

Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä

-kirjallisuuskatsaus

Riina Muilu-Mäkelä, Maarit Haavisto ja Jori Uusitalo



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Lihasan Säätiö



Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Riina Muilu-Mäkelä, Maarit Haavisto ja Jori Uusitalo			
Nimeke Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä . -Kirjallisuuskatsaus			
Vuosi 2014	Sivumäärä 10 s.	ISBN 978-951-40-2523-5 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Länsi-Suomen alueyksikkö / MAT-ohjelma / 7493 Puusta elinvoimaa			
Hyväksynyt Erkki Verkasalo, MAT-ohjelman johtaja, 17.12.2014			
Tiivistelmä Erityisesti asuntorakentamisella on merkittävä vaikutus tulevaisuuden energia- ja ilmastovelvoitteiden täyttämisenä. Kun taloista rakennetaan entistä energiatehokkaampia ja tiiviimpiä, on ihmisten terveyteen vaikuttavat tekijät asumis-, oleskelu- ja työskentely-ympäristössä tunnettava perusteellisesti. Tämä on tärkeää puutuote- ja rakentamisalalle sekä kotimaisessa puurakentamisessa että puutuotteiden viennissä rakentamisen käyttökohteisiin. Puulla on havaittu olevan ihmisen terveyteen vaikuttavia ominaisuuksia. Puu on ympäristöolojen mukaan kosteutta sitova ja vapauttava materiaali, joka tasaa huoneilman kosteus- ja lämpöoloja. Puun haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on epäilty riskitekijäksi, lähinnä tuoreen puutavaran valmistuksessa ja käsittelyssä, mutta niillä on myös oma roolinsa puun myönteisissä vaikutuksissa ihmiseen. On olemassa myös tutkimustietoa siitä, että puumateriaalit saavat aikaan stressitasojen alenemista ihmisessä. Puun elvyttävä eli restoratiivinen vaikutus perustuu puun fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Tämä kirjallisuuskatsaus selvittää puun ominaisuuksia, jotka edistävät ihmisen terveyttä ja tuovat esiin puun ominaisuuksia, joiden avulla puutuotteita ja niiden markkinointia sisäkäyttökohteisiin voidaan potentiaalisesti kehittää.			
Asiasanat puu, terveys, fysiologia, haihtuvat yhdisteet, kosteusbufferointi			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp320.htm			
Yhteydenotot Jori Uusitalo, Kaironientie 15, 39700 Parkano, jori.uusitalo@luke.fi			
Muita tietoja Työ on tehty Metsäntutkimuslaitoksessa Puusta elinvoimaa –hankeessa, jonka päärahoittaja on Pirkanmaan elinkeino, liikenne- ja ympäristökeskus (Euroopan unionin maaseuturahasto, 2007-2013).			

1. Johdanto

Rakentaminen keskittyy entistä enemmän suuriin kasvukeskuksiin. Rakentamisella onkin merkittävä vaikutus tulevaisuuden energia- ja ilmastotavoitteiden täyttämässä. Talojen sisäilman laatuun ja asumis-, oleskelu- ja työskentely-ympäristön terveellisyyteen vaikuttavat tekijät täytyy tuntea perusteellisesti, jotta energiatehokkaista taloista saadaan myös terveellisiä pitkäaikaisessa käytössä.

Puulla on havaittu olevan myönteisiä vaikutuksia ihmisen terveyteen. Puukerrostalojen ja hirsitalojen asukkaat ovat tyytyväisiä asuntoihinsa (Anttila ym. 2012, Lindberg 2011). Puun taipumus sitoa ja vapauttaa kosteutta ympäristön lämpötilan mukaan ja puun haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat tässä keskeisessä roolissa. Kliinisiin tutkimuksiin perustuva aineisto puun vaikutuksista ihmisten terveyteen kuitenkin puuttuu. Tieteellinen, tilastollisesti pätevä aineisto puun vaikutuksista ihmiseen voi tuoda esiin tärkeitä näkökulmia puun myönteisistä terveysvaikutuksista ja lisätä puun käyttöä rakentamisessa ja auttaa Suomen puutuoteteollisuutta kehittämään tuotteitaan hyvinvointia edistäviin ratkaisuihin niin kotimaahan kuin vientiin. Suomalaisella puutuoteteollisuudella on kyky ja halu kasvattaa puutuotteiden tuotantoa ja vientiä. Mikäli puurakentaminen lisääntyisi Suomessa, voisivat entistä useammat yritykset investoida Suomeen mm. puuelementtien ja muiden puurakentamisen tuotteiden valmistukseen. Samalla lisääntyisi sahatavaran ja jalostettujen saharatuotteiden kysyntä ja käyttö. Puutuotteisiin ja puurakentamiseen liittyy myös suuri vientipotentiaali.

