



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2022

ISSN 2535-2806

MINA fagrapport 81

Rapport fra gjennomgang av forskningsbasert litteratur om trebruk i innemiljø og helseeffekter

Kaja Aamodt Heltorp
Anders Q. Nyrud



Heltorp, K.A., Nyrud, A.Q. 2022. **Rapport fra gjennomgang av forskningsbasert litteratur om trebruk i innemiljø og helseeffekter.** – MINA fagrapport 80. 32 s.

Ås, desember 2022

ISSN: 2535-2806

RETTIGHETSHAVER

© Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Jan Vermaat, MINA, NMBU

OPPDRAKSGIVER

Norwegian Wood Cluster

FORSIDEBILDE

Bilder generert av Dall E 2 (“a realistic building of a healing wood environment living room”)

NØKKEWORD

Trematerialer, helse, litteraturstudie

KEY WORDS

Wood materials, health, literature review

Anders Q. Nyrud (anders.qvale.nyrud@nmbu.no) & Kaja Aamot Heltorp: Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Forord

Denne gjennomgangen av forskningsbasert litteratur om tre og helse er utarbeidet på oppdrag fra Norwegian Wood Cluster i forbindelse med forprosjekt «Tre og helse – helseutfall ved bruk byggemateriale av tre (TreHTre)». Forprosjektet har fått økonomisk støtte fra FORREGION Innlandet. Dette prosjektet har som hovedmål å kartlegge kunnskapsstatus om helseeffekter av bruk av trematerialer i innemiljøer. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet er forskningspartner i prosjektet, og har vært ansvarlig for arbeidet. Kapitlet om avgassing er kvalitetssikret av en stipendiat på NMBU Ingrid Bakken.

Ås, 24. august 2022

Kaja Aamodt Heltorp

Anders Q. Nyrud

Sammen drag

Formålet med denne rapporten er å gi et overblikk over kunnskapsstatus om helseeffekter av trebruk, og å identifisere områder der mer forskning er nødvendig for å konkludere om årsaker og virkninger. I rapporten legges en vid forståelse av helse til grunn, og et vidt spekter av helserelaterte studier er derfor inkludert. Denne litteraturstudien er ment å gi oversikt over temaet, men er ikke uttømmende i.e. den inkluderer ikke alle publiserte artikler relatert til tre og helse.

Forskningsartiklene som ligger til grunn for rapporten er hovedsakelig identifisert gjennom litteratursøk og forhåndskjennskap til forskningsområdet. En kort oppsummering av resultatene fra litteraturgjennomgangen finnes i tabell 1.

Det er mange *mulige* positive helseeffekter av trebruk, men den forskningsbaserte kunnskapsbasen er ikke solid nok til å trekke endelige konklusjoner om flertallet av effektene. Ofte er også årsak-virkningsforholdene mellom treet og forskjellige effekter utfordrende å isolere. En del artikler har svakheter som begrenset utvalg, ingen kontroll og uegnede målemetoder slik at resultatenes validitet kan trekkes i tvil.

I noen tilfeller er helseeffekter knyttet direkte til treets egenskaper. Trematerialer kan for eksempel ta opp og avgi fuktighet. I slike tilfeller er det usikkerhet knyttet til om den praktiske betydningen av egenskapen er så stor at den har en effekt på helse. Kjente potensielle negative helseeffekter av trebruk er begrenset til virkninger av lavfrekvent støy og sykdom forårsaket av, eller reaksjoner på, flyktige organiske forbindelser.

På et område er forskningen mer eller mindre konsistent. Resultater fra persepsjonsstudier viser at tre oppfattes som *naturlig, sunt, hyggelig, varmt, behagelig, og komfortabelt*. Resultater fra preferansestudier viser at heltre systematisk foretrekkes fremfor andre materialer og over tre-kompositt produkter.

Tabell 1: Oppsummering av resultater

Område	Effekt	Kunnskapsgrunnlag	Oppsummering
Avgassing av flyktige organiske forbindelser.	Forbigående luftveisplager, hodepine, i sjeldne tilfeller astma og kreft	God om stoffene, helseeffekt i høy konsentrasjon ol., mindre om forekomst, effekter i lav konsentrasjon og cocktaileffekter	Negative helseeffekter som (trolig) kan avbøtes
	Immunforsvarstimulerende	Begrenset	Potensielt positive helseeffekter, men begrenset kunnskapsgrunnlag
	God lukt, avstressing og velvære	Begrenset	
	God søvnkvalitet	Begrenset	
Evne til å ta opp og avgi fuktighet	Behagelig, bedre opplevd luftkvalitet, bidra til å unngå ideelt klima for virus, irriterte slimhinner og så videre	Treetts egenskaper er godt dokumentert, men effektens størrelse og praktisk betydning er usikker	Positiv helseeffekt, forutsatt at effekten er stor nok til å ha praktisk betydning
	Energibesparende og behagelig		
Hygiene og smittevern	Tre har egenskaper som kan hemme utvikling av bakterier og virus	Effektene er dokumentert, men resultatene spriker og den praktiske betydningen er usikker	Potensielt positiv helseeffekt, men mer forskning nødvendig for å avgjøre praktisk betydning
Akustikk	Tre er ideelt til bruk i konserthaller fordi tre i liten grad absorberer lyd	Treetts egenskaper er godt dokumentert, men kunnskap om akustikk i trebygninger er mangelfull.	Positive og negative effekter avhengig av bruk. Negative effekter kan avbøtes
	Mye vibrasjoner og (lavfrekvent) støy i større trebygninger og rom. Dette kan stresse irritere og lignende		
Restitusjon fra stress	Mindre stress og/eller raskere restitusjon fra stress	Kan utledes fra teorier fra miljøpsykologi. Finnes også eksperimentelle studier	Potensielt positiv helseeffekt, men kunnskapsgrunnlaget er begrenset
Konsentrasjon	Tre i innemiljø kan bidra til økt konsentrasjon	Kan utledes fra teorier fra miljøpsykologi, i tillegg finnes noen eksperimentbaserte studier	Potensielt positiv helseeffekt, men kunnskapsgrunnlaget er begrenset
Persepsjon og preferanser	Mange mennesker opplever velvære og komfort i treinteriør. Tre skaper gode assosiasjoner	Grunnlaget er konsistent og studiene relativt mange, men utvalgene er ofte små.	Hviler på antagelse om at det man liker gir positive helseeffekter
Effektivitet, kreativitet og produktivitet	Tre i innemiljø kan gi økt effektivitet, økt produktivitet og økt kreativitet	Begrenset	Potensielt positive helserelaterte effekter
Tre i helse og undervisningsbygg	Stressreduksjon og andre mulige positive effekter antas å være fordelaktige i helsebygg og i undervisningsbygg	Hviler på miljøpsykologi, antagelser om mulige positive effekter av trebruk, og noen enkeltstudier fra helsebygg	Potensielt positive helserelaterte effekter, men kunnskapsgrunnlaget er begrenset

Summary

The purpose of this report is to provide an overview of the state of knowledge on the health effects of wood use, and to identify areas where more research is needed. The report is based on a broad understanding of health, and a wide range of health-related studies is therefore included. This literature study is intended to provide an overview of the topic, but is not exhaustive, i.e. it does not include all published articles related to wood and health.

The research articles that form the basis of the report have mainly been identified through literature searches and prior knowledge of the research area.

There are many possible positive health effects of wood use, but the research-based knowledge base is not solid enough to draw definitive conclusions about the majority of the effects. In many cases it is difficult to isolate the cause-effect relationships from wood from other effects. Some articles have weaknesses such as limited selection, no control groups/variables and unsuitable measurement methods, and the validity of the results can therefore be questioned.

In some cases, health effects are linked directly to properties of wood. Wood materials can, for example, absorb and release moisture. In such cases, there is uncertainty about whether the magnitude of effects related to the property is large enough to affect health outcomes. Known potential negative health effects of wood use are limited to transmission of low-frequencies in light-frame buildings, and reactions to volatile organic compounds.

In one area, the research is considered consistent. Results from perception studies show that wood is perceived as natural, healthy, pleasant, warm and comfortable. Results from preference studies show that solid wood is systematically preferred over other materials and over wood-composite products.

Innhold

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Summary	iv
Innledning.....	1
Metode og materiale	2
Resultater.....	3
Inneklima	3
Avgassing av flyktige organiske forbindelser	3
Tre som luftfuktighets- og temperaturbuffer.....	6
Andre studier av luft- og/eller miljøkvalitet i trebygg.....	6
Hygiene- og smittevern.....	7
Akustikk, støy og vibrasjoner.....	7
Psykologiske helseutfall	9
Teoretisk bakgrunn	9
Eksperimentelle studier	12
Visuell stimulering	12
Persepsjonsstudier – sammenligninger og assosiasjoner	15
Preferanser: farge, heterogenitet, navn og struktur.....	16
Trebruk i helse og behandlingsmiljøer	17
Tre i skolemiljø	18
Mer om produktivitet, effektivitet, konsentrasjon og kreativitet.....	19
Diskusjon.....	20
Eksempler på områder med behov for videre forskningsinnsats.....	20
Konklusjon.....	22
Litteratur.....	23

Innledning

Den tradisjonelle forskningstilnærmingen til bygg og helse har i stor grad fokusert på å dokumentere hvordan bygninger og materialer kan gjøre folk syke (se for eksempel Colenberg, Jylhä et al. 2021). Fokuset er imidlertid i ferd med å skifte: Burnard and Kutnar (2015) skriver for eksempel i sin litteraturgjennomgang om stress og bygningsutforming at bygningssektoren bør prioritere å bygge helsefremmende miljøer, og at forskningsbasert designprinsipper må brukes for å forsikre at konstruerte miljøer er fordelaktige for de som befinner seg i dem. Kunnskap om hvordan bygninger kan utformes for å gjøre brukerne godt er økende (e.g. Rice, Kozak et al. 2006, Burnard and Kutnar 2015, Heidari, Younger et al. 2017), og kan være nyttig for flere enn aktører i byggsektoren: Heidari, Younger et al. (2017) skriver at helsefremmende bygninger er vinn-vinn for samfunnet da de har positive ringvirkninger for områder som økonomi, samfunn, miljø og energieffektivitet.

Helse kan være et uklart begrep. De allmenne og folkelige forståelsene av helse er (kanskje) først og fremst «fravær av sykdom», «å være frisk» eller «å unngå å bli syk» (Braut 2022). I medisin er helse definert som «evnen til å effektivt svare på stressfaktorer¹ og effektivt restituere og vedlikeholde en likevekts balanse», mens Verdens helseorganisasjon (WHO) har definert helse som «en tilstand av fullstendig fysisk, mentalt og sosialt velvære og ikke bare fravær av sykdom eller lidelser»² (regjeringen.no, 2014).

Sammenlignet med de folkelige forståelsene av helse er WHO's helsedefinisjon svært vid. Den er også debattert og kritisert, blant annet fordi den gjør tilnærmet alle mennesker syke (i.e. Callahan 1973, Saracci 1997, Leonardi 2018). Ifølge Braut (2022) er formålet med WHO's helsedefinisjon å synliggjøre hvordan helse er sektoroverskridende. WHO's forståelse ligger til grunn for denne litteraturgjennomgangen, og gjør at et vidt spekter av helserelaterte temaer er inkludert.

I tillegg til denne rapporten, finnes det minst tre litteraturgjennomganger av forskningslitteratur om tre og helse utarbeidet på oppdrag av bransjeaktører. På oppdrag fra Stora Enso har TUM (Technische Universität München) gjennomført en litteraturgjennomgang som er bakgrunnsmateriale for en rapport (Stora Enso n.d.) og et white paper (Stora Enso n.d.). I tillegg finnes Lowe (2020), en rapport laget på oppdrag fra Forestry Innovation Investments som er et offentlig kanadisk foretak og Cameron (2014) som er skrevet på oppdrag fra Australiske «Planet Ark».

¹ Her menes stressfaktorer i vid forstand.

² Original tekst fra verdens helseorganisasjons stiftelsesdokument er; «a state of complete physical and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity» (World Health Organization 1946).

