

Martin Midbøe Bergman
Marius Løvdal Andersen

Krysslaminert massivtre isolert med vakuumisolasjon

Isolasjonsevne og kondenseringspunkt

Bacheloroppgave i Byggingeniør
Veileder: Guri Krigsvoll

Mai 2019

Martin Midbøe Bergman
Marius Løvdal Andersen

Krysslaminert massivtre isolert med vakuumisolasjon

Isolasjonsevne og kondenseringspunkt

Bacheloroppgave i Byggingeniør
Veileder: Guri Krigsvoll
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Sammendrag

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.19		
Krysslaminert massivtre isolert med vakuumisolasjon	Antall sider: [56] Antall vedlegg: [2]		
<i>Isolasjonsevne og kondenseringspunkt</i>	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Marius Løvdal Andersen & Martin Midbøe Bergman			
Veileder: Guri Krigsvoll			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Tandberg Arkitekter AS			
Stikkord: Massivtre, vakuumisolasjon, fuktpåkjønning og kondenseringspunkt			

Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:

Fukt er et stort problem i bygningskonstruksjoner, da hele 76% av byggskadene skyldes fukt i ulike former. Fukten er skadelig, fordi det kan føre til soppdannelser og soppskader i konstruksjonen, og det er derfor viktig å isolere godt for å motvirke dette. Det er også et ønske om å benytte tynnere konstruksjoner i bygg, som vil øke sjansen for utviklingen av fukt. Dette blir vanskelig da kravene til U-verdi blir strengere, som egentlig fører til tykkere konstruksjoner ved bruk av konvensjonell isolasjon. Hensikten med oppgaven vår er å undersøke i hvilken grad en konstruksjon av massivtre med vakuumisolasjon vil være utsatt for uheldige fuktnivåer, og eventuelt hvilke faktorer som bidrar til en slik situasjon.

I oppgaven fokuseres det på verdiene for temperatur, relativ fuktighet og vanninnhold, da det gir en god beskrivelse av hvordan materialet blir påvirket. Oppgavens resultater er hentet inn ved hjelp av stasjonære beregninger og dynamiske simuleringer som knyttes opp mot 3 forskningsspørsmål. Disse vil fokusere på hvilke ytre betingelser som kan påvirke veggens fukt- og temperaturgradienter, om variasjon i isolasjonsmengde vil påvirke veggens fukt- og temperaturgradienter og om byggfeil kan ha en påvirkning på temperatur- og fuktforholdene i veggen. De stasjonære betraktningene utføres ved hjelp av dataprogrammet Excel, mens WUFI 2D brukes for de dynamiske simuleringene. Ut i fra betraktningene i Excel brukes det to vegger for videre simuleringer i WUFI, hvor den ene veggen inneholder 100 mm massivtre og 60 mm vakuumisolasjon, mens den andre inneholder 120 mm massivtre og 30 mm vakuumisolasjon.

Simuleringene blir utført for flere uheldige situasjoner der konstruksjonen blir utsatt for høyere fuktnivåer og ugunstige temperaturer. Simuleringene blir gjennomført for de nevnte veggkonstruksjonene og viser grafer for fuktpåkjønning, temperatur og vanninnhold. Grafene viser at fuktinnholdet mellom massivtre og vakuumsjiktet ikke vil forandres, da det ikke vil være en

fuktilførsel. De utførte simuleringene gir ingen kritiske situasjoner, som bekreftes gjennom Excel beregningene hvor det ikke vil være noen fare for kondens.

Abstract

Title: Cross-laminated timber insulated with vacuum insulation <i>Insulation and condensation point</i>	Date: 20.05.19 Number of pages: [56] Number of appendices: [2]		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Participants: Marius Løvdal Andersen & Martin Midbøe Bergman			
Supervisor: Guri Krigsvoll			
External supervisor / employer: Tandberg Arkitekter AS			
Keywords: Cross-laminated timber, Vacuum insulation, Moisture stress, Condensation point			

Short description of the bachelor thesis:

Moisture is a major problem in building constructions. In fact, nearly 76% of building damage is due to moisture in various forms. Moisture causes harmful fungi and fungal damage to the structure. Therefore it is of the utmost importance to insulate well in order to counteract the damaging affects it can have on the building as well as the people exposed. Today we see a desire to use thinner structures in buildings, which will increase the chance of moisture development. However, using thinner constructions in order to allow more space utilization becomes exceedingly difficult. This due to the fact that the U-value requirements are becoming stricter by requiring thicker constructions using conventional insulation. The purpose of our task is therefore to investigate what extent a construction of cross-laminated timber with vacuum insulation will be exposed to adverse moisture levels, and possibly, which factors contribute to such a situation.

The task will focus on the values for temperature, relative humidity and water content, as it gives a good indication of how the material is affected. The results of the assignment are collected using stationary calculations and dynamic simulations that are linked to 3 research questions. These will focus on which external conditions can affect the wall's moisture and temperature gradients, if variation in the amount of insulation will affect the wall's moisture and temperature gradients, and whether building errors can have an influence on the temperature and humidity conditions in the wall. The stationary considerations are performed using the computer program Excel, while the WUFI 2D is used for dynamic simulations. Based on the considerations in Excel, two walls are used for further simulations in WUFI, one wall containing 100 mm cross-laminated timber and 60 mm

vacuum insulation, the other containing 120 mm cross-laminated timber and 30 mm vacuum insulation.

The simulations are performed for several unfortunate situations where the construction is exposed to higher humidity levels and adverse temperatures. The simulations are carried out for the mentioned wall structures and show graphs of moisture stress, temperature and water content. The graphs depicting the moisture content between cross-laminated timber and the vacuum layer will not change, as it will not be supplied with moisture. The simulations performed do not give rise to critical situations, which are confirmed by the Excel calculations where there will be no risk of condensation.

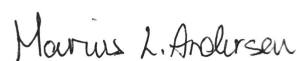
Forord

Denne oppgaven er skrevet i anledning avslutning av bachelorgrad innen byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Gjøvik. Oppgaven ble skrevet våren 2019 og er et samarbeid mellom Marius Løvdal Andersen og Martin Midbøe Bergman og gir 20 studiepoeng hver.

Vi syntes begge at massivtre som materiale er spennende og med den nye isolasjonstypen vakuumisolasjon inkludert, syntes vi det høstes ut som en veldig interessant oppgave. Det har vært et utfordrende, men svært lærerikt semester. Vi vil gjerne benytte anledningen til å takke Guri Krigsvoll som var vår veileder gjennom bacheloroppgaven og var tilgjengelig dersom det var noen spørsmål eller vanskeligheter rundt oppgaven. Til slutt vil vi takke familie og venner som har bidratt med gjennomlesing, konstruktiv kritikk og råd.



Martin Midbøe Bergman



Marius Løvdal Andersen

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	2
Abstract	4
Forord	6
Innholdsfortegnelse	7
Figurliste	10
Tabelliste	11
1 Introduksjon	12
1.1 Bakgrunn	12
1.2 Problemstilling	13
2 Teoretisk grunnlag	14
2.1 Generelt om massivtre	14
2.1.1 Gran	14
2.2 Varme- og fukttransport	15
2.2.1 Varmeledning og fukttransport	16
2.3 Fukt	18
2.3.1 Luftfuktighet	18
2.3.2 Mollierdiagrammet	18
2.3.3 Uteluftens fuktinnhold	19
2.3.4 Inneluftens fuktinnhold	19
2.3.5 Poresystem	20
3 Massivtrekonstruksjoners oppbygning	21
3.1 Krysslagt	21
3.2 Hulrom	22
3.3 Bordstabelementer	23
3.4 Overlappende elementer	23

3.5 Isolasjonsmaterialer	24
3.5.1 Mineralull	24
3.5.2 Vakuumisolasjon	24
3.6 Vindsperre	25
4. Metode	26
4.1 Stasjonære vurderinger	26
4.2 Innsetting av data i WUFI	29
5 Resultater	32
5.1 Passivhuskonstruksjon	32
5.1.1 Reell simulering	32
5.1.1.1 Relativ fuktighet	32
5.1.1.2 Temperatur	32
5.1.1.3 Vanninnhold	32
5.1.2 Simulering med innetemperatur på 10°C	34
5.1.3 Simulering med luftstrømning	35
5.1.4 Luftstrøm med soleksponering	36
5.1.5 Massivtrekonstruksjon med RF på 80%	37
5.2 TEK17 konstruksjon	38
5.2.1 Reell simulering	38
5.2.2 Simulering for innetemperatur på 10°C	39
6 Diskusjon	40
6.1 Usikkerheter i WUFI	40
6.2 Analysering av resultater fra WUFI	41
6.3 Sammenligning med Excel beregninger	43
6.4 Diskusjon om bruken av materiale	44
6.4.1 Massivtre	44
6.4.2 Vakuumisolasjon	44

6.4.3 Kledning	45
6.5 Værdata	46
7 Konklusjon	48
8 Videre arbeid	50
Litteraturliste	51

Figurliste

Figur 1 Krymping i Gran (Trondstad, 2008)

Figur 2 Luftfuktighetsdiagram (Sintef Byggforsk, 2018)

Figur 3 Eksempler på forskjellige materialstrukturer. a) Ingen porer (f.eks. metall), b) Kontinuerlig faststoff med lukkede porer (f.eks. skumglass), c) Både faststoff og poresystemer kontinuerlig (f.eks. betong, tre), d) Diskontinuerlig faststoff (f.eks. mineralull)

Figur 4 Krysslagte elementer sammenføydt med lim (Aarstad, J. Glasø, G. 2008)

Figur 5 Eksempler på hulromselementer, a) med parallelle lameller, b) med kryssende lameller (Byggforskserien, 520.205, Sintef byggforsk).

Figur 6 Oppbyggingen av et kantstilt element (Sintef Byggforsk 2014)

Figur 7 Oppbygging av overlappende elementer (Sintef Byggforsk 2014)

Figur 8 Oversikt over tykkelser for u-verdi med mineralull og vakuumisolasjon. Blå linje viser vakuumisolasjonen, mens mineralull blir representert med grå linje.

Figur 9, 10 og 11: Figur 9 viser den grønne grafen (t.v) med oversikt over relativ fuktighet, Figur 10 viser den røde grafen (midten) med en oversikt over temperaturforløpet og Figur 11 viser den blå grafen (t.h) med en oversikt over vanninnholdet.

Figur 12 Innetemp på 10 grader, RF, Temp og vanninnhold

Figur 13 Simulering med luftstrøm, RF, Temp og vanninnhold

Figur 14 Luftstrøm med soleksponering, RF, Temp og vanninnhold

Figur 15 Massivtrekonstruksjon med RF på 80%, RF, Temp og vanninnhold

Figur 16 TEK 17 Reell simulering, RF, Temp og vanninnhold

Figur 17 TEK17 Simulering for innetemperatur på 10°C, RF, Temp og vanninnhold

Figur 18 Oversikt over temperaturer og relative fuktigheter gjennom året i Oslo

Figur 19 Oversikt over temperaturer og relative fuktigheter gjennom året i Tromsø

Tabelliste

Tabell 1 Kuldebroverdier med ulik tykkelse, for to ulike folier

Tabell 2 Oppbygning for Passivhus

Tabell 3 Oppbygning for TEK17

Tabell 4 temperaturforløp M100+vakuum

Tabell 5 Damptrykk for massivtre og vakuumisolasjonssjiktet

Tabell 6 Materialbruk WUFI 2D

Tabell 7 Initialverdier for materialene

Tabell 8 Inndata

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Menneskets behov for miljøvennlige og rasjonelle konstruksjonsløsninger har de siste årene gitt en utvikling av nye byggesystemer. Det har også vært en politisk prioritering å benytte seg av mest mulig miljøvennlige og bestandige materialer i konstruksjoner. Dette har ført til strengere krav fra myndighetene om å dimensjonere og designe mer bærekraftige konstruksjoner, for å minske karbonfotavtrykket (Lisø, 2011). Her har myndighetene hovedsakelig et fokus på å oppnå de nasjonale og globale klimamålene.

Tidkrevende byggeprosjekter har ført til et behov for nye og effektive løsninger som kan kutte byggevirksomhet og ekstra kostnader. Her har massivtre flere kvaliteter som vil være med på å effektivisere byggeplassen og gi en kortere byggetid. Lav egenvekt gir et redusert behov for kostnadskrevende utstyr under montering på byggeplasser, samtidig som det gir reduserte transportkostnader. Massivtre har en høy styrke i forhold til vekt, som kommer av oppbyggingen til de sterke limtreelementene. I tillegg har massivtre generelt gode egenskaper for varme, fukt, akustikk, brannmotstand og muligheten til en enkel innfestning av tekniske installasjoner.