Puumateriaaleilla on monia ihmisen terveyttä edistäviä ominaisuuksia. Puumateriaaleilla on kyky tasata huoneilman kosteutta, ja sen pinta estää homeiden ja bakteerien kasvua (Künzel ym. 2004). Puun haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on epäilty riskitekijäksi, lähinnä tuoreen puutavaran valmistuksessa ja käsittelyssä (Granström 2009), mutta niillä on todettu olevan myös myönteisiä vaikutuksia ihmiseen (Lee ym. 2012). Puumateriaalien on todettu alentavan stressitasoja ja puusta haihtuvilla yhdisteillä on mahdollisesti oma roolinsa puun elvyttävässä vaikutuksessa. Puun elvyttävä eli restoratiivinen vaikutus perustuu puun fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Puu on materiaali, jonka avulla voidaan kehittää kestäviä, ilmanlaadultaan terveellisiä taloja.

Puu on ekologinen uusiutuva materiaali, johon sitoutunut hiili on suljetussa kierrossa. Metsät sitovat hiiltä ja sidottu hiili pysyy talon rakenteissa, kunnes se vapautuu esim. poltettaessa ilmakehään. Metsä sitoo hiilen uudelleen biomassansa.

Tämän työn tarkoituksena oli kirjallisuuden avulla perehtyä puun ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat ihmisen terveyteen asumis-, oleskelu- ja työskentely-ympäristössä. Työssä selvitetään, miten puumateriaalit rakentamisessa ja sisustamisessa edesauttavat ihmisen terveyttä ja mitä puun ominaisuuksia kannattaa tutkia, jotta voidaan kehittää terveellisiä puutuotteita ja niiden markkinointia. Puun terveysvaikutukset jaotellaan työhypoteeseissa kahteen osaan: 1) Puumateriaaleilla voidaan vaikuttaa huoneilman laatuun ja sitä kautta ihmisen asumisterveyteen, 2) Puulla on stressiä alentava, elvyttävä vaikutus ihmiseen.

2. Puumateriaalien vaikutus huoneilman laatuun

2.1. Kosteusbufferointi ja antibakteerisuus

Huoneilman laatua pyritään pitämään miellyttävällä tasolla lämmityksen ja koneellisen ilmanvaihdon avulla, mikä kuluttaa energiaa. Suhteellisen ilmankosteuden on osoitettu vaikuttavan rakennuksen koettuun lämpötilaan, sisäilman miellyttävyyteen ja sitä kautta myös energiankulutukseen. Useat tutkimukset osoittavat, että hygroskooppisilla rakenteilla on vaikutusta sisäilman suhteelliseen kosteuteen, mikä parantaa sisäilman laatua ja miellyttävyyttä (Salonvaara ym. 2004). Puu on vahvasti hygroskooppinen materiaali eli puulla on kyky ympäristöilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan sitoa tai vapauttaa kosteutta, jolloin huoneilman laatu paranee (Hameury 2005, Piot ym. 2011). Puun tiheys vaikuttaa puun kosteudensitominaisuuksiin siten, että mitä tiheämpi puu on, sitä huonommin se sitoo itseensä kosteutta (Kärkkäinen 2003). On havaittu myös, että mitä enemmän talon näkyvissä sisärakenteissa on käytetty puuta sitä paremmin sisäilman kosteus pysyy terveyden kannalta optimialueella, joka on 30-55% (Künzel et al. 2004). Tasainen huoneilman kosteus tasaa myös huoneen lämpötilaa ja tekee huoneessa olosta miellyttävän.

