

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2023
6751000007

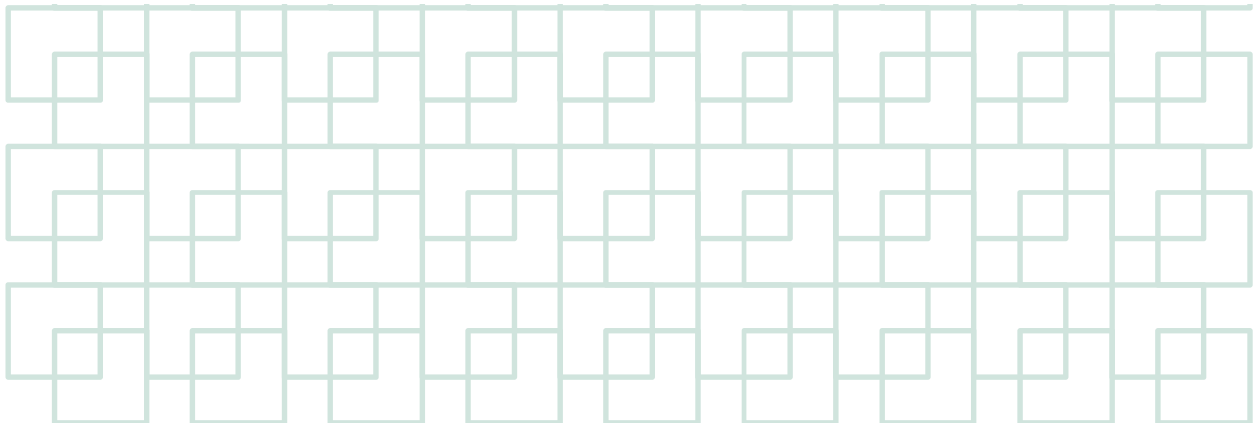
Prosjektrapport

Inneklima i massivtrebygg – studentboliger på Bjølstad

Forfattere:

Anders Q. Nyrud, Lina B. Årsbog, Ingrid Bakke, NMBU

Bjørn Lier, Trebruk AS



Forord

Rapporten sammenfatter funn fra et prosjekt gjennomført i regi av Studentsamkipnaden i Østfold. Ellers har prosjektgruppen bestått av iTre AS, Trebruk AS og NMBU. Prosjektet har løpt fra 2020 til 2023. Prosjektets målsetting om å dokumentere faktis innemiljø og brukeres opplevelse av innemiljøet dekker tre faktorer: luftkvalitet mht. avgassing fra byggematerialer, temperatur og luftfuktighet, brukerundersøkelser. I tillegg til dette arbeidet har det også blitt etablert et nettverk av interessenter som har interesse og behov for undersøkelser av innemiljøet i trebygg.

Prosjektet ble påvirket av pandemien, som vanskeliggjorde studier av beboere i innemiljø. Både pga. restriksjoner som gjorde det vanskelig å gjennomføre datainnsamling (intervjuer), men også fordi situasjonen gjorde at det var få beboere i studenthyblene. Det ble likevel valgt å fullføre prosjektet, men at man tilpasset datainnsamling og analyser til hva som var mulig å gjennomføre innenfor smittevernrestriksjonene.

Ås, den 28. november 2023

Anders Q. Nyrud

Innholdsfortegnelse

0 Innledning.....	1
Innemiljø i trebygg	2
Nye studentboliger på Bjølstad.....	4
1 Kartlegging av inneklime - Bjølstad.....	8
Kjemisk analyse.....	8
Avgassing til inneluft.....	9
Helseeffekt av avgassing.....	11
Temperatur og luftfuktighet.....	12
2 Samsvar mellom materialer og inneluft.....	15
3 Brukerundersøkelser	17
4 Nettverksbygging	19
Referanser.....	20
Vedlegg 1: Kvalitetskontroll	21
Vedlegg 2: Rådata.....	21
Vedlegg 3. Bilder av studentrom under byggeprosess. Bilde: NMBU.	23

0 Innledning

Bakgrunnen for prosjektet er et ønske fra Studentsamskipnaden i Østfold (SiØ) om å dokumentere bokvalitet i deres nye hybler av massivtre. Prosjektet har vært gjennomført i samarbeid med Trebruk AS og Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning.

I dette forprosjektet var målet å tilrettelegge for dokumentasjon av positive helseeffekter forbundet med å bo i bygg av krysslimt tre (KL-tre). En viktig del av dette var å gjennomføre pilotundersøkelser for å kartlegge innemiljøer i bygg. Ved kartlegging av inneklime er det parametere som luftfuktighet, temperatur og avgassing av flyktige forbindelser (VOC) som var aktuelle å undersøke. Forprosjektet er finansiert av Innovasjon Norge og Skogtiltaksfondet, samt med egeninnsats fra SiØ. iTre AS og NMBU har også bidratt med egeninnsats i form av arbeid på prosjektet, dette kommer i tillegg prosjektbudsjettet som Innovasjon Norge og Skogtiltaksfondet har bevilget til SiØ.

Det har vært en økende trend det siste tiåret å bygge med krysslimt tre. Dette er massive skiver av som kan produseres i forskjellige størrelser og formater, noe som gjør det enkelt å prefabrikere bygg og byggesystemer. Både bærende og ikke-bærende konstruksjon kan være i KL-tre og utfordrer derfor tradisjonelle bygningsmaterialer som murstein, betong og stål.

En av grunnene til å velge KL-tre er at det med sammenligning mot tradisjonelle bygningsmaterialer har en mindre negativ effekt på miljøet. For det første er trevirke en fornybar ressurs, og den krever liten energiinnsats for å videreføres. For de andre vil CO₂ som er lagret i trevirket bidra til å gi byggesystemer av KL-tre et lavt karbonfotavtrykk (Wahlstrøm et. al., 2020). KL-tre har vært mye brukt i offentlige bygningsprosjekter, og flere celle-baserte bygg som studentboliger bygges i KL-tre. I tillegg har bygg i KL-tre andre fordeler, som kort byggetid og enkel montasje på byggeplass.

KL-tre vil elementets sider ha en naturlig treoverflate. Naturligheten er foreslått å ha en positiv innvirkning på mennesker. I bygg av KL-tre, vil det ofte være eksponerte treoverflater i innemiljøet. Det finnes flere studier som viser at synlige treoverflater i et rom både kan påvirke inneklime i et rom eller bygg, dette innebærer at eksponerte treoverflater for eksempel kan balansere luftfuktighet, og dermed også påvirke temperatur, eller påvirke menneskene som bruker rommet psykologisk.

Studentsamskipnaden i Østfold har gjennomført flere prosjekter i krysslimt tre, og har erfaringer både mht. planlegging, anbud, byggeprosess og bruk. Jevnt over er beboerne veldig fornøyd med de nye studenthyblene.

Denne rapporten vil presentere resultatene fra de ulike aktivitetene i prosjektet:

- Kartlegging av inneklime: inneklime parameterne luftfuktighet, temperatur og konsentrasjon av utvalgte flyktige organiske forbindelser målt i de nye studentboligene bygget av Studentsamskipnaden i Østfold på Bjølstad i Fredrikstad.
- Samsvar mellom materialer og avgassing/inneklime
- Brukerundersøkelser
- Nettverksbygging

I tillegg til å være relevante for SiØ, er prosjektets målsettinger relevante for bedrifter som jobber med design og rådgiving innenfor temaet trekonstruksjoner. GS Arkitekter har derfor vært involvert i prosjektet, både med hensyn til å legge til rette for designløsninger med riktig trebruk, men også for å følge opp prosjektene etter at de har blitt tatt i bruk. Det har vært et

viktig moment at man allerede i designfasen har lagt til rette for at det er tilstrekkelige synlige treoverflater til å kunne påvirke inn klima og brukere. Prosjektpartneren iTre AS har lang erfaring med design, planlegging og gjennomføring av byggeprosjekter med store trekonstruksjoner, og opplever at det er behov for dokumentasjon av problemstillingene som har vært undersøkt i prosjektet. iTre AS har derfor både deltatt med sin kompetanse i forskningsprosjektet, men har i tillegg også kunnet nytte seg av resultater som fra prosjektet.

