



Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2015 og er et samarbeid mellom Samee Ullah og Jakoban Srisgantharajah. Oppgaven markerer slutten på vår 5-årige studieretning «Byggeteknikk og Arkitektur» ved NMBU (ÅS), instituttet for matematiske realfag (IMT). Oppgaveomfanget tilsvarer et arbeid for to personer, det vil si 30 studiepoeng hver. Vi synes trekonstruksjon og innemiljø i bygg har vært et spennende fagområde og det ble mer og mer interessant gjennom studieårene. Ved valg av masteroppgave var vi heldige og kom i kontakt med Kristine Nore (Seniorforsker, PhD) i Treteknisk Institutt, som ble vår biveileder. En masteroppgave i samarbeid med Treteknisk Institutt, ble spesielt lærerikt fordi instituttet har et fagmiljø med høyt kunnskapsnivå. Arbeidet med oppgaven har gitt oss et spennende, utfordrende og ikke minst et lærerikt semester. Vi vil med dette benytte anledningen til å takke alle som har hjulpet oss med å fullføre oppgaven. Vi vil rette en stor takk til instituttveileder Thomas K. Thiis og Kristine Nore ved Treteknisk institutt for all hjelp og støtte. Uten dem hadde det vært vanskelig å skrive en slik oppgave. Vi vil også takke Christoph Brueckner for hjelp med termograferingsarbeidet og Dimitrios Kraniotis for hjelp med beregningsprogrammet WUFI 2D. Alle som har gitt oss muligheten til å delta på dyre kurs og befaringer til en billig penge, fortjener også en stor takk, og det samme gjør Massiv Lust AS for å bidra med materialer som trengtes for å gjennomføre forsøket. En stor takk rettes også til familie og venner, som har støttet og kommet med kloke, oppmuntrende ord. Til slutt vil vi takke alle som har bidratt med gjennomlesing og konstruktive råd og kritikk.

Jakoban Srisgantharajah
NMBU, 15. mai 2015

Samee Ullah

Sammendrag

Vannskader på trekonstruksjoner kan føre til muggsopp-skader, dårlig innemiljø og høye utbetalinger fra forsikringsselskapene. Nyere forskning har vist at skadebegrensende tiltak bør settes i gang raskt ved vannskader. I dag bygges det stadig flere bygninger i massivtre. Denne masteroppgaven er utført i samarbeid med Norsk Treteknisk Institutt, og har som hensikt å studere massivtre i forhold til fukt, med fordypning i oppfukning og uttørking av massivtrekonstruksjon.

Det er studert hvordan fuktigheten i materialet avtar etter en viss oppfukningsperiode. Uttørkingen har foregått i laboratorium under naturlige klimaforhold med en konstant temperatur på 20°C og relativ luftfuktighet (RF) på 40 %. Fuktforløpet til 15 massivtreprøver er undersøkt. Massivtreprøvene har en flatedimensjon på 30x30 cm, med en tykkelse på 10 cm. Oppfukningsprosessen for både vegg- og gulv elementer foregikk med en vannhøyde på ca. 2 cm over en gitt tidsperiode på; 1, 3 og 7 døgn. Prøvene ble instrumentert med HygroTrac sensorer, som skulle følge fuktforløpet. En veggprøve lagt på plastfolie ble sammenliknet med en prøve som ikke var plassert på plastfolie. Det viste seg at plastfolie forsinker uttørkingen med ca. 77kg/m³ vanninnhold sammenliknet med et veggelement uten plastfolie. Denne observasjonen ble gjort på en prøve som ble oppfuktet i 7 døgn og deretter uttørket i 24 dager. I tillegg er det brukt et termograferingskamera for å undersøke hvor fukten i massivtrekonstruksjonen befinner seg.

Forsøksresultatene viser at oppfuktingen skjer raskt, mens fuktinnholdet ved uttørkingen avtar raskt i starten men går langsommere mot slutten. Videre viser resultatene at 7 døgn med oppfukting av massivtre ikke gir noen stor fare for biologisk vekst av muggsopp, og dette skyldes den hurtige uttørkingen ved start.

WUFI 2D er benyttet som simuleringsprogram for å kunne si noe om uttørkingsprosessen over en lengre tidsperiode. Simuleringene i WUFI 2D tar utgangspunkt i laboratorieforsøkets inngangsparametere; fuktinnhold, tid, klima, og

temperatur. I tillegg ble prøvene simulert med og uten lim. Resultatene fra simuleringene viser at materialene har en høyere uttørkingshastighet i forhold til målt fukt under den praktiske delen av oppgaven. I tillegg ble det observert at limprøvene har en høyere uttørkingshastighet i starten enn prøvene uten lim. Siden målingene var forskjellig fra simuleringene måtte det konkluderes med at det transiente beregningsprogrammet, WUFI 2D muligens ikke egner seg til å forutsi fuktforløpet for massivtre.

Abstract

Water damage on wooden structures may cause mold damage, poor indoor environment, and high payments from insurance companies. Recent research has shown that if water damage occurs, immediate measures should be taken to limit the damages. Nowadays more buildings are built in cross- laminated timber. This thesis was done in co-operation with Norwegian Institute of Wood Technology, with the intention of studying cross- laminated timber with respect to moisture, specializing in wetting and drying of cross- laminated timber.

We studied how the moisture in the materials decreased after the wetting process. The drying of the materials was done in a laboratory with natural indoor climate conditions, that is, a constant temperature of 20 °C and relative air humidity of 40 %. The study also examines the wetting process of 15 cross- laminated timber samples. These samples were both floor and wall elements, measuring 30x30 cm with a thickness of 10 cm. The process of wetting the samples was done with a water level of approximately 2 cm, and over given time frames of 1, 3 and 7 days. HygroTrac sensors were set up to monitor each sample throughout the wetting process. A thermographic camera was used to localize where the humidity in the cross- laminated timber occurred. After the wetting process, one of the wall samples was placed on a plastic cling film and dried along with the other samples. In comparison to a regular sample, the cling film proved to retard the drying process with approximately 77kg/m³ of moisture. This observation was done on a sample wetted for 7 days and dried for 24 days.

The results yield that the wetting occurred fast, while the moisture content with regards to desiccation decreased fast in the start, but slowed down towards the end. The results indicates that 7 days of wetting the cross-laminated timber does not facilitate growing conditions for mold, due to the rapid drying in the beginning.

The simulation program WUFI 2D was used to shed some light on the drying process over an extended period of time. The parameters in WUFI 2D simulation were based on

the same input parameters of the laboratory, which consisted of; moisture content, time, indoor climate and temperature. The samples were simulated with and without using glue. The results from the simulations show that the materials have a higher drying rate compared to measured humidity as done in the practical part of the thesis. The simulation also reveals that the samples with glue had a higher drying rate in the beginning then the samples without glue. Because the results from the lab and computer simulation were different, we have to conclude that the simulation program WUFI 2D, may not be suitable to predict moisture development for cross- laminated timber.

Innholdsfortegnelse

Forord	II
Sammendrag.....	III
Abstract	V
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for problemstillingen.....	2
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Avgrensning og målgruppe	3
2. Teori.....	4
2.1 Trevirke – gran.....	4
2.1.1 Generelt.....	4
2.1.2 Oppbygging.....	4
2.1.3 Densitet	5
2.1.4 Fibermetningspunkt	7
2.1.5 Muggsopp	8
2.1.6 Isotrop- og anisotropmateriale.....	8
2.1.7 Materialets poresystem og hygroskopiske egenskaper	9
2.2 Massivtre	10
2.3 Varme	12
2.3.1 Latent varme	12
2.3.2 Adsorpsjonsvarme	13
2.3.3 Varmetransport	15
2.4 Fukt.....	19
2.4.1 Vannets egenskaper	19
2.4.2 Luftfuktighet.....	20
2.4.3 Den relative luftfuktigheten	20
2.4.4 Luftfuktighetsdiagram (Mollier - diagram).....	21
2.4.5 Uteluftas fuktinnhold	22
2.4.6 Inneluftas fuktinnhold.....	22
2.4.7 Fuktmekanikk.....	23
2.4.8 Porer	23
2.4.9 Fuktbinding	23

2.4.10	Fuktinnhold	25
2.4.11	Fukttransportmekanismer	29
2.4.12	Fukttransport.....	30
2.4.13	Vanndampdiffusjon	31
2.4.14	Fukttransport i væskefase	32
2.4.15	Fuktkonveksjon.....	33
2.5	Uttørkingsmetoder	34
2.5.1	Oppvarming og ventilasjon	35
2.5.2	Avfuktingsaggregater	36
2.5.3	Naturlig uttørking	36
2.6	Fukt- og temperaturmålingsutstyr	37
2.6.1	Veiecelle	37
2.6.2	Trefuktmåler	37
2.6.3	HygroTrac.....	38
2.6.4	Relativ fuktighetshygrometer	39
2.6.5	Termografering.....	39
2.7	WUFI 2D.....	40
2.7.1	Generelt om WUFI 2D.....	40
2.7.2	Kalkulasjonsmetode:.....	43
3.	Metode	45
3.1	Kvalitativt og kvantitativt forskningsmetode	45
3.2	Valg av metode.....	45
3.3	Datainnsamling.....	46
3.4	Forarbeid til laboratorieforsøk.....	46
3.4.1	Produksjonsprosessen av massivtre hos Massiv Lust AS.....	47
3.5	Laboratorieforsøk.....	49
3.5.1	Metode og metodeutvikling	49
3.5.2	Oppfuktingsprosessen.....	51
3.5.3	Uttørkingsprosessen.....	52
3.5.4	Termografering.....	53
3.6	Simulering i WUFI 2D.....	55
3.6.1	Trelameller	55
3.6.2	Lim	57

3.6.3	Datainput.....	57
4.	Resultater.....	62
4.1	Preparering av prøver.....	64
4.2	Målinger og simuleringer (sammensatte prøver).....	65
4.3	Målinger og simuleringer for enkeltelementer i sammensatte prøver.....	67
4.4	Relativ fuktighet og temperatur fra WUFI 2D.....	72
4.5	Relativ fuktighet og temperatur fra sensorene.....	74
4.6	(%WME) fra sensorene.....	76
4.7	Beregningsresultater.....	77
4.7.1	Beregningsresultater for sammensatte prøver.....	77
4.7.2	Beregningsresultater for enkeltelementer i sammensatte prøver.....	79
4.7.3	Sensor kalibrering.....	80
4.8	Termografering.....	81
5.	Diskusjon.....	86
5.1	Målekvalitet og usikkerhet.....	86
5.2	Preparering av prøver.....	86
5.3	Målinger og simuleringer (sammensatte prøver).....	87
5.4	Målinger og simuleringer for enkeltelementer i sammensatte prøver.....	88
5.5	Relativ fuktighet og temperatur fra WUFI 2D.....	92
5.6	Relativ fuktighet og temperatur fra sensorene.....	92
5.7	(%WME) fra sensorene.....	93
5.8	Termografering.....	94
6.	Konklusjon.....	96
7.	Videre arbeid.....	98
8.	Bibliografi.....	99
9.	Vedlegg.....	A
	Vedlegg 1: Vektmålinger.....	A
	Vedlegg 2: Målt vektprosent ved motstandsmåler.....	D
	Vedlegg 3: Startfukten for preparerte prøver i sjikt 1 [kg/m ³].....	E
	Vedlegg 4: Initialbetingelser i WUFI 2D.....	F
	Vedlegg 5: Sensor registrering.....	J

Figurliste

Figur 1 Viser inndelingen av skadekilder for byggskader i en tidsperiode: 1993–2002 (Kvande & Lisø 2010)	1
Figur 2 «Skjematisk oppbygging av fiberstrukturen i bartre med langstrakte celler» (Edvardsen & Ramstad 2014)	5
Figur 3 «Krymping av trevirke» (Lundesgaard Jon & Institutt 2000)	6
Figur 4 «Krymping av trematerialer» (Lundesgaard Jon & Institutt 2000)	6
Figur 5 «Krymping av trematerialer» (Lundesgaard Jon & Institutt 2000)	7
Figur 6 «Fuktinnhold i cellehulrom og cellevegger» (Geving & Thue 2002)	8
Figur 7 «a-d Forskjellige typer materialstruktur og poresystem» Figur a viser et materiale uten porer, figur b viser et faststoff med lukkede porer, figur c viser et kontinuerlig faststoff og poresystem, og figur d viser et diskontinuerlig faststoff (Geving & Thue 2002).	9
Figur 8 «Aktuelle prinsipper for moderne massivtrebygg er plank sammenføyed med spiker(a), lim(b) eller tredybler (c), tverrspenning (d), limte flersjiktspalter(e) og limte flersjiktspalter med hulrom (f)» (Kristensen 1999).....	11
Figur 9 Viser eksempel på et sammenføyd krysslimt massivtreelement (Aarstad et al. 2008)	11
Figur 10 Viser adsorpsjonsenergien og endring av energinivået i forhold til metningsgraden til trevirket (Hameury 2005), etter (Siau 1995).....	14
Figur 11 Ledning, konveksjon og stråling er tre former for varmetransport i en bygningsdel (Edvardsen & Ramstad 2014)	15
Figur 12 «Eksempel på todimensjonalt problem» (Thue 2012)	17
Figur 13 Viser stråling som kommer inn mot en flate (Geving & Thue 2002)	19
Figur 14 «Luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom temperatur, RF, vanndampinnhold og damptrykk» (Geving 2005)	21
Figur 15 Viser fukttilskudd i eneboliger og eksempelvis blokker, som gjelder for en utetemperatur under 5 °C. Kurvene er basert på en svensk undersøkelse på 1200 boliger (Geving 2011)	22
Figur 16 Kapillærkondensasjon i porer, og dannelse av væskemenisk (Geving & Thue 2002)	24
Figur 17 «Fuktinnhold i et materiale» (Geving & Thue 2002).....	26