På grunn av de gode kvalitetene til massivtre er det et ønske om å øke bruken av materiale i næringen. Partner i arkitektfirmaet Alessandra Kosberg mener overfloden av regler og krav gjør at private aktører er skeptiske til tre som byggemateriale, og mener at det offentlige må gå foran og velge pilotprosjekter (Remen, 2015). Studentboliger er noe av det som benyttes som pilotprosjekter for å fremme bruken av massivtre. Det finnes også tilsvarende etablerte prosjekter der det blir brukt massivtre, som Mjøstårnet, studentboliger som Moholt 50/50 og studentsamskipnaden i Ås.

Den økende industrialiseringen av bygg i dagens samfunn har ført til en mer oversiktlig kontroll av kostnadene og byggeprosessene. Massivtre er med på å gi raske og effektive byggeplasser da de kommer som ferdigstilte elementer. Elementene er med på å fjerne kostnadene ved planleggingsfeil og uforutsette tiltak under byggeprosessen (Trefokus). Som et resultat av dette vil man redusere materialsvinn, da løsninger vil være tilrettelagt

under produksjon. Derfor er det viktig med god planlegging og prosjektering i forkant, samt et økt samspill mellom de forskjellige partene i den innledende fasen av prosjektet.

Som et ledd i reduksjonen av energibehov og klimagassutslipp, er det jevnlig gjort innskjerper i Byggteknisk forskrifts energikrav. I tillegg er det utarbeidet norske standarder som setter krav til passivhus og lavenergibygninger (NS3700, NS3701). Forskriftenes fleksibilitet, samt ulike aktørers forskjellige krav til bygningene, medfører at U-verdi i yttervegg vil variere fra minstekravet på $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ og ned til anbefalte verdier for passivhus under $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kravene til lave U-verdier fører videre til tykkere konstruksjoner som ofte gir redusert areal i bygningene. Ved bruk av konvensjonell isolasjon vil de lave ønskede U-verdiene for gulv, tak og vegger føre til tykkere konstruksjoner, blant annet veggtykkelser over 400 mm. Derfor har man de siste 20 årene arbeidet mer med effektive isolasjonsmaterialer, blant isolasjonsløsninger som vakuumisolasjon der man oppnår lav varmegjennomgang med tynnere elementer.

Med tynnere massivtrelementer vil det være en mulighet for at det oppstår fukt. I tidsperioden 1993-2002 ble det utarbeidet en oversikt over de ulike årsakene for byggskader, hvor oversikten viste at 76% av skadene skyldes fukt i ulike former (Lisø, Rolstad, 2009). Fuktighet er skadelig i et materiale og kan føre til soppdannelser og soppskader i konstruksjonen. Dette er fordi vann er den største vekstfaktoren til sopp, i tillegg til næring, temperatur og tid som må være til stede for videre vekst. For å hindre fuktighet og vann i å komme inn i konstruksjonen er den avhengig av å være godt beskyttet med konstruktiv trebeskyttelse (Evans, 2009). “Med konstruktiv trebeskyttelse menes det tiltak som gjøres for å sikre god beskyttelse av trevirke og bidra til at konstruksjonen får lengst mulig levetid” (Nore, Evans, 2012).

1.2 Problemstilling

Hensikten med oppgaven er å undersøke i hvilken grad en konstruksjon av massivtre vil være utsatt for uheldige fuktnivåer, og eventuelt hvilke faktorer som bidrar til en slik situasjon.

For å besvare oppgaven er det satt opp følgende forskningsspørsmål:

1. Hvordan vil variasjon i de ytre betingelsene påvirke veggens fukt- og temperaturgradienter?
2. Hvordan vil variasjon i isolasjonsmengde påvirke veggens fukt- og temperaturgradienter?
3. Hvordan vil eventuelle byggfeil, som dårlig tetting, påvirke temperatur- og fuktforholdene i veggen?

2 Teoretisk grunnlag

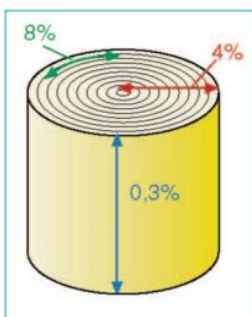
For å bestemme metoder til å undersøke den valgte problemstillingen er det nødvendig å forstå materialenes egenskaper og de fysiske prosessene som foregår.

2.1 Generelt om massivtre

2.1.1 Gran

Gran er det mest brukte trevirket til massivtreelementer. Det har en gjennomsnittstetthet på rundt 470 kg/m^3 ved en fuktighet på 12%. På grunn av den høye tettheten har gran også en stor styrke og stivhet som gjør den godt egnet som konstruksjonsvirke.

Oppbyggingen av fibre (cellene) varierer med beliggenheten i grantreet. Dette gjør at det vil være store forskjeller på krymping i de forskjellige retningene. Ved krymping fra rått til absolutt tørt vil det være størst krymping i de tangentielle fibre (8%) deretter radiell (4%) og minst i lengderetningen (0,3%), se Figur 1.



Figur 1: Krymping i Gran (Trondstad, 2008)

Fuktbevegelse oppstår i gran som følge av endringer i temperatur og luftfuktighet. Dette resulterer i fysiske og mekaniske påkjenninger i materialet som skjer i form av krymping og svelling. I tillegg vil det fuktige miljøet i materialet åpne opp for muligheten til biologiske angrep. Det er viktig at porene i gran holdes åpne for å ha et godt innemiljø, derfor kreves det en diffusjonsåpen overflate i materialet. Dette fører til en økt kvalitet på luften i tillegg til en bedre komfort (Sintef Byggforsk 2001).

Trevirke er et hygroskopisk materiale, det vil si det har evnen til å trekke til seg fuktighet fra omgivelsene. Det kan ta opp store mengder fuktighet direkte fra luften, og legge det inn i et poresystem. Hvor raskt denne prosessen går er avhengig av trevirkets evne til å transportere vanndamp igjennom seg selv, vanndampermeabiliteten. I trevirke er denne verdien lav, men vil øke med mengden fukt som blir tatt opp i materialet. Bruk av trevirke har en positiv innvirkning på inneklimaet da det er med på å regulere luftfuktigheten som fører til en regulering av temperaturen.

I tillegg til å være et hygroskopisk materiale har trevirke evnen til å avgi fuktighet. De fleste treprodukter må gjennom en nedtørking før de kan selges på markedet, og i løpet av denne prosessen skal alt det frie vannet samt noe av det bundne vannet i celleveggen fjernes. Et rått tverrsnitt av en granstamme har en fuktighet på rundt 80%, og ved tørking går fuktigheten under fibermetningspunktet på 30%. Ettersom trevirke tilpasser seg fuktigheten til luftens temperatur og relative fuktighet, tørkes ofte trevirket ned til likevektsfuktigheten på brukerstedet, for å hindre mest mulig krymping og svelling av materialet (Trondstad, S. 2006).

2.2 Varme- og fukttransport

Varmeoverføringen gjennom et materiale eller en konstruksjon vil alltid gå fra høyest til lavest temperatur, og skjer på tre forskjellige måter:

1. Varmeledning (Termisk konduksjon)
2. Konveksjon (Strømning)
3. Stråling

Mens varmeledning skjer ved at varmen forplanter seg gjennom stoffet som molekylbevegelser drevet av temperaturforskjeller ($\lambda * dT/dx$, Fouriers

varmeledningslov), er konveksjon den kombinerte effekten av at det strømmende fluidet forflytter seg og ved at det er ledning mellom fluid med forskjellige temperaturer.

Varmestrålingen er overføring av energi i form av elektromagnetiske bølger, og i denne oppgaven en sammenheng med overføringer mellom flater.

U-verdi er varmegjennomgangen til en bygningsdel og angir hvor mye varme som strømmer gjennom et areal på 1 m^2 per tidsenhet og per grad temperaturforskjell mellom omgivelsene på hver side av bygningsdelen. U-verdi er gitt som:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

R_{tot} er summen av motstandene gjennom alle sjiktene i konstruksjonen. Mens motstandene i bygningsdelen er avhengig av sjiktets tykkelse og termisk konduktivitet, vil motstandene på overflatene bestemmes ut fra konveksjons- og strålingsforhold.

Den termiske konduktiviteten til gran ligger på $0,120\text{ W/mK}$ og leder varme i mye større grad enn isolasjonsmaterialer som mineralull ($0,034\text{ W/mK}$) og aerogel ($0,015\text{ W/mK}$).

Materialer med lav varmeledningsevne brukes som isolerende materialer i konstruksjoner.

Store deler av fukttransporten i et materiale skjer som varmeledning i form av damp, væske eller begge deler. På samme måte som varmeledningen i materialene avhenger av varmeledningsevne og temperaturdifferanser, vil damptransport drives av forskjell i damptrykk og avhenge av materialets vanndamppermeabilitet (δv (m^2/s) eller δp (kg/msPa) ev. $\text{g}/(\text{mhkPa})$). I tillegg foregår fukttransport i materialer ved sorpsjon av vanndamp fra luften og ved kapillærsuging. Sorpsjon av vanndamp fra luften innebærer at den tørre lufta fra porene i materiale blir erstattet med ny luft som inneholder en større mengde fukt. I motsetning til sorpsjon av vanndamp kommer overflaten av materialet i kapillærsuging i kontakt med en fri vannflate, som vil starte en sorpsjonsprosess.

2.2.1 Varmedledning og fukttransport

Dersom varmestrømmer ut og inn av et sjikt eller element ikke er like store, vil man få en temperaturendring. Tilsvarende vil man med forskjell i dampdiffusjon få en endring i damptrykk.

Diffusjonsberegninger benyttes i de tilfellene hvor det er fuktinnhold i det hygroskopiske området. Her blir det verken utsatt for konveksjon eller påkjenninger av fukt i væskeform, og man kan regne diffusjon som den dominerende fukttransportprosessen. På samme måte som det kan måles praktiske varmeledningstall som kan benyttes i beregninger, kan det også tas i bruk praktiske dampledningstall for diffusjonen. Tallene blir vanligvis oppgitt som en av disse verdiene:

- ❖ Vanndamppermeabilitet (δ_v (m²/s) eller δ_p (kg/msPa) ev. g/(mhkPa)), dette forteller hvor mye vanndamp som trenger igjennom 1 m² av materialet per tidsenhet når dampkonsentrasjonens- hhv. damptrykkgradienten er 1 kg/m³ hhv. 1 Pa per m tykkelse.
- ❖ Permeans (Kv (m/s) eller Kp (kg/m²sPa) ev. g/m²hkPa), brukes alltid når en skal angi dampledningstall for tynne materialsjikt som f.eks. asfaltplate eller folier. Permeansen gir mengden av vanndamp per tidsenhet gjennom 1 m² av materialsjikt med oppgitt tykkelse når dampkonsentrasjon- hhv. damptrykkforskjellen er 1 kg/m³.

For beregning av diffusjon trenger man verdien for metningstrykk i sjiktgrense. Dette kan finnes ved å bruke Mollierdiagrammet, som er gitt i Figur 2. Videre finner man dampmotstanden (z) ved å beregne den inverse verdien av permeansen $z = 1/K$ eller $z = d/\delta p$, og damptrykkfallet (Δp) ved: $\Delta p = z/z_{tot} * (p_1 - p_2)$, der (p₁-p₂) er damptrykkforskjellen over materialsjiktet. Til slutt finner man damptrykket for hver enkelt sjiktgrense ved å trekke damptrykkfallet fra hvert enkelt sjikt.

Et eksempel på fukttransport i væskeform er kapillærledning, hvor det transporteres vann i poresystemet på grunn av undertrykksforskjeller i porevannet. Dette oppstår over kontaktflater mellom materialsjikt, hvor effekten bestemmes av porefordeling, fuktinnhold og kontaktgraden mellom overflaten til de ulike materialene. Fukttransporten vil foregå inntil porevannsundertrykket er likt, som betyr at vanninnholdet fortsatt kan være forskjellig.