Gjennomføring av prosjektet ble sterkt påvirket av Covid-pandemien og smittevernstiltak som ble gjennomført i anledning denne. Prosjektet skulle undersøke beboere i SiØs studenthybler, men dette ble problematisk fordi det var vanskelig å gjennomføre fysiske møter – å få tilgang til studenter som kunne delta. Det var også et problem at det var få studenter som bodde i disse studenthyblene i pandemiperioden.

Prosjektets egentlige målsetting om å undersøke studenter ble derfor endre til å fokusere mer på faktorer som kunne måles selv om det ikke var studenter til stede. Dette dreide seg om å:

- måle innvirkning av trematerialer på innemiljø
- gjennomføre intervjuundersøkelser med en mindre studentgruppe

Innemiljø i trebygg

Mennesker i den vestlige verden tilbringer omtrent 90% av tiden vår innendørs, derfor har det utviklet seg et behov for å kontrollere og dokumentere inn klimaet vi oppholder oss i. Grønn byggallianse har rettighetene til å drifte og operere BRE Environmental Assessment methodology (BREEAM), originalt utgitt og utviklet av BRE Global Limited. Breeam er en miljøsertifisering for alle typer bygg. I denne sammenhengen vil kun kapittelet om helse og innemiljø, med underkapittel om inneluftkvalitet være aktuell. Her stilles krav til hvordan planlegging, oppføring, vedlikehold og drift av byggene skal føre til godt inn klima og luftkvalitet (BRE Global Limited, 2019).

Inneklima kan være årsak til at sykdom forverres eller oppstår. Folkehelseinstituttet deler sykdommene og plagene som kan forekomme i inn klimasammenheng grovt inn i seks kategorier:

1. Hud- og slimhinneirritasjon, hodepine og luktplager
2. Luftveissykdommer og allergiske reaksjoner i luftveiene
3. Hjerte- og karsykdommer
4. Kreft
5. Forverring av virusinduserte og bakterielle luftveisinfeksjoner
6. Helseplager tilskrevet miljøfaktorer

Det er i størst grad under punkt 1. og 2. at plagene og sykdomsutfallene som påvirkes av dårlig inn klima. Plager og ubehag i disse to kategoriene kan være vanskelig å finne opphavet til, men dersom de rapporteres å forsvinne ved opphold i andre inn miljøer eller lokasjoner, kan det være en sammenheng med det aktuelle inn miljøet hvor plagene eller ubehaget oppstod. Risikoforhold som kan bidra til slike plager er partikkelforurensning, flyktige organiske forbindelser, fuktskader og muggsopp innendørs (Folkehelseinstituttet, 2015).

Det er store individuelle forskjeller i behovet av det termiske inn miljøet, men anbefalte temperaturkrav er gitt i Europeisk standard EN ISO7730. De anbefalte temperaturene for vinter og sommer er henholdsvis 20-24 °C og 23-26 °C. Luftfuktigheten spiller også inn på

hvordan temperaturene i et innemiljø oppleves. Den relative luftfuktigheten (RF) forteller hvordan forholdet mellom mengden vanddamp i luften og den maksimale vanddampmengden luften kan ha er. Mennesker tåler variasjon i den relative luftfuktigheten godt, men RF over 70% kan føre til mugg, lukt og fuktskader, mens RF under 20% gir tørr luft som kan føre til problemer med statisk elektrisitet, tørr hud, øye- og slimhinneirritasjoner (Folkehelseinstituttet, 2015).

Flyktige organiske forbindelser (VOC) er en gruppe kjemiske forbindelser som er gass ved 25 °C. Disse er organiske, oppbygget av karbon og har lav molekylvekt. VOC kommer fra både biogene og antropogene kilder, henholdsvis forbindelser som er produsert av levende materiale og forbindelser som produseres gjennom industri. Omtrent 90% av den totale emisjonen av VOC kommer fra biogene kilder (Hanks og Louglin, 2011).

Emisjoner fra tre-materiale betegnes som biogene kilder. Hovedvekten av emisjonene fra tre er terpenener og aldehyder, og består av monoterpenener, terpenener med karboner, og kortkjedet aldehyder, som heksanal og pentanal. Monoterpenener som α - og β -pinene, 3-Carene og Limonene gir den karakteristiske lukten av tre. Et kjennetegn ved både monoterpenener og aldehyder er at de kan gi lukt. På grunn av denne egenskapen brukes disse forbindelsene mye som tilsetning i matvarer, i parfymen og skjønnhetsprodukter, samt i legemidler.

Studentboligene på Bjølstad er bygget i kryss-limt tre produsert av gran. Englund, (1999) fant at i et forsøk med gran testet før og gjennom tørking at α -pinene var dominerende i alle prøver. Videre fant han også β -pinene, 3-carene og heksanal i alle prøver.

Den europeiske standarden EN 16516 presenterer en standard metode for å måle disse flyktige forbindelsene, både i testrom og i emisjons kammer. Standarden setter også krav til det analytiske systemet og til kvantifisering av forbindelser. Luft kan inneholde mange forskjellige forbindelser i særlig lave konsentrasjonsnivåer, og der er derfor viktig med en prøvetakningsteknikk og et analytisk system som er sensitivt og selektivt nok. Termisk desorpsjon er en prøvetaknings og analytisk metode som er benyttet for VOC og monoterpenener siden tidlig 2000-tallet. (Hodgson og Levin, 2003; Wolkoff og Nielsen, 2001). I termisk desorpsjon er prinsippet at analytten blir overført fra et medie til et annet uten behov for løsemiddel. For at en slik metode skal fungere optimalt må absorbent materialet være optimalt for forbindelsene som skal analyseres. For VOC anbefaler EN 16516 at Tenax TA benyttes. Dette er en forbindelse med inert overflate, stabil både mekanisk og termisk, samt har lav affinitet for vann og andre uorganiske atmosfæriske forbindelser, eksempel CO₂, O₃ og NO₂. Ved å benytte prøvetakningsrør fylt med Tenax TA, vil VOC som finnes i lufta adsorberes til overflaten av Tenax TA når luft pumpes gjennom rørene. Videre desorberes disse rørene i en termisk desorpsjonsenhet og resten av analysen gjennomføres med gaskromatografi koblet med massespektrometri, i tråd med EN 16516.

I innemiljøer forekommer VOC både fra stasjonære og variable kilder. Wolkoff (2000) fant at både tremateriale, møblement i tre og MDF plater emitterte terpenener som α -pinene og 3-carene, fra materiale laget av både furu og gran. Det er ingen faste holdepunkter for at nivåene som forekommer utgjør noen helsebasert risiko. Det faglige grunnlaget for å sette et tall som helsebasert norm for mengden totale flyktige forbindelser er utilstrekkelig, både i forhold til inneluftkonsentrasjoner og avgassing fra materialer (Folkehelseinstituttet, 2015).

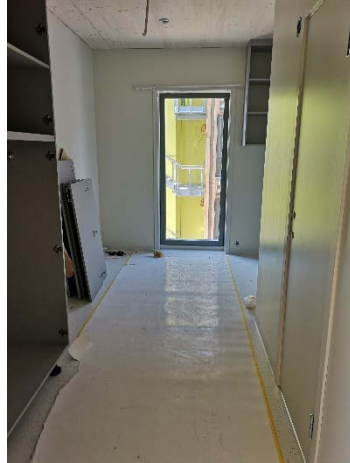
Trevirke er et hygroskopisk materiale. Det betyr at det til enhver tid vil tilpasse seg og inngå en likevekt med varme og luftfuktighet i treets omgivelser. Trematerialet vil svulle og krympe ved endringer i luftfuktigheten og ta opp eller avgi varme med endringer i temperaturen. På grunn av disse egenskapene gir bygg med synlig tre i oppholdsrom et behagelig og stabilt inneklima (Norsk treteknisk institutt, 2006).

