

Kasvua ja kehitystä puusta - Puurakentamisen käyttäjälähtöiset ratkaisut ohjelma

Hankkeen nimi: **Wood for Good (W4G)** VN/2884/2019

Päätoteuttajan yhteystiedot: Luonnonvarakeskus (Luke)

Latokartanonkaari 9,
00790 Helsinki
Verkkolaskuosoite/OVT-tunnus: 003702446292000
Välittäjä-tunnus (OpusCapita Solutions Oy): E204503
Y-tunnus: 0244629-2
ALV-tunnus: FI02446292

Hankkeen vastuhenkilö: Erikoistutkija (FT) Riina Muilu-Mäkelä
riina.muilu-makela@luke.fi
Korkeakoulunkatu 7, Tampere
050-3914044

Muut hankkeeseen osallistuvat tahot ja näiden yhteyshenkilöt:

Tampereen yliopisto (TAU), Johtamisen ja talouden tiedekunta,
Tuotantotalouden yksikkö, Cost Management Center (CMC),
Prof. Teemu Laine, teemu.laine@tuni.fi, 050-3087049

Tampereen yliopisto (TAU), Lääketieteen ja terveysteknologian
tiedekunta, Physiological Measurement Systems and Methods (PMSM),
dos. Jari Viik, jari.viik@tuni.fi, 041-5466780

Hankkeen aloitus ja lopetuspäivämäärä:

1.10.2019 - 31.5.2021

Hanke liittyy seuraavaan haun alateemaan

Rakennuksen tai tuotteiden käyttäjään fysiologisesti ja
psykologisesti vaikuttavat ratkaisut ja mekanismit

Sisällysluettelo

1.	Tiivistelmä	2
2.	Hankkeen tausta ja tavoitteet	3
3.	Hankkeen osapuolet	6
4.	Puun vaikutus ihmiseen testihuoneissa	6
4.1.	Tutkimusasetelma	6
4.1.1.	Psykologiset mittarit	8
4.1.2.	Fysiologiset mittarit	9
4.1.3.	Tilastolliset menetelmät	10
4.1.4.	Sisäympäristön laatutekijät	10
4.2.	Puumateriaalin psykologiset vaikutukset	11
4.3.	Puumateriaalin fysiologiset vaikutukset	14
4.4.	Psykofysiologisten tulosten yhteenveto	15
4.5.	Puun vaikutukset sisäympäristön laatuun	18
5.	Päätösprosessien ymmärrys, media-aineistoanalyysi ja talouslaskelmat	22
5.1.	Puurakentaminen mediakeskusteluissa	22
5.2.	Puurakentamisen esteet ja ajurit julkisessa rakentamisessa	23
5.2.1.	Hankintapäätösten analyysi ja haastattelututkimus	23
5.2.2.	Haastattelujen tulokset	24
5.3.	Materiaalivalinnan taloudellinen merkitys työtiloihin investoivalle työnantajalle	26
5.3.1.	Mieliala- ja tarkkaavaisuusmittareiden tulosten potentiaalinen yhteys tietotyöntekijän tuottavuuteen	26
5.3.2.	Kustannus-hyöty-laskelma	28
6.	Hankkeen vaikuttavuus	33
7.	Viestinnän toteutuminen ja tulokset	34
8.	Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen	34
9.	Talousraportti	35
10.	Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten	35
11.	Johtopäätökset ja yhteenveto	36

1. Tiivistelmä

Wood for Good (W4G) -hankkeen tavoitteena oli vahvistaa puun hyvinvointivaikutusten tuntemusta ja sitä kautta parantaa puumateriaalin kilpailukykyä rakennusmarkkinoilla. Poikkitieteellisen konsortion avulla puumateriaalin vaikutusta ihmiseen ja sisäympäristöön tutkittiin fysiologisilla ja psykologisilla mittauksilla ja sisäympäristön laatumittauksilla. Puunkäytön hyvinvointivaikutusten osuutta julkisessa keskustelussa ja päätöksenteossa selvitettiin media-aineistoanalyysillä ja haastattelututkimuksella. Lopuksi uutta tutkimustietoa käytettiin perustana puun hyvinvointivaikutusten talousvaikutuslaskelmille. W4G-hanke jakaantui kahteen työpakettiin, joita olivat 1. Puumateriaalin vaikutus ihmiseen ja 2. Päätösprosessien ymmärrys ja talouslaskelmat.

Ensimmäisessä työpaketissa toteutettiin empiirinen koeasetelma testihuoneissa, joissa mitattiin puusisustuksen vaikutusta sisäympäristön laatuun ja puumateriaalin psykologisia ja fysiologisia vaikutuksia ihmiseen. Toisen testihuoneen pinnoista 50 % oli puumateriaalia (mäntyä), kontrollihuoneessa ei käytetty lainkaan puuta. Tutkimushenkilöt vierailivat huoneissa kolme kertaa satunnaistetussa järjestyksessä ja tekivät ennalta määrättyjä tehtäviä, joihin sisältyi erilaisia psykologisia mittareita. Huoneissa olon aikana tutkimushenkilöitä mitattiin sydänsähkökäyrää ja ihon sähkönjohtavuutta, joiden avulla arvioitiin autonomisen hermoston käyttäytymistä tehtävien aikana. Tutkimuksen mukaan puu on hyvinvointia tukeva materiaali. Puulla sisustetussa huoneessa lyhyen oleskelun jälkeen negatiiviset tunteet ja ärtyneisyys olivat alemmalla tasolla, kuin kontrollihuoneessa. Lisäksi tutkittavat tekivät lepo hetken jälkeen puuhuoneessa hieman vähemmän virheitä huomiota vaativassa tehtävässä. Toisin kuin alun perin odotettiin, puumateriaalin vaikutus ei kuitenkaan näkynyt fysiologisissa mittauksissa sympaattisen hermoston aktivaation alenemisena eli kehon rentoutumisena. Kontrollihuoneeseen verrattuna puumateriaalilla sisustettu huone koettiin luonnollisemmaksi, kauniimmaksi, mielenkiintoisemmaksi, lämpimämmäksi, runsaammaksi ja hyväntuoksuisemmaksi tilaksi. Sisäympäristön laatumittaukset osoittivat, että puumateriaali alensi kosteudenvaihtelua huoneessa, lisäsi tiettyjen puuperäisten yhdisteiden pitoisuuksia ja vaikutti jälkikaiunta-aikaan.

W4G-hankkeen toisessa työpaketissa puunkäytön merkitystä sisäympäristöissä konkretisoitiin taloudellisilla laskelmilla, jotka perustuivat koeasetelman kautta tunnistettuihin, puumateriaalin henkilötuottavuutta lisääviin potentiaaleihin ominaisuuksiin. Laskelmien lähtökohtana olivat puu- ja kontrollihuoneen varustelun kustannukset ja koeasetelman tulokset. Tutkimustulosten perusteella ei voitu osoittaa suoraan puun käytön tuottavuusvaikutusta. Tulosten perusteella voitiin kuitenkin tehdä realistisia oletuksia tuottavuusparannuksesta ja laskea sellainen tuottavuusparannuksen taso, jolla puumateriaalihankinta tulee kannattavaksi. Työpaketissa toteutettujen, koulurakennushankkeita koskevien haastattelujen mukaan sisäympäristön laatutekijät vaikuttivat olevan yksi merkittävimmistä ajureista myös julkisissa päätöksentekoprosesseissa. Tutkimuksemme mukaan hyvä sisäilmanlaatu on merkittävin syy valita puurakenteinen julkinen rakennus betonisen sijaan. Kuitenkin tietyt rakennustekniset syyt usein johtivat siihen, että kunnissa päädyttiin rakentamaan sekä puusta että betonista. Lisäksi työpaketissa toteutettu media-analyysi vahvisti käsitystä siitä, että puuta pidetään julkisessa keskustelussa terveysvaikutteisena ja ympäristöystävällisenä rakennusmateriaalina.

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Länsimaisissa yhteiskunnissa ihmisten elämä keskittyy entistä enemmän sisätiloihin. Paitsi työnteko, myös iso osa vapaa-ajan toiminnoista tapahtuu nykyään rakennetuissa sisäympäristöissä. Sisätilojen suunnittelulla ja materiaalivalinnoilla onkin suuri merkitys ihmisten päivittäiseen hyvinvointiin. Hyvinvointivaikutusten mittaaminen on monimutkaista ja niiden arviointi vaatii tutkimusta monesta eri näkökulmasta. Tässä työssä toteutimme tutkimuksen, jossa osoitimme puumateriaalin vaikutuksia ihmisen tunnetiloihin, elpymiskokemuksiin ja tarkkaavaisuuteen. Mittasimme sekä psykologisia että fysiologisia suureita, jotka osoittivat, että materiaalivalinnoilla on merkitystä ihmisen hyvinvointiin ja sitä kautta jopa mahdollisesti työstä suoriutumiseen.

Suomi on yksi Euroopan metsäisimmistä valtioista. Kestävä metsätalous ja sitä kautta puun määrän ja viennin lisääminen ovat Suomen biotalouden perusta. Puu on rakennusmateriaalivertailussa yksi parhaita kestävää kehitystä tukevia materiaaleja, sillä puussa hiili on suljetussa kierrossa. Puunkäyttöä rakennusmateriaalina perustellaan puun ekologisilla ja hyvinvointia lisäävillä vaikutuksilla. Tutkimukssamme havainnoitiin media-aineiston avulla julkista keskustelua puunkäytöstä ja haastattelututkimuksella arvioitiin kuntien päätöksentekoprosesseissa toteutuvia esteitä ja ajureita puumateriaalin valikoitumiselle julkisissa rakennushankkeissa. W4G-hankkeen tavoitteena oli ymmärtää puun vaikutuksia ihmisen hyvinvointiin ja sisäympäristön laatuun ja arvottaa niitä talouden keinoin.

Luonnossa oleskelulla tai vaikka luonnon katselemisella on todettu olevan hyvinvointia lisääviä vaikutuksia. Luonnossa mieliala kohenee, suoriutuminen keskittymistä vaativista tehtävistä paranee ja stressitasot alenevat (esim. Hartig ym. 1991; Korpela ym. 2010; Tyrväinen ym. 2014). Myös luontoelementtien, kuten kasvien, viherseinien tai luontokuvien tuominen sisätiloihin parantaa hyvinvointia (esim. Ulrich ym. 1991; Rich 2007; Raanaas ym. 2011). Luonnon terveysvaikutusten tutkimus on lähtenyt liikkeelle ympäristöpsykologisista teorioista kuten tarkkaavuuden elpymisen teoriasta (Attention restoration theory) (Kaplan ja Kaplan 1989) ja stressistä palautumisen teoriasta (Stress recovery theory) (Ulrich 1983). Luontoympäristöillä on näiden teorioiden mukaan elementtejä tai ominaisuuksia, jotka lisäävät hyvinvointia. Puu on luonnon materiaali, jolla voidaan ajatella olevan samanlaisia vaikutuksia hyvinvointiin kuin muillakin luontoelementeillä.

Puumateriaalin vaikutusta ihmisen hyvinvointiin on tutkittu 2000-luvun alusta alkaen (Grote ym. 2003, Muilu-Mäkelä ym. 2014). Tutkimuksissa on käytetty psykologisia ja fysiologisia mittausten menetelmiä, ja ne perustuvat eri aistien kautta välittyvään kokemukseen, kuten esimerkiksi näköaistiin (Sakuragawa ym. 2005) tai tuntoaistiin (Ikei ym. 2017). Kanadalainen David Fell (2010) teki väitöskirjatutkimuksen, jossa hän rasitti koehenkilöitä kahdessa eri huoneessa matemaattisilla tehtävillä, joita seurasi lepovaihe. Ihon sähkönjohtavuuden raportoitiin olevan alemmalla tasolla koivuvanerihiuonekaluilla sisustetussa tilassa verrattuna valkoiseen laminaattiin, mutta sydämen sykevaihtelua mittaavissa parametreissa ei havaittu eroja. Japanilaiset tutkivat puolestaan erilaisten pintakäsittelyjen vaikutusta ihmisen fysiologiaan 90 sekuntia pitkän kosketuksen aikana (Ikei ym. 2017). He havaitsivat, että lasitettu, pianon pintaa muistuttava puupinta nosti sympaattista hermoston aktiivisuutta

(sykevälivaihtelun parametrit ja aivojen happisaturaatio), kun taas käsittelemätön puupinta laski sympaattisen hermoston aktivaatiota (Ikei ym. 2017). Puumateriaalien vaikutusta ihmiseen ei ole kuitenkaan yksiselitteisesti pystytty todentamaan fysiologisilla mittauksilla. Useimmiten tutkimuksissa käytetty koehenkilöiden määrä on liian matala ja/tai testattavien ympäristöjen määrä liian suuri suhteessa koehenkilömäärään, jotta varmoja johtopäätöksiä olisi mahdollista tehdä. Samanlaisia haasteita on ollut uusimmissakin puumateriaalin vaikutusta fysiologiaan havainnoivissa tutkimusasetelmissä (Zhang ym. 2017, Lipovac ym. 2020, Burnard ja Kutnar 2020).

Puumateriaalin psykologisten vaikutusten tutkimisessa ei ole yhtä ristiriitaisia tuloksia. Demattè ym. (2018) tutkivat puun vaikutusta myönteisiin ja kielteisiin tunteisiin PANAS (Positive and Negative Affect Schedule) -kyselypatteristolla. Tutkimushenkilöt (n=102) täyttivät kyselylomakkeen tutkimushuoneissa, joista toisessa oli kuusipanelointi ja kuusilattia, toisessa muita materiaaleja. Molemmissa huoneissa oli samat kalusteet, mm. lasinen ja puinen pöytä. Tutkimuksessa havaittiin, että puuhuoneessa myönteiset tunteet lisääntyivät ja kielteiset tunteet vähenivät. Adjektiivit kirkas, heterogeeninen, terävä, lämmin, pehmeä, vaimentava, tuoksuva, luonnollinen, suojattu, rentouttava, miellyttävä, tuttu ja viihtyisä kuvasivat puuhuonetta paremmin, kuin kontrollihuonetta. Myös toisessa tutkimuksessa (Rice ym. 2006) puumateriaalia kuvattiin luonnolliseksi, pehmeäksi ja lämpimäksi materiaaliksi. Kiinalaisten tutkimuksessa (Zhang ym. 2016) puolestaan verrattiin kolmea erilaista puuhuonetta valkoiseen kontrollihuoneeseen ja havaittiin, että puuta sisältävissä huoneissa tutkimushenkilöillä oli enemmän myönteisiä tunteita ja vähemmän väsymystä verrattuna valkoiseen huoneeseen. Eroja ei kuitenkaan havaittu eri määriä puuta sisältäneiden huoneiden välillä. Jiménez ym. 2016 ovatkin havainneet, että materiaalin valintaan ja ostopäätökseen vaikuttaa käytännölliset ja taloudelliset syyt, mutta puumateriaalin valinnan kohdalla etenkin psykologiset tekijät.

Ympäristön vaikutusta ihmiseen voidaan mitata psykologisilla ja fysiologisilla mittareilla. Psykologiassa on käytössä useita erilaisia validoituja mittareita, joilla voidaan kartoittaa tutkittavien olotiloja, mieltymyksiä, tuntemuksia, stressitasoja, luontosuhdetta jne. Mittarit ovat pitkän tutkimustyön tulosta ja niitä voidaan soveltaa monenlaisissa erilaisissa tutkimusasetelmissä. Esimerkiksi tiedetään, että luonnon elvyttävä vaikutus perustuu myönteisten ajatusten lisääntymiseen ja kielteisten ajatusten vähenemiseen. Luonnossa oleskelu vaikuttaa myös autonomisen hermoston toimintaan. Psykologisilla kyselypatteristoilla voidaan selvittää, miltä ihmisestä tuntuu ja mikä on heidän kokemuksensa kyselyn hetkellä. Fysiologiset mittaukset osoittavat autonomisen hermoston eli tahdosta riippumattoman hermoston toiminnan muutoksia. Psykofysiologia selvittää psykologian ja fysiologian välistä yhteyttä, joka on monimutkainen mutta mielenkiintoinen tutkimuksen kohde.

Autonominen hermosto vaikuttaa moniin elimistön säätelytoimintoihin, kuten sydämen sykkeeseen ja sykevälivaihteluun (engl. heart rate variability, HRV), tiettyjen hormonien eritykseen ja ruuansulatukseen. Autonominen hermosto koostuu sympaattisen ja parasympaattisen hermoston haaroista, jotka säätelevät sisäelinten toimintaa vastakohtaisesti. Sympaattinen hermosto kiihdyttää tiettyjä elimistön toimintoja, kuten sydämen sykettä, ja parasympaattinen hermosto puolestaan rauhoittaa kehoa. Lepotilassa parasympaattisen hermoston aktiivisuus on hallitseva. Sympaattinen hermosto aktivoituu, kun ihminen kokee fyysistä tai psyykkistä kuormitusta. Monenlaiset ympäristön

ärsykkeet ja ympäristötekijät voivat muuttaa sympaattisen ja parasympaattisen hermoston aktiivisuuden tasapainoa (Haug ym. 2009). Parasympaattinen hermosto lisää sykevälivaihtelua ja sympaattinen vähentää sitä (Acharya ym. 2006). Sydänsähkökäyrästä laskettavat sykevälivaihtelua kuvaavat parametrit antavat informaatiota sympaattisen ja parasympaattisen hermoston tasapainotilasta. Ihon sähkönjohtavuus nousee nopeasti sympaattisen hermoston aktivoituessa. Stressaantuneella ihmisellä sympaattinen hermosto on vallalla, jolloin monet parasympaattisen hermoston säätelemät toiminnot, kuten ruuansulatus tai tiettyjen hormonien erityis, hidastuu.

Tässä projektissa kartoitimme psykologisten mittareiden avulla tutkimushenkilöiden myönteisiä ja kielteisiä tunteita, energisyyttä, elpyneisyyttä, ärtyneisyyttä sekä huomiota vaativista tehtävistä suoriutumista kahdessa erilaisessa työhuoneessa. Taustatiedoiksi kartoitimme tutkittavien itsearvioidun stressaantuneisuuden ja luontosuhteen. Sydämen sykevälivaihtelua mittasimme Bittium Faros EKG-mittarilla (Bittium Oy) ja ihon sähkönjohtavuutta Moodmetric-älysormuksella (Vigofere Oy).

Hankkeemme tavoitteena oli myös arvottaa havaittavia puun hyvinvointivaikutuksia talouden keinoin. Tätä tavoitetta varten tarvitsimme tietoa siitä, miten puumateriaaliin rakennusmateriaalina suhtaudutaan ja millainen osuus puun hyvinvointivaikutuksilla on puun valinnassa. Julkinen rakentaminen on merkittävä tekijä, joka voi ohjata yhteiskuntaa kohti hiilineutraalisuustavoitteita (esim. Francart ym. 2019). Halusimme selvittää julkista päätöksentekoprosessia ja löytää sieltä esteet ja ajurit puumateriaalivalinnoille. Teimme haastattelututkimuksen viiteen eri kuntaan, joissa oli hiljattain tehty päätös uuden koulun rakentamisesta. Selvitimme prosessin, jolla koulujen rakennusmateriaali tuli valituksi. Tämän lisäksi tutkittiin uutismateriaalia, joka liittyy puurakentamiseen. Sekä tämä media-aineisto että haastattelututkimus toivat tärkeää tietoa siitä, millainen puun imago on tällä hetkellä ja millainen vaikutus puumateriaalin hyvinvointivaikutuksilla on julkisessa päätöksenteossa nyt ja miten voimme vaikuttaa siihen tulevaisuudessa. Selvää on, että tutkittua tietoa tarvitaan, jotta päästään eroon pelkästään uskomuksien varassa toimimisesta ja hyvinvointiargumenteille on perusteltua tieteellistä näyttöä. Siihen tämä työ tuo lisänäyttöä.