Puulla on antibakteerisia ominaisuuksia ja etenkin männyn antibakteeriset ominaisuudet ovat voimakkaita verrattuna moniin muihin puulajeihin (Laireiter ym. 2013). Vaikka puu sitoo itseensä kosteutta, täytyy kosteuden nousta korkeaksi, ennen kuin se tarjoaa kasvualustan bakteereille ja homeille (Künzel ym. 2004). Puun antibakteerisella ominaisuudella on merkittävä alentava vaikutus bakteerien ja homeiden huoneilmaan tuottamien toksisten yhdisteiden kehitykseen. Puun antibakteerisia ominaisuuksia on tutkittu niiden öljyjen sisältämien yhdisteiden ja puun hygroskooppisten ominaisuuksien näkökulmasta (Schönwälder ym. 2002). Puuta käytetään leikkuulaudoissa, saunoissa ja muualla, missä antibakteerisuudesta on hyötyä. Yleisimpiä astman ja atooppisen ihottuman aiheuttajia ovat huonepunkit (*Dermatophagoides* sp). Puuöljyt ja puiden haihtuvat yhdisteet hidastavat punkkien lisääntymistä (Hiramatsu ym. 2008). Puumateriaaleilla, kuten puukuituvillalla ja puisilla pinnoilla voidaan vähentää huonepunkkien ihmisen terveydelle haitallisia vaikutuksia (Hiramatsu 2006, 2008). Puun kosteusbufferointi ja antibakteerisuus ovat ominaisuuksia, joita tutkimalla ja hyödyntämällä voidaan puutuotteita kehittää ja parantaa niiden soveltuvuutta sisäkäyttökohteisiin.

2.2. Puusta ilmaan haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja niiden vaikutus ihmisen elimistöön

Rakennusmateriaaleja luokitellaan päästö- eli emissioluokkiin sen mukaan, kuinka paljon niistä haihtuu erilaisia yhdisteitä. Periaatteena on, että mitä vähemmän materiaalista haihtuu yhdisteitä, sitä parempaan luokkaan se voidaan lukea. Rakennusmateriaalien päästöluokitus esittää vaatimukset tavanomaisissa työ- ja asuintiloissa käytettäville materiaaleille hyvän sisäilman laadun kannalta (Rakennustieto 2006). M1-merkki kertoo vähäpäästöisyydestä. Kotimaisista puulajeista tehty käsittelemätön lauta ja hirret rinnastetaan emissioluokaltaan M1-tasoisiksi, vaikka niiden haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus (VOC, volatile organic compounds) tuoreena ylittäisikin kyseiset raja-arvot (Rakennustieto 2006).

Havupuiden haihtuvia yhdisteitä on mitattu paljon sekä metsäympäristöstä (Räisänen ym. 2008, Ghimire ym. 2013) että erilaisista puumateriaaleista (Manninen ym. 2002, Gminski ym. 2010, Son ym. 2013). Joitakin osoituksia on olemassa etenkin männystä haihtuvien alfa- ja beta-pineenien myönteisistä vaikutuksista ihmisen stressitasoihin ja immuunipuolustuksen aktivoitumiseen (Lee 2012).

Metsämännystä (*Pinus sylvestris* L.) ilmaan erittyviä orgaanisia yhdisteitä (volatile organic compounds, VOC) ovat monoterpeenit; α -pineeni, β -pineeni, myrceeni, 3-careeni, limoneeni ja sesquiterpeenit; isolongifoleeni, α -gurjuneeni, α -longipineeni, α -copaeni ja longifoleeni. (Granström 2009). Lisäksi männystä erittyy happoja; etikkahappo ja heksaanihappo, aldehydejä; formaldehydi, asetaldehydi, pentanaali ja heksanaali ja syklisiä aldehydejä; furfuraali ja benzaldehydi (Granström 2009).