2.3 Fukt

2.3.1 Luftfuktighet

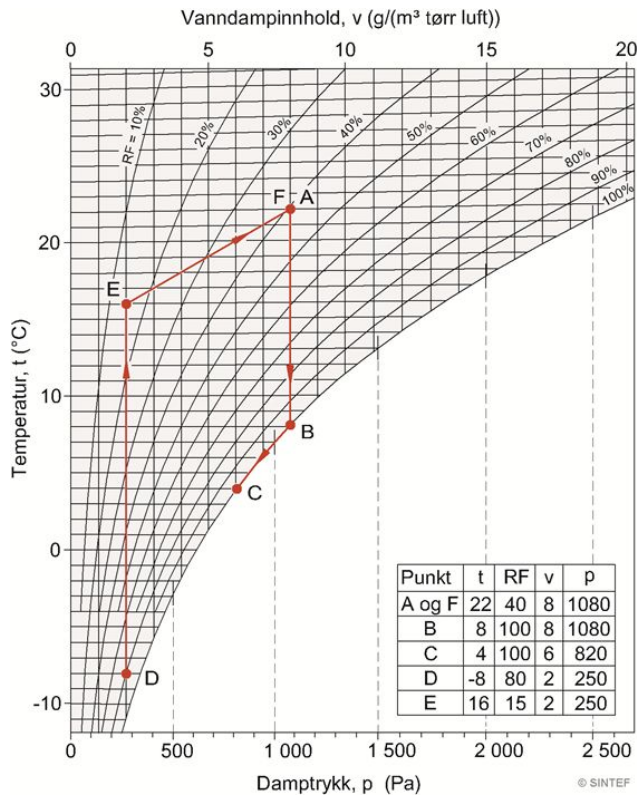
Lufta består av en viss mengde fuktighet i form av vanndamp, som kalles luftfuktighet. Den øvre grensen på luftfuktinnholdet er det som kalles metnings- og vanndamptrykket eller metnings- og vanndampinnholdet, og fukten som blir tilført etter dette punktet vil bli gjort om til kondens. Dersom lufttemperaturen synker ved denne tilstanden vil det være fare for at det oppstår kondens, og som et resultat av dette kan duggpunktet ligge på temperaturen hvor metningstrykket oppnås.

Relativ fuktighet er hvor stor del av fuktigheten luften inneholder i forhold til kapasiteten luften ved en gitt temperatur har. Duggpunktet vil oppnås når relativ fuktighet er på 100%. All luft inneholder mer eller mindre fuktighet i form av vanndamp. Innholdet av vanndamp i luft, også gitt som fuktinnholdet i lufta kan angis på forskjellige måter: vanndampens partialtrykk p_v i Pa, vanndampinnhold v i kg/m^3 eller som fuktgrad x i kg per kg tørr luft.

2.3.2 Mollierdiagrammet

Diagrammet gitt i Figur 2, viser en sammenheng mellom temperatur, relativ fuktighet, vanndampinnhold og vanndamptrykk. Diagrammet blir brukt ved fuktberegninger for å finne luftas vanndampinnhold eller damptrykk, når det er gitt minimum to faktorer.

Dersom du har $T=22^\circ\text{C}$ og $\text{RF}=40\%$, får vi vanndampinnhold på 8 g/m^3 og damptrykk på 1080 Pa . Duggpunktet for disse verdiene vil ligge på ca. 8°C , da RF er 100%.



Figur 2: Luftfuktighetsdiagram (Hentet fra: Sintef Byggforsk 2018)

2.3.3 Uteluftens fuktinnhold

Årstid og geografisk beliggenhet vil gjøre at uteluftens vanndampinnhold vil variere. I Norge ligger døgnmidlet for relativ fuktighet normalt mellom 50 og 90%. Man ser at den relative fuktigheten i utelufta er lavest om våren og høyest om vinteren og høsten. Vanndampinnholdet derimot, er høyest om sommeren eller når det er høye lufttemperaturer. Generelt har luft med lave temperaturer en lavere evne til å holde på fuktigheten. Dette resulterer i at luften som oftest vil være tørrere om vinteren, selv om RF er høyere om vinteren/høsten enn om sommeren/våren.

2.3.4 Inneluftens fuktinnhold

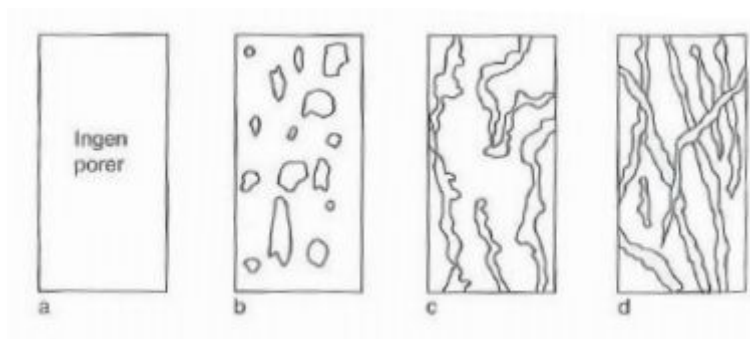
Innholdet av vanndamp i innelufta bestemmes av (Sintef Byggforsk, 2018):

- ❖ Vanndampinnholdet i lufta man ventilerer med, som regel uteluft
- ❖ Innendørs fuktproduksjon/-tilførsel
- ❖ Størrelsen på luftskifte, det vil si mengden ventilasjonsluft som tilføres og fjernes fra rommet, samt luftlekkasjer

Luftskiftets størrelse, innendørs fuktproduksjon og volumet av bygget er alle faktorer som påvirker fukttilskuddet av inneluften i bygg. En av de vanligste årsakene til høyt fukttilskudd er dårlig ventilering og stor fuktproduksjon.

2.3.5 Poresystem

En vesentlig faktor for fukttransport og fuktopptak er utformingen av poresystemet til materialer, da dette er med på å bestemme hvor raskt materialet kan transportere vann. Transporteringen av vann vil gå raskere ved store porer enn ved små, fordi vannet vil bindes raskere. Poresystemet vil videre bli definert ut fra materialstrukturen, som vi kan se ved de ulike strukturene gitt i figur 3.



Figur 3: Eksempler på forskjellige materialstrukturer. a) Ingen porer (f.eks. metall), b) Kontinuerlig faststoff med lukkede porer (f.eks. skumglass), c) Både faststoff og poresystemer kontinuerlig (f.eks. betong, tre), d) Diskontinuerlig faststoff (f.eks. mineralull)

De tre siste materialene i Figur b,c og d ovenfor har alle porer og kan derfor binde fukt. Dette er en egenskap som gjør at materialene kan kalles hygroskopiske.

Det er ikke entydig hvordan man best skal beskrive et porøst materiale, men det finnes ulike muligheter avhengig av hensikten og synsvinkelen:

- ❖ Porer og poresystemer kan beskrives ut fra deres virkemåte med hensyn til fuktopptak.
- ❖ Porene kan karakteriseres etter sin størrelse.
- ❖ Porene kan beskrives ut fra materialtypene de forekommer i, hvordan de er dannet, eller den funksjonen de har i materialet.

3 Massivtrekonstruksjoners oppbygning

Massivtreelementer består av flere lameller eller bord av konstruksjonsvirke som settes sammen til større elementer ved hjelp av ulike typer forbindelsesmidler for statisk samvirke. Elementene benytter spiker, skruer, skråstag, tredybler og lim som forbindelsesmidler, og lamellene kan både variere i antall sjikt og mellom en tykkelse på 24 til 70 mm. Dersom lamellene blir lagt i ulike fiberretninger vil trevirkets styrke øke. Et resultat av dette er at kapasiteten vil øke og det vil bli mer stabilt å dimensjonere (Aarstad, J. Glasø, G. 2008).

Det skiller mellom fire ulike oppbygninger av massivtreelementer:

- ❖ Krysslagt
- ❖ Hulrom
- ❖ Bordstabelementer
- ❖ Overlappende elementer

3.1 Krysslagt

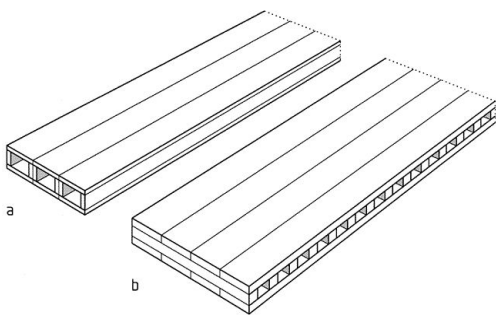
Krysslagte elementer er en fellesbetegnelse for elementer som er satt sammen av krysslagte lameller i forskjellige sjikt, hvor det blir brukt forbindelsesmidler enten i form av lim eller tredybler. Ettersom at det oppstår skjøter mellom hvert sjikt legges derfor trevirke 45 eller 90 grader på hverandre for å dekke til skjøtene fra tidligere sjikt. Dersom det er brukt lim som forbindelsesmiddel vil ikke dette være et problem da limet skal forhindre at luften slippes igjennom. Ved laminerte krysslagte elementer legges sjiktene 90 grader i forhold til hverandre hvor det påføres lim mellom hvert av sjiktene. Tykkelsen på elementene varierer mellom 60-240 mm og har en lengde opp mot 14 meter. Antall sjikt varierer mellom 3 og 9, og dersom man ønsker å oppnå den strengeste emisjonsklassen E1 blir formaldehydholdig lim tatt i bruk. Med tredybler forborres elementet når alle sjiktene er på plass og dyblene presses inn. Dyblene trekker til seg fukt fra elementet og luften omkring og vil derfor svulle. Dette gjør at lamellene forbindes og statisk samvirke oppnås.



Figur 4: Krysslagte elementer sammenføyd med lim (Hentet fra: Aarstad, Glasø, 2008)

3.2 Hulrom

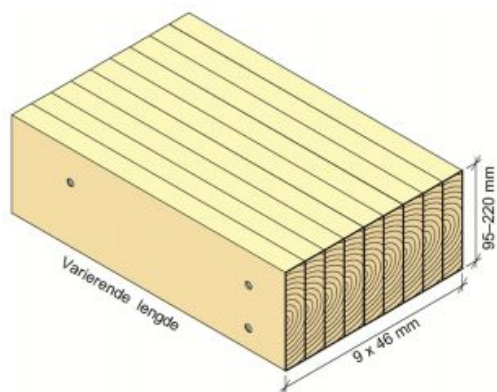
Hulromselementer er på markedet med både kryssende og parallelle lameller, og føyes i likhet med laminerte krysslagte elementer sammen i lim. Det er kasse lignende elementer som ikke danner massive tretverrsnitt, men andelen tre er fortsatt høy nok til at det anses som massivtreelementer. Hulrommene har også muligheten til å fylles med isolering slik at det blir tettere, som fører til en lavere varmeledningsevne (Sintef Byggforsk 2001). Ved elementer i hulrom kan det oppstå konveksjon mellom to flater med ulik temperatur. Lufta rundt den varme flata blir varmet opp og stiger, mens den synker og blir tyngre langs den kalde flata. Disse mekanismene fører til at lufta i hulrommene sirkulerer. Sirkulasjonen blir kalt naturlig ventilasjon, og fører til at varme blir transportert fra den varme til den kalde siden.



Figur 5: Eksempler på hulromselementer, a) med parallelle lameller, b) med kryssende lameller (Hentet fra: Sintef byggforsk, 2001).

3.3 Bordstabelementer

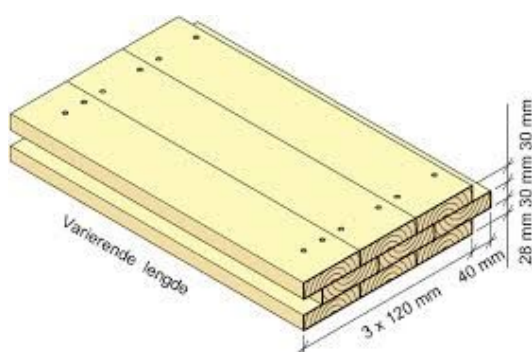
Bordstabelementer lages ved at lameller blir satt på høykant og føyd sammen. Elementene produseres i en rekke varianter avhengig av hvilket materiale det føyes sammen med, enten det er spiker, dybler, lim eller tverrspente, hvor spiker er den mest vanlige varianten. Elementene brukes mest til dekker eller takkonstruksjoner.



Figur 6: Oppbyggingen av et kantstilt element (Hentet fra: Sintef Byggforsk, 2014)

3.4 Overlappende elementer

Overlappende elementer benyttes hovedsakelig til veggelementer og er bygd opp av lameller der overlappende sjikt vil være i forband med underliggende. Dette gjøres for å hindre gjennomstrømming og dette vil se ut som en utstikker som vist på figuren nedenfor (Figur 8). Som regel vil trevirke og lamellene være fasthetsklasse C18 og standard tykkelser er 88 mm (3 sjikt), 118 mm (4 sjikt) og 148 mm (5 sjikt).



Figur 7: Oppbygging av overlappende elementer (Hentet fra: Sintef Byggforsk, 2014)

3.5 Isolasjonsmaterialer

3.5.1 Mineralull

Mineralull er det mest brukte isolasjonsmaterialet og er produsert av mineraler. Det består primært av stillestående luft med en liten andel materiale, og kan deles inn i to typer, glassull (Glava) og steinull (Rockwool). Dette er myke og lette produkter med lav densitet som blir brukt i bindingsverk og andre hulromskonstruksjoner. Varmeledningsevnen til mineralull ligger mellom 0,034 - 0,040 W/mK, avhengig av hvilken type som velges.

3.5.2 Vakuumisolasjon

Vakuumisolasjonspaneler er sammensatt av en forseglet damp- og lufttett folie som omgir en vakuum porøs kjerne. Den omgivende folien har en stor påvirkning på isolasjonens samlede varmemotstand og levetid. Folien gir produktet en lav permeabilitet for å hindre diffusjon av gasser og vanndamp inn til kjernen, i tillegg til en lav varmeledningsevne for å minimere kuldebroer langs kantene av elementet.