Lopuksi teimme muutamia periaatteellisia laskelmia, millainen taloudellinen merkitys hyvinvointia parantavilla ratkaisuilla voisi olla esimerkiksi työtiloissa. Jos työympäristöllä on vaikutus tunteisiin ja se vähentää ärtyneisyyttä, sillä voi olla myös vaikutusta työstä suoriutumiseen. Työstä suoriutumiselle on mahdollista laskea rahassa mitattava arvo keskimääräisen bruttokansantuotteen perusteella määriteltävän yhden henkilön tuottavuuden lisäyksen kautta. Hankkeemme perusteella haluaisimmekin lisätä kohdennettua tutkimusta siitä, miten työskentely-ympäristöjen suunnittelu ja materiaalivalinnat vaikuttavat erilaisissa työnteon esimerkitapauksissa hyvinvointiin ja tuloksellisuuteen. Tällöin taloudellisen investoinnin kannattavuus voitaisiin laskea tarkemmin (todellisiin tuotoksiin ja niiden muutoksiin perustuen). Suunnitteluun, esteettisyyteen ja kestäviin materiaaleihin panostaminen tukee koko yhteiskunnan hyvinvointia.

3. Hankkeen osapuolet

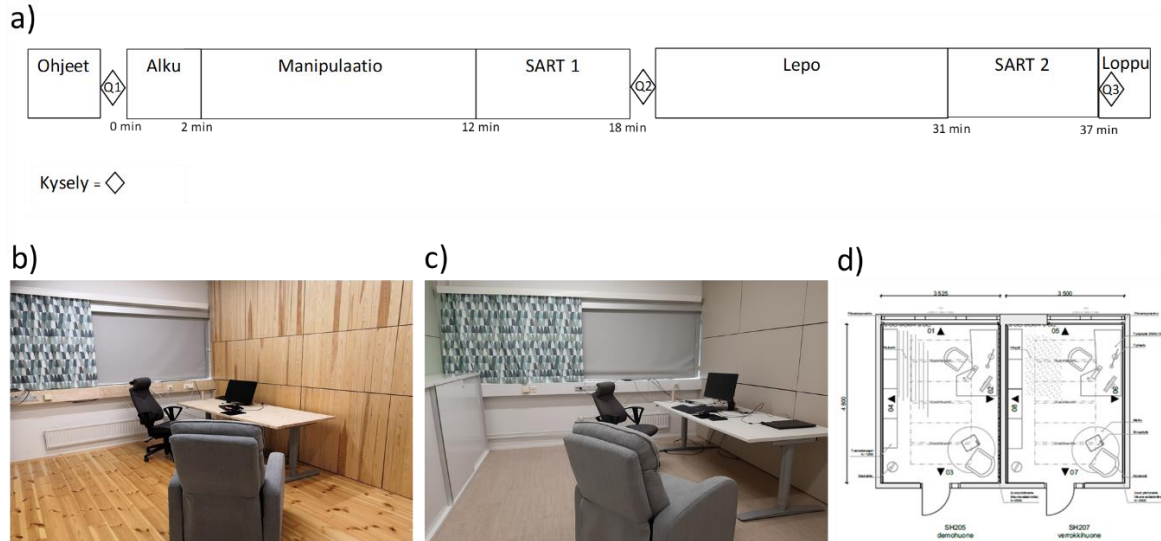
Hanke jakaantui kahteen työpakettiin, joista työpaketissa 1 toteutettiin kokeellinen psykofysiologinen tutkimus kahdessa testihuoneessa. Työpaketin 1 toteuttajia olivat Lukesta hankkeen johtaja **Riina Muilu-Mäkelä**, ympäristöpsykologi **Ann Ojala**, joka suunnitteli psykologiset mittaukset. Tutkija **Joel Kostensalo** ja erikoistutkija **Mika Kurkilahti** toteuttivat tilastolliset analysoinnit ja tutkimusta edeltäneet voimakkuuslaskelmat. Laboratorioinsinööri **Hanna Leppälampi** toimi teknisenä avustajana koeasetelman toteutuksessa. TAU:n dosentti **Jari Viikin** ryhmä toteutti fysiologiset mittaukset ja aineiston analyysit. Opiskelijat **Hanna Matilainen**, **Ida Wik** ja **Linda Virtanen** toteuttivat tutkimuksessa vaaditut mittaukset ja analysoivat tallennetut sykeväli- ja ihon sähkönjohtavuusaineiston.

Työpaketin 2 toteuttajia olivat TAU:n professori **Teemu Laineen** CMC-ryhmä ja tarkemmin tutkijat **Natalia Saukkonen**, **Deborah Kuperstein Blasco** ja **Tuomas Korhonen**. Lukesta työpakettiin 2 osallistui yksi tutkija. Työpaketissa 2 toteutettiin haastatteluaineiston keruu kuntien päätöksentekoprosesseista ja liitettiin työpaketit 1 ja 2 yhteen siten, että työpaketissa 1 havaittujen puumateriaalin hyvinvointivaikutusten vaikuttavuutta arvioitiin talouden keinoin. Puurakentamiseen liittyvä media-analyysi toteutettiin TAU:n Hallintotieteen yksikön tutkijan **Paula Rossin** avustuksella.

4. Puun vaikutus ihmiseen testihuoneissa

4.1. Tutkimusasetelma

Tutkimusasetelma toteutettiin kahdessa tutkimusta varten sisustetussa 17m² toimistihuoneessa, jotka sijaitsivat Luken Tampereen asiakasyhteistyöpaikassa TAU:n Hervannan kampuksella (Kuva 1). Puuhuoneen pinnoista 50 % oli puumateriaalia. Lattia oli Parlan lakattu mäntyparkettila ja yksi seinä paneloitiin käsittelemättömällä mäntypaneelilla, jonka valmisti Parkanon listatehdas. Kontrollihuoneessa käytettiin lattiamateriaalina vinyylikorkkilattiaa ja seinässä oli murretuilla värisävyillä maalattu kipsilevypanelointi. Molemmat huoneet suunniteltiin harmonisiksi kokonaisuuksiksi ja pyrittiin siihen, että ainoa ero huoneiden välillä oli pintamateriaali. Molempien huoneiden yksi seinä oli vaaleanvihreä kipsilevyillä paneloitu seinä. Puuhuoneessa pöytälevy oli liimapuuta ja mäntyä. Kontrollihuoneessa käytettiin valkoista laminaattilevyä pöytämateriaalina. Puuhuoneessa oli katossa puuviilinen kattopaneeli ja verrokkihuoneessa maalattu laminaattilevy.



Kuva 1 a) Testisarja, b) puuhuone, c) kontrollihuone ja d) huoneiden pohjapiirustukset.

Kahdessa Luken koeasetelmaa varten rakentamassa tutkimushuoneessa toteutettiin noin. 45 min koesarja, joka koostui erilaisista toiminnallisista vaiheista (Kuva 1 a). Tutkimushenkilöt valittiin satunnaisesti yliopiston käytäviltä. Tutkittavat eivät tiedäneet, että tarkoituksena oli tutkia puumateriaalin vaikutusta ihmiseen. Heille kerrottiin, että tutkimme työympäristöjen vaikutusta työntekoon. He eivät tiedäneet kuinka monta erilaista ympäristöä kokeessa oli tai millaisia erilaisia ympäristön muuttujia kokeessa käytettiin. Tutkittavat vierailivat tutkimushuoneissa kolmesti. Käynnit satunnaistettiin kahden tutkimuskäynnin jaksoissa (lohkoittainen satunnaistus) niin, että puolet tutkittavista kävivät puuhuoneessa kaksi kertaa ja kontrollihuoneessa kerran, puolet päinvastoin. Tutkimuskäyntien välillä oli vähintään yksi viikko. Kokeen aikana oli testihuoneessa yksi ihminen kerrallaan ja yksi tutkija seurasi kokeen etenemistä. Tutkimushuoneessa pyydettiin tutkimushenkilöä välttämään puhumista ja pitämään lepojakson aikana silmiä auki. Tutkimushuoneessa tutkimuksen alussa tutkittaville kiinnitettiin fysiologiset mittarit ja heidät ohjeistettiin tutkimusta varten. Tutkimusasetelmassa täytettiin kolme kertaa kyselykaavake tietokoneella, mistä ensimmäinen täytettiin heti ohjeistuksen jälkeen. Ensimmäistä kyselykaavaketta seurasi tasaantumisvaihe, jolloin tutkimushenkilö istui rauhassa koneen ääressä tekemättä ja puhumatta mitään. Rauhallisen istumisjakson tarkoitus oli tasoittaa elimistön fysiologista toimintaa. Tasaantumisvaihetta seurasi manipulaatiovaihe, jossa tutkittavat tekivät huomiota ja ajattelua vaativia lasku- ja lukutehtäviä. Manipulaatiovaiheen tarkoitus oli aiheuttaa kaikille tutkimushenkilöille kognitiivista väsymystä ja nostaa stressitasoa. Manipulaation jälkeen tutkittavat tekivät ensimmäisen kerran tarkkaavaisuutta mittaavan tehtävän, täyttivät toisen kyselykaavakkeen ja siirtyivät sen jälkeen lepotuoliin. Lepojakson aikana tuoli oli suunnattu niin, että katse kohdentui seinälle. Levon jälkeen tarkkaavaisuutta mittaava tehtävä toistettiin ja tutkittavat täyttivät kolmannen lomakkeen. Viimeisen tutkimuskäynnin jälkeen tutkittavilta kysyttiin lisäksi heidän kokemuksiaan puusta materiaalina. Tutkimusta varten kehitettiin tietokonesovellus, jonka avulla testisarja toteutettiin ja aineisto tallennettiin ja hallinnoitiin. Tutkimusjakson aikana tutkimushenkilöt täyttivät taustatietolomakkeen heille sopivana ajankohtana.

Ennen kokeen alkua Tampereen yliopistollisen sairaalan eettinen toimikunta antoi tutkimuksesta myönteisen lausunnon ja tekemämme tutkimus noudattaa Helsingin sopimusta.

Tutkimukseen osallistui 61 tutkimushenkilöä, 31 naista ja 30 miestä. Ikä vaihteli 19- 42 vuoden välillä ja keski-ikä oli 24 vuotta. Pääosin tutkimushenkilöt olivat opiskelijoita (84 %) ja opiskelivat automaatio-, bio-, energia-, kone-, materiaali-, rakennus-, tieto- tai ympäristötekniikkaa, kasvatustiedettä, hallintotiedettä tai tietojohdantamista. Tutkimushenkilöt arvioivat olevansa melko hyvässä kunnossa ja elämänlaatu arvioitiin keskimäärin myös melko hyväksi. Kaikki tutkimushenkilöt olivat perusterveitä ja tupakattomia, heidän painoindeksinsä oli keskimäärin 24 (normaali). Tutkittavista 90 % oli yksin eläviä, lapsettomia ja tamperelaisia. Heistä 65 % asui kivitalossa ja kerrostalossa.

4.1.1. Psykologiset mittarit

Tutkimuksen taustatietolomakkeessa kerättiin tietoa tutkimushenkilöiden yleisestä terveydestä, elintavoista, työ- tai opiskelutilanteesta, asuinpaikasta, yleisestä stressitasosta, luontosuhteesta, sekä suhteesta puumateriaaliin (harrastukset, työ yms.). Jokaisella tutkimuskäynnillä tutkittavat täyttivät lomakkeita juuri tämänhetkisestä olo- ja tunnetilasta. Vasta viimeisen tutkimuskerran jälkeen kysyttiin lisäkysymyksiä puuaiheista. Tutkimuksessa käytettävät psykologiset toistomittarit olivat elpymistä mittaava ROS (Restoration Outcome Scale, Korpela ym 2008), energisyyttä kuvaava SVS (Subjective Vitality Scale (Ryan ja Frederick, 1997), tunnetiloja mittaava PANAS (Positive and Negative Affect Schedule, Watson ja Clark, 1988) ja ärtyneisyyttä mittaava STAI-6 (Spielberger 1989; Marteau ja Bekker, 1992). Tutkittava vastasi ROS-, SVS- ja PANAS-mittareiden väittämiin 7-portaisella Likert-asteikolla (1-ei lainkaan – 7-täysin). ROS-mittarissa vastataan kuuteen erilaiseen väittämään, joista kolme kuvaa nykyhetken elpymistä ja rauhallisuutta (tunnen oloni rauhalliseksi), yksi kuvaa tarkkavaisuuden elpymistä (tunnen oloni hyvin keskittymiskykyiseksi ja valppaaksi) ja kaksi ajatusten selkenemistä (pystyn unohtamaan arkipäivän huolet ja murheet). SVS-mittarissa vastataan neljään erilaiseen väittämään (olen reipas ja minulla on energiaa ja intoa). PANAS-mittarissa vastataan kymmeneen erilaisiin myönteisiin tunteisiin (kiinnostunut, inspiroitunut, tarkkaavainen) ja kymmeneen kielteisiin tunteisiin (hermostunut, jännittynyt, stressaantunut). STAI-6-mittarilla vastattiin asteikolla 1 (ei kuvaa lainkaan) – 4 (kuvaa erittäin hyvin) ärtyneisyyttä ja ahdistuneisuutta kuvaaville väittämille (esim. oloni on kireä). Samoja mittareita on käytetty aikaisemmissa luonnon ja virtuaaliluonnon vaikuttavuutta mittaavissa tutkimuksissa (esim. Tyrväinen ym. 2014, Ojala ym. 2019a, 2019b, Simkin ym. 2020). Tutkimuksessa käytettyjä mittareita yhdistettiin summamuuttujiksi, joita käytettiin jatkoanalyysissä, PANAS-mittarista muodostettiin kaksi summamuuttujaa, joista yksi kuvaa myönteisiä ja toinen kielteisiä tunteita. Jokaisen tutkimuskäynnin jälkeen pyydettiin tutkimushenkilöitä vastaamaan 7-portaisella asteikolla kuinka hyvin adjektiiviparit kuvasivat huonetta (miellyttävä-epämiellyttävä, turvallinen-turvaton, mielenkiintoinen-tylsä (Osgood 1956, Rice ym. 2006, Demattè ym. 2018). Tutkimushenkilöiden keskittymiskykyä ja huomiota mitattiin kokeen aikana kahdesti SART-tehtävällä (Robertson ym. 1997). SART-tehtävässä seurataan ruudulle ilmestyviä toistuvia ärsykeitä (numeroita yhdestä yhdeksään) ja painetaan välilyöntinäppäintä aina numeron kohdalla, paitsi jos numero on 3. Kolmosen kohdalla piti jättää reagoimatta. Tehtävän aikana tietokoneohjelma tallensi reaktioajan ja oikeat ja väärät painallukset, joista määritettiin SART-tehtävän onnistumisen taso.

4.1.2. Fysiologiset mittarit

Sykevälivaihtelu tarkoittaa sydämen lyöntivälin vaihtelua millisekunneina mitattuna. Sykevälit voidaan määrittää esimerkiksi sydänsähkökäyrästä. Sydänsähkökäyrästä tunnistetaan ns. R-piikit, jotka edustavat sydänlihaksen supistumista. Peräkkäisten R-piikkien välejä kutsutaan RR- tai NN-intervalleiksi. Mitä aktiivisempi elimistö on, sitä tasaisempaa on sykevälien vaihtelu. Sykevälivaihtelu vähenee, kun sympaattinen hermostonosa tulee vallitsevaksi.

Sykevälivaihtelua voidaan tarkastella aikatasossa, taajuustasoon muunnettuna tai ei-lineaarisilla menetelmillä. Tässä tutkimuksessa käytettiin aikatazon parametreja SDNN (NN-intervallien keskihajonta) ja RMSSD (peräkkäisten NN-intervallien neliöjuuren erotus), jotka ilmaisevat kuinka paljon hajontaa lyöntiväleissä ilmenee (Shaffer ja Ginsberg 2017). Myös keskisykettä tarkasteltiin.

Taajuustasoanalyysissa aikatasossa määritetty sykevälidata muutetaan Fourier-muunnoksella taajuustasoon, jossa sykevälivaihtelua tarkastellaan ennalta määrätyissä taajuuskaistoissa. Korkeataajuus (engl. high frequency, HF) vastaa nopeita heilahteluita ja parasympaattisen hermoston aktiivisuutta ja matalataajuus (engl. low frequency, LF) vastaa hitaita heilahteluita ja sympaattisen hermoston aktiivisuutta. Teho (engl. power) taajuuskaistoilla kertoo autonomisen hermoston haarojen aktiivisuudesta ja LF/HF-suhde niiden välisestä tasapainosta. (Shaffer ja Ginsberg 2017, Ernst 2017) Tutkimuksessa tarkasteltiin HF- [normalisoitu yksikkö, n.u.], LF- [normalisoitu yksikkö, n.u.], ja LF/HF-suhde parametreja.

Jokaisella käyntikerralla sydänsähkökäyrää mitattiin Bittium Faros -laitteella. EKG-mittari kiinnitettiin tutkittaville heti testihuoneeseen siirtymisen jälkeen ja irrotettiin kokeen loputtua. Mittausta varten 3 kertakäyttöistä elektrodia kiinnitettiin puhdistetulle iholle, molempien solisluiden alle ja vasempaan kylkeen. Elektrodit liitettiin johdoilla Faros-laitteeseen. Sykevälivaihteluanalyysi tehtiin Kubios HRV -ohjelmistolla, joka laskee sydänsähkökäyrästä kymmeniä eri sykevälivaihteluparametreja käyttäjän määrittämille aikaväleille.



Kuva 2. Tutkimuksessa mitattiin sykevariaatiota Bittium FAROS EKG-laitteella ja ihonsähköjohtavuutta Moodmetric-älysoveluksella (Vigofere Oy).

Etenkin kognitiivisesta kuormituksesta johtuva sympaattisen hermoston reaktio aktivoi ihon pienet endokriiniset hikirauhaset, joita on tiheästi erityisesti kämmenpohjan ja sormien kämmenpuolen ihossa. Muutos ihon sähkönjohtavuudessa on hyvin nopea reaktio. Ihon pinnalla olevan hien määrän muutos voidaan mitata sähkönjohtavuuden muutoksena siihen kehitetyllä anturilla (Posada-Quintero ja Chon 2020). Tässä tutkimuksessa ihon sähkönjohtavuutta mitattiin Moodmetric-älysormuksella.

Vigofere Oy:n kehittämä Moodmetric-älysormus mittaa käyttäjän kuormitustasoa ihon sähkönjohtavuuden avulla. Moodmetric:n algoritmi antaa "MM"-arvon 0–100 välillä. Mitä suurempi luku on, sen kuormittuneempi käyttäjä on. Mitatuista arvoista muodostuu 1 minuutin keskiarvoja, jotka siirretään älypuhelin yhteydellä Moodmetric:n palvelimelle analysoitavaksi. Tutkittavat käyttivät älysormusta kahden viikon ajan. Älysormus annettiin tutkittaville ensimmäisellä käyntikerralla ja palautettiin viimeisen, eli kolmannen käyntikerran jälkeen. Kahden viikon ajalta älysormuksella mitattiin tutkimushenkilön keskimääräinen fysiologinen stressitaso. Tutkimustamme varten kehitetyllä kännykkäsovelluksella tallennettiin tutkimusvierailujen aikana älysormuksen tekemät todelliset mittausravot. Kännykkäsovellus mahdollisti huomattavasti yksityiskohtaisemman mittaustiedon keräämisen (kolme arvoa yhden sekunnin ajalta). Yhteistyöstä tarkemmin Moodmetric-blogissa <https://moodmetric.com/fi/puomateriaalit-hyvinvointi/>.

4.1.3. Tilastolliset menetelmät

Psykologisen ja fysiologisen aineiston tilastollinen analysointi perustui Bayes-lähestymistapaan (Gelman ym. 2013). Mallissa oli selittäjinä käyntikerta, hiilidioksiditaso, ikä, sukupuoli, painoindeksi, luontosuhde ja itsearvioitu päivän stressitaso. Kaikissa sovitetuissa malleissa oli lisäksi normaalijakautunut satunnaistekijä tutkimushenkilölle. Lisäksi psykologisissa ja fysiologisissa vasteissa oli mukana henkilön käyntikertakohtainen satunnaistekijä. SART-tehtävän muuttujille mallien sovitukset ei onnistunut, jos molemmat satunnaistekijät olivat mukana mallissa. Tulosten herkkyyden tarkistamiseksi mallit sovitettiin myös ilman kovariaatteja. SART-tehtävästä laskettu keskiarvo, käänteinen tehokkuus ja keskihajonta sekä fysiologiset muuttujat RMSSD, SDNN ja LF/HF oletettiin log-normaalijakautuneiksi, SART-tehtävän virheiden määrä Poisson-jakautuneeksi (lukumäärävaste) ja muut vasteet normaalijakautuneiksi. Bayes-mallien posteriorijakaumien simulointi tehtiin JAGS:lla (Plummer 2003). Sovituksiin käytettiin viittä Markovin ketjua 200 000 iteraatiolla 50 000 iteraation lämmittelyjaksolla. Ketjujen konvergenssi tarkistettiin graafisesti ja teholliset otoskoot olivat yleisesti ottaen kaikille parametreille 5 000 tai suurempia.

