahankkeet Suomessa - Suomen Tuulivoimayhdistys](#)

¹⁵ [Padasjoen Sanomat 7.5.2020 - Lehtiluukku.fi](#)

¹⁶ [Blogi I Juhana Lähdesmäki \(juhanalahdesmaki.com\)](#)

*”Jos Keiteleelle, Kolille, Tahkolle, Oulujärven Manan-
saloon, Lapin tuntureille tai vastaaviin paikkoihin an-
netaan pystyttää tuulivoimaloita, on sellainen rais-
kaus liitettävä uutena listaan rikoksista ihmiskuntaa,
erityisesti Suomen kansaa kohtaan... Tuhoutu eivät
vain maisemat, vaan myös elinkeinot, kuten kasvu-
potentiaalia omaava matkailu, jotka elävät herkis-
tä näkymistä.”¹⁷*

Litteen 1. listaus maamme käynnissä olevista tuulivoi-
mahankkeista osoittaa, että Paavo Lipposen pelko on
aiheellinen ja toteutumassa.

Tuulivoiman lisäämistä perustellaan hiilineutraaliu-
den saavuttamisella. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa?
Sitran mukaan:¹⁸

*Tuote, yritys, kunta tai valtio, joka tuottaa vain sen
verran hiilidioksidipäästöjä kuin se pystyy sitomaan
on hiilineutraali. Hiilineutraalin tuotteen hiilijalan-
jälki koko elinkaaren ajalta on nolla.*

Suomessa korostetaan paljon ns. cleantechiä, puhdas-
ta teknologiaa eli tuotteita, palveluita, prosesseja, jotka
edistävät luonnonvarojen kestävää käyttöä ja vähentävät
kielteisiä ympäristövaikutuksia. Se tarjoaa uutta ansain-
talogiikkaa ja innovaatiot lisäävät taloudellista kasvua.
Tällainen näkymä korostaa bisneksen uusia mahdolli-
suuksia ilmastonmuutoksen takia. Tyypillinen esimerk-
ki on Sitran teettämä markkina-analyysi. Sen mukaan:

*...hiilineutraalius luo 6 000 miljardin euron suurui-
set markkinat älykkäille puhtaille ratkaisuille vuoteen
2050 mennessä. Tulevaisuuden kilpailussa pärjäävät
parhaiten sellaiset yritykset, jotka ajoissa suuntaavat
liiketoimintaansa vähähiiliseen suuntaan ja ovat ke-
hityksen eturintamassa. Nopeasti toimiessaan suoma-
laisyrityksillä on mahdollisuus nousta maailman etu-
riviin tarjoamaan entistä kestävämpiä ratkaisuja...¹⁹*

3. Argumentaation ja vallan logiikka

Tieteen sanotaan olevan ainakin muodollisesti poliit-
tisen päätöksenteon käytössä. Tieteen avulla pyritään
perustelemaan poliittisia ohjelmia ja päätöksiä. Usein
ei muisteta riittävästi, että politiikan ja tieteen toimin-
talogiikat ovat erilaiset, vaikka hallituksen hallitusoh-
jelmassakin vannotaan niin tiedolla johtamiseen kuin
myös siihen, että ilmastopoliittiset päätökset perustui-
sivat tutkittuun tietoon.²⁰

Vallan logiikan tutkija ranskalainen Michel Foucault
on viime vuosikymmeninä 1990-luvulta lähtien nostet-
tu keskeiseksi eurooppalaiseksi filosofiksi. Hänen mu-
kaansa tutkimustietoa ja valtaa käytetään yhdessä yhe-
teiskunnallisen kontrollin apuvälineenä. Tieteellinen
tutkimustieto ja sitä tuottavat yhteisöt ovat Foucault'n
erityisen mielenkiinnon kohteena. Foucault'n käsitys
tieteellisestä tutkimustoiminnasta on hyvin kyyninen.
Foucault 'n mukaan tietoa tuottava tutkimusyhteisö ei
ole aina totuuden etsimiseen omistautunut vapaan hen-
genviljelyn instituutio, vaan myös tieteellisessä tutki-
muksessa valtasuhteet ovat kaikkialla läsnä. Näin valta
ei ole vain rajoittavaa ja estävää vaan myös tuottavaa;
tutkimustulokset syntyvät tahdosta tietoon.²¹

Foucault 'n mukaan politiikan logiikka on vallan lo-
giikkaa, joka viime kädessä perustuu käytettävissä ole-
vaan valtaan tai mielikuviin – niin käyttäjien kuin käyt-
tön kohteiden – ja käsityksiin vallasta. Konkreettisesti
vallan logiikka tulee esiin, kun parlamentissa tai kun-
nanvaltuustossa äänestetään tuulivoimaloista. Usein ym-
päristökysymykset ratkaistaan äänestämällä eli vallan
logiikalla. Kenellä on valtaa eli ääniä kuten parlamen-
taarikkoja ja kunnanvaltuutettuja enemmän, voittaa, ja
voittanut kanta tulee vallitsevaksi kannaksi.

Tutkimuksen ja tieteen logiikka sen sijaan ei perus-
tu valtaan vaan argumentaation logiikkaan, jossa asetet-
ut tutkimuskysymykset ratkaistaan tutkimustarkoitus-
ten ja asetettujen tutkimusongelmien perusteella eikä

¹⁷ Lipponen Paavo 2013 Suomen Kuvalehdessä no 12/2013.

¹⁸ <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilineutraali/>

¹⁹ <https://www.sitra.fi/uutiset/tulevaisuus-hiilineutraalissa-bisneksessa/>

²⁰ <https://www3.uef.fi/documents/300201/0/Logiikka+ja+argumentaatio+2011.pdf/ce5a5b8a-3e73-4e4e-99a0-965bcbd5fc78>

²¹ <https://jarkkotontti.net/esseet-ja-arvostelut/tieto-valta-ja-kontrollipolitiikka-michel-foucaultn-ajatusten-tarkastelua-rikostutkimus-1998/>

äänestämällä. Argumentaation logiikan mukaan paras ja tieteellisesti perusteltu argumentaatio, joka johdetaan tutkimustuloksista, tulee vallitsevaksi tiedekäsitykseksi ja tieteellisesti johdetuksi argumentaatioksi. Tiedettä arvioidaan – toisin kuin politiikan vallan logiikkaa – vertaisarvioinnilla tieteellisissä foorumeissa kuten tiedejulkaisuissa ja tiedekongresseissa. Poliitiikan arviointi tapahtuu vaaleissa saaduilla äänillä, joka on vallan logiikan perusta, mutta sillä ei voi perustella tieteellisesti asian oikeellisuudesta juuri mitään. Enemmistö voi olla myös väärässä.

Voiko politiikka toimia argumentaation logiikalla? Kyllä voisi, mutta suuri este on se, että poliittiset puolueet ottavat käyttöön omiin poliittisiin puolueohjelmiin ja päätöksiin sopivia tutkimustuloksia valikoiden. Näin tutkimuskokonaisuus unohtuu tai pirstoutuu ja poliittiset johtopäätökset tulevat atomistisiksi – pieniksi sarakkeiksi, jolloin tutkimuksen logiikka häviää.²² Tutkimustulokset saattavat tulla vallitseviksi käsityksiksi ja yhteiskunnan valtavirraksi vasta vuosia tutkimustulosten julkaisemisen jälkeen. Vallan logiikka voi siis olla myös tieteellisten tulosten portinvartija ja näin jarruttaa uusien tutkimustulosten käyttöönottoa.

Eräs parannus tieteen ja politiikan vuorovaikutuksen lisäämiseen on tiedeneuvonta,²³ jonka piirissä olevat voivat päästä hedelmälliseen vuorovaikutukseen. Laajasti ottaen tieteellisten tulosten popularisoinnilla – ”kansanomaistamisella” – pyritään lisäämään tutkimustulosten käyttöönottoa. Popularisointi voi johtaa myös populismiin, jos tukeudutaan vain haluttuihin ja valikoituihin tieteelliseen tutkimustuloksiin.

Suomen viimeaikaiset hallitukset ovat ohjanneet tutkimustoimintaa ns. strategisella tutkimusrahoituksella. Tämä raha otettiin alun perin pois keskeisiltä julkisilta tutkimuslaitoksilta ja sillä rahoitetaan ns. strategista tutkimusta. Kyseessä on nykyään kymmenien miljoonien eurojen tutkimuspoliittinen ohjaus. Strategista tutkimusta ovat mm. maan nykyiseen hallitusohjelmaan

merkityt tehtävät, selvitykset, tutkimukset ja katsaukset, joita hallitusohjelmassa esitetään tehtävän ehkä enemmän kuin minkään muun hallituksen ohjelmassa ennen tätä. Käytännössä valtioneuvoston suurin poliittinen tutkimusohjaus ei tietenkään kohdistu yksittäisiin tutkimuksiin tai tutkimustuloksiin. Valtioneuvoston ja kulloisenkin hallitusohjelman suurin vaikutus on tutkimusteemoihin ja laajoihin tutkimuskysymyksiin, joita strategisella tutkimuksella halutaan ohjata. Hallituskausien lyhyt aikajakso noin neljä vuotta ei tietenkään tutkimusaikana ole pitkä kuten vuosikymmeniä vaikuttava ylisukupolvinen tutkimusteema. Hallituksen ohjaus on enintään hallitusohjelmaa tukevaa muutaman vuoden mittaista trenditutkimusta, vaikka silläkin voi olla ylisukupolvista vaikutusta vuosikymmeniä, kuten ilmastokysymyksissä.

Tutkimusrahoituksen hakijat ja saajat voivat syyllistyä itsesensuuriin läpivaltiollistumalla itse, kun tutkimuslaitokset ja tutkijat voivat alkaa miellyttämään strategista tutkimusrahoitusta. Tällöin voidaan pahimmassa tapauksessa joutua rakenteellisen korruption vaaraan ja tutkimuksen logiikka häviää vallan logiikan alle.²⁴

4. Läpivaltiollistunut tutkimus

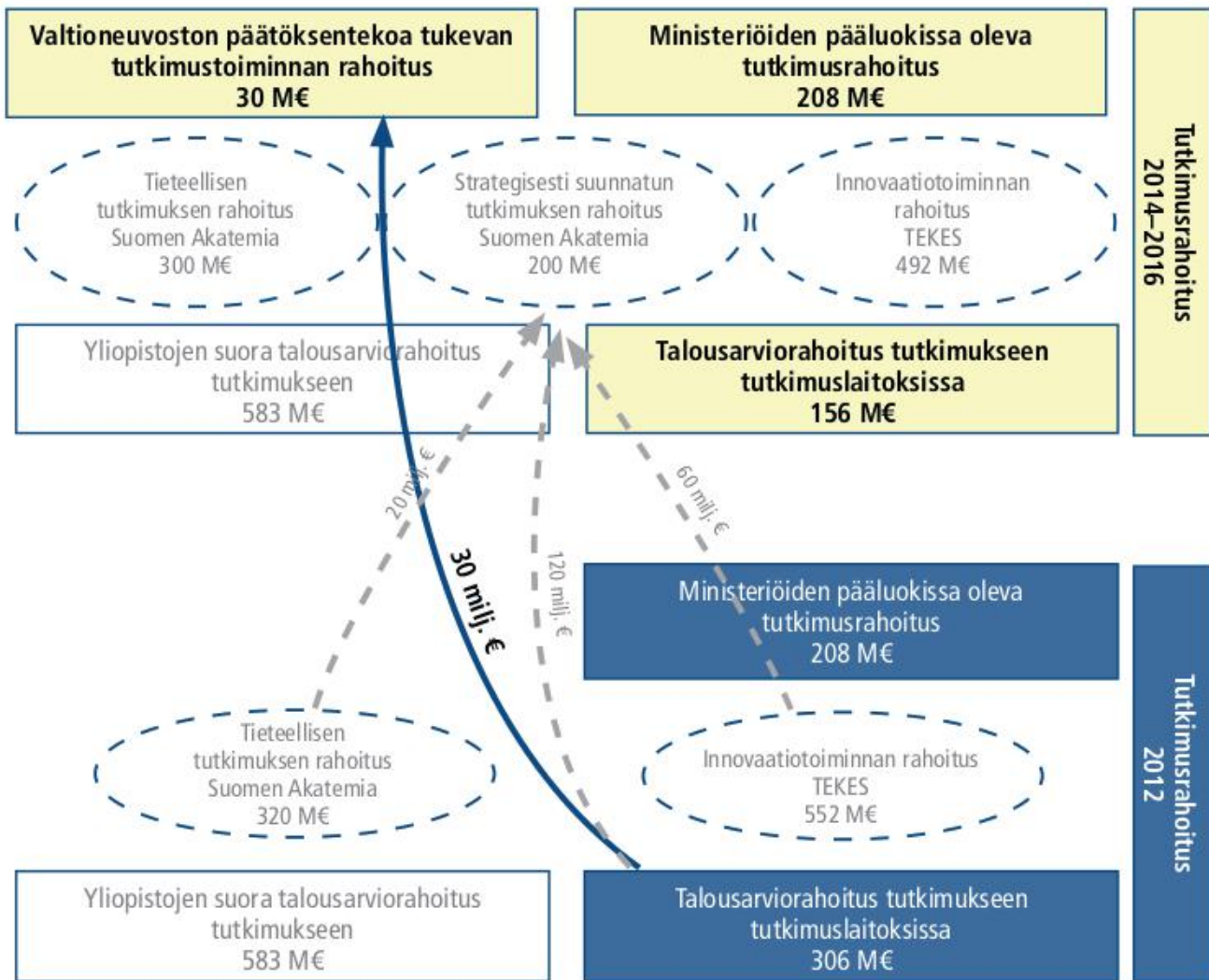
Suomessa on esitetty paljon ohjelmia ja tutkimuksia esim. hiilineutraaliuteen siirtyvästä yhteiskunnasta. Usein näissä valtion ja tutkimuslaitosten välisissä tutkimuksissa on kyse isoista tutkimusrahoista, joita ohjataan vahvistamaan vallitsevaa poliittista eetosta vailla kritiikkiä tai vaimennetulla tai vaimentuneella kritiikillä. Valtioneuvoston strateginen tutkimusraha on kuin suoraan Michel Foucault valta-tieto-teoriasta.²⁵

²² Murray, S. 2018 Using data science to improve public policy. MIT News. <http://news.mit.edu/2018/using-data-science-improve-public-policy-hackat-hon-0423>

²³ Kuosmanen Jaakko & Sivonen Marja Helena Tiedeneuvonta poliittisen päätöksenteon tukena. <file:///C:/Users/ksuom/Downloads/89791-Artikkelin%20teksti-143818-2-10-20200221.pdf>

²⁴ https://www.booky.fi/tuote/ari_salminen/rehellisyys_maan_perii_tutkimus_hyvasta_hallinnosta/9789513774417#!product_id=9789513774417

²⁵ Foucault Michel 2001. Tarkkailla ja rangaista. Otava.



Kuvio 1. Valtioneuvoston päätöksentekoa tukevan tutkimus- ja selvitystoiminnan rahoituksen muutos vuosina 2014–2016

Läpivaltiollistuminen tarkoittaa sitä, että tutkimusyhteisöt – huolimatta siitä, että niillä on omat tutkimusstrategiat – alkavat ottaa tutkimusten teemoitusta ja jopa yksittäisiä tutkimushankkeita kulloiseltakin vallassa olevalta poliittiselta eliitiltä. Tällöin tutkimuslaitosten autonomia kapenee ja tutkimus läpivaltiollis-

tuu, kun määrävänä tekijänä on rahoituksen saaminen tutkimukselle.²⁶

Valtioneuvoston kehyspäätöksen (21.3.2013) mukaan STM:n alaisilta laitoksilta leikattiin tutkimusrahaa 30 M€ vuosittaisista budjeteista vuodesta 2015 alkaen. Hallitus hyväksyi tutkimuslaitosten ja tutkimusrahoituksen kokonaisuudistusta koskevan periaatepäätöksen 5.9.2013. Siinä THL:n vuosibudjettia leikattiin 7 177 M€ vuoteen 2017 mennessä.

Tutkimusrahoitus nousi otsikoihin vuonna 2013, kun ilman kilpailutusta tilattiin filosofi Pekka Hima-

²⁶ Suomi Kimmo & Borgogni Antonio (2017) The Changing Sport Policy – changing infrastructure. In publication Suomi Kimmo & Kotthaus David Neighbourhood Sport Facility. Research Center for Physical Activity and Health. [Neighbourhood-sport-facility-imp-roving-Physical-Activities-at-Local-Arenas-IMPALA-EU-financed-research-and-developing-project-2015-2016-in-Finland.pdf](https://www.researchgate.net/publication/315111111_Neighbourhood-sport-facility-imp-roving-Physical-Activities-at-Local-Arenas-IMPALA-EU-financed-research-and-developing-project-2015-2016-in-Finland.pdf) (researchgate.net)

selta 700 000 eurolla tutkimus sen aikaisista isoimmista muutosmegatrendeistä hallituksen tulevaisuusselontekoa varten.²⁷ Kirjottajina oli Himasen lisäksi muun muassa tulevaisuudentutkijana kansainvälisesti tunnettu Manuel Castells.

Erityisen aktiivisia strategisessa tutkimusrahoituksessa on oltu sen jälkeen, kun hiilineutraalius oli voimakkaasti esillä hallitusohjelmassa, ja erilaisia hankkeita ylläpidettiin vuosina 2012–2014. Tähän vaikutti voimakkaasti maan hallituksen asettama parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea. Hankkeen päätavoitteen taustalla oli poliittinen hallitusohjelma, johon oli kirjattu, että ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi hallitus laatii pitkän aikavälin ilmastopoliittisen EU-strategian.

Tämän energia- ja ilmastotiekartan valmistelun keskeisenä taustamateriaalina käytettiin LCFinPlat-hankkeen tuottamia vaikutusarvioita vaihtoehtoisista vähähiilipoluista.

Alla esimerkkilausunto siitä, kuinka tutkimushankkeet itsekään eivät uskoneet esittämiinsä visioihin usein jo niiden pitkäkestoisuuden – 40–50-vuotta – takia. Esim. vaikutusarviosta vuoteen 2050 saakka sanotaan:

”On selvää, että mikään esitetyistä vähähiiliskenarioista ei toteudu, vaan vähähiilitulevaisuutta tulee tarkastella systemaattisesti tiedon karttuessa.”²⁸

Esimerkiksi tutkimustiedon laajempaa kehittämistä ei juurikaan esitetä kehittämisvaihtoehtoissa, vaan ajattelutapana on, että tutkimustieto keräytyisi johonkin lähes omalakisesti ja päätöksiä tehtäisiin automaattisesti nojautumalla tieteelliseen tutkimukseen. Vaarana on, että epäsystemaattista ”tiedon karttumista” käytettäisiin tarkoitushakuisesti poimimalla käyttöön harjoitettavaan politiikkaan parhaiten soveltuvat tutkimustulokset. Tässä on asian ydinvaikeus: toisaalta tulisi olla vapaata tutkimusta ja toisaalta tulisi luoda systemaattisempaa tutkimusta, jota voitaisiin ehkä käyttää päätöksenteon pohjana.

Vuodesta 2013 lähtien on kehitetty strategista tutkimusta ja Suomen Akatemiaan on perustettu Strategisen tutkimuksen neuvosto, johon voidaan tehdä ehdotuksia tutkimusohjelmista.

Strategisen tutkimuksen rahoitusta ohjaa siis Suomen Akatemiaan perustettu Strategisen tutkimuksen neuvosto. Valtioneuvoston yhteiskunnallista päätöksentekoa tukevaa tutkimus- ja selvitystoimintaa vahvistettiin koaamalla valtioneuvoston käytettäväksi rahoitusta valtion tutkimuslaitoksista asteittain vuosina 2014–2016 siten, että valtioneuvoston ja sen ministeriöiden tietotarpeiden tutkimukseen on käytettävissä 30 miljoonaa euroa sitomattomia tutkimusvaroja.²⁹ Valtioneuvoston strateginen tutkimusrahoitus ei siis lisää maan tutkimusrahoitusta, vaan valtioneuvosto otti sen omaan päätätalvaansa eri tutkimuslaitoksilta.

Vuonna 2020 on esitetty käynnistyväksi vuosiksi 2020–2026 Ilmastonmuutos ja ihminen (CLIMATE)-niminen ohjelmakokonaisuus. Tutkimusohjelmassa haetaan ratkaisuja siihen, miten ihmiset voisivat tehdä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen tai sopeutumiseen liittyviä valintoja ja miten yhteiskunta mahdollistaa valintojen tekemisen kestävästi ja yhdenvertaisesti.

Strategista tutkimusta rahoitetaan vuonna 2021 valtion tulo- ja menoarvion momentilta 29.40.54. (Strateginen tutkimusrahoitus). Myöntövaltuudeksi vuodelle 2021 on esitetty 55 631 000 euroa. Strategisen tutkimuksen myöntövaltuutusta ja määrärahaa saa käyttää valtioneuvoston päättämien teema-alueiden ja painopisteiden mukaisesti strategiseen tutkimukseen. Strategisella tutkimuksella tarkoitetaan pitkäjänteistä, ongelmakeistä ja tieteellisesti korkeatasoista yhteiskuntapolitiikkaa ja yhteiskunnan toimintojen kehittämistä palvelevaa tutkimusta, jonka tarkoituksena on löytää ratkaisuja merkittäviin yhteiskunnan haasteisiin ja ongelmiin.³⁰

²⁷ <https://www.kaleva.fi/himasan-tutkimus-nyt-selvisi-mita-700-000-eurolla/1737702>

²⁸ Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä Tiina Koljonen, Lassi Similä, Antti Lehtilä et al. Espoo 2014. VTT Technology 167.

²⁹ http://fi.opasnet.org/fi/Valtion_strateginen_tutkimusrahoitus

³⁰ <https://vnk.fi/-/valtioneuvosto-paatti-teemat-strategiselle-tutkimukselle-vuonna-2021>

Tuulivoimatutkimus on eräs strateginen alue, josta on rahoitettu mm. tuulivoiman infraäänitutkimusta. Asian havainnollisuuden vuoksi otetaan tähän yksi esimerkki em. rahoituksella tehdystä läpivaltiollistuneesta strategisesta tutkimuksesta.

5. Esimerkki läpivaltiollistuneesta tuulivoimatutkimuksesta^{31,32}

Tuulivoimaloiden infraääni ja terveys -tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko tuulivoimaloiden infraäänellä haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen. Hankkeen toteuttivat monitieteellisenä yhteistyönä Teknologian tutkimuskeskus VTT, Työterveyslaitos, Helsingin yliopisto sekä Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL. Hanke koostui kolmesta osiosta: kyselytutkimuksesta, pitkäaikaismittauksista ja infraäänen kuuntelukokeista.

5.1 Postikysely ja puhelinhaastattelut

Aluksi tehtiin postikysely valittujen tuuliteollisuuspuistojen läheisyydessä Kurikassa ja Raahessa. Kyselyyn vastasi vain 28 % mukaan aiotuista. Koehenkilöistä siis 72 % jätti vastaamatta. Lisäksi haastateltiin puhelimitse 10 % postikyselyyn vastaamattomia henkilöitä. Tutkimus toteutettiin vain kahdessa kunnassa – Kurikassa ja Raahessa 17 tuulivoimalan vaikutusalueella. Ongelmallisuutta tuottaa suuri vastaajien kato, mikä ei anna tieteellistä oikeutusta tehdä pitkälle meneviä johtopä-

töksiä. Raportoinnin perusteella ei tiedetä, kuinka hyvin vastaajat edustivat alueen väestöä tai mitään muutakaan tutkimuksellista perusjoukkoa. Edustivatko vastaajat tutkimusalueen väestöä? Kyselytutkimuksista tiedetään yleisesti, että vastaajat painottuvat hyväosaisiin enemmän kuin huono-osaisiin vastaajiin. Tällöin aineistossa hyväosaisten esim. terveiden osuus korostuu. Sama ongelma on puhelinkyselyillä, koska heikko-osaiset eivät omista tai käytä puhelinliittymiä samassa määrin kuin hyväosaisemmat. Tutkimus on epävarmaa, jos vastaajien sosio-ekonomista taustaa ei varmisteta riittävästi.

Tutkimuksesta saa epäasiantuntevan kuvan, kun siinä todetaan esim. sähkömagneettisen säteilyn ja infraäänien olevan yhtä vaarattomia. Kuopion yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan fysiologian professori Osmo Hännisen sähkömagneettista säteilyä koskeneet tutkimukset osoittavat muuta. Hän yhdistää sähköliherkkyyden sähkömagneettisen säteilyyn. Puolustusteollisuudessa tunnetaan hyvin sähkömagneettiset aseet.³³ Elektromagnetismin vaaroista varoittaa jo A.J. Macfarlane.³⁴ Sosiaali- ja terveysministeriö on säätänyt sähkömagneettiselle säteilylle kuitenkin raja-arvot.³⁵ Kansainvälinen tutkimus tuntee hyvin sähkömagnetismin vaarat.³⁶

5.2 Pitkäaikaismittaus

Tutkimus kutsuu tuulivoimala-alueilla ulkona tehtyä 308 vuorokauden tuuliteollisuusalueiden äänimittauksia pitkittäistutkimukseksi. Tällä menetelmällä ei saada tietenkään selville infraäänien vuosia kestävää infraäänialistumista, vaan se vaatisi vuosien tutkimusta, joka vastaisi todellista tilannetta. Ihmiset käytännössä asuvat usein vuosia tai vuosikymmeniä tuuliteollisuusalueiden lähellä. Infraäänialistumisesta ei nyt saatu aikaan tieteellisesti pätevää pitkittäistutkimusta käytetyillä metodeilla.

³¹ [11/2020 \(tietokayttoon.fi\)](https://tietokayttoon.fi/11/2020)

³² <https://tietokayttoon.fi/julkaisut/raportti?pubid=URN:ISBN:978-952-287-907-3>

³³ [Psychotronic and Electromagnetic Weapons: Remote Control of the Human Nervous System - Global Research Centre for Research on Globalization](https://www.researchgate.net/publication/328111111_Psychotronic_and_Electromagnetic_Weapons:_Remote_Control_of_the_Human_Nervous_System_-_Global_Research_Centre_for_Research_on_Globalization) [Psykotrooniset ja sähkömagneettiset aseet: ihmisaivojen kaukosäätö | Maanpuolustus.net macfarlane.pdf \(cam.ac.uk\)](https://www.cam.ac.uk/research-repository/handle/document/1234567/maacfarlane.pdf)

³⁵ [Liite+1+Altistuksen+raja-arvot+ja+toimenpidetasot+sähkömagneettisille+kentille.pdf \(stm.fi\)](https://www.researchgate.net/publication/328111111_Psychotronic_and_Electromagnetic_Weapons:_Remote_Control_of_the_Human_Nervous_System_-_Global_Research_Centre_for_Research_on_Globalization)

³⁶ [\(PDF\) Electromagnetic Hypersensitivity: A Systematic Review of Provocation Studies \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/328111111_Psychotronic_and_Electromagnetic_Weapons:_Remote_Control_of_the_Human_Nervous_System_-_Global_Research_Centre_for_Research_on_Globalization)

5.3 Kuuntelukoe

Tutkimusraportoinnissa kiinnittää huomion se, että tutkimuksen ns. Policy Briefissa puhutaan pitkäaikaismittaamisesta asunnoissa. Tästä ”asunnoissa mittaamisesta” saa käsityksen, että mittauksia olisi tehty asunnoissa laajemminkin. Tutkimusraportoinnista käy ilmi, että kyseessä on kaksi taloa: toinen on hirsitalo Kurikassa ja toinen tiiliverhoiltu talo Raahessa. Näistä tehdään yleistyksiä ja johtopäätöksiä koko maahan, vaikka kerätty aineisto kahdesta talosta ei anna siihen tieteellistä oikeutusta, eikä pitäisikään antaa, vaikka sitä käytetään raportin omien sanojen mukaan ”päätöksenteon tukena”, millä viitataan Suomen ilmastopolitiikkaan. Tutkimuksen johtopäätöksissäkään puhutaan ”asuinrakennuksista”, joista saattaa saada virheellisen kuvan, että tutkimuksessa olisi tutkittu enemmänkin asuinrakennuksia kuin kaksi. Niissä ei asuttu tutkimusajankohtana.

Tuulivoimasta tiedetään, että vasta moni- ja ympärivuotisella jatkuvalla mittauksella saadaan luotettavia tuloksia, koska tuuli esim. maamme isojen järvien alueilla vaihtelee suuresti. Tuulesta saa suhteellisen tarkkaa ja monipuolista tietoa esim. Meteorologian tutkimuslaitokselta paikkatietoaineistoina (GIS), kun etsitään paikkoja tuulivoimateollisuudelle.

Po. tutkimusalueet vain Raahessa ja Kurikassa eivät anna tutkimuksellista eikä tilastotieteellistä oikeutta tehdä johtopäätöksiä koko maahan eikä Kurikan ja Raahan olosuhteita voi rinnastaa esim. sisämaan ja isojen sisäjärvien kuten Päijänteen tuuliolosuhteisiin. Olennaisinta infraäänien terveysvaikutuksissa on, että esim. merituuli on huomattavasti tasaisempaa kuin järvi- tai sisäjärvituuli, joka on epätasaisempaa ja puuskaisempaa. Juuri tästä tuulen puuskaisuudesta syntyy suuri tuulivoimalan roottorin siivekkeiden äänenpaineen vaihtelu. Ilmastonmuutoksen vuoksi äärituulien esiintyvyys lisääntyy tulevaisuudessa eli haitallisen infraäänien syntyyn vaikuttavat tuuli-ilmiöt lisääntyvät.

Infraäänien tutkimuksessa on erittäin kyseenalaista tehdä mitään johtopäätöksiä kahdesta asumattomasta asuintalosta. Infraäänien tutkijoilla on tutkimustapausten määrä ylipäätään usein ongelmallinen. Tällöin voidaan käyttää apuna kiinteistö- ja huoneistorekisterissä olevia rakennusten laatumuuttujia kuten rakennusmateriaalitietoja, jolloin päästään riittävään tapausten määrään.

Tutkimusta täydennettiin kutsumalla mukaan tuulivoimaloiden kuuntelukokeeseen kyselytutkimukseen osallistuneita. Heitä saatiin ilmoittautumisjärjestyksessä 27, joista puolet piti olla infraäänelle oireilevia ja puolet oireettomia. Mukaan siis tulivat ne, jotka ehtivät ilmoittautua. Mitään tutkimuksellista vakiointia tai poimintaa ei tehty, vaan oireettomia osin sattumanvaraisesti tuli mukaan 16 ja oireilevia 11. Kyselytutkimukseen osallistuneita oli tutkijoiden mukaan vaikeuksia saada koehenkilöiksi, koska osa aiotuista osallisista kieltäytyi tai perui ilmoittautumisensa mm. matkustamisvaikeuksien, -kustannusten ja terveydentilan vuoksi eli heikkokuntoisimpia ja -osaisimpia jäi tämän tutkimusosion ulkopuolelle. Mitään selvitystä kvantitatiivisen aineiston isosta kadosta ei esitetä, vaikka se on aineiston laadun kannalta tieteellisissä tutkimuksissa välttämätöntä selvittää.

Todennäköisesti kuuntelukokeeseen osallistui jo sinällään epämääräisestä kyselytutkimuksesta (vastaus-% 28) aktiivisimmat, terveimmät, rikkaimmat eli ns. hyväosaiset, koska heidän osuus yleensä tutkimuksessa korostuu suurempien aktiivisuuspääomien vuoksi. Infraäänelle oireilevia jäi pois, jolloin heitä oli mukana aiottua vähemmän. Voimakkaiden johtopäätösten tekeminen tilastotieteellisesti 27 epämääräisesti valikoidun ihmisen tuloksina on kyseenalaista. Eniten arveluttavia ovat tehdyt kuuntelukokeet nauhoitetusta tuulivoimaa-äänistä ja koehenkilöiden luontofilmien katselu, joita pyydetiin arvioimaan. Kuuntelu- ja katsojatuokioiden kesto oli 10 sekuntia, 7 minuuttia ja 10 minuuttia. Tieteellisesti pätevästi pitkäaikaisesta altistumisesta infraäänelle ei voi puhua mitään tämän tutkimuksen perusteella eikä siitä voi vetää johtopäätöksiä. Kuuntelukokeet tehtiin ääni- ja kuvanauhoitusten perusteella eikä aidoissa tutkimustilanteissa tutkimusalueilla.

Tutkimuksen psykologisia osioita tutkittiin ihmisten itsensä kertomien tuntemusten perusteella. Kun kyse on näin tärkeästä tutkimuksesta, olisi stressiä pitänyt tutkia objektiivisesti, esimerkiksi koehenkilöiden stressihormonien perusteella määrittämällä niitä virtsasta ja verestä. Nyt psykologiset ”vasteet” saatiin subjektiivis-

ta arvioinneista, jotka sinällään ovat arvokkaita, mutta riittämättömiä tieteellisesti pätevään arviointiin tuulivoiman infraäänien vaikutuksista.

5.4 Tutkimusjohtopäätökset

Tutkimuksen päätulokseksi ilmoitettiin, että tuulivoimat eivät aiheuta sellaista infraääntä, että siitä olisi haittaa ihmisten terveydelle. Tutkimus ilmoitti esittävänsä loppuraportin kesällä 2020. Se on englanninkielinen, mikä ihmetyttää, kun kyse on kansallisesta strategisesta tutkimuksesta kansallista ilmastopoliittikkaa varten. Englanninkieli on tutkimuksen valtakieli, mutta Policy Brief kertoo, että tarkoituksena olisi ollut tuottaa ”Näkökulmia ajankohtaisiin yhteiskunnallisiin kysymyksiin ja poliittisen päätöksenteon tueksi.” Jos keskustelua halutaan laajentaa tutkijoita laajemmalle, olisi tutkimusraportti julkaistava myös suomeksi. Tutkimuksesta on esitetty suomenkielinen Policy Brief Valtioneuvoston kanslian sivuilla, jossa raportointi on erittäin suppea tutkimuksesta ja voi johtaa virheellisiin käsityksiin. Tutkimuksen suurin ongelma on, että tutkimusaineisto on niin vajavainen, ettei siitä voi tehdä tieteellisesti päteviä johtopäätöksiä.