Figur 18 Sorpsjonskurver for ulike materialer (Geving & Thue 2002).....	28
Figur 19 Viser et gap mellom absorpsjons- og desorpsjonskurven, som kalles hysteresis (Geving & Thue 2002)	29
Figur 20 «Vanlige fuktpåkjenninger og transportformer» (Geving 2005)	31
Figur 21 «Vanndampdiffusjon gjennom et homogent materiale» (Geving 2005)	31
Figur 22 Viser opptak av fukt i porøse materialer (Geving 2005)	32
Figur 23 Lufttrykkfordeling langs høyden i en bygning som følge av skorsteinseffekten (Geving 2005)	34
Figur 24 Trefuktmåler/ motstandsmåler (Einstabland 2005).....	38
Figur 25 HygroTrac sensor.....	38
Figur 26 Massiv Lust AS, Produksjonshall og kontorer (Massiv Lust AS).....	47
Figur 27 Ferdig sammensatt massivtre i hallen.....	47
Figur 28 CNC- maskinen er programmert for 30x30 cm prøver	48
Figur 29 CNC- maskinen skjærer ut et av prøvestykkene	48
Figur 30 Dimensjonene ble kontrollert underveis etter at halve prøven var utskåret.....	49
Figur 31 Ferdig utskåret prøve	49
Figur 32 Prøvene satt i tørkeskapet.....	49
Figur 33 Vektmåling av en prøve på veiecellen.....	49
Figur 34 Trefuktighetsmåleren viser fuktprosenten i materialet	50
Figur 35 Viser de tre ulike stikningsområdene på elementet.....	50
Figur 36 Flytende smøremembran.....	51
Figur 37 Forseglet vegg.....	51
Figur 38 Forseglet gulv	51
Figur 39 Oppfukting av vegger og gulv	52
Figur 40 Uttørking på laboratoriet.....	52
Figur 41 Snittet av termograferingsområdet	54
Figur 42 Konstruksjonen som ble programmert inn i WUFI 2D.....	55
Figur 43 Oppbygning av konstruksjonen i WUFI 2D uten lim.	59
Figur 44 Oppbygning av konstruksjonen i WUFI 2D med lim.	60
Figur 45 Eksempel på vekttap for en av prøvene som har ligget i tørkespet i 3 døgn	64
Figur 46 Fuktforløp for 31 døgn.....	65
Figur 47 Fuktforløp for 31 døgn.....	66
Figur 48 Fuktforløp for 31 døgn.....	66

Figur 49 Plassering av veggsensorer	67
Figur 50 Viser fuktforløp for 1 døgns prøven for vegg	68
Figur 51 Viser fuktforløp for 1 døgns prøven for gulv	68
Figur 52 Viser fuktforløp for 3 døgns prøven for vegg	69
Figur 53 Viser fuktforløp for 3 døgns prøven for gulv	69
Figur 54 Viser fuktforløp for 7 døgns prøven for vegg	70
Figur 55 Viser fuktforløp for 7 døgns prøven for gulv	70
Figur 56 Viser fuktforløp for vegg 15	71
Figur 57 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 1 døgns prøvene, tidsperiode for uttørking er 21.02.15 - 23.03.15.....	72
Figur 58 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 3 døgns prøvene, tidsperiode for uttørking er 23.02.15 - 23.03.15.....	72
Figur 59 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 7 døgns prøvene, tidsperiode for uttørking er 27.02.15 - 23.03.15.....	73
Figur 60 RF og temperatur variasjon i vegg 15 (7 døgns prøve), tidsperiode for uttørking er 27.02.15 - 23.03.15.....	73
Figur 61 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 1 døgns prøvene, tidsperiode for oppfukting og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 21.02.15 og 21.02.15 - 23.03.15.....	74
Figur 62 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 3 døgns prøvene, tidsperiode for oppfukting og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 23.02.15 og 23.02.15 - 23.03.15.....	75
Figur 63 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 7 døgns prøvene, tidsperiode for oppfukting og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 27.02.15 og 27.02.15 - 23.03.15.....	75
Figur 64 RF og temperatur variasjon i vegg 15 (7 døgn), tidsperiode for oppfukting og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 27.02.15 og 27.02.15 - 23.03.15	76
Figur 65 Prosentøkning i vanninnhold for sammensatte prøver	78
Figur 66 Fuktopptak i vegger og gulv	80
Figur 67 Til venstre: prøve (1+2), til høyre: prøve (3+4). Prøvene ble termografert etter 6 døgn med uttørking og brukt som referanse til prøve (13+14), som ble termografert umiddelbart etter 7 døgn med oppfukting.....	81
Figur 68 Til venstre: prøve (13+14), som ble tatt ut og termografert etter 7 døgn med oppfukting. Til høyre, prøve (3+4), brukt som referanse.....	81
Figur 69 Prøve (13 + 14), vertikalsnitt	82

Figur 70 Den ene halvdel av prøve (13 + 14) ble kappet på ny og termografert etter 10 døgn med uttørking	82
Figur 71 Beregnet profil i WUFI 2D, simulert for uttørking i 10 døgn (oppfuktet i 7døgn).	83
Figur 72 Viser temperaturgradienter for den termiske profilen fra termograferingskamera og WUFI 2D.	83
Figur 73 Prøve (11 + 12) ble kappet i to etter 24 dager med uttørking.	84
Figur 74 Viser termisk fokusering av prøve (11 + 12)	84
Figur 75 Uttørking 1 time.....	85
Figur 76 Uttørking 10 døgn	85
Figur 77 Uttørking 24 døgn	85
Figur 78 Uttørking 1 time.....	85
Figur 79 Uttørking 10 døgn	85
Figur 80 Uttørking 24 døgn	85

Tabelliste

Tabell 1 Viser oversikt over materialegenskapene til gran ved 12% trefuktighet (Edwardsen & Ramstad 2014)	6
Tabell 2 Porediameteren D, sortert etter makro, mikro og submikronivå (Geving & Thue 2002).	9
Tabell 3 Ulike måter som kan benyttes for å angi fuktinnholdet i et materiale (Geving & Thue 2002).....	25
Tabell 4 Oversikt over ulike fukttransportmekanismer og drivpotensial for transport (Geving & Thue 2002)	30
Tabell 5 Viser oversikt over de forskjellige prøvene	53
Tabell 6 Valg av treretninger:	56
Tabell 7 Viser oversikt over materialbruk i WUFI 2D.....	56
Tabell 8 Materialbruk i WUFI 2D	57
Tabell 9 Input data for «surface/climate»	58
Tabell 10 oversiktstabell for resultatdelen	63
Tabell 11 Vekttap i prøver ved plassering i varmeskapet.....	64
Tabell 12 Vurdering av muggvekst.....	76

Parametere

Symbol	Definisjon	Enhet
ρ	Tetthet/romdensitet	kg/m^3
ρ_{sol}	Densiteten av materialets faststoff (uten porer)	
W_{hygr} W_{cr} W_{cap} W_{max}	Vanninnhold	kg/m^3
V	Volum	m^3
δ_p	Vanndamppermeabilitet	kg/msPa
$\delta_{\text{px}}, \delta_{\text{py}}$	Vanndampdiffusjonskoeffisient	
u	Vektprosent	%
RF, φ	Den relative luftfuktigheten	
λ k	Varmekonduktivitet Proporsjonalitetsfaktoren, som også kalles for varmeledningsevne	$\text{W}/(\text{mK})$
E	E-modul, bøyning	N/mm^2
α	Varmeutvidelseskoeffisient: Langs fibrene, normalt på fibrene	$\text{mm}/(\text{mK})$
c	Spesifikk varmekapasitet	kJ/kgK
L	Latent varme	kJ/kg
ΔH_s	Adsorpsjonsvarme	kJ/kg
H_m	Total fordampningsvarme	kJ/kg
H_s	Sublimasjonsvarme	kJ/kg

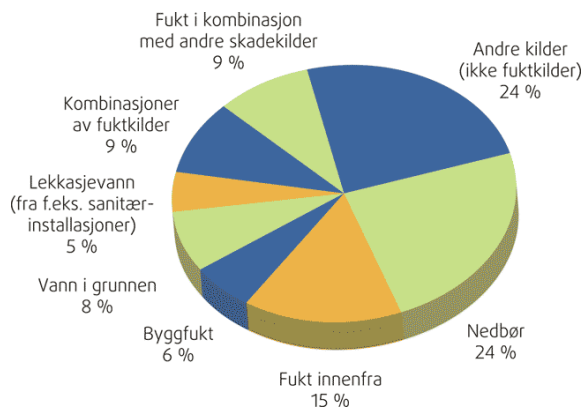
H_i	Smeltevarme	kJ/kg
H_v	Fordampingsvarme	kJ/kg
q_x	Varmestrømstettheten i x- retning	J/m ² s
Q_x	Varmemengden	J eller W/m ²
dA	Flatens areal	m ²
dT	Tiden	s
$\partial T / \partial x$	Temperaturgradienten	K/m
T	Flatetemperatur	K
T_s	Overflatens temperatur	
T_a	Fluidtemperatur	
q_{cv}	Varmetransporten	W/m ²
E	Den totale varmestrålingen	
h_c	Konvektive varmeovergangstallet	W/m ² K
nm	Nanometer	nm
ε	Overflatens emissivitet [$0 \leq \varepsilon \leq 1$]	-
σ	Stefan-Boltzmanns konstant (= $5,67 \cdot 10^{-8}$)	W/m ² K ⁴
V	Vanndamp	g/m ³
v_{sat}	Metningsinnholdet i lufta	
Δv	Forskjellen i vanndampinnhold	
p_v	Vanndamptrykk Vanndampens partialtrykk	Pa eller N/m ²
x	Fuktgrad, det vil si vanndampmasse per kg tørr luft	kg/kg
d	Tykkelsen	m
r	Radius	mm
u	Fuktmasse per tørrstoffmasse	kg/kg eller vektprosent
w	Fuktmasse per materialvolum	kg/m ³
ψ	Fuktvolum per materialvolum	m ³ /m ³ eller volumprosent
S	Metningsgrad, fuktvolum per porevolum	[-] eller prosent

Δp_v	Damptrykkforskjellen på de to sidene av materialet	Pa
g	Vanndamptransporten	$\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$
T	Lufttemperaturen	$^{\circ}\text{C}$
n	Porøsitet	m^3/m^3
μ	Motstandsfaktor for vanndamp	-
S_d	Ekvivalent luftlagstykkelse	m
h_v	Fordampningsentalpi for vann	J/kg
$dH/d\theta$	Varmelagringskapasiteten til fuktig bygningsmateriale	$\text{J}/\text{m}^3\text{K}$
$dW/d\phi$	Fuktlagringskapasiteten	kg/m^3
$D\phi_x, D\phi_y$	Væsketransportskoeffisient	kg/ms

1. Innledning

Det blir stadig vanligere å bygge i massivtre, men i nasjonal sammenheng er det fortsatt lite kunnskap knyttet til materialets fuktegenskaper. Det ønskes derfor i denne oppgaven å studere dette temaet nærmere, med fordypning i oppfukting og uttørking av en massivtrekonstruksjon.

Forsikringsselskapene i Norge mottar årlige meldinger om vannskader på bygninger. I 2014 var det meldt om 58 189 tilfeller. Ved vannskader bør man gjøre tiltak for å begrense skadene umiddelbart. Effektiv skadebegrensning fører til at man kan begrense skadeomfanget som for eksempel muggsoppskader (Mattsson & Stensrød 2009). I tidsperioden 1993-2002 ble det, på bakgrunn av SINTEF Byggforsk sin skadedatabase, utarbeidet en oversikt over ulike kilder for byggskader. Oversikten viste at omlag 76% av skadene i mer eller mindre grad skyldtes fukt i ulike former (Geving 2011), se Figur 1. Denne oppgaven vil derfor være relevant for byggebransjen.



Figur 1 Viser inndelingen av skadekilder for byggskader i en tidsperiode: 1993–2002 (Kvande & Lisø 2010)

1.1 Bakgrunn for problemstillingen

For å få til en interessant, spennende og lærerik oppgave var det ønskelig med en forskningsdel i oppgaven. Tanken var å studere noe som kunne være til nytte for byggebransjen og ikke minst det firmaet vi skriver oppgaven for. I første omgang ble det mottatt noen rapporter fra Treteknisk Institutt, som ga en overordnet oversikt over forskning innen massivtre, og hvor langt de har kommet i forskningsprosessen.

En av rapportene som ble tilsendt var «*Cross Laminated Timber vs. timber frame walls in water damage – comparing drying and mould growth*» (Kristine Nore et al. 2014). Denne rapporten dreier seg hovedsakelig om testing av to forskjellige bindingsverksvegger, et av standard bindingsverk og et av krysslagte lameller (CLT). Bindingsverksveggene ble lagt helt under vann i 48 timer og ble deretter satt til tørking. Disse veggene fikk mugg- og råteskader etter en uke. Sammenliknet med bindingsverksveggene viste det seg at de krysslimte lamellene nesten ikke var fuktet etter 48 timer, og kunne absorbere mer vann gjennom isolasjonen mellom lamellene. De krysslimte lamellene var også mindre utsatt for muggvekst, men tørketiden var lenger enn for bindingsverksveggene (Kristine Nore et al. 2014).