Adjektiivien analysointiin käytettiin parametrittomia menetelmiä. Erojen testaamiseen käytettiin permutaatiotestiä ja luottamusvälien laskemiseen parametritonta bootstrap-menetelmää (Efron ja Tibshirani, 1986). Kaikki tilastolliset analyysit toteutettiin R-ohjelmistolla (R Core Team 2013).

4.1.4 Sisäympäristön laatutekijät

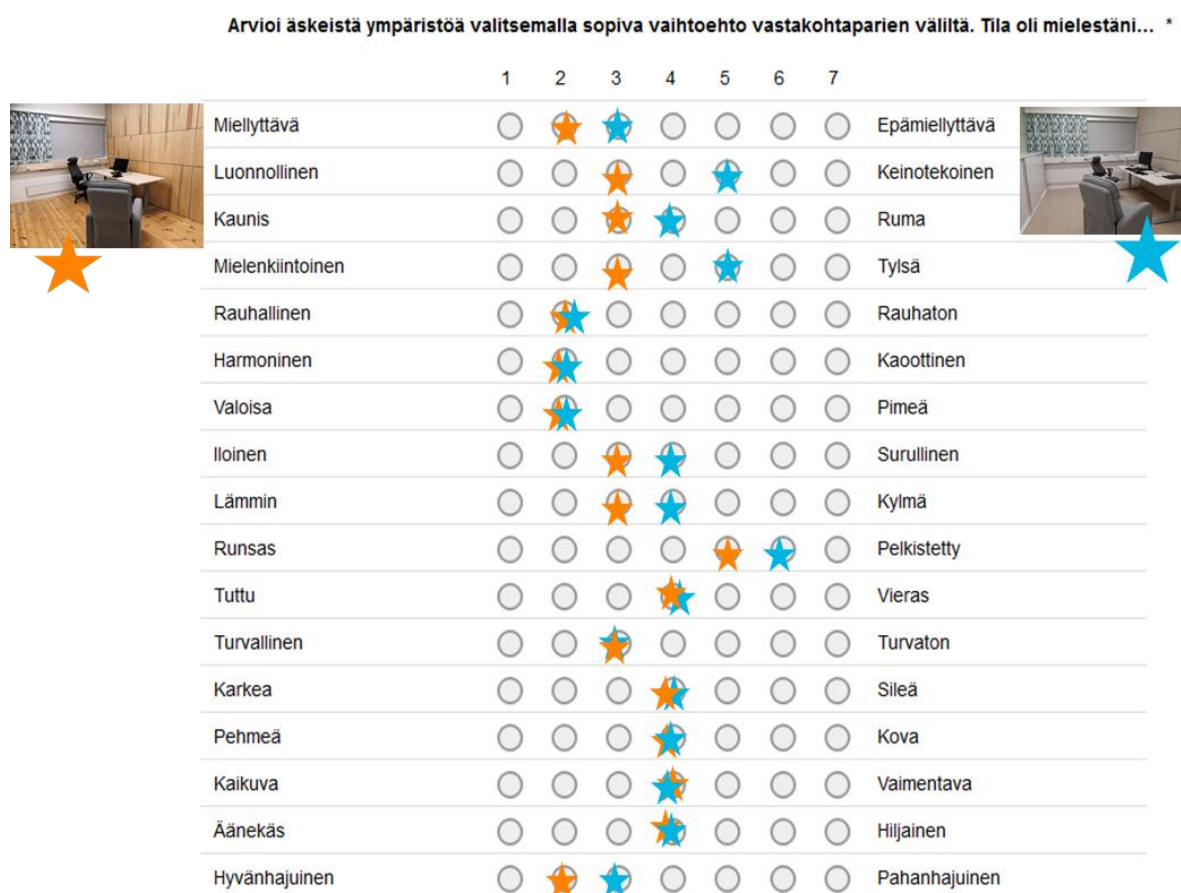
Huoneiden sisäympäristön laatua mitattiin jatkuvana mittauksena Netatmo-sääasemamittareilla, jotka tallensivat lämpötilan, ilmanpaineen, desibelit, ilmankosteuden ja hiilidioksiditasot. Polku Innovations Oy tuotti tutkimuksemme palvelun, jolla pystyimme visualisoimaan olosuhteita mobiilisovelluksen avulla kokeiden aikana.

Lisäksi huoneista tehtiin akustiikkamittaukset A-insinöörit Oy:n toimesta tilaustutkimuksena. Jälkikaiunta-ajan T-mittauksissa äänilähteenä käytettiin kaiutinta, joka tuottaa vaaleanpunaista kohinaa. Mittaustilassa mitattiin jälkikaiunta-aika katkaistun kohinan menetelmällä standardin 3382-2 mukaan 125–4000 Hz taajuusalueella. Kummassakin toimistohuoneessa suoritettiin kaksi mittausta, toinen mittaus oktaavikaistoittain ja toinen terssikaistoittain. Taustäänitaso mitattiin tilan keskellä 1,5 metrin korkeudelta. Mittauksen kesto oli 1 minuutti. Mittauksessa rekisteröitiin A-painotettu keskiäänitaso LAeq,T. Mittauksessa käytettiin Fast-aikavakiota.

Huoneiden haihtuvat yhdisteet kerättiin ilmanäytepumpulla Tenax TA -absorptioputkiin ja analysoitiin ISO 16000 -standardimenetelmän mukaisesti kaasukromatografimassaspektrometrilla yhteistyössä Thünen Institutin (Hampuri, Saksa) kanssa. Yhdisteitä kerättiin huoneista neljänä eri ajankohtana. Yhdisteet jaoteltiin tyypillisiin puumateriaalista haihtuviin yhdisteisiin ja muihin yhdisteisiin.

4.2. Puumateriaalin psykologiset vaikutukset

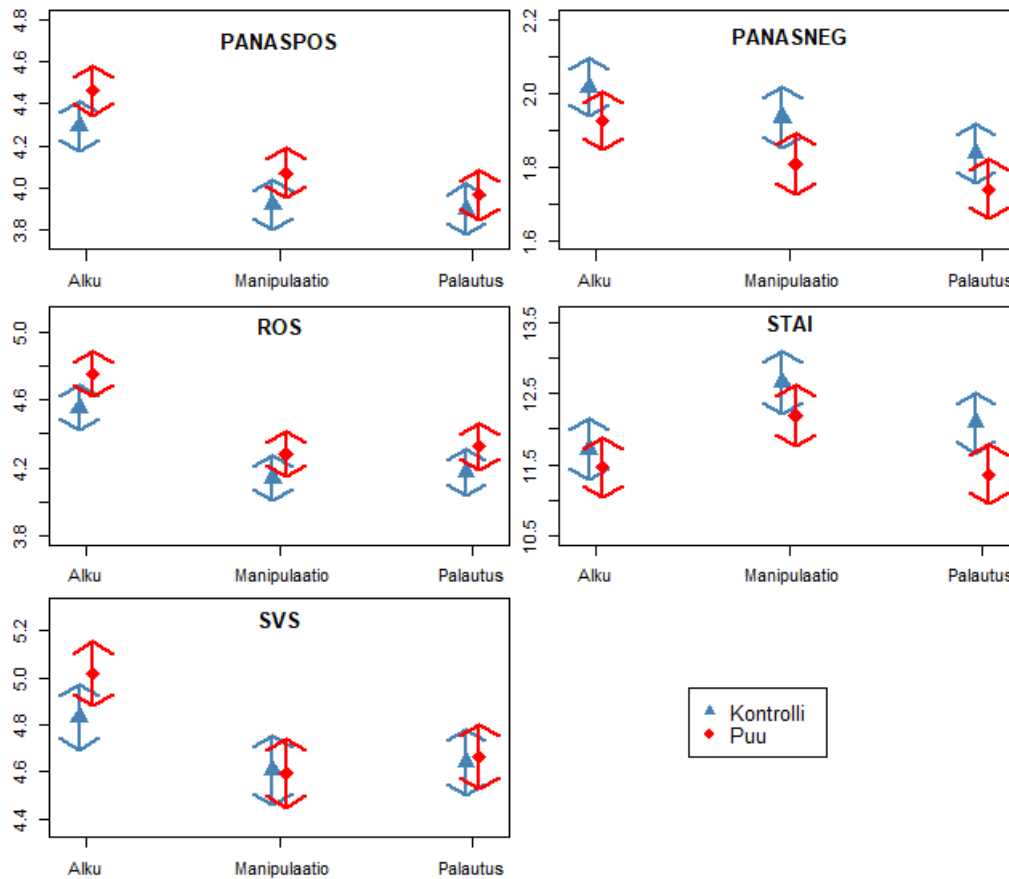
Vastakohtaisilla adjektiivipareilla selvitettiin, miten kokemus puu- ja kontrollihuoneesta erosivat toisistaan tutkimushenkilöiden arvion mukaan. Tulokset osoittivat, että tilojen suunnittelu oli onnistunut ja molemmat tilat koettiin miellyttävinä. Tutkimushenkilöt eivät kokeneet eroa huoneiden välillä adjektiivipareissa: rauhallinen-rauhaton, harmoninen-sekava, valoisa-hämärä, tuttu-vieras, turvallinen-turvaton, sileä-karkea, pehmeä-kova, kaikuva-vaimentava, äänekäs-hiljainen. Sen sijaan puuhuone arvioitiin kontrollihuonetta miellyttävämmäksi, luonnollisemmaksi, kauniimmaksi, iloisemmaksi, mielenkiintoisemmaksi, runsaammaksi, lämpimämmäksi ja hyväntuoksuisemmaksi (Kuva 3). Kysymykseen, arvioi, kuinka tyytyväinen olit tilan lämpötilaan, ilmanlaatuun, valaistukseen, ääniin ja tuoksuun, tutkittavat vastasivat seitsemänasteikollisella arvioinnilla ja keskiarvot vaihtelivat välillä 5.7–4.5 molemmissa huoneissa. Arvio näihin sisäympäristön laatua kuvaaviin väittämiin ei eronnut huoneiden välillä. Kuitenkin puuympäristö arvioitiin yleisesti hieman miellyttävämmäksi kuin kontrollihuone. Tulosten perusteella puumateriaali loi toimistotilaan tunnelman, joka koettiin myönteisenä ja luonnollisena.



Kuva 3. Tutkimushenkilöt arvioivat seitsemänportaisella asteikolla, miten adjektiiviparit kuvasivat kyseisiä tiloja. Adjektiivit miellyttävä, luonnollinen, kaunis, mielenkiintoinen, iloinen, lämmin, runsas ja hyvänhajuinen kuvasivat puuhuonetta (oranssit tähdet) paremmin, kuin kontrollihuonetta (siniset tähdet).

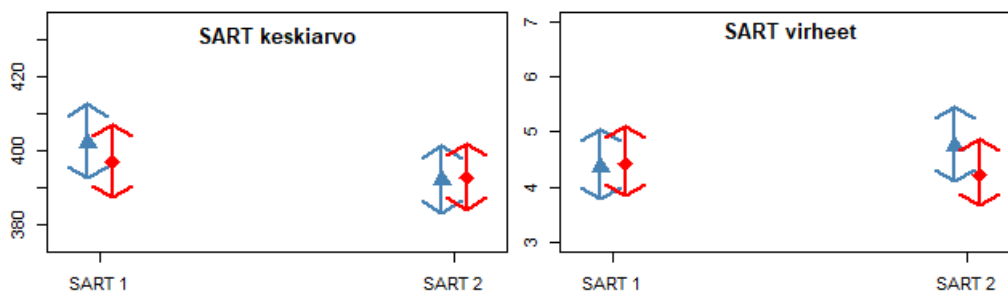
Miellyttävän ympäristön vaikutus näkyi myös myönteisten ja kielteisten tunteiden mittarissa (PANAS) (Kuva 4, taulukko 1). Puuhuoneessa myönteisiä tunteita oli enemmän ja kielteisiä tunteita vähemmän verrattuna kontrollihuoneeseen heti testisarjan alussa. Myönteisten tunteiden summamuuttujan (PANASPOS) tulos oli 90 % todennäköisyydellä yhden asteen korkeampi puuhuoneessa verrattuna kontrolliin testin alussa. Ero kuitenkin tasaantui testin edetessä. Kielteisten tunteiden määrä (PANASNEG) sen sijaan oli 95 % todennäköisyydellä korkeammalla tasolla kontrollihuoneessa koko testisarjan ajan (Taulukko 1). Toinen mittari, jossa puumateriaalin vaikutus näkyi tilastollisesti merkitsevästi, oli ärtyneisyyden ja ahdistuneisuuden mittari (STAI-6). Ärtyneisyydessä ei havaittu eroja testisarjan alussa huoneiden välillä. Tehtäväsarja nosti ärtyneisyyttä molemmissa huoneissa, mutta testisarjan lopussa ärtyneisyys oli yli 97,5 % todennäköisyydellä kontrollihuoneessa korkeammalla tasolla verrattuna puuhuoneeseen. Elpyneisyyttä mittaava ROS oli 95 % todennäköisyydellä korkeammalla puuhuoneessa testin alussa ja jälleen testin lopussa (>92 % todennäköisyys). Energisyysmittari oli korkeammalla tasolla (>95 % todennäköisyys) heti testin alussa, mutta ei enää myöhemmin testin aikana.

Toisin sanoen testisarjan alussa, ennen tasaantumisvaihetta tutkimushenkilöiden myönteiset tunteet (PANASPOS), elpyneisyys (ROS) ja energisyyden tuntemukset (SVS) olivat korkeammalla tasolla puuhuoneessa verrattuna kontrolliin (Kuva 4.). Erot tasaantuivat testisarjan edetessä. Kuitenkin kielteisiä tunteita (PANASNEG) oli puuhuoneessa vähemmän koko testisarjan ajan ja ärtyneisyys oli alemmalla tasolla puuhuoneessa kokeen lopussa.



Kuva 4. Puuhuoneen (punaisella) ja kontrollihuoneen (sinisellä) vaikutukset tuntemuksia (PANASPOS ja PANASNEG), elpyneisyyttä (ROS), ärtyneisyyttä (STAI-6) ja energisyyttä (SVS) kuvaaviin mittareihin. Negatiiviset tuntemukset ja ärtyneisyys olivat alemmalla tasolla puuhuoneessa, verrattuna kontrollihuoneeseen. Kuvassa on esitetty muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat.

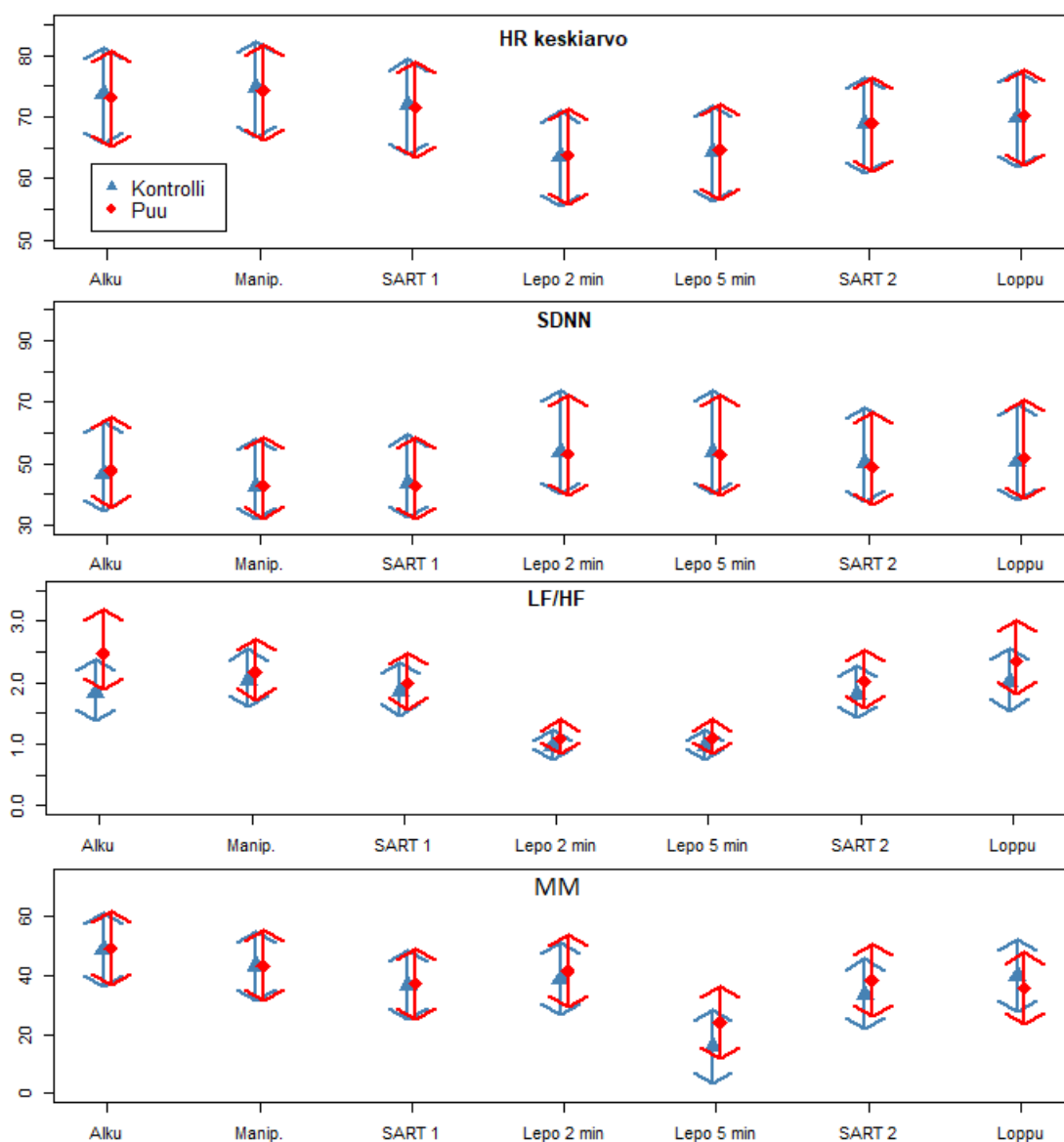
Ensimmäinen tarkkaavaisuutta mittaava SART-tehtävä tehtiin heti manipulaatiovaiheen jälkeen (SART1). Siinä ei havaittu eroja testihuoneiden välillä (Kuva 5). Toinen SART-tehtävä tehtiin heti lepovaiheen jälkeen ja siinä havaittiin, että virheitä tehtiin vähemmän (SART2). Virheellisten painallusten määrä puuhuoneessa oli 93 % todennäköisyydellä 0.1 virhettä vähemmän levon jälkeen. Reaktioajat (SART keskiarvo) eivät eronneet SART-tehtävien aikana huoneiden välillä.



Kuva 5. Tarkkaavaisuustehtävässä (SART) ei havaittu eroja manipulaation jälkeen, ennen lepovaihetta tehdyssä testissä (SART1) reaktioajoissa (vasemmalla, SART keskiarvo) tai virheellisissä painalluksissa (oikealla), mutta levon jälkeen (SART2) virheiden määrä puuhuoneessa (punainen) oli matalampi, kuin kontrollihuoneessa (sininen). Kuvissa on esitetty muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat.

4.3. Puumateriaalin fysiologiset vaikutukset

Sydämen syke ja sykevälivaihtelu reagoivat testisarjan eri vaiheisiin odotetusti. Syke oli korkeimmillaan manipulaation aikana ja alimmillaan lepovaiheessa molemmissa tutkimushuoneissa (Kuva 6). Kokeessa ei havaittu testihuoneiden välillä eroa sydämen sykkeessä tai sykevälivaihtelussa. Sen sijaan sykevälivaihtelun taajuustason parametrit LF, HF ja LF/HF suhde osoittivat sympaattisen hermoston olevan aktiivisempi puuhuoneessa aivan kokeen alussa (tasaantuminen(=Alku)) ja lopussa (SART2 ja Loppu) (Taulukko 1). Ihon sähkönjohtavuus oli myös korkeammalla tasolla puuhuoneessa levon lopussa (kuva 6 ja Taulukko 1).