Onkin kysyttävä:

1. Voiko *postikyselystä* ja *puhelinhaastatteluista* tehdä tieteellisesti päteviä johtopäätöksiä, kun postikyselyyn vastasi vain 28 % vastaajista eikä ole esitetty kadon analyysiä tai miten näyte edustaa perusjoukkoa? Kun puhelinhaastatteluissa ei koehenkilöitä satunnaistettu, voiko siitäkään tehdä tieteellisiä johtopäätöksiä?
2. Voiko *pitkittäismittauksessa* vain kahdessa asumatomassa asuintalossa tehdyistä mittauksista tehdä tieteellisesti päteviä yleistyksiä koko maan ilmastopoliittikkaa varten?
3. Voiko *kuuntelukokeen* perusteella tehdä tieteellisesti päteviä johtopäätöksiä, kun kokeeseen osallistuneiden valintaa ei satunnaistettu eikä koetta tehty autenttisissa olosuhteissa?

Tieteellinen johtopäätös em. tutkimuksesta esitetyn perusteella on:

Käytetyillä tutkimusaineistoilla eikä -metodeilla voida osoittaa sen enempää sitä, aiheutuuko tuulivoimasta infraäänien vuoksi terveysgelmiä vai ei. Tutkimuksen tulokset ovat ristiriidassa tässä katsauksessa esitettyjen kansainvälisten ja suomalaisen tutkimushavaintojen kanssa.

Olennaista on kysyä: voidaanko tutkimusta käyttää maan poliittisen hallitusohjelman ilmastopoliittikan toteuttamisen perusteluina? Täyttääkö tutkimus riittävät tiedolla johtamisen kriteerit, jotta sitä voitaisiin käyttää ilmastopoliittikan perusteluina?

Meillä Suomessa ei ole ollut tähän saakka laajoja kansallisia ohjelmia, joissa olisi selvitetty **tuulivoiman** erilaisia vaikutuksia yhteiskuntaan, liiketoimintaan, ympäristöön, ihmisiin ja eläimiin. Tällainen ohjelma olisi vähintään tässä vaiheessa erittäin tarpeellinen.

Yhdessä tutkimuksessa tai useissa samanaikaisissa tutkimuksissa saadaan usein aikaan vain rajallinen määrä uutta tietoa tutkittavasta ilmiöstä.

6. Katsauksen tarkoitus

Tarkoituksena on tehdä katsaus, jossa nostetaan esiin keskeiset tutkimukset infraäänien haitallisista vaikutuksista ihmisiin ja koe-eläimiin niin kansainvälisesti kuin kansallisesti.

Tarkoituksena on löytää keskeisiä tutkimustuloksia, mutta myös tutkimuspuutteita, joita ei ole aikaisemmin tutkittu tai tutkimus on ollut vähäistä.

7. Katsauksen tutkimuskysymykset

7.1 Päättökysymys

Onko tuulivoiman infraääni vaarallista ihmisen terveydelle?

Katso kuvio 2.

7.2 Osatutkimuskysymykset

Mihin tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota?

Millaisia ovat käytetyt menetelmät?

Mitä ovat tutkimuskohteet?

Mitkä ovat päälöydökset?

Mitä johtopäätöksiä niistä voi tehdä?

8. Tämän katsauksen ongelmat

Suomessa eikä maailmallakaan ole määritelty mitään vakiintuneita tutkimusproseduureja tuulivoiman tutkimiseen. Hyvin usein tutkimukset rajautuvat yksittäisiin ilmiöihin, joista kokonaiskuvan saaminen on vaikeaa, ellei mahdotonta. Suomessa tuulivoimaloiden synnyttämän melun mittaamisessa noudatetaan Valviran (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto) Asumisterveysasetuksen soveltamisohjetta Osa II.³⁷ Tällöin voidaan ottaa huomioon em. ohjeessa mainitut erityisvaatimukset ja ohjeet tuulivoimaloiden melun mittaamiselle ja arvioinnille. Yhteisen tutkimusproseduurin lanseeraamiseen tarvittaisiin merkittävää eri tutkimustahojen ja -alojen yhteistyötä, joista voitaisiin koota esimerkiksi kansal-

linen tuulivoiman vaikutusten tutkimusohjelma, joka olisi pitkäaikainen tai jopa pysyvä.

Useissa tutkimuksissa todetaan, että tuulivoiman infraääninen pitkäaikais- ja yhteisvaikutustutkimus puuttuu.

Tuulivoimatutkimuksen puutteet ovat luonnollista, koska tutkittava ilmiö on erityisesti Suomessa, mutta kansainvälisestikin tutkimushistoriallisesti suhteellisen uusi. Juuri tätä varten pitäisi taata pysyvä tutkimus ilmiölle, jotta päästäisiin ajan kuluessa pitkäaikaisvaikutusten tutkimiseen. Sitä ei ole tehty muuallakaan maailmassa merkittävässä määrin. Suomen eräs erityispiirre on koko ajan kasvattaa tuulivoimaturbiinien kokoa taloustehokkuuden lisäämiseksi. Suurturbiinien tutkimus tulee koko ajan tuuliteollisuusalueiden perässä, kun tutkimustuloksia on saatavilla vain uudistuvaa ja rakennettavaa tuulivoimaa pienemmistä ja vanhemmista tuuliteollisuusvoimaloista.

9. Katsauksen tutkimuskohteen määrittely

Tämän katsauksen pääkohteena ovat pääsääntöisesti vuoden 2010 jälkeen tehdyt tutkimukset, joilla arvioitiin olevan katsauksen aihepiiriin kannalta suuri merkittävyys ja joita ei ole tuotu aikaisemmin näkyvästi esiin Suomessa. Haluttiin siis antaa ääni tutkimuksille, jotka eivät ole päässeet aikaisemmin esille merkittävästi. Katsauksessa ei pyritä lääketieteelliseen meta-analyysiin eikä perinteiseen systemaattiseen katsaukseen, vaan tuomaan sellaisia tietoja, jolla voidaan suunnata pitkäaikaista ja mahdollisesti monimuuttujaista tutkimusta tästä aihepiiristä parhaalla mahdollisella tavalla.

Katsaukseen valittiin myös tutkimustietoja, joiden avulla voidaan luonnehtia parhaalla mahdollisella ta-

³⁷ Valviran (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto) Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa II.

valla aihepiiristä julkaistun tiedon luonnetta ilmasto-
poliittisessa nykytilanteessa.

Lopullisessa tutkimusten valinnassa mukaan tähän katsaukseen otettiin sellaiset tutkimukset, joita voitiin arvioida kappaleessa 11. kerrottujen kahdentoista (12) valintakriteerin suhteen. Tässä mielessä noudatettiin systemaattisen katsauksen kriteereitä. Lisäksi haluttiin mukaan perinteisestä katsauksesta poiketen erityyppisiä tutkimuksia siten, että ne edustavat 1) *megatrenditutkimuksia*, jotka hahmottavat tutkimuskohdetta vähintään yli sukupolven perspektiivissä, 2) *trenditutkimusta*, jolla hahmotetaan tutkimuskohdetta lyhyemmällä perspektiivillä eli esim. hallituskauden neljän vuoden vaikutusaikana. 3) Lisäksi mukaan otettiin *hiljaisia signaaleja*, jotka eivät ole niin perusteltuja tieteellisesti, mutta ovat osa katkeamatonta tietoteoreettista liukumaa – epistemiä – jolla pyritään madaltamaan perus- ja soveltavan tutkimuksen sekä hiljaisten signaalien välisiä raja-aitoja. Hiljaiset signaalit toimivat usein myös tieteen sisäisenä uudistajana, jotka kritisoivat valtavirtatutkimuksen perus(megatrendi)- ja soveltavaa(trendi)tutkimusta. Luonteensa mukaisesti hiljaisia signaaleja pyritään vaimentamaan mm. valtavirtatutkimusten avulla.

Tuulivoiman tuottamalla ihmisiin kohdistuvalla infraäänellä tarkoitetaan:

- alle 20 Hz:n *infraääninen* negatiivista vaikutusta ihmisiin,
- lisäksi tarkastellaan ns. *pienitaajuista ääntä* 20–250 Hz, koska Suomen viime aikoina suunnitelluista voimalaitoksista suuri osa on ns. suurtehotuulivoimaloita, joiden aiheuttamasta melusta suurin osa tulee pienitaajuisesta äänestä.

10. Katsauksen viitekehys

Ihmisiin liittyvät vaikutukset nousevat esiin lähes kaikissa tutkimuksissa. Ihminen elää tai toimii samoissa elinpiireissä, joissa tuulivoimaa esiintyy. Ihmisiin kohdistuvaa vaikutusta (IVA) ei ole Suomessa tehty paljoakaan. On vain joistakin perspektiiveistä – kuten juridikkasta – tehtyjä ihmisvaikutustutkimuksia.^{38,39}

Ihmisiin kohdistuu tietenkin samanaikaisesti useita erilaisia vaikutuksia, jolloin *yhteisvaikutusolettama* koskee lähes kaikkea ihmisiin kohdistuvaa arviointia, jota ei paraskaan arviointi- ja vaikuttavuustutkimus voi ottaa huomioon.

Infraäänitutkimuksissa selvitetään usein vain yhden muuttujan vaikutusta kerrallaan, jolloin kokonaisuus häviää tai isojakin vaikutuksia saattaa jäädä tutkimatta. Tämä on tietenkin vaikeaa, johon auttaisi vain erityisen laajan ja pitkäaikaisen tutkimusohjelman perustaminen, jolloin laajemmassa ohjelmassa yritetään koota erilaisia vaikutuksia yhteen.

Erilaisten vaikutusten yhteen sitomista ihmiseen voisi hahmottaa kuvion 2. mukaan.

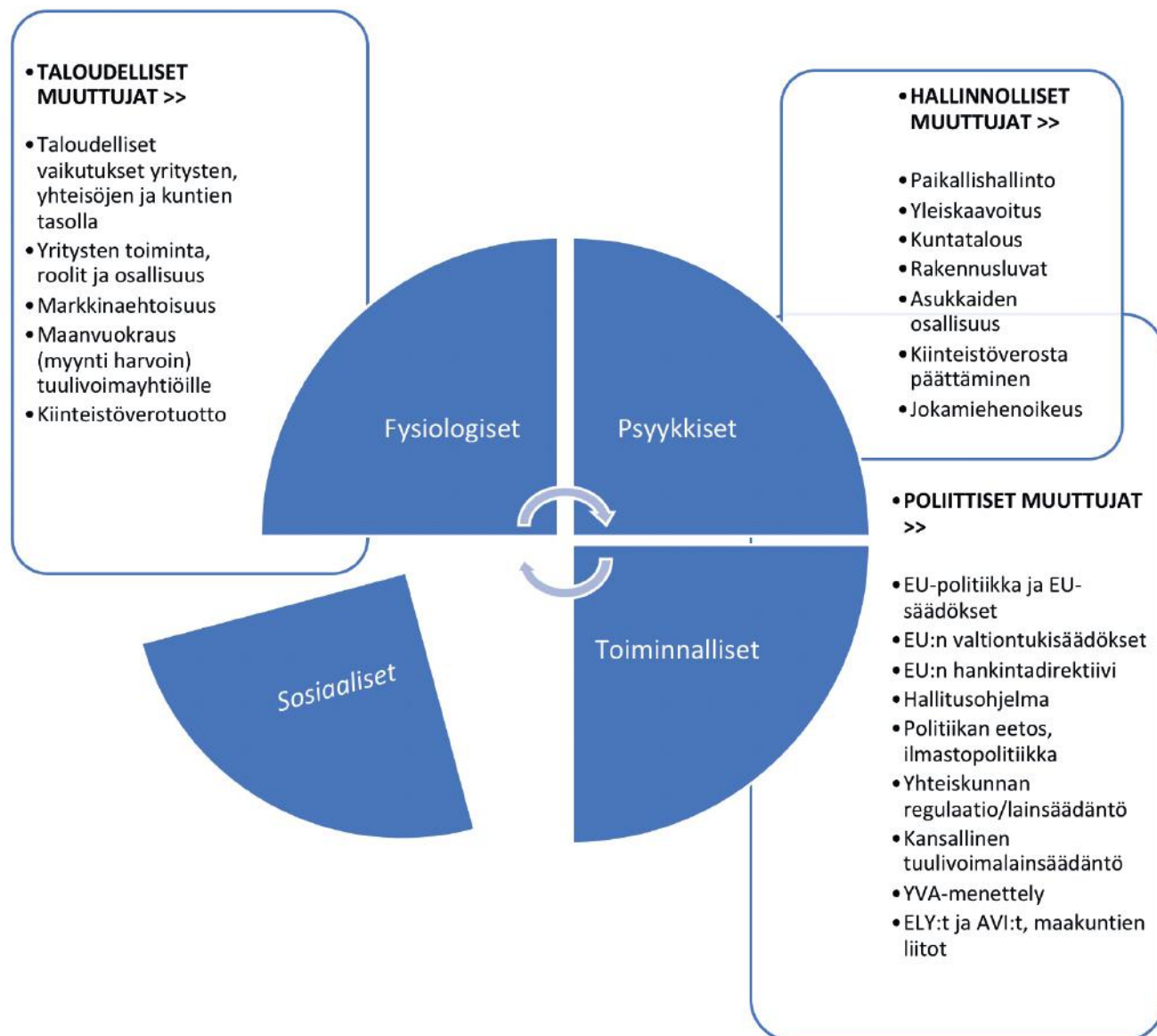
Kuvion 2. keskellä ajatellaan olevan ihminen nuolikaarien ympäröimänä, johon erilaiset asiat vaikuttavat samanaikaisesti ja kokonaisuutena. Kuviossa sinisellä pohjalla ovat muuttujat, joihin infraääni vaikuttaa välittömästi eli ihmisen 1) fysiologiaan, 2) psyykeeseen, 3) funktionaalisuuteen eli ihmisen toiminnallisuuteen ja 4) ihmisen sosiaaliseen käyttäytymiseen.

Ulommaisina välillisinä muuttujina ovat laatikot, jotka kuvaavat yhteiskunnallisia muuttujia kuten taloutta, hallintoa ja aihepiirin regulaatiota eli mm. lainsäädäntöä, joilla on vaikutus ihmisiin. On selvää, että mikään tutkimus ei voi ottaa kaikkea huomioon saman aikaisesti, mutta pyrkimys kokonaisvaltaisuuteen on parempi kuin nykyinen atomistinen hajaantunut tutkimuskäytäntö.

Ohjelman yhtenä muuttujana keskeisesti voisi olla tuulivoiman infraääninen terveydelle haitalliset vaikutukset, jotka kohdistuvat ihmisen fysiologiaan, psyykeeseen ja toiminnallisuuteen. Raportoituja vaikutuksia

³⁸ Kati Rantala, Noora Alasuutari, Inka Järvikangas ja Karoliina Saarenpää 2019 Ihmisvaikutusten arviointi hallituksen esityksissä: luokittelusta laatuun ja sen puutteisiin. Helsingin yliopisto.

³⁹ https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/300613/Tutkimuksia_5_Kati_Rantala_ym_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y



Kuvio 2. Tuulivoiman infraäänitutkimuksen aihepiirit tutkimusaiheiden sisällön analyysin perusteella.

ihmisen sosiaaliseen käyttäytymiseen on vähän, kuten esim. metsästyksen ja muuhun ulkoiluun, jota säätelee metsien virkistyskäytössä esim. jokamiehenoikeus.⁴⁰ MTT:n tutkimus⁴¹ vuodelta 2014 tuo esiin myös tuulivoiman haittoja ja esittää tuuliturbiinien sijoittamista ihmisille terveellisellä tavalla.⁴²

⁴⁰ [Jokamiehenoikeudet – Luontoon.fi](http://Jokamiehenoikeudet - Luontoon.fi)

⁴¹ MTT Raportti 168/2014

⁴² BirdLife Suomi | Tuulivoima ja linnut

Sosiaaliseen käyttäytymiseen vaikuttavia tutkimuksia on tehty esim. vapaa-aikaan, matkailuun ja virkistytymiseen liittyen. Sosiaalisilla vaikutuksilla tässä tarkoitetaan lähinnä ihmisen sosiaalisen toiminnan organisointumista akselilla yhteisöllisyys – yksilöllisyys, jolla on vaikutuksia esim. metsästyksessä, jos tuuliteollisuusvoiman tarvitseman maan vuokrannut metsästäjä ei saa metsästä haluamallaan tavalla tuulivoimateollisuusalueella, tai marjastuksessa ja sienestyksessä, joissa aikaisemmin jokamiehenoikeuteen perustuva oikeus on menetetty tuulivoimalamaan vuokraamisen yhteydessä. Tuulivoimalamaa vain erityisissä poikkeustapauksissa on voimalan omistajan maa, eli lähes aina maa vuokrataan tuulivoimalayhtiöille.

Suomessa sosiaalista käyttäytymistä ja tuulivoimaa on selvitetty vain tuulivoimateollisuuden vaikutusalueilla toimivien ihmisten sosiaalisena orientaationa tuuliteollisuutta kohtaan, jolla pyritään ristiriitojen säätelyyn tuulivoiman edistäjien ja vastustajien välillä paikallisesti tuulivoimahankkeissa.⁴³

Kuviossa 2. sosiaalisuus on rajattu tämän katsauksen ulkopuolelle, koska siihen liittyvää tutkimusta on vähän.

Tämän katsauksen päätavoite on:

”Selvittää katsauksen avulla, millaisia haitallisia vaikutuksia infraäänitutkimus aiheuttaa ihmisen fysiologiseen, psyykkiseen ja toiminnalliseen hyvinvointiin”.

11. Katsaukseen valittujen tutkimusten tutkimusmenettely

Katsauksen tutkimusten arviointimalliksi otettiin seuraavat kriteerit, joita tarkastellaan:

1. Tutkimuksen nimi, onko aihepiiri katsauksen alueella,
2. Mikä taho, instituutio ja henkilöt ovat tehneet tutkimuksen, käykö ilmi tekijöiden asema, työnimikkeet ja koulutus,
3. Käykö ilmi mikä on tieteenala, esim. tekniset tieteet, lääketiede tai sen osa-alue esim. geriatria, minkä tiedealan näkökulmasta asioita pohditaan,
4. Mikä on arvioitavan tutkimuksen tarkoitus tai tarkoitukset, päätarkoitus, alatavoitteet, (Purpose(s) of Research, subpurposes)
5. Onko esitetty tutkimuskysymykset (statement of the research problems/questions), päätutkimuskysymys, sille alisteiset osatutkimuskysymykset (subproblems),

6. Voidaanko tutkimuskysymysten sijasta arvioida hypoteesit, joiden paikkansapitävyyttä testataan, mitkä päähypoteesit, (hypothesis)
7. Nojaako ja jos nojaa niin millaisiin teorioihin, teoreettinen viitekehys (theoretical framework),
8. Tutkimusaineiston keruumenetelmät, miten tutkimusaineisto kerättiin ja milloin, mikä oli tutkimusmenettely (research procedure(s), research method(s),
9. Normaalin tutkimusmenettelyn toteaminen kvantitatiivisissa tutkimuksissa eli millaisia olivat: 1) perusjoukko, johon tehdään yleistyksiä, 2) otos vai kokonaistutkimus, 3) näyte eli saadut vastaukset tai mittaustulokset, 3) vastasiko näyte perusjoukkoa ja jos ei niin minne päin aineistossa on vinoutta, jos on, 4) kato eli esim. ketkä eivät vastanneet, onko niistä analyysiä eli kadon analyysi, 5) miten aineiston ja sen keruumenetelmien mahdollinen heikkous on otettu huomioon tutkimustuloksissa, jos aineisto ei ole edustava eli ei edusta perusjoukkoa, (reliability, validity)
10. Päätulokset ja johtopäätökset (results, conclusions, recommendations)
11. Saatiinko päätuloksilla vastaukset esitettyihin tutkimuskysymyksiin ja jos ei, niin esitettiinkö jatkotutkimusaiheita ja mitä? (vrt. kohta 5.)?
12. Toteutuiko tutkimuksen tarkoitus (vrt. kohta 4.)?

Edellä mainittua tutkimusproseduuria ei löydy sellaisenaan lähes mistään tutkimusraportista tai vertaisarvioidusta tieteellisestä artikkelista. Proseduuria on pidettävä tutkimuksen kannalta ideaalina.

Menettely antaa kuitenkin vahvan tutkimuskehikon arvioida erityisesti kvantitatiivisia tutkimuksia.

⁴³ Korjonen-Kuusipuro & Janhunen, Tyyntä ja myrskyä: Tunteet osana tuulivoiman sosiaalista hyväksyttävyyttä. Alue ja ympäristö, 44:2 (2015) ss. 15-29

II LUKU

TUULIVOIMAN INFRAÄÄNEN IHMISILLE HAITALLISET VAIKUTUKSET

Jyväskylän yliopiston humanistisen tiedekunnan Musiikin laitoksella on tehty kirjallisuuskatsaustutkimus vuonna 2012 matalien taajuuksien fysiologisista ja psykologisista vaikutuksista ihmiseen. Tämän kappaleen teksti on lainattu ja otettu mukaan katsaukseen siksi, että se avaa peruskäsitteitä ja ilmiöitä, joita liittyy infraääneen. Tutkimuksen on tehnyt Emma Karoliina Hytönen. Siitä on otettu suoria lainauksia katsaukseen mukaan. Tämä tehdään siksi, että tutkimus johdattaa hyvin lukijan aihepiiriin käytännöllisellä tavalla.

12. Matalien taajuuksien fysiologiset ja psykologiset vaikutukset ihmiseen⁴⁴

Emma-Karoliina Hytösen tutkimus paneutuu tarkastelemaan matalia taajuuksia ja sen vaikutuksia. Vai-

kutusten tarkastelu on jaettu fysiologisiin ja psykologisiin vaikutuksiin. Ihmisen kehon ominaistajuudet ovat matalia taajuuksia eli pääosin alle 113 Hz. Pienet taajuudet resonovat ihmisen kehon ja elinten ominaistajuuksien kanssa, minkä vuoksi niillä on vaikutusta ihmiseen. Matalia taajuuksia hyödynnetään ihmisten hoitamisessa, josta esimerkkinä on fysioakustinen terapia. Matalia taajuuksia voidaan käyttää myös ääniaseissa, jolloin niiden tarkoituksena on häiritä ihmistä. Matalia taajuuksia esiintyy myös jatkuvasti arkielämässä erilaisen melun muodossa.

Kuuloalueen alapuolisia taajuuksia kutsutaan infraääniksi ja näitä ääniä voi vain aistia keholla. Pienitaajuisia ääniä on esimerkiksi musiikissa sekä nykypäivänä koneiden ja liikenteen aiheuttamana elinympäristössämme. Musiikki ja äänivärähtely ovat jokapäiväinen ilmiö nykyihmisen elämässä. Ihmiselle paras akustinen elinympäristö olisi täysin luonnonmukainen hiljaisuus.

Luonnossa matalia taajuuksia tavataan harvoin, ja niitä aiheuttaa lähinnä luonnonilmiöt kuten ukkonen, maanjäristys ja maanvyöryt. *Akustiikka eli äänioppi* on enim-

⁴⁴ Hytönen Emma-Karoliina 2012. Matalien taajuuksien fysiologiset ja psykologiset vaikutukset ihmiseen. Jyväskylän yliopisto, Humanistinen tiedekunta. Musiikin laitos. Musiikkitiede.

mäkseen yksi fysiikan osa-alue, joka tutkii esimerkiksi ilmassa etenevän värähtelyn aiheuttamia ääniä. Äänen eteneminen ilmassa perustuu ilman molekyylien liikkeeseen. Ilma on rakentunut erilaisista molekyyleistä, kuten hapestä, tpeystä, hiilidioksidista, hiilimonoksidista sekä monesta muusta. Molekyylien välillä ei ilmassa ole mitään, jonka vuoksi molekyylit voivat painautua toisiaan vasten tai tiivistyä pienempään tilaan. **Värähtelevä kappale** saa lähellään olevat molekyylit liikkumaan ilmassa edestakaisin eli ns. värähtelemään omassa tahdissaan. Ääniaalto syntyy siis siitä, kun molekyylit painautuvat yhteen, erkanevat ja taas painautuvat yhteen toistuvana kaavana. Äänenvoimakkuus on riippuvainen ilman vuorottelevien tiivistymisien ja ohentumisien eli ylä- ja alapaineiden välisistä paine-eroista. Lyhytaikainen ääni kuullaan, kun yli- ja alipaine tasaantuvat nopeasti. **Taajuus eli frekvenssi (f)** kertoo värähdysten lukumäärästä sekunnissa. **Taajuuden mittayksikkö on hertsi (Hz)**. Kun sekunnissa tapahtuu 1 värähdys on taajuus $f=1$ Hz. **Aallonpituus** kuvaa kahden peräkkäisen aallon huippujen keskinäistä etäisyyttä ja se on riippuvainen aallon etenemisnopeudesta ja taajuudesta f . Kun aallonpituus pienenee, taajuus suurenee ja päinvastoin. Keskimäärin ihminen kuulee 20–20 000 Hz, jonka vuoksi värähtely, jonka aiheuttamat aallot osuvat kyseisten taajuuksien välille ovat todellisia ääniaaltoja. Ihmisen kuuloalueen yläpuolella olevia ääniä kutsutaan **ultraääniksi**.

Infraääniksi puolestaan kutsutaan ihmisen kuuloalueen alapuolella olevia taajuuksia. Näitä taajuuksia ihminen ei kuule, mutta voi tuntea ja tätä kautta havaita niiden olemassaolon. Pienet taajuudet voivat siis vaikuttaa ihmiseen myös tuntoaistin kautta.

Harmonisessa äänessä on perustaajuus, joka on matalin **siniääni**. Matalien taajuuksien vaikutuksia tutkittaessa on hyötyä siitä, että siniäänen avulla voidaan luoda vain yhden taajuuden ääni, jolloin muiden taajuuksien vaikutus voidaan eliminoida. **Ominaistaajuudeksi** kutsutaan värähtelytaajuutta, jolla jokin kiinteä kappale tai systeemi värähtelee herkemmin kuin muilla taajuuksilla.

Resonanssi-ilmio liittyy olennaisesti ominaistaajuuteen. Tällä ilmiöllä tarkoitetaan **myötävärähtelyä**. Kun kahdella esineellä on sama ominaistaajuus, kohteiden sanotaan myötävärähtelevän eli resonoinvan. Ihmisen lihaksilla ja soluilla on omat ominaistaajuudet, jolloin resonanssi-ilmion voidaan olettaa tapahtuvan myös ih-

misessä. Ihmisen pehmytkudoksen värähtelytaajuus on **7–8 Hz, joka on samalla ehkä vaarallisin taajuusvärähtelyalue ihmisen kannalta**.

Psykoakustiikka on tieteenala, joka tutkii, miten ihminen havaitsee ääntä. Psykoakustiikka pyrkii selvittämään subjektiivisten havaintojen ja fysikaalisten suureiden välisen suhteen. Yksi psykoakustiikan tuottama tieto on, että äänen voimakkuusaistimus riippuu taajuudesta. Äänenpainetaso ei siis yksinään määritä sitä, kuinka voimakkaalle ääni kuulostaa.

Psykoakustiikkaan kuuluu myös paljon tietoa korvan toiminnasta ja siitä, kuinka ihminen kuulee äänet. Värähtelystä syntyvä ääniaalto osuu levitessään myös muualle ihmisen kehossa, kuin vain korviin. Koska ihmisen kehosta yli 70 % on vettä ja vedessä ääni kulkee viisi kertaa tehokkaammin kuin ilmassa, äänen taajuudet vaikuttavat koko kehoon.

Ihmisen kudoksilla ja lihaksilla on omat ominaistaajuutensa, jotka reagoivat herkästi, kun kehoon kohdistetaan tarkasti samoja taajuuksia. Kehon kudokset alkavat siis värähtelemään lähetetyn äänistimulaation mukaan. Aivotoiminnan kannalta **koherenssi** on olennainen ilmiö. Esimerkiksi häiriötilanteissa aivoihin voi syntyä sekasortoinen (inkoherentti) tilanne, joka vaikuttaa negatiivisesti ihmiseen. Jotta matalien taajuuksien vaikutuksia ihmisessä voidaan arvioida, tulisi ensimmäiseksi selvittää ihmiskehon värähtelytaajuudet. Aivokuoren hermosoluissa värähtelytaajuus on 0,5–30 Hz. Aivotoiminnan hidastumisen seurauksena ihminen rentoutuu, verenpaine laskee ja sydämen syke ja hengitys hidastuu. Taajuuksien 20–50 Hz on todettu estävän lihasten impulssit, joka aiheuttaa lihasten rentoutumista. Koko kehoon vaikuttaviksi taajuuksiksi sanotaan taajuuksia 40–80 Hz. Kipukohtauksia ja kouristuksia pitäisi vähentää taajuudet 40–60 Hz. Melu, jota aiheuttaa esimerkiksi liikenne, teollisuus, asuinympäristö, sekä vapaa-aika sisältää kohtuullisen paljon matalia taajuuksia, jotka ovat tässä tapauksessa 20–200 Hz.

Julkisivurakenteissa ei ole otettu kovinkaan usein huomioon alle 100 Hz taajuuksia, jonka vuoksi ilmaääneneristävyys on epävarmaa. Pahimmillaan matalille taajuuksille voi yliherkistyä, jolloin ääniä voi kuulla, vaikka niitä ei todellisuudessa olisikaan. Työterveyslaitoksen mukaan tieliikennemelun aiheuttamia ääniä alle 50 Hz taajuuksilla ei tarvitse ottaa huomioon julkisivu-

jen äänieristyksissä. Fysioakustinen terapia (FA) pohjautuu pienitaajuiseen äänivärähtelyyn, jota käytetään mm. musiikkiterapiassa. Vibroakustinen terapia puolestaan perustuu musiikin ja pienitaajuisten äänien yhdistämiseen. Tutkimusta on tehty mm. lihasspastisiteetin ja liikkuvuuden hoidosta, kivunlievityksestä, psyykkisissä häiriöissä, riippuvuusongelmista, stressin ja ahdistuksen hoidosta sekä keuhko- ja sydänsairauksista.

Alle 23 Hz erittäin pienet taajuudet ovat tutkimuksissa koettu epämiellyttäväksi ja ne saattavat aiheuttaa pahoinvointia. Sibelius Akatemiassa suoritetussa tutkimuksessa tutkittiin fysioakustisen hoidon vaikutuksia ihmisiin, jolloin selvisi, että FA-menetelmä vaikuttaa positiivisesti systoliseen ja diastoliseen verenpaineeseen. Hyvin pienitaajuinen ja infraäänialueen melu voi aiheuttaa fysiologisia toimintavaurioita, vaikka sitä ei kuultaisi. Tällöin vaikutukset eivät välity kuulon kautta, vaan resonaation kautta. Äänitason noustessa ihmisen kudoksissa yli 100 dB, voi muutaman Hz taajuuksilla resonanssin aiheuttamana syntyä kudostavaurioita.

Pienitaajuinen melu voi olla haitallista vain, kun se kuuluu ja havaitaan. Tällöin melu voi aiheuttaa uni-häiriöitä, heikentää suoritus- ja työkykyä sekä vaikeuttaa sosiaalista kanssakäymistä. Infraäänitason voimat voivat aiheuttaa sydän-, hengitys-, ruoansulatus- sekä keskushermoston häiriöitä. Tutkimusten mukaan rottien stressitaso nousee, kun alle 20 Hz taajuuksia eli infraäänitason voimalla 100–120 dB voimakkuudella. Samanlaisia tuloksia ihmisillä on havaittu vain, kun ihmiset ovat väsyneitä. Uneen voidaan vaikuttaa 80–100 dB pienitaajuudella melulla. Aseita voidaan käyttää myös tuottamaan kipua korviin. Korvissa tuntuva kipu on huomattava, kun 100 Hz ääntä alennetaan 50 Hz:iin pitäen voimakkuuden 135 dB. Teoriassa vaarallisimmat taajuudet ihmisen kannalta ovat 6 Hz ja 7 Hz, koska nämä ovat ihmisen pehmytkudoksille ominaiset värähtelytaajuudet. Tarpeeksi lujaa soitettuna nämä taajuudet saattavat reipiä sisäelimet. NASA:n tutkimusten mukaan taajuudet välillä 0–100 Hz soitettuna 150–155 dB voimakkuudella aiheuttaa värähtelyä rintakehässä, muuttaa hengityksen rytmiä, aiheuttaa katomistuntemuksia, päänsärkyä, yskää, visuaalisia vääristymiä sekä altistuksen jälkeistä väsymystä. Visuaalisia vääristymiä aiheuttaa taajuudet 19 Hz ympärillä, koska se saa ihmisen silmämunat värähtelemään, jonka seurauksena näköön tulee häiriöitä.

Tutkittaessa pienitaajuisten melun vaikutusta työskenteleeseen esiin on noussut, että melu vaikuttaa negatiivisesti huomioon ja oikolukemiseen. Lisäksi melun huomattiin aiheuttavan subjektiivisia oireita, joita olivat keskittymiskyvyn katoaminen, väsymys sekä tärykalvoissa tuntuva paine. Se miksi pienet taajuudet vaikuttavat ihmiseen, perustuu lähinnä resonanssi-ilmiöön; esimerkiksi liesituuletin, joka hurisee n. 19 Hz taajuudella saattaa aiheuttaa levottomuutta.

Matalien taajuuksien vaikutukset voidaan jaotella fysiologisiin ja psykologisiin vaikutuksiin.

Fysiologisiin vaikutuksiin voidaan luetella verenpaineen aleneminen, verenkierron aktivoituminen, kuona-aineiden poistuminen, lihasjännityksen väheneminen sekä mahdollinen sykkeen aleneminen.

Psykologisista vaikutuksista voi mainita rentoutumisen, ahdistuksen vähenemisen, stressioireiden lievenemisen sekä erilaisten riippuvuuksien ja traumojen hoidon. Kivunlievittäminen on sekä fysiologista että psykologista, koska vaikka eri teorioiden mukaan kivunlievittyminen johtuisi joko oksitosiinin- ja endorfiinintuotannon aktivoitumisesta tai äänivärähtelyn aiheuttamasta ns. hellästä hieronnasta joka solulle, niin oma osansa varmasti on myös rentoutumisella. Ihmisen keho värähtelee hyvin monella taajuudella, jonka vuoksi tarkkojen taajuuksien löytäminen voi olla haastavaa. Tutkimusten mukaan 40 Hz vaikuttaa parhaiten pohkeisiin ja reisiin. 50 Hz tuntuu parhaiten reisissä, lantiossa sekä ristiselässä. 60 Hz puolestaan vaikuttaa lantion ja ristiselän sekä rintakehän alueella. 70 Hz tuntuu kehon yläosissa ja 30 Hz pohkeissa ja reisissä. 20 Hz vaikuttaa laaja-alaisesti pohkeiden ja lanteen väliselle alueelle. Alle 23 Hz eli erittäin pienet taajuudet saattavat olla hieman epämiellyttäviä, ja ne saattavat aiheuttaa pahoinvointia. Taajuuksien vaikutukseen liittyy myös äänenvoimakkuus, jonka vuoksi on hankala tehdä selkoa siihen, kuinka mikäkin taajuus itsenäisesti ihmiseen vaikuttaa. Sama taajuus voi olla sekä haitallinen (aiheuttaa levottomuutta ja pahoinvointia) että rentouttava riippuen äänenvoimakkuudesta.