Pressed fumed Silica er det mest brukte kjernematerialet i vakuumisolasjonsmaterialer, med en varmekonduktivitet på 0,004 W/mK, ved et trykk på 1 mbar. Om trykket øker til atmosfærisk trykk (som ved punktering), vil varmekonduktiviteten endres til ca 0,020 W/mK. Dette er fremdeles halvparten av andre isolerende materialer, som mineralull (0,034 W/mK) og bomull (0,040 W/mK). Grynning (2009) fant ut at vakuumisolasjonens varmekonduktivitet vil øke med mengden luft og vanndamptrykk som blir tilført, fra 0,004 W/mK til 0,008 W/mK i løpet av en praktisk levetid på i overkant av 25 år. Ved beregning av vakuumisolasjon brukes derfor en varmeledningsevne på 0,007 W/mK.

Vakuumpanelets termiske ytelse styres av:

- ❖ Omhyllende folie
- ❖ Kjernematerialet
- ❖ Panelets geometri
- ❖ Utettheter i skjøtene mellom elementene
- ❖ Tilstøtende konstruksjoner

- ❖ Aldring av panelene på grunn av luft og vandampinntrengning

Under produksjonen av vakuumisolerte paneler kan det oppstå uregelmessigheter i elementenes overflate ved evakuering av luft. Det vil også ved innpakningsteknikken av folien rundt kjernen bidra til ujevnheter langs panelets sidekanter. De henviste ujevnhetene leder varme i en mye større grad enn selve elementet og gir opphav til kuldebroer. Grynning (2009) viser til en tysk rapport hvor den kvantitative effekten av ujevnheter i folien har blitt studert. Verdiene som ble funnet er gitt i Tabell 1.

Kuldebro- virkning [W/(mK)]	Laminert Aluminiumsfolie		Laminert Multilayer folie	
	VIP 1 cm tykkelse	VIP 2 cm tykkelse	VIP 1 cm tykkelse	VIP 2 cm tykkelse
0 mm åpning	0,319	0,160	0,003	0,003
2 mm åpning	0,328	0,168	0,011	0,009
5 mm åpning	0,343	0,181	0,026	0,022

Tabell 1: Kuldebroverdier med ulik tykkelse, for to ulike folier

I den tyske rapporten kommer det frem hvilken påvirkning tykkelsen på vakuumisolasjonen har på kuldebrovirkningen med eksempelvis 1-2 cm tykkelse, og hvordan åpningen påvirker isoleringsverdiene. Den viser også hvor mye større påvirkning kuldebrovirkningen har på aluminiumsfolien i forhold til den laminerte multilayer folien.

3.6 Vindsperre

Vindsperre skal bidra til å lukke bygget og beskytte isolasjonen og rommene mot regn og vind samt hindre fuktgjennomgang. Vindsperren skal beskytte veggene mot regnvann gjennom kledningen og hindre varmetap på grunn av luftlekkasjer. Vindsperre kan være papp eller plater, som asfaltplater. Disse vil ha en påvirkning på isoleringen av konstruksjonen, da de er veldig tynne. Asfaltplater har en varmekonduktivitet på rundt 0,048 W/m²K.

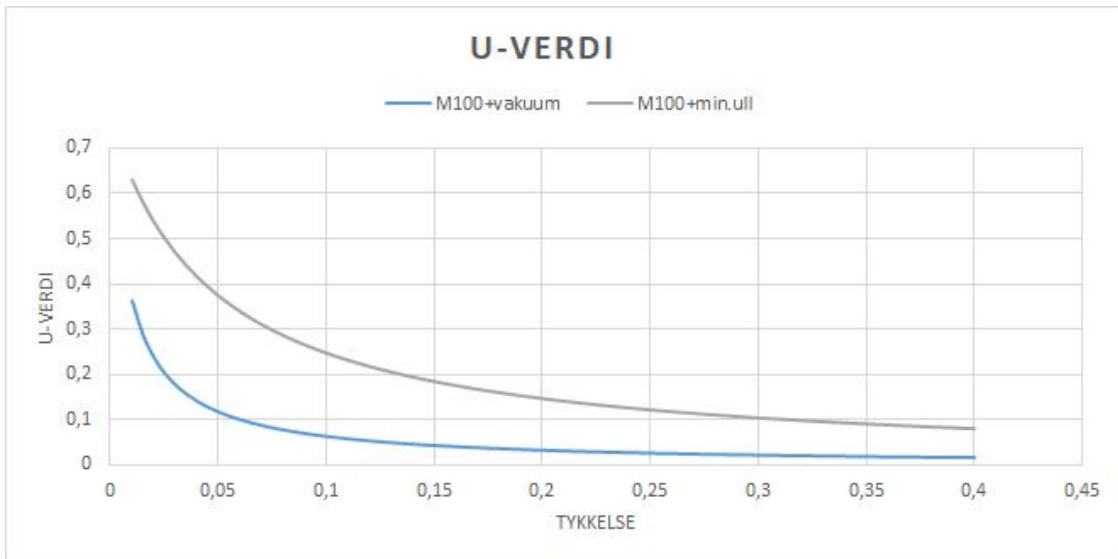
4. Metode

Under metode vises det til både fremgangsmåte og data som er nødvendig for å kunne få fram resultatene. Hovedmetoden vil være fukt- og varmestrømsvurdering hvor de transiente simuleringene baserer seg på WUFI beregninger, mens Excel blir brukt til å vurdere og vise frem situasjonen ved stasjonære beregninger.

4.1 Stasjonære vurderinger

Som det teoretiske grunnlaget viser, vil fukt- og temperaturforholdene i vegg og dermed faren for fukt påvirkes av materialenes fukt- og varmeegenskaper og materialtykkelse variasjonene i grensebetingelse (ute- og inneforhold). For å forenkle analysene gjøres det først stasjonære betraktninger for ulike alternativer for ute- og inneforhold, for deretter å gjennomføre dynamiske simuleringer. De stasjonære betraktningene gjøres ved bruk av Excel, mens WUFI 2D brukes for de dynamiske simuleringene.

Som utgangspunkt ønskes en vegg med U-verdi, som anbefales for passivhus. Det gjøres derfor en vurdering av hvilke isolasjonsmengder som er nødvendig for å oppnå dette for to alternativer av massivtre, 100 mm og 120 mm. Ved å ta utgangspunkt i en vegg med 15 mm asfaltplate som vindsperre og 100 mm massivtre, får man U-verdier som vist i Figur 9. Fra figuren ser man at mens 0,06 m vakuumisolasjon er tilstrekkelig for å oppnå en U-verdi på ca 0,10 W/m²K, mens man må ha mer enn 0,31 m mineralull for å oppnå den samme U-verdien. For å oppnå TEKs minstekrav på 0,22 W/m²K, trengs henholdsvis 0,025 m og 0,12 m.



Figur 8: Oversikt over tykkelser for u-verdi med mineralull og vakuumisolasjon. Blå linje viser vakuumisolasjonen, mens mineralull blir representert med grå linje.

Ut fra betraktningene av U-verdi er konstruksjonene som vist i Tabell 2 og Tabell 3 benyttet for videre beregninger.

Oppbygning for Passivhus			
		tykkelse (m)	lambda
Innvendig overgangstall			0,13
sjikt 1	Massivtre	0,1	0,12
sjikt 2	Vakuumisolasjon	0,06	0,007
sjikt 3	Asfaltplate	0,015	0,048
Utvendig overgangstall			0,04

Tabell 2 Oppbygning for Passivhus

Oppbygning for TEK17			
		tykkelse (m)	lambda
Innvendig overgangstall			0,13
sjikt 1	Massivtre	0,12	0,12

sjikt 2	Vakuumisolasjon Alt. 2	0,03	0,007
sjikt 3	Asfaltplate	0,15	0,048
Utvendig overgangstall			0,04

Tabell 3 Oppbygning for TEK17

I Tabell 4 vises det en oversikt over temperaturen til de forskjellige sjiktene for M100+vakuum med 22°C som innetemperatur og varierende utetemperaturer. De samme temperaturene blir i Tabell 5 brukt for å vise hvordan damptrykket vil variere når det er 40% relativ fuktighet innvendig og 80% utvendig med endring av ute- og innetemperatur.

T_{inne}		22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	10,00
T1	innvendig overflate	21,58	21,51	21,45	21,38	21,32	9,67
T2	mellom massivtre og isolasjon	18,88	18,40	17,91	17,42	16,93	7,56
T3	mellom isolasjon og vindsperre	-8,86	-13,68	-18,50	-23,32	-28,15	-14,11
T4	utvendig overflate	-9,87	-14,85	-19,83	-24,81	-29,79	-14,90
T_{ute}		-10,00	-15,00	-20,00	-25,00	-30,00	-15,00

Tabell 4 temperaturforløp M100+vakuum

Damptrykk i massivtre/isolasjonssjikt passivhus			
Temperaturer (°C)	Damptrykk (Pa)	Metningstrykk (Pa)	Relativ fuktighet (%)
22 Inne, -10 Ute	1054,428	2220	47,49%
22 Inne, -15 Ute	1054,173	2115	49,84%
22 Inne, -20 Ute	1053,997	2101	50,17%
22 Inne, -25 ute	1053,877	2043	51,58%

22 Inne, -30 Ute	1053,797	1987	53%
10 Inne, -15 Ute	489,757	1057	46,36%

Tabell 5 Damptrykk for massivtre og vakuumisolasjonssjiktet

Selv om de stasjonære vurderingene viser at forholdene i veggen er langt fra kritiske, vil en dynamisk simulering med variasjon i grensebetingelser kunne fange opp problemer som skyldes blant annet bufring av fukt eller der forskjell i hastighet på fukt- og varmemstrømmer gjør at temperaturfall kommer før en reduksjon i damptrykk.

4.2 Innsetting av data i WUFI

For å simulere data i WUFI kreves det innsetting av ulike verdier. Høyden i konstruksjonen ble satt til 2,2 m, før det ble lagt til hvilke materialer som skulle brukes. WUFI har et eget materialbibliotek for de ulike materialkonstantene til konstruksjonen, hvor det ble brukt materialer fra både NTNU sin database og Fraunhofer-IBP. En oversikt over hvilke parametere som ble lagt til for materialene er vist under tabell 6, hvor parameterne er relevante for at programmet skal simulere seg frem til resultatet.

Materialgruppe eller bruksområde	Densitet ρ Kg/m ³	Porøsitet n (n)	Dimensjonerende varmekonduktivitet λ W/(mK)	Spesifikk varmekapasitet C_p J/(kgK)	Relativ vanndampmotstand μ
Massivtre (CLT)	410	0,74	0,098	1300	500
Vakuumisolasjon	200	0,001	0,007	800	1500000
Trefiberplate	800	0,8	0,18	1700	9
Sløyfe, lekter og kledning	420	0,75	0,13	1600	50

Tabell 6: Materialbruk WUFI 2D

Neste steg er innsetting av initialverdiene til materialene, som blir vist i Tabell 7. Tallene som er satt inn i tabellen tilsvarer verdiene til materialene når de settes inn i elementet. De rød boksene indikerer verdiene som byttes ut for å skape kritiske situasjoner for relativ fuktighet, vanninnhold og temperaturen til elementet. Vanninnholdet og den relative

fuktigheten til massivtreet vil senkes for at det skal simuleres en påvirkning av en varmere årstid.

Materiale	Temperatur [°C]	Vanninnhold [Kg/m ³]	RF [%]
Massivtre	20	64	80
Vakuumisolasjon	20	0	80
Trefiberplate	20	90.8	80
Sløyfe, lekter og kledning	20	83.3	80

Tabell 7: Initialverdier for materialene

For en mer oversiktlig henvisning til videre data, er det satt inn i Tabell 8. Her blir det beskrevet hvilke værdata, luftkilder, beregningsparametre og navn på materialdata som er gitt.

Værdata	I simuleringen ble det valgt klimadata for Oslo som parameter for innvendig og utvendig av konstruksjonen. De utvendige verdiene ble hentet direkte fra en database, mens de innvendige verdiene ble beregnet i forhold til uteklime i Oslo. Det ble brukt to ulike standarder for å få en oversikt over klima innendørs. I ISO13788 ble det lagt inn for både innetemperatur og relativ fuktighet, mens temperaturen forholdt seg fast gjennom hele perioden. I den andre standarden EN15026 ble det lagt inn for relativ fuktighet, mens her vil temperaturen variere gjennom de ulike årstidene.
Luftkilde	Luftkilde ble lagt til i noen av simuleringene for å vise påvirkningen av luft og vind mot isolasjonen. Faktoren ble lagt til for å simulere en luftlekkasje i vakuumisolasjonssjiktet.
Beregningsparametre	Elementet ble simulert for klima over en periode fra 15. Juni 2019 til 16. Juli 2020. Dette tilsvarte en periode på rundt 9500 timer.