Kuva 6. Testisarjan erilaiset aktiivisuusvaiheet näkyivät sykevälivaihtelusta mitatuissa suureissa (HR mean, SDNN, LF/HF) ja ihon sähkönjohtavuudessa (MM) niin, että sympaattinen hermosto oli aktiivisempi manipulaation aikana ja parasympaattinen levon aikana. Huoneiden välillä havaittiin eroja taajuustason muuttujissa LF/HF ja ihon sähkönjohtavuudessa MM. Kuvissa on esitetty muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat.

4.4. Psykofysiologisten tulosten yhteenveto

Luonnon hyvinvointivaikutusten tutkimuksissa luonnon elvyttävä vaikutus näkyy autonomisen hermoston sympaattisen ja parasympaattisen hermostonosan aktiivisuuden muutoksena niin, että parasympaattinen hermostonosa tulee vallitsevaksi (esim. Tsunetsugu ym. 2007, Park ym. 2010, Lanki ym. 2017). Psykologisena muutoksena ihminen kokee luonnossa rauhoittumista, ajatuksien selkenemistä ja myönteisiä vaikutuksia mielialaan (esim. Tsunetsugu ym. 2007, Tyrväinen ym. 2014, Pasanen ym. 2018, Ojala ym. 2019b). Puumateriaalilla on raportoitu vaikutuksia ihmisen psykologisiin

ja fysiologisiin suureisiin niin, että puumateriaalin vaikutukset olisivat samasuuntaisia luonnon elvyttävien vaikutusten kanssa (esim. Ikei ym. 2017, Zhang ym. 2016 ja 2017, Demattè ym. 2018, Burnard ja Kutnar 2020). Riittävän suurella otoskoolalla toistomittauksena ja oikeissa tutkimusympäristöissä tehdyt tutkimukset ovat kuitenkin vielä vähäisiä ja tarkkaa ymmärrystä puumateriaalin merkityksestä ihmisen hyvinvoinnille ei aikaisempien tutkimusten perusteella täysin tunneta.

Tässä tutkimuksessa psykologisissa mittareissa havaitut erot myönteisissä ja kielteisissä tunteissa ja elpyneisyys- ja ärtyneisyysmittarissa tukevat ajatusta siitä, että puuhuoneessa puumateriaalin kokemus oli myönteinen. Puuhuoneessa autonomisen hermoston sympaattinen osa oli hieman aktiivisempi puuhuoneessa testisarjan alussa ja lopussa, mikä näkyi taajuustason muuttujissa LF, HF ja LF/HF. Kun ihminen on tarkkaavainen, hän on keskittyneempi ja silloin autonomisen hermoston sympaattinen osa on vallitsevampi, kuin parasympaattinen osa. Kehon vireystila on korkeammalla. Puumateriaalin katseleminen ja kokeminen mahdollisesti lisäsi ajattelua ja ainakin herätti myönteisiä tuntemuksia, mikä näkyi kehossa vireytenä. Fysiologisissa muuttujissa ei havaittu eroa testisarjan manipulaatio- ja SART1-vaiheen aikana huoneiden välillä. Fysiologiset ja psykologiset erot näkyivät erityisesti silloin, kun tutkimushenkilö ei ollut keskittynyt työn tekemiseen ja pystyi havainnoimaan ympäristöä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Yhteenveto psykologisten mittareiden ja fysiologisten muuttujien eroista puuhuoneessa verrattuna kontrollihuoneeseen testisarjan eri vaiheissa. Väriasteikko kertoo todennäköisyyden, jolla ero muuttujassa havaittiin tietyssä kokeen vaiheessa.

Mittari	Lomake1	Alku	Manip	SART1	Lomake2	Lepo2	Lepo5	SART2	Loppu: lomake3
Aika		2min	10min	6min		2min	5min	6min	3min
Psykologiset	PANASPOS+								
	PANASNEG-				PANASNEG-				PANASNEG-
					STAI-6-				STAI-6-
	ROS+				ROS+				ROS+
	SVS+								
								SART	
								virheet -	
Fysiologiset		HF-	HF-			HF-	HF-	HF-	HF-
		LF+	LF+			LF+	LF+	LF+	LF+
		LF/HF+				LF/HF+	LF/HF+	LF/HF+	LF/HF+
							MM+	MM+	

Asteikko: havaitun eron todennäköisyys

91 %-92 %

92 %-95 %

95 %-97,5 %

97.5 %-100 %

Muuttujan arvo

- = puuhuoneessa matalampi kuin kontrollihuoneessa

+ = puuhuoneessa korkeampi kuin kontrollihuoneessa

Tarkkaavaisuustehtävässä havaittiin pieni ero tehtyjen virheiden määrässä (0.1 virhettä) puuhuoneen hyväksi SART2-tehtävän aikana. Jokin tekijä puuhuoneessa nosti kehon fysiologista vireyttä niin, että mahdollisesti tutkimushenkilöiden oli helpompi toteuttaa tarkkaavaisuutta mittaava SART2-tehtävä puuhuoneessa levon jälkeen. Kontrollihuoneessa tutkimushenkilöiden fysiologia saavutti keskimäärin rentoutuneemman tilan ja hermoston toiminta oli enemmän kallistuneena parasympaattiselle puolelle levon (lepo5) aikana, mikä näkyi HRV parametreissa (LF, HF, LF/HF) ja ihon sähkönjohtavuudessa (MM) (Taulukko 1). SART1- ja SART2-tehtävissä yleisesti havaittiin ero, niin että manipulaation jälkeen tehty SART1 onnistui paremmin kuin levon jälkeen tehty SART2-tehtävä. Mitä syvempi kehon rentoutuminen on, sitä vaikeampi on siirtyä uudestaan kognitiivisia kykyjä vaativaan tehtävään.

Tässä tutkimuksessa ihon sähkönjohtavuus oli korkeammalla tasolla puuhuoneessa levossa. Samoin sydämen sykkeen taajuustason parametrit osoittivat, että kehon aktiivisuuden taso, eli sympaattinen hermostonosa oli aktiivisempi puuhuoneessa levon aikana ja lepovaiheen jälkeen verrattuna kontrollihuoneeseen. Aikaisemmissa tutkimuksissa Grote ym. 2003 ovat raportoineet HRV-parametrien muutosta parasympaattiseen puoleen puusisusteisessa huoneessa. Muissa tutkimuksissa HRV-parametrit eivät ole osoittaneet muutosta puulla sisustetun huoneen ja kontrollihuoneen välillä (Fell 2010, Zhang ym.2017, Tsunetzugu ym. 2004, Lipovac ym. 2020, Burnard ja Kutnar 2020). Oikeastaan ainoastaan yksi tutkimus on osoittanut ihon sähkönjohtavuuden olleen alemmalla tasolla puuhuonekaluilla sisustetussa huoneessa (Fell 2010). Fellin (2010) tutkimuksessa oli yli 100 tutkittavaa, mutta tutkimus on saanut kritiikkiä siitä, että ympäristön muut tekijät oli jätetty huomioimatta ja myös satunnaistamisessa oli ongelmia (Lipovac ja Burnard 2020). Fellin (2010) tutkimuksessa HRV-parametrit eivät muuttuneet puuhuonekalujen tai huoneeseen tuotujen viherkasvien vaikutuksesta.

Sen sijaan tutkimukset, jotka ovat havainnoineet puumateriaalin psykologisia vaikutuksia ovat osoittaneet samansuuntaisia tuloksia meidän tutkimuksemme kanssa. Puumateriaali koetaan useiden tutkimusten perusteella luonnolliseksi materiaaliksi, joka herättää myönteisiä tunteita (Demattè ym. 2018, Zhang ym. 2016). Puumateriaalia pidettiin luonnollisena, lämpimänä, miellyttävänä, heterogeenisena, pehmeänä ja rentouttavana myös muissa tutkimuksissa (Poirier ym. 2019, Demattè ym. 2018, Rice ym. 2006).

Lipovac ym. (2020) tutkivat pöytämateriaalien vaikutusta autonomisen hermoston toimintaan, miellyttävyyden tunteisiin ja kognitiiviseen suoriutumiseen. Heillä oli tutkimuksessaan kymmenen erilaista pöytäpintaa, mm. puuta, käsiteltyä puuta, eri puumateriaaleja ja verrokkimateriaaleja. Tutkimukseen osallistui 16 vapaaehtoista, jotka toistivat testin jokaisen pöydän ääressä eri päivinä. Koeasetelmassa oli kuitenkin liian monta vertailuasetelmaa suhteessa tutkittavien määrään, jotta eroja olisi mahdollista havaita tilastollisesti pätevästi. Lopulta, odotetusti pöytämateriaalit eivät vaikuttaneet ihmiseen niin, että eroja olisi havaittu tutkituissa suureissa.

Burnard ja Kutnar (2020) mittasivat puumateriaalin vaikutusta stressihormonin (kortisoli) tasoihin. Sympaattisen hermoston aktivaatio lisää kortisolin erittymistä kehossa. Kortisolitasot kuitenkin vaihtelevat paljon vuorokausirytmien mukaan ja siinä on suurta yksilöiden sisäistä ja välistä vaihtelua.

Kortisolitasoja seuraamalla on mahdollista kuvata kehon stressitasoja, mutta puumateriaali ei ole riittävä stimulus aiheuttamaan muutoksia ihmisen kortisolitasoissa ainakaan lyhyen aikavälin mittauksissa (Burnard ja Kutnar 2020). Kun sympaattinen hermosto aktivoituu, kortisolin erityös alkaa, ja stressiä aiheuttavissa tilanteissa kortisolimäärät nousevat. Meidän tutkimuksemme osoittaa, että sympaattisen hermoston aktiivisuus ennemminkin lisääntyi, kuin laski kokeen aikana puuhuoneessa lyhytaikaisessa tutkimuksessa. Puumateriaalissa jokin herätti tuntemuksia, psykologisten mittareiden mukaan myönteisiä tuntemuksia, mikä näkyi kehon viireytinä ja sympaattisen hermoston hieman korkeampana aktiivisuutena. Puulla sisustettu huone arvioitiin mielenkiintoisemmaksi, mikä on ehkä aktivoinut ajattelua lepovaiheen aikana ja pitänyt sympaattisen hermoston aktiivisuutta korkeammalla kontrollihuoneeseen verrattuna. Tutkimushenkilöt olivat nuoria, eivätkä kokeneet itseään erityisen stressaantuneiksi. Stressaantuneita ja/tai vanhempia henkilöitä tutkittaessa tulokset voisivat olla erilaiset.

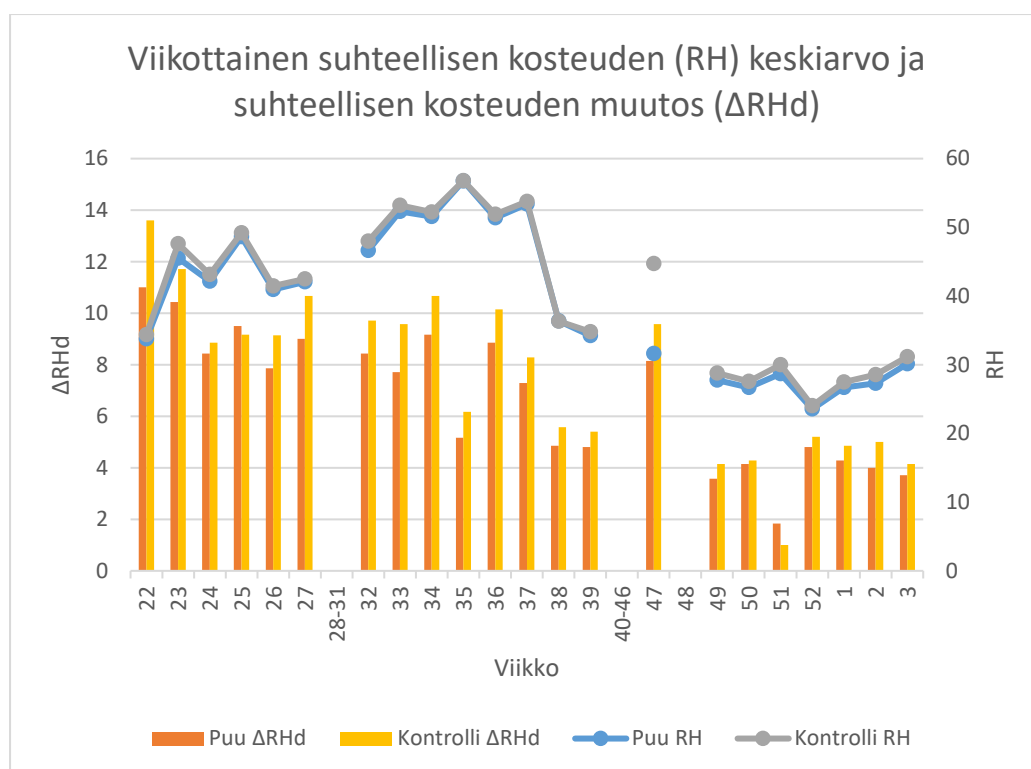
Zhang ym. (2016, 2017) ja Shen ym. (2020) ovat julkaisseet kolme tutkimusta yhdestä koeasetelmasta, jossa 20 koehenkilöä vieraili neljässä erilaisessa huoneessa. Heidän tutkimusasetelmassaan on yhteneväisyyksiä meidän tutkimuksen tavoitteiden kanssa. Yksi heidän tutkimushuoneistaan oli maalattu valkoiseksi eikä sisältänyt puumateriaaleja. Kolme muuta huonetta sisälsivät 100 % tummaa puuta, 100 % vaaleaa puuta tai 50 % vaaleaa puuta. Tutkimus kesti 70min ja kaikki 20 tutkittavaa vierailivat jokaisessa huoneessa, jolloin testikertojen lukumäärä oli yhteensä 80. Puuta sisältävissä huoneissa havaittiin enemmän myönteisiä tunteita ja vähemmän väsymystä verrattuna valkoiseen huoneeseen. Eroja ei havaittu puuta sisältäneiden huoneiden välillä (Zhang ym. 2016). Tutkimuksen aikana mitattiin tutkimushenkilöiden sykeväliä, ihon lämpötilaa, verenpainetta, happisaturaatiota, ihon sähkönjohtavuutta ja lähinäkökykyä eli silmien väsymistä (Zhang ym. 2017). Joissain parametreissa raportoitiin eroja, mutta yksiselitteistä fysiologista vaikutusta tutkimuksessa ei havaittu. Samassa tutkimuksessa tutkittiin puun vaikutusta erilaisilla kognitiivisilla suorituksilla mittaavilla testeillä, kuten Stroopin testillä (Shen ym. 2020). Tutkijoiden mielestä puu voitiin yhdistää parempaan tarkkaavaisuuden tasoon ja tuottavuuteen (Shen ym. 2020). Tulos on samansuuntainen meidän tutkimuksemme kanssa. Kyseinen tutkimusasetelma ei kuitenkaan herätä täyttä luottamusta, koska tutkimustiloista ei ole kunnon kuvia ja neljän erilaisen kohteen erojen mittaaminen 20 koehenkilöllä aiheuttaa epävarmuutta tilastollisiin analyysiin.

4.5. Puun vaikutukset sisäympäristön laatuun

Puumateriaali vaikuttaa sisäympäristön laatuun. Tuoreesta puusta haihtuu orgaanisia yhdisteitä, jotka tuoksuivat tilassa (Muilu-Mäkelä ym. 2021). Puu on hygroskooppinen materiaali, joka sitoo ja vapauttaa kosteutta ja sillä on vaikutusta sisäilman kosteudenvaihteluun (Nore ym. 2017). Lisäksi puulla on akustisia ominaisuuksia, joita hyödyntämällä voidaan vaikuttaa tilojen akustiikkaan. Mittasimme, miten puumateriaali vaikutti huoneiden kosteudenvaihteluun, akustiikkaan ja haihtuviin yhdisteisiin tutkimushuoneissa.

Huoneista mitattiin jatkuvana mittauksena noin yhdeksän kuukauden ajan suhteellista kosteutta (Kuva 7). Huoneet olivat pääsääntöisesti tyhjiään satunnaisia päiviä lukuun ottamatta. Huoneiden kosteus vaihteli ulkoilman kosteuden mukaan ja kesällä huoneiden suhteellinen kosteus oli korkeampi (25-65 %), kuin talvikuukausina (12-40 %). Puuhuoneessa suhteellisen kosteuden vaihtelu oli

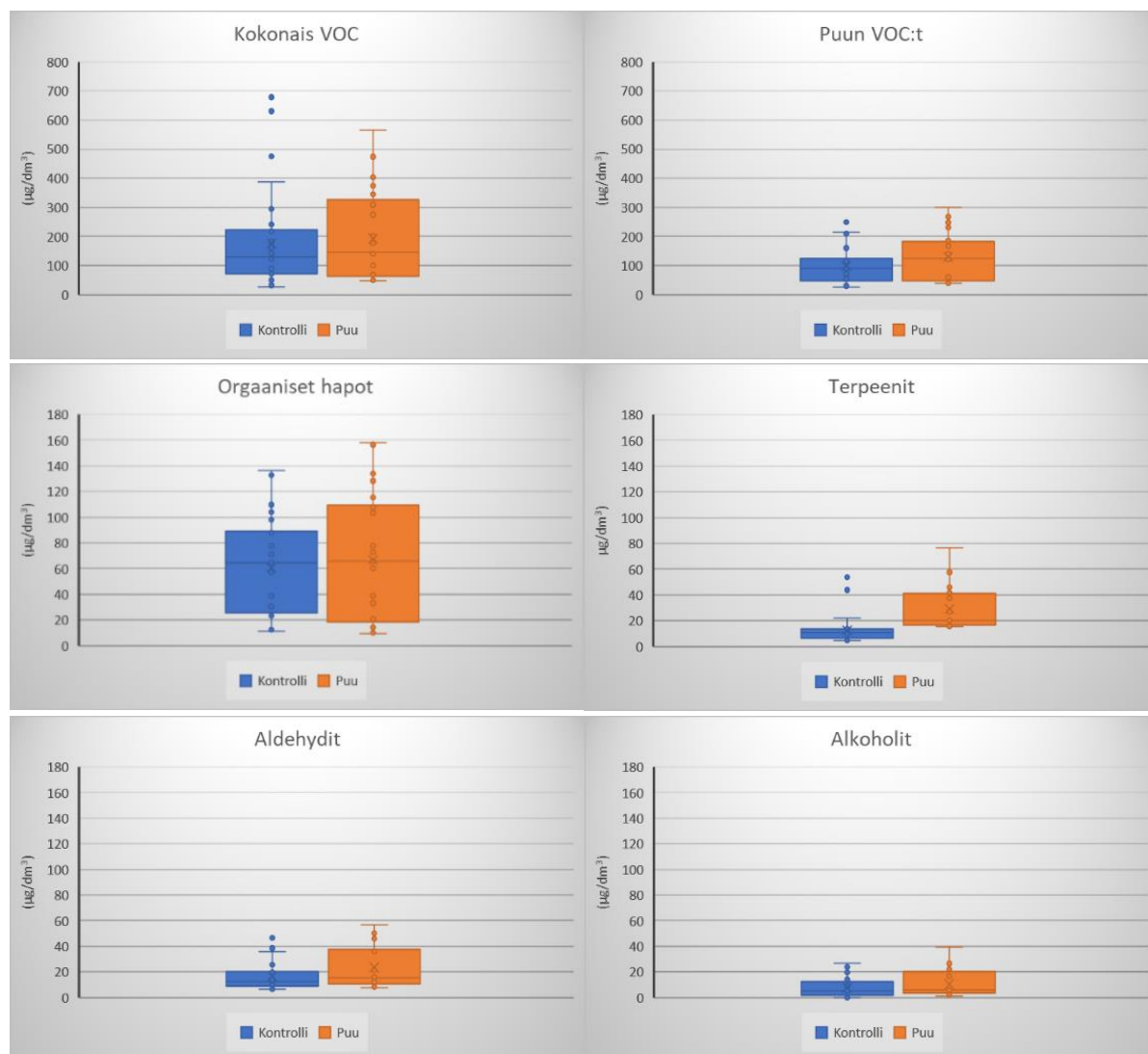
vähäisempää, kuin kontrollihuoneessa. Hygroskooppinen materiaali sitoo ja vapauttaa kosteutta, jolloin huoneilman kosteustason vaihtelu alenee. Ero huoneiden välillä oli selvän kesä- ja syyskuukausina, kun ulkoilman kosteus vaihtelee paljon ja keskimääräinen kosteus on korkeampi verrattuna kylmiin kuukausiin. Talvella ja keväällä materiaali ei vaikuttanut yhtä selvästi kosteuden vaihteluun huoneissa. Kosteampaan ajanjaksona puuhuoneen kosteudenvaihtelu oli 1.4 %-0.7 % alemmalla tasolla kuin kontrollihuoneessa. Kosteuden tasaantuminen vaikuttaa lämpötilan kokemiseen ja energiaan, joka tarvitaan lämmitykseen, viilentämiseen ja ilmanvaihtoon (Osanyintola ja Simonson 2006). Tutkimuksen aikana kysimme tutkimushenkilöiltä arvauksen tilan lämpötilasta. Laskimme mitatun lämpötilan ja arvatun lämpötilan erotuksen molemmissa huoneissa ja testasimme eroavatko ne tilastollisesti toisistaan huoneiden välillä. Lämpötilan kokemisessa ei havaittu eroa huoneiden välillä. Kosteudensitomismuutosten merkitys mahdollisesti korostuu esimerkiksi massiivipuisissa rakenteissa.