Matalia taajuuksia hyväksi käytävää pienitaajuista äänivärähtelymenetelmää käytetään fysioterapiassa. Tällä hetkellä FA-menetelmän käyttö ei edellytä minkäänlaista koulutusta, vaikka sitä käytettäisiin hoitotyössä. Liikuntatieteiden, terveystieteiden ja fysioterapian tut-

kimukset keskittyvät usein pelkkiin fysikaalisiin ilmiöihin. Vaikka matalilla taajuuksilla on vaikutusta ihmisen fysikaaliseen puoleen, parhaimmat tulokset saadaan kuitenkin, kun ihminen otetaan huomioon kokonaisuutena, jolla on myös psykologinen puoli.

Melu, jota aiheuttaa esimerkiksi liikenne, teollisuus, asuinympäristö sekä vapaa-aika, sisältää kohtuullisen paljon matalia taajuuksia (20–200 Hz). Mielenkiintoista olisi jatkossa selvittää voiko matalia taajuuksia sisältävä melu aiheuttaa vaurioita tai epätasapainoa ihmisen kehossa äänten resonoidessa hallitsemattomasti?

13. Melua koskeva regulaatio⁴⁵

Melu on ääntä, joka koetaan epämiellyttävänä tai häiritsevänä tai joka on muulla tavoin terveydelle vahingollista tai hyvinvoinnille haitallista. Mukaan otetussa raportissa käsitellään ainoastaan ympäristömelua.⁴⁶ Melulle altistuvilla ihmisillä tarkoitetaan tässä raportissa henkilöitä, joiden asuinalueella ulkomelutaso ylittää valtioneuvoston päätöksen 993/1992 mukaiset ohjearvot. Laitemeluasetus on Valtioneuvoston asetus ulkona käytettävien laitteiden melupäästöistä (621/2001). Melun ohjearvoista on annettu Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista (993/1992). Tärinä on värähtelyä, joka välittyy esim. värähtelevästä pinnasta tai kappaleesta ihmiseen ja joka on haitallista ihmisten viihtyvyydelle ja pitkäaikaisena altistena terveydelle. YSL eli Ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja YSA eli Ympäristönsuojeluasetus (169/2000) ovat jo 20 vuotta vanhoja. Tuulivoimaloille on annettu valtioneuvoston asetus (1107/2015) tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.

Tuulivoiman aiheuttamaa maanvärähtelyä⁴⁷ ei ole tutkittu Suomessa lainkaan.

Tuulivoimalat ovat uusi ympäristömelulähdeyyppi. Tuulivoimalat sijoitetaan yleensä aiemmin meluttomiin tai hyvin hiljaisiin ympäristöihin, jolloin alhaisetkin äänitasot erottuvat helposti. Usein niiden sijainnin takia melun vaikutusalueilla on myös loma-asutusta. Lisäksi tuulivoimaloiden melu koetaan muihin melulähteisiin verrattuna häiritsevänä jo hyvin alhaisilla äänitasoilla.

Tuulivoimaloiden aiheuttamaa häiriötä pyritään ennaltaehkäisemään maankäytön suunnittelulla ja riittävällä meluun liittyvällä ohjeistuksella, joita ovat mm. sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysasetus.⁴⁸ Melumittauksessa tulee käyttää tarkkuudeltaan ja toiminnoiltaan luotettavaksi osoitettua mittauslaitteistoa, jolla saatuja mittaustuloksia voidaan verrata Asumisterveysasetuksessa säädettyihin toimenpiderajoihin. Melumittaus tehdään oleskeluvyöhykkeellä. Mittauslaite sijoitetaan melun kokemisen ja haittavaikutusten kannalta tarkoituksenmukaiselle korkeudelle ja paikkaan, tavallisimmin pään korkeudelle. Mittauspiste voi olla myös vuode ja vuoteessa olevan henkilön pään alue. Mittauspiste ei saa kuitenkaan ilman perusteltua syytä sijaita alle 0,5 metrin etäisyydellä mistään huonepinnasta. Kun melutaso mitataan, ikkunoiden, ulkoovien ja tuuletusluukkujen tulee olla kiinni.

Melun toimenpiderajoista on säädetty: Asunnon tai muun oleskelutilan terveydellisten olosuhteiden todentamiseen sisämelun päivä- ja yöajan keskiäänitasoon sovelletaan omia toimenpiderajojaan. Kun melu on pienitaajuisia, sovelletaan yöaikaisen melun toimenpiderajoja. Pienitaajuisen melun toimenpiderajat koskevat tiloja, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Yöaikainen (klo 22–7) musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona LAeq, 1 h (klo 22–7) mitattuna niissä

⁴⁵ Valtioneuvoston periaatepäätöksen ja valtakunnallisen toimintaohjelman toteutumista meluntorjunnassa selvittäneentyöryhmän raportti 2013.

⁴⁶ Ympäristöministeriö, 2013 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41509/YMra_7_2007_Vnp_meluntorjunnasta.pdf?sequence=2

⁴⁷ Van Kamp, Irene & Van den Berg, Frits: Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound, REVIEW PAPER, Australian Acoustical Society 2017. <https://www.researchgate.net/publication/320579704>

⁴⁸ <https://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>

tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Teknisten laitteiden aiheuttama melu asuinhuoneissa ei saa ylittää seuraavia arvoja: teknisten laitteiden yö-aikaisen melun enimmäistasoa LAFmax (klo 22–7) ei saa ylittää 33 dB. Jos melua esiintyy yöaikaan satunnaisesti tai harvoin, arvot saavat olla tätä suurempia kuitenkin siten, että yli 45 dB tasoja ei esiinny lainkaan. Samassa huoneistossa laskettavan veden aiheuttamaa ääntä ei oteta huomioon mitattaessa tässä momentissa tarkoitettua melua. Kuulovaurion välttämiseksi melun äänitasot eivät saa ylittää LAeq, 4 h 100 dB, LAFmax 115 dB tai LCpeak140 dB. Jos yksi tai useampi näistä ylittyy, on melualtistusta rajoitettava joko suojaamalla kuulo, vähentämällä melutasoa tai rajoittamalla melua aiheuttavaa toimintaa ajallisesti.

Melumittaustulosten korjaamisesta on säädetty seuraavasti: Impulssimaisen melun haitallisuuden vuoksi keskiäänitasoon lisätään laskennallinen impulssikorjaus, jonka suuruus on 5 dB tai 10 dB riippuen melun impulssimaisuudesta. Kapeakaistaisen melun haitallisuuden vuoksi keskiäänitasoon lisätään laskennallinen kapeakaistakorjaus, jonka suuruus on 3 dB tai 6 dB riippuen melun kapeakaistaisuudesta. Impulssimaisuus- ja kapeakaistaisuuskorjaus tehdään vain sille ajalle, jolloin melussa esiintyy altistuvassa kohteessa impulssimaisuutta tai kapeakaistaisuutta.

Onko tuulivoimalaitosten infraääni haitaksi terveydelle?⁴⁹

Mitä infraääni on?⁵⁰ Ääni etenee ilmassa nopeudella 343 m/s eli n. 1 235 km/h. Tätä nopeutta kutsutaan myös äänen nopeudeksi. Ilmanpaineen pienet vaihtelut etenevät ääniaaltojen muodossa. Jokainen, joka on ollut konsertissa ison bassokaiuttimen edessä tietää, että matalia ääniä ei kuulla vain korvilla, vaan että niiden ääniaaltojen värähtelyn voi tuntea kehossa. Jokaisella äänellä ei siis ole pelkästään kuulokynnystä vaan myös havaintokynnys.

Äänen korkeus riippuu sen taajuudesta, joka ilmoitetaan hertseinä (Hz). Yksi hertsi on yksi värähdys sekunnissa. Matalilla äänillä on alhainen taajuus ja kor-

keilla korkea taajuus. Ääniaallot, joiden taajuus on 20 ja 20 000 hertsin välillä, ovat kuuloalueella.

Tällä alueella ihminen pystyy erottamaan äänen korkeuden ja voimakkuuden vaihtelut. Matalia ääniä (20–60 hertsiä) pystytään kuulemaan, mutta niiden sävelkorkeuden erottaminen on vaikeaa. Vain välillä 60 ja 20 000 hertsiä pystymme selvästi havaitsemaan eroja sävelkorkeudessa ja voimakkuudessa. Puhe ja musiikki ovat tällä alueella. Ihmisen korva on herkimmillään 500 ja 5 000 hertsin välisellä keskialueella.

Ääniaaltoja, jotka ovat ihmisen kuuloalueen ulkopuolella, kutsutaan ultraääniksi. Esimerkiksi lepakot suunnistavat ultraäänen ja täten ympäristöstä saadun kuulokuvan avulla. Lääketieteessä ultraääniä käytetään kehon sisäiseen kuvantamiseen esim. raskauden ja onnettomuuksia yhteydessä.

Infraääniksi sanotaan ääntä, joka on taajuudeltaan alle 20 hertsiä. Tällä matalalla alueella ihminen ei voi enää kuulla äänen korkeutta. Sitä vastoin norsut ja sinivalaat kommunikoivat keskenään infraäänen avulla jopa pitkienkin matkojen päähän.

Pienitaajuiseksi ääneksi kutsutaan 100 hertsin taajuuden alapuolella olevia ääniä. Siihen kuuluu infraääni sekä ihmiselle juuri ja juuri kuultavissa olevat äänet.

Ääniaallot ovat periodisia vaihteluita ilmanpaineessa ja etenevät ilmassa värähtelyinä.

Värähtelyillä, joilla on alhainen taajuus, on selvästi suurempi aallonpituus kuin korkeataajuisemmalla kuuloalueella olevalla äänellä: 20 000 hertsin kohdalla aallonpituus on noin 1,7 senttimetriä, 20 hertsin kohdalla noin 17 metriä. Kymmenen hertsin kohdalla aallonpituus on puolestaan noin 34 metriä ja yhden hertsin kohdalla n. 340 metriä.

Kuinka ihminen havaitsee infraääntä? Ihminen havaitsee ääniä ensisijaisesti korviensa avulla. Tällaista äänien akustista havaitsemista kutsutaan kuulemiseksi. Matalien taajuuksien alueella (100 hertsin alapuolella) kuulemisen tapa ja laatu muuttuvat. Sävelkorkeuden havainnointi heikentyy ja infraäänien alueella sävelkorkeutta ei havainnoida enää lainkaan. Kuulemista sanan

⁴⁹ ISO 7196, Bajjerin ympäristövirasto 2013

⁵⁰ ISO 7196, März 1995: Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements:

<https://www.iso.org/standard/13813.html>

<https://docplayer.fi/6033974-Tuulivoimalaitokset-onko-infraaani-haitaksi-terveydelle.html>

perinteisessä merkityksessä ei enää tapahdu infraäänien alueella. Tästä huolimatta ääniärsyksen havaitseminen korvan kautta on mahdollista myös infraäänien alueella. Tähän tarvitaan kuitenkin selvästi korkeampaa äänen tasoa kuin kuuloalueella olevien äänien kohdalla.

Korvan avulla tapahtuvan akustisen havainnoinnin lisäksi pienitaajuuksisia ääniä voidaan havaita myös muilla aistielimillä: kosketusaistilla (taktiilinen) ja tasapainoaistilla (vestibulaarinen). Tällaista havainnointia kutsutaan ”tuntemiseksi”. Pienitaajuuksisella äänialueella on siirtymä kuulemisesta tuntemiseen portaaton. Siinä missä korvan herkkyyden havaita matalia taajuuksia laskee selvästi, voi ihminen havaita korkealla äänentasolla olevaa infraääntä kehossaan: Tällöin havaitaan korvan ja muiden kehonosien (esim. keuhkojen, nenän ja otsaontelon) kautta värähdyksiä ja tärinää. Tällaisia aistimuksia ei voi kuvata käsitteillä ”luja” tai ”hiljainen”, vaan vain käsiteparilla ”voimakas” tai ”heikko”. Ilmanpaineen vaihtelut voivat lisäksi saada aikaan paineentunteen korvissa, joka on verrattavissa korvissa tuntuvaan paineeseen lentokoneen lähden yhteydessä. Nieleminen korvatorven paineen tasoittamiseksi ei kuitenkaan helppota paineen tunnetta.

Missä infraääni syntyy? Infraääntä syntyy fysikaalisista tapahtumista. On olemassa sekä luonnollisia että keinotekoisia infraäänien lähteitä.

Luonnollisia infraäänien lähteitä: Luonnollisiin infraäänien lähteisiin kuuluvat esimerkiksi seuraavat tapahtumat ja ilmiöt:

- tulivuorenpurkaukset, maanjäristykset
- tyrskyaallokko, kova merenkäynti
- lumi- ja kivivyöryt
- kova puuskainen tuuli, myrskyt, rajuilma
- ukkonen rajuilman yhteydessä

Luetelluissa ei ole säännöllistä pulssimaisuutta vaan satunnainen pulssimaisuus.

Jos infraääni syntyy sääolosuhteiden ja merenkäynnin yhteydessä, puhutaan mikrobaromeista. Luonnollisten infraääni-ilmiöiden äänitaso on useimmiten varsin korkea. Yleensä ne ovat lujaäänisempiä kuin keinotekoiset infraäänien lähteet. Esimerkiksi tuulenpuuskat voivat olla äänenvoimakkuudeltaan jopa 135 desibeliä.

Keinotekoiset infraäänien lähteet: Useat ihmisen valmistamat laitteet tai ihmisen toimet voivat tuottaa kuulutavan äänen lisäksi myös korkeita infraäänitasoja. Esimerkkejä ovat:

- suuret kaasuturbiinit, lauhdutinasetat, puristimet, täryttimet, kompressorit, pumput
- liikennevälineet (kuorma-autot, laivat, lentokoneet, suihkumoottorit, helikopterit)
- räjäytykset ja räjähdykset
- lentokoneiden yliaänipamaus
- tehokkaat kaiutinjärjestelmät suljetuissa tiloissa
- äänen pulssimaisuus keinotekoisissa äänissä

Infraääntä syntyy käytännössä katsoen kaikissa toiminnissa, joista aiheutuu melua ja ääniä. Korkeat infraäänitasot ovat mahdollisia monilla teollisuuslaitoksissa olevilla työpaikoilla. Muutoin äänitaso on niin alhainen, että infraääni ei ole havaittavissa.

Kuinka infraääni etenee? Johtuen suuresta aaltopituudestaan infraäänien ominaisuudet ovat erilaiset kuin kuultavalla äänellä. Ympäristö vaimentaa pienitaajuuksisia ääniaaltoja vähemmän kuin korkeataajuuksisia, joista osa absorboituu ilmaan tai maaperään. Sen lisäksi erilaiset esteet kuten kalliot, puut, suojavallit ja rakennukset eivät suojaa tehokkaasti pienitaajuuksisia ääniaaltoja vastaan, koska ne ovat pieniä verrattuna aaltopituuteen. Pitkillä matkoilla pitkäaaltoinen ääni heikkenee lähestulkoon vain geometristen lainalaisuuksien mukaan: jos matka kaksinkertaistuu, äänienergia jakautuu nelinkertaiselle pinta-alalle. Vastaavasti äänitaso laskee kuudella desibelillä (dB).

14. Perustutkimuksia infraäänestä

14.1. Pienitaajuisen äänen vaikutukset rottiin: todisteet kromosomaalisista poikkeavuuksista luuydinsoluissa ja pienimolekyylipainoisen DNA:n vapautuminen veriplasmassa

Tutkimuksessa pyritään osoittamaan genotoksisia muutoksia veriplasmassa pienitaajuiselle ja infraäänelle altistumisen seurauksena.⁵¹ Tässä esitellään Vasilyevan tutkimus yleisemmin ja yksityiskohtaisemmin seuraavassa kappaleessa 14.2.

Tutkimuksen alkuperäinen englanninkielinen nimi on: Rats: Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma

Tutkimusabstrakti: ”Yksi altistuminen pienitaajuiselle äänelle rotilla lisäsi kromosomaalisten poikkeamien määrää luuydinsoluissa ja ImwDNA-taso veriplasmassa lisääntyi. Veriplasman imwDNA-tasot pysyivät korkeina vähintään 7 päivän ajan yhden pienitaajuiselle äänelle altistumisen jälkeen. Moninkertainen altistuminen pienitaajuiselle äänelle johti vielä suurempaan ImwDNA-pitoisuuteen veriplasmassa verrattuna yksittäisiin altistuksiin. Nämä tiedot viittaavat siihen, että pienitaajuisella äänellä on mahdollinen mutageeninen vaikutus ja se voi voimistaa apoptoosia.”

Tutkimuksen tavoitteet: Pienitaajuisen äänen (LFN) vaikutuksen arviointi kromosomaalisten poikkeamien

esiintyvyydelle luuydinsoluissa ja pienimolekyylipainoisen DNA:n (ImwDNA) pitoisuuteen rottien veriplasmassa.

Materiaalit ja menetelmät: Yhteensä 96 urospuolista Wistar-rottaa altistettiin joko yhdelle (17 minuutin jakso) tai monelle (17 minuutin jakso toistettiin viisi kertaa viikossa 13 viikon ajan) LFN:lle, maksimialue alle 250 Hz ja äänenpainetasot (SPL) 120 ja 150 dB. Kontrolliryhmien rotille ei tehty mitään. Kromosomaalisten poikkeamien taajuus luuytimen soluissa ja ImwDNA:n tasot veriplasmassa mitattiin sen jälkeen.

Tutkimustulokset: On havaittu, että yhdellä LFN-altistuksella kummallakin äänenpainetasolla kromosomaalisten poikkeamien taajuus kasvoi merkittävästi (yli 10-kertainen) verrokkeihin verrattuna ($0,9 \pm 0,3$ %) ja johti kaksikeskisten kromosomien esiintymiseen aberraatiospektrissä, jotka molemmat ovat selviä syitä altistumisen laukaisemien kaksoisjuosteisten deoksiribonukleiinihappokatkosten esiintymiselle. Lisäksi seuraavana päivänä mitatut veriplasman ImwDNA-tasot yhden LFN-altistuksen jälkeen olivat merkittävästi korkeammat (7,7- ja 7,6-kertaiset) kuin kontrolliryhmässä ($11,0 \pm 5,4$ ng / ml), ja tällaiset tasot säilyivät korkeammalla (4,8- ja 2,1-kertainen) tasolla yhden LFN-altistuksen jälkeen 120 ja 150 dB:n SPL:n verrannolle verrattuna kontrolliryhmään ($18,8 \pm 1,6$ ng / ml). Samanlaisia tuloksia saatiin ryhmästä, jolla oli useita LFN-altistuksia (vastaavasti 36,4- ja 22,4-kertaiset) verrattuna kontrolliin ($17,7 \pm 1,7$ ng / ml) ja viittaavat solujen apoptoosin lisääntymiseen LFN-vaikutuksen seurauksena.

Johtopäätökset: Oletettavasti LFN:llä voi olla mutageenisia vaikutuksia ja se voi aiheuttaa massiivisen solukuoleman.

Albert Scheurer tulkitsee tutkimusta kohdan 14.2. päätteeksi.⁵²

⁵¹ Vasilyeva, Irina.N. & Vladimir G Bespalov & Alexander L Semenov & Denis A Baranenko & Valery N Zinkin Rats: Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma Noise Health Mar-Apr 2017;19(87):79-83. [The Effects of Low-Frequency Noise on Rats: Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma](#) - PubMed (nih.gov) Scientific Laboratory for Cancer Chemoprevention and Oncopharmacology at N.N. Petrov Research Institute of Oncology under the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow; International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation Research and Testing Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics at 4th Central Research Institute under the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation Petersburg, Russian Federation Research and Testing Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics at 4th Central Research Institute under the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation.

⁵² https://bi-niederasphe.de/wp-content/uploads/2019/12/DRS_Vibroakustische-Erkrankung-6.-gentoxische-Schäden-im-Blutplasma.pdf

14.2. Genotoksisten vaurioiden havaitseminen pienitaajuisesta äänestä ja infraäänestä veri­plasmassa

Pienitaajuinen ääni välillä 300 Hz – 20 Hz ja infraääni välillä 20 Hz – 0,1 Hz tulee erilaisista äänilähteistä, kuljetusajoneuvoista, teollisuuskoneista, kompresso-reista, tuuliturbiineista ja kodin lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmistä.

Maailman terveysjärjestön (WHO) ohjeiden mukaan pienitaajuisesta äänestä ja infraäänestä on tullut vakava ympäristöongelma, joka voi johtaa sairauteen ja kuolemaan.

Toisin kuin kuultava ääni, pienitaajuinen ääni ja infraääni leviävät pitkiä matkoja, ja rakennusten seinät ja ikkunat vaimentavat sitä vähemmän. Irina Vasilyevan mukaan 15–20 minuutin altistuminen pienitaajuiselle äänelle, jonka äänenpainetaso on 90–135 dB ja taajuus enintään 100 Hz, johtaa epätavalliseen väsymykseen, ärtyneisyyteen, päänsärkyyn, lisääntyneeseen hikoi-luun, kipuun sydämen alueella ja hengitysvaikeuksiin. Vasilyeva tulkitsee, että pitkäaikainen altistuminen pie-nitaajuiselle äänelle, jonka äänenpainetaso on 58–61dB, aiheuttaa tuntuvaa stressiä, unihäiriöitä, vibroakustista tautia ja sisäkorvan, vestibulaarisen järjestelmän saira-uksia, mikä aiheuttaa huimausta, pahoinvointia ja sil-mien nystagmusta.

Silmävärve eli nystagmus tarkoittaa tahatonta, yleensä nopeaa, nykivää, edestakaista silmien liikettä.

Vasilyeva tutkimusryhmineen⁵³ on osoittanut rotilla, että pienitaajuinen ääni ja infraääni voivat aiheut-taa massiivisen solukuoleman eläinkehossa tapahtuvan apoptoosin kautta ja vahingoittaa geneettistä materiaalia (genomit, kromosomit). Vaurioituneen genomien spesi-fisten fragmenttien havaitseminen apoptoosin näyttäjinä on mahdollista määrittämällä veri­plasmassa matalan molekyyli­painon omaavat DNA-fragmentit. Verikoe osoittaa apoptoosin ja sen laajuuden.

Apoptoosi on organismin yleisin solukuoleman muoto. Apoptoosi on yksittäisten solujen ohjelmoi-dun solukuoleman muoto. Apoptoosia voidaan sti-muloida sisäisillä ja ulkoisilla prosesseilla, esimerkiksi genomien vakavien vaurioiden jälkeen, esim. radioak-tiivisilla säteillä, röntgensäteillä. Päinvastoin kuin toi-nen solukuoleman mekanismi, nekroosi, kyseinen solu suorittaa aktiivisesti apoptoosia ja on osa normaalia ai-neenvaihduntaa. Apoptoosi varmistaa, että kyseiset so-lut häviävät vahingoittamatta naapurikudosta. Solujen apoptoosi voidaan osoittaa mikroskooppisesti kudok-sissa ja elävissä ihmisissä makroskooppisesti magneet-tikuvantamalla. Genomifragmentit, DNA-fragmentit, kulkeutuvat veri­plasmaan ja voidaan havaita veri­plas-masta käyttämällä todistettua, herkkää, suhteellisen yk-sinkertaista geelielektrofooresimenetelmää. DNA-frag-menttien havaitsemista veri­plasmassa voidaan käyttää kiinteänä apoptoosin mittana. DNA-fragmenttien plas-mataso korreloi apoptoottisen solukuoleman vakavuu-den kanssa kehossa.

DNA-fragmenttien havaitsemista veri­plasmassa ja muissa biologisissa nesteissä käytetään näyttäjänä solu-kuolemalle apoptoosin kautta kliinisessä käytännössä ja tieteellisissä tutkimuksissa. Erityisen tärkeitä DNA-frag-menteja ovat dizentriset, kaksikeskiset kromosomit. Dizentriset kromosomit ovat epänormaaleja kromoso-meja, jotka johtuvat 2 kromosomifragmentin fuusiosta. Kaksikeskisten kromosomien olemassaololla on myös kliinisiä vaikutuksia henkilöillä, joilla on joitain neuro-logisia ja pahanlaatuisia sairauksia. Veri­plasmaan kaksi-keskiset kromosomit voivat toimia biomarkkereina tiet-tyjen sairauksien etsimisessä. DNA-fragmentoitumisesta ja veri­plasmaan kaksikeskisistä kromosomeista johtuvat genomivauriot syntyvät radioaktiivisella säteilyllä so-lun ytimissä. Dizentristen kromosomien havaitsemista veri­plasmassa pidetään luotettavana biologisena indi-kaattorina akuutista altistumisesta ionisoivalle säteilyl-le. DNA-fragmentit voidaan liittää immuunivasteeseen ja kehon solujen pahanlaatuiseen transformaatioon.

⁵³ Vasilyeva, Irina.N. & Vladimir G Bespalov & Alexander L Semenov & Denis A Baranenko & Valery N Zinkin Rats: Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma Noise Health Mar-Apr 2017;19(87):79-83. [The Effects of Low-Frequency Noise on Rats: Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma](#) - PubMed (nih.gov)

Tutkimusmenetelmä: Vasilyeva on tutkinut pienitaajuuden äänen ja infraäänien vaikutusta kromosomivaurioiden esiintymistiheyteen luuydinsoluissa ja matalan molekyylipainon omaavien DNA-fragmenttien tasoon rottien verioplasmassa. 17 minuutin altistusajan aikana rotat altistettiin 120 dB:n tai 150 dB:n äänenpainetasolle taajuusalueella <250 Hz (suurin alueella 2 Hz – 40 Hz). Yksi testiryhmä altistettiin kerran ja toisessa testiryhmässä useita kertoja (17 minuutin altistuminen, 5 kertaa viikossa ja 2 päivän tauko, 13 viikkoa). Kontrolliryhmille ei tehty mitään.

Rottien luuytimen solujen kromosomaaliset muutokset määritettiin mikroskopialla. Laskettiin luuydinsolujen kromosomimuutosten prosenttiosuus ja kromosomimuutosten kokonaistaajuus. Pienen molekyylipainon omaavien DNA-fragmenttien määrät verioplasmassa määritettiin kokeellisesti toimivaksi todistetulla geeli-elektroforeesi-menetelmällä.

Tulokset: Luuydinsolujen kromosomaalisten muutosten kokonaismäärä kasvoi yhden kerran pienitaajuiselle äänelle ja infraäänelle altistuksen jälkeen, kun äänenpainetaso oli 120 dB ja 150 dB, altistetuissa ryhmissä 12 ja 11 kertaa vertailuryhmiin verrattuna. Pienitaajuiselle äänelle ja infraäänelle altistuneiden ryhmien kromosomaalisten fragmenttien spektri poikkesi huomattavasti ja merkittävästi kontrolliryhmien spontaanien kromosomaalisten fragmenttien spektristä.

Huomattavaa on, että kromosomimuutosten yleiset taajuudet ja niiden spektri eivät eronneet toisistaan merkittävästi ryhmissä, joissa altistuminen oli 120 dB ja 150 dB.

Yhden kerran altistuksen jälkeen 120 dB:lle ja 150 dB:lle veren plasmataso nousi 7,7- ja 7,6-kertaiseksi molemmissa ryhmissä. 7 päivän kuluttua yhden kerran altistumisen jälkeen pienitaajuiselle äänelle ja 120 dB:n tai 150 dB:n infraäänelle, plasmataso (DNA-fragmentteja joilla oli pieni molekyylipaino verioplasmassa) oli merkittävästi lisääntynyt, 4,8- ja 2,1-kertaiseksi molemmissa ryhmissä. Rottien toistuva altistuminen pienitaajuiselle äänelle ja infraäänelle tasoilla 120 dB ja 150 dB, 5 kertaa viikossa 13 viikon ajan, kasvatti matalan molekyylipainon DNA-fragmenttien määrää verioplasmassa vastaavasti vertailuryhmiin verrattuna 22,4-kertaiseksi. Tämä osoittaa solun apoptoosin pysähtymisen ja voi-

mistumisen pienitaajuuden äänen ja infraäänien toistuvan toiminnan seurauksena.

Johtopäätöksiä: Tutkimus osoittaa pienitaajuuden äänen vaikutuksen solujen genomiin. Vasilyeva osoittaa pienitaajuuden äänen ja korkean äänenpainetason infraäänien vaikutuksen kehon solujen genomiin yli 10-kertaisen lisääntymisen myötä rottien luuytimen kromosomimuutoksissa verrokkieläinten spontaaneihin muutoksiin verrattuna. Tämä osoittaa, että pienitaajuinen ääni ja infraääni voivat rikkoa DNA:n kaksoiskierteen solunytimessä. Ja tämä vaikutus voidaan havaita verioplasmassa yli 7 päivän ajan yhden altistuksen jälkeen genomien huomattavan lisääntyneille DNA-fragmenteille.

Tutkimus osoittaa, että verioplasmassa taso on edelleen kohonnut 7 päivän kuluttua, vaikka DNA-fragmentit poistuvat nopeasti kehosta. Tästä voidaan päätellä, että apoptoottinen solukuolema jatkuu jonkin aikaa pienitaajuiselle äänelle altistumisen jälkeen.

Apoptoosin kautta tapahtuvan solukuoleman lisäksi vaikutukset genomiin voivat myös aiheuttaa pysyviä kromosomimuutoksia, jotka voivat johtaa heikentyneeseen hedelmällisyyteen, syöpään ja perinnöllisiin sairauksiin. Vasilyeva osoitti vuonna 2001, että ionisoiva säteily lisää huomattavasti kromosomaalisten muutosten taajuutta luuytimessä ja vuonna 2011, että pienitaajuinen ääni ja infraääni lisäävät suuresti kromosomimuutosten esiintyvyyttä luuytimessä. Molemmat voidaan havaita myös veren molekyylipainoltaan pienen molekyylipainon omaavien DNA-fragmenttien huomattavan lisääntymisen kautta. Vasilyeva ja Bepalov ovat osoittaneet, että rottien koko kehon säteilytys 2 GY:n ionisoivan säteilyn annoksella lisää luuytimen kromosomaalisten muutosten taajuutta yli 10 kertaa verrattuna kontrolliryhmiin.

Voidaan olettaa, että pienitaajuuden äänen ja infraäänien aiheuttama saman suuruusluokan haitallinen vaikutus rottien luuydinsolujen genomeihin on verrattavissa ionisoivan säteilyn vaikutuksiin. On tunnettua, että ionisoivan säteilyn pitkäaikainen vaikutus lisää leukemian ja muiden pahanlaatuisten sairauksien riskiä. Voidaan olettaa, että altistuksella pienitaajuiselle äänelle ja infraäänelle voi olla myös karsinogeeninen vaikutus. Pitkäaikaisen vaikutuksen mahdollinen riski voidaan selvittää eläinkokeilla (ja ihmisillä tehdyillä epidemiologisilla

tutkimuksilla – ”eettisesti perusteltavissa”) mittaamalla veriplasman DNA-fragmentit.

Äänenpainetasot 120 dB ja 150 dB Vasilyevan ko-
keessa, jonka altistus aika on 17 minuuttia, ovat paljon korkeammat kuin ihmisen tavallinen ympäristössä ta-
pahtuva altistuminen. Vaikutus genomiin osoittaa kui-
tenkin genotoksisen vahingon riskin ihmisille ja eläimil-
le, jos pienitaajuuden äänen ja infraäänien alhaisemmat
äänepainetasot vaikuttavat pitkään (vuosia ja vuosi-
kymmeniä). Vasilyeva epäilee, että solukuolema keuh-
koissa ja veressä olevan apoptoosin kautta on tärkein
syy DNA-fragmenttien lisääntyneeseen veripitoisuu-
teen. Spesifisyyden puutteen vuoksi ei ole tällä hetkellä
mahdollista tunnistaa sairastunutta elintä määrittämäl-
lä elinkohtaisia merkkejä. Voidaan olettaa, että pitkäl-
lä altistuksella pienitaajuiselle äänelle ja infraäänelle
on karsinogeeninen vaikutus, mutta vähimmäistehoa
ei toistaiseksi vielä tunneta. Varsinkin sen jälkeen, kun
Castelo Branco julkaisi epäilyn lisääntyneestä kasvain-
ten esiintyvyydestä vibroakustista tautia sairastavilla
potilailla melulle ja tärinälle altistuvissa lentokoneol-
lisuuden työntekijöissä sekä eläinten henkitorven lima-
kalvojen dysplasioista ja metaplasioista pienitaajuiselle
äänelle ja infraäänelle ja tärinälle altistumisen jälkeen.
Katso myös professori Alves-Pereira Mariana & Cas-
telo Branco Nuno A. A.⁵⁴

Albert Scheuerin yhteenveto tutkimuksesta:

1. Vasilyevan tutkimukset, kuten Castelo Brancon tutki-
mukset osoittavat, että pienitaajuisella äänellä, jolla on
korkea äänenpainetaso, on genotoksinen vaikutus, mikä
johtaa lisääntyneeseen apoptoottiseen solukuolemaan ja
lisääntyneeseen DNA-sirpaloitumiseen veressä. Vasilye-
va vertaa vaikutusta ionisoivan säteilyn vaikutukseen.

Tämänhetkisen tieteellisen tietämyksen mukaan on
siis virheellistä kuvata pienitaajuisia ääntä ja infraääntä
terveydelle vaarattomaksi.

2. DNA-fragmenttien suhteellisen yksinkertainen ha-
vaitsemismenetelmä veriplasman geenielektroforeesilla
tapahtuvan genomivaurion merkinä on osoittautunut
toimivaksi menetelmäksi lääketieteellisessä diagnosti-
kassa ja tutkimuksessa. Sitä käytetäänkin rutiininomai-
sesti todistamaan altistus ionisoivalle säteilylle.

3. Mitä tämä tarkoittaa asukkaille ja eläimille? Sen
jälkeen, kun tuuliturbiinit on asennettu, on mahdollista
suurella todennäköisyydellä, että kotieläimiltä voidaan
ottaa verinäytteitä ja määrittää DNA-fragmentit erikois-
tuneissa laboratorioissa, joista sitten ilmenee geneettisiä
vaurioita, jos etäisyyttä tuulivoimaloihin on alle 1000 m.
Tuuliturbiinien rakentamisen jälkeen jokaisella asuk-
kaalla on todennäköisesti mahdollista potentiaalinen
geneettinen vaurio verinäytteen ja DNA-fragmenttien
määrittämisen kautta erikoistuneissa laboratorioissa,
kuten tänään on myös mahdollista tutkia altistumista
ionisoivalle säteilylle. (International Classification of
Disease, ICD-10 Version, WHO, 2016), joissa on otet-
tu huomioon tuulivoiman infraääni v. 2016^{55, 56, 57}

14.3 Myrkylliset vaikutukset immuunijärjestelmään⁵⁸

Tutkimuksen suomenkielinen nimi: Infraäänien vaiku-
tus rotan veren immunologisiin ominaisuuksiin. Eng-
lanninkielinen nimi: The influence of the infrasound
on the immunological properties of rats blood.