	<p>Dette ble gjort for å se de ulike verdiene som oppstod gjennom de ulike årstidene.</p> <p>Det ble simulert for en medium nøyaktighet, som ga en mer samlet oversikt over dataomfanget for temperatur og relativ fuktighet.</p> <p>Det ble også huket av for varme- og fuktkalkulasjoner, for å få grafer som viste en oversikt over nødvendige data.</p>
Materialdata	<p>Materialdataene som ble lagt inn i simuleringen ble oppgitt som:</p> <p>Massivtre "<i>Stora Enso CLT</i>" fra Fraunhofer-IBP sin folder</p> <p>Vakuumisolasjon "<i>VIP Generic (0,007 W/m²K)</i>" fra Fraunhofer-IBP sin folder</p> <p>Trefiberplate "<i>Wood fibre board, hard - wind barrier</i>" fra NTNU sin database</p> <p>Sløyfe, lekter og kledning "<i>Scandinavian spruce transverse direction</i>" fra NTNU sin folder</p>

Tabell 8: Inndata

5 Resultater

Resultatene blir presentert i denne delen med ulike simuleringer fra WUFI. Det vil beskrives og legges frem forskjellige grafer for temperatur, relativ fuktighet og vanninnhold. Alle de presenterte grafene er simulert for det samme tidspunktet, kl. 00.00, den 01. januar 2019. I tillegg til de gitte simuleringene er det lagt til simuleringer for 07. Juli 2019 i vedlegg 2. Dette er verdier som er mindre kritiske og blir derfor henvist til i liten grad.

5.1 Passivhuskonstruksjon

5.1.1 Reell simulering

Den reelle simuleringen underbygger data under normale forhold gjennom ett år. Utetemperaturen følger klimaet i Oslo som vil variere mellom 30°C om sommeren og ned til -15°C om vinteren.

5.1.1.1 Relativ fuktighet

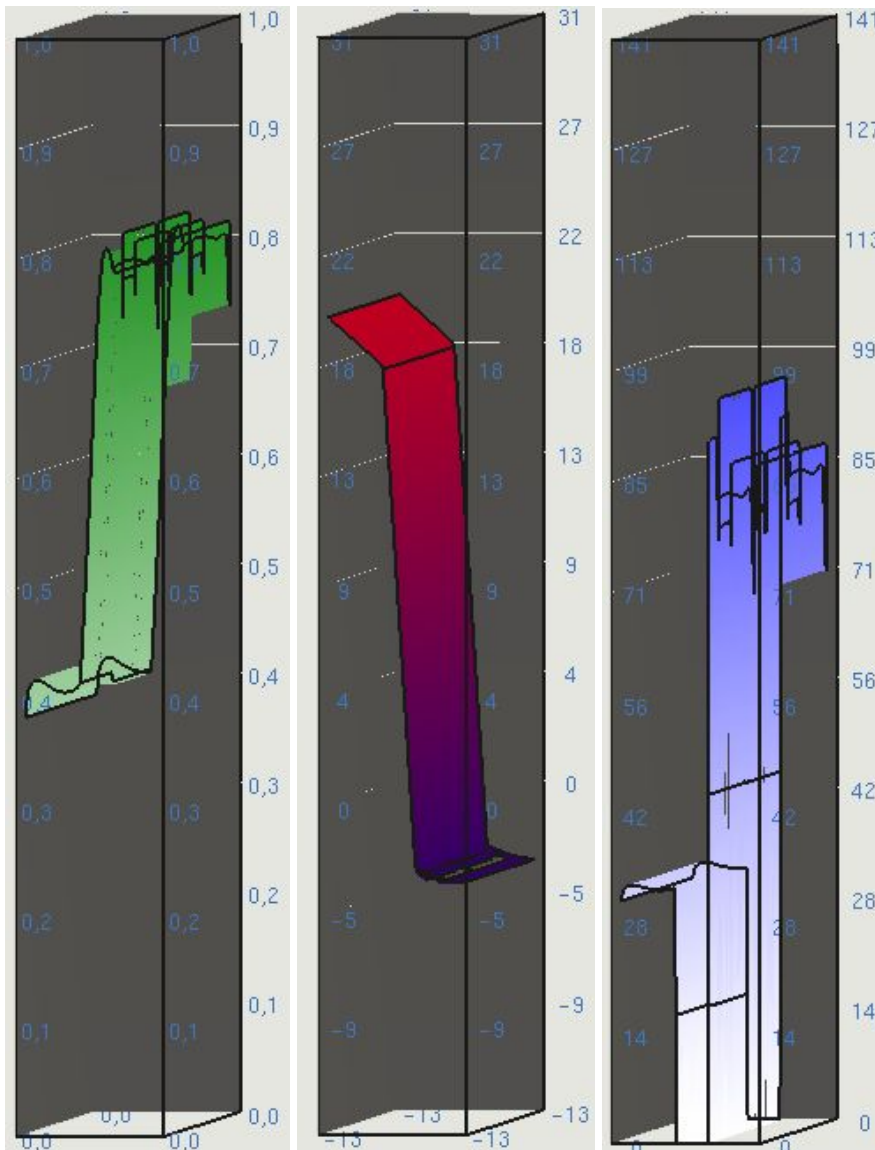
Ut i fra Figur 9 ser man at en innetemperatur på 20°C vil gi en relativ fuktighet på rundt 40%. Konstruksjonen beholder omtrent den samme RF verdien gjennom massivtre, før den ved de utvendige sjiktene raskt får en stigning av RF.

5.1.1.2 Temperatur

Figur 10 viser temperaturforløpet til passivhuskonstruksjonen. Her vil den utvendige temperaturen ligge på 0°C, og bli lite påvirket av de utvendige sjiktene. Sjiktet med vakuumisolasjon vil isolere kraftig mot den kalde utelufta og vil øke temperaturen opp til 18°C. Videre ser man at massivtreet også påvirker temperaturforløpet med ytterligere 2°C, som gir innetemperaturen på 20°C.

5.1.1.3 Vanninnhold

Vanninnholdet i konstruksjonen er forholdsvis lik grafen for relativ fuktighet. Massivtresjiktet starter med initialverdien på 32, før vakuumisolasjonen fører grafen til bunnpunktet, med sin ekstreme isolerende effekt. Deretter kommer de utvendige sjiktene som isolerer lite effektivt mot vann og gir en høyere verdi for vanninnholdet.

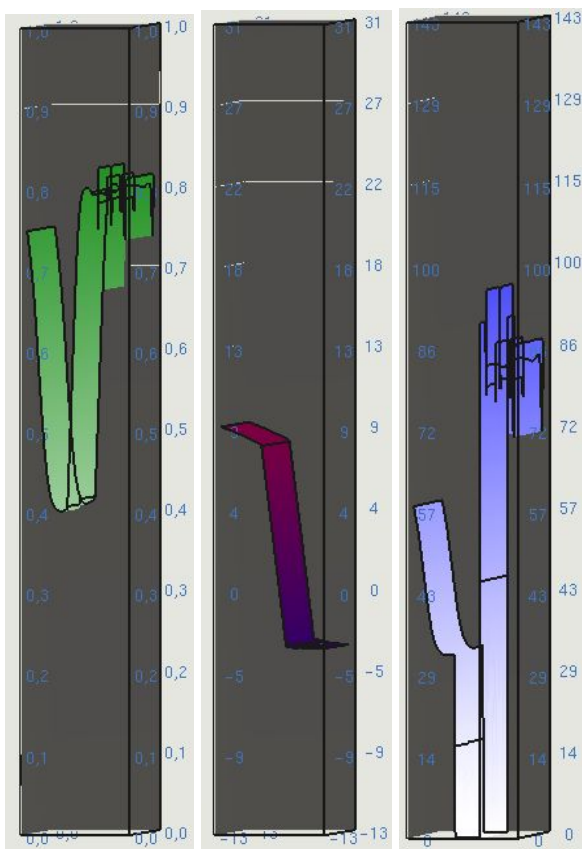


Figur 9, 10 og 11: Figur 9 viser den grønne grafen (t.v) med oversikt over relativ fuktighet, Figur 10 viser den røde grafen (midten) med en oversikt over temperaturforløpet og Figur 11 viser den blå grafen (t.h) med en oversikt over vanninnholdet.

5.1.2 Simulering med innetemperatur på 10°C

Simuleringen for 10°C gjelder for hus som er bygd på sommeren, men står tomt over en kaldere vinter med bare oppvarming for å holde bygningen frostfri.

Her vil den relative fuktigheten innendørs ha en verdi i underkant av 80%, som følge av den kalde innetemperaturen. Det godt isolerte massivtresjiktet får grafen til å falle ned til 40%, før RF raskt økes slik den gjorde ved den reelle simuleringen. I denne simuleringen er temperaturforløpet kortere og flater ut ved innetemperaturen på 10°C. Utover dette er vanninnholdsgrafen også lik den reelle simuleringen, med unntak av innendørslufta som har et større fuktinnhold. Fuktinnholdet har en verdi på 60 og faller i begynnelsen av grafen ned til initialverdien for massivtre.

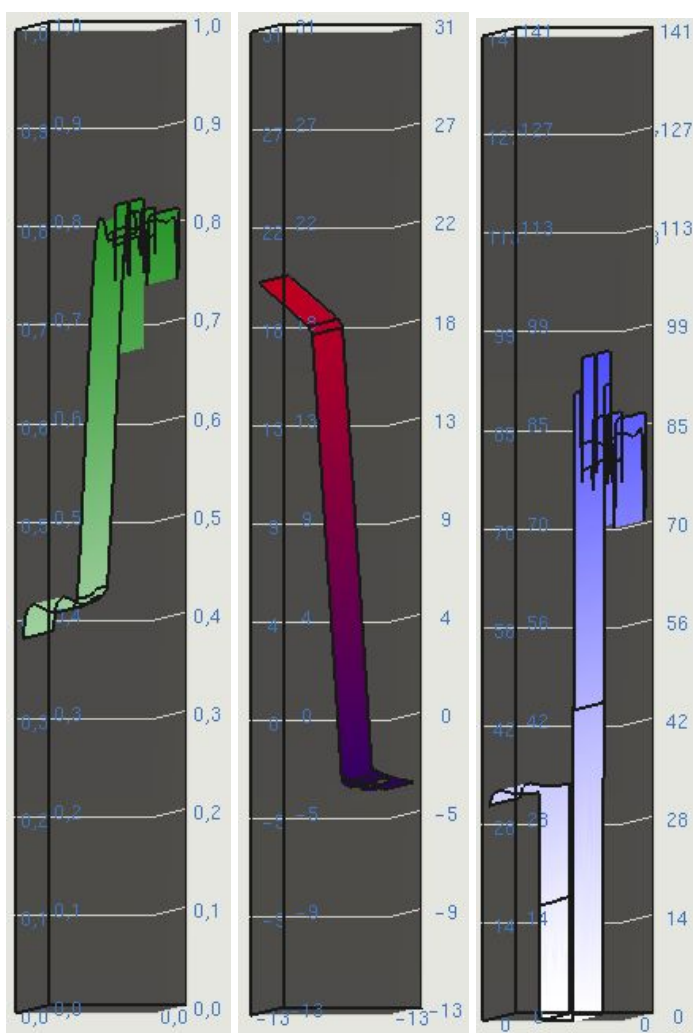


Figur 12 Innetemp på 10 grader, RF, Temp og vanninnhold

5.1.3 Simulering med luftstrømning

I simuleringen med luftstrømning er innetemperaturen tilbake til 20°C, og det er lagt til et 10 mm luftlag mellom massivtre og vakuumisolasjonen. I tillegg er det nå to luftstrømmer som beveger seg gjennom konstruksjonen, hvor den ene beveger seg inn til massivtreet, mens den andre beveger seg gjennom hele konstruksjonen.

Grafen for relativ fuktighet blir nå annerledes og mellom massivtresjiktet og vakuumisolasjonen vil verdien gå fra 40% og opp til nesten 75%. Deretter vil den fortsette å øke på grunn av de utvendige sjiktene. Simuleringene for temperaturforløp og vanninnhold gir ingen ny informasjon i forhold til simuleringen for luftstrømning.