Nye studentboliger på Bjølstad

Studentsamskipnaden i Østfold bygger fire nye blokker med 230 studentboliger i KL-tre. Bjølstad studentboligkompleks ble bygget i 2020, med bærende konstruksjon av KL-tre av gran (*Picea abies*). Disse byggene inneholder i hovedsak kollektiv, hvor beboerne deler kjøkken og stue, men har eget rom med bad, såkalt celle-baserte bygg. Felles for alle rom, både fellesareal og private hybler, er at taket er i synlig tre. Videre har hyblene tre ulike mengder synlig tre. Rom ved endevegg har kun tak med synlig tre, mens de andre rommene har enten en lang vegg eller en kort vegg, i tillegg til taket, i synlig tre. Etter befaring ble bygg D valgt ut og rom H0310d og H0311d, jfr. Figur 1, hvor et rom med kun tak av synlig tre og et rom med den lengste vegg pluss taket i synlig tre. Bilde som viser forløpet av byggeprosjektet er gjengitt i Figur 2.



Figur 1. Bjølstad studenthybler (til venstre) og oversikt over etasje (til høyre), plassering av hybler, rom H0310d og H0311d markert med grønne piler. Bilde: NMBU.



Figur 2. Øverst: studenthybel (enkeltrom). Nederst: fellesrom (fellesareal med stue og kjøkken) i tilknytning til seksten studenthybler, åtte på hver side. Bildet et tatt i løpet av byggeprosessen og viser installering av gulv og inventar. Bilde: NMBU.



Figur 3. Utviklingen av rommene fra første prøvetakningsuke til siste, illustrert ved bilder fra en studenthybel. Bilder: NMBU.

Det var viktig å følge byggeprosessen, slik at man hadde god oversikt over hvilke tiltak som ble gjort i bygget, og når disse ble gjort. For eksempel vil påstøp på gulv innebar tilførsel av mye fukt til innemiljøet, og det er dermed kritisk å ha informasjon om dette. Dette er viktig for å kunne følge opp målingene som ble gjort av innemiljøet i bygget, jfr. kapittel 1 «Kartlegging av inneklime – Bjølstad». Både SiØ og iTre fulgte byggeprosessen, og bidro med å overvåke og kartlegge prosessen og dermed fremskaffe en oversikt over fremdrift og tiltak, se Tabell 1 for en slik oversikt.

Tabell 1. Skjematisk fremstilling av byggeprosess og ferdigstilling av rom, inkludert møblering av fellesarealer og studenthybler. Faktorer som kan påvirke inneklime er kommentert. Kilde: iTre AS og NMBU.

Dato	Byggeprosess
29.04	Synlig KL-tre gulv, tak og enkelte vegger
06.05	Forberedelser til avretting av gulv
16.06	Avretting av gulv gjennomført, installert kjøkkenskap og garderober på fellesområde
23.06	Hyller/stammer til skap og baderomsdører på studenthybler
30.06	Skapdører og ytterligere inventar på kjøkken i fellesområde
07.07	-
10.07	-
14.07	Benkeplater på kjøkken i fellesområde
21.07	Gardiner og sofa på studenthybler
28.07	Skrivebord og kontorstol på studenthybler
04.08	Bord og stoler samt treull i tak på fellesområde, senger på studentrom
11.08	-

1 Kartlegging av inneklima - Bjølstad

Luftprøver ble tatt de siste ni ukene av byggetiden av studentboligene til Studentsamskipnaden i Østfold på Bjølstad i Fredrikstad. Det ble tatt prøver i to rom, et hvor kun taket var av synlig tre og det andre hvor tak og en vegg var av synlig tre. I tillegg ble temperatur og luftfuktighet undersøkt fra 5.05.20 til 10.07.20 i fellesarealet, utenfor rommene. NMBU plasserte måleutstyr i fellesarealene i samarbeid med iTre AS og Trebruk AS.

Gjennom hele prøvetakningsperioden ble det gjort arbeid i bygget. Prøvetakningen startet etter at gulvet var støpt. Det ble plassert ut fukt og temperaturmålere i taket i fellesarealet i uke 19, som registrerte temperatur og luftfuktighet frem til uke 28. Plassering er vist i Figur 4.



Figur 4. Sensorer for måling av temperatur og relativ luftfuktighet plassert i taket på fellesarealet, to sensorer er markert med grønn på pil. Bilde: Trebruk AS.

Kjemisk analyse

Laboratoriearbeidet ble utført ved Fakultet for kjemi, bioteknologi og matvitenskap ved NMBU. Analysen ble utført på en Agilent 7890B GC-system koblet til et 7000C trippel kvadrupol massespektrometer. Som injektor ble en Perkin Elmer ATD-400 termisk desorpsjonsenhet benyttet koblet til GC-enheten med en kapillær silica-ovengangslinje. Termodesorpsjonsrørene benyttet var 90mm lange med en diameter på 6,35mm (Perkin Elmer, Norwalk, USA). Disse var fra produsent fylt med 300mg Tenax TA og kondisjonerte.

Til prøvetakningen ble det benyttet fire pumper fra SKC, Blandford Forum, Storbritannia. Luften ble pumpet gjennom rørene i omtrent en time, med en hastighet på 250 mL/min. Prøvene ble deretter analysert ved hjelp av termisk desorpsjon, gasskromatografi og massespektrometri. Denne metoden er utviklet og validert ved Fakultet for kjemi, bioteknologi og matvitenskap ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (Aarsbog, 2019), og er basert på standard metode for å måle flyktige forbindelser med Tenax TA rør.

Kvalitetskontrollen ble gjennomført som beskrevet i EN 16516. Alle prøverør ble rensert på 300°C i 20 minutter for å fjerne mulig kontaminering. Oppbevart enkeltvis i aluminiumsfolie frem til og etter prøvetakning. Etter prøvetakning ble prøvene oppbevart i fryser. Det ble også tatt blankprøver ved at rør ble åpnet og lukket og videre behandlet på samme måte som

prøvene tatt over tid. Den analytiske metoden ble evaluert på linearitet, dynamisk område, repeterbarhet og sensitivitet. Resultatet fra dette vises i vedlegg.

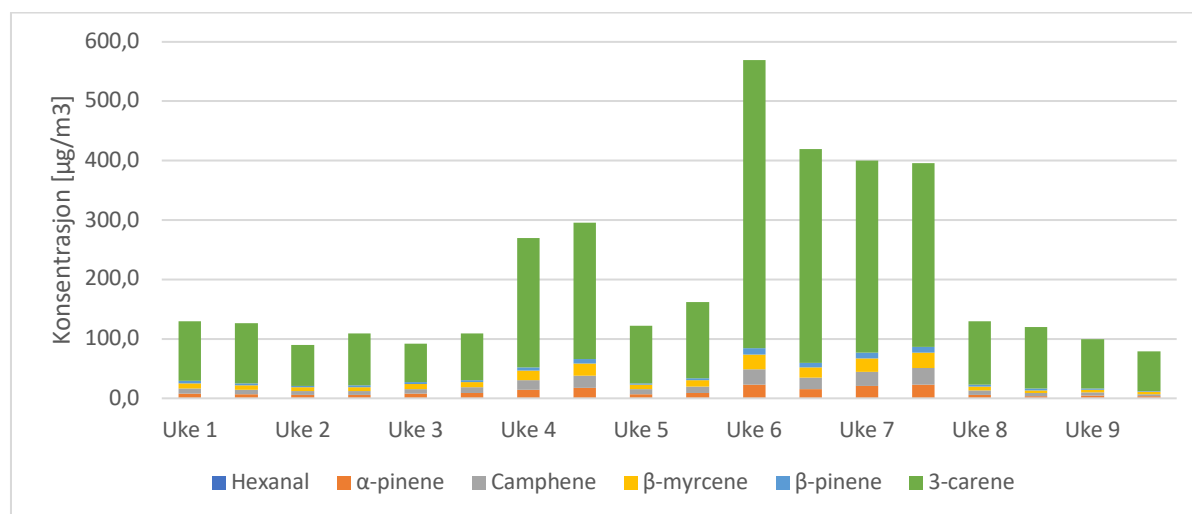
Avgassing til inneluft

Utslippkonsentrasjoner av seks utvalgte VOCer (heksanal, α -pinen, kamfen, β -myrcen, β -pinen og 3-karen) ble målt i løpet av de ni siste ukene av byggingen, i studenthybler med ulike mengde synlige treoverflater. Alle VOC ble påvist over grensene for kvantifisering.