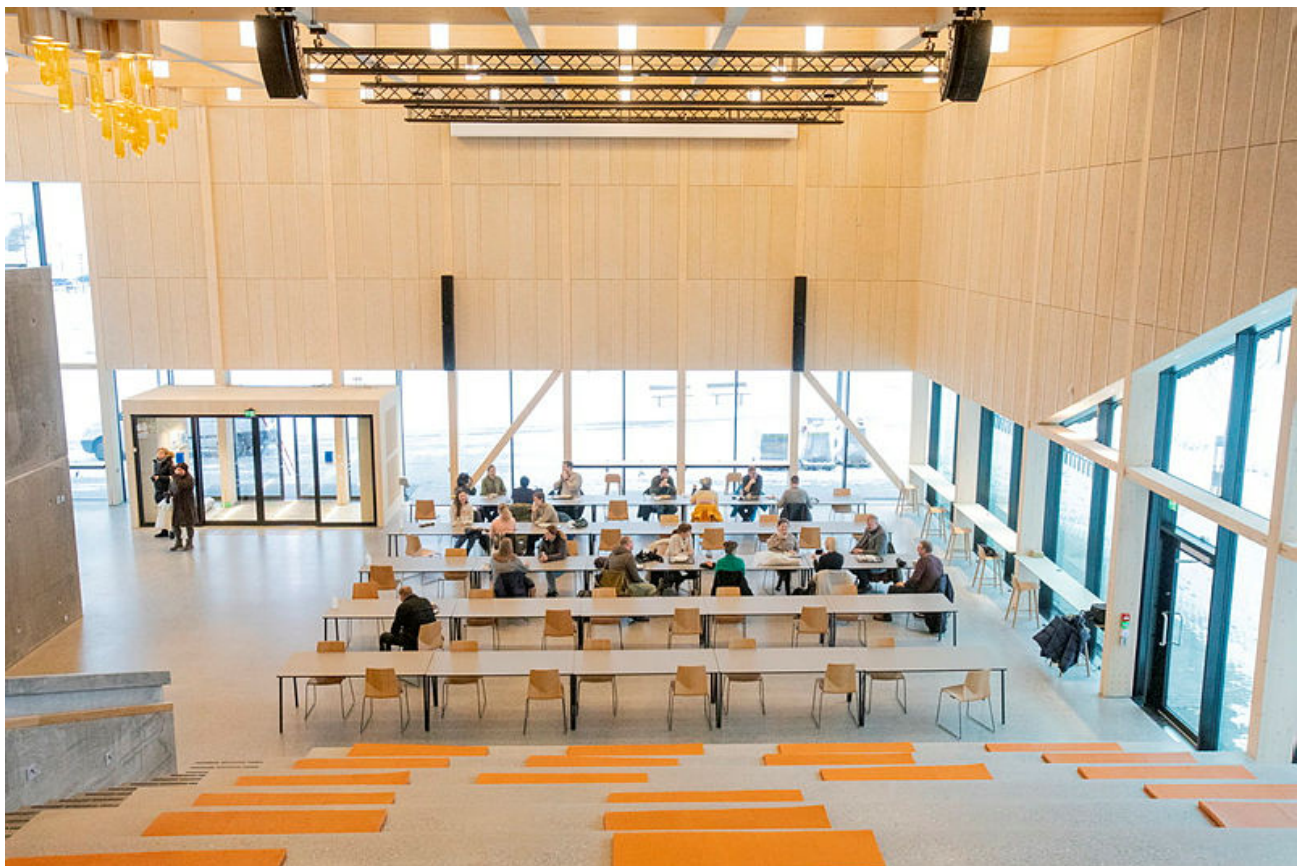
Metode og materiale

Målet for denne litteraturgjennomgangen var å gi en oversikt over forskning på helseeffekter av trebruk i innemiljø, og identifisere områder hvor det finnes for lite forskningsbasert kunnskap til å trekke konklusjoner om sammenhenger. Dette er *ikke* en uttømmende liste over all forskning på dette området. For å effektivisere arbeidet er allerede publiserte litteraturstudier benyttet der slike finnes..

Litteraturen som er gjennomgått er identifisert gjennom nøkkelordsøk på kombinasjoner av ordene «health», «environment», «indoor», «buildings», «wellness», «wellbeing», «wood» i forskningsdatabasen «Web of science» [WoS](https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/) <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/> , funnet gjennomforkunnskap om fagområdet, eller gjennom siteringer i allerede identifiserte artikler. Det ble ikke satt opp strenge kriterier for å inkludere eller ekskludere litteratur, isteden er det gjort fortløpende kvalitative vurderinger av relevans.

Bare artikler som i sin helhet er publisert på engelsk er inkludert. Dette kan utelukke relevant litteratur på andre språk.

I tillegg til forskningsartiklene er det referert til noen rapporter som ikke har gjennomgått noen fagfelle-vurdering i denne litteraturgjennomgangen. Disse er stort sett fra solide etablerte institusjoner. Der oppdragsgiver har tydelige interesser i sektoren, slik som for eksempel i Knox and Parry-Husbands (2018) har vi tilstrebet at oppdragsgiver skal komme frem i teksten. De fleste rapportene har vi kjent til på forhånd.



Moderne kantineområde med tak og vegger i tre. Foto: Håkon Sparre/NMBU

Resultater

Inneklima

Mange mennesker tilbringer så mye som 90% av livet innendørs, og er derfor nesten kontinuerlig påvirket av innemiljøkvaliteten i bygningene de oppholder seg i. Både ubehag og mistrivsel og mange helseplager kan knyttes til innemiljø. Helseplager som kan komme av innemiljøkvalitet inkluderer hodepine, utmattelse, konsentrasjonsproblemer, irriterte luftveier, tørre øyne og infeksjoner i øynene og allergiske reaksjoner. Over tid kan mennesker som oppholder seg i bygninger med dårlig inneklima utvikle tid allergi, astma og i sjeldne tilfeller kreft. I tillegg påvirker innemiljø både trivsel, læring, presentasjon og opplevelsen av velbehag.

Avgassing av flyktige organiske forbindelser

Flyktige organiske forbindelser³ er et sekkebegrep som rommer svært mange naturskapte og menneskeskapte forbindelser. Felles for dem er at de inneholder karbon og hydrogen, og at de har lavt kokepunkt slik at de lett avgasser fra fast stoff til gass. Flyktige organiske forbindelser finnes utendørs, men konsentrasjonen er gjerne to til fem ganger høyere innendørs. Kilder i innendørs miljøer inkluderer byggematerialer, herunder tre- og trekompositter men også for eksempel betong, data- og annet elektrisk utstyr, rengjøringsprodukter, oppvarming, maling, lakk, lim, møbler, tepper, gulvbelegg, matlagning, kosmetikk med mer. Noen stoff gir en konstant lav avgassing. Andre, som for eksempel maling, gir en høy konsentrasjon som etter hvert avtar eller avgasser primært mens de er i bruk slik som er tilfelle med vaskemidler.

Flyktige organiske forbindelser som avgasser fra tre er hovedsakelig flyktige terpenener og terpenoider, aldehyder som hexanal, pentanal og formaldehyd, organiske syrer, alkoholer som metanol og etanol, ketoner som aceton, og alkylfuraner som ethyl-, propyl- og pentylfuraner. Avgassingen er avhengig av stoffenes kokepunkt. Stoffe med lavt kokepunkt er dermed mer flyktig – dvs. det avgasser raskere, enn stoff med høyere kokepunkt. Formaldehyd har for eksempel et svært lavt kokepunkt på -19°C , og avgasser derfor svært lett. Om temperatur og luftfuktighet er stabile vil avgassingen bremse når det er likevekt mellom mengden forbindelser i materialene og i luften (Pohleven, Burnard et al. 2019).

I tillegg til temperatur og luftfuktighet vil avgassingen fra tre i et rom påvirkes av generelle faktorer som ventilasjon og (UV-) lys, og materialrelaterte faktorer som treslag, voksested, høstetidspunkt, skader på treverket, lagringsforhold, lagringstid og tørking. Eventuelle overflatebehandlinger (som maling, lakkering osv.) vil ofte bremse avgassing fra materialet fordi det skaper en barriere mellom tre- og luft, men overflatebehandlinger som maling og lakk kan også være en kilde til avgassing.

Avgassing kan være primær eller sekundær. Sekundær avgassing skjer etter fysiske (mekanisk bearbeidelse eller slitasje) eller kjemiske (i.e. oksidering) reaksjoner som frigjør kjemisk bundne forbindelser i treverket. Primære avgassing kommer av frie forbindelser, som er til stede i relativt store mengder ved høsting og når materialene er nyprodusert. Terpen og terpenoider, som er signalstoffer lagret i harpikskanalene i bartrær, tilhører denne gruppen. Fordi disse stoffene finnes i stor mengde i bartrær er avgassingen fra bartrematerialer større enn avgassingen fra løvtrær, spesielt tidlig i materialenes/bygningenes levetid. Avgassingen av terpen og terpenoider synker raskt de første 6 månedene etter bygging og stabiliserer seg, forutsatt at de ikke utsettes for fukt eller lignende som gjør at avgassingen igjen øker. Varmebehandling frigjør terpenener og terpenoider, slik at varmebehandlede bartrematerialer avgasser mindre enn ubehandlede materialer.

³ Volatile organic compounds forkortet VOCs på engelsk

Stor usikkerhet

Med enkelte unntak antas det at (høy) konsentrasjon og/eller (lang) eksponeringstid er nødvendig for at flyktige organiske forbindelser skal kunne gi alvorlige helseeffekter (AgBB 2018, Pohleven, Burnard et al. 2019, Adamová, Hradecký et al. 2020). Samtidig kan avgassing i noen tilfeller påvirke inneklime og menneskers opplevelse av luftkvalitet. Kunnskap om for eksempel helseeffekter og grenseverdier mangelfull, og det kan ikke med sikkerhet avises at flyktige organiske forbindelser ikke kan utgjøre en helserisiko i små konsentrasjoner. Cocktail-effekter er også mulig. Selv om helserisiko forbundet med en og en av forbindelse og konsentrasjonene av hver av disse er lave, er kan det ikke utelukkes at kombinasjoner av forbindelser kan ha uheldige og/eller alvorlige effekter.

Engangsmålinger og målinger av nivå av enkeltforbindelser gir for lite kunnskap til å trekke konklusjon om helserisiko og om den generelle mengden flyktige organiske forbindelser i en bygning. Dette er fordi enkeltstoffene kan inngå i cocktail-effekter og fordi nivået av flyktige organiske forbindelser kan endres kraftig med aktivitet, alder på bygning- og bygningsmaterialer, temperatur, luftfuktighet osv. Målinger av avgassing i bygninger bør derfor skje i lengre tidsserier Folkehelseinstituttet (2016).

Skadelig avgassing

Noen flyktige organiske forbindelser har negative effekter også etter kortere eksponering eller i lavere konsentrasjon. Dette gjelder for eksempel formaldehyd, et stoff som kan fremstilles fra metanol og anvendes i kjemisk industri og som konserverings- og desinfeksjonsmiddel, men som også avgasser fra tre. Formaldehyd er viet relativt stor plass i forskningslitteraturen, fordi stoffet er svært giftig. Eksponering kan gi luftveisproblemer og hodepine og astma (Lam, Koustas et al. 2021) og i skjeddene tilfeller kreft. Det er imidlertid svært lite sannsynlig at de lave verdiene som er funnet av formaldehyd innendørs i Norge skulle kunne gi slike alvorlige helseeffekter (helseinformatikk 2020). I større konsentrasjoner har formaldehyd stikkende lukt og kan gi umiddelbart ubehag og irritasjon av øyne og luftveier, nysing, hosting, kvalme og pustevansker.

På grunn av lavt kokepunkt øker avgassing av formaldehyd ved varmebehandling og ved høye temperaturer. Ifølge Pohleven, Burnard et al. (2019) er det sjelden brukt metoder som er egnet til å måle utslipp av potensielt helseskadelige aldehyder i studier av avgassing fra trematerialer.

På grunn av bruk av lim har sponplater tradisjonelt vært en betydelig kilde til avgassing av formaldehyd. Avgassing fra sponplater har imidlertid avtatt betraktelig ettersom kunnskap om problematikken har økt, slik at det er lite sannsynlig at slike plater lenger utgjør noen helserisiko (norsk helseinformatikk 2019).

Helsefremmende avgassing?

Det finnes studier som antyder at noen flyktige organiske forbindelser fra tre kan gi stressreduksjon, bedre immunfunksjoner og kanskje til og med beskytte mot kreft og betennelser (Li, Kobayashi et al. 2009, Son, Lim et al. 2013, Ikei, Song et al. 2017). Mange mennesker oppfatter videre den karakteristiske lukten av terpen og terpenoid som behagelig, og opplever at lukten stimulerer frem gode følelser. Bildet er likevel ikke entydig positivt, da disse stoffene også kan være irriterende for øyne og slimhinner (WOLKOFF*, Clausen et al. 2000, Nøjgaard, Christensen et al. 2005).