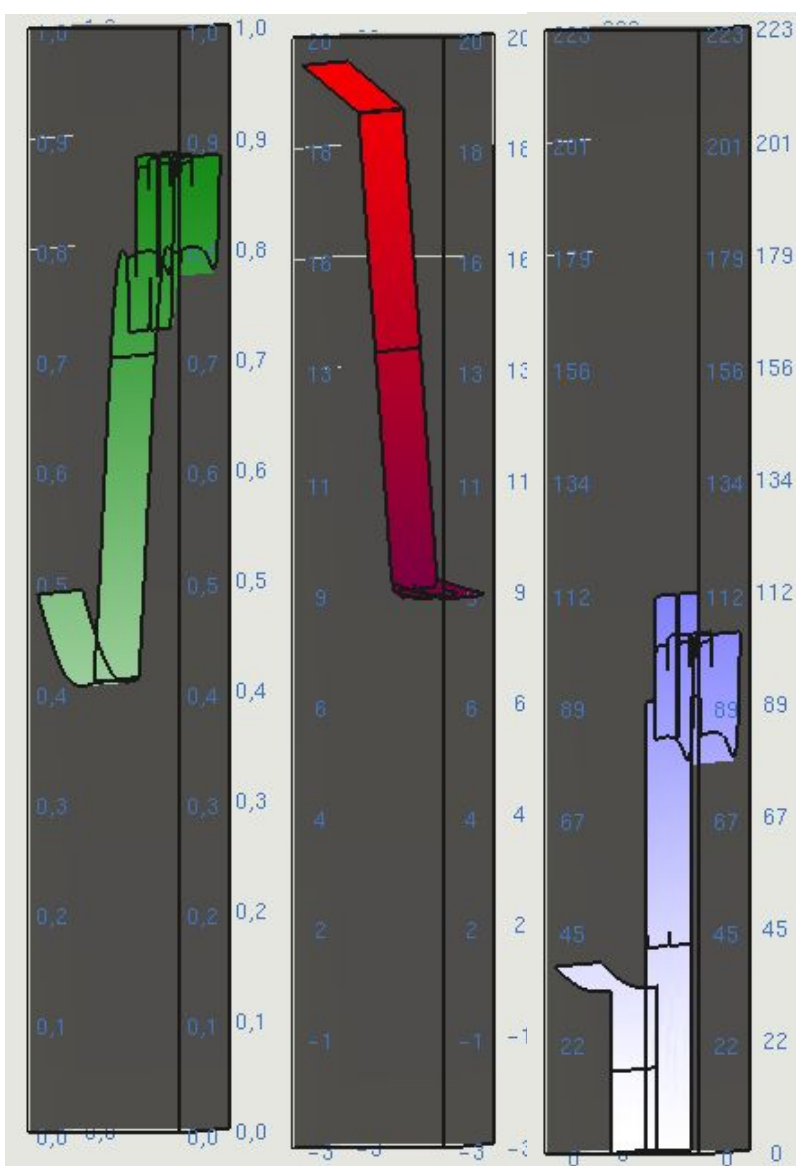


Figur 13 Simulering med luftstrøm, RF, Temp og vanninnhold

5.1.4 Luftstrøm med soleksponering

Simuleringen vil ta utgangspunkt i det tidligere tilfellet med luftstrøm, hvor den utvendige delen av konstruksjonen var vendt vekk fra sola og ga lite sollys. I denne simuleringen vil konstruksjonen vendes mot solen, for å se hvilken påvirkning dette har.

Både grafen for relativ fuktighet og vanninnhold vil ha en høyere innvendig verdi enn ved tilfellet uten soleksponering. Med unntak av dette følger grafene det samme forløpet som tidligere. Som man ser på temperaturgraphen har den blitt tydelig påvirket av varmen fra sola, ved at utetemperaturen nå har steget opp til 9°C.

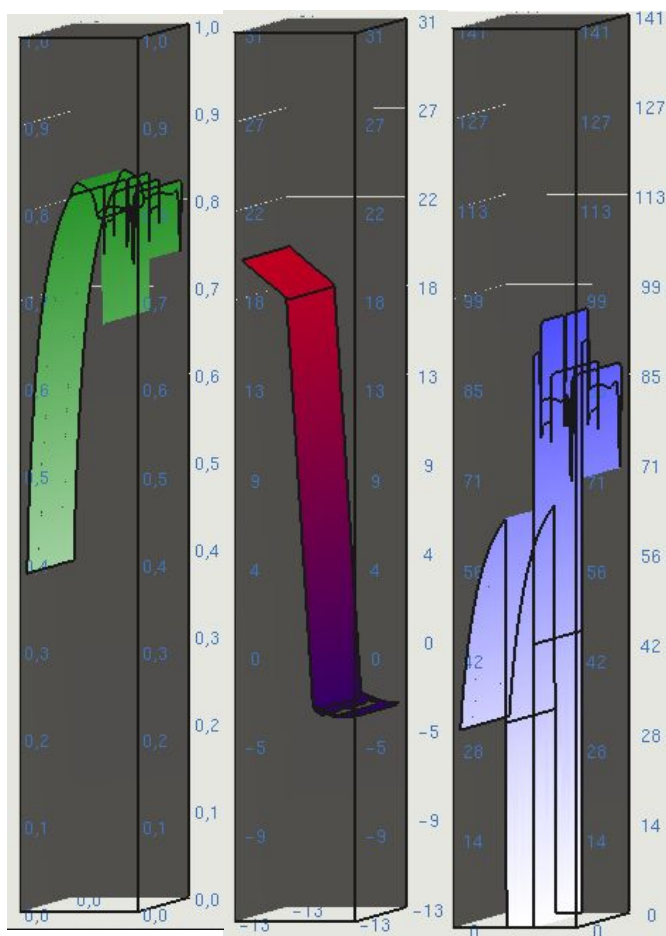


Figur 14 Luftstrøm med soleksponering, RF, Temp og vanninnhold

5.1.5 Massivtrekonstruksjon med RF på 80%

I de tidligere utførte simuleringene har massivtrekonstruksjonen hatt en RF på 40%, og for å sjekke om en økning av denne verdien er kritisk, simuleres det med en RF på 80%.

Som det vises i grafen for relativ fuktighet går den innvendige verdien for RF rett fra 40% og opp til 80% for massivtresjiktet. Videre vil vakuumisolasjonen redusere den relative fuktigheten, før den igjen økes ved de utvendige sjiktene. Temperaturforløpet beveger seg på lik linje som tidligere, mens vanninnholdet vil ha et annerledes forløp. Her vil massivtresjiktet ha en økning av vanninnhold på grunn av den høye RF verdien som nå er gitt. Etter økningen ved massivtresjiktet faller grafen til bunnen med vakuumsjiktet og forløpet går som tidligere.



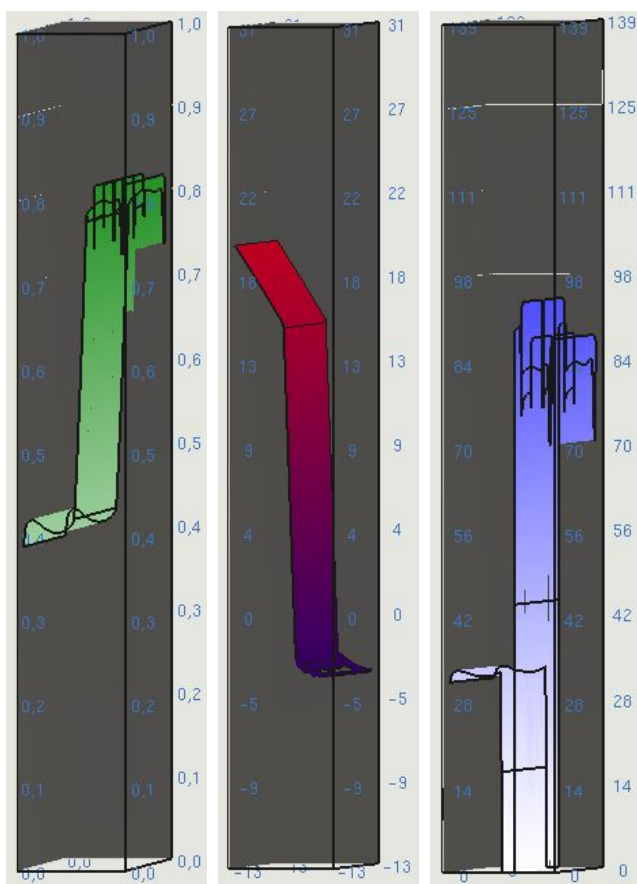
Figur 15 Massivtrekonstruksjon med RF på 80%, RF, Temp og vanninnhold

5.2 TEK17 konstruksjon

5.2.1 Reell simulering

TEK17 konstruksjonen har en tynnere vakuumisolasjon enn passivhuskonstruksjonen, derfor simuleres det for å teste om det vil kunne oppstå fuktskader i dette tilfellet. Det testes for en reell simulering som ved passivhus, med normale verdier for RF og temperatur.

Grafene for relativ fuktighet og vanninnhold viser det samme forløpet som ved passivhuskonstruksjonen, mens ved temperaturforløpet vil massivtresjiktet utgjøre en større del av oppvarmingen til temperaturen.

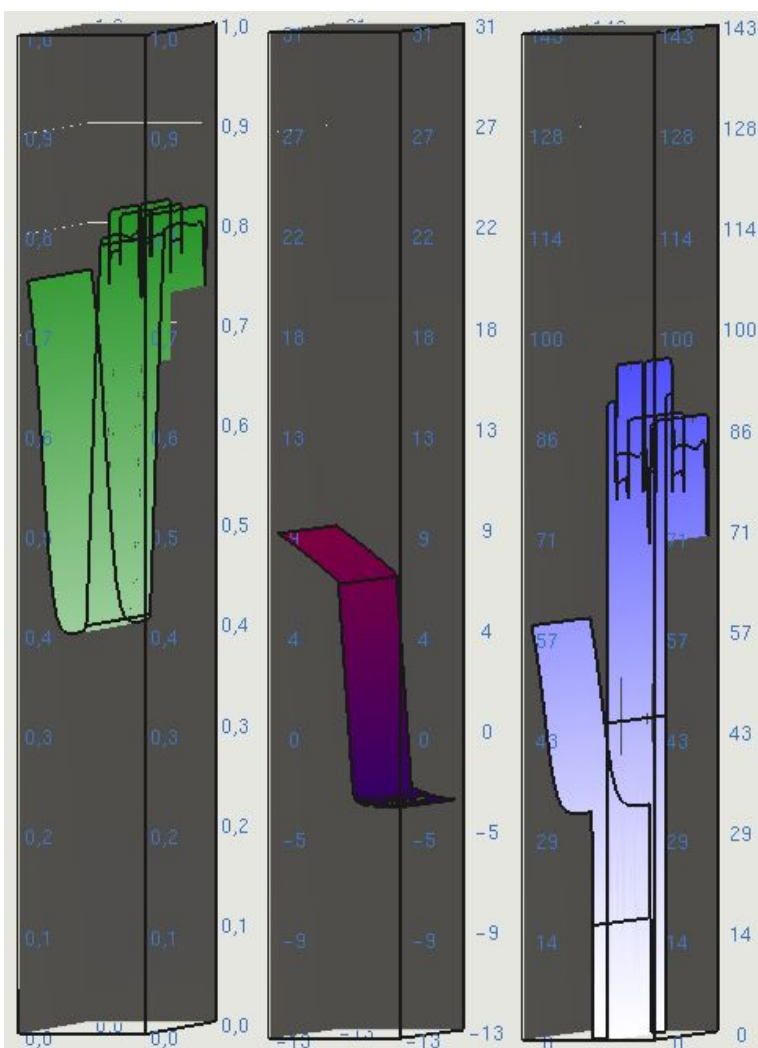


Figur 16 TEK17 Reell simulering, RF, Temp og vanninnhold

5.2.2 Simulering for innetemperatur på 10°C

Det ble også simulert for en innetemperatur på 10°C, for å teste flere simuleringer med TEK17 konstruksjonen.

Her vil massivtresjiktet igjen ta opp en større del av oppvarmingen for temperaturforløpet, mens grafen for vanninnhold og relativ fuktighet vil bevege seg på samme måte som ved passivhuskonstruksjonen.



Figur 17 TEK17 Simulering for innetemperatur på 10°C, RF, Temp og vanninnhold

6 Diskusjon

I denne delen vil resultatene bli diskutert. Først vil det fokuseres på hvilke feilkilder som kan ha påvirket resultatene, etterfulgt av en analysering mellom dem. Videre blir resultatene sammenlignet opp mot de stasjonære beregningene i Excel, før det avsluttes med en diskusjon rundt bruken av materialene.

6.1 Usikkerheter i WUFI

En stor usikkerhet med simuleringsprogrammet WUFI er at simuleringene vil foregå under så godt som perfekte omstendigheter, som er grunnen til at de ikke kan relateres direkte til virkeligheten. Ved et fysisk forsøk på en konstruksjon vil det være flere faktorer som kan påvirke resultatet. Eksempler på dette er punktering av vakuumisolasjonen, mangelfull teiping rundt elementet som skaper en luftgjennomgang og at trefiberplata kan sitte løst.