Med utgangspunkt i konklusjonen «massivtre tar opp mindre fuktighet, men har likevel en lenger uttørkingstid enn bindingsverksvegger» ble det bestemt å se på de foreliggende mulighetene for uttørking av CLT konstruksjoner. Det var først og fremst ønskelig å se på oppfukting i overgangen mellom en innvendig skillevegg og gulv, og deretter prøve ut den verst tenkelige uttørkingsmetoden. Videre var det ønskelig å se på det mest kritiske uttørkingstiltaket og hvordan dette reduserer risikoen for vannskader i CLT konstruksjoner.

Som bakgrunn for uttørkingsdelen av forskningen er forskningsrapporten «Vannskader – skadebegrensning, uttørking og sanering» studert. I rapporten er det anbefalt å starte uttørkingen snarest, og senest innen en uke for å unngå faren for vekst av mikroskopiske små arter som for eksempel mugg- og råtesopp. Uttørkingen bør ikke foregå for raskt selv om det er viktig å sørge for en rask oppstart av uttørking. En rask uttørking kan føre til at trematerialet deformeres og sprekker opp. Lufttemperaturen i omgivelsene bør ikke være for tørr eller varm. Et rom med relativ fuktighet på 30-40%,

regnes som optimalt. Temperaturen bør vurderes etter fare for oppsprekking av materialet. Hvis faren for oppsprekking er liten, kan temperaturen med fordel økes (Blom Peter et al. 2003).

1.2 Problemstilling

Hensikten med oppgaven er å måle og simulere oppfukting og uttørking av en innvendig skillevegg av massivtre. Konstruksjonen er blitt simulert i WUFI 2D, for å kunne si noe om uttørkingsprosessen over en gitt tidsperiode og også for å se på betydningen av limsjikt.

Forskningsspørsmål:

- Hvordan vil oppfukting og uttørkingsforløpet være for massivtreelementene?
- Hvordan synker fuktigheten i materialet etter en gitt oppfuktingsperiode på henholdsvis 1, 3 og 7 døgn? Vil bruk av lim ha noe å si for uttørkingstiden?
- Hvordan vil uttørkingsforløpet for et veggelement som ligger på byggfolie være sammenliknet med en som har direkte kontakt med gulvoverflaten?
- Er det mulig å detektere fukt ved bruk av et termograferingskamera?

Hypotesene som blir undersøkt er:

- Massivtreelementer har gode uttørkingsegenskaper under naturlig uttørking.
- WUFI 2D er godt egnet til simulering av uttørkingsforløp, og vil være en god tilnærming til den praktiske delen som vi utfører på laboratoriet.
- Termograferingskamera er egnet til å finne fuktforskjeller i en massivtrekonstruksjon.

1.3 Avgrensning og målgruppe

På grunn av tidsmessige forhold har vi begrenset oppgaveomfanget og valgt å se på hvordan oppfukting og uttørking av en innvendig massivtrekonstruksjon foregår i en avgrenset tidsperiode. Oppgaven er relevant for byggebransjen, spesielt de som jobber med bygningsrehabilitering, leverandører av trekonstruksjoner og skadebegrensende firmaer.

2. Teori

Teorien i dette delkapittelet er for det meste hentet fra Trehusboka (2014), Fukt i bygninger (2012), Byggforsk blader og rapporter fra Treteknisk. Ved bruk av en annen kilde vil det bli sitert.

2.1 Trevirke – gran

2.1.1 Generelt

I Norge er det først og fremst gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*) som benyttes ved husbygging. Grantreet har sin utbredelse nord og øst i Europa, og vokser også i Norge. Veden er lys gulhvit. Til konstruksjonsformål er gran dominerende (Edwardsen & Ramstad 2014).

I Norge blir det hvert år tatt ut ca. 10 millioner kubikkmeter tretømmer og tallet har vært økende de siste årene. Treindustrien utnytter omtrent 100 % av tømmeret. I denne oppgaven fokuseres det videre på massivtre, som er av tresorten gran (Edwardsen & Ramstad 2014). Grantømmeret brukes for det meste til skurlast, møbler, produksjon av spon- og fiberplater og også papir.

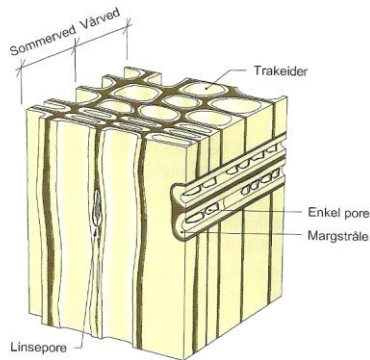
2.1.2 Oppbygging

Omtrent 95 % av granveden består av trakeider, som også kalles for fibre. Trakeidene er langstrakte celler og kan være opptil 200 ganger sin egen bredde, eller opptil 6 mm lange (Kilde 2011).

Disse trakeidene er vanntransporterende celler som løper parallelt i trevirkets lengderetning. Ellers består granveden stort sett av margstråleceller (tverrgående parenkymceller og trakeidale celler) og noe langsgående parenkymceller. Mellom trakeidene foregår vanntransporten gjennom såkalte linseporer, mens det er enkle porer mellom parenkymcellene. Forbindelsen mellom en trakeide og en parenkymcelle blir kalt halvlinsepore (Kilde 2011).

Ved å studere årringer i trestammens tverrsnitt, kan man se at trevirke består av to typer ved, vårved og sommerved. Om våren vokser trevirke fortere og det dannes lys

vårved med lav densitet. Dette skyldes store cellehulrom i vårveden med tynne vegger. Om sommeren er det stikk motsatt. Da dannes det kompakt og mørk sommerved med høy densitet. Den innerste veden i stammen karakteriseres som kjerneved og har den egenskapen at den har et naturlig lavere fuktinnhold enn de ytre lagene. De mekaniske vedcellene avstiver treet (Kilde 2011).



Figur 2 «Skjematisk oppbygging av fiberstrukturen i bartre med langstrakte celler» (Edwardsen & Ramstad 2014)

2.1.3 Densitet

Gran har høy stivhet og styrke i forhold til densiteten. Dermed egner den seg godt til konstruksjonsvirke. Norsk gran har en gjennomsnittstetthet på ca. 470kg/m^3 ved ca. 12 % fuktighet (Edwardsen & Ramstad 2014). Densiteten i trevirket vil øke med økende fuktopptak fra omgivelsene.

Densiteten er forholdet mellom masse og volum, begge i fuktig tilstand, og kan beregnes slik:

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

Hvor:

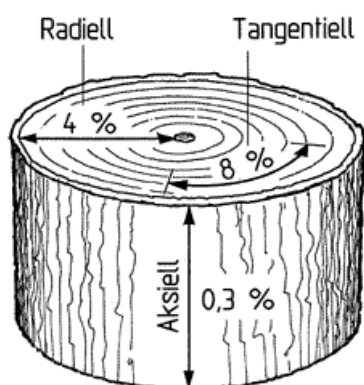
m = masse

V = volum

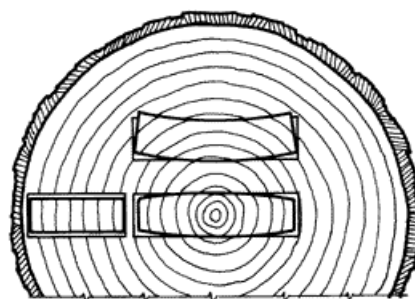
Tabell 1 Viser oversikt over materialegenskapene til gran ved 12% trefuktighet (Edvardsen & Ramstad 2014)

Egenskap	Gran	Enhet
Densitet	470	kg/m ³
Bøyestivhet	78	N/mm ²
Strekfasthet langs fibre	90	N/mm ²
Trykkfasthet langs fibre	50	N/mm ²
Trykkfasthet normalt på fibre	2,7	N/mm ²
E-modul, bøyning	11000	N/mm ²
Krymping (fra 30% til 0% fuktinnhold)		
Aksielt	0,1-0,3	%
Radielt	3,5-4,0	%
Tangentielt	7,8-8,0	%
Volum	11,6-12,0	%
Varmekonduktivitet, λ	0,13	W/(mK)
Varmeutvidelseskoeffisient:		
Langs fibre	0,005	mm/(mK)
Normalt på fibre	0,04	mm/(mK)
Spesifikk varmekapasitet	1,9	kJ/(kgK)

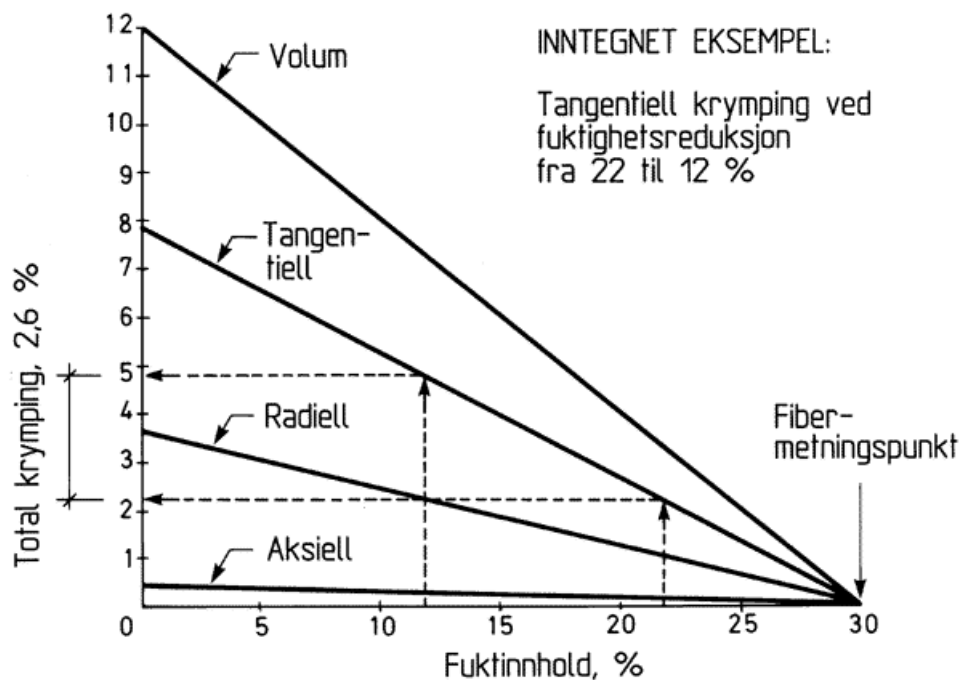
Trevirkets mekaniske egenskaper er oppsummert i Tabell 1. Fra tabellen er det viktig å legge merke til at gran krymper lite. I lengde-, radiell- og tangentiell retning er krympingen forholdsvis 0,1 - 0,3 %, 3,5 - 4 % og 7,8 - 8 %, se Figur 3 og Figur 4. Disse verdiene gjelder for uttørking av trevirket gran, fra et fibermetningspunkt på ca. 30 % og ned til 0 % trefuktighet, se Figur 5. For mer om fibermetningspunkt, se punkt 2.1.4.



Figur 3 «Krymping av trevirke» (Lundesgaard Jon & Institutt 2000)



Figur 4 «Krymping av trematerialer» (Lundesgaard Jon & Institutt 2000)



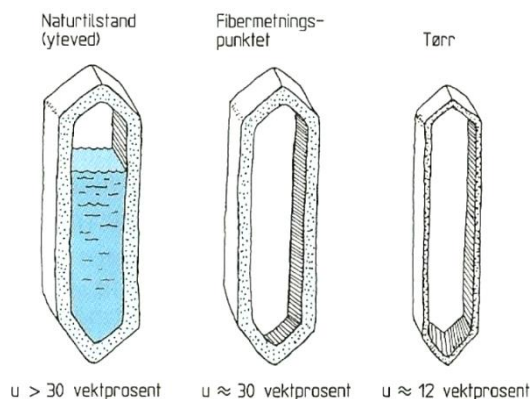
Figur 5 «Krymping av trematerialer» (Lundesgaard Jon & Institutt 2000)

2.1.4 Fibermetningspunkt

Figur 6 viser hvor mye fuktinnhold det finnes i hulrom- og veggceller ved naturlig-, fibermetnings- og tørr tilstand. Når fritt vann i cellehulrommene er uttørket og celleveggenes porer er fullstendig vannmettet, kalles det for fibermetningspunkt.

Fibermetningspunktet for gran vil ligge på 28 - 30 vektprosent, som tilsvarer ca. 95 - 98 % RF. Fibermetningspunktet avhenger av temperatur og treslag. Ved 20 °C regnes det at fibermetningspunktet for gran er ca. 28 vektprosent (Geving & Thue 2002).

Når fuktinnholdet i et materiale ligger nært eller høyere enn fibermetningspunktet over lenger tid vil det kunne gi råte- og soppkader. Ekte hussopp vil allerede begynne å vokse ved et fuktinnhold på omtrent 20 vektprosent (Geving & Thue 2002).



Figur 6 «Fuktinnhold i cellehulrom og cellevegger» (Geving & Thue 2002)

2.1.5 Muggsopp

Vekst av muggsopparter oppstår i forbindelse med fuktskader. For at disse soppartene skal ha en biologisk vekst er de avhengig av næring, vann, tid, og temperatur. Høyt fuktinnhold i trevirke kan føre til mugg og råtesopp-skader. Muggsopp-sporene vil begynne å spire på en fuktig materialoverflate (Mattsson & Stensrød 2009).

Den største faren for soppvekst er når materialet har en trefuktighet på 30 - 40 %, og temperatur rundt 30 °C. Her vil vekstbetingelsene være tilstede med en gunstig temperatur samt at det finnes fritt vann i cellehullrommene og nok luft (oksygen) (Tronstad 2006).

2.1.6 Isotrop- og anisotropmateriale

Hovedmaterialene som benyttes under konstruksjonsbygging er stål, tre og betong. Det er av stor betydning å kjenne til de mekaniske egenskapene som inngår i materialet.

Hvis egenskapene er like overalt, kalles materialet homogent. Stål og tre er eksempler på homogene materialer, mens betong ikke er det (Dyrbye & Englev 2009 - 2014).

En enkel forklaring kan være knyttet til matematikken. Hvis vi tar for oss en kule og måler lengden fra sentrum og ut til skallet, så ser vi at det er lik lengde i alle retninger, og kalles isotrop. Hvis vi derimot ser på en kube og måler lengden fra midtpunktet og ut til hjørner og sidene, ser vi at det er større avstand til hjørner enn til sidekantene. Det vil si at elementet er anisotrop.

I bygningsfysikken regnes stort sett stål og betong som isotrope materialer, mens tre er karakterisert som anisotrop, blant annet fordi egenskapene varierer med varierende retning. Treverk er for eksempel langt sterkere i vekstretningen enn tverretningen (Dyrbye & Englev 2009 - 2014).

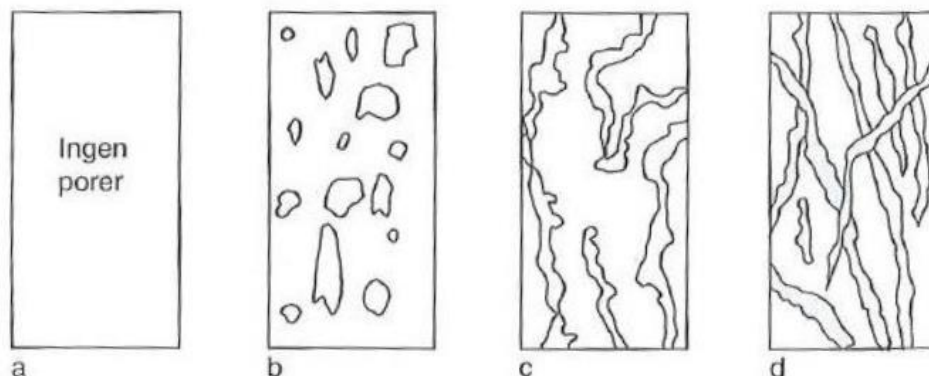
2.1.7 Materialets poresystem og hygroskopiske egenskaper

Porøsitetsallet n (se Figur 7) kan variere betydelig ut fra valg av materiale. Det vil derfor være hensiktsmessig å studere porenes egenskaper i forbindelse med fuktopptak og fukttransport. Porediameteren varierer ganske mye, og kan deles opp i ulike nivåer som makro-, mikro- og submikronivå, se Tabell 2.

Tabell 2 Porediameteren D , sortert etter makro, mikro og submikronivå (Geving & Thue 2002).

Makro	$D > 0,2 \text{ mm}$
Mikro	$200\text{nm} < D < 0,2\text{mm}$
Submikro	$D < 200\text{nm}$

De små porene transporterer ikke fukt like hurtig som de store porene. Porevolumet kan finnes ved å utføre ulike labforsøk som for eksempel koking eller langtidsneddykking av materiale i vann. Disse kan også kombineres med vakumbehandling. Vi ønsker ikke å gå i dybden på disse labforsøkene, men dette er en oversikt over de forskningsmetoder som kan benyttes for å finne det aktuelle poreinnholdet (Geving & Thue 2002).



Figur 7 «a-d Forskjellige typer materialstruktur og poresystem» Figur a viser et materiale uten porer, figur b viser et faststoff med lukkede porer, figur c viser et kontinuerlig faststoff og poresystem, og figur d viser et diskontinuerlig faststoff (Geving & Thue 2002).

Porøsiteten bestemmes ut i fra det totale vanninnholdet i et materiale.

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

n = porøsiteten

ρ = romdensiteten [kg/m^3]

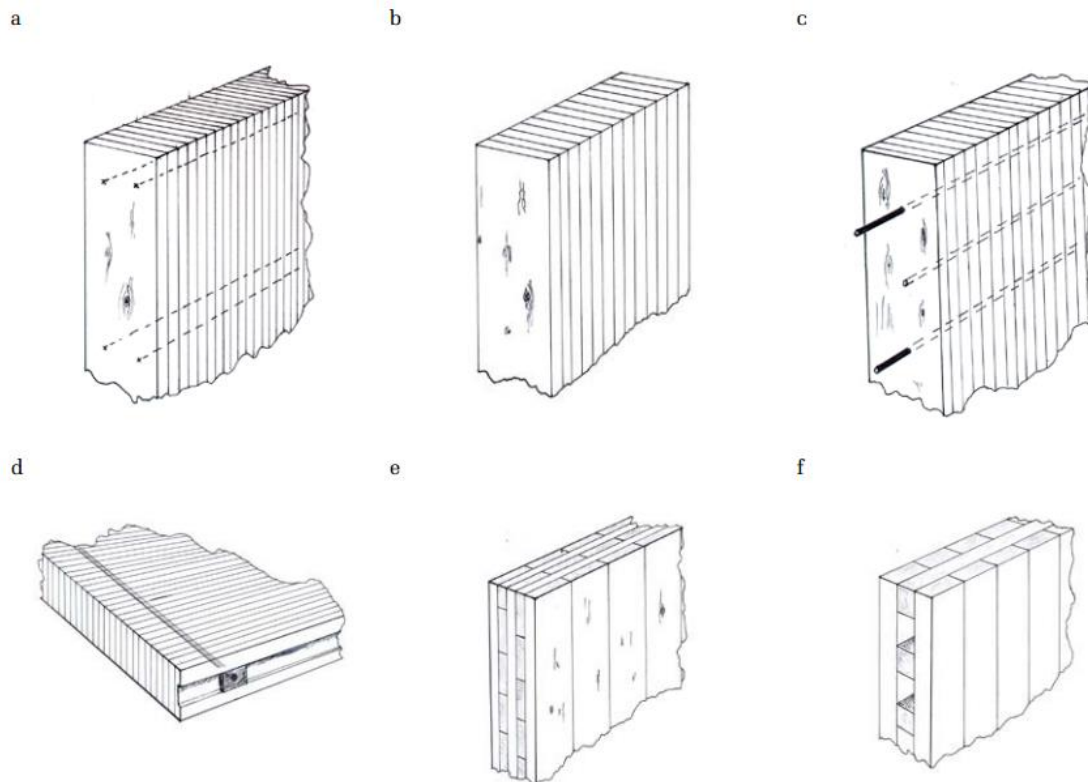
ρ_{sol} = densiteten av materialets faststoff (uten porer), [kg/m^3]

Et hygroskopisk materiale kan ta opp fukt i poresystemet. Trevirke er eksempel på et slikt materiale og vil alltid inneholde en viss prosent relativ fuktighet. Treets vanddamppermeabilitet er lav, men øker etter hvert som fuktinnholdet øker. Vanddamppermeabilitet (δ_p), er et mål for vanddamptransport gjennom et materiale (Noreng 1995).

Et hygroskopisk materiale som lagres i omgivelser med konstant temperatur og relativ fuktighet, vil etter hvert tilpasse seg en likevekt hvor materialets fuktinnhold kalles likevektsfukten. Krymping og svelling oppstår når trevirkets fuktinnhold ligger mellom intervallet tørt (0 %) til fibermetningspunktet (30 %) (Kristensen 2001).

2.2 Massivtre

I dag er det vanlig å bygge med massivtreelementer, og byggemetoden er veldig enkel. Massivtreelementene er satt sammen av trelameller ved hjelp av spiker, lim, tredybler, skruer eller skråstag. Tykkelsen på lamellene varierer fra 24 til 70mm. Bæresystemet kan bestå av bare massivtreelementer eller være en kombinasjon av andre materialer. Elementene kan deles inn i to hovedgrupper: Kantstilte og krysslagte elementer. I denne oppgaven er det fokusert på krysslagte elementer (Aarstad et al. 2008).



Figur 8 «Aktuelle prinsipper for moderne massivtrebygg er plank sammenføyd med spiker(a), lim(b) eller tredybler (c), tverrspanning (d), limte flersjikttsplater(e) og limte flersjikttsplater med hulrom (f)» (Kristensen 1999).

Av fFigur 9 kan man se hvordan et krysslagt massivtreelement kan være sammenføyd.



Figur 9 Viser eksempel på et sammenføyd krysslimt massivtreelement (Aarstad et al. 2008)

Trevirkets styrke kommer fram når lamellene ligger i ulike fiberretninger som gjør at kapasiteten øker og det blir stabilt å dimensjonere. Elementene som ligger i tverrgående retning vil ha begrenset tverrsnittsendring i forhold til de som ligger langsgående. Det skyldes fuktendring (Aarstad et al. 2008).

Tre påvirker inneklimate. Derfor er det svært viktig at man sikrer materialene på byggeplassen, slik at de ikke blir utsatt for høy relativ fuktighet på grunn av været. Muligheten for konstruksjonsuttørking blir mindre dersom man monterer fuktige massivtreelementer. Derfor må man enten legge presenninger over elementene for å beskytte de, eller montere de under byggtelt (Aarstad et al. 2008).

Endringer i temperaturen og luftfuktigheten i omgivelsene fører til at det blir fuktbevegelse i massivtreelementene. Disse fuktbevegelsene fører til at det blir mekaniske og fysiske påkjenninger som krymping og svelling i materialet. De biologiske angrepene vil også komme av det fuktige miljøet. For å få et godt innemiljø må man ikke stenge igjen porene i massivtreelementene. Derfor må man ha diffusjonsåpen overflate. Dette vil også gi god luftkvalitet og komfort (Kristensen 2001).

2.3 Varme

Varme er definert som termisk energi overført fra et legeme med høyere temperatur til et legeme med lavere temperatur. Temperatur er et mål for den indre kinetiske energien til et legeme (Jerstad 2007).

2.3.1 Latent varme

Latent varme er den varmemengden som må til for at et stoff skal kunne gjennomgå en faseovergang, det vil si fra fast form til flytende form og fra flytende form til gassform, eller omvendt. Slike faseoverganger krever ekstra energi og stoffets varmeinnhold vil endres, mens temperaturen vil være uendret. Latent varme opptrer enten ved smelting eller fordampning. Ved smelting (overgang fra fast stoff til væske) og fordampning (overgang fra væske til gass) må det tilsettes varme, mens det ved størkning (overgang fra væske til fast stoff) og kondensasjon (overgang fra gass til væske) blir frigjort varme. Latent varme har enheten J/kg (Geving & Thue 2002). En faseovergang direkte fra damp til fast form er også mulig, og kalles sublimasjonsvarme, H_s . Denne overgangen

inkluderer både smeltevarme, H_i og fordampningsvarme, H_v . Den totale varmeenergien i en sublimasjonsprosess kan uttrykkes slik (Mühlberg 2008):

$$H_s = H_i + H_v$$

Sublimasjonsvarmen lagres i materialet uten at det gir noe temperaturøkning og går derfor under betegnelsen latent varme. Vannets smeltevarme og fordampningsvarme avhenger av lufttrykk og temperatur, dermed er den ikke konstant.

2.3.2 Adsorpsjonsvarme

Ved adsorpsjon vil vannmolekyler binde seg til trevirkets cellevegger. For at disse vannmolekylene skal bli frigjort og fordampe, kreves det mer energi enn det kreves for fordampning av vannmolekyler som ikke er adsorbent. Dette skyldes at det adsorberte vannet har mye lavere entalpi (mengden av varmen som blir tatt opp eller avgitt i en prosess) enn flytende vann (Time 1998). Adsorpsjonsvarme avhenger av fuktinnholdet i trevirket. Hvis materialet er fullstendig vannmettet, slik at fibermetningspunktet på ca. 30 vektprosent er nådd vil fordampningsvarmen for vann være tilnærmet lik adsorpsjonsvarmen.

I artikkelen «*Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study*» er følgende formel for adsorpsjonsvarme beskrevet (Hameury 2005):

$$\Delta H_s(u) = 1,17 \times 10^6 \times e^{(-14u)}$$

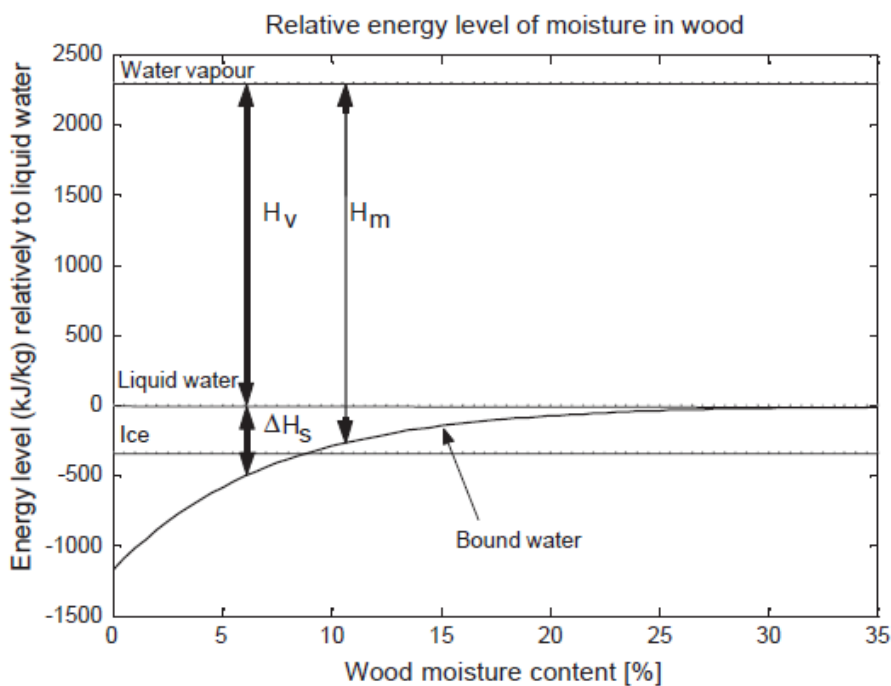
Hvor:

- $\Delta H_s(u)$ er adsorpsjonsvarme i [J/kg]
- u er vanninnholdet i [kg/kg]

Den totale adsorpsjonsvarmen H_m er summen av adsorpsjonsvarmen ΔH_s og fordampningsvarmen H_v , og dette kan beskrives slik:

$$H_m = H_v + \Delta H_s$$

Adsorpsjonsenergien og endring av energinivået i forhold til metningsgraden til trevirket er illustrert i Figur 10. Den horisontale akse viser fuktprosenten i trevirket og den vertikale akse viser varmeenerginivåene som kreves for faseendringer av vann. Den buede linjen på grafen beskriver adsorpsjonsenergien $\Delta H_s(u)$, samt hvordan energinivået endres i forhold til metningsgraden til trevirket. Figuren viser to horisontale linjer. Linjen fra nullpunktet beskriver fordampningsenergien for flytende vann ved laveste temperatur, mens linjen under beskriver det samme for is. Ved relativt tørt trevirket (se til venstre i diagrammet) vil det mellom vannmolekyler og celleveggen være sterke adhesiv bindinger. For at vannmolekylene skal kunne løsrives fra celleveggen kreves det en like stor energimengde. Dersom fuktinnholdet i trevirket har nådd fibermetningspunktet, kreves bare vannets fordampningsenergi for å løsrive vannmolekylene fra trevirket. Dette forteller at jo tørrere et materiale er, desto lenger tid tar det å tørke ut den siste fuktresten i materialet (Hameury 2005).

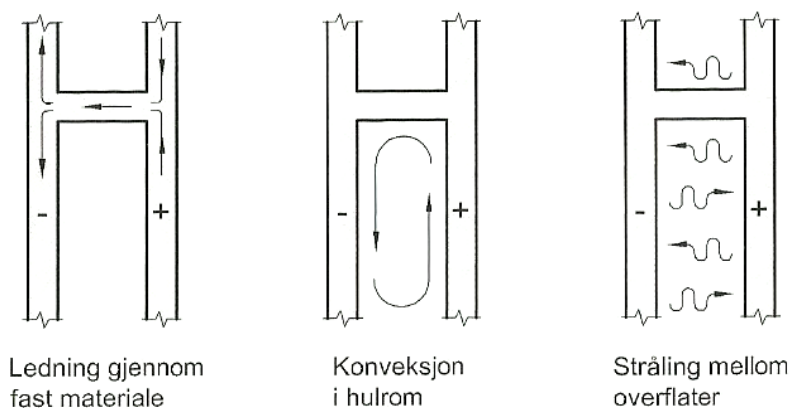


Figur 10 Viser adsorpsjonsenergien og endring av energinivået i forhold til metningsgraden til trevirket (Hameury 2005), etter (Siau 1995).

2.3.3 Varmetransport

En temperaturdifferanse mellom to sider av et materiale eller en konstruksjon, starter en varmetransport med retning fra høyest mot lavest temperatur. I bygg skjer denne varmetransporten som en kombinasjon av tre transportformer (Edwardsen & Ramstad 2014):

1. Varmeledning (termisk konduksjon)
2. Konveksjon (strømning)
3. Stråling



Figur 11 Ledning, konveksjon og stråling er tre former for varmetransport i en bygningsdel (Edwardsen & Ramstad 2014)

De tre overnevnte transportformene fører til temperaturvariasjoner gjennom en konstruksjonsdel, og gir dermed også grunnlag for fukttransport (Thue 2012). Ved påtvunget strømning i gass eller væske kan varmen transporteres, dette kalles for entalpi-transport. Ulike faseendringer vil ha innvirkning på varmetransporten, ved fordamping bindes varme, mens det ved kondensasjon blir frigjort varme (Geving & Thue 2002).

2.3.3.1 Varmeledning (termisk konduksjon)

Alle stoffer er en sammenbinding av et eller flere grunnstoffer. Kjemiske forbindelser og grunnstoffer kan deles opp i molekyler (den minste enheten) uten at de mister sine karakteristiske egenskaper. I et stoff er disse molekylene i stadig bevegelse. Når man måler temperaturen i et stoff, er dette egentlig et uttrykk for molekylene energitilstand (Edwardsen & Ramstad 2014).

I faste stoffer ligger molekylene tett inntil hverandre, og tiltrekningskrefter mellom molekylene i stoffet holder dem på plass. Når temperaturen øker vil svingebevegelsen i materialet øke. Dette skyldes i hovedsak at molekylene får tilført energi ved temperaturøkningen. Varmen vil bre seg i stoffet ved at bevegelsesenergi overføres til nabomolekylene ved sammenstøt eller kollisjon. Dette kalles for varmeledning eller termisk konduksjon. Varmeledning skjer i både faste stoffer, væsker og gasser. Varmetransporten er proporsjonal med temperaturforskjellen i materialet og beskrives ved Fouriers varmeledningslov (Geving & Thue 2002):

$$q_x = \frac{dQ_x}{dAdT} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

Hvor:

q_x – Er varmemestrømstettheten i x- retning [J/m^2s]

dQ_x – Er varmemengden i [J] eller [W/m^2], som strømmer gjennom en flate n vinkelrett på x-retning.

dA – Er flatens areal i [m^2]

dT – Er tiden i [s]

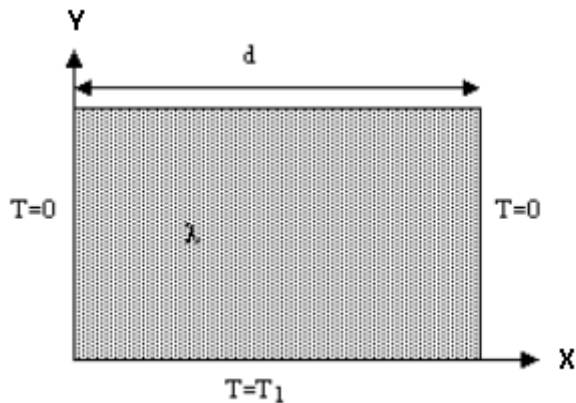
λ – Er proporsjonalitetsfaktoren, som også kalles for varmeledningsevne og har enheten [W/mK].

$\partial T / \partial x$ – Er temperaturgradienten, forandring i temperatur per materialstykk i x- retning og har enheten [K/m].

Denne loven kan kun benyttes i endimensjonale varmeledningsberegninger med stasjonære forhold, altså når temperaturforholdene er konstante. Formelen tar ikke hensyn til varierende varmeledningsevne i forhold til fuktinnhold. I praksis kan denne metoden brukes til å gjøre overslagsberegninger, men på grunn av avansert geometri og randbetingelser kan det være hensiktsmessig å utføre beregninger i to eller tre dimensjoner (Thue 2012).

Nedenfor er det gitt et eksempel på et todimensjonalt problem, hvor det er forutsatt at platesidene har en konstant temperatur $T = 0$, ved $y = 0$ er flatetemperaturen $T = T_1$.

Proporsjonalitetsfaktoren λ for platen er konstant, og temperaturfordelingen er en funksjon av x og y (Thue 2012).



Figur 12 «Eksempel på todimensjonalt problem» (Thue 2012)

Den stasjonære varmeledning ligningen kan settes opp som:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

For å kunne løse praktiske problemstillinger er det mer hensiktsmessig å benytte grafiske tilnæringsprogrammer. En vanlig metode er å benytte numeriske beregningsverktøy, som benytter ulike differensiallikninger for å finne tilnæringsverdi for differensiallikningen (Thue 2012). I denne oppgaven har vi brukt et program som heter WUFI 2D. Statikken som ligger bak programmet er vurdert til å være god, og kan derfor bidra med å gi oss tilnæringsverdier nær virkeligheten.

2.3.3.2 Konveksjon

Konveksjon er en strømmende fluid, som i form av enten gass-, væske- eller luft transporterer varmen til en materialoverflate. Denne energitransporten foregår ved at den strømmende fluiden tar med seg sin indre energi og forflytter seg til en overflate med lavere temperatur. Ved forskjellige temperaturer på overflaten vil varmen gå fra varm side til kald side. I bygningsteorien vil hovedsakelig luft være den mest vanlige kilden for fluid. Konveksjon kan deles i to hovedgrupper, tvungen- og naturlig konveksjon. Påvirkning fra vind og mekanisk ventilasjon kalles tvungen konveksjon.

Mens naturlig konveksjon er når det foregår en varmeoverføring ved naturlig ventilasjon (Geving & Thue 2002).

Varmetransport som skyldes konveksjon, kan beregnes ved å multiplisere det konvektive varmeovergangstallet, h_c , med forskjellen mellom overflate- og fluidtemperatur.

$$q_{cv} = h_c (T_s - T_a)$$

Hvor:

q_{cv} – Er varmetransporten [W/m^2]

h_c – Er det konvektive varmeovergangstallet [W/m^2K]

T_s – Er overflatens temperatur [K]

T_a – Er fluidtemperaturen [K]

2.3.3.3 Stråling

Varmestråling er en form for elektromagnetiske bølger, som brer seg rettlinjet med tilsvarende hastighet som lyset. Materialoverflatens temperatur og egenskaper er med på å påvirke størrelsen på bølgelengden som stråles ut. I bygningsfysikken har man omgivelsestemperaturen som den langbølgede, mens solstrålingen vil være den kortbølgede strålingen. De langbølgede strålingene fra romtemperaturen vil ha et energinivå rundt 10 000 nm og vil ligge i det infrarøde området. Dette området er usynlig for menneskets øye. Mens den kortbølge strålingen fra dagslyset vil ha et energinivå på rundt 1000 nm, som vil være synlig for menneskets øye (Geving & Thue 2002).

Stråling kan transporteres som varme gjennom vakuum, mens varmeledning og varmekonveksjon ikke kan det. Materialenes hulrom, porer og overflater vil bli utsatt for påkjenningen av varmestrålingen (Geving & Thue 2002).

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

Hvor:

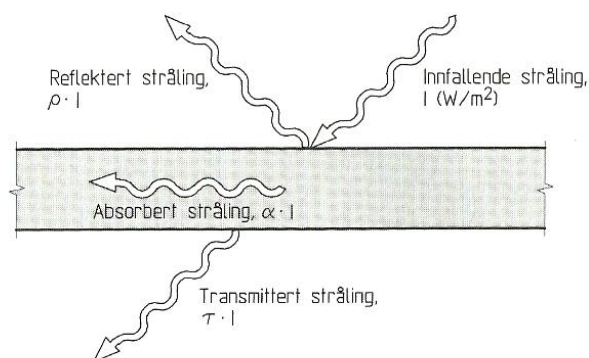
E – Er den totale varmestrålingen per arealenheter [W/m^2]

ε – Er overflatens emissivitet og ligger i intervallet [$0 \leq \varepsilon \leq 1$]

σ – Er Stefan-Boltzmanns konstant [$=5,672 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$]

T – Er overflatetemperaturen [K]

Strålingen som treffer en overflate vil stråle ut i alle retninger, og retningene er avhengig av hva slags egenskaper materialoverflaten har. Man antar at strålingsenergien er lik i alle retninger i bygningsfysikken, og vil bli kalt diffus emisjon. Den energien som treffer overflaten kan enten bli absorbert, reflektert eller transmittert. Se Figur 13.



Figur 13 Viser stråling som kommer inn mot en flate (Geving & Thue 2002)

2.4 Fukt

2.4.1 Vannets egenskaper

Vann er en kjemisk blanding bestående av mange små vannmolekyler, H_2O . Av den kjemiske forbindelsen, H_2O utgjør hydrogen 88,8 % og oksygen 11,2 % av molekylet. Vann kommer sjeldent i ren kjemisk form og vil derfor inneholde spor av absorberte gasser, oppløste salter og organiske stoffer. Diameteren på vannmolekylene er ca. 0,3nm og er en dipol struktur. Denne strukturen kommer av at hydrogenatomene er positivt ladet og vil prøve å binde seg sammen med det negativt ladete oksygenatomet. De tiltrekningskreftene som oppstår kalles polaritet. Tiltrekningskreftene vil gjøre det

vanskelig for materialet å gjennomgå en faseovergang, og det må derfor tilføres ekstraordinær energi for at faseovergangen skal skje (Thue 2012).

2.4.2 Luftfuktighet

Lufta består av en viss mengde fuktighet i form av vanndamp. Det kalles luftfuktighet. Vanndampinnholdet lufta kan holde på ved en fullmetning, 100 % RF, er avhengig av temperaturen, se Figur 14. Temperaturen ved fullmetning kalles for luftas duggpunktstemperatur. Når temperaturen senkes vil ikke lufta klare å holde på like mye vanndamp. Overskuddet blir for eksempel oppdaget som kondens på materialoverflater. Ved fullmetning vil vanndampinnholdet og damptrykket ha maksimale øvre grense, avhengig av temperaturen (Geving 2011).

Absolutt fuktinnhold er mengden av luftens vanndampinnhold, og kan angis på 3 ulike måter:

- Innhold av vanndamp angis ved, v i $[g/m^3]$.
- Vanndamptrykk eller vanndampens partialtrykk angis ved, p_v i $[Pa] = [N/m^2]$.
- Fuktgrad, det vil si vanndampmasse per kg tørr luft, angis ved, x i $[kg/kg]$.

Vanndampinnholdet $[g/m^3]$ og vanndampens partialtrykk $[Pa]$, bestemmes ut fra luftfuktighetsdiagrammet (Mollier - diagrammet).

2.4.3 Den relative luftfuktigheten

Den relative luftfuktigheten måles i prosent og forteller oss hvor mye vanndamp det er i lufta i forhold til hvor mye maksimal vanndamp (metningsinnhold) lufta klarer å holde på ved en gitt temperatur (Geving 2011).

Formelen for den relative luftfuktighet:

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

Hvor:

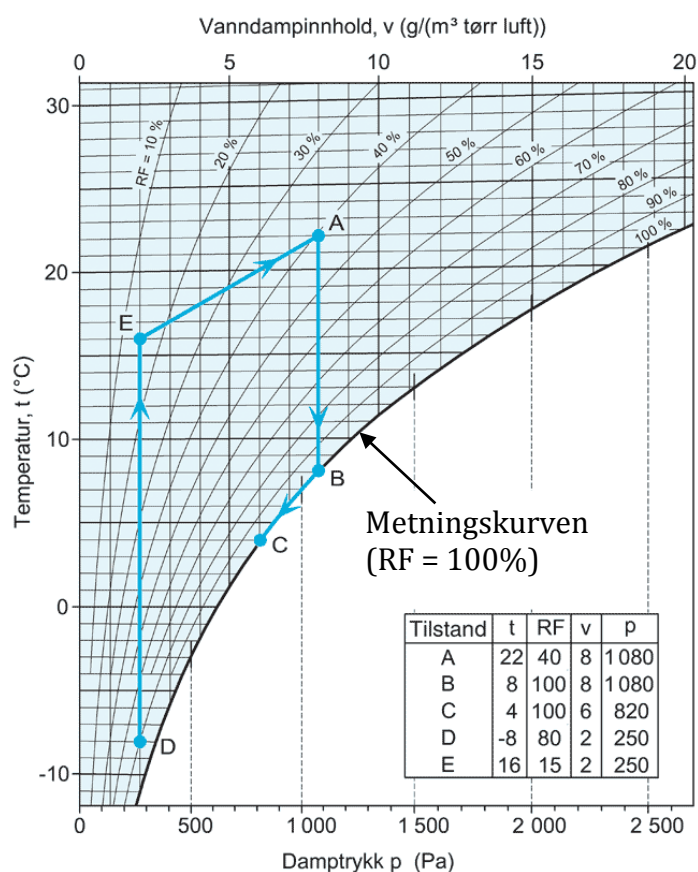
RF er den relative luftfuktigheten

v er vanndampinnholdet i lufta

v_{sat} er metningsinnholdet i lufta

2.4.4 Luftfuktighetsdiagram (Mollier - diagram)

Diagrammet viser en forbindelse mellom temperaturen, RF, vanndampinnhold og vanndamptrykket. Ved fuktberegninger bruker man luftfuktighetsdiagrammet til å finne luftas vanndampinnhold eller vanndamptrykket, når det er gitt minst to faktorer, som temperatur og den relative fuktighet. Ved å finne luftas vanndampinnhold kan man gjøre vurderinger av for eksempel kondens og også beregninger av duggpunktet. For beregning og vurdering av duggpunkt henvises det videre til eksemplet i boken, fuktskader av Stig Geving, punkt 2.1.3.2, (Geving 2011). Av Figur 14 kan man for eksempel se på den lodrette linjen fra tilstand A til B og gjøre en kondensvurdering.



Figur 14 «Luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom temperatur, RF, vanndampinnhold og damptrykk» (Geving 2005)

2.4.5 Uteluftas fuktinnhold

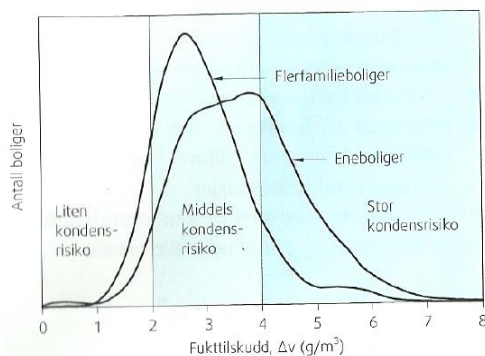
Fuktinnholdet i utelufta er forskjellig ved ulike årstider og steder i landet. Om våren vil den relative fuktigheten være lav, mens den vil være høyere om høsten og vinteren. Vanndampinnholdet og den høye temperaturen i lufta vil føre til at sommertidene vil ha høy fuktighet. RF vil være høyere om natten enn om dagen når man ser på døgn- og timevariasjonene. Dette er fordi temperaturen er lavere om natten og vil holde mindre på fuktigheten. Regnvær og tåke kan føre til at den relative fuktigheten blir høy, og vil ligge rundt 100 % RF (Geving 2011).

2.4.6 Inneluftas fuktinnhold

Fuktinnholdet i innelufta er avhengig av (Geving 2011):

- mengde vanndamp i lufta som benyttes for å ventilere innvendig, vanligvis er dette uteluft
- innvendig fuktproduksjon og muligheten for fukttilførsel fra andre omgivelser
- luftskiftets størrelse, det vil si mengden ventilasjonsluft som blir tilført og ført bort fra rommet, samt luftlekkasjer

Fuktproduksjonen innendørs, luftskiftets størrelse, og volumet av bygningen er faktorer som er med på å påvirke fukttilskuddet i innelufta i et bygg. Forskjellen i vanndampinnhold $\Delta v = v_{\text{inne}} - v_{\text{ute}}$ tilsvarer fukttilskuddet i en bolig. Dårlig ventilering og stor fuktproduksjon er den vanligste årsaken til høye verdier av fukttilskuddet, Δv . Ved luftlekkasjer i en bolig vil konsentrasjonen av vanndampinnholdet øke og dermed gi stor risiko for overflatekondens og kondens inne i konstruksjonen, se Figur 15. Dette avhenger av forandringer i temperatur og den relative fuktigheten, se Figur 14.



Figur 15 Viser fukttilskudd i eneboliger og eksempelvis blokker, som gjelder for en utetemperatur under 5 °C. Kurvene er basert på en svensk undersøkelse på 1200 boliger (Geving 2011)

2.4.7 Fuktmekanikk

Materialer med et åpent poresystem vil ta opp fukt i form av damp- eller væskeform. Fuktopptaket i et materiale vil være avhengig av poresystemets egenskaper, mengde vann og måten fukttransporten foregår i materialet (Geving 2011).

2.4.8 Porer

Dette punktet har blitt nevnt tidligere under temaet trevirke. Henviser til avsnittet om materialets poresystem og hygroskopiske egenskaper, se pkt. 2.1.7.

2.4.9 Fuktbinding

Bygningsmaterialets egenskaper forandrer seg når vannet og faste stoffer kommer i kontakt med hverandre, og fukt oppstår. Når fuktinnholdet øker i materialet, vil for eksempel varmeledningsevnen øke. Fuktbindingen kan enten oppstå ved kjemisk eller fysisk tilstand. Med en fysisk binding menes det at fukt i form av damp transporteres i et materiale ved en viss temperatur, mens den kjemiske bindingen derimot vil være så sterkt bundet til materialet at den ikke tas med i fuktberegningen (Mattsson & Stensrød 2009).

2.4.9.1 Adsorpsjon

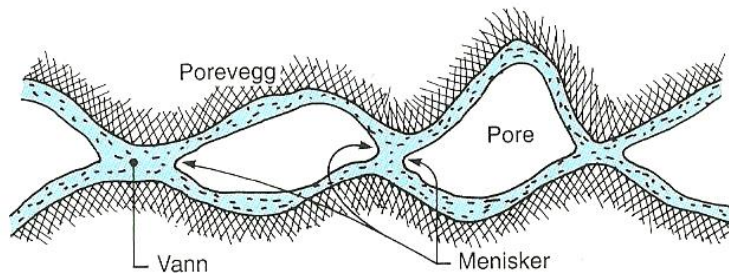
Adsorpsjon er en fysisk prosess, hvor gass- eller væskemolekyl blir bundet til en fast overflate (porenes overflate) og det dannes en adsorptiv binding. Alle væske- og gasmolekyler kan bli adsorbent på poreveggene, men på grunn av vannmolekylenes dipole struktur vil dette holdes sterkere fast, sammenliknet med for eksempel de kjemiske grunnstoffene nitrogen og oksygen. Molekylene vil legge seg på overflaten og etter hvor sterke bindingene er. Det kreves ganske mye energi for å få frigjort disse molekylene fra porenes cellevegg. Jo svakere bindingskrefter molekylene har jo lengre ute på overflaten vil de befinne seg. Bygningsmaterialene er med på å påvirke hva slags styrke vannmolekylenes binding vil ha, og disse materialene vil adsorbere rundt 30 lag med molekyler (Geving & Thue 2002).

På celleveggen vil man etter en stund merke at vannhinna og lufta har stabilisert seg. Vannhinna blir ofte løsrevet på grunn av de sterke varmesvingningene molekylene har. Tykkelsen på væskehinna øker enten ved høy relativ fuktighet eller synkende temperatur. Under startfasen av oppfuktingen vil adsorpsjonskreftene bidra til

fuktopptaket, slik at kapillærkondensasjonen kan ta over (Geving & Thue 2002), se avsnitt 2.4.9.2.

2.4.9.2 Kapillærkondensasjon

Det at kapillærkondensasjonen tar over, vil være en sekundær virkning av tiltrekningskreftene som foregår mellom molekylene på porenes overflate og vannmolekylene. Når den relative fuktigheten øker, vil tykkelsen på vannhinna bli større og det vil redusere de luftfylte områdene i poreveggene (Geving & Thue 2002).



Figur 16 Kapillærkondensasjon i porer, og dannelse av væskemenisk (Geving & Thue 2002)

Etter hvert vil poreveggene på hver sin side trekke seg sammen. De krumme meniskområdene skyldes tiltrekningskrefter (adhesjonskrefter) i en adsorptiv binding, som fører vannoverflaten over i konkavform. Ved en adsorptiv binding vil det være tiltrekningskrefter mellom molekylene i det faste stoffets overflate og vanddampmolekylene. Adhesjonskreftene vil være sterkere hos molekylene i porene enn hos vannhinnene i poreveggen. Ved samme temperatur i krumme menisker og i en fri, plan vannflate vil vanddampens metningstrykk over en slik menisk være lavere (Geving & Thue 2002).

Ved lav relativ fuktighet vil kondensasjonen være tilnærmet ubetydelig, mens det ved høye RF-nivåer vil være mer merkbart. Dette skyldes i prinsippet at de små porene kan ta til seg mindre volum enn de store. Hvis porene har en radius på over 100 nm, vil det være av liten betydning for kondensasjonen (Geving & Thue 2002).

2.4.10 Fuktinnehold

Den totale mengden vann som finnes i materialet beskrives som fuktinnholdet.

Fuktkvote beskriver porenes vanninnhold i forhold til tørrvekten av materialet.

Fuktkvote blir for eksempel brukt i sammenheng med konstruksjonsmaterialene tre, betong og tegl (Mattsson & Stensrød 2009).

Fuktinnholdet i et materiale kan være tilstede som fast-, flytende- eller i dampform.

Disse tilstandene er avhengig av betingelsene som omgivelsene til enhver tid har. For å finne ut hvor mye fuktinnhold det er i et materiale, bør man starte med å veie materialet når det er uttørket og se dette i forhold til når det er oppfuktet (Geving & Thue 2002).

Nedenfor ser dere en tabell som viser ulike måter å uttrykke fuktinnholdet i et materiale på, se Tabell 3.

Tabell 3 Ulike måter som kan benyttes for å angi fuktinnholdet i et materiale (Geving & Thue 2002)

Definisjon	Symbol	Enhet
Fuktmasse/Tørrstoffmasse	u	kg/kg (ev. vektprosent)
Fuktmasse/Materialvolum	w	kg/m ³
Fuktvolum/Materialvolum	ψ	m ³ /m ³ (ev. volumprosent)
Metningsgrad, fuktvolum/Porevolum	S	Ubenevnt (ev. i prosent)

Fuktinnholdet, w i kg/m³ kan beregnes etter følgende formel (Thue 2012):

$$w = \rho_0 \cdot \frac{m_w}{m_0} = \rho_0 \cdot u$$

Hvor:

w er fuktinnhold i [kg/m³]

u er fuktinnhold i [kg/kg]

ρ₀ er materialets tørrdensitet [kg/m³]

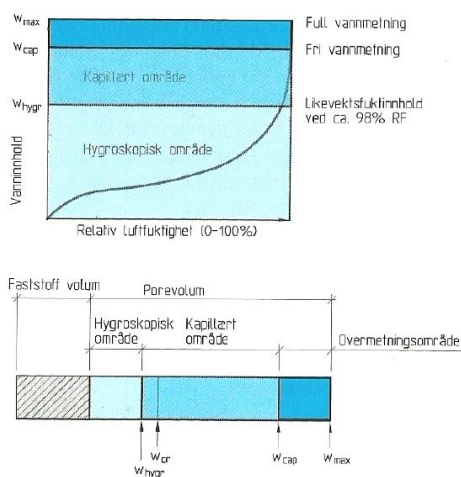
m_w er massen av vann som kan fordampe [kg]

m₀ er massen av tørrstoff [kg]

Den vanligste måten som benyttes for å angi fuktinnholdet i tyngre konstruksjonsmaterialer er å ta fuktmasse dividert på tørrstoffmasse (Geving & Thue 2002).

Fuktinnholdet kan deles inn i tre avgrensede delområder: Hygroskopisk område, kapillært område og overmetningsområde. Disse tre områdene er karakteristisk for hygroskopiske, kapillæraktive bygningsmaterialer. Typiske eksempler på slike materialer er tre og betong. Materialer som ikke er hygroskopisk eller kapillæraktive vil kun ha en overmetningsområde, eksempelvis isolasjon (Geving & Thue 2002).

Figur 17 viser ulike faseområder fra når et tørt materiale begynner å ta opp fuktighet, hygroskopisk område, til man får full vannmetning, overmetningsområde (Geving & Thue 2002).



Figur 17 «Fuktinnhold i et materiale» (Geving & Thue 2002)

Det hygroskopiske området tilsvarer likevektsfuktinnholdet i lufta. Fuktinnholdet øker i et materiale når den relative luftfuktigheten øker. I teorien er den øvre grensen for hygroskopisk område når den relative luftfuktigheten er 100 %, men i praksis er det vanskelig å holde på den høye relative luftfuktigheten i et klima. Dette medfører at den øvre grensen w_{hygr} varierer mellom 95-98 % (Geving & Thue 2002).

Videre ser man fra figuren at når fuktinnholdet øker ytterligere, vil porevannsystemet bli kontinuerlig og dermed vil fukttransporten videre foregå ved vannstrømning. Punktet w_{cr} , som ligger litt over det hygroskopiske området, kalles for det kritiske

fuktinnhold. Når et materiale utsettes for fritt vann over en lengre periode, vil det føre til at fuktinnholdet øker, og det vil oppstå kapillær metning, w_{cap} . Denne metningen foregår i det kapillære området, hvor fuktinnholdet vanligvis angis som en funksjon av porevannsundertrykket. Med porevannsundertrykk menes et mål på den kapillære sugekraften (Geving & Thue 2002).

Overmetningsområdet viser at materialet går fra den kapillære metningen og over til et område med full metning, w_{max} . For å få en full metning, må gjenstående luft i materialets poresystem fjernes. Dette kan utføres i et laboratorium ved hjelp av vakuumbehandling eller koking (Geving & Thue 2002).

2.4.10.1 Hygroskopisk fukt - sorpsjonskurver

Når et materiale blir plassert i et klima med konstant temperatur og fuktinnhold, vil fuktinnholdet i materialet langsomt tilpasse seg den relative fuktigheten. I starten vil materialets vekt øke raskt, men etter hvert vil hastigheten synke for så til å komme til et vendepunkt, hvor hastigheten igjen økes (Geving & Thue 2002).

Likevektsfuktigheten er den tilstanden hvor materialets vekt ikke endrer seg lenger på grunn av at vanndamptrykket i materialet er like stor som luftas vanndamptrykk (Geving & Thue 2002).

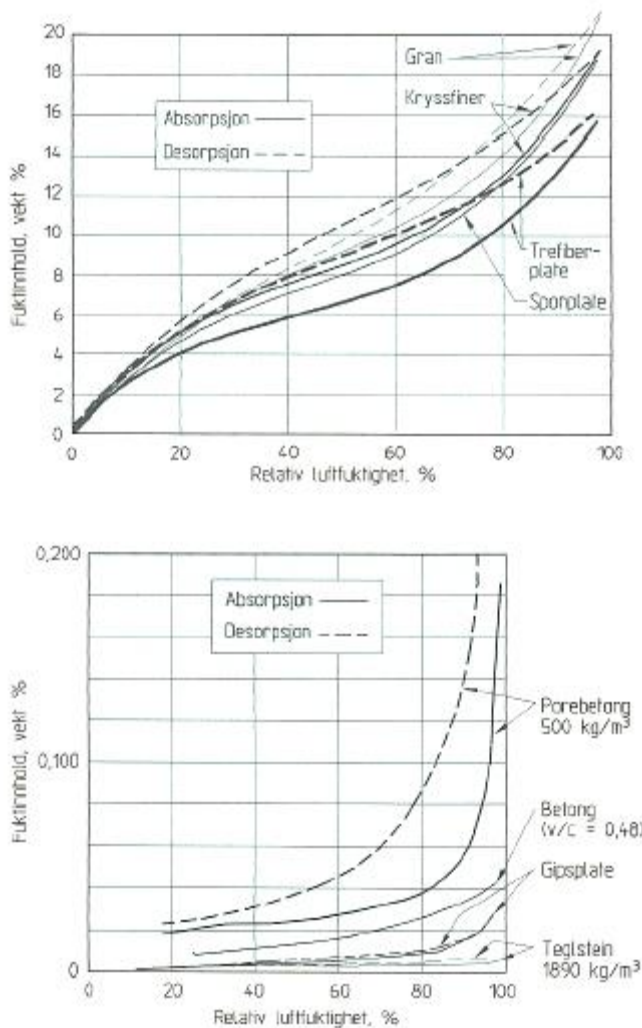
Vi kaller det en sorpsjonskurve, når man får en ny likevekt. Dette avhenger av at vi bruker det samme materiale i et annet klima med samme temperatur, men med en annen relativ luftfuktighet. Sorpsjonskurven defineres kun opp til omtrent 98 % relativ fuktighet i det øvre hygroskopiske området. Dette fordi den høye relative fuktigheten vil medføre at det totale fuktinnholdet i materialet økes (Geving & Thue 2002).

Sorpsjonskurven kan grovt deles i tre deler (Geving & Thue 2002):

- 1) I starten får vi en betydelig vekst ved lav fuktinnhold i materialet. Årsaken til dette er at de første molekyllagene adsorberes på grunn av de store bindingskreftene.

- 2) Etter hvert vil likevektsfuktigheten gradvis øke proporsjonalt med den relative fuktigheten. Dette er på grunn av relasjonen mellom dampmolekylene som vil henge seg fast på vannhinna og molekylene som vil rive seg løs fra hverandre.
- 3) Til slutt vil kurven øke igjen fordi den relative fuktigheten øker. Årsaken til at den relative fuktigheten vil øke, er at kapillærkondensasjonen blir for sterk.

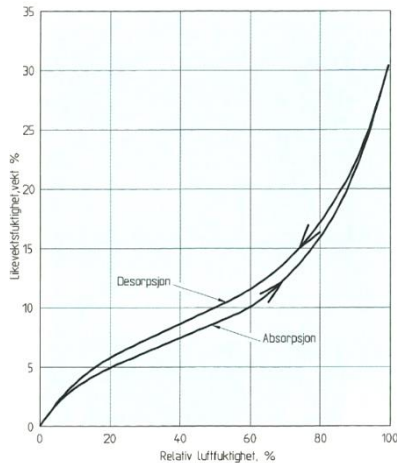
Figur 18 viser eksempel på sorpsjonskurver og oppfuktings- og uttørkingsforløpet for noen materialer (Geving & Thue 2002).



Figur 18 Sorpsjonskurver for ulike materialer (Geving & Thue 2002)

Hvis man reverserer oppfuktingsprosessen (absorpsjon), ved å senke den relative fuktigheten, vil man oppnå en desorpsjonskurve. For absorpsjons- og desorpsjonsprosessen, se Figur 19. Desorpsjonskurven vil i de fleste tilfeller ligge litt

over absorpsjonskurven på grunn av en høyere likevektsfuktighet. Dette kalles for hysteresse. Fuktinnholdet i et materiale er avhengig av hva slags fuktforhold den har vært utsatt for. Denne hysteresseeffekten er forskjellig fra materiale til materiale, også betinget av porestrukturen til materialet (Geving & Thue 2002).



Figur 19 Viser et gap mellom absorpsjons- og desorpsjonskurven, som kalles hysteresse (Geving & Thue 2002)

2.4.11 Fukttransportmekanismer

Mange fuktforskere er uenige om fukttransportmekanismen, det er fordi de mener at flere mekanismer foregår samtidig. Tabell 4 gir en oversikt over mekanismene som forekommer i praktisk sammenheng og deres drivpotensial. Det finnes to typer transportformer, enten ved vanddamp eller væske. Det er muligheter for at begge disse transportformene kan foregå samtidig. De som har størst betydning i beregningsammenheng vil være dampdiffusjonen, kapillærtransporten og til en viss grad konveksjon (Geving & Thue 2002).

Tabell 4 Oversikt over ulike fukttransportmekanismer og drivpotensial for transport (Geving & Thue 2002)

Transportmekanisme		Drivpotensial for transport
Vann-damp-transport	Dampdiffusjon	Damptrykk (temperatur, totaltrykk)
	Effusjon	Damptrykk
	Løsningsdiffusjon	Damptrykk
	Konveksjon	Luftas totaltrykk
Væske-transport	Kapillærledning	Kapillære sugekrefter
	Overflatekryping	Relativ fuktighet
	Dreneringsstrømning	Tyngdekraften
	Hydraulisk strømning	Væsketrykk
	Elektrokinese	Elektriske felt
	Osmose	Ionekonsentrasjoner

2.4.12 Fukttransport

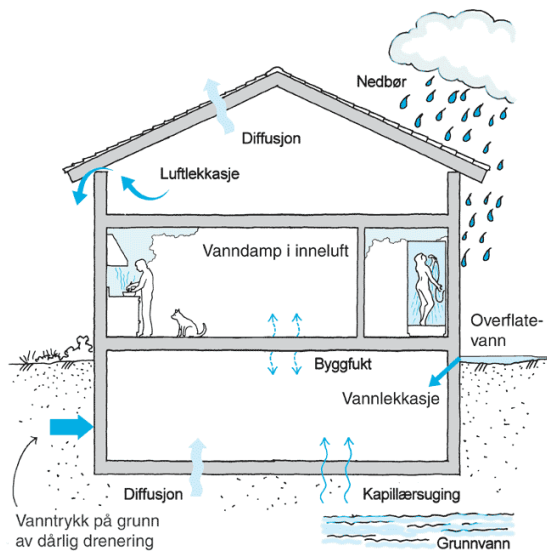
Som tidligere nevnt transporteres fukt i materiale, som enten damp eller væske. Disse transportformene kan foregå samtidig i et materiale. Fukten i materiale vil transporteres i væskeform, gitt at fuktinnholdet har passert det hygroskopiske området (Geving 2011), se Figur 20.

Transport i dampform foregår enten ved diffusjon eller fuktkonveksjon. Når vanddampmolekylene flytter seg i et område fra høyt til lavt damptrykk, kalles det vanddampdiffusjon. Mens fuktkonveksjonen foregår når vanddampen i et område beveger seg fra høyt til lavt lufttrykk, ved hjelp av luftstrømmen. Fuktkonveksjon ved hjelp av luftlekkasjer kan gi større fukttransport enn vanddampdiffusjon (Geving 2011).

Væsketransport i et materiale foregår enten ved tyngdekraften, vannovertrykk, vindtrykk eller kapillære krefter (Geving 2011):

- Tyngdekraften vil være den nedadrettede, drivende kraften for væsketransport, når det for eksempel oppstår vannlekkasje igjennom et tak.
- Vi får vannovertrykk når det for eksempel blir for stort trykk mot en av veggene i et svømmebasseng.

- Når for eksempel en av ytterfasadene på et hus blir utsatt for slagregn, kan dette gi vindtrykk.
- Kapillære krefter vil forekomme ved vanntransport i materialets poresystem.

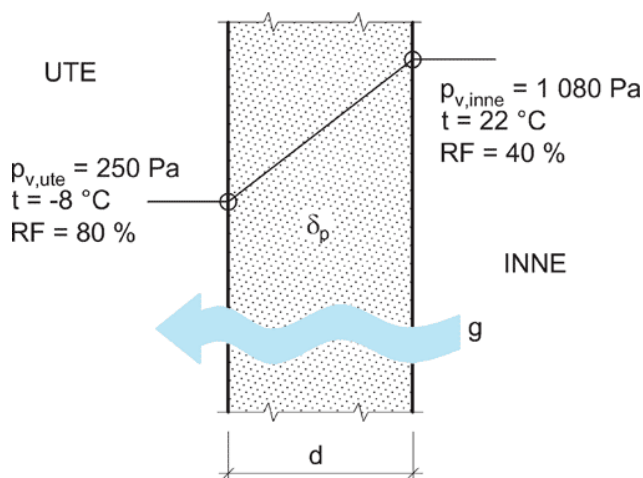


Figur 20 «Vanlige fuktpåkjenninger og transportformer» (Geving 2005)

2.4.13 Vanndampdiffusjon

Vanndampdiffusjonen i et materiale foregår ved damptrykkforskjell, se Figur 21.

Utfordringene ved vanndampdiffusjon over lengre tid, er høy relativ fuktighet og kondensproblemer. Problemene blir gradvis mindre hvis vindsperra på den kalde siden av materialet er lufttett og diffusjonsåpent samtidig som dampsperra på den varme siden av materialet er lufttett og diffusjonstett (Geving 2011).



Figur 21 «Vanndampdiffusjon gjennom et homogent materiale» (Geving 2005)

Formelen for vanndamptransporten, g , ved vanndampdiffusjon igjennom et bygningsmateriale:

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

Hvor:

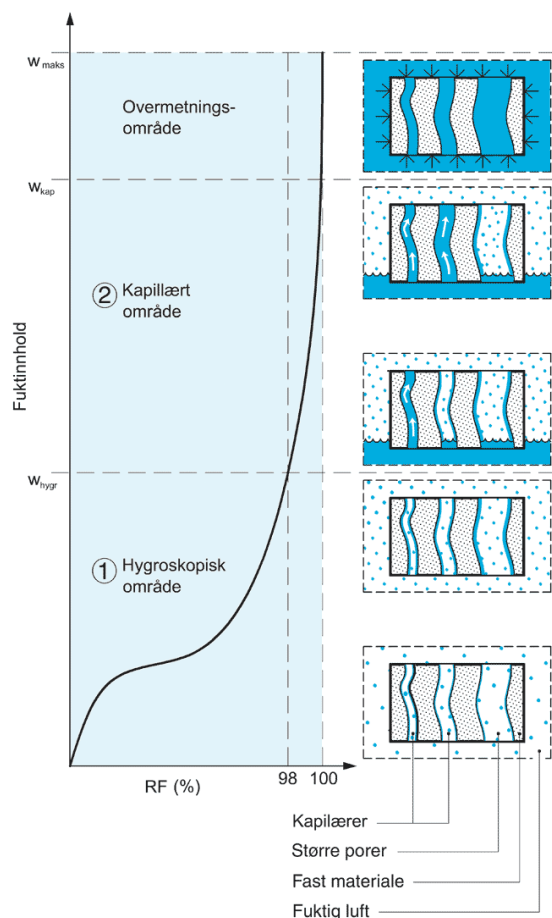
$\Delta p_v = P_{v2} - P_{v1}$: Damptrykkforskjellen på de to sidene av materialet [Pa].

δ_p : Vanndamppermeabilitet i materialet [kg/msPa].

d : Tykkelsen av materialet [m].

2.4.14 Fukttransport i væskefase

Fukt i bygningsmaterialer kan, som tidligere nevnt, framstilles enten ved det hygroskopiske området med relativ fuktighet under ca. 98 %, eller ved det kapillære området med relativ fuktighet over ca. 98 %. Ved 100% relativ fuktighet i materialet kaller man det for fullmetning eller overmetning (Geving 2011).



Figur 22 Viser opptak av fukt i porøse materialer (Geving 2005)

Figur 22 viser en sorpsjonskurve, hvor det til høyre er vist et utsnitt av kapillærområdet. Det er to ulike former for fuktopptak i en bygning (Geving 2011):

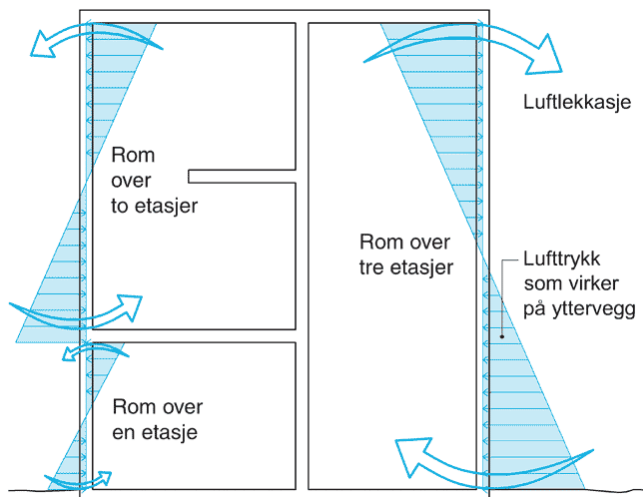
1. Hygroskopisk opptak, er hvor dampmolekylene bindes til poreveggene i materialet
2. Kapillært opptak, der porene i materialet fylles ved hjelp av kapillærkrefter

Når den relative fuktigheten nærmer seg 98 %, vil vannet fylle de minste porene i materialet. Dette skjer ved at dampmolekylene binder seg til materialets porevegger. Når fuktigheten er over 98 %, vil kapillærsugingen starte. Kapillærsuging foregår ved at bygningsmaterialene klarer å suge til seg vann i materialporene ved hjelp av de kapillære kreftene, og transportere vannet videre. Hvor mye vann som skal transporteres videre er avhengig av metningsgraden. For at de porøse bygningsmaterialene skal flytte seg videre fra det kapillære område trenger materialene krefter, som for eksempel vindtrykk. Kapasiteten til å ta opp fukt er større i det kapillære området enn i det hygroskopiske området (Geving 2011).

2.4.15 Fuktkonveksjon

Fuktkonveksjon kan foregå gjennom et porøst bygningsmateriale, hvor fukten i form av vanddamp blir transportert med en luftstrøm fra høyt- til lavt lufttrykk. Grunnen til at luften går fra den varme siden ut mot den kalde siden, er at det er høyere temperatur og vanddampinnhold innendørs enn utendørs. Faktorer som vil påvirke kondensproblemer er; innvendig høy luftfuktighet, størrelsen på utette bygningsdeler, evnen til uttørkning og hvor stort overtrykk eller undertrykk det vil være i en konstruksjon (Geving 2011).

Faktorer som vil være med på å bestemme hvor stort trykk det blir ved utette konstruksjoner, er temperatur og byggets høyde. Figur 23 viser eksempel på rom som går over 1, 2 og 3 etasjer. For enkelthets skyld er ikke virkningen av lufttrykk på gulv og himling tatt med i figuren. Ved et lavere temperatur ute enn inne i et bygg vil det vanligvis oppstå overtrykk øverst og undertrykk nederst. Både over-/undertrykk er avhengig av høyden på bygget og vil øke med økende romhøyde. Skorsteinseffekten vil være stor jo lavere utetemperaturen er iforhold til innetemperaturen (Geving 2005).



Figur 23 Lufttrykkfordeling langs høyden i en bygning som følge av skorsteinseffekten (Geving 2005)

2.5 Uttørkingsmetoder

I den praktiske delen av fuktmekanikken forstår man at når materialene blir utsatt for fuktskader, skyldes det i hovedsak at materialene tar opp vann i form av damp eller væske (Mattsson & Stensrød 2009).

Det finnes i prinsippet tre ulike metoder for uttørring:

1. Oppvarming og ventilasjon
2. Avfuktingsaggregater
3. Naturlig uttørring

Felles for alle disse metodene er at fukt i form av vanndamp avgis fra materialenes overflater til luften som omgir dem. Denne prosessen kan også skje uten noen spesielle tiltak (passiv tørking), men kan ta lang tid med fare for angrep av mugg og sopp. For å redusere faren for dette, er det som regel viktig med aktive tiltak i form av metoder for å øke tørkehastigheten. Av de nevnte uttørkingsmetodene er (1) og (2) aktive metoder, mens (3) er en passiv metode (Krohn 2015).

Aktiv uttørking kan gjøres på to måter:

- «ved å ventilere godt slik at den oppfuktede luften nær materialene hele tiden blir transportert bort og erstattet med tørrere luft» (Krohn 2015)
- «ved å heve temperaturen på materialene og luften omkring» (Krohn 2015)

En lufttemperatur på ca. 20 °C og en RF på 40 – 50 % gir godt tørkeklima. Hvis man ønsker å oppnå en rask tørkeprosess, bør ikke RF overstige 50 %. Ved uttørkingsstart, da overflaten av materialene er fuktige, er det større krav til kapasitet på tørkeutstyret. Men ettersom tiden går, begrenser fukttransporten inne i materialene uttørkingen. Da er det helt andre faktorer enn tørkeutstyret som er avgjørende for tørketiden (Krohn 2015).

2.5.1 Oppvarming og ventilasjon

Den tradisjonelle tørkemethoden er oppvarming og ventilasjon. Ulempen er at den er veldig energikrevende og lett kan gi overoppvarming i deler av bygningen. I bygningsdeler med lav temperatur, kan den også skape kondensproblemer som hovedsakelig skyldes at fuktig luft drives fra et varmt til et kaldere sted. Det er derfor viktig å sørge for jevn temperatur i hele bygningen, eller på en eller annen måte sikre at varm og fuktig luft ikke kommer i kontakt med kalde deler av bygningen (Krohn 2015). Om høsten og på sommerstid er den relative luftfuktigheten ute høy. Da kan metoden i verste fall gi svært liten uttørking ved vanlige tørketemperaturer. Metoden egner seg derfor best om vinteren (Rydock 2006).

Fremgangsmåte:

Et aggregat blåser oppvarmet uteluft inn i bygget og uttørkingen skjer ved at fuktig luft blir ventilert ut. For å få en god uttørking heves innetemperaturen til omkring 20 °C og luftvekslingen skal ligge på 2 – 3 omsetninger pr. time. Ved blåsing av varm luft inn i lukkede konstruksjoner, må man sørge for å ha tilstrekkelig med åpninger slik at varm og fuktig luft slipper ut. Hvis det er mye fukt til stede, er metoden dårlig egnet for konstruksjoner med isolerte hulrom. Oppvarmingsaggregatet vil virke mot sin hensikt, hvis kravet til luftveksling og luftsirkulasjon i bygget blir for lav. Med et overtrykk i bygget kan fukten drives videre inn i konstruksjonene og gi skader (Krohn 2015).

2.5.2 Avfuktingsaggregater

Uttørking med avfuktingsaggregater er en rask og lite energikrevende metode og brukes mye av skadebegrensingsfirmaer. Metoden egner seg svært godt når for eksempel fuktinnholdet i uteluften er høyt om sommeren og høsten, og når effektiv utlufting/ventilasjon er vanskelig å gjennomføre. Det er også fordelaktig å bruke avfuktingsaggregater når en vegg- eller gulvkonstruksjon skal tørkes uten å demonteres. Dette skjer ved at man blåser tørr varm luft gjennom alle hulrommene i konstruksjonen. Ved benyttelse av denne metoden er det viktig at bygningen har minst mulig ventilasjon, for å oppnå et optimalt uttørkingsforløp (Krohn 2015).

Det finnes to typer avfuktingsaggregater; kondensavfuktere og sorpsjonsavfuktere.

2.5.2.1 Kondensavfuktere

Bruk av kondensavfukter er effektivt og besparende med tanke på økonomi, når det er varmt og mye fukt i luften. Fordelen ved kondensavfuktere er at kondensasjonsvarmen gjenvinnes, og man sparer energi. Ved høyere temperatur enn ca. 10 °C fungerer metoden bra (Rydock 2006).

2.5.2.2 Sorpsjonsavfuktere

Når innetemperaturen er lavere enn ca. 15 °C er sorpsjonsavfuktere veldig mye mer effektive enn kondensavfuktere. Kapasiteten på aggregatene bør være så stor at hele luftvolumet kan avfuktes en gang pr. time (Rydock 2006).

2.5.3 Naturlig uttørking

Naturlig uttørking er en passiv metode, og uttørkingsprosessen vil skje uten noen spesielle tiltak, men krever en viss oppvarming i vinterstid. Ulempen med en slik tørkingsprosess er at den tar lang tid og begrenses av hvor tett bygningen og konstruksjonene er. Denne metoden egner seg der det stilles spesielle krav til langsom uttørking. Vanlige bruksområder er for eksempel: uthus og garasjer eller verneverdige bygninger (Krohn 2015).

2.6 Fukt- og temperaturmålingsutstyr

For å utføre fuktmålinger i bygninger er det viktig å forstå hva de ulike utstyrene måler. I denne oppgaven skal vi kun beskrive kort de aktuelle instrumentene som er blitt brukt i et forsøk, som beskrives senere.

2.6.1 Veiecelle

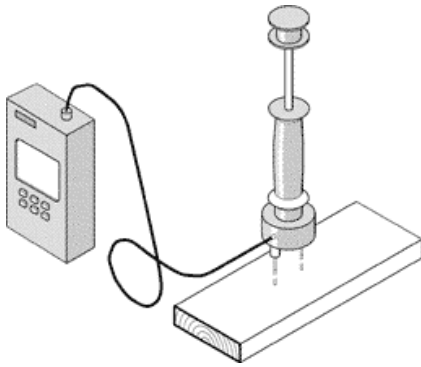
Veiemetoden kan brukes for å finne ut hvor mye vann et materiale opptar, altså det absolutte fuktinnholdet. Denne metoden vil gi ganske nøyaktige resultater, men det vil være en viss usikkerhet på $\pm 0,01$ gram (Geving & Thue 2002).

2.6.2 Trefuktmåler

Det finnes to typer trefuktmålere; en med isolerte hammerelektroder og en uten isolerte hammerelektroder. Vi går ikke i dybden på de uisolerte hammerelektroderne, da dette ikke er benyttet i vår oppgave. I neste avsnitt er det gitt en kort beskrivelse av en trefuktmåler med isolerte pigger (Geving & Thue 2002).

Trefuktmåler