Det er mulig at flyktige organiske forbindelser fra (bar-)tre kan påvirke søvnkvalitet: Grote, Frühwirth et al. (2021) målte søvnkvalitet gjennom overvåkning av cardio-respiratorisk interaksjon (CRI), hjertefrekvens, nerveaktivitet, og selvrapporing hos 15 deltagere i til sammen 253 netter. Målinger ble gjort både mens deltagerne sov i en treseng av sembrafuru

(*Pinus cembra*), og mens de sov i en melaminseng av trebaserte materialer. Både den objektivt målte og den subjektivt rapporterte søvnkvaliteten var bedre når deltagerne sov i tresenger. De objektive målingene var spesielt bedre den første timen med søvn. Forfatterne (op.cit) skriver at avgassing av flyktige organiske forbindelser som er gunstig for søvn er en mulig forklaring på funnene. Morita, Yanagisawa et al. (2020) fikk lignende resultater i sin studie av data fra 671 Japanske arbeidere og skriver at deres resultat indikerer at treinteriør i soverom kan være gunstig for komfort og søvn og derfor helse.



*Kontor- og undervisningsfasiliteter med ekstensiv bruk av tre under bygging i veterinærbygget på NMBU.
Foto: Håkon Sparre/NMBU*

Tre som luftfuktighets- og temperaturbuffer

Evnen til å ta opp- og avgi fuktighet varierer med materialeegenskaper. Bygningsmaterialer som er porøse, slik som tre- og cellulosebaserte materialer, kan fungere som en buffer som flater ut svingninger i innendørs luftfuktighet. Materialer av tre har bedre bufferevne enn for eksempel gips (Cerolini, D'orazio et al. 2009).

Svingninger i luftfuktighet oppleves ubehagelig for de som befinner seg i bygningen. Om slike svingninger flates ut kan dette derfor bidra til bedre opplevd luftkvalitet (Fang, Clausen et al. 1998, Simonson, Salonvaara et al. 2001, Cascione, Maskell et al. 2019). Verken høy- eller lav luftfuktighet er helsefremmende, og begge bør unngås. Høy luftfuktighet er ubehagelig og kan bidra til å øke spredningen av virus (Toftum, Jørgensen et al. 1998), mens lav luftfuktighet kan gi tørrhet i hud- eller slimhinner (Zhang, Yoshino et al. 2012).

Når materialene bufrer fuktighet, bufrer de samtidig energi. Dette kan redusere energiforbruk i bygninger med trematerialer. Bruk av trematerialer har i følge for eksempel Zhang, Qin et al. (2017) og Osanyintola and Simonson (2006) potensiale for å redusere energiforbruket med mellom 5% og 30%. Potensiale for energisparing er høyere ved kjøling enn ved oppvarming, slik at energibesparingspotensiale ved bruk av vil være høyere i land med varmere klima enn Norge.

Artikler i dette området som er publisert det siste tiår har fokusert på blant annet kvantifisering av forskjellige materials bufferkapasitet, testing og dokumentasjon av temperatur og energisparingseffekt, utvikling av prediksjonsmodeller (Kraniotis, Nyrud et al. 2015, Nore, Nyrud et al. 2017, Zhang, Qin et al. 2017, Cascione, Maskell et al. 2019, Zhou, Desmarais et al. 2022). I tillegg har det vært arbeidet med å teste og identifisere overflatebehandlinger som forsterker bufferkapasiteten (Lozhechnikova, Vahtikari et al. 2015), og med å kartlegge hva som påvirker fuktighetsopptak og fuktighetsavgivelse bortsett fra materialenes bufferkapasitet (Li, Fazio et al. 2012). Denne kunnskapen er viktig for å kunne forutse effektene i bygninger og dermed utnytte materialeegenskapene på best mulig måte både for å optimalisere både luftkvalitet og energiforbruk.

Andre studier av luft- og/eller miljøkvalitet i trebygg

Det finnes flere eksempler på helhetlige luftkvalitetsmålinger i forskjellige typer trehus, for eksempel Derbez, Berthineau et al. (2014) som gjennomførte gjentatte målinger av helhetlig luftkvalitet i to nybygde bolighus oppført i tre i Frankrike gjennom tre år. Selv om husene var nye, fant de hovedsakelig lite innendørs forurensning. Variasjoner i luftkvalitet kunne ved starten av prosjektet knyttes til et ikke optimalt fungerende ventilasjonssystem, nye materialer, maling og lignende, og etter hvert til annen menneskelig aktivitet.

Cho, Lee et al. (2019) målte luftkvaliteten i 12 velferdsinstitusjoner (åtte for småbarn og fire for eldre) i Japan, før og etter rehabilitering med trebruk. De brukte kvalitetsparameterne "komfortfaktor" (i.e. temperatur og relativ luftfuktighet), mengde luftbårne bakterier, mengde svevestøv, mengde luftbårne asbestfibre, og mengde kjemisk forurensning (inkludert karbonmonoksid og karbondioksid, formaldehyd, radon, og nitrogenoksid). De konkluderte at luftkvaliteten møtte internasjonale retningslinjer på nesten alle punkt på alle institusjonene, og at den hadde blitt bedre etter rehabilitering med omfattende trebruk. Det er imidlertid vanskelig å bestemme årsak og virkning når gamle materialer erstattes med nye, da forbedringen kan ha skyltes utgangspunktet (i.e. tilstand før rehabilitering), slik at forbedring ville blitt observert uavhengig av materialvalg.

Innendørs miljøkvalitet (EIQ⁴) er et helhetlig mål på hvordan bygninger påvirker helsen og velvære for de som befinner seg i dem. Parameterne som inngår i EIQ varierer noe, men Al Horr, Arif et al. (2016) peker i sin litteraturgjennomgang ut åtte faktorer som ofte er inkludert, nemlig luftkvalitet og ventilasjon, temperatur, dagslys og belysning, støy og akustikk, kontorenes utforming, biofili [Biofili er en designteori/designfilosofi som gir anbefalinger om hvordan designere kan skape miljøer som etterligner naturens kvaliteter innendørs] og utsikt, utseende og følelse, og plassering og fasiliteter. Alapieti, Mikkola et al. (2020) vurderte trebygninger opp mot EIQ. De vurderte spesielt forekomst av flyktige organiske forbindelser, fuktighetsbuffereffekt, antibakterielle effekter og psykologiske effekter. Ifølge deres vurdering har tre for det meste positive eller nøytrale effekter på EIQ, med unntak av avgassing av flyktige organiske forbindelser som kan lukte så mye at det påvirker hvordan luftkvaliteten oppfattes eller unntaksvis høye konsentrasjoner av for eksempel formaldehyd som kan gi negative helseeffekter.

Hygiene- og smittevern

Treets porøsitet er forutsetningen for fuktighetsbuffereffekten, men kan være negativt for hygiene- og smittevern. Når trematerialer benyttes der mange mennesker ferdes eller berører overflater er det ifølge forfattere som Kotradyová and Kaliňáková (2014) noe høyere risiko knyttet til smitte og mikrobiell vekst osv. sammenlignet med hva som hadde vært tilfelle om mindre porøse materialer hadde blitt benyttet. Andre, som Munir, Pailhoriès et al. (2021) mener risikoene er håndterbare med bevist bruk, tilpasset vedlikehold og godt smittevern. Slitasje på grunn av renhold og kjemikalier brukt til renhold kan forekomme, og overflatebehandling for å gjøre treoverflatene enkle å vaske og/eller vannavisende må ofte gjentas. Kotradyová and Kaliňáková (2014) skriver at nanoteknologi som kan endre treets egenskaper og gjøre overflatene vannavisende på sikt kan fjerne behovet for gjentatte overflatebehandlinger.

Mange treslag har antibakterielle og virushemmende egenskaper, slik at bruk av tre muligens også kan ha en positiv smitteverneffekt: eik kan for eksempel hemme fremvekst av stafylokokkbakterier (Pailhoriès, Munir et al. 2017). Antibakterielle effekter i tre har imidlertid primært blitt studert ut fra et matsikkerhetsperspektiv (Alapieti, Mikkola et al. 2020), og ikke i innemiljøssammenheng. I flere studier har forskere utført laboratorietester og sammenlignet smittevernsegenskaper hos forskjellige treslag (Kavian-Jahromi, Schagerl et al. 2015). Smittevernspotensialet varierer en god del, men treslag som ofte brukes i bygg som furu, lerk og gran har alle betydelig evne til å hemme bakterievekst (Kavian-Jahromi, Schagerl et al. 2015, Vainio-Kaila, Kyyhkynen et al. 2015, Alapieti, Mikkola et al. 2020).

Akustikk, støy og vibrasjoner

Innendørs akustikk bestemmes av hvordan lydbølger påvirkes når de treffer tak, vegger, gulv og andre objekter. Overflatematerialer har stor betydning for akustikken i et rom, og tre har generelt en relativt lav evne til å absorbere lyd. Tette trestrukturer benyttes derfor ofte når man vil skape overflater som kanalisere og reflekterer lyd heller enn å absorbere den, slik som når man bygger instrumenter eller konserthaller (Asdrubali, Ferracuti et al. 2017). I bygninger laget for andre formål – som for eksempel kontorbygg, hoteller eller barnehager ønsker de fleste at lyden skal absorberes. Når slike bygg skal oppføres i tre bør det derfor tas høyde for treets manglende lydabsorberende egenskaper.

Akustikk i trebygg er vanskelig og predikere, blant annet at trekonstruksjoner har mange sammenføyninger mellom bjelker og plater, naturlig variasjon i materialene, og mange skjøter. Det er derfor store variasjoner i akustikk i- og mellom trebygg. Dette kan være en flaskehals for

⁴ Environmental indoor quality

trebruk for byggsektoren (Östman, Jarnerö et al. 2008). Tyngde er viktig for god lydisolasjon, spesielt for isolasjon mot lavere lydfrekvenser (200 Hz og lavere). Trekonstruksjoner er relativt lette, og isolerer derfor dårligere mot lavfrekvent støy enn hva for eksempel betong gjør.

Helseeffekt av lavfrekvent støy er ikke godt dokumentert sammenlignet med helseeffekter av høyfrekvent støy (Folkehelseinstituttet 2014). Utover at den oppleves distraherende og irriterende (Baliatsas, van Kamp et al. 2016), og kan gå ut over søvnkvalitet om man eksponeres for den når man skal sove (Waye 2004) har ikke lavfrekvent støy (statistisk) blitt koblet til sykdomsutvikling eller annen alvorlige helseproblematikk.

Östman, Jarnerö et al. (2008) er en litteraturgjennomgang av forskning på akustikk i trebygg utarbeidet gjennom et samarbeidsprosjekt mellom svensk byggindustri og Sveriges Tekniska Forskningsinstitutt. Rapporten gir en grundig gjennomgang av problemstillinger knyttet til akustikk i trekonstruksjoner, og oppsummerer forskningen på området frem til 2008. I tillegg gjennomgås mulige avbøtende tiltak.

Nyere forskningsinnsats på området inkluderer studer som gjennom modellering kvantifiser usikkerheten i estimering av akustiske egenskaper (e.g. Persson and Flodén 2018, Persson and Flodén 2019), laboratorieeksperimenter som undersøker lydisolerende egenskaper hos massiv- og krysslaminert tre (e.g. Homb, Guigou-Carter et al. 2017) testing av nye variabler og modeller for prediksjon av akustikk (e.g. Hu, Dagenais et al. 2020) og testing av sammenhengen mellom målinger av akustikk og subjektive omfatninger av lydnivå (e.g. Hagberg 2018).



Tredetalj. Foto: Håkon Sparre/ NMBU

Psykologiske helseutfall

Ifølge for eksempel Nyrud and Bringslimark (2010) og Alapieti, Mikkola et al. (2020) kan forskning som undersøker psykologiske reaksjoner på trematerialer deles i tre hovedkategorier, nemlig psykofysiske (eksperimentelle) studier, persepsjonsstudier og preferansestudier. Persepsjon, preferanser og psykofysiske responser er beslektede, men likevel separate konsept. Mens psykofysiske responser er provosert frem av ytre stimuli (e.g. visuell, taktil, lukt, eller auditiv), handler persepsjon om hvordan mennesker, gjennom sanser og kognitive prosesser, oppfatter omgivelsene. Preferanser styrer valg mellom forskjellige ting, og styres av smak og ønsker. Mange studier undersøker både persepsjoner og preferanser, eller forsøker å kartlegge hvorfor noe er foretrukket over noe andre, i.e. hva slags persepsjoner som ligger til grunn for en preferanse.

Teoretisk bakgrunn

Mange forskningsartikler om studier av psykiske effekter av tre i innemiljø tar utgangspunkt i teorier som springer ut miljøpsykologi⁵. Miljøpsykologi er en retning innenfor psykologi som dreier rundt hvordan omgivelsene, både naturlige og menneskeskapt, påvirker individene (Svartdal 2020). Ifølge miljøpsykologien kan noen omgivelser gjøre mennesker i bedre stand til å håndtere og restituere fra stress i omgivelsene, mens andre typer omgivelser kan ha motsatt virkning.