⁵⁴ <https://waubrafoundation.org.au/wp-content/uploads/2014/03/Alves-Periera-Castelo-Branco-Scientific-Arguments-VAD.pdf>

⁵⁵ https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf <https://icd.who.int/browse10/2016/en#/W43>
International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10)-WHO Version for ;2016

⁵⁶ Krahé, Detlef & Alexander Alaimo Di Loro & Uwe Müller, & Eva-Maria Elmenhorst & Riccardo De Gioannis, & Stefan Schmitt & Christin Belke & Sarah Benz & Stephan Großarth & Dirk Schreckenberger & Christian Eulitz & Bianca Wiercinski & Ulrich Möhler Möhler. 2020. Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen, Umweltbundesamt Bergische Universität Wuppertal Wuppertalin yli-
opisto, Saksan ilmailututkimuskeskus Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), München Im Auftrag des Umweltbun-
desamtes München Liittovaltion ympäristökeskus. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/laermwirkungen-von-infraschallimmissionen>

⁵⁷ <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>

⁵⁸ S.T. Tuleuhanov O.S., Desouky, M.A. Mohase. 2010. The influence of the infrasound on the immunological properties of rats blood. <https://www.windwahn.com/2017/05/01/infraschall-toxische-wirkung-auf-das-immunsystem/> <https://www.windwahn.com/wp-content/uploads/2016/12/art06Tuleuhanov.pdf>

Kyseessä on kansainvälinen laboratoriotutkimus: Tutkimus infraäänien haitallisista vaikutuksista: suora ja epäsuora altistuminen äänelle eläinkokeissa. Se toteutettiin Kazakstanin ja Egyptin tutkijoiden kesken vuonna 2010⁵⁹.

Voidaan päätellä, että suora ja epäsuora altistuminen infraäänelle 10 minuutin ajan (13–30 Hz, intensiteetti 10,9–14 dB) voi stimuloida immuunijärjestelmää ja johtaa sitten häiriöön valkosolujen muodostumisessa ja epäkypsien solujen esiintymiseen veressä. Ihmisten tulisi olla varovainen näiden matalien taajuuksien kanssa.”

Muut taajuudet ja äänenpaineet johtavat lisävahinkoihin, näin valtimoiden supistumisissa, sydämen muodonmuutoksissa ja mitokondrioiden vaurioissa, sydänlihassolujen patologioissa, sydänlihaksen supistuvassa toiminnassa, mikroverenkierron häiriöissä, iskemiassa ja mitokondrioiden tuhoutumisessa kapillaareissa, mitokondrioiden entsyymitasen häiriöissä.

Eläinkokeissa todennettu:

- Eri korkeiden taajuuksien ja äänenpaineiden infraääni johtaa suoran ja epäsuoran (juomaveden) altistumisen kautta immuunijärjestelmän stimulaation jo lyhyen testiajan ja matalan äänenpaineen jälkeen
- Vaikutukset valkosoluihin seurauksena leukosyyttien määrän merkittävästä kasvusta ja epäkypsien esiasien merkittävästä lisääntymisestä
- Emäksisen fosfaatin pitoisuuden nousu tärykalvossa ja siten kuulovaurioita
- Morfologiset muutokset reseptorisoluissa ja sisäkorvan hiussoluissa
- Nämä muutokset immuunijärjestelmässä näkyvät solutuotannon, erityisesti leukosyyttien, häiriöinä ja epäkypsien solujen syntymisenä
- Tämä voi johtua voimakkaan infraäänialtistuksen vaikutuksesta kehon elinten resonanssitaajuuksiin
- Muut taajuudet ja äänenpaineet johtavat lisävahinkoihin neljässä eri eläinlajissa. Näitä vaurioita ovat valtimoiden supistuminen, sydämen muodonmuutoksissa ja mitokondrioiden vaurioissa, sydänlihassolujen patologioissa, sydänlihaksen supistuvassa toi-

minnassa, mikroverenkierron häiriöissä, iskemiassa ja mitokondrioiden tuhoutumisessa kapillaareissa, mitokondrioiden entsyymitasen häiriöissä.

Koska useita testejä tehtiin taajuuksilla 4–8 Hz, ts. tarkistetun DIN 45680:n asettaman 8 Hz:n rajan alapuolella ja toksikologiset vaikutukset näin osoittivat, voidaan tässäkin todistaa vahvistetuksi, että DIN-normin uudelleenarviointi on tieteellisesti kestävä, jos infraääni otetaan huomioon vain alkaen 8 Hz taajuudesta.

Johtopäätös: Voidaan päätellä, että suora ja epäsuora altistuminen infraäänelle 10 minuutin ajan (13–30 Hz, intensiteetti 10,9–14 dB) voi stimuloida immuunijärjestelmää ja aiheuttaa sitten veressä häiriöitä, valkosolujen muodostumisessa, lisäksi esiintyy kypsyttömiä soluja. Ihmisten tulisi olla varovaisia näiden matalien taajuuksien kanssa.

Tiivistelmä: Kiinnostus infraäänien haitallisiin vaikutuksiin elimissä pohjaa terveysongelmiin. Infraääni on ääni, joka syntyy kuultavan taajuusalueen alapuolella. Infraääntä syntyy kaikkialla koko maailmassa. 1970-luvulla infraääni oli melko suosittu aihe tiedeyhteisössä. Viime vuosina aihe on ollut vähemmän kiinnostava, nyt siitä on kiinnostuttu uudelleen. Infraäänien vaikutuksen tutkimiseksi rottien immunologisiin ominaisuuksiin mitattiin valkosolujen muutokset yleisessä ja differentiaalisessa verenkuvassa. Tätä tarkoitusta varten 20 albiinorotaa, joista jokaisen keskimääräinen paino oli 200–250g, altistettiin infraäänialloille infraäänilähtetimestä taajuusalueella 13–30 Hz, äänenpaineen voimakkuudella 10,9–14 dB. Eläimiä altistettiin infraäänelle 10 minuutin ajan, sekä suoraan että epäsuorasti infraäänellä säteilytetyn veden kautta. Kontrollirottien verinäytteet otettiin ennen säteilytystä ja altistuksen jälkeen 3, 6, 12, 30, 60 päivän ajan. Saatut tulokset osoittavat, että yleinen leukosyyttimäärä lisääntyy merkittävästi kaikissa intervalliryhmissä suoran ja epäsuoran infraäänialloille altistuksen jälkeen; tähän liittyy myös epäkypsien solujen alkuvaiheiden merkittävä kasvu. Saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että 13–30 Herzin taajuudella ja 10,9–14 dB:n

⁵⁹ Tutkimuslaitokset: (1) Department of Physiology of Human and Animals and Biophysics, Faculty of Biology, “Al-Faraby” Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, (2) Radiation Physics Department, National Center for Radiation Research and Technology (NCRRT), EAEA, POB 29 Madinat Nasr, Cairo, Egypt.

äänenpainetasolla infraääni voi aiheuttaa immunologisia muutoksia. Nämä muutokset ilmenevät solutuotannon, erityisesti leukosyyttien, häiriönä ja epäkypsien solujen lisääntymisenä. Tämä voi johtua voimakkaan infraäänelle altistuksen vaikutuksesta kehon elinten resonanssitaajuuksiin.

Johdanto: Infraääni (0,0001–20 Hz) on akustista energiaa, jolle on fyysisesti tunnusomaista voimakas tunkeutuminen, heikko kyky vaimentua ja laaja leviäminen. Nykyaikaisen teollisuuden ja liikenteen nopean kehityksen myötä tunnetaan yhä enemmän infraäänilähteitä, jotka johtavat melupäästöjen dramaattiseen lisääntymiseen ympäristössämme. Lääkärit ja psykologit pyrkivät ymmärtämään matalien taajuuksien vaikutukset ihmiskehon elinten luonnollisiin resonansseihin.

Kokeelliset tutkimukset raportoivat merkittävästä toksikologisesta vaikutuksesta ihmisille tai erilaisille eläinlajeille, kuten rotilla ja hiirille, jotka altistetaan vähäksi aikaa infraäänelle 90 dB:n taajuudella tai pidemmälle altistukselle usean kuukauden ajaksi.

Useimmissa tutkimuksissa ilmoitettiin infraäänialtistuksesta johtuvia vaikutuksia:

- Hiirillä, jotka altistettiin 8 Hz:n taajuuksille 120 dB:n äänenpainella, ilmeni, että keuhkorakkula oli täynnä punasoluja ja keuhkojen välinen alveolaarinen väliseinä oli paksuuntunut. Keuhkorakkuloiden väliseinät:

Altistuminen 8 ja 16 Hz:n taajuuksille 140 dB:ssä rikkoo verisuonten seinät ja tuhoaa keuhkorakkulat

Muistanemme ”räjähtävät lepakot” – lepakoiden verisuonet eivät kestä äänenpainetta ja tuuliteollisuusalueilla niitä kuolee miljoonia!⁶⁰

Marsuilla lyhytaikaiset tutkimukset osoittavat niillä kuulovaurioita. Altistuminen 4 Hz:lle 110 dB:llä 40 päivän ajan lisäsi alkalisen fosfaatin pitoisuutta tärykalvojen suonissa.

Huomaa kuulovauriot ja alkalisen fosfaatin pitoisuuden nousu tärykalvojen suonissa ja vertaa Saksan uuteen tarkistettuun DIN-normiin, jossa alle 8 Hz:n taajuuksia ei tarvitse ottaa huomioon!

Altistuminen taajuuksille 8 tai 16 Hz äänenpainella 90–120 dB 1–25 päivän ajan aiheutti morfologisia muutoksia reseptorisoluissa ja sisäkorvan hiussoluissa. Mainitut muutokset ja muutokset endoplasmisessa verkkokalvossa (kalvoverkko solumateriaalien synteesiin, muokkaukseen ja kuljetukseen osallistuvien solujen sytoplasmassa) ja mitokondrioissa⁶¹ palasivat ennalleen infraäänialtistuksen loppumisen jälkeen. Samanlaiset tutkimustulokset on tehty mm. USA:ssa⁶² ja Ruotsissa.⁶³

Kaniineilla, jotka altistettiin 10 Hz:n taajuudelle 100–110 dB 24 vuorokauden ajan, oli häiriöitä mitokondrioiden entsyymitasossa ja heikentyneen sydänlihaksen supistumisfunktiota.

Rotilla, jotka altistettiin 10–15 Hz:lle 135–145 dB:n lämpötilassa 45 päivän ajan, oli valtimon supistuksia, solujen muutoksia ja mitokondrioiden vaurioita.

Rotilla, jotka altistetaan 8 Hz:n taajuudelle 120 dB 1–45 päivän ajan, havaittiin sydänlihassolujen patologiaa, mikroverenkierron häiriöitä, iskemiaa ja mitokondrioiden tuhoutumista kapillaareissa.

Leukosyytit muodostavat kehon suojajärjestelmän liikkuvan osan. Ne muodostuvat osittain luuytimessä (granulosyytit ja monosyytit ja jotkut lymfosyytit) ja osittain imukudoksessa (lymfosyytit ja plasmaselulit). Kun ne ovat muodostuneet, ne kuljetetaan veressä kehon eri osiin, missä niitä tarvitaan. Valkosolujen merkitys on, että suurin osa niistä kuljetetaan erityisesti alueille, joilla on vaikea tulehdus, mikä mahdollistaa nopean ja tehokkaan suojan kaikkia patogenejä vastaan, jotka voivat aiheuttaa infektioita. Granulosyyteillä ja monosyyteillä on erityinen kyky etsiä ja tuhota vieraita tunkeilijoita. Aikuisella ihmisellä on noin 7 000 valkosolua kuutiosenttimetrissä verta.

Normaali prosenttimäärä erityyppisiä valkosoluja: polymorfonukleaariset neutrofiilit 62,0%, polymorfonukleaariset eosinofiilit 2,3%, polymorfonukleaariset basofiilit 0,4%, monosyytit 5,3% ja lymfosyytit 30,0%.

Vaikka infraäänien toksikologiasta on tehty joitain tutkimuksia, infraäänien kielteisistä vaikutuksista ihmisteille on suhteellisen vähän tietoa. Tämä sai te-

⁶⁰ <https://www.spektrum.de/news/fledermaus-implosion-durch-windraeder/965732>

⁶¹ toimittajien KS ja PK huomautus: <http://www.thefreedictionary.com/mitokondrion>

⁶² <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0270467611412555>

⁶³ <https://lakartidningen.se/Opinion/Debatt/2013/08/Infrajud-fran-vindkraftverk---en-halsorisk/>

kemään tämän tutkimuksen, jonka tarkoituksena on kuvata infraäänialtojen suora ja epäsuora vaikutus immunologisiin vasteisiin.

Tulokset ja keskustelu: Nykyaikaisen teollisuuden ja liikenteen kehityksessä infraääni on yhä tärkeämpi osa melusaastetta. Vaikka luonnolliset lähteet, kuten ukkonen, maanjäristykset jne. tuottavat myös matalia taajuuksia (<20 Hz) ja siten säännöllisiä infraääniä, jotkut tekniset laitteet tuottavat infraääntä suhteellisen suurilla taajuuksilla (1–20 Hz) ja niillä on merkittäviä vaikutuksia työntekijöille, jotka altistuvat sille. Tässä tutkimuksessa keskityttiin infraäänien vaikutukseen immunologiseen vasteeseen sekä mahdollisiin selityksiin.

Valomikroskooppikuvat valkosoluista infraäänelle altistumisen jälkeen (10 minuutin altistuminen, taajuusalue 13–30 Hz ja äänenpaine 10,9–14 dB) ennen ja jälkeen valotuksen (3, 6, 12, 30 ja 60 päivää). Kuvat osoittavat, että ytimen muodonmuutos tapahtui neutrofiileissa ja syntyi epäkypsiä esiasteita (myelosyyttejä).

Suora altistuminen, leukosyyttien lukumäärä: Tulokset saatiin infraäänialtojen (10,9–14 dB) jälkeen 3, 6, 12, 30 ja 60 päivän välein. Saadut tulokset osoittavat, että yleinen leukosyyttimäärä lisääntyi huomattavasti kaikkien aikavälien jälkeen. Tähän liittyy kypsyttömien esiastesolujen merkittävä kasvu verrattuna kontrolliryhmään jopa 30 päivän ajan. Toisin kuin aikaisemmat tulokset, neutrofiilien ja lymfosyyttien määrä lisääntyi kahden kuukauden (60 päivän) jälkeen. Samanaikaisesti havaittiin erittäin merkittävä monosyyttien ja basofiilien määrän kasvu.

Epäsuora altistuminen, leukosyyttien yleinen lukumäärä epäsuoran altistuksen jälkeen infra-aalloille (10 min): Tallennetut tulokset osoittavat valkosolujen keskimääräisen kokonaisuuden merkittävän kasvun kaikilla aikaväleillä (3, 6, 12, 30 ja 60 päivää). Tähän lisääntymiseen liittyy myelosyyttien, monosyyttien, neutrofiilien, lymfosyyttien ja basofiilien erittäin merkittävä lisääntyminen. Tämä erilaistuneiden solujen määrän kasvu osoittaa, että on syntynyt krooninen tulehdus tai stressi infraäänien takia.

Edellä esitetyn perusteella voidaan selittää, mitä tapahtuu kokonais- ja differentiaalisten verisolujen lisääntymisessä infra-aalloille altistumisen jälkeen. Toisaalta verileukogramman siirtymäindeksi laskettiin ja havait-

tiin, että siirtyminen väärälle puolelle tapahtui suoran ja epäsuoran infraäänialloille altistumisen jälkeen. ”Siirtyminen väärälle puolelle” viittaa siihen, että veressä on nuorempia, vähemmän hyvin erikoistuneita neutrofiileja ja neutrofiilien kantasoluja. Tämä kertoo yleensä, että myeloidisolut vapautuvat varhaisessa vaiheessa tai ennenaikaisesti luuytimeä, neutrofiilien muodostumispaikasta. Neutrofiliaa vakavan vasemman siirtymän infektion aikana kutsutaan leukemoidireaktioksi. Valkosolujen alkalinen fosfataasi (LAP), joka viittaa alkalisin fosfataasin määrään neutrofilia kohden, kasvaa. Neutrofiileilla on toksisia muutoksia rakeistumisessa vaikeassa infektiassa. Tätä kypsyttömien leukosyyttien lisääntymistä kertomalla ja vapauttamalla granulocyteit ja monosyyttien esiasteet luuytimessä stimuloivat useat tulehdustyyppit.

Johtopäätös: Suora ja epäsuora altistuminen 10 minuutin ajan infraäänelle (13–30 Hz, intensiteetti 10,9–14 dB) voi stimuloida immuunijärjestelmää ja häiritä valkosolujen muodostumista ja veren epäkypsiä solujen ulkonäköä. Suositellaan, että ihmiset olisivat varovaisia, jos kyse on matalista taajuuksista.

14.4. Infraäänien vaikutukset solunsisäisen kalsiumionipitoisuuden muutoksiin ja ryanodiinireseptorien ilmentymiseen rotan aivojen hippokampuksessa

Julkaisussa tutkittiin infraäänien molekyylibiologista vaikutusta solunsisäisen vapaan Ca^{2+} -pitoisuuden ($[Ca^{2+}]_i$) muutoksiin ja ryanodiinireseptorien (RyR) ilmentymiseen rottien hippokampuksessa. 60 SD-rottaa jaettiin satunnaisesti kymmeneen ryhmään ja tutkittiin $[Ca^{2+}]_i$:n ja RyR:n ilmentymisen jälkeen 8 Hz:n 90 dB:n infraäänille altistumisen jälkeen päivinä 1., 7., 14. ja 21. Infraäänelle altistetut ryhmät altistettiin 8 Hz:n 90 dB:n infraäänelle 2 tunnin ajan kerran päivässä. $[Ca^{2+}]_i$ -tason mittaamiseen käytettiin akuuttia solujen erottelua, fluo-3 / AM-fluoresenssitekniikkaa ja laserskannaavaa konfokaalimikroskooppia (LSCM). $[Ca^{2+}]_i$:ssä ei ol-

lut merkittävää eroa 1d- ja 7d-infraäänialtistusryhmissä verrokkiin verrattuna.⁶⁴

15. Perustutkimuksia ihmisillä.

Fyysisen alueen tutkimuksia

15.1. Infraäänestä aiheutuvat fysiologis-lääketieteelliset oireet

Vuonna 1985 julkaistiin tutkimus infraäänien lääketieteellisiä vaikutuksia ihmiseen. (Department of Psychology at the University of Waterloo & Institute of Aerospace Studies at the University of Toronto, Canada). Sitä on käytetty esimerkkinä klassisesta infraäänitutkimuksen vaikutuksista laboratorio-olosuhteissa.⁶⁵

Tutkimusartikkeli yhdistää infraäänien ja lääketieteellisten oireiden, kuten päänsärky, uupumus, huimaus ja pahoinvointi, oireet, joita monet tuuliturbiinien lähellä asuvat ihmiset kokevat.

Tutkimuksen katsauksessa kuvataan hyvin pienitaajuisen äänen vaikutuksia ihmisiin ja että infraääni on erittäin haitallista ihmisille, ja myös heille, jotka väittävät, että infraääni ei aiheuta subjektiivisia tai objektiivisia oireita. Raportin mukaan ristiriidat – eli tuntee subjektiivisia vaikutuksia ja ei tunne vaikutuksia – voidaan selittää sillä, että ihmiset reagoivat pienitaajuiselle äänelle yksilöllisesti.

Tutkimuksen tarkoitus: Tutkimus tehtiin siksi, että saataisiin selville, ovatko jotkut yksilöt ainutlaatuisen herkkiä infraäänelle. Koejärjestelyissä käytettiin kolmea akustista tilaa. Ne koostuivat ohjaustilasta (vahvis-

timen huminasta) ja kahdesta 8 Hz:n infraäänitilasta: korkean vääristymän signaalista ja matalan vääristymän signaalista.

Koeesetelmä: Koehenkilöt ryhmiteltiin heidän subjektiivisten vastaustensa perusteella. Mikään vertailukohde, joka oli altistettu vahvistimen huminalle, ei ilmoittanut haitallisista vasteista. Oireiden (päänsärky ja uupumus vs. huimaus ja pahoinvointi) jakautuminen suurten ja matalien vääristymien ryhmien välillä oli merkittävästi erilainen. Oireita ilmoittaneilla henkilöillä yliaaltojen korkeampi taso liittyi ensisijaisesti päänsärkyyn ja väsymykseen, kun taas yliaaltojen väheneminen johti ensisijaisesti huimaukseen ja pahoinvointiin.

Kohteille, jotka ilmoittivat huimauksesta ja pahoinvoinnista, tehtiin neljä lisäistuntoa – kaksi kontrollia, yksi pieni vääristymäistunto ja yksi istunto, jossa oli vain joitain yliaaltoja ilman infraääntä. Nämä istunnot osoittivat, että em. oireet olivat toistettavissa ja liittyivät vain infraääniin.

Tutkimustuloksia: Monimuuttuja- ja yksimuuttuja-analyysit osoittivat, että haittavaikutuksia ilmoittavat tutkittavat voidaan erottaa muista ryhmistä sykkeen, hengitystaajuuden, systolisen ja diastolisen verenpaineen muutosten, katseen nystagmuksen, ajan arvioinnin ja mielialan asteikon perusteella, mutta ei EEG:n, Ietysmografian, TTS:n perusteella, ei myöskään lyhytaikaisen muistitehtävän, Eysenek Personality Inventoryn, Cornell Medical Indexin tai iän perusteella. Joidenkin yksilöiden haitalliset reaktiot muistuttavat läheisesti merisairautta.

Yksilölliset erot infraäänireaktiossa voidaan siten selittää sisäkorvan rakenteessa yksilöiden välisillä eroilla tai keskushermostomekanismeilla.

Johtopäätökset: Tutkimusartikkelin mukaan infraäänien vaikutusten tulkinnassa tosielämän tilanteissa pitää olla varovainen, koska yleistettäessä laboratoriokokeiden tuloksia laboratorion ulkopuolisiin tilanteisiin, voidaan joutua vääriin päätelmiin. Tämä huomautus pätee myös infraäänien alalla. On kuitenkin tilanteita, joissa

⁶⁴ Liu Zhao-Hui, Chen Jing-Zao, Tang Yan, Chen Dan, Ding GuiRong, Li Jing, Jin Cheng, Li Kang-Chu, 2004, Effects of Infrasound on Changes of Intracellular Calcium Ion Concentration and on Expression of RyRs in Hippocampus of Rat Brain Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol. 23, 3: pp. 159–165., <https://doi.org/10.1177/1029864917690931>

⁶⁵ Nussbaum D.S. and S. Reinis 1985, Some individual differences in human response to infrasound. Department of Psychology, University of Waterloo and Institute for Aerospace Studies, University of Toronto UTIAS Report No. 282.

infraääni voi aiheuttaa herkille yksilöille epäedullisia subjektiivisia reaktioita, joita ei voida selittää millään muulla tavalla. Tutkimuksen mukaan selittämättömät huimaus ja pahoinvointi esiintyivät 10 prosentilla koululaisista Sir Adam Beckin koulussa Ontariossa joulukuussa 1978. Yksi ongelma tällaisissa tilanteissa on oireet, jotka ilmaantuvat ilman näkyvää syytä. Hypoteesin mukaan ei ole ääntä, joten on lohdullista tietää, että mitään vakavampaa kuin salakavalaa liikesairautta ei ollut mukana. Yleistämisessä on kuitenkin noudatettava varovaisuutta. Altistumisen kesto kokeissa oli suhteellisen lyhyt. Ei tiedetä, mitä aikaintensiteettisiä kompromisseja on olemassa. Kaksi erilaista vääristymisspektriä johti eri oireiden jakautumiseen. Siten voi olla ennenaikaista yleistää tuloksia laboratoriossa tuotettujen signaalien ulkopuolelle.

Yhteenveto: 1) Useimmat yksilöt sietävät 8 Hz:n taa-juudella 130 dB 30 minuutin ajan ilman haitallisia vaikutuksia käytetystä vääristymästä riippumatta. 2) Kokeelliset ärsykkeet häiritsivät vähemmistöä yksilöistä ja fyysisesti. 3) Herkissä yksilöissä infraääni, johon sekoittuu korkeampia yliaaltoja, liittyi ensisijaisesti päänsärkyyn ja väsymykseen. Puhtaampi, 1 ow-vääristymä-ärsyke liittyi ensisijaisesti huimaukseen ja pahoinvointiin, joka alkoi usein useita tunteja altistuksen jälkeen. 4) Herkät aineet olivat helposti erotettavissa ei-herkistä niiden objektiivisesti havaittujen ominaisuuksien perusteella, 5) TTS:n läsnäolo tai puuttuminen oli riippumaton subjektiivisesta vastauksesta ärsykkeeseen. 6) Infraäänien tulkinta ajoittaiseksi rytmiseksi ärsykkeeksi ja / tai tehokkaaksi ärsykkeeksi johtaa hypoteeseihin, jotka mahdollistavat tulostulkinnan. 7) Nämä ”informatiiviset” hypoteesit voivat ratkaista infraäänikirjallisuudessa esiintyvät ilmeiset ristiriidat.⁶⁶

15.2. Korkean tason infraäänien negatiivinen vaikutus ihmisen sydänlihaksen supistumiseen: In vitro -kontrolloitu koe^{67,68}

Tutkimuksen alkuperäisjulkaisun englanninkielinen nimi: Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment

Tutkimuspaikka: Mainzin yliopistollinen sairaala, Saksa.

Tutkimusmenetelmät: Ihmisen sydänlihaskudokset, jotka on saatu sydänleikkauspotilailta, jotka valmistettiin pieniksi lihasnäytteiksi ja stimuloitiin sähköisesti in vitro lähes kahden tunnin ajan fysiologisissa olosuhteissa jatkuvien sykkivien supistusten aikaansaamiseksi ja ihmisen sydämen simuloimiseksi. Kummaltakin luovuttajalta saatiin kaksi näytettä: toinen altistettiin infraäänelle 60 minuutin ajaksi ja toinen toimi kontrollina. Niiden supistumisvoimat (contraction forces, CF) ja kestot (duration, CD) mitattiin ennen kutakin testausjaksoa ja sen jälkeen, ja niiden suhteelliset muutokset (CF% ja CD%) laskettiin ja vietiin multilineaariseen regressiomalliin. Tässä tutkimuksessa käytettiin seuraavia kolmea infraäänialtistustasoa: 100, 110 ja 120 dBz.

Tulokset: Mitattu CF% vastasi negatiivisesti infraäänitasoa, joka mitattiin dBz:nä ($R^2 = 0,631$; $P = 0,018$). Lasku mitattiin melkein -11% 110 dBz:llä ja -18% 120 dBz:llä, kontrollia varten tehdyn korjauksen jälkeen. CD toisaalta pysyi ennallaan.

Johtopäätökset: Altistuminen suurelle infraäänitasolle (yli 100 dBz) häiritsee sydämen lihasten supistumiskykyä jo tunnin kuluttua altistuksesta. On olemassa lukuisia lisätutkimuksia, jotka tukevat tätä johtopäätöstä. Nämä tulokset on otettava huomioon harkittaessa ympäristömääräyksiä.

Keskeinen viesti: Ympäristölainsäädäntöä on harkittava uudelleen, jotta infraäänelle altistumisen korkein

⁶⁶ Original research report <https://docs.wind-watch.org/Infrasound-1985-Nussbaum-Reinis.pdf>

⁶⁷ Chaban, Rayan & Ahmed Ghazy & Eleni Georgiade, & Nicole Stumpf & Christian-Friedrich Vahl. Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, University Hospital of Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany, 2-Faculty of Medicine, University of Mainz, Mainz, Germany. "Vahl-Studie": Alarmierendes Ergebnis zur Schädigung der Herzfunktion unter Infraschallbelastung – windwahn.com 2020.

⁶⁸ https://www.unimedizin-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/39593/0/2f769255d1120a41e6129364dc2f9aeba95f6cf2/NAH_28_19R5_Chaban_Vahl.pdf

sallittu taso olisi korkeintaan 90 dBz, koska korkeampi taso voi häiritä sydämen toimintaa.

Johtopäätökset: Tämä tutkimus osoittaa voimakkaan negatiivisen vaikutuksen altistumiselle korkean tason (yli 100dBz) infraäänitasolle sydämen kudosten supistuvuuteen in vitro. Tämä havainto on ainutlaatuinen, koska se on ensimmäinen todiste, joka näyttää infraäänien suoran vaikutuksen ihmisten sydämen toimintaan. Mitattu vaikutus, joka on melkein 9 %:n supistumisvoiman pieneneminen 10 dBz:n yli 100 dBz:n kohdalla, on merkityksellinen, varsinkin kun otetaan huomioon, että tämä vaikutus havaittiin vain yhden tunnin altistuksen jälkeen. Tämän havainnon merkityksen tulkinta jokapäiväisessä ympäristössä vaatii jonkin verran selvennystä infraäänien fysikaalisesta luonteesta ja sen vaikutuksista koko ihmissydäntä suojaavaan kehoon. Infraääni on äänispektrin laajennus, kun taajuus laskee alle 20 Hz. Seurauksena on, että se jakaa paljon yhteistä kuultavan äänispektrin kanssa, mutta sillä on myös joitain ainutlaatuisia ominaisuuksia. Hyvin pitkä aallonpituus (kun otetaan huomioon akustinen nopeus 343 m/s 20 °C:n kuivan ilman näkökentässä, aallonpituus on yli 17,5 m) verrattuna kuultaviin ääniin, mahdollistaa infraäänien heijastuksen avulla; taittuminen ja diffraktio läpäisyyn ja erilaisten esteiden, kuten rakennusten ja maaston muotojen ympärille.

Pitkän aallonpituuden avulla infraääni pystyy ylläpitämään energiaa ja pysyy suhteellisen vakaana pitkän matkansa jälkeen. Samasta syystä tavalliset melunesteet ovat yleensä tehottomia sitä vastaan. Samasta syystä infraäänilähteiden paikantaminen ei yleensä ole yksinkertaista, vaikka monet ihmiset, jotka kuvaavat rummun tunnetta koko kehossaan, havaitsevat sen helposti. Infraääni myös tavallisesti tuottaa suuria energisiä seisovia aaltoja suljetuissa tiloissa, kun huoneen tai tilan mitat ovat kerrannaisia jonkin ulkoisesti tai sisäisesti esitetyn infrasiignaalin puoliallonpituudesta, mikä lisää infraäänitasoa edelleen kondensoimalla sen energiaa resonanssin avulla. Tällainen resonanssi, joka tunnetaan myös nimellä Helmholtz-resonanssi, johtaa joskus infraäänien lisääntymiseen asuintiloissa, joissa on ikkunoita, tai ilmanvaihtokanavien kautta ja vaikuttaa ihmisiin saavuttaen jopa 25dBz korkeamman tason kuin mitattu

ulkotaso. Se selittää myös osittain, miksi jotkut ihmiset voivat valittaa infraäänestä olematta edes suorassa linjassa lähteeseen, kun taas muut ihmiset eivät havaitse vaikutuksia lainkaan, ja miksi valitukset koskevat usein sisätiloissa esiintyviä häiriöitä ulkoilman sijasta. Esimerkiksi, vaikka jotkut ulkomittaukset saattavat lukea 80 dB:n tason, samaan aikaan läheisessä olohuoneessa voi olla läsnä 100 db. Ihmiskeho itse ei suojaa infraääneltä. Sitä vastoin se voi jopa vahvistaa sitä resonanssin takia, koska on osoitettu, että ihmisen ylävartalo resonoi yleensä välillä 5–250 Hz.

Selvennystä tarvitseva alue on tällä hetkellä käytettyihin mittausten menetelmiin liittyvä epäselvyys kuultavan melun ja infraäänien suhteen. Vaikka suurin osa lainsäädännöstä ja määräyksistä määrittelee suurimman sallitun melutason A-painotusjärjestelmän avulla, on tärkeää määritellä tämän järjestelmän luonne. A-painotettu akustinen mittausmenetelmä on erityisesti suunniteltu vähentämään akustisen spektrin kuultamantonta osaa. Tämän seurauksena altistuminen korkealle 100 dBz -tasolle taajuudella 16 Hz, mitattaisi vain 45 dB (A), pitäen sitä hyväksyttävänä monien nykyisten melusääntöjen mukaan.

Infraääniä koskevia epidemiologisia tutkimuksia on yleensä vaikea suorittaa ja ne ovat usein tehottomia. Infraäänialtistuksen alaisuudessa olevat ihmiset eivät välttämättä huomaa sitä infraääninä, koska se ei yleensä ole kuultavissa tai havaittavissa, mikä saattaa johtaa siihen, että he eivät osallistu tällaisiin tutkimuksiin. Kyky infraäänien aistimiseen tai kuulemiseen on erittäin subjektiivista, jotkut ihmiset kokevat sen ylenmääräisenä epämiellyttävänä olona. Epidemiologisista tutkimuksista poiketen infraääntä koskevia laboratoriotutkimuksia on tehty laajasti, erityisesti 1970- ja 1980-luvuilla Neuvostoliitossa.

Tämän tutkimusryhmän suositus on, että sallitaan korkeintaan 90 dBz:n äänitaso kroonisen altistuksen raja-arvoksi. (tekijöiden KS ja PK kommentti: esim. VTT:n ym. 2020 julkistetussa tutkimuksessa todettiin, että tuulivoimatoimijoiden mittaamat ja lupia varten annetut rajat ylittävät tämän reilusti. Mittaukset olisi välttämätöntä tehdä puolueettomissa mittauksissa, joita julkinen viranomainen valvoo.)

15.3. Tutkimus sodankäynnin

alueelta^{69, 70}

Tutkimuksen päähuomio on vibroakustisessa taudissa (vibroacoustic disease, VAD). Kyse on koko kehon systeemisestä patologiasta, joka johtuu liiallisesta altistuksesta pienitaajuiselle melulle (low frequency noise, LFN). Vibroakustista tautia on havaittu pienitaajuiselle äänelle altistuneilla ammattilaisilla, kuten lentokoneteknikoilla, kaupallisilla ja sotilaslentäjillä ja matkustamomiehistön jäsenillä, laivanrakentajilla, ravintoloiden työntekijöillä ja tiskijukilla. Tuulivoiman yhteyteen taudin – Wind Turbine Syndrome – toi esiin MD, PhD Nina Pierpont.