Kuva 7. Puuhuoneessa (oranssit pylväät) suhteellisen ilmakesteyden muutos oli vähäisempää verrattuna kontrollihuoneeseen (keltaiset pylväät), mikä johtuu ainakin osittain puun kosteudensitomiskyvystä. Puuhuoneen (sininen) ja kontrollihuoneen (harmaa) viikoittaiset ilmakesteyden keskiarvot vaihtelivat 25-59 % välillä vuodenajan mukaan.

Tutkimushuoneista mitattiin puun haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) neljänä eri ajankohtana useamman otoksen toistomittauksena. Kuvassa (Kuva 8) on esitetty haihtuvien yhdisteiden pitoisuuksien keskiarvot ja hajonnat ryhmiteltynä erilaisiin puun yhdisteisiin, kuten aldehydit, alkoholit, orgaaniset hapot ja terpeenit. Lisäksi on kuvattu huoneista mitatut kokonais VOC määrät ja puulle tyypillisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet. Puuhuoneessa puusta haihtuvien yhdisteiden pitoisuus oli korkeammalla tasolla kuin kontrollihuoneessa, mutta puun yhdisteitä havaittiin

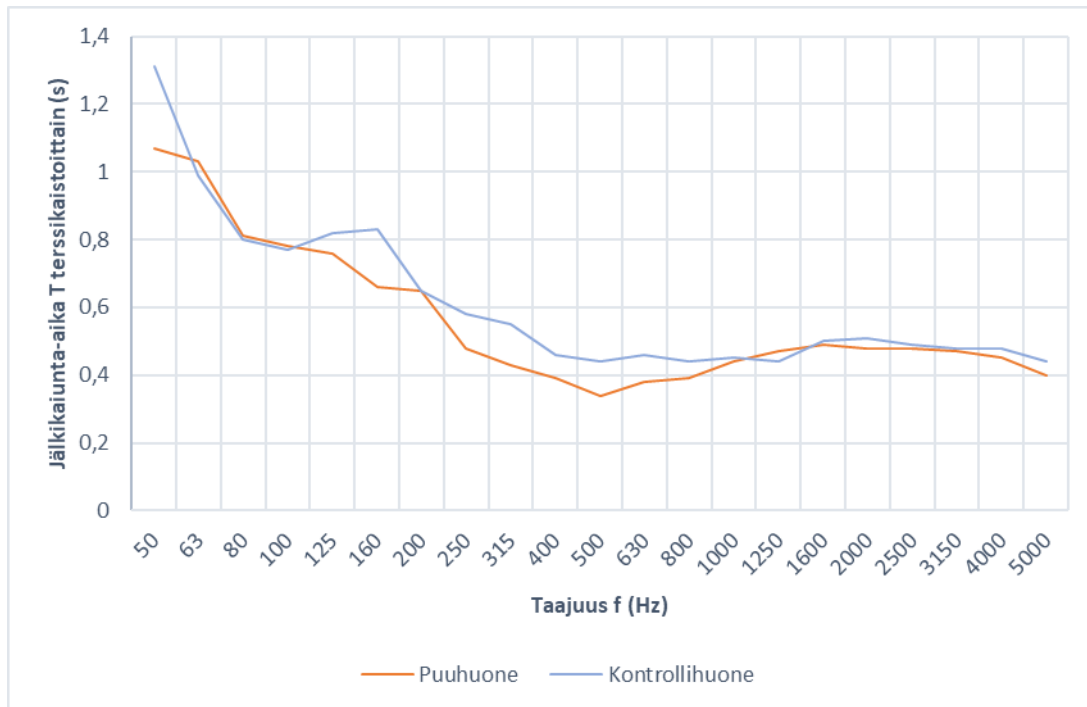
molemmista huoneista. Terpeenit ja erityisesti alfafineenin määrä olivat korkeammalla tasolla puuhuoneessa. Samoin aldehydejä, kuten heksanaldehydiä mitattiin enemmän puuhuoneesta kuin kontrollihuoneesta. Aldehydit ja alkoholit olivat alhaisella tasolla ja melko samanlaiset molemmissa huoneissa. Puun yhdisteet olivat alhaisella tasolla molemmissa huoneissa. Kuitenkin muutama kymmenen mikrogrammaa litrassa ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) olleet pitoisuuserot huoneiden välillä olivat aistittavia, mikä näkyy myös tämän tutkimuksen kyselyaineiston tuloksista (Kuva 3). Puuhuone arvioitiin paremman hajuiseksi ja puun tuoksusta pidettiin puuhuoneessa.



Kuva 8. Puun haihtuvista yhdisteistä terpeenit ja aldehydit olivat hieman korkeammalla puuhuoneessa kuin kontrollihuoneessa. Yhdisteitä tuli molempiin huoneisiin myös tilojen ulkopuolelta ja puun yhdisteitä mitattiin myös kontrollihuoneesta.

Puumateriaali vaikutti jonkin verran huoneiden akustisiin ominaisuuksiin (Kuva 9). Huoneista mitattiin materiaalien vaikutus jälkikaiunta-aikaan 50-5000 Hz taajuuksilla terssikaistoittain. Jälkikaiunta-aika on aika äänilähteen sammumisesta hetkeen, jolloin äänenpainetaso on vaimentunut 60dB.

Molemmissa huoneissa jälkikaiunta-aika oli toimistohuoneille suositelluissa rajoissa (Kylliäinen ja Hongisto 2019).



Kuva 9. Puu- ja kontrollihuoneen erot jälkikaiunta-ajoissa terssikaistoittain mitattuna. Selvin ero n. 0.1s havaittiin 500Hz taajuusalueella. Jälkikaiunta-aika oli pienempi puuhuoneessa.

Puuhuoneessa jälkikaiunta-aika 500Hz taajuudella oli noin 0.1 s pienempi kuin kontrollihuoneessa. Taajuusalueella 250-1000 Hz havaittu jälkikaiunta-aikojen ero voi selittyä osin tilojen lattiamateriaalin eroilla. Parketti ja parketin alusmateriaali-rakenteella on tavanomaisesti rakenteen ominaistaajuus n. 500 Hz alueella (Peng ym. 2018). Ominaistaajuuden alueella rakenne absorboi ääntä tehokkaasti. Vinyylipinnoitteella ei ole samanlaista äänenabsorptiokykyä. Mittaustulosten ero voi selittyä osin myös seinien paneeliverhousten erolla. Puuverhous koostuu erillisistä yhteen naulatuista laudoista, jolloin sen värähtelykäyttäytyminen eroaa yhteisestä kipsilevypaneelistä. Materiaalien vertailu edellyttäisi pintamateriaalien absorptiosuhteiden määrittämistä laboratorio-olosuhteissa tai materiaalien värähtelykäyttäytymisen mallintamista. Alle 100 Hz taajuuksilla jälkikaiunta-ajan mittaustuloksiin liittyy merkittävää epävarmuutta koska äänikenttä on epädiffuusi, eivätkä huoneiden väliset mittaustulosten erot todennäköisimmin selity pintamateriaalien eroilla alle 100Hz taajuuksilla. Molempien huoneiden taustäänitaso oli 30 LAeq,T, joka on toimistohuoneille suositellulla taustäänitasolla (Kylliäinen ja Hongisto 2019). Ääniaistimuksissa ei havaittu eroja adjektiiviparikyselyssä, jossa adjektiiviparit hiljainen-äänekäs ja kaikuva-vaimentava kuvasivat kuuloaistin kautta välittyvää kokemusta testihuoneista (Kuva 3).

5. Päätösprosessien ymmärrys, media-aineistoanalyysi ja talouslaskelmat

5.1. Puurakentaminen mediakeskusteluissa

W4G-hankkeessa koimme tärkeäksi tutkia puurakentamista julkisen keskustelun näkökulmasta. Media-aineistoon tutustuminen oli tärkeää siksi, että ymmärrettäisiin minkälaista puurakentamiseen liittyvää tietoa julkinen keskustelu välittää. Uutisaineisto on mahdollisesti vaikuttamassa yksityisen sektorin toimijoiden taustalla. Uutisaineisto muokkaa ihmisten mielikuvia ja sitä kautta medialla on vaikutusta myös rakennusmateriaalien valintapäätöksiin rakennushankkeissa. Analyysin avulla saimme myös näkemyksen siitä, miten puurakentamiseen suhtaudutaan julkisessa keskustelussa ja millainen imago puumateriaalilla vaikuttaa keskusteluissa tällä hetkellä olevan. Aineistomme koostui Aamulehdessä aikavälillä 1.1.2015–19.3.2020 julkaistuista kirjoituksista, jotka löydettiin systemaattisen hakusanalausekkeen perusteella. Media-analyysin tulokset on julkaistu tieteellisessä julkaisusarjassa Focus Localis otsikolla ”Puurakentaminen kunnissa–julkinen keskustelu päätöksentekoa ohjaamassa”.

Media-analyysin avulla saatiin selville, että puumateriaaliin liittyy paljon myönteisiä mielikuvia. Puurakentamista koskevat näkökulmat voitiin jakaa teemoihin: kunnan vetovoimaisuus, taloudelliset vaikutukset puurakentamisesta, puun hyvinvointivaikutukset ja puumateriaali kestävän kehityksen osatekijänä. Nämä teemat tulivat esille, kun selvitimme media-aineistosta puurakentamiseen liittyviä arvoja, uskomuksia, käytäntöjä, odotuksia ja tavoitteita.

Näistä teemoista voidaan nostaa esille seuraavat asiat:

Vetovoimaisuus: puurakentamisen avulla kunnat voivat erottautua toisistaan ja viestiä edelläkävijyyttä sekä vastuullisuutta; kaavoituksen avulla voidaan ohjata puurakentamista.

Taloudelliset vaikutukset: julkisten rakennushankkeiden avulla olisi mahdollista kasvattaa puurakentamiseen liittyvää kansallista osaamista; puurakentaminen voi tukea paikallista työllistävyyttä.

Hyvinvointivaikutukset: puu on terveellinen, kotimainen ja puhdas materiaali; sisäilmaongelmat ovat yleisiä kunnissa ja puurakentamisen uskotaan olevan tähän ratkaisu; hyvinvointi ja terveellinen rakentaminen voidaan ottaa kuntatason tavoitteiksi.

Kestävä kehitys: puu edistää hiilineutraalisuutta ja sillä on positiivisia ilmastovaikutuksia; politiikkaohjelmilla (kuten kuntastrategioilla) voidaan edistää ympäristöystävällistä kuntapäätöksenteossa; puurakentamista voidaan lisätä ottamalla ympäristövaikutusten arviointi osaksi julkista hankintaa.

Kaikkiaan voidaan tulkita, että medialla on myönteinen vaikutus puurakentamisen houkuttelevuuteen. Lähdeaineiston valinta vaikutti luonnollisesti media-analyysin tuloksiin. Laajalevikkisen sanomalehden aineisto auttoi pääsemään kiinni julkiseen keskusteluun yleisesti ja tämän tutkimuksen kannalta tarkoituksenmukaisesti, verrattuna esimerkiksi kapea-alaisempaan ammattilehtiaineistoon.

5.2. Puurakentamisen esteet ja ajurit julkisessa rakentamisessa

5.2.1 Hankintapäätösten analyysi ja haastattelututkimus

Media-analyysin lisäksi työpaketissa 2 tutkittiin puumateriaalien valintaan vaikuttavia tekijöitä julkisissa hankintapäätöksissä. Tarkoituksena oli selvittää keskeisimmät tekijät, jotka estävät tai tukevat puumateriaalin valintaa julkisissa hankintaprosesseissa. Tarkoituksena oli selvittää päätöksenteon prosessit, joihin on mahdollista vaikuttaa, kun puumateriaalien hyvinvointivaikutukset tunnetaan paremmin. Valitsimme tutkimukseen viisi hiljattain tehtyä puukoulun hankintapäätöstä (Taulukko 2), ja haastattelimme päätökseen osallistuneita keskeisiä viranhaltijajohdajia. Keskeisiä materiaalienvalintaan vaikuttaneita tahoja oli tyypillisesti 5-7 haastateltavaa kussakin hankintapäätöksessä. Haastatteluaineiston tukena käytettiin myös muuta puukoulujen hankintapäätöksiin liittyvää dokumentaatiota, kuten uutisia, kuntien kotisivuja ja EU:n dokumentoimaa tarjousportaalia (EU Tenders Electronic Daily TED).

Taulukko 2: Tutkitut puukoulun valintaan johtaneet hankintapäätökset.

	Koulu 1	Koulu 2	Koulu 3	Koulu 4	Koulu 5
Kunta	Pieni	Keskisuuri	Pieni	Pieni	Pieni
Kunnalla on puurakentamisen strategia	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Hankintamenettely	Avoin menettely	Avoin menettely	Kilpailullinen neuvottelu-menettely	Kilpailullinen neuvottelu-menettely	Kilpailullinen neuvottelu-menettely
Hankintakriteerit	Alhaisin hinta	Kokonaistaloudellisesti edullisin	Kokonaistaloudellisesti edullisin	Hinta-laatu	Hinta-laatu
Puun käytön vaatimukset spesifioitu tarjouspyynnössä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Puun käyttö rakennuskohteessa	Pääosin CLT, puinen julkisivu	Betonirunko, puinen julkisivu	Betonirunko, puinen julkisivu	Betonirunko, puuelementit	Pääosin hirsi
Kerrostien määrä	Kaksi	Kolme	Kaksi	Kaksi	Kaksi
Käyttöönottovuosi	2022	2021	2021	2019	2017

Tarkastelimme kutakin puukoulun valintaan johtanutta hankintapäätöstä prosessina. Prosessin eri vaiheissa oli kriittisiä tapahtumia ja vaiheita, jotka johtivat puumateriaalin valintaan. Viranhaltijat kuvasivat meille näitä tapahtumia ja vaiheita retrospektiivisissä haastatteluissa. Menetelmävalintamme nojaa haastateltavan kykyyn muistaa hankintaprosessin aikaisia keskusteluita ja tapahtumia sekä kykyyn tunnistaa keskeisiä puumateriaalin valintaan vaikuttaneita tekijöitä. Asetelman vahvuutena on, että samasta puukouluhankinnasta kerättiin useita kuvauksia eri rooleissa

toimivilta viranhaltijoilta. Eri rooleissa työskentelevät viranhaltijat kuvasivat tyypillisesti tapahtumien kulkua omasta näkemyksestään käsin, mutta yhteensä kerätyt kuvaukset antoivat kokonaiskuvan hankintaprosessin kulusta ja puumateriaalin valintaan vaikuttaneista tekijöistä kussakin tutkitussa puukoulutapauksessa.

Haastattelut nauhoitettiin, litteroitiin ja analysoitiin käyttäen apuna Atlas.ti-ohjelmaa. Aineistosta tunnistettiin tekijät, jotka aloittivat puumateriaalin valintaan johtaneen prosessin (triggerit, kts. Roos 2002). Lisäksi tunnistettiin päätösprosessin aikana puumateriaalin valintaa edistäneet ja vaikeuttaneet tekijät (eli determinantit, kts. Roos 2002).

5.2.2. Haastattelujen tulokset

Tutkituissa tapauksissa puumateriaali sisällytettiin hankintapäätöksen materiaalivaatimuksiin jo ennen tarjouskilpailua, toimittajien valintaa ja urakointia. Tämä havainto tarkoittaa, että aloite puumateriaalin käytölle tulee mukaan hankintaprosessiin muuta reittiä kuin vasta tarjouskilpailun kautta. Tarkastelemisemme puukoulutapauksissa kolme viidestä oli määrittänyt vaatimukset puun käytölle jo hankintakriteereihin, neljännen vaatiessa rakennukselta yksiaineisuutta ja päättyessä sitä kautta hirsikouluun.

Kunnallisille viranhaltijoille puumateriaalin käytön edistäminen liittyi heidän toiveisiinsa saavuttaa samalla laajempiakin hyötyjä. Halusimme ymmärtää nämä taustalla vaikuttaneet ajurit perusteellisemmin. Tunnistimme kussakin puukoulutapauksessa tekijät, jotka puolsivat puumateriaalin valintaa. Viranhaltijat nimesivät seuraavia puoltavia tekijöitä puumateriaalin käytön edistämiseksi kouluhankinnoissa:

Puun käyttö nähtiin:

- 1) tuovan osaltaan ratkaisua aiemmissa kouluissa olleille sisäilmaongelmille**
- 2) edistävän kunnan ilmastotavoitteiden saavuttamista**
- 3) edistävän kunnan mainetta ja positiivisessa valossa esittämistä mediassa**
- 4) tarjoavan koululle miellyttävän äänimaailman hyvien akustisten ominaisuuksien vuoksi**
- 5) tukevan paikallista ja kansallista puutuoteteollisuutta**

Yleisesti haastatteluissa korostui, että puumateriaalin käyttöön liitettiin myönteisiä mielikuvia. Puukoulujen hyvä maine haluttiin valjastaa osaksi muuta kunnan vetovoimaisuuden edistämiseen liittyvää työtä:

”Osa kunnista, joilla on tällaisia puukouluja käyttävät näitä kouluja ikään kuin keinona houkutella uusia asukkaita kuntaan” – Kunnan yhdyskuntajohtaja

Haastatteluista kävi myös ilmi, että puukoulujen osalta kunnat oppivat aktiivisesti toistensa toimivia menettelytapoja, ja tavoittelevat puukouluhankkeiden saamaa positiivista julkisuutta. Tätä kuvaa seuraava sitaatti:

”Se oli nyt siihen aikaan, siinähan oli se [toisen kunnan] koulu, oliko se nyt sillon, se oli varmaan sillon viel meneillään se [toisen kunnan] iso koulu mikä siel tehtiin. Se sai aika

paljon julkisuutta siihen aikaan. Niin meillääki sitte päädyttiin siihen, että se vois olla tämmönen [puukoulu].” – Kunnan rakennuspäällikkö

Puumateriaalin käytön edistämiseen liitettiin myös positiivisia henkilökohtaisia muistoja ja mielikuvia, ja sitä kautta käytön edistäminen kunnan rakennushankinnassa koettiin merkitykselliseksi:

”Sitten tietysti, kun on siellä just mun vanhempienkin luona paljon siellä [kunnassa] on ollu jotenkin se puu elementtinä. On tuntunu aina kauheen miellyttävältä ja semmoselta että, se on jotenkin ollu semmonen hyvin positiivinen miellelyhtymä. (--) Jotenkin, mä koin sen tosi tärkeenä ja hienona että meillä on Suomessa tämmöstä puurakentamisosaamista ja jotenkin musta oli hieno olla sitä edistämässä sen hankkeen kautta. Et jotenkin se vaan on luontaisesti ollu semmonen positiivinen ja tärkeä asia.” – Kunnanvaltuutettu

Havaitsimme haastattelussa myös horjuttavia tekijöitä, jotka hidastivat puumateriaalin käytön edistämistä hankkeessa. Horjuttavat tekijät eivät olleet riittäviä puumateriaalin käytön estämiseksi, mutta ne vaikuttivat siihen, missä laajuudessa puun käyttöä päätettiin lopulta edistää päätöskriteeristössä.