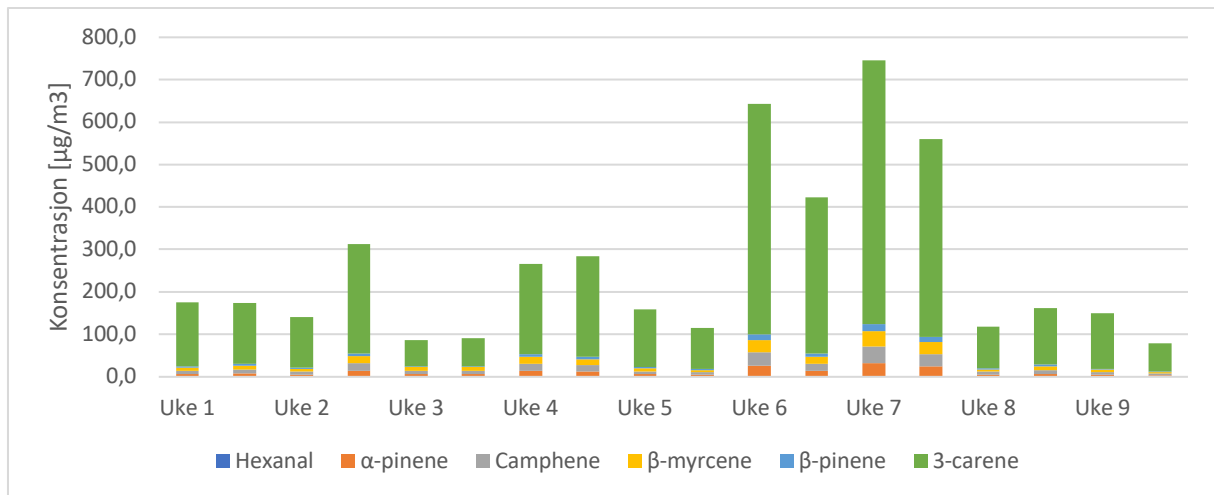
Variasjonen og trendene i VOC-utslipp indikerte at avgassing også kommer fra andre kilder enn det KL-treet.

VOC-konsentrasjonsmålinger i innemiljø i studenthyblene resulterte i påvisning av fem terpenener og ett aldehyd. Gjennomsnittlige konsentrasjoner av de seks VOC i løpet av prøvetakingsperioden 24.06.2020 til 11.08.2020 er vist i Figurene 5, 6, 7 og 8. Endringene i VOC-konsentrasjoner i de to rommene over tid var like. VOC-konsentrasjonene nådde et maksimum i uke 6 og 7.

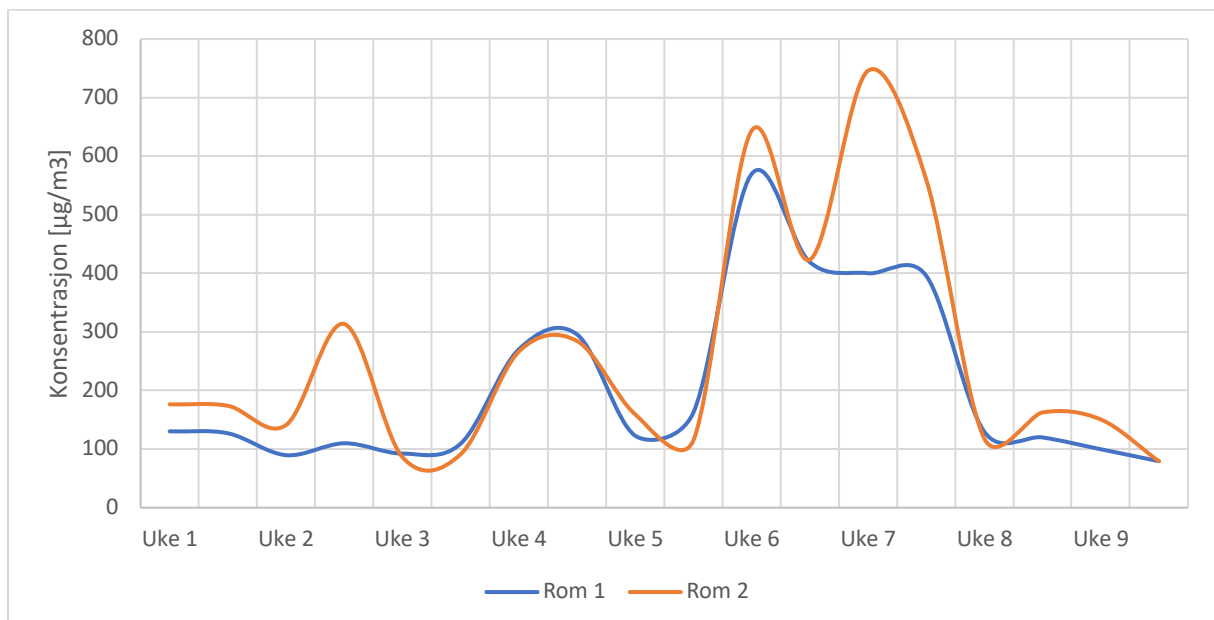
I Figur 5 vises konsentrasjonen av de seks forskjellige flyktige forbindelsene i rommet med kun synlig tre i taket, og konsentrasjonen av forbindelsene i rommet med synlig tak og vegg vises i Figur 6. En sammenligning av total mengde flyktige forbindelser målt i de to rommene, vises i Figur 7. Ettersom rommet med mest synlige treoverflater (vegg og tak) hadde mindre gulvareal, hadde det også en betydelig høyere belastningsgrad av massiv granoverflate, ca. $0,95 \text{ m}^2/\text{m}^3$ i Rom 2 (H0310d), sammenlignet med $0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ CLT i Rom 1 (H0311d).



Figur 5. Konsentrasjon av individuelle VOCer [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] i Rom 1 (H0310d) med kun synlig tre i tak.

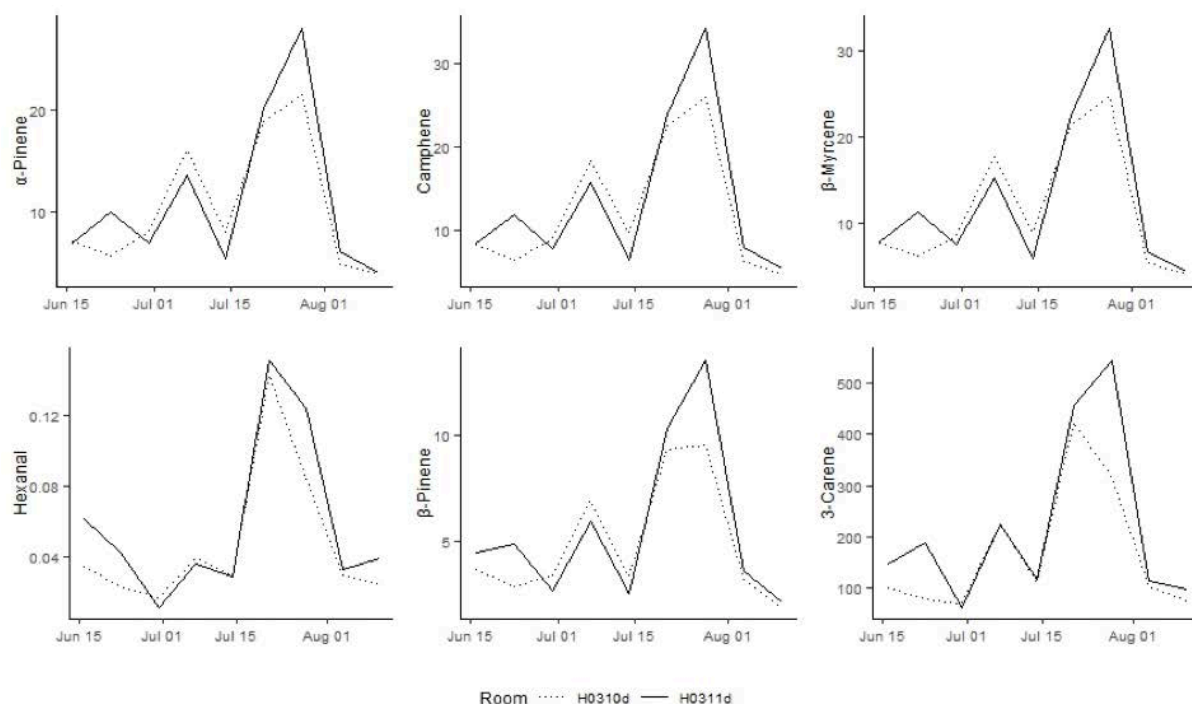


Figur 6. Konsentrasjon av individuelle VOCer i [µg/m³] i Rom 2 (H0311d) med synlig tre i tak og en vegg.