Vibroakustista tautia on havaittu myös useissa populaatioissa, jotka ovat herkkiä ympäristössä esiintyvälle pienitaajuiselle äänelle. Tässä raportissa esitetään yhteenveto vibroakustisen pienitaajuisen äänen aiheuttaman taudin patologiasta ja siihen liittyvistä aiheista.

Vuonna 1987 tehtiin ensimmäiselle ihmiselle ruumiinavaus, joka oli kuollut vibroakustisen taudin seurauksena. Pienitaajuisen äänen aiheuttamien vahinkojen laajuus oli valtava, ja saadut tiedot ohjaavat yhä nykyään monia niihin liittyviä ja käynnissä olevia tutkimushankkeita. Vuonna 1992 alettiin tehdä erilaisia kokeita pienitaajuiselle äänelle altistetuilla eläimillä, jotta saataisiin syvällisempää tietoa siitä, miten kudokset reagoivat tähän akustiseen stressitekijään. Sekä ihmis- että eläinkokeissa altistuminen pienitaajuiselle äänelle aiheuttaa kardiovaskulaaristen rakenteiden paksuuntumista. Perikardiaalinen sakeutuminen ilman tulehdusprosessia ja diastolisen toimintahäiriön puuttuminen ovat vibroakustisen taudin tunnusmerkkejä. Masennus, lisääntynyt ärtyneisyys ja aggressiivisuus, taipumus eristäytymiseen ja heikentyneet kognitiiviset taidot ovat kaikki osa vibroakustisen taudin kliinistä kuvaa.

Pienitaajuinen ääni on selvästi näkyvä genotoksinen syy, joka aiheuttaa sisarkromatidivaihdon taajuuden lisääntymisen sekä ihmis- että eläinkokeissa. Pahanlaatuisen kasvainten esiintyminen pienitaajuiselle äänelle altistuneissa ihmisissä ja metaplastiset ja dysplastiset

esiintymät pienitaajuiselle äänelle altistetuissa eläimissä vahvistavat selvästi pienitaajuiselle äänelle altistumisen mutageenisen lopputuloksen.

Melun arviointia koskevan nykyisen lainsäädännön puutteellisuus on vahva este tieteelliselle kehitykselle. Vibroakustista tautia ei voida koskaan tunnustaa täysin ammatilliseksi ja ympäristöpatologiaksi, ellei taudinaiheuttajaa – pienitaajuisesta ääntä – tunnusteta ja arvioida asianmukaisesti. Pienitaajuiselle äänelle altistettujen yksilöiden maailmanlaajuinen kärsimys on järkyttävää, ja on epäeettistä ylläpitää tällaista asiointilaa.

Asiasanoina käytetään: kardiovaskulaarinen sakeutuminen, kaikukardiografia, hengitystie, kasvaimet, solunulkoinen matriisi, pienitaajuinen melu.

Kahden viime vuosituhannen ajan akustiset asiat ovat liittyneet kuulovammaisuuteen. Viimeisten 200 vuoden aikana ihmissivilisaatio on ollut jatkuvasti kasvava akustisen energian lähde, samassa asemassa on vain planeettamme tuottaman valon määrä. Toisin kuin sähkömagneettinen säteily, jossa eri taajuuksien tiedetään aiheuttavan erilaisia terveyshaittoja, akustisen energian kohdalla tällaisia tietoja ei kuitenkaan ole käytettävissä. Huolimatta huomattavista todisteista, jotka osoittavat, että akustiset ilmiöt vaikuttavat muuhun kuin korvaan, ”melua” arvioidaan edelleen oletuksen perusteella, että vain se, mitä yksilö kuulee, on haitallista.

Viittaus siihen, että taudinaiheuttajan on oltava näkyvässä, jotta sen katsottaisiin olevan haitallinen, on naurettava: ihmiset eivät esimerkiksi näe röntgensäteitä, mutta ne ovat kuitenkin täysin tunnustettuja terveysriskejä. Vuonna 1928 Laird julkaisi yhden ensimmäisistä melun fysiologisista vaikutuksista konekirjoitajiin, ja siitä lähtien kirjallisuudessa on ilmestynyt valtavia määriä lääketieteellisiä ja biolääketieteellisiä tutkimuksia.

Vuonna 1946 E. Dart, joka työskenteli lääkärinä Fordin lentokonemoottoreiden tehtaalla Detroitissa, MI, USA, kuvasi joukkoa lentokoneteknikoilla havaittuja oireita. Rumancev kuvasi vuonna 1961 samaa oireiden kokoelmaa, jonka hän havaitsi raudoitetun betonitehtaan työväestöllä Neuvostoliitossa (Rumancev, 1961). Cohen, Yhdysvalloissa vuonna 1971, raportoi kattilalai-

⁶⁹ Low Frequency Noise: A Major Risk Factor in Military Operations. 2003 Col. Nuno A.A. Castelo Branco, Center for Human Performance Estrada Nacional No. 10, Edifício Cinema, Sala 1092615 Alverca, Portugal <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADP014113.pdf>

⁷⁰ Pierpont Nina 2006 » [Wind Turbine Syndrome](#)

toksen työntekijöiden lääketieteellisistä valituksista ennen kuulonsuojausohjelman toteuttamista ja sen jälkeen listasi samanlaisia oireita kuin Dart ja Rumancev ennen häntä. Grechkovskaia et al. puhuu ”vibronoisesta patologiasta” työntekijöillä, jotka työskentelevät lentokone-teollisuudessa Kiovassa, Ukrainassa. Balunov et al. tutki työntekijöitä, jotka tuottivat rautabetonia Pietarissa, Venäjällä, yhdistetyn tärinän, infraäänien ja melun alaisena, ja päätyivät siihen, että tällä ryhmällä oli lisääntynyt sairastuvuus. 86 naispuolisessa tekstiilityöntekijäsä Magomedov et al. tunnisti hypoaksoosia edeltäneen autonomisen ja keskushermoston häiriöt, kuten asteno-vegetatiiviset ja neuroottiset oireyhtymät. Myös vuonna 1997 Izmerov et al. ehdotti, että koko keho reagoi infraäänelle. Vuonna 1979 Portugalin ilmavoimien palveluksessa olleiden työntekijöiden terveys lentokoneiden huolto-, korjaus- ja valmistustehtaalla (OGMA) asetettiin Castelo Brancon vastuulle. Vieraillessaan kaikilla työpisteillä hän oli todistamassa lentokoneen käynnistysprosessia ja havainnut tekniikon kävelevän päämäärättömästi epilepsian kaltaisessa tilassa. Tämä sai aikaan tutkimuksen kaikkien lentokoneteknikoiden potilastiedoista sen selvittämiseksi, kuinka monella potilaalla oli aiemmin diagnosoitu myöhään alkanut epilepsia. Hämästyttävä 10 prosentin luku verrattuna Portugalin väestössä havaittuun odotettuun 0,2 prosenttiin oli perusta seuranneelle syvälliselle neurologiselle arvioinnille.

Vuoteen 1987 asti OGMA:n palveluksessa olleet lentokoneteknikot saivat sarjan lääketieteellisiä testejä, jotka sisälsivät aivovaurion kuulohäiriöt, aivojen magneettikuvauksen, kognitiiviset testit ja neurologiset tutkimukset. Kaikki tutkittavat olivat täysin tietoisia tutkimuksesta ja vapaaehtoisia. Tässä lentokoneteknikoryhmässä tunnistettiin suuri määrä neurologisia muutoksia, joihin sisältyi aivovaurioita ja lisääntyneitä vasteaikoja hermoissa, heikentynyttä havaintokykyä ja varhaisten refleksien esiintymistä.

Vuonna 1983 tämän ryhmän ensimmäinen potilas kuoli yhtäkkiä, eikä ruumiinavaus ollut mahdollista. Tämä ärsytti Felipe Pedroa, toista lentoteknikkoa, joka oli akateemisesti kiinnostunut mielenterveydestään. Tapahtuma sai hänet laatimaan laillisen testamentin ja vaati, että hänen kuolemansa jälkeen ruumiinavaus suoritettaisiin Castelo Brancon toimesta. Felipe Pedro työskenteli laivanrakentajana Portugalin laivastossa 10

vuotta ennen kuin hänet palkattiin OGMA:n palvelukseen vuonna 1959 lentokoneteknikkona. Eräänä syyskuun aikaisin aamuna vuonna 1987 Castelo Branco sai puhelun Pedrolta, joka kertoi hänelle olevansa hyvin sairas ja kuolevansa. Hän pyysi Castelo Brancoa tapamaan hänet sairaalassa, jotta ruumiinavaus voitaisiin suorittaa. Kun Castelo Branco saapui sairaalaan, herra Felipe Pedro kuollut. Ruumiinavaus tehtiin.

Pedron meille niin armollisesti toimittamat havainnot ovat olleet perustana melulle altistuneita työntekijöitä koskevaan myöhempään tutkimukseen. Tällä miehellä diagnosoitiin myöhään alkanut epilepsia vuonna 1981, ja tämä mies kuoli 58-vuotiaana pienen infarktin aiheuttamaan sydämen tukokseen. Hänen sydämensä paljasti 11 pientä arpea aikaisemmista hapenpuutteen ja johtuvista tapahtumista. Sydämen venttiilit näyttivät olevan turvoksissa, ja sydäntä ympäröivä sydänpussin paksunnos oli voimakas.

Sepelvaltimot olivat paksuuntuneet, mutta eivät kuiten tavallista ja odotettavissa olleilla arterioskleroottisilla plakeilla. Sen sijaan intiman jatkuva paksuuntuminen vuorasi kaikki verisuonten seinät. Mikroskooppiset tutkimukset paljastivat myöhemmin, että suuri osa sakeutumisesta johtui kollageenikuitujen epänormaalisesta lisääntymisestä. Kaksi kasvainta löydettiin, Grawitz munuaisissa ja luokan I mikrokystinen astrozytooma aivojen oikeassa parietaalialueessa. Echokardiografiassa paksuuntuneiden sydämen rakenteiden avaukset johtivat lentokoneteknikkojen populaation ekokardiografiseen tutkimukseen. Kaikilla oli sakeutunut perikardia, ja monilla oli myös sakeutuneita sydänventtiilejä.

Katsaus toi esiin, että professori Matoba Japanissa, oli jo tunnistanut sydänpussin sakeutumisen moottorisahatyöntekijöillä (Matoba, 1983).

Nykyään perikardiaalinen sakeutuminen ilman tulehdusprosessia ja ilman diastolista toimintahäiriötä on vibroakustisen taudin tunnusmerkki. Pienitaajuisille äänille altistuneiden henkilöiden sydänpussin paksuuntuminen on anatomisesti vahvistettu vibroakustisen taudin potilaan perikardiaalifragmenttien valo- ja elektronimikroskooppitutkimuksilla. Aineistot on kerätyt potilaiden tietoisella suostumuksella muista syistä saadun sydämen ohitusleikkauksen aikana (Castelo Branco ym., 1999, 2001, 2003). Sydämen rakenteiden kaikukuvantamislaitteilla on monia valmistajia ja monia

erilaisia malleja. Siten teknikosta riippuva subjektiivisuus on edelleen luontainen tälle diagnostiselle vibroakustisen taudin menetelmälle. Silti kaikukardiografia on edelleen vakiotesti vibroakustisen taudin diagnosoimiseksi. Paksuuntuneita sydämen rakenteita on havaittu lentokoneteknikoilla (Marciniak et ai., 1999), kaupallisilla lentäjillä ja lentoemännillä (Araujo ym., 2001) sekä saaristolaisilla, jotka joutuvat altistumaan ympäristön pienitaajuiselle melulle (Torres et al., 2001). Sydän- ja verisuonirakenteiden paksuuntumista on havaittu myös pienitaajuiselle äänelle altistetuilla eläimillä eläinkokeissa (Castelo Branco et ai., 2003).

16. Psykkisen alueen tutkimuksia

16.1. Kuulokynnyksen lähellä infraäänestä johtuva kortikaalinen ja subkortikaalinen yhteys – funktionaaliseen magneettikuvaukseen (fMRI) perustuvien löydösten mukaan⁷¹

Alkuperäisen englannin kielellä julkaistun artikkelin nimi: *Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI*

Tieteellisessä artikkelissa aivojen vastetta tutkittiin lepotilassa kuulokynnyksen yläpuolella (äänitaajuus < 20 Hz) magneettikuvauksessa.

Tutkimuksen tausta ja tarkoitus

Vuosikymmenien ajan on ollut laajalti yleinen näkemys siitä, että infraäänitaajuudet ovat liian matalia kuulo-

järjestelmälle, koska ihmisen kuuloalueen on otaksuttu yleisti kattavan vain noin 20–20 000 Hz:n taajuuksia. On kylläkin toistuvasti osoitettu, että infraäänen voi havaita henkilö, jos ääntä annetaan erittäin korkeilla äänenpainetasoilla (SPL). Tutkimuksen katsauksessa esitetään fMRI-tutkimusten paljastaneen, että altistuminen monoäänisesti esitetyille 12 Hz:n infraäänelle, jonka SPL-arvot olivat 110 dB, johti ylemmän ajallisen aivopoimun (STG) kahdenkeskiseen aktivoitumiseen, mikä viittaa siihen, että infraäänen taustalla olevat fysiologiset mekanismit saattavat olla samanlaisia kuin ne, joita ilmenee ”normaalissa kuulossa” ja jopa korkean taason aivokuoren prosessoinnin vaiheessa.

Tutkijoiden mielestä on kasvavaa yksimielisyyttä siitä, että ihminen todella vastaanottaa infraääntä, samoin siitä, että altistuminen pienitaajuisille äänille – mukaan lukien infraäänen taajuusspektriin kuuluvat äänet – voi aiheuttaa suurta ärsytystä ja ahdistusta. Infraäänen epäillään aiheuttavan kuitenkin myös todellisia lääketieteellisiä oireita kuten unihäiriöt, päänsärky, huimaus, tinnitus, hyperakustisista oireista paniikkikohtauksiin ja masennukseen. Näitä ilmoitetaan useammin tuuliteollisuusalueen lähellä asuvien toimesta. Tuuliturbiinien melu voi olla huomattava erittäin pienitaajuinen komponentti. Infraäänipäästöt saavuttavat vain n. 80–90 dB:n äänitasomaksimit, joka ei ehkä ole riittävän korkea havaintokynnyksen ylittämiseen. (tekijöiden KS ja PK huomautus: Suomessa VTT:n ym. tekemässä tutkimuksessa 2020 kävi ilmi, että tuulivoimaloiden lähitöllä melutasot olivat yli 100 dB)

Leventhal on päätenyt tulokseen, että ”jos et kuule ääntä etkä voi huomata sitä mitenkään, se ei vaikuta sinuun”. Tämä näkemys vastaa hyvin myös Maailman Terveysjärjestön WHO:n kantaa, jonka mukaan ”ei ole luotettavaa näyttöä siitä, että kuulokynnyksen alapuolella olevat infraäänit tuottavat fysiologisia ja psyykkisiä vaikutuksia. Tässä ajattelutavassa on olennaista, että äänen pitää olla havaittavaa, jos siitä tulee elimistölle vaikutuksia.

⁷¹ Weichenberger, Marcus & Martin Bauer & Robert Kühler & Johannes Hensel & Carolinen Carcia Forlim & Albrecht Ihlenfeld & Bernd Ittermann & Jürgen Gallinat & Christian Koch & Simone Kühn. 2017. [Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold - Evidence from fMRI](#) - PubMed (nih.gov) Department of Psychiatry and Psychotherapy, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Germany, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Berlin, Germany, University Clinic Hamburg-Eppendorf, Clinic and Policlinic for Psychiatry and Psychotherapy, Hamburg, Germany.

Tätä vastaan on kuitenkin esitetty näkemyksiä, että objektiivisessa infraäänien riskiarvioinnissa pitää ottaa huomioon sisäkorvan tutkimuksen viimeaikainen kehitys korvafysiologiassa ja alitajunnan kuulostimulaation vaikutustutkimuksissa – ts. stimulaatio havaintorajan alapuolella. Esimerkiksi 5 Hz:n infraäänialtistus 60–65 dB:n äänenpainetasoilla voi laukaista sisäkorvan komponenttien, kuten eläinten karvojen vasteen. Onkin pohdittu, että ulkokarvojen stimulointi voi myös vaikuttaa laajemmin hermostoon aivorungon kautta. Lisäksi kognitiivisessa tieteessä on hyvin dokumentoitu vaikutukset aivojen fysiologiaan. Ihmisen käyttäytymiseen voi vaikuttaa laaja valikoima alitajuisesti esitetyistä ärsykkeistä, mukaan lukien kuuloalueen ärsykkeet.

Tutkijat kysyvät: Voiko infraääni vaarantaa hyvin matalalla taajuusalueella (1 Hz -> 20 Hz) fyysistä ja henkistä hyvinvointia?

Tutkimuskysymys: Voiko infraääni lähellä kuulokynnystä vaikuttaa myös globaaliin aivotoimintaan?

Eroavatko stimulaation vaikutukset merkittävästi kynnysten ylittävän infraäänien aiheuttamista vaikutuksista?

Koehenkilöt: 14 tervettä koehenkilöä, joista kuusi naista ja kahdeksan miestä.

Tutkimuksessa oli kaksi peräkkäistä istuntoa. Ensimmäisessä istunnossa 14 terveelle osallistujalle tehtiin kuulokynnysmittaus sekä kategorinen äänenvoimakkuuden skaalausmittaus, jossa infraäänien yksilöllinen äänenkäsitys arvioitiin eri äänenpainetasoilla (SPL). Toisessa istunnossa samoille osallistujille tehtiin kolme koetta lepotilassa, yksi ilman kuulostimulaatiota (ei ääntä), yksi monoäänisesti esitetyillä 12 Hz:n infraäänellä (lähellä kynnystä) ja toinen, jolla oli samanlainen ääni henkilökohtaisen kuulorajan yläpuolella kuin joka vastaa ”keskivahvaa” kuuloelämystä (kynnysten yläpuolella). Data-analyysi keskittyi lähinnä paikallisiin yhdistämistoimenpiteisiin alueellisen tasalaatuisuuden (ReHo) avulla, mutta sisälsi myös riippumattoman komponenttianalyysin (ICA) alueiden välisen liitettävyyden tutkimiseksi. ReHo-analyysi paljasti huomattavasti korkeamman paikallisen liitettävyyden oikean yläpuolisen

ajallisen aivopojun (STG) vieressä primaarisen kuulokuoren kohdalla, etummaisessa pihipoimussa (ACC) ja, kun sallitaan pienemmät klusterikoot, myös oikeassa manteliumakkeessa (rAmyg) lähellä kynnystä verrattuna kynnysten ylittävään ja äänettömään tilaan. Lisäksi itsenäinen komponenttianalyysi (ICA) paljasti suuret toiminnallisen liitettävyyden muutokset, mikä heijastui oikean manteliumakkeen (rAmyg) voimakkaampaan aktivoitumiseen päinvastaisessa kontrastissa (ei ääntä > lähellä kynnystä) ja oikeanpuoleisessa ylemmässä etuosan aivopojun (rSFG) lähellä kynnystä.

16.2. Laboratoriotutkimus tuuliturbiinimelun vaikutuksista uneen: tuuliturbiinien meluefektin nukuessa laajassa unitutkimuksessa

Alkuperäisartikkelin englanninkielinen nimi: A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: results of the polysomnographic WiTNES study⁷²

Laaja ja yksityiskohtainen tutkimus käyttää polysomnografiaa eli unilääketieteellisen menettelyn mahdollisuuksia. Tässä tutkittiin unihäiriöitä altistettaessa koehenkilöitä tuulivoimalan melulle unihäiriöitä diagnosoimalla unilaboratoriossa. Tutkimuksessa käytettiin myös elektrokardiografiaa, jolla tutkittiin sylkikortisolia ja arvioitiin koehenkilöiden täyttämää kyselylomakkeita. Kolmen peräkkäisen yön aikana kello 23.00–7.00 testihenkilöt ensimmäisenä yönä totutettiin koeolosuhteisiin, sitten heidät altistettiin kahtena yönä melulle ensin satunnaisesti ja sitten kuten tuuliturbiinimelussa (32 dB LAeq). Öinen melu vastasi melua, joka vastaa tuulivoimaloiden melua sekä suljettujen että avointen ikkunoiden kautta ja sekä matalilla että korkeilla taajuuksilla. Tutkijat löysivät merkittäviä asioita REM-unesta (“uni, jossa nähdään unia”).

⁷² Smith, Michael G. & Mikael Ögren & Pontus Thorsson & Laith Hussain Alkhateeb & Eja Pedersen & Jens Forssén, & Julia Ageborg Morsing & Kerstin Persson Waye 2020 Sep 14;43(9):zsaa 046. 10.1093/sleep/zsaa046. U [A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: results of the polysomnographic WiTNES study](#) - PubMed (nih.gov) niversity of Gothenburg, Box 414, 405 30 Gothenburg, Sweden.

Yhteenveto: Tuuliturbiinien äänet vaikuttivat uni-häiriöihin ja palautumiseen. Niillä oli pieni, mutta merkittävä vaikutus unen univaiheisiin, joita kutsutaan REM-vaiheiksi. Jos on altistunut tuuliturbiinien melulle laboratoriossa yhden yön, kokee unen häiriintyneen ja lyhentyneen.

Tämä tutkimus on ensimmäinen, jossa tutkitaan näiden äänien fysiologisia vaikutuksia uneen käyttämällä polysomnografiaa. Tämä on vakiomenetelmä, joka käyttää pään ja rinnan elektrodeja aivotoiminnan, silmäliikkeiden (REM) ja sykkeen tallentamiseen nukkuessa.

Göteborgin laboratoriotutkimuksessa tutkittiin 50 ihmistä, joista 24 oli asunut alle kilometrin päässä tuuliturbiinista vähintään vuoden. Kontrolliryhmään kuului 26 ihmistä, jotka eivät asuneet tuuliturbiinin lähellä.

Professori Wayne: ”Halusimme selvittää, ovatko pitkään tuuliturbiinin melulle altistuneet ihmiset tottuneet siihen eli vaikuttaisiko melu heidän uneensa eri tavalla kuin niillä, jotka eivät asu tuulivoimaloiden lähistöllä.” Tutkimukseen osallistuneet viettivät kolme yötä melusta ja tärinästä eristetyssä laboratoriossa Göteborgin yliopistossa. Ensimmäinen yö oli sopeutumista varten, toisena ja kolmantena yönä melu oli satunnaista, joko melulla tai ilman, tai yhtenä yönä neljä eri melujaksoa. Valitut äänet mallinnettiin todellisten tuulivoimaloiden äänien mukaan, jotka tulivat eri tuulivoimaloista. Lisäksi ne räätälöitiin ruotsalaisten puutalojen tyypillisen äänieristyksen mukaan ja altistuminen räätälöitiin nukkumistilanteeseen, jossa ikkunat olivat suljettuja. Melutaso oli hieman korkeampi kuin Ruotsissa talojen ulkopuolella tällä hetkellä on sallittua, mutta taso vastaa tarkalleen talossa olevaa matalaa melutasoa, joka on matalampi kuin aiemmissa katumelumittauksissa. Tämä matala sisämelutaso ei heikentänyt unta alustavissa tutkimuksissa. Yöllä tuuliturbiinimelujen aikana fysiologiset mittaukset osoittivat, että osallistujien REM-uni oli keskimäärin 11,1 minuuttia lyhyempi ja he tulivat myös REM-uneen 16,8 minuuttia myöhemmin normaaliin yöhön verrattuna. REM-vaiheiden kokonaiskesto oli 18,8 % melun kanssa ja 20,6 % ilman melua.

Tämä on pieni, mutta tilastollisesti merkitsevä ero. REM-vaiheet ovat erityisen tärkeitä terveellisten uni-

vaiheiden kannalta, ne vastaavat unen palauttavaa vaikutusta, lyhennettynä – mitä enemmän ja pidempiä REM-vaiheita on, sitä rauhallisempi uni on. Kaikki muut uniparametrit olivat tilastollisesti samanlaisia molemmissa ryhmissä. Kaikki tutkimuksen osallistujat täyttivät kyselylomakkeen. Parametrit olivat unen laatu, väsymys ja palautumisarvo. Molemmat ryhmät kertoivat kyselylomakkeissa, että he nukkuivat huonommin tuuliturbiinin melun aikana.

Tutkimuksessa ei löytynyt viitteitä siitä, että tuulivoimalameluun voidaan tottua. Mutta ei myöskään ollut viitteitä siitä, että herkkyys olisi lisääntynyt altistettujen ryhmässä. Altistettujen ryhmä ilmoitti kuitenkin huonosta unesta jopa hiljaisena yönä.

Professori Persson Wayne: ”WHO:n mukaan unihäiriöt aiheuttavat kielteisiä terveysvaikutuksia ja voivat edistää kroonista stressiä. Tästä tutkimuksesta ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöksiä pitkäaikaisista vaikutuksista terveyteen. Tätä varten tarvitsemme lisätutkimuksia, mieluiten mittauksilla suoraan osallistujien kodeissa, jotka suoritetaan myös pidemmän ajanjakson ajan.”

Lääkäri Dr. Johannes Mayer: ”Kaikilla potilailla, jotka valittivat tuuliturbiinien aiheuttamista unihäiriöistä, olimme toistuvasti olettaneet, että infraääni häiritsee unirakennetta. Toistaiseksi tästä on ollut vähän todisteita.

*Käyttämällä standardimittausmenetelmää, polysomnografiaa, tämä tutkimus antaa nyt selkeät todisteet siitä, että tuulivoimalat häiritsevät unen REM-vaiheita. Tutkimuksella voidaan siten osoittaa sekä tuulivoimaloiden akuutit vaikutukset uneen että tuulivoimaloiden aiheuttaman kroonisen melusaasteen vaikutukset. **Nocebo-vaikutus – kuten toistuvasti väitetään – on selvästi poissuljettu!***

Jos on mahdollista toistaa nämä tutkimukset jatkotutkimuksissa esimerkiksi kolmen kuukauden ajan paitsi laboratoriossa todellisten sänkypotilaiden ollessa kyseessä, tuulivoimaloiden haitallinen vaikutus uneen voidaan sitten selvästi osoittaa.

16.3 Meluherkkyys aivojen toiminnassa ja rakenteessa⁷³

Alkuperäisen englanninkielisen artikkelin nimi: Noise sensitivity in the function and structure of the brain.⁷⁴

Tutkimustausta: Meluherkkyys ei perustu vain asenteisiin tai psykologisiin tekijöihin, vaan sillä on biologinen perusta. Tämä tutkimus teki selväksi, että aivojen kuvantaminen on lupaava tapa tutkia mekanismeja, jotka johtavat yksilön herkyyteen melulle ja miten se vaikuttaa terveyteen.

Altistuminen melulle vaikuttaa negatiivisesti ihmisten terveyteen, muun muassa kohonneena riskinä sydän- ja verisuonitaudeille. Meluherkkyys on persoonallisuuden piirre, joka voi vaikuttaa alttiuteen melusta koituville haitoille. Syytä sille, mikä tekee toisista herkempiä melulle, ei tiedetä. Tähän mennessä asiaa on selvitetty lähinnä melun havaintokykyä ja sen esiintymistä väestössä kartoittavien tutkimusten avulla.

Tutkimuksen tavoite: Tutkimuksen tavoitteena oli lisätä tietoa meluherkkyuden biologisista mekanismeista. Tässä tutkittiin meluherkkyteen liittyviä aivojen rakenteita sekä meluherkkyuden vaikutusta kuulotiedon käsittelyyn.

Osatutkimukset: Tutkimus koostuu kolmesta osatutkimuksesta. Ensimmäisessä tutkimuksessa selvitettiin, voiko meluherkkyys kehittyä musiikin harjoittelun seurauksena (Tutkimus I). Kahdessa muussa osatutkimuksessa selvitettiin, heijastuuko meluherkkyys aivojen kuu- lojärjestelmän toimintaan (Tutkimus II), ja liittyykö se aivokuoreen ja sen alaisiin rakenteisiin (Tutkimus III).

Tutkimusmetodi: Tutkimukset suoritettiin käyttämällä kyselytutkimuksia, yhdistettyä aivosähkökäyrää ja sen magneettista vastinetta, eli elektro- ja magne- toenkefalografiaa (EEG/MEG), sekä aivojen magneet- tikuvausta (MRI).

Tutkimustulokset: Tulosten mukaan meluherkkyys vaikuttaa siihen, miten ja miksi ihmiset kuuntelevat musiikkia. Meluherkkyys ei kuitenkaan liity musiikin

harjoitteluun eikä täten liene yhteydessä hienovaraiseen kuulohavaintokykyyn (Tutkimus I). Tutkimus II kuiten- kin paljasti, että äänten erottelukyky ja äänipiirteiden koodaus aivoissa on heikentynyt meluherkillä yksi- löillä. Tutkimuksessa III osoitettiin, että meluherkkyys on myös yhteydessä aivorakenteiden järjestytykseen. Meluherkillä löydettiin suurentunut kuuloaivokuoren ja hippokampuksen tilavuus sekä paksumpi oikean etuai- vopuoliskon aivosaaari.

Johtopäätöksiä: Näiden tulosten mukaan meluherk- kyys on yhteydessä rakenteisiin, jotka osallistuvat äänten havaitsemiseen sekä niiden tunneperäistä ja elimellistä tietoa välittävään tiedonkäsittelyyn. Meluherkkyydellä on hermostollista taustaa eikä se ole pelkästään nega- tiivinen asenne melua kohtaan.

17. Infraäänen mittaamiseen liittyviä tutkimuksia

17.1 Tuulivoimalan mikroseismisten ja infraäänien melun numeerinen mallintaminen

Englanninkielisessä julkaisussa tutkimuksen nimi on: Numerical modelling of micro-seismic and infrasound noise radiated by a wind turbine.^{75,76,77,78,79,80}

Tutkimuksen päähavainto oli, että tuuliturbiinien rakenteen aiheuttama melu tuottaa enemmän melua talojen sisällä kuin suoraan voimaloiden lähettämässä ilmassa. Tutkimuksessa keskeisessä roolissa olivat maa- perän dynamiikka ja maanjärjestystekniikka.

⁷³ Kliuchko Marina 2017 University of Helsinki [Noise sensitivity in the function and structure of the brain](https://helsinki.fi) (helsinki.fi) Cognitive Brain Research Unit Department of Psychology and Logopedics Faculty of Medicine University of Helsinki, the Faculty of Medicine at the University of Helsinki

⁷⁴ <https://www.windwahn.com/2018/01/26/finnland-untersuchungen-zu-veraenderungen-imgehirn-laermempfindlicher-perso-nen-mit-meg-eeg-und-mrt/c>

Tutkimus tehtiin yhteistyössä Karlsruhen teknillisen instituutin (Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik am Karlsruher Institut für Technologie KIT) ja Patrasin yliopiston kanssa Kreikassa.

Maaperän dynamiikan merkitys on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Lisääntyneet turvallisuus- ja mukavuusvaatimukset edellyttävät maanjäristysten, tuulen tai teollisuuden aiheuttamien dynaamisten kuormitusten huomioon ottamista rakennusten ja järjestelmien mitoituksessa. Tämä edellyttää nykyaikaisia ja käytännöllisiä laskentamenetelmiä perustusten ja maanrakennusten muodonmuutosten ja lujuuskäyttäytymisen määrittämiseksi.

Syntyneet mikroseismiset aallot vaikuttavat seismologisten keskusten mittauksiin, jotka ovat jopa 15 km:n päässä tuuliteollisuusalueesta. Suurempia häiriöitä esiintyy taajuusalueella 5–10 Hz. Tuulivoimalan käyttö voimakkaalla tuulella tuottaa mikroseismisiä aaltoja, jotka voivat kuormittaa asukkaita. Numeerinen mallinnus perustuu matemaattiseen ratkaisuun, jossa on ns. joukko riippuvia ja/tai riippumattomia differentiaaliyhtälöitä. Niissä otetaan huomioon maankuoren pienimmät värähtelyt, ja pinta-aallot (päätyyppi).

Johtopäätökset:

- mikroseismisyys luo taloon korkeammat melutasot kuin tuulivoimalasta johtuva ilman melu.
- kallioperällä, joka sijaitsee syvällä maan alla, on ylimääräinen osuus indusoidun mikroseismiikan aiheuttamasta akustisesta melusta.

Suurten tuulivoimaloiden tuottama infraääni, pienitajuinen ääni ja lattiovärinä voivat häiritä läheisten rakenteiden ja niiden asukkaiden mukavuutta. Lisäksi, jos asuttavien alueiden läheisyyteen rakennetaan vanhojen voimaloiden paikoille uusia, suurempia, se voi herättää pelkoja, että häiriöt lisääntyvät.

Tuulikuorman takia tuulivoimalan perusta on vuorovaikutuksessa maan kanssa ja se luo mikroseismisiä pinta-aaltoja, jotka etenevät pitkiä matkoja ja jotka voivat vaikuttaa haitallisesti herkkiin laboratoriomittauksiin myös kaukana stressipisteestä.

Numeerinen tutkimus näiden aaltojen alkuperästä ja leviämisestä ympäristössä on tämän tutkimuksen pääaihe. Lisäksi tutkitaan näiden aaltojen suhdetta ilmassa oleviin ääniin, jotka syntyvät maa-ilma-vuorovaikutuksesta.

Kaikki numeeriset simulaatiot suoritetaan Boundary Element Method -menetelmällä (Boundary Element Method), joka on ihanteellinen tällaisten ongelmien ratkaisemiseksi, koska se ottaa automaattisesti huomioon aaltojen säteilyolosuhteet ja siten vaaditaan vain perustan rajapinta ja ympäröivien maaperien pintakerros. Perusta ja maaperä katsotaan lineaarisiksi elastisiksi materiaaleiksi, jotka sitoutuvat rajapintoihin. Taajuusalueen Helmholtz-yhtälöä käytetään akustisten aaltojen simulointiin. Esitetään numeerisia tuloksia, jotka koskevat ilma- ja maaperävahinkojen leviämistä ja heikentymistä, ja keskustellaan häiriöistä, joita voi aiheutua lähi- ja kaukokenttä rakenteiden läheisyydessä.

⁷⁵ Gortsasa, Theodore V. & Theodoros Triantafyllidis & Stylianos Chrisopoulos & Demosthenes Polyzosb, 2017. [Numerical modelling of micro-seismic and infrasound noise radiated by a wind turbine - ScienceDirect](#) Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 99, Pages 108–123

⁷⁶ KIT-Studie: [Bodenschwingungen, Infra- und tieffrequenter Schall belasten Anwohner von WEA durch hohe Lärmpegel im Haus – windwahn.com](#)

⁷⁷ Tutkimusinstituutit: Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, University of Patras, Patras, Greece.