Andre usikkerheter i oppgaven er feilkilder som kan direkte relateres til bruken av WUFI. Selv om beregningene er gjennomført av en datamaskin kan det ikke regnes med at resultatene er korrekte og feilfrie. Dette inkluderer tilfeller som:

- ❖ Feil i innsettingen
- ❖ Programfeil
- ❖ For lite kunnskap om nødvendig data
- ❖ Numeriske feil

Det var flere usikkerheter koblet opp til feil i innsettingen. Ved innsetting av ulike materialer i simuleringsprogrammet WUFI ble det oppdaget at biblioteket ikke inkluderte verken samme navn eller samme verdi for materialene brukt i Excel. Dette førte til at enkelte produkter ble byttet ut med andre som lignet i stor grad. Både massivtre og asfaltplate er to eksempler på dette, da de ikke var lagt inn i databasen. Massivtre ble byttet ut med Stora Enso CLT som hadde en lavere varmekonduktivitet, mens asfaltplaten ble byttet ut med en trefiberplate som hadde en høyere varmekonduktivitet.

Det var også usikkerhet ved innsetting av vær og klima som data. Utvendig ble simuleringsdataene hentet fra Oslo, mens det var også andre steder i Norge som ville kunne gitt mer kritiske verdier. Ved innvendige simuleringer var det usikkert om EN15026

standarden var den mest relevante, fordi programmet også inkluderte to andre standarder gitt ved ASHRAE160 og ISO13788. ASHRAE160 hadde muligheten til å inkludere klimaanlegg og fuktgenerering, men ingen endring av den relative fuktigheten. Mens ISO13788 hadde en konstant innetemperatur, og muligheten til å endre RF. Valgte å bruke EN15026 da den hadde en variasjon av innvendig temperatur på sommertid og 20°C om vinteren. Det var også usikkert hvilke verdier som skulle legges inn for luftgjennomstrømningen, da det var vanskelig å forstå hvilken påvirkning de ulike verdiene fikk på konstruksjonen.

Programfeil er en usikkerhet, fordi størrelsene og kompleksiteten av formlene i simuleringsprogrammet er omfattende, og kan føre til feil. I tillegg er utbredelsen av programmet liten, som kan føre til at programmet ikke utnytter standarder og materialer som er like relevante i alle land. Ettersom programmet var tysk, var det ikke tilpassede materialverdier for oss i Norge, som førte til utbytting av enkelte materialer.

For lite kunnskap er en feilkilde i WUFI, da det er et komplekst program med mange muligheter. I denne oppgaven har det vært lite kunnskap rundt dataprogrammet i forkant, som kan ha påvirket resultater, grafer og verdier som har blitt lagt frem i simuleringene. Programmet gir brukeren muligheten til å legge inn egendefinerte verdier for klimadata, dersom man utnytter andre dataprogrammer til å frembringe filen. Denne funksjonen ble ikke utnyttet og kunne gitt mer relevante og kritiske tilfeller av temperaturer og relative fuktigheter.

En feilkilde ved numeriske data er at simuleringsprogrammet ikke gir muligheten til å vise en oversikt over alle resultatene som blir beregnet gjennom året. Grafene som er lagt til på resultatdelen inkluderer bare et tidspunkt på året, og viser derfor en liten oversikt over hvordan forløpet til simuleringen egentlig utarbeider seg. Derfor har det blitt lagt til to forskjellige grafer, en for sommer og en for vinter for å kunne vise hvordan grafene vil se ut på forskjellige tider av året. Grafene for sommerperioden er lagt til i vedlegg 2.

6.2 Analysering av resultater fra WUFI

I resultatdelen viser de grønne grafene en oversikt over resultater for den relative fuktigheten den 01. Januar 2019, og som forklart i feilkildene får man derfor ikke sett alle

verdiene som er simulert for hele perioden. Simuleringene oppgir periodevis mer kritiske verdier, men ettersom verdiene ikke er varige vil det ikke føre til fuktskader. De røde grafene gir en oversikt over temperaturforløpet til konstruksjonen. Ettersom simuleringene er valgt fra det samme tidspunktet, er de fleste utetemperaturene like gjennom grafene. Den blå grafen viser en oversikt over vanninnholdet i konstruksjonen. Den er gitt med enheten kg/m^3 , og har nesten samme forløp i alle figurene.

For reell simulering regnes det for normale omstendigheter i Oslo. Dette gir data som brukes til å sammenligne grafene som simuleres senere. Når det simuleres for en innetemperatur på 10°C , blir det et utslag på grafene. Det blir en tydelig økning ved den relative fuktigheten og vanninnholdet innendørs, som man ser ved at RF verdien ligger tett opptil 80%. Dette kommer av den høye relative fuktigheten som de lavere temperaturene inneholder, som vist i Mollierdiagrammet i Figur 2. Selv om disse verdiene økes innendørs vil de ikke påvirke forløpet videre inn i massivtresjiktet, da det ikke vil være noe fukttilskudd fra innvendig eller utvendig klima. Dette kommer av vakuumisolasjonens evne til å fungere som en fuktsperre. I tillegg blir det ikke full utnyttelse av vakuumisolasjonen ved temperaturforløpet, da forskjellen i temperatur er mye mindre.

Ved simulering for luftstrømning i Figur 13 er det lagt til et 10 mm luftlag mellom massivtreet og vakuumisolasjonen. Her vises det en minimal endring av grafene, fordi luftlaget får en veldig liten påvirkning. Derfor har det i Vedlegg 2 Figur 6 blitt simulert for en urealistisk versjon av det samme tilfellet, for å se påvirkningen. Med 100 mm luftsjikt ser man at temperaturforløpet ved luftgjennomstrømning vil være påvirket av luftsjiktet, og vil stå for en temperaturnedgang på rundt 4°C . Det vil også bli en tydelig forskjell på grafen for relativ fuktighet, da luftsjiktet fører til en økning på nesten 10% i massivtresjiktet.

For luftstrøm med soleksponering er det en økning av temperaturforløpet på grafen. Dette kommer av den innstrålte energien fra sola, som gir en oppvarmende effekt på veggoverflaten gjennom dagen. Videre fører økningen av temperaturen til en lavere verdi for relativ fuktighet, da metningstrykket for utetemperaturen økes.

På simuleringen hvor den relative fuktigheten til massivtresjiktet økes, blir det et stort utslag på grafen til RF. Grafen får en rask økning opp til 80%, hvor den holdes gjennom

mesteparten av konstruksjonen. På grunn av den høye RF verdien til massivtre, er det lite som isolerer for at RF skal kunne bevege seg opp til et kondensproblem ved 100% RF. Derfor regnes dette som en av de mest kritiske grafene, men selv her oppstår det ingen fuktproblemer i konstruksjonen.

Simuleringene som er utført for TEK17 konstruksjonen, ble gjort for å teste om en reduisering av vakuumisolasjonen ville gi muligheter for fukt. Grafene for RF og vanninnhold gir liten forandring i forhold til passivhuseksemlene, mens i temperaturforløpene blir det en endring. Her kommer det tydelig frem hvordan massivtresjiktet må gjøre opp for den manglende vakuumisolasjonen i konstruksjonen, og isolerer for en større del av temperaturen.

6.3 Sammenligning med Excel beregninger

Hensikten med Excel beregningene var å teste ut om de ville stemme overens med resultatene fra WUFI. De ville være en indikator for hvordan grafene ville se ut, og hvordan de ville klare seg.

Den store forskjellen mellom programmene ligger under fuktinnholdet. WUFI får simulert verdiene sine under korrekte omstendigheter og med riktige verdier for relative fuktigheter gjennom konstruksjonen, mens Excel beregningene begrenses ved at det kun er lagt til en konstant verdi for dette. I tillegg vil det for Excel beregningene være oppgitt en verdi for permeabiliteten til vakuumisolasjonen, i motsetning til WUFI simuleringene som ikke har noen fuktgjennomgang. Dette fører til at vakuumisolasjonen i WUFI hindrer massivtreet å bli påvirket av utvendig klima.

I Vedlegg 1 er det en oversikt over temperaturforløpet i Excel. De stasjonære beregningene er utført for en lavere utetemperatur enn det som blir simulert i WUFI, men har et tilsvarende forløp og ser derfor relativt like ut. Årsaken til temperaturvariansen ligger i at utetemperaturene for Oslo er mildere enn de som er valgt i Excel, og det måtte legges inn egendefinert klimafil dersom man skulle fått tilsvarende temperaturer. Ettersom det ikke utvikles fuktdannelse i noen av beregningene, kan det regnes med at WUFI simuleringer for lavere temperaturer heller ikke ville inneholdt fukt.

Fra Vedlegg 1 og Figur 9 kan man se en tilsvarende likhet. De stasjonære beregningene og dynamiske simuleringene for fukt viser at det er rundt 40-50% RF ved vakuumsjiktet, som videre økes opp til en verdi i underkant av 80% for asfaltplaten ved de utvendige sjiktene.

6.4 Diskusjon om bruken av materiale

6.4.1 Massivtre

I oppgaven blir det benyttet krysslaminert massivtre. Her vil limet gi en forhindrede effekt på luftstrømningen gjennom materialet, og bidra til en redusert fare for kondens mellom massivtre- og vakuumsjiktet. Dersom det i motsetning til limet skulle blitt tatt i bruk spikret massivtre, ville det kunne oppstått en luftstrømning gjennom spikerhullene og sprekkene i konstruksjonen.

Sjiktet mellom massivtre og vakuumisolasjon var det mest kritiske, da fukten ikke ville komme seg ut gjennom de små porene i materialene. I simuleringene ble det valgt en lav relativ fuktighet som initialverdi for massivtre. Dette førte til at det kritiske sjiktet mellom massivtreet og vakuumisolasjonen forholdt seg lavt gjennom konstruksjonen, og det ble ingen dannelse av fukt. Variasjonen på dette kritiske punktet varierte i liten grad, og selv ved testing med høy RF som initialverdi for massivtre, var det ingen fuktdannelse. Det ble opplevd en høyere RF verdi for de utvendige sjiktene, men her var tørkehastigheten raskere enn oppfuktingen, som igjen hindret fuktdannelse.

Variabler som kunne skapt problemer i konstruksjonen kunne vært et høyere vanninnhold i massivtreelementet eller feil under byggeprosessen. Dersom isolasjonen ikke ligger tett inntil massivtreet kan det danne seg et luftlag som vil gi en mulighet for konveksjon med partialtrykk som drivkraft gjennom konstruksjonen. Partialtrykket vil ikke oppleve noen form for motstand gjennom de utvendige sjiktene, før den treffer massivtreelementet som den vil treffe med stor hastighet. Dette vil føre til en avkjølede effekt på massivtreoverflaten som videre kan føre til en kondensering. En slik simulering blir for avansert å vise i denne oppgaven.

6.4.2 Vakuumisolasjon

Med vakuumisolasjon som isolerende materiale blir det en redusert fuktgjennomgang i konstruksjonen. Dette påvirket hvordan oppgaven ble utført, da et laboratorieforsøk ville

gitt lite fuktresultater. Derfor ble det valgt at oppgaven skulle basere seg på beregninger i dataprogrammer, da dette ville gi muligheten for å legge inn mer kritiske verdier for resultatene.

Fuktgjennomgangen til vakuumisolasjonen er tilnærmet null på grunn av den høye dampmotstanden materialet består av. Dette kommer av porestørrelsen i vann, som er for stor til å kunne trekke seg igjennom porene i vakuumisolasjonen. Som følge av vakuumisolasjonens høye vanndampmotstand, vil det ikke transporteres fukt fra uteklimaet og inn til sjiktet mellom massivtreet og vakuumisolasjonen. Som det beskrives under delkapittel 6.4.1, vil ikke det innvendige klimaet påvirke dette kritiske sjiktet.

Fuktinnholdet vil derfor forbli det samme, men når temperaturen i sjiktet synker vil metningstrykket for temperaturen synke som et resultat av dette. Dette fører til at den vanninnholdet i massivtreet før montering av konstruksjonen vil ha en påvirkning på om det kan oppstå kondens, da vanninnholdet ikke vil variere i ettertid. Ved å bruke Mollierdiagrammet i Figur 2, ser man at den relative fuktigheten vil øke dersom temperaturen synker og vanndampinnholdet forblir det samme. Dette fører til at hvis en konstruksjon blir montert på en varmere årstid, vil det kunne oppstå kondens i veggen når den blir påvirket av en kaldere temperatur om vinteren. Dette tilfellet vil gi en økning av den relative fuktigheten, og for en kritisk konstruksjon kunne det oppstått kondens og fuktskader.