Figur 7. Sammenligning av TVOC [µg/m³] over prøvetaksperioden i Rom 1 (H0310d) med synlig tre i tak og Rom 2 (H0311d) med synlig tre i tak og vegg.

Konsentrasjonsprofiler for individuelle VOCer er vist i Figur 8. Alle seks VOC-konsentrasjonsprofiler var like for begge studenthyblene, noe som indikerer samme kilder til stoffene i begge rom, enten fra materialer, utstyr/installasjoner plassert inn på rommene eller fra en felles ekstern kilde.



Figur 8. Avgassing av flyktige organiske forbindelser [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] i byggeperioden. Hver graf viser én individuell VOC i to romtyper. Stiplet linje: Rom 1 (H0310d) med synlig treoverflate i tak. Heltrukket linje: Rom 2 (H0311d) med synlig treoverflate i tak og vegg.

VOC-konsentrasjonen i rommet med størst overflate eksponert KL-tre var litt høyere enn i rommet med minst treoverflate i uke 2 og etter uke 5. I uke 3-5 var imidlertid VOC-konsentrasjonene litt høyere i rommet med minst synlig KL-tre, noe som indikerer en annen kilde til VOC enn mengde trevirke og lim fra KL-treet. VOC-konsentrasjonene varierte mye over byggeperioden, er det nødvendig å vurdere disse resultatene med hensyn til byggeplassaktivitetene registrert i Tabell 1 og bildene i Figur 3.

I ukene med maksimale VOC-konsentrasjoner, dvs. uke 6 (21.07) og 7 (28.07), ble rommene innredet med gardiner, pulter og kontorstoler, og sofaer ble plassert i fellesarealet. For å vurdere det ekstra VOC-utslippet fra disse endringene på byggeplassen, må tekstilene og møblene testes for deres individuelle VOC-utslipp separat. Foruten introduksjon av møbler og apparater på byggeplassen, har faktorer som menneskelige aktiviteter, bruk av rengjøringsmidler og ventilasjonshastighet kort tid før innsamling av luftprøver mest sannsynlig innvirkning på den påfølgende VOC-konsentrasjonen i rommene. Vurderinger av målingene av avgassing til innemiljø ble gjort i samarbeid med iTre AS, for å kunne ta hensyn til tiltak i byggeprosessen, jfr. Tabell 1.

Helseeffekt av avgassing

I denne studien ble individuelle LCI-verdier sammenlignet med de maksimale konsentrasjonene av individuelle VOC, som vist i Tabell 2. LCI-verdiene fastsatt av EU-kommisjonen for å gi terskelverdier for hvor anbefalt mengde avgassing fra hver individuell VOC. Ingen av de målte VOC-konsentrasjonene oversteg anbefalte LCI-verdier. Ved vurdering av helseeffekten av VOC i innendørsmiljøer er det viktig å ta hensyn til effekter fra individuelle flyktige forbindelser. I følge Salthammer et al. (2022) kan total VOC (TVOC) konsentrasjon ikke brukes som en indikator på helse i en inneluftstudie.

Tabell 2. Målt VOC konsentrasjon for individuelle VOCer, og LCI verdier for de samme VOCene.

	Maksimal konsentrasjon [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	LCI [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Hexanal	0.17	900
α -pinene	32	2500
Camphene	39	1400
β -myrcene	37	1400
β -pinene	15	1400
3-carene	622	1500

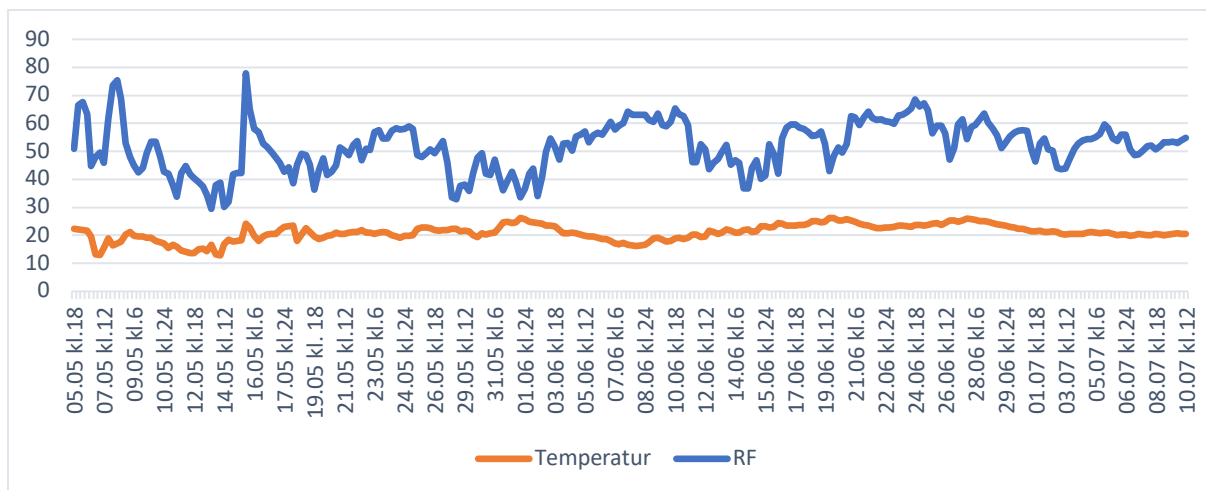
Alle individuelle VOC-konsentrasjoner var under anbefalte LCI-verdier, noe som indikerer ingen risiko knyttet til å okkupere bygningen de siste ukene av byggingen. R-verdien for VOC-konsentrasjonen ved studentboligene var 0,49. I de fleste frivillige klassifiseringsskjemaer er kriteriene for VOC-konsentrasjon en R-verdi mindre enn eller lik 1. Men siden 3-Caren bare ble semikvantifisert og påvist i høye konsentrasjoner, anbefales ytterligere målinger for å bekrefte at konsentrasjonene var under LCI for denne forbindelsen.

Temperatur og luftfuktighet

Tre er et hygroskopisk materiale, og trevirke vil derfor både tar opp fukt fra innemiljøet og avgir fukt. Det foreligger både forskning og praktiske erfaringer som tilsier at denne hygroskopiske effekten kan bidra til å balansere inneklimate (se for eksempel Kraniotis m.fl. 2015, Kraniotis m.fl. 2017, Skulberg m.fl. 2022).

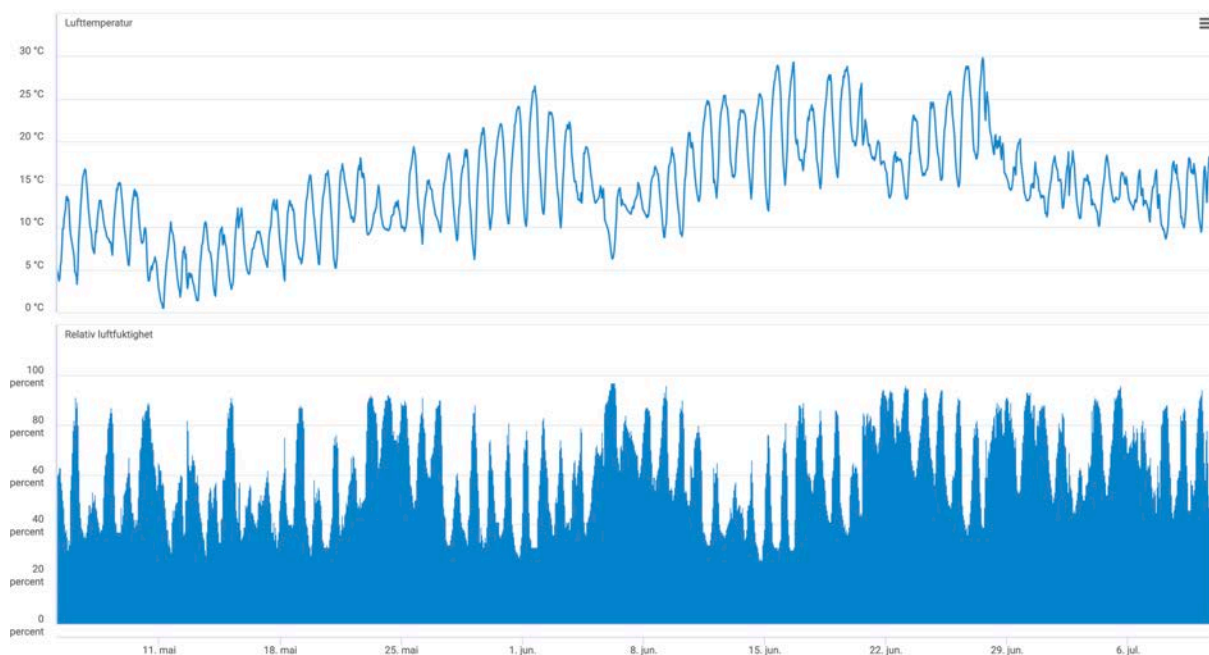
For å undersøke effektene av trevirkets hygroskopiske egenskaper, ble det derfor målt relativ luftfuktighet og temperatur gjennom hele byggeprosessen. Målingene ble gjennomført i samme etasje som de to rommene hvor det ble tatt luftprøver for å analysere avgassing av VOCer. Målingene ble gjennomført i perioden 05.05 2020 til 10.07 2020, dvs. fra råbygget stod klart til det var nøkkelferdig.

