



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Ulike Sjikts betydning for fuktbalanse til krysslimt tre (CLT)

Importance og different layers in Cross Laminated
Timber (CLT) regarding to moisture balance

Zahra Mousavi

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet som avslutning av mastergraden innen byggeteknikk og arkitektur ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet. Oppgaven omfatter 30 studiepoeng og ble utarbeidet våren 2018.

Trekonstruksjon og innemiljø har alltid vært en noen av de mest spennende temaene for meg. Derfor valgte jeg å skrive en oppgave om krysslaminerte massivtre, som et nytt og miljøvennlig byggemateriale. Det er mange usikkerheter angående fuktighet i materialet, og denne oppgaven kan være relevant både for byggebransjen, forsikringsselskaper og ikke minst produsenter av massivtre. Å jobbe med denne oppgaven har både vært utfordrende og lærerikt. Det å ha ansvar for hele prosessen, fra planlegging, målinger og simuleringer har vært interessant og ikke minst utfordrende.

Jeg vil gjerne benytte anledningen til å takke alle som har bidratt slik at oppgaven ble gjennomført. Spesielt stor takk til mine veiledere Einar Nathan og Tormod Aurlien for god hjelp, gode råd og veiledning underveis. Takk til Olav Albert Høibo, Kristine Nore og Thomas K. Thiis for gode råd og hjelp. Takk til Roar Økseter for hjelp meg med laboratoriearbeidet. Takk til Stergiani Charisi for å hjelpe meg med WUFI simuleringer. Takk til min bror Hadi Mousavi for all støtte og hjelp til laboratoriet forsøkene. En stor takk rettes til min familie og venner for all støtte og hjelp for gjennomføring av graden. Ti slutt vil jeg takke alle som har bidratt med råd og kritikk.

Ås den 04. juni 2018

Zahra Mousavi

SAMMENDRAG

Vannskader på trekonstruksjoner har vært et viktig tema i Norge. I 2014 hadde forsikringsselskapene i Norge mottatt 58 189 meldinger relatert til dette. Raskt tiltak er nødvendig ved slike tilfeller for å begrense skadeomfanget. Man kan nevne muggsopp-skader som et vanlig eksempel på slike skader. (Matsson og Strensrød 2009) Noe som igjen kan føre til dårlig innemiljø og høye utbetalinger fra forsikringsselskapene. Temperatur og fukt påvirker treverk sammen, og bør alltid betraktes i sammenheng. Fuktighet kan transporteres gjennom trevirke både i dampform ved RF lavere enn 98% og som fritt vann ved RF høyere enn 98%. Diffusjon og konveksjon er derfor to viktige mekanismer tilknyttet til fuktskader av trehus. (Fukt i bygninger)

Denne oppgava handler om fuktbevegelser og fuktbalanse i krysslaminert massivtre. Det er studert hvordan limsjiktene i krysslaminert massivtre (CLT) vil påvirke fuktbevegelser gjennom materialet. Til dette ble det hele 50 prøver med en bestemt dimensjon. Dette ble gjort ved kontinuerlig oppfølging av vektendring ved fuktopptak av 3 grupper med sine 8, 18 og 18 prøver som ble plassert i klimaskap. Gruppe (1) med 8 prøver var dekket med kontaktlim og aluminiumfolie på sidene og ble plassert i klimaskap med konstant temperatur på 20 °C og 85% relativ luftfuktighet (RF). De to gruppene med 18 prøver i hver (Gruppe 2 og 3) hadde konstant temperatur på 20 °C, mens den relative luftfuktigheten (RF) for en av gruppene var konstant og lik 85% og hadde en økning fra 75%-95% for den andre gruppa. 6 av prøvene i Gruppe 1 og 6 av de prøvene, enten i gruppe 2 eller 3, med ganske like vekt, som lå i klimaskapet i en viss periode, ble sagt i midten og fuktigheten i CLT-lagene ble målt ved hjelp av en fuktmåler. 6 prøver fra gruppe 2 eller 3 til ble valgt på samme måte. CLT-lagene ble separert fra hverandre ved hjelp av en elektrisk sag og fuktigheten i de separerte lagene ble målt ved hjelp av tørke-veie metoden.

Forsøksresultatene viser at limsjiktet i Krysslaminert massivtre fungerer som dampbrems, men effekten er ikke så stor. Vanndamdiffusjonsmotstanden til limsjiktet er avhengig av fuktinnholdet i materialet og reduseres med økt fuktinnhold. Limet er ikke fordelt likt i alle lag og alle overflater mellom sjiktene noe som også påvirker fuktbevegelser i gjennom CLT-lagene. Man får heller ikke tydelige fuktvariasjoner på begge sider av limsjiktene. Observasjoner viser også at det var ingen tegn av muggsopp på CLT-elementene som har ligget i et miljø med 85% RF ved temperatur på 20 °C i opp til 3 måneder.

Simuleringsprogramet WUFI 2D ble brukt i denne oppgaven for å kunne se på effekten av limsjiktet for fuktbalanse i CLT. Resultatene fra WUFI simuleringer er avhengig av innputt data. Det er vanskelig å få disse resultatene til å stemme overens med virkeligheten. WUFI 2D er derfor ikke godt egnet til simulering av fuktbevegelser i CLT, og resultatene fra simuleringene heller ikke sammenlignbar med resultater fra laboratorieforsk.

ABSTRACT

Water damage to wood constructions has been an important theme in Norway. Insurance companies in Norway had received 58 189 messages related to this in 2014. Rapid measures are needed in such cases to limit the amount of injury. One may mention molding injuries as a common example of such injuries. (Matsson and Strensrød 2009) Something else can lead to poor indoor environment and high payments from insurance companies. Temperature and humidity affect woodwork together, and should always be considered in context. Moisture can be transported through wood both in steam form at RF less than 98% and as free water at RF higher than 98%. Diffusion and convection are therefore two important mechanisms associated with moisture damage of wooden houses. (Moisture in buildings)

This task is about moisture and moisture balance in cross-laminated Timber (CLT). It has been studied how the adhesives in cross-laminated solid wood (CLT) will affect moisture motions through the material. For this, there were a total of 50 samples with a certain dimension. This was done by continuous monitoring of weight change by moisture uptake of 3 groups with 8, 18 and 18 samples placed in a climate hood. Group (1) with 8 samples was covered with contact adhesive and aluminum foil on the sides and was placed in a climate closure with a constant temperature of 20 °C and 85% relative humidity (RF). The two groups of 18 samples in each (Group 2 and 3) had a constant temperature of 20 °C, while the relative humidity (RF) for one of the groups was constant and equal to 85% and increased from 75% -95% to the second group. 6 of the samples in Group 1 and 6 of the samples, either in groups 2 or 3, of equal weight, which lay in the climate closure for a certain period were reported in the middle and the humidity of the CLT layers was measured using a moisture meter . 6 samples from group 2 or 3 to were chosen in the same way. The CLT layers were separated from each other by means of an electrical saw and the moisture in the separated layers was measured by the dry-weighing method.

The test results show that the adhesive layer of cross-laminated solid wood acts as a steam brake, but the effect is not so great. The water vapor diffusion resistance of the adhesive layer depends on the moisture content in the metric and decreases with increased moisture content. The glue is not distributed evenly in all layers and all surfaces between the layers which also affect moisture movements through the CLT layers. Also, there are no clear moisture variations on both sides of the adhesive layers. Observations also show that there were no signs of mildew on the CLT elements that have been in a 85% RF environment at a temperature of 20 °C for up to 3 months.

The WUFI 2D simulation program was used in this task to view the effect of the moisture balance adhesive layer in CLT. The results of WUFI simulations depend on the input data. It's hard to get these results to match reality. WUFI 2D is therefore not suitable for simulation of moisture movements in CLT, and the results of the simulations are also not comparable with laboratory test results.

INNHold

SAMMENDRAG	3
FIGURLISTE	9
TABELLISTE	10
1 INNLEDNING	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Problemstilling	9
1.3 Oppgave begrensninger	10
2 TEORI	11
2.1 Trevirke	11
2.1.1 Gran	11
2.1.2 Anatomi	11
2.1.3 Densitet	12
2.1.4 Krymping	12
2.1.5 Fibermetningspunkt	13
2.1.6 Biologiske skadegjørere	13
2.1.7 Mekaniske egenskaper	14
2.1.8 Porøsitet	14
2.2 Massivtre	15
2.2.1 Krysslimte elementer	15
2.3 Varme	17
2.3.1 Generelt	17
2.3.2 Latent varme	17
2.3.3 Adsorpsjonsvarme	17
2.3.4 Varmetransport	18
2.4 Fukt	18
2.4.1 Vann	20
2.4.2 Luftfuktighet	18
2.4.3 Relativ luftfuktighet	18
2.4.4 Luftfuktighetsdiagram (Mollier-diagram)	19
2.4.5 Utendørs luftfuktighet	20
2.4.6 Innendørs luftfuktighet	20
2.4.7 Poresystemet i materialer	20
2.4.8 Fuktmeikikk	21
2.4.9 Fuktbinding	21

2.4.10	Fuktinnhold i materialer	22
2.4.11	Hygroskopisk fukt –sorpsjonskurver	24
2.4.12	Fukttransport	25
2.4.13	Måling av fukt	28
2.5	Uttørkingsmetoder.....	28
2.5.1	Oppvarming og ventilasjon	30
2.5.2	Avfuktingsaggregater	30
2.6	Målingsutstyr.....	28
2.6.1	Veicelle.....	28
2.6.2	Trefuktmåler.....	29
2.7	WUFI.....	29
3	METODEBESKRIVELSE.....	30
3.1	Generelt	30
3.2	Kvalitativ- og kvantitativ forskningsmetode.....	30
3.3	Reliabilitet og validitet	30
3.4	Valg av metode.....	30
3.4.1	Metodeutvikling	31
3.5	Datainnsamling.....	31
3.6	Simuleringer i WUFI.....	31
4	LABORATORIEARBEID.....	32
4.1	Preparering av prøver	32
4.2	Oppfukting- og uttørkingsprosesser	33
4.3	Bestemmelse av fuktighet i hvert sjikt	34
4.4	Materialer	36
4.5	Utstyr.....	37
5	WUFI SIMULERINGER	37
6	RESULTATER	37
6.1	Preparering av prøver	38
6.2	Laboratoriemålinger	38
6.3	WUFI beregninger.....	43
7	DISKUSJON	46
8.1	Målekvalitet og usikkerhet	46
8.2	Målinger og simuleringer	47
8.3	Omstendigheter	47
8.4	Begrensninger og sammenligning av målinger og simuleringer.....	47
9	KONKLUSJON	48
10	VIDERE ARBEID	49

10	KILDER	50
11	VEDLEGG	50

1 INNLEDNING

Befolkningsvekst og sentralisering er en utvikling som man ser over store deler av verden i dag. Dette har skapt problemer med tanke på tilgang til nok tomtareal. Å bygge i høyde er en effektiv måte å løse dette problemet på. En kombinasjon av denne løsningen med miljøvennlige byggematerialer fører man til en positiv utvikling til de klimautfordringene verden står ovenfor i dag.

Det er et fakta at konstruksjoner blir utsatt for større krefter fra naturen jo høyere en bygg er. Variasjoner i vind, temperatur, fukt og lys har større betydning for høyere bygninger. Stadig flere forskninger blir gjort for å finne betydning av disse faktorene for massivt tre bygninger. I nasjonal sammenheng er det fortsatt lite kunnskap knyttet til materialets fuktegenskaper. I følge byggskadearkivet til SINTEF Byggforsk, omtrent 75% av skadene er tilknyttet fukttekniske problemstillinger. (Trehus boka 2014) Det er derfor bestemt i denne oppgaven å se på lim-sjiktets betydning for fuktbalanse til krysslimt tre (CLT), med fordypning i oppfukting og uttørking av et krysslimt element.

Vannskader på bygninger har vært et viktig tema i Norge. I 2014 hadde forsikringsselskapene i Norge mottatt 58 189 meldinger relatert til dette. Raskt tiltak er nødvendig ved slike tilfeller for å begrense skadeomfanget. Man kan nevne muggsoppskader som et vanlig eksempel på slike skader. (Matsson og Strensrød 2009) På bakgrunn av dette kan denne oppgaven være relevant for byggebransjen.

1.1 Bakgrunn

Det har alltid vært en tradisjon i Norge å bygge boliger av tre. Tre har mange gode egenskaper, som lav egenvekt, høy styrke, god isoleringsevne, god varmelagringsevne, lett tilgjengelighet over nesten hele landet, og er enkelt å bearbeide. Vikingskip og stavkirker er gode eksempler på komplisert byggeteknikk i tre. Derfor var tre et interessant byggemateriale.

Norge er også i dag en av de landene som er godt i gang med å bygge høye bygninger av tre. Tanken var å studere noe som kunne være relevant for byggebransjen samtidig noe som var interessant. Det begynte med å se på en nyskapende anvendelse av store ståldybler, som skulle brukes som forankring mellom CLT-paneler. Det visste seg etter ikke så lenge at ideen ikke er gjennomførbart, siden CLT-panelene ikke kunne oppnå hele 30% fuktinnhold etter planen.

Siden i første tema var fuktinnholdet i krysslagte elementer (CLT) var et viktig, var allerede flere rapporter om dette studert. Siden det var visst flere tilfeller i Palisaden, hvor vannlekkasjer hadde visst seg å tørkes ut igjen i løpet av kortere tid enn vanlig, ønskes det å finne mer informasjon som kunne være relatert til dette. Palisaden er navnet på ”studentbyen”, som ligger i Ås kommune. Bærekonstruksjonen i bygningene er av massivt tre. En av de mottatte rapportene var ”Cross Laminated Timber vs. Timber frame walls in water damage – comparing drying and mould growth” (Kristine Nore et al 2014] som ser på to forskjellige bindingsverksvegger, et av standard bindingsverk og et av krysslagte lameller (CLT). Undersøkelsen visste at de krysslimte lamellene nesten ikke var fuktet i forhold til bindingsverksveggene, etter å ha ligget 48 timer under vann.

Resultatene visste også at de krysslimte lamellene var mindre utsatt for muggvekst, men hadde lengere tørketid sammenlignet med bindingsverksveggene. (Kristine Nore 2014)

Med utgangspunkt i konklusjonen ”Massivtre tar opp mindre fuktighet, men har likevel en lengre uttørkingstid enn bindingsvegger” ble det bestemt å se på om limsjiktet i CLT hadde betydning for denne observasjonen. For dette ønsket vi å se på vanntransport i form av vanddamp. I tillegg var det ønskelig å se om resultater fra WUFI-beregninger, som er et program brukt av byggebransjen for beregning av fukt og fuktskader i konstruksjoner, samsvarte med resultater fra det virkelige forsøket.

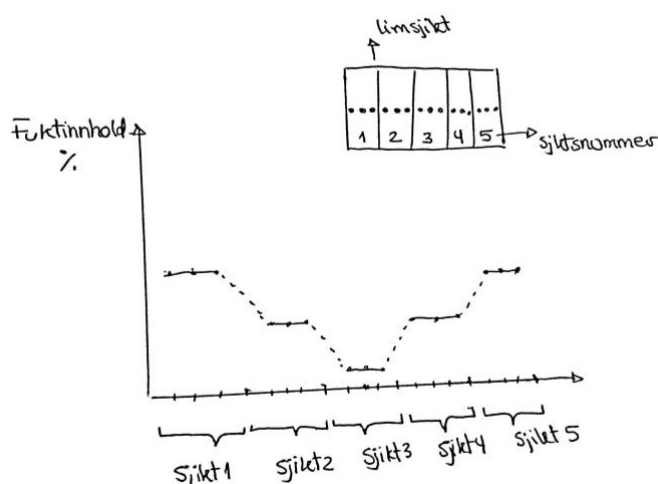
Tidligere var det skrevet en masteroppgave i 2015, som var relatert til dette temaet hvor de hadde sett på tiden for oppfukning og uttørking av CLT ved å legge CLT-elementene under vann i ulike tidsperioder, og tørket dem ut igjen.

1.2 Problemstilling

Hensikten med oppgaven er å måle å simulere oppfukning og uttørking av krysslimte massivtre elementer (CLT) for å kunne si noe om limsjiktets betydning for oppfukning og uttørking av disse elementene. Elementene er simulert i WUFI 2D.

I denne oppgaven skal det undersøkes om disse hypotesene er sanne. Hypotesene som blir undersøkt er :

- Limsjiktet i krysslaminert massivtre (CLT) fungerer som dampbrems slik at det er forventet tydelige forskjell mellom fuktinnholdet på to sider av lim i to sjikt, som er limt sammen. Tabellen under viser forventning av mottatt resultat



Figur 1 viser hypotese for fuktinnhold i ulike sjikt i krysslimt tre-element (CLT)

- WUFI 2D er godt egnet til simulering av fuktbevegelser i CLT og er en god tilnærming til den praktiske delen, som skal utføres i laboratoriet
- Man får muggsopp på CLT-elementene etter å ha ligget i et miljø med 85% RF og 20 °C i 2 måneder

Forskningsspørsmålet ti denne oppgaven er å finne om disse hypotesene er sanne eller ikke.