Kustannusnäkökulmat olivat vahvasti esillä kaikissa tapauksissa, ja suurin huolenaihe oli puun käytön korkeampi hinta verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Lisäksi rakennustekniset kysymykset kyseenalaistivat puun laaja-alaista käyttöä.

Haastatellut nimesivät seuraavat ongelmakohtat ja tavat niiden ratkaisemiseksi:

1) Vähäinen kokemus ja osaaminen puun käytössä

- Este ylitettiin jakamalla oppia aiemmista puuta käyttävistä pilottiprojekteista kuntien välillä ja oman kunnan sisällä,
- valitsemalla urakkamalli sellaiseksi, jossa kokonaisvastuu rakennushankkeesta on urakoitsijalla, sekä
- ostamalla osaamista ulkoisilta konsulteilta ja asiantuntijoilta

2) Heikko äänieristys luokahuoneiden välillä

- Väliseinien ja -pohjien ääneneristysratkaisujen hyödyntäminen

3) Puumateriaalin paloturvallisuus

- Automaattisten sprinkler-järjestelmien hyödyntäminen

4) Monikerroksisen puurakentamisen mahdolliset rajoitteet

- Betonirungon hyödyntäminen kantavissa rakenteissa

5) Rakentamisen kustannukset

- Puun valikoiva hyödyntäminen kustannusten kannalta mielekkäissä kohdissa
- Kokonaistaloudellinen ajattelu siitä, että paikallisen puuteollisuuden hyödyntäminen tukee kunnan taloutta välillisesti työllisyyden ja verotuksen kautta.

Koulurakennukset ovat isoja investointeja kunnille ja niiden hankintaa tapahtuu varsin harvoin kunnissa. Puukoulujen rakentamiseen liitettiin pioneeriajattelua, joka osaltaan lisäsi koettuja riskejä päätökseen liittyen. Moni tutkimistamme puukouluista rakennettiin pienissä kunnissa, joissa arvottiin kunnan kykyä ottaa pioneerihankkeisiin liittyviä riskejä. Pienten kuntien haaste oli olla ”tienraivaaja” alalla, josta kunnilla oli vähän tietoa tai kokemusta.:

”Siin on ne omat haasteensa ja, (--), hankkeessaki näki sen että, ei siitä hirsirakentamisesta noin isosta nii siitä ei niin kauheesti sitä tietämystä kumminkaan Suomeskaan ole joka tapauksessa. Ja pikkusen aina välillä epäilyttää, että kannattaako näin pienen kunnan ruveta koerakentajaksi niin sanotusti”. – Kunnan rakennuspäällikkö

”Mutta mikä todella tekee puurakentamisen mahdottomaksi tai ainakin vaikeaksi on, että meillä ei ole monia rakennusyrityksiä tai kehittäjiä, joilla todella olisi tarpeeksi osaamista ja tietoa toteuttaa puurakentamista.” – Kunnan projektipäällikkö

Tutkimuksen tarkemmat tulokset on esitetty Kuperstein Blasco ym. julkaisussa, joka on parhaillaan arviointiprosessissa tieteellisessä julkaisusarjassa.

Analyysin tuloksista keskusteltaessa tulee muistaa, että puukoulut ovat olleet uusia asioita tutkituissa kunnissa silloin, kun hankkeita on aloitettu. Tätä kuvastaa se, että kuntien edelläkävijätarinoissa korostui aktiivinen kokemusten vaihto kuntien välillä ja sisällä. Myös tunnistamamme horjuttavat tekijät tulivat vastaan kunnille ensimmäistä kertaa, ja vaativat ongelmanratkaisua. Vaikka aiheet olisivat puualalle selviä, vaativat ne selvitystyötä ja ongelmanratkaisua kunnan viranhaltijoilta. Keskeinen löydös oli myös, että jo hyvin aikaisessa vaiheessa valmisteluja puumateriaalin käyttöön liitettiin positiivisia mielikuvia ja arvostuksia. Tehtyyn media-analyysin verrattuna nämä ajurit ovat suurelta osin samoja, mitä myös uutismediassa painotetaan. On tärkeää, että näiden mielikuvien rinnalle saadaan myös tieteellistä koeasetelmilla todennettua tietoa. Tämän vuoksi työpaketti 1:ssä tehty koeasetelmatyö on erityisen arvokasta.

5.3. Materiaalivalinnan taloudellinen merkitys työtiloihin investoivalle työnantajalle

Yksi tutkimushankkeen tavoitteista oli selvittää, mitä löydetty hyvinvointivaikutukset voisivat tarkoittaa työtilainvestointien taloudellisissa tarkasteluissa. Työtilan materiaalivalintoja vertaillaan usein kustannusten näkökulmasta, ja käsitteellisesti suuri haaste onkin saattaa myös materiaalivalinnasta saavutettavat hyödyt talouden kielelle (eli yhteismitallisiksi, ks. Hansson 2007 tähän liittyvästä filosofiasta). Tarkastelimme taloudellisia hyötyjä tietotyön potentiaalisten tuottavuusvaikutusten kautta. Linkitimme materiaalivalinnoilla saavutetut positiiviset vaikutukset potentiaaliin taloudellisiin vaikutuksiin, jotka voitaisiin saavuttaa, mikäli puumateriaalilla olisi vaikutus tietotyön tuottavuuteen. Tämä oli luonteva valinta, sillä myös koeasetelmassa käytetyt huoneet ovat normaalisti käytössä nimenomaan tietotyöntekijän työtiloina. Lopuksi esitämme hypoteettisen kustannus-hyöty-laskelman tehtyjen havaintojen perusteella. Tekemäämme kustannus-hyöty-laskelmaan liittyy paljon taustaoletuksia, joita pyrimme myös avaamaan.

5.3.1. Mieliala- ja tarkkaavaisuusmittareiden tulosten potentiaalinen yhteys tietotyöntekijän tuottavuuteen

Tietotyön tuottavuudella tarkoitetaan työn tuotos/panossuhdetta. Tuotos-puolella ovat työnteosta seuraavat positiiviset ja negatiiviset lopputulokset. Positiivisilla lopputuloksilla kuvataan esimerkiksi laadukasta työnjälkeä ja luovuutta vaativia innovaatioita, kun taas negatiivisiin lopputuloksiin liittyvät

esimerkiksi hidastunut työtahti tai poissaolot (Ramírez ja Nembhard 2004). Tuottavuuden parantumisella tarkoitamme sitä, missä suhteessa työn positiivisia tuotoksia saadaan suhteessa panoksiin tai missä suhteessa negatiivisia tuotoksia saadaan minimoitua suhteessa panoksiin. Osa muutoksista on selkeämmin arvotettavissa taloudellisesti, mistä esimerkkinä ovat hidastuneesta työtahdista koituvat kustannukset. Suurin osa tuotoksista ja panoksista ovat kuitenkin tietotyön kontekstissa aineettomia ja siksi tuottavuuden mittaaminen ja rahamääräinen arvioiminen on haastavaa, verrattuna esimerkiksi konkreettisilla tuotosmäärillä operoivaan tehdastyöympäristöön (esim. kuinka monta laitetta saadaan valmistettua tietyssä ajassa). Keskeistä tietotyön tuottavuudesta puhuessa on kuitenkin erottaa käsite tietotyön tehokkuudesta, sillä tuottavuudelle tärkeää on myös tuotosten laatu pelkän määrän sijaan (Parasuraman ym. 2002).

Tietotyön tuottavuuteen vaikuttavat moninaiset työntekijään ja työympäristöön liittyvät tekijät, joista keskeisinä tunnistetaan etenkin työntekijän oma hyvinvointi ja työkäytännöt (Palvalin 2019). Työympäristöön liittyvistä tekijöistä työntekijän fyysinen ympäristö on yksi osa-alue sosiaalisen ja psykologisen työympäristön rinnalla. **Työpaketissa 1 toteutetun kokeellisen tutkimuksen mukaan puumateriaalilla saadaan tuettua tutkimushenkilön tunnetiloja ja keskittymistä. Näin ollen työpaketissa 2 oletimme, että puumateriaalin valinnalla voidaan pyrkiä parantamaan työntekijän fyysistä työympäristöä, ja siten vaikuttaa positiivisesti työntekijän tuottavuuteen.** Seuraavaksi avaamme lyhyesti koeasetelmassa havaittujen tutkimushenkilön tunnetilojen (PANAS) ja paremman tarkkaavaisuuden (vähemmän virheitä, SART) potentiaalista yhteyttä tietotyöntekijän tuottavuuteen.

Aiemmassa tutkimuksessa myönteisten tunteiden on todettu korreloivan työntekijän tuottavuuden kanssa (Fischer ja Noble 2004). Myönteisemmän tunnetilan hyödyt tulevat moninaisia reittejä pitkin, sillä työntekijöiden myönteisten tunteiden on todettu olevan yhteydessä parempaan tehokkuuteen (Isen ja Means, 1983), suorituskyykyyn (Fischer ja Noble, 2004; Miner ja Glomb, 2010), ongelmanratkaisuun (Graziotin ym. 2014) ja korkeampaan tuottavuuteen (Oswald ym. 2015; Graziotin ym. 2015). Kielteisten tunteiden taas on todettu olevan yhteydessä työnteon kannalta haitalliseen käyttäytymiseen (Fox ja Spector 1999), kuten vähäisempään sitoutumiseen työtehtäviin.

SART-tehtävässä tarkasteltu tarkkaavaisuuden ylläpitokyky ovat erityisen tärkeitä työtehtävissä, joissa huomion puute voi olla jopa vaarallista. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi laadunvalvonnan tehtävät (Helton 2009). Tarkkaavaisuus on tärkeää myös työssä, joka edellyttää suurta huomiota yksityiskohtiin, kuten koodauksessa tai kirjanpidossa. Kirjanpidossa laskentataulukon yksinkertaiset virheet voivat maksaa jopa miljoonia, kuten kävi vuonna 2012 Iso-Britanniassa tehdyssä tarjouskilpailussa (McGhie 2012). Smallwood ym. (2009) havaitsivat, että kielteiset mielialat aiheuttavat merkityksettömiä ajatuksia ja siten vähentävät sitoutumista tehtävään.

Tässä tutkimuksessa työpaketissa 1 puuhuoneessa mitattu korkeampi fysiologinen vireystaso johti mahdollisesti parempaan tarkkaavaisuuteen. Vireys vähentää virheiden esiintymistä ja edistää tehtävässä suoriutumista (luetun ymmärtäminen, muistikapasiteetti ja tehtävään liittyvät käsittelytehtävät) sekä vaikuttaa myönteisesti mielialaan (Killingsworth ja Gilbert 2010). Myönteinen mieliala ja tunteet, kuten aiemmin PANAS-mittarin yhteydessä todettiin, vaikuttavat positiivisesti työntekijän tuottavuuteen.

Näin voidaan luoda pohja periaatteelliselle laskelmalle; mikäli työn tuottavuus paranisi (X %) tällä voisi olla vaikutus työn tuottavuuteen rahamääräisesti ilmaistuna (Y %). **Aineistomme ei kuitenkaan**

mahdollistanut sitä, että olisimme voineet suoraan arvioida tuottavuuden paranemisen määrää, jolloin rahamääräistetty tuottavuusvaikutus jää vain oletukseksi. Laskelmamme on kuitenkin tehty varovaisilla oletuksilla ja esimerkeillä paremman hyvinvoinnin aiheuttamasta työn tuottavuudesta. Esimerkiksi +1 % (~ 5 minuuttia päivässä) parannus tuottavuuteen voisi antaa mittakaavaa puumateriaalin käytön taloudelliseen tuloksellisuuteen. Tämä 1 %:n parannus ei ole suoraan johdettu työpaketin 1 tuloksista, vaan se on **vain esimerkki** tuottavuusvaikutusten rahamääräistämisestä.

5.3.2. Kustannus-hyöty-laskelma

Teimme kustannus-hyöty-talouselaskelman olettaen, että puumateriaalivalinnalla vaikutetaan positiivisesti työntekijän tunnetilaan ja valppauteen ja tätä kautta vaikutetaan positiivisesti hänen työntekonsa tuottavuuteen. Periaatteellisessa laskelmassamme kaikki muut tietotyöntekijän tuottavuuteen vaikuttavat tekijät pysyvät samana, mutta fyysisen työympäristön materiaalivalintoihin tehdään muutos. Työtilojen materiaalit korvataan tutkimushuoneessa käytetyillä puumateriaaleilla. Tämän muutoksen seurauksena tapahtuvat koeasetelmassa havaitut muutokset työntekijän työskentelyssä: hän on tarkkaavaisempi ja kokee enemmän positiivisia tunteita ja vähemmän negatiivisia tunteita. Näiden muutosten seurauksena hänen mielensä vaeltaa vähemmän, jolloin hän saa laadukkaampaa työtä aikaiseksi. Tämä tehostaa työntekijän ajankäyttöä, sillä työntekijän ei tarvitse tehdä samaa tehtävää uudelleen (esimerkiksi lukea jo kertaalleen lukemaansa tekstiä uudelleen) tai korjata syntyneitä virheitä.

Kustannus arvio (Taulukko 3) on tehty seuraavasti: materiaalikustannukset on arvioitu tutkimushuoneisiin tarvittujen todellisten materiaalmäärien ja -kustannusten avulla. Materiaalien asennukseen liittyvät työkustannukset arvioitiin RT-kortiston työmenekkien ja vakiodun asennustuntihinnan mukaan.

Taulukko 3: Testihuoneiden arvioidut materiaali- ja asennuskustannukset.

Kontrollihuone	Materiaalit + työ	1901,66 €
Puuhuone	Materiaalit + työ	2161,98 €
Kustannusero huoneiden välillä		260,33 €

Hyötypuolella on arvioitu psykologisten PANAS- ja SART-mittareiden tulosten vaikutusta työn tuottavuuteen. Hyödyllisten vaikutusten arvioidaan tulevan kahta reittiä, PANAS-mittarin kautta havaittujen kohentuneiden tunnetilojen ja SART-tehtävässä arvioidun pienempien virhemäärien kautta. Näiden yhteisvaikutuksesta työntekijän arvioidaan suoriutuvan työtehtävistään siten, että työaika kuluu vähemmän mielen harhailuun ja negatiivisiin tunteisiin liittyvään vähäiseen tehtävisitoutumiseen. Vaikkapa edellä käytetyssä esimerkissä, jossa 1 % parannus henkilön tuottavuudessa tarkoittaisi n. 5 minuutin säästymistä päivittäin ($1\% \cdot 7,25 \text{ tuntia/päivä} = 4,35 \text{ minuuttia/päivä}$) arvoa tuottamattoman työajan (mielen harhailu, virheiden korjaaminen) säästyessä arvoa tuottavaan toimintaan (tietotyön varsinaisten tavoitteiden täyttäminen). Toisin sanoen, arvioimme taloudellisen hyödyn tapahtuvan työntekijän tehostuvan aikapanoksen kautta.

Työn tuottavuuslaskelmien tuotospuolella käytetty työtunnin rahamääräinen arvo vaihtelee ajassa ja on lisäksi maa-, toimiala-, organisaatio- ja henkilösidonnaista. Tämän vuoksi laskelmassa käytetyt parametrit tulisi sovittaa kuhunkin laskentatilanteeseen erikseen. Esimerkkilaskelmassamme (kuva 10) käytämme Tilastokeskuksen tietojen perusteella laskettavaa tietotyön keskimääräistä

tuottavuutta euroa/tunti (Suomessa, tuoreimmilla saatavilla olevilla luvuilla, eli vuodelta 2019, tämä on 37,37 euroa/työtunti). Tässä laskelmassa bruttokansantuote (eli arvonlisäys) valikoitujen luokkien ("M, N Ammatillinen, tieteellinen ja tekninen toiminta, hallinto- ja tukipalvelutoiminta (69-82)") osalta on jaettu sen aikaansaamiseksi käytettyjen työtuntien määrällä. Näin on saatu euroa/työtunti -muotoinen arvio työn tuottavuudelle. Tällöin yhden tietotyöläisen vuotuinen tuottavuus olisi rahamääräisesti keskimäärin

$$1600 \text{ h/vuosi} * 37,37 \text{ e/h} = 59\,792 \text{ e/vuosi.}$$

Seuraavaksi käytämme tätä tuottavuustietoa arvioimaan potentiaalista tuottavuuden lisäyksestä aiheutuvaa hyötyä. Mikäli tuottavuus paranisi yhden työntekijän osalta keskimäärin 1 %, voisi tässä tilanteessa tämän henkilön tuottavuusparannuksen rahamääräinen arvo olla

$$59\,792 \text{ e} * 1 \% = 597,92 \text{ e,}$$

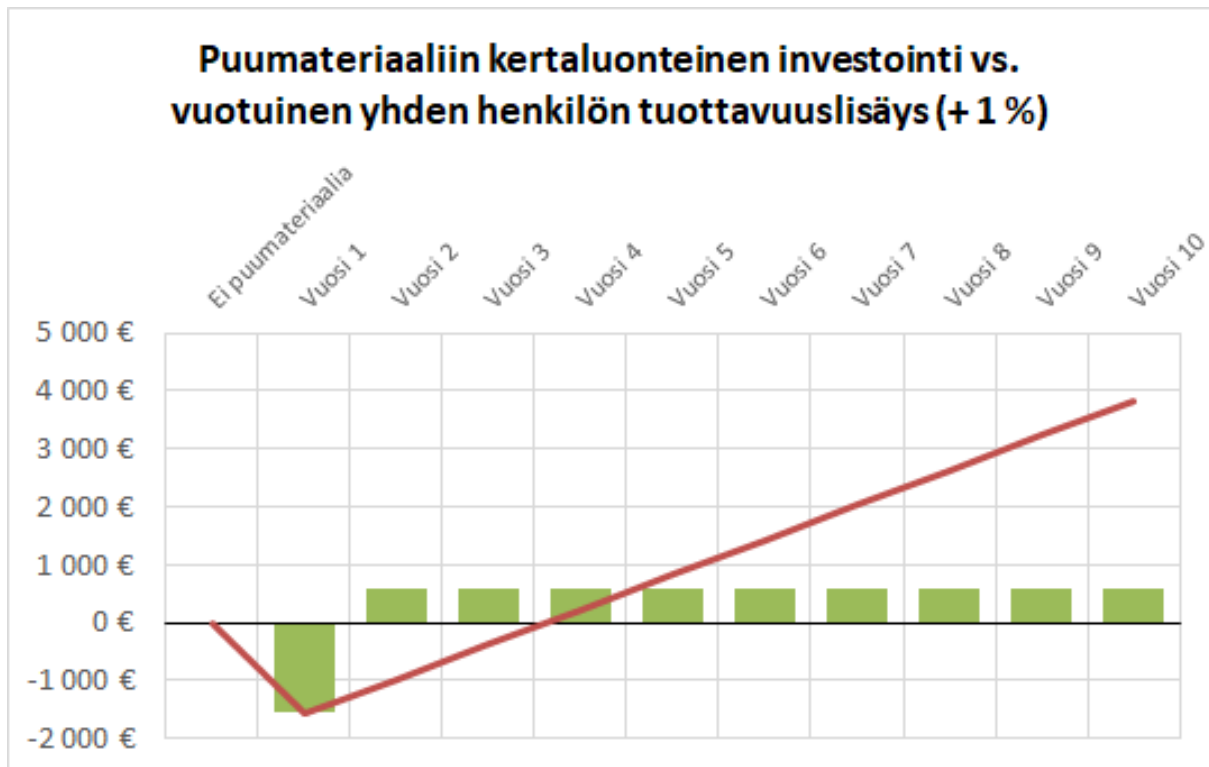
ja vastaavasti vuotuinen tuottavuus henkilötasolla voisi rahamääräisesti keskimäärin olla

$$59\,792 \text{ e/vuosi} * 1,01 = 60\,390 \text{ e/vuosi.}$$

Voidaan samalla olettaa, että yhteen työhuoneeseen mahtuu työskentelemään yksi tietotyöntekijä, sillä koeasetelmassa työhuone oli varusteltu nimenomaan yhdelle työntekijälle. Nyt voidaan laskea tuottavuusparannusta vastaava vuotuinen tuotto ja puumateriaalista syntynyt kertaluonteinen lisäkustannus yhteen, muodostaen näin periaatteellinen laskelma taloudellisesta vaikutuksesta, joka puumateriaalista syntyisi tuottavuusparannuksen kautta:

$$\begin{aligned} &\text{Kustannus (puumateriaali työhuoneessa, 2161,98e)} \\ &+ \text{Tuottavuuden parannus (jos olisi 1 \%, vuosi 1....n)} \\ &= \text{Hypoteettinen kokonaisvaikutus puumateriaalista tietotyöläisen työhuoneessa} \end{aligned}$$

Kokonaisvaikutus 10 vuoden ajalta on esitetty graafisesti kuvassa 10. Tässä on huomattavaa, että laskentatapa on mahdollisimman yksinkertainen, eikä se huomioi tuottavuuden lisäyksessä mahdollisia muutoksia vuosittain (malli on lineaarinen), eikä myöskään rahan aika-arvoa (diskonttaus).