Som vist i Figur 8 er det store svingninger i relativ luftfuktighet, over perioden varierer denne mellom 30 % og 80 %, både topp og bunn finner sted innenfor en ganske kort periode mellom bunnivåe den 13. og toppnivå den 15. mai 2020. Temperatur varierer mellom 12 °C og 26 °C, hvor bunnen er den 13. mai og toppen den 1. juni 2020. Målingene er gjennomført i takhøyde inne i bygget, og reflekterer derfor inneklimate i bygget.



Figur 8. Temepratur og relativ luftfuktighet, perioden 05.05 2020 til 10.07 2020.

Svingningene i temperatur og relativ luftfuktighet innendørs er reflekterer påvirkninger fra aktiviteter i som har skjedd inne i bygget. I samarbeid med iTre AS og Trebruk AS har fukt og temperatur i byggets innemiljø blitt vurdert mht. innvirning fra tiltak i byggeperioden, jfr. Tabell 1. Den største fuktbelastningen kan forventes å ha skjedd i forbindelse med påstøp/avretting av gulv, som skjedde i starten av mai (6. til 8. mai), og perioden med uttørking som påfulgte. Det er også påvirkninger fra utemiljø.



Figur 9. Middeltemperatur luft (øverst) og gjennomsnittlig luftfuktighet (nederst) per time i perioden 05.05 2020 til 10.07 2020. Værd data fra Sarpsborg. Kilde: Norsk klimaservicesenter, url: klimaservicesenter.no.

Figur 9 viser værd data, middeltemperatur og luftfuktighet hvert døgn, fra nærmeste værstasjon over perioden det ble gjennomført målinger på Bjølstad. Det er tydelig at

utetemperaturen hadde en viss påvirkning på temperaturen inne. Målt luftfuktigheten er derimot mer uavhengig av fuktigheten i luften ute.

Etter de store fluktuasjonene i starten av byggeperioden jevnet luftfuktigheten seg ut. Relativ luftfuktighet å i intervallet 30-60 % hele denne perioden. Det er dermed tydelig at selv om luftfuktigheten gikk ned i perioden, tørket bygget ikke helt ut. Dette er veldig gunstig mht. beboeres opplevelse av inn klima. Tørr luft oppleves gjerne som ubehagelig, og vil også kunne forsterke/fremkalle effekter i luftveier og allergiske reaksjoner. Trevirkets evne til å ta opp og avgi fuktighet gjør dermed at luftfuktigheten i inneluften er på et nivå som er gunstig for beboere.

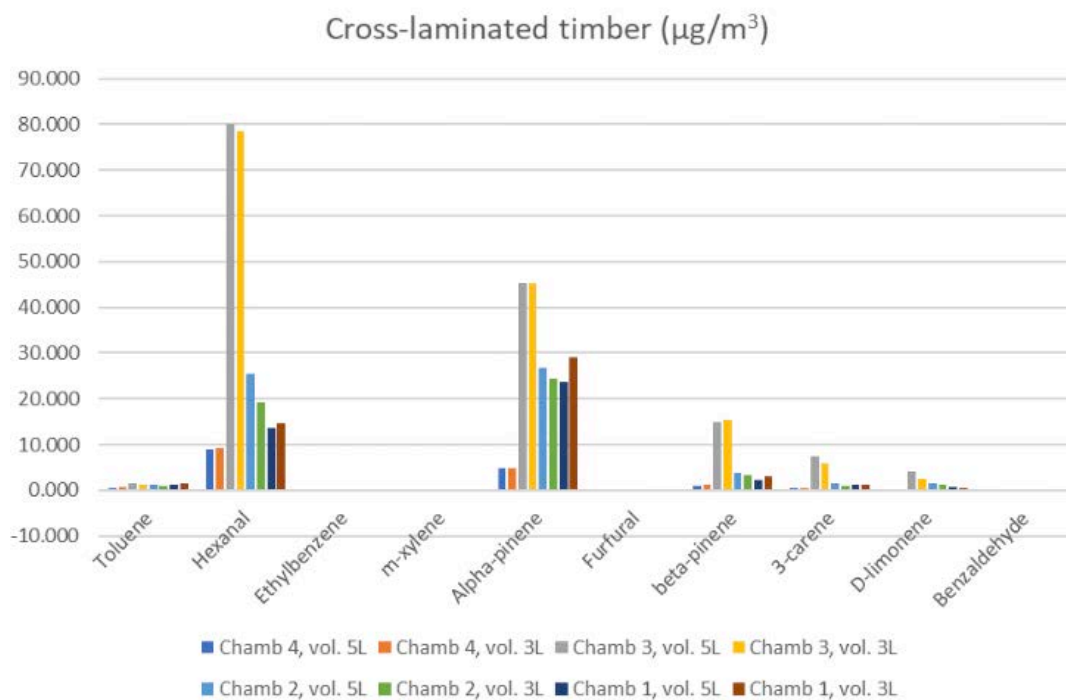
2 Samsvar mellom materialer og inneluft

Resultatene fra VOC-målinger på Bjølstad viste indikasjoner på at der var flere kilder til VOCer enn granvirket i KL-treoverflatene. Konsentrasjonsprofilene i Figur 8 var ikke karakteristiske for rom hvor gran er hovedkilden til VOC. Å fastslå kildene til VOC-avgassing i et innenmiljø er vanskelig da både naturlige og menneskeskapt kilder er til stede til enhver tid og testusikkerhetene for tilgjengelige metoder er høye.

Det ble derfor gjennomført en studie der man forsøkte å fastslå om avgassing fra treoverflater samsvarer med målingene av VOCer i inneluften på studenthyblene. Siden VOC-utslippene fra tre ikke er tilstrekkelig karakterisert, hadde prosjektet som mål å bestemme kjemiske utslippsprofiler basert på *targeted* og *non-targeted*-analyser av VOCer. Prosjektet fokuserte på å analysere tre ulike typer granprodukter (*Picea abies*): ubehandlet interiørpanel (USP), KL-tre (CLT) og beiset interiørpanel (SSP).

Testparameterne som ble brukt i dette prosjektet var basert på europeisk standard NS-EN 16516:2017+A1. Klimakammermetoden ble brukt for å bestemme VOC-utslippene fratrevirke, og luftprøvene ble samlet tre dager etter at prøvene ble plassert i klimakamrene. Etter analysen av tre laboratorieprøver, ble det avklart at heksanal hadde de høyeste utslippene (80,07-3,00 µg/m³) etterfulgt av α-pinen (45,4-1,9 µg/m³), β-pinen (15,4-0,32 µg/m³), 3-carene (7,3-0,04 µg/m³) og d-limonen (3,9-0,007 µg/m³). Høyest konsentrasjon av VOC-ene ble funnet i ubehandlet granpanel (USP) og krysslimt tre (CLT). Lavere konsentrasjoner av heksanal og α-pinen ble identifisert i det beisede granpanelet (SSP), noe som kan tyde på at behandling av treoverflaten kan bidra til lavere emisjoner av biogene monoterpener og aldehyder. Allikevel, mer omfattende utslippsanalyser av behandlede treoverflater burde gjennomføres for å bekrefte antagelsen.