Puulaji, puumateriaalin käsittely ja varastointiaika vaikuttavat puumateriaalista haihtuvien yhdisteiden laatuun ja määrään (Hyttinen ym. 2012). Ilmakuivatusta mäntypuusta erittyy eniten α -pineeniä, jonka osuus on 40-47 % haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärästä. Lämpökäsittelyn jälkeen puusta haihtuu etikkahappoa, etanolia ja furfuraalia, joita ei haihdu ilmakuivatusta puusta (Manninen ym. 2002). Terpeenit voivat aiheuttaa korkeina pitoisuuksina esiintyessään kurkku-, nenä- ja silmä-ärsytystä esimerkiksi puutuoteteollisuuden valmistusprosesseissa työskenteleville ihmisille (Granström 2009). Saksalaisessa tutkimuksessa puumateriaaleista huoneilmaan haihtuvien VOC-yhdisteiden sytotoksisuutta ja genotoksisuutta tutkittiin keuhkosolumallissa (Gminski ym. 2010). Tutkimuksessa havaittiin, etteivät puupaneeleissa ja OSB-paneeleissa esiintyvät terpeeni- ja aldehydipitoisuudet aiheuta muutoksia keuhkosolujen elävyydessä tai DNA:n hajoamisessa. Terpeeneillä on sitä vastoin osoitettu olevan immuunipuolustusta aktivoivia vaikutuksia (Lee ym. 2012). Männyn monoterpeenien, α -

pineenin ja β -pineenin, on havaittu lisäävän immuunipuolustuksen ns. tappajasolujen (natural killer (NK)) aktiivisuutta soluviljelmissä (Li ym. 2006). NK-solut tunnistavat tiettyjä solujen pintarakenteen muutoksia ja kaappaavat esim. syöpäsoluja. Stressihormonien tiedetään laskevan kyseisten NK-solujen aktiivisuutta. Metsässä oleilun jälkeen opiskelijoiden stressihormonitasot olivat laskeneet ja NK-solut muuttuneet entistä aktiivisemmiksi eli tulos oli samansuuntainen kuin mitä solumallilla oli havaittu (Li ym. 2008). Hiirikokeessa alfa-pineenin hengittäminen hidasti syövän kasvua (Kusuhara ym. 2012). Pineenin vaikutus syöpäsolujen määrään ei ole suora, vaan kasvua alentava vaikutus syntyy jonkin välimekanismin kautta (Kusuhara ym. 2012).

3. Puulla on stressiä alentava, elvyttävä vaikutus ihmiseen

Psykofysiologia on tieteenala, joka tutkii psykologisia vaikutuksia fysiologiaan (Davidson 2003). Se mitä koemme aiheuttaa mitattavia fysiologisia muutoksia kehossamme. Autonomisen hermoston sympaattinen ja parasympaattinen osa säätelevät kehon toimintaa siten, että aktiivisessa tilassa sympaattinen hermosto toimii vahvemmin ja levossa parasympaattinen puoli on vallalla. Esimerkiksi jännittävä tilanne vaikuttaa sympaattisen hermoston kautta käden hikirauhasiin ja saa ihon pinnan kostumaan. Rentoutuessa ihmisen sydämen sykevaihtelu puolestaan alenee (Rozanski ym. 2014).

Puulla on todettu ihmisen mieltä ja terveyttä elvyttäviä, restoratiivisia ominaisuuksia (Fell 2011, Nyrud & Bringslimark 2010, Tyrväinen ym. 2014). Useiden tutkimusten mukaan puun käyttö sisustuksessa alentaa stressiä. Tätä on tutkittu mm. kouluympäristössä, jossa sydämen sykevaihtelun perusteella on päätelty, että stressipiikki alenee puukoulun luokassa nopeammin kuin verrokkiluokassa, jossa stressitaso pysyy korkeamana koko päivän (Grote ym. 2009). Vanhainkodissa puumateriaalien käyttöönoton on todettu lisäävän vanhusten sosiaalisuutta ja parantavan kykyä huomioida ympäristöään (Anme ym. 2012). Työhuoneessa käytettyjen puumateriaalien havaittiin jopa lisäävän työntekijän uskottavuutta haastattelutilanteessa (Ridoutt ym. 2002). Ihon sähkönjohtavuus oli alhaisin puulla kalustetussa työhuoneessa, eikä vastaavaan tulokseen päästy edes huoneeseen tuoduilla kasveilla (Fell 2010). Potilashuoneessa oikea määrä puumateriaalia laski sydämen sykettä ja kohensi mielialaa (Nyrud et al. 2014).