⁷⁸ <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.05.001>

⁷⁹ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026772611730297X>

⁸⁰ <https://www.windwahn.com/2017/05/22/kit-studie-bodenschwingungen-infra-und-tieffrequenter-schall-belasten-anwohner-von-wea-durch-hohe-laermpegel-im-haus/>

17.2 Tuulivoimaloiden infraääni ja mittausasemat

Kyseessä on Saksan valtion geotieteiden ja luonnonvarojen tutkimuslaitoksen (BGR) 12 vuoden (2004–2016) pitkäaikaistutkimus ”Tuulivoimaloiden infraääni ja mittausasemat”, jossa tutkittiin tuuliturbiinien vaikutusta mittausasemiin (BGR-Langzeitstudie von Lars Ceranna et al, Infraschall von WEA und Messtationen-Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe forsch 12 Jahre: Studie – Einfluss von WEA auf Messtationen).⁸²

Nykyaikaiset tuulivoimalat, joiden teho on satoja tuhansia kilowattia (kW), tuottavat suuren osan akustisista päästöistään alle 20 Hz:n infra-alueella niiden koon ja roottorin siipien pienen pyörimisnopeuden vuoksi. Tällä taajuusalueella, jota ihmiskorva ei pysty havaitsemaan, ääni kulkee huomattavasti pidemmälle kuin kuultavalla alueella, ja se voidaan edelleen rekisteröidä useiden kilometrien päässä herkillä mittauslaitteilla, kuten BGR: n infraääniasemien mikrobarometreillä.

Läheisiltä tuulivoimaloilta tulevat säännölliset äänisignaalit heikentävät suoria asematallenteita ilmanpaineen vaihteluista infraäänialueella ja siten myös asiaankuuluvien asemien suorituskykyä infraäänitapahtumien havaitsemiseksi. Tämä koskee esimerkiksi räjähdysten kirjaamista osana ydinkoekieltoa (CTBT). BGR:lle CTBT-infra-asemien operaattorina on erittäin tärkeää tarkka tieto ja kvantifointi tuulivoimaloiden vaikutuksista infraäänimittauksiin. Tästä syystä BGR on käsitellyt tätä aihetta vuodesta 2004 lähtien.

Kenttämittaus mobiililaitteistoilla (HUFÉ) BGR käyttää erittäin herkkiä, pysyvästi asennettuja ja liikkuvia infraäänimittausjärjestelmiä ja on kiinnostunut arvioimaan tuulivoimaloiden äänipäästöjen voimakkuuden infraäänitaajuusalueella. Tätä tarkoitusta varten suoritettiin ensimmäisen kerran mobiili infraäänimittauskampanja vuonna 2004 yhdellä vapaasti seisovalla 200 kW:n tuulivoimalalla lähellä Hufenin kaupunkia, 20 km Hannoverista pohjoiseen.

Tuulivoimalan akustiset signaalit mitattiin mikrobarometreillä kahdeksassa paikassa noin 2 km pitkällä

länsi-itäprofiililla. Tuulivoimaloiden infraääni vaikuttaa siten säännöllisesti ja jatkuvasti sekä infraäänitallenteisiin (säännölliset ilmanpaineen vaihtelut) että käsitelyihin datatuotteisiin (infraäänitapahtumien havaitseminen tuulivoimaloiden suunnasta).

Infraääniasemat, joihin tuulivoimaloiden akustiset päästöt vaikuttavat, eivät käytännössä havainnoi muita tapahtumia, erityisesti näiden voimaloiden suuntaan. Suuntaussegmentit vaikuttavat jopa 20° lähellä sijaitsevaa tuulivoimalaa kohden, ja IGADEn (Pohjois-Saksassa sijaitseva infraäänimittausasema, osa maailmanlaajuista ydinaseiden ennakoita havaitsemisen takia olevaa verkostoa) tapauksessa yli 25 % tämän aseman havainnoista syntyy tuulivoimaloiden takia.

Rakennusparametreista, tuotetusta tehosta ja läheisten tuulivoimaloiden lukumäärästä riippuen lähtevä ääni on mahdollista laskea etäisyyden mukaan tuulivoimalasta. Mallien ja julkaisujen teoreettisesti määritetyt arvot voitiin tarkistaa infraäänialueelle BGR:n vuonna 2004 suorittamien kenttämittausten ja IGADEn jatkuvien tallennusten ansiosta vuodesta 2005 lähtien. Tämä puolestaan antaa mahdollisuuden määrittellä vähimmäisetäisyys tuulivoimalasta tai tuuliteollisuusalueesta infraäänimittausjärjestelmään, jotta voidaan mitata kynnsarvot mittausten heikentymiselle yllä kuvattujen tuulivoimaloiden korkeimpien harmonisten taajuuksien avulla.

Tutkimustuloksia: Tuulivoimaloiden etäisyydestä johtuvien akustisten vaikutusten laskeminen infraääniasemilla on erittäin tärkeää BGR:lle Bayerischer Waldin alueen I26DE-infra-aseman operaattorina, joka on osa kansainvälistä valvontajärjestelmää, jotta ydinkokeen kieltosopimusta noudatetaan ja varmistetaan häiriötön rekisteröinti tällä asemalla. Teoreettinen arvio osoittaa, että nykyaikaisten ja suurten tuulivoimaloiden, joiden teho on yli 500 kW, äänipäästöt yltyvät yli 20 kilometrin etäisyydelle.

Tuuliteollisuusalueiden ollessa kyseessä tämä etäisyys kasvaa moninkertaiseksi.

Oletuksena olivat äänen etenemisen kannalta edullisimmat ilmakehän olosuhteet (vakaa troposfäärinen

⁸² https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/ErdbebenGefaehrdungsanalysen/Seismologie/Downloads/infraschall_WKA_Poster.pdf;jsessionid=AD3121C7B

aaltoputki esim. lämpötilan inversiokerroksen läpi). Yleisemmässä ”normaalissa” ilmakehän äänen etenemistapauksessa vähimmäisetäisyys tuulivoimaloiden infraääniaseman häiriöttömiin mittauksiin pienennetään arvoon noin 5–15 km, riippuen aseman taustameluolosuhteista ja useasta tuulivoimalasta koostuvan tuuliteollisuusalueen koosta ja koostumuksesta.

Johtopäätöksiä: Kun otetaan huomioon tuulivoimaloiden ja tuuliteollisuusalueiden jatkuvasti kasvava määrä, niiden akustisesta melupäästöstä infraäänialueella, jota ihmiset eivät kuule, on syntymässä kasvava ongelma erittäin herkille mittausjärjestelmille mikropainevaihtelujen rekisteröimiseksi. Tuulivoimaloiden tuottaman äänipainetason kvantifoimiseksi sen voimakkuuden suhteen etäisyyden funktiona suoritettiin infraäänimittaukset mobiililaitteistoilla yhden tuulivoimalan kohdalla, jolla oli vaaka-akseli. Rekisteröinnin tulokset ja niiden onnistunut vertailu teoreettiseen malliin päätetyn melun arvioimiseksi mahdollistavat pienimmän etäisyyden määrittämisen, joka on pidettävä yllä infraäänimittausjärjestelmän ja tuulivoimalan tai tuuliteollisuusalueen välillä, jotta voidaan suorittaa häiriöttömiä infraäänimittauksia.

Tuulivoimalaitosten rakenteelliset parametrit voidaan ottaa huomioon näissä mallilaskelmissa. Saatu tieto on erityisen tärkeää sopivien paikkojen valinnassa suunniteltaessa uusia infra-ääni-asemia. Toisaalta jo olemassa olevien mittausjärjestelmien tapauksessa niitä käytetään kieltovyöhykkeen määrittämiseen uusien tuulivoimaloiden rakentamisessa. Tämä koskee erityisesti Bayerischer Waldissa sijaitsevaa Saksan infraääniasemaa I26DE ja Etelämantereen I27DE-infra-asemaa, joka on osa kansainvälistä tarkkailujärjestelmää (IMS), jolla valvotaan ydinkokeiden kielto- ja suojelualueiden noudattamista.

Väestö on toistuvasti ilmaissut huolensa suurista tuulivoimaloista ja niiden mahdollisista kielteisistä ympäristövaikutuksista. Tämä pätee erityisesti tällaisten järjestelmien lisääntyneen rakentamisen ja niiden alueellisen yhdistymisen taustalla tuuliteollisuusalueiden muodostamiseksi, joista osa rakennetaan asuttujen alueiden välittömään läheisyyteen. Näiden järjestelmien käyttö johtaa toisinaan lisääntyneeseen melusaasteeseen. Siipien liikkeen aiheuttama melu ei rajoitu kuultavaan alueeseen, koska niiden koon ja pienen pyörimisnopeuden takia huomattava määrä alle 20 Hz:n energiaa

lähtee infraääninä. Koska tuulivoimaloiden toiminta- valmius riippuu tuuliolosuhteista, tuulen ja melun välillä on suora yhteys.

Jatkuvien tuulien tapauksessa tämä tarkoittaa pysyviä melupäästöjä päiviä ja viikkoja, mikä voi olla välittömässä läheisyydessä erityisen stressaavaa. Suuremmilla etäisyyksillä melupäästöt kuitenkin hukkuvat liikenteen, teollisuuden ja paikallisen tuulimelun aiheuttamaan taustameluun.

Nämä havainnot koskevat kaikkia tuulivoimaloita, joiden teho on yli 100 kW, niiden rakenteellisista parametreista riippumatta, ja ne voidaan todentaa jo 1970- ja 1980-luvuilla useiden tuulivoimaloiden melupäästöjä koskevien laajojen tutkimusten perusteella. Näissä mittauksissa pääpaino oli kuultavalla alueella; toisaalta pienitaajuinen ääni ei ollut kovin kiinnostavaa, koska ihmiset eivät kuule näitä taajuuksia. Lisäksi infraääntä ei voitu mitata riittävän luotettavasti aiemmilla mikrofoneilla. Nykyaikaiset mikrobarometriset paineanturit, joita nykyään käytetään infraäänien rekisteröintiin, ovat hyvin herkkiä ja rekisteröivät infraäänien pitkiä matkoja pitkien aallonpituuksien ja matalan vaimenuksen vuoksi.

Infraääniasemien operaattorina BGR on kiinnostunut siitä, missä määrin tuuliturbiinit tuottavat infraääntä ja mikä vähimmäisetäisyys on pidettävä tuuliturbiinien ja mittausasemien välillä häiriöiden välttämiseksi. Tämä koskee erityisesti kahta infraääniasemaa, jotka ovat osa kansainvälistä tarkkailujärjestelmää (IMS) ydinkokeen kielto- ja suojelualueiden noudattamisen varmistamiseksi.

Suurten tuulivoimaloiden äänenpaineen arviointi

Tutkimuksen perusteella tiedetään, että 2 km:n etäisyys tuulivoimalasta on riittävä, jotta se ei enää heikennä infraäänirekisteröintiä, varsinkin kun kohinalähteen suunnan löytäminen 4-elementtisellä pienellä ryhmällä paransi signaali-häiriösuhdetta kertoimella 2 (6 dB). Tällä etäisyydellä säteilevä melu on tuulen melun alueella ja ei siten enää häiritse matalilla noin 2 Hz:n taajuuksilla. Tämä pätee kuitenkin vain tämän tehon ja tämän kokoluokan tuulivoimaloihin eikä suurempiin voimaloihin, joita nykyisin rakennetaan.

Näiden suurten voimaloiden tarkoituksena on hyödyntää tasaisempia ja parempia tuuliolosuhteita, jotka vallitsevat korkeammilla paikoilla maanpinnan yläpuo-

lella, jotta ne tuottaisivat enemmän sähköä. Nykyaikaisen tuulivoimaloiden napakorkeus saattaa olla yli 100 metriä, mikä lisää merkittävästi syntyvien pulssien kantamaa. (Tekijöiden KS ja PK huomautus: esim. Päijänteen ympärille suunniteltujen tuuliteollisuusalueiden uusien voimaloiden napakorkeus lähentelee toteutukseen 200 metriä. Sellaisia ei vielä ole missään muulla koko maailmassa.)

On olemassa suuri määrä tieteellisiä julkaisuja, jotka käsittelevät tuuliturbiinien akustisia häiriöitä tai kuorimitusta alueella, jonka ihmiset kuulevat.

Esimerkiksi van den Berg (2004) kuvaa asukkaiden iltaisin tapahtuvaa yöllistä häiriötä noin 1,5 km:n päässä sijaitsevasta tuuliteollisuusalueesta. Pederson ja Halmstad (2003) sekä Pederson ja Persson Waye (2004) ovat tehneet systemaattisia altistumisannostutkimuksia Ruotsissa. Niiden tulokset osoittavat, että suuri meluhäiriö havaitaan 2 km:n etäisyydellä, mutta joka pienee merkittävästi etäisyyden myötä.

Infraäänestä ei ole tällaisia tutkimuksia, vain teoreettiset arviot. Kuitenkin, jos tämän em. tutkimuksen tulokset otetaan perustaksi, noin 20 Hz:n infraäänialueella sijaitsevien tuulivoimaloiden asukkaille ei ole haittaa, koska 1 km:n etäisyydellä 5 MW:n tuulivoimala tuottaa vain enintään 80 dB:n äänenpainetasoa. Ainoastaan yli 15 Hz:n taajuuksilla ja suuremmilla tuuliteollisuusalueilla meluhäiriö voitaisiin havaita tällä etäisyydellä.

17.3 Infraääni ja sen merkitys kuultavalle äänelle⁸³

Tutkimuksen alkuperäisen julkaisun nimi on: Infrschall und seine Bedeutung für den Hörschall.⁸⁴

Tutkimustustaa: Infraäänille altistuvien ihmisten määrä kasvaa. Tiedetään, että yksittäiset ihmiset reagoivat erityisen herkästi ja että heidän elämänlaatuun rajoittaa huomattavasti monet häiriöt (unihäiriöt, keskittymishäiriöt, levottomuus, migreeni). Kuinka ihmi-

nen ja ihmiskeho käsittelee infraääntä, on suurelta osin epäselvää. Tutkimusta rahoittaa DFG eli Saksan tutkimusrahoituslaitos, joka on Saksan liittovaltion ja osavaltioiden rahoittama laitos.

Projektin tavoitteena on tutkia infraääni- ja pientaajuisten äänen havaintomekanismeja, jotta tulevaisuudessa lääketieteen ammattilaiset ja psykologit voivat paremmin tutkia vaikutuksia ihmisiin.

Hypoteesi: Yksi hypoteesi infraäänien kuulemisesta on, että kuulo aiheuttaa epälineaarisia vääristymiä, joiden taajuudet ovat kuultavalla äänialueella. Tämän tutkimiseksi on ensin varmistettava, että infraääniärsykkeiden lisääntymisjärjestelmä itsessään ei tuota vääristymiä. Siksi tämä projekti alkaa vääristymättömän infraäänentotekniikan ja herkän korvakäytävän mittaustekniikan kehittämällä. Tätä käytetään elävässä korvassa määrittelemään kuulospesifiset epälineaariset vääristymät.

Tutkimuskysymys: Kuuntelutesteissä tutkitaan sitten, missä määrin näillä vääristymillä on merkitys infraäänihavainnossa ulkoisen kuuloäänien kanssa tai ilman.

Vaihtoehtoinen hypoteesi: Vaihtoehtoinen hypoteesi infraäänihavainnolle on, että infraääni moduloi kuuloääntä ja jälkimmäinen on siten havaittavissa.

Metodologia: Nämä kaksi hypoteesia testataan kriittisesti kuuntelutesteillä. Sekä kuuntelutestien että korvakäytävän teknisten mittausten tulosten perusteella kehitetään malleja infraäänihäiriöille. Pitkän aikavälin tavoitteena on käyttää projektin tuloksia kehitettäessä sääntöjä, jotka suojaavat infraäänien aiheuttamilta terveyshaitoilta, ja riittävää kuvausta infraäänirakenteen lähteiden päästöparametreista.

Tutkimuksella on siksi merkitystä sekä terveyden suojelun (suojaaminen haitallisilta infraäänipäästöiltä), että taloudellisen kehityksen (infraäänipäästöt, esim. tuuliturbiinien valmistajat ja käyttäjät) kannalta. Ihmiset kuulevat ääntä odotettua matalammalta. On ihmisiä, jotka kuulevat jatkuvasti ärsyttävää matalaa huminaa tuuliturbiinien läheisyydessä. Tuulivoimaoperaattorit ovat eri mieltä tästä. Kyseessä olevat taajuudet tunnetaan infraääninä. Niitä ei pitäisi huomata lainkaan. Tut-

⁸³ <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/10.0000897> Spectral integration of infrasound at threshold The Journal of the Acoustical Society of America 147, EL259.

⁸⁴ Verhey, Jesko, Otto-von-Guericke, 2020, Universität Magdeburg Medizinische Fakultät Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie Abteilung für Experimentelle Audiologie Leipziger, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

kijat ovat tarkistaneet tämän tarkemmin ja löytäneet yllättävää. Usein toistuva kysymys on: Voivatko ihmiset havaita tuuliturbiinien lähettämän infraäänen?

Tässäkin tutkimuksessa todetaan, että tuuliturbiinien ääni tulee siniaaltolina, joiden taajuus laskee jatkuvasti. Alue, jolla henkilö voi vielä kuulla äänet, päättyy noin 20 hertsiin. Matalimmat värähtelyt tunnetaan infraääninä, jotka ovat lähes kuulumattomia. Braunschweigin fyysikaalis-teknisen laitoksen (PTB) kuuloäänityöryhmän johtajan Thomas Fedtken mukaan: ”Infraäänestä on tulossa yhä tärkeämpi, koska infraääntä tuottavia lähteitä on yhä enemmän. Yhä uudelleen mainittujen tuulivoimalaitosten lisäksi näihin kuuluvat esimerkiksi generaattorit tai moottorit tai teollisuuslaitokset, jotka tuottavat tällaista. Infraääni on myös yhä yleisempää. Yhä useammat ihmiset tuntevat olevansa häiriintyneitä infraäänistä.”

Testaus mahdollisimman matalilla äänillä selkiyttää tilannetta. Miten ihmiset kokevat infraäänen, kun he ilmoittavat ärsyttävästä, syvästä huminasta? Toistaiseksi on ollut vain oletuksia, mutta ei selkeitä tietoja. Thomas Fedtke ja PTB ovat tutkineet, missä määrin kuulo on mahdollisesti altis infraäänelle. Fedtken mukaan: ”Voit myös ajatella, ettet edes havaitse pienitaajuista ääntä korvillasi tai kuulollasi, vaan tärinän kautta, stimuloitavan vatsasi tai jonkin muun ruumiinosan kautta. Tarkensimme kuulopisteen varmistukseksi, että käytimme ääntä vain korvissa tutkimusten aikana. Pienit äänet vaativat enemmän energiaa tai äänenpainetta. Jos ne luodaan suurilla bassokaiuttimilla, häiritsevät äänet myös vääristyvät. Tutkijat rakensivat erityisen kapseloidun infraäänilähteen, joka välittää matalimmat äänet puhtaammallaan ja jonka värähtelyt siirtyvät sitten suoraan korvakäytävään ilmaliikkeinä pienen putkivastaanotton kautta. Kun matalien testiäänten määrä kasvoi hitaasti, koehenkilöiltä kysyttiin tavanomaisen kuulotestin tavoin, havaitsivatko he ja milloin. Aivotutkimukset tehtiin samoilla koehenkilöillä. Kerran niin kutsutun magneettisen enkefalografian ja myös toiminnallisen magneettisen resonanssitomografian avulla tarkastel-

tiin, stimuloivatko nämä signaalit myös aivojen alueita, jotka normaalisti liittyvät kuulotoimintaan.

Tutkimustulokset: Monet testattavista sanoivat voitavansa silti havaita jotain jopa kahdeksan hertsin taajuuksilla, vaikka he eivät enää pystyisi erottamaan sävelkorkeutta. Samanaikaisesti aivotutkimukset osoittivat vastaavaa toimintaa kuulokeskuksessa. Jos ääni on tarpeeksi kovaa, infraääni nauhoitetaan ja prosessoidaan kuten tavallinen kuuloääni korvan kautta.

Thomas Fedtke havaitsi kuitenkin erään erityispiirteen:

”Äänenvoimakkuuden ero on paljon pienempi hyvin matalilla taajuuksilla. Tämä tarkoittaa, että hyvin matalilla taajuuksilla tuskin kuultavan ja ehkä ärsyttävän kovan äänen välinen etäisyys ei ole enää yhtä suuri kuin normaalilla kuultavalla äänialueella. Toisin sanoen heti, kun infraääni on riittävän voimakas, jotta ihminen havaitsee sen, sitä periaatteessa hyvin pian pidetään ärsyttävänä. Infraäänen kuulon häiriöraajat eroavat eri henkilöillä. Jatkotutkimuksessa tutkijat aikovat tutkia erityisesti ihmisiä, jotka tuntevat ärsyttävän infraäänen. Kysymys on myös siitä, missä määrin psykologiset tekijät vaikuttavat kuuntelijan kokemuksiin infraäänestä – esimerkiksi kun tuuliturbiini näkyy äänilähteenä ja se nähdään uhkana.”

17.4 Tuulivoimaloiden infraäänen vaikutus sen leviämisen perusteella voimaloiden ympäristössä oleskelevien terveyteen Suomessa. Tilastollinen analyysi^{85,86}

Tutkimuksen tarkoitus: Pilotitutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tuulivoimaloiden infraäänen vaikutusta voimaloiden ympäristössä oleskelevien terveyteen. Tutkimus toteutettiin Suomessa Satakunnasta ja Pohjois-Pohjanmaalta keväällä 2016 kerätystä aineistosta.

⁸⁵ Mehtätalo, E. & Mehtätalo, M., & Peltoniemi, P. 2019. [Tuulivoimaloiden infraäänen vaikutus sen leviämisen perusteella voimaloiden ympäristössä oleskelevien terveyteen Suomessa](#) Pilot Study 2019 A4.

⁸⁶ Mehtätalo, E. & Mehtätalo, M., & Peltoniemi, P. <https://syte.fi/2020/01/12/infraaani-aiheuttaa-terveyshaittoja-jopa-15-20-kmn-etaisyhdella-tuulivoimaloista-riskietaisyyys-kasvaa-voimaloiden-tehon-maaran-tai-korkeuden-kasvaessa-tai-pitkaaikaisaltistuksessa/>

Tutkimusmetodiikka: Tutkimuksessa käytettiin haastateltavien poimintaan kahta rekisteriä, joissa vastaajat edustivat rekisterien taustalla olevien yhteisöjen intressiä: toinen rekisteri oli erään yrityksen asiakasrekisteri Pohjois-Pohjanmaalta, toinen erään yhdistyksen jäsenrekisteri Satakunnasta. Tutkimusaineiston keruumenetelmänä käytettiin haastattelua. Kyselytutkimuksessa oli mukana yhteensä 193 ihmistä 46 perheestä. He olivat alueilta, joille oli rakennettu ja otettu käyttöön tuulivoimaloita 0,5–3 vuotta ennen haastatteluhetkeä. Altistumisajan rajana pidettiin kolmea vuotta, eikä otokseen hyväksytty perheitä, joiden altistumisaika oli ollut tätä pidempi. Haastattelua varten selvitettiin kunkin perheen etäisyys lähimpään voimalaan tai voimaloihin ja voimalan rakentamis-/käyttöönottokohta. Osa haastatelluista asui lähellä voimaloita, osa useiden kymmenien kilometrien päässä. Lisäksi muodostettiin karttamallinnus tuulivoimaloiden infraäänien leviämisestä, jatkuvuudesta ja voimakkuudesta, ts. altistusvyöhykkeistä Suomen karttapohjalle.

Tilastomenetelmät: Tilastollisena tutkimusmenetelmänä oli lineaarinen sekamalli, jota käytettiin aineiston tilastollisen merkitsevyyden testaamiseen. Ihmisten oireita selitettiin joko suoralla etäisyydellä (km) lähimpään tuulivoimalaan tai karttamallinnuksen altistusvyöhykkeellä. Selittäjinä olivat lisäksi käytetty rekisteri, henkilön sukupuoli, ikä ja ennakkotietoisuus tuulivoimaloiden mahdollisesta terveyshaitasta. Alle 15 km:n etäisyys voimaloista oli jaettu visuaalisen tarkastelun vuoksi neljään (4) eri etäisyysluokkaan. Vastausten erot näiden kesken olivat pieniä ja poikkesivat selvästi vasta seuraavassa luokassa, jossa etäisyys lähimpään tuulivoimalaan oli yli 15 km.

Tutkimustulokset: Haitallista tai vakavampaa oireilua oli selvästi enemmän alle tai noin 15 km:n etäisyydellä voimaloista kuin kauempana niistä. Karttamallinnuksessa oli käytössä kolme (3) eri altistumisvyöhykettä. Ensimmäisellä vyöhykkeellä lähimpänä voimaloita oli tuulivoimaloiden infraääntä kaikilla.

Oireet olivat lähes jatkuvassa tai usein kestävässä infraäänialtistuksessa karttamallinnuksen altistusvyöhykkeillä (alle tai noin 15 km tuulivoimaloista sekä kauempana, yli 15–20 km:n etäisyydellä voimaloista) melko voimakkaita.

Toisella vyöhykkeellä voimaloiden aiheuttamaa infraääntä oli usein, tuulen suunnasta johtuen. Kolmannen vyöhykkeeseen ei infraääntä voimaloista laskentamallin mukaan juuri tullut. Karttamallinnus selitti oireita paremmin kuin suora etäisyys lähimpään tuulivoimalaan. Tilastollisissa analyysissä ei muodostunut merkitsevää p-arvoa suoraan etäisyyden mukaan (km) kasvavalle haitalle. Merkitsevä p-arvo saatiin kokonaisuutena kuvaavan karttamallinnuksen mukaiselle haitalle. Lisäksi oireita selittivät henkilön sukupuoli ja ikä. Muut taustamuuttujat eivät selittäneet oireita tilastollisesti merkitsevästi.

Tyypillisimpiä oireita olivat unen häiriintyminen tai yöunen tarpeen muuttuminen, väsymys ja erilaiset säröt.

Tutkimustulosten mukaan tuulivoimaloiden infraäänien aiheuttamaa terveyshaittaa oli huomattavasti enemmän karttamallinnuksen altistusvyöhykkeillä 1–2 kuin kauempana.

Tutkimuksen tärkein tulos on, että riskietäisyys kasvaa voimaloiden korkeuden, määrän tai tehon kasvaessa tai ajan kuluessa pitkäaikaisaltistuksessa, ts. riskietäisyys vaihtelee olosuhteiden mukaan. Alueilla, joissa voimaloita oli eri puolilla asuinpaikkaa, terveyshaittoja ilmeni tämän pilottitutkimuksen tekoaikaan vallinneissa olosuhteissa 15–20 km:n etäisyydelle asti voimaloista.

Mahdollisen haitan syntyminen tulee siten tutkia riittävän pitkällä säteellä tuulivoimaloista ja huomioida kaikki ympäristössä olevat tuulivoimalat sekä tyypillisimmät tuulen suunnat. Tämä tutkimus vahvistaa Cerannan ja Pilgerin pitkäaikaistutkimuksen (2004–2016) tulokset koskien tuulivoimaloiden infraäänien leviämistä.

17.5 Tuuliturbiineista lähtevä pienifrekvenssinen ääni⁸⁷

Tutkimusabstraktissa todetaan tutkimusraportin aluksi yhteenveto: Mitä isompi voimala, sitä enemmän melussa on pienitaajuisia ääntä, joka aiheuttaa ympäristössä erittäin haitallista melua. Tämä pitäisi ottaa huomioon entistä selkeämmin, koska Suomeen rakennetaan jatkuvasti yhä suurempia tuuliturbiineja, joista ei Suomessa ole tehty tutkimusta.

Mitä isompi voimala (3 MW vrt. 10 MW), sitä enemmän melussa on pienitaajuisia osuutta. Tuuliturbiinien kasvaessa on ilmaantunut huolta siitä, että turbiinin melu liikkuisi taajuudella alaspäin ja että pienitaajuisen melu aiheuttaisi harmia lähellä asuville. Tutkimuksessa analysoitiin 48 tuuliturbiinin melupäästöt, joiden nimellisteho on enintään 3,6 MW. Pienitaajuisen me-

lun suhteellinen määrä on suurempi suurilla turbiinilla (2,3–3,6 MW) kuin pienillä turbiinilla (≤ 2 MW), ja ero on tilastollisesti merkitsevä. Ero voidaan ilmaista myös spektrin alaspäin suuntautuvana siirtona, joka on noin kolmasosa oktaavista. Samankokoisia siirtymiä lisää ehdotetaan tuleville turbiinille, jotka ovat teholtaan 10 MW. Ilman absorption vuoksi pienitaajuisen äänen osuus kasvaa sitäkin enemmän, kun otetaan huomioon äänenpainetasoille tärkeä etäisyys lähiympäristöön. Vaikka otettaisiin huomioon A-painotetut tasot, huomattava osa melusta on matalilla taajuuksilla, ja useiden tutkittujen suurten turbiinien kohdalla se on yhden kolmanneksen oktaavikaista, jonka korkein taso on 250 Hz tai sen alle. Täten on kiistatonta, että pienitaajuisella osalla spektriä on merkittävä rooli tuuliturbiinin lähelle tulevassa melussa.

.....
⁸⁷ Møllera Henrik and Christian Sejer Pedersen 2010. [Low-frequency noise from large wind turbines](#). Untitled (wind-watch.org) Section of Acoustics, Aalborg University, Aalborg Ø, Denmark ©2011 Acoustical Society of America

III LUKU

HEIKKOJA SIGNAALEJA TUULIVOIMASTA JA INFRAÄÄNESTÄ

Tähän lukuun on kerätty hiljaisia signaaleja tutkimuksista ja niiden kritiikistä sekä sellaisia tietoja, joilla voi olla merkitystä tuulivoiman infraäänitutkimuksen uudistamisessa. Hiljaiset signaalit otetaan tutkimuksessa kansainvälisesti kasvavassa määrin huomioon, koska niiden avulla syntyy tieteen sisäistä kritiikkiä ja uudistumista.

Jos nojaututaan kuten meta-analyyseissä ja systemaattisissa kirjallisuuskatsauksissa usein pääasiassa huippuproffessorien, huippututkimuslaitoksissa ja huippurahoituksella tehtyihin tutkimuksiin, kirjallisuuskatsaukset pyörittävät liikaa samoja tutkimustuloksia ja näkökulmia, jolloin tutkimus ei uudistu riittävästi.

18. Infraääniemissioiden meluvaikutukset Saksassa

Ohessa kritisoidaan otsikossa mainittua Saksan ympäristöministeriön infraäänitutkimusta. Tässä esitetyt kommentit perustuvat saksalaisen tutkija Jutta Reichardt'n kommentteihin 15.9.2020.

Reichardt'n mukaan tutkimus tehtiin ilman todellista yhteyttä mittausten ja ympäristön välillä. Tutkimuksessa koehenkilöitä oli liian vähän.

Hän kritisoi koehenkilöiden valintaa, koska (ns. Eggebek-tutkimus) tehtiin koehenkilöiden kanssa, jotka saivat 200 €:n palkkion koepäivää kohden. Koehenkilöt etsittiin julkisesti lehdissä ilmoittamalla. Näitä koehenkilöitä kutsutaan ”ovenavaajaksi” kaikille tuulivoimasta hyötyville. Liian vähän koehenkilöitä! Reichardt kritisoi sitä, että teknisen alan asiantuntijat ja psykologit tutkivat ja arvioivat infraäänien terveysvaikutuksia eivätkä lääketieteen ammattilaiset. Reichardt'n mukaan tällä halutaan vaikuttaa siihen, että tuuliturbiinien läheisyydessä ilmenevät äänihäiriöt olisivat psykologinen ongelma.

Hänen mukaansa tällöin NOCEBO-vaikutus tulisi vahvistetuksi ja ihmisen elimiin kohdistuvat vaikutukset kumottaisiin, jotta lääketieteen ammattilaiset pidetään poissa näistä tutkimuksista ja orgaanisia oireita ei löytyisi. Reichardt kritisoi myös sitä, että äänialtistus on liian lyhyt eikä se ole oikeaa ääntä. Koeasetelmasa tehtiin 8 tuntia äänialtistusta, joissa oli 4 intervallia, niistä 30 minuuttia erilaisia infraääniä, joista yksi keinoitekoisella amplitudimoduulilla ja yksi ilman ääntä. Kokeiden kanssa tehtiin fysiologisia mittauksia, mutta ei ole lääketieteellistä seurantaä koskien esim. elin-

verisuoni- ja soluvaurioita. Luonnolliset sairaudet suljettiin pois alusta alkaen, joten niitä ei pitänyt esiintyä.

Fyysikko Dr. Wolfgang Huebnerin mukaan: Tutkimuksessa ei ollut todellista viittausta tuuliteollisuusalueiden todellisiin päästöihin. Tallennettuja todellisia immisioita ei käytetty, ja immissiopuolen rakenteesta johtuva melu, jota on aina samanaikaisesti, jätettiin kokonaan huomiotta. Vaikka haitta muodostuu juuri molempien immissiokomponenttien yhdistelmästä ja vuorovaikutuksesta. Tässä vain keinotekoisesti generoidut signaalit (pysyvät taajuudet) on arvioitu äänenpaineen vaihteluilla. Lisäksi testattavien altistaminen äänelle oli liian lyhyt, joten herkistävää vaikutusta ei voinut esiintyä tutkituilla henkilöillä:

”Niin kauan kuin tuulivoiman infraäänien vaikutuksen alla olevia ei tutkita todella neutraalissa tutkimuksessa talojen ja huoneistojen todellisessa altistumisympäristössä tapahtuvien täsmällisten ja kattavien värähtely-/akustisten immisoiden mitausten (siis rakenteen aiheuttaman melun) rinnalla, terveysvauriot tuskin paljastuvat. Tarvitaan altistus, jossa on todellisia tuulivoimäääniä, ei keinotekoisesti tuotettuja taajuuksia. Tarvitaan riippumattomat mittaukset todellisesta infra- ja rakenteellisesta melusta tuuliturbiinista kärsineiden taloissa, lääketieteellinen tuki tutkimuksiin ja tutkimukset pitkällä aikavälillä, jotta väestön pitkäaikaisen altistuksen seuraukset saadaan kirjattua.”