6.4.3 Kledning

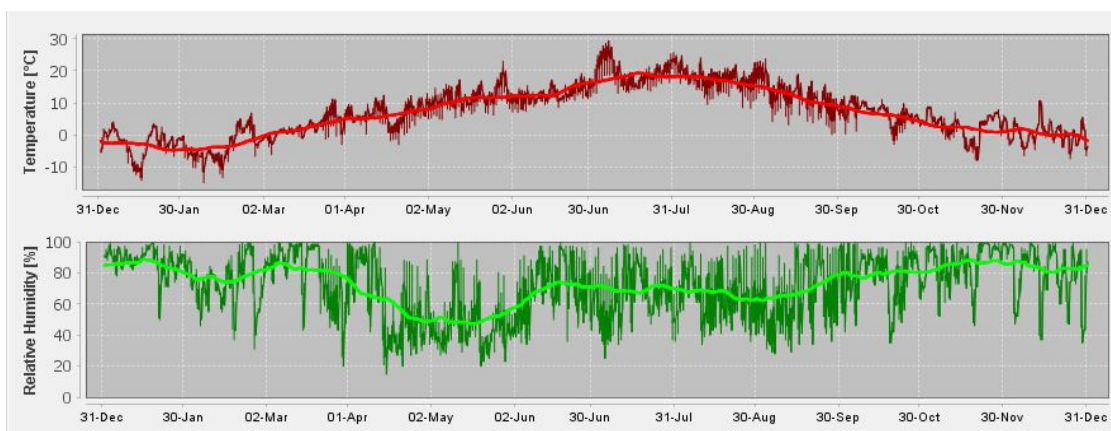
Som det vises i figurene for relativ fuktighet, blir det i de utvendige sjiktene oppgitt en høy RF. I periodene hvor det er kaldt og luften nærmer seg metningstrykket, kan det gi fare kondens bak kledningen. Dette er spesielt utsatt om natten ved de kaldeste temperaturene, dersom det ikke er tilstrekkelig takutstikk eller god nok lufting i kledningen. Videre er også oppfukting i luftet kledning med lekter og sløyfer lavere enn tørkehastigheten (Lotherington, P.B. 2012), som fører til at det ved perioder med fuktpåkjenning ikke vil oppstå fuktskader i sjiktene.

Et annet viktig element for å stanse fukt, er å tilrettelegge for løsninger som kan hindre at vann ligger inntil trevirke. Eksempler på dette er å ha tilstrekkelig avstand fra terreng til

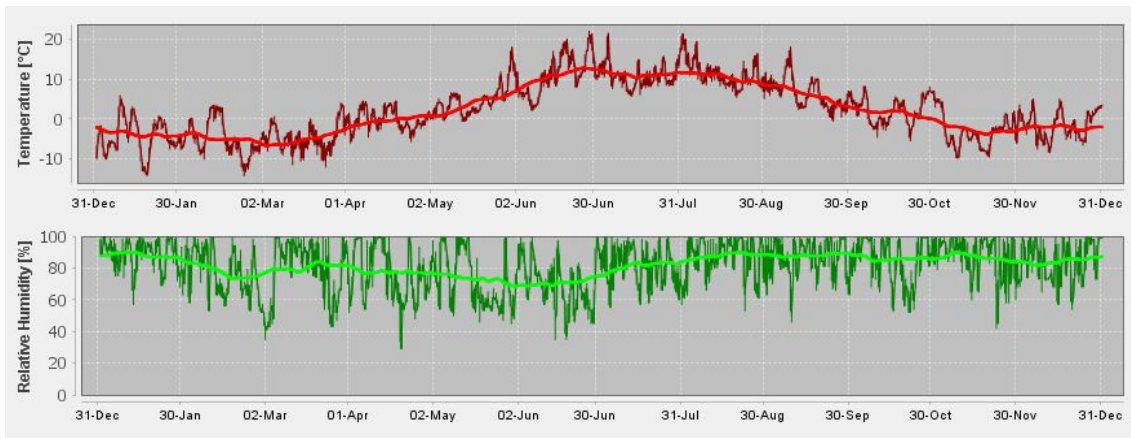
kledningen, at regnvann ledes vekk fra trevirke eller god beskyttelse fra takutstikk eller andre utstikkende bygningsdeler.

6.5 Værdata

Under WUFI har valg av værdata vært en omfattende del av simuleringen. Det ble tatt utgangspunkt fra simuleringer i Oslo, da dette var den nærmeste værstasjonen. I oppgaven var det ingen tilknytning til område, da alle testene ble gjennomført over dataprogrammer. I etterkant kan man sammenligne hva slags data ulike steder i Norge kunne gitt oss. Som vist i Figur 18 har Oslo en god spredning av temperaturer gjennom året, helt fra 30°C og ned til rundt -15°C. Til sammenligning er det i Tromsø simulert temperaturer fra 20°C til -15°C. Dette gir at simuleringer i Oslo dekker et større felt av temperaturer, som vil gi en mer detaljert oversikt over hvordan de ulike sjiktene reagerer på de forskjellige temperaturene. For relativ fuktighet vises det til det samme, ved årstiden Mai-Juni måned ser man at den relative fuktigheten synker for Oslo, mens i Tromsø holdes den relativt stabil med en RF på rundt 80% gjennom hele året. Gjennomsnittet i Oslo ligger på 70%, men varierer periodevis mellom verdier opp mot 100% og ned til 20%. Igjen betyr dette at Oslo gir en bedre simulering med en større spredning av data. Men det finnes steder i Norge som opplever både høyere og lavere temperaturer enn det som gjøres i Oslo, derfor vil det kunne oppstå mer kritiske data enn det som vises til i denne oppgaven.



Figur 18 Oversikt over temperaturer og relative fuktigheter gjennom året i Oslo



Figur 19 Oversikt over temperaturer og relative fuktigheter gjennom året i Tromsø

7 Konklusjon

Det har vært et fokus i bacheloroppgaven å besvare de 3 forskningsspørsmålene som ble gitt under problemstillingen. I denne delen konkluderes disse besvarelsene med et hovedfokus på sjiktet mellom massivtreet og vakuumisolasjonen.

Hvordan vil variasjoner i ytre betingelser påvirke veggens fukt- og temperaturgradienter?

Ulike utetemperaturer, vanninnhold i trevirke og byggfeil er variasjoner i de ytre betingelsene som påvirker veggens fukt- og temperaturgradient. Senkes utemperaturen utenfor veggen vil den relative fuktigheten økes, mens temperaturen i det kritiske sjiktet faller. Dette blir vist i Excel beregningene med utetemperaturer fra -10°C og ned til -30°C , hvor den relative fuktigheten stiger med 6% opptil en fortsatt ukritisk 53%, mens temperaturen faller fra $18,88^{\circ}\text{C}$ til $16,93^{\circ}\text{C}$. Ved den mest kritiske WUFI simuleringen på 80% RF i massivtreet, ser man også at både vanninnholdet og den relative fuktigheten har en mye høyere verdi enn de andre simuleringene, men det oppstår fortsatt ingen fuktproblemer. Videre kan ytre betingelser i form av byggefeil ha en påvirkning, men det blir tatt opp i tredje forskningsspørsmål.

Hvordan vil variasjon i isolasjonsmengde påvirke veggens fukt- og temperaturgradienter?

Variasjon av vakuumisolasjonsmengde vil ikke gi utslag på fuktgradienten, da fuktgjennomstrømning for vakuum er tilnærmet 0. Det er den relative fuktigheten utvendig som påvirker RF grafen til vakuumisolasjon. Når den utvendige luften trenger inn i konstruksjonen blir den varmet opp og den relative fuktigheten vil synke.

Temperaturgradienten vil ha en større endring når det er variasjon i isolasjonsmengden. Ved bruk av lavere isolasjonsmengde vil det bli en større temperaturendring i de andre sjiktene. Som det vises i resultatene for TEK17 konstruksjonen, vil massivtreelementet ha en større innflytelse på oppvarmingen av utemperaturen.

Hvordan vil eventuelle byggfeil, som dårlig tetting, påvirke temperatur- og fuktforholdene i veggen?

Luftgjennomstrømningen som oppstår som følge av byggfeil i form av dårlig tetting og teiping, vil gi et utslag på fukt- og temperaturforholdene. Det kritiske sjiktet mellom massivtreet og vakuumisolasjonen vil ha en økning av vanninnholdet og den relative fuktigheten, men selv om luftgjennomstrømningen er stor eller luftsjiktet har en urealistisk tykkelse på 100 mm som man ser i vedlegg 2, vil det ikke oppstå fuktproblemer i konstruksjonen. Det vil også oppstå en temperaturnedgang som følge av dette sjiktet, men nedgangen vil være minimal.

En luftstrømning kan fortsatt være kritisk dersom det oppstår konveksjon med partialtrykk som drivkraft. Det vil kjøle ned massivtreflaten på elementet og kan føre til fuktskader i det kritiske sjiktet, men dette legges opp til videre forskning.

Det finnes også andre byggfeil som vil føre til et økt fuktforhold i de ytre sjiktene av konstruksjonen. Dette oppstår hvis regnvannet ikke ledes vekk fra veggene, hvis det ikke er tilstrekkelig avstand fra terreng til kledning eller at kledningen ikke er godt nok luftet. Det er også viktig å beskytte trevirke på byggeplassen slik at det ikke oppnår et for høyt innhold av RF før montering, da det som vist i simuleringen var mest kritisk.

8 Videre arbeid

Basert på resultatene vil det ikke være nødvendig å utarbeide mer på fuktpåkjenninger under normale forhold. For tilfellet med luftstrømning som avkjøler massivtreets overflate kan det være interessant for videre forskning eller masteroppgave for å kontrollere om det vil oppstå kondens. Andre tilfeller som kan være interessante er hvordan det oppfører seg i praksis, er det noen påkjenninger som ikke kommer frem ved stasjonære beregninger eller dynamiske simuleringer som kan være kritiske.

Det vil også være interessant å gjøre målinger på bæreevne for å sjekke hvor stor bæreevne disse konstruksjonene har og om det vil være lønnsomt å gå videre med disse løsningene.

Litteraturliste

Aarstad, J. Glasø, G. (2008). *Krysslagte elementer sammenføyd med lim* (digitalisert bilde).

Tilgjengelig fra:

<http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-20.pdf>

(Hentet 29. Mars 2019)

Aarstad, J. Glasø, G. (2008). *Massivtre, treteknisk*. Tilgjengelig fra:

<http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-20.pdf>

(Hentet 29. Mars 2019)

Evans, F.G (2009) *Soppskader på tre*. Trefokus. Tilgjengelig fra:

http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/Fokus_pa_sopp_72IHL.pdf (Hentet

19. Mars 2019)

Grynning et al. (2009) *Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter*. (Prosjektrapport 31). Oslo: Sintef byggforsk. Tilgjengelig fra:

<https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb-prrapp-31.pdf>

(Hentet 11. Mars 2019)

Lotherington, P.B. (2012) *Hva er viktig med luftet kledning?*. Tilgjengelig fra:

<https://byggmesteren.as/2012/06/20/hva-er-viktig-med-luftet-kledning/>

(Hentet: 14. Mai 2019)

Lisø, K.R. (2011) *Hvordan kan byggenæringen oppnå myndighetenes ambisiøse*

energimål? Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/file/index/433> (Hentet den: 19.

Mai. 2019)

Lisø K, Rolstad A (2009). *Nasjonal database for byggkvalitet* (prosjektrapport 34). Oslo: Sintef. Tilgjengelig fra:

https://www.sintefbok.no/book/download/68/vinfopubutgivelserprosjektrapportsintef_byggforsk_prosjektrapportersb_prrapp_34nettsb_prrapp_34pdf (hentet 18. Mai 2019)

Nore, K og Evans, F.G, (2012). *Konstruktiv trebeskyttelse*. Treteknisk. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-53.pdf>
(Hentet 01. April 2019)

Remen, J. Fremtidensbygg (2015) Med tre som byggemateriale, *fremtidensbygg.no*.
Tilgjengelig fra: <https://fremtidensbygg.no/artikler/med-tre-som-byggemateriale/400924>
(Hentet 18. Februar 2019)

Sintef Byggforsk (2001) *Massive treelementer, typer og bruksområder*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive_treelementer_typer_og_bruksomraader
(Hentet: 29. Mars 2019)

Sintef Byggforsk (2014) *Norsk Massivtre*. (Nr. 2498). Oslo: Sintef. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefcertification.no/product/download/3126> (Hentet 29. Mars 2019).

Sintef Byggforsk (2018) *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag#i5 (Hentet 15. Mars 2019)

Trefokus (u.år), *nye byggemetoder gjør tre konkurransedyktig på priser*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/tid-og-penger/nye-byggemetoder-gjor-tre-konkurransedyktig-pa-pris-> (Hentet 04. April 2019)

Trondstad, S. og Steiner, Y. (2008). *Maks. Krymping i radiell, tangentiell og lengderetning* (digitalisert bilde). Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/33-Rett-trelast.pdf> (Hentet 18. Mars 2019)

Tronstad, S. (2006) Trefuktighet - tørking, *treteknisk*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-38.pdf>
(Hentet: 20. Mars 2019)

V1 VEDLEGG 1 EXCEL

V2 VEDLEGG 2 SOMMERTID WUFI