Puumateriaalin vaikutusta ihmisen fysiologiaan on tutkittu mm. mittaamalla verenpainetta ja sormen sähkönjohtokykyä koehenkilön koskettaessa puista pintaa (Sakuragawa et al 2005, ja 2008). Puisen pinnan koskettaminen koetaan miellyttävämmäksi ja verenpaine ja sähkönjohtavuus ovat alempana kuin jos kosketettava materiaali on alumiinia tai muovia

(Sakuragawa et al. 2008). Sembramännystä (*Pinus cembra*) tehdyllä sängyllä on osoitettu olevan unen laatua ja autonomista palautumista parantavia ominaisuuksia (Grote ym. 2003). Näitä ominaisuuksia on mitattu mm. sydänsähkökäyrän (elektrokardiografia, EKG) ja aivosähkökäyrän (elektroenkefalografia, EEG) avulla.

Luonnon elvyttävän vaikutuksen on tulkittu perustuvan emotionaalisesta ja fysiologisesta stressistä elpymiseen (Ulrich 1991) ja suunnatun tarkkaavaisuuden elpymiseen (attention restoration theory, ART) (Kaplan 1995). Erityisesti luonnon herättämät myönteiset tunnetilat ovat yhteydessä fysiologisen virittyneisyyden laskuun (sydämen lyöntitiheys, verenpaine ja ihon sähkönjohtokyky) (Ulrich 1991). Puun on todettu herättävän vastaavia myönteisiä tunnetiloja (Rice ym. 2006, Wallenius 2014). Alustavien tulosten mukaan myönteinen tunnetila toimii välittäjänä siten että koehenkilön verenpaine laskee vain jos tämä pitää puusta (Sakuragawa 2005). Sitä ei tiedetä, mitkä puun fysikaaliset ominaisuudet aikaansaavat elpymistä. Elvyttävät vaikutukset perustuvat todennäköisesti puun fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Puun kriittisiä fysikaalisia ominaisuuksia lienevät tässä suhteessa sähkön, valon tai äänen kulkeutuminen materiaalissa, tai niiden yhteisvaikutus. Puun vaikuttavia kemiallisia ominaisuuksia ovat erilaiset haihtuvat yhdisteet ja niiden luoma ympäristö. Haihtuvia yhdisteitä on tutkittu paljon, mutta kontrolloituja kokeita puusta haihtuvien yhdisteiden vaikutuksista ihmiseen on suhteellisen vähän.

Pehmeät ja sileät materiaalit koetaan yleisesti miellyttävinä, kun taas karkeat ja karheat pinnat epämiellyttävinä (Essik ym. 2010). Tutkimuksissa on myös havaittu, että erilaisten luonnonmateriaalien koskettaminen saa ihmisessä aikaan rauhoittumista (Koga ym. 2013). Suuri osa ihmisistä kokee puun miellyttäväksi ja kosketuksen vaikutusta ihmiskehoon on pystytty mittaamaan fysiologisilla parametreillä, kuten ihon sähkönjohtavuudella tai syketiheydellä (Sakuragawa 2000). Puupintojen ja puisten esineiden kosketeltavuuden lisääminen nosti vireystasoa vanhainkodissa (Anme ym. 2012).

Puun akustiset ominaisuudet tunnetaan hyvin ja niitä on osattu hyödyntää konserttisaleissa ja soittimissa (Bucur ym. 2002). Puu taittaa lämpimiä keltaisen ja punaisen valon aallonpituuksia ja puu koetaan tästäkin syystä lämpimäksi materiaaliksi. Puun heikko lämmön- ja sähkönjohtavuus ovat ominaisuuksia, jotka vaikuttavat siihen, että puu koetaan usein miellyttävän tuntuiseksi materiaaliksi. Puusta aistittavat hajut voivat tuoda mieleen yhteyden luontoon ja synnyttää siten myönteisen mielikuvan, joka elvyttää mieltä (Nyrud & Bringslimark 2010, Tyrväinen ym. 2014).