Kuva 10. Esimerkki kustannus-hyöty-laskelmasta tilanteessa, jossa työnantaja investoi testihuoneiden kaltaisiin tiloihin vaikuttaen samalla positiivisesti tietotyöntekijän työn tuottavuuteen (mitä jos tietotyön tuottavuus paransi 1 %).

Teimme myös laskelman, joka liittyy tuottavuuden mahdollisen lisäyksen hieman monitahoisemmin puumateriaalivalintaan. Tässä laskelmassa määritettiin sellainen tuottavuuslisän hypoteettinen taso, jolla materiaalivalinta olisi juuri ja juuri kannattava tilanteessa, jossa otettaisiin huomioon vain testihuoneiden kustannusten erotus (260,33 e), ja oletettaisiin tuottavuuden muutoksen käyttäytyvän epälineaarisesti (alussa puu vaikuttaisi tuottavuuteen enemmän). Lisäksi hienostuneempi malli ottaa huomioon rahan aika-arvon. Mallin lähtöoletuksia on esitetty taulukossa 4, jossa on esitelty myös kaksi tuottavuuden muutoksen näkökulmasta vaihtoehtoista skenaariolta laskelmalle (skenaariot 1 ja 2).

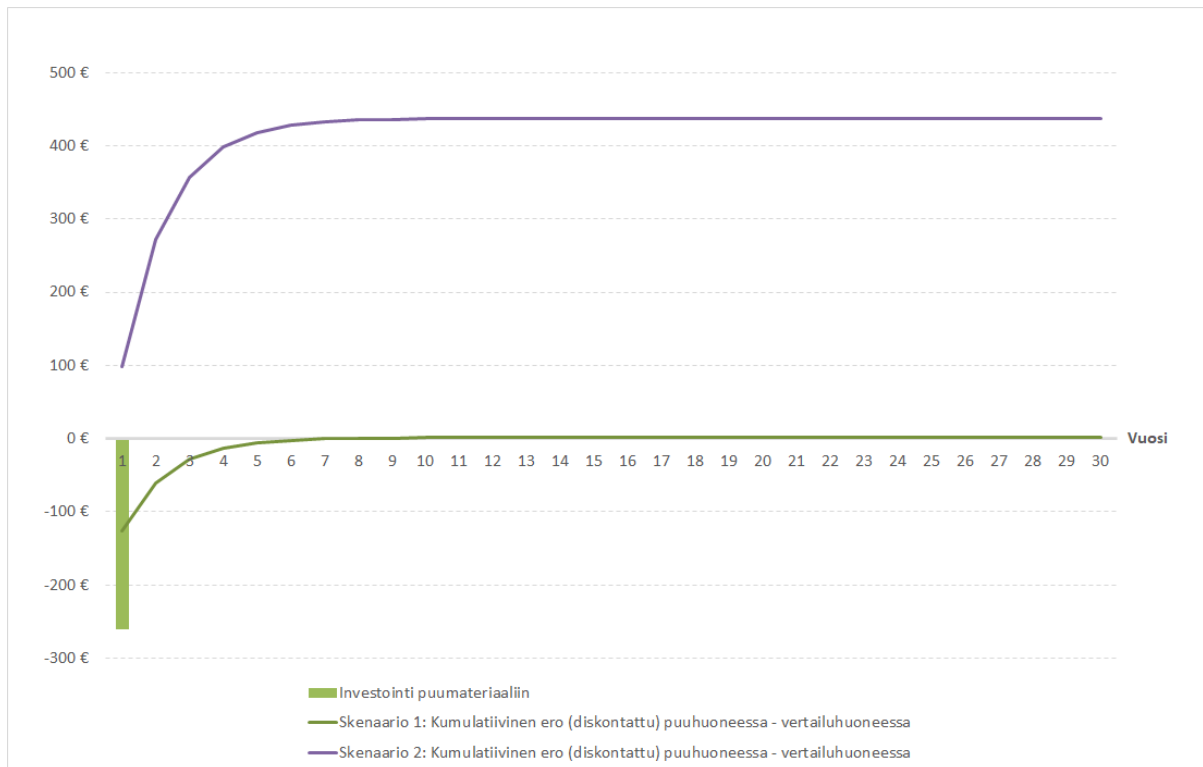
Taulukko 4. Olettamukset, jotka liittyvät kustannushyödyn mallintamiseen.

TYÖSKENTELYYN LIITTYVÄT OLETUKSET	
Huoneessa työskentelevien henkilöiden lukumäärä:	1
Tuottavuuden muutos puisessa testihuoneessa vs. vertailutestihuoneessa:	0,225 %
= Skenaario 1 (lähestyy nollatuottoa) = (puu-vertailuluku)/vertailuluku	
Tuottavuuden muutos puisessa testihuoneessa vs. vertailutestihuoneessa:	0,6 %
= Skenaario 2 (virheitä 10 % vähemmän) = (puu-vertailuluku)/vertailuluku	
Vuotuinen tuottavuuden muutoksen väheneminen:	-50 %
= $(\text{luku}_{\text{vuosi } n+1} - \text{luku}_{\text{vuosi } n}) / \text{luku}_{\text{vuosi } n}$	
KUSTANNUKSIIN LIITTYVÄT OLETUKSET	
Vertailutestihuoneen kustannus:	-1 901,66 €
Puisen testihuoneen kustannus:	-2 161,98 €
= (puisen testihuoneen kustannus) - (vertailutestihuoneen kustannus)	
Puumateriaalin ja vertailumateriaalin kustannusten ero?	13,7 %
= $((\text{puisen testihuoneen kustannus}) - (\text{vertailutestihuoneen kustannus})) / \text{vertailutestihuoneen kustannus}$	
KANSANTALOUTEEN LIITTYVÄT OLETUKSET	
Diskonttauksessa käytettävä korkokanta	5,00 %
Vuotuinen tuottavuuden muutos kansantaloudessa	2 %
= $(\text{luku}(\text{vuosi } n+1) - \text{luku}(\text{vuosi } n)) / \text{luku}(\text{vuosi } n)$	

Kustannushyötyä puun käytöstä testihuoneen osalta, mahdollisen tuottavuuslisäyksen kautta on kuvattu kuvassa 11. Siinä on kuvattu kaksi skenaariota, seuraavasti:

Skenaario 1: Tuottavuuden lisäys **0,225 %**, mikä vastaa rajatilannetta, jossa tuottavuuden lisäys kattaa juuri ja juuri puumateriaalista syntyneet lisäkustannukset. Tässä skenaariossa on etsitty tuottavuuslisän määrä, joka vastaa muiden taustaolettamusten (työskentely, kustannukset, kansantalous) osalta lähelle nollasummaa takaisinmaksun osalta. Tässä tilanteessa olisi siis taloudellisesta näkökulmasta yhdentekevää kumpi materiaali valikoidaan (kumulatiivinen taloudellinen vaikutus asettuu lähelle 0 euroa).

Skenaario 2: Tuottavuuden lisäys **0,6 %**, mikä vastaa noin 3 minuuttia säästettyä aikaa päivittäin, vähentyneestä virheiden korjaamistarpeesta johtuen (= 10 % * 30 min). Tässä skenaariossa on oletettu, että virheiden korjaamiseen (esim. virheen etsiminen, uudestaan tekeminen) liittyvää työtä voisi olla päivittäin 30 minuuttia yhtä tietotyöntekijää kohti. Tässä skenaariossa taloudellisesta näkökulmasta olisi järkevää hankkia puumateriaalia työtilaan, sillä kumulatiivinen taloudellinen vaikutus asettuu hieman yli 400 euroon.



Kuva 11. Diskontattu tuottavuusmuutoksen vaikutus kumulatiivisesti suhteessa puumateriaali-investointiin (Skenaariot 1 ja 2).

Skenaariotarkasteluista huomataan, että mikäli testihuoneen kustannuseroa verrataan tuottavuuden paranemisen potentiaaliin, pienikin tuottavuuden parannus kattaa kontrollitestihuoneen ja puutestihuoneen kustannusten erotuksen.

W4G-hankkeessa ei kuitenkaan suoraan osoitettu tuottavuuslisäyksen määrää. Skenaarioissa käytetyt tuottavuuslisäystä vastaavat prosentit ovat arvioita. Esimerkit kuvaavat periaatteellista tuottavuuslisäystä ("jos tuottavuus paranisi X %, niin taloudellinen vaikutus olisi Y e"). Edellä esitettyä laskelmaa on siten tulkittava varoen. Koska koeasetelmassa pystyttiin havaitsemaan psykofysiologisia muutoksia, joiden perustella voidaan ajatella puumateriaalin olevan potentiaalisesti kytköksissä myös tietotyön tuottavuuteen, halusimme kuitenkin hankkeessa mallintaa potentiaalista taloudellista vaikutusta. Mitattujen hyvinvoinnin ja tuottavuuden erojen ohella puumateriaalin käyttäminen voi synnyttää positiivista tuottavuuskehitystä myös välillisesti. Virheistä säästyvä aika on esimerkki suorasta hyödystä. Toisaalta virheettömämpi toimintatapa kokonaisuutena voi vaikuttaa välillisesti työyhteisön tuottavuuteen, vuorovaikutukseen ja edelleen organisaation menestymiseen. Lisäksi työyhteisön hyvinvointiin panostaminen, esimerkiksi viestittämällä materiaalivalinnoista hyvinvoinnin näkökulmasta, voi auttaa työntekijöitä sitoutumaan, mikä edelleen parantaa tuottavuutta.

Esitämme, että vastaavaa laskemalogiikkaa voisi käyttää myöhemmissä tutkimuksissa, joissa keskityttäisiin tarkemmin selvittämään tuottavuuslisäyksen määrää (esim. suoritetta / aikayksikkö tai virheetöntä suoritetta / aikayksikkö) ja täten tuottaa laskelmalle todellisempaa pohjaa puutuoteteollisuuden käyttöön suorien tuottavuusvaikutusten osalta.

6. Hankkeen vaikuttavuus

Hankkeemme osoittaa, että puulla voidaan sisustaa hyvinvointia tukevia ympäristöjä. Myönteinen kokemus puusta oli ilmeinen. Koko testisarjan ajan puuhuoneessa oli vähemmän kielteisiä tunteita verrattuna kontrollihuoneeseen. Kokeen lopussa, noin 45 minuutin pituisen koesarjan jälkeen tutkimushenkilöt kokivat puuhuoneessa vähemmän ärtyneisyyttä. Myös muut psykologiset mittarit osoittivat jossain kokeen vaiheessa puuhuoneeseen myönteisempää vaikutusta. Tämä osoittaa, että puulla on hyvinvointia tukevia vaikutuksia, jotka ovat saman suuntaisia luonnon elvyttävien vaikutusten kanssa. Lisäksi puulla sisustettu tila arvioitiin tutkimuksessa iloisemmaksi, kauniimmaksi, miellyttävämmäksi, mielenkiintoisemmaksi, lämpimämmäksi, runsaammaksi ja tuoksu huoneessa koettiin paremmaksi. Puulla oli myös vaikutusta ilmankosteuden vaihteluun, haihtuviin yhdisteisiin ja akustiikkaan. Tutkimushenkilöt pystyivät aistimaan näistä vaikutuksista etenkin puun yhdisteet, joiden tuoksu arvioitiin hyväksi.

Olemme esittäneet tutkimuksessamme periaatteellisen laskelman, jolla hyvinvointinäkökulmia voidaan arvottaa talouden keinoin. Tarkat laskelmat vaativat kuitenkin lisää tutkimusta tarkemmin määritellyistä työnteon prosesseista ja tuottavuusvaikutuksista eri konteksteissa, jotta mitattu tuottavuus saataisiin mukaan laskelmiin. Tutkimuksemme kokonaisuudessaan osoittaa sen, että hyvinvoinnilla on taloudellisia vaikutuksia ja suunnitteluun ja materiaaleihin investoimalla voidaan saavuttaa myös taloudellista hyötyä hyvinvoinnin kautta. Vaikutukset kouluissa ja muissa julkisissa tiloissa ovat esimerkki kunnille syntyvästä taloudellisesta hyödystä, mikäli rakennuksissa työskentelevät tai kouluttautuvat ihmiset voivat paremmin. Lisäksi puurakentaminen voi tukea paikallista vetovoimaisuutta ja paikallistaloutta ja työllisyyttä esimerkiksi puutuoteteollisuuden kautta.

Hyvinvointinäkökulmien integrointi osaksi päätöksentekoprosessia on sitä helpompaa, mitä enemmän saadaan tutkimukseen pohjautuvaa tietoa. Puumateriaalin hyvinvointivaikutukset ovat jo osa julkista keskustelua ja yksi merkittävimmistä puurakentamisen ajureista. Tämä tutkimus toimii hyvänä pohjana uusille tutkimuksille ja vahvistaa tieteellistä näyttöä puun hyvinvointia tukevista ominaisuuksista. Puun käyttö synteettisten materiaalien sijaan on ympäristöteko, mutta myös sisäympäristön laatua parantava valinta. Hankkeen tulokset perustuvat viimeaikaisiin havaintoihin koejärjestelyn, haastattelujen ja dokumentaation osalta. Tulokset ovat ajankohtaisia. Samalla ne voivat olla myös varsin kauaskantoisia, sillä tutkimuksen asetelma kestää aikaa ja koskee luonteeltaan varsin pysyviä ilmiöitä materiaalien, hyvinvoinnin ja talouden osalta. Päätöksentekoa koskeva tutkimus osoitti, että monet asiat ja tahot vaikuttavat päätöksien tekemiseen käytännössä. Tämän projektin myötä puuta koskeva päätöksenteko voi muuttua uusimman tiedon varassa ja voi olla helpompaa investoida puuhun materiaalina.

7. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Tutkimusjulkaisut:

- Korhonen T., Rossi P., Kuperstein Blasco D., Saukkonen N., Muilu-Mäkelä R. and Laine T. (2021) **“Puurakentaminen kunnissa–julkinen keskustelu päätöksentekoa ohjaamassa”**. Focus Localis, 2:5-28.
- Kuperstein Blasco D., Saukkonen N., Korhonen T., Laine T. and Muilu-Mäkelä R. (2021) **Municipalities promoting sustainable construction materials – paths leading to wood material selection in school building procurement**”, lähetetty julkaistavaksi Journal of Cleaner Production –lehteen (arvioitavana)

Kirjoitteilla on kaksi käsikirjoitusta työnimillä:

- Ojala A., Kostensalo J., Matilainen H., Wik I., Virtanen L., Viik J. and Muilu-Mäkelä R. (2021) **“Effects of wooden office room on wellbeing measures and sustained attention ”**, sopiva julkaisusarja on kansainvälinen tieteellinen ympäristöpsykologian julkaisusarja.
- Muilu-Mäkelä R., Ojala A., Harju A., Helama S., Niemi H., Butter K., Viik J. and Ohlmeyer M. (2021) **“Indoor environment quality and comfort in wood and non-wood office rooms”** sopiva julkaisusarja voisi olla esim. Building and Environment

Opinnäytetyöt:

- Investing in Prevention: Exploring Decision-Making Drivers: Kuperstein Blasco, Deborah, TAU
- Kirjoitteilla kaksi opinnäytetyötä:
- Heart rate variability parameters as indicators of autonomic nervous system state during cognitive load and rest in different office environments: Matilainen Hanna, TAU
 - Puumateriaalin vaikutus ääniolosuhteisiin toimistohuoneessa: Niemi Heli, TAU

Hankkeeseen liittyvät blogikirjoitukset:

- Moodmetric <https://moodmetric.com/fi/puumateriaalit-hyvinvointi/>

Hankkeesta on viestitty erilaisissa seminaareissa, haastattelujen yhteydessä ja osallistumalla Arkkitehtuurimuseon näyttelyyn. Hankkeesta on julkaistu mediatiedote luke.fi -sivustolla ja sosiaalisessa mediassa.

8. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

Koeasetelma oli tarkkaan suunniteltu ja se noudatti tieteentekemisen sääntöjä. Tutkimus toteutettiin toistokokeena, mikä vahvistaa tulosten luotettavuutta. Tutkimukselle haettiin eettinen lausunto Tampereen yliopistollisen sairaalan eettiseltä toimikunnalta ja tutkimus noudattaa Helsingin sopimusta. Tutkimushenkilömäärä (61) oli riittävä, jotta havaittuja tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Tässä tutkimuksessa toteutettiin ensimmäinen riittävän kattava koeasetelma puun hyvinvointivaikutusten selvittämiseksi. Uudet tutkimukset ja koeasetelmat tulevat ottamaan kantaa tässä työssä havaittuihin vaikutuksiin. Tämän tutkimuksen ja aikaisemman kirjallisuuden perusteella uskallamme sanoa, että käyttämällä puuta sisätiloissa vaikutetaan ihmisten tunnetiloihin, millä voi olla vaikutuksia jopa työstä suoriutumiseen. Vaikuttaa vahvasti siltä, että lisäämällä puuelementtejä sisätiloihin saavutetaan tunnetason vaikutuksia, jotka tukevat hyvinvointia. Tutkimuksen löydökset mahdollistavat myös hyvin käytännönläheiset sovellusehdotukset. Työssä, jossa vireystila ja virheiden lukumäärä ovat kriittisiä elementtejä työn tuloksellisuudelle, voitaisiin puumateriaaleilla kenties

edesauttaa organisaatioiden kokonaissuoriutumista. On kuitenkin huomattava, että taloudellisessa mielessä tämän tyyppinen investointi on hyvin vaikeaa jälkikäteen todentaa kannattavaksi, sillä tuottavuusparannus tapahtuu tosielämässä yhdessä valtavan määrän muita muutoksia.

Puun käytöllä työympäristöissä voi olla taloudellista merkitystä esimerkiksi paremman viihtyvyyden kannalta. Puun havaittiin vaikuttavan myönteisesti tutkimushenkilöihin ja puulla voitiin luoda miellyttävä ympäristö. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää erilaisissa rakentamisen ja sisustamisen suunnitteluprosesseissa ja uusien tutkimusasetelmien suunnittelussa. Lisää tutkimusta tarvitaan materiaalien ja rakennettujen ympäristöjen vaikutuksesta hyvinvointiin ja siitä, miten ympäristöt, keho ja mieli ovat yhteydessä toisiinsa. Tämä työ osoittaa, että myös hyvinvoinnin taloudellisia vaikutuksia on mahdollista tarkastella tuottavuuden näkökulmasta. Tässä tutkimusasetelmassa on monia elementtejä, joita on mahdollista hyödyntää tulevisissa tutkimushankkeissa. Käyttämämme tilastolaskentamenetelmä esimerkiksi mahdollistaa erilaisten tutkimusasetelmien vertailun keskenään, joissa on käytetty samankaltaisia psykologisia tai fysiologisia mittausten menetelmiä. Olemme rakentaneet hankkeessa testialustan, jota on mahdollista soveltaa esimerkiksi tuotekehityksen tarpeisiin.

Mediassa puulla on jo vahva asema terveyttä edistävänä materiaalina. Terveelliset sisäympäristöt yhdistetään puurakentamiseen. Myös julkisessa päätöksenteossa puun terveysvaikutukset nousivat keskeiseksi puurakentamisen ajuriksi. Etenkin puumateriaalin ajatellaan toimivan sisäilmanlaatua parantavana tekijänä. Puurakenne ei kuitenkaan automaattisesti takaa sitä, etteikö siinä voisi kasvaa myös sisäilmalle haitallisia mikrobeja. Tästä tarvittaisiinkin lisää tutkimusta, sillä puullakin on taipumus homehtua, jos kosteusolosuhteet ovat homehtumiselle suotuisat. Puun myönteinen imago oli tunnistettavissa käytetyissä laadullisissa tutkimusaineistoissa eli media-analyyseissä ja haastattelututkimuksessa. Tämä löydös vahvistaa ajatusta, että puurakentamiselle on tilausta ja koettu tarve, jota puurakentamiseen keskittyvät toimijat voisivat hyödyntää.