Sven Johannsen muistuttaa Münchenin yliopistossa tehdystä tutkimuksesta 1.10.2014: Gehörsinn – Unerhörte Wirkung eli kuulumattoman äänen vaikutuksesta kuuloaistiin⁸⁸. Münchenin yliopiston neurobiologit osoittavat, mitä pienitaajuinen ääni aiheuttaa ihmisen sisäkorvassa: mitä matalampi ääni, sitä vaikeampaa ihmisten on se kuulla. Münchenin yliopiston neurobiologit ovat nyt pystyneet osoittamaan ns. pienitaajuisesta äänestä, joka on alle 100 hertsiä, että ihminen havaitsee sen sisäkorvassa, jossa tapahtuu pienenpieniä mekaanisia reaktioita.

Korkean teknologian yhteiskunnissa pienitaajuisia ääntä esiintyy monilla alueilla. Esimerkiksi tuuliturbiinit, ilmastointilaitteet tai lämpöpumput voivat aiheuttaa näitä ääniä. Havaintokynnys on yksilöllisesti erilainen. ”Oletus, että pienet äänet eivät häiritse korvaa, koska niitä ei kuule tai on vaikea kuulla, on väärä. Korva reagoi erittäin hyvin erittäin pienitaajuisiin ääniin” (Markus Drexl Münchenin yliopisto). Yhdessä yliopiston neurobiologian osaston johtajan professori Benedikt Grothen ja Münchenin yliopiston klinikan johtavien kollegoiden kanssa Drexl mittasi laboratoriokeudessa, kuinka pienitaajuiset äänet vaikuttavat sisäkorvaan.⁸⁹

Drexlin tutkimuksessa Royal Society, Open Science-portaalissa⁹⁰ 21 tervettä 18–28 -vuotiasta miestä ja naista tutkittiin myös altistumisen jälkeen, jolloin 17 koehenkilöltä havaittiin muutoksia sisäkorvassa. Muutoksia löydettiin simpukasta eli korvan osasta, joka muistuttaa spiraalin muotoista onteloa, joka on välttämätöntä sekä kuulolle että tasapainolle.

Drexlin mukaan: ”Tutkimme hyvin outoa ilmiötä ihmiskorvassa: hiljaisia ääniä, joita terve ihmisen korva havaitsee jatkuvasti. Nämä kuulostavat erittäin heikolta jatkuvalta piipitykseltä, joka tulee korvasta kuulon sivutuotteena. Käytimme tätä merkinä siitä, kuinka sisäkorvan prosessit muuttuvat”. Drexl mittasi nämä luonnollisesti pienitaajuisen melun avulla tuotetut äänet ennen 90 sekunnin altistusta ja sen jälkeen: ”Yleensä korvan lähettämä ääni pysyy samalla taajuudella ... äänet muutuivat hyvin voimakkaasti pienitaajuiselle melulle altistumisen jälkeen. Ne alkoivat hitaasti värähdellä muutama minuutti ajan. Tämä voidaan tulkita pienitaajuisien äänien aiheuttamaksi muutokseksi sisäkorvan mekanismeissa. Tämä voi olla ensimmäinen näyttö sisäkorvan vaurioitumisesta. Emme tiedä mitä tapahtuu, jos olet alttiina tälle äänelle pitkän ajan, jos asut tuuliturbiinin lähellä ja kuulet sitä kuukausia tai vuosia.”

Tuuliturbiinit lähettävät erilaisia äänitaajuuksia, jotka vastaavat tutkimuksessa käytettyjä matalia taajuuksia. Tutkimus voisi auttaa selittämään joitain tuuliturbiinien lähellä asuvien ihmisten ilmoittamia oireita, kuten unettomuutta, kuulo-ongelmia ja korkeaa ve-

⁸⁸ https://www.uni-muenchen.de/forschung/news/2014/drexl_gehoersinn.html

⁸⁹ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24253659>

⁹⁰ <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/1/2/140166>

renpainetta. Pienitaajuista ääntä ei pidetä voimakkaana tai ärsyttävänä yksinkertaisesti siksi, että sitä ei useimmiten ihminen kuule. Mitä pienempi taajuus, sitä vähemmän kuulet, ja jos se on vielä pienempi (tekijöiden KS ja PK huomautus) infraäänialueella <16–20 Hz, et kuule mitään. Ihmiset ajattelevat, että jos et kuule sitä, se ei ole ongelma. Mutta se pääsee sisäkorvaan, vaikka se ei saavuta tietoisuuttasi.”

19. Infraäänitutkimuksen käytäntöjä etsimässä

Huhtikuussa 2019 iso joukko saksalaisia tutkijoita lähetti maan poliittiselle johdolle avoimen kirjeen infraäänestä.⁹¹ ”Saksalaislääkäreiden ja -tutkijoiden julkinen kannanotto poliittiselle johdolle koskien tuulivoimaloiden aiheuttamaa vakavaa terveyshaittaa”. Kyse oli huolesta, jonka aiheuttaa teknisesti tuotettu infraääni.

”Teknisten laitteiden, kuten esimerkiksi tuuliturbiinien lähettämä infraääni on aliarvioitu sekä niiden vakavuudessa että epidemiologisen merkityksen suhteen. Nykyiset väestön suojelemissandardit eivät vastaa uusimpia tieteellisiä löydöksiä. Korostamme nimenomaisesti, että nämä vaikutukset ylittävät merkittävällä tavalla normaalin häirinnän tason. Kyse on sairauksista: vakavat sairaudet ja niiden oireet vaihtelevat merkittävistä unihäiriöistä, joilla on elimellisiä vaikutuksia toissijaisiin sairauksiin, kuulon fysiologiseen heikkenemiseen ja muihin häiriöihin, sydänlihassolujen heikkenemiseen ja ahdistuneisuushäiriöiden lisääntymiseen. Oireet ovat moninaiset. Yksi oire vaikuttaa useisiin fyysisiin ja psykologisiin toimintoihin. Monia näistä vaikutuksista ei ole likellekään tutkittu tai ymmärretty.

Kärsivien arvioitu lukumäärä on synkkä etenkin siksi, että kaikki lääkärit eivät ole tietoisia sairauksien syy-yhteydestä tekniseen infraääneseen. Etäisyysääntöjen mukainen arvio on siis vain jäävuoren huippu. Arvio Saksassa kärsivien kokonaismäärästä on tuhansista satoihin tuhansiin.

Tästä aiheutuvat terveyskustannukset, jotka johtuvat varhaisesta työkyvyttömyydestä ja työn menetyksestä, ovat tuskin mitattavissa. Tieteelliset tutkimukset ja lausunnot päättyvät yleensä arvioon, että ”lisätutkimukset ovat tarpeen”. Hallitus ja hallituspuolueet tulkitsevat tätä lausuntoa väärin, ts. että terveysvaikutuksia ei ole. Näitä lausuntoja käytetään myös tuomioistuinten päätöksenteoksessa. Saksan tuulivoimarakentaminen jatkuu, josta seuraa väistämättä dramaattisia vaikutuksia. Ottaen huomioon jo paljastuneet infraäänien aiheuttamat sairaudet ja niiden epidemiologinen laajuus, uskomme, että ennalta varautumisen periaate edellyttää poliittisen johdon kiireellisiä toimia. Tuuliturbiinien vaarattomuus ja asetusten perusteet on määriteltävä uudelleen.”

Allekirjoittaneet 32 professoria ja tohtoria: Dr. med. Eckhard Kuck (AEFIS, Lääkärit päästösuojan puolesta ry); Bad Orb, Prof. Dr. med. Johannes Mayer, (osteopatia Wien, Augsburg); Prof. Dr. med. rer. nat. Werner Roos (farmaseuttinen biologi); Dr. med. Dagmar Schmucker (internisti); Prof. Dr. med. Werner Mathys (entinen aluejohtaja Ympäristöhygieniä ja ympäristö lääketiede, Münsterin yliopisto); Prof. Dr. med. Lothar W. Meyer (Oldenburgin seutu); Dr. med. Walter Tutsch, dr. med. Dorothea Fuckert (yleislääketieteen erikoislääkäri, Waldbrunn); Dr. med. Manfred Fuckert (yleislääketieteen erikoislääkäri, Waldbrunn); Dr. med. Bernhard Voigt (työterveyshuollon erikoislääkäri, Gaggenau); PhD Martina Ohlmer (Tohtori, Moringen); Dr. med. Kuno Veit (yleislääkäri, Dittmarschen); Dr. med. Almut Finke-Hain (Naisten- ja synnytyslääketiede); Dr. med. Herbert Klengel (radiologisen diagnostiikan erikoislääkäri); Dr. med. Ulrike Borrmann (yleislääketieteen erikoislääkäri, Esens Ostfriesland); Gisela Antony (dipl.-psyk., Marburg); Dr. med. Jürgen Strein (Yleislääketieteen/työterveyslääketieteen erikoislääkäri); Dr. med. Heinz-Jürgen Friesen (Marburg); Dr. med. Heinz Kellinghaus (sisätautien / luontaislääkinnän yksikkö, Münster); Prof. Tri Jürgen Rochlitz, Burgwald; Dr. med. Bernhard Kuny (Yleislääketieteen/luontaislääkinnän/kiroterapian erikoislääkäri, Glotttartal); Dr. med. Anita Schmidt-Jochheim (Fysiologia ja synnytyslääketiede); Dr. med. Susanne Kirchhof; Dr. med. Regina Pankrath (Yleislääketieteen erikoislääkäri, Zossen); Dr. med. med. Klaus Pankrath (lastenkirurgi); Prof. Dr. med. Thomas J. Feuerstein, (neurologian ja psykiatrian tohtori, Farmakologian ja toksikologian tohtori); Dr. med. Habil. Eberhard Franz (ihotautilääkäri-allergologi); Prof. Dr. med. Tohtori Stoll (Freiburg); Dr. med. Karsten König (kardiologi, sisätautien erikoislääkäri, Dämme).

⁹¹ <https://www.windwahn.com/2019/05/10/auswirkungen-von-technischem-infraschall-auf-die-gesundheit/>

20. Seitsemäntoista (17 Hz) Hertzin infraäänikoe 700 kuulijalle⁹²

Kirjallisuudessa paljon lainattu kuuluisa koe on Infrasonic – 17 Hz infraäänikoe 31. toukokuuta 2003, jolloin ryhmä brittiläisiä tiedemiehiä Richard Wisemanin johdolla suoritti joukkokokeen, jossa he soittivat musiikkia 700 ihmiselle. Musiikin lisäksi lähetettiin samanaikaisesti 17 Hz:n 90 dB:n sinimuotoista värähtelyä, joka tuotettiin subwooferilla, jolla oli pitkä membraani. Tämä vastaa noin 10 000 kertaa tuulivoimalan läheisyydessä vallitsevaa äänenvoimakkuutta ja on myös selvästi yli ihmisen havaintokynnyksen, joka on tällä taajuudella 77 dB.

Kova musiikki heikensi havaittavuutta, vaikka monet osallistujat pystyivät edelleen tunnistamaan infraäänin. Subwoofer sijoitettiin seitsemän metrin pituiseen muoviputkeen, jota käytetään viemäri- ja rakentamisessa. Se jakoi putken kokonaispituuden suhteessa 1:2. Kokeellinen konsertti (otsikolla Infrasonic) esitettiin Purcell Room -konserttisalissa Lontoossa. Se koostui kahdesta esityksestä, joista jokaisessa oli neljä musiikkikappaleita. Kaksi musiikkikappaleita tuotettiin alla kuvatulla 17 Hz:n taajuudella.

Jotta testitulokset olisivat musiikkikappaleista riippumattomia, toisen esityksen 17 Hz:n taajuus asetettiin juuri niiden kahden kappaleen alle, jotka olivat ensimmäisessä esityksessä siitä vapaita. Osallistujille ei kerrottu, mikä kappaleista sisälsi infraääntä. Äänen soidessa merkittävä osa vastaajista (22 %) ilmoitti ahdistuksesta, epämuikavuudesta, äärimmäisestä surusta, ärtyneisyydestä, johon liittyi pahoinvointia tai pelkoa, ”kylmiä väreitä selässä” ja painetta rinnassa. Kun nämä tulokset esitettiin British Association for the Advancement of Science -lehdelle, yksi vastuullisista tiedemiehistä sanoi: ”Nämä tulokset viittaavat siihen, että pienitaajuiset äänet voivat laukaista ihmisille epätavallisia kokemuksia, vaikka he eivät olisikaan infraäänistä tietoisia.”

Johannes Gutenbergin yliopiston sydän-, rinta- ja verisuonikirurgian klinikan johtaja, professori Christian-Friedrich Vahl, arvioi saksalaisdokumentissa keuhkokuumeella 2019, että useat miljoonat saksalaiset kärsivät vakavista unihäiriöistä, sydänsairauksista, pahoinvoinnista, keskittymiskyvyn puutteesta teknisesti tuotetun infraäänin eli erityisesti tuulivoimaloiden tuottaman infraäänisykkeen vuoksi.⁹³

21. Kriittinen katsaus myytteihin, väärinkäsityksiin ja niiden merkitykseen musiikin havainnointi- tutkimuksessa⁹⁴

Englanninkielisen alkuperäisartikkelin otsikko on: A critical review of the myths, misbeliefs and their relevance to music perception research.

Useiden viime vuosikymmenien aikana matalista taajuuksista ja infraäänistä on tullut merkityksellisiä monille tutkimusaloille - viimeksi muun muassa psykologialle ja musiikkitieteelle. Kokeellisista tutkimuksista saatujen tietojen tulkinta on herättänyt huolta siitä, että pieni taajuus ja infraääni voivat olla haitallisia ihmisten hyvinvoinnille. Infraäänin fysiologiset ja psykologiset vaikutukset on dokumentoitu hyvin, mutta erilaiset myytit, joita pseudotieteelliset kirjoittajat ja sanomalehdet julkaisevat, vaikeuttavat tosiasioiden ja fiktioiden erottamista etenkin ihmisillä, joilla on vähän tai ei lainkaan tietoa akustiikasta.

Myytit ovat levinneet ja johtuvat pääasiassa äänen yksiuolotteisesta näkymästä, kontekstin ulkopuolisista lainauksista ja monista puolueellisten tutkimusten ”sensaatiomaisista” havainnoista.

⁹² [Vahl, Christian VAHL Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz | JGU | Department of Cardiothoracic and Vascular and Endovascular Surgery \(researchgate.net\)](http://www.researchgate.net/publication/312222222_Vahl_Christian_VAHL_Johannes_Gutenberg-Universitat_Mainz_Mainz_I_JGU_I_Department_of_Cardiothoracic_and_Vascular_and_Endovascular_Surgery)

⁹³ <https://www.zdf.de/dokumentat.../planet-e/infrasound-100.html>

⁹⁴ Mühlhans, Jörg H. 2017 <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1029864917690931>

Tässä tutkimuskatsauksessa tarkoituksena on arvioida tietojen relevanssia musiikkipsykologisesta ja psyykoakustisesta näkökulmasta, antaa johdonmukainen yleiskatsaus tutkimuksen historiaan, tutkia löydösten siirrettävyyttä muille aloille ja jäljittää myyttien alkupe-
rä niiden paljastamiseksi. Lisäksi annetaan yleistä tietoa pienitaajuisen äänen ominaisuuksista, sen tuottamisesta, mittaamisesta ja kokeellisen tutkimuksen vaikeuksista, jotta tulevissa tutkimuksissa vältetään virheet. Mm. WHO tunnustaa myös tuuliturbiinien haitat ihmisille⁹⁵ infraäänien ja pienitaajuisen äänen aiheuttaman melunsaasteen vuoksi.⁹⁶

22. Onko infraäänitutkimus vain mittausprotokolla?⁹⁷

Saksalainen infraäänitutkimukseen perehtynyt PhD Stephan Kaula on esittänyt kovaa kritiikkiä infraäänitutkimusta kohtaan ns. Saksan LUBW-tutkimuksesta.

”Baden-Württembergin osavaltion ympäristöinstituutin raportti” on tyypillinen läpivaltiolistunutta tutkimusta edustava raportti (myös KS ja PK huomio). Pienitaajuinen melu mukaan lukien tuulivoimaloiden ja muiden lähteiden infraääni... ”on Kaulan mukaan oikeastaan vain mittausprotokolla. Sen tulkinnat eivät ole tutkimusta eikä siitä saa tieteellistä käsitystä. Raporteissa ei ole nimetty vastuullista kirjoittajaa eikä ”toimittajaa”, heidän koulutuksensa ja asiantuntijaryhmänsä puuttuvat. Siitä huolimatta Saksan viranomaiset ja poliitikot ovat lainanneet tätä raporttia ”LUBW-tutkimukseksi”, ja sitä käytetään myös tuomioistuimissa

”todisteena” tuulivoimalan aiheuttaman infraäänisäteilyn vaarattomuudesta. Joten koko maa ja monen miljardin dollarin tuulivoiman suunnittelu luottivat harhaanjohtavaan tutkimukseen.”

Kaulan mukaan Noise & Health -lehdessä tuodaan uutta tutkimusta esille samaan aikaan. Tämän mukaan ei jää epäselväksi, vaikuttaako tuulivoimaloiden infraääni ihmisen terveyteen negatiivisesti.⁹⁸ ”Tämä tutkimus osoittaa voimakkaan negatiivisen vaikutuksen altistumisesta korkealle infraäänelle sydämen kudosten supistuvuudelle in vitro. Tämä havainto on ainutlaatuinen, koska se on ensimmäinen näyttö, joka osoittaa infraäänien välittömän vaikutuksen ihmisten sydämen toimintaan. Mitattu vaikutus supistumisvoiman laskusta lähes 9% jokaisella 10 dBz:llä yli 100 dBz:n on merkityksellinen, etenkin kun otetaan huomioon, että tämä vaikutus havaittiin vain tunnin altistuksen jälkeen.

Tämän havainnon merkityksen tulkitseminen joka päivä ympäristössä vaatii joitain selvennyksiä infraäänien fyysisen luonteen osalta ja sen vaikutuksista kehoon, joka suojaa ihmisen sydäntä. Infraääni on äänispektrin laajennus, kun taajuus laskee alle 20 Hz. Seurauksena on, että sillä on paljon yhteistä kuultavan spektrin kanssa, mutta ainutlaatuisilla ominaisuuksilla. Erittäin pitkä aallonpituus (akustinen nopeus 343 m/s 20°:n kuivassa ilmanalassa merenpinnan tasolla, aallonpituus on yli 17,5 m) kuultaviin ääniin verrattuna, mahdollistaa infraäänien heijastuksen; taittumisen ja diffraktion, joka kulkee erilaisten esteiden, kuten rakennusten ja maastojen, läpi ja niiden ympärillä. Pitkä aallonpituus sallii myös infraäänien ylläpitää energiaa, pysyen suhteellisen vakaana pitkien matkojen jälkeen. Samasta syystä melusteet ovat yleensä tehottomia sitä vastaan. Se on myös sama syy siihen, miksi infraääni-

⁹⁵ <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>

⁹⁶ <https://stopthesethings.com/2018/10/13/wind-industry-panics-as-class-actions-loom-who-finds-wind-turbine-noise-harmful-to-health/>

⁹⁷ Chaban, Rayan & Ahmed Ghazy & Eleni Georgiade & Nicole Stumpf & Christian-Friedrich Vahl 2017 Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. [NAH_28_19R5_Chaban_Vahl.pdf](#) (unimedizin-mainz.de) Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, University Hospital of Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany, 2 Faculty of Medicine, University of Mainz, Mainz, Germany.

⁹⁸ Chaban, Rayan & Ahmed Ghazy & Eleni Georgiade & Nicole Stumpf & Christian-Friedrich Vahl Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, University Hospital of Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany, Faculty of Medicine, University of Mainz, Mainz, Germany Published 30.11.2020. https://www.unimedizin-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/39593/0/2f769255d1120a41e6129364dc-2f9aeba95f6cf2/NAH_28_19R5_Chaban_Vahl.pdf

lähteiden paikantaminen ei ole yleensä yksinkertaista, vaikka monet yksilöt, jotka kuvaavat rummun tunnetta koko kehossaan, havaitsivat sen helposti.

Infraääni tuottaa korkean energian aaltoja suljetuissa tiloissa, jos tilan mitat ovat kerrannaisia. Tällainen resonanssi, joka tunnetaan myös nimellä Helmholtz-resonanssi, johtaa joskus infraäänien lisääntymiseen asuintiloissa, joissa on avoimia ikkunoita, tai ilmanvaihtokanavien kautta ja vaikuttaa ihmisiin saavuttaen jopa 25dBz korkeamman tason kuin mitattu ulkotaso. Se selittää myös osittain, miksi jotkut ihmiset voivat valittaa infraäänestä edes olematta lähteiden välittömässä läheisyydessä, vaikka muut ihmiset eivät havaitse vaikutuksia ollenkaan. Selittänee myös miksi ihmisten valitukset (infraäänestä) koskevat usein sisätiloissa tapahtuvia häiriöitä, mutta ei ulkona. Esimerkiksi jotkut ulkomitaukset voivat saavuttaa 80 dB:n tason, kun samaan aikaan viereisessä sisätilassa esim. olohuoneessa voi olla 100 dB taso. Ihmiskeho itsessään ei suojaa infraääntä vastaan. Sitä vastoin se voi korostaa sitä resonanssilla, koska on osoitettu, että ihmisen ylävartalo pyrkii resonoimaan välillä 5–250 Hz.

Selventämistä vaativa alue liittyy niihin mittaussuunnitelmiin, joita tällä hetkellä käytetään äänien ja infraäänien suhteen. Vaikka useimmissa laeissa ja määräyksissä määritetään suurin sallittu melutaso A-painotusjärjestelmää käyttämällä, on tärkeää määritellä tämän järjestelmän luonne. A-painotettu akustinen mittaussuunnitelma on erityisesti suunniteltu vähentämään akustisen spektrin kuulumatonta osaa. Seurauksena voi olla altistuminen korkean tason 100 dB:n infraäänisignaaleille, jonka taajuus on 16 Hz, mutta melutaso mittaa vain 45 dB(A). Se katsotaan hyväksyttäväksi nykyisten melumääräysten mukaan (KS ja PK huomio: vaikka melutaso on todellisuudessa jopa 100 dB.).

Infraääntä koskevia epidemiologisia tutkimuksia on yleensä vaikea suorittaa ja ne ovat usein tehottomia. Infraäänelle altistuvat ihmiset eivät ehkä huomaa sitä infraäänenä, koska se ei yleensä ole kuultavissa tai ha-

vaittavissa. Tämä voi johtaa siihen, että ihmiset eivät osallistu tällaisiin tutkimuksiin. Kyky havaita tai kuulla infraääntä on erittäin subjektiivinen... Toisin kuin epidemiologisissa tutkimuksissa, infraääntä varten on tehty laajasti laboratoriotutkimusta, etenkin 1970- ja 1980-luvuilla Neuvostoliitossa on saatu monia mielenkiintoisia tuloksia.”

Tutkimusartikkeli⁹⁹ Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound on kirvoittanut paljon keskustelua. Suomessa esim. Jouni Aro on esittänyt 27.6.2020:

”Useat kirjoittajat ovat huomauttaneet, että itse rytmihahmo (teknisesti amplitudimodulaatio) on merkityksellisempi ihmisen havainnoinnissa kuin pienitajuinen ääni tai infraääni. Äänen arviointi voi kuitenkin riippua moduloinnin taajuuden ja voimakkuuden sekä matala- ja korkeataajuisten komponenttien tasapainon yhdistelmästä.”

23. Tuulivoima ja ilmavalvonta¹⁰⁰

Eräs mielenkiintoinen tutkimushavainto on Suomen puolustusvoimien aktiivinen toiminta tuulivoimaloiden alueella. Yleensä annetaan kuva, että puolustusvoimat suhtautuisivat kielteisesti tuulivoimaan. Tämä pitää paikkansa vain osittain oheisen taulukon perusteella. Taulukko kuvastaa hyvin tuulivoimailmiön valtavaa kasvua viime vuosina, sillä puolustusvoimat ovat antaneet viime vuosikymmenellä yli 8 000 lausuntoa, joista vain n. 10 % on ollut kielteisiä.

Kapteeni Jussi Karhila kertoo Siivet-lehdessä no 5/2019: *”...parhailtaan voi olla menossa jonkinlainen murros, kun uuteen hallitusohjelmaan on kirjattu tuulivoiman voimakas lisääminen Suomessa. Sekä*

⁹⁹ Kamp van Irene & Frits van Berg Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. 2018. Acoustics Australia volume 46, pages 31–5. 2018. [Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound](#) | SpringerLink

¹⁰⁰ https://siivet.fi/sotilasimailu/tuulivoima-ilmavalvonnan-ongelmana/?fbclid=IwAR0Rceq4_bt_kFYKh6ockZJrjSfsT1_VmzgaUaZaOd-LIaSNVIIDW61pDe4

ympäristö- että energiaministeri painostavat sen pohjalta ministeriöitään suunnittelemaan lisää tuulivoima-alueita Suomeen.

- Kun olen mukana näissä neuvotteluissa, niin minulla on pyyntöjä lähes kaikkiin maakuntiin neuvottelemaan, että sinne täytyy saada merkittäviä lisää tuulivoima-alueita. Kun katsoo tavoitelistaa, niin me olemme jo menossa pian ohi EU:n tavoitteista.”

Karhilan mielestä käytännössä ei pitäisi olla mitään syytä joutua ikään kuin törmäyskurssille, kun katsotaan numeroita, paljonko on rakennettu voimaloita ja paljonko puolustusvoimat sallii niitä rakennettavan. Ristiriita vallitsee siitä, että tuulivoiman rakentajat haluavat rakentaa tuulivoimaa joka puolelle Suomea. Fingridin mukaan 500 kilometrin 400 kilovoltin siirtolinjassa on häviö ainoastaan 0,1 prosenttia. Se osoittaa, että tuuli-

	Hyväksytty kpl	Kielletty kpl	Yhteensä kpl	Hyväksymis- -%	Kielto-%
2011	1315	152	1467	90	10
2012	1260	122	1382	91	9
2013	1686	233	1919	88	12
2014	1648	67	1715	96	4
2015	1014	117	1131	90	10
2016	318	134	452	70	30
2017	162	69	231	70	30
2018	191	15	206	92,7	7,3
2019	617	88	705	87,5	12,5
Yhteensä	8211	997	9208	89,2	10,8

- Pääesikunnassa hyväksytyjä tuulivoimahankkeita on 539 kpl, joissa on 8211 voimalaa
- kielteisiä hankkeita on 88 kpl, joissa on 997 voimalaa
- lausuntoja on annettu 627 hankkeesta, joissa on kaikkiaan 9208 voimalaa.

VTT:lle haittalaskentaan esitettyjä hankkeita (lausuntoja) on tehty kaikkiaan 171 kpl, joissa on 3232 voimalaa. Osa on siirtynyt hyväksytyihin ja osa kielteisiin hankkeisiin. Keskenäisiä laskettavia haittavaikutus selvityksiä on 47 kpl, joista tällä hetkellä VTT:llä vain 2 kpl on laskennassa.

Vuoden 2019 aikana on annettu 53 lausuntoa mukaan lukien korotukset, paikan muutokset ja lukumäärän muutokset. Keskenäisiä lausuntoja on 10 kpl. Valtaosa uusista voimalahankkeista ja muutoksista on 300 m korkeita ja teholtaan 5-8 MW.

Vuoden 2018 lopussa oli yhteensä 698 tuulivoimalaa tuotannossa, joiden kokonaiskapasiteetti oli 2041 MW. Tuulivoimalatuotanto oli vuoden 2018 lopussa 5,8 TWh, joka on noin 7 % sähkön kokonaistuotannosta (Tuulivoimayhdistys ry).

voimaa voidaan tuottaa ihan missä päin Suomea ja siirtää se sinne, missä on eniten tarvetta.

Suurimpana ongelmana puolustusvoimien kannalta on, että tuulivoimayrityksillä tuntuu olevan tavoitteena rakentaa paljon meritulivoimaa. Merellä tuuli on tasaisempaa, eikä siellä tarvitse rakentaa niin korkeita voimaloita. Suomenlahdelle ollaan parhaillaan hakemassa lupia kahdelle suurelle tuuliteollisuusalueelle, jotka ovat maanpuolustuksen näkökulmasta erittäin ongelmallisia.

Läntiselle alueellemme on jo nyt niin paljon myönteisiä rakennuslausuntoja, että ne häiritsisivät jo toinen toistaan, jos kaikki rakennettaisiin.

- Kun siellä on paljon rakentamattomia tuulivoimaloita, niin miten sinne voidaan enää suunnitella lisä-sijoittamisia? Tuulivoimayhtiöt tietävät sen itsekin. Olen pyytänyt Tuulivoimayhdistystä viestimään kaikille, että yhtiöt ilmoittaisivat, jos heillä on hankkeita, joita ne eivät aja eteenpäin, jotta me voimme pyyhkäistä ne pois kartalta, mikä vapauttaisi tilaa. Olen ollut myös yhteydessä kuntien rakennustarkastajiin ja pyytänyt heiltä tietoa, mitkä hankkeet ovat saaneet kunnasta rakennusluvan. Vastaus on ollut, ettei asia kuulu heille, eivätkä he ehdi asioihin vastaamaan.

Suomesta **puuttuu** tällä hetkellä keskeinen yhteinen tuulivoimaa kartoittava kontrollitaho, mikä aiheuttaa turhaa työtä ja suunnittelua ministeriöitä myöten. Karhila arvioi, että taho voisi olla vaikka energiavirasto, josta puolustusvoimatkin saisi sitten tietoa takaisin rakennusluvan saaneista hankkeista. Karhila näkee, että toiminnan pitäisi olla viranomaisyhteistyötä.

Rakennuslupalausunnot Logistiikkarykmenttien ja Pääesikunnan lausuntoprosessi ovat puolustusvoimien sisällä hyvin järjestyksessä, ja yhteistyö toimii hyvin myös puolustushaarojen kanssa. Meillä on paikkatietämys ajan tasalla, mitä toimintoja puolustusvoimilla on missäkin eri puolilla valtakuntaa.

IV LUKU

KATSAUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Katsauksen tarkoituksena oli selvittää, mitä haittoja on tutkimuksista löydettävissä tuulivoiman aiheuttamasta infraäänestä terveydelle.

Kirjallisuushaut niin kansainvälisesti kuin kansallisesti osoittavat, että Suomessa tutkimus on erittäin hajanaista. Niin merkittävää alaa, joka tuottaa n. 12 % Suomen sähköenergiasta, on tutkittu vähän ja epäsystemaattisesti. Samaan aikaan infraäänen vaikutus yhteiskunnan toiminnan aiheuttamana kasvaa koko ajan, kuten muukin melu- tai ilmastosaaste. Myöskään tuuliturbiinien aiheuttaman maanvärähtelyn vaikutuksia ei ole tutkittu juuri ollenkaan.

Ilmiön laajuutta ei ole selvitetty eli ei ole tiedossa tutkimuksia, joissa olisi kokonaisuudessaan selvitetty globaalisti, EU:ssa tai Suomessa kuinka paljon ihmiset ja eläimet joutuvat ottamaan vastaan jokapäiväisessä toiminnassaan infraääntä. Tilanne vaikuttaa samanlaiselta, kuin noin 25–30 vuotta sitten ajateltiin sähkömagneettisesta säteilystä. Koko ilmiö pyrittiin aluksi kieltämään, mutta kun tutkimusta alalla systematisoitiin, on vaarallisesta sähkömagneettisesta säteilystä EU-normit.

Infraääntä on laboratorio-olosuhteissa ja erilaisilla koeasetelmilla tutkittu paljon. Tämän katsauksen keskeisin johtopäätös on, että infraääni on vaarallista pitkäaikaisesti tai jopa hetkellisesti vaikuttaessaan.

Suomessa on tullut vastaan maan virallisen poliittisen eliitin ajama strateginen tutkimus vuodesta 2013 lähtien, jota suunnataan poliittisesti maan kulloisenkin hallituksen ajaman hallitusohjelman toteuttamiseksi esimerkiksi ilmastopolitiikassa ja jopa tuulivoiman infraäänitutkimuksessa. Katsauksessa tuodaan esiin esimerkiksi avulla, kuinka Suomessa infraäänitutkimus voi olla läpivaltiollistunutta. Suomen ilmastopoliittisen toiminnan aktivoituminen aktivoi myös valtion strategisen tutkimustoiminnan vuodesta 2013 lähtien.

Systemaattisen tutkimustiedon kartuttamisen puuttuminen vaikuttaa Suomessa myös siihen, että mitään tutkimusstandardeja ei ole käytössä tuulivoiman infraäänen tutkimuksessa, jossa käytetään perustutkimuksessa omaksuttuja yleisiä sovellettuja menetelmiä. Standarditomuus johtaa usein siihen, että vertailevan tutkimuksen mahdollisuuksia ei ole, vaikka se olisi aivan välttämätöntä globaalien ilmiön tutkimuksessa.

Suomessa ei ole vakiintunutta tutkimusta vaan suhteellisen pieniä tutkimushankkeita, joissa pystytään tuottamaan rajallisesti tietoa. Ilmiö kattaa olemassa olevan tuuliteollisuusalueinfran lisäksi tällä hetkellä noin 300 tuuliteollisuusalue suunnitelmaa Suomeen, joissa on yhteensä useampi tuhat tuuliturbiinia. Pelkästään vuoden 2020 alussa oli maassamme 218 tuuliteollisuusohjelmaa ja 249 hanketta 15.2.2021. Suunnitelmissa on tu-

hannen megawatin bruttotehon edestä lisää vuosittain uustuotantoa tuulivoimassa Suomessa seuraavan 10–15 vuoden aikana. Vertailun vuoksi todettakoon, että Olkiluoto III:n uusimman ydinvoimalan kapasiteetti on 1 600 megawattia.

Tutkimuksia löytyy infraäänestä suhteellisen paljon. Katsauksen aineistokäsittelyssä tutkimuksia on aihepiirien sisällönanalyysissä luokiteltu seuraavasti: 1) infraäänien perustutkimus, 2) koe-eläimillä tehdyt infraäänien perustutkimukset, 3) Infraäänestä tehdyt ihmisiin kohdistavat tutkimukset, 4) tuulivoiman tuottaman infraäänien vaikutus ihmiseen ja 5) niin sanotut soveltavat käytännölliset tutkimuskartoitukset, joissa on paljon hyljaisia signaaleja ja joista voi kehittyä tutkimusideoita. Ne voivat myöhemmin valtavirtaistua perustutkimukseksi.