4. Johtopäätökset ja suositukset

Puumateriaaleilla on osoitettu olevan ihmisen terveyteen vaikuttavia ominaisuuksia. Puumateriaalit koetaan miellyttävinä ja rauhoittavina ja puun vaikutusta ihmiseen on voitu mitata myös fysiologisesti. Kattavat kliiniset tutkimukset ovat kuitenkin vielä vähäisiä ja tutkimusta puun vaikutuksista ihmiseen tarvitaan edistämään puutuotteiden markkinointia ja tuotekehitystä. Tieteellinen ja tilastollisesti todistettu tutkimus puun vaikutuksista ihmisen fysiologiseen palautumiseen ja unenladun parantamiseen lisäisi puun käyttöä sisätiloissa ja parantaisi puun markkina-arvoa.

Puusta rakennetaan viihtyisiä sisätiloja puun fysikaalisten ominaisuuksien ansiosta. Puu johtaa heikosti sähköä ja tuntuu lämpimältä. Puulla on hyvät akustiset ominaisuudet. Puu estää kaikumista ja puumateriaaleilla voidaan laskea äänistä aiheutuvia stressitasoja esimerkiksi julkisissa tiloissa, kuten kouluissa ja päiväkodeissa. Puun hygroskooppiset ominaisuudet tasaavat huoneen lämpö- ja kosteustasoja lisäten miellyttävyyden tunnetta. Puun antibakteeriset ominaisuudet vähentävät bakteerien ja homeiden erittämien toksisten yhdisteiden haittavaikutuksia ihmiseen. Lisäksi puu itsessään koetaan miellyttäväksi materiaaliksi ehkä juuri sen luontoperäisyyden takia. Mielleyhtymä luontoon saa aikaan rauhoittumista. Puun kemiallisia yhdisteitä on mitattu puumateriaaleista ja tunnetuilla yhdisteillä, kuten pineeneillä on osoitettu olevan yhteys ihmisen stressitasojen laskuun. Rakennusmateriaaleista puun haihtuvat yhdisteet katoavat kuitenkin melko nopeasti ja tutkimusta puun haihtuvien yhdisteiden edullisista terveysvaikutuksista on vielä niukasti. Mekanismit, joilla puu vaikuttaa ihmiseen, ovat epäselviä. Monitieteistä ihmistutkimusta ja materiaalitutkimusta tarvitaan, jotta puun hyviä ominaisuuksia opitaan tuntemaan ja hyödyntämään entistä paremmin.