Suspect og *non-target*-screeningen (SUS og NTS) identifiserte alkaner som den mest dominerende gruppen funnet i SSP (29 %), CLT (31 %) og USP (37 %). De hyppigst forekommende alkanene som ble identifisert var 2,3-dimetylpentan, 2-metylheksan, metylcykloheksan, 3-metylheksan og heptan. Terpener bidro til 7-10 % av VOC-utslippene, og de mest dominerende terpenene som ble identifisert var *targeted* β-pinen, α-pinen, d-limonen, 3-carene og *non-targeted* β-myrcen og o-cymen. Aldehyder inneholdt rundt 5-8 % av de totale VOC-utslippene i laboratorieprøver. De hyppigst forekommende aldehyder identifisert av NTS og SUS var heptanal, nonanal, decanal, pentanal og hexanal.



Figur 10. Konsentrasjon av individuelle VOCer [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] i prøvene fra KL-tre.

Det er godt samsvar mellom avgassingene i studenthyblene og materialprøvene av ubehandlet tre. Dette tilsier at det er mulig å identifisere avgassing fra trematerialer i innemiljø. Det er likevel ikke grunn til å tro at det er andre kilder til avgassingene i studenthyblene, siden konsentrasjonen av VOCer gikk kraftig opp i deler av byggeperioden, jfr. Figur 8 og kommentarene til denne.

3 Brukerundersøkelser

Det ble gjennomført to separate brukerundersøkelser, begge som intervjuundersøkelser. Den første brukerundersøkelsen ble gjennomført i 2020, som et opplegg med strukturerte intervjuer og ett oppfølgende dybdeintervju i etterkant. Målet med den første brukerundersøkelsen var å undersøke om hvordan beboere i studenthyblene ville reagere på å delta i et forskningsprosjekt med utstrakt bruk av sensorer for å måle inneklime i hybler (f.eks. temperatur og luftfuktighet) samt fysiologiske parametere (f.eks. puls/hjerterate og blodtrykk) på hver enkelt deltaker. Bruk av sensorteknologi for å kartlegge et innemiljø og de som bruker innemiljøet, vil innebære at det samles inn personsensitiv informasjon om deltakerne. Det kan også forventes at deltakelse i en studie med utstrakt bruk av sensorteknologi kan føre til at deltakere føler seg overvåket, og derfor vil være negative til å delta.

Rekruttering til den første intervjuundersøkelsen ble gjennomført blant beboerne i studenthyblene på Bjølstad. Rekrutteringen ble gjennomført i samarbeid med SiØ og iTre AS, ved at det ble satt opp oppslag i fellesområdene på Bjølstad. Det ble lagt vekt på at undersøkelsen ikke hadde fokuserte på byggematerialer, men at man var interessert i å undersøke beboernes trivsel. Dette ble gjort for å unngå at deltakerne skulle bli påvirket i intervjusituasjonen.

I løpet planleggingsperioden av intervjuundersøkelsen ble det innført strenge smittevernstiltak pga. Covid-pandemien. Dette medførte at det var umulig å gjennomføre intervjuene med fysisk deltakelse fra begge parter. Det ble derfor valgt å gjennomføre intervjuene digitalt, på Zoom. Dette fungerte tilfredsstillende, selv om både intervjuer og respondentene hadde veldig begrenset erfaring med denne typen digitale kommunikasjonsplattformer.

I tillegg førte pandemien til en nedstengning av det norske samfunnet som gjorde at det var veldig få beboere på studenthyblene. Dette påvirket rekrutteringen, siden det var et ønske om å intervju beboere i de aktuelle studenthyblene der man allerede hadde startet med å overvåke innemiljøet. Den første brukerundersøkelsen omfattet derfor en begrenset gruppe respondenter, det var seks personer som deltok. Etter at de digitale intervjuene var gjennomført, ble det gjennomført et oppfølgingsintervju på Bjølstad der målsettingen var å verifisere informasjonen som hadde blitt samlet inn i de digitale intervjuene. På dette intervjuet var både intervjuer og respondent fysisk til stede.

Den innledende intervjuundersøkelsen konkluderte med at det vil være mulig å gjennomføre en studie som involverer beboerne på Bjølstad. Det var liten skepsis til at det samles inn informasjon om inneklime på den enkeltes hybel, og metodene for overvåking av inneklime ved bruk av sensorer som vist i Figur 4, ble ikke oppfattet som invaderende. Kartlegging av fysiologiske parametere, ved at deltakerne hadde på seg bærbare sensorer (puls-klokker o.l.) oppfattes, naturlig nok, som mer problematisk. Det var likevel ingen som hadde store motforestillinger mot bruk av bærbare sensorer så lenge studien var planlagt på en måte som ga dem god forståelse av målet med studien og hvordan den var organisert, og så lenge alle personvernshensyn var ivarettatt iht. GDPR.

I den innledende intervjuundersøkelsen ble respondentene også bedt om å karakterisere boligene (studenthyblene) de bodde i. Tilbakemeldingene var utelukkende positive, både mht. fasiliteter, boligens kvalitet og opplevelse av innemiljøet.

Den andre brukerundersøkelsen fant sted i 2022, denne undersøkelsen ble gjennomført som dybdeintervjuer og befaring av hybler, der både intervjuer og respondent var inne på respondentens studenthybel. Denne brukerundersøkelsen fokuserte på boforhold og

materialvalg i studenthyblene, for å kartlegge hvordan studenthyblene skulle velges ut og tilpasses til en undersøkelse der man både målte inneklime og fysiologiske parametre, slik det er ønskelig å gjennomføre en større studie av. Rekruttering til den første intervjuundersøkelsen ble gjennomført blant beboerne i studenthyblene på Bjølstad. Rekrutteringen ble gjennomført i samarbeid med SiØ og iTre AS, ved at det ble satt opp oppslag i fellesområdene på Bjølstad. Det ble lagt vekt på at undersøkelsen ikke hadde fokuserte på byggematerialer, men at man var interessert i å undersøke beboernes trivsel. Dette ble gjort for å unngå at deltakerne skulle bli påvirket i intervjusituasjonen.

Den andre intervjuundersøkelsen viste at det er lett å måle inneklime i hyblene uten at det ville ha noen innvirkning på beboerne. Det ble i tillegg undersøkt om det var forskjeller mellom studenthyblene som vil kunne påvirke resultatene fra respondentene, slik at det vil være vanskelig å sammenligne observasjoner. Konklusjonen var at det er forskjeller mellom enkelte hybler som ble oppfattet som vesentlige, men at det er nok hybler som er sammenlignbare til at dette ikke utgjør noe problem for å gjennomføre en undersøkelse på Bjølstad.

Det ble også kartlagt om det vil være mulig å gjøre endringer i hyblene, tilpasse dem, slik at et eventuelt forsøk kan tilpasses bedre til problemstillingen om å undersøke påvirkning av visuelle treoverflater. Både fysisk tilpasning og beboernes personlige vurderinger av dette ble kartlagt. Konklusjonen var at hyblene er godt egnet til å gjøre enkelte endringer inne på hyblene, som for eksempel ved å dekke overflater med synlig trepanel.

Dybdeintervjuene fulgte ikke en streng struktur, men fulgte opp relevante tema underveis i samtalen med respondentene. Et tema som man kom inn på i alle intervjuene, var respondentenes oppfatning av bokkvalitet og innemiljø i hyblene. Disse diskusjonene var i utgangspunktet ikke knyttet til spesiell byggematerialer. I alle intervjuene ble bruken av trematerialer kommentert, dette gjorde respondentene uopprettet. Konklusjonen er at beboerne har veldig gode erfaringer med innemiljøet i studenthyblene, og at alle beboerne som ble intervjuet oppfatter hyblene som meget gode mht. deres bosituasjon og følelse av velvære. Det ble trukket fram at det var sammenheng mellom bruken av trematerialer, arkitektur, funksjonalitet og veldig god opplevd bokkvalitet i hyblene.