9. Talousraportti

Hankkeen budjetti hankkeen ajalta 9/2019-5/2021 on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. W4G-hankkeen toteutuneet kustannukset hankkeen ajalta.

Rahoitus	LUKE	TAU	Yhteensä
Ympäristöministeriön rahoitus	99000	115000	214000
Omarahoitusosuus	42400	49000	91400
Yhteensä	141300	164600	305400

10. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

Rakentamisella ja rakennusmateriaaleilla voidaan vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin. Havaintojemme mukaan jo pelkkä materiaalin muutos tilassa ohjaa tunnetilojamme. Tässä tutkimuksessa arvioimme puumateriaalin käytön taloudellisia vaikutuksia. Jatkossa tutkimusta kannattaisi yhä enemmän suunnata siihen suuntaan, miten voimme rakentaa hyvinvointia tukevia tiloja ja millaisia taloudellisia vaikutuksia suunnittelulla ja esteettisyydellä on hyvinvoinnin lisääntymisen kautta. Liian pienet tilat

synteettisistä materiaaleista rakennettuna eivät tue hyvinvointia ja sillä on hintalappu. Puun käyttö synteettisten materiaalien sijaan tukee kestävästä kehitystä ja hiilineutraalisuus tavoitteita.

Psykologiset mittaukset riittävät osoittamaan tilojen ja materiaalien vaikutuksen ihmiseen. Psykologisilla mittareilla havainnoidaan ihmisen tuntemuksia ja kokemusta, mikä on merkittävää tietoa suunnittelulle. Fysiologisia vaikutuksia on vaikeampi todentaa, koska taustamuuttujia on paljon ja yksilölliset erot suuria. Fysiologista aineistoa kerätessä myös eettinen lupaprosessi vie aikaa ja on siksi kyselytutkimuksia kalliimpi toteuttaa. Ympäristöpsykologian tutkimuksissa fysiologisia mittauksia voidaan käyttää tukemaan psykologisia havaintoja. Pelkästään fysiologiaa mittaamalla ei pystytä löytämään syy-yhteyttä havaintojen välille mutta psykologisilla mittauksilla saadaan paljon tietoa ympäristön vaikutuksesta ihmiseen. Esimerkiksi luontoympäristön on havaittu olevan riittävän voimakas elvyttävä stimulus ihmiselle, niin että mielen rauhoittuminen siirtyy lopulta kehoon ja hermostotoiminnan muutokseen sympaattisesta parasympaattiselle puolelle. Tämän tutkimuksen perusteella puupaneelit seinissä ja puuparketti eivät yllä niin voimakkaaseen reaktioon, että kehon fysiologista elpymistä olisi havaittu lyhyellä aikavälillä. Mikään ei kuitenkaan sulje pois mahdollisuutta, että pitkän aikavälin mittauksissa puumateriaalin voitaisiin havaita laskevan myös fysiologista ”stressiä”.

Suosittellemmekin tehtäväksi jatkossa lisää kysely- ja kenttätutkimuksia erilaisissa ympäristöissä ja tiloissa. Tutkimuksilla voitaisiin selvittää puuteollisuudessa esillä olleita kysymyksiä, kuten, miten puun pintakäsittely tai puulaji vaikuttaa puun hyvinvointikokemukseen. Myös kulttuurisidonnaisuus on mielenkiintoinen näkökulma selvitettäväksi.

Voi myös olla, että epäsuorat kerrannaisvaikutukset työstä suoriutumisessa ovat suurempia kuin suoraan arvioidut (virheiden väheneminen), esimerkiksi tuloksellisuuden tuoman työn imun ja työhyvinvoinnin kautta sekä organisaatiotasolla yhteistyössä tehtyjen tulosten kautta. Tätä asiaa tulisi tutkia syvällisesti lisää, pureutuen yksityiskohtaisesti prosesseihin, joissa eri aloilla toimivien henkilöiden tuloksellisuus tosiasiallisesti syntyy. Näin voitaisiin entistä paremmin ymmärtää rakennusmateriaalien vaikutusta tuottavuuteen ja tuloksellisuuteen.

Tässä hankkeessa yhdistettiin monia eri tieteenaloja aina ympäristöpsykologiasta ja fysiologiasta, rakennustekniikkaan ja taloustieteisiin. Tulevissa hankkeissa suosittelemme edelleen poikkitieteellistä lähestymistapaa, joka lisää laajemmin ymmärrystä tutkimuskohteena olevasta aiheesta.

11. Johtopäätökset ja yhteenveto

Tämän hankkeen tulokset osoittavat, että puumateriaali vaikuttaa ihmiseen myönteisesti. Puumateriaalilla voidaan luoda tilaan tunnelma, jolla on vaikutusta ihmisen tuntemuksiin. Puumateriaalilla sisustettu työhuone koettiin miellyttävämmäksi, luonnollisemmaksi, kauniimmaksi, mielenkiintoisemmaksi, iloisemmaksi, lämpimämmäksi, runsaammaksi ja hyvänhajuisemmaksi kuin kontrollihuone. Puuhuoneessa ärtyneisyys aleni tutkimuksen aikana ja negatiivisia tunteita oli vähemmän kuin kontrollihuoneessa. Kaikissa käytetyissä psykologisissa toistomittareissa havaittiin jossain testisarjan vaiheessa myönteinen vaikutus puuhuoneessa verrattuna kontrolliin. Fysiologiset

mittaukset osoittivat kehon vireystilan olleen korkeammalla tasolla puuhuoneessa levon aikana ja levon jälkeen, mikä saattaa selittää hieman parempaa suoriutumista levon jälkeisessä tarkkaavaisuustehtävässä puuhuoneessa. Tutkimus osoittaa, että puumateriaali vaikuttaa ihmisen tuntemuksiin ja työtilojen materiaalivalinnoilla voi olla vaikutusta jopa työstä suoriutumiseen.

Tässä tutkimuksessa puinen lattia ja yksi puinen seinä vaikuttivat jonkin verran suhteellisen ilmankosteuden vaihteluiden tasaantumiseen. Massiivipuuisessa rakennuksessa, jossa kosteutta sitovaa pinta-alaa on enemmän, kosteuspuskuroinnilla voidaan olettaa olevan suurempi merkitys. Tässä tutkimuksessa mitattujen ja arvioitujen lämpötilojen erotukset eivät eronneet huoneiden välillä, eikä voida olettaa, että lyhyen aikavälin mittauksessa puumateriaalin kosteudensitomisoimaisuudella olisi aistittavia vaikutuksia ihmiseen. Vaikutus voi kuitenkin olla merkittävä esimerkiksi massiivipuuisissa rakennuksissa.

Mitatut akustiset jälkikaiunta-aikojen erot jäivät myös pieniksi testihuoneiden välillä. Akustiikan merkitys korostuu isoissa rakennuksissa ja tiloissa, joissa melutasot voivat nousta korkeiksi. Puun tuoksu oli selvimmin aistittava puumateriaalin ominaisuus, joka vaikutti sisäympäristön ominaisuuksiin. Puinen seinäpaneeli, lattia ja pöytälevy nostivat tiettyjen puuperäisten yhdisteiden, kuten terpeenien ja aldehydien pitoisuuksia puuhuoneessa. Erot jäivät kuitenkin muutaman kymmenen mikrogramman ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) tasolle. Puumateriaali ei oleellisesti lisännyt yhdisteiden kokonaismäärää tiloissa. Puuperäisten yhdisteiden pitoisuuden ero oli kuitenkin aistittavissa, sillä puuhuoneen tuoksusta pidettiin enemmän.

Media-analyysin pohjalta kuntapäätöksenteon ajurit ovat pitkälti samoja, mitä myös uutismediassa painotetaan. Puumateriaalia pidettiin ratkaisuna sisäilmaongelmille ja sen ajateltiin tuovan miellyttävän ääniympäristön uusiin koulurakennuksiin akustisten ominaisuuksiensa vuoksi. Puumateriaalin ajateltiin edistävän kunnan mainetta ja hiilineutraalisuustavoitteita ja hankintapäätöksillä haluttiin tukea paikallista ja kansallista puutuoteteollisuutta. Hinta ja rakennustekniset ongelmat tai tiedon puute olivat keskeisimmät esteet tai hidasteet puumateriaalivalinnoille. On tärkeää, että mielikuvien rinnalle saadaan tieteellistä koeasetelmilla todennettua tietoa, mihin tutkimuksemme osaltaan pyrkii vastaamaan.

Teimme lopuksi periaatteellisia laskelmia tietyillä oletuksilla siitä, miten puumateriaaliin investoiminen ja mahdollisesti sitä kautta hyvinvoinnin lisääminen, ja työn tuottavuuden parantaminen voisi tarkoittaa rahallisesti. Meillä ei ole kuitenkaan tietoa hyvinvoinnin ja tuottavuuden välisestä yhteydestä eri tilanteissa, vaan yhteys riippuu myös huomattavasti tehtävästä työstä ja monista muista muuttujista. Hankkeemme perusteella haluaisimmekin lisätä kohdennettua tutkimusta siitä, miten työskentely-ympäristöjen suunnittelu ja materiaalivalinnat vaikuttavat erilaisissa työnteon esimerkkitapauksissa hyvinvointiin ja tuloksellisuuteen. Tällöin taloudellisen investoinnin kannattavuus voitaisiin laskea tarkemmin (todellisiin tuotoksiin ja niiden muutoksiin perustuen). Siten ympäristöjen, suunnittelun ja materiaalivalintojen merkitystä yksilölle mutta myös koko yhteiskunnalle voitaisiin ymmärtää entistä paremmin.

Lähteet:

- Acharya, U.R., Joseph, K.P., Kannathal, N., *et al.* (2006) Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput* 44:1031–1051.
- Burnard, M., Kutnar, A. (2020) Human stress responses in office-like environments with wood furniture. *Build Res Inf* 48:316–330.
- Demattè, M.L., Zucco, G.M., Roncato, S. *et al.* (2018). New insights into the psychological dimension of wood–human interaction. *Eur J Wood Prod* 76:1093–1100.
- Efron, B., Tibshirani, R. (1986). Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. *Statistical science* 54–75.
- Ernst, G. (2017) Hidden signals—the history and methods of heart rate variability. *Front Public Health* 5: 265
- Fell, D. R. (2010). Wood in the human environment: Restorative properties of wood in the built indoor environment (Doctoral dissertation). University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
- Fisher, C., Noble, C. (2004). A within-person examination of correlates of performance and emotions while working. *Human Perform.* 17:145–168.
- Fox, S., Spector, P. (1999). A model of work frustration-aggression. *Journal of Organizational Behavior.* 20:915–931
- Francart, N., Larsson, M., Malmqvist, T., Erlandsson, M., & Florell, J. (2019). Requirements set by Swedish municipalities to promote construction with low climate change impact. *J Clean Prod* 208:117–131.
- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H.S., *et al.* (2013). Bayesian data analysis, 3rd edition. New York: Chapman and Hall/CRC.
- Graziotin, D., Wang, X., Abrahamsson, P. (2014). Happy software developers solve problems better: psychological measurements in empirical software engineering. *Peer J* (San Francisco, CA), 2: e289.
- Graziotin, D., Wang, X., Abrahamsson, P. (2015). Do feelings matter? On the correlation of affects and the self-assessed productivity in software engineering. *Journal of Software: Evol Proc* 27:467–487.
- Grote, V., Lackner H., Muhry, F., Trapp, M., (2003) Evaluation der Auswirkungen eines Zirbenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. JOANNEUM RESEARCH Institut für Nichtinvasive Diagnostik, Forschungsprojekte https://www.tomasoethof.com/de/Wohlbefinden_Endbericht.pdf
- Hansson, S. O. (2007) Philosophical problems in cost-benefit analysis. *Econ philos.* 23:163.
- Hartig, T., Mang, M., Evans, G.W. (1991) Restorative effects of natural environment experiences. *Environ Behav* 23: 3–26.
- Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ø. V., Toverud, K.C. (2009) *Hermosto, kirjassa Ihmisen Fysiologia*, 4th ed. WSOY Oppimateriaalit, ch. 3, pp. 101–140.
- Helton, W. (2009). Impulsive responding and the sustained attention to response task. *J Clinical Exp Neuropsych* 31:39–47.
- Ikei, H., Song, C., Miyazaki, Y. (2017) Physiological effects of touching wood. *Int J Env Res Publ Health* 14:773.

- Isen, A., Means, B. (1983). The influence of positive affect on decision-making strategy. *Social Cognition* 2:18–31
- Jiménez, P., Dunkl, A., Eibel, K. *et al.* (2016) Wood or laminate? -Psychological research of customer expectations. *Forests* 7(11):275.
- Korhonen, T., Rossi, P., Blasco, D. K., *et al.* (2021) Puurakentaminen kunnissa–julkinen keskustelu päätöksentekoa ohjaamassa. *Focus Localis* 2:5-28.
- Kaplan, R., Kaplan, S. (1989) The experience of nature: a psychological perspective. Cambridge University Press, Cambridge.
- Killingsworth, M., Gilbert, T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind. *Science (American Assoc Advance Sci)* 330:932–932.
- Korpela, K., Ylén, M., Tyrväinen, L., Silvennoinen, H. (2008) Determinants of restorative experiences in everyday favorite places. *Health Place* 14:636–652.
- Korpela, K. *et al.* (2010) Favorite green, waterside and urban environments, restorative experiences and perceived health in Finland. *Health Prom Int*, 25:200–209.
- Kylläinen ja Hongisto (2019) Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:28.
- Lanki, T., Siponen, T., Ojala, A., Korpela, K. *et al.* (2017) Acute effects of visits to urban green environments on cardiovascular physiology in women: A field experiment. *Environ Res* 159: 176–185.
- Lipovac, D., Podrekar, N., Burnard, M.D. Sarabon N. (2020) Effect of desk materials on affective states and cognitive performance. *J Wood Sci* 66:43.
- Lipovac D, Burnard MD. (2020). Effects of visual exposure to wood on human affective states, physiological arousal and cognitive performance: A systematic review of randomized trials. *Ind Built Env* 0:1–21
- Marteau, T. M. & Bekker, H., (1992) The development of a six-item short-form of the state scale of the Spielberger State-Trait Anxiety Inventory (STAI). *British J Clin Psych* 31: 301–306.
- McGhie, T. (2012) Rail fiasco won't halt franchising. Daily Mail, London
- Miner, A., Glomb, T. (2010). State mood, task performance, and behavior at work: A within-persons approach. *Organ Behav Human Decis Proc*, 112:43–57
- Muilu-Mäkelä R, Kilpeläinen, P., Kitunen V. *et al.* (2021) Indoor storage time affects the quality and quantity of volatile monoterpenes emitted from softwood timber. doi.org/10.1515/hf-2020-0262
- Muilu-Mäkelä R, Haavisto M, Uusitalo J. (2014) Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä - kirjallisuuskatsaus. Metlan työraportteja 320, ISBN 978-951-40-2523-5.
- Nore, K., Nyrud, A., Kraniotis, D. *et al.* (2017) Moisture buffering, energy potential, and volatile organic compound emissions of wood exposed to indoor environments. *Sci Tech Built Env* 23:512-521
- Ojala, A., Neuvonen, M., Leinikka, M., *et al.* (2019a). Virtuaaliluontoympäristöt työhyvinvoinnin voimavarana: Virtunature-tutkimushankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 35 s.
- Ojala, A., Korpela, K., Tyrväinen, L. *et al.* (2019b). Restorative effects of urban green environments and the role of urban-nature orientedness and noise sensitivity: A field experiment. *Health Place* 55: 59–70.

- Osanyintola, O., Simonson, C. (2006) Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact. *Energy Build* 38:1270–1282
- Osgood, C.E. (1956). The nature and measurement of meaning. *Psych Bull*, 49:197–237.
- Oswald, A., Proto, E., Sgroi, D. (2015). Happiness and productivity. *J Lab Econ* 33:789–822
- Palvalin, M. (2019). What matters for knowledge work productivity? *Emplo Relati*, 41:209-227.
- Park, B. J., Tsunetsugu, Y., Kasetani, T. *et al.* (2010). The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Env Health Prev Med*, 15:18e26.
- Parasuraman, A. (2002). Service quality and productivity: a synergistic perspective. *Manag Serv Qual: Int J* 1:6-9.
- Pasanen, T., Johnson, K., Lee, K., Korpela, K. (2018). Can nature walks with psychological tasks improve mood, self-reported restoration, and sustained attention? Results from two experimental field studies. *Front Psych* 9:2057.
- Peng L., Liu, M., Wang, D., Song, B. (2018) Sound absorption properties of wooden perforated plates. *Wood res* 63:559-572.
- Plummer, M. (2003). JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling. Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Poirier G., Demers, C., Potvin A. (2019) Wood perception in daylight interior spaces: An experimental study using scale models and questionnaires. *BioRes* 14:1941-1969
- Posada-Quintero H.F., Chon K.H. (2020) Innovations in electrodermal activity data collection and signal processing: A systematic review, *Sensors*, vol. 20.
- Raanaas, R. K. *et al.* (2011). Benefits of indoor plants on attention capacity in an office setting. *J Env Psych* 31:99-105.
- Ramírez, Y., Nembhard, D. (2004). Measuring knowledge worker productivity: A taxonomy. *J Intell Capit* 5:602–628.
- R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.
- Rice, J., Kozak, R. a., Meitner, M. J., Cohen, D. H. (2006). Appearance wood products and psychological well-being. *Wood Fib Sci* 38:644–659.
- Rich, D. L. (2007). Effects of exposure to nature and plants on cognition and mood: a cognitive psychological perspective, Ithaka; NY: Cornell University.
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., Yiend, J. (1997). “Oops!”: performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsych* 35:747–58.
- Roos, I. (2002). Methods of investigating critical incidents: a comparative review. *J Serv Res* 4:193-204.
- Ryan, R. M., Frederick, C. (1997). On energy, personality and health: subjective vitality as a dynamic reflection of well-Being. *J Person* 65: 529–565.
- Sakuragawa, S., Miyazaki, Y., Kaneko, T., Makita, T. (2005). Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *J Wood Sci* 51:136–140.
- Shaffer, F., Ginsberg, J.P. (2017) An overview of heart rate variability metrics and norms, *Front Public Health*, 5:258.

- Shen J, Zhang X, Lian Z. (2020) Impact of wooden versus nonwooden interior designs on office workers' cognitive performance. *Percept Motor Skills* 127:36-51.
- Simkin, J., Ojala, A., Tyrväinen, L. (2020) Restorative effects of mature and young commercial forests, pristine old-growth forest and urban recreation forest-A field experiment. *Urban Forestry Urban Green* 48:126567.
- Smallwood, J., McSpadden, M., Luus, B., Schooler, J. (2008). Segmenting the stream of consciousness: The psychological correlates of temporal structures in the time series data of a continuous performance task. *Brain Cogn*, 66:50–56.
- Spielberger, C. D. (1989) State-trait anxiety inventory: Bibliography (2nd ed.). Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Tsunetsugu, Y., Park, B. J., Ishii, *et al.* (2007) Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest) in an old-growth broadleaf forest in Yamagata prefecture, Japan. *Journal of Physiological Anthropology*, 26:135e142.
- Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K. *et al.* (2014) The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *J Env Psych* 38: 1–9.
- Ulrich, R. S. (1983) Aesthetic and affective response to natural environment. Teoksessa: I. Altman & J. F. Wohlwill (toim.). Human behavior and environment: Advances in theory and research. *Behav Natural Env* 6:85–125.
- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D. *et al.* (1991) Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *J Env Psych* 11: 201–230.
- Watson, D., Clark, L. A., Tellegen, A. (1988) Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS Scales. *J Person Social Psych* 54:1063–1070.
- Zhang X. *et al.* (2016) Investigation variance in human psychological responses to wooden indoor environments. *Build Env* 109:58-67.
- Zhang X, Lian Z, Wu Y. (2017) Human physiological responses to wooden indoor environment. *Physiol Behav* 174:27-34.