1.3 Oppgave begrensninger

Masteroppgaver skrives i løpet av et semester, noe som gjør at oppgaven blir avgrenset i både tid og omfang. Derfor er det nødvendig å sette noen begrensninger. Omfanget i denne oppgaven ble også begrenset på grunn av tidsbegrensninger, og det ble valgt å se på hvordan oppfukting og uttørking av en massivtre-element foregår ved en bestemt tidsperiode og om lim-sjiktene har noen påvirkning på disse prosessene.

Det sees ikke på lyd, lys eller psykiske påkjenninger av materialbruk. Det er heller ikke tatt hensyn til det helsemessige aspektet ved fukt.

2 TEORI

Mye av litteratur i dette delkapittelet er hentet fra trehusboka 5 (2014), byggforsk blader og rapporter fra treteknisk.

2.1 Trevirke

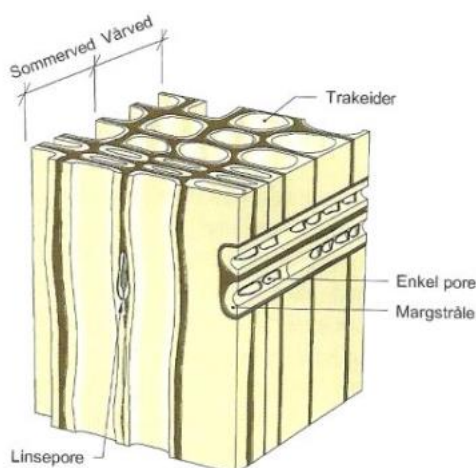
2.1.1 Gran

Skog er en viktig råvareressurs i Norge. Bruk av tre som byggematerialet har vært en tradisjon i Norge veldig lenge, hvor gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestri*) benyttes mest. Bruk av treverk som byggemateriale vil ha et positivt inntrykk til reduksjon av CO₂-tilførsel til atmosfæren.

2.1.2 Anatomi

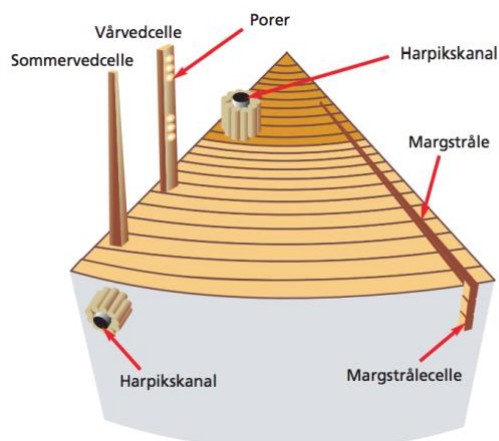
Tre består i hovedsak av cellulose, hemicellulose og lignin. Cellulose er hovedkomponenten i cellene, som består av lange repeterende glukoseenheter.

”Ca. 95% av granveden består av trakeider, også kalt fibre.” (Fokus på tre nr 28). Trakeider er lange celler, som kan være opptil 6 mm lange. Granfiber er svært ettertraktet i treforedlingsindustrien fordi de har en fiberlengde som er blant de lengste vi finner i naturen. Granveden består ellers stort sett av margstråleceller (tverrgående parenkymceller og trakeidale celler) og noe langsgående parenkymceller.



Figur 2 Viser "skjematisk oppbygging av fiberstrukturen i bartre med langstrakte celler" [Edvarsen & Ramstad 2014]

Vann og næringsstoffer blir transportert mellom cellene gjennom flere typer porer. Vanntransporten mellom trakeidene foregår gjennom såkalte linseporer, mens mellom parenkymcellene finnes såkalte enkle porer. Forbindelsen mellom en trakeide og en parenkymcelle kaller man en halvlinsepore.



Figur 3 Viser oppbygging av bartrær (Fokus på tre nr. 40)

Granveden har en lys gulhvitt farge og vedens årringer er tydelige. Granveden har en lav pH på omtrent 4,5.

2.1.3 Densitet

Gran er forholdsvis lett treslag, med høy styrke og stivhet i forhold til densiteten. Noe som gjør at gran er godt egnet til konstruksjonsvirke. Den gjennomsnittlige tettheten av norsk gran ligger på henholdsvis cirka 430 kg/m^3 ved helt tørr tilstand og rundt 470 kg/m^3 ved rundt 12 vektprosent fukttinnhold. (trehus boka) Fuktopptak fra omgivelsene vil øke densiteten i trevirke.

Densiteten er forholdet mellom masse og volum, og angis sammen med fukttilstanden til treslaget. Densitet kan beregnes ved bruk av denne formelen:

$$\rho = \frac{m}{v} [\text{kg/m}^3]$$

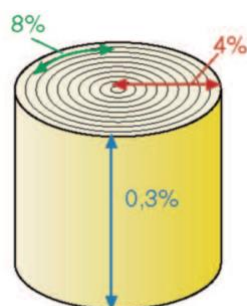
Hvor:

m står for masse [kg]

v står for volum [m^3]

2.1.4 Krymping

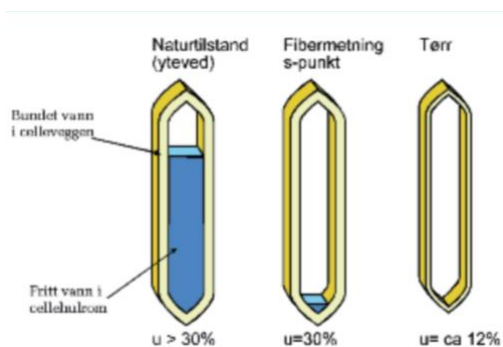
Gran krymper ganske lite. En fuktighetsendring fra fibermetningspunktet med omtrent 30 % fukttinnhold til 0 % fuktighet forårsaker 7,5 - 8 % tangentiell krymping, 3,5 - 4 % radiell krymping og 0,1 - 0,3 % krymping i lengderetning.



Figur 4 viser "Maks. krymping i radiell, tangentiell og lengderetning" [fokus på tre nr. 40]

2.1.5 Fibermetningspunkt

Fibermetningspunktet defineres med den trefuktigheten hvor trevirke ikke kan ta opp mer bundet vann i fiberveggen, og oppnås ved å utsette trevirke for 100% RF over lang tid. Etter at fibermetningspunktet er oppnådd vil fuktighet bli tatt opp som fritt vann i cellehulrommene. (tre fokus, 38) Fibermetningspunktet er avhengig av treslag og temperatur. Fibermetningspunktet for gran ligger på 28 – 30 vektprosent, som tilsvarer ca. 95 – 98 % RF avhengig av temperaturen. Fibermetningspunktet for gran ved 20 °C er ca. 28 vektprosent (fukt i bygninger 2002)



Figur 5 viser celler med forskjellige vanninnhold [fokus på tre nr. 40]

2.1.6 Biologiske skadegjørere

En rekke levende organismer kan under visse forhold ødelegge tre. De kan høre til en av gruppene bakterier, sopp, insekter eller marine borere. Biologiske skadegjørere er samlebetegnelsen for disse organismene, som kan spalte cellulose, hemicellulose og lignin til enklere organiske forbindelser.

Tørt tre vil ikke råtne. Med tørt tre mener man trevirke med lavere enn 20 vektprosent fuktinnhold. Fuktinnhold nært eller høyere enn fibermetningspunkt i trevirke vil føre til råte- og soppkader. Sopper deles hovedsakelig i to grupper, fargeskadesopper og råtesopper. Fargeskadesopper vil ikke redusere treets mekaniske styrke, men vil skade treets farge og utseende. Derimot råtesoppene vil svekke treets holdfasthet vesentlig.

Ekte hussopp, *Serpula lacrymans*, er en annen type sopp som normalt finnes kun i hus, og kan føre til store fuktskader og krever omfattende reparasjoner. I følge sintef Byggforsk vil en fuktighet på 20 vektprosent eller høyere føre til vekst av ekte hussopp (link). Det optimale vekstforholdet av denne

sopparten er 18 – 21 °C ved 30 – 40 vektprosent fuktinnhold. Soppen overlever ikke ved høyere temperatur enn 40 °C. (Fokus på tre- 72)

Vekst av muggsopp i trebygninger er også et problem. I følge SINTEF vil muggsopp vokse når den relative luftfuktigheten (RF) ligger over 80% og temperaturen ligger mellom 5-50 °C. Ved temperaturer lavere enn 5 °C vil ikke muggsopp vokse med mindre RF ligger over 90%.

<https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/nasjonalt-fuktseminar/akseptabel-fuktilstand-mot---maria-n.pdf>

2.1.7 Mekaniske egenskaper

Stål, tre og betong er hovedmaterialer innen konstruksjonsbygg, derfor er det viktig for byggebransjen å kjenne til de mekaniske egenskapene i disse materialene.

I bygningsfysikk defineres betong og stål som isotropmaterialer, mens tre karakteriseres som anisotrop. Det begrunnes med for eksempel fordi treets ulike fasthetsegenskaper i sine tre ortogonale plan, det vil si radialretning, lengderetning og tangentialretning.

Et materiale med identiske egenskaper uansett retning kalles for et isotropmateriale, og omvendt materialer som har retningsavhengige egenskaper kalles for anisotropmateriale.

2.1.8 Porøsitet

Porøsiteten til et materiale er forholdet mellom volumet av porer/hulrommene og dets totalvolum, og varierer derfor mye ut fra valg av materialet. Porøsitetstallet n kan beregnes for et materiale med

$$n = 1 - \left(\frac{\rho}{\rho_{sol}} \right)$$

hvor

ρ = materialets romdensitet [kg/m^3]

ρ_{sol} = densiteten av materialets faststoff, uten porer [kg/m^3]

Et hygroskopisk materiale kan ta opp fukt i poresystemet. Trevirke er eksempel på et hygroskopisk materiale. Trevirke vil alltid inneholde en viss prosent relativ fuktighet. Treets vanddamppermeabilitet er lav, men øker etter hvert som fuktinnholdet øker.

Vanddamppermeabilitet (δp), er et mål for vandamprtransport gjennom et materiale (Noreng 1995).

Materialer med høyt porøsitetstall kan binde mer fukt i poresystemet og regnes som hygroskopiske materialer. (Fukt i bygninger, 2002) Et hygroskopisk materiale kan både absorbere og felle ut fuktighet. Trevirke er et eksempel på et hygroskopisk materiale. Slik materiale inneholder alltid en viss mengde relativ fuktighet avhengig av egenskapene til miljøet materialet ligger i. Et hygroskopisk materiale kan oppnå likevekt med RF i omkringliggende luft etter å ha blitt lagret i

omgivelser med konstant temperatur og relativ fuktighet. Fuktigheten ved likevekt kalles for likevektsfukten. (Kristensen 2001) Tre har lav vanndampermeabilitet, (δp), men øker med økende fuktinnhold. Vanndampermeabilitet sier noe om hvor mye vanndamp transporteres gjennom et materiale. (Noreng 1995)

Treverk og de aller fleste bygningsmaterialer er hygroskopiske. Derfor er det nødvendig med fuktsikring i bygninger.

2.2 Massivtre

Behovet for nye rasjonelle og miljøeffektive konstruksjonsløsninger i vår tid har ført til utvikling av nye byggesystemer. Bygging med massivtreelementer er ett av de løsningene. Massivtre produksjon begynte tidlig på 1990-tallet i Mellom-Europa, og beveget seg videre til Norden, slik at bruk av massivtreelementer til bolighus, fleretasjes hus, næringsbygg, barnehager og skoler er en anerkjent byggemetode.

Valg av Massivtre som byggemateriale gir mulighet for fleksible bygninger ved å kunne tåle store punktlaster. Den lave vekten av treverk i forhold til andre bygningsmaterialer er også noe som gjør den til et attraktivt valg.

Lameller settes sammen til elementer ved hjelp av spiker, skruer, tredybler, lim eller stålstag, og kalles massivtreelementer. Elementets funksjon og bruksområde bestemmer dets tykkelse og antall sjikt.

Massivtreelementer deles inn i to hoved kategorier: (fokus på tre-20)

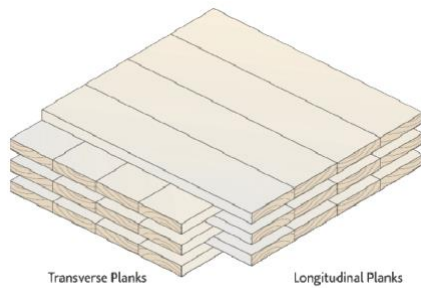
- Kantstilte elementer, som er fellesbetegnelse for stående lameller som settes sammen ved hjelp av skruer, spiker, tredybler eller stålstag
- krysslagte elementer, som er fellesbetegnelse av lameller i forskjellige sjikt, lagt 90 eller 45 grader i forhold til hverandre, satt sammen ved hjelp av lim eller tredybler

2.2.1 Krysslimte elementer

I denne oppgaven har vi fokusert på krysslagte elementer sammenføyd med lim, hvor elementene ligger 90 grader i forhold til hverandre. (Fokus på tre -20) Tykkelsen på elementene varierer fra 60 mm til 280 mm (mulighet opp til 400 mm), og kan være opptil 20 m lang (Hasslacher Nordica) . Antall sjikt kan være 3, 5 , 7 eller 9. Yttersjiktene er vanligvis av virke med høy kvalitet for å oppnå ønskede spennvidder og tiltalende overflater.

Den krysslimte oppbygningen gir gode egenskaper slik at de kan brukes både som lastbærende og avstivende elementer. Derfor har man mulighet til å bruke dem til forskjellige formål som blant annet som yttervegger, innvendige vegger og skillevegger.

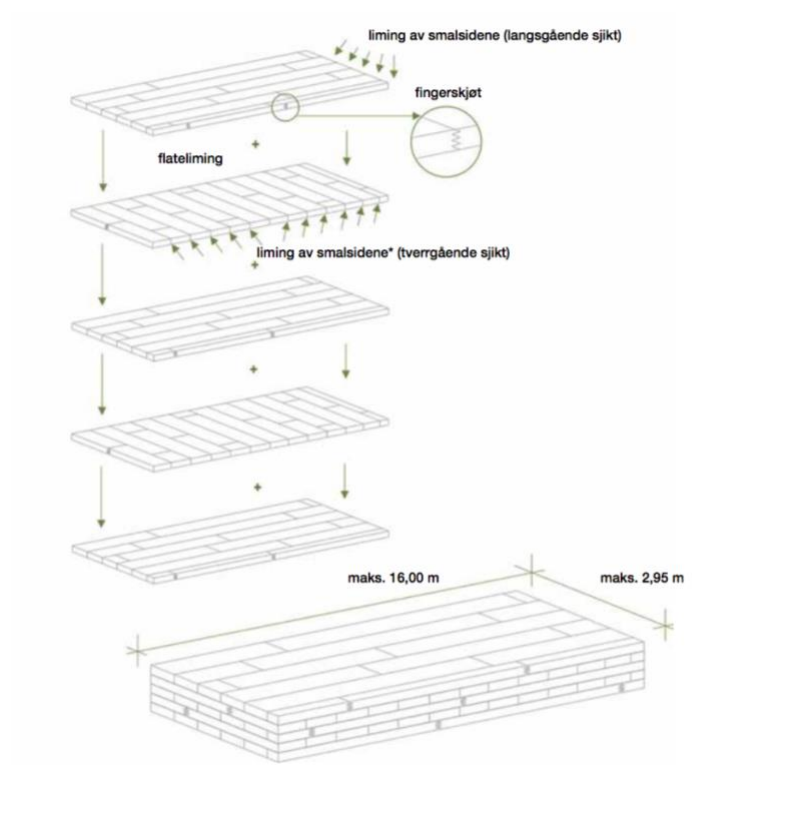
<http://woodcon.no/download/TechnischeNO.pdf>



Figur 6 viser hvordan lagene i krysslimte elementer er lagt i forhold til hverandre

<http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/TTWB-2014-Breneman-CLT-Floor-Design.pdf>

CLT (Krysslagte massivtreelementer) har mange bruksområder og som alle treverk kan påvirkes av temperatur og den relative fuktigheten i omkringliggende miljø. Derfor bør man tenke fuktsikker byggeprosess så tidlig som mulig i et prosjekt.



Figur 7 viser et eksempel på oppbygning av en CLT-plate med 5 sjikt [<http://woodcon.no/download/TechnischeNO.pdf>]

2.3 Varme

2.3.1 Generelt

”Varme er en form for bevegelsesenergi. Molekylene eller atomene som alle stoffer er bygd opp av, svinger eller vibrerer avhengig av stoffets temperatur” (Trehus boka)

2.3.2 Latent varme

Latent varme defineres som en varmemengde som må til for at et stoff går fra en form til en annen, faseovergang. Ved faseovergang kreves det mye energi. Det fører til økning i materialets varmeinnhold, mens temperaturen til stoffet blir uendret. Enheten til latent varme er J/kg (Geving & Thue 2002).