Viitteet

- Anme, T., Watanabe, T., Tokutake, K., Tomisaki, E., Mochizuki, H., Tanaka, E., Wu, B., Shinohara, R., Sugisawa, Y., Tada, C., Matsui, T., Asada, S. 2012. Behavior Changes in Older Persons Caused by Using Wood Products in Assisted Living. *Public Health Research* 2:106-109.
- Anttila, M., Pekkonen, M., Haverinen-Shaughnessy, U. 2012. Asumisterveys ja -tyytyväisyys hirsitalossa. Altti-tutkimukseen perustuva selvitys. Juvenes Print - Suomen Yliopistopaino, Tampere. Available at: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-245-762-2>.
- Bucur, V., Lancelu, P., Rogec, B. 2002. Acoustic properties of wood in tridimensional representation of slowness surfaces. *Ultrasonics* 40:537-541.
- Essick, G.K., McGlone, F., Dancer, C., Fabricant, D., Ragin, Y., Phillips, N., Jones, T., Guest, S. 2010. Quantitative assessment of pleasant touch. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 34:192-203.
- Fell, D. 2010. PhD thesis. Wood in the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment. Vancouver: The University of British Columbia. Available at: <http://circle.ubc.ca/handle/2429/28644>.
- Fell, D. (2011) Wood and human health. Brochure, FPInnovations Record #: W-2862. Available at: <http://forresweb.com/fpi-publications/#woodhh>
- Ghimire, R., Markkanen, J., Kivimäenpää, M., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Holopainen, J. 2013. Needle Removal by Pine Sawfly Larvae Increases Branch-Level VOC Emissions and Reduces Below-Ground Emissions of Scots Pine. *Environmental Science and Technology* 47: 4325-4332.
- Gminski, R., Tang, T., Mersch-Sundermann, V. 2010. Cytotoxicity and genotoxicity in human lung epithelial A549 cells caused by airborne volatile organic compounds emitted from pine wood and oriented strand boards. *Toxicology letters* 196:33-41.
- Granström, K. 2009. Underestimation of Terpene Exposure in the Nordic Wood Industry. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 7:144-151.
- Grote, V., Avian, A., Frühwirth, M., Hillebrand, C., Köhldorfer, P., Messerschmidt, D., Resch, V., Schaumberger, K., Zeiringer, C., Mayrhofer, M., Moser, M. 2009. Gesundheitliche Auswirkungen einer Massivholzausstattung in der Hauptschule Haus im Ennstal. Human Research Institute, Institute of Health Technology, Weiz, Austria. Available at: http://humanresearch.at/newwebcontent/wp-content/uploads/2012/11/pfd_Schule_ohne_Stress_Folder_de.pdf.
- Grote, V., Lackner, H., Muhry, F., Trapp, M., Moser, M. 2003. Evaluation der Auswirkungen eines Zirbenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. JOANNEUM RESEARCH Institut für Nichtinvasive Diagnostik, Weiz, Itävalta. Available at: <http://www.4betterdays.com/media/pdf/Joanneum-Forschungsbericht-Langfassung.pdf>.
- Davidson, R.J. 2003. Affective neuroscience and psychophysiology: Toward a synthesis. *Psychophysiology*, 40:655-665. Blackwell Publishing Inc. Printed in the USA.
- Hameury, S. 2005. Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study, *Building and Environment* 40:1400-1412.
- Hiramatsu, Y., Matsui, N., Ohira, T., Imai, Y., Miyazaki, Y. 2006. Effect of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood-wool in tatami mat on the activity of house dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus*. *Journal of Wood Science*, DOI 10.1007/s10086-005-0765-0.
- Hiramatsu, Y., Shida, S., Miyazaki, Y. 2008. House dust mites and their sensitivity to wood oils and volatiles *Journal of Wood Science* DOI 10.1007/s10086-007-0921-9.
- Hyttinen, M., Masalin-Weijo, M., Kalliokoski, P., Pasanen, P. 2010. Comparison of VOC emissions between air-dried and heat-treated Norway spruce (*Picea abies*), Scots pine (*Pinus sylvestris*) and European aspen (*Populus tremula*) wood. *Atmospheric environment* 44:5028-5033.
- Kaplan, S. 1995. The restorative benefits of nature: toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology* 15: 169-182.
- Koga, K., Iwasaki, Y. 2013. Psychological and physiological effect in humans of touching plant foliage - using the semantic differential method and cerebral activity as indicators. *Journal of Physiological Anthropology* 32:7.
- Kusuhara, M., Urakami, K., Masuda, Y., Zagiacomini, V., Ishi, H., Tai, S., Maryama, K., Yamaguchi, K. 2012. Fragrant environment with alpha-pinene decreases tumour growth in mice. *Biomedical Research* 33:57-61
- Künzel, H.M., Holm, A., Sedlbauer, K., Antretter, F., Ellinger, M. 2004. Moisture buffering effects of interior linings made from wood or wood based products. IBF Report HTB-04/2004/e. Fraunhofer - Institut für Bauphysik, Stuttgart, Germany. Available at: http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/oeVB_eng_3_tcm1021-30995.pdf
- Kärkkäinen, M. 2003. Metsälehti Kustannus. 451 s.