4 Nettverksbygging

Prosjektet involverte tre partnere: Studentsamkipnaden i Østfold, iTre, Trebruk og NMBU.

I løpet av prosjektet har det blitt etablert et nettverk av aktører som har interesse for undersøkelser av innemiljø og trematerialers påvirkning på beboere, og som har intensjon om å samarbeide med å etablere forskning på dette området.

Nettverket har representanter fra forskermiljøer, treindustri, rådgivere, utførende entreprenør og byggherrer/byggeiere:

Forskerinstitusjoner:

- Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
- Høgskolen i Østfold
- Høgskolen i Innlandet

Treindustri:

- Bergene Holm AS

Rådgivere:

- iTre AS

Utførende entreprenører:

- Straye Trebygg AS

Byggherre/eiere:

- Studentsamkipnaden i Østfold
- Studentsamkipnaden på Ås
- Studentsamkipnaden i Oslo
-

Med utgangspunkt i resultatene fra prosjektet har det blitt utarbeidet en søknad til Regionalt Forskningsfond for å følge opp prosjektet.

Referanser

- Aarsbog, L. (2019). Solvent-free quantification for selected volatile organics in Arctic air.
- BRE Global Limited. (2019). BREEAM-NOR 2016 for nybygg. Teknisk Manual: SD5075NOR, Versjon 1.2.
- Demattè, M. L., Zucco, G. M., Roncato, S., Gatto, P., Paulon, E., Cavalli, R., & Zanetti, M. (2018). New insights into the psychological dimension of wood–human interaction. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(4), 1093–1100. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1315-y>
- Folkehelseinstituttet (FHI). (2015). Anbefalte faglige normer for inneklime. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer - 2015. Hentet fra <http://www.fhi.no/dokumenter/468437f8f0.pdf> [13.06.20]
- Hanks, J. C., & Louglin, O. (2011). Volatile organic compounds. Nova Science Publishers Inc.
- Norsk treteknisk institutt (2006). Bygge med massivtreelementer (Hefte 1b). Oslo: Norsk treteknisk institutt.
- Kraniotis, D., Nyrud, A.Q., Skulberg, K., Englund, F., Nore, K. 2017. Moisture buffering, energy potential and VOC emissions of wood exposed to indoor environments. *Science and Technology for the Built Environment* 23(3): 512-521.
- Kraniotis, D., Nore, K., Brückner, K., Nyrud, A.Q. 2015. Thermography measurements and latent heat documentation of Norwegian spruce (*Picea abies*) exposed to dynamic indoor climate. *Journal of Wood Science* 62:203-209.
- Wahlstrøm, S., Gullbrekken, L., Elvebakk, K., & Kvande, T. (2020). Experiences with CLT Construction in Norway. 10008, 1–8.
- Wolkoff, P, Clausen, P.A, Wilkins , C.K, Nielsen, G. . (2000). Formation of Strong Airway Irritants in Terpene / Ozone. 82–91.
- Salthammer T (2022) Tvoc - revisited. *Environment International* 167:107440. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107440>
- Skulberg, K.R., Nyrud, A.Q., Nore, K. 2022. Hygroscopic buffering effects in exposed cross-laminated timber surfaces and indoor climate in a Norwegian primary school, *Wood Material Science & Engineering*, 17:43-52, DOI: 10.1080/17480272.2021.2019830

Vedlegg 1: Kvalitetskontroll

	Lineært område [ng]	R ²	y= ax+b		Behandling av origin
			a	b	
Hexanal	0,01-3	0,992	0,005622	0	Tvungen
α-pinene	0,5-1000	0,984	1,31E-04	0	Tvungen
β-myrcene	5-1000	0,994	2,07E-06	-0,1579	Ignorer
camphene	1-1000	0,992	2,98E-05	0	Tvungen
β-pinene	0,2-200	0,99	7,81E-05	0	Tvungen
3-carene	0,5-1000	0,979	1,97E-06	0	Tvungen

	Hexanal	α-pinene	Camphene	β-myrcene	β-pinene	3-carene
LOD[pg]	1,4	682,8	104,2	207,6	30,8	70,2
LOQ[pg]	3,5	2276,1	347,2	691,9	102,7	233,9
LOQ [µg/m3]	0,0004	0,2276	0,0347	0,0692	0,0103	0,0234

Repetisibilitet ± RSD[%]	Hexanal	α-pinene	Camphene	β-myrcene	β-pinene	3-carene
50 pg	66,1±22,98					
500pg	103,5 ± 12,7	98,9 ± 25,9			141,8 ± 21,2	
5 ng		96,6 ± 20,0	82,9 ± 25,0	971,7 ± 17,7	75,5 ± 12,0	68,3 ± 18,1

Vedlegg 2: Rådata

Konsentrasjon: µg/m³

Rom	Name	hexanal	a-pinene	camphene	b-myrcene	b-pinene	carene
1	fr-dag1-2	0,032	7,757	8,984	8,509	3,861	100,900
1	fr-dag1-3	0,038	6,438	7,760	7,178	3,459	101,835
2	Fr-dag1-1	0,062	6,271	7,564	7,027	4,076	151,032
2	fr-dag1-4	0,062	7,543	9,387	8,790	4,833	142,996
1	Fr-dag2-1	0,023	5,734	6,417	6,204	2,642	68,340
1	fr-dag2-3	0,025	5,581	6,588	6,522	3,094	87,865
2	fr-dag2-2	0,025	5,703	6,574	6,311	2,603	119,569
2	fr-dag2-4	0,060	14,221	17,339	16,483	7,114	258,121
1	fr-dag3-1	0,018	7,466	8,367	8,146	3,177	64,892
1	fr-dag3-4	0,016	8,596	9,778	9,046	3,612	77,954
2	fr-dag3-2	0,011	6,914	7,896	7,681	2,675	60,726
2	fr-dag3-3	0,013	6,948	7,800	7,686	2,647	65,711
	blank	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<LOQ
1	Fr-dag4-1	0,041	14,267	16,368	15,560	6,138	217,674
1	fr-dag4-4	0,038	17,942	20,281	20,021	7,778	229,519
2	fr-dag4-2	0,032	14,314	17,051	16,441	5,916	212,401
2	fr-dag4-3	0,041	12,725	14,586	14,099	5,975	236,852
	blank	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

1	fr-dag5-2	0,027	6,850	8,200	7,803	2,785	96,885
1	fr-dag5-3	0,031	8,956	11,146	10,092	3,975	127,988
2	Fr-dag5-1	0,032	5,925	7,271	6,673	2,865	136,306
2	fr-dag5-4	0,026	4,868	5,892	5,323	2,231	96,213
	blank	<LOQ	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
1	fr-dag6-2	0,153	22,379	26,271	25,002	10,775	484,941
1	fr-dag6-3	0,132	15,322	18,989	17,760	7,958	359,026
2	fr-dag6-4	0,167	25,996	31,214	29,242	13,066	543,697
2	fr-dag6-5	0,136	14,187	16,710	15,832	7,612	368,555
	blank	<LOQ	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
1	fr-dag7-1	0,085	20,591	23,851	23,125	9,096	323,368
1	fr-dag7-2	0,083	22,484	28,005	26,538	10,004	308,841
2	fr-dag7-3	0,145	32,183	38,897	37,097	15,422	622,061
2	fr-dag7-4	0,104	24,060	29,822	28,291	11,746	466,406
	blank	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
1	fr-dag8-2	0,029	5,537	7,640	6,382	3,674	106,006
1	dag8-6	0,031	4,052	5,047	4,435	2,814	103,288
2	dag8-3	0,028	5,038	6,933	5,622	3,073	96,915
2	dag8-7	0,038	7,028	9,133	8,067	4,199	133,788
	blank	0,000	N.D	<LOQ	N.D	<LOQ	0,402
1	dag9-1	0,028	4,296	5,461	4,832	2,159	82,714
1	dag9-2	0,021	3,249	4,023	3,400	1,666	66,683
2	dag9-3	0,053	4,708	6,486	5,275	2,629	131,195
2	dag9-7	0,026	3,157	4,428	3,719	1,626	65,886
	blank	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Vedlegg 3. Bilder av studentrom under byggeprosess. Bilde: NMBU.