Den faseovergangen hvor stoffet får fra damp form til fast form kalles sublimasjonsvarme, H_s . (Mühlberg 2008):

$$H_s = H_i + H_v$$

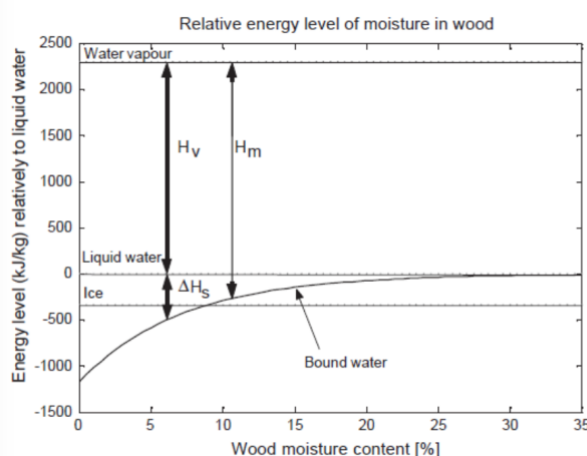
Hvor:

H_i er smeltevarme

H_v er fordampningsvarme

2.3.3 Adsorpsjonsvarme

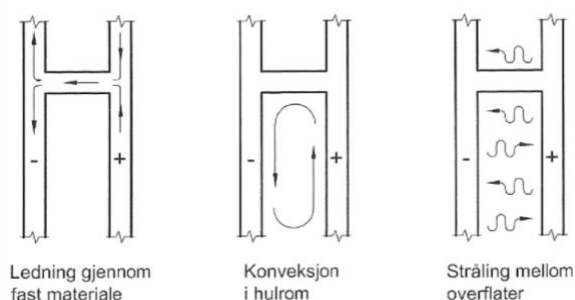
Når vannmolekyler binder seg til en fast overflate kalles denne prosessen for Adsorpsjon. Det kreves mer energi for at adsorbent vann skal omformes til damp i forhold til omdannelse av flytende vann til damp. Dette fordi vannmolekyler som blir adsorbent til et materiale har lavere damptrykk enn flytende vann. (Hameury 2005).



Figur 8 viser energinivået ved ulike fuktinnhold [SIAU 1984]

2.3.4 Varmetransport

Varmetransport kan foregå ved ledning, konveksjon og stråling. Varmetransport forårsaker temperaturvariasjoner gjennom en konstruksjonsdel, og kan dermed føre til fukttransport.



Figur 9 viser de tre formene for varmetransport i en bygningsdel [Edvardsen & Ramstad 2014]

2.4 Fukt

2.4.1 Luftfuktighet

Lufta inneholder alltid en viss mengde vann i form av usynlig vanndamp, som kalles for luftfuktighet. Det absolute fuktinnholdet forteller om hvor mye vanndampinnholdet i lufta er, og kan angis på 3 måter:

- Vanndampinnhold, v i $[g/m^3]$
- Vanndamptrykk også kalt for vanndampens partialtrykk eller bare damptrykk, p_v i $[N/m^2]$
- Fuktgrad, som betyr vanndampmasse per kg tørr luft, x i $[kg/kg]$

Både vanndampinnholdet og vanndampens partialtrykk bestemmes fra luftfuktighetsdiagrammet, det vil si Mollier-diagrammet. (se punkt 2.4.4)

Det finns en øvre grense for hvor mye vanndamp lufta kan inneholde ved enhver temperatur. Lufta er mettet ved denne grensen, og temperaturen ved metning kalles for duggpunktstemperatur eller bare duggpunkt. Vanndampinnholdet ved duggpunktet kan angis i g/m^3 .

Ved temperatursenkning klarer ikke lufta å holde på like mye vanndamp og overskuddet vil felles ut som kondens på materialoverflater.

2.4.2 Relativ luftfuktighet

Luftens fuktinnhold kan også angis som relativ fuktighet (RF). Relativ luftfuktighet uttrykker mengden vanndamp i prosent i forhold til meningsinnholdet ved den aktuelle temperaturen.

Formel som kan brukes for beregning av relativ luftfuktighet er:

$$RF = \frac{v}{v_{sat}} 100 \%$$

Hvor:

RF er den relative luftfuktigheten

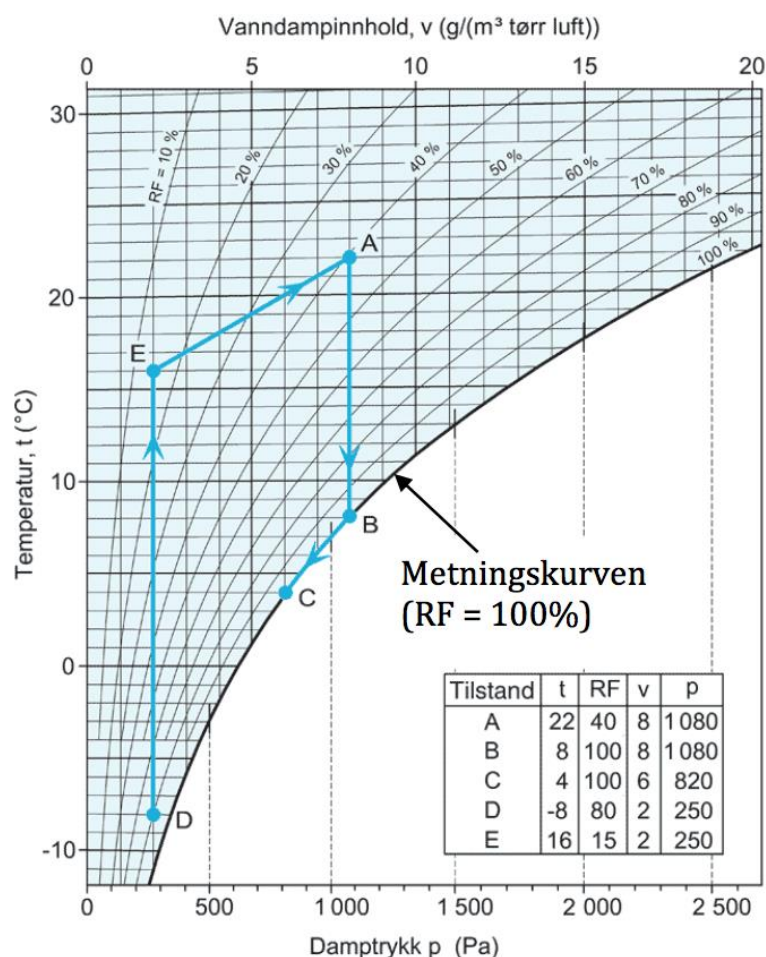
v er luftens vandampinnhold

v_{sat} er luftens meningsinnhold

Mengde luftfuktighet er sterkt avhengig av luftas temperatur, og ved fullmetning kan lufta inneholde opptil 100 % RF. Luft med høyest temperatur vil ha høyere absolutt fuktinnhold, selv om de har samme RF. Dermed må relativ fuktigheten alltid oppgis sammen med den aktuelle temperaturen.

2.4.3 Luftfuktighetsdiagram (Mollier-diagram)

Luftfuktighetsdiagrammet viser forholdet mellom temperaturen, RF, vandampinnholdet og vandamptrykket. Diagrammet brukes for eksempel ved beregning av vandampinnhold og vandamptrykket når man kjenner temperatur og RF. Beregninger kan brukes videre til vurderinger av kondensproblemer og beregning av duggpunktet.



Figur 10 viser "Luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom temperatur, RF, Vandampinnhold og damptrykk" [Geving 2005]

2.4.4 Utendørs luftfuktighet

Uteluftens fuktighet varierer mye i løpet av året og er forskjellig i ulike deler av landet. Den relative luftfuktigheten vil vanligvis være lavest om våren og høyere om høsten og vinteren. Men på grunnlag av den lave temperaturen om vinteren vil vanndampinnholdet være svært lite om vinteren, til tross for høye relativ fuktigheten. Mens om sommeren er luftfuktigheten høy. RF vil også variere i løpet av døgnet, slik at RF om natta er mye høyere enn på dagtid. Grunne er den lave temperaturen om natta, og medfører at luften kan holde på lavere fuktighet. Ved regnvær og tåke ligger relative fuktigheten rundt 100 % RF.

2.4.5 Innendørs luftfuktighet

Den relative luftfuktigheten er lavere inne i konstruksjoner i forhold til RF ute. Luftfuktigheten har en stor betydning både for egenskapene til bygningsmaterialer, og deres levetid, samt innendørs komfort. Svært tørr luft innendørs kan forårsake ubehag, statisk elektrisitet og uttørking av hud og slimhinner. Fukt kan også være problematisk og føre til korrosjon, soppvekst, annen biologisk aktivitet og helseskadelige emisjoner fra enkelte typer materialer.

Innendørs luftfuktighet kan bestemmes av en del faktorer:

- Fuktighet og mengde av ventilasjonslufta man ventilerer med, som vanligvis er utelufta
- Innendørs fukttilskudd

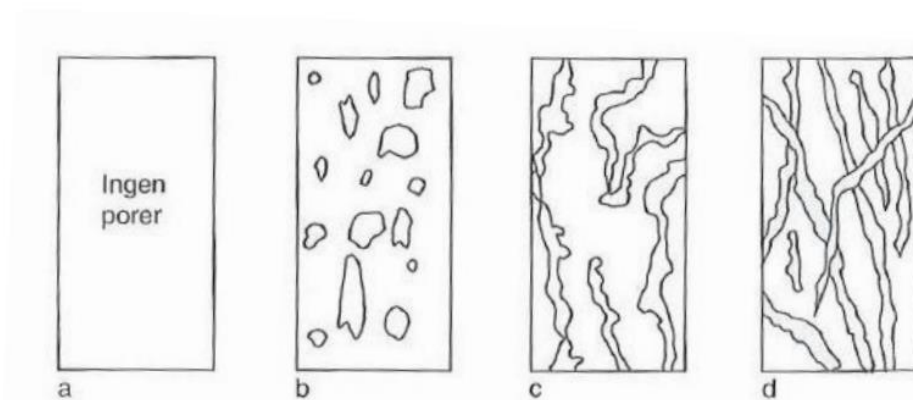
Fukttilskuddet viser samlede effekten av fuktproduksjon, luftskifte og bygningsvolum, og er dermed et godt mål på fuktbelastning

2.4.6 Poresystemet i materialer

Porer ble nevnt i pkt. 2.1.8. Porøsitet og porer henger alltid sammen. Kunnskap om poresystemet i materialer er viktig i forbindelse med fuktopptak og fukttransport i et materiale. Porediameteren til ulike materialer varierer ganske mye og kan deles i ulike nivåer. Størrelsen av porene bestemmer hastigheten til fukttransport i materialer.

Figur 5 viser Et forenklet bilde av poresystemet til materialer, hvor:

- a) Ingen porer for eksempel metall
- b) Kontinuerlig faststoff med lukkede porer for eksempel skumglass
- c) Både faststoff med kontinuerlig poresystem for eksempel tre og betong
- d) Diskontinuerlig faststoff for eksempel mineralull og sand



Figur 11 viser et forenklet bilde av poresystemer til materialer [Geving & Thue 2002]

2.4.7 Fuktmekanikk

Fukt- og varmetransport er sammenhengende prosesser som påvirker hverandre, og bør alltid betraktes sammen. Fuktbevegelser i materialer er også avhengig av dets poresystem og hygroskopiske egenskaper. Hygroskopiske materialer kan ta opp eller avgi fukt i form av vanndamp eller som væske, se pkt. 2.1.8.

2.4.8 Fuktbinding <http://www.bygningsfysikk.no/Fuktmekanikk.php>

Stort sett alle hygroskopiske materialer vil ta opp fuktighet når de blir utsatt for fuktighet i form av vanndamp eller væske. Ved fuktbinding vil en mengde varme, som kalles for sorpsjonsvarme, bli frigjort av materialet. Mengden sorpsjonsvarme øker med styrken på bindingskreftene. Fuktbinding kan være på to måter, fysisk og kjemisk tilstand. Damptransport i et materiale ved en viss temperatur

Materialets egenskaper forandrer seg når fuktinnholdet i det endrer seg. Mengde vanninnhold i materialet har stor betydning for materialets egenskaper, for eksempel varmeledningsevnen øker med opptak av fukt i materialet.

Adsorpsjon

Bindingen mellom gass- eller væskemolekyler til overflatelaget (porenes overflate) til et annet materiale kalles for adsorpsjon. Størrelsen av adsorpsjonskrefter er avhengig av type materiale. Alle væske- og gasmolekyler kan bli adsorbent på poreveggene, vannmolekylene vil danne sterkere binding på grunn av sin dipole struktur.

Kapillærkondeksjon

Kapillærkondeksjon handler om bygningsmaterialets evne til å ta opp fuktighet i form av fritt vann og kan være relevant i forhold til slagregn og grunnvannpåkjenninger på bygningsdeler.

2.4.9 Fuktinnhold i materialer

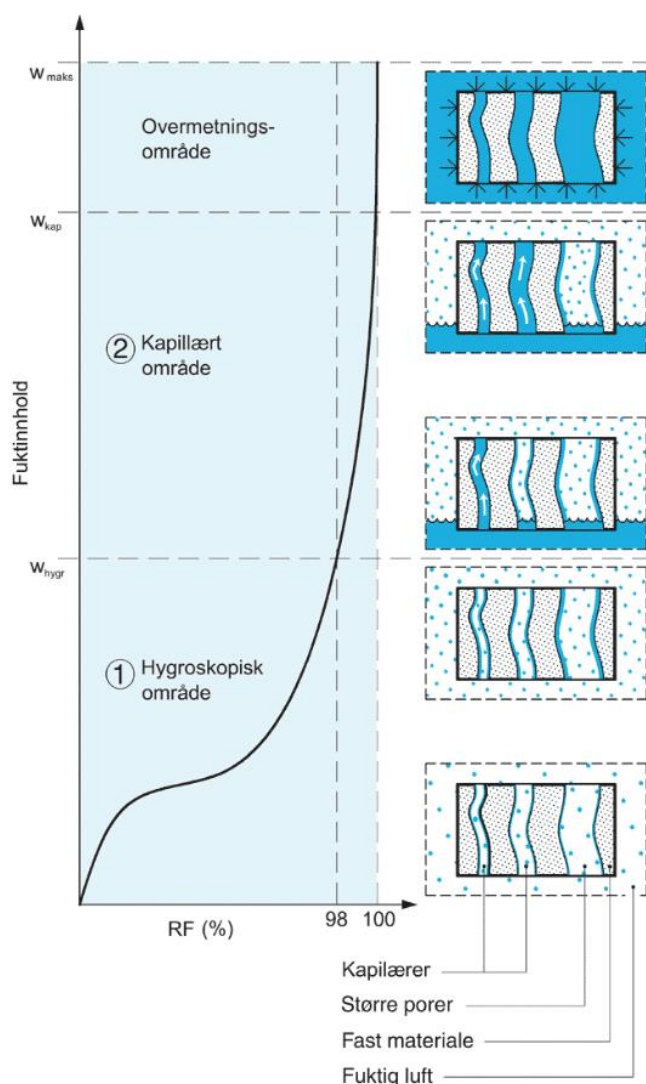
Fuktinnholdet i et materiale angir forholdet mellom den totale mengde vann som finnes i materiale og materialets tørrvekt. (Mattsson og Stensrød 2009) Fuktinnholdet i et materiale finnes ved å veie et materialet før og etter uttørking. Fuktinnholdet i et materialet kan oppgis på flere ulike måter: (Geving og Thue 2002)

- Fuktmasse per tørrstoffmasse, u [kg/kg] eller vektprosent
- Fuktmasse per materialvolum, w [kg/m³]
- Fukt volum per materialvolum, ψ [m³/m³] eller volumprosent
- Metningsgrad eller fukt volum per porevolum, s [uten enhet]

Den mest vanlige måten å angi fuktinnholdet i et konstruksjonsmateriale er fuktmasse per tørrstoffmasse.

Fukt- og varmetransport er avhengig av hverandre. En økning av fuktinnholdet vil føre til økt varmekonduktivitet i materialet. Fordampning og kondensasjon påvirker temperaturen, og denne temperaturforskjellen fører til fukttransport. (Gautstavsén 2010)

Fuktigheten i materialer kan samles i materialer på tre ulike områder i materialet, ut fra materialets egenskaper og mengde fuktighet i dem. Disse tre områdene, hygroskopisk område, kapillært område og overmetningsområde, er karakteristisk for hygroskopiske og kapillæraktive bygningsmaterialer, som for eksempel betong og tre. Isolasjon er et eksempel på et overmetningsmateriale. (Geving og Thue 2002)



Figur 12 viser fuktopptak i porøse materialer [Geving 2005]

For fysiske bindinger er det også tre ulike bindingstyper, altså adsorptivbinding, osmotiskbinding og kapillærkondensasjon. Den osmotiske bindingen skyldes salter som fører til redusert vanntrykk i materialer. Som regel ser man bort fra denne effekten, siden saltmengde er som regel veldig små. (Bygnings fysikk ntnu webside)

Fuktinnholdet (w) kan beregnes ved hjelp av formelen (Thue 2012):

$$w = \rho \cdot (m_w / m_0) = \rho_0 \cdot u$$

Hvor:

w er materialets fuktinnhold i $[\text{kg}/\text{m}^3]$

u er materialets fuktinnhold i $[\text{kg}/\text{kg}]$

ρ_0 er materialets tørrdensitet i $[\text{kg}/\text{m}^3]$

m_w er vannmassen som kan fordampes i $[\text{kg}]$

m_0 er tørrstoffmasse i $[\text{kg}]$

Den mest vanligste måten å beregne fuktinnholdet i tunge konstruksjonsmaterialer er å dividere fuktmassen på tørrstoffmassen. (Geving og Thue 2002)

Fuktinnholdet kan lagres i tre forskjellige områder som kalles for hygroskopiskområde, kapillærområde og overmetningsområde.