- Laireiter, C., Schnabel, T., Köck, A., Stalzer, P., Petutschnigg, A., Oostingh, G., Hell, M. 2013. Active Anti-microbial effects of Larch and Pine Wood on Four Bacterial strains, *BioResources* 9:273-281.
- Lee, J., Li, Q., Tyrväinen, L., Tsunetsugu, Y., Park, B.-J., Kagawa, T., Miyazaki, Y. 2012. Nature Therapy and Preventive Medicine, *Public Health - Social and Behavioral Health*, Prof. Jay Maddock (Ed.), ISBN: 978-953-51-0620-3, InTech, Available at: <http://www.intechopen.com/books/public-health-social-and-behavioral-health/nature-therapy-and-preventivemedicine>.
- Li, Q., Nakadai, A., Matsushima, H., Miyazaki, Y., Krensky, A., Kawada, T., Morimoto, K. 2006. Phytocides (Wood Essential Oils) Induce Human Natural Killer Cell Activity, *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 28:319–333.
- Li, Q., Morimoto, K., Kobayashi, M., Inagaki, H., Katsumata, M., Hirata, Y., Hirata, K., Shimizu, T., Li, Y.J., Wakayama, Y., Kawada, T., Ohira, T., Takayama, N., Kagawa, T., Miyazaki, Y. 2008. A Forest bathing trip increase human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins in female subjects. *Journal of biological regulators and homeostatic agents* 22:45-55.
- Lindberg, R. 2011. Tutkittua tietoa - puukerrostalossa asuu tyytyväinen perhe, esitys puupäivässä 27.11.2011. Available at: <http://2011.puupaiva.com/sites/default/files/slides/C%20Lindberg%20Ralf.pdf>
- Manninen, A.-M., Pasanen, P., Holopainen, J. 2002. Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood. *Atmospheric Environment* 36:1763–1768.
- Nyrud, A., Bringslimark, T., Bysheim, K. 2014 Benefits from wood interior in a hospital room: a preference study. *Architectural Science Review* 57:125-131.
- Nyrud, A., Bringslimark, T. 2010. Is interior wood use psychologically beneficial? A review of psychological responses toward wood. *Wood and Fiber Science* 42:202-218.
- Piot, A., Woloszyn, M., Brau, J., Abele, C. 2011. Experimental wooden frame house for the validation of whole building heat and moisture transfer numerical models. *Energy and Buildings* 43:1322–1328.
- Rakennustieto 2006. Hengitä puhtaampaa sisäilmaa MJ/9.2006/2000/RAKENNUSPAINO OY. Available at: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/newfolder/5ox6WjXVo/M1_esite906_net.pdf
- Rice, J., Kozak, R.A., Meitner M.J., Cohen, D.H. 2006. Appearance wood products and psychological well-being. *Wood and Fiber Science* 38:644 – 659.
- Ridoutt, B.G., Ball, R.D., Killerby, S.K. 2002. Wood in the interior office environment: Effects on interpersonal perception. *Forest Products Journal* 52: 23-30.
- Rozanski, A. 2014. Behavioral Cardiology Current Advances and Future Directions. *Journal of the American college of cardiology* 64: 100-110.
- Räisänen, T., Ryyppö, A., Kellomäki, S. 2009. Monoterpene emission of a boreal Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 149:808–819.
- Sakuragawa, S., Kaneko, T., Miyazaki, Y. 2008. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *Journal of Wood Science* 54:107-113.
- Sakuragawa, S., Miyazaki, Y., Kaneko, T., Makita, T. 2005. Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *Journal of Wood Science* 51:136-140.
- Salonvaara, S., Ojanen, T., Holm, A., Künzel, H., Karagiozis, A. 2004. Moisture Buffering Effects on Indoor Air Quality— Experimental and Simulation Results. *Buildings IX*. Available at: http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/2004%20B9%20papers/119_Salonvaara.pdf.
- Schönwälder, A., Kehr, R., Wulf A., Smalla, K. 2002. Holz als Roh- und Werkstoff 60: 249–257 Springer-Verlag, DOI 10.1007/s00107-002-0300-6.
- Son, Y.-S., Lim, B.-A., Park, H.-J., Kim, J.-C. 2013. Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) emitted from building materials to improve indoor air quality: focused on natural VOCs. *Air Quality, Atmosphere and Health* 6:737-746.
- Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y., Sato, H. 2007. Physiological effects in humans induced by the visual stimulation of room interiors with different wood quantities, *Journal of Wood Science* 53:11–16.
- Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K., Lanki, T., Tsunetsugu, Y., Kagawa, T. 2014. The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology* 38:1-9.
- Wallenius, M. 2014. Haptic Research Island –tutkimusraportti. (julkaisematon)
- Ulrich, R. 1991. Effects of interior design on wellness: theory and recent scientific research. *Journal of Health Care Interior Design*, 3. Available at: <http://www.majorhospitalfoundation.org/pdfs/Effects%20of%20Interior%20Design%20on%20Wellness.pdf>