Det finnes ingen allment akseptert definisjon av stress, men ifølge Cohen, Kessler et al. (1997) kretser alle foreslåtte definisjoner rundt at stress er fysiske og psykiske reaksjoner som oppstår fordi individet ikke opplever at hen har de biologiske, sosiale eller psykologiske ressursene som er nødvendig for å tilpasse seg krav (i.e. stress-stimuli) fra omgivelsene. Alt stress er ikke negativt: i psykologien illustreres forholdet mellom stressnivå og ytelse som en invers U-kurve hvor både lave og høye stressnivåer gir lav ytelse (Yerkes and Dodson 1908), men høye stressnivåer (over tid) er skadelige: det er funnet både direkte og indirekte sammenheng mellom langvarig stress og en rekke psykiske og fysiske sykdommer som angstlidelser, depresjon, hjerte- og karsykdommer (Norsk helseinformatikk 2022).

ART og SRT

Stressrestitusjonsteorien (SRT⁶) og teorien om oppmerksomhetsinnhenting (ART⁷) benyttes ofte som teoretisk bakgrunn i forskningsartikler som undersøker sammenhenger mellom menneskers omgivelser, stress og restitusjon. SRT forklarer naturens virkning på mennesker med elementer fra evolusjonspsykologi: naturen har restitusjonseffekt fordi menneskeheten i titusenvis av år har utviklet seg i naturen. Mennesker er derfor fysisk og psykisk bedre tilpasset natur enn urbane omgivelser (Ulrich, Simons et al. 1991). I ART forklar virkninger av natur på mennesker med at denne har vært vår ressurspool i tusenvis av år, slik at de er intuitivt fascinerende og trigger spontan oppmerksomhet fra oss.

Spontan oppmerksomhet er motsatsen til den viljestyrte oppmerksomheten som kreves for å gjennomføre konsentrasjonskrevende oppgaver slik som å lese en tekst, skrive en rapport, gjøre beregninger osv. De fleste mennesker må mobilisere en viss disiplin og anstrenge seg for å gjennomføre disse og lignende oppgaver. Konsentrasjon er kapasitetsbegrenset, og etter å ha utført konsentrasjonskrevende oppgaver over tid vil de fleste bli trette og ha behov for restitusjon. Spontan oppmerksomhet som vekkes av fasinasjon, krever lite eller ingenting av den som observerer og lar den viljestyrte konsentrasjonsevnen få hvile og restituere (Kaplan 1995).

⁵ «Environmental psychology»

⁶ «Stress recovery theory»

⁷ «Attention restoration theory»

Resultater fra forskningseksperimenter støtter opp om at å være i natur virker restituerende (Kaplan and Kaplan 1989, Ulrich, Simons et al. 1991, Hartig, Evans et al. 2003), og viser at representasjoner av natur som bilder eller grønne pottedplanter kan bidra til mindre stress og raskere restitusjon (Beute and De Kort 2014, Jo, Song et al. 2019).

Et restituerende fysisk innemiljø, biofilt design

Biofil designteori/designfilosofi gir retningslinjer for hvordan naturens restituerende effekt kan gjenskapes innendørs og ved hjelp av teoriene fra SRT og ART. Arkitekter som bruker denne tilnærmingen, forsøker å skape et restituerende miljø som (Kellert 2008):

- Gir en følelse av å kunne flykte til andre omgivelser
- Stimulerer spontan oppmerksomhet uten behov for konsentrasjon
- Gir en opplevelse av romslighet og luft
- Gir en følelse av tilhørighet i omgivelsene for brukerne

Selv om det er utfordrende å skape disse følelsene innendørs skriver Kellert (2008) at det kan oppnås gjennom følgende designprinsipp:

- Inkludere gjenkjennbare naturaspekter som for eksempel å sørge for utsikt til levende elementer og vann,
- Plassere mange levende planter (med stor variasjon) i innemiljøer, og gjerne bruke vann som dekorelement innendørs,
- Etterligne natur innendørs ved å benytte typiske naturformer, mønster og prosesser i designet slik at brukere minnes om liv, naturens bevegelse, og vekst (som vekst hos planter) når de er i bygningen. Påminnelsen kan skje gjennom lukt, berøring og lyd i tillegg til syn,
- Bruke lys og luft bevist – slik at spekter i farge, naturlig lys og variasjon i lysintensitet minner om naturen. Det samme gjelder for bruk av proporsjoner og former,
- Forankre bygg i lokal kultur og stedegen natur gjennom bevist bruk av designelement og materialer.



Et mulig eksempel på biofilt design: tretak med lamper som minner om innsiden av bikuber. Bygget heter også bikuben. Foto: Håkon Sparre/ NMBU

Tre i biofile design og restituerende miljøer

Restituerende interiør og bygninger med biofile design *må* ikke ha mye tre i interiøret. Tre er for eksempel ikke eksplisitt omtalt som et ideelt materiale i biofile design i Kellert (2008; se forrige avsnitt). Likevel viser 25 av 30 illustrasjonsbilder i boka miljøer med trematerialer (Fell 2010). Burnard and Kutnar (2015) argumenterer for bruk av tre i miljøvennlige, helsefremmende bygninger generelt og i biofile design spesielt. Dette fordi tre (forutsatt bærekraftig skogbrukspraksis) er bærekraftig, og har en direkte og opplagt link til naturen og naturlighet og dermed til naturens restituerende effekt. Forfatterne illustrerer hvordan trematerialer kan brukes i biofile miljø gjennom å relatere trematerialer til de biofile designprinsippene fra Kellert (2008):

1. Gjenkjennbare naturaspekter: tre er et naturmateriale med direkte kobling til naturen
2. Former fra naturen: mønster i treverket er skapt av naturen, og tre kan lett brukes som materiale når former man finner ute skal gjenskapes inne – for eksempel i søyler
3. Etterlignende mønster og prosesser: mønster, fargespekter og kvistmerker minner om de prosessene som har skapt dem
4. Lys og rom: tre har stort naturlig fargemangfold og kan behandles på mange måter og fortsatt se ut som tre
5. Lokal forankring: lokalt produsert treverk er tilgjengelig mange steder, og lokale byggeteknikker kan inkluderes som en del av designet

Eksperimentelle studier

Hypotesen om at tre er et egnet materiale for å skape restituerende, avstressende miljøer (e.g. Burnard and Kutnar 2015) har blitt undersøkt av flere forfattere gjennom forskjellige eksperimentelle design.

Visuell stimulering

Lipovac and Burnard (2021) gjorde en litteraturgjennomgang av studier der forskere har brukt kontrollerte randomiserte eksperimenter⁸ til å undersøke hvordan eksponering for treoverflater i innendørs miljø påvirker testdeltagere. For å finne aktuelle forskningsartikler gjorde forfatterne av artikkelen systematiske litteratursøk⁹ i forskningsdatabaser¹⁰. Litteraturgjennomgangen er basert på i alt 11 artikler som møtte følgende inkluderingskriterier: i. deltagerne skulle i tillegg til å se på treoverflater ha blitt eksponert for en eller flere kontroller (i.e. et materiale som ikke var tre), ii. og studiene skulle måle respons på eksponeringene i en eller flere funksjoner i det autonome nervesystemet (i.e. kroppstemperatur, blodtrykk etc.) og/eller affektiv¹¹ kjernerrespons som humørendringer eller sinnsstemninger. Artikler med målinger av responser det sentrale nervesystemet (i.e. hjerne og ryggmarg) og ikke-affektive selvrappørterte reaksjoner som tretthet eller opplagthet ble også inkludert. Forfatterne gjennomgikk både metodisk tilnærming og resultater, og gir en grundig og relativt kritisk vurdering av artiklene.

Åtte av artiklene er asiatiske, seks fra Japan og to fra Kina. De resterende artiklene er fra henholdsvis Slovenia, Canada og Italia. De asiatiske studiene har til felles at deltagerne er få (mellom 14 og 28 deltagere) og relativt unge, mens de ikke-asiatiske studiene har flere deltagere (fra 61 til 119) og større spredning i alder. Alle artiklene beskriver eksperimenter der deltagere eksponert for treverk innendørs i forskjellige former og mengder, for eksempel gjennom møbler av tre, en vegg dekket av trepanel eller et bilde av treverk prosjektert på en vegg. Hvordan og hvor lenge deltagerne ble eksponert for treverket varierte fra 90 sekunder (Tsunetsugu, Miyazaki et al. 2002, Sakuragawa, Miyazaki et al. 2005, Tsunetsugu, Miyazaki et al. 2005), til omtrent 40 minutter (Fell 2010).

Fell (op. cit.) var den eneste som målte forskjeller mellom grupper. I alt 119 testpersoner ble delt inn i fire tilfeldige grupper. En fjerdedel av deltagerne gjennomførte eksperimentet i et rom med hvite kontormøbler, en fjerdedel i et rom med hvite kontormøbler og planter, en fjerdedel i et rom med kontormøbler i bjørk og den siste fjerdedelen i et rom med kontormøbler i bjørk og planter. Etter å ha tilbrakt 10 minutter i de respektive rommene, løste deltagerne en oppgave som var ment å måle kognitivt prestasjonsnivå.

Alle studiene uten Demattè, Zucco et al. (2018) brukte et eller flere mål på fysisk (stress)respons som blodtrykk, hjertefrekvens, kortisolnivå, eller måling av hudens elektriske ledningsevne. I de

⁸ En eksperimentell undersøkelse som undersøker effekten av en behandling, ofte utført ved at deltagerne tilfeldig deles inn i to grupper: en behandlingsgruppe som utsettes for en behandling – og en kontrollgruppe som ikke gjør det. Fordi gruppene er tilfeldig inndelt, antas det at forskjeller mellom gruppene etter behandling kan tilskrives behandlingen.

⁹ De søkte etter artikler som inneholdt ordene wood/wooden og en eller flere av de følgende: psychology (psykologi), emotion (følelse), affect (affekt), mood (sinnsstemning), physiology (fysiologi), arousal (oppgløddhet), human stress (menneskelig stress), stress response (stressrespons), attention (oppmerksomhet), cognition (kognisjon).

¹⁰ i.e., Scopus, PubMed, Web of Science, Cochrane Central, Google Scholar.

¹¹ Med affektiv menes følelser som er knyttet til humør (eks: tilfredshet eller irritasjon) i motsetning til ikke-affektive tilstander som ikke kan knyttes til humørendringer (som f.eks. å føle seg sliten eller årvåken).

asiatiske studiene har forskerne hovedsakelig brukt forskjellige versjoner av POMS¹² (McNair, Lorr et al. 1971) for å finne affektiv effekt, mens Burnard (2019) brukte WTOs indeks for velvære (World Health Organization 1998), og Demattè, Zucco et al. (2018) benyttet et skjema for kartlegging av affektive følelser – positive og negative. I tillegg inneholder studiene forskjellige målinger av subjektive oppfatninger som selvrapportert tretthet og kartlegging av hvordan deltagerne oppfattet omgivelsene testene ble gjennomført i.

Eksempler på resultater fra studiene inkluderer:

- Lavere selvrapportert tetthetsnivå i rom med eksponert treverk sammenlignet med rom uten treverk (Bamba and Azuma 2015).
- Lavere gjennomsnittlig kortisolkonsentrasjon i kontorrom med eksponert (lyst) treverk sammenlignet med rom uten treverk (Burnard 2019).
- Høyere score i positive, og lavere i negative affektive følelser i rom med eksponert tre sammenlignet med i rommet uten (Demattè, Zucco et al. 2018).
- Lavere gjennomsnittlig-, og lavere frekvens i galvanisk hudrespons¹³ i rom med tre (Fell 2010).
- Lavere oksygenmetning og mindre humørforstyrrelser (POMS resultat) i rom med bilde av treverk (Nakamura, Ikei et al. 2019).
- Når deltagerne ble eksponert for tre fikk de som likte tre lavere blodtrykk, mens de som ikke likte tre ikke fikk høyere blodtrykk. Når deltagerne ble eksponert for stål fikk de som ikke likte stål høyere blodtrykk mens de som likte stål *ikke* fikk lavere blodtrykk. I tillegg fant forskerne høyere score på depresjon og lavere score i opplagthet og aktivitet (POMS resultater) ved eksponering for stål (Sakuragawa, Miyazaki et al. 2005).
- Mindre opplevd tretthet, lavere blodtrykk i minst en måleperiode og mindre humørsvingninger (basert på POMS) i rom med eksponert tre sammenlignet med i kontrollrom uten synlig treverk (Zhang, Lian et al. 2016, Zhang, Lian et al. 2017).
- Tendens til forhøyet blodtrykk i rom dekorert med treverk sammenlignet med standardrom uten slike dekorelementer, og i rom med mye tre (90%) sammenlignet med rom uten tre og rom med mindre andel tre (i.e. 45% og 70%) (Tsunetsugu, Miyazaki et al. 2002, Tsunetsugu, Miyazaki et al. 2005).