- Det hygroskopiske området er likevekts fuktinnhold i lufta og variere med den relative luftfuktigheten. I teorien vil den øvre grensen for det hygroskopiske området (w_{hygro}) nå ved 100 % relativ luftfuktighet, men siden det er vanskelig å holde den relativ luftfuktigheten konstant, vil den øvre grensen variere mellom 95 – 98 % . (Geving og Thue 2002)
- Det kritiske fuktinnholdet, w_{cr} , ligger litt over det hygroskopiske område. Det skjer når fuktinnholdet blir høyere enn 98% og porevannsystemet blir kontinuerlig og fukttransporten foregår ved vannstrømning. Kapillærmetning w_{cap} foregår i det kapillære område og oppstår når et materiale blir utsatt for fritt vann over lengre periode. Fuktinnholdet i det kapillære område angis vanligvis som funksjon av porevannsundertrykk, som er et mål på den kapillære sugekraften. (Geving og Thue 2002)
- Når et materiale oppnår fullmetning, w_{max} , ligger den i det overmetningsområde. For at et materiale skal gå over til overmetningsområde må all luft i materialets poresystem fjernes. Dette kan gjøres i laboratoriet enten ved hjelp av vakuumbehandling eller koking. (Geving og Thue 2002)

2.4.10 Hygroskopisk fukt –sorpsjonskurver

Fuktinnholdet i et hygroskopisk materiale, som har ligget i klima med konstant temperatur og relativluftfuktighet, vil tilpasse seg omgivelsens relative luftfuktighet og temperatur. Vektendringen er raskere ved starten, men hastigheten reduseres gradvis til et vendepunkt, hvor hastigheten øker igjen. (Geving og Thue 2002) Når vanndamptrykket i et materiale er like stor som luftas vanndamptrykk, vil ikke fuktigheten endre seg lenger. Denne fuktighetstilstanden kalles for likevektsfuktighet.(Geving og Thue 2002)

Sammenhengen mellom materialetsfuktinnhold i vektprosent og den relative luftfuktigheten til omgivelsen uttrykkes ved en sorpsjonskurve. (Gyproc Håndbok nettside) Sorpsjonskurve defineres kun i idet øvre hygroskopiske område det vil si opp til 98 % relativ fuktighet. (Geving og Thue 2002)

Generelt kan et sorpsjonskurve deles i tre hoveddeler (Geving og Thue 2002)

- 1) Hurtig fuktopptak i starten når materiale har lavt fuktinnhold.
- 2) Hastigheten synker etter hvert og den likevektsfuktigheten vil vokse proporsjonalt med den relative fuktigheten. Grunnen til dette er relasjonen mellom de dampmolekylene som vil henge seg fast på vannhinna og de molekylene som vil rive seg løs fra andre molekyler.
- 3) Siste delen av kurva viser at den relative fuktigheten øker igjen fordi den kapillærkondensasjonen blir for sterk.

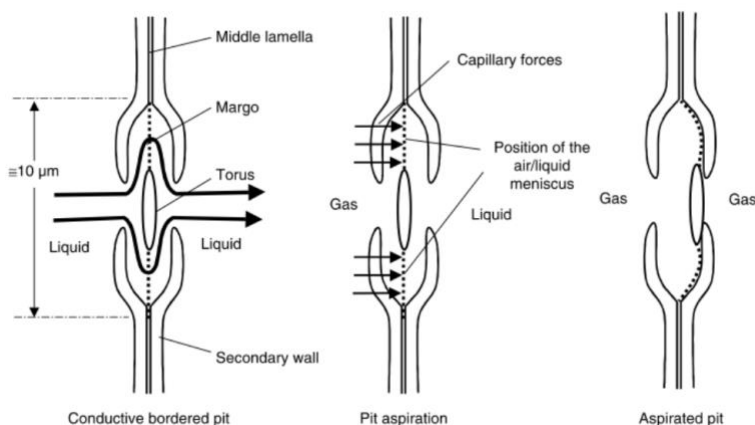
2.4.11 Fuktttransport

Fuktttransporten i treet foregår i tre retninger:

- 1) Lengdestrømning, som er i treet's lengderetning
- 2) radialstrømning, som er fra treet's overflate og inn mot margen
- 3) tangentialstrømning, som følger årringens kurve

Alle fibre er hule i sentrum. Fiberens ender er lukket slik at det kan beskrives som et rør med lukkede ender. Selve hullrommet heter lumen, mens veggene kalles cellevegger. Alle fibre er celler. På en vedcelle er det smultringformede sirkler og andre irregulære åpninger i veggene. Dette er porer som går gjennom fiberveggen for å sørge for en åpning fra fiberens hulrom og til fiberens utside. Alle fibre har disse åpningene. Disse porene er festet sammen med tilstøtende fibre, slik at porene sørger for transport av væske og oppløste mineralstoffer fra en fiberlumen til en annen. Porene har en meget viktig funksjon, spesielt ved tørking og impregnering av materialer.

Fukt kan transporteres i materialer enten som damp eller i væskeform.



Figur 13 viser hvordan linseporene reagerer på kraften de blir utsatt for [Peere & Key 2006]

Vandamptransport kan foregå enten ved diffusjon eller fuktkonveksjon. Vandampdiffusjon er når vandampmolekylene flytter seg fra et område med høyt damptrykk til område med lavere damptrykk. Men når vandamptransporten foregår på grunn av forskjell i lufttrykk, og transporten skjer ved hjelp av luftstrøm, kalles det for fuktkonveksjon. (Geving 2011)

Fuktttransport i et materiale i væske form kan skje på grunn av tyngdekraften, vannovertrykk, vindtrykk eller kapillærekrefter.

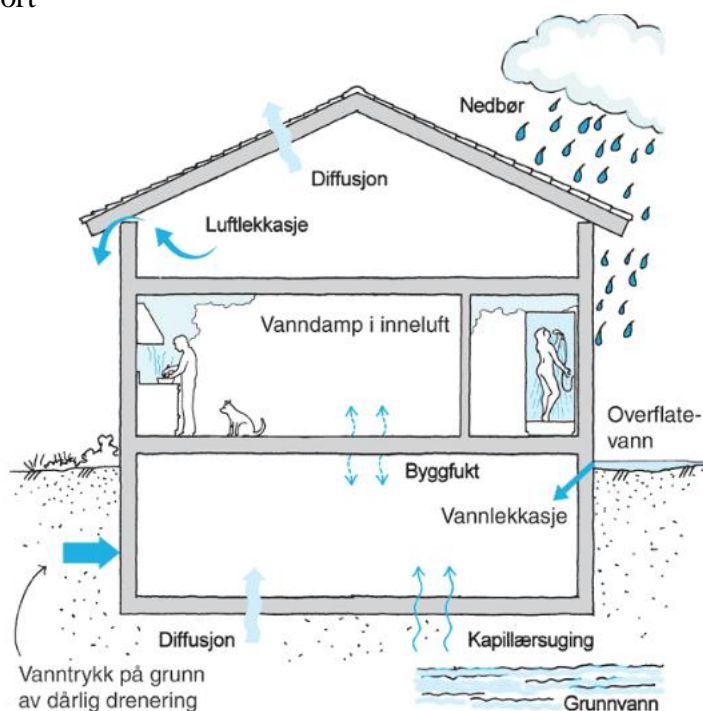
I praktisk sammenheng finnes det flere fuktttransporterende mekanismer innen treverk og CLT. Men alle disse foregår enten ved vandampstilstand eller som væske. Mange forskere mener at det er vanskelig å skille disse mekanismene, og at det er mulighet for at transporten foregår både som væske eller som vandamp. (Geving og Thue 2002)

Fuktttransportmekanismer

For å beregne fuktttransport i bygningskonstruksjoner er det tre fuktmekanismer som har størst betydning:

- 1) Diffusjon
- 2) Konveksjon

3) Kapillærtransport



Figur 14 viser "Vanlige fuktpåkjenninger og transportformer" [Geving 2005]

Vanndampdiffusjon

Fukt kan transporteres inn i konstruksjonen ved diffusjon av vanndammolekyler inn gjennom materiallagene i konstruksjonen. Driveeffekten i denne prosessen er forskjellen mellom vanndampens partialtrykk i luften på to sider av konstruksjonen. Fuktdiffusjon kan reduseres ved hjelp av en innsatt dampsperre i konstruksjonen som kan hindre fukttransporten på grunn av sin høye diffusjonsmotstand. (Gyproc håndbok)

I følge (Geving 2011) kan man redusere problemene, forårsaket av vanndampdiffusjon, ved bruk av en lufttett og diffusjonsåpen vindsperre på den kalde siden av en konstruksjon og en lufttett og diffusjonstett dampsperre på den varme siden av konstruksjonen. (Geving 2011)

Vanndamptransporten, g , ved diffusjon, gjennom et materiale kan beregnes ved hjelp av formelen:

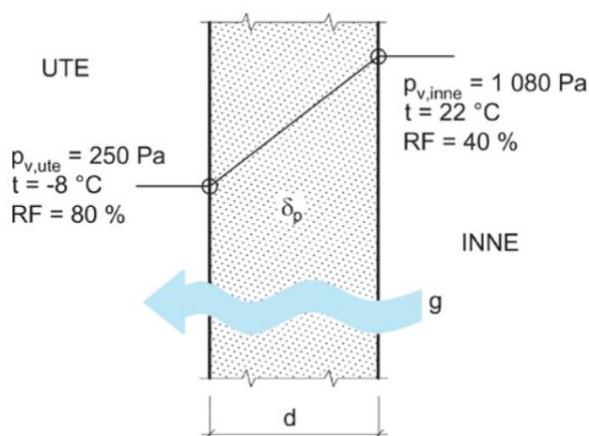
$$g = \delta p \left(\frac{\Delta P_v}{d} \right) [\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

Hvor:

$\Delta p_v = p_{v2} - p_{v1}$, er forskjellen mellom vanndamptrykket på de to sidene av et materiale [Pa]

δ_p er vanndamppermeabiliteten i materialet [kg/msPa]

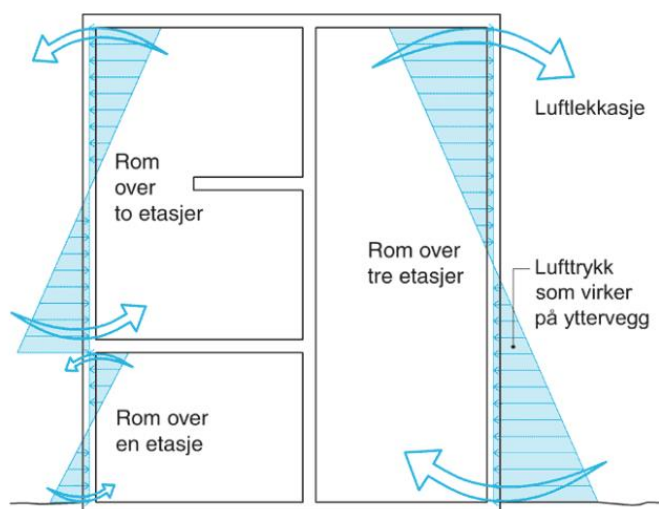
d er materialets tykkelse [m]



Figur 15 viser et eksempel på vanddamdiffusjon gjennom et homogent materiale [Geving 2005]

Fuktkonveksjon

Fuktkonveksjon foregår ved at vanddamp transporteres inn i konstruksjonen sammen med luftstrøm av innelufta. Forskjellen mellom lufttrykket på de to sidene av konstruksjonen er det drivende kraften for fuktkonveksjon. (Gyproc Håndbok) Temperaturvariasjon mellom ute og inne i en konstruksjon og konstruksjonens høyde ved utette konstruksjoner kan medføre lufttrykk i konstruksjonen og dermed føre til fuktkonveksjon.



Figur 16 viser fordeling av lufttrykket langs høyden i en bygning som følge av skorsteinseffekten [Geving 2005]

Som visste i Figur 12 er romhøyde avgjørende for trykk størrelsen. Både over- og undertrykk vil øke med økende romhøyde. (Geving 2005) Fuktkonveksjon kan reduseres ved bruk av konveksjonssperre, som er et lufttett lag, i konstruksjonen. (Gyproc håndbok)

Kapillærsuging

Kapillærsuging defineres som en type fukttransport hvor fuktigheten transporteres i væskeform opp gjennom materialets kapillærstruktur. (Gyproc håndbok) Det skjer da når den relative fuktigheten

overstiger det hygroskopiske område ved 98% relativfuktighet. 100% relativ fuktighet i materialet kalles for fullmetning eller overmetning. (Geving 2011) Kapillærsuging skjer som ofte i konstruksjonsdeler som har direkte kontakt med terrenget. (Gyproc håndbok) Kapasiteten til materialer for å ta opp fuktighet i det kapillære område er større i forhold til det hygroskopiske område (Geving 2011), det vil si at materialer tar opp mer fuktighet i væskefase.

2.4.12 Måling av fukt

Fuktinnholdet i prøvene beregnes ved hjelp av formelen:

$$u = \frac{m_w - m_0}{m_0} \times 100 \text{ [vekt-\%]}$$

Hvor:

m_w er masse av våt prøve [g]

m_0 er masse av tørr prøve [g]

2.5 Uttørkingsmetoder

Fuktskader i bygninger kan enten skje fordi materialer tar opp fuktighet i form av vanndamp eller som væske. (Mattsom og Stensrød 2009) For å unngå fuktskader i materialer bruker man uttørkingsmetoder som kan redusere fuktinnholdet i materialer til et akseptabelt fuktnivå.

I hovedsak finnes det tre ulike uttørkingsmetoder:

- 1) Uttørking ved hjelp av oppvarming og ventilasjon
- 2) Bruk av avfuktingsaggregater
- 3) Naturlig uttørking

I alle disse metodene vil fuktigheten transporteres ut av materialet som vanndamp. Men disse metodene deles i to grupper, nemlig passiv- og aktive metoder. Ved passiv metode vil uttørking skje med lavere hastighet som fører til at faren for angrep av mugg og sopp vil være stor. For å redusere denne faren er det som regel viktig med aktive metoder og tiltak som kan øke uttørkehastigheten. Av de nevnte metodene er nummer (1) en passiv metode mens nummer (2) og (3) er aktive metoder. (Krohn 2015)

2.6 Målingsutstyr

I denne oppgaven er det brukt disse to fuktmålingsmetodene.

2.6.1 Veicelle

Veimetoden er en metode som brukes for å finne fuktighetsinnholdet i et materiale, altså den absolutte fuktinnholdet for materialet. Metoden gir ganske nøyaktige resultater, med en viss usikkerhet på $\pm 0,01$ [g] (Geving og Thue)

2.6.2 Trefuktmåler

Trefuktmåler er en elektrisk motstandsmåler, som brukes mest for måling av fuktighet i porøse materialer, som tre.

2.7 WUFI

WUFI er et dataverktøy som brukes for utførelse av beregninger for kombinasjon av varme- og fukttransport gjennom ulike konstruksjonssjikt over lengre tid. Programmet er utviklet av Fraunhofer Institutt for Bygningsfysikk i Tyskland.

WUFI kan for eksempel brukes til å vurdere (Gaustavsen 2010):

- Uttøringsprosess
- Kondens vurdering
- Vannskader på utvendig overflate på grunn av slagregn
- Hygrotermiske forhold i en bygningsdel i forskjellige klimaforhold

Programmet kan brukes både for å løse endimensjonale (WUFI 1D) og todimensjonale problemer (WUFI 2D). (Gaustaven 2010)

WUFI 2D bruker fuktmeknikken til å beregne varmetransporten, vurdere temperaturforholdet og varmetap i bygningskomponenter og som grunnlag for beregning av nødvendig energi til oppvarming. (Gaustavsen 2010)? For å tilpasse en modell til virkelighet så nøyaktig som mulig kan man kombinere valgfrie materialer, overganger og geometri. (Fraunhofer IBP, oppdatert 12.04.2017).

WUFI er basert på differensialligninger som viser sammenheng mellom lagringskapasitet og transportkomponenter for varme- og fukttransport (Künzel, 1995).

Varmetransport:

$$\frac{dH}{dv} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + h_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\delta_{px} \frac{\partial \varphi_{sat}}{\partial x} \right) + h_y \frac{\partial}{\partial y} \left(\delta_{py} \frac{\partial \varphi_{sat}}{\partial y} \right)$$

Fukttransport

$$\frac{dw}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{\varphi x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \delta_{px} \frac{\partial \varphi_{sat}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{\varphi y} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \delta_{py} \frac{\partial \varphi_{sat}}{\partial y} \right)$$

3 METODEBESKRIVELSE

Dette kapitlet inneholder en beskrivelse av valgte metoder i denne oppgaven.

3.1 Generelt

Metode og vitenskap er to begrep som brukes aktivt sammen. De forskjellige vitenskape studier kan gjennomføres på ulike fremgangsmåter. Disse fremgangsmåtene er en viktig del av forskning og kalles for metode. Metode angir hvordan dataene samles inn, behandles og analyseres. Man setter hypoteser og stiller forskningsspørsmål som skal besvares på en god måte. Det er viktig å planlegge utførelsen av forskninga nøye og setter opp ønskede resultater. Man kan endre ønskede resultater underveis om det var nødvendig. Dette kaller man for metodeutvikling. (Dalland 1997)

3.2 Kvalitativ- og kvantitativ forskningsmetode

Det er vanlig å benytte seg av både kvantitative og kvalitative metoder i en masteroppgave. Kvantitative forskningsmetoder er metoder som er basert på tall, og alt som er mulig å få målt, slik at der er mulig å få ut resultater ved statistikk. Fordelen med denne metoden er at man får ut resultater som man kan bearbeide. Kvalitative forskningsmetoder tar derimot utgangspunkt i tekstlige eller muntlige informasjon. (Olsson 2011) Denne metoden som ofte når man ønsker å gå i dybden og fange interessante meninger og opplevelser relatert til forskninga.

3.3 Reliabilitet og validitet

Det er også viktig å ta hensyn til reliabilitet og validitet når man skriver en rapport. Reliabilitet er et mål på om man måler på en riktig måte og oppnås ved å gjenta samme målinger flere ganger, med entydige måleparametere og målemetoder. Validitet er et mål på om man måler de riktige tingene. (Olsson 2011)

3.4 Valg av metode

Etter at man har valgt en forskningsmetode får man flere spørsmål underveis. Man må videre ta et valg og gjøre en vurdering av fremgangsmåten, om det er praktisk mulig å få gjennomført og ta hensyn til tidsbegrensninger man har. Økonomi er også en faktor for valg av metoden. (Dalland 1997)

I denne oppgaven er det brukt en kombinasjon av kvantitativ og kvalitativ forskningsmetode, hvor resultatene fra laboratoriet forsøket ved en begrenset tidsperiode og resultater fra WUFI har blitt analysert og diskutert. Det er også tatt hensyn til reliabilitet og validitet ved dette forsøket ved at det

samme forsøk har blitt gjentatt flere ganger samtidig med den samme metoden og samme måleparametere. Metodene har i tillegg blitt diskutert med veiledere.

3.4.1 Metodeutvikling

Etter at man har valgt en metode, studerer man seg for å finne materialdata og informasjon fra tidligere kilder eller ved å snakke med fagdyktige kontakter. Det er vanlig at metoden vil derfor utvikle seg. I denne oppgaven er tildekking av sidekanter av 8 prøver med aluminium og kontaktlim er et resultat av metodeutvikling. Det er gjort for å begrense fuktbevegelser kun gjennom limsjiktene for å redusere usikkerheten ved forsøket.

3.5 Datainnsamling

Man kan enten samle inn nødvendig datamaterialer, som skal brukes til forskning, selv eller benytte eksisterende data innhentet av andre (Dalland 2007). I denne oppgaven hentes det inn primærdata gjennom eksperimentene. En del av dataene er også hentet fra tidligere kilder. Videre beskrives verktøy for datainnsamling, måleutstyr og simuleringsprogrammet som ble benyttet i oppgaven. Besvarelsen av oppgaven er avhengig av disse dataene. Det har ikke alltid vært like lett å finne dataene man ønsket og noen tilfeller var det nødvendig å kontakte personer med høyt faglig bakgrunn for å få relevante opplysninger.

For simulering i WUFI, var det nødvendig med lisens for programmet. Det fantes ikke 5 sjikts krysslaminert massivtre (CLT) i materialbiblioteket til WUFI. Derfor var det nødvendig å bygge materialet i WUFI selv. For dette var det nødvendig å finne materialdata til limsjiktet i massivtre lamellene, noe som visste seg å ikke være så lett tilgjengelig. Derfor var det nødvendig med en del antagelser og bruk av materialdata fra tidligere oppgaver.

3.6 Simuleringer i WUFI

Simuleringer relatert til dette forsøket har blitt utført i WUFI 2D. Siden det ikke fantes 5-sjikts krysslaminert massivtre i programmet, måtte man lage materialet selv. Det er forsøkt å gi inndata som er mest mulig tilnærmet til virkeligheten. De ulike lagene i CLT-elementene er tegnet i programmet med de spesifikke densitetene og tykkelsen til hvert lag. Siden vi skulle se på fuktbevegelser på tvers av elementene ble alle sjiktene lagt i (gran) langsgående fiberretning.

Tegne limsjiktet i programmet har vært en utfordrende oppgave, både med tanke på materialvalg og finne material spesifikasjoner. Dette problemet ble løst ved en tilnærming av limsjiktet til Polyuretan (PUR). Polyuretan går under kategorien ”hardplast” og er en ganske diffusjonstett lim. Materialdata for Polyuretan er hentet fra Standard Norge «*NS-EN ISO 10456:2007 + NA:2010, tabell 3(forts), side 9*». Porøsiteten til limet ble satt til “null”, noe som indikerer at materialet ikke kan ta opp vann.

4 LABORATORIEARBEID

Det finnes flere leverandører som produserer massivtre. Massivtre produkter kan være forskjellig fra hverandre både i størrelse og ulike tresorter.

I dette forsøket har vi sett på oppfukting og uttørking av massivtreprøver i en begrenset tidsperiode for å finne om limet, som er brukt mellom sjiktene i massivtre, har noen betydning for fuktbevegelser i massivtreprøvene. For å være sikker på at det er kun lim som kan hindre fuktigheten gjennom materialet, ble de 4 sidene av prøvene, som kunne transportere fuktighet langs fibrene, dekket med lim og aluminiumsfolie. Dette ble gjort med 8 prøver.

4.1 Preparering av prøver

I dette forsøket har det blitt brukt 5 sjikts elementer av gran, hvor tykkelsen på de to ytterste sjiktene er 30 mm mens de tre midterste sjiktene er 20 mm i tykkelse. I dette forsøket ble det totalt 50 massivtreprøver, med dimensjon $L = 300$ mm, $B = 200$ mm, $t = 120$ mm, utarbeidet. Prøvene ble skåret ved hjelp av en elektrisk sag. Til dette fikk jeg mye hjelp fra Roar Økseter. Prøvene ble lagt inn i laboratoriet i en periode, slik at alle prøvene hadde like fuktinnhold når de ved starten ble brukt i forsøkene.



Figur 17 viser prøvene etter at de er ferdig skåret

4.2 Oppfukting- og uttørkingsprosesser

Etter at prøvene ble skåret til den bestemte dimensjonen, som ble nevnt tidligere, ble 32 av prøvene delt i 2 grupper med 16 prøver i hver gruppe. Prøvene i ene gruppen ble plassert i klimaskap med en konstant temperatur på 20°C og konstant relativ luftfuktighet på 85%. Andre gruppa ble plassert i en annen klimaskap hvor temperaturen var fortsatt konstant og lik 20°C, mens den relative luftfuktigheten (RF) startet fra å være 75% og ble endret hver tredje dag med 5% høyere relativ luftfuktighet. Den endelige RF prosenten i lufta ligget på 95%. Alle prøvene ble veid opp før de ble lagt inn i klimaskap og ble veid regelmessig, det vil si hver tredje dag. Vekten ble registrert i Excel for å kartlegge fuktendring i prøvene.



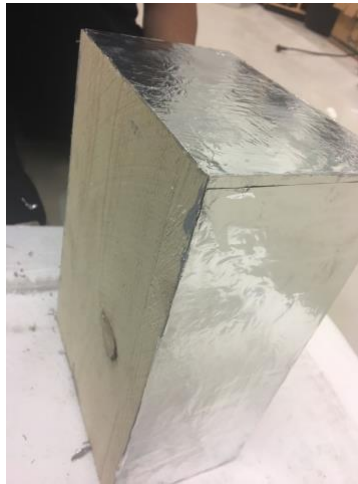
Figur 18 viser en prøve som blir veid

Videre ble 6 av prøvene plassert i tørkeskap for å finne tørrvekten til disse prøvene. Tørrvekten ble brukt videre for å beregne startfuktigheten i prøvene. Utgangsfuktigheten i prøvene ble beregnet, og ble brukt videre for å beregne fuktigheten i prøvene som hadde ligget i klimaskapene.



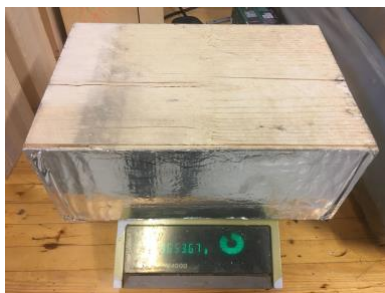
Figur 19 viser prøver som ble tørke ut ved 103 grader Celcius

8 prøver ble forseglet på sine 4 sider med lim og aluminiumfolie. Dette for å se på fuktbevegelser som skjer kun på tvers av limfugene. Prøvene ble liggende i romtemperatur i et døgn for å følge bruksanvisningen til limet. Dagen etter ble prøvene veid og lagt i klimaskap med 75% RF ved konstant temperatur lik 20°C.



Figur 20 viser utføring av delforsøk

Alle prøvene ble veid regelmessig og resultatene ble notert i excel.



Figur 21 viser prøve som blir veid ved hjelp av en vektmåler

Tabell 1 viser oversikt over temperatur og den relative luftfuktigheten til klimaskap for prøvene

Prøve nummer	Temperatur	Relativ luftfuktighet (RF %)	
Prøve 1-18	20 °C	75-95 %	Konstant temperature med variasjon i RF %
Prøve 18-36	20 °C	85 %	Konstant temperature og konstant RF %
Prøve 36-42	103 °C	---	Tørke-veie metoden
Prøve 43-50	20 °C	85%	Prøvene var dekket med aluminium og kontaktlim på 4 sider, ligget i skap hvor både temperaturen og RF% var konstante

4.3 Bestemmelse av fuktighet i hvert sjikt

Fuktmåler gir kun en indikasjon på fuktinnholdet på overflaten av materialet, noe som ikke var så interessant for oss i denne oppgaven. For å vise om lim hadde en betydning for fuktbalanse i materialet var det nødvendig å samle inn data om fuktighetsinnhold i hvert lag og ikke minst på

begge sider av limsjiktene i CLT. For dette ble det brukt 2 metoder hvor ene visste total fuktinnhold i hvert lag og andre ga indikasjon på hvor stor fuktvariasjon hadde man på to sider av limsjiktene.

- a) 5 av prøvene (prøve nummer 4, 10, 11, 19 og 20) som hadde ganske like vekt ble valgt etter en viss tidsperiode. Prøvene ble skåret fra midten av prøva ved hjelp av en elektrisk sirkelsag og fuktigheten i hvert lag ble målt ved hjelp av en fuktmåler. Fuktigheten i hvert lag ble målt 4 steder i samme laget (se figur 22). Resultatene ble registrert i excel.



Figur 22 viser hvordan fuktigheten ble målt i midten av prøva



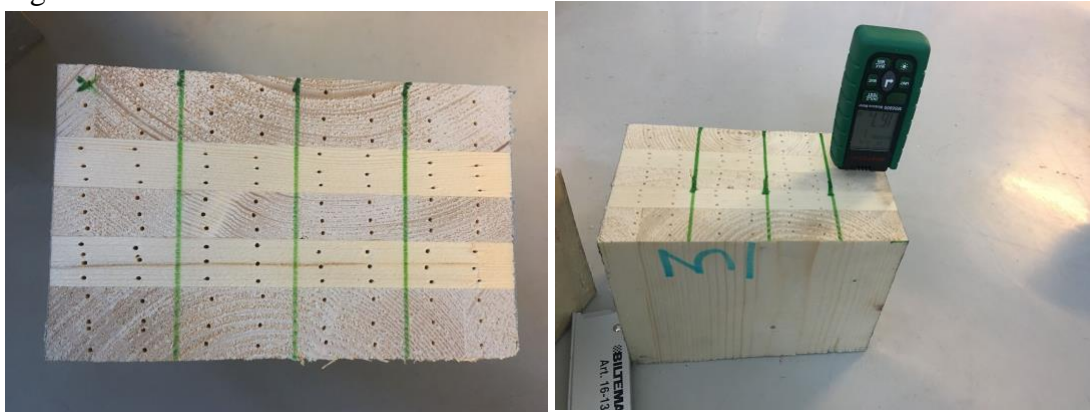
Figur 23 viser hvordan prøven ble delt i midten for så å måle fuktigheten i prøva på midten

- b) I neste omgang ble 5 prøver til, med ganske lik vekt, valgt (prøve nummer 1, 5, 7, 17 og 18). De 5 sjiktene i hver prøve ble separert av hverandre ved hjelp av ”elektrisk sag”. Disse lagene ble markert med et nummer, ble veid rett etter at de ble separert og ble lagt inn i tørreskap ved 103 °C. Etter at de var helt tørre fant man tørr vekten og ved hjelp av dette kunne man beregne fuktigheten i hvert lag. Resultatene ble registrert i excel.



Figur 24 viser framgangsmåten av forsøk b

- c) Det ble i tillegg 7 av 8 prøver med sidelagte aluminium delt fra midten av prøvene, som forsøk (a). Denne gangen ble fuktigheten målt på begge sider av limsjiktet. Resultatene ble registrert i excel.



Figur 25 viser hvordan fuktigheten ble målt ved hjelp av fuktmåler

4.4 Materialer

Materialer som er brukt til dette forsøket er krysslaminerte massivtre elementer. Disse var restmaterialer som ble brukt tidligere i en masteroppgave som ble skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i 2017 av Dag Pasquale Pasca. Materialeegenskapene er hentet fra masteroppgaven (Se Tabell 2). Det fantes ikke spesifikasjoner relatert til limsjiktene i elementene.

Tabell 2 viser oversikt over tykkelse og densitet til hver lag/sjikt i en 5-sjikts krysslaminert massivtre (CLT) med total tykkelse på 120 mm [Hentet fra masteroppgave til Dag Pasca 2017]

Lags nummer	Tykkelse [mm]	Densitet [kg/m ³]
1	30	513,7
2	20	461,5
3	20	477,6
4	20	496,9
5	30	465,2
Gjennomsnitt		483,0

I tillegg ble det brukt kontaktlim og aluminiumfolie. Kontaktlimet var BT Multibond fra Biltema. I material spesifikasjoner for limet er det notert at det er universelt, fester nesten på alle byggematerialer, limer sterkt og fester også på lett fuktige flater. En kombinasjon av kontaktlim og aluminium folie ga godt overflatebehandling mot vanddamptransport til prøvene.



Figur 26 viser materialer brukt i oppgaven

4.5 Utstyr

Det er benyttet flere utstyr i dette forsøket:

- Klimaskap i 2 institutter, ble lånt av instituttet for Realfag og teknologi og institutt for Miljøvitenskap og naturforvaltning på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
- Vektmåler
- Fuktmåler
- Elektrisk rulleruller



Figur 27 viser oversikt over brukt utstyr for utførelse av oppgaven

5 WUFI SIMULERINGER

6 RESULTATER

Resultatene fra forsøkene som ble gjennomført i henhold til valgt metode blir presentert i denne delen av oppgaven. I tillegg blir resultater fra WUFI simuleringer lagt inn. Målinger og simuleringer ble gjort i løpet av semesteret, som har gitt en god del resultater. I tillegg er det valgt flere metoder for å sikre oppnåelse av ønsket resultat. Det er også gjort flere like forsøk for å redusere usikkerhet. Tabell -- gir en enkel oversikt over resultater som er presentert videre.

6.1 Preparering av prøver

I starten etter at prøvene ble skåret til en bestemt dimensjon ble de preparert. Det vil si at de ble lagt i laboratoriet i en periode, slik at alle prøvene hadde likt fuktprosent. Dette fuktprosenten ble målt ved hjelp av resultater fra tørke-veie metoden til å være mellom 13-14 vektprosent. Gjennomsnittverdien ble regnet til å være lik 13,5 vektprosent.

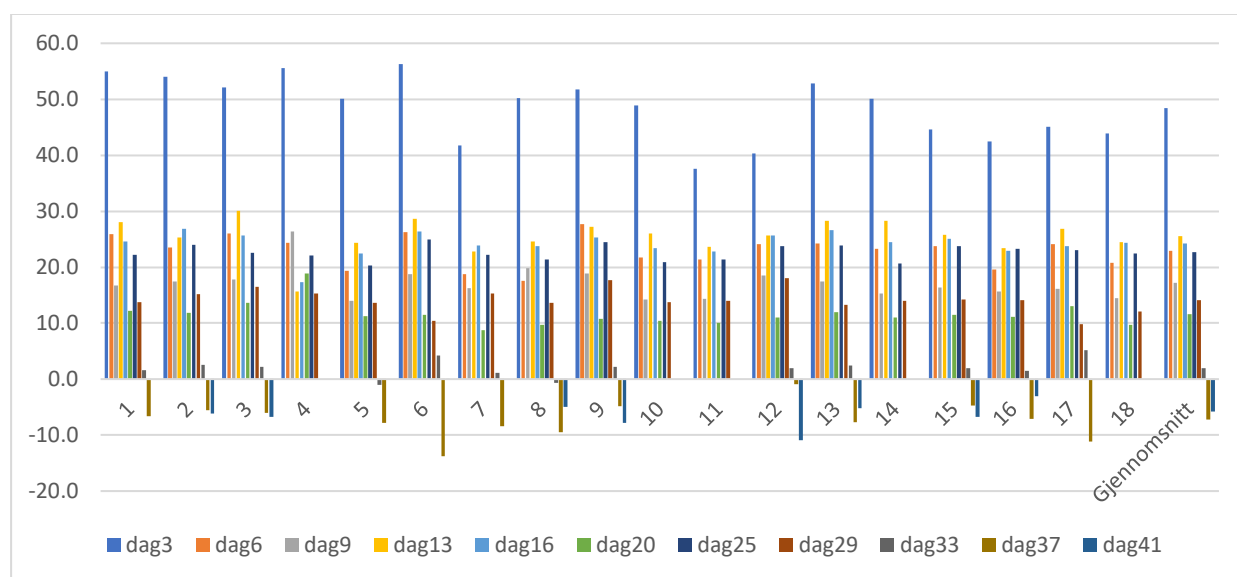
6.2 Laboratoriemålinger

Alle vektmålinger for både oppfukting, uttørking og fuktmålinger er illustrert i grafer.

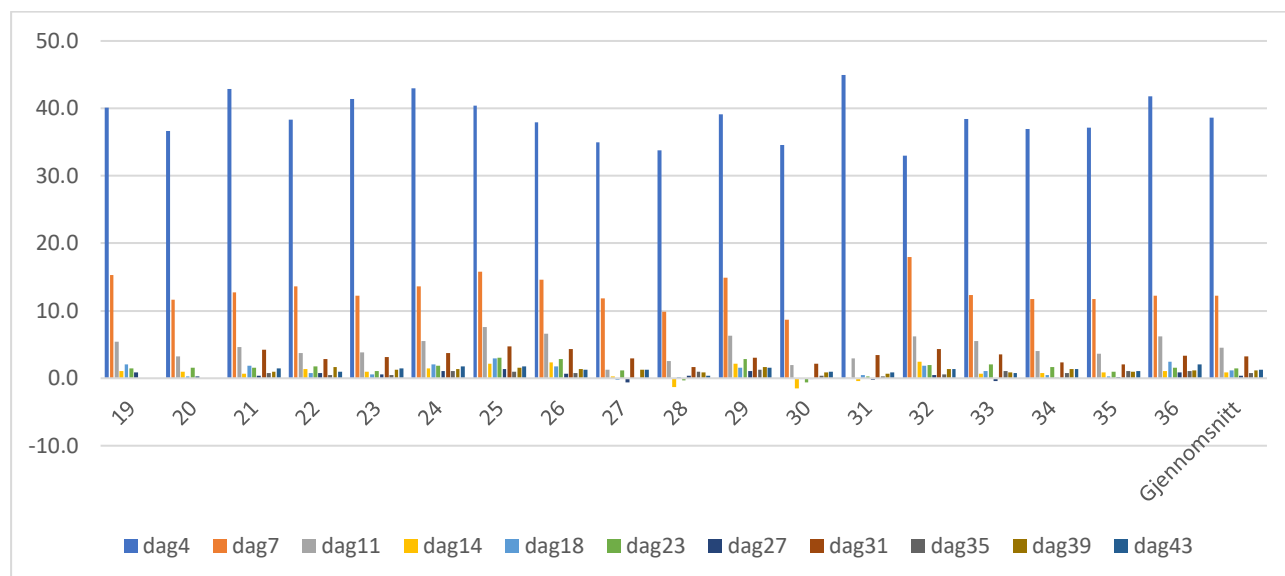
Tabell 3 viser resultat av fuktopptak av prøve 1-18 i gram

	dag3	dag6	dag9	dag13	dag16	dag20	dag25	dag29	dag33	dag37	dag41
1	55,0	25,8	16,8	28,0	24,6	12,2	22,2	13,8	1,6	-6,6	...
2	54,1	23,5	17,4	25,3	26,9	11,9	24,1	15,2	2,5	-5,5	-6,2
3	52,1	26,0	17,9	30,0	25,7	13,7	22,6	16,5	2,2	-6,0	-6,7
4	55,6	24,3	26,4	15,7	17,4	18,9	22,1	15,3	...	...	...
5	50,1	19,4	14,0	24,3	22,4	11,3	20,3	13,6	-1,0	-7,8	...
6	56,3	26,2	18,8	28,7	26,4	11,5	24,9	10,4	4,2	-13,8	-0,1
7	41,7	18,8	16,3	22,9	23,8	8,8	22,2	15,3	1,1	-8,4	...
8	50,2	17,6	19,9	24,6	23,8	9,7	21,4	13,6	-0,7	-9,5	-5,0
9	51,8	27,7	18,8	27,2	25,3	10,8	24,5	17,7	2,2	-4,9	-7,9
10	48,9	21,7	14,2	26,0	23,4	10,4	20,9	13,7	...	...	...
11	37,5	21,4	14,3	23,7	22,9	10,0	21,4	14,0	...	...	...
12	40,3	24,1	18,5	25,7	25,7	11,0	23,8	18,0	1,9	-0,9	-11,0
13	52,8	24,3	17,5	28,3	26,6	12,0	23,9	13,3	2,5	-7,7	-5,1
14	50,1	23,3	15,4	28,3	24,5	11,0	20,6	14,0	...	...	...
15	44,6	23,8	16,3	25,8	25,0	11,5	23,7	14,2	1,9	-4,7	-6,8
16	42,4	19,6	15,7	23,4	23,0	11,1	23,2	14,1	1,5	-7,1	-3,1
17	45,1	24,1	16,1	26,9	23,7	13,0	23,1	9,8	5,2	-11,1	...
18	43,9	20,8	14,5	24,4	24,3	9,7	22,5	12,1	...	...	...
Gjennomsnit	48,5	22,9	17,1	25,5	24,2	11,6	22,6	14,2	1,9	-7,2	-5,8
	dag4	dag7	dag11	dag14	dag18	dag23	dag27	dag31	dag35	dag39	dag43
19	40,1	15,3	5,5	1,0	2,0	1,5	0,9	...	...	...	...
20	36,6	11,6	3,2	0,9	0,3	1,6	0,3	...	...	...	...
21	42,8	12,8	4,6	0,7	1,8	1,5	0,3	4,3	0,8	0,9	1,5
22	38,3	13,6	3,7	1,4	0,8	1,8	0,8	2,8	0,5	1,6	1,0
23	41,4	12,2	3,9	0,9	0,6	1,1	0,6	3,2	0,5	1,2	1,5
24	43,0	13,6	5,5	1,4	2,0	1,9	1,0	3,7	1,1	1,3	1,8
25	40,4	15,8	7,6	2,1	2,9	3,1	1,4	4,7	1,0	1,5	1,8
26	38,0	14,6	6,6	2,3	1,7	2,9	0,6	4,3	0,8	1,4	1,2
27	34,9	11,8	1,2	0,3	-0,2	1,1	-0,6	2,9	0,0	1,3	1,2
28	33,8	9,9	2,6	-1,3	0,2	-0,4	0,3	1,7	1,0	0,8	0,4
29	39,1	14,9	6,3	2,1	1,6	2,8	1,0	3,0	1,3	1,7	1,6
30	34,5	8,6	1,9	-1,6	0,0	-0,6	-0,1	2,2	0,4	0,9	1,0
31	44,9	0,0	3,0	-0,4	0,4	0,3	-0,2	3,4	0,3	0,7	0,9
32	33,0	17,9	6,2	2,4	1,8	2,0	0,5	4,3	0,6	1,4	1,3
33	38,4	12,3	5,5	0,7	1,1	2,0	-0,4	3,6	1,1	0,9	0,8
34	37,0	11,7	4,0	0,8	0,5	1,7	0,1	2,4	0,7	1,4	1,3
35	37,2	11,8	3,6	0,9	0,3	1,0	0,2	2,1	1,1	0,9	1,0
36	41,8	12,2	6,2	1,0	2,5	1,5	0,9	3,3	1,0	1,1	2,1
Gjennomsnit	38,6	12,3	4,5	0,9	1,1	1,5	0,4	3,2	0,8	1,2	1,3

Tabellen under viser fuktighetsopptak for prøve 1-18 ved konstant temperatur på 20 °C og økning av RF fra 75 til 95 %:



Denne viser fuktopptak for prøve 18-36 ved konstant temperatur 20 °C og konstant 85% RF:

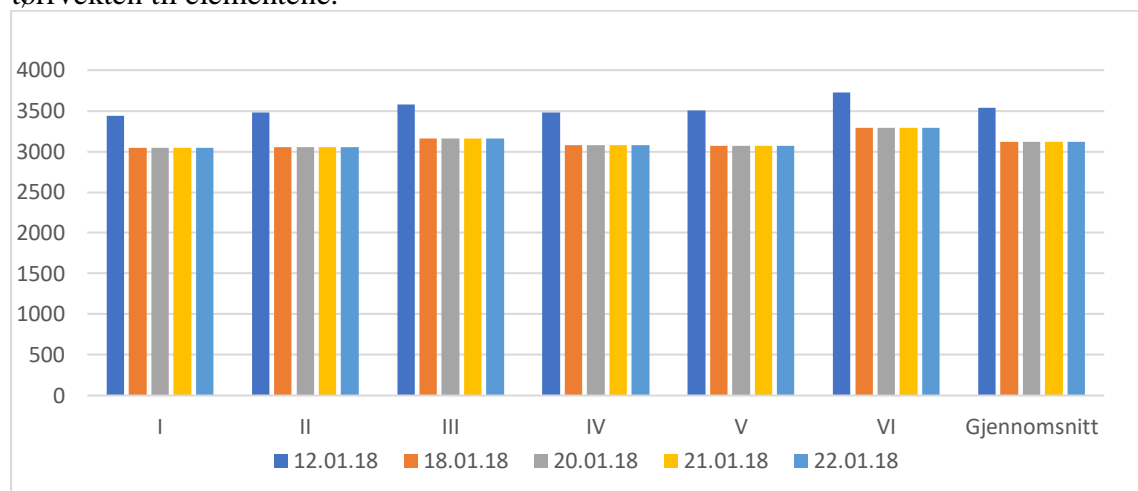


Resultat av fukttinnhold-beregninger for prøve 1-36 er visst på tabellen.

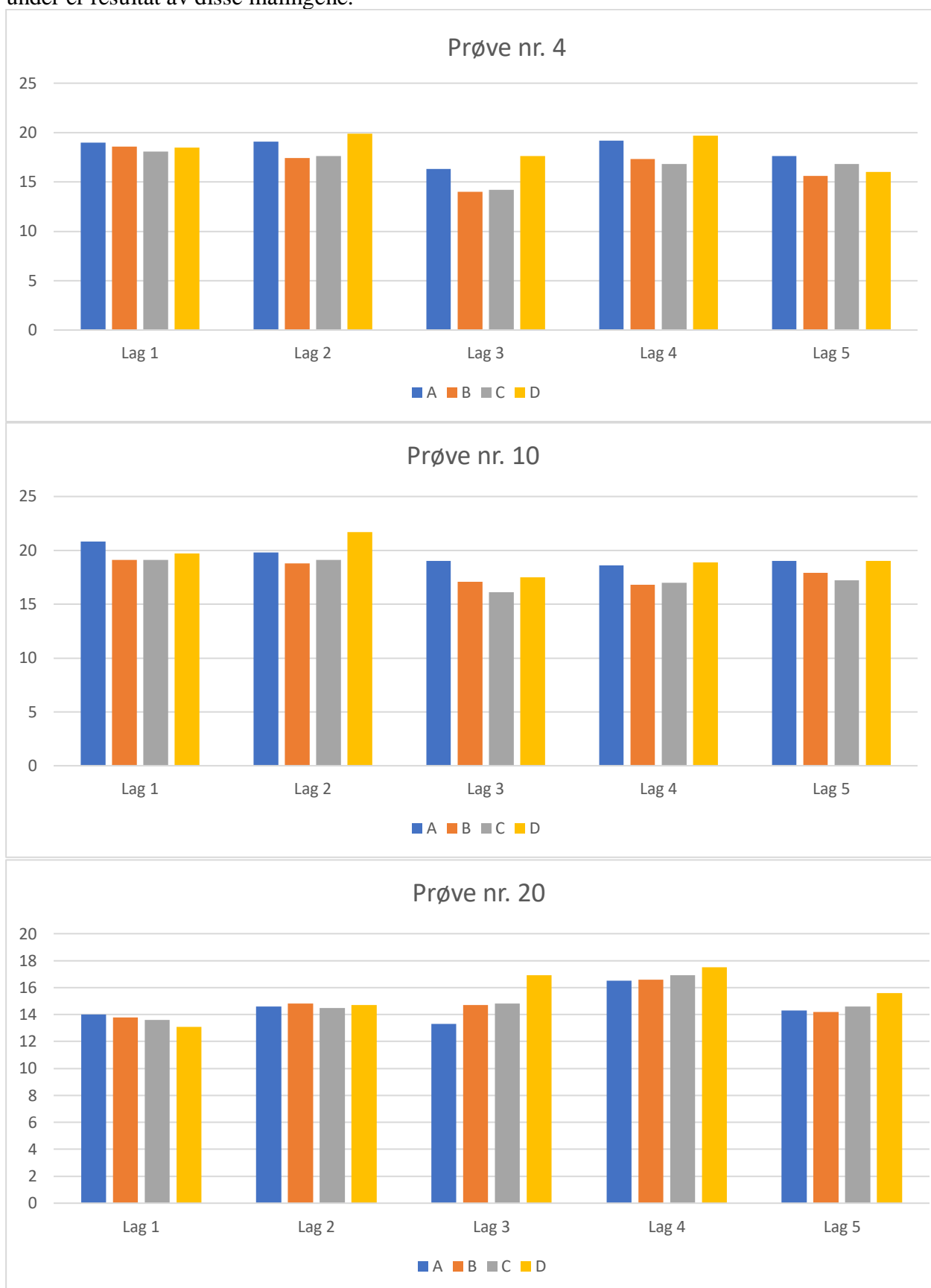
ULIKE SJIKTS BETYDNING FOR FUKTBALANSE TIL KRYSSLIMT TRE (CLT)

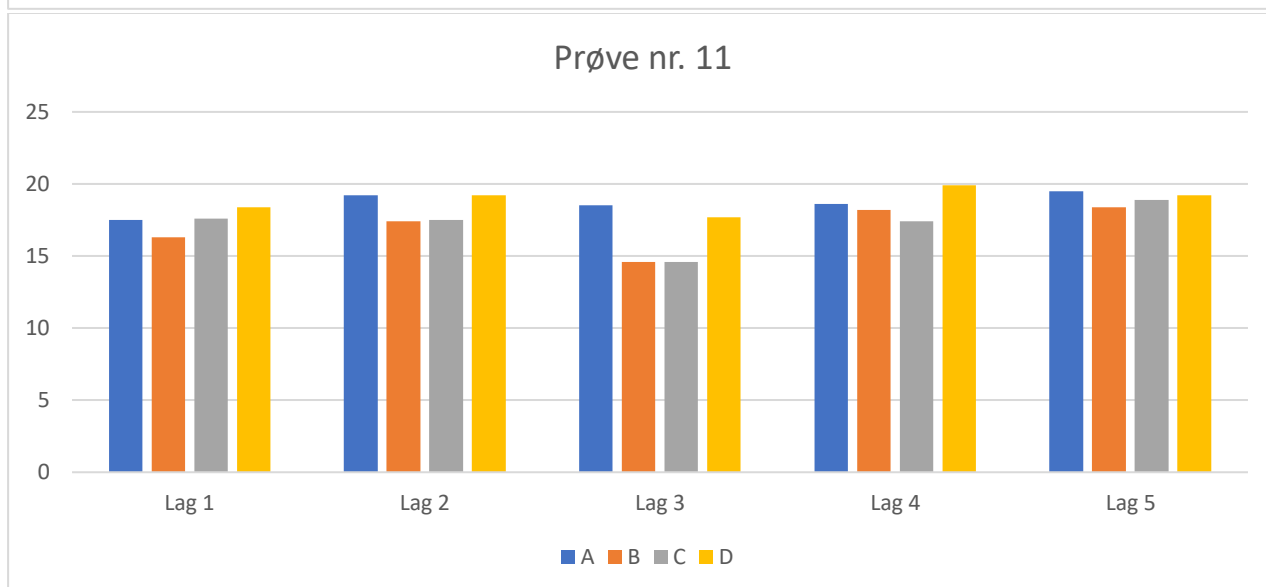
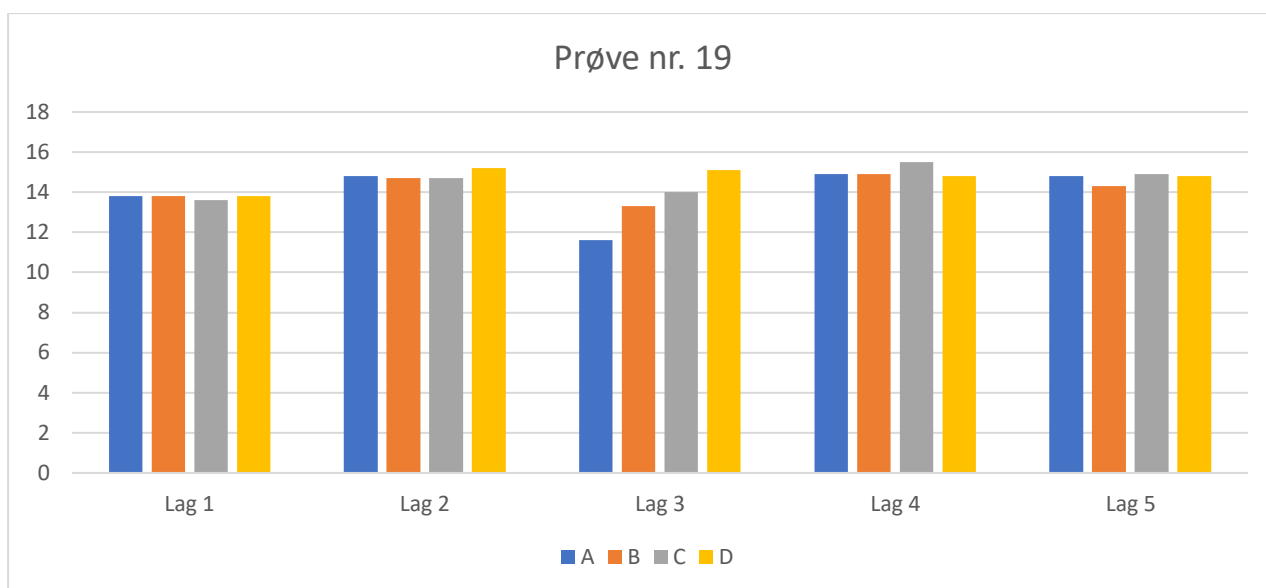
	a = startvekt/1,135		c		b = (c/a) - 1	
	Startvekt [g]	Beregnet vekt tørr trevirke [g]	Sluttvekt [g]	Fuktopptak [g]	% fuktinnhold	
1	3152,59	2777,61	3345,95	193,36	20,5 %	
2	3324,68	2929,23	3513,82	189,14	20,0 %	
3	3290,32	2898,96	3484,2	193,88	20,2 %	
4	3124,96	2753,27	3320,59	195,63	20,6 %	
5	3198,55	2818,11	3365,12	166,57	19,4 %	
6	3407,33	3002,05	3600,95	193,62	19,9 %	
7	3200,61	2819,92	3363,12	162,51	19,3 %	
8	3238,65	2853,44	3404,17	165,52	19,3 %	
9	3409,83	3004,26	3603,03	193,20	19,9 %	
10	3122,04	2750,70	3301,34	179,30	20,0 %	
11	3131,24	2758,80	3296,44	165,20	19,5 %	
12	3264,08	2875,84	3441,28	177,20	19,7 %	
13	3415,54	3009,29	3603,87	188,33	19,8 %	
14	3365,24	2964,97	3540,23	174,99	19,4 %	
15	3297,95	2905,68	3473,3	175,35	19,5 %	
16	3393,11	2989,52	3557,05	163,94	19,0 %	
17	3203,33	2822,32	3379,2	175,87	19,7 %	
18	3176,63	2798,79	3340,08	163,45	19,3 %	
19	3266,82	2878,26	3333,07	66,25	15,8 %	
20	3330,4	2934,27	3384,9	54,50	15,4 %	
21	3497,6	3081,59	3569,59	71,99	15,8 %	
22	3366,29	2965,89	3432,67	66,38	15,7 %	
23	3475,01	3061,68	3542	66,99	15,7 %	
24	3213,89	2831,62	3290,28	76,39	16,2 %	
25	3468,93	3056,33	3551,2	82,27	16,2 %	
26	3546,55	3124,71	3620,9	74,35	15,9 %	
27	3509,13	3091,74	3563,15	54,02	15,2 %	
28	3596,32	3168,56	3645,3	48,98	15,0 %	
29	3476,79	3063,25	3552,23	75,44	16,0 %	
30	3662,63	3226,99	3709,76	47,13	15,0 %	
31	3547,22	3125,30	3600,55	53,33	15,2 %	
32	3082,57	2715,92	3154,06	71,49	16,1 %	
33	3377,5	2975,77	3443,37	65,87	15,7 %	
34	3555,7	3132,78	3617,2	61,50	15,5 %	
35	3477,58	3063,95	3537,72	60,14	15,5 %	
36	3566,91	3142,65	3640,6	73,69	15,8 %	

Tabellen under viser resultat av vektendring av de 6 prøvene som ble tørket helt for å finne tørrvekten til elementene.

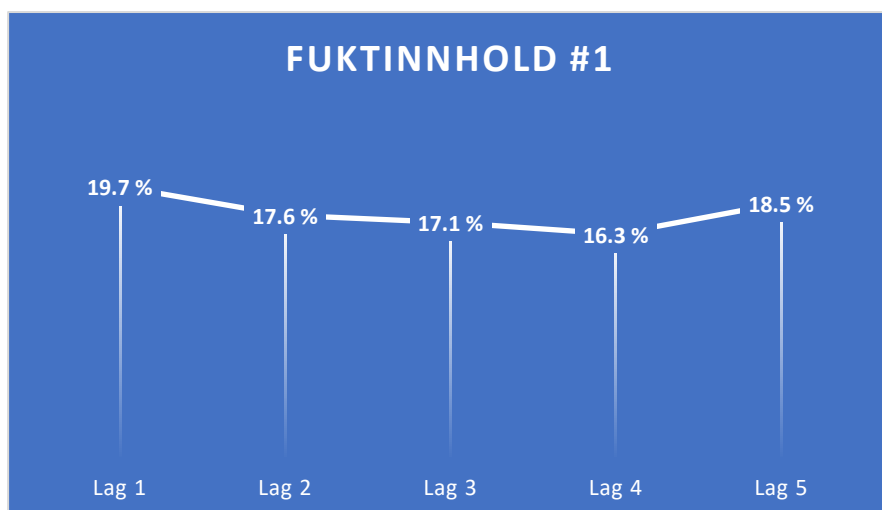


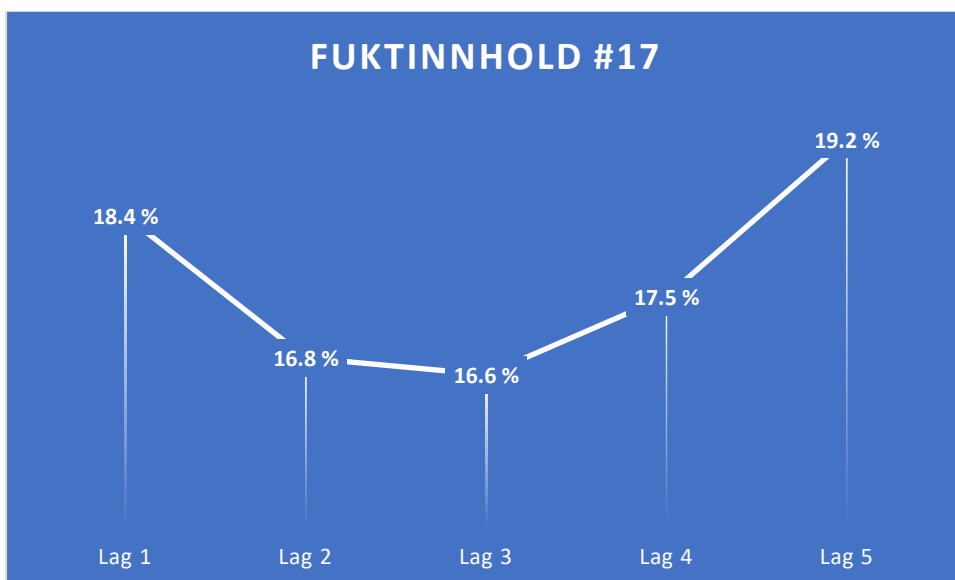
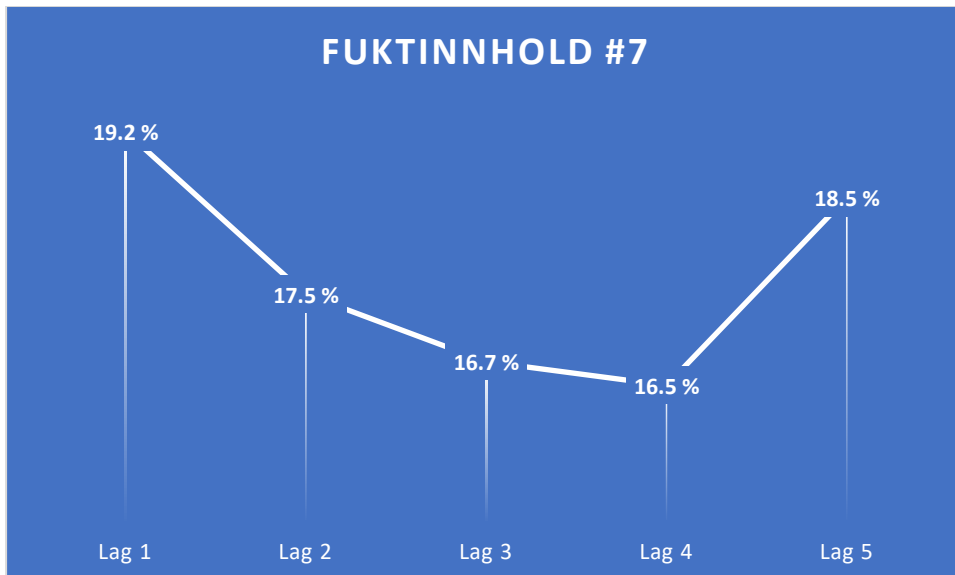
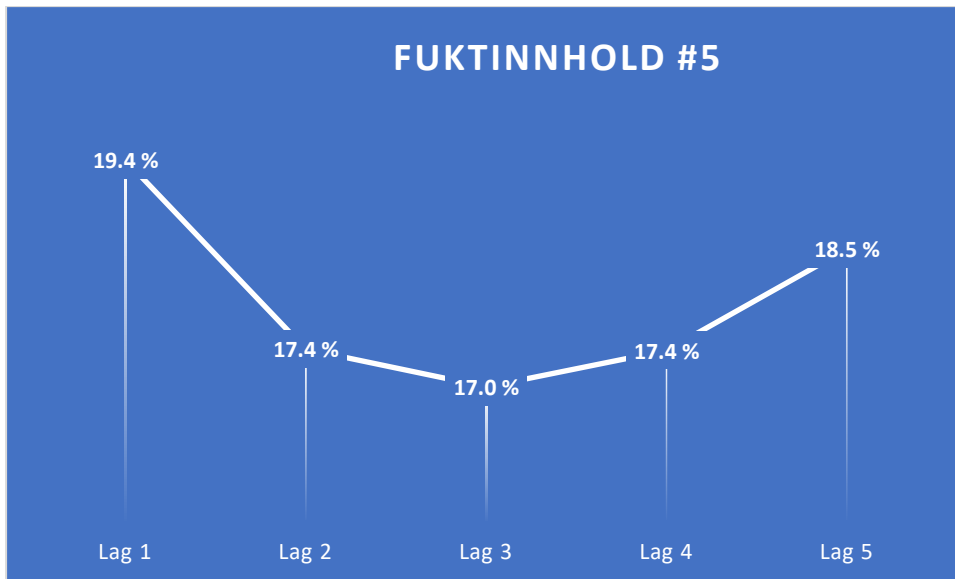
Prøve nr. 4, 10, 11, 19 og 20 delt i midten av prøvene og fuktigheten ble målt i hverlag. Grafene under er resultat av disse målingene.





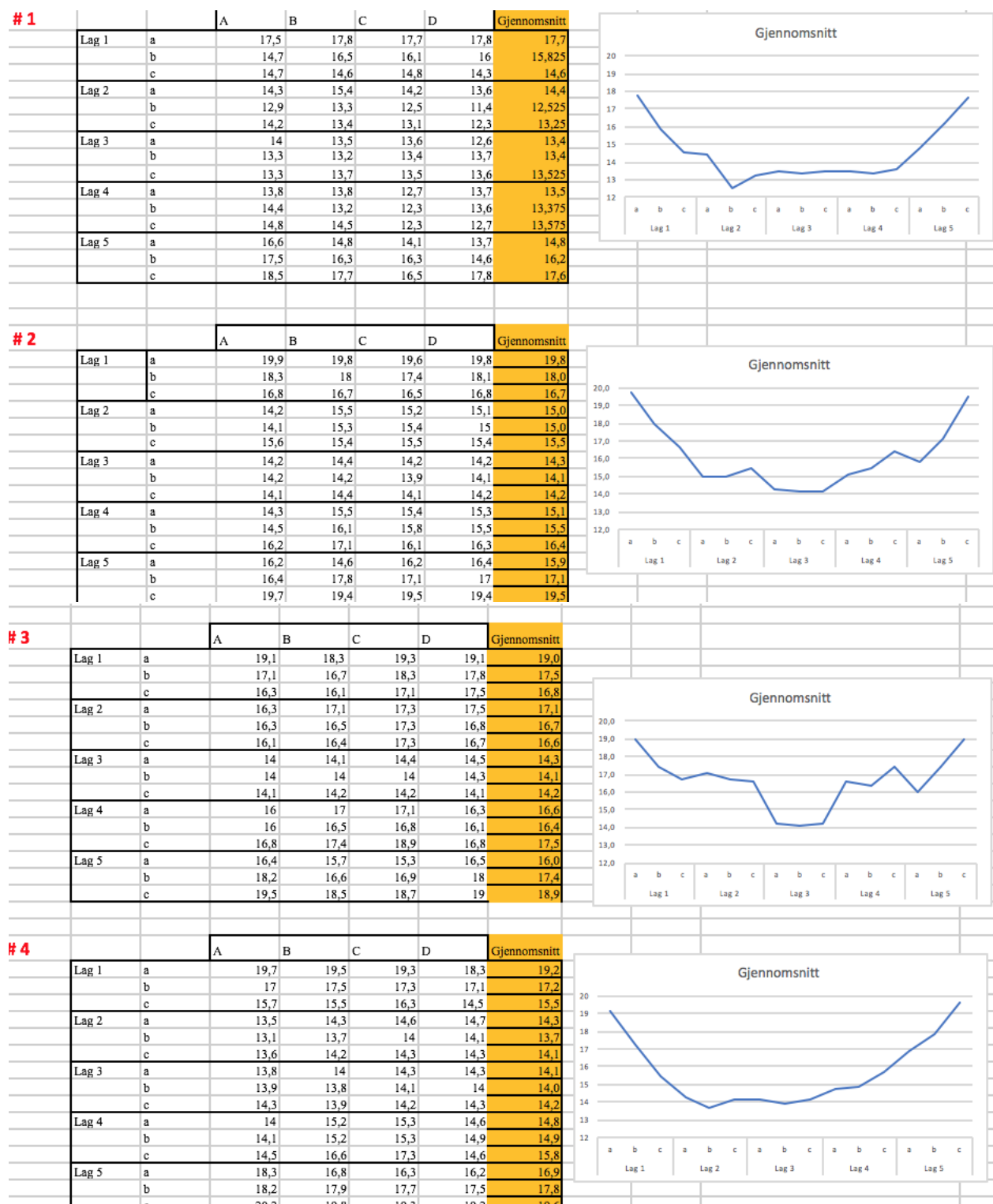
Resultater fra prøve 1, 5, 7, 17 og 18, hvor alle lagene i prøveelementene ble separert og fuktinnholdet i dem ble målt ved hjelp tørke-veie metoden.



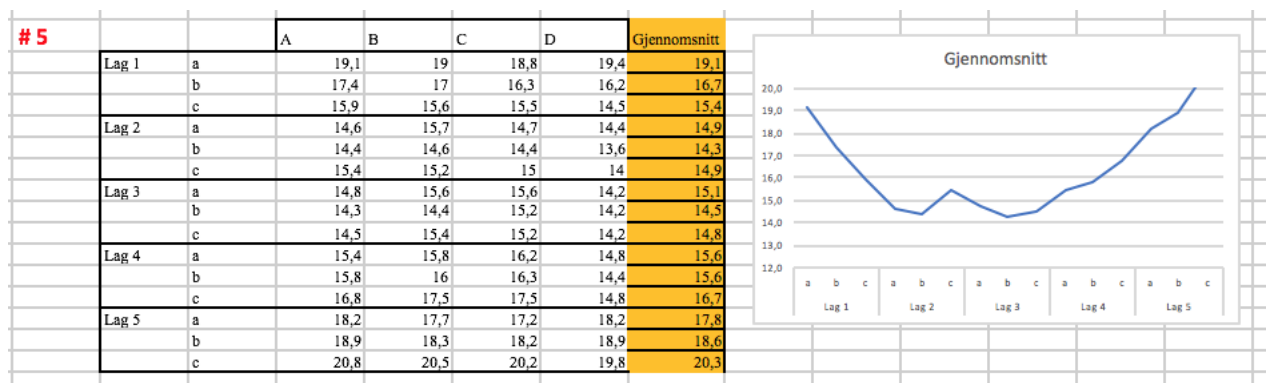


ULIKE SJIKTS BETYDNING FOR FUKTBALANSE TIL KRYSSLIMT TRE (CLT)

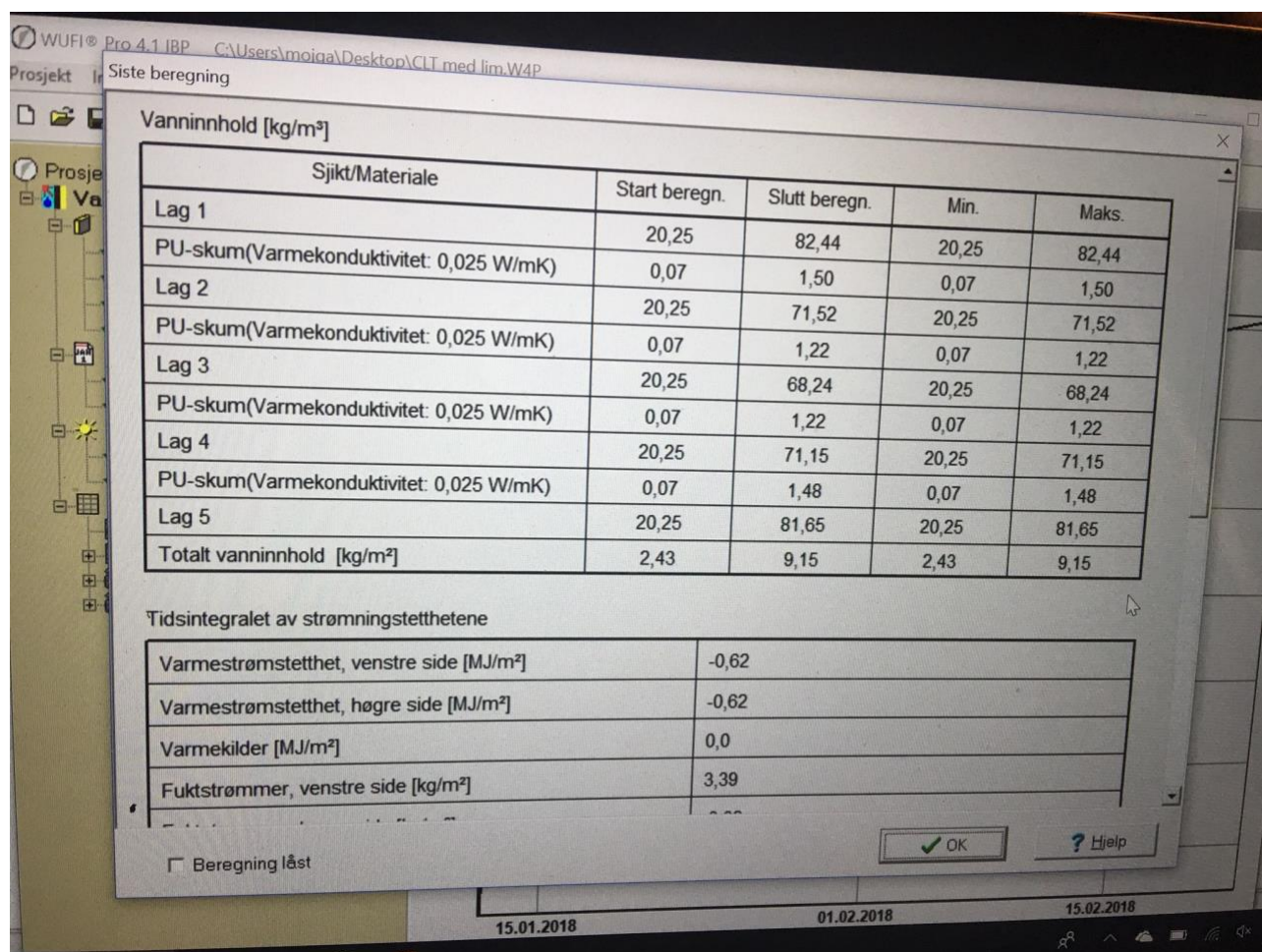
Under det visst resultater av fuktmåling i CLT-sjiktene til prøver som



ULIKE SJIKTS BETYDNING FOR FUKTBALANSE TIL KRYSSLIMT TRE (CLT)



6.3 WUFI beregninger



Siste beregning	
Varmestrømstetthet, venstre side [MJ/m ²]	-0,62
Varmestrømstetthet, høyre side [MJ/m ²]	-0,62
Varmekilder [MJ/m ²]	0,0
Fuktstrømmer, venstre side [kg/m ²]	3,39
Fuktstrømmer, høyre side [kg/m ²]	-3,32
Fuktilder [kg/m ²]	0,0
Status for beregning	
Dato/tid for beregning	05.06.2018 08.43.32
Regnetid	0 min, 1 sek.
Antall konvergensfeil	0
Antall regnabsorpsjonsfeil	0
Numerisk kvalitetssjekk	
Samlet fukttransport, utv. (kl,dl) [kg/m ²]	0,02 3,34
Samlet fukttransport, innv. (kr,dr) [kg/m ²]	-0,02 -3,28
Balanse 1 [kg/m ²]	6,66

Beregning låst

OK Hjelp

15.01.2018 01.02.2018 15.02.2018

7 DISKUSJON

Resultatene fra forsøkene blir diskutert i denne delen av oppgaven.

7.1 Målekvalitet og usikkerhet

Det er alltid usikkerheter med måleutstyr som brukes for å måle noe som skjer i den virkelige verden. Det er derfor nødvendig å ta hensyn til disse usikkerhetene når man konkluderer noe ut fra målinger ved et slikt forsøk. I denne sammenhengen kan man nevne usikkerheten ved vektmåling, fuktmåling og usikkerhet knyttet til klimaskapene.

Det er i tillegg en del usikkerhet knyttet til fuktprosenten til elementene ved starten. Som tidligere nevnt har prøvene ligget i samme klima i en periode slik at de i utgangspunkt skulle ha samme fuktighetsprosent, men man må alltid regne med en del usikkerhet med alt.

Det er også usikkerhet ved tilnærminger man har gjort ved simulering i forhold til materialdata for valg av limsjiktene («Hardplast Polyuretan») fra Standard Norge. Det kan gi en viss usikkerhet i forhold til de reelle limdataene.

På grunn av vanskeligheter med tanke på tilgang til trelabben, hvor 2 av klimaskapene var plassert, ble utføringsplanen litt variert enn det som var planlagt. Noe som gir resultater som er vanskeligere å tolke.

7.2 Målinger og simuleringer

Resultatene fra målinger viser at det er stor variasjon innen prøvene når det gjelder fuktopptak. Det var tydelige vektforskjeller mellom prøvene. Noen av prøvene som ble brukt i tørke-veie metoden hadde store forskjeller innen for vekt, men fuktinnholdet var likevel ikke veldig ulik fra hverandre. Noe som kan tolkes med at egenvekten til treverket er forskjellig for hver prøve. Høy vekt indikerer lav porøsitet, men siden fuktinnholdet likevel var ganske likt i de prøvene, kan man finne på andre forslag. Et annet forslag som kan være begrunnelse for denne vektvariasjonen er tykkelse på årringene i gran.

Resultater av fuktmålingene fra de vanlige prøvene (uten kontaktlim og aluminiumfolie) i de ulike sjiktene i CLT visste at fuktinnholdet i ytterste sjiktene var høyere i forhold til innerste sjiktet. Dette kan enten ha skjedd på grunn eksisterende lim mellom sjiktene eller på grunn av materialets tykkelse. Derfor ble det utført forsøk hvor sidene av prøvene dekket med kontaktlim og aluminiumsfolie, som er damptett. Dette ble gjort for å hindre fukttransport gjennom materialet langs fibrene. På denne måten foregår fukttransporten kun gjennom limsjiktene. Resultatene fra fuktmåling i disse prøvene viser ganske stor variasjon. Noen av resultatene er ganske likt hypotesen, mens andre viser det motsatte. Dette ble tolket slik at disse prøvene har ulike mengder lim mellom sjiktene.

Resultat fra simuleringer viser også noe som ligner på det som var forventet.

7.3 Omstendigheter

Det er vanskelig å sammenligne resultater fra et forsøk utført i laboratoriet med et virkelig tilfelle.

7.4 Begrensninger og sammenligning av målinger og simuleringer

I denne oppgaven var det bestemt å se på betydning av limsjiktet i forhold til fuktbevegelser gjennom et krysslaminert massivtre element. Det er valgt metode for innsamling av nødvendig måledata for så å svare på en del forskningsspørsmål. Man kunne ha valgt andre metoder for å se på samme problemstilling.

I denne oppgaven ser vi at resultatene fra simuleringer og målinger ikke er veldig like. Resultat fra målingene viser at noen av resultatene ligger helt utenfor det som er forventet. Man kunne ha brukt statistiske programvarer, som for eksempel JMP, for å se på statistikken til resultatene. Men på grunn av tidsbegrensninger ble ikke programmet brukt i denne oppgaven. Her tar vi hensyn til usikkerheter med måledata i konklusjonsdelen.

Selv om forsøkene er utført i laboratoriet under bestemte forhold, er det vanskelig å unngå uforventet forstyrrelser av forsøkene. Det gjør at det blir vanskeligere å sammenligne resultatene med noe som er programmert uten å ha blitt forstyrret av eksterne forhold. Eneste som kan ha usikkerhet med simuleringer utført i dataprogrammer er de inndata vi gir til programmet.

8 KONKLUSJON

I denne oppgaven er stilt to hypoteser, som man ønsker å se om de er sanne eller ikke i forhold til målingene som er gjort:

- 1- Er det sant at ”Limsjiktet i Krysslaminert massivtre (CLT) fungerer som dampbrems slik at det er forventet tydelige forskjell mellom fuktinnholdet på to sider av lim i to sjikt, som er limt sammen.”?**

Resultatene viste stor variasjon og kun en av seks resultatene samsvarte med forventet tabell for fuktighetsmåling i CLT-lagene. Tre av seks resultater viser hopp i fuktighetsinnhold i noen lag, men ikke alle. To siste viser ikke tydelig tegn på at limet hadde stor betydning for fuktbalansen. Ut fra disse resultatene svaret er:

Limsjiktet i Krysslaminert massivtre fungerer som dampbrems, men effekten er ikke så stor. Vandamdiffusjonsmotstanden til limsjiktet er avhengig av fuktinnholdet i metrialet og reduseres med økt fuktinnhold. Limet er ikke fordelt likt i alle lag og alle overflater mellom sjiktene noe som også påvirker fuktbevegelser i gjennom CLT-lagene. Man får heller ikke tydelige fuktvariasjoner på begge sider av limsjiktene.

- 2- Er det sant at ”WUFI 2D er godt egnet til simulering av fuktbevegelser i CLT og er en god tilnærming til den praktiske delen, som skal utføres i laboratoriet”?**

Krysslaminert massivtre (CLT) ligger ikke som et byggemateriale i programmets databibliotek. For simulering av fuktbevegelser i CLT må man bygge materialet i programmet selv. Det kreves materialspesifikasjoner for både tre-materialet (Gran) og for limet. Resultatene fra WUFI simuleringer er avhengig av innputt data. Det er vanskelig å få disse resultatene til å stemme overens med virkeligheten. Ut fra disse resultatene svaret er:

WUFI 2D er ikke godt egnet til simulering av fuktbevegelser i CLT, og resultatene fra simuleringene heller ikke sammenlignbar med resultater fra laboratorieforsk.

- 3- Er det sant at ” Man får muggsopp på CLT-elementene som har ligget i et miljø med 85% RF ved temperatur på 20 °C i 2 måneder” ?**

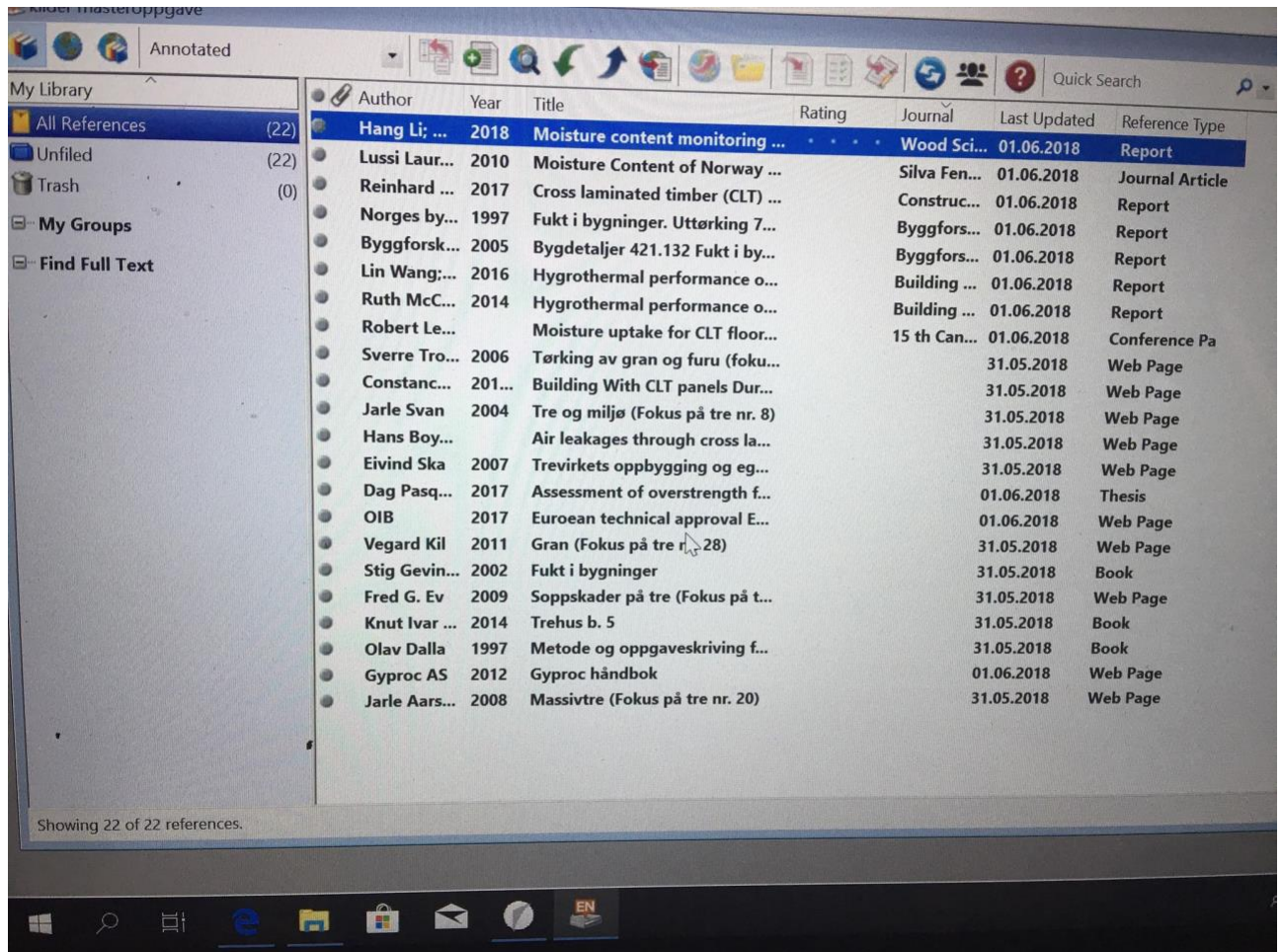
Prøvene har ligget i klimaskapet med 85% RF ved 20 °C fra 12.01.2018 til 12.04.2018, det vil si i tre måneder. Det er ikke noe tegn til vekst av soppvekst i prøvene i den perioden. Så svaret er:

Man får ikke muggsopp på CLT-elementene som har ligget i et miljø med 85% RF ved temperatur på 20 °C i opp til 3 måneder, ut fra observasjoner.

9 VIDERE ARBEID

Det kan være interessant å gjenta forsøket med krysslaminerte massivtre elementer fra to eller tre forskjellige leverandører, som bruker ulike typer limsjikt i materialet, for så å sammenligne disse. Det er også mulighet for å bruke andre måleutstyr, som kan gi nøyaktigere resultater.

10 KILDER



<http://www.biltema.no/no/Bygg/Kjemikalier/Ovrig/BT-Multibond-2000028571/>

11 VEDLEGG



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway