

Sammendrag

Masteroppgaven har til hensikt å undersøke fuktopptak i LVL (Laminated Veneer Lumber) og forskjellige målemetoder for å finne fuktinnholdet eller "moisture content" (MC) i treverk utsatt for klima med forskjellig fuktighet. Det er i dag begrenset med forskning og kunnskap på dette området.

Fuktberegningsmetoder som er brukt i forsøket er tørke-/veie metoden (gravimetric method) og en elektrisk motstandsmåler (resistance method) og er gjort i henhold til NS-EN13183-1 og NS3512:2014, med noen få unntak. (Norsk Standard, 2014; Norsk Standard, 2002)

Målingene ble gjort med 20 fuktsensorer fra Omnisense, som ble skrudd inn i 6 furu prøver og 14 LVL prøver. Prøvene ble undersøkt for klima variasjoner som man typisk kan finne i løpet av sommeren på byggeplasser i Norge. Temperaturen i forsøket ble stilt inn på 23°C og fuktigheten ble variert mellom 23%-98% i relativ fuktighet. Prøvene ble jevnlig veid under forsøket for å kunne beregne fuktinnholdet igjennom tørke-/veie metoden. Det ble observert at LVL prøvene tok opp raskere fuktighet sammenlignet med furu prøvene. Når prøvene ble flyttet fra luftfuktighet 50%RF til 75%RF absorberte LVL fukt betydelig raskere sammenlignet med furu. Ved måling med elektriske motstandsmåler fikk LVL et høyere fuktinnhold (%WME) enn furu i samme klima, der forskjellen økte ved høyere luftfuktighet. Resultatene fra tørke-/veie metoden viste at LVL og furu tok opp nesten like mye fukt. Motstandsmetoden målte for høyt fuktinnhold for LVL og for lavt for furu. Fra litteratursøket ble det bekreftet at limet påvirker ledningsevnen til limtre. Den betydelige forskjellen mellom de to metodene viser at limet i LVL leder strøm bedre i fuktighet over 65%RF. I oppgaven er det laget to korrigeringsstabeller, en for LVL og en for furu. Disse tabellene viser forskjellen på målte fuktverdier fra den elektriske motstandsmåleren og den antatte reelle fuktverdien.

Ved testing av posisjonene til sensorene, ble det observert 1-2 vektprosent forskjell i fuktinnholdet mellom de forskjellige posisjonene. Disse forskjellene ga ingen tydelig påvirkning på måleresultatene.

Sensorene som ble brukt har ifølge leverandørene en rekkevidde til Gatewayen på 100m, avhengig av bygningselementer i mellom. I enkelte tilfeller har det oppstått problemer med å få kontakt mellom Gatewayen og fuktsensorene. I et enkelt forsøk ble Gatewayen flyttet rundt på SINTEF laboratoriet for å undersøke hva som skal til for å blokkere signalene fra sensorene helt. Fra forsøket mistet gatewayen kontakt med sensorene etter 28m på samme plan og signalene nådde over to etasjer opp. Forsøket var ikke gjennomført systematisk nok til å trekke en klar konklusjon, men det kom tydelig frem at vegg og dekkelementer blokkerer signalene betraktelig.

Abstract

This master's thesis aimed to investigate moisture absorption and desorption in LVL (Laminated Veneer Lumber) exposed to atmospheric environments of different humidity and whether different measurement methods would give deviation in measured moisture content. Two different measuring methods were used to find the moisture content (MC). Research and knowledge in this area are currently limited.

The methods used to measure MC in this experiment are the gravimetric method and the electrical resistance method. The measurements are done according to method descriptions in NS-EN13183-1 and NS3512: 2014, with a few exceptions. (Norwegian Standard, 2014; Norwegian Standard, 2002)

The measurements were conducted with 20 moisture sensors from Omnisense screwed into 6 pine pieces and 14 LVL pieces. The samples were examined in atmospheric conditions typical for a construction sites during a Norwegian summer, with temperatures around 23°C and humidity variation of 23% to 98% RH. The weight of the samples was checked regularly during the experiment in order to calculate the moisture content according to the gravimetric method. The electrical measurement results showed that the LVL pieces absorbed moisture faster than pine pieces. When moved from an environment of 50% to 75% RH, LVL absorbed moisture considerably faster than pine according to the electrical measurements.

In summary when measuring with electric resistance meters, LVL had a higher moisture content (% WME) than pine in the same climate, and the difference increased with higher humidity. The results from the gravimetric method showed that LVL and pine actually had the same moisture content. The indicated moisture content from the resistance method was too high for LVL and too low for pine. Results from the literature review highlights that the glue in glued laminates affects the materials electrical conductivity. Why the measurements for pine was too low has not been assessed. The significant difference between the two methods shows that the adhesive in LVL conducts the electrical current better in moist environments above 65% RH. In this thesis, there are two correction tables, one for LVL and one for pine. These tables show the difference in measured moisture content from the electrical resistance meter from Omnisense and the actual moisture content.

When testing the positions of the sensors, results showed that such changes can have an effect of 1-2% in moisture content. However, this did not result in distinct impact on the results.

The sensors have, according to the vendor, a signal range of 100m to the gateway, depending on the building elements in between. In some cases, the contact between the gateway and the humidity sensors has been problematic. In an attempt to investigate this problem further, the gateway was moved around the SINTEF laboratory to determine what was needed to completely block the signals from the sensors. The results from this investigation showed that the gateway lost contact with the sensors already at a distance of 28m on the same floor and the signals reached over two floors. A clear distinct conclusion cannot be drawn, since the investigation was not carried out in a systematic manner.

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges Teknisk-naturvitenskapelige universitet, innenfor hovedprofilen Bygnings- og materialteknikk. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng og er en avsluttende oppgave for sivilingeniørstudiet våren 2019.

Det har vært en utfordrende og spennende oppgave. Jeg har arbeidet mye på laboratoriet til NTNU/SINTEF og fått innsikt i internasjonal forskning innenfor fuktopptak i treverk.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til min engasjerte og kunnskapsrike veileder Tore Kvande, som har vist stor interesse for resultatene og forskningen og som har bidratt med motivasjon til å gjennomføre arbeidet. Jeg vil også rette en takk til Erlend Andenæs for god hjelp med litteratursøk, utforming av artikkelen og datahjelp.

I tillegg vil jeg takk senioringeniør ved SINTEF, Egil Rognvik, for utmerket hjelp på laboratoriet med å tilpasse materialene og utstyret.

Trondheim, 09.juni 2019

A handwritten signature in black ink, reading "Inger M Birkeland". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath it.

Inger Merete Birkeland

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Formål og omfang.....	2
1.3	Avgrensninger	3
1.4	Oppbygging av oppgaven.....	3
2	Teori	5
2.1	Treverkets oppbygging	5
2.2	Cellenes oppbygging	6
2.3	Fukt i luft.....	7
2.4	Fuktopptak i treverk.....	7
2.5	Materialer	14
2.6	Målemetoder for fukt.....	15
3	Metode	19
3.1	Metodelære.....	19
3.2	Laboratorieforsøk.....	21
3.3	Litteratursøk	27
4	Resultater	29
4.1	Litteratursøk for fuktsensorene	29
4.2	Forsøksresultater	33
4.3	Tørke-/veie metode mot elektrisk motstandsmetode.....	48
4.4	Litteratursøk om signalstyrker	51
4.5	Signalstyrker.....	52
5	Diskusjon.....	55
5.1	Limets effekt	55
5.2	Fuktopptak	55
5.3	Posisjonene på sensorene	55
5.4	Tydelige avvik i målingene	56
5.5	Sorpsjonskurve.....	56
5.6	Tørke-/veie metode mot elektrisk motstandsmetode.....	57
5.7	Signalstyrker.....	57
5.8	Feilkilder:	57
6	Konklusjon	59
7	Videre arbeid.....	61
8	Bibliografi	63
9	Vedlegg	67

Figurer

Figur 1 - Stamme (Skaug, 2007)	5
Figur 2 - Oversikt over celleveggene (Skaug, 2007)	6
Figur 3 - Treverkets oppbygging (Ehmcke, 2018).....	6
Figur 4 - Forskjellige poresystem (Geving & Thue, 2002)	8
Figur 5 - Kapillærkondensasjon i en pore (Geving & Thue, 2002)	8
Figur 6 - Fuktopptak i porøse materialer (Geving & Thue, 2002)	9
Figur 7 - Illustrasjon av fuktinnhold (Ramstad, 2015).....	9
Figur 8 - Sorpsjonskurve for treverk (Geving & Thue, 2002).....	10
Figur 9 - Hysterese-effekten	11
Figur 10 - Tid til å oppnå likevekt	13
Figur 11 - LVL-flens fra Hunton (hunton.no).....	14
Figur 12 - Omnisense fuktsensor (OmniSense LLC, 2019)	16
Figur 13 - Sammenheng mellom sensorene og GW.	16
Figur 14 - Induktiv og deduktiv (Sander, 2017)	19
Figur 15 - Validitet og reliabilitet (Sander, 2017)	20
Figur 16 - Flensene og steget ble skilt fra hverandre med sirkelsag.	21
Figur 17 - Både LVL og furu prøvene ble kuttet opp i like store deler.	21
Figur 18 - Plastdelen ble kuttet med stikksag	21
Figur 19 - Prøven i midten ble brukket av etter saging.....	21
Figur 20 - Forboret med 10mm bor i prøvene.....	22
Figur 21 - Sensorene plassert i fuktlaboratoriet.	22
Figur 22 - Sensorene plassert i klimaskapet på en rist.	22
Figur 23 - Prøvene ble delt i to for å se hvilket lag elektrodene traff.	23
Figur 24 - ClimeEvent (Weiss Technik, 2019)	23
Figur 25 - Klimamålere fra Rotronic, HygroPalm.....	23
Figur 26 - Mål på fuktsensoren	24
Figur 27 - Sensorene i posisjon A og B for LVL.....	24
Figur 28 - Mettler pm400.....	25
Figur 29 - Kart over fuktsensorenes plassering. Illustrasjon: mazemap	26
Figur 30 - Forskjell på motstands og tørke-/veie metoden (Geving & Holme, 2009).	30
Figur 31 - Sorpsjonskurve for furu i forskjellig temperatur fra Hedlin (1967).....	31
Figur 32 - Sorpsjonskurve for LVL fra tidligere forskning	31
Figur 33 - Sorpsjonskurven til furu hentet fra Time (1998).....	32
Figur 34 - Fuktforløpet fra fuktsensorenes i 23% til 50% RF	33
Figur 35 - Vektutvikling fra 23% til 50% RF	33
Figur 36 - Fuktforløpet fra 75% til 50% RF.....	34
Figur 37 - Vektutvikling fra 75% til 50% RF	34
Figur 38 - Fuktforløp fra 23% til 75% RF	35
Figur 39 - Vektutvikling fra 23% til 75% RF	35
Figur 40 - Fuktforløp fra 50% til 75% RF	36
Figur 41 - Vektutvikling fra 50% til 75% RF	36
Figur 42 - Fuktforløp fra 75% til 98% RF	37
Figur 43 - Vektutvikling fra 75% til 98% RF	37
Figur 44 - Fuktutvikling fra 50% til 98% RF	38
Figur 45 - Vektutvikling fra 50% til 98% RF	38
Figur 46 - Varierende fukthistorikk til 23% RF	39
Figur 47 - %WME av furu og LVL	39

Figur 48 - Sorpsjonskurve for LVL fra motstandsmålingene	40
Figur 49 - Sorpsjonskurven for furu fra motstandsmålingene	41
Figur 50 - Fuktforløpet til L1.1, L1.2 og L1.3	41
Figur 51 - %WME for L1.1 (Omnisense, 2019).....	42
Figur 52 - Vektutvikling for L1.1 i 75% RF.....	42
Figur 53 - Fuktforløp i 98% RF Illustrasjon: Omnisense.....	43
Figur 54 - Utsnitt av fuktforløpet til L1.1 Illustrasjon: Omnisense	43
Figur 55 - Posisjon A og B i LVL	44
Figur 56 - Posisjon A og B i furu	44
Figur 57 - Sorpsjonskurve for furu sammen med tidligere forskning (Time, 1998)	46
Figur 58 - sorpsjonskurve for furu.....	46
Figur 59 - Sorpsjonskurve av LVL fra tørkemetoden sammen med tidligere forskning ...	47
Figur 60 - Sorpsjonskurve for LVL fra tørke-/veie metoden	47
Figur 61 - Sorpsjonskurve av furu og LVL sammen (fra tørke-/veie metoden)	48
Figur 62 - Sorpsjonskurve for LVL. Den grønne hele linjen viser sorpsjonskurven.	48
Figur 63 - Sorpsjonskurve for furu med begge metodene	49
Figur 64 - Forskjell på målemetoder for furu og LVL	49
Figur 65 - Oversikt over signaltreff i kjeller. Illustrasjon: mazemap	52
Figur 66 - Oversikt over signaltreff i S, 1.etg over sensorene. Illustrasjon: mazemap ...	52
Figur 67 - Oversikt over signaltreff i 1.etg, 2 etasjer	53
Figur 68 - Oversikt over signaltreff i 2.etg, 3 etasjer over sensorene.	53
Figur 69 - Ved kutting av prøven (L1.1) vises det et hulrom under den ene elektroden.	56

Tabeller

Tabell 1 – Måte å angi fuktinnhold i et materiale (Geving & Thue, 2002)	12
Tabell 2 – Oversikt over fukttransportmekanismer (Geving & Thue, 2002)	13
Tabell 3 - Densitet av materialene	14
Tabell 4 – Dimensjonene til I-bjelken	26
Tabell 5 - Sorpsjonsverdier fra tidligere forskning for LVL.....	31
Tabell 6 - Tabellen er hentet fra Time(1998) og egne verdier er lagt til	32
Tabell 7 - Kalibreringskurve fra Finisterra	32
Tabell 8 - Forskjell mellom furu og LVL (Motstandsmåling)	40
Tabell 9 – Forskjell på posisjon A og B i LVL	44
Tabell 10 – Forskjell på posisjon A og B i furu.....	44
Tabell 11 – Vektendring pr dag.....	45
Tabell 12 – Forslag til korrigeringskurve for furu	50
Tabell 13 – Forslag til korrigeringskurve for LVL.....	50
Tabell 14 – Reduksjon av signalstyrker.....	51

Forkortelser

- LVL Laminated Veneer Lumber er en mellomting mellom kryssfinér og limtre. Lagene er lagt med parallell fiberretning i motsetning til kryssfinér.
- EWP Engineer wood products, felles betegnelse på treverk hvor trestrukturen er endret for å oppnå optimale egenskaper.
- RF Relativ fuktighet, forholdet mellom vanndampmengden i luft og den maksimale vanndampmengden som luften kan inneholde om luften var mettet.
- GW Gateway, en boks som mottar signaler fra fuktsensorer og overføre data til en nettside.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Ifølge vitenskapelige målinger har jordas temperatur økt med 0,8 °C siden slutten av 1880. Forskeren fra NASA hevder at temperaturen vil fortsette å øke, noe som vil resultere i et mildere klima (Benestad, et al., 2019). Et fuktigere og mildere klima vil sannsynligvis også øke fuktigheten som kan øke risikoen for råte og mugg i bygninger, noe som er negativt for både helse og økonomi. Det er derfor viktig å bygge hus og bygninger som tåler et mer fuktig klima i fremtiden (met, 2017).

Treverk og en kombinasjon av forskjellige tresorter er blant de mest brukte bygningsmaterialene i Norge. Det er et organisk materiale med egenskaper som varierer i forhold til miljøet rundt. Treverk i bygninger er utsatt for muggvekst, krymping og utvidelse dersom det blir utsatt for ugunstige miljøforhold i form av fukt og vann. Råteskader oppstår som oftest ved treverk i direkte kontakt med flytende vann, men krymping og svelling av treverk oppstår oftest ved hygroskopisk fukt, altså vanddamp og fukt. (Time, 1998)

En kombinasjon av uteklimaet og beboerens aktivitet i huset er med på å påvirke inneklimate og mengden fukt treverk blir eksponert for. Fuktigheten i luften kan være årsaken eller medvirkende årsak til biologisk aktivitet (som myggvekst) som kan være viktige faktor for endring av egenskapene og nedbrytningen av bygningsmaterialer. Dette kan forårsake helseskader for de som befinner seg i bygningen og i verste fall sammenbrudd av konstruksjoner. Hvert år fører fukt i bygninger og konstruksjoner til omfattende bygningsmessige skader og problemer. Helseproblemer knyttet til fukt i bygninger har også i økende grad blir registrert de siste årene. For å forbedre kunnskapen rundt fuktproblematikken bestemte Norges bygg-forskningsinstitutt i 1998 å utarbeide en håndbok om fukt i bygninger (Geving & Thue, 2002). Men det er fortsatt et behov for å forbedre kunnskapen rundt treverk, ettersom at det kommer stadig nye treprodukter på markedet som det ikke er forsket tilstrekkelig på.

Ved nye løsninger av bygningskonstruksjoner øker også viktigheten av å ha nøyaktige og konsistente fuktmålinger i bygningselementene. Den mest nøyaktige målemetoden av fuktinnhold i tre elementer er tørke-/veie metoden som krever at man fjerner et stykke av treverket for å veie det og beregne vektforskjellen. Metoden er tidkrevende og krever delvis ødeleggelse av prøven og er derfor en tungvint og tidskrevende metode (James, 1963). Et annet måleprinsipp for å undersøke fuktinnholdet i treverk er elektrisk motstandsmetode, som går ut på at den elektriske motstanden blir mindre når fuktinnholdet i treverket øker og kan ut i fra dette beregne fuktinnholdet. Dette er en enkel og raskt metode, men har mindre nøyaktighet. Ved nye bygningsløsninger, nye materialer og stadig økende fuktighet i lufta er det behov for å kontrollere fuktnivået inne i elementer som ofte blir bygget inn i flere lag. I disse tilfellene er elektrisk motstandsmålere praktiske å installere ved byggestart for å kontrollere forholdene i bygninger uten å måtte destruere deler ved mistanke om fuktproblemer.

Bruken av trebaserte bygningsmaterialer kalt Engineered Wood Products (EWP) øker stadig innen byggevirksomheten i Norge. Eksempel på EWP brukt i Norge er kryss-finér, limtre, OSB-plater, tak- og gulvsystemer, hvor I-bjelker med flenser av LVL er av spesiell interesse i denne oppgaven. EWP er skreddersydde til sitt bruk og de fysiske egenskapene er ofte

blitt optimalisert (Fokus på tre, 2017). Disse materialene består ofte av tynne trelag, som er behandlet på forskjellig måte, med lim mellom lagene. Selv om elektrisk målinger er brukt i EWP i lang tid, har måling av fuktinnholdet i slike materialer vist seg å være utfordrende. Noen studier har vist at målingene med motstandsmetoden i kryssfiner ga en forskjell i resultatene fra tørke-/veie metoden (Glass & Carll, 2009). Noen typer lim som brukes i kryssfiner kan være elektriske ledere, og kan derfor påvirke lesingen av elektriske fuktighetsmålere (Bell & Krueger, 1949). Dette åpner opp for spekulasjoner om sensorene som bruker motstandsmetoden, også kan gi feil resultater ved bruk av andre typer EWP. Usikkerheten er aktualisert gjennom fuktovervåking på kompakte uluftede tretak på Sveabakken, et pilotprosjekt av klima2050. Taket er instrumentert med fuktsensorer i flensene til takbjelkene for å oppnå kontinuerlig fuktovervåking (Kvande & Gullbrekken, 2018).

Oppgaven søker svar på følgende forskningsspørsmål:

1. Blir målingene av fuktighet gjennom motstandsmetoden påvirket av limet i LVL materialet?
2. Er det noen forskjell på det målte fuktopptaket i LVL og furu?
3. Hvor god rekkevidde har signalene fra sensorene?

1.2 Formål og omfang

For å få en interessant og spennende oppgave var det ønskelig å ha en forskningsdel i masteroppgaven. Det skulle være noe nyttig for byggebransjen, som kunne gi tydelige resultater og som var fremtidsrettet. Hovedmålet med denne oppgaven er å avklare sammenhengen mellom målte fuktverdier i LVL med fuktsensorer og den reelle verdien bestemt ved tørke/veie-metoden, samt hvordan LVL reagerer på forskjellig fuktklima. Ved å sammenligne forskjellige prøver av LVL mot furu søke vi grunnlag for en bedre forståelse av hvordan fukt absorberes i treverket.

Den ene delen av oppgaven baserer seg på et forsøk i laboratoriet til NTNU og SINTEF Byggforsk. Laboratoriet har et rom som kan holde et konstant klima over lengre tid og et klimaskap som kan justerer seg etter ønsket klima. Ved å bruke 20 like fuktsensorer i ulike testprøvene vil det bli variert mellom følgende faktorer:

- 1) Klimaet vil ha konstant 23°C og variere fra 23%, 50%, 75%, 98% og 100% RF.
- 2) Sensorene er plassert i to forskjellige posisjoner for å undersøke om dette kan påvirke resultatene.
- 3) Prøvene består av furu- og LVL-biter.

Den andre delen av oppgaven går ut på å undersøke signalstyrken til sensorene. Dette vil foregå samtidig som målingene i første delen av oppgaven. Gateway (GW) enheten som mottar signalene fra sensorene vil bli flyttet rundt i bygget for å undersøke hvilke elementer som blokker signalene. Det vil kun undersøkes om det er kontakt mellom GW og sensorene eller ikke. Det vil ikke bli gått inn på hvor mye signalene svekkes av elementene.

1.3 Avgrensninger

Oppgaven ser kun på hygroskopisk (altså vanndamp) fukttransport i treverk og vil kun se på fuktopptaket under fibermetningspunktet (<30% MC). Det blir heller ikke sett på oppførselen av treverket som krymp, oppsprekking og deformasjoner.

Det ble kun brukt to forskjellige metoder for å måle fuktinnhold, og forsøket ble basert på at tørke-/veie metoden skal være korrekt. Ved måling av tørke-/veie metode, ble det gjort to antagelser: At alt vannet er blitt fjernet under uttørkingen og at det ikke falt av biter fra materialet underveis i forsøket. Dersom målemetoden er gjort nøyaktig, er det kun disse to faktorene som kan gi usikkerhet i målingene (James, 1963).

Treverket har kun variert gjennom et begrenset spekter av relativ fuktighet. Dermed er ikke hystereseeffekten fullt vist, da treverket ikke har kunnet variere mellom alle fuktverdiene grunnet tidsbegrensninger. Den helhetlige sorpsjonskurven til et materiale kommer fra at materialet går fra helt tørt til nære fullt mettet, mens i denne oppgaven startet prøvene i 23% RF. Kurver som er laget over mindre fuktighetsspenn faller ofte gjennom det fulle kurvespennet (Time, 1998).

I denne oppgaven blir det kun brukt en I-bjelke fra en leverandør og furuprøver fra et furutre. Det kan være stor forskjell mellom samme treslag i forhold til fukthistorikk, hvilken årstid treverket er produsert i fabrikken, hvordan solforhold har vært og klimaet treet har grodd i. Det vil derfor kun bli kartlagt et øyeblikksbilde. Fukthistorikken til prøvene før forsøket er ukjent.

Det er kun brukt sensorer fra Omnisense for de elektriske målingene. Det kommer stadig nye typer på markedet som kan gi andre resultater enn denne oppgaven gjør og ha andre korrigeringer.

1.4 Oppbygging av oppgaven

Denne oppgaven består av teori om hvordan fukt tas opp i treverk, fuktighet i luften, hvordan fukt transporteres og måles i materialer (kapittel 2). Neste del av oppgaven omhandler hvordan instrumenter ble brukt og hvordan materialene ble behandlet og fremgangsmåte for å finne resultatene i oppgaven gjennom litteratursøk og forskning. (kapittel 3). I kapittel 4 blir det gått inn på resultatene som er funnet under forsøkene og litteraturstudiet. Tilslutt er det diskusjon av funn og konklusjon hvor det svares på forskningsspørsmålene.

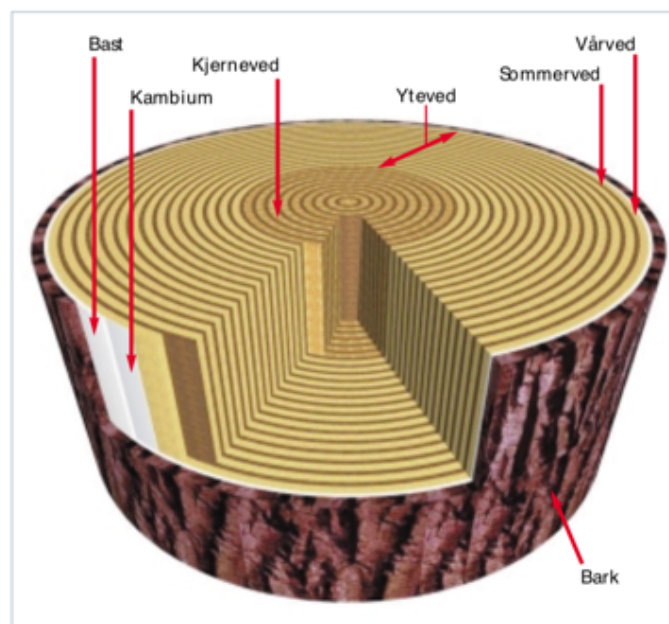
2 Teori

Denne oppgaven omhandler treverkets oppbygging, fuktighet i luft og fuktopptak i treverk. Det vil også bli diskutert egenskapene til treverk som furu (*Pinus sylvestris*) og LVL-bjelker (Laminated Veneer Lumber).

2.1 Treverkets oppbygging

Treverk har en kompleks biologisk struktur med mange forskjellige celler og kjemikalier for å dekke behovene til en levende plante. De tre hovedfunksjonene til treet er å lede vann fra røttene til bladene, mekanisk støtte til plantestrukturen og lagring av kjemikalier. Det finnes ca. 20.000 forskjellige typer treslag, der hver sort har sin egen karakteristiske oppbygging, unike egenskaper, bruksområder og evner. Et tre deles inn i stammen og røttene, der røttene er underjordiske strukturer som er ansvarlig for opptaket av vann, opptak av mineraler og mekanisk forankring av trestammen.

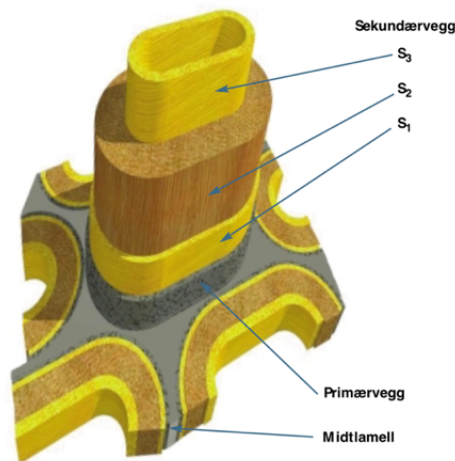
Ytterst på trestammen er **barken** (outer bark), som består av døde celler som beskytter vekstlaget innenfor. **Bast** (inner bark) er laget innenfor barken og består av levende celler som transporterer byggestoffer nedover treet. Det neste laget heter **Kambium** (Vascular magnification) som består av celler som deler seg. Det dannes også bastceller utover, men de fleste cellene settes av innover. Det lyse trelaget som ligger nest innerst er **Yteved** (Sapwood) som transporterer vann og næringsstoffer oppover i treet. **Kjerneveden** (Heartwood) ligger innerst og består av døde celler. Trær som vokser opp i vekslende årstider med tørkeperioder eller vinter får årringer i veden. Ringene består av **vårved** som har tynne cellevegger, lysere farge og celler med relativt stor diameter. Det andre laget består av **høstved** der celleveggene blir tykkere, fargen er mørkere og cellediameteren blir mindre. Overgangen mellom ringene kalles for årringer. (Aarnes & Bøhmer, 2017)



Figur 1 - Stamme (Skaug, 2007)

2.2 Cellenes oppbygging

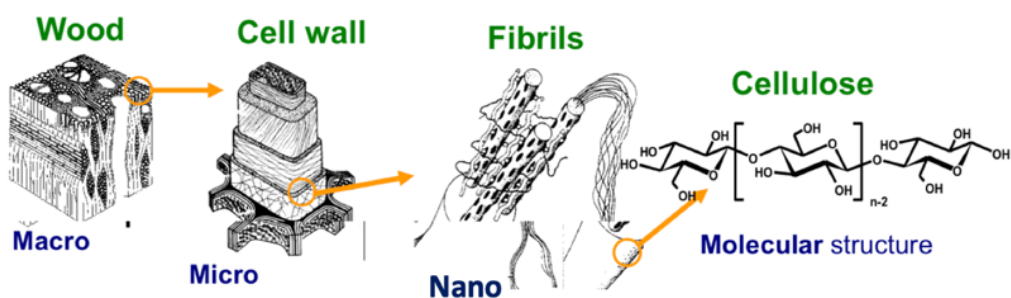
Ved å se på oppbyggingen av enkelte celler, ser man at celleveggen består av flere sjikt. Det ytterste sjiktet som skiller nabocellen blir kalt midtlamellen. Denne består hovedsakelig av lignin og betegnes som limet som holder cellene sammen. Neste laget heter primærveggen og består av cellulosefibriller som er mettet av lignin. Mikrofibrillene i dette laget ligger sammenflettet i alle retninger. På innsiden av laget kommer sekundærveggen som deles inn i; overgangslamellen (S_1), den egentlige sekundærveggen (S_2) og tertiærveggen (S_3). S_1 er relativt motstandsdyktig mot soppangrep, dette fordi mikrofibrillene ikke består av ren cellulose og er kapslet inn av lignin. S_2 er betraktelig tykkere enn resten av sjiktene til sammen. Her danner cellulosefibrillene en vinkel som er nesten aksial retning og ligger tettere sammen. Det er dette laget som gir grunnlag for materialets strekkfasthet. Dette sjiktet består av 40-60% cellulose, 20-30% hemicellulose og 10-20% lignin. Hulrommet i midten av cellen kalles lumen. Mellom fibrillene ligger det bundet vannet i trevirket. Når trevirket binder mer vann mellom fibrillene, vil de bli skjøvet fra hverandre og omvendt ved en uttørking. (Skaug, 2007)



Figur 2 - Oversikt over celleveggene (Skaug, 2007)

Treverk består av ca. 40% cellulose, ca. 25% hemicellulose, 20-30% lignin og resten er forbindelser som garvesyre, fett og harpiks. Vedens tørrstoff består av 50% karbon, 43% oksygen, 6% hydrogen og 1% nitrogen og aske. (Aarnes & Bøhmer, 2017) Sjiktene er igjen oppbygget av mindre byggeklosser kalt mikrofibriller, vist på

Figur 3. Disse er langstrakte bunter av cellulosekjeder som er plassert ulike vinkler i forhold til lengdeaksen til fibre.



Figur 3 - Treverkets oppbygging (Ehmcke, 2018)

2.3 Fukt i luft

Lufta har en evne til å avgi og ta opp fukt, noe som er sentralt ved behandling av fuktproblemer. Vanndampkonsentrasjonene v [kg/m^3] blir ofte kalt luftas absolutte fuktighet (eng. AH). Vanndampinnholdet i lufta vil være avhengig av hvilke andre gasser som er i nærheten. Alle temperaturer vil ha en øvre grense for mengde vanndamp lufta kan ha, dette kalles for metningstrykket ρ_{sat} (Pa) eller metningsinnhold v_{sat} . Dette metningstrykket vil øke ved økt temperatur, slik at varmere temperatur kan inneholde mer vanndamp enn kald luft.

Kondensproblemer på overflaten av et materiale avhenger av duggpunktstemperaturen. Duggpunktstemperaturen (t_d) er den temperaturen en gassmengde må kjøles ned til, uten at trykket og dampinnholdet endres for at den blir mettet (100% RF). Når luften kjøles ned til under duggpunktet vil vanndampen fortette seg til små dråper som danner tåke i store mengder. Når duggpunktet er lavere en frysepunktet, vil det danne seg iskrystaller. (Dannevig & Harstveit, 2018)

Relativ fuktighet er et mål for mengden vanndamp i lufta, som gir et forhold mellom luftas absolutte fuktighet og den fuktigheten som må til for å oppnå metning ved en gitt temperatur i prosent. Mengden vannmolekyler som lufta kan holde på avhenger av temperaturen i lufta før vanndampen begynner å kondensere. Hver temperatur har en øvre grense på hvor stort vanndampinnhold lufta kan ha før den blir mettet. Ved mettet luft vil relativ fuktighet (RF) settes til 100%. Det er sjeldent at luften blir helt mettet i den frie atmosfæren, som oftest kun ved skyer eller tåke. Ettersom RF er avhengig av temperatur gir den et dårlig mål på mengde vanndamp i lufta, og det kan være mer aktuelt å bruke duggpunktstemperaturen for å finne absolutt fuktighet i lufta. (Samuelsen, 2017) Den relative fuktigheten til lufta er veldig avgjørende for hvor raskt et materiale med fuktoverskudd kan tørke ut. Et materiale vil innstille fuktinnholdet i forhold til lufta rundt sin RF.

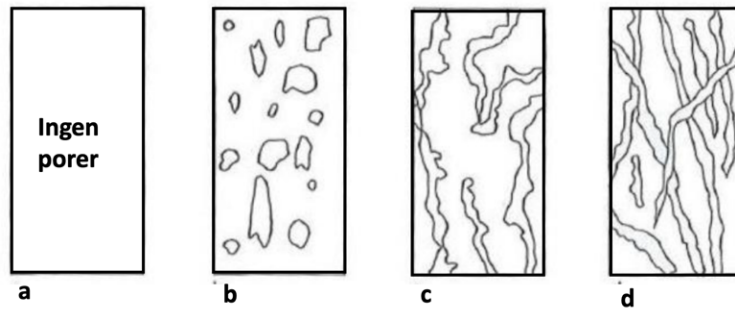
2.4 Fuktopptak i treverk

2.4.1 Poresystemet

Poresystemet er avgjørende for fukttransporten og fuktopptaket for et materiale. Ved store porer kan fukt i væske- og dampform transporteres raskt gjennom et materiale, i forhold til mindre porer. Mange små porer medfører at det bindes fastere i materialet, slik at det hygroskopiske fuktinnholdet blir større, enn ved store og få porer. Det er også avgjørende for fuktopptaket om hvordan porene er forbundet med hverandre og om de er åpne eller lukkede. Treverk har kontinuerlig faststoff og poresystem. Porøsiteten, n , bestemmer det maksimale mengden vann et materiale kan inneholde og defineres som følgende:

$$n = 1 - \frac{\rho}{\rho_{sol}} \quad (\text{Geving \& Thue, 2002})$$

der n er porøsiteten til materialet, ρ (Kg/m^3) er romdensiteten og ρ_{sol} (Kg/m^3) er materialets faststoff sin densitet uten porer. Det er stor variasjon mellom porøsiteten til materialer, der lette plastbaserte materialer kan ha 99,8% porøsitet og metall har normalt ingen porøsitet. Poreoverflaten kan også variere stort, der tre regnes å ha en poreoverflate på rundt 30m^2 pr gram.



Figur 4 - Forskjellige poresystem (Geving & Thue, 2002)

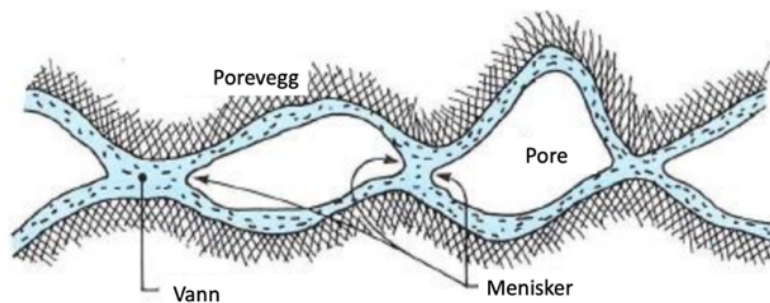
2.4.2 Fuktbindinger

Man kan dele bindinger inn i kjemiske og fysikalske bindinger. De kjemiske bindingene er som oftest ikke inkludert i begrepet fukt, da det er så fast fiksert i materialet. Det er de fysikalske bindingene som regnes ved fukt i materialer, altså fordampbart vann. De fysikalske bindingene deles inn i osmotiske bindinger, adsorpsjon og kapillærkondensasjon.

Osmotisk binding kommer av salter tilstede i materialet som reduserer vandamptrykket. Det dreier seg om små mengder salt. Vanligvis ser man bort ifra denne effekten da det er vanskelig å skille mellom adsorpsjon og osmotisk binding.

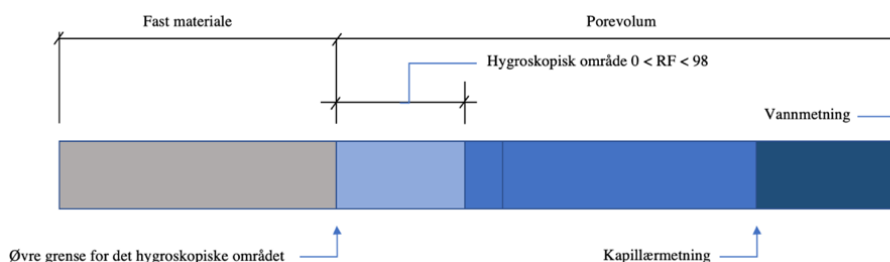
Adsorpsjon er tiltrekningskrefter mellom vann- eller vandampsmolekyler og molekylene i det faste stoffet (spesielt pores overflate). Denne bindingen regnes som relativt svak i forhold til kjemisk binding. Det første H₂O-molekylet antas å holdes fast med 1000-2000MN/m². For å kunne fjerne det innerste molekyllaget må temperaturen opp til nesten 500°C. (Thue, 2016)

Kapillærkondensasjon. Etter hvert som RF øker vil tykkelsen av de adsorberte molekyllagene bli større og større og den luftfylte delen i porene vil stadig bli mindre. Tilslutt vil de to lagene på hver siden av poreveggen møtes. Men oppbyggingen av lagene skjer ikke likt overalt. Væskeoverflaten får en konkav form grunnet adhesjonskreftene, og danner to menisker. I forholdt til plane og enkeltkrumme væskehinner vil en dobbeltkrum menisk vil ha større tiltrekningskraft på de frie vandampmolekylene. Den relative luftfuktigheten over menisken synker. Ved lav relativ fuktighet vil porene være små at kapillærkondensasjon vil ikke være merkbar. Når RF øker til 80-90% vil kapillærkondensasjonen begynne å gi utslag, der virkningen vil øke raskt når den nærmer seg 100%. (Thue, 2016)



Figur 5 - Kapillærkondensasjon i en pore (Geving & Thue, 2002)

Fukttinnholdet i et materiale er avhengig av posesystemets egenskaper, fuktpåvirkninger og materialtype. Fuktopptaket blir vanligvis delt inn i tre stadier; hygroskopisk område, kapillært område og overmetningsområdet. Se Figur 6.



Figur 6 - Fuktopptak i porøse materialer (Geving & Thue, 2002)

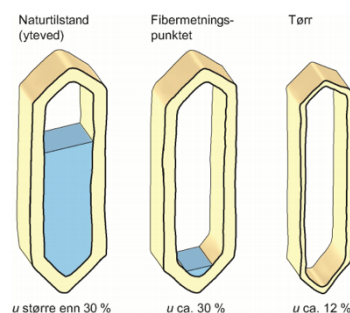
Det *hygroskopiske området* er hvor materialet tar opp fukt ved lagring i fuktig luft. Det *kapillære opptaket* skjer når små porer fylles fra et vannspeil. *Overmetningsområdet* er ved fullstendig metning av store porer i materialet. Ved fullstendig metning av porene må materialet som regel settes under trykk.

2.4.3 Kapillærsuging

Når et tørt materiale får kontakt med en fri vannflate, vil en sorpsjonsprosess begynne i vannflaten. Dette kalles for kapillærsuging. Denne prosessen er i likhet med kapillærkondensasjon også en sekundær virkning av adsorpsjonskreftene, men skiller seg ut ved at fukten ikke trekker seg ut av de dampmengdene som lufta inneholder og i stede trekkes ut av et væskereservoar. Vannmolekylene vil altså bli trukket opp langs poreveggene av de umettede elektriske kreftene. Kohesjonskreftene vil også gjøre at vannet trekkes inn i de sentrale delene av porene. Her vil tyngdekraften prøve å holde tilbake vannet, mens adsorpsjonskreftene vil gjøre at vannet stiger opp i porene.

2.4.4 Fritt og bundet vann

I nysaget trevirke vil cellehul-rommene være delvis eller helt fylt med vann, dette kalles fritt vann, mens celleveggen vil være mettet av det vi kaller bundet vann. Trevirkets fuktighet regnes som summen av fritt vann og bundet vann. Under en tørkeprosess vil det være det frie vannet som først fjernes fra cellehulrommet. Når det kun er bundet vann igjen, vil treverket har ca. 30% fukt og da har treverket nådd sitt *fibermetningspunkt*. Her er fibre bundet med mettet vann. Ved videre tørking vil det bunnede vannet som ligger mellom microfibrillene (byggesteinene) i fiberveggen gradvis forsvinne, og microfibrillene vil komme nærmere hverandre. Dermed vil treverket krympe. Fibermetningspunktet er altså ved det fuktnivået der treverket ikke kan ta opp mer bundet vann. Punktet er avhengig av treslag og temperatur, der det ligger på 28% for gran og furu ved 20°C. (Ramstad, 2015)



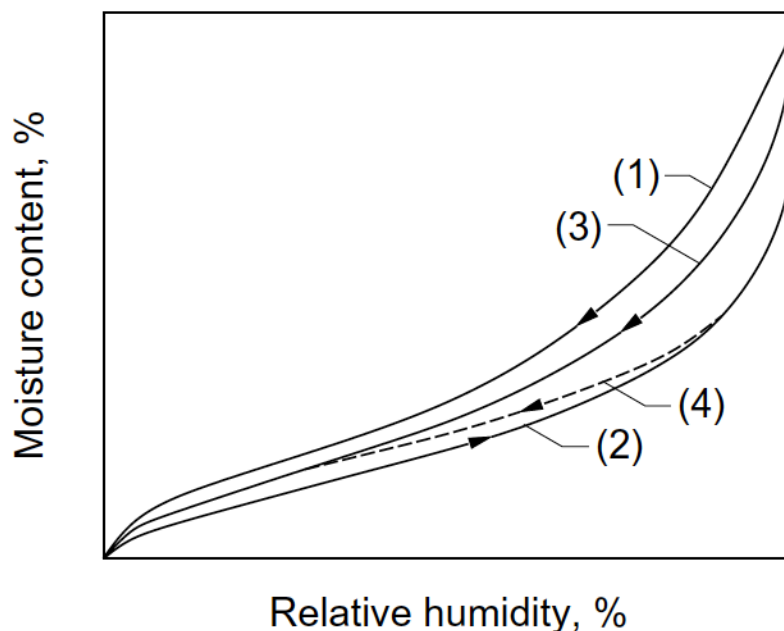
Figur 7 - Illustrasjon av fukttinnhold (Ramstad, 2015)

2.4.5 Hygroskopisk

Materialer som kan binde fukt i poresystemet blir kalt for *hygroskopiske* materialer. Når det kommer i kontakt med fukt i form av enten damp eller væskeform vil treverket ta opp eller gi fra seg fuktighet fra omgivelsene. Fuktinnholdet i treverk avhenger av den relative fuktigheten i luften, materialtypen, poresystemets egenskaper og den formen for fuktbinding som oppstår. Desto høyere luftfuktighet (RF) det er, desto høyere blir fuktinnholdet i materialet. Den øvre grensen til et materiale er ved lagring i luft med 100% RF. I praksis er det ikke mulig å opprettholde et klima med 100% RF, noe som gjør at det ofte blir beregnet lavere RF, rundt 95-98% RF.

2.4.6 Sorpsjon

Sorpsjon er en fellesbetegnelse for absorpsjon/adsorpsjon* (øke fuktinnholdet fra luften rundt) og desorpsjon (minske fuktinnholdet til luften rundt). *Absorpsjon* er prosessen der det blir tatt opp væske i fast stoff, mens *adsorpsjon* er definert som binding av vann på overflaten av faste stoff. (NGU, u.d.) *Desorpsjon* er når fuktinnholdet minsker til luften rundt. Et hygroskopisk materiale som plasseres i luft med konstant temperatur og fuktinnhold, vil gradvis tilpasse fuktinnholdet sitt i forhold til luften. Vektendringen er størst i starten, men vil etter hvert minske til det når sin *likevektsfuktighet*. Dette kan ta svært lang tid, alt fra uker til måneder. Ved å plassere materialet i samme temperatur, men med en annen RF vil materialet nå en ny likevekt. Ved å kartlegge mange slike likevektspunker får man en sorpsjonskurve. Eksempel på en slik kurve vises i Figur 8. (1) viser første desorpsjons kurve, (2) viser første absorpsjonskurve, (3) viser andre desorpsjonskurve og (4) er skanningskurven.



Figur 8 - Sorpsjonskurve for treverk (Geving & Thue, 2002)

Ved å gjøre liknende forsøk med lignende temperatur, vil man få nogen lunde samme form på sorpsjonskurven, men den vil ligge litt lavere eller høyre. I bygningsfysiske vurderinger er det aktuelle temperaturområdet mellom -20 og 30 °C. Dette temperaturområdet vil ha så liten innvirkning at det ofte neglisjeres.

Sorpsjonskurven deles ofte inn i tre forskjellige deler:

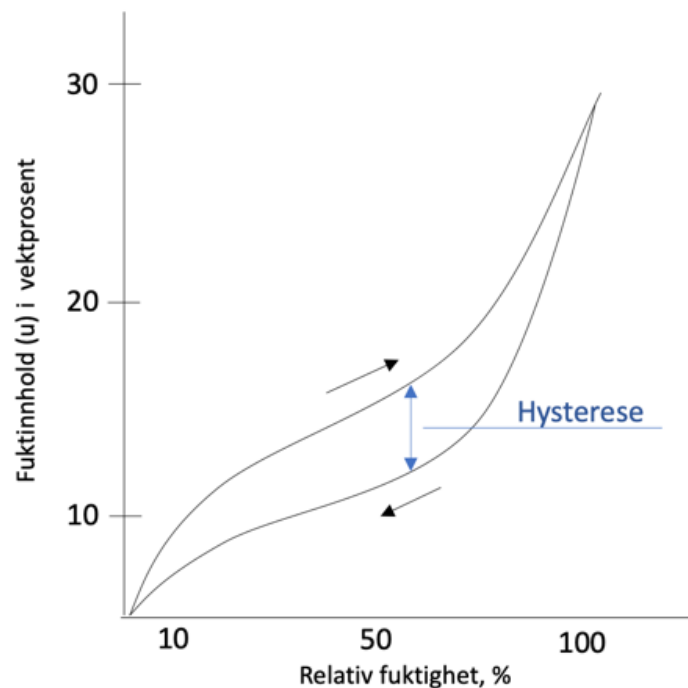
- 1) Ved lav fuktighet vil det være en sterk stigning, hvor bindingskreftene er svært store.
- 2) Etter hvert vil likevekstfuktigheten øke noe langsommere. Ved et punkt vil den øke proporsjonalt med RF.
- 3) Ved høy RF begynner kurven å stige hurtigere igjen. Dette kommer av at kapillærkondensasjon i de større porene kommer sterkere inn i bildet. Kurven går vanligvis opp til den øvre hygroskopiske grense (ca. 98%).

(Geving & Thue, 2002)

2.4.7 Hysterese

Mengden fukt materialet har vært utsatt for tidligere (fukthistorikken) vil også kunne ha en innvirkning på fuktinnholdet ved et gitt tidspunkt. Porenes form, størrelse og fordeling i et treverk kan ha stor innvirkning på fuktbindings- og fukttransportens egenskaper til materialet. Ved koking eller neddykning i vann vil man finne det aktuelle poreinnholdet til materialet og ikke det totale poreinnholdet. Det vil alltid være noen isolerte porer som ikke kan bli fylt helt opp på denne måte, men disse er ikke aktuelle for målinger da de ikke vil fylle seg opp i praksis heller.

Når man undersøker likevekstfuktigheten i et materiale ved stigende relativ fuktighet (RF), vil resultatet bli annerledes enn når man senker RF. Det vil da danne seg to kurver, en absorpsjon- (fuktopptak) og en desorpsjonskurve (uttørking). Dette kalles for *hystereseeffekten*. Fukthistorikken til materialet vil dermed ha en betydning for hvilket fuktinnhold det vil ha. Dermed er det fordel å se på sorpsjonslinjene, ikke som nøyaktige verdier med som grenseverdier for treverkets fuktighet. (Time, 1998)



Figur 9 - Hysterese-effekten

Det er uklart hva som skylder denne hystereseeffekten. Det er mye som tyder på at årsaken kan være at vannmolekylene må skyve vekk nitrogen- og oksygen-molekyler under absorpsjon som allerede er bundet til poreoverflatene. Denne prosessen krever mye energi. Det kan også være porestrukturen som kan være årsaken til hystereseeffekten. Det er uansett klart at forholdet mellom materialets fuktinnhold, luftas RF og temperaturen er avhengig av retningen fuktprosessen går og dens opprinnelige fukttilstand. (Geving & Thue, 2002)

Ved gjentatte ganger oppfukting og uttørking av et materiale gjentatte ganger, vil fuktinnholdet bevege seg på kurver som ligger gjennom absorpsjons- og desorpsjonskurver. Disse kurvene kalles for *scanningkurver*.

2.4.8 Fuktinnholdet

Det er flere måter å angi fuktighet i treverk. Man kan ha fuktmassen (i kg) per tørrstoffmasse-enhet (i kg). Denne måten er vanligst for tyngre materialer som betong, tegl og treverk. Denne måten å oppgi fuktighet på betegnes med u (kg/kg). Og kan bli regnet ut ved å ha verdien for vekten til materialet i fuktig tilstand og tørr tilstand.

$$u = \frac{mv - m_0}{m_0} * 100\% \quad \text{NS 3512:2014 pkt. 3.1.1(1)}$$

Tabell 1 viser flere måter å betegne fuktinnhold på.

Tabell 1 – Måte å angi fuktinnhold i et materiale (Geving & Thue, 2002)

Definisjon	Symbol	Enhet
Fuktmasse/Tørrstoff-masse	u	Kg/kg (Vektprosent)
Fuktmasse/materialvolum	w	Kg/m^3
Fuktvolum/Materialvolum	ψ	m^3/m^3 (Volumprosent)
Metningsgrad, fuktvolum/porevolum	S	Ubenevnt (evt. i prosent)

2.4.9 Uttørking

Ved fuktinnholdet i et materiale, beregner man alltid den totale mengden fritt vann som kan fordampes i materialet. Ved måling av fuktinnholdet veies prøver i fuktig og uttørket tilstand. Dermed er det viktig å oppgi hvilken tørkemethode som blir brukt med målingene, da forskjellige metoder kan gi ulik tørrvekt. Ved tørking under høy temperatur vil flyktige bestanddeler i materialet forsvinne. Ved "tørt materiale" menes det ikke alltid at materialet er absolutt fritt for vann, men mer at det oppfyller en tørkebetingelse. Et eksempel kan være når et materiale er tørket under 103 °C skal det tørkes til vektendringen er mindre enn 0,1% av total masse pr døgn. (Geving & Thue, 2002)

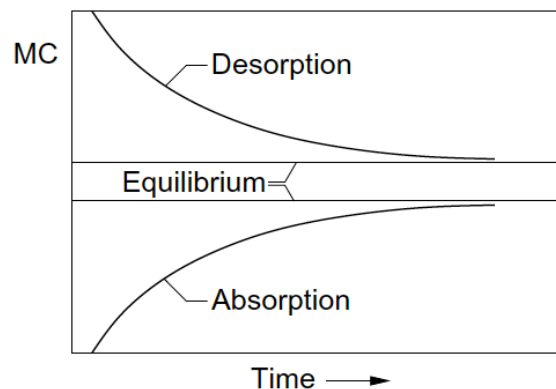
Strukturen av materialet og materialegenskapene er avhengig av genetiske faktorer, vekststed, trussel etter logging og forhold i bruk som belastning, temperatur og fuktighet. På grunn av dette kan treverk være mye mer utfordrende materiale å bruke og å jobbe med enn menneskeskapte bygningsmaterialer som betong, stål og polymerprodukter. (Time, 1998)

2.4.10 Norsk standard

Ved de forskjellige målemetodene har norsk standard laget veiledninger til hvordan disse burde utføres. NS-EN 3512:2014 viser en oversikt over punkter ved måling av fukt i treverk, og går inn på kravene som settes ved måleelektroder. Videre viser NS-EN 13183-1 hvilke krav som settes ved tørkemethoden. Disse standardene vil bli nærmere beskrevet i kapittel 3, metode.

2.4.11 Fukttransport

Fuktopptaket i treverk kan deles inn i to hoveddeler, bindingen av vann før fibermetningspunktet (hygroskopisk fukt) og binding av fukt over dette punktet. Den vanligste måten å beskrive fukttransport i treverk er å anta at fuktutviklingshastighet styres av diffusjonsprosessen. Effekten av tid for å oppnå likevekt for både absorpsjon og desorpsjon. Det kan variere mellom uker og måneder før treverket kan nå likevekt avhengig av størrelsen.



Figur 10 - Tid til å oppnå likevekt

Fuktopptaket kan skje gjennom to prosesser, enten ved vanndamptransport eller væsketransport.

Tabell 2 – Oversikt over fukttransportmekanismer (Geving & Thue, 2002)

Vanndamptransport	Dampdiffusjon Effusjon Løsningsdiffusjon Konveksjon
Væsketransport	Kapillærledning Overflatekryping Dreneringsstrømming Hydraulisk strømming Elektrokinese Osmose

Vanndampdiffusjon og effusjon kommer av egenbevegelsene til dampmolekylene, der forskjellen i vanndamptrykket blir drivkraften.

Løsningsdiffusjon er fukttransport i ikkeporøse, organiske polymerer. Drivkraften her er konsentrasjonsgradienten

Konveksjon kommer fra luftstrømningen. Drivkraften kommer fra Forskjellen i luftas totale trykk.

Kapillærledning kommer av forskjell i porevannsundertrykket i poresystemet.

Overflatekryping skjer i de porene som ikke totalt vannfylte. Her er forskjellen i tykkelse på vannfilmen i porene driftkraften. Dette skjer når RF ligger på rundt 50-60%.

Dreneringsstrømning er vannstrømning i de grove porene, der potensialet er tyngdekraften.

Hydraulisk strømning er vannstrømning på grunn av overtrykk. Dette kan forekomme på tak ved stående vanntrykk og lekkasje i tekning. (Gustavsen, 2018)

2.5 Materialer

Under forsøket ble det testet både for norsk furu, steget av OSB og LVL. Fuktsensorene var stilt inn for treslaget US Douglas Fir, en amerikansk furu.

Tabell 3 - Densitet av materialene

Material	Densitet (middel) Kgxm⁻³
LVL flens	500
Hardboard steg	900
Norsk furu	510
US Douglas Fir	530

2.5.1 LVL

LVL er en mellomting mellom kryssfinér og limtre. Tverrsnittet består av sammenlimte trelag med *fenol formaldehyd-lim*, som er lagt med parallell fiberretning (BBA, 2017). Dette limet er også ofte brukt i kryssfinerplater der tynne finerflak blir presset sammen under stort trykk. Tidligere har flenser bestått av tradisjonelt trevirke av typen L36, som nå er blitt byttet ut med LVL 2.0 (Laminated Veneer Lumber). På denne måten brukes det 30% mindre trevirke i forhold til heltre. Dette profilet er også 40% lettere enn vanlig konstruksjonsvirke (Therese Alne Bolin, 2011). I følge byggforsk (2015) er limtre generelt lite motstandsdyktig mot fukt.



Figur 11 - LVL-flens fra Hunton (hunton.no)

2.5.2 Heltre av furu

I forsøket er det blitt brukt norsk furu, der veden er hard, sterk og rik på harpiks og rota har en dypgående og kraftig pælerot. Den har vanligvis en densitet ved 12% fuktighet på ca. 510kg/m³. (SINTEF Byggforsk, 2015) furu har omtrent de samme egenskapene som gran og er generelt god for alle vanlige formål. Det har blitt gjort flere sorpsjonskurver på norsk furu de siste 30 årene. Time (1998) satte sammen resultater fra en rekke studier på fukt i furu som vises i Figur 33.

2.6 Målemetoder for fukt

Det finnes flere forskjellige måter å måle fuktighet i treverk på, blant annet ovn-tørking, destillasjon, bruk av hygroskopiske elementer og måling av elektriske egenskaper. I denne oppgaven vil det bli benyttet elektrisk motstandsmetode og tørke-/veie metoden.

2.6.1 Tørke-/veie metode - Gravimetric method

Denne metoden er det mest nøyaktige målemetoden, men er også den mer tidskrevende metoden som krever at det blir kuttet ut en liten bit av materialet. Treverket burde være uten skader eller forstyrrende elementer. Prøvene blir veid ved et fuktnivå og deretter plassert i en ovn med temperatur rundt 100°C til de har nådd en likevekt. God luftsirkulasjon ved tørking er viktig. Ved veiingen er det fordel å bruke en vekt med nøyaktighet på 0,1g og kapasitet på 200g. En annen ulempe med denne metoden er den lange tiden ventetiden, da det fort tar rundt 20-60 timer å tørke en prøve på 100g (Kollmann & Cote, 1968).

2.6.2 Elektisk motstandsmetode - Resistance Moisture Meters

Bruk av elektrisk målere for å finne fuktinnholdet i treverk ble først brukt på det amerikanske markedet i 1930. Senere har utviklet seg stort innen treverk industrien. (Dunlap og Bell, 1951). Denne metoden går ut på at når fuktnivået i treverket er i mellom ovntørket og fibermetningspunktet, har treverket et nesten lineært forhold mellom logaritmen til en elektrisk motstand og fuktinnholdet. Ved måling av tørking fra 30 til 0% RF vil resistansen i treverket øke, men over metningspunktet og til cellen er fylt med fritt vann vil den elektriske motstanden variere veldig lite. Grunnet dette og at den elektriske motstanden vil være ekstremt lav ved lav fuktighet, vil det de fleste målerne kun måle mellom 7-25% fuktighet i treverket. Noen få instrumenter kan dekke opp til 120% fuktighet, men vil ha veldig lav nøyaktighet. Fuktmålere som er kalibrert etter type treverk og temperatur kan ha en nøyaktighet på ±1% ved 7%-25% av trefukten. Vanligvis blir det skrudd inn skruer eller metallplater som fungerer som elektroder for apparatet. (Kollmann & Cote, 1968) Ved enkelte fuktmålere er det kun korte elektroder som ikke stikker så dypt inn i treverket. Ved måling av bunnsvill er det ikke alltid nok å bore 10mm inn i treverket, og det vil derfor være aktuelt å bruke en hammer-elektrode med elektroder som bankes lengre inn i treverket.

2.6.3 Sensorene - HygroTrac

HygroTrac er en enkel og effektiv ikke-destruktiv måte å overvåke fuktigheten digitalt på et bestemt sted i en konstruksjon. I denne oppgaven ble det brukt modellen Hydrotrac S-160-0 fra Omnisense, som logger kontinuerlig fuktighet i treverket, RF, duggpunkt og temperatur i luften. Med et internt minne på 64Kb, klarer sensorene å lagre minne over en lang tid uten å få kontakt med gatewayen. Batterilevetiden er satt til 15-20 år, noe som gjør at de kan plasseres på steder det er vanskelig å komme til eller bygge de inn i konstruksjoner. Strømkonduktiviteten måles via to skruer som skrues inn i treverket og fungerer som elektroder. (Omnisense LLC, 2019) Avstanden mellom de to stålskruene er

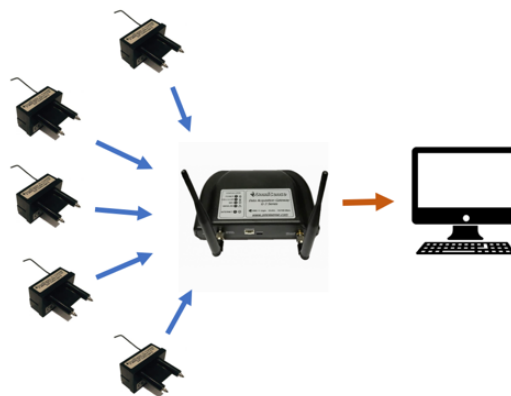
32mm. Diameteren på metallelektroden som ble brukt var 2mm. Elektrodene ble dekket med plast som isolering, med unntak av 5-10mm ved spissen som utgjør måleområdet i treverket, se Figur 12. Målemetoden er basert på resistans metoden nevnt i kapittel 2.6.2,. Sensoren har en nøyaktighet, i følge leverandøren, for +/- 0,3% for temperatur og relative fuktigheten er på +/- 2% under fibermetningspunktet. Det blir ikke anbefalt å bruke motstandsmåler når fuktigheten går over fibermetningspunktet, der produsenten oppgir å ha en grene mellom 7%WME- 40%WME. (OmniSense LLC, u.d.) Sensorene er stilt inn for tresorten "US Douglas fir", en furu type fra USA. Dataene som kommer ut er justert etter registrert temperatur.



Figur 12 - Omnisense fuktsensor (OmniSense LLC, 2019)

2.6.4 Gateway

Gatewayen fra Omnisense ble levert av selskapet Finisterra. For å lokalisere andre sensorer vil den konstant sende ut "beacon signaler". Når en sensor mottar beacon signaler vil den automatisk sende ut et "Hello", slik at GW kan lese av sensorens log fil og sende informasjonen som XML/http fil til nettsiden. Den kan motta signaler fra opptil 600 sensorer og sender informasjonen videre til OmniSense sin webside. For at verdifull data ikke skal gå tapt, har den internminne som kan lagre 262 144 avlesninger i tilfelle dekningen/internettet skulle forsvinne. Gatewayen er koblet opp til nett via et SIM kort fra Telia. Sensorene har en radio frekvens på 10mW og sender på 3 kanaler på frekvensen 868 MHz. (Finisterra, u.d.)



Figur 13 - Sammenheng mellom sensorene og GW.

2.6.5 %WME – Fuktverdier fra sensorene

Hver sensor loggførte prøvenes strømmotstand og sendte informasjonen via en gateway til Omnisense sin nettside. Her kan fuktinnholdet lese av som en *"trefuktekivalent"* (%WME), som er en prosentandel av fuktigheten som er i materialet.

Protimeter er en leverandør av fuktmålere og deler verdiene til WME inn i 3 soner:

- <15% (grønn sone): Materialet er i en trygg uttørkningstilstand. Fuktavhengige problemer, som muggvekst vil ikke være i stand til å dannes.
- 17%-18% (gul sone): Materialet har en risiko for å få råte- og muggskader.
- 20% (rød sone): Materialet har et høyt fuktinnhold og skader er uungåelig over tid dersom materialet ikke blir tørke.

Fuktinnholdet i treverk måles vanligvis i prosent som MC (moisture content), vanligvis som vekt avhengig av tretype. I andre materialer enn US douglar fir, blir WME kun en grov verdi av fuktinnholdet. Verdiene ser ut til å variere for mye til å gi en nøyaktig verdi. Dersom man får et WME på 30% kan man anta at det er damp eller at materialer inneholder noen typer salter som leder strømmen bedre. (Martel, 2015)

3 Metode

Denne oppgaven er todelt, labbforsøk og litteraturstudie på fuktsensorer. I den første delen redegjøres det for labbforsøket som går ut på å kartlegge fuktsensorers avlesning på LVL og furu, og sammenligne de med de veide resultatene. Laboratoriet som ble brukt tilhører *SINTEF Bygg og infrastruktur* og *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)*. Under forsøket ble prøvene plassert i et klimaskap og et fuktlaboratorie. Bildene er tatt av forfatter, dersom ikke annet er oppgitt.

Det ble også gjort en praktisk undersøkelse av signalstyrkene til sensorene for å verifisere at disse virkelig ble tilfredsstillende. Dette ble vurdert som nyttig siden det i tidligere undersøkelser oppsto kontaktproblemer mellom gatewayen og sensorene. Dette ble gjennomført mens sensorene var plassert i kjelleren på labben og gatewayen ble plassert på forskjellige steder mellom ulike veggmaterialer.

Den andre delen av oppgaven besto av en litteraturstudie som dekket data om limtre og hvordan fuktopptak i limtre skiller seg fra heltre. Det ble også gjort studie som omfattet hvordan signalsystemer fungerer og hva som kan være årsak til signalfeil.

3.1 Metodelære

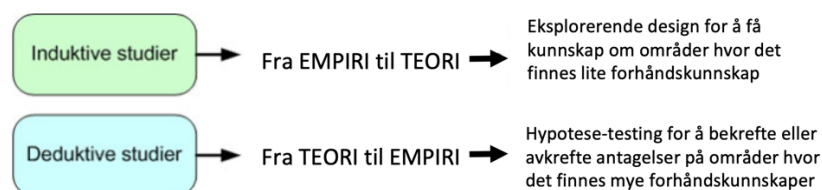
Dalland (2017) skriver at en metode er et redskap eller et verktøy for å komme fram til ny kunnskap. Metoden dreier seg først og fremst om å innhente, organisere og tolke den informasjonen som trengs. I følge Larsen (2017) er metodevalget avhengig av hva en ønsker å oppnå med undersøkelsen og metodevalget får stor betydning for innsamlingsprosessen, resultatene man kommer fram til og hva det skal brukes til.

Fremgangsmåter for å hente inn informasjon fra tidligere studier og forsøk er gjort hovedsakelig gjennom nettbaserte søk, mens kunnskap om eldre informasjon er hentet fra bøker.

3.1.1 Induktiv og deduktiv tilnærming

De klassiske tilnærming til forskningsarbeid er henholdsvis gjennom deduksjon eller induksjon. De fleste forskningsarbeidene bruker disse metodene i større eller mindre grad og både bevisst og ubevisst.

Ved en induktiv fremgangsmåte observeres det en problemstilling og forsøker å komme fram til en teori om et bestemt fenomen eller verifisere en hypotese som er lagt fram. Ved deduktiv fremgangsmåte går man den motsatte veien. Her er det en teori om et fenomen som det er et ønske om å teste riktigheten og holdbarheten av (Sander, 2017).



Figur 14 - Induktiv og deduktiv (Sander, 2017)

I denne oppgaven ble det både brukt induktive studier i form av å øke kunnskapen om fuktsensorene og LVL, men også deduktive studier i form av å undersøke hypoteser fra tidligere studier og observasjoner.

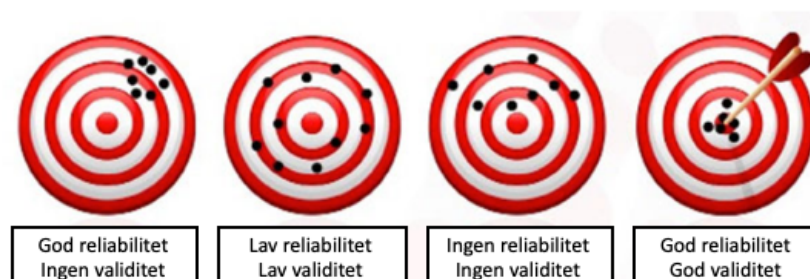
3.1.2 Kvalitativ og kvantitativ metode

Kvantitativ informasjon er en etterprøvbar metode som gir lite rom for subjektive vurderinger (Samset, 2015). Denne metoden vil gi data i form av antall registrerte enheter, der det vil komme fram konkrete resultater som kan brukes i regneoperasjoner. Med nøyaktig innhentning og behandling av data, kan kvantitative metoder resultere i forskningen med høy presisjon. Man kan få et eksakt bilde av resultatenes variasjon ved bruk av lite informasjon om mange enheter for å få fram det generelle (Dalland, 2017). Metoden gir resultater som kan etterprøves og åpner ikke opp for mange subjektive vurderinger. Analysemetoden fungerer best for testing av større mengder data og for å finne resultater om årsaksforhold (Dahlum, 2018). I følge Halvorsen (2008) er kvantitativ metode forbundet med deduktiv tilnærming.

Kvalitativ metode skiller seg fra kvantitativ metode da metoden ikke baserer seg på tallbaserte observasjoner, men beskriver heller egenskaper og kjennetegn ved en observasjon som studeres nøye. Metoden vil fange opp mer detaljer om temaet uten tall som vil fortelle mer om opplevelser og meninger om et tema (Lilledahl & Hegnes, 2000). Kvalitative metoder kan brukes for å danne seg en hypotese om et mulig utfall eller et handlingsmønster som senere kan testes ved kvantitativ analyse (Malt, 2015).

3.1.3 Validitet og reliabilitet

Ved forskning er det viktig å se på i hvilken grad, ut fra resultatet av et forsøk, en kan trekke gyldige slutninger fra det man har satt seg som mål med oppgaven (Dahlum, 2018). Her skiller man mellom ekstern og intern validitet. Ved ekstern ser man på hvorvidt resultatene kan bli overført til andre lignende situasjoner, mens intern går ut på å se på studiets egnethet og i hvilken grad resultatene er gyldige for det utvalget som er undersøkt. For å kunne styrke forskningens validitet er det viktig å beskrive nøye hvordan forskningen har skjedd og vise en tydelig sammenheng mellom metodene som er blitt brukt (Larsen, 2017). Reliabilitet omhandler hvorvidt et resultat er konsistent over lengre tid, og ikke forandrer seg fra måling til måling (Tønnesen, 2016). Det går dermed ut på nøyaktigheten og presisjonsnivået til målinger. Dette vil også si noe om hvorvidt studiet kan etterprøves og påliteligheten til datamaterialet. Ved å bruke flere metoder, ulike datakilder og uavhengige forskere vil troverdigheten til forskningen styrkes. Dette vil vise at flere uavhengige kilder har kommet fram til like funn som støtter opp de samme resultatene. Validitet og reliabilitet er vist i Figur 15, som illustrert ved å se på spredningen og i hvilken grad skuddene treffer målet i en skyteskive.

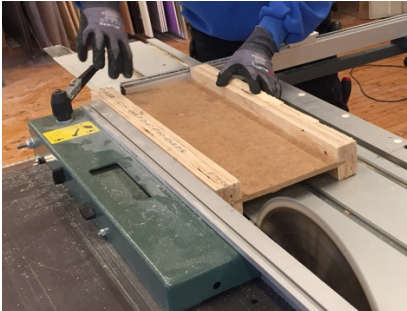


Figur 15 - Validitet og reliabilitet (Sander, 2017)

3.2 Laboratorieforsøk

3.2.1 Oppsett

LVL flensen hadde en lengde på 52mm som ble flyttet ned til SINTEF sitt laboratorium der flensene og steget ble skilt fra hverandre, med 1mm klaring. Flensen ble kuttet opp i fjorten like størrelser med dimensjon 70*38*59mm. Flensene ble kuttet opp i 7cm lange biter slik at det var plass til sensorene og litt avstand fra elektrodene til ytterkantene. I tillegg ble det kuttet opp seks like biter av norsk furu som ble brukt til sammenligning.



Figur 16 - Flensene og steget ble skilt fra hverandre med sirkelsag.



Figur 17 - Både LVL og furu prøvene ble kuttet opp i like store deler.

For å undersøke om skjøten med OSB i LVL prøvene tar opp fuktighet på en andreledes måte, ble også fire like store OSB prøver kuttet for å se på fuktendringene i dette materialet. På alle sensorene ble det kuttet bort en rektangulær plastbit mellom plastikken som beskytter skruene, for å gjøre det mulig å sette sensorene inn til midten av prøvene.

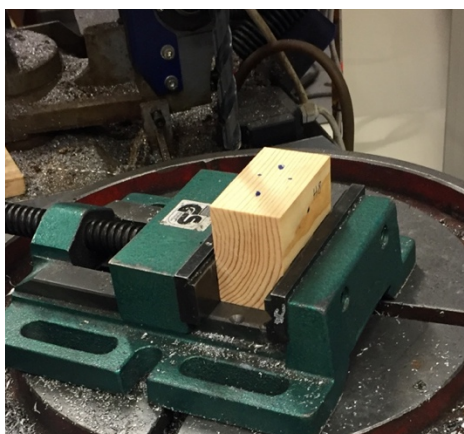


Figur 18 - Plastdelen ble kuttet med stikksag



Figur 19 - Prøven i midten ble brukket av etter saging.

Deretter ble det forboret to hull med senteravstand 32mm inn til midten av prøvene. Her ble sensorene plassert og skruene ble skrudd godt inn i treverket. Alle prøvene ble markert med enten L1, L2 eller H, etterfulgt av et nummer. L1 var for prøvene fra øvre del av flensen og L2 markerte den nedre delen. Det var ikke noe forskjell på øvre og nedre flens i dette forsøket. H markerte at det var heltre av furu.



Figur 20 - Forboret med 10mm bor i prøvene.

Etter at sensorene ble skrudd godt inn i prøvene, ble de plassert enten i klimaskapet eller i fuktlaboratoriet. I første del av forsøket ble ni LVL biter og tre furu biter plassert i 50% RF i fuktlaboratoriet. Samtidig ble klimaskapet stilt inn til 23% RF, der det ble plassert fem LVL prøver og tre furu prøver. (Se vedlegg 1 for oversikt over hvilke sensorer som ble plassert i hvilket klima.)



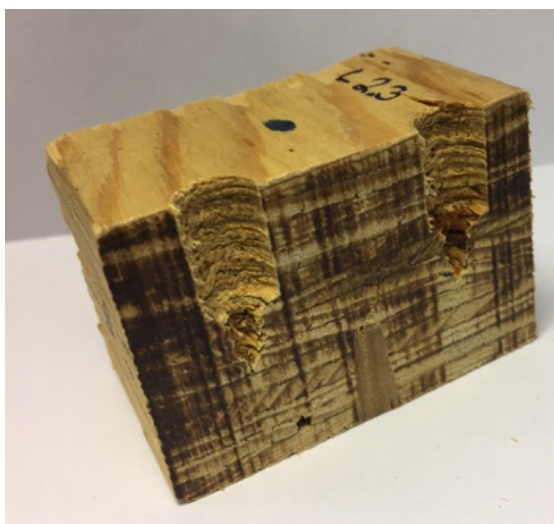
Figur 21 - Sensorene plassert i fuktlaboratoriet.



Figur 22 - Sensorene plassert i klimaskapet på en rist.

Figur 21 og Figur 22 viser hvordan sensorene ble plassert på rister for å maksimere luftsirkulasjonen rundt prøvene. For å kontrollere den eksakte temperaturen og fuktigheten ble det satt inn to håndholdte temperatur- og fuktmålere fra HygroPalm. Disse verdiene ble avlest for hver vektmåling for å undersøke om skapet har holdt ønsket klima. Disse målerne viste at skapet holdt konstant 3% høyere fuktighet enn innstilt. Dermed ble skapet stilt inn med 3% lavere RF enn det som var ønsket å teste.

Over en tidsperiode på 10-20 dager ble prøvene veid jevnlig og sensorene logget jevnlig data til gatewayen. Når fuktverdiene fra sensorene hadde stabilisert seg og vektforandringen var mindre enn 0,1% over 72 timer, ble prøvene antatt å ha nådd stabil vekt. Deretter ble prøvene flyttet til et nytt klima. For å måle en hysteresekurve, der prøvene hadde forskjellig historikk, ble prøvene plassert i et klima der det varierte mellom absorpsjon og desorpsjon.



Figur 23 - Prøvene ble delt i to for å se hvilket lag elektrodene traff.

3.2.2 Klimatilpassing

For å teste ut hystereseeffekten var det behov for å plassere prøvene i to forskjellige klimaer samtidig. Etersom fuktlabben var stilt inn på 23°C og 50% RF for andre forsøk, ble det naturlig å sette temperaturen i klimaskapet til det samme. Prøvene ble plassert i klima som varierte fra 23%, 50%, 75% og 98% RF.

Klimaskapet

ClimeEvent var et klimaskap levert av weissttechnik® and vötschtechnik® som ble brukt for å oppnå ulikt klima for prøvene. Skapet simulerer den relative fuktigheten i luften mellom 25% og 95%, med en konstant temperatur på 23°C ± 1°C. Under forsøket ble det oppdaget at klimaskapet kun klarte å holde ønsket fuktighet i 2-3 dager. Dermed ble det kjørt et program hver andre dag der temperaturen ble satt til 40°C i 30 minutter uten tilført fuktighet og deretter tilbake til ønsket fuktighet og 23°C for å forhindre at nedkjølingselementene i skapet ble frosset.



Figur 24 - ClimeEvent (Weiss Technik, 2019)



Figur 25 - Klimamålere fra Rotronic, HygroPalm.

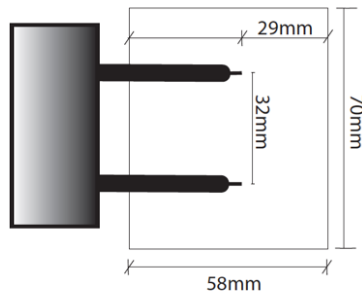
Fuktlaboratoriet

Prøvene ble også plassert i et fuktlaboratorium med konstant relativ fuktighet på $(50 \pm 1)\%$ og $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Dette klimaet ble ikke endret under studiet. Ved plassering av prøvene i 50% RF var det kun dette rommet som ble benyttet. Rommet blir benyttet av SINTEF for fukttester av forskjellige materialer. Klimaet ble målt av en sensor levert av Vaisala.

3.2.3 Måleutstyr

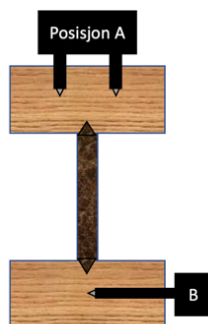
Sensorene

For å måle fuktnivået i prøvene ble det benyttet en Hygrotrack S-160-0, levert av Omnisense. Dette er en elektrisk målemotstandsmetode (resistance moisture meter method). For mer info se teorikapittel 2.6.



Figur 26 - Mål på fuktsensoren

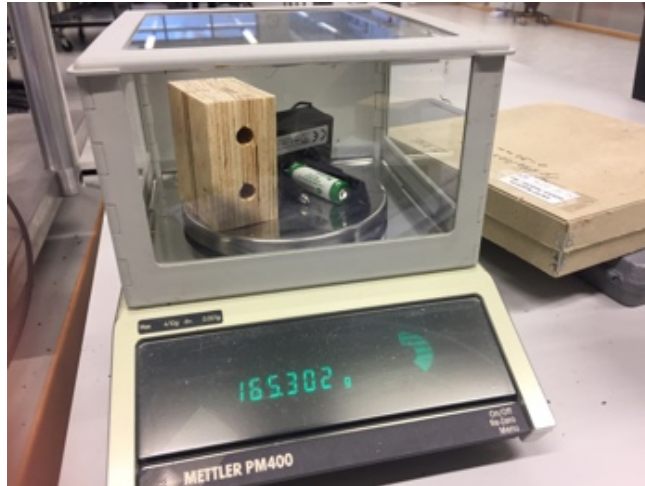
Spissene på skruene ble skrudd godt inn, for å oppnå god kontakt mellom metallet og treverket, samt unngå luftlommer. Målingene ble gjennomført over en 3 måneders periode, 19 februar 2019 til 20.mai 2019. Elektriske motstandsmålere fungerer best ved måling av fukt under fibermetningspunktet, dermed var det best å teste prøvene i fuktighet mellom 23%-98% RF. Over og under disse verdiene vil det være vanskelig å få ut gode tall fra målinger. Her ble sensorene montert med to skruer inn i prøvene som fungerer som elektroder, 32mm fra hverandre. Sensorene ble plassert i to forskjellige posisjoner for å undersøke om retning av sensorene hadde påvirkning på målingene. Ved begge posisjonene vil strømføringen gå parallelt med limlinjene i LVL.



Figur 27 - Sensorene i posisjon A og B for LVL.

Vektmåling

Ved første del av forsøket ble det registrert vekt med forboring, for så å måle vekten av sensoren alene og til slutt ble prøvene veid med sensoren. Ved hver måling under forsøket ble prøvene veid sammen med fuktsensoren og før tørkeprosessen ble det også gjort en veiing av vekten uten sensoren. Vektskålen ble levert av Mettler og gir en nøyaktighet på 0,001 gram. Dermed ble veiingen gjort med stor nøyaktighet i forhold til krav fra Norsk Standard. Rundt vekten ble det plassert et glassbur for å forhindre at luftsirkulasjoner påvirker vektmålingene.



Figur 28 - Mettler pm400.

Uttørking

Bestemmelse ved tørkemethoden ble gjort etter NS-EN13183-1. Denne standarden beskriver fremgangsmåten for å tørke og veie prøvene, slik at fuktinnholdet kan bestemmes. Metoden krever en nøyaktighet på 0,01gram, dersom massen til en uttørket prøve er sannsynlig å være mindre enn 100g. Redskapet som ble brukt for å tørke ut sprøven krevde fri luftsirkulasjon og at den var i stand til å holde en temperatur på $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$. (Norsk Standard, 2002)

Utrekningen av fuktigheten ble hentet fra punkt 6 i standarden. Fuktinnholdet ω , er en prosent av massen ved bruk av følgende formel:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100\%$$

Der m_1 er massen av prøven før tørking (i gram), m_0 er massen av prøven etter tørking (i gram) og ω blir fuktinnholdet i prosent. I formelen ble vekten av sensoren trukket fra vekten av den fuktige prøven.

Måling etter Norsk Standard

I NS3512:2014 settes det veiledende punkter til måleapparater, målemetode og kravsnivåer for måling av fukt i treverk. Standarden er egnet for måling på heltrevirke, men ble i denne oppgaven brukt som veiledning for måling i LVL også. Det settes krav for målere med elektrisk motstandsmåler og for elektroder som slås eller stikkes inn i trevirket. Det settes krav om at målerne skal være oppsatt med innstillingsmuligheter eller korrigeringsstabeller for temperatur og treslag. Ved Omnisense sine sensorer ble dataen korrigerert i forhold til temperatur og etter et treslaget når verdiene kommer inn på nettsiden til Omnisense. Det var ikke mulighet for å stille verdiene etter ønsket material. Dersom måledybden er mer enn 5mm er det krav (4.3.2) om isolerte pigger. Dette ble utført med medfølgende plasthylser som skruene ble tredd inn i, der det ble ventet over 5 minutter etter boring før fuktsensorene ble skrudd inn. Det settes krav til at elektrodene skal ha en senteravstand på maks 40mm, noe som ble fullt opp (se Figur 26). Norsk Standard anbefaler å gjøre målinger 30mm fra enden, men ettersom prøvene var små, ble denne anbefalingen ikke fulgt. Standarden krever egentlig at prøvene skal kuttes fra enden av en lengre del med minst 20mm klaring i retning av fibre og 0,3m fra enden. Ettersom forsøket er gjort med mindre prøver, ble disse kravene ikke fulgt.

3.2.4 Materiale

I-bjelke ble levert av Hunton ved navn SJ60/250 og er en trebjelke med I-profil, der steget er trefiberplater (OSB) og flensen består av LVL (Laminated Veneer Lumber). (Hunton Fiber AS, 2016) Steget og flensene er limt sammen med vannfast konstruksjonslim i overgangen til skjøtt slik at styrken blir lik hele veien. Treverket har ingen overflatebehandling. LVL-flensen er produsert med en blanding av furu og gran, der samme flens kan blande disse i forskjellige lag. Hunton I-Bjelken er CE-merket og har fått en Teknisk Godkjennelse nr. 20381 og 2503 av SINTEF Byggforsk (NBI) og europeisk teknisk godkjennelse (ETA-06/0238) av British Board of Agrément (BBA).

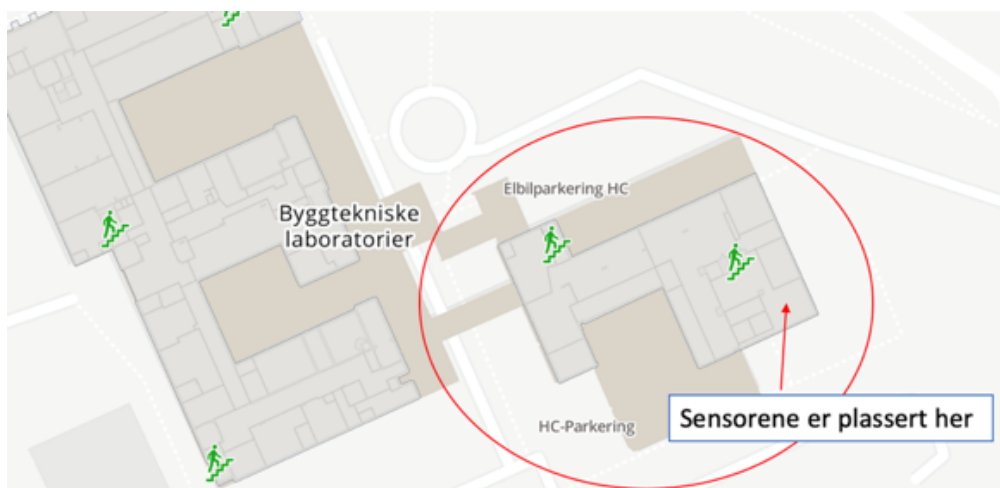
Tabell 4 - Dimensjonene til I-bjelken

Rammespesifikasjoner	Dimensjoner [mm]
Lengde	70
Flenshøyde	39
Bredde	58
Lamelltykkelse	2-3
Bjelkehøyde	250

Lagene var limt sammen med fenolformaldehydlim (*eng. phenol-formaldehyde adhesive*), lagt med fibre som løper parallelt (BBA, 2017). Bjelken overholder kravene som blir stilt i byggt teknisk forskrift (TEK10) ettersom at den har vært gjennom SINTEF byggforsk teknisk godkjenning. Den tåler moderate fuktmengder, dersom produktet har mulighet til å tørke ut. Bjelken har branteknisk klasse D-s2,d0 i henhold til EN 13501-1.

3.2.5 Test av signalstyrke

Testing av signalstyrken til fuktsensorene ble utført samtidig som fuktmålingen av prøvene. Fuktsensorene var plassert i Høgskoleringen 7B i kjelleren til SINTEF Byggforsk sitt laboratorium. Sensorene hadde samme plassering under hele undersøkelsen. Gatewayen, som er en form for mellomstasjon for å motta signaler fra fuktsensorene, ble flyttet rundt på bygget i forskjellige etasjer og bak forskjellige veggelementer. Etter at den var plassert et nytt sted ble det loggført på OmniSense sine sider om det ble mottatt signaler. Det ble ikke testet ut hvor sterke signaler som ble mottatt, men kun registrert om den mottok signaler eller ikke. Hver gang gatewayen ble plassert på en ny lokasjon ble det registrert i et skjema.



Figur 29 - Kart over fuktsensorenes plassering. Illustrasjon: mazemap

3.3 Litteratursøk

3.3.1 Søkemotorer og databaser

For å finne fram til relevant litteratur ble det benyttet vitenskapelige søkemotorer og databaser. Søkene var hovedsakelig rettet mot forskningsartikler om fukt, signaler og kunnskap om materialer. I begynnelsen var det utfordrende å finne god litteratur på temaet, da det er gjort lite forskning på LVL. Dermed ble søket utvidet til lignende trematerialer som limtre, kryssfiner og massivtre. Det ble også benyttet mailkorrespondanse med enkelte personer som har gjort lignende forsøk før, som ikke er blitt publisert.

Ved å gjøre et utvidet søk på forskjellige søkemotorer og databaser ble det funnet artikler som legger fram teorier og egne forklaringer på fenomener som kan oppstå. Det er blitt benyttet databaser som er godkjent fra flere hold der publikasjonen er avhengig av akademisk bakgrunn. Det ble også gjort søk i NSD som er et register over vitenskapelige publiseringskanaler (NSD, 2019).

Følgende søkemotorer ble benyttet mest:

Databaser/ Søkemotorer	Beskrivelse
Oria	Oria ble brukt til å søke i universitetsbibliotekets trykte og elektroniske artikler, tidsskrifter, bøker, masteroppgaver og doktoravhandlinger (BYBSIS, u.d.). Det kan også bli gjort søk i det norske fagbibliotek og søkt i samlingen til alle norske universitets- og høgskolebiblioteker.
Google Scholar	Brukes til å søke etter artikler, sammendrag, avhandlinger med mer (Norås, 2015). Det er en enkel måte å gjøre et bredt søk etter faglig litteratur og er åpen for alle. Den er basert på metadata, noe som gjør at ikke alle publikasjoner som kommer opp kan lastes ned som hel tekst. Google Scholar ble brukt som et springbrett til flere andre plattformer.
Scopus	Tilbyr fagfelleverdert litteratur og et utvalg av tidsskrifter, vitenskapelige konferansepublikasjoner og bøker. Siden blir eid av Elsevier og tilbyr en oversikt over antall siteringer, forfatterens bibliografi og referanseoversikt.
ScienceDirect	Tilbyr fagfelleverderte artikler, journaler og deler av bøker. Siden er spesialisert innenfor vitenskap, teknologi og helse informasjon.
Store Norske Leksikon	Store Norske leksikon (SNL) er en god kilde til å finne enkle forklaringer på nye fagord som er skrevet av fagfolk.