Keskeisimpiä tutkimustuloksia tässä katsauksessa on, että tuulivoiman infraäänitutkimuksen tulisi olla jatkossa huomattavasti pitkäkestoisempaa. Olisi saattava pysyviä mittalaitteistoja mittaamaan kattavasti tuulivoimaloiden melua ja infraääntä. Pienitaajuiset äänet 20–250 Hz tuottavat tuuliturbiineista merkittävimmän melusaasteen. Siksi olisi välttämätöntä tutkia pienitaajuisien äänten ja alle 20 Hz infraäänien yhteisvaikutuksia. Olisikin pystyttävä entistä enemmän tuottamaan tutkimusta monimuuttujamenetelmillä, jolloin saataisiin aikaan usean muuttujan yhteisvaikutuksen analysointia, jota ei ole infraäänien tutkimuskentässä tehty juuri ollenkaan. Infraäänien ja maanvärähtelyn yhteisvaikutuksen tutkimusta pitäisi saada aikaan. Sekä perustutkimuksessa että soveltavassa tutkimuksessa koehenkilömäärät tai muut havaintoyksikkömäärät ovat suhteellisen pieniä tehdyissä infraäänitutkimuksissa, jolloin tilastotieteellinen ote voi olla tutkimuksissa ohutta.

Katsausta tehtäessä on tullut esille voimakkaasti tarve luoda kokonaisvaltaisempi tutkimusohjelma, jossa tuulivoiman vaikutuksia tulisi tutkia monitieteisesti eri näkökulmista, koska tuulivoimalla ja myös infraäänellä on merkittävät fysiologiset, psyykkiset, sosiaaliset ja toiminnalliset vaikutukset ihmisten niissä elinpiireissä, joihin infraääni ulottuu. Suomessa väestötiheys pinta-alan suhteutettuna ei ole niin suurta kuin keskimällä Eurooppaa, mutta Suomessa infraäänivaikutus on kuitenkin suurta, koska yli 90 % uusista tuuliteollisuusalueista suunnitellaan sisämaahan, isojen järvien

alueille, korkeille vaaroille ja mäkiseen maastoon, joissa haitat voivat olla paljon suuremmat kuin merelle ja merenrannoille rakennettavilla tuuliteollisuusalueilla.

Suomen erityisongelmana on myös se, että tänne sijoitetaan yhä suurempia ja tehokkaampia tuuliturbiineita, joita ei ole vielä pystytetty mihinkään muualle. Suomi on siis eräänlainen koelaboratorio kaikista suurimmille tuulivoimaloille ilman kattavaa tutkimusta.

Tuulivoiman infraäänien vaikuttavuustutkimuksessa pitäisi pitää mielessä, että tiukkoja raja-aitoja perus- ja soveltavan tieteiden välillä tulisi madaltaa. Molempia tarvitaan, koska perustutkimuksen havainnot ilmiön laajuudesta ja vaikuttavuudesta tulisi tehdä kuten megatrenditutkimuksessa tehdään.

Megatrenditutkimus tarkoittaa tässä yhteydessä, että tulisi tutkia sellaisia vaikutusmekanismeja, joilla on vähintään ylisukupolvinen vaikutus 20–30 vuotta. Tulisi siis aikaansaada jatkuvaa mittausta tuulivoiman vaikutuksista, koska usein ihmiset asuvat samassa paikassa kuten tuuliturbiininen vaikutusalueilla, jotka ovat pienentalovaltaisia, kymmeniä vuosia. Tällainen maksaa, mutta sen maksajina jopa lakisääteisesti voisivat olla tuuliteollisuuden toimijat, joilla olisi velvollisuus seurata ja raportoida koko ajan omistamiensa tuuliturbiinien vaikutuksia. Tämä edellyttäisi puolueetonta valvontaa. Lisäksi tulisi tehdä puolueetonta seurantatutkimusta infraäänien ja muiden tuulivoimahaittojen jatkuvaa tutkimusta jo olemassa olevissa tutkimuslaitoksissa.

Pitkäaikaisista tuulivoiman vaikutuksista voidaan saada tietoa ottamalla käyttöön tautirekistereitä, kuten Suomessa esim. syöpärekisterit. Myös muista taudeista on saatavilla paikkatietoa (GIS Geographical Information Systems). Niiden tautitapausten sijoittaminen tuuliteollisuusalueiden ja tuuliturbiinien vaikutuspiiriin antaa vastauksia tautien esiintyvyydestä tuulivoimateollisuuden vaikutuspiirissä. Tautien esiintyvyyttä voidaan verrata vastaavaan väestöön, joka ei ole tuulivoimateknologian vaikutuspiirissä. Tässä tulee muistaa, että rekistereihin perustuva paikkatietotutkimus ei yksiselitteisesti vastaa siihen, kuinka tuulivoiman infraääni vaikuttaa eri tautien esiintyvyyteen, mutta tällaista tutkimusta on pidettävä tuulivoimateollisuusilmiön laajuustutkimuksena, josta voidaan tehdä esim. tilastoteemakarttoja tietoa tarvitseville esim. päättäjille ja

muille asiantuntijoille, jotka joutuvat tekemisiin tuulivoimailmiön kanssa.

Monissa tutkimuksissa voi apuna olla myös kansallinen lakisääteinen kiinteistö- ja huoneistorekisteri, jonka sijaintitietoina saadaan erilaisia kiinteistöjä ja huoneistoja sijoitettua tuuliturbiinien vaikutusalueille. Kiinteistö- ja huoneistorekisteristä voidaan poimia sijaintitiedon lisäksi myös kiinteistöjen ja huoneistojen ominaisuustietoja esim. rakennusmateriaaleista. Tällöin voidaan saada ns. tutkimustapauksia ($N=X$, $n=x$) merkittävästi lisää eikä tehdä oletuksia vain kahden talon perusteella kuten VTT, THL ja Helsingin yliopisto ovat tehneet tässä katsauksessa kritisoidussa tutkimuksessa. Jyväskylän yliopistossa on vuonna 2020 tutkittu kerrostaloihin asennettujen muuntajien sähkömagneettista säteilyä ja eri syöpien esiintyvyyttä käyttämällä kiinteistö- ja huoneistorekisterin sijainti- ja ominaisuustietoja, jolloin tapausten määrä saatiin nousemaan yli 200 000.

Lisäksi kaivataan soveltavaa tutkimusta, joka voisi toimia kuin trenditutkimus. Sillä tarkoitetaan esimerkiksi maan hallituskausia parlamentissa, jolloin voitaisiin tutkia lyhytkestoisemmin 4–5 vuoden aikana hallitusohjelmien vaikuttavuutta tuulivoimapolitiikassa.

Megatrendi- ja trenditutkimuksen lisäksi tarvitaan esimerkiksi ihmisten kokemismaailman keräämistä subjektiivisina kokemuksina, jolloin voidaan puhua hiljaisista signaaleista, joita infraäänitutkimuksessakin tarvitaan. Tällaista kokemusasiantuntijuutta tarvitaan ylipäätään lisää kaikessa tutkimuksessa, jota käytetään jo erityisen paljon yhteiskunta- ja käyttäytymistieteellisessä tutkimuksessa.

Näin megatrendi-, trendi- ja hiljaisten signaalien tutkimukset kokonaisuudessaan muodostaisivat tietoteoreettisen liukuman. Tällaisessa ajattelussa pidetään ideaalina, että raja-aidat megatrendi- ja trenditutkimuksen sekä hiljaisten signaalien välillä häviävät. Hiljaisia signaaleja tarvitaan myös tieteen sisäiseen uudistamiseen, jolloin vastavirtaistuneet hiljaiset signaalit tieteen kehityksessä valtavirtaistuvat.

Kun tietoa kertyy tuulivoimasta ylipäätään, olisi tiedolle ja muille tuulivoima-aineistoille ja tutkimustuloksille saatava tietopankki, johon voidaan sijoittaa pysyvästi tutkimustietoa tietopankiksi esim. olemassa olevan tutkimuslaitoksen yhteyteen. Näin alan tutkijat ja muut tietoa tarvitsevat saisivat kootusti tietoa tuulivoimasta, eikä sitä tarvitsisi kerätä jokaisella tutkimuskerralla uudestaan. Tämä myös edellyttää jo laajemman ja pysyvämmän monitieteisen tuulivoimatutkimusohjelman perustamista Suomeen, jotta saadut tutkimushavainnot eivät olisi niin hajallaan kuin ne nykyään ovat.

Tulevan SOTE-uudistuksen eräs keskeisimmistä teemoista on sairauksien ennaltaehkäisy. Terveiden edistämiseksi suurimmat kansanterveydelliset ja kansantaloudelliset vaikutukset saadaan aikaan juuri ennaltaehkäisevällä toiminnalla, jotta kallista sairastumista tapahtuisi vain vähän. Näin tulee menetellä myös infraäänien kanssa. Asiasta on saatava käyntiin pian olemassa olevissa tutkimuslaitoksissa monitieteinen ja laaja tutkimusohjelma, jonka rahoitukseen on tuulivoimaa tuottavan teollisuudenkin osallistuttava.

Suomen kielen aakkosten mukainen aakkosellinen lähdeluettelo

Lähdeluettelo on tehty suomenkielisten aakkosten mukaan. Lähdeluettelon lähteet vastaavat leipätekstissä sivujen alalaidoissa olevia kirjallisuusviitteitä. Viitteissä käytetään alaindeksien numeroviitteitä ja ne sisältävät paljon linkkejä elektronisiin julkaistuihin vertaisarvioituihin artikkeleihin ja muihin tieteellisiin tutkimusjulkaisuihin. Tämä uudehko kansainvälinen tapa on valittu toteutusmuodoksi tässä lukijaystävällisyyden vuoksi, jolloin lukija saa linkkiä klikkaamalla alkupe-
räisen tai vastaavan elektronisen julkaisun esille, josta hän halutessaan voi tarkistaa faktat eikä tarvitse etsiä lähteitä kirjastotietojärjestelmistä ja tietokannoista. Internetlinkkien yksi ongelma on, että linkit elävät joskus esim. päivitysten vuoksi, jolloin niistä ei pääse artikkeleihin, ja silloin pitää turvautua painettuihin lähteisiin. Lähteitä on 91, joista vain 14 lähteessä ei ole elektronisen lähteen linkkiä.

Alves-Pereira Mariana & Castelo Branco Nuno A. A. https://bi-niederasphe.de/wp-content/uploads/2019/12/DRS_Vibroakustische-Erkrankung-6-gentoxische-Schäden-im-Blutplasma.pdf

BirdLife Suomi | Tuulivoima ja linnut

Castelo Branco Nuno A.A. 2003 Low Frequency Noise: A Major Risk Factor in Military Operations. Center for Human Performance Estrada Nacional No. 10, Edificio Cinema, Sala 1092615 Alverca, Portugal <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADP014113.pdf>

Chaban, Rayan & Ahmed Ghazy & Eleni Georgiade & Nicole Stumpf & Christian-Friedrich Vahl. 2020. Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, University Hospital of Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany, Faculty of Medicine, University of Mainz, Mainz, Germany Published 30.11.2020. https://www.unimedizin-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/39593/0/2f769255d1120a41e6129364dc-2f9aeba95f6cf2/NAH_28_19R5_Chaban_Vahl.pdf ja Lääkäri infraäänitutkimuksesta: se on vain mittausprotokolla | Uusi Suomi Puheenvuoro

Chaban, Rayan & Ahmed Ghazy & Eleni Georgiade, & Nicole Stumpf & Christian-Friedrich Vahl.2020. Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, University Hospital of Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany, 2-Faculty of Medicine, University of Mainz, Mainz, Germany.“Vahl-Studie”: Alarmierendes Ergebnis zur Schädigung der Herzfunktion unter Infraschallbelastung – windwahn.com

https://www.unimedizin-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/40563/0/2f769255d1120a41e6129364dc2f9aeba95f6cf2/NAH_28_19R5_Chaban_Vahl.pdf

Foucault Michel 2001 Tarkkailla ja rangaista. Otava.

Gortsasa, Theodore V. & Theodoros Triantafyllidis & Stylianos Chrisopoulou & Demosthenes Polyzosb, 2017 Numerical modelling of micro-seismic and infrasound noise radiated by a wind turbine - ScienceDirect Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 99, Pages 108–123

https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2020_netti.pdf

http://fi.opasnet.org/fi/Valtion_strateginen_tutkimusrahoitus

<http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/1/2/140166>

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24253659>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026772611730297X>

<https://atmoslehti.fi/teema/ilmastolampenee-halyttavalla-vauhdilla/>

<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.05.001>

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/300613/Tutkimuksia_5_Kati_Rantala_ym_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y

<https://jarkkotontti.net/esseet-ja-arvostelut/tieto-valta-ja-kontrollipolitiikka-michel-foucaultn-ajatusten-tarkastelua-rikos-tutkimus-1998/>

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0270467611412555>

<https://lakartidningen.se/Opinion/Debatt/2013/08/Infrajud-fran-vindkraftverk--en-halorisk>

<https://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>
<https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/sunnittelussa-olevat-hankkeet> 1.11.2020

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/ErdbebenGefaehrdungsanalysen/Seismologie/Downloads/Infraschall_WKA_Poster.pdf;jsessionid=AD3121C7B

https://www.booky.fi/tuote/ari_salminen/rehellisyys_maan_perit_tutkimus_hyvasta_hallinnosta/9789513774417#product_id=9789513774417

https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/he_366+2014.pdf

https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf <https://icd.who.int/browse10/2016/en#/T75.2> <https://icd.who.int/browse10/2016/en#/W43>

https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf <https://icd.who.int/browse10/2016/en#/W43> International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10)-WHO Version for ;2016

<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>

<https://www.ipcc.ch/sr15/>

<https://www.kaleva.fi/himasen-tutkimus-nyt-selvisi-mita-700-000-eurolla/1737702>

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa 22.10.2020

<https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilineutraali/>

<https://www.sitra.fi/uutiset/tulevaisuus-hiilineutraalissa-bisneksessa/>

- <https://www.spektrum.de/news/fledermaus-implosion-durch-windraeder/965732>
- <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/laermwirkungen-von-infraschallimmissionen>
- https://www.unimedizin-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/39593/0/2f769255d1120a41e6129364dc2f9aeba95f6cf2/NAH_28_19R5_Chaban_Vahl.pdf
- https://www.uni-muenchen.de/forschung/news/2014/drexl_gehoersinn.html
- <https://www.windwahn.com/2017/05/22/kit-studie-bodenschwingungen-infra-und-tieffrequenter-schall-belasten-anwohner-von-wea-durch-hohe-laermpegel-im-haus/>
- <https://www.windwahn.com/2018/01/26/finnland-untersuchungen-zu-veraenderungen-im-gehirn-laermempfindlicher-personen-mit-meg-eeg-und-mrt/c>
- <https://www.windwahn.com/2019/05/10/auswirkungen-von-technischem-infraschall-auf-die-gesundheit/>
- <https://www3.uef.fi/documents/300201/0/Logiikka+ja+argumentaatio+2011.pdf/ce5a5b8a-3e73-4e4e-99a0-965bcb5f78>
- <https://ym.fi/fi/hiilineutraalisuomi2035>
- <https://ym.fi/kioton-poytakirja>
- Hytönen Emma-Karoliina 2012 Matalien taajuuksien fysiologiset ja psykologiset vaikutukset ihmiseen. Jyväskylän yliopisto, Humanistinen tiedekunta. Musiikin laitos. Musiikkitiede.
- ISO 7196, Baijerin ympäristövirasto 2013
- ISO 7196, März 1995: Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements
- <https://www.iso.org/standard/13813.html> <https://docplayer.fi/6033974-Tuulivoimalaitokset-onko-infraaani-haitaksi-terveydelle.html>
- [Jokamiehenoikeudet - Luontoon.fi](http://Jokamiehenoikeudet-Luontoon.fi)
- Kati Rantala, Noora Alasuutari, Inka Järvikangas ja Karoliina Saarenpää 2019 Ihmisvaikutusten arviointi hallituksen esityksissä: luokittelusta laatuun ja sen puutteisiin. Helsingin yliopisto.
- Kati Rantala, Noora Alasuutari, Inka Järvikangas ja Karoliina Saarenpää 2019 Ihmisvaikutusten arviointi hallituksen esityksissä: luokittelusta laatuun ja sen puutteisiin. Helsingin yliopisto.
- KIT-Studie: [Bodenschwingungen, Infra- und tieffrequenter Schall belasten Anwohner von WEA durch hohe Lärmpegel im Haus – windwahn.com](http://Bodenschwingungen,Infra-und-tieffrequenterSchallbelastenAnwohnervonWEAdurchhoheLärmpegelimHaus-windwahn.com)
- Kliuchko Marina 2017 Noise sensitivity in the function and structure of the brain (helsinki.fi) Cognitive Brain Research Unit Department of Psychology and Logopedics Faculty of Medicine University of Helsinki, the Faculty of Medicine at the University of Helsinki.
- Korhola, Eija-Riitta 2014 The Rise and Fall of the Kyoto Protocol – Climate Change as a Political Process <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136507/therisea.pdf?sequence=1>
- Korjonen-Kuusipuro & Janhunen, Tyynä ja myrskyä: Tunteet osana tuulivoiman sosiaalista hyväksyttävyyttä. Alue ja ympäristö, 44:2 (2015) ss. 15–29
- Krahé, Detlef, Alexander Alaimo Di Loro, Uwe Müller, Eva-Maria Elmenhorst, Riccardo De Gioannis, Stefan Schmitt, Christin Belke, Sarah Benz, Stephan Großarth, Dirk Schreckenberger, Christian Eulitz, Bianca Wiercinski, Ulrich Möhler Möhler. 2020. Bergische Universität Wuppertal Wuppertalin yliopisto, Saksan ilmailututkimuskeskus Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), München Im Auftrag des Umweltbundesamtes München Liittovaltion ympäristökeskus. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>
- Kuosmanen Jaakko & Sivonen Marja Helena Tiedeneuvonta poliittisen päätöksenteon tukena. <https://journal.fi/tt/article/view/89791/49055>
- Lenzen et al., 2018 The Carbon Print of Global Tourism. Nature of Climate Change.
- Liite+1+Altistuksen+raja-arvot+ja+toimenpidetasot+sähkömagneettisille+kentille.pdf (stm.fi)
- Lipponen Paavo 2013 Suomen Kuvalehti no 12/2013.
- Liu Zhao-Hui, Chen Jing-Zao, Tang Yan, Chen Dan, Ding GuiRong, Li Jing, Jin Cheng, Li Kang-Chu, 2004, Effects of Infrasound on Changes of Intracellular Calcium Ion Concentration and on Expression of RyRs in Hippocampus of Rat Brain Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol. 23, 3: pp. 159–165., <https://doi.org/10.1177/1029864917690931>
- Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johdopäätöksistä Tiina Koljonen, Lassi Similä, Antti Lehtilä et al. Espoo 2014. VTT Technology 167.
- Marin Sanna hallitusohjelma, tavoite 3.1 Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi - Valtioneuvosto
- Mehtätalo, E. & Mehtätalo, M., & Peltoniemi, P. 2019. Tuulivoimaloiden infraäänien vaikutus sen leviämisen perusteella voimaloiden ympäristössä oleskelevien terveyteen Suomessa Pilot Study 2019 A4 (wordpress.com)
- Mehtätalo, E. & Mehtätalo, M., & Peltoniemi, P. <https://syte.fi/2020/01/12/infraaani-aiheuttaa-terveyshaittoja-jopa-15-20-kmn-etaisydydella-tuulivoimaloista-riskietaisyys-kasvaa-voimaloiden-tehon-maaran-tai-korkeuden-kasvaessa-tai-pitkaaikaisaltistuksessa/>
- Mmacfarlane.pdf (cam.ac.uk)
- MTT Raportti 168/2014
- Murray, S. 2018 Using data science to improve public policy. MIT News. <http://news.mit.edu/2018/using-data-science-improve-public-policy-hackat-hon-0423>
- Mühlhans Jörg H. 2017 <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1029864917690931>
- Møllera Henrik and Christian Sejer Pedersen 2010. Low-frequency noise from large wind turbines. (wind-watch.org) Section of Acoustics, Aalborg University, Aalborg Ø, Denmark ©2011 Acoustical Society of America
- Nussbaum D.S. and S. Reinis 1985, Some individual differences in human response to infrasound. Department of Psychology, University of Waterloo and Institute for Aerospace Studies, University of Toronto UTIAS Report No. 282.
- Original research report <https://docs.wind-watch.org/Infrasound-1985-Nussbaum-Reinis.pdf>
- Pierpont Nina 2006 » Wind Turbine Syndrome
- Psychotronic and Electromagnetic Weapons: Remote Control of the Human Nervous System - Global Research Global Research - Centre for Research on Globalization
- Psykotrooniset ja sähkömagneettiset aseet: ihmisaivojen kauko-ääntö | Maanpuolustus.net
- Saarinen, Saana 2013 Totuus tuulivoimaloista. Mevidata Oy.
- Smith, Michael G. & Mikael Ögren & Pontus Thorsson & Laith Husain Alkhatieb & Eja Pedersen & Jens Forsén, & Julia Ageborg Morsing & Kerstin Persson Waye 2020 Sep 14;43(9):zsaa046. 10.1093/sleep/zsaa046. A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: results of the polysomnographic WITNES study - PubMed (nih.gov) University of Gothenburg, Box 414, 405 30 Gothenburg, Sweden.

- Suomi Kimmo & Borgogni Antonio (2017) The Changing Sport Policy – changing infrastructure. in the publication Suomi Kimmo & Kotthaus David Neighbourhood Sport Facility 2017 P. 89-112. and Suomi Kimmo & Kotthaus David 2017 Aims and ideas for the development of the sport facilities in Finland. P. 53-73. Research Center for Physical Activity and Health. ResearchGate Neighbourhood Sport Facility: Improving Physical Activities at Local Arenas (IMPALA) - EU-financed research and developing project 2015-2016 in Finland (alaspäin vierityslinkki): https://www.researchgate.net/profile/David_Kotthaus/publication/328580641_Neighbourhood_sport_facility_Improving_Physical_Activities_at_Local_Arenas_IMPALA_-_EU-financed_research_and_developing_project_2015-2016_in_Finland/links/5c49b056458515a4c73caf04/Neighbourhood-sport-facility-Improving-Physical-Activities-at-Local-Arenas-IMPALA-EU-financed-research-and-developing-project-2015-2016-in-Finland.pdf
- Suomi, Kimmo & David, Kotthaus 2017 [Neighbourhood-sport-facility-Improving-Physical-Activities-at-Local-Arenas-IMPALA-EU-financed-research-and-developing-project-2015-2016-in-Finland.pdf](https://www.researchgate.net/profile/David_Kotthaus/publication/328580641_Neighbourhood_sport_facility_Improving_Physical_Activities_at_Local_Arenas_IMPALA_-_EU-financed_research_and_developing_project_2015-2016_in_Finland/links/5c49b056458515a4c73caf04/Neighbourhood-sport-facility-Improving-Physical-Activities-at-Local-Arenas-IMPALA-EU-financed-research-and-developing-project-2015-2016-in-Finland.pdf) (researchgate.net)
- Toimittajien KS ja PK huomautus: <http://www.thefreedictionary.com/mitokondrion>
- Tuleuhanov, S.T. & O.S. Desouky, & M.A. Mohaseb. 2010. The influence of the infrasound on the immunological properties of rats blood. <https://www.windwahn.com/2017/05/01/infrashall-toxische-wirkung-auf-das-immunsystem/> <https://www.windwahn.com/wp-content/uploads/2016/12/art06Tuleuhanov.pdf>
- Tutkimuslaitokset: Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, University of Patras, Patras, Greece. Tutkimuslaitokset: (1) Department of Physiology of Human and Animals and Biophysics, Faculty of Biology, “Al-Faraby” Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, (2) Radiation Physics Department, National Center for Radiation Research and Technology (NCR-RT), EAEA, POB 29 Madinat Nasr, Cairo, Egypt.
- [Tuulivoimat ja tuulivoimahankkeet Suomessa - Suomen Tuulivoimayhdistys](#)
- Vaarama, Marja; Moisio, Pasi; Karvonen, Sakari (toim.): Suomalaisen hyvinvointi 2010. Helsinki: Terveystieteiden tutkimuslaitos, 2010. ISBN 978-952-245-365-5.
- Vahl Christian 2017 <https://www.zdf.de/dokumentat.../planet-e/infrasound-100.html>
- Valtioneuvoston periaatepäätöksen ja valtakunnallisen toimintaohjelman toteutumista meluntorjunnassa selvittäneen työryhmän raportti 2013.
- Valtioneuvoston päätös strategisen tutkimuksen teema-alueista ja painopisteistä vuodelle 2021
- Valviran (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto) Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa II.
- Van Kamp, Irene & Van den Berg, Frits: Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound, REVIEW PAPER, Australian Acoustical Society 2017. <https://www.researchgate.net/publication/320579704>
- Vasilyeva, Irina.N. & Vladimir G Bespalov & Alexander L Semenov & Denis A Baranenko & Valery N Zinkin Rats: [Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma Noise Health](#) Mar-Apr 2017;19(87):79-83. The Effects of Low-Frequency Noise on Rats: Evidence of Chromosomal Aberrations in the Bone Marrow Cells and the Release of Low-Molecular-Weight DNA in the Blood Plasma - PubMed (nih.gov) Scientific Laboratory for Cancer Chemoprevention and Oncopharmacology at N.N. Petrov Research Institute of Oncology under the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow; International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation Research and Testing Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics at 4th Central Research Institute under the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation Petersburg, Russian Federation Research and Testing Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics at 4th Central Research Institute under the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
- Weichenberger, Marcus & Martin Bauer & Robert Kühler & Johannes Hensel & Carolinen Carcia Forlim & Albrecht Ihlenfeld & Bernd Ittermann & Jürgen Gallinat & Christian Koch & Simone Kühn. 2017. [Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold - Evidence from fMRI](#) - PubMed (nih.gov) Department of Psychiatry and Psychotherapy, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Germany, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Berlin, Germany, University Clinic Hamburg-Eppendorf, Clinic and Polyclinic for Psychiatry and Psychotherapy, Hamburg, Germany.
- Verhey, Jesko & Otto-von-Guericke, 2020, Universität Magdeburg Medizinische Fakultät Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie Abteilung für Experimentelle Audiologie Leipziger, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/10.0000897> Spectral integration of infrasound at threshold The Journal of the Acoustical Society of America 147, EL259.
- Ympäristöministeriö, 2013 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41509/YMra_7_2007_Vnp_meluntorjunnasta.pdf?sequence=2

LIITE 1. Suomessa käynnissä olevat tuulivoimahankkeet aakkosjärjestyksessä 31.1.2020

Akaa, Karhunrahka	Kauhajoki, Riuttakallio
Alajärvi, Louhukangas	Kauhajoki, Suolakangas
Alajärvi, Mäksy	Kauhava, Salo-Ylikoski
Alavieska, Tolosperä	Kauhava, Suolineva
Eckerö Hammarland, Stenarna	Kemiönsaari, Nordanå-Lövböle
Eckerö, Långnabba (I & II)	Keuruu, Ampiala Penkkisuo
Enontekiö, Lammasoivi	Keuruu, Pihlajavesi Ahvenneva
Eurajoki, Auvi	Kinnula, Hautakangas
Haapajärvi Välikangas	Korsnäs, Södra & Norra Poikel
Haapajärvi, Pajuperänkangas	Kotka, Kotkasaari
Haapavesi, Haapajärvi, Multakaarronneva	Kotka, Rankin matalikko
Haapavesi, Kärsämäki, Hankilanneva	Kotka, Sunila, Karhulanniemi ja Hietasen teollisuusalue
Haapavesi, Kesonmäki	Kristiinankanpunki, Isojoki, Lakiakangas II
Haapavesi, Piipsanneva	Kristiinankaupunki, Lappfjärd
Haapavesi, Puutionsaari	Kristiinankaupunki, Lappfjärd-Dagsmark
Haapavesi, Rahkola	Kristiinankaupunki, Pohjoinen
Halsua, Halsuan tuulivoimapuisto	Kristiinankaupunki, Siippy
Hartola, Kinkkulanmäki	Kristiinankaupunki, Uttermossa
Huittinen, Taraskallio	Kristiinankaupunki, Västervik
Humpvila-Urjala, Humpvila-Urjala	Kristiinankaupunki, Tiukka (Tjock)
Hyrnsalmi, Illevaara	Kumlinge, Östra Skärgården
Hyrnsalmi, Kivivaara-Peuravaara 4	Kuopio, Palonen
Hyrnsalmi, Lumivaara	Kurikka, Kalistanneva
Ii, Iin Yli-Olhavan tuulivoimahanke	Kurikka, Matkussaari
Ii, Isokangas	Kurikka, Ponsivuori
Ii, Ollinkorpi	Kurikka, Rasakangas
Ii, Pahkakoski	Kurikka, Rustari
Ii, Palokangas (Onkalo III)	Kurikka, Saunamaa
Ii, Suurhiekan meritulipuisto	Kuusamo, Maaninka
Iitti, Perheniemi	Kuusamo, Olkimaanvaara
Inkoo / Raasepori	Kyyjärvi, Hallakangas
Isojoki, Lakiakangas I, Phase II	Kyyjärvi, Leppineva
Isojoki, Mikonkeidas	Kyyjärvi, Peuralinna
Isokyrö, Kattiharju	Laihia, Rajavuori
Isosuo-Arkuinsuo, Punkalaidun (ent. omistaja YIT+Ilmatar)	Lappajärvi, Iso Saapasneva
Joensuu ja Kontiolahti, Ilvesvaara	Lemi, Rutaho
Juuka, Suuri Piilovaara-Ronsta	Lestijärvi, Lestijärvi
Jyväskylä, Salola	Liminka, Hirvineva
Kaavi, Maarianvaara	Liminka, Kantoselkä
Kajaani, Kivikangas	Liperi, Korpivaara
Kajaani, Piiparinmäki-Murtomäki (Pyhäntä, Kajaani, Vieremä)	Loviisa, Tetom
Kalajoki, Juurakko	Loviisa, Vanhakylä
Kalajoki, Kannus, Kokkola - Mutkalampi	Lumijoki, Selkämatala/Nälkämatala
Kalajoki, Läntinen	Maalahti, Juthskogen
Kalajoki, Torvenkylä	Maalahti, Korsnäs, Molpe-Petalax-Granskog
Kannonkoski	Maalahti, Långmossa
Kannus, Kaukasenneva	Maalahti, Ribäcken
Kannus, Kuuronkallio	Maalahti, Takanebacken
Karijoki, Isojoki, Rajamäenkylä	Marttila, Verhonkulma
Karstula, Koiramäki	Merikarvia, Kööriä
Karstula, Korkeakangas (Vihisuo)	Merikarvia, Korpi-Matti
Karstula, Mustalamminmäki	Merikarvia, Korvenneva
Karvia, Jäkäläkangas	Mustasaari, Vaasa, Merkkikallio

Mynämäki ja Laitila, Kolsa-Juvansuo
 Närpiö Bredåsen
 Närpiö, Björkliden
 Närpiö, Hedet
 Närpiö, Kalax
 Närpiö, Norrskogen
 Närpiö, Pirttikylä
 Närpiö, Pjelas-Böle
 Nikara, Multia
 Nivala, Kukonaho
 Nykarleby, Kröpuln
 Oulainen, Hautakangas
 Oulainen, Karahka
 Oulainen, Maaselänkangas
 Oulainen, Ojalan tehdasalue
 Oulu, Ketunmaankangas
 Paimio, Salo, Huso, Pöylä
 Pedersöre, Mastbacka
 Pello, Palovaara
 Perho, Alajoki
 Pieksämäki, Niinimäki
 Pihtipudas, Ilosjoki
 Pori ja Eurajoki, Oosinselkä
 Pori, Ahlaisten Lammi
 Pori, Tahkoluodon merituulipuiston laajennus
 Pori, Tahkoluodon satama
 Posio, Murtotuuli
 Pudasjärvi, Tolpanvaara
 Pyhäjärvi, Murtomäki
 Pyhäjärvi, Vuotomäki
 Pyhäjoki, Karhunneuvankangas
 Pyhäjoki, Maukarinkangas
 Pyhäjoki, Oltava
 Pyhäjoki, Paltusmäki
 Pyhäjoki, Parhalahti Itä
 Pyhäjoki, Parhalahti Itä enlargement
 Pyhäjoki, Polusjärvi
 Pyhäjoki, Puskakorvenkallio
 Raahe ja Pyhäjoki, Ulkonahkiainen
 Raahe ja Siikajoki, Mastokangas
 Raahe, Hummastinvaara
 Raahe, Ketunperä
 Raahe, Kopsa III
 Raahe, Maanahkiainen
 Raahe, Raahe
 Raahe, Yhteinenkangas
 Rautalampi, Tervalammivuori
 Rovaniemi, Kuusiselkä
 Saarijärvi, Haapalamminkangas
 Saarijärvi, Soidinmäki and enlargement
 Säskylä, Korpilevonmäki
 Salla, Kemijärvi, Nuolivaara
 Salla, Portti
 Salo, Näsenkartano
 Sastamala, Suodenniemi
 Sievi, Jakoistenkallio /Jokikylä
 Sievi, Puutikankangas
 Sievi, Tuppuraneva
 Siikajoki, Isoneva
 Siikajoki, Isoneva II
 Siikajoki, Kangastuuli
 Siikajoki, Kangastuuli II
 Siikajoki, Karhukangas
 Siikajoki, Navettakangas
 Siikalatva, Kokkoneva
 Simo Leipiö III
 Simo, Tikkala-Seipimäki
 Soini / Ähtäri, Kimpilamminkangas
 Soini, Isokangas
 Soini, Konttisuo
 Soini, Korkeamaa
 Soini, Loukkusaari
 Soini, Pesola
 Somero, Palmanharju
 Sysmä, Rekolanvuori
 Tammela, Forssa, Kiimassuo
 Tervola, Hevosselkä
 Tervola, Löylyvaara
 Teuva, Paskoonharju, Phase II
 Teuva, Ristiharjunkalliot
 Toholampi, Länsi
 Toholampi-Lestijärvi
 Tornio, Karhakkamaa
 Tornio, Röyttä, Merituulivoimahanke Kiiri
 Utajärvi, Maaselkä
 Utajärvi, Pahkavaara
 Uusikaarlepyy, Björkbacken
 Uusikaarlepyy, Storbötet 2
 Uusikaarlepyy, Vöyri, Sandbacka
 Vaala, Metsälamminkangas
 Vaala, Naulakangas
 Vaala, Pitkäsuo
 Vesanto, Honkamäen tuulivoimahanke (Oinaskylä)
 Veteli, Löytöneva
 Viitasaari, Sikamäki
 Vöyri, Lälax
 Vöyri, Lotlax
 Vöyri, Storbacken
 Vöyri, Storbötet 1
 Ylitornio, Reväsvaara
 Ylivieska, Hirvineva
 Ylivieska, Pajukoski II
 Ylivieska, Tuomiperä
 Ylivieska, Urakkaneva
 Ypyjä, Humppila, Tyrinselkä II
 Äänekoski, Liimattala