Lipovac and Burnard (2021) lister imidlertid også opp en rekke svakheter ved studiene:

- Selv om fysiologiske målinger kan virke objektive og robuste er det usikkert om de måler det forskerne tror/forsøker å måle. Det kan være fristende å anta at for eksempel lavere blodtrykk indikerer lavere stressnivå og gode følelser. Samtidig kan begeistring, som må kunne klassifiseres som en positiv følelse, gi høyere blodtrykk.
- Det autonome nervesystemet er komplekst og knyttet til mange kroppsfunksjoner. Resultater fra målinger av det autonome nervesystemet er derfor svært vanskelig å tolke.
- Fysiologiske mål kan virke omvendt av hverandre, og for at resultatene skal være robuste bør derfor mange fysiologiske responser måles samtidig. Samtidig vil mange måleinstrumenter kunne virke stressende og slik kanskje påvirke målinger og resultater.

¹² POMS står for Profile of mood states, en enkel test som er designet for å kartlegge deltageres humørsvingninger gjennom å la de angi hvor de befinner seg på en fire poengs skala fra «ikke i det hele tatt» til «ekstremt» i følgende seks humørdimensjoner: spenning/angst, sinne/fiendtlighet, opplagthet/aktivitet, tretthet, depresjon/nedstemthet og forvirring. Metoden ble opprinnelig utviklet av McNair, Lorr og Drotteman i 1971.

¹³ Galvanisk hudrespons måler hudens elektriske motstand. Endret aktivitet i svettekjertler og elektrisk motstand i huden kan være symptomer på stress, angst og uro (Aslaksen 2020).

- Alle studiene uten Fell (2010) manglet et kontrollelement (e.g. gjennomføring av en stressende aktivitet). Å gjennomføre en stressende aktivitet kunne hjulpet forskerne å tolke resultatene. Det ville for eksempel være relativt trygt å gå ut fra at endringer i fysiologiske parameter i forbindelse med å holde en presentasjon eller lignende ville komme av negativt stress og ubehag.
- Resultatene fra eksperimenter med kort eksponeringstid og få deltagere er lite robuste. Det er vanskelig å tolke hva endringene i for eksempel blodtrykk kommer av når eksponeringen bare varer 90 sekunder.
- Manglende mål på affektive endringer i noen av studiene er en svakhet. Å kartlegge affektive responser kan avhjelpe tolkningen av de fysiologiske dataene og er verdifull informasjon i seg selv.
- Uegnede mål på affektive responser, eller manglende forklaring på valg av verktøy er problematisk. POMS er i utgangspunktet designet for å kartlegge depresjon og angst hos krigsveteraner med risiko for posttraumatiske stresslidelser. Det er derfor usikkert om dette verktøyet er godt egnet til å forstå reaksjoner på trebruk i interiør.

Sun, Nakashima et al. (2020) er publisert etter litteraturgjennomgangen av Lipovac og Burnard (op.cit). I sin studie målte de både objektive (spytt og blodtrykk) og subjektive (POMS og spørreundersøkelse) reaksjoner på tre hos deltagere som før eksponering hadde rapportert sine preferanser for forskjellige trematerialer. De 83 deltagerne ble eksponert for tre tresorter i tre forskjellige rom. Hver av eksponeringene varte i 30 minutter. Forfatterne fant ingen sammenheng mellom fysiologiske mål og deltagerens selvrapporterte preferanser.

Taktil eksponering

Noen studier har målt fysisk respons blant deltagere etter taktil stimulering (berøring). Morikawa, Miyazaki et al. (1998) og Sakuragawa, Kaneko et al. (2008) undersøkte begge om taktil stimulering med tre påvirker blodtrykk hos de som berører materialet. I motsetning til andre materialer, som stål, demin, (kald) akryl og aluminium som økte deltagerens blodtrykk, fant de ikke at å berøre tre påvirket deltagerens blodtrykk i signifikant grad. Dette var uavhengig av trematerialets temperatur.

Ikei, Song et al. (2019) gjorde en rekke fysiologiske målinger på sine testdeltagere samtidig som de lot dem berøre henholdsvis japanseder (*Cryptomeria japonica*) som hadde blitt behandlet på forskjellige måter, og marmor, i 90 sekunder. De fant at den fysiologiske reaksjonen deltagerne fikk når de berørte treet var forskjellig fra den de fikk når de berørte marmor, og at reaksjonen på tre var forenelig med avslapping.

Wang, Lin et al. (2001) lot testdeltagere evaluere hvor varme eller kalde en rekke materialer, herunder mange typer tre, gips, marmor osv., følte etter kontakt i 30 minutter. De sammenlignet resultatene av evalueringen med materialenes fysiske varmeledningsegenskaper, og fant at disse stemte godt overens. Ved hjelp av spesifikk varmekapasitet, relativ materialtrettthet, og termisk ledeevne, kunne forskerne relativt presist predikere deltagerens følelse av varmt eller kaldt. Termisk ledningsevne var den viktigste predikatoren. Tre har lavere ledningsevne enn materialer som glass, stål og stein, og opplevdes som forventet varmere enn disse materialene av deltagerne.

Eksponering for lukt

Det finnes endel eksperimentelle studier som undersøker fysiologisk og/eller psykologisk respons på lukt av tre. Ikei, Song et al. (2017), er en større litteraturgjennomgang av slike studier, og artikkelen gir god oversikt over feltet. Majoriteten av studiene av luktesrespons er fra Japan (Ikei et al. op. cit.), men det finnes også europeiske eksempler (e.g. Schreiner, Karacan et al. 2020). Fordi lukt fra trematerialer avtar og forsvinner relativt raskt etter produksjon og montering, er litteraturen på respons på luktstimulans ikke prioritert i denne rapporten.

Persepsjonsstudier – sammenligninger og assosiasjoner

Generelt er tre et likt materiale, som beskrives som naturlig komfortabelt og varmt (Rice, Kozak et al. 2006, Strobel, Nyrud et al. 2017, Watchman, Potvin et al. 2017, Viholainen, Franzini et al. 2021). I en finsk fokusgruppestudie fra 2020 fant forskerne at deltagerne, unge finner, oppfattet treinteriør som beroligende, at treinteriør motvirker stress, er koselig, og gir en følelse av å være i natur innendørs (Häyrinen, Toppinen et al. 2020). I persepsjonsstudier der deltagerne sammenligner forskjellige typer materialer, har trematerialer gjerne blitt rangert høyt på egenskaper som naturlighet, varme, ikke-industrielt, avslappende, sunn, behagelig, og hjemmekoselig (Rice, Kozak et al. 2006, Spetic, Kozak et al. 2006, Burnard, Nyrud et al. 2017). Masuda (1992) og Masuda (2004) argumenterer for at den varme og beroligende følelsen tre virker å gi er knyttet til fargen på treet, og at følelsen av varme øker med verdien på det gul-røde (YR) spekteret. At tre virker beroligende kan forklares med at lite UV-refleksjon gir lite stimuli og dermed lite tretthetsfølelse.

Selv om tre hovedsakelig oppfattes positivt, finnes det også en del utbredte negative assosiasjoner til materialet. Mange assosierer tre med høyt vedlikeholdsbehov, og tre oppfattes av noen som umoderne og gammeldags (Strobel, Nyrud et al. 2017, Viholainen, Kyllikilähti et al. 2020, Viholainen, Franzini et al. 2021). Nordmenn oppfatter imidlertid ofte tre som trendy (Viholainen, Franzini et al. 2021), og da spesielt lyst tre (Strobel, Nyrud et al. 2017). Moderat bruk av tre kan gi like gode, eller bedre, assosiasjoner enn ekstensiv trebruk (Li, Wu et al. 2021).

Det finnes noen persepsjonsstudier som undersøker forskjellige gruppers oppfatninger om høyere trekonstruksjoner¹⁴. Hemström, Mahapatra et al. (2011) fant at svenske arkitekter mente betong var et bedre valg i høye bygninger enn tre på grunn av brannsikkerhetshensyn og stabilitet. Samtidig mente de at trekonstruksjoner kunne være et bedre miljøvalg. Mahapatra, Gustavsson et al. (2012) fant lignende oppfatninger blant representanter for bygningssektoren i Storbritannia og Tyskland. Caniato and Gasparella (2019) gjennomførte en spørreundersøkelse blant legfolk (i.e. mennesker som ikke er tilknyttet byggebransjen). Deltagerne i undersøkelsen hadde i hovedsak like forventningene til bygg i de forskjellige konstruksjonsmaterialene, med trodde at tre isolerte bedre og sikret mer komfortable innemiljø enn betong gjorde.

¹⁴ MSWB - Multistory wood buildings på engelsk, som har tre etasjer eller mer



Høye studentboliger i tre under oppføring på Ås. Foto: Håkon Sparre/NMBU

Lähtinen, Harju et al. (2019) fant at persepsjoner kan påvirke preferanser. I deres undersøkelse var konsumenter som assosierte tre med velvære og helse mer villige til å bo i høye hus av tre enn konsumenter som ikke assosierte på denne måten. Demattè, Zucco et al. (2018) fant lignende mekanismer blant deltagere som var opptatt av bærekraft. Deltagere som assosierte tre med bærekraft, og som var opptatt av miljø, var mer positive til tre- og trematerialer enn andre deltagere. I hvilken grad trematerialer oppfattes som miljøvennlige og bærekraftige varierer (Viholainen, Franzini et al. 2021). Det samme gjelder for i hvilken grad forbrukere fester lit til standarder for bærekraftig skogbruk (Strobel, Nyrud et al. 2017). I Europa peker Norge seg ut, sammen med Sverige og Finland som landene hvor (lokalt/nasjonalt) skogbruk ansees som minst problematisk (Viholainen, Franzini et al. 2021).

Preferanser: farge, heterogenitet, navn og struktur

I preferansestudier der deltagerne har sammenlignet og rangert materialer basert på hvor godt de liker materialene blir heltre mer eller mindre systematisk foretrukket over alle alternativ. I Jonsson, Lindberg et al. (2008) sammenlignet for eksempel deltagerne heltre med trebaserte paneler og komposittmaterialer. Deltagerne rapporterte at de foretrakk heltre fordi de oppfattet det som behagelig, naturlig, levende, varmt og ubehandlet. Jiménez, Dunkl et al. (2015) gjorde en lignende studie av tre- og trelignende materialer og fikk de samme resultatene. Selv om majoriteten av slik forskning er gjennomført i vestlige land, finnes det også eksempler fra andre deler av verden, med lignende resultater (Wan, Chen et al. 2015, Wong and Aziz 2021).

Preferanser for materialfarger varierer. Scholz and Decker (2007) fant for eksempel at tyske konsumenter foretrakk spisemøbler i bjørk på grunn av fargen og varmen i materialet. I en undersøkelse med 80 deltagere gjennomført i Canada ble også lyse og varme treslag foretrukket over mørkere treslag (Poirier, Demers et al. 2019). Deltagerne i en relativt nylig publisert japansk studie foretrakk imidlertid mørkere materialer over lyse (Wan, Li et al. 2021).

Det finnes videre studier på preferanser for heterogenitet i materialer (i.e. mengden synlig kvist). Med noen unntak viser de fleste studier at jo mer heterogen en overflate er, jo mer positivt oppfattes den (e.g. Bigsby, Rai et al. 2005, Nyrud, Roos et al. 2008, Høibø and Nyrud 2010). Forskjeller må imidlertid være tydelige for at det skal ha en betydning (Manuel, Leonhart et al. 2015). Preferanser for heterogenitet kan ha en fysisk forklaring: Nakamura and Kondo (2008) og Nakamura and Kondo (2007) fant heterogene overflater gav mindre øyebevegelser hos testdeltagere og dermed mer avslapping. preferanser for heterogenitet og homogenitet kan imidlertid også være kulturelt betinget. Masuda (1992) fant for eksempel at kvist i trematerialer i Japan blir sett på som feil og «billig», mens det i deler av Europa og Nord Amerika kan oppfattes som hyggelig og rustikt.

Også taktile egenskaper kan påvirke materialpreferanser. Berger, Katz et al. (2006) lot testdeltagere vurdere gulvmaterialer med forskjellige overflatebehandlinger etter å ha berørt det med både hender og føtter. Deltagerne foretrakk en naturlige oljebehandlet overflate, fordi denne følte varm, ujevn, og myk. De 20 deltagerne i Bhatta, Tiippana et al. (2017) likte ubehandlet tre bedre enn behandlet tre. I artikkelen anbefaler forfatterne derfor å tilstrebe overflatebehandlingsmetoder som ivaretar opplevelsen av struktur ved berøring.

Trebruk i helse og behandlingsmiljøer

Mengden publiserte forskningsbaserte artikler om bruk av tre i behandlingsmiljø er begrenset. To av de mest siterte artiklene på området er basert på en norsk undersøkelse. Formålet med dette prosjektet var å undersøke om trebruk i helseinstitusjoner kunne ha positiv innvirkning på ansatte og/eller pasienter. Forskerne argumenter for at en slik effekt av tre, som er et naturmateriale er mulig, fordi det er godt dokumentert at å se på (representasjoner av) natur (e.g. være i natur, se på bilder av natur, se natur gjennom vinduer) har positiv effekt på stress og sykdom (e.g. liggetid, behov for smertestillende; Nyrud, Bringslimark et al. 2014). I den første artikkelen basert på prosjektet rapporterer Nyrud, Bringslimark et al. (2012) nivåer av flyktige organiske forbindelser i pasientrom med tre forskjellige interiører, i.e. rom uten trepanel, rom der en vegg var dekt av bjørkepanel og rom der en vegg var dekt av eikepanel. Målingene ble gjort på et nybygd sykehus i Norge. Forskerne fant at konsentrasjonen av flyktige organiske forbindelser var svært lav sammenlignet med forventede verdier i nybygde hus, og at det ikke var noen systematiske forskjeller mellom romtypene. I den andre artikkelen undersøkte Nyrud, Bringslimark et al. (2014) preferanser blant sykehusansatte for trebruk i pasientrom gjennom en anonym spørreundersøkelse. Deltagerne ble bedt om å bedømme 10 bilder av sykehusrom der bruken av tre varierte fra ingen (vanlig pasientrom) til ekstensiv ved hjelp av en syv poengs skala. Alt i alt foretrakk de ansatte rom med moderat trebruk, mens det ordinære pasientrommet og rommet med mest tre var minst foretrukket.

I tillegg til det norske prosjektet finnes noen konferanseartikler (e.g. Nyrud, Lundin et al. 2021), og et eksperiment med målinger av fysiologiske parametere (e.g. hjerterefrekvens, respirasjon, blodtrykk) på 50 testpersoner i et venterom med ekstensiv bruk av tre i Bratislava (Kotradyova, Vavrinsky et al. 2019).

I Augustin and Fell (2015), en rapport skrevet på oppdrag fra Forestry Innovation Investment Ltd.¹⁵ argumenterer forfatterne på samme måte Nyrud, Bringslimark et al. (2014). De viser til forskningsartikler og teori om hvordan naturlig lys, naturutsikt, planter, blomster og naturelementer har positiv effekt på mennesker, og sannsynliggjør at tre som er et naturmateriale derfor må være et egnet material i helse og behandlingsmiljø. Også Kotradyová and Kaliňáková (2014) konkluderer med at trematerialer er spesielt godt egnet for å skape gode

¹⁵ Offentlig eid organisasjon som promoter bruk av tre i Canada

helsemiljøer, og underbygger dette med trematerialers visuelle, taktile, akustiske, sosiokulturelle og akustiske egenskaper.

Tre i skolemiljø

Forskere fra Technical University of Munich (TUM) gjennomførte en større litteraturgjennomgang av forskning på trebruk og helse på oppdrag for Stora Enso (Stora Enso n.d., Stora Enso n.d.). Rapportene argumenterer for hvordan forskningsresultater viser at tre er bra for mennesker generelt og i skolebygg spesielt, for eksempel fordi:

- Tre kan stimulere kreativitet (Basert på McCoy and Evans 2002, Vavrinsky, Kotradyova et al. 2019) og stimulerer konsentrasjon (basert på studier av konsentrasjon og natur og en tysk undersøkelse av interiør og konsentrasjon),
- Tre oppfattes behagelig og stimulerer til godt humør (Basert på Beute and De Kort 2014, Bhatta, Tiippana et al. 2017, Strobel, Nyrud et al. 2017),
- Trebruk i innemiljø reduserer stress, senker blodtrykk og hjertefrekvens (Fell 2010, Kotradyova, Vavrinsky et al. 2019),
- Tre hindrer virus' reproduksjonsevne (Basert på Domig and Wimmer 2020),
- Tre i innemiljø stimulerer immunforsvaret (Li, Kobayashi et al. 2009),
- Tre i innemiljø stimulerer produktivitet (Basert på Knox and Parry-Husbands 2018),
- Tre i innemiljø forbedrer luftkvaliteten og stabiliserer innendørs luftfuktighet (Basert på Niedermayer, Fürhapper et al. 2013).



Lesesal på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet med tretak og tremøbler. Kanskje gjør interiøret disse studentene ekstra kreative og konsentrerte? Foto: Håkon Sparre/NMBU

Mer om produktivitet, effektivitet, konsentrasjon og kreativitet

Selv om produktivitet, effektivitet eller kreativitet ikke nødvendigvis er helserelatert, finnes en viss presedens for å se dette i sammenheng. I tillegg til at de inngår som en del blant Stora Ensos (op.cit) argumenter for hvorfor trebruk er bra for mennesker generelt og i skolebygg spesielt, fokuserer for eksempel Lowe (2020) på produktivitet sammen med helse i sin rapport for Forestry Innovation investments¹⁶. Et utvalg forskningsartikler på disse temaene er derfor også inkludert i denne rapporten.

Shen, Zhang et al. (2020) lot 20 unge, friske testdeltagere gjennomføre svare på en spørreundersøkelse og gjennomføre kognitive tester i fire forskjellige rom. Rommene var innredet med varierende mengder av tre. Formålet med studien var å kartlegge hvordan de forskjellige miljøene påvirket deltagerens persepsjon, hukommelse, læring, kognisjon og kommunikasjon. I snitt presterte deltagerne bedre på alle de kognitive testene i rommene med tre, enn i rommet uten tre. Deltagerne mente selv at de var mer oppmerksomme og produktive i rom med innslag av tre enn i rom uten. Majoriteten av deltagerne ville videre, om de skulle valgt en fast arbeidsplass blant testrommene, valgt et av rommene med treinteriør.

Knox and Parry-Husbands (2018) undersøker trebruk i sammenheng med produktivitet på arbeidsplasser. Rapporten ble utarbeidet på oppdrag av Forest and Wood Products i Australia. De gjennomførte en digital spørreundersøkelse hvor 1000 arbeidere deltok, og fant at arbeidere som hadde utsikt til minst en treflate fra sin arbeidsplass var mer fornøyd med plassering og med arbeidslivet generelt, enn arbeidere som ikke hadde utsikt til en treoverflate. Jo høyere andel tre på arbeidsplassen, jo mer fornøyd var deltagerne. Arbeidere på arbeidsplasser med eksponerte treoverflater vurderte videre egen produktivitet og konsentrasjonsevne som høyere og eget stressnivå som lavere, enn hva de andre deltagerne gjorde. Forfatterne skriver at økt trebruk i kontormiljø kan gi økt trivsel, økt produktivitet, og færre fraværsdager.

Det finnes minst to studier som indikerer at trebruk i innemiljø kan stimulere til økt kreativitet. Vavrinsky, Kotradyova et al. (2019) lot testdeltagere løse oppgaver i forskjellige innendørs miljø samtidig som de målte fysiologiske parametere som hjertefrekvens, respirasjonsvolum og respirasjonstempo. De fant at rom med eksponert treverk og naturlige tekstiler hadde positiv virkning på deltagerens evne til å forstå og løse problemer. Sterke farger, syntetiske materialer og tre-imitasjoner gjorde deltagerne stresset. McCoy and Evans (2002) gjennomførte en lignende studie og fant at potensialet for kreativitet var høyere i miljøer med eksponert tre og stein, enn i miljøer dominert av materialer som laminat, glass og tepper med syntetiske fiber.

¹⁶ Offentlig eid organisasjon som promoter bruk av tre i Canada

Diskusjon

Eksempler på områder med behov for videre forskningsinnsats

På noe av forskningsområdene innenfor tre og helse finnes det egne systematiske litteraturstudier der forfatterne peker på problemstillinger som krever mer forskningsinnsats. Kreiger and Srubar III (2019) gjennomgikk for eksempel forskningsartikler om bygningsmaterialers (fuktighets-) bufferkapasitet, og peker på kunnskapshull som om de fylles vil gjøre det mulig å skape gode innemiljø og spare energi. For eksempel er det behov for:

- Fullskala studier, da de fleste beregninger er basert på mindre lab-eksperimenter
- Arbeid med flere typer modeller, som kan utfylle hverandre, inkludert empiriske modeller basert på eksperiment-data, fysiske modeller som varme- og fuktighetsmodeller (HAMT-modeller) koblet med andre data som numerisk væskedynamikk (CFD), og modeller med både fysiske- og empiriske elementer
- Fortsett testing og måling av fuktighetsbufferkapasitet i bygningsmaterialer under forskjellige forutsetninger

I Alapieti, Mikkola et al. (2020), som gjorde helhetlige innemiljøvurderinger av forskjellige materialer kom tre svært godt ut, med avgassing av flyktige organiske forbindelser som eneste virkelig negative aspekt. Forfatterne (op.cit) anbefaler derfor forskningsinnsats rettet mot å identifisere

- Metoder som begrenser avgassing av trematerialer
- Kunnskap om hvordan de positive innemiljøeffektene av trematerialer som vi kjenner til best kan utnyttes i bygg

Majoriteten av kunnskapen om avgassing av flyktige organiske forbindelser er basert på laboratoriemålinger, og studier som måler nivået i faktiske innemiljø er få. Videre er kunnskapen om i hvilken grad (og eventuelt hvordan) lave konsentrasjoner av flyktige organiske forbindelser fra tre påvirker helse, og om eventuelle cocktail-effekter av avgassing mangelfull. Å forske på potensielt negative helseeffekter er utfordrende, det er for eksempel ikke forskningsetisk aktuelt å utsette mennesker for eksperimenter som potensielt kan være skadelige. Andre typer data må derfor benyttes. Innenfor tema avgassing ville det også vært nyttig med:

- Målinger av avgassing utenfor laboratoriemiljøer (i.e. i «vanlige» bygg). Det er en fordel om slike målinger gjennomføres med måleutstyr som er egnet til også å fange opp aldehyder (jevnfør Pohleven, Burnard et al. (2019))
- Tidsseriemålinger over lengre perioder, slik at endringer over måneder og år tid kan observeres og dokumenteres. Det finnes allerede noen studier med slikt design, for eksempel Derbez, Berthineau et al. (2014) som målte helhetlig innendørs luftkvalitet inkludert avgassing i bolighus i Frankrike, men for å trekke allmenngyldige konklusjoner behøves (langt) flere
- Sammenlignende (tids-)studier med målinger i både trebygg og andre typer bygg.
- Replikasjoner av studiene som antyder positive effekter av avgassing fra tre, for eksempel av søvnkvalitetsstudiene (Morita, Yanagisawa et al. 2020, Grote, Frühwirth et al. 2021) og studien av effekt på immunforsvaret (Li, Kobayashi et al. 2009). Om resultatene er konsistente bør nødvendig nivå av avgassing for å oppnå slike effekter undersøkes

De eksperimentelle studiene der forskere har kartlagt fysiologiske responser hos testpersoner som har blitt eksponert for tre (e.g. Tsunetsugu, Miyazaki et al. 2002, Tsunetsugu, Miyazaki et al.

2005, Li, Wu et al. 2021) har varierende og ofte lavt antall deltagere, kort eksponeringstid, og varierende eksperimentdesign. Det brukes videre forskjellige fysiologiske mål, og det kan være utfordrende å tolke hva som egentlig er målt, det vil si, hva som har forårsaket reaksjonene (op. cit.). Noen av studiene inneholder i tillegg til målinger av fysiologiske reaksjoner måling av deltagerens subjektive opplevelser og oppfatninger. I flere av studiene er for eksempel POMS-skalaen benyttet. Denne skalaen som er utviklet for helt andre type omstendigheter, og det kan argumenteres for at verktøyene som er benyttet er lite egnet til det formålet de her er brukt (Burnard and Kutnar 2015). Studiene innenfor dette temaet er derfor utfordrende å sammenligne, og det kan argumenteres for at det er usikkert om resultatene fra flere av studiene har god nok validitet. For en bedre forståelse av temaet er det derfor nødvendig med flere studier, for eksempel studier der:

- Deltagerne eksponeres for tre over lengre tid, i mindre kliniske og mer dagligdagse settinger
- Valg av fysiologiske mål er veloverveid og godt begrunnet
- Valg av verktøy for kartlegging av følelser er veloverveid og godt begrunnet. Det finnes gode veiledninger for valg av slike parametere, se for eksempel VanderWeele, Trudel-Fitzgerald et al. (2020)
- Kombinasjoner av metoder benyttes. For eksempel kan forskere bruke ustrukturerte intervjuer for å forstå deltageres opplevelser av innemiljøer med mye tre

Persepsjon- og preferansestudienes helserelevans hviler i stor grad på antagelsen om at preferansene spiller det som er positivt for mennesket, en teori med rot i miljøpsykologi (Ulrich 1985). Resultater fra preferansestudier er mer eller mindre konsistente: tre oppfattes positivt og foretrekkes over andre materialer. Tre beskrives som naturlig, varmt, beroligende, sunt, godt og hjemmekoselig. Majoriteten av studiene som undersøker persepsjoner og preferanser stammer imidlertid fra vestlige land med sterk tradisjon for bruk av tre. En mulig forklaring på disse resultatene er derfor at preferansene er assosiative og kulturelle, heller enn at mennesker på tvers av kulturer må ha en iboende preferanse for tre.

Aktuell videre forskningstemaer innenfor persepsjon- og preferanseområdet inkluderer:

- Kvantitative studier med mange deltagere som undersøker sammenhenger mellom preferanser og egenskaper
- Sammenlignende studier med deltagere fra land med- og uten sterke tradisjoner for bruk av tre

Resultatene fra studiene som undersøker effekt av treinteriør på produktivitet, effektivitet og kreativitet (e.g. Shen, Zhang et al. 2020) er lovende, men studiene er få i antall. Det er videre utfordrende å isolere årsak-virkningsforholdene, og validiteten av målingene (i.e. om de valgte indikatorene er egnet til å måle effekten av treinteriør på for eksempel kreativitet). Mulige videre forskning innenfor dette området kan være:

- Lengre tidsserier med målinger av effektivitet og produktivitet i forskjellige typer lokaler
- Målinger av effektivitet og produktivitet koblet med objektive innemiljøkvalitetsmålinger

Det finnes få studier som direkte måler effekter av trebruk i helsemiljøer. Mange forfattere har likevel argumentert for at det er sannsynlig at tre, som et naturmateriale, kan ha en positiv effekt i slike miljøer fordi det er godt dokumentert at utsikt til natur, å være i natur, eller til og med å se på representasjoner av natur (i.e. bilder eller pottedplanter) kan hjelpe mennesker som har opplevd traumer (e.g. operasjon eller andre behandlinger; Nyrud, Bringslimark et al. 2014). I tillegg til den mulige gode effekten for enkeltmennesker under behandling, har forskning på

dette temaområdet har omfattende samfunnsøkonomisk potensiale. Hvis trebruk i behandlingsmiljø kan redusere liggetid eller behov for medisiner, ville dette i sum kunne gi store innsparinger i helsesektoren. Hvis et slikt potensiale skal kunne realiseres er det imidlertid nødvendig med stor forskningsinnsats og samarbeid mellom treteknologiske og medisinske miljø.

Konklusjon

Forskningsresultater fra undersøkelser av helsepåvirkning fra tre i innemiljø antyder mulige positive virkninger på en rekke områder. Det er likevel utfordrende å trekke sikre konklusjoner på bakgrunn av den litteraturen som finnes på området. Bakgrunnen for dette er sammensatt, for eksempel er årsak-virkningsforholdene mellom tre og forskjellige effekter utfordrende å isolere. På en del områder (e.g. effekt på stress og restitusjon eller søvn) er den samlede mengden forskning begrenset til å hevde sikre årsakssammenhenger. Videre har forskningsdesignet i en del artikler svakheter som begrenset utvalg, ingen kontroll, uegnede målemetoder slik at resultatenes validitet kan trekkes i tvil eller det er benyttet uegnede statistisk analysemetoder (i.e. valg av testmetode er uegnet til å analysere den type data som er samlet inn). Til slutt er det områder der treets egenskaper er godt kjent og dokumentert (e.g. evne til å ta opp og avgi fuktighet, antimikrobielle egenskaper) men der den praktiske betydningen, i.e. effektstørrelsen er usikker.

Det finnes en rekke rapporter som ligner denne, der forfatterne er mindre forsiktige i sine konklusjoner om tre og helse enn hva som er tilfelle i denne rapporten. Eksempler på slike inkluderer Technical University of Munich (TUM) for Stora Enso, Cameron (2014) for Planet Ark's Make It Wood program i Australia og Lowe (2020) for Forest Innovation Investments (offentlig eid selskap i British Columbia i Canada). Mange av de samme artiklene som ligger til grunn for denne rapporten er vurdert i disse publikasjonene, som altså går mye lenger i å fastslå positive effekter og sammenhenger. Disse rapportene er forskningsbaserte og solide, men har lagt mindre konservative krav til soliditet og mengde forskningsartikler til grunn enn hva som er gjort i denne rapporten. Hvor langt man vil gå i å hevde positive sammenhenger er dermed et spørsmål om hvilke kriterier man legger til grunn for sine vurderinger av stoffet.

Litteratur

Adamová, T., et al. (2020). "Volatile organic compounds (VOCs) from wood and wood-based panels: Methods for evaluation, potential health risks, and mitigation." Polymers **12**(10): 2289.

AgBB (2018). Requirements for the Indoor Air Quality in Buildings: Health-related Evaluation Procedure for Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC, VOC and SVOC) from Building Products.

Al Horr, Y., et al. (2016). "Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature." Building and Environment **105**: 369-389.

Alapieti, T., et al. (2020). "The influence of wooden interior materials on indoor environment: a review." European Journal of Wood and Wood Products **78**(4): 617-634.

Asdrubali, F., et al. (2017). "A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications." Building and Environment **114**: 307-332.

Aslaksen, P. (2020). Galvanisk hudrespons. Store norske leksikon. E. Bolstad. sml.no.

Augustin, S. and D. Fell (2015). "Wood as a restorative material in healthcare environments." FPInnovations, Vancouver.

Baliatsas, C., et al. (2016). "Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: Is it time to listen? A systematic review of observational studies." Science of the Total Environment **557**: 163-169.

Bamba, I. and K. Azuma (2015). "Psychological and physiological effects of Japanese cedar indoors after calculation task performance." Journal of the Human-Environment System **18**(2): 33-41.

Berger, G., et al. (2006). "What consumers feel and prefer: Haptic perception of various wood flooring surfaces." Forest Products Journal **56**(10): 42.

Berto, R. (2014). "The role of nature in coping with psycho-physiological stress: a literature review on restorativeness." Behavioral Sciences **4**(4): 394-409.

Beute, F. and Y. De Kort (2014). "Natural resistance: Exposure to nature and self-regulation, mood, and physiology after ego-depletion." Journal of Environmental Psychology **40**: 167-178.

Bhatta, S. R., et al. (2017). "Sensory and emotional perception of wooden surfaces through fingertip touch." Frontiers in Psychology **8**: 367.

Biggsby, H., et al. (2005). "Determining consumer preference for furniture timber." Journal of Forest Products Business Research **2**(2): 16.

Braut, G. S. (2022). Helse. Store Norske Leksikon (<https://sml.snl.no/helse>)

Burnard, M. D. and A. Kutnar (2015). "Wood and human stress in the built indoor environment: a review." Wood Science and Technology **49**(5): 969-986.

Burnard, M. D., et al. (2017). "Building material naturalness: perceptions from Finland, Norway and Slovenia." Indoor and Built Environment **26**(1): 92-107.

Burnard, M. D. K., A (2019). "Human stress responses in office-like environments with wood furniture." Building Research & Information **48**: 1466-4321.

Callahan, D. (1973). "The WHO definition of health'." Hastings Center Studies:1(3) 77-87.

Cameron, A. (2014). Wood housing health humanity report. Australia Planet Ark's Make It Wood program.

Caniato, M. and A. Gasparella (2019). "Discriminating people's attitude towards building physical features in sustainable and conventional buildings." Energies **12**(8): 1429.

Cascione, V., et al. (2019). "A review of moisture buffering capacity: From laboratory testing to full-scale measurement." Construction and Building Materials **200**: 333-343.

Cerolini, S., et al. (2009). "Moisture buffering capacity of highly absorbing materials." Energy and Buildings **41**(2): 164-168.

Cho, H. M., et al. (2019). "Field study on indoor air quality of wood remodeled welfare facilities for physical and psychological benefits." Journal of Cleaner Production **233**: 197-208.

Cohen, S., et al. (1997). Measuring stress: A guide for health and social scientists, Oxford University Press on Demand.

Colenberg, S., et al. (2021). "The relationship between interior office space and employee health and well-being—a literature review." Building Research & Information **49**(3): 352-366.

Demattè, M. L., et al. (2018). "New insights into the psychological dimension of wood-human interaction." European Journal of Wood and Wood Products **76**(4): 1093-1100.

Derbez, M., et al. (2014). "A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses." Building and Environment **82**: 288-299.

Domig, K. and R. Wimmer (2020). Coronavirus on wood surfaces – Is there a risk?
<http://www.timber-online.net>.

Fang, L., et al. (1998). "Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality." Indoor Air **8**(2): 80-90.

Fell, D. R. (2010). Wood in the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment, University of British Columbia.

Folkehelseinstituttet (2014)). "Støy, helseplager og hørselstap i Norge." Folkehelse rapporten
Retrieved 14.02, 2022, from <https://www.fhi.no/nettpub/hin/miljo/stoy/>.

Folkehelseinstituttet (2016). "Råd for godt inneklima i boligen." Retrieved 14.03, 2022, from <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/fremhevede-artikler-inneklima-og-helse/godt-inneklima-brosjyre/>.

Grote, V., et al. (2021). "Cardiorespiratory Interaction and Autonomic Sleep Quality Improve during Sleep in Beds Made from Pinus cembra (Stone Pine) Solid Wood." International Journal of Environmental Research and Public Health **18**(18): 9749.

Hagberg, K. (2018). Management of acoustics in lightweight structures, PhD thesis May 2018.

Hartig, T., et al. (2003). "Tracking restoration in natural and urban field settings." Journal of Environmental Psychology **23**(2): 109-123.

Heidari, L., et al. (2017). "Integrating health into buildings of the future." Journal of Solar Energy Engineering **139**(1): 010802.

Norsk helseinformatikk. (2020). "Inneklima - formaldehyd." Retrieved 02.22, 2022, from <https://nhi.no/livsstil/egenomsorg/formaldehyd/>.

Hemström, K., et al. (2011). "Perceptions, attitudes and interest of Swedish architects towards the use of wood frames in multi-storey buildings." Resources, Conservation and Recycling **55**(11): 1013-1021.

Homb, A., et al. (2017). "Impact sound insulation of cross-laminated timber/massive wood floor constructions: Collection of laboratory measurements and result evaluation." Building Acoustics **24**(1): 35-52.

Hu, L., et al. (2020). Key parameters for impact and airborne noise control in wood buildings. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, Institute of Noise Control Engineering.

Häyrinen, L., et al. (2020). "Finnish young adults' perceptions of the health, well-being and sustainability of wooden interior materials." Scandinavian Journal of Forest Research **35**(7): 394-402.

Høibø, O. and A. Q. Nyrud (2010). "Consumer perception of wood surfaces: the relationship between stated preferences and visual homogeneity." Journal of Wood Science **56**(4): 276-283.

Ikei, H., et al. (2017). "Physiological effects of wood on humans: A review." Journal of Wood Science **63**(1): 1-23.

Ikei, H., et al. (2019). "Physiological effects of touching sugi (*Cryptomeria japonica*) with the palm of the hand." Journal of Wood Science **65**(1): 1-7.

Jiménez, P., et al. (2015). "Evaluating psychological aspects of wood and laminate products in indoor settings with pictures." Forest Products Journal **65**(5-6): 263-271.

Jo, H., et al. (2019). "Physiological benefits of viewing nature: A systematic review of indoor experiments." International Journal of Environmental Research and Public Health **16**(23): 4739.

Jonsson, O., et al. (2008). "Consumer perceptions and preferences on solid wood, wood-based panels, and composites: A repertory grid study." Wood and Fiber Science **40**(4): 663-678.

Kaplan, R. and S. Kaplan (1989). The experience of nature: A psychological perspective, Cambridge university press.

Kaplan, S. (1995). "The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework." Journal of Environmental Psychology **15**(3): 169-182.

Kavian-Jahromi, N., et al. (2015). "Comparison of the antibacterial effects of sapwood and heartwood of the larch tree focusing on the use in hygiene sensitive areas." European Journal of Wood and Wood Products **73**(6): 841-844.

Kellert, S. R. et. al. (2008). "Dimensions, elements, and attributes of biophilic design." Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life:. John Wiley & Sons

Knox, A. and H. Parry-Husbands (2018). Workplaces: wellness+ wood = productivity Australia, Pollinate: 16.

Kotradyová, V. and B. Kaliňáková (2014). Wood as material suitable for health care and therapeutic facilities. Advanced Materials Research 1041: 362-366, Trans Tech Publications Ltd.

Kotradyova, V., et al. (2019). "Wood and its impact on humans and environment quality in health care facilities." International Journal of Environmental Research and Public Health **16**(18): 3496.

Kraniotis, D., et al. (2015). Moisture buffering, energy potential and VOC emissions of wood exposed to indoor environments. Proceedings of the 8th International Cold Climate HVAC Conference.

- Kreiger, B. K. and W. V. Srubar III (2019). "Moisture buffering in buildings: A review of experimental and numerical methods." Energy and Buildings **202**: 109394.
- Lam, J., et al. (2021). "Exposure to formaldehyde and asthma outcomes: A systematic review, meta-analysis, and economic assessment." PloS one **16**(3): e0248258.
- Leonardi, F. (2018). "The definition of health: towards new perspectives." International Journal of Health Services **48**(4): 735-748.
- Li, J., et al. (2021). "Effect of the degree of wood use on the visual psychological response of wooden indoor spaces." Wood Science and Technology **55**(5): 1485-1508.
- Li, Q., et al. (2009). "Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function." International Journal of Immunopathology and Pharmacology **22**(4): 951-959.
- Li, Y., et al. (2012). "An investigation of moisture buffering performance of wood paneling at room level and its buffering effect on a test room." Building and Environment **47**: 205-216.
- Lipovac, D. and M. D. Burnard (2021). "Effects of visual exposure to wood on human affective states, physiological arousal and cognitive performance: A systematic review of randomized trials." Indoor and Built Environment **30**(8): 1021-1041.
- Lowe, G. (2020). Wood, Well-being and Performance: The Human and Organizational Benefits of Wood Buildings. British Columbia, Forestry Innovation Investment.
- Lozhechnikova, A., et al. (2015). "Toward energy efficiency through an optimized use of wood: The development of natural hydrophobic coatings that retain moisture-buffering ability." Energy and Buildings **105**: 37-42.
- Lähtinen, K., et al. (2019). "Consumers' perceptions on the properties of wood affecting their willingness to live in and prejudices against houses made of timber." Wood Material Science & Engineering.
- Mahapatra, K., et al. (2012). "Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK." Construction Innovation.
- Manuel, A., et al. (2015). "Consumers' perceptions and preference profiles for wood surfaces tested with pairwise comparison in Germany." Annals of Forest Science **72**(6): 741-751.
- Masuda, M. (1992). "Visual characteristics of wood and the psychological images." Mokuzai Gakkaishi **38**: 1075-1081.
- Masuda, M. (2004). Why wood is excellent for interior design? From vision physical point of view. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, 2004.

McCoy, J. M. and G. W. Evans (2002). "The potential role of the physical environment in fostering creativity." Creativity Research Journal **14**(3-4): 409-426.

McNair, D., et al. (1971). "Manual for the profile of mood states (POMS) San Diego." CA: Educational and Industrial Testing Service.

Morikawa, T., et al. (1998). "Time-series variations of blood pressure due to contact with wood." Journal of Wood Science **44**(6): 495-497.

Morita, E., et al. (2020). "Association of wood use in bedrooms with comfort and sleep among workers in Japan: a cross-sectional analysis of the SLEEP Epidemiology Project at the University of Tsukuba (SLEPT) study." Journal of Wood Science **66**(1): 1-9.

Munir, M. T., et al. (2021). "Hygienic Perspectives of Wood in Healthcare Buildings." Hygiene **1**(1): 12-23.

Nakamura, M., et al. (2019). "Physiological effects of visual stimulation with full-scale wall images composed of vertically and horizontally arranged wooden elements." Journal of Wood Science **65**(1): 1-11.

Nakamura, M. and T. Kondo (2007). "Characterization of distribution pattern of eye fixation pauses in observation of knotty wood panel images." Journal of Physiological Anthropology **26**(2): 129-133.

Nakamura, M. and T. Kondo (2008). "Quantification of visual inducement of knots by eye-tracking." Journal of Wood Science **54**(1): 22-27.

Niedermayer, S., et al. (2013). "VOC sorption and diffusion behavior of building materials." European Journal of Wood and Wood Products **71**(5): 563-571.

Nore, K., et al. (2017). "Moisture buffering, energy potential, and volatile organic compound emissions of wood exposed to indoor environments." Science and Technology for the Built Environment **23**(3): 512-521.

Norsk helseinformatikk (2019). "Inneklima - formaldehyd." Retrieved 10.03, 2022, from <https://nhi.no/livsstil/egenomsorg/formaldehyd/>.

Norsk helseinformatikk (2022). "Psykologisk stress og sykdom ". Retrieved 31.01, 2022, from <https://nhi.no/psykisk-helse/psykiske-lidelser/stress-og-sykdom/>.

Nyrud, A. Q. and T. Bringslimark (2010). "Is interior wood use psychologically beneficial? A review of psychological responses toward wood." Wood and Fiber Science **42**(2): 202-218.

Nyrud, A. Q., et al. (2014). "Benefits from wood interior in a hospital room: a preference study." Architectural Science Review **57**(2): 125-131.

Nyrud, A. Q., et al. (2012). "Wood use in a hospital environment: VOC emissions and air quality." European Journal of Wood and Wood Products **70**(4): 541-543.

Nyrud, A. Q., et al. (2021). Wood in psychiatric in-patient rooms may reduce the length of stay for patients. Proceedings from the 4th Conference on Architecture Research Care & Health.

Nyrud, A. Q., et al. (2008). "Product attributes affecting consumer preference for residential deck materials." Canadian Journal of Forest Research **38**(6): 1385-1396.

Nøjgaard, J. K., et al. (2005). "The effect on human eye blink frequency of exposure to limonene oxidation products and methacrolein." Toxicology Letters **156**(2): 241-251.

Osanyintola, O. F. and C. J. Simonson (2006). "Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact." Energy and Buildings **38**(10): 1270-1282.

Pailhoriès, H., et al. (2017). "Oak in hospitals, the worst enemy of *Staphylococcus aureus*?" Infection Control & Hospital Epidemiology **38**(3): 382-384.

Persson, P. and O. Flodén (2018). Towards uncertainty quantification of vibrations in wood floors. 25th International Congress on Sound and Vibration 2018: Hiroshima Calling, ICSV 2018, The International Institute of Acoustics and Vibration.

Persson, P. and O. Flodén (2019). "Effect of material parameter variability on vibroacoustic response in wood floors." Applied Acoustics **146**: 38-49.

Pohleven, J., et al. (2019). "Volatile organic compounds emitted from untreated and thermally modified wood-a review." Wood and Fiber Science **51**(3): 231-254.

Poirier, G., et al. (2019). "Wood perception in daylit interior spaces: An experimental study using scale models and questionnaires." BioResources **14**(1): 1941-1968.

Rice, J., et al. (2006). "Appearance wood products and psychological well-being." Wood and Fiber Science **38**(4): 644-659.

Sakuragawa, S., et al. (2008). "Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation." Journal of Wood Science **54**(2): 107-113.

Sakuragawa, S., et al. (2005). "Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses." Journal of Wood Science **51**(2): 136-140.

Saracci, R. (1997). "The World Health Organisation needs to reconsider its definition of health." Bmj **314**(7091): 1409.

Scholz, S. W. and R. Decker (2007). "Measuring the impact of wood species on consumer preferences for wooden furniture by means of the Analytic Hierarchy Process." Forest Products Journal **57**(3): 23.

Schreiner, L., et al. (2020). "Out of the woods: psychophysiological investigations on wood odors to estimate their suitability as ambient scents." Wood Science and Technology **54**(5): 1385-1400.

Shen, J., et al. (2020). "Impact of wooden versus nonwooden interior designs on office workers' cognitive performance." Perceptual and Motor Skills **127**(1): 36-51.

Simonson, C. J., et al. (2001). Improving indoor climate and comfort with wooden structures, VTT Technical Research Centre of Finland.

Son, Y.-S., et al. (2013). "Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) emitted from building materials to improve indoor air quality: focused on natural VOCs." Air Quality, Atmosphere & Health **6**(4): 737-746.

Spetic, W., et al. (2006). "Perceptions of wood flooring by Canadian householders." Forest **10231**.

Stora Enso (n.d.). 10 reasons why wooden buildings are good for you and the scientific research to back it up.

Stora Enso, (n.d.). Health and wellbeing in wooden buildings, Chair of Timber Structures and Building Construction (TUM) School of Engineering and Design Technical University of Munich for Stora Enso: 30.

Strobel, K., et al. (2017). "Interior wood use: linking user perceptions to physical properties." Scandinavian Journal of Forest Research **32**(8): 798-806.

Sun, M., et al. (2020). "Effects and interaction of different interior material treatment and personal preference on psychological and physiological responses in living environment." Journal of Wood Science **66**(1): 1-14.

Svartdal, F. (2020). Miljøpsykologi. Store norske leksikon (<http://snl.no/miljøpsykologi>)

Toftum, J., et al. (1998). "Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort." Energy and Buildings **28**(1): 15-23.

Tsunetsugu, Y., et al. (2002). "The visual effects of wooden interiors in actual-size living rooms on the autonomic nervous activities." Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science **21**(6): 297-300.

Tsunetsugu, Y., et al. (2005). "Visual effects of interior design in actual-size living rooms on physiological responses." Building and Environment **40**(10): 1341-1346.

Ulrich, R. S. (1985). "Aesthetic and emotional influences of vegetation: A review of the scientific literature." Swedish Council for Building Research

Ulrich, R. S., et al. (1991). "Stress recovery during exposure to natural and urban environments." Journal of Environmental Psychology **11**(3): 201-230.

Vainio-Kaila, T., et al. (2015). "Antibacterial effects of extracts of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* against *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, and *Streptococcus pneumoniae*." BioResources **10**(4): 7763-7771.

VanderWeele, T. J., et al. (2020). "Current recommendations on the selection of measures for well-being." Preventive Medicine **133**: 106004.

Vavrinsky, E., et al. (2019). "Advanced Wireless Sensors Used to Monitor the Impact of Environment Design on Human Physiology." Advances in Electrical and Electronic Engineering **17**(3): 320-329.

Viholainen, N., et al. (2021). "Citizen views on wood as a construction material: results from seven European countries." Canadian Journal of Forest Research **51**(5): 647-659.

Viholainen, N., et al. (2020). "A home made of wood: Consumer experiences of wooden building materials." International Journal of Consumer Studies **44**(6): 542-551.

Wan, M., et al. (2015). "Consumers' environmental perceptions of children's furniture in China." Forest Products Journal **65**(7-8): 395-405.

Wan, Q., et al. (2021). "Visual perception of different wood surfaces: an event-related potentials study." Annals of Forest Science **78**(2): 1-18.

Wang, S.-Y., et al. (2001). "Thermal properties of interior decorating material and the sensation of cold/warm by contact II: the relations among heat flux, temperature change of material, and sensation of cold/warm by contact." Journal of Wood Science **47**(2): 109-114.

Watchman, M., et al. (2017). "A post-occupancy evaluation of the influence of wood on environmental comfort." BioResources **12**(4): 8704-8724.

Waye, K. P. (2004). "Effects of low frequency noise on sleep." Noise and Health **6**(23): 87.

Wolkoff, P., et al. (2000). "Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures." Indoor Air **10**(2): 82-91.

Wong, C. H. and A. A. Aziz (2021). "Perceptions of Youngsters on Interior Space Quality in Relation to Materiality and Spatial Design." International Journal of Built Environment and Sustainability **8**(1): 103-119.

World Health Organization (1946). Constitution of the world health organization. New York, World Health Organization: 18.

World Health Organization (1998). Wellbeing Measures in Primary Health Care/The Depcare Project. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.

Yerkes, R. M. and J. D. Dodson (1908). "The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation."

Zhang, H., et al. (2012). "Assessing the moisture buffering performance of hygroscopic material by using experimental method." Building and Environment **48**: 27-34.

Zhang, M., et al. (2017). "Moisture buffer effect and its impact on indoor environment." Procedia Engineering **205**: 1123-1129.

Zhang, M., et al. (2017). "Moisture buffering phenomenon and its impact on building energy consumption." Applied Thermal Engineering **124**: 337-345.

Zhang, X., et al. (2016). "Investigation variance in human psychological responses to wooden indoor environments." Building and Environment **109**: 58-67.

Zhang, X., et al. (2017). "Human physiological responses to wooden indoor environment." Physiology & behavior **174**: 27-34.

Zhou, X., et al. (2022). "Investigation of coupled vapor and heat transport in hygroscopic material during adsorption and desorption." Building and Environment: 108845.

Östman, B., et al. (2008). Acoustics in wooden buildings. State of the art 2008. SP Report 2008: 16. SP Technical Research Institute of Sweden, Stockholm