Flere av disse plattformene har fagfelleverdert litteratur (peer-reviewed), det vil si at litteraturen har gjennomgått en kvalitetskontroll før den blir publisert (Norås, 2018). Det ble også brukt Snowballing, som er en form for studieteknikk der man finner kilder fra referanser i aktuelle artikler og bruker disse videre i litteratursøket (Prac, 2007). Det er en teknikk for å utvide søket når man finner en god artikkel.

3.3.2 Søkestrategier

For å unngå å lese mange irrelevante artikler for oppgaven, ble det fulgt søketeknikken som ble gjennomgått av Lohne (2018). Det ble fulgt 5 punkter, der hvert punkt vurderes og går videre til neste punkt dersom artikkelen fortsatt er relevant og forkastes dersom den ikke er det. Følgende punkter ble fulgt:

1. Lese tittel
2. Keywords, vurderes om det inneholder samme ord som temaene
3. Abstraktet, vurderes om det er verdt å lese
4. Lese resultatet/konklusjonen.
5. Les hele artikkelen. (Gitt at litteraturen har en overkommelig størrelse.)

Denne fremgangsmetoden gjør at det blir mulig å lese mange forskjellige artikler og få sortert ut de som ikke er aktuelle uten å måtte lese store mengder tekster. Denne metoden er effektiv, men kan også gjøre at man mister mange gode kilder. Dersom tittelen ikke er fengende, men teksten er av interesse vil den ikke bli oppdaget med denne metoden. (Lohne, 2018)

3.3.3 Søkeord

Forskningsspørsmålene ga et grunnlag for forskjellige søkeord. Følgende ord ble brukt i forskjellige kombinasjoner:

Engelske ord: LVL, "Laminated veneer lumber", Plywood, Gluelam, Pine, Formalhyde, Sorption curves, Hysteresis, Moisture condition, RH, Relativ humidity, Flanges, Omnisense, "Gravimetric Analysis", "resistance moisture meter", "electric moisture meter", "Equilibrium Moisture Content" (EMC),

De samme søkeordene ble brukt på norsk, men her var det lite ny forskning. Dermed ble de fleste søkene gjort på engelsk.

4 Resultater

Resultatene fra litteratursøket og forsøkene som ble utført deles inn i følgende deler:

1. Litteratursøk om LVL og fuktopptak i tre
2. Fuktverdier fra tørke-/veie metoden og motstandsmetoden
3. Litteraturstudie på signalstyrker
4. Forsøk om signalstyrken

Hoveddelen av oppgaven var målingene med fuktsensorene. Her ble det sett på sorpsjonskurver til LVL og furu, forslag til korrigeringskurver, vektutvikling av materialene, avvik og effekten av to forskjellige posisjoner av fuktsensorene.

Videre følger resultatene funnet for våren 2019.

4.1 Litteratursøk for fuktsensorene

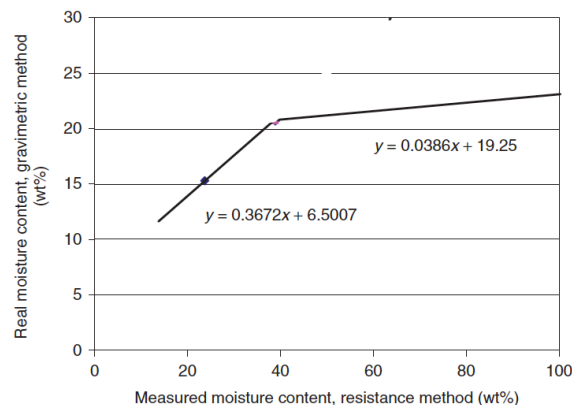
4.1.1 Effekt av limlag

Bell og Krueger (1949) testet effekten av 10 forskjellige limtyper på elektrisk motstandsmålere i kryssfiner. De fant ut at for fenolbundet kryssfiner ga elektriske motstandsmålingene uten unntak høyere fuktinnholdet enn tørke-/veie metoden ved testing med elektroder som trengte inn i limlinjene. De forbinder effekten av økningen i ledningsevnen fra elektrolyttene i limet til kryssfiner (Bell & Krueger, 1949).

Et lignende forsøk ble gjort av Glass og Carll (2011) der de testet ubehandlet treverk, ubehandlet kryssfiner og ACQ-behandlet (alkaline copper quaternary) kryssfiner i klima mellom 35% og 85% RF. De fant ut at motstands- og tørke-/veie metoden ikke ga de samme verdiene. I 2009 gjorde de et lignende forsøk og fikk det samme resultatet; en korrigeringskurve for SYP-kryssfiner (South Yellow Pine) er nødvendig. Her viste de elektriske målingene at limtre hadde høyere fuktinnhold enn heltre. Deres data indikerte at konduktansen av kryssfiner ble senket betydelig hvis den tidligere hadde blitt utsatt for høy fukting.

I en masteroppgave fra 2015 ble det funnet at massivtre endrer raskt fuktinnhold. De legger fram en teori om at årsaken til den hurtige uttørkingen i massivtreet kan være at det mellom limsjiktet blir tilnærmet et sugerør, slik at det raskt desorberer og absorberer fukt. Dette fordi vannet ikke har like god mulighet til å fordele seg på et større område i trematerialet som ved heltre (Srisgantharajah & Ullah, 2015).

I 2009 publiserte SINTEF en artikkel der de brukte tradisjonelle elektroder for måling av fuktinnholdet i trebjelker av gran og i kryssfiner. For kryssfiner ble det brukt sammen treartskalibreringskurve som for gran, ettersom at kryssfineren besto av gran. Ved en kontroll med tørke-/veie metode kom det også her fram at det var et stort avvik mellom ekte fuktighet og målte fuktinnholdet med elektriske motstandsmetoden. Ved lavt fuktinnhold var forskjellene små, men økte samtidig som fuktnivået økte. Forskjellen mellom tørke-veie målingene og de elektriske målingene er vist i Figur 30. (Geving & Holme, 2009)



Figur 30 - Forskjell på motstands og tørke-/veie metoden (Geving & Holme, 2009).

4.1.2 Effekt av kornvinkel

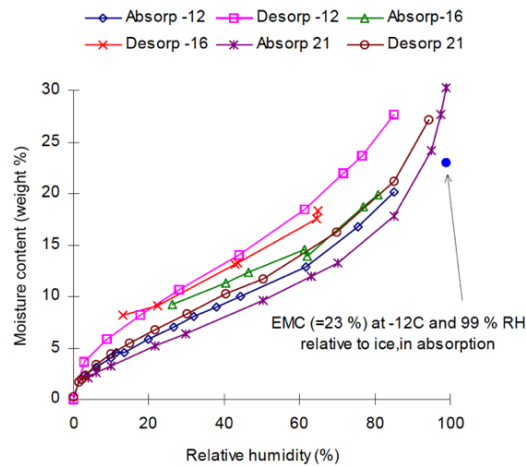
I følge James (1963) burde elektriske motstandsmålinger bli gjort med strømmålingene langs fiberretningene til treverket. Ved fuktinnhold under 15% RF, blir vinkelen på måleren neglisjerbare. Ved måling i fuktinnhold over 20% RF kan målinger langs fiberretningen være 2% høyere enn på tvers av fiberretningen (James, 1963).

Disse resultatene ligner på et forsøk der det også ble sett på fuktinnholdet med motstandsmetode i limtre, kryssfiner og furu. Den målte fuktigheten perpendikulært til trefibrene var på 11.5% og for parallelt var den på 11.3%. Fra rapporten deres konkluderte de med at det var liten forskjell på målingene mellom de som var perpendikulært og de som var parallelle med fiberretningene (Pang & Jeong, 2019).

4.1.3 Effekt av temperatur

Det er kjent at treets elektriske motstand minker etter hvert som temperaturen i treet øker, men under 8% RH vil denne effekten muligens reverseres (James, 1963). Selv om denne effekten er svært liten og temperaturen skulle være konstant 23°C, viser resultatene at temperaturen gikk noen grader opp og ned under forsøket. For fuktnivåer over 10 prosent korrigeres motstanden av tre med en tabell 1 i NS-EN 3512 (Norsk Standard, 2014). Tabellen er likevel den samme for hver treart, slik at standarden antar at forskjellen er den samme for furu og LVL.

Tveit (1966) gjorde et forsøk på furu ved 5°C, 25°C og 45°C. Disse målingene viste at det var en endring på 0.06-0.08% av vekten per grad celsius som temperaturen ble endret. Et lignende forsøk ble utført av Choong (1963) for 25°C, 32,2°C, 40°C og 50°C. Her kom det fram at forskjellen mellom den største og laveste temperaturen ved samme fuktnivå var mellom 2 og 3 prosent av vekten. Det er også gjort en rekke andre forsøk som er skrevet om i Time (1998), der det kommer fram at det er liten forskjell på fuktinnholdet i varierende temperatur. Figur 31 er hentet fra Time (1998), men er laget ut ifra en rapport av Hedlin (1967).



Figur 31 - Sorpsjonskurve for furu i forskjellig temperatur fra Hedlin (1967)

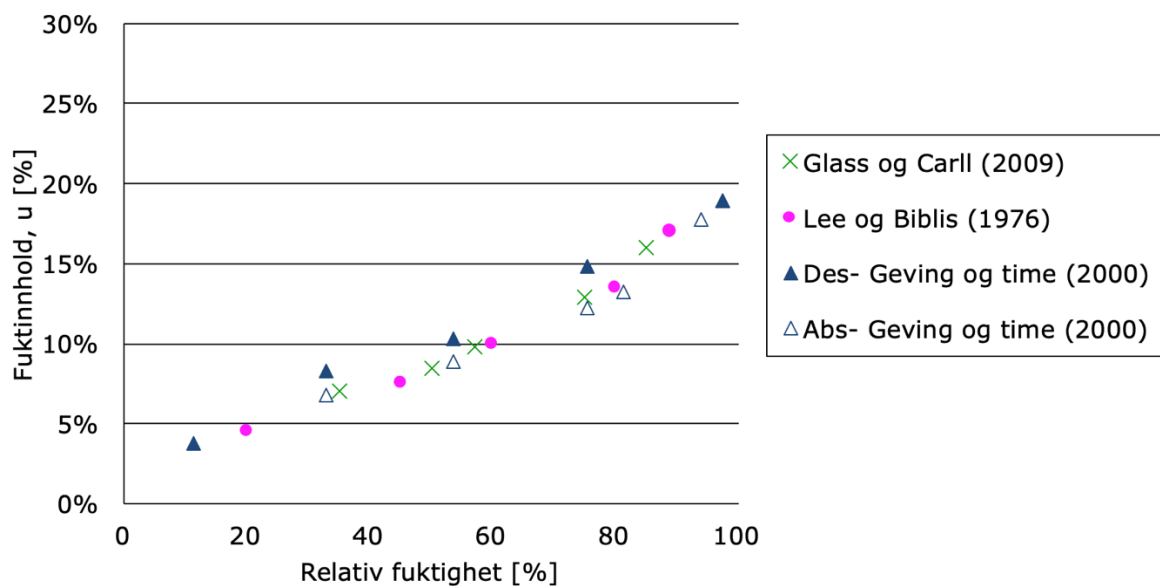
4.1.4 Sorpsjonskurve og korrigeringskurve

Det ble ikke funnet noen sorpsjonskurve for LVL under litteratursøket. Derimot lå det ute flere sorpsjonskurver for kryssfiner og limtre. Disse funnene er lagt inn i Figur 32, med temperatur og densitet fra tabellen under.

Tabell 5 - Sorpsjonsverdier fra tidligere forskning for LVL

	Lee og Biblis (1976)	Glass og Carll (2009)	Geving og Time (2000)
Densitet	600 kg/m ³	400 kg/m ³	411 kg/m ³
Temperatur	26,6°C (80F)	22-27°C	23°C

I figuren under er verdiene fra Tabell 5 plottet inn i en graf.



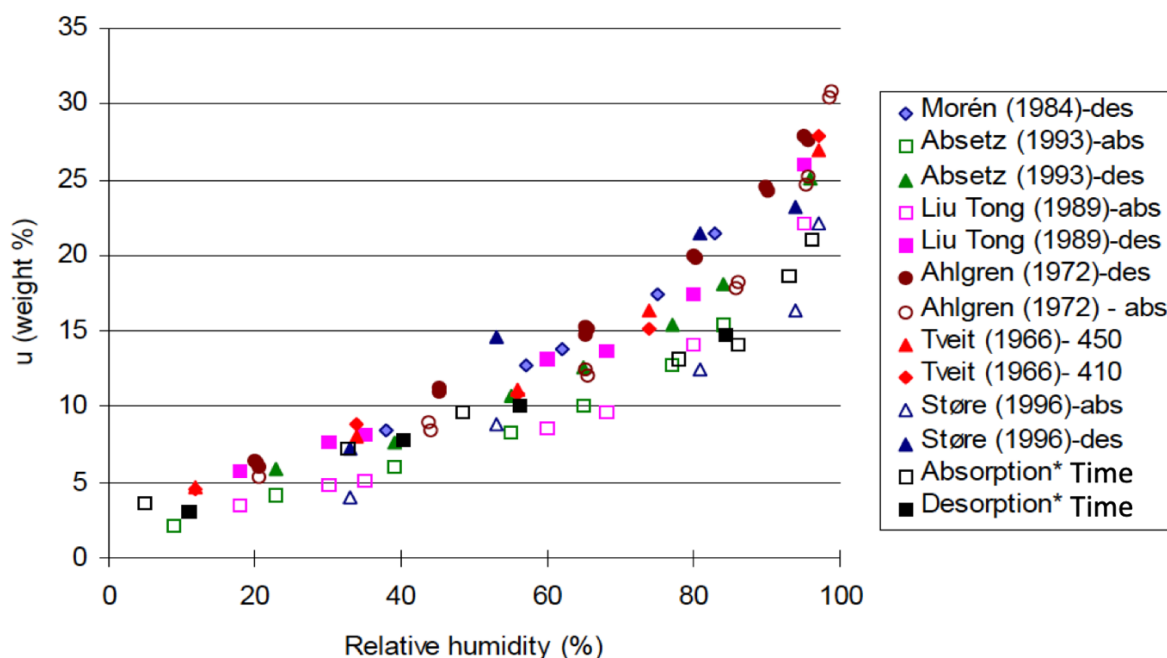
Figur 32 - Sorpsjonskurve for LVL fra tidligere forskning

De siste 30 årene er det blitt utført forsøk for å finne sorpsjonskurven for furu. Time (1998) plottet inn verdiene fra syv forskjellige studier inkludert hennes egne, inn i et diagram vist i Figur 33.

I forsøkene har størrelsene på prøvene variert og blitt testet i temperatur fra 20-26°C. Dette kan være årsaken til at det er en spredning i funnene. De har også en varierende densitet fra 380-470 kg/m³. Her er det forsket på prøver i fuktighet fra 5% RF til 98% RF. For nærmere forklaring se Time (1998). Tabellen under viser densitet og i hvilken temperatur prøvene er satt i.

Tabell 6 - Tabellen er hentet fra Time(1998) og egne verdier er lagt til

	Tveit (1966)	Ahlgren (1972)	Morén (1984)	Liu Tong (1989)	Absetz (1993)	Støre (1996)	Time (1998)	Egne verdier
Densitet [kg/m ³]	410 450	420	380	470	Ukjent	460	390	510
Temperatur [°C]	25	20	20	20	20	23	26±2.3	23



Figur 33 - Sorpsjonskurven til furu hentet fra Time (1998).

Igjennom mailkorrespondanse ble det sendt fra Omnisense en korrigerende kurve for målinger fra Douglas Fir til Norsk furu. Denne tabellen ble ikke brukt i forsøket.

Tabell 7 - Kalibreringskurve fra Finisterra

Omnisense/Protimeter A	Norsk furu
8,7%	9,6%
13,7%	14,5%
17,4%	17,9%
22,6%	23,5%

4.1.5 Effekt av kjemisk behandling

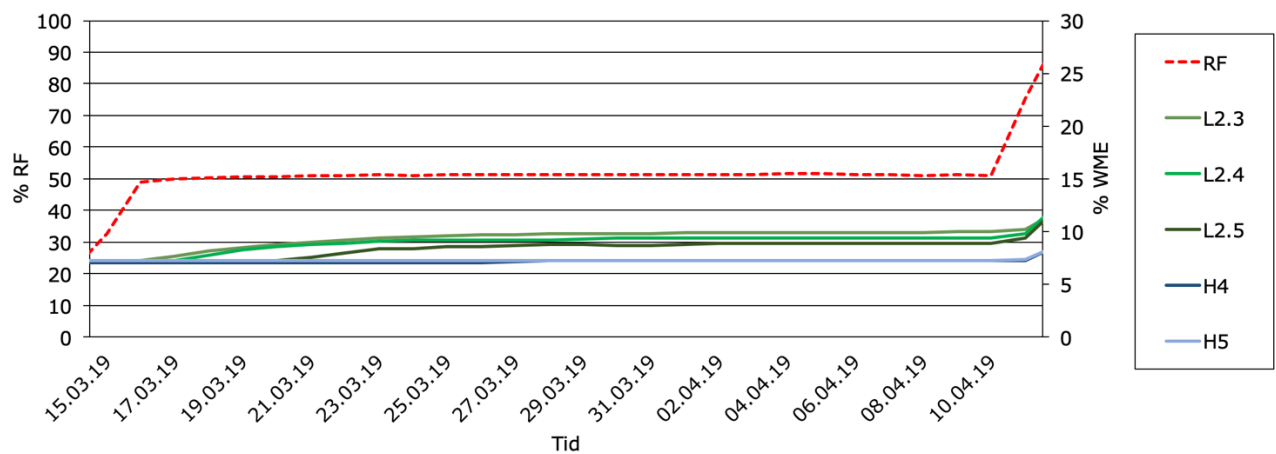
Ifølge en rapport fra 1953 vil treverk som er impregnerert med brannmotstand, uorganisk salt eller andre formål generelt være lavere enn ubehandlet tre. I tre med 8% eller lavere fuktinnhold vil effekten av saltimpregnering være ubetydelig, men blir raskt viktigere ved fuktinnhold over 10 prosent (James, 1965).

4.2 Forsøksresultater

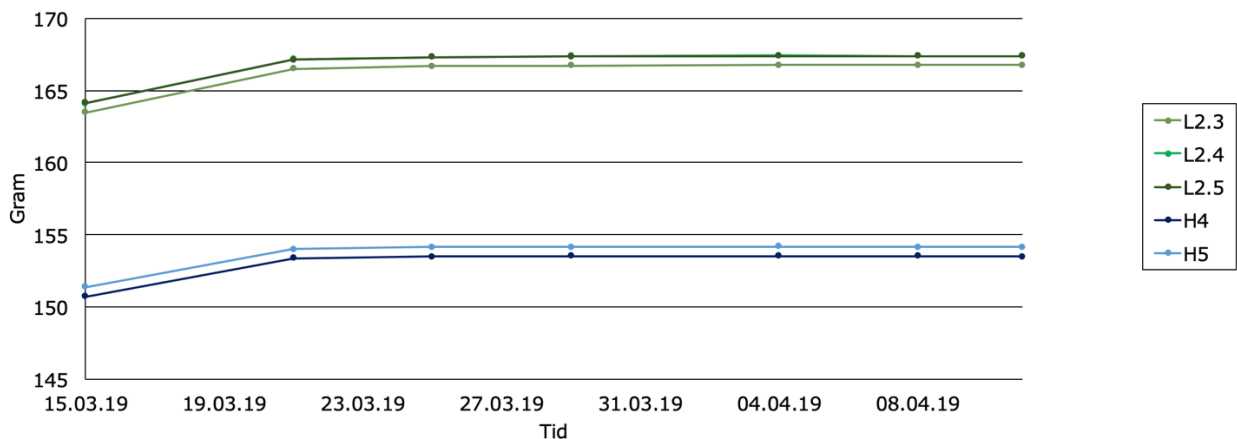
4.2.1 Fuktforløpet

Under ble data fra fuktsensorene i samme klima presentert etterfulgt av vektmålingene. Den relative fuktigheten vises på venstre siden av y-aksen og fuktinnholdet (%WME) vises på høyre siden av y-aksen. X-aksen viser datoene som målingene ble gjort. Den relative fuktigheten var lik for alle prøvene og vises med rød stripete linje. Furu ble markert med blå linje og LVL ble markert med grønn linje for alle grafene. Den relative fuktigheten ble markert med rød farge. I vedlegg 6 er oversikt over alle fuktsensorenes data.

I Figur 34 vises det at furu har svært liten endring av fuktinnhold, i motsetning til LVL som har en vektprosent endring på 2,8 (fra 7,2%WME til 10%WME). LVL bruker rundt 11 dager på å nå likevekten, mens furu ser ut til å ha stabil vekt hele veien på rundt 7%WME. L2.4 og L2.5 har et likt vektforløp og kommer dermed ikke så tydelig fram på grafen. På vektutviklingen ser det ut til at L2.5 tar opp fukt samtidig som de resterende LVL-prøvene, men på figuren over ser det ut til at prøven tar opp fukt 4 dager etterpå.

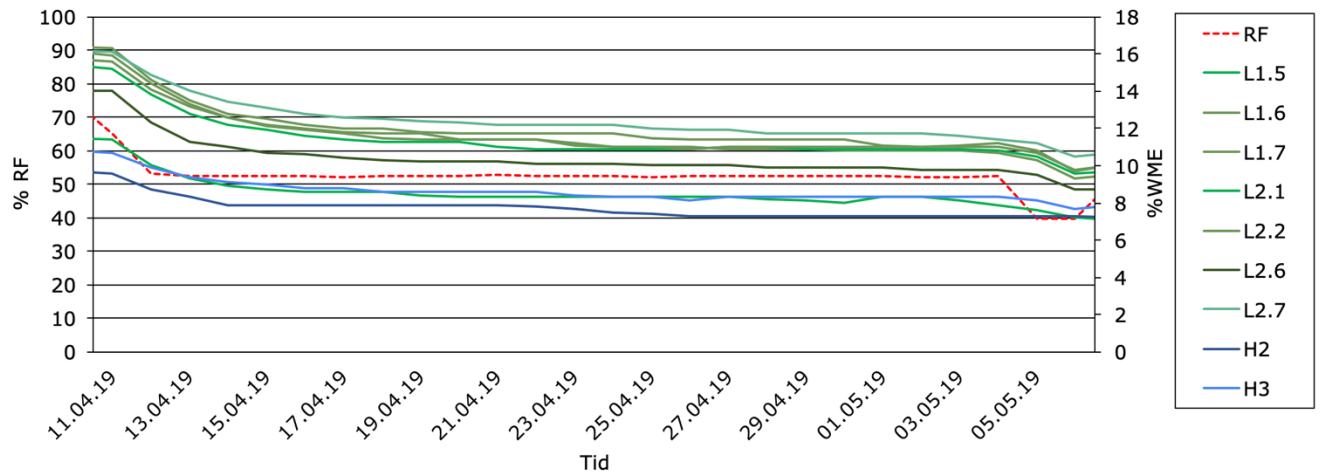


Figur 34 - Fuktforløpet fra fuktsensorenes i 23% til 50% RF

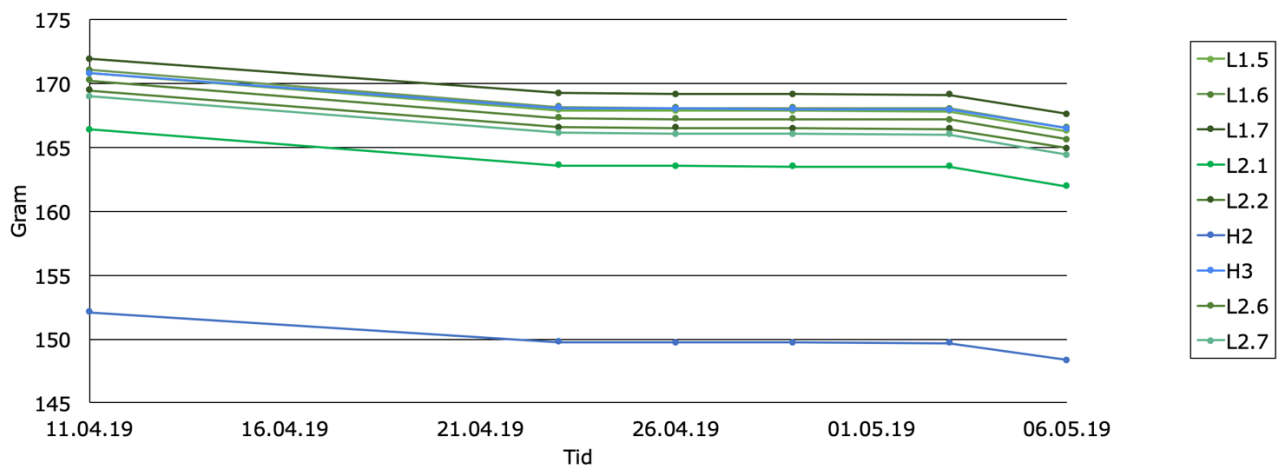


Figur 35 - Vektutvikling fra 23% til 50% RF

Figur 36 viser alle prøvene som ble flyttet fra 75% til 50% RF 11.04.19. Her kommer det fram at fukttinnholdet til L1.5 skiller seg ut fra resten av LVL prøvene, selv om det har tilnærmet samme fukthistorikk. L2.6 viser også et generelt lavere fukttinnhold enn resten. 04.05.19 ble klimaet endret igjen. Furuprøvene stabiliseres etter rundt 16 dager, mens LVL stabiliseres etter 21 dager i følge motstandsmetoden.

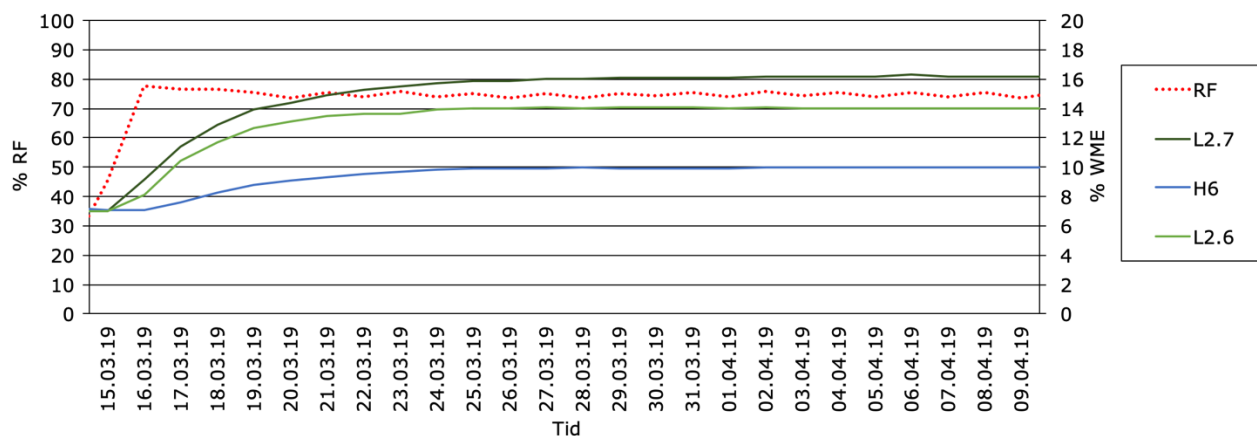


Figur 36 - Fuktførøpet fra 75% til 50% RF

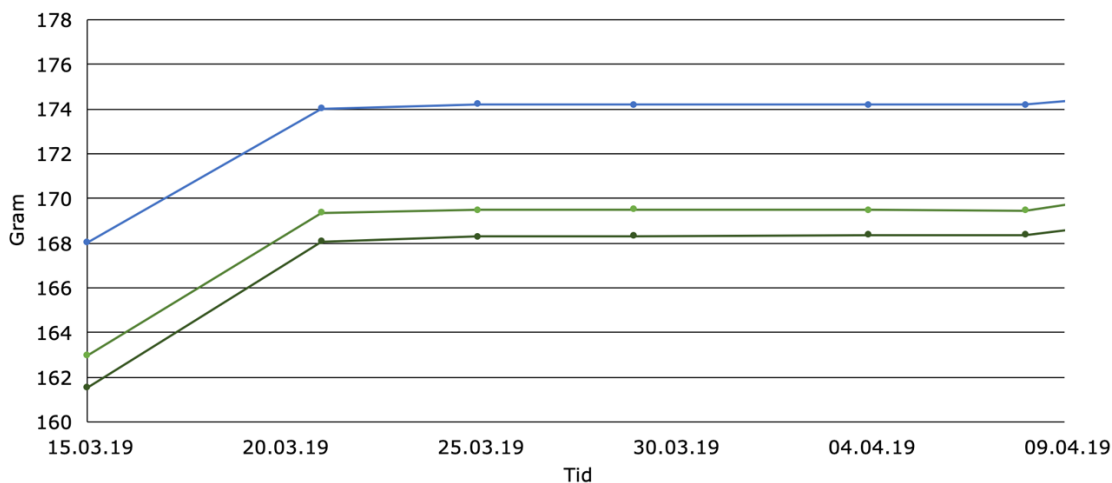


Figur 37 - Vektutvikling fra 75% til 50% RF

Figur 38 viser alle prøvene som ble flyttet fra 23% til 75% RF 15.03.19. Her kommer det tydelig fram at furu måler langt lavere fuktinnhold sammenlignet med LVL. Prøvene stabiliserer seg relativt likt.

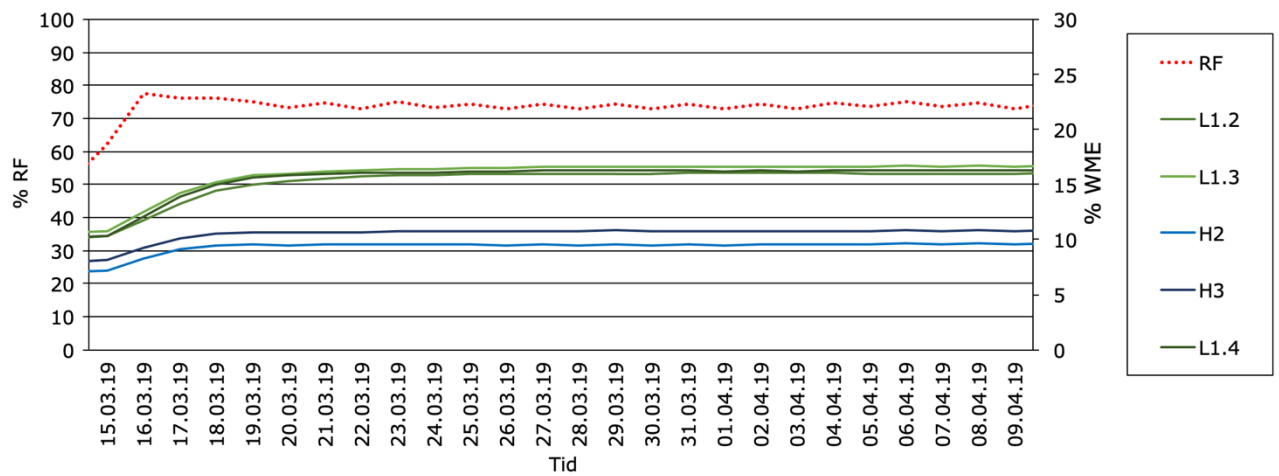


Figur 38 - Fuktforløp fra 23% til 75% RF



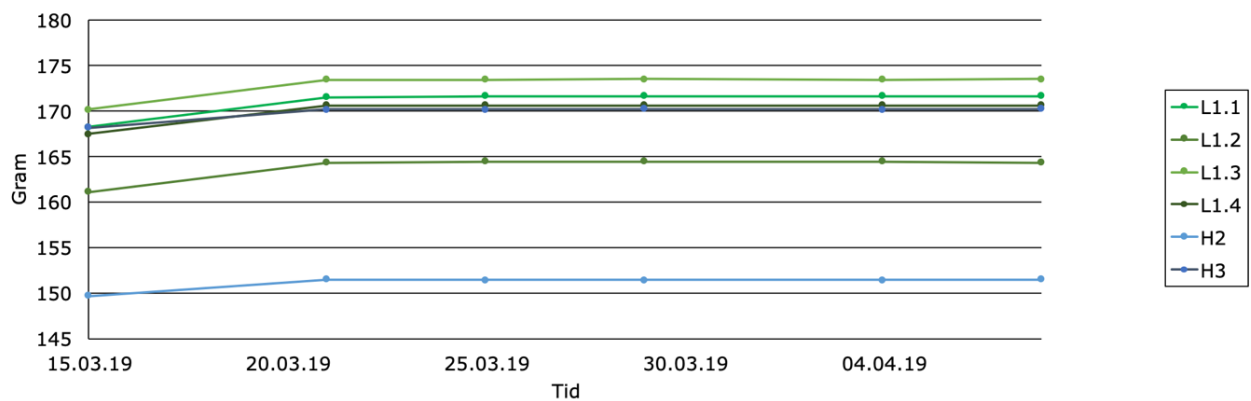
Figur 39 - Vektutvikling fra 23% til 75% RF

Figur 40 viser data for alle prøvene som ble flyttet fra 50% til 75% RF 15.03.19. Her bruker LVL lengre tid på å stabilisere seg (rundt 7 dager) sammenlignet med furuprøvene (rundt 4 dager).



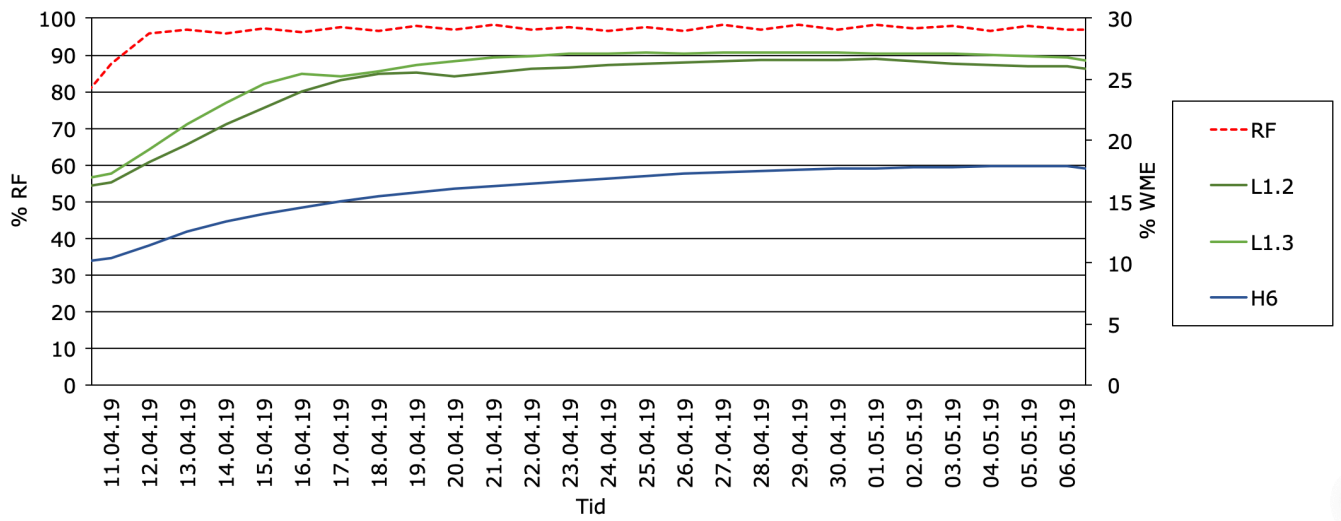
Figur 40 - Fuktforløp fra 50% til 75% RF

På Figur 41 viser det seg at alle prøvene har stabilisert seg etter 6 dager.



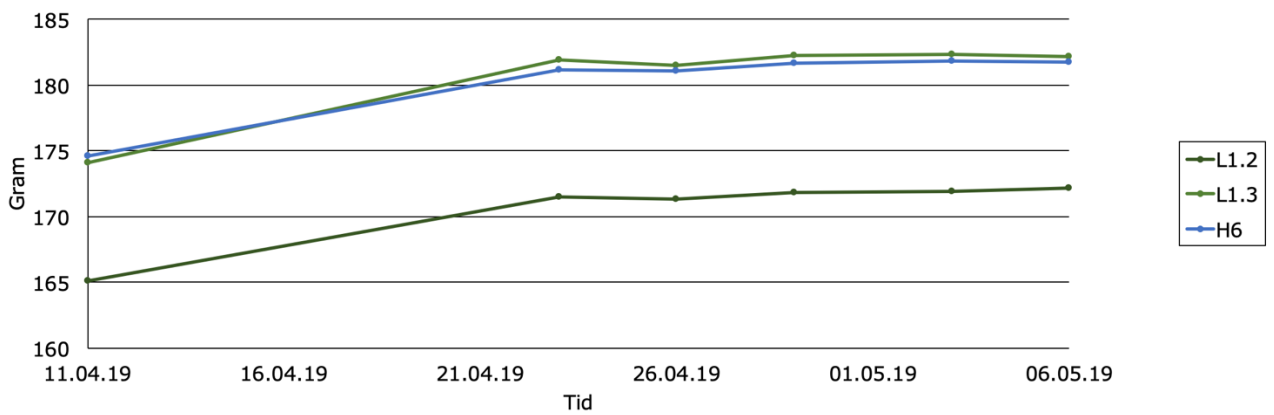
Figur 41 - Vektutvikling fra 50% til 75% RF

Figur 42 viser data for alle prøvene som ble flyttet fra 75% til 98% RF 11.04.19.



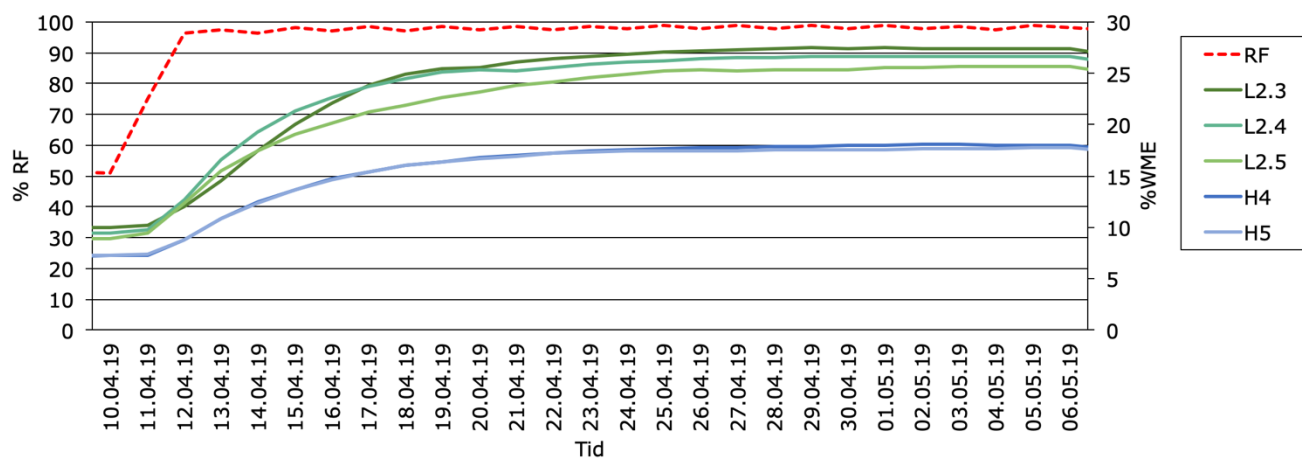
Figur 42 - Fuktforløp fra 75% til 98% RF

Figur 43 viser at LVL prøvene tar opp fuktighet raskere enn furuprøven (H6).



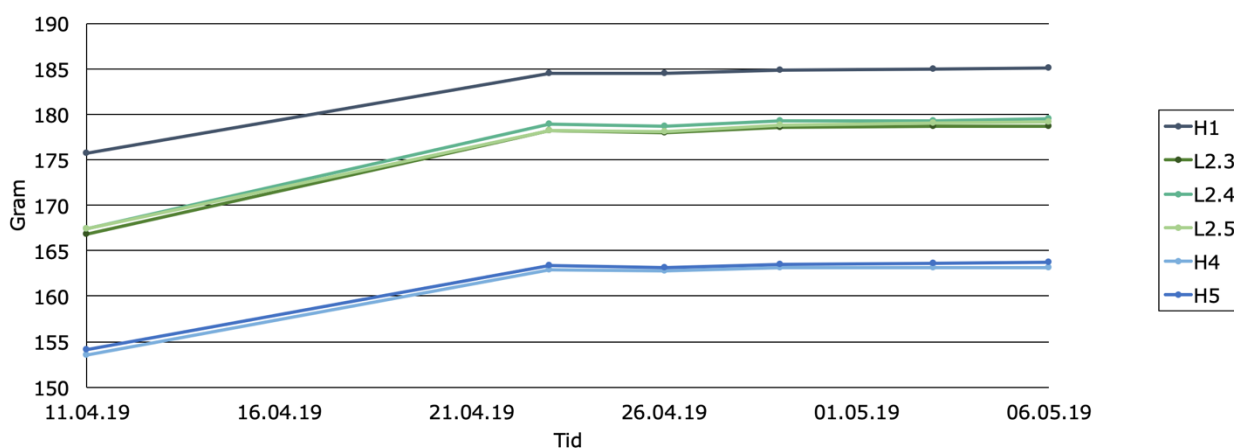
Figur 43 - Vektutvikling fra 75% til 98% RF

I Figur 44 viser alle fuktsensorene som ble flyttet fra 50% til 98% RF den 10.04.19. På grafen vises det at det er LVL prøvene som hadde høyest fuktinnhold, men varierte i hvor raskt de absorberte fukt. Alle prøvene når likevekt relativt likt.



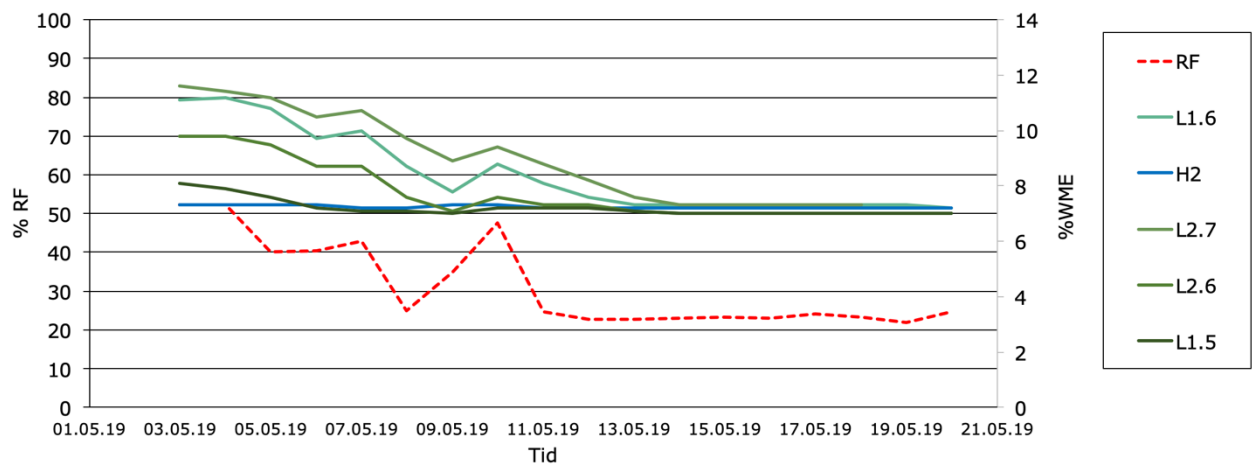
Figur 44 - Fuktutvikling fra 50% til 98% RF

Figur 45 viser at fuktsensorenes tid på å nå likevekt stemmer godt overens med vektmålingene.



Figur 45 - Vektutvikling fra 50% til 98% RF

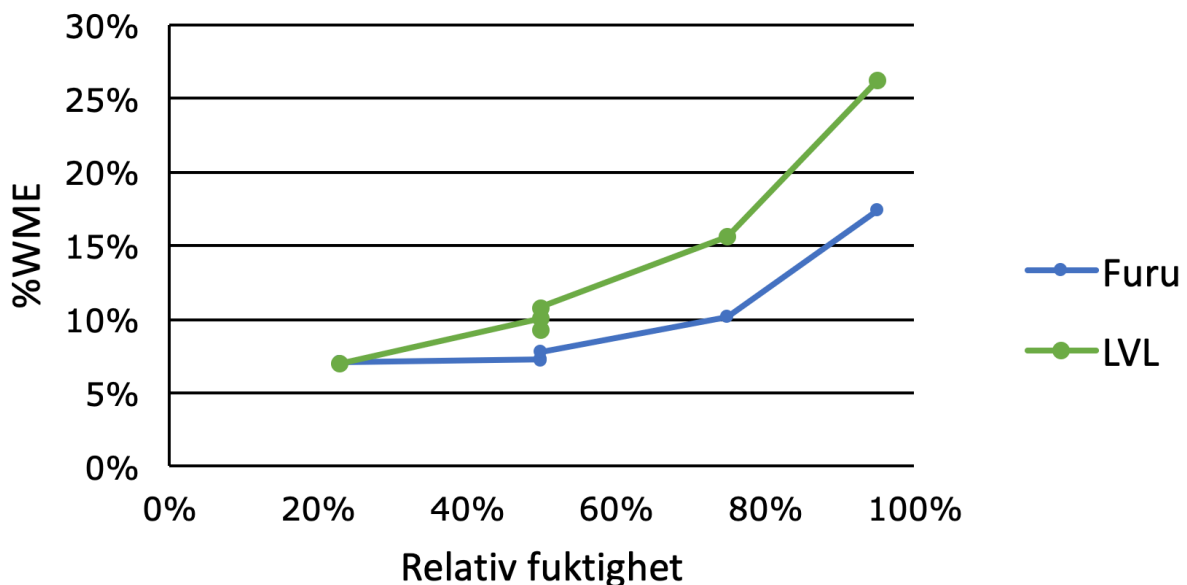
Figur 46 viser fuktforløpet til L1.5, L1.6 og L2.6, L2.7 og H2 fra ulik RF til 23% RF. På dette tidspunktet ble de resterende prøvene satt inn i tørkeskapet. Ved 4.mai til 8.mai oppsto det et problem i fuktlaboratoriet. Det ble oppdaget at luftfuktigheten ikke holdt seg stabil. Da denne feilen ble oppdaget (10.mai) ble prøvene flyttet fra 50% RF til 23%.



Figur 46 - Varierende fukthistorikk til 23% RF

4.2.2 Sammenheng mellom furu og LVL målinger

X-aksen viser fuktinnholdet i %WME og y-aksen viser luftas fuktighet. Ved 50% RF hadde prøvene forskjellige fukthistorikk, se vedlegg 1. Alle prøvene nådde 50% RF ved enten absorpsjon og desorpsjon. Her kom det tydelig fram at forskjellene på verdiene for furu og LVL økte mer når den relative fuktigheten økte. Ved 23% RF lå begge treslagene på gjennomsnittlig 7,0 %WME (Se vedlegg 6 for alle verdiene). Når den relative fuktigheten ble økt til 50% viste fuktsensorene at LVL hadde 2,3%WME høyere verdi enn furu. Ved å endre fukthistorikken til prøvene og deretter sette de tilbake til 50% RF ga LVL fortsatt rundt 2%WME høyere enn LVL. I 75% RF hadde LVL prøvene enda høyere verdi enn furu med en økning på 5,88%WME.



Figur 47 - %WME av furu og LVL

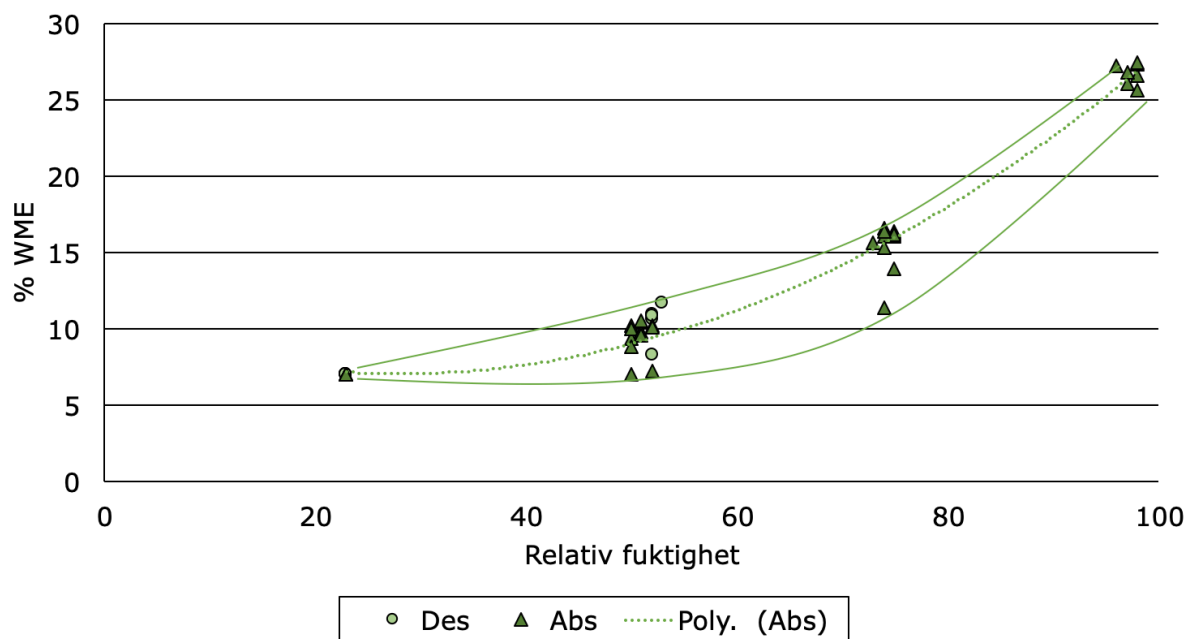
Tabell 8 - Forskjell mellom furu og LVL (Motstandsmåling)

Relativ fuktighet	Furu	LVL
23 %	7,20	7,25
50 %(abs)	7,37	9,67
50 %(des)*	7,15	9,43
50 %(des)*	7,80	10,80
75 %	9,38	15,90
98 %	17,40	26,20

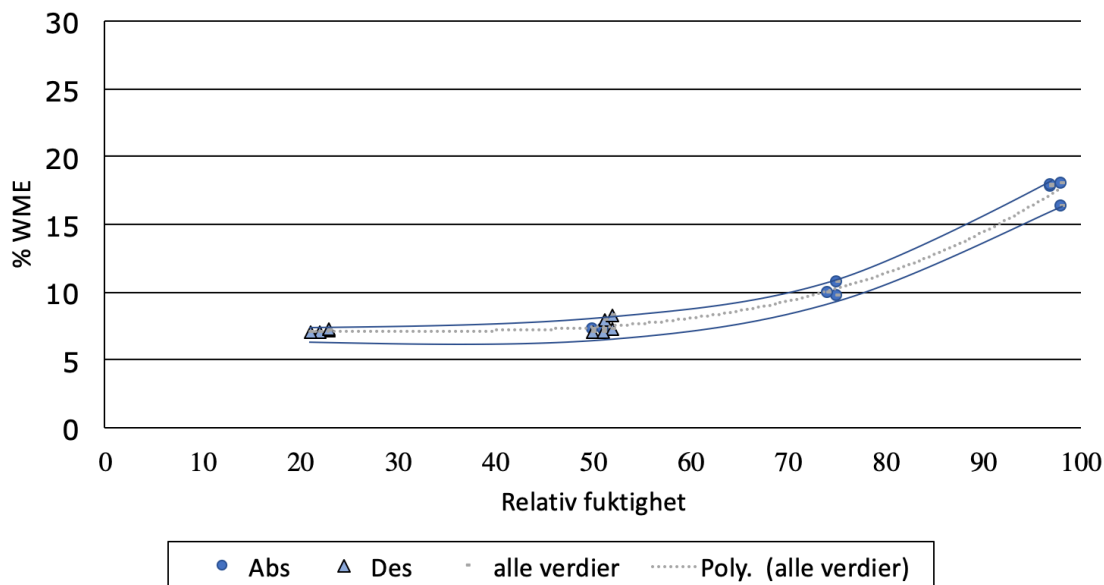
*Denne målingen ble gjort der prøvene hadde en ny fukthistorikk

4.2.3 Sorpsjonskurve fra motstandsmålingene

Under vises to grafer over sorpsjonskurven til LVL og furu basert på data fra fuktsensorene. Verdiene er ikke korrigert for gjeldende treslag. Her kommer det fram at hystereseeffekten slår ut mer på LVL enn furu. For LVL er spredningen på 4 vektprosent ved 50% RF. For furu er forskjellen på 1,2 vektprosent ved samme klima.



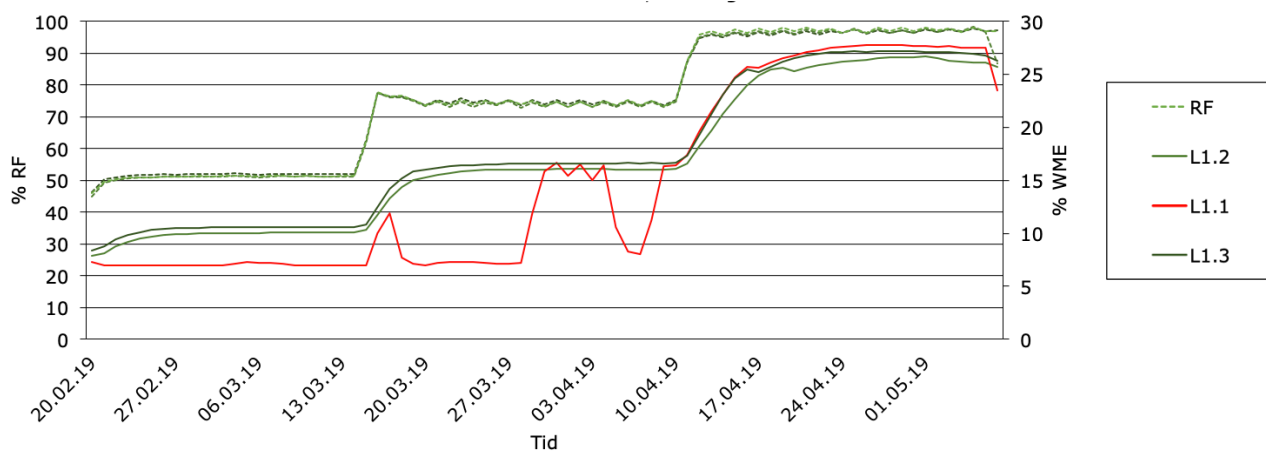
Figur 48 - Sorpsjonskurve for LVL fra motstandsmålingene



Figur 49 - Sorpsjonskurven for furu fra motstandsmålingene

4.2.4 Avvikende resultater

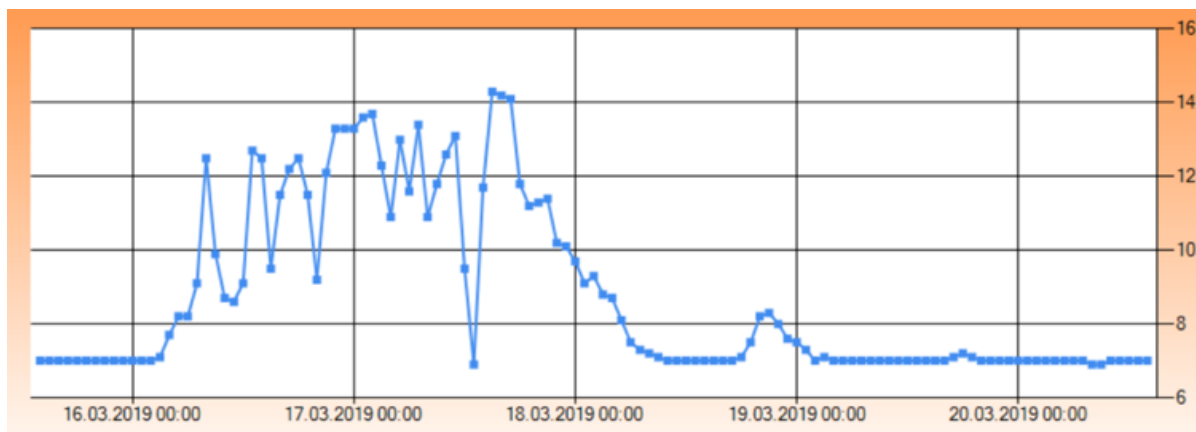
Ved målingene med fuktsensorene ble det oppdaget at en av fuktsensorene ga avvikende verdier i forhold til de andre prøvene. Under er det vist grafer for L1.1 (LVL). Alle prøvene (L1.1, L1.2 og L1.3) er av samme material og satt i samme klima. På bakgrunn av denne observasjonen ble alle verdiene fra L1.1 forkastet.



Figur 50 - Fuktførøpet til L1.1, L1.2 og L1.3

Det ble sett nærmere på fuktinnholdet i tidsperioden 16.03.19 til 19.03.19 vist i

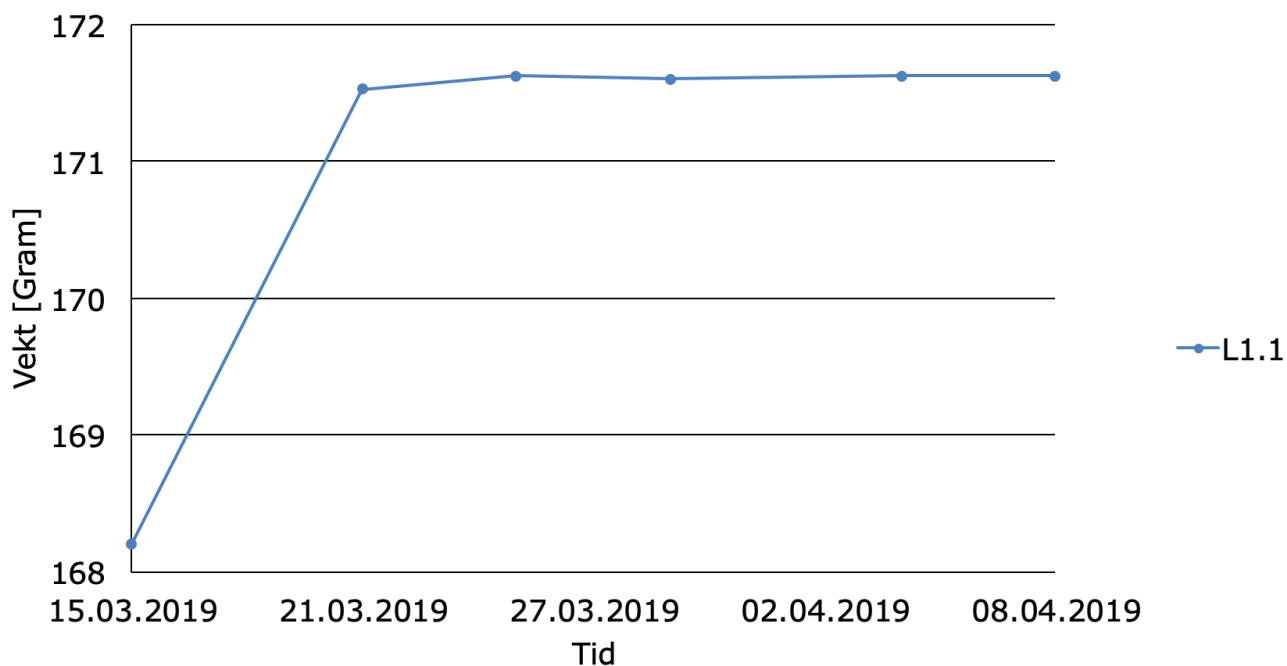
Figur 51. Her kom det fram at i løpet av denne tidsperioden varierte fuktinnholdet mellom 6,9%WME og 14,3%WME.



Figur 51 - %WME for L1.1 (Omnisense, 2019)

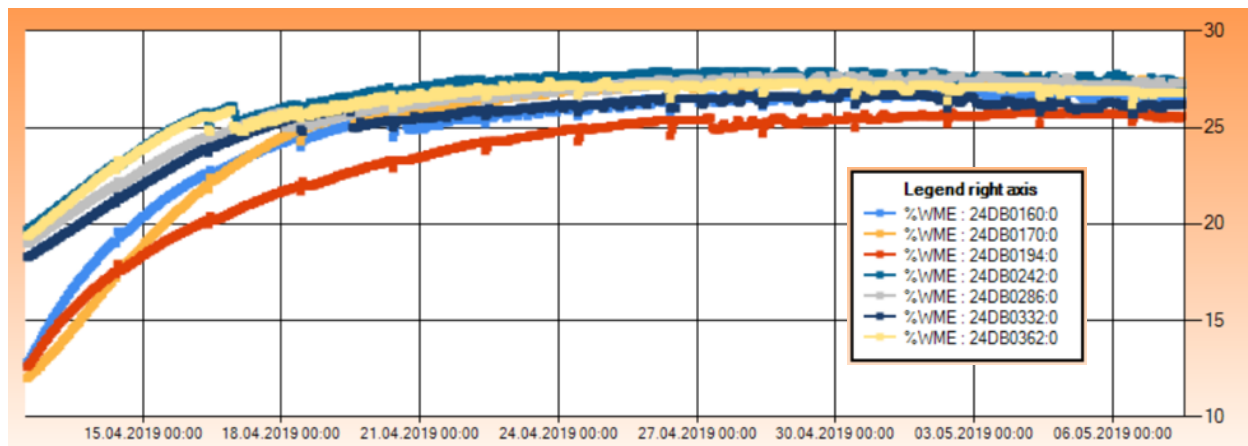
% WME: for L1.1	
Min	6,90
Max	14,30
Diff	7,40

Det ble også hentet ut data for den relative fuktigheten og temperaturen på grafen i denne tidsperioden, som holdt seg stabilt med unntak av de tidspunktene på 30 min annenhver dag hvor klimaskapet kjørte et annet program. Ved å se på vektutviklingen til L1.1 i Figur 52, viste det seg at vekten var relativt jevn og dermed var fuktinnholdet også jevn.

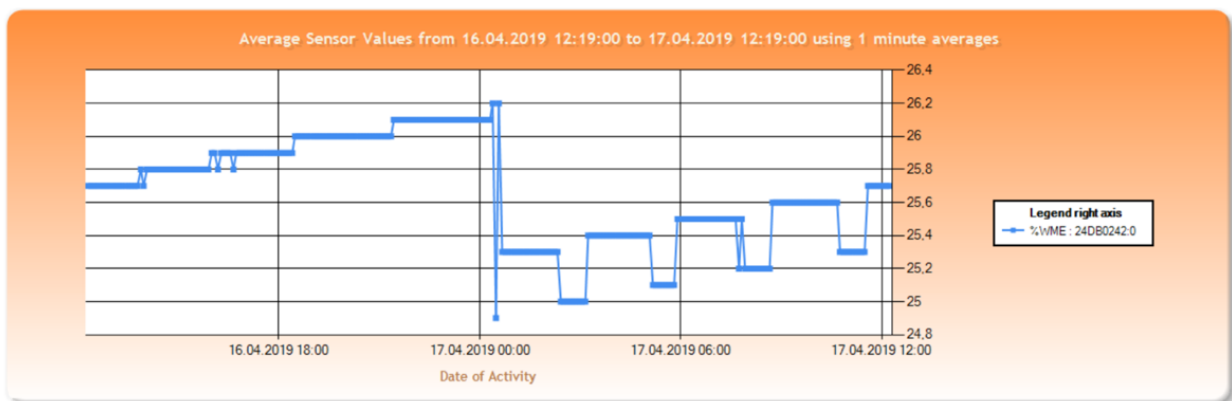


Figur 52 - Vektutvikling for L1.1 i 75% RF

Figur 53 viser fuktforløpet til sensorene fra både 50% RF og 75% RF til 98% RF. Figuren viser at L1.3 og L1.1 tar opp fukt raskere og gjør plutselig et lite dropp når fuktinnholdet stiger over 25% WME. Det var kun to LVL prøver som gjorde dette hoppet.



Figur 53 - Fuktforløp i 98% RF Illustrasjon: Omnisense

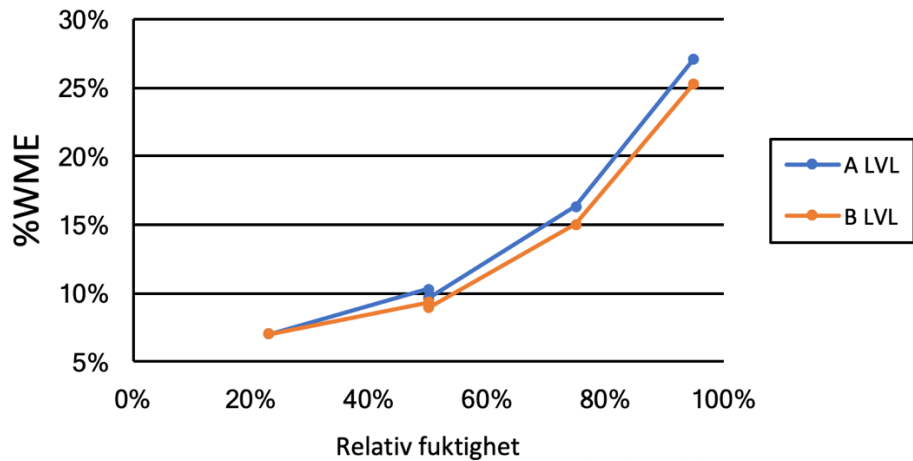


%WME : 24DB0242:0	
min	24,90
max	26,20
diff	1,30

Figur 54 - Utsnitt av fuktforløpet til L1.1 Illustrasjon: Omnisense

4.2.5 Effekt av fuktsensorenes posisjon

Sensorene ble i forsøket plassert i to forskjellige posisjoner, beskrevet i kapittel 3.2.3. Oversikten i Tabell 9 viser data for diagrammet over. Ved LVL er alle fuktinnholdsverdiene for posisjon A høyere enn for posisjon B, med unntak av i 23%RF.



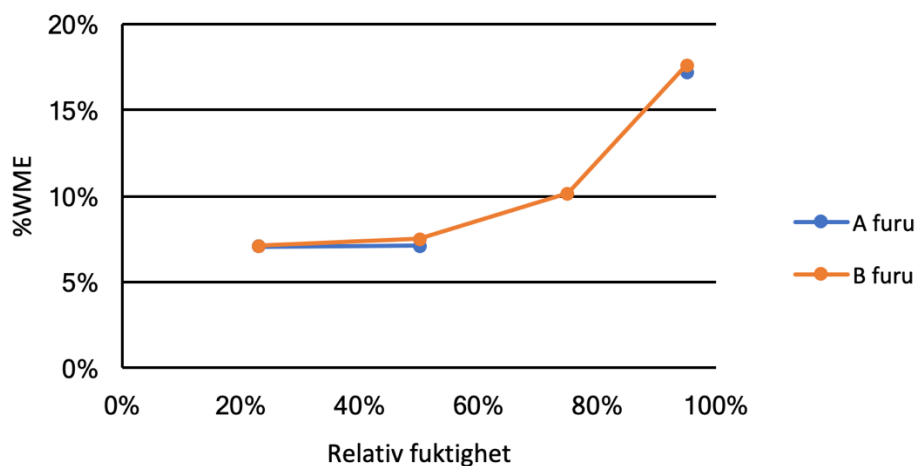
Figur 55 - Posisjon A og B i LVL

Tabell 9 – Forskjell på posisjon A og B i LVL

Posisjon	23% RF	50% RF	50% ** RF	75% RF	95% RF
A (WME)	7,0%	10,3%	9,7%	16,3%	27,1%
B (WME)	7,0%	9,3%	8,9%	15,0%	25,3%

** prøvene har en ny fukthistorikk

For furu ga de to posisjonene relativt like verdier. I 75% RF ble det ikke gjort målinger i posisjon A for furu.



Figur 56 - Posisjon A og B i furu

Tabell 10 - Forskjell på posisjon A og B i furu

Posisjon	23% RF	50%RF	75% RF	95% RF
A (WME)	7,1%	7,1%	Ikke målt	17,2%
B (WME)	7,1%	7,5%	10,2%	17,6%

4.2.6 Hastighet av fuktopptak

Stigningstallet på fuktopptaket etter 10-12 dager forteller noe om hvor mange gram prøvene varierte pr dag. Ved hele forsøket kom det fram at LVL tok opp fukt raskere enn furu. Ved undersøkelse av stigningstallet i løpet av 6 dager fra 50%-75%RF, var forskjellen også 0,2gram pr dag.

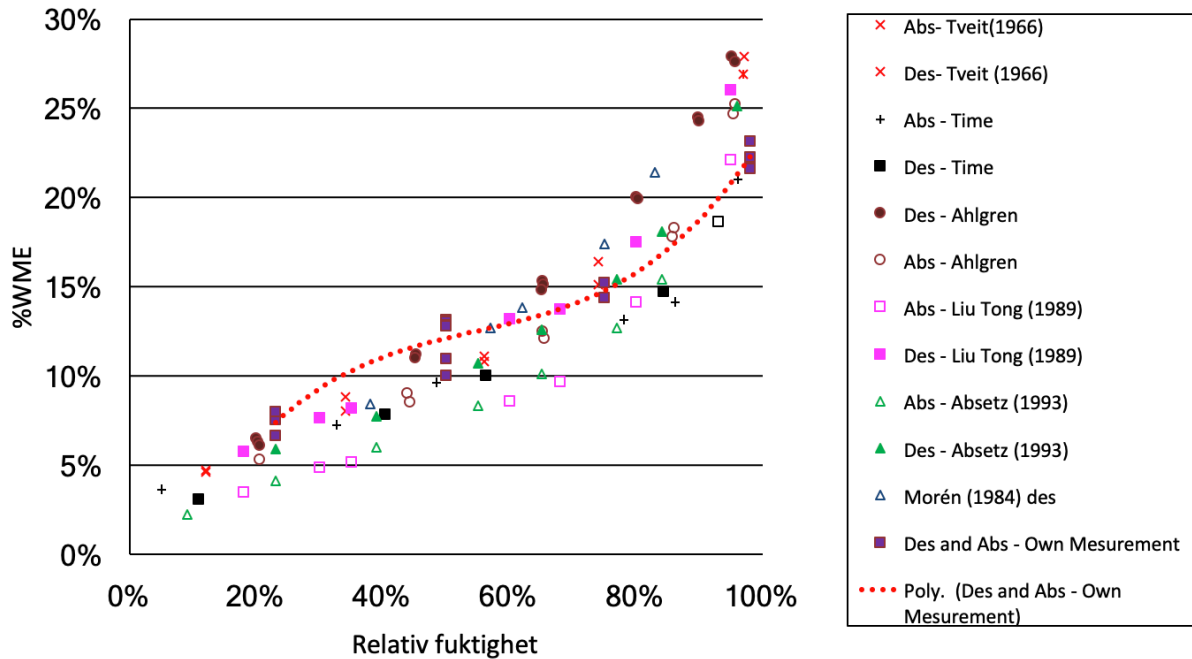
Se vedlegg 5 for alle verdiene.

Tabell 11 - Vektendring pr dag

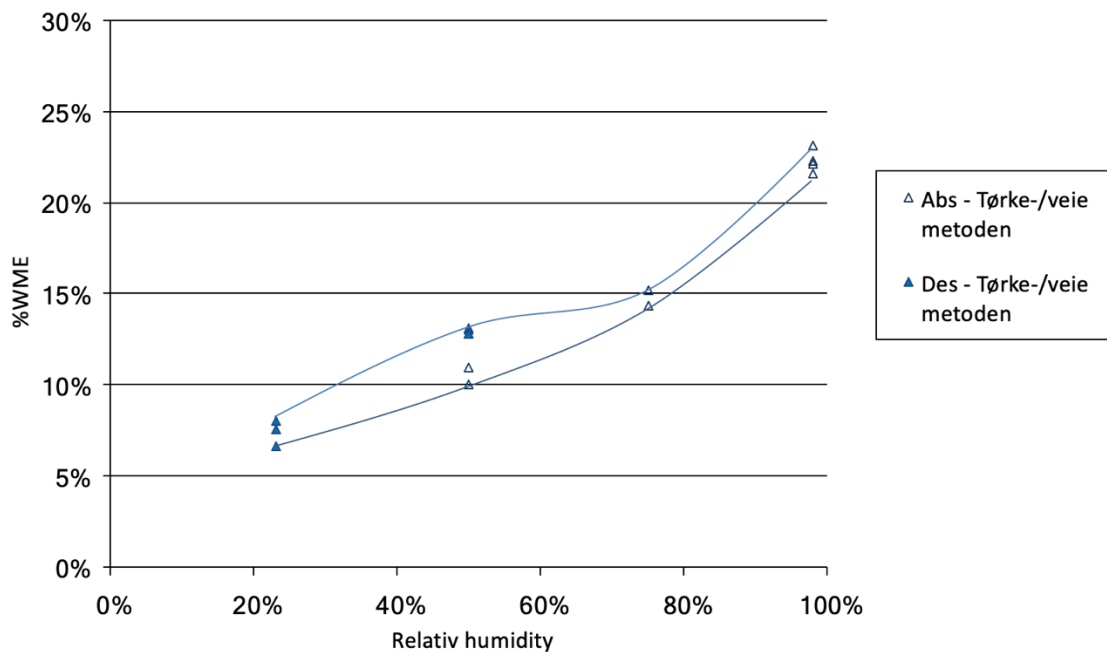
Overgang [RF]	Type treverk	Gjennomsnittlig vektendring [gram/dag]	Antall sensorer (Antall dager)
23%-50%	LVL	0,320	3 (10)
	Furu	0,275	2 (10)
75%- 50%	LVL	-0,238	5 (12)
	Furu	-0,210	2 (12)
23%-75%	LVL	0,329	2 (10)
	Furu	0,275	1 (10)
50%-75%	LVL	0,329	4 (10)
	Furu	0,186	2 (10)
75%-95%	LVL	0,582	4 (12)
	Furu	0,538	1 (12)
50%-95%	LVL	0,923	2 (12)
	Furu	0,760	3 (12)

4.2.7 Sorpsjonskurve basert på tørke-/veie metoden for furu

Figur 57 viser sorpsjonskurven for furu etter data fra tørke-/veie metoden i eget forsøk. Alle verdiene ligger i samme felt som data fra Time (1998). Verdiene markert med lilla farge og en rød stripete linje er fra egen forskning.



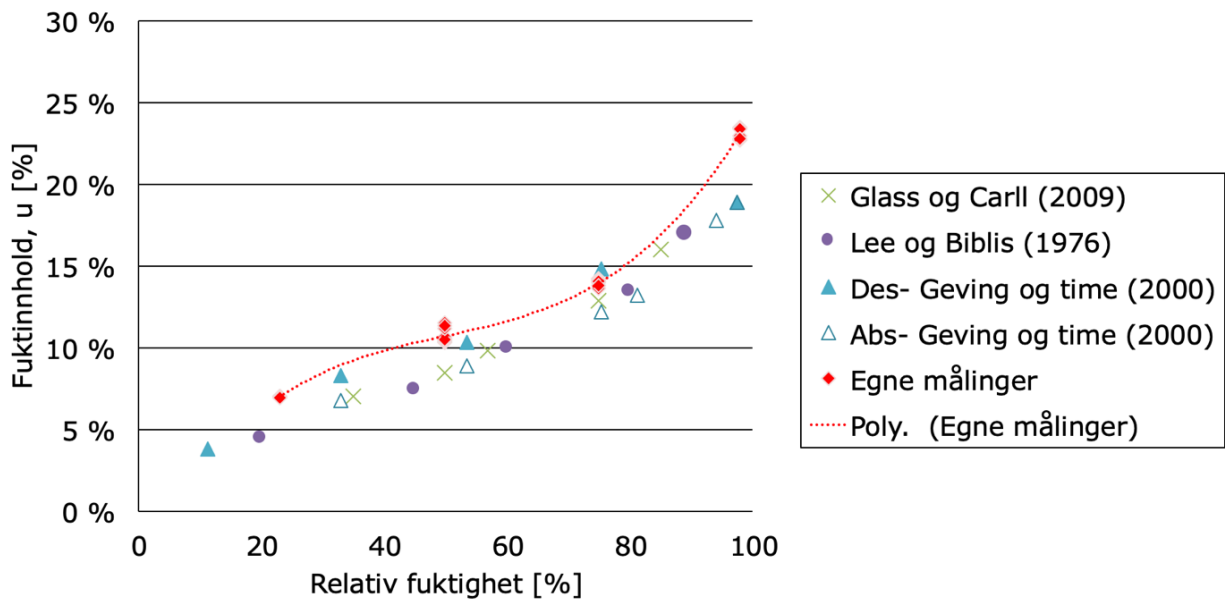
Figur 57 - Sorpsjonskurve for furu sammen med tidligere forskning (Time, 1998)



Figur 58 - sorpsjonskurve for furu

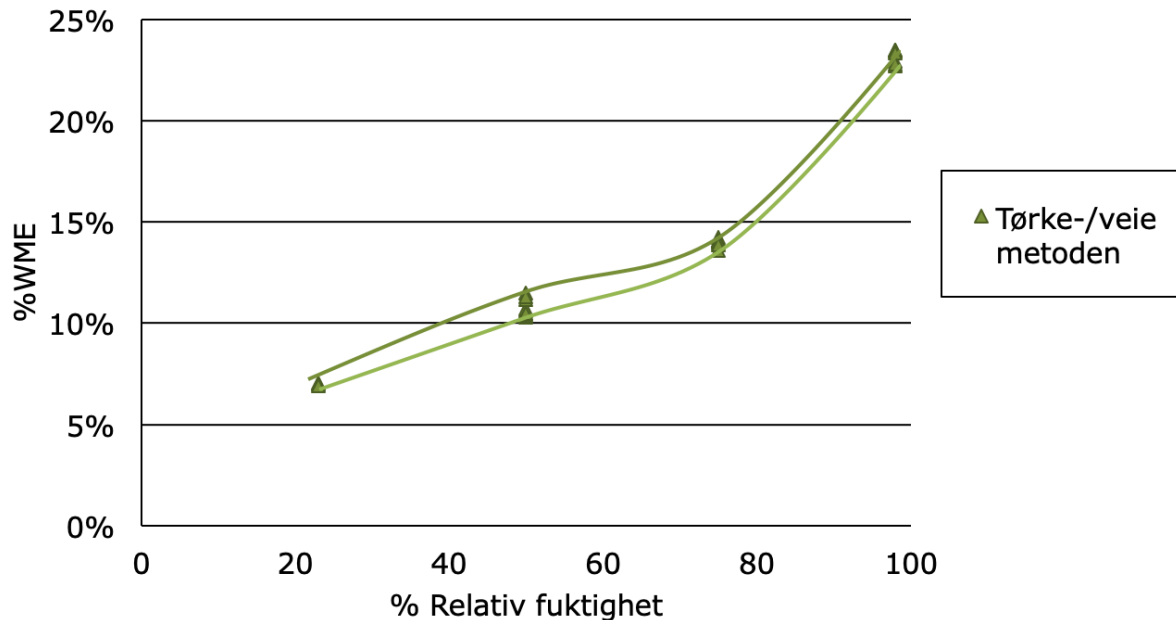
4.2.8 Sorpsjonskurve basert på tørke-/veie metoden for LVL

På Figur 59 viser sorpsjonskurven for LVL sammenlignet med tidligere funn. For mer informasjon om grafen se Figur 32.



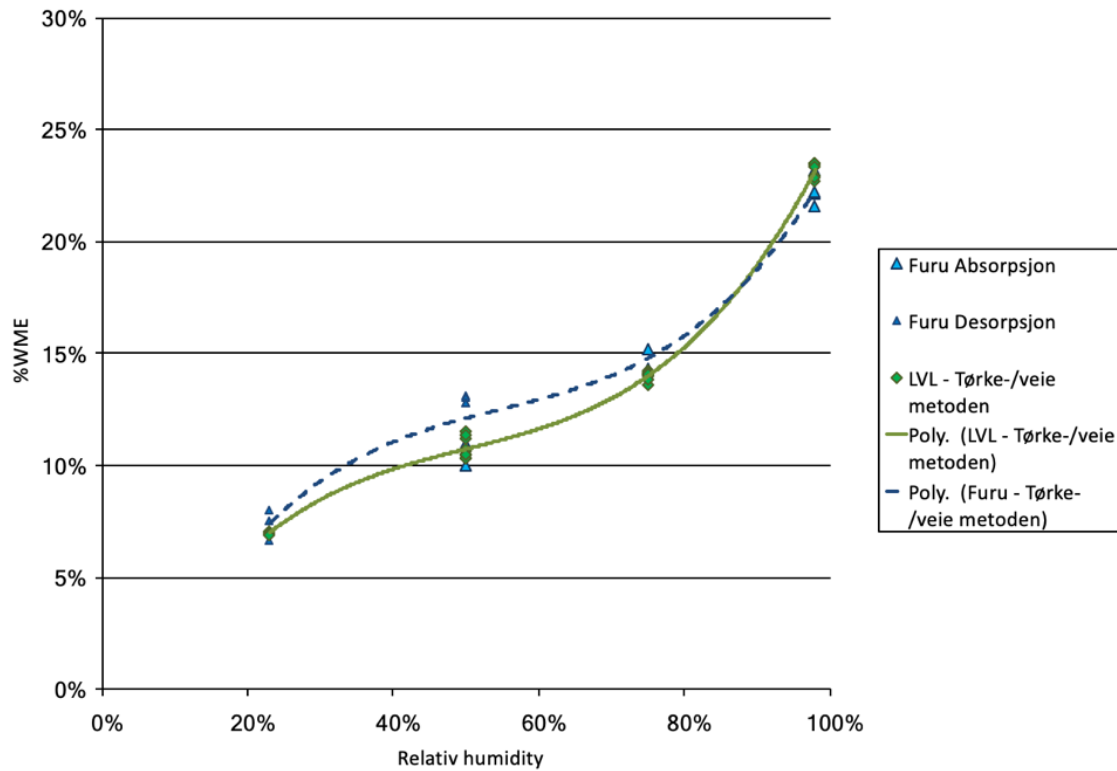
Figur 59 – Sorpsjonskurve av LVL fra tørkemethoden sammen med tidligere forskning

På Figur 60 vises sorpsjonskurven til LVL basert på verdiene fra tørke metoden og elektrisk motstandsmetoden.



Figur 60 – Sorpsjonskurve for LVL fra tørke-/veie metoden

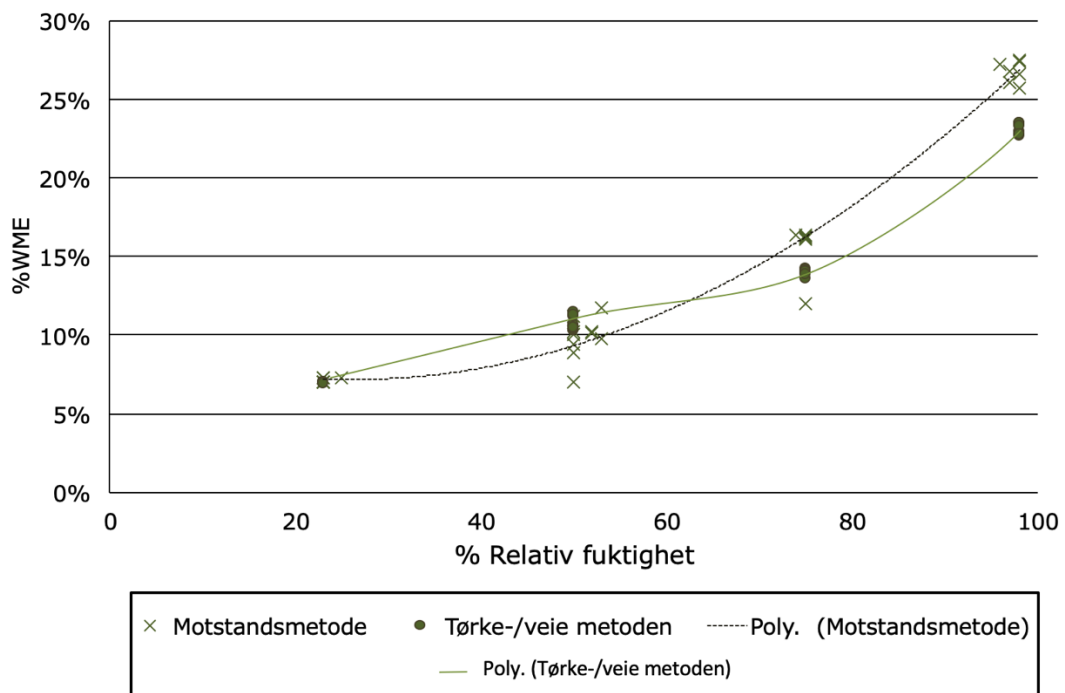
Figuren under viser at fuktinnholdet til begge materialene er nesten likt.



Figur 61 - Sorpsjonskurve av furu og LVL sammen (fra tørke-/veie metoden)

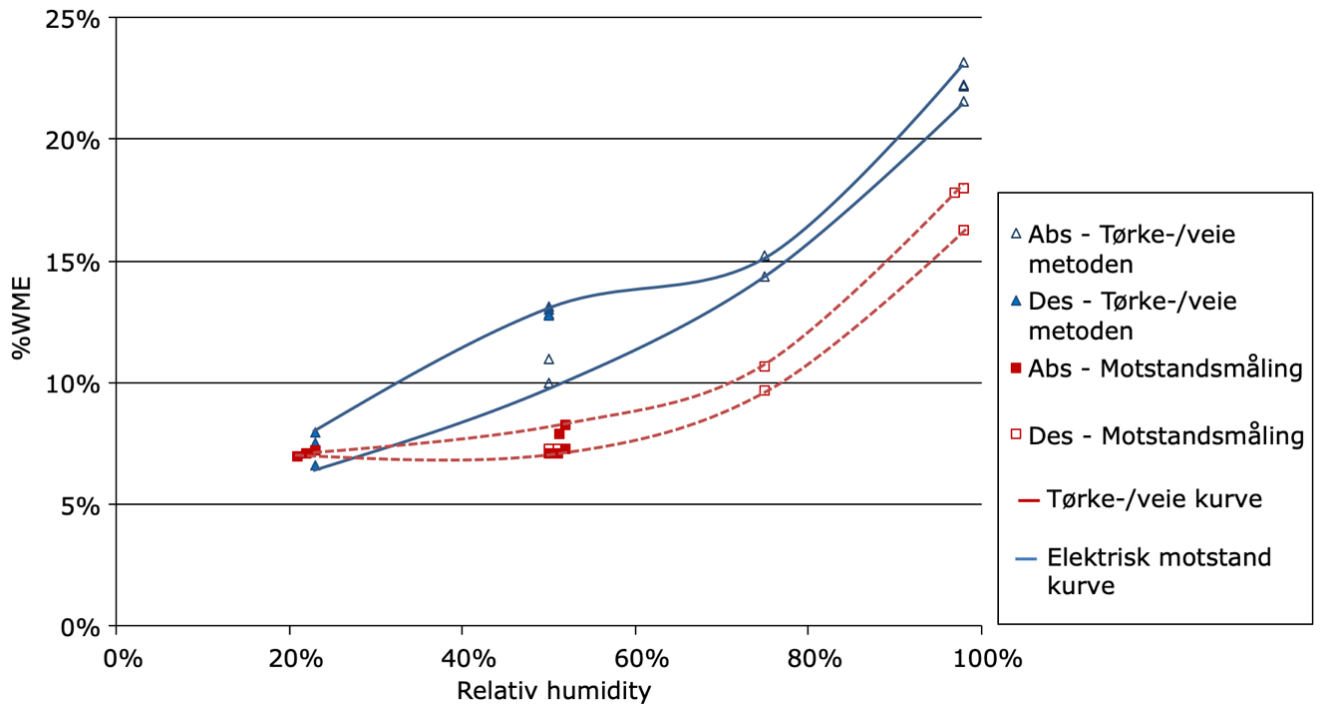
4.3 Tørke-/veie metode mot elektrisk motstandsmetode

Under viser sorpsjonskurven for LVL fra tørke-/veie metoden (Heltrukket grønn linje) og fra fuktsensorene (stiplet mørkegrønne linjen). L1.5 ligger langt lavere enn de andre verdiene.



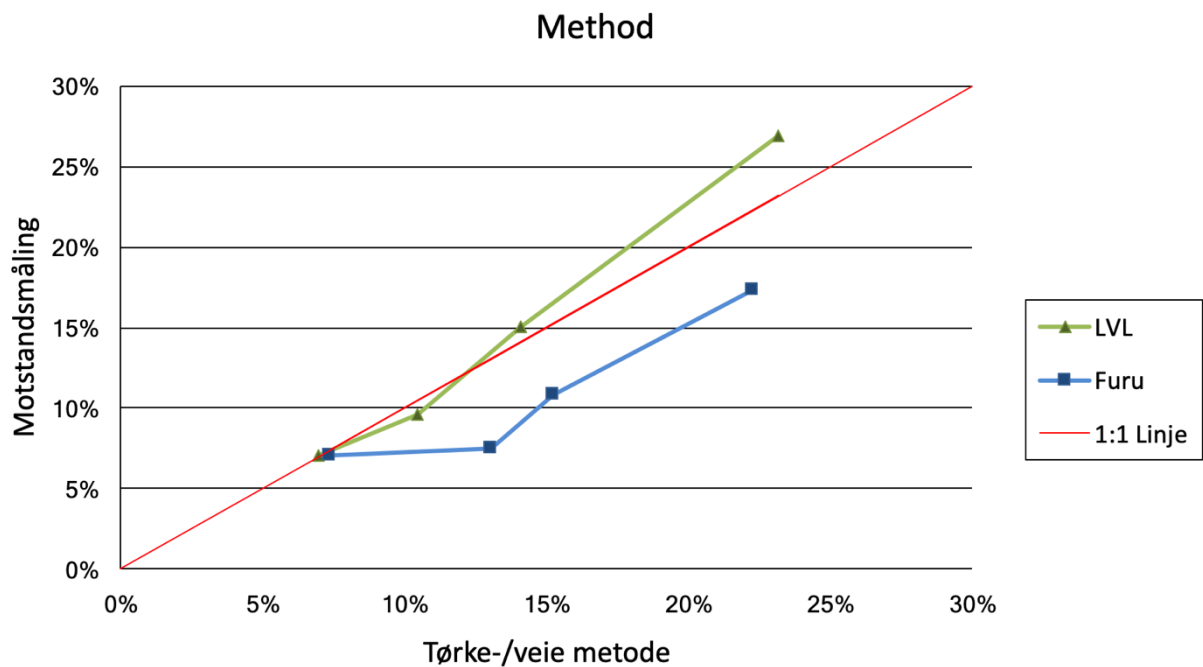
Figur 62 - Sorpsjonskurve for LVL. Den grønne hele linjen viser sorpsjonskurven.

På Figur 63 vises sorpsjonskurven fra egen forskning sammenlignet med fuktsensorenes verdier.



Figur 63 - Sorpsjonskurve for furu med begge metodene

For å undersøke om det er noen faktorer som påvirker motstandsmålingene til furu og LVL er det satt opp et diagram for å sammenligne verdiene. Her kommer det fram at fuktsensorene måler for høy verdi for LVL og for lavt for furu.



Figur 64 - Forskjell på målemetoder for furu og LVL

Basert på poly-linjen mellom punktene er det satt opp et diagram som forslag til korrigeringsstabell for avlesning av fuktverdier i norsk furu. Disse verdiene er gjennomsnittet av målt fuktinnhold.

Tabell 12 - Forslag til korrigeringskurve for furu

Relativ fuktighet	Elektrisk motstandsmetode	Tørke-/veie metode
23%	7,0%	7,0%
50%	7,3%	11,5%
74%	10,0%	13,8%
80%	11,5%	15,0%
86%	13,0%	17,0%
92%	15,0%	19,0%
96%	16,5%	21,0%
98%	17,5%	22,0%

Tabell 13 - Forslag til korrigeringskurve for LVL

Relativ fuktighet	Elektrisk motstandsmetode	Tørke-/veie metoden
23%	7,0%	7,0%
43%	9,0%	10,0%
50%	9,5%	11,0%
60%	11,5%	11,0%
65%	12,5%	12,5%
75%	15,5%	14,0%
79%	17,5%	15,0%
85%	20,0%	17,0%
90%	22,5%	19,0%
98%	27,0%	23,0%

4.4 Litteratursøk om signalstyrker

National Institute of Standards and Technology (1997) forsket på elektromagnetiske (EM) signalstyrker gjennom forskjellige bygningmaterialer. Materialene som ble testet var: murstein, åtte forskjellige betongblandinger, glass, kryssfiner, tømmer (gran-furu-gran), gipsvegg, armert betong, variasjoner av kryssfiner og tømmerprøver der prøvene var gjennomvåt med vann og sammensatte prøver som involverer mursteinfaset murblokk. Det ble plassert en sender og en mottaker av signaler 2 meter fra hverandre, men en metallplate som blokkerer radiofrekvenser fra å passere mellom antennene for å eliminere flerveis signal.

De fant ut at den gjennomsnittlige effekten av det mottatte signalet (med bredbåndspuls på 0.5 til 2 GHz) på en 267mm murvegg, gjorde at 40% av signalstyrken ble blokkert. Andre mer vanlige materialer i boligbygging som kryssfiner, tømmerhull, glass og gips ga mindre tap. Se Tabell 14 for oversikt over resultatene. Det var betong som hadde størst signalabsorpsjon med tykkelse opp til 305mm.

Tabell 14 – Reduksjon av signalstyrker

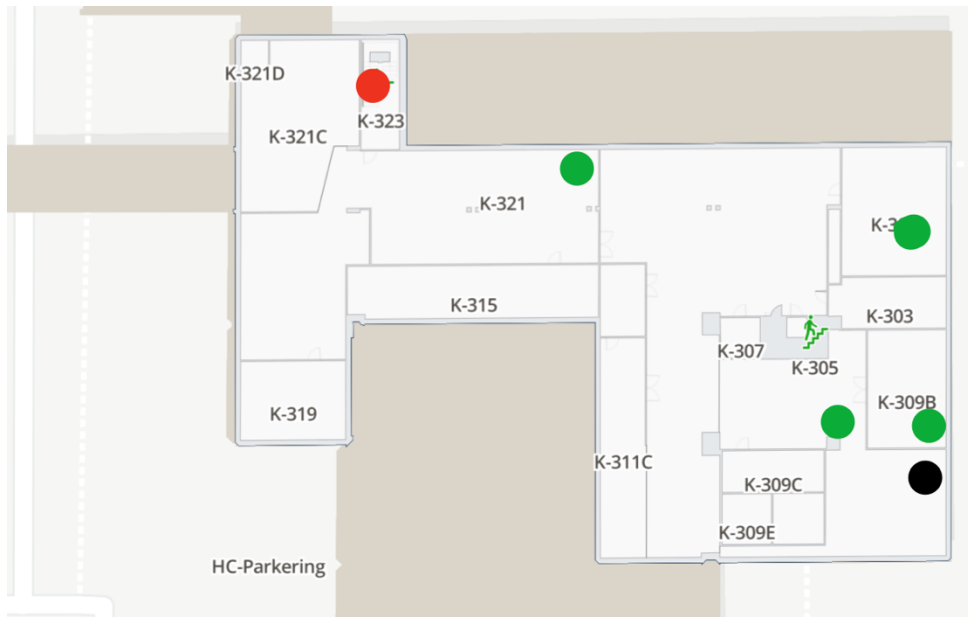
Materiale	Signalstyrke redusert %
Murvegg (267mm)	40%
Kryssfiner (13mm)	10%
To lag med faste granplanker (76mm)	30%
Glasspanel (19mm)	30%
Gipsvegg (13mm)	6%

(Stone, 1997)

4.5 Signalstyrker

Signalstyrkene ble testet i bygget til Klima2050. Resultatet vises ved markering av grønn prikk dersom gateway mottok signaler og rød prikk dersom den ikke mottok signal. Svart/grå prikk marker sensorenes posisjon. Etasjene ble skilt av dekkeelementer av armert betongdekke med tykkelse 300mm (Reinertsen, 1973).

Signalene ble først testet ut på samme plan som sensorene var plassert. Her viste det seg at signalene hadde en rekkevidde på 28m før signalet forsvant. Trappeoppgangen K-323 skiller av med en tynn betongvegg og en ståldør.



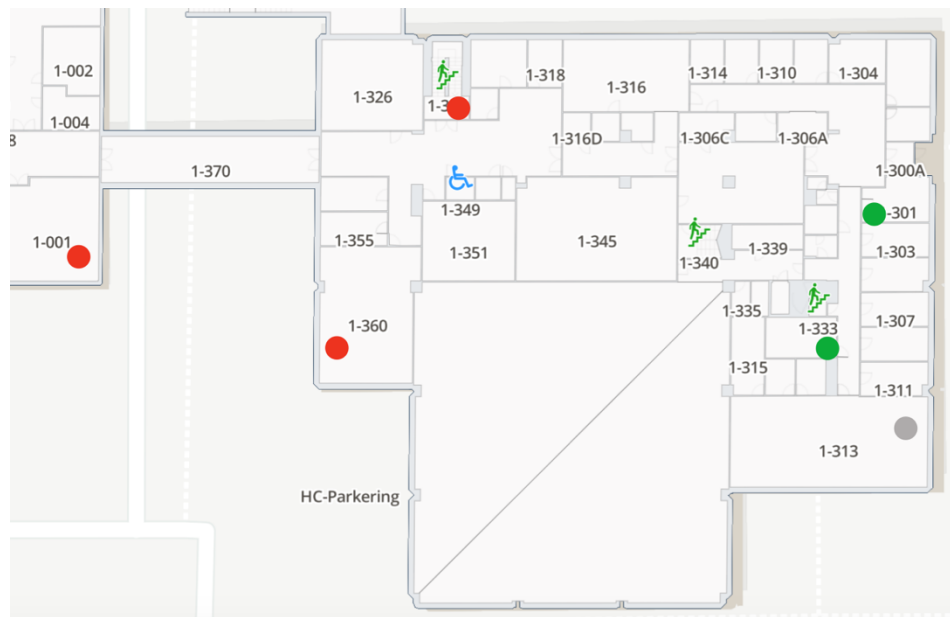
Figur 65 - Oversikt over signaltreff i kjeller. Illustrasjon: mazemap

Det ble mottatt signaler en etasje opp. Det ble ikke registrert signaler en etasje opp og 11m horisontalt.



Figur 66 – Oversikt over signaltreff i S, 1.etg over sensorene. Illustrasjon: mazemap

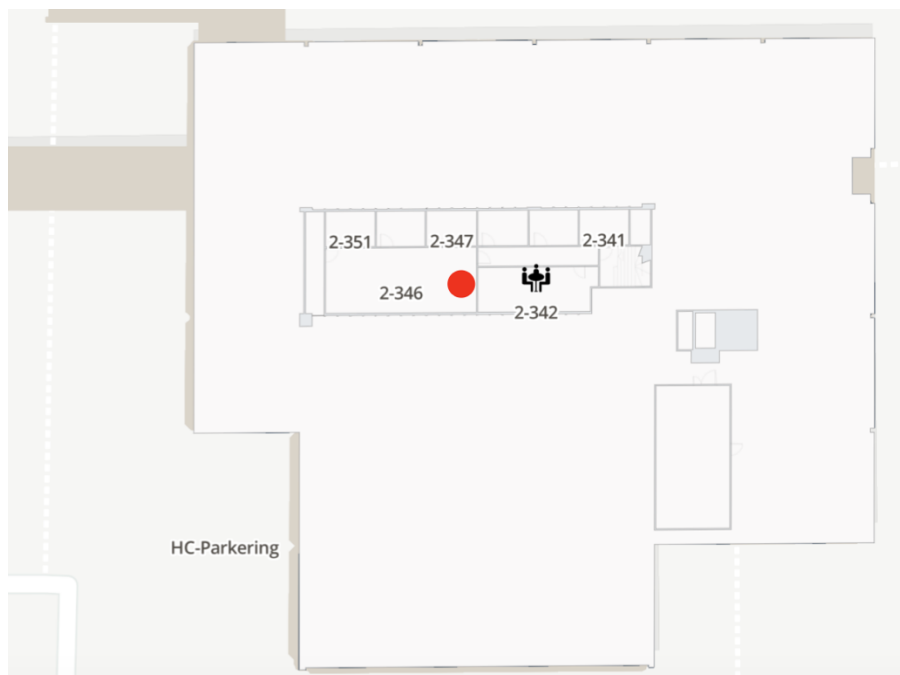
Det ble registrert signaler to etasjer opp, men ikke 7,5 m i horisontal retning.



**Figur 67 – Oversikt over signaltreff i 1.etg, 2 etasjer
over sensorene.**

Illustrasjon: mazemap

Det ble ikke registrert signaler i øverste etasje.



Figur 68 - Oversikt over signaltreff i 2.etg, 3 etasjer over sensorene.

Illustrasjon: mazemap

5 Diskusjon

5.1 Limets effekt

Før forsøket var det lagt fram en hypotese om at limet mellom lagene kunne påvirke konduktiviteten til treverket. Ved sammenligning av tørke-/veie metoden kommer det tydelig fram at fuktinnholdet er lavere enn hva den elektriske motstandsmetoden måler. Fra Figur 62 kommer det fram at fuktsensorene måler for høyt fuktinnhold ved luftfuktighet over 65% RF og forskjellen øker ved høyere luftfuktighet. Det ble bekreftet fra litteraturstudiet av flere kilder at limet påvirker avlesningene og leder strøm bedre ved høy fuktighet. Den økte ledningsevnen forbindes med effekten til elektrolyttene i limet.

5.2 Fuktopptak

Fra Tabell 11 vises det at i løpet av 10 dager trekker LVL til seg raskere fuktighet enn furu. Spesielt når prøvene absorberer fukt fra klima med 50% RF til 75% RF, ser det ut til at LVL tar opp fukt raskere. Dette skjer derimot ikke ved desorpsjon. Ved sammenligning av fuktutviklingen fra fuktsensorene i Figur 40 ser det ut til at furu prøvene når likevekt allerede etter 4 dager, mens LVL bruker 11 dager. Dersom dette stemmer ble det feil å sammenligne stigningstallet til vektutviklingen etter 10 dager. Fra veiingen viser tallene at også i løpet av 6 dager tar LVL opp 0,2gram pr dag mer fuktighet enn furu. Dette kan tyde på at LVL absorberer fukt raskere i overgangen fra 50% til 75% RF. Fra Figur 61 vises det at furu har litt høyere fuktinnhold enn LVL ved samme fuktighet.

Felles for grafene er at uttørking og opp fukting skjer raskest i starten og stabiliserer seg etter 7-20 dager avhengig av materialet og fuktendring. Merk at dette er for små prøver, det ville tatt lengre tid for store planker. Fra litteratursøket kom det fram en teori om at årsaken til at limtreprøvene tok opp fukt raskere kan være at det mellom limsjiktet blir tilnærmet et sugerør, og at det på den måten vil slippe ut vann og trekke det til seg raskere. Det kan være at vannet må holde seg mellom limsjiktene, og kan dermed ikke spre seg ut på et større område som i heltre.

5.3 Posisjonene på sensorene

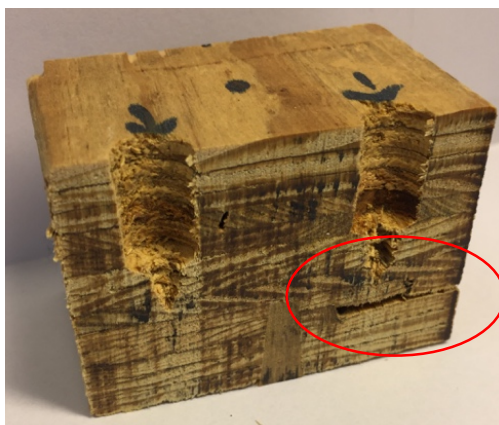
Sensorene som ble plassert i posisjon A ga høyere verdier enn posisjon B. Ved å se på verdiene nøyer i vedlegg 11, kommer det fram at forskjellen var liten og at noen få sensorer gjorde at verdiene varierte. Her kommer det fram at L1.5 (LVL) også ga verdier som skilte seg fra de andre sensorene i samme posisjon. Ved å forkaste L1.5 ble gjennomsnittet av målingene nesten like. L1.5 hadde posisjon B. Posisjonen som hadde størst forskjell var i 95% RF for LVL. Her er det kun én sensor som gir verdien for posisjon B. Dermed kan det være en sensor som utgjør en feil og kan derfor antas at posisjonen på sensorene utgjør kun en liten forskjell på fuktmålingene. Det er for lite data å basere seg på til å trekke en klar konklusjon. Dette stemmer godt overens med litteratursøket der målingene kan variere med rundt 2 vektprosent, noe det også gjorde i dette forsøket ved 98% RF for LVL. For furu var det nærmest ingen forskjell. Dersom det er en forskjell på rundt 2 vektprosent i forhold til fiberretningene, kan det utgjøre en forskjell på måling i LVL (hvor alle lagene er lagt med parallelle fiberretninger) og kryssfiner (der lagene ligger med 90° forskjell på fiberretningene). Dette kan være årsaken til de små forskjellene på sorpsjonskurvene i Figur 59.

Det ble også gjort veiinger for å undersøke fuktinnholdet til OSB platen som går 15mm inn i LVL prøven. Siden strømmen mellom sensorene går langs OBS delen i en av posisjonene, ble det undersøkt om sensorene ville måle fuktigheten til OSB biten i stedet for furu og grandelene. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom fuktinnholdet til OBS platene og fuktsensorenes fuktinnhold, og det antas dermed at posisjonene ikke har noen betydning.

5.4 Tydelige avvik i målingene

Det ble oppdaget at sensoren for den ene limtreprøven (L1.1) ga avvikende resultater i forhold til de andre sensorene, og prøven ble undersøkt nærmere. Figur 50 viser at fuktinnholdet varierende veldig i stabilt klima, og fra veie-/tørkemethoden kom det fram at fuktinnholdet var stabilt på tidspunkt der fuktsensorenes verdier varierende. Ved oppdeling av prøven ble det oppdaget at det var en åpen lomme under den ene elektroden, 4mm under elektrodespissen. Dette tyder på at strømmen går over et større felt enn kun direkte mellom elektrodene og har antagelig vært med på å påvirke ledningsevnen til treverket og gjort at avlesningene ble feil. Det ble også oppdaget ved demontering av sensorene at skruen i L1.5 var betydelig løsere skrudd inn i treverket i forhold til resten. Dette kan være grunnen til at sensoren i L1.5 viste betydelig lavere fuktinnhold enn resten av sensorene, vis på Figur 62. Det ble ikke funnet noen tydelig forklaring på variasjonen i fuktinnholdet i

Figur 51 og det ble derfor ikke diskutert noe mer om dette resultatet.



Figur 69 - Ved kutting av prøven (L1.1) vises det et hulrom under den ene elektroden.

5.5 Sorpsjonskurve

Kurvene viser at det oppstår en hystereseeffekt ved luftfuktighet 23% RF og 50% RF, grunnet absorpsjon og desorpsjon. På grunn av tidsbegrensninger er det kun disse som er blitt beregnet. Fra funn i litteratursøket tyder det på at det vil oppstå en hystereseeffekt også ved høyere fuktighet enn 50% RF.

LVL - Figur 60 viser sorpsjonskurven basert på tørke-/veie metoden. Fuktinnholdet til LVL prøvene ligger samlet og danner en tydelig linje. Sammenlignet med resultater fra litteratursøket ligger kurven relativt likt. Dette tyder på at målingene er realistiske og til å stole på.

Furu - Figur 63 viser sorpsjonskurven for furu basert på tørke-/veie metoden. Etter å ha plottet de egne verdiene for furu inn i grafen hentet fra Time (1998), viser det seg at målingene stemmer godt overens med tidligere forskning. Verdiene ligger nokså midt mellom tidligere verdier, noe som tyder på målingene er til å stole på.

5.6 Tørke-/veie metode mot elektrisk motstandsmetode

Fra Figur 64 viser fuktsensorene sine verdier at LVL får et høyere fuktinnhold sammenlignet med furu, der forskjellen øker ved høyere RF. Basert på at tørke-/veie metoden for furu stemte godt med tidligere forskning, ser det ut som fuktsensorene måler lavere fuktinnhold enn de reelle verdiene. Tabell 12 er korrigeringskurve til Norsk furu. Grunnen til avviket fra verdiene med en elektrisk motstandsmåling og tørke-/veie målingen kan forklares med at fuktsensorene er stilt inn for tretypen douglas fir, som har en densitet på 530kg/m^3 mens Norsk furu har en densitet på 510kg/m^3 . Tabellen er forslag til korrigeringskurve basert på egne målinger. Det ble tilsendt en korreksjonstabell for norsk furu på e-post, men denne stemte ikke med funnene fra rapporten. Forskjellen kan også komme av at det er blitt brukt forskjellig type furu med annen fukthistorikk, densitet eller plassert i et annerledes klima.

Korrigeringskurven til LVL vises i Figur 62 og er basert på elektriske målinger også er korrigeret for Douglas Fir og data fra veie-/tørkemethoden. Forskjellen på målemetodene før 65% RF gir relativt likt fuktinnhold, der sensorverdiene viser spredning rundt kurven til veie-/tørke metoden. Forskjellen ligger på rundt 1% WME. Etter 65%RF gir den elektriske motstandsmålingen høyere verdier enn veie-/tørke metoden der forskjellen øker jevnt ved økt fuktighet. Tabell 13 er et forslag til en korrigeringskurve basert på egne målinger. Tørke-/veie metoden ble mindre påvirket av hystereseeffekten sammenlignet med data fra sensorene.

5.7 Signalstyrker

Det ble undersøkt signalstyrker rundt på bygget og oppdaget at signalene når langt kortere enn 100m, som først var antatt. Signalene går godt gjennom to etasjer, på til sammen $2 \times 300\text{mm}$ armert betongdekke. Det ble dårligere signaler når det ble testet i større avstand til siden av sensorene. signalet hadde en radius på 28m i samme etasje som signalene. Disse resultatene stemte godt med litteratursøket, der det kom fram at et betongdekke på 267mm kan blokker 40% av signalene.

5.8 Feilkilder:

Under tørkingen ble det observert at furuprøvene ga fra seg kvaer. Dette gjorde at den tørre vekten er lavere enn ønsket, ettersom det ikke kun er vann som er fjernet fra prøvene. Ved nærmere undersøkelse viste det seg at dette var veldig lite prosentandel av vekten og at forskjellen gjorde lite på utslaget av fuktmålingene. Dette var kun tilfelle på furu prøvene ettersom kvaen på LVL prøvene ble liggende på prøvene.

Det viste seg at det var vanskelig å finne en god korrigeringskurve for fuktsensorene. Omnisense gjør noen korrigeringer i forhold til temperatur, der det er antatt at fuktverdiene endrer seg likt i temperatur for alle materialer. Dette er ikke sikkert og kan gjøre at verdiene varierer mer. I etterkant av arbeidet har det vis seg at det hadde vært stor fordel å bruke en motstandsmåler som ikke var kalibrert på forhånd slik at man hadde sett forskjellene tydeligere. Da hadde man fått en bedre oversikt over variasjonen av strømpåvirkningen grunnet ulik fuktighet. Det merkes også at sensorene kun gir en pekepinn på fuktnivået, og skal ikke gi en nøyaktig verdi ifølge Omnisense. Denne oppgaven har derimot basert seg på at verdiene er nøyaktige.

Prøvene skulle bli delt opp i like store prøver. Ved veiing viste det seg at prøvene hadde forskjellig vekt, noe som tyder på at de kan ha hatt litt forskjellig størrelse. Dette kan ha påvirket mengden fukt som ble tatt opp i prøvene.

6 Konklusjon

1. Blir målingene av fuktighet gjennom motstandsmetoden påvirket av limet i LVL materialet?

Sammenligningen av fuktinnholdet fra motstandsmetoden og tørke-/veie metoden viser tydelig at fuktsensorene måler for høyt fuktinnhold. Forskjellen er liten ved lav fuktighet, men ved 65%RF og oppover måler fuktsensorene et betydelig økende fuktinnhold. Dette vises tydelig på Figur 62. Fra litteratursøket ble det bekreftet at limet mellom tre-lagene leder strøm bedre enn treverk.

2. Er det noen forskjell på det målte fuktopptaket i LVL og furu?

Fra avlesningene av fuktinnholdet i prøvene med fuktsensorene kom det tydelig fram at LVL tok opp mer fukt enn furu. Forskjellen økte i takt med økende luftfuktighet. Ved sammenligningen med tørke-/veie metoden ble forskjellene mindre, siden det viste seg at fuktsensorene målte for lavt fuktinnhold for furu og for høyt fuktinnhold for LVL. Ved sammenligning av begge sorpsjonskurvene i Figur 61 kom det fram at LVL og furu har nokså likt fuktopptak. Furu tar opp jevnt litt mer fukt enn LVL, helt fram til 90%RF. Fra 90%Rf ligger fuktinnholdet for LVL 0,5 vektprosent over furu. Dermed er det liten forskjell på fuktinnholdet til de to materialene, men for den elektriske motstandsmålingen var det stor forskjell. Det ble også observert at furu brukte lengre tid på å nå likevekt i enkelte tilfeller, sammenlignet med LVL.

3. Hvor god rekkevidde har signalene fra sensorene?

Signalstyrkene hadde ikke en rekkevidde på 100m, da det var elementer mellom sensorene og gateway enheten under forsøkene. Det ble registrert at sensorene kunne sende signaler gjennom 2x300mm armert betongdekke. Dette kan tyde på at et dette dekket blokkerte rundt 40% av signalene, slik som det kommer frem fra litteratursøket. Signalene hadde en rekkevidde horisontalt på rundt 28meter på samme plan, men rekkevidden ble kortere ved endring av etasjer.

7 Videre arbeid

- Det har blitt gjort noen enkle pilottester på fuktopptak i limtre, men det er lite som er publisert om temaet. Det er fortsatt usikkert hvor stor effekt limet har på fuktopptaket i LVL og elektriske motstandsmålere. Det anbefales å forske videre på hystereseeffekten ved å teste en prøve fra helt tørket tilstand til 98% RF og deretter ned til 75% RF. Dette ble ikke gjort i forsøket grunnet tidsbegrensninger. Det anbefales også å gjøre jevnlig veiinger på LVL fra 50% RF til 75% RF for å undersøke om prøvene faktisk tar opp mer fukt i dette tidsrommet.
- Det har gjennom arbeidet ikke kommet godt nok fram hvor mye strøm limet leder. Oppførselen til selve limet burde undersøkes nærmere. Det kan løses ved å legge et strøk med lim på en ikke-ledende flate for så å plassere to elektroder i limet og utføre kontinuerlige målinger ved ulike RF nivåer, både med stabilt og varierende RF nivåer. Dette burde gjøres i tillegg til en måling med kombinasjon av lim og treverk. Det burde også jobbes med en kjemikalie ekspert for å se på typer lim som har mindre ledningsevne for strøm.
- Det er også en fordel å teste ut nøyaktigheten av elektriske målinger på andre trematerialer. Ettersom at det var ulikheter i målingene av furu, kan det med fordel gjøres et liknende forsøk på gran siden dette treslaget brukes mye i bygninger. Dette kan gjøres enkelt ved å kutte opp et par prøver av gran, tørke prøvene etter kravene til tørke-/veie metoden. Deretter kan de plasseres i 20% RF og derfra øke fuktigheten til 50%, 75% og 98%. Deretter anbefales det å gå stegvis ned fra 98%, 75%, 50% og 20%. Før hver prøve blir flyttet må det gjøres en veiing av prøvene. Det vil være tilstrekkelig å lese av data fra sensorene for å undersøke når prøvene har stabilisert vekten. I følge Absetz (1993) er hystereseeffekten større for gran enn furu (Time, 1998). Derfor er det viktig å teste prøvene for både absorpsjon og desorpsjon. Det anbefales å bruke tre eller flere prøver for å kunne oppdage dersom en sensor måler feil.

8 Bibliografi

Aarnes, . H. & Bøhmer, E., (2017). *Store Norske leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/tre_-_plante (Hentet: 20.03.19).

BBA, (2017). *European technical Assessment* (ETA 06/0238 of 31/08/2017), Watford: BBAcerts. Tilgjengelig fra: https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/eta_ibjelken_august-2017.pdf (Hentet: 03.02.2019)

Bell, E. & Krueger, N., (1949.) *Effect of plywood glue lines on the accuracy of moisture-meter indications.*, Madison: Forest Products Research Society.

Benestad , R., Mamen, J., Harstveit , K. & Fuglestedt, J. S., (2019.) *klimaendringer*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klimaendringer> (Hentet: 23.03.2019)

Bungum, B. & Rossing, N., (2009.) *Elektroniske sensorer i hus*. Rev 3.0 red. Trondheim: Skolelaboratoriet ved NTNU.

BYBSIS, (u.d.) *Hva er Oria?* Tilgjengelig fra: https://bibsyst-almaprimo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?vid=NTNU_UB&sortby=rank&lang=no_NO (Hentet: 04.03.2019)

Casieri, C. et al., (2004.) *Determination of moisture fraction in wood by mobile NMR device* (Issue 2) L'Aquila: Journal of Magnetic Resonance

Dahlum, S., (2018) *Kvantitativ analyse*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kvantitativ_analyse_ (Hentet: 20.10.2018)

Dalland, O.,(2017). *Metode og oppgaveskriving*. (6. Utgave) . s.l.:Gyldendal akademisk.

Dannevig, P. & Harstveit, K.,(2018) *Luftfuktighet*. Tilgjengelig fra <https://snl.no/luftfuktighet> (Hentet: 24.03.2019)

Ehmcke, G., 2018. *Strukturanalytische Methoden der Holz forschung*. Tilgjengelig fra: https://www.moodle.tum.de/pluginfile.php/1422438/mod_resource/content/1/Biodegradation%20of%20wood%20structures_Handout.pdf (Hentet: 23.03.2019)

Finisterra, (u.d.) *G-3 Gateway bruksanvisning*. Tilgjengelig fra: <https://www.finisterra.no/wp-content/uploads/2016/09/Bruksanvisning-Omnisense.pdf> (Hentet: 20.04.2019)

Finnisterra, (u.d.) *TRAMEX PTM 2.0* Tilgjengelig fra: <https://www.finisterra.no/produkter/fukt/tramex-ptm-2-0/> (Hentet: 05.11.2018)

Geving, S. & Holme, J., (2009.) *The Drying Potential and Risk for Mold Growth in Compact Wood Frame Roofs with Built-in Moisture*. (No.3,Vol 33). I: journals.sagepub.com, red. s.l.:SINTEF Building and Infrastructure

Geving, S. & Thue, J. V., (2002) *Fukt i bygninger*.(2. Opplag) Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Geving, S., Time, B. & Hovde, P., (2000). *WATER VAPOR PERMEABILITY AND HYGROSCOPIC SORPTION CURVES FOR VARIOUS BUILDING MATERIALS*. Trondheim: *Heat and Moisture Transfer in Building*

Glass, S. V. & Carll, C., (2009) *Moisture Meter Calibration for Untreated and ACQ-Treated Southern Yellow Pine Plywood*, Madison: United States Department of Agriculture.

Grøn, Ø., (2009) *Absolutt fuktighet*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/absolutt_fuktighet (Hentet: 12.02.2019)

Gustavsen, A., (2018) *Introduksjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygningsfysikk.no/Fuktmekanikk.php> (Hentet: 13.05.2019)

Halvorsen, K., (2008). *Å forske på samfunnet: en innføring i samfunnsvitenskapelig metode.* (1. utgave red). s.l.: Cappelen Damm Akademisk.

Harstveit, K., (2009) *Duggpunkt*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/duggpunkt> (Hentet: 12.02.2019)

Hunton Fiber AS, (2016) *FDV-DOKUMENTASJON*, Gjøvik: Norsk Byggtjeneste AS .

James, W., (1963) *Electric moisture meters for wood*. U.S.: Forest products laboratory.

Kollmann, F. & Cote, W., (1968) *Principles of Wood Science and Technology*. I: Heidelberg, red. *Physics of Wood*. Berlin: Springer-Verlag New York Inc

Kvande, T. & Gullbrekken, L., (2018) *Smart dampsperre Sveabakken, Norgeshus Premisser og trefuktmåling*, Trondheim: SINTEF Academic Press.

Larsen, A., (2017) *En enklere metode.*(Vol. 2) red. s.l.: Fagbokforlaget.

Lee, W. & Biblis, E. (1976) *Hygroscopic properties and shrinkage of southern yellow pine plywood*. Auburn: Department of forestry

Lilledahl, G. & Hegnes, A. (2000) *Sosiologi Hovedfag UiO*. Tilgjengelig fra: <http://www.giaever.com/sosiologi/KM.htm> (Hentet: 20.09.2018)

Lohne, J., (2018) *Litteratursøker kurs*. Trondheim, NTNU .

Malt, U., (2015). *Kvalitativ analyse*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/kvalitativ> (Hentet: 20.09.2018)

Martel, T., (2015) *Omnisense Moisture Monitoring*. Sheffield: AECB Conference.

Met, (2017). *Det blir våtere*. Tilgjengelig fra: www.met.no/vaer-og-klima/det-bli-vatere (Hentet: 20.03.2019)

METTLER (1999) *Operating instructions METTLER TOLEDO AM/PM Balances* Tilgjengelig fra: <http://photos.labwrench.com/equipmentManuals/8421-5459.pdf> (Hentet: 28.03.2019)

NGU, (u.d.) *Ordbok*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/side/ordbok> (Hentet: 07.03.2019)

Norås, S., (2015) *Finne kilder* Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Hjelp+til+litteratur%C3%B8k> (Hentet: 20.03.2018)

Norsk Standard, (2002) *NS-EN 13183-1 Fuktinhold i et virkestykke av skurlast Del1: Bestemmelse ved tørkemetode (innbefattet rettelsesblad AC:2003)*. Norsk standard

Norsk Standard, (2014) *NS 3512 Måling av fukt i trekonstruksjoner*, s.l.: Standrad online AS.

NSD, (2019.) *Publiseringskanaler*. Tilgjengelig fra: <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/Forside> (Hentet: 19.03.2019)

OmniSense LLC, (2019) *shop.omnisen*. Tilgjengelig fra: <https://shop.omnisen.com/s-160-wireless-t-rh-wme-sensor-with-64k-reading-datalogging-memory> (Hentet: 15.02.2019)

OmniSense LLC, (u.d.) *OmniSense S-900-1 Wireless Sensor Product Brief*. Tilgjengelig fra: https://www.omnisen.com/oms_cds/media/007-002-003%20OmniSense%20FMS%20S-900-1%20Product%20Brief.pdf (Hentet: 20 03 2019).

OmniSense, (2019) *S-160 Wireless T*. Tilgjengelig fra: <https://shop.omnisen.com/s-160-wireless-t-rh-wme-sensor-with-64k-reading-datalogging-memory> (Hentet: 12.02.2019)

Pang, S.-J. & Jeong, G. Y., (2019). *Effect of density, teerature, size, grain angle of wood materials on nondestructive moisture meters*. Korea: *Journal of the Korean Wood Science and Technology*

Paustain, R., (2015) *Ytelseserklæring*. Tilgjengelig fra: https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/ytelseserklaering_hunton-i-bjelke-sj_no.pdf (Hentet: 31.01.2018)

Prac, B.,(2007) *Tips and tricks in performing a systematic review*. Tilgjengelig fra: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2151802/> (Hentet: 05.10.2018)

Ramstad, T., (2015) *Trevirke Treslag og materialegenskaper* (Issue 571.523). SINTEF: Byggforskserien 08

Reinertsen, A., (1973) *Dekketype D26*, Trondheim : Siv.ing Arne R. Reinertsen .

Ross, R., (2010) *Wood handbook - Wood as an Engineering Material*. Madison(Wisconsin): United States Department of Agriculture.

Samuelsen, E., (2017) *Relativ fuktighet*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/relativ_fuktighet (Hentet: 12.02.2019)

Sander, K., (2017). *Induvtig og deduktiv*. Tilgjengelig fra: <https://estudie.no/induktiv-deduktiv/> (Hentet: 20.03.2018)

SINTEF Byggforsk (2015) *Trevirke Treslag og materialegenskaper 571.523*. *Byggforsk* ,

Skaug, E., (2007) *Trevirkets oppbygging og egenskaper*. Nr.40 red. s.l.:Norsk Treteknisk Institutt.

Srisantharajah, J. & Ullah, S., (2015) *En studie av fuktinnhold i massivtre - Oppfuktings- og uttørkingsprosessen,Ås* : Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Stone, W. C., (1997) *Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials*. NIST Construction Automation Program,

Tønnesen, S., 2016. *Reliabilitet*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/reliabilitet> (Hentet: 20.09.2018)

Therese Alne Bolin, 2011. *Hunton I-bjelken blir levert med LVL flenser*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggfakta.no/hunton-i-bjelken-blir-levert-med-lvl-flenser-51370/nyhet.html> (Hentet: 02.02.2019)

Thue, J. V., (2016) *Bygningsfysikk Grunnlag*. Trondheim : Fagbokforlaget.

Time, B., (1998) *Hygroscopic Moisture transport in Wood*, Trondheim: Norwegian University of Science and technology.

U.S. Forest Products Laboratory, (1953) *Effects of wood preservations on electric moisture meter readings*, s.l.: Forest Prod. Lab report.

Way, D., Sinha, A. & Kamke, F., (2018) Laboratory and Outdoor Weathering of Wood-Composite I-Joists. *Journal of Materials in Civil Engineering*, p. Volum 30 .

Weiss Technik,(2019) *Climate Test Chambers, Type ClimeEvent*. Tilgjengelig fra: <https://www.weiss-technik.com/en/productarea/climate-test-chambers-type-climeevent/> (Hentet: 20.05.2019)

9 Vedlegg

Vedlegg 1

Relativ fuktighet av prøvene

Teststykke	19.02.2019	15.03.2019	22.03.2019	10.04.2019
L1.1	50 %	75 %	75 %	95 %
L1.2	50 %	75 %	75 %	95 %
L1.3	50 %	75 %	75 %	95 %
L1.4	50 %	75 %	75 %	95 %
L1.5	50 %	50 %	75 %	50 %
L1.6	50 %	50 %	75 %	50 %
L1.7	50 %	50 %	75 %	50 %
L2.1	50 %	50 %	75 %	50 %
L2.2	50 %	50 %	75 %	50 %
H1	50 %	50 %	50 %	95 %
H2	50 %	75 %	75 %	50 %
H3	50 %	75 %	75 %	50 %
L2.3	20 %	50 %	50 %	95 %
L2.4	20 %	50 %	50 %	95 %
L2.5	20 %	50 %	50 %	95 %
L2.6	20 %	75 %	75 %	50 %
L2.7	20 %	75 %	75 %	50 %
H4	20 %	50 %	50 %	95 %
H5	20 %	50 %	50 %	95 %
H6	20 %	75 %	75 %	95 %
S1	20 %	50 %	50 %	95 %
S2	50 %	75 %	75 %	50 %

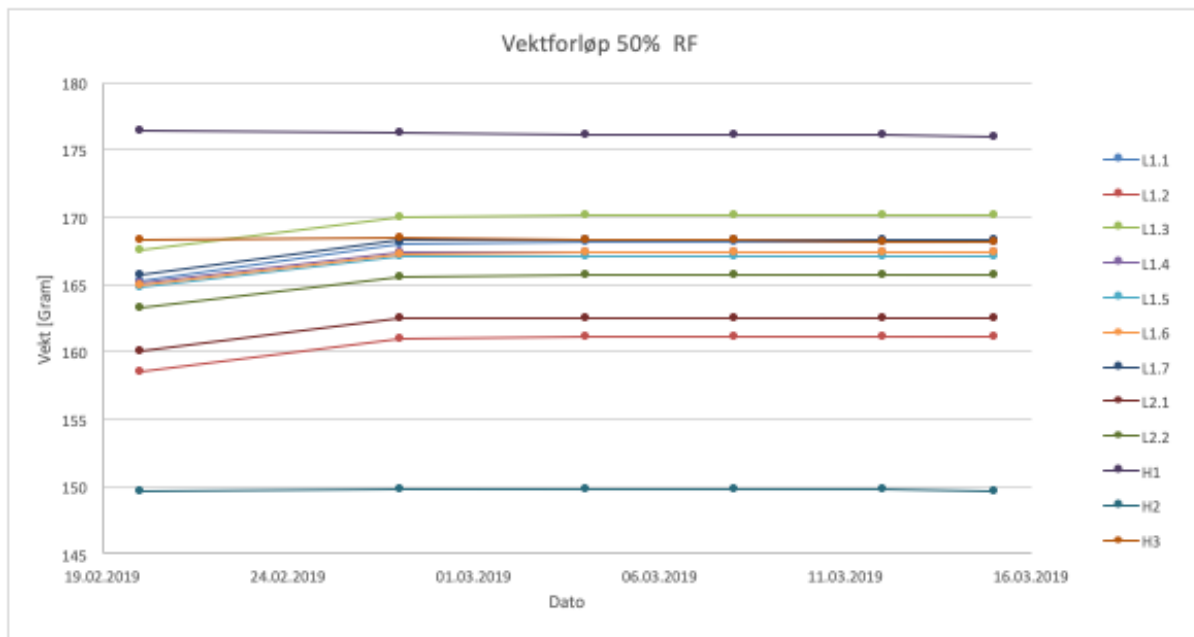
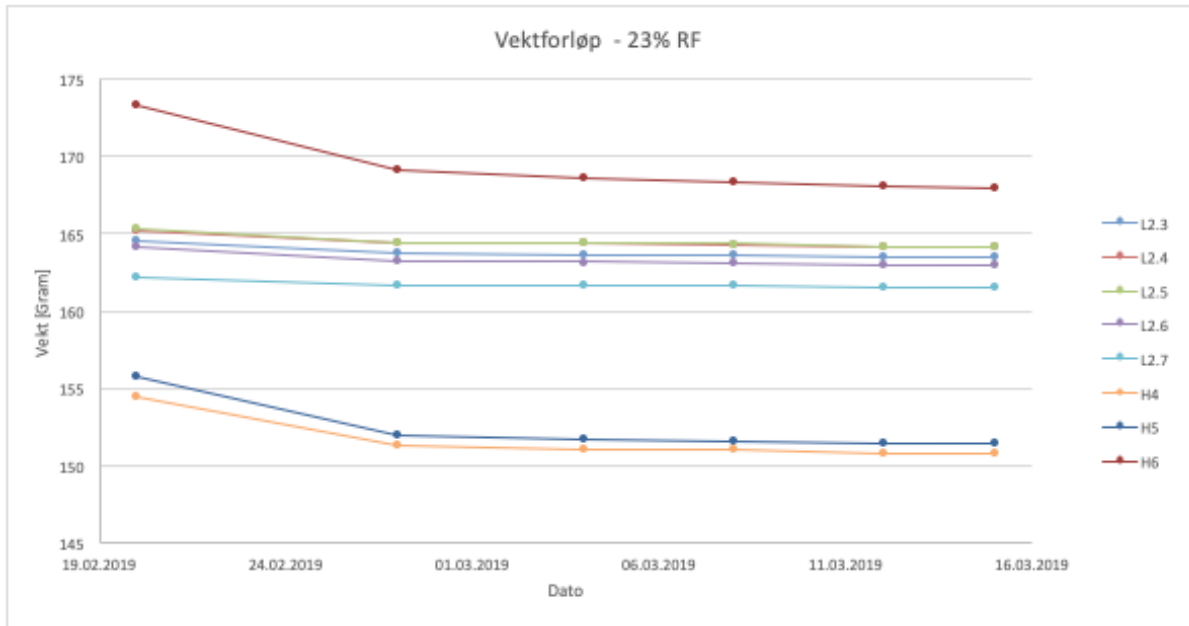
Vedlegg 2

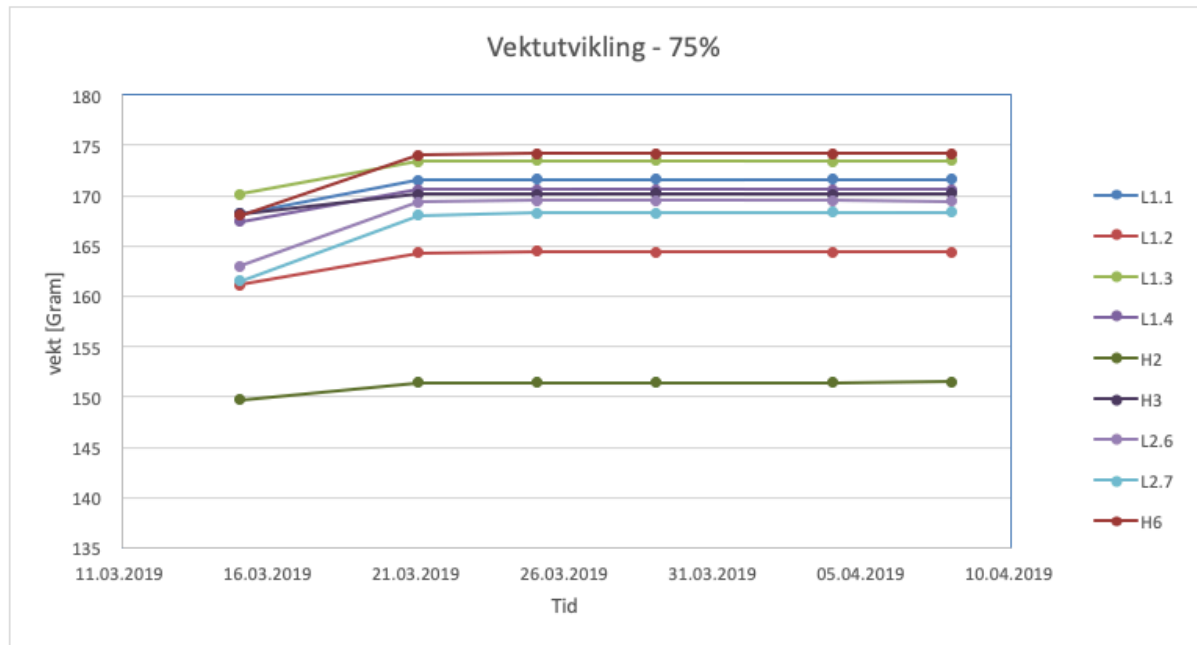
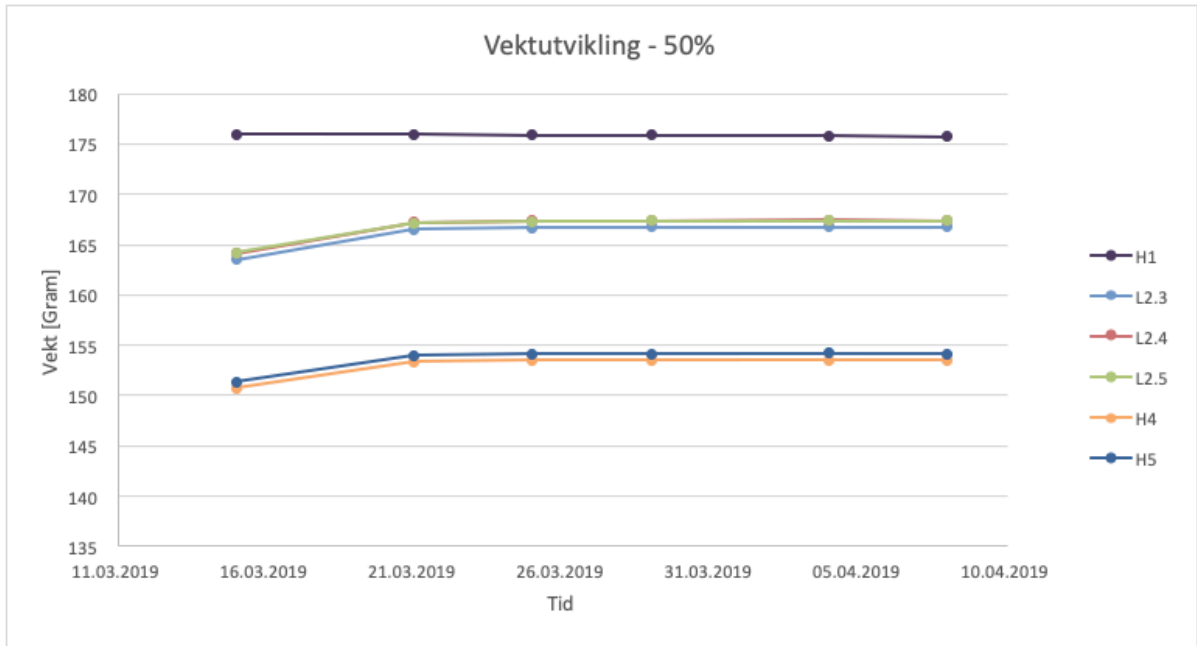
Prøvenes posisjon og sensorID

Teststykke	Sensor ID	Posisjon
L1.1	24DB0242	A
L1.2	24DB0332	A
L1.3	24DB0362	A
L1.4	24DB0286	A
L1.5	24DB033D	B
L1.6	24DB00A2	B
L1.7	24DB033A	B
L2.1	24DB035F	B
L2.2	24DB033B	B
H1	24DB0334	A
H2	24DB011B	B
H3	24DB02FC	B
L2.3	24DB0170	A
L2.4	24DB0160	A
L2.5	24DB0194	B
L2.6	24DB0339	B
L2.7	24DB0337	B
H4	24DB028D	A
H5	24DB0284	A
H6	24DB0360	B

Vedlegg 3

Vektforløp av prøvene





Vedlegg 4

Målinger av vekt i gram

Måling 1

RF	Teststykke	20.02.19	27.02.19	04.03.19	08.03.19	12.03.19	15.03.19
50 %	L1.1	165,313	168,059	168,166	168,192	168,215	168,206
50 %	L1.2	158,564	160,984	161,086	161,102	161,110	161,112
50 %	L1.3	167,553	170,028	170,119	170,129	170,132	170,147
50 %	L1.4	165,079	167,355	167,433	167,428	167,454	167,443
50 %	L1.5	164,784	167,038	167,110	167,110	167,122	167,136
50 %	L1.6	164,888	167,257	167,345	167,350	167,346	167,353
50 %	L1.7	165,773	168,244	168,342	168,359	168,364	168,353
50 %	L2.1	160,071	162,453	162,546	162,560	162,576	162,576
50 %	L2.2	163,330	165,619	165,679	165,688	165,713	165,698
50 %	H1	176,488	176,304	176,173	176,096	176,052	175,985
50 %	H2	149,687	149,820	149,793	149,761	149,733	149,709
50 %	H3	168,371	168,400	168,342	168,277	168,210	168,176
23 %	L2.3	164,589	163,740	163,677	163,647	163,502	163,469
23 %	L2.4	165,153	164,392	164,367	164,321	164,169	164,117
23 %	L2.5	165,303	164,433	164,362	164,344	164,184	164,163
23 %	L2.6	164,090	163,232	163,163	163,138	162,995	162,962
23 %	L2.7	162,139	161,667	161,678	161,673	161,548	161,533
23 %	H4	154,452	151,239	151,062	150,980	150,781	150,724
23 %	H5	155,697	151,965	151,717	151,612	151,445	151,393
23 %	H6	173,310	169,073	168,565	168,358	168,128	168,006

Måling 2

RF	Teststykke	15.03.19	21.03.19	25.03.19	29.03.19	04.04.19	08.04.19	11.04.19
75 %	L1.1	168,206	171,527	171,625	171,603	171,627	171,627	172,317
75 %	L1.2	161,112	164,290	164,431	164,412	164,425	164,350	165,091
75 %	L1.3	170,147	173,381	173,447	173,497	173,429	173,461	174,116
75 %	L1.4	167,443	170,598	170,574	170,611	170,576	170,562	171,336
75 %	L1.5	167,136	167,153	169,442	169,876	170,009	170,072	170,794
75 %	L1.6	167,353	167,369	169,743	170,137	170,270	170,306	171,058
75 %	L1.7	168,353	168,394	170,760	171,208	171,384	171,412	171,919
75 %	L2.1	162,576	162,606	165,091	165,610	165,698	165,752	166,399
75 %	L2.2	165,698	165,714	168,051	168,537	168,739	168,778	169,436
50 %	H1	175,985	175,920	175,874	175,848	175,798	175,744	175,720
75 %	H2	149,709	151,453	151,439	151,436	151,442	151,516	152,110
75 %	H3	168,176	170,134	170,163	170,230	170,162	170,218	170,788
50 %	L2.3	163,469	166,507	166,679	166,741	166,769	166,781	166,772
50 %	L2.4	164,117	167,185	167,336	167,381	167,417	167,402	167,401
50 %	L2.5	164,163	167,155	167,319	167,362	167,387	167,382	167,384
75 %	L2.6	162,962	169,349	169,482	169,506	169,480	169,449	170,227
75 %	L2.7	161,533	168,059	168,287	168,306	168,355	168,366	168,981
50 %	H4	150,724	153,385	153,487	153,509	153,526	153,509	153,502
50 %	H5	151,393	154,015	154,132	154,165	154,185	154,154	154,154
75 %	H6	168,006	174,009	174,203	174,178	174,191	174,185	174,639

Måling 3

RF	Teststykke	11.04.19	23.04.19	26.04.19	29.04.19
95 %	L1.1	172,317	179,424	179,304	179,781
95 %	L1.2	165,091	171,499	171,356	171,870
95 %	L1.3	174,116	181,951	181,519	182,275
95 %	L1.4	171,336	178,710	178,616	179,232
50 %	L1.5	170,794	167,917	167,862	167,837
50 %	L1.6	171,058	168,143	168,088	168,062
50 %	L1.7	171,919	169,230	169,161	169,135
50 %	L2.1	166,399	163,597	163,538	163,507
50 %	L2.2	169,436	166,556	166,503	166,481
95 %	H1	175,72	184,544	184,463	184,868
50 %	H2	152,11	149,766	149,728	149,708
50 %	H3	170,788	168,089	168,023	167,983
95 %	L2.3	166,772	178,165	178,019	178,605
95 %	L2.4	167,401	178,884	178,723	179,257
95 %	L2.5	167,384	178,176	178,055	178,825
50 %	L2.6	170,227	167,285	167,227	167,192
50 %	L2.7	168,981	166,126	166,061	166,039
95 %	H4	153,502	162,938	162,767	163,167
95 %	H5	154,154	163,397	163,123	163,498
95 %	H6	174,639	181,155	181,096	181,708

Vedlegg 5

Gjennomsnitt vektforandring i gram/dag over de første 10-12 dagene med nytt klima

Overgang	Type treverk	Gj. Snitt Vektendring [gram/dag]	Antall sensorer	Antall dager målt	Differanse
Lavere-50%*	LVL	0,208	9		
Høyere-50%*	Furu	-0,007	3		
Høyere-23%*	LVL	-0,067	5		
Høyere-23%*	Furu	-0,337	3		
23%-50%	LVL	0,320	3	10	0,045
	Furu	0,275	2	10	
75%- 50%	LVL	-0,238	5	12	-0,028
	Furu	-0,210	2	12	
23%-75%	LVL	0,329	2	10	0,054
	Furu	0,275	1	10	
50%-75%	LVL	0,329	4	10	0,143
	Furu	0,186	2	10	
75%-95%	LVL	0,582	4	12	0,044
	Furu	0,538	1	12	
50%-95%	LVL	0,923	2	12	0,163
	Furu	0,760	3	12	

*Treprøvene ble hentet fra ulikt klima, dermed er disse verdiene vanskelig å sammenligne.

Vedlegg 6

Data fra fuktsensorene

L1.1		
Date	humidity	%WME
20. feb.	45	7,3
21. feb.	49	7
22. feb.	50	7
23. feb.	51	7
24. feb.	51	7
25. feb.	51	7
26. feb.	51	7
27. feb.	51	7
28. feb.	51	7
1. mar.	51	7
2. mar.	51	7
3. mar.	51	7
4. mar.	51	7,1
5. mar.	51	7,3
6. mar.	51	7,2
7. mar.	51	7,2
8. mar.	51	7,1
9. mar.	51	7
10. mar.	51	7
11. mar.	51	7
12. mar.	51	7
13. mar.	51	7
14. mar.		7

L1.2		
Date	humidity	%WME
20. feb.	47	7,9
21. feb.	50	8,1
22. feb.	51	8,8
23. feb.	52	9,2
24. feb.	52	9,5
25. feb.	52	9,7
26. feb.	52	9,8
27. feb.	52	9,9
28. feb.	52	9,9
1. mar.	52	10
2. mar.	52	10
3. mar.	52	10
4. mar.	52	10
5. mar.	52	10
6. mar.	52	10
7. mar.	52	10,1
8. mar.	52	10,1
9. mar.	52	10,1
10. mar.	52	10,1
11. mar.	52	10,1
12. mar.	52	10,1
13. mar.	52	10,1
14. mar.		10,1

L1.3		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	8,4
21. feb.	50	8,8
22. feb.	50	9,4
23. feb.	51	9,8
24. feb.	51	10,1
25. feb.	51	10,3
26. feb.	51	10,4
27. feb.	51	10,5
28. feb.	51	10,5
1. mar.	51	10,5
2. mar.	51	10,6
3. mar.	51	10,6
4. mar.	51	10,6
5. mar.	51	10,6
6. mar.	51	10,6
7. mar.	51	10,6
8. mar.	51	10,6
9. mar.	51	10,6
10. mar.	51	10,6
11. mar.	51	10,6
12. mar.	51	10,6
13. mar.	51	10,6
14. mar.		10,6

L1.4		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	8,1
21. feb.	50	8,3
22. feb.	51	8,9
23. feb.	52	9,3
24. feb.	52	9,6
25. feb.	52	9,8
26. feb.	52	9,9
27. feb.	52	10
28. feb.	52	10
1. mar.	52	10,1
2. mar.	52	10,1
3. mar.	52	10,1
4. mar.	52	10,1
5. mar.	52	10,2
6. mar.	52	10,1
7. mar.	52	10,1
8. mar.	52	10,1
9. mar.	52	10,1
10. mar.	52	10,2
11. mar.	52	10,2
12. mar.	52	10,2
13. mar.	52	10,2
14. mar.		10,2

L1.5		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	7,3
21. feb.	50	7,2
22. feb.	50	7,3
23. feb.	51	7,3
24. feb.	51	7,3
25. feb.	51	7,3
26. feb.	51	7,3
27. feb.	51	7,3
28. feb.	51	7,3
1. mar.	51	7,4
2. mar.	51	7,4
3. mar.	51	7,5
4. mar.	51	7,4
5. mar.	51	7,3
6. mar.	51	7,3
7. mar.	51	7,3
8. mar.	51	7,3
9. mar.	51	7,3
10. mar.	51	7,3
11. mar.	51	7,3
12. mar.	51	7,3
13. mar.	51	7,3
14. mar.		7,3

L1.6		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	7,9
21. feb.	50	8,4
22. feb.	50	9,1
23. feb.	51	9,5
24. feb.	51	9,8
25. feb.	51	9,9
26. feb.	51	10
27. feb.	51	10,1
28. feb.	51	10,1
1. mar.	51	10,2
2. mar.	51	10,2
3. mar.	52	10,2
4. mar.	52	10,2
5. mar.	51	10,2
6. mar.	51	10,2
7. mar.	51	10,2
8. mar.	51	10,2
9. mar.	51	10,2
10. mar.	51	10,2
11. mar.	51	10,2
12. mar.	51	10,2
13. mar.	51	10,2
14. mar.		10,2

L1.7		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	7,6
21. feb.	50	8,2
22. feb.	50	8,8
23. feb.	51	9,1
24. feb.	51	9,4
25. feb.	51	9,5
26. feb.	51	9,6
27. feb.	51	9,7
28. feb.	51	9,8
1. mar.	51	9,8
2. mar.	51	9,8
3. mar.	51	9,8
4. mar.	51	9,8
5. mar.	51	9,8
6. mar.	51	9,8
7. mar.	51	9,8
8. mar.	51	9,8
9. mar.	51	9,8
10. mar.	51	9,8
11. mar.	51	9,8
12. mar.	51	9,8
13. mar.	51	9,8
14. mar.		9,8

L2.1		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	7,2
21. feb.	50	7,9
22. feb.	50	8,4
23. feb.	51	8,8
24. feb.	51	9
25. feb.	51	9,2
26. feb.	51	9,3
27. feb.	51	9,4
28. feb.	51	9,4
1. mar.	51	9,5
2. mar.	51	9,5
3. mar.	51	9,6
4. mar.	51	9,5
5. mar.	51	9,5
6. mar.	51	9,5
7. mar.	51	9,5
8. mar.	51	9,5
9. mar.	51	9,5
10. mar.	51	9,5
11. mar.	51	9,5
12. mar.	51	9,5
13. mar.	51	9,5
14. mar.		9,5

L2.2		
Date	humidity	%WME
20. feb.	47	8
21. feb.	50	8,2
22. feb.	50	8,7
23. feb.	51	9,1
24. feb.	51	9,4
25. feb.	51	9,5
26. feb.	51	9,7
27. feb.	51	9,7
28. feb.	51	9,8
1. mar.	51	9,8
2. mar.	51	9,8
3. mar.	51	9,8
4. mar.	51	9,8
5. mar.	51	9,8
6. mar.	51	9,8
7. mar.	51	9,8
8. mar.	51	9,8
9. mar.	51	9,8
10. mar.	51	9,8
11. mar.	51	9,8
12. mar.	51	9,8
13. mar.	51	9,8
14. mar.		9,8

L2.3		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	8,6
21. feb.	26	8,3
22. feb.	24	8
23. feb.	22	7,9
24. feb.	23	7,9
25. feb.	22	7,9
26. feb.	20	7,9
27. feb.	22	7,6
28. feb.	22	7,3
1. mar.	21	7,3
2. mar.	21	7,3
3. mar.	22	7,3
4. mar.	22	7,3
5. mar.	21	7,3
6. mar.	23	7,3
7. mar.	23	7,3
8. mar.	21	7,3
9. mar.	21	7,3
10. mar.	21	7,3
11. mar.	21	7,3
12. mar.	21	7,3
13. mar.	21	7,3
14. mar.		7,3

L2.4		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	7,4
21. feb.	26	7,2
22. feb.	24	7,2
23. feb.	22	7,2
24. feb.	23	7,2
25. feb.	22	7,1
26. feb.	20	7
27. feb.	22	7
28. feb.	22	7
1. mar.	21	7
2. mar.	21	7
3. mar.	23	7
4. mar.	22	7
5. mar.	21	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	21	7
9. mar.	21	7
10. mar.	21	7
11. mar.	21	7
12. mar.	21	7
13. mar.	21	7
14. mar.		7

L2.5		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	7,4
21. feb.	26	7,2
22. feb.	24	7
23. feb.	22	7
24. feb.	23	7
25. feb.	22	7
26. feb.	20	7
27. feb.	22	7
28. feb.	22	7
1. mar.	21	7
2. mar.	21	7
3. mar.	22	7
4. mar.	22	7
5. mar.	21	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	21	7
9. mar.	21	7
10. mar.	21	7
11. mar.	21	7
12. mar.	21	7
13. mar.	21	7
14. mar.		7

L2.6		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	7,4
21. feb.	27	7
22. feb.	25	7
23. feb.	23	7
24. feb.	24	7
25. feb.	23	7
26. feb.	21	7
27. feb.	23	7
28. feb.	23	7
1. mar.	21	7
2. mar.	22	7
3. mar.	23	7
4. mar.	23	7
5. mar.	22	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	22	7
9. mar.	22	7
10. mar.	22	7
11. mar.	22	7
12. mar.	22	7
13. mar.	22	7
14. mar.		7

L2.7		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	7,4
21. feb.	27	7,3
22. feb.	25	7,3
23. feb.	23	7,3
24. feb.	24	7,3
25. feb.	23	7,3
26. feb.	21	7,3
27. feb.	23	7,1
28. feb.	23	7
1. mar.	21	7
2. mar.	22	7
3. mar.	23	7
4. mar.	23	7
5. mar.	22	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	22	7
9. mar.	22	7
10. mar.	22	7
11. mar.	22	7
12. mar.	22	7
13. mar.	22	7
14. mar.		7

H1		
Date	humidity	%WME
20. feb.	47	7,3
21. feb.	50	7,2
22. feb.	50	7,2
23. feb.	51	7,1
24. feb.	51	7,1
25. feb.	51	7,1
26. feb.	51	7,1
27. feb.	51	7,1
28. feb.	51	7
1. mar.	51	7
2. mar.	51	7
3. mar.	51	7
4. mar.	51	7,1
5. mar.	51	7,1
6. mar.	51	7,1
7. mar.	51	7,1
8. mar.	51	7,1
9. mar.	51	7
10. mar.	51	7
11. mar.	51	7
12. mar.	51	7,1
13. mar.	51	7,2
14. mar.		7,1

H2		
Date	humidity	%WME
20. feb.	46	7,7
21. feb.	50	7,3
22. feb.	50	7,3
23. feb.	51	7,3
24. feb.	51	7,3
25. feb.	51	7,3
26. feb.	51	7,3
27. feb.	51	7,2
28. feb.	51	7,2
1. mar.	51	7,3
2. mar.	51	7,3
3. mar.	51	7,3
4. mar.	51	7,2
5. mar.	51	7,3
6. mar.	51	7,3
7. mar.	51	7,3
8. mar.	51	7,1
9. mar.	51	7
10. mar.	51	7
11. mar.	51	7,1
12. mar.	51	7,1
13. mar.	51	7
14. mar.		7,1

H3		
Date	humidity	%WME
20. feb.	47	9
21. feb.	50	8,6
22. feb.	50	8,3
23. feb.	51	8,3
24. feb.	51	8,3
25. feb.	51	8,3
26. feb.	51	8,3
27. feb.	51	8,3
28. feb.	51	8,3
1. mar.	52	8,3
2. mar.	51	8,3
3. mar.	52	8,3
4. mar.	52	8,2
5. mar.	51	7,9
6. mar.	51	7,9
7. mar.	51	7,9
8. mar.	51	7,9
9. mar.	51	7,9
10. mar.	51	7,9
11. mar.	51	7,9
12. mar.	51	7,9
13. mar.	51	7,9
14. mar.		7,9

H4		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	7,1
21. feb.	26	7
22. feb.	24	7
23. feb.	22	7
24. feb.	23	7
25. feb.	22	7
26. feb.	20	7
27. feb.	22	7
28. feb.	22	7
1. mar.	21	7
2. mar.	21	7
3. mar.	22	7
4. mar.	23	7
5. mar.	21	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	21	7
9. mar.	21	7
10. mar.	21	7
11. mar.	21	7
12. mar.	21	7
13. mar.	21	7
14. mar.		7

H5		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	7,2
21. feb.	26	7
22. feb.	24	7
23. feb.	22	7
24. feb.	23	7
25. feb.	22	7
26. feb.	21	7
27. feb.	23	7
28. feb.	22	7,1
1. mar.	21	7,1
2. mar.	21	7,1
3. mar.	23	7,1
4. mar.	23	7,1
5. mar.	21	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	22	7
9. mar.	21	7
10. mar.	21	7
11. mar.	21	7
12. mar.	21	7,1
13. mar.	21	7,1
14. mar.		7,2

H6		
Date	humidity	%WME
20. feb.	26	8,1
21. feb.	27	7,3
22. feb.	25	7,1
23. feb.	23	7
24. feb.	24	7
25. feb.	23	7
26. feb.	21	7
27. feb.	23	7
28. feb.	23	7
1. mar.	21	7
2. mar.	22	7
3. mar.	23	7
4. mar.	23	7
5. mar.	22	7
6. mar.	23	7
7. mar.	23	7
8. mar.	22	7
9. mar.	22	7
10. mar.	22	7
11. mar.	22	7
12. mar.	22	7,1
13. mar.	22	7,2
14. mar.		7,2

L1.1		
Date	humidity	%WME
15. mar.	62	7
16. mar.	77	10
17. mar.	76	11,9
18. mar.	76	7,7
19. mar.	75	7,1
20. mar.	73	7
21. mar.	75	7,2
22. mar.	73	7,3
23. mar.	75	7,3
24. mar.	73	7,3
25. mar.	75	7,2
26. mar.	74	7,1
27. mar.	75	7,1
28. mar.	73	7,2
29. mar.	74	11,9
30. mar.	73	15,8
31. mar.	75	16,7
1. apr.	73	15,4
2. apr.	75	16,5
3. apr.	73	15
4. apr.	75	16,4
5. apr.	73	10,6
6. apr.	75	8,3
7. apr.	73	8
8. apr.	75	11,2
9. apr.	73	16,3
10. apr.	75	16,4
11. apr.	87	17,4
12. apr.	95	19,6

L1.2		
Date	humidity	%WME
15. mar.	63	10,3
16. mar.	78	11,7
17. mar.	76	13,3
18. mar.	77	14,4
19. mar.	75	15
20. mar.	74	15,3
21. mar.	75	15,5
22. mar.	74	15,7
23. mar.	76	15,8
24. mar.	74	15,9
25. mar.	75	16
26. mar.	74	16
27. mar.	75	16
28. mar.	74	16
29. mar.	75	16
30. mar.	74	16
31. mar.	75	16,1
1. apr.	74	16,1
2. apr.	75	16,1
3. apr.	74	16,1
4. apr.	75	16,1
5. apr.	73	16
6. apr.	75	16
7. apr.	73	16
8. apr.	75	16
9. apr.	74	16
10. apr.	75	16,1
11. apr.	87	16,6
12. apr.	95	18,2

L1.3		
Date	humidity	%WME
15. mar.	62	10,8
16. mar.	78	12,5
17. mar.	77	14,2
18. mar.	77	15,2
19. mar.	75	15,8
20. mar.	74	16
21. mar.	75	16,2
22. mar.	74	16,3
23. mar.	75	16,4
24. mar.	74	16,4
25. mar.	75	16,5
26. mar.	74	16,5
27. mar.	75	16,6
28. mar.	74	16,6
29. mar.	75	16,6
30. mar.	73	16,6
31. mar.	75	16,6
1. apr.	73	16,6
2. apr.	75	16,6
3. apr.	73	16,6
4. apr.	75	16,6
5. apr.	74	16,6
6. apr.	75	16,7
7. apr.	74	16,6
8. apr.	75	16,7
9. apr.	73	16,6
10. apr.	75	16,7
11. apr.	88	17,3
12. apr.	96	19,3

L1.4		
Date	humidity	%WME
15. mar.	63	10,3
16. mar.	78	12,1
17. mar.	77	13,9
18. mar.	77	15
19. mar.	76	15,6
20. mar.	74	15,9
21. mar.	76	16
22. mar.	74	16,1
23. mar.	75	16,1
24. mar.	74	16,1
25. mar.	75	16,2
26. mar.	74	16,2
27. mar.	76	16,3
28. mar.	74	16,3
29. mar.	75	16,3
30. mar.	74	16,3
31. mar.	75	16,3
1. apr.	74	16,2
2. apr.	75	16,3
3. apr.	74	16,2
4. apr.	75	16,3
5. apr.	74	16,3
6. apr.	75	16,3
7. apr.	74	16,3
8. apr.	75	16,3
9. apr.	74	16,3
10. apr.	75	16,3
11. apr.	88	17
12. apr.	95	18,9

L1.5		
Date	humidity	%WME
15. mar.	51	7,3
16. mar.	51	7,3
17. mar.	52	7,3
18. mar.	51	7,3
19. mar.	52	7,3
20. mar.	52	7,3
21. mar.	52	7,3
22. mar.	58	7,3
23. mar.	74	8,8
24. mar.	73	10
25. mar.	74	10,6
26. mar.	73	10,9
27. mar.	75	11,3
28. mar.	73	11,2
29. mar.	75	11,3
30. mar.	74	11,4
31. mar.	75	11,5
1. apr.	74	11,5
2. apr.	75	11,6
3. apr.	74	11,5
4. apr.	75	11,6
5. apr.	73	11,4
6. apr.	75	11,5
7. apr.	73	11,4
8. apr.	75	11,4
9. apr.	73	11,4
10. apr.	75	11,5
11. apr.	66	11,4
12. apr.	54	10

L1.6		
Date	humidity	%WME
15. mar.	51	10,2
16. mar.	51	10,2
17. mar.	51	10,2
18. mar.	51	10,2
19. mar.	52	10,2
20. mar.	52	10,2
21. mar.	52	10,2
22. mar.	58	10,3
23. mar.	74	12,3
24. mar.	73	14
25. mar.	74	14,8
26. mar.	73	15,2
27. mar.	74	15,6
28. mar.	73	15,8
29. mar.	75	16
30. mar.	73	16
31. mar.	75	16,2
1. apr.	73	16,2
2. apr.	75	16,3
3. apr.	73	16,3
4. apr.	75	16,3
5. apr.	73	16,3
6. apr.	75	16,4
7. apr.	73	16,3
8. apr.	74	16,4
9. apr.	73	16,3
10. apr.	75	16,4
11. apr.	66	16,3
12. apr.	53	14,6

L1.7		
Date	humidity	%WME
15. mar.	51	9,8
16. mar.	51	9,8
17. mar.	52	9,8
18. mar.	51	9,8
19. mar.	52	9,8
20. mar.	52	9,8
21. mar.	52	9,8
22. mar.	58	9,9
23. mar.	73	11,5
24. mar.	72	13
25. mar.	73	14
26. mar.	73	14,5
27. mar.	74	14,9
28. mar.	73	15,1
29. mar.	74	15,4
30. mar.	73	15,5
31. mar.	74	15,7
1. apr.	73	15,7
2. apr.	74	15,9
3. apr.	73	15,9
4. apr.	74	16
5. apr.	73	15,9
6. apr.	75	16
7. apr.	73	16
8. apr.	74	16,1
9. apr.	73	16
10. apr.	74	16,1
11. apr.	66	15,9
12. apr.	53	14,4

L2.1		
Date	humidity	%WME
15. mar.	51	9,5
16. mar.	51	9,6
17. mar.	51	9,6
18. mar.	51	9,6
19. mar.	51	9,6
20. mar.	51	9,6
21. mar.	52	9,5
22. mar.	58	9,6
23. mar.	74	11,2
24. mar.	73	12,5
25. mar.	74	13,4
26. mar.	73	13,9
27. mar.	75	14,4
28. mar.	73	14,5
29. mar.	75	14,8
30. mar.	73	14,9
31. mar.	74	15
1. apr.	73	15
2. apr.	74	15,1
3. apr.	73	15,1
4. apr.	75	15,2
5. apr.	74	15,2
6. apr.	75	15,3
7. apr.	74	15,3
8. apr.	75	15,4
9. apr.	73	15,3
10. apr.	75	15,4
11. apr.	66	15,2
12. apr.	53	13,8

L2.2		
Date	humidity	%WME
15. mar.	51	9,8
16. mar.	51	9,8
17. mar.	51	9,8
18. mar.	51	9,8
19. mar.	51	9,8
20. mar.	51	9,8
21. mar.	52	9,7
22. mar.	58	9,8
23. mar.	74	11
24. mar.	73	12,3
25. mar.	74	13,2
26. mar.	73	13,8
27. mar.	75	14,4
28. mar.	73	14,7
29. mar.	75	15
30. mar.	73	15,1
31. mar.	75	15,3
1. apr.	73	15,4
2. apr.	75	15,5
3. apr.	73	15,5
4. apr.	75	15,6
5. apr.	73	15,6
6. apr.	75	15,7
7. apr.	73	15,7
8. apr.	75	15,7
9. apr.	73	15,7
10. apr.	75	15,7
11. apr.	65	15,6
12. apr.	53	14,1

L2.3		
Date	humidity	%WME
15. mar.	32	7,3
16. mar.	49	7,3
17. mar.	50	7,7
18. mar.	50	8,2
19. mar.	51	8,5
20. mar.	51	8,8
21. mar.	51	9
22. mar.	51	9,2
23. mar.	51	9,4
24. mar.	51	9,5
25. mar.	51	9,6
26. mar.	51	9,7
27. mar.	51	9,7
28. mar.	51	9,8
29. mar.	51	9,8
30. mar.	51	9,8
31. mar.	51	9,8
1. apr.	51	9,9
2. apr.	51	9,9
3. apr.	51	9,9
4. apr.	51	9,9
5. apr.	52	9,9
6. apr.	51	9,9
7. apr.	51	9,9
8. apr.	51	9,9
9. apr.	51	10
10. apr.	51	10
11. apr.	75	10,2

L2.4		
Date	humidity	%WME
15. mar.	33	7
16. mar.	49	7
17. mar.	50	7,3
18. mar.	50	7,8
19. mar.	51	8,3
20. mar.	51	8,6
21. mar.	51	8,8
22. mar.	51	8,9
23. mar.	51	9,1
24. mar.	51	9,2
25. mar.	51	9,2
26. mar.	51	9,2
27. mar.	51	9,2
28. mar.	51	9,2
29. mar.	51	9,3
30. mar.	51	9,4
31. mar.	51	9,4
1. apr.	51	9,4
2. apr.	51	9,4
3. apr.	51	9,4
4. apr.	51	9,4
5. apr.	51	9,4
6. apr.	51	9,4
7. apr.	51	9,4
8. apr.	51	9,4
9. apr.	51	9,4
10. apr.	51	9,4
11. apr.	75	9,8
12. apr.	96	12,7

L2.5		
Date	humidity	%WME
15. mar.	33	7
16. mar.	49	7
17. mar.	50	7
18. mar.	50	7
19. mar.	51	7,1
20. mar.	51	7,3
21. mar.	51	7,6
22. mar.	51	8
23. mar.	51	8,4
24. mar.	51	8,4
25. mar.	51	8,6
26. mar.	51	8,6
27. mar.	51	8,7
28. mar.	51	8,8
29. mar.	51	8,8
30. mar.	51	8,7
31. mar.	51	8,7
1. apr.	51	8,8
2. apr.	51	8,9
3. apr.	51	8,9
4. apr.	52	8,9
5. apr.	52	8,9
6. apr.	51	8,9
7. apr.	51	8,9
8. apr.	51	8,9
9. apr.	51	8,9
10. apr.	51	8,9
11. apr.	75	9,4
12. apr.	96	12,4

L2.6		
Date	humidity	%WME
15. mar.	46	7
16. mar.	78	8,1
17. mar.	77	10,4
18. mar.	77	11,7
19. mar.	76	12,7
20. mar.	74	13,1
21. mar.	76	13,5
22. mar.	74	13,6
23. mar.	76	13,9
24. mar.	74	13,9
25. mar.	75	14
26. mar.	74	14
27. mar.	75	14,1
28. mar.	74	14
29. mar.	75	14,1
30. mar.	74	14,1
31. mar.	75	14,1
1. apr.	74	14
2. apr.	75	14,1
3. apr.	74	14
4. apr.	75	14
5. apr.	73	14
6. apr.	75	14
7. apr.	73	14
8. apr.	75	14
9. apr.	74	14
10. apr.	76	14
11. apr.	67	14
12. apr.	54	12,3

L2.7		
Date	humidity	%WME
15. mar.	46	7
16. mar.	78	9,2
17. mar.	77	11,4
18. mar.	77	12,9
19. mar.	75	13,9
20. mar.	74	14,4
21. mar.	75	14,9
22. mar.	74	15,3
23. mar.	76	15,5
24. mar.	74	15,7
25. mar.	75	15,9
26. mar.	74	15,9
27. mar.	75	16
28. mar.	74	16
29. mar.	75	16,1
30. mar.	74	16,1
31. mar.	76	16,1
1. apr.	74	16,1
2. apr.	76	16,2
3. apr.	74	16,2
4. apr.	76	16,2
5. apr.	74	16,2
6. apr.	76	16,3
7. apr.	74	16,2
8. apr.	75	16,2
9. apr.	74	16,2
10. apr.	75	16,2
11. apr.	67	16,1
12. apr.	54	14,9

H1		
Date	humidity	%WME
15. mar.	51	7,1
16. mar.	51	7,1
17. mar.	51	7,1
18. mar.	51	7,1
19. mar.	51	7,1
20. mar.	51	7,1
21. mar.	51	7
22. mar.	51	7
23. mar.	51	7
24. mar.	51	7
25. mar.	51	7
26. mar.	51	7
27. mar.	51	7
28. mar.	52	7,1
29. mar.	52	7
30. mar.	52	7,1
31. mar.	51	7,1
1. apr.	52	7,1
2. apr.	52	7,1
3. apr.	51	7,1
4. apr.	52	7,1
5. apr.	52	7
6. apr.	51	7
7. apr.	51	7
8. apr.	51	7
9. apr.	51	7
10. apr.	51	7,1
11. apr.	75	7,1
12. apr.	96	8,6

H2		
Date	humidity	%WME
15. mar.	62	7,2
16. mar.	77	8,3
17. mar.	76	9,1
18. mar.	76	9,5
19. mar.	75	9,6
20. mar.	73	9,5
21. mar.	75	9,6
22. mar.	73	9,6
23. mar.	75	9,6
24. mar.	73	9,6
25. mar.	74	9,6
26. mar.	73	9,5
27. mar.	74	9,6
28. mar.	73	9,5
29. mar.	74	9,6
30. mar.	73	9,5
31. mar.	74	9,6
1. apr.	73	9,5
2. apr.	75	9,6
3. apr.	73	9,6
4. apr.	75	9,6
5. apr.	74	9,6
6. apr.	75	9,7
7. apr.	74	9,6
8. apr.	75	9,7
9. apr.	73	9,6
10. apr.	75	9,7
11. apr.	66	9,6
12. apr.	53	8,7

H3		
Date	humidity	%WME
15. mar.	62	8,1
16. mar.	77	9,2
17. mar.	76	10,1
18. mar.	76	10,5
19. mar.	75	10,6
20. mar.	73	10,6
21. mar.	74	10,6
22. mar.	73	10,6
23. mar.	75	10,7
24. mar.	73	10,7
25. mar.	74	10,7
26. mar.	73	10,7
27. mar.	75	10,7
28. mar.	73	10,7
29. mar.	74	10,8
30. mar.	73	10,7
31. mar.	74	10,7
1. apr.	73	10,7
2. apr.	74	10,7
3. apr.	73	10,7
4. apr.	74	10,7
5. apr.	73	10,7
6. apr.	75	10,8
7. apr.	73	10,7
8. apr.	75	10,8
9. apr.	73	10,7
10. apr.	75	10,8
11. apr.	66	10,7
12. apr.	53	9,9

H4		
Date	humidity	%WME
15. mar.	33	7
16. mar.	49	7
17. mar.	50	7
18. mar.	50	7
19. mar.	51	7
20. mar.	51	7
21. mar.	51	7
22. mar.	51	7
23. mar.	51	7
24. mar.	51	7
25. mar.	51	7
26. mar.	51	7
27. mar.	51	7,1
28. mar.	51	7,3
29. mar.	51	7,3
30. mar.	51	7,3
31. mar.	51	7,3
1. apr.	51	7,3
2. apr.	51	7,3
3. apr.	51	7,3
4. apr.	52	7,3
5. apr.	51	7,3
6. apr.	51	7,3
7. apr.	51	7,3
8. apr.	51	7,2
9. apr.	51	7,2
10. apr.	51	7,3
11. apr.	75	7,3
12. apr.	96	8,8

H5		
Date	humidity	%WME
15. mar.	33	7,2
16. mar.	49	7,3
17. mar.	50	7,3
18. mar.	50	7,3
19. mar.	51	7,3
20. mar.	51	7,3
21. mar.	51	7,3
22. mar.	51	7,3
23. mar.	51	7,3
24. mar.	51	7,3
25. mar.	51	7,3
26. mar.	51	7,3
27. mar.	51	7,3
28. mar.	51	7,3
29. mar.	52	7,3
30. mar.	52	7,3
31. mar.	51	7,3
1. apr.	52	7,3
2. apr.	52	7,3
3. apr.	51	7,3
4. apr.	52	7,3
5. apr.	52	7,3
6. apr.	51	7,3
7. apr.	51	7,3
8. apr.	51	7,3
9. apr.	51	7,3
10. apr.	51	7,3
11. apr.	74	7,4
12. apr.		

H6		
Date	humidity	%WME
15. mar.	46	7,1
16. mar.	78	7,1
17. mar.	77	7,6
18. mar.	77	8,3
19. mar.	76	8,8
20. mar.	74	9,1
21. mar.	75	9,3
22. mar.	74	9,5
23. mar.	76	9,7
24. mar.	74	9,8
25. mar.	75	9,9
26. mar.	74	9,9
27. mar.	75	9,9
28. mar.	74	10
29. mar.	75	9,9
30. mar.	74	9,9
31. mar.	75	9,9
1. apr.	74	9,9
2. apr.	75	10
3. apr.	74	10
4. apr.	75	10
5. apr.	74	10
6. apr.	75	10
7. apr.	74	10
8. apr.	75	10
9. apr.	74	10
10. apr.	75	10
11. apr.	88	10,4
12. apr.	95	11,4

L1.1		
Date	humidity	%WME
11. apr.	87	17,4
12. apr.	95	19,6
13. apr.	96	21,5
14. apr.	95	23,1
15. apr.	97	24,7
16. apr.	96	25,7
17. apr.	97	25,6
18. apr.	96	26,1
19. apr.	97	26,5
20. apr.	96	26,8
21. apr.	97	27,1
22. apr.	96	27,3
23. apr.	98	27,5
24. apr.	97	27,6
25. apr.	98	27,7
26. apr.	97	27,8
27. apr.	98	27,8
28. apr.	97	27,8
29. apr.	97	27,8

L1.2		
Date	humidity	%WME
11. apr.	87	16,6
12. apr.	95	18,2
13. apr.	96	19,7
14. apr.	95	21,3
15. apr.	96	22,7
16. apr.	95	24
17. apr.	97	24,9
18. apr.	96	25,5
19. apr.	97	25,6
20. apr.	96	25,3
21. apr.	97	25,6
22. apr.	96	25,9
23. apr.	97	26
24. apr.	96	26,2
25. apr.	98	26,3
26. apr.	96	26,4
27. apr.	97	26,5
28. apr.	96	26,6
29. apr.	97	26,6

L1.3		
Date	humidity	%WME
11. apr.	88	17,3
12. apr.	96	19,3
13. apr.	97	21,3
14. apr.	96	23,1
15. apr.	97	24,6
16. apr.	96	25,5
17. apr.	98	25,2
18. apr.	97	25,7
19. apr.	98	26,2
20. apr.	97	26,5
21. apr.	98	26,8
22. apr.	97	26,9
23. apr.	98	27,1
24. apr.	96	27,1
25. apr.	98	27,2
26. apr.	97	27,1
27. apr.	98	27,2
28. apr.	97	27,2
29. apr.	98	27,2

L1.4		
Date	humidity	%WME
11. apr.	88	17
12. apr.	95	18,9
13. apr.	96	20,6
14. apr.	95	22
15. apr.	97	23,4
16. apr.	96	24,5
17. apr.	97	25,4
18. apr.	96	25,3
19. apr.	97	25,7
20. apr.	96	26,1
21. apr.	98	26,4
22. apr.	96	26,6
23. apr.	98	26,9
24. apr.	97	27
25. apr.	98	27,2
26. apr.	97	27,4
27. apr.	98	27,4
28. apr.	97	27,5
29. apr.	98	27,5

L1.5		
Date	humidity	%WME
11. apr.	66	11,4
12. apr.	54	10
13. apr.	53	9,3
14. apr.	53	8,9
15. apr.	53	8,7
16. apr.	53	8,6
17. apr.	52	8,6
18. apr.	53	8,6
19. apr.	53	8,4
20. apr.	53	8,3
21. apr.	53	

L1.6		
Date	humidity	%WME
11. apr.	66	16,3
12. apr.	53	14,6
13. apr.	53	13,5
14. apr.	53	12,8
15. apr.	52	12,5
16. apr.	52	12,2
17. apr.	52	12
18. apr.	52	12
19. apr.	52	11,8
20. apr.	53	11,7
21. apr.	53	11,7
22. apr.	52	11,7
23. apr.	53	11,7
24. apr.	53	11,7
25. apr.	52	11,5
26. apr.	52	11,4
27. apr.	52	11,4
28. apr.	52	11,4
29. apr.	52	11,4

L1.7		
Date	humidity	%WME
11. apr.	66	15,9
12. apr.	53	14,4
13. apr.	53	13,3
14. apr.	53	12,6
15. apr.	52	12,1
16. apr.	52	11,9
17. apr.	52	11,7
18. apr.	52	11,5
19. apr.	52	11,4
20. apr.	53	11,4
21. apr.	53	11,4
22. apr.	53	11,4
23. apr.	53	11,1
24. apr.	52	11
25. apr.	52	11
26. apr.	52	11
27. apr.	52	10,9
28. apr.	52	10,9
29. apr.	52	10,9

L2.1		
Date	humidity	%WME
11. apr.	66	15,2
12. apr.	53	13,8
13. apr.	53	12,8
14. apr.	53	12,2
15. apr.	52	11,9
16. apr.	52	11,6
17. apr.	52	11,4
18. apr.	52	11,3
19. apr.	52	11,3
20. apr.	53	11,3
21. apr.	53	11
22. apr.	52	10,9
23. apr.	53	10,9
24. apr.	53	10,9
25. apr.	52	10,9
26. apr.	52	10,9
27. apr.	52	11
28. apr.	52	11
29. apr.	52	10,9

L2.2		
Date	humidity	%WME
11. apr.	65	15,6
12. apr.	53	14,1
13. apr.	53	13,2
14. apr.	53	12,6
15. apr.	52	12,2
16. apr.	52	12
17. apr.	52	11,8
18. apr.	52	11,7
19. apr.	52	11,7
20. apr.	53	11,4
21. apr.	53	11,4
22. apr.	52	11,4
23. apr.	53	11,2
24. apr.	52	11
25. apr.	52	11
26. apr.	52	10,9
27. apr.	52	11
28. apr.	52	11
29. apr.	52	11

L2.3		
Date	humidity	%WME
11. apr.	75	10,2
12. apr.	96	12
13. apr.	97	14,5
14. apr.	96	17,5
15. apr.	98	20
16. apr.	97	22,1
17. apr.	98	23,8
18. apr.	97	24,9
19. apr.	98	25,5
20. apr.	97	25,6
21. apr.	98	26,1
22. apr.	97	26,4
23. apr.	98	26,7
24. apr.	97	26,9
25. apr.	98	27,1
26. apr.	97	27,2
27. apr.	98	27,3
28. apr.	97	27,4
29. apr.	98	27,5

L2.4		
Date	humidity	%WME
11. apr.	75	9,8
12. apr.	96	12,7
13. apr.	97	16,6
14. apr.	96	19,3
15. apr.	98	21,3
16. apr.	97	22,6
17. apr.	98	23,7
18. apr.	97	24,5
19. apr.	98	25,1
20. apr.	97	25,3
21. apr.	99	25,2
22. apr.	97	25,6
23. apr.	98	25,9
24. apr.	97	26,1
25. apr.	99	26,2
26. apr.	97	26,4
27. apr.	98	26,5
28. apr.	97	26,5
29. apr.	98	26,6

L2.5		
Date	humidity	%WME
11. apr.	75	9,4
12. apr.	96	12,4
13. apr.	97	15,5
14. apr.	96	17,5
15. apr.	98	19,1
16. apr.	97	20,2
17. apr.	98	21,2
18. apr.	97	21,9
19. apr.	98	22,7
20. apr.	97	23,2
21. apr.	99	23,8
22. apr.	97	24,2
23. apr.	98	24,6
24. apr.	97	24,9
25. apr.	99	25,2
26. apr.	97	25,3
27. apr.	99	25,2
28. apr.	98	25,3
29. apr.	99	25,3

L2.6		
Date	humidity	%WME
11. apr.	67	14
12. apr.	54	12,3
13. apr.	54	11,3
14. apr.	54	11
15. apr.	53	10,7
16. apr.	53	10,6
17. apr.	53	10,4
18. apr.	53	10,3
19. apr.	53	10,2
20. apr.	54	10,2
21. apr.	54	10,2
22. apr.	53	10,1
23. apr.	54	10,1
24. apr.	53	10,1
25. apr.	53	10
26. apr.	53	10
27. apr.	53	10
28. apr.	53	9,9
29. apr.	53	9,9

L2.7		
Date	humidity	%WME
11. apr.	67	16,1
12. apr.	54	14,9
13. apr.	54	14
14. apr.	54	13,4
15. apr.	53	13,1
16. apr.	53	12,8
17. apr.	53	12,6
18. apr.	53	12,5
19. apr.	53	12,4
20. apr.	54	12,3
21. apr.	54	12,2
22. apr.	53	12,2
23. apr.	53	12,2
24. apr.	53	12,2
25. apr.	53	12
26. apr.	53	11,9
27. apr.	53	11,9
28. apr.	53	11,7
29. apr.	53	11,7

H1		
Date	humidity	%WME
11. apr.	75	7,1
12. apr.	96	8,6
13. apr.	97	10,1
14. apr.	96	11
15. apr.	98	11,8
16. apr.	97	12,5
17. apr.	98	13,1
18. apr.	97	13,6
19. apr.	98	14,1
20. apr.	97	14,5
21. apr.	98	14,8
22. apr.	97	15,1
23. apr.	98	15,3
24. apr.	97	15,5
25. apr.	98	15,7
26. apr.	97	15,8
27. apr.	98	15,9
28. apr.	97	16
29. apr.	98	16,1

H2		
Date	humidity	%WME
11. apr.	66	9,6
12. apr.	53	8,7
13. apr.	53	8,3
14. apr.	53	7,9
15. apr.	52	7,9
16. apr.	52	7,9
17. apr.	52	7,9
18. apr.	52	7,9
19. apr.	52	7,9
20. apr.	53	7,9
21. apr.	53	7,9
22. apr.	53	7,8
23. apr.	53	7,7
24. apr.	53	7,5
25. apr.	52	7,4
26. apr.	52	7,3
27. apr.	53	7,3
28. apr.	52	7,3
29. apr.	52	7,3

H3		
Date	humidity	%WME
11. apr.	66	10,7
12. apr.	53	9,9
13. apr.	53	9,4
14. apr.	53	9,1
15. apr.	53	9
16. apr.	53	8,8
17. apr.	52	8,8
18. apr.	53	8,6
19. apr.	53	8,6
20. apr.	53	8,6
21. apr.	53	8,6
22. apr.	53	8,6
23. apr.	53	8,4
24. apr.	53	8,3
25. apr.	52	8,3
26. apr.	53	8,1
27. apr.	53	8,3
28. apr.	52	8,3
29. apr.	53	8,3

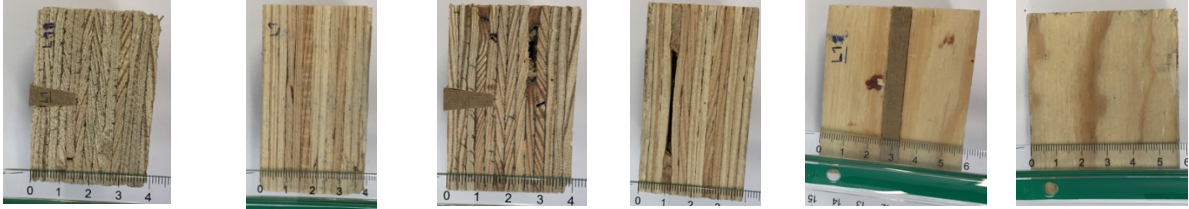
H4		
Date	humidity	%WME
11. apr.	75	7,3
12. apr.	96	8,8
13. apr.	98	10,9
14. apr.	96	12,5
15. apr.	98	13,7
16. apr.	97	14,7
17. apr.	98	15,4
18. apr.	97	16
19. apr.	99	16,4
20. apr.	97	16,8
21. apr.	99	17
22. apr.	98	17,2
23. apr.	99	17,4
24. apr.	98	17,6
25. apr.	99	17,7
26. apr.	98	17,8
27. apr.	99	17,8
28. apr.	98	17,9
29. apr.	99	17,9

H5		
Date	humidity	%WME
11. apr.	74	7,4
12. apr.	95	8,8
13. apr.	96	10,8
14. apr.	95	12,4
15. apr.	96	13,7
16. apr.	95	14,6
17. apr.	97	15,4
18. apr.	96	16
19. apr.	97	16,4
20. apr.	96	16,7
21. apr.	97	16,9
22. apr.	96	17,2
23. apr.	97	17,3
24. apr.	96	17,4
25. apr.	97	17,5
26. apr.	96	17,5
27. apr.	97	17,5
28. apr.	96	17,6
29. apr.	97	17,6

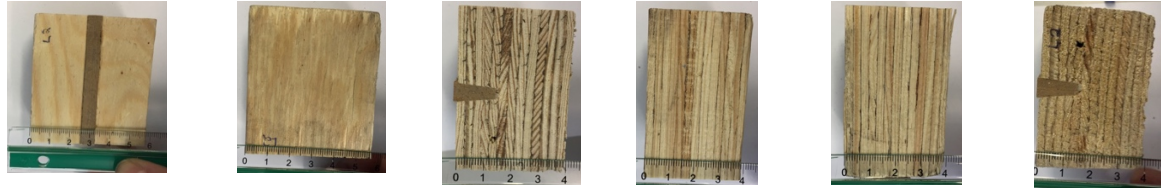
H6		
Date	humidity	%WME
11. apr.	88	10,4
12. apr.	95	11,4
13. apr.	96	12,6
14. apr.	95	13,4
15. apr.	97	14
16. apr.	96	14,5
17. apr.	97	15
18. apr.	96	15,4
19. apr.	97	15,8
20. apr.	96	16,1
21. apr.	97	16,3
22. apr.	96	16,5
23. apr.	97	16,7
24. apr.	97	16,9
25. apr.	98	17,1
26. apr.	97	17,3
27. apr.	98	17,4
28. apr.	97	17,5
29. apr.	98	17,6

Vedlegg 7

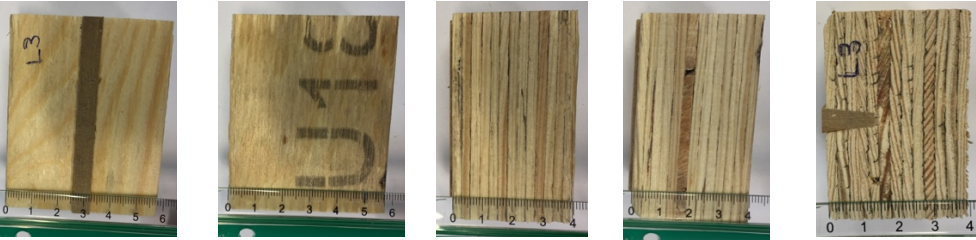
L1.1



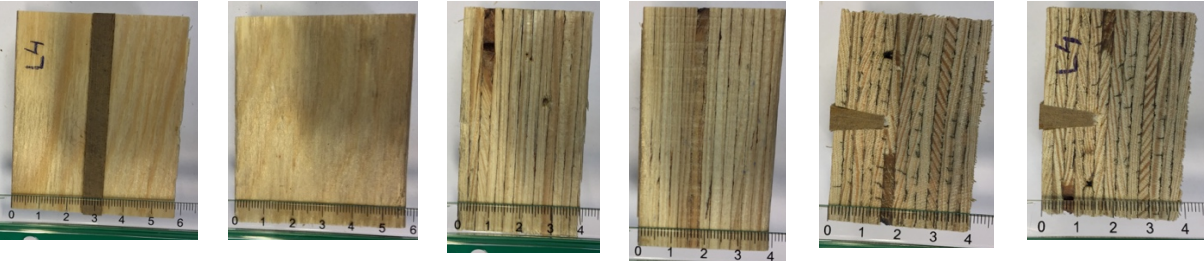
L1.2



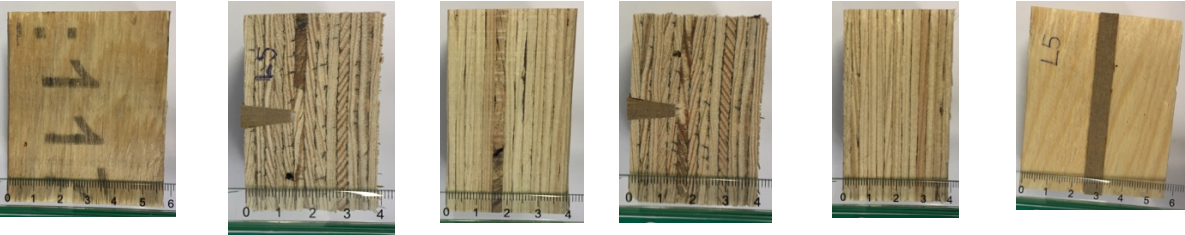
L1.3



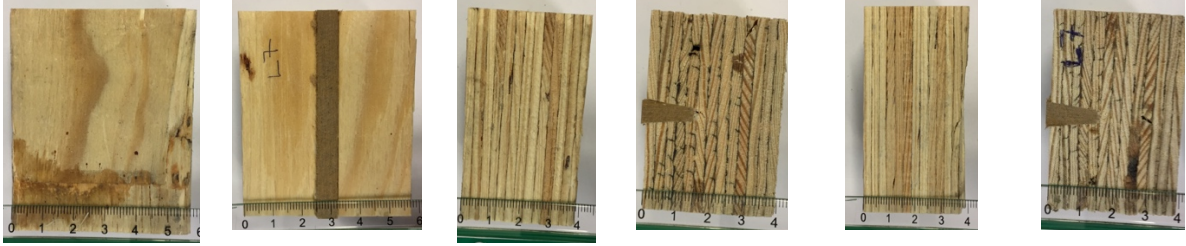
L1.4



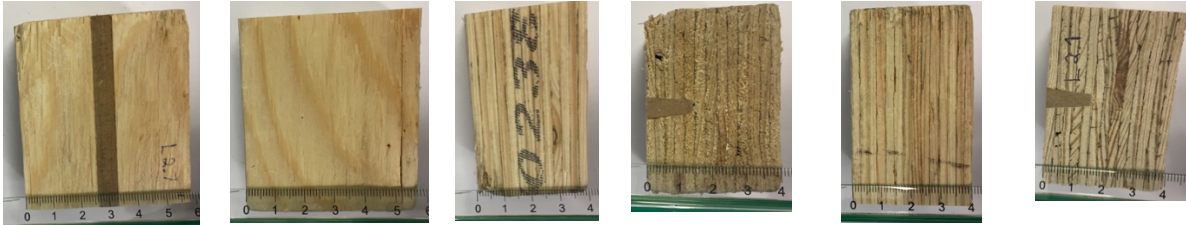
L1.5



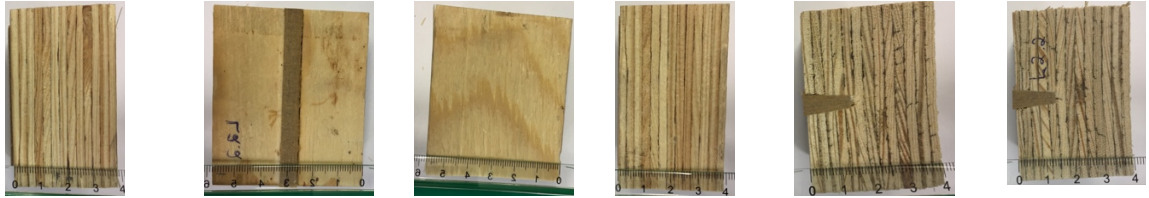
L1.7



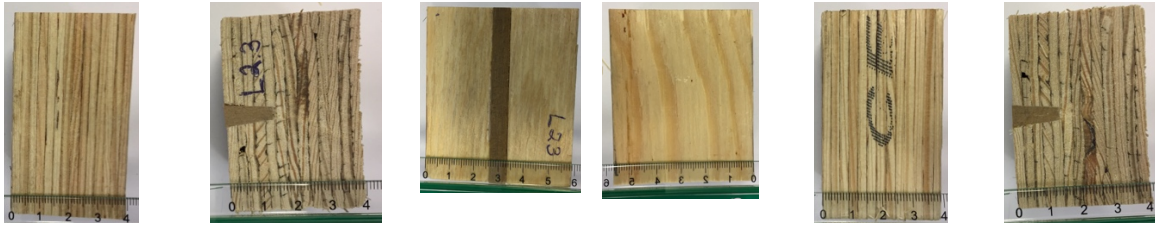
L2.1



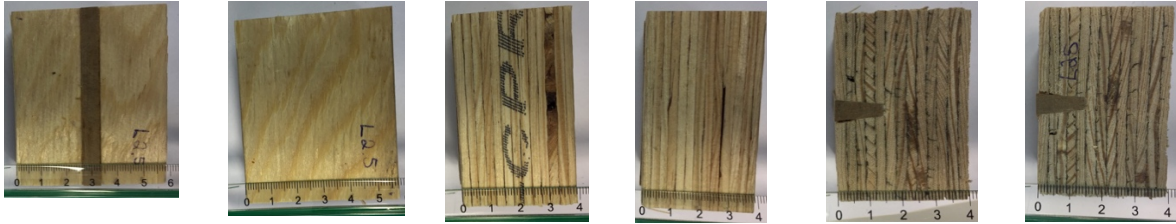
L2.2



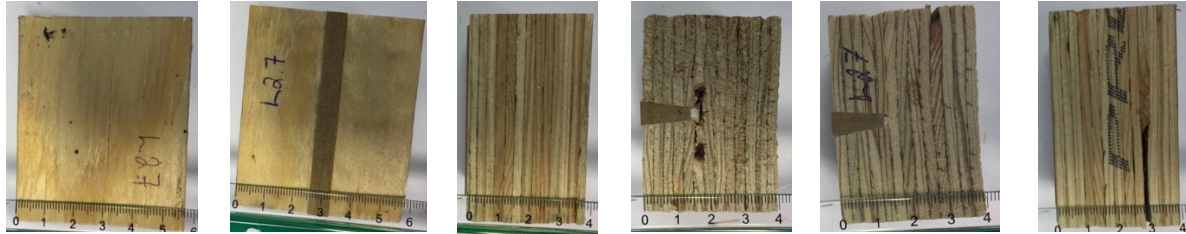
L2.3



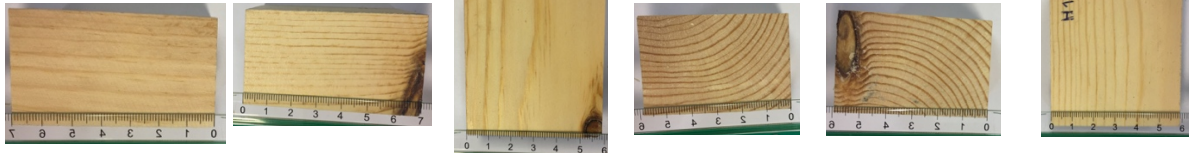
L2.5



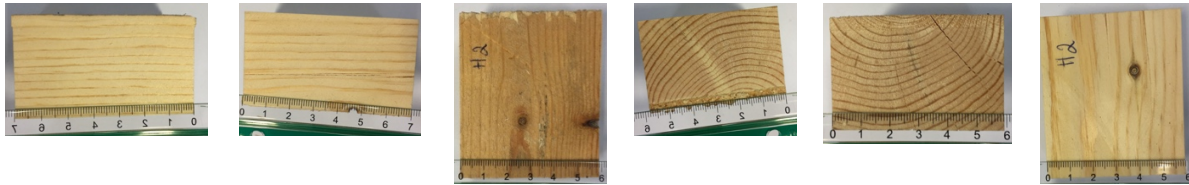
L2.7



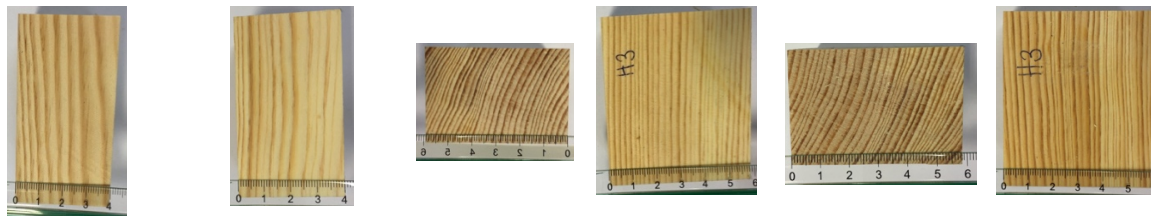
FURU
H1



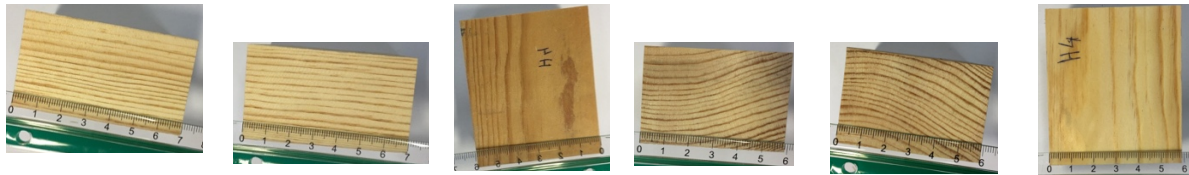
H2



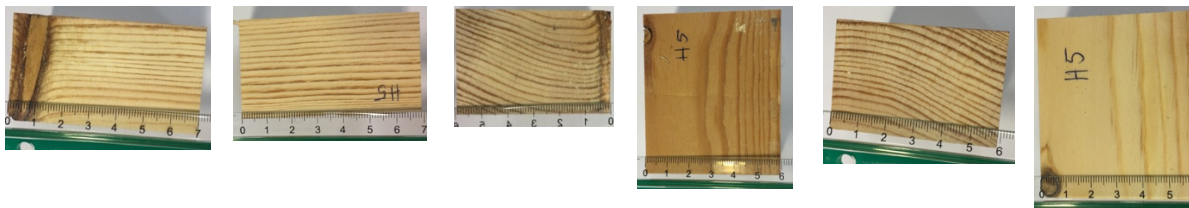
H3



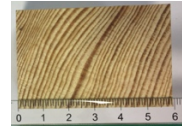
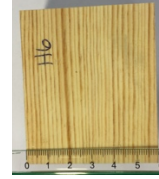
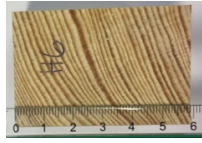
H4



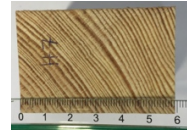
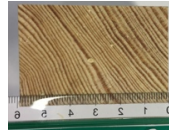
H5



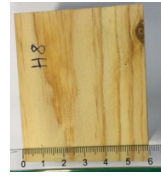
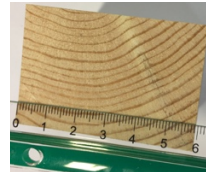
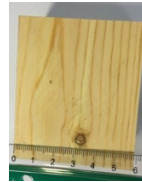
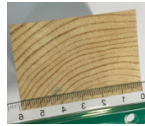
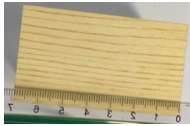
H6



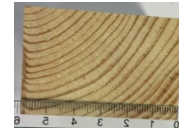
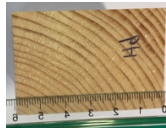
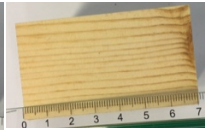
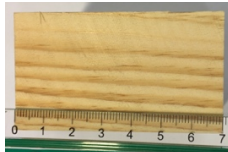
H7



H8

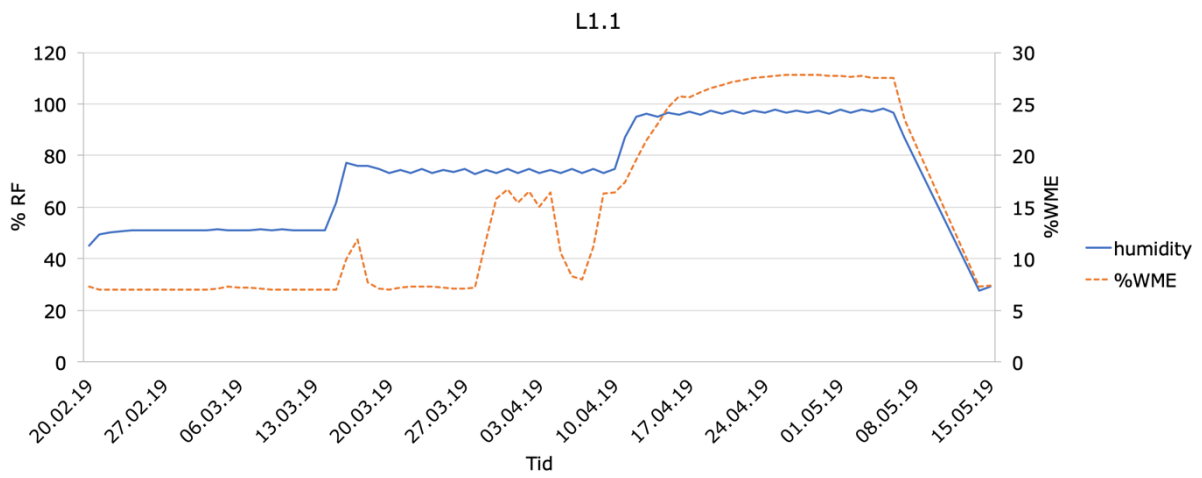


H9

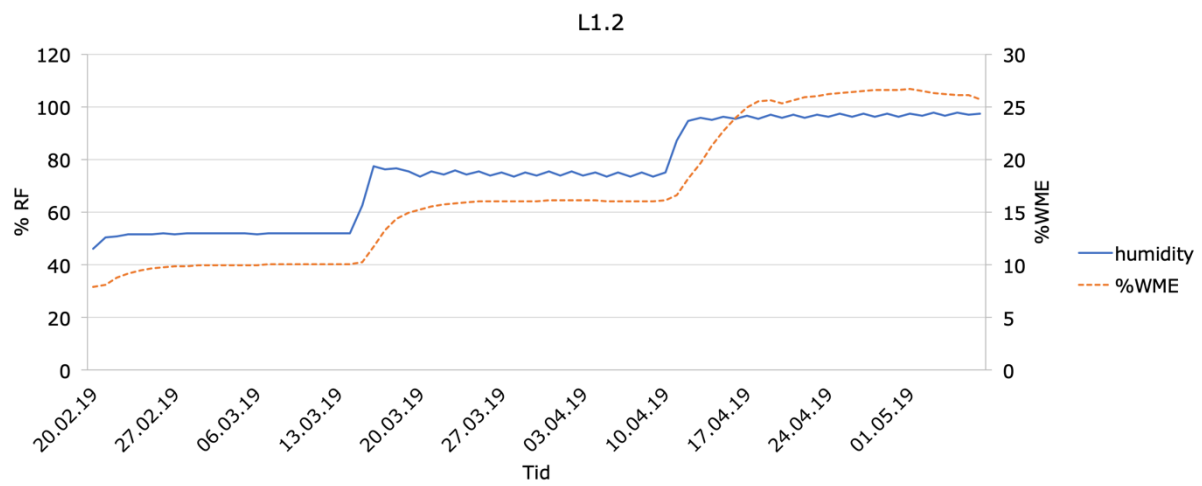


Vedlegg 8

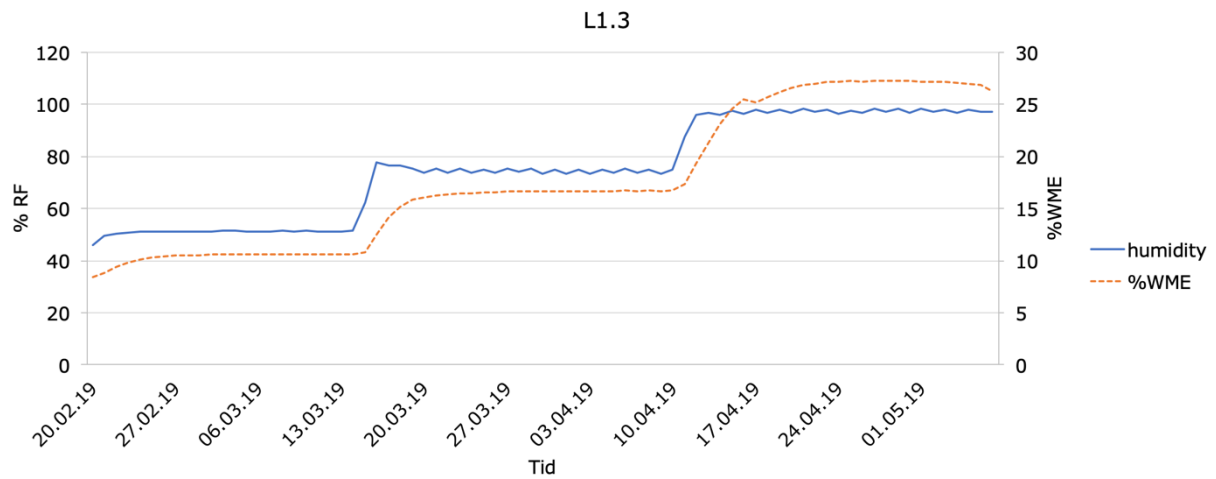
Måledata for L1.1, med sensor 24DB0242.



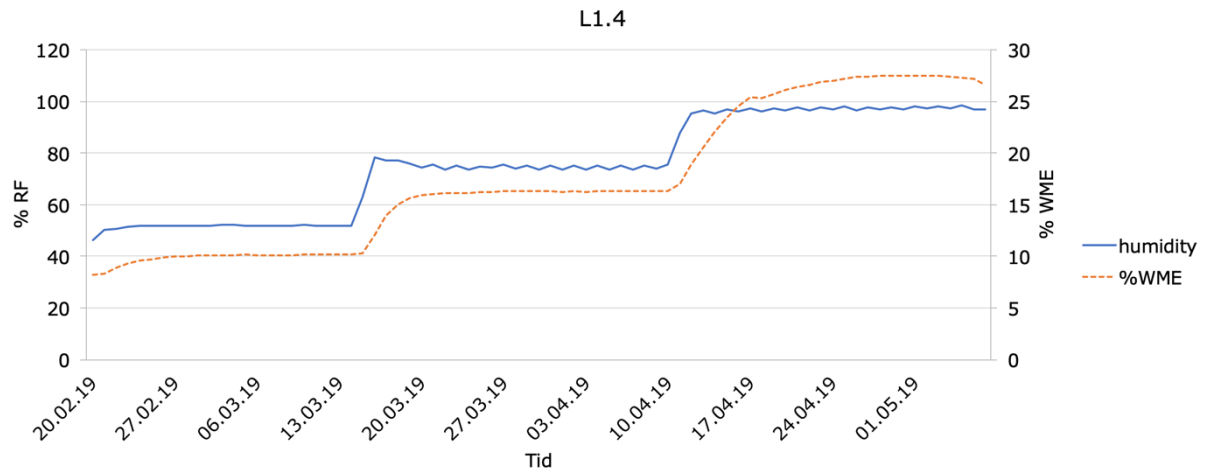
Måledata for L1.2, med sensor 24DB0332.



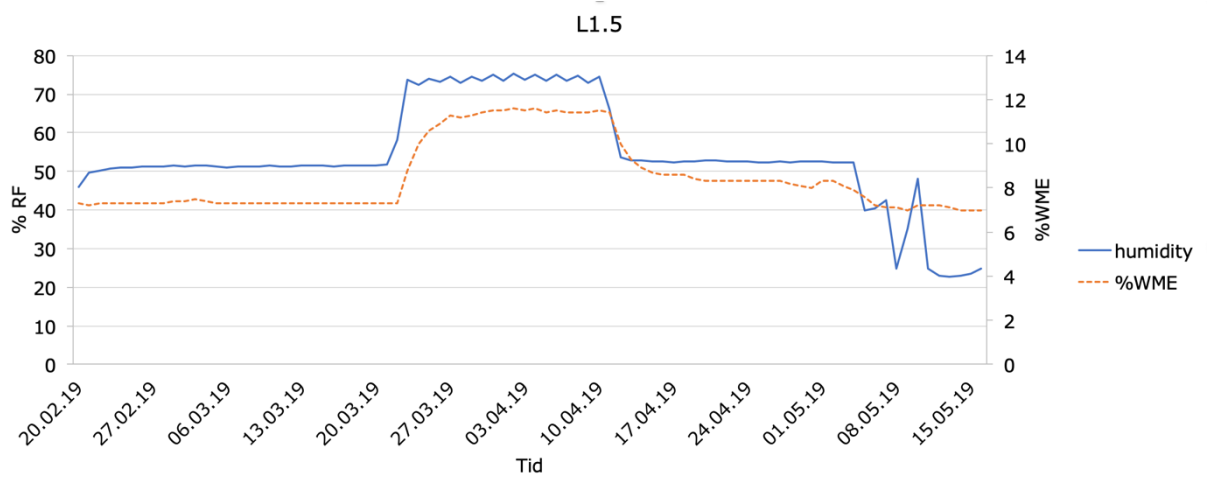
Måldata for L1.3, med sensor 24DB0362.



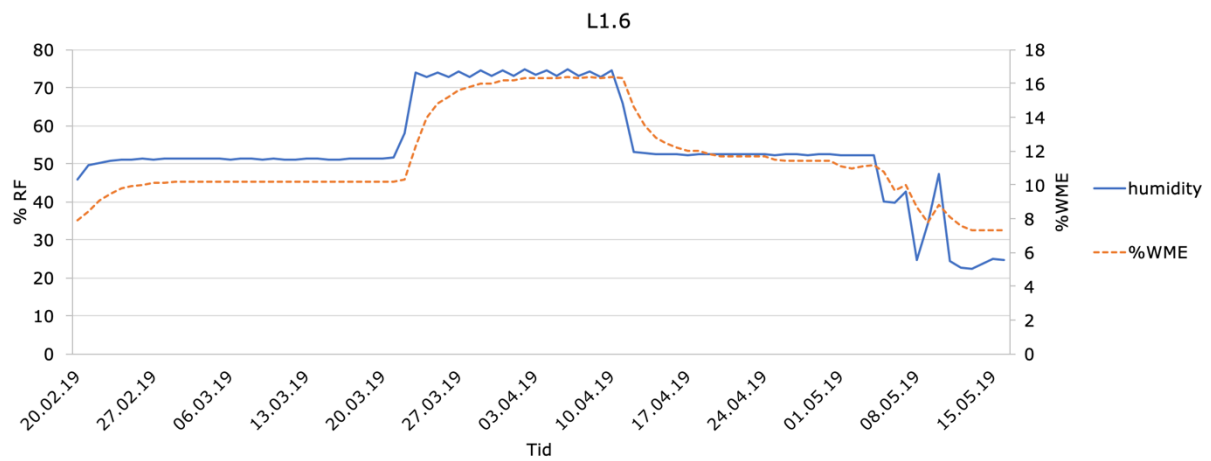
Måldata for L1.4, med sensor 24DB0286.



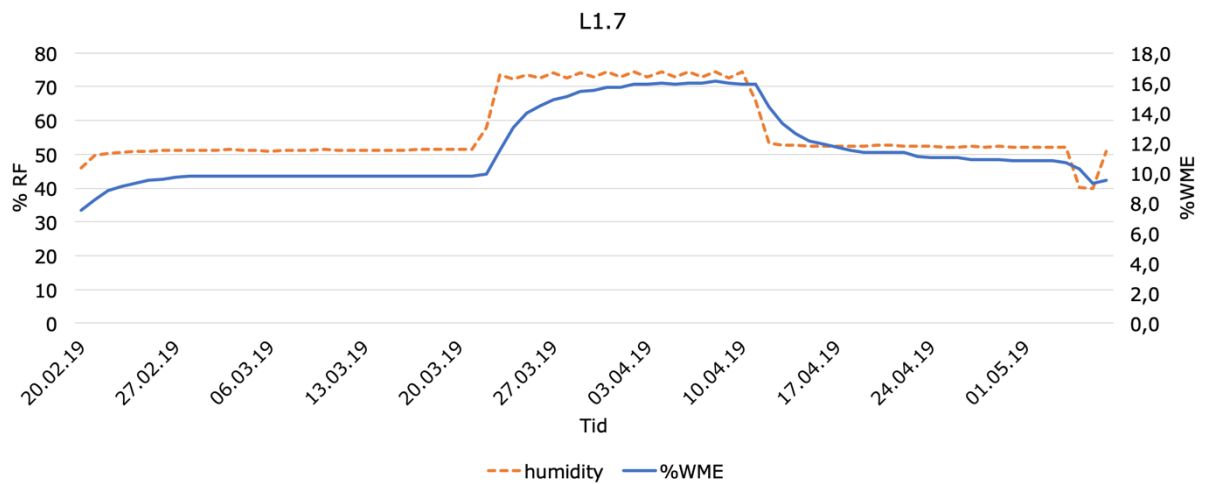
Måldata for L1.5, med sensor 24DB033D.



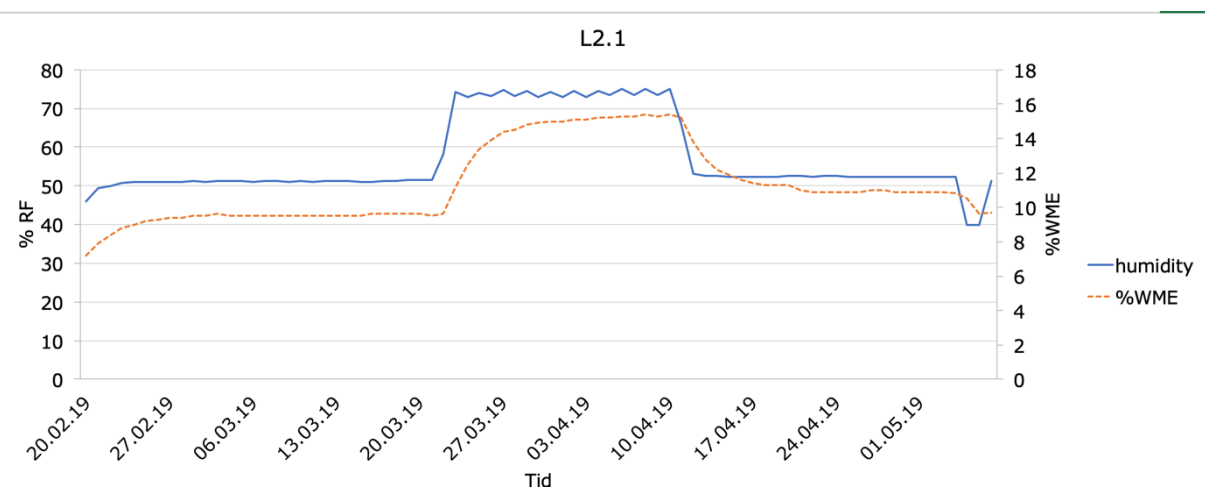
Måledata for L1.6, med sensor 24DB00A2.



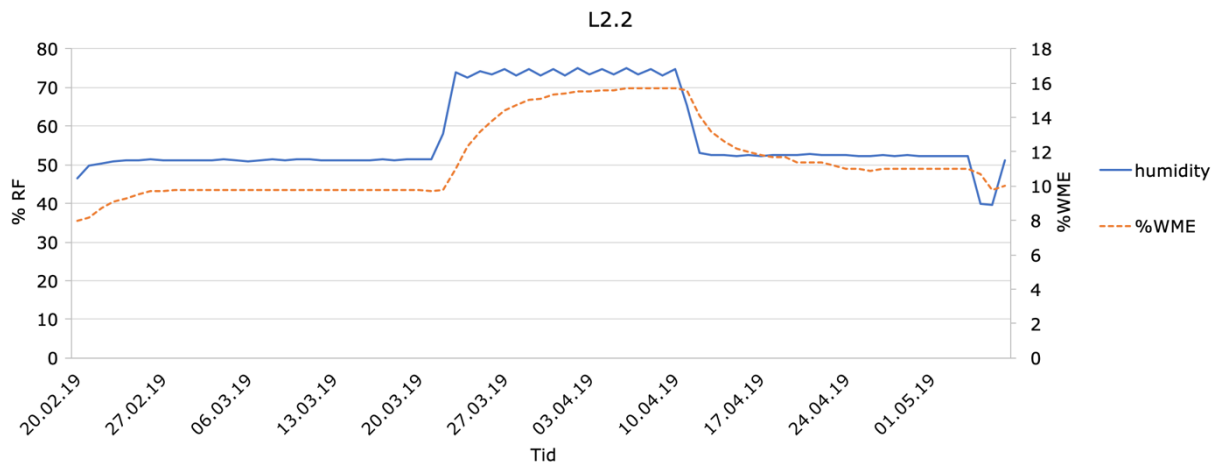
Måledata for L1.7, med sensor 24DB033A



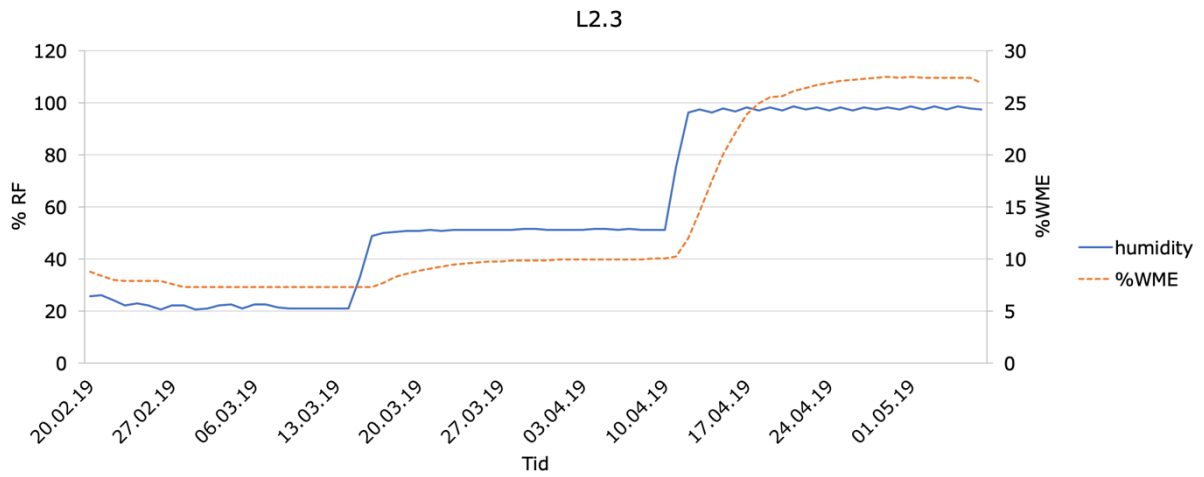
Måledata for L2.1, med sensor 24DB035F.



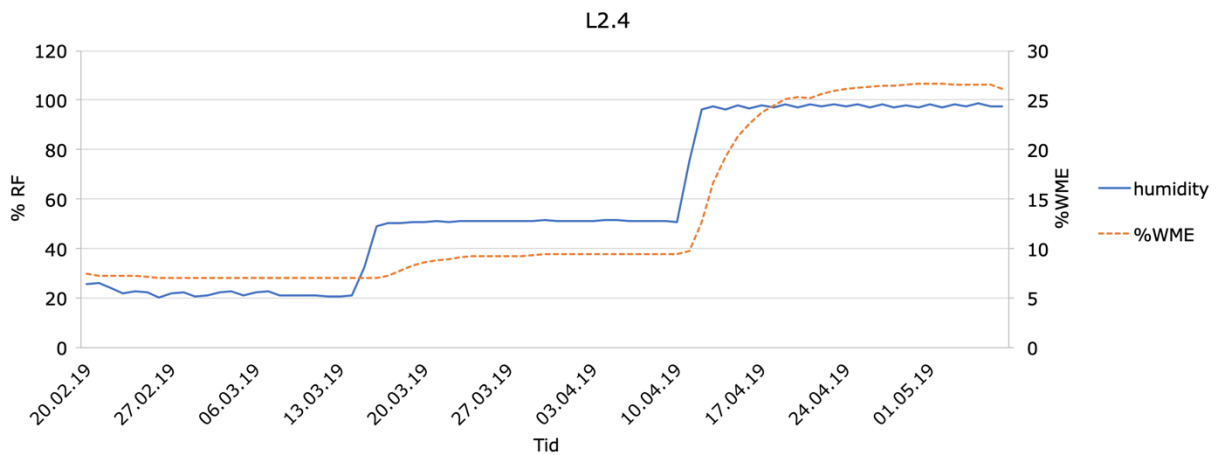
Måledata for L2.2, med sensor 24DB033B.



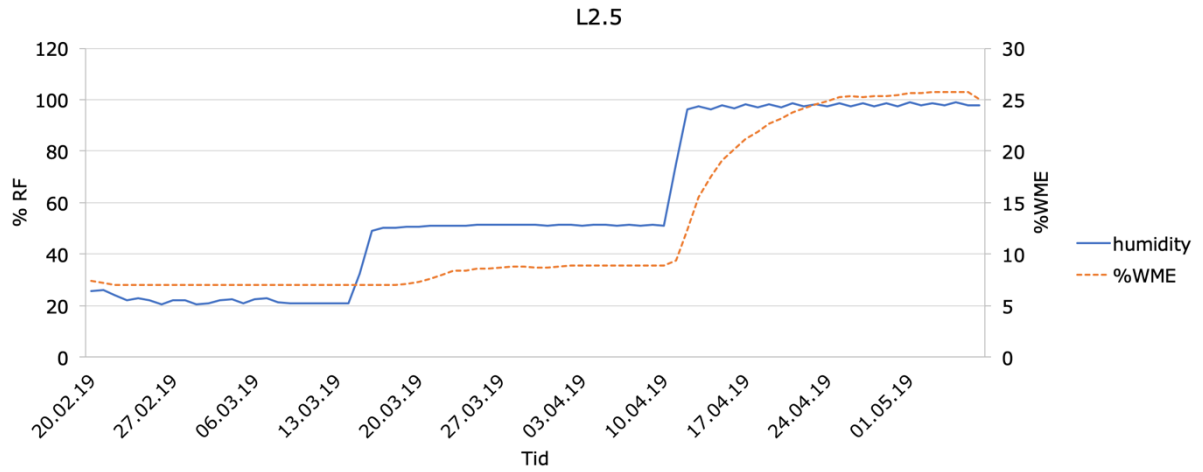
Måledata for L2.3, med sensor 24DB0170.



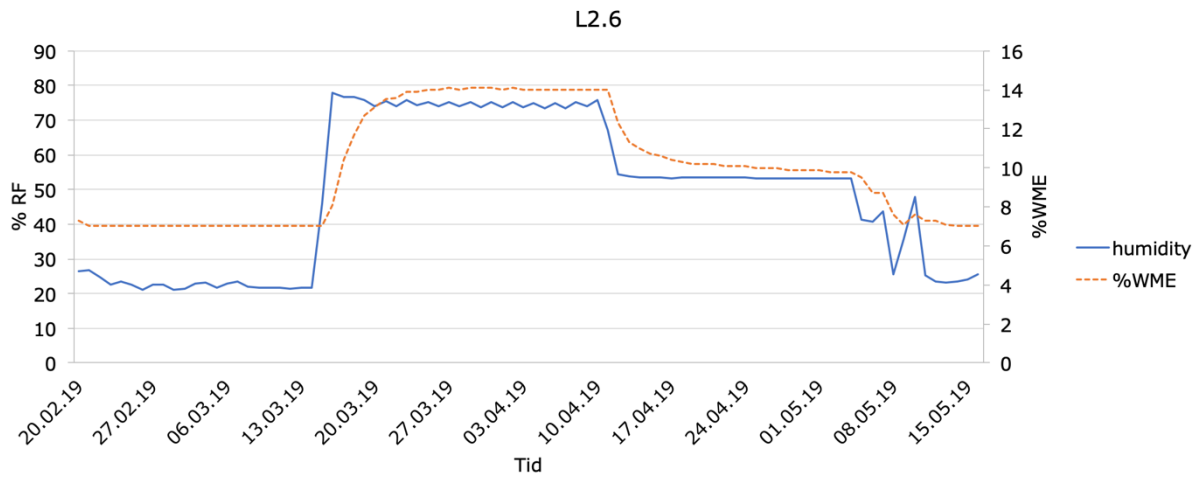
Måledata for L2.4, med sensor 24DB0160.



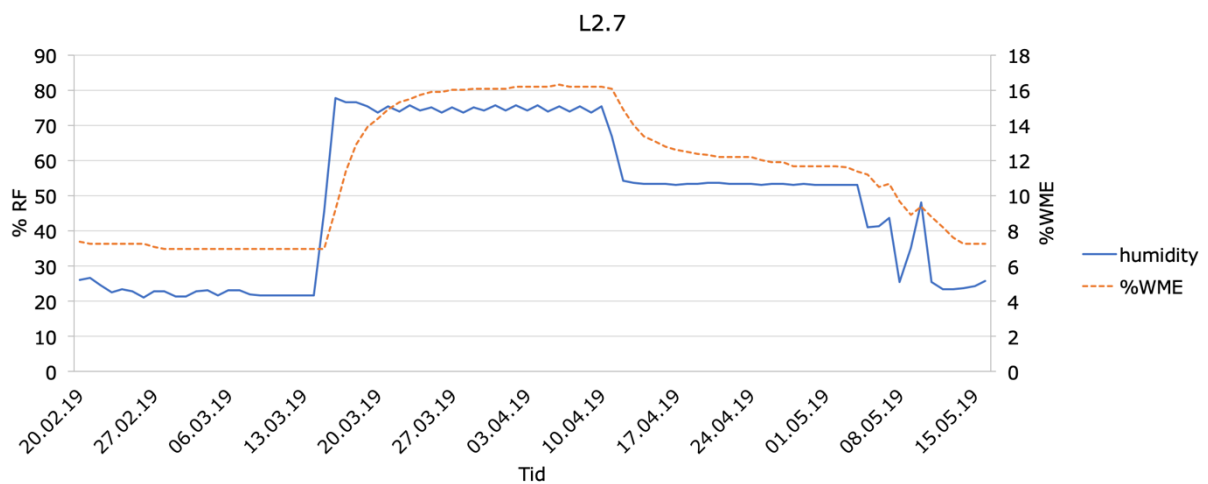
Måldata for L2.5, med sensor 24DB0194



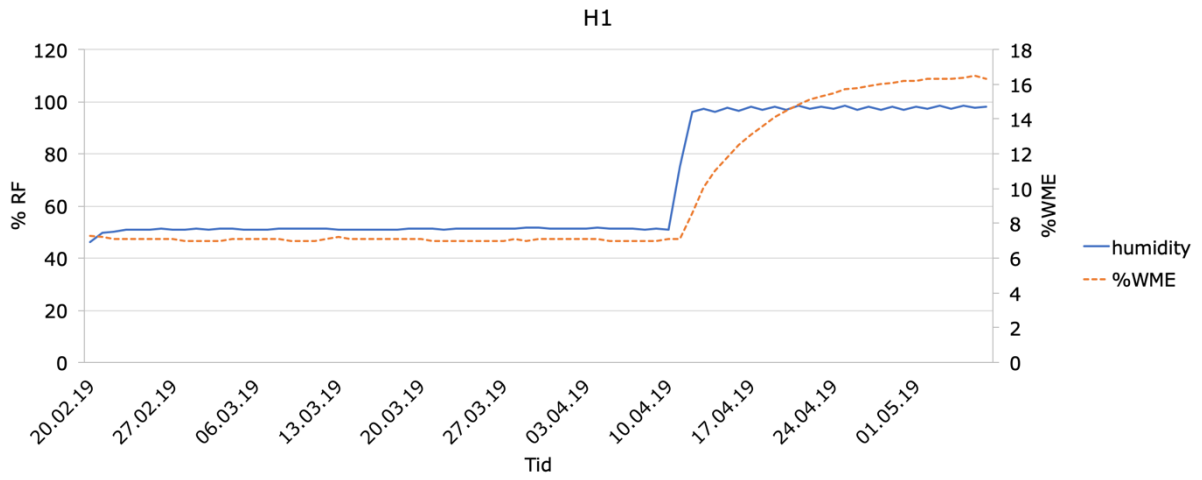
Måldata for L2.6, med sensor 24DB0339.



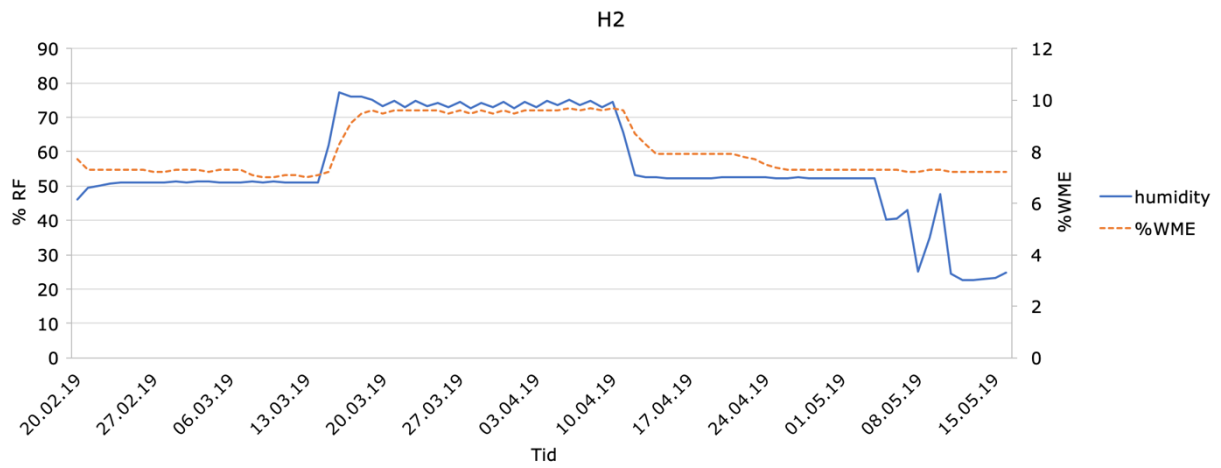
Måldata for L2.7, med sensor 24DB0337.



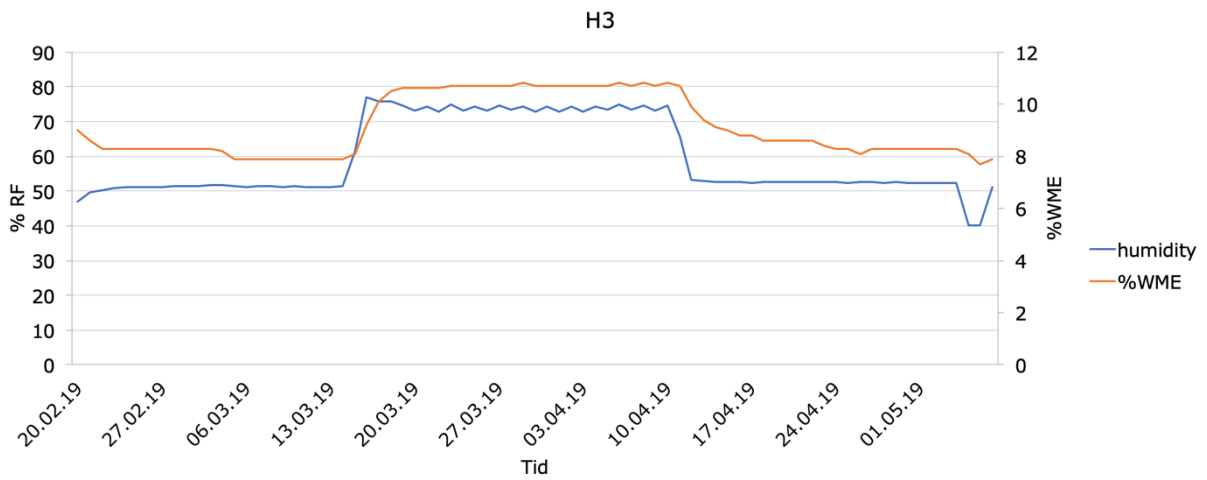
Måldata for H1, med sensor 24DB0334.



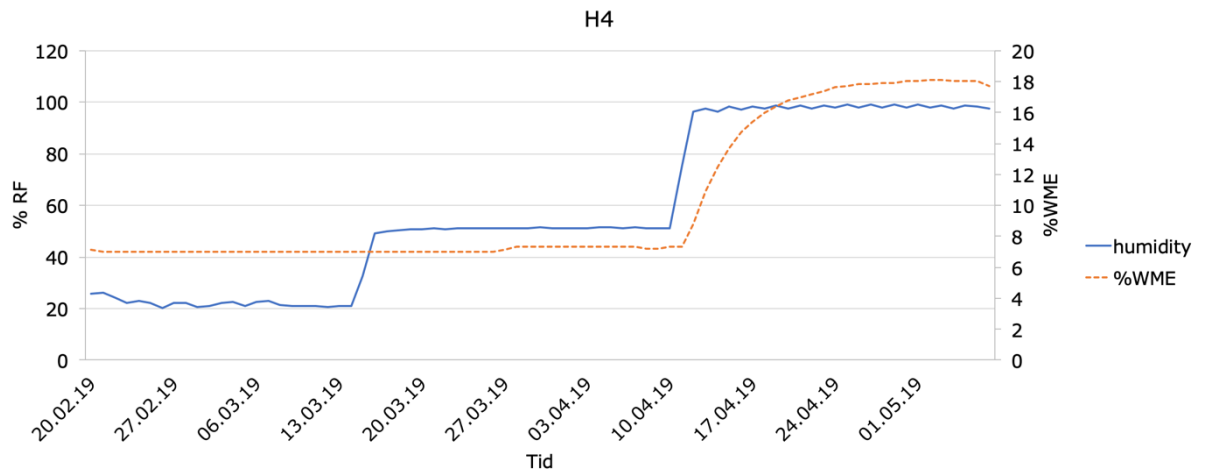
Måledata for H2, med sensor 24DB011B.



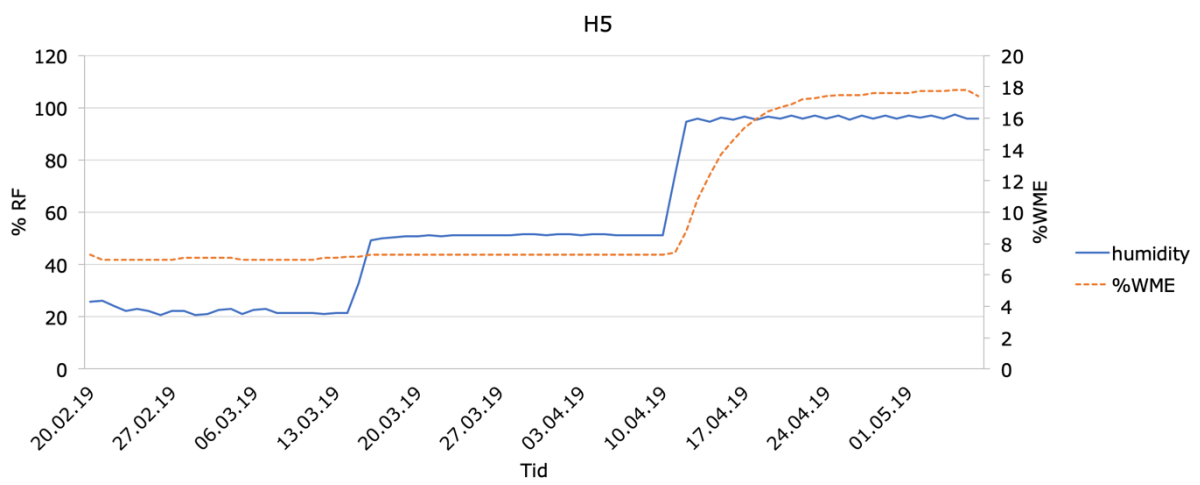
Måledata for H3, med sensor 24DB02FC.



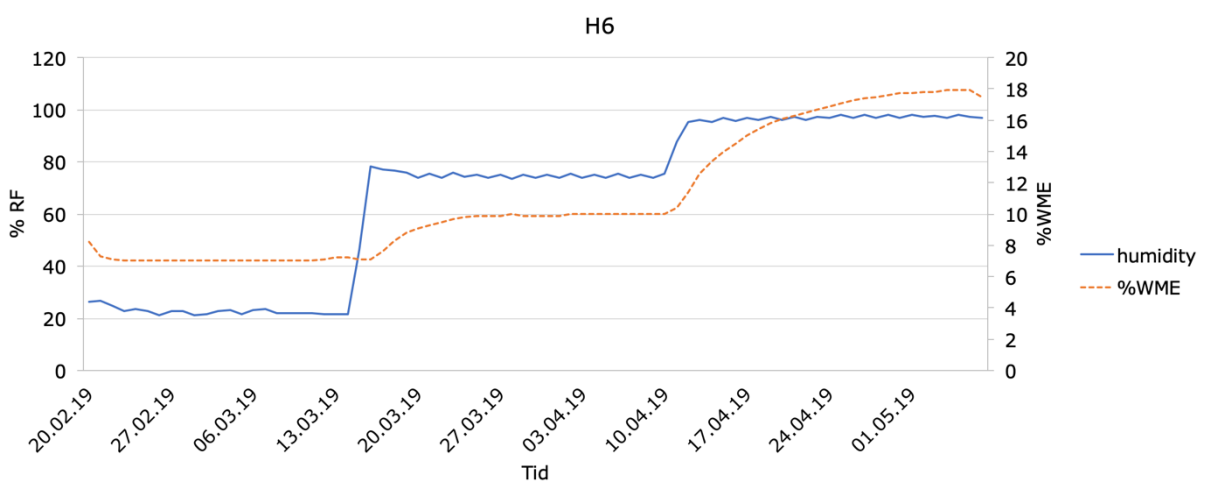
Måledata for H4, med sensor 24DB028D.



Måldata for H5, med sensor 24DB0284.



Måldata for H6, med sensor 24DB24DB0360.



Vedlegg 9

To whom it may concern

Confirmation on paper contribution

I.M. Birkeland¹, E. Andenæs¹, and T. Kvande¹

Laboratory investigations of moisture conditions in laminated veneer lumber (LVL)

To be submitted

¹Department of Civil and Environmental Engineering,
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
www.ntnu.no


ABSTRACT: The purpose of this study was to investigate the moisture properties of laminated veneer lumber (LVL) and the correlation between moisture sensors and the calculated moisture content. Laboratory measurements were conducted on two different wood species using 20 sensors of the same type. The test was conducted on samples of LVL flanges delivered by the Norwegian wood production company Hunton and lumber of pine. The moisture sensors were delivered by Omnisense. The test results show that the resistance values given by the resistance method was too high compared to the more accurate gravimetric method. LVL also had a higher moisture sorption than pine in the same climate. The glue between the veneer layers are affecting the conductivity of the wood in LVL and interrupt the readings. The glue might affect the moisture sorption as well.

Inger Merete Birkeland is the main author of the paper. Along with Tore Kvande, she was responsible for the research design and the test program. Inger carried out the laboratory research, collected data and wrote the draft for the article.

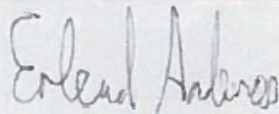
Erlend Andenæs assisted in the scientific writing process of the article, including literature review, interpreting results and presenting the data. Throughout the writing process, he ensured the scientific quality of the work produced. Erlend has challenged the industrial implications of the work.

Tore Kvande has served as the main supervisor, assuring the main direction of the work. He contributed greatly to the research design. He has also contributed in the analysis and interpretation of the results, as well as the scientific quality of the work produced.

The co-authors have during the process provided critical comments on the prepared manuscript by Inger Merete Birkeland and they have all given final approval of the version to be published.



Inger M. Birkeland



Erlend Andenæs



Tore Kvande

Laboratory investigations of moisture conditions in Laminated Veneer Lumber (LVL)

Inger Merete Birkeland¹, Erlend Andenæs*¹, Tore Kvande²

Keywords: Laminated veneer lumber, moisture content, moisture sensor, pine, hysteresis

Abstract

The purpose of this study was to investigate the moisture properties of laminated veneer lumber (LVL) and the correlation between moisture sensors and the calculated moisture content. Laboratory measurements were conducted on two different wood materials using 20 sensors of the same type. The test was conducted on samples of LVL flanges delivered by the Norwegian wood production company Hunton and lumber of pine. The moisture sensors were delivered by Omnisense. The test results show for the LVL samples, that the resistance values given by the resistance method was too high compared to the more accurate gravimetric method and too low for the pine pieces. LVL also had a faster moisture sorption than pine in the same climate. The glue between the veneer layers are effecting the conductivity of the wood in LVL, and interrupt the readings. The glue might affect the moisture sorption as well.

1. Introduction

The annual average global temperature has increased with 0.8°C since the late 1880s. According to the IPCC report from 2018, the temperature will increase, which will result in a milder climate. A more humid and milder climate can increase the risk of rot and mold in buildings, which is negative for both health and finances. It is therefore important to build houses and buildings that can withstand a more humid climate in the future. (met, 2017)

Some of the new solutions for wooden constructions are now using different materials in new construction solutions, where it is important to monitor the moisture content of the layers. There are several methods to investigate the moisture content of a wood sample. In this paper, the moisture content was measured by two different methods, the resistance method and the gravimetric method. The resistance method uses an electric current between two electrodes placed inside the material sample, whereby the measured resistance to this current is used to calculate the moisture content of the sample. The gravimetric method is based on weighing the sample before and after oven drying, the moisture content being calculated from the weight difference. The gravimetric method is the most precise known, because the quantities used for defining moisture content are measured directly. However, the method has the disadvantage of being time consuming and requires partly destroying the specimen. The resistance method is on the other hand simpler and faster but less accurate (James, 1963).

The resistance method has been used for a long time, but by measuring the electrical resistance in wood it opens up for some theories that the additional chemicals in new wood types can have an effect on the conductivity. Studies have found that the measurements in plywood gave a difference in the results from the gravimetric method and the resistance method (Glass & Carll, 2009). Some types of glue used in plywood are electrical conductors and can therefore affect the readings of electric moisture meters (Bell & Krueger, 1949).

This opens up for the speculation if the sensors using the resistance method might also give wrong results when using other types of structural composite lumber (SCL). This

article will examine the differences between measuring moisture content with the gravimetric method and the resistance method, and possible causes for these differences. It will also investigate the difference between the moisture content in LVL and Pine through the resistance method, and whether the glue between the veneer layers in LVL can affect the conductivity of the material.

There are two presumptions that's is made in the gravimetric method: that the water is completely removed by oven drying and that only water is removed and no other parts of the material during the measuring period. If the weighings are done precisely, the method is limited only by the two basic assumptions mentioned (James, 1963).

This article seeks to examine the following research questions:

1. Are there any differences between the measured moisture absorption in LVL and pine?
2. Do the resistance method and the gravimetric method give different results in the two materials?
3. Are the measurements of moisture content through the resistance method affected by the glue in the LVL material?

2. Theory

The wood fiber based product Laminated veneer lumber (LVL) is a veneer-based material that consists of thin layers of veneer from pine or spruce, usually 3mm thick, glued tight together. The detrimental effects of knots and imperfections decreases by distributing them throughout LVL members. To ensure that the finished product will have the desired engineered properties, the veneers are often sorted using ultrasonic testing (Ross, 2010). The veneers are oriented in one direction, which improves the mechanical properties of the product. LVL is produced using a phenol formaldehyde adhesive that glues each layer together under high pressure. Today it is commonly used in composite I-joints, in the flanges (Ross, 2010).

Most of the important properties of wood will depend substantially on the moisture content. The moisture content can vary widely depending on the history of the wood and its environment (James, 1963). Most of the processes that cause deterioration of building materials, moisture is an important factor and is playing a dominant role in accelerating the degradation process. The damage can have many forms such as swelling of materials, decay of wood and cracking which can reduce the wood strength capacity (Geving & Thue, 2002).

Bell and Krueger (1949) tested the effect of 10 different glues on moisture meter reading in plywood. They found out that for phenolic-bonded plywood the conductance meter readings were, without exceptions, higher compared to the gravimetric moisture contents when testing with needle electrodes penetrating the glue lines. They connected the effect of the increase in conductivity from the electrolytes within the glues in the plywood (Bell & Krueger, 1949).

A similar experiment was done in 2011 by Glass and Carll who tested untreated dimensioned lumber, untreated plywood and ACQ-treated plywood in an environment maintained at relative humidity (RH) values between 35% and 85%. They found out that the gravimetric method and the resistance method did not give the same values. In 2009

they did a similar test and got the same outcome; the SYP (south yellow pine) plywood needs a correction curve. Their data indicated that the conductance of plywood was lowered considerably if it had been exposed previously to considerable wetting, as soaking of the samples. Their theory is that the electrolytes in the glue lines provide high conductance pathways (Glass & Carll, 2009).

The conductivity of the wood varies in a definite and predictable way with the changing moisture content, however the correlations are not perfect. Therefore, using electrical methods to determine moisture content are always subjected to some uncertainty. The results can be imprecise because the electrical current patterns between electrodes can change depending on many chemical and physical factors such as for example wood grain direction, defects in the samples, amount of glue between veneer layers and temperature. The results of conductivity measurements must usually be corrected according to temperature and the wood species (Casieri, et al., 2004).

3. Material and method

3.1 General

The paper is based on a laboratory experiment and a literature search on moisture in wood. Laboratory measurements have been conducted on 20 wood pieces. The LVL-flanges were taken from a project at Sveabakken outside Trondheim in Norway (Kvande & Gullbrekken, 2018), where I-profiles delivered by Hunton were used. The material is described in closer detail in section 3.4.

The test was conducted on mainly the LVL flanges, but also on six samples of pine wood to compare the results. The laboratory measurements were conducted in the lab of SINTEF and NTNU in Trondheim. By placing the test samples in different climates, between 20% to 98% relative humidity (RH), data from the sensors and from weighing each sample could be used to determine the connection between the measuring methods. To create the ideal climate, in one test the samples were placed in a climate chamber, where the RH was changed between 23%, 75% and 98% with constant temperature 23°C. Another part of the test was conducted in a moisture laboratory at SINTEF, where the room holds RH on 50% and a temperature on 23°C as well. The last part of the experiment was conducted by laying the wood samples in fluid water to gain the absolute moisture content. To gain the hysteresis effect, the same test samples were moved from one climate to another to examine the moisture values at different humidity with different moisture history.

3.2 Experimental set-up

The flanges were cut from the web with 1 mm left as clearance. The flanges were cut up into fourteen equal sizes, with dimensions of 70*38*59mm. Six samples of pine wood were cut to equal size for comparison. The sensors were slightly modified, removing a piece of plastic between the electrodes to allow placing the electrodes in the center of the wood samples. After the samples were cut up, holes with diameter 10mm were drilled into the samples at a distance of 32mm from the center for the sensors. The samples were labelled according to their origin. L1 (*Limtre*) for the top flanges, L2 for the bottom flanges, and H (*Heltre*) for the pine samples.

Each sample was then weighed on a METTLER PM400 scale, with an accuracy of 0,001g. (METTLER, 1999) After mounting the sensors in each wood sample, the samples were weighed again. In the first step of the experiment, nine LVL samples were placed in the moisture room of 50% RH, as along with three pine samples. At the same time, the climate chamber was set to 20%RH, where five LVL samples and three pine samples were placed.

Over a timespan of 2 weeks the test samples were weighed regularly and the sensors were logging the data to a gateway. At a given relative humidity, the sample was considered stable when the weight difference was less than 0.1% over a 72-hour period, and the sensors showed constant moisture content (MC) values. It was assumed that the test samples had reached an equilibrium and they were then moved to another climate. The systems operating temperature 23°C is maintained with a close tolerance.

A resistance moisture meter uses an electric approach to measure the moisture content of the samples. In this experiment, a conductivity meter manufactured by Omnisense (Hygrotrack S-160-0) was used to measure the moisture present in the samples. The method is based on theory that between the oven-dry condition to the fiber saturation point, there is a nearly linear relationship between the moisture content and the logarithm of the electrical resistance (Kollmann & Cote, 1968). The meter measures display readings as percentage moisture content.

The moisture sensors correct the moisture reading depending on the registered temperature. Their calibration is based on US Douglas Fir, an American pine species with a density of 530 kg/m³.



Figure 1: Omnisense sensor placed in an LVL sample, with the electrodes perpendicular to the grain direction

To be able to establish the exact moisture content of the wood samples, the gravimetric method is used as reference method. To calculate the moisture content u , the following equation is used:

$$u = \frac{m_v - m_0}{m_0} \times 100\%$$

where m_0 is the dry weight of the sample, m_v is the whole mass when the sample is humid, and u is the moisture content in percent of the dry weight (Norsk Standard, 2014). The samples were weighted regularly throughout the experiment, and the m_0 was found at the end by drying the samples.

The drying process was done according to the standard NS-EN13183-1: Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1: Determination by oven dry method. The sensors were removed from the samples and put into a heating cabinet with a temperature of $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ for 4 weeks. When the mass between two weighing's was less than 0,1% with an interval of 2 hours, the samples were considered fully dried.

After the samples were oven dried, they were cut into half where the screw electrodes were inserted. This was to see where exactly the screws had penetrated, and if there were some open holes or disturbance inside the samples that could affect the measurements. All the samples were weighed on a METTLER PM400 scale, which was used during all the weightings of the samples.

3.3 Climate

The climate test chamber used for this study was a ClimeEvent chamber delivered by weisstechnik® and vötschtechnik®. The chamber simulates the environment of between RH 20%- 95% with a constant temperature $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. During the study, it was noticed that the climate test chamber could only keep the chosen temperature and humidity for 2-3 days. As a result, the settings were set to run a program every second day, with 40°C for 30 min without any humidity and then back to the chosen humidity and 23°C . To verify the exact temperature and humidity, a handheld monitor from HygroPalm was set into the chamber and the values were read for each weighting of the samples.

The moisture laboratory is a small room with constant relative humidity $50\% \pm 1\%$ and temperature $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. This climate was not changed during the whole study.

3.4 Materials

Laminated veneer Lumber (LVL)

The timber flanges consist of laminated veneer bonded with phenol-formaldehyde adhesive, which is laid with the grains in parallel (as opposed to cross-laminated timber, CLT, where the veneer layers are laid perpendicular to each other) (British board of Agrément, 2017). The LVL used in this paper is taken from flanges of a Hunton I-profile beam (SJ60/250), with a width of 60 mm and a flange height of 39 mm. Its layers consist of a mix between pine and spruce. The flange and the web are glued together with construction glue into a groove in the center of the wide face of the flange, around 15mm into the flanges. Although veneers are often sorted using ultrasonic testing to ensure that the product has the desired engineering properties, it was noticed that some of the samples contained knots. The product is intended to be used for loadbearing building structures, for instance roofs, floors, walls, facades and trusses. The flanges have a density of 500 kg/m^3 .

Pine

In the experiment, Norwegian pine was used as a reference value. It has a density of 510 kg/m^3 . The samples were all taken from the same piece of construction lumber.

3.5 Boundary and initial conditions

The experiments only used one type of LVL and pine, the LVL samples all cut from the same I-beam from one supplier. The results may also differ based on the growth conditions of the pine (climate, solar conditions, age, etc.). The hysteresis effect was tested for 23% RH and 50% RH, but due to time limitations desorption was not tested for 75% RH and 98% RH.

4. Results

4.1 General

Using the gravimetric method, the data of the sorption curve from the laboratory practice was plotted into a graph from earlier research (Time 1998), shown in Figure 2. The results obtained using the gravimetric method fits with earlier research results.

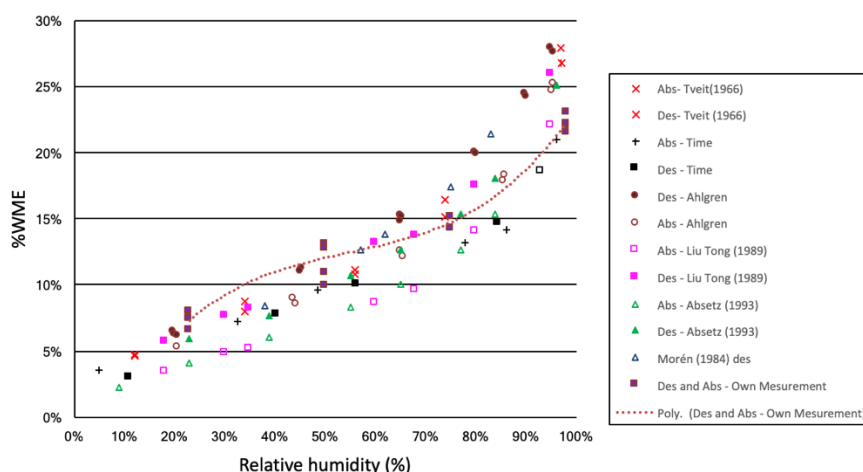


Figure 2: Data from this experiment plotted into a graph from Time (1998). The red dotted line is the best fit curve of the data from the current set of measurements.

Figure 3 shows the difference between gravimetric method and resistance method.

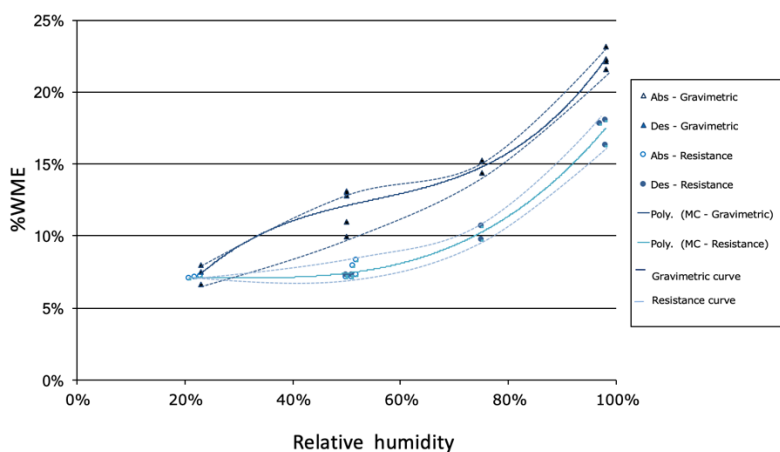


Figure 3: Sorption and desorption curves for the pine samples, using both the resistance and gravimetric methods. Note that the resistance method gives lower values than the gravimetric method.

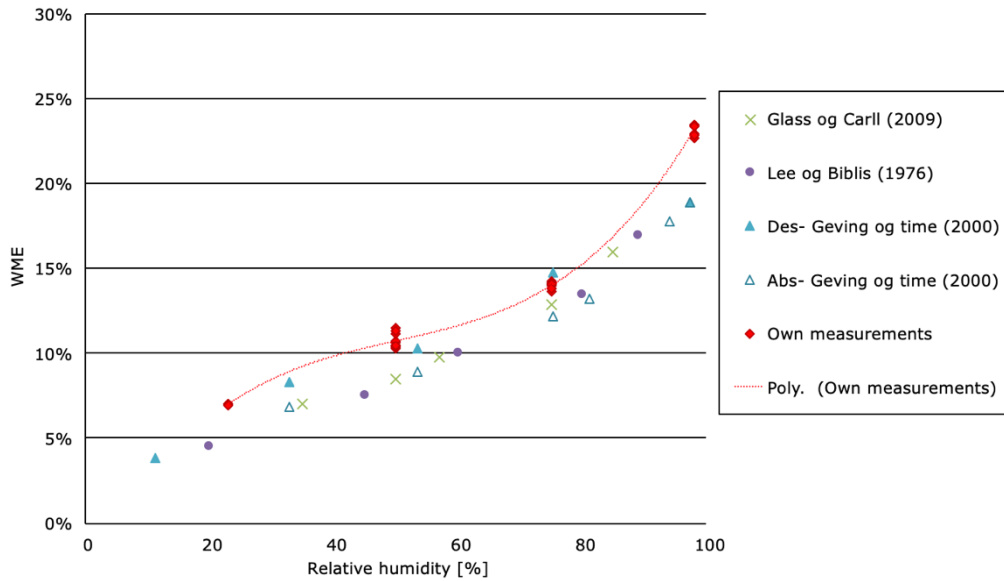


Figure 4: Sorption curve for LVL based on gravimetric studies in this paper and earlier research.

Figure 5 shows sorption curve for LVL with compare gravimetric- and resistance method. By 65% RH the difference between resistance method and gravimetric method increases.

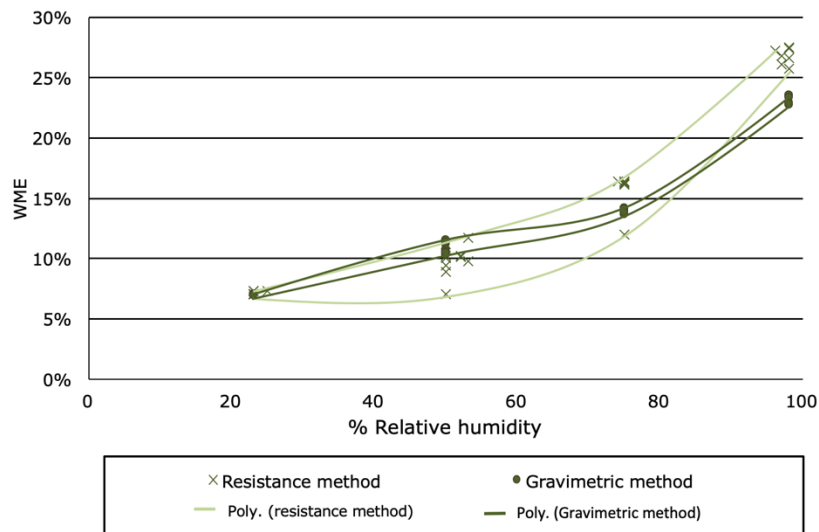


Figure 5: Scanning curves (Polyline) for moisture content in LVL based on resistance and gravimetric methods.

In Figure 6, the difference between the two measurement methods is shown. The resistance method is shown to produce higher readings of moisture content than the gravimetric method in LVL, and lower readings than the gravimetric method in pine. At low humidity percentages, the two methods provide almost the same results in LVL. The discrepancy of the readings in LVL increases with higher moisture content, while it is fairly constant in pine. A correction curve provided by the manufacturer is also shown; however, it has not been used to correct any data in this paper.

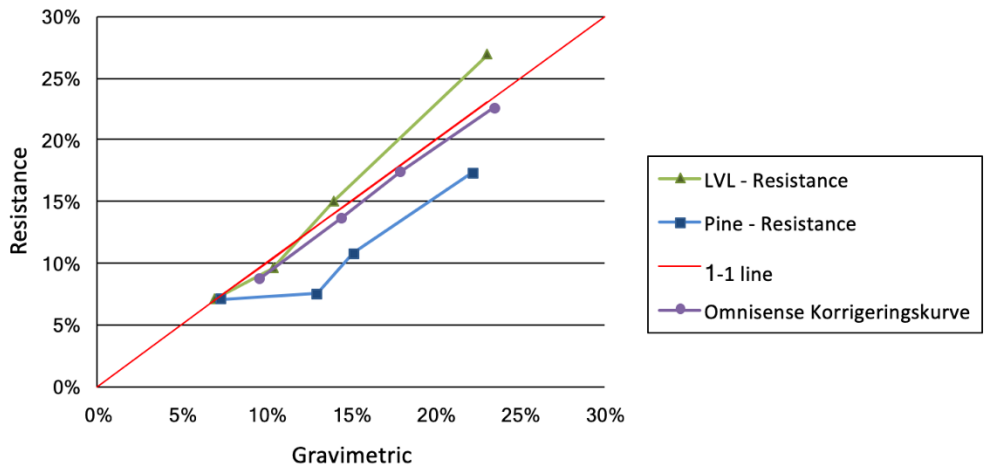


Figure 6: Difference between resistance and gravimetric measurements of moisture content in LVL and pine. An ideally calibrated sensor would have shown no difference, as illustrated by the red line.

4.2 Correction tables

The results suggest that the following tables may be used to determine the equilibrium moisture content in pine and LVL after exposure to air at various humidities:

Table 1: Correction table for pine

Relative humidity	Resistance method	Gravimetric method
23%	7,0 %	7,0 %
50%	7,3 %	11,5 %
74%	10,0 %	13,8 %
80%	11,5 %	15,0 %
86%	13,0 %	17,0 %
92%	15,0 %	19,0 %
96%	16,5 %	21,0 %
98%	17,5 %	22,0 %

Table 2: Correction table for LVL

Relative humidity	Resistance Method	Gravimetric Method
23%	7,0 %	7,0 %
43%	9,0 %	10,0 %
50%	9,5 %	11,0 %
60%	11,5%	11,0 %
65%	12,5%	12,5 %
75%	15,5%	14,0 %
79%	17,5%	15,0 %
85%	20,0 %	17,0%
90%	22,5%	19,0 %
98%	27,0 %	23,0 %

4.4 Possible error sources:

The following deviations from the measurement setup were noted that may have had an effect on the measurements: It was discovered that two of the LVL samples (L1.1. and L1.5) gave deviating results from the other samples. Even in a stable climate, L1.1 showed variations in its moisture content. The deviations were noted early in the research period, and data from L1.1 were not included in the final calculations or figures.

The inspection of the samples by sawing them in half at the end of the research period revealed that the sensor had been placed in a knothole in one of the LVL samples. Another sample had its sensor come loose from the hole it was fastened in.

5. Discussion

The following research questions were examined in this article: whether there are any differences between the measured moisture absorption in LVL and pine, whether the resistance and gravimetric methods produced different results for the two materials, and whether the measurements of moisture content through the resistance method are affected by the glue in the LVL material.

LVL appears to absorb moisture faster and to a larger degree than pine. It is theorized that capillary suction in the interface between the glue and veneer layers causes the material to absorb moisture more easily.

It seems evident that the two measuring methods give different results in both the examined materials. For low moisture levels, the two methods were accurate for both materials, but at higher moisture levels the resistance method reported too high RH in pine and too low RH in LVL. In cases where sensors use the resistance method to monitor the moisture conditions in buildings, accurate readings are important as the measured moisture levels may guide costly decisions. For instance, retrofitting a roof because the sensor readings show unacceptable moisture levels and risk of rot, where the roof in reality is within tolerated moisture ranges. A wrongly calibrated sensor may lead to a waste of resources on unnecessary work.

The literature search shows that the measurements of moisture in LVL are affected by the glue. According to measurements, the resistance method shows too high moisture levels from around 65% RH.

6. Conclusion

This study was to undertake the develop calibration curve to predict the "correct" moisture content from using a resistance moisture meter for laminated veneer lumber. The resistance method shows a higher moisture content compared to pine. Results show that LVL both takes up more moisture than pine and some factors effect the resistance in LVL when the RH goes above 65%. The resistance method then yields a too high moisture content above 65 % RH, a deviation that increases by higher RH. Conversely, for pine the resistance method gives a wood moisture equivalent that is around 3% too low. To achieve a good result with measuring the moisture content of LVL, it is important that there are no holes (knotholes, other imperfections) in the material where the sensors are placed and that the screws are tight. However, this may not always be possible to assess from the surface of the sample.

Bell, E. & Krueger, N., 1949. *Effect of plywood glue lines on the accuracy of moisture-meter indications*, s.l.: Proc. Forest prod. res. .

Bell, E. & Krueger, N., 1949. *Effect of plywood glue lines on the accuracy of moisture-meter indications.*, Madison: Forest Products Research Society.

Benestad, R., Mamen, J., Harstveit, K. & Fuglestedt, J. S., 2019. *klimaendringer*. [Online]
Available at: <https://snl.no/klimaendringer>
[Accessed 23 03 2019].

British board of Agrément, 2017. *European Technical Approval Guideline*, Watford: European Technical Assessment ETA 06/0238 of 21/08/2017.

Casieri, C. et al., 2004. Determination of moisture fraction in wood by mobile NMR device. *Journal of Magnetic Resonance*, Desember, Issue Issue 2, pp. Pages 364-372 .

Geving, S. & Holme, J., 2009. The drying Potential and Risk for Mold Growth in Compact Wood Frame Roofs with Built-in Moisture. 15 May.No.3(Vol 33).

Geving, S. & Thue, J. V., 2002. *Fukt i bygninger*. Oslo: Norsk byggforskningsinstitutt.

Glass, S. V. & Carll, C., 2009. *Moisture Meter Calibration for Untreated and ACQ-Treated Southern Yellow Pine Plywood*, Madison: United States Department of Agriculture.

Glass, S. & Carll, C., 2009. *Moisture Meter Calibration for Untreated and ACQ-Treated Southern Yellow Pine Plywood*, Madison: Forest Products Laboratory.

James, W., 1963. *Electric moisture meters for wood*. U.S.: Forest products laboratory.

Kollmann, F. & Cote, W., 1968. Principles of Wood Science and Technology. In: Heidelberg, ed. *Physics of Wood*. Berlin: Springer-Verlag New York Inc, pp. pp 160-291.

Kvande, T. & Gullbrekken, L., 2018. *Smart dampsperre Sveabakken, Norgeshus Premisser og trefuktmåling*, Trondheim: SINTEF Academic Press.

met, 2017. *Det blir våtere*. [Online]
Available at: <https://www.met.no/vaer-og-klima/det-bliir-vatere>
[Accessed 20 03 2019].

METTLER, 1999. *Operating instructions METTLER TOLEDO AM/PM Balances*. [Online]
Available at: <http://photos.labwrench.com/equipmentManuals/8421-5459.pdf>
[Accessed 28 03 2019].

Norsk Standard, 2014. *NS 3512 Måling av fukt i trekonstruksjoner*, s.l.: Standrad online AS.

Ross, R., 2010. *Wood handbook - Wood as an Engineering Material*. Madison(Wisconsin): United States Department of Agriculture.

U.S. Forest Products Laboratory, 1953. *Effects of wood preservations on electric moisture meter readings*, s.l.: Forest Prod. Lab report.

Way, D., Sinha, A. & Kamke, F., 2018. Laboratory and Outdoor Weathering of Wood-Composite I-Joists. *Journal of Materials in Civil Engineering*, p. Volum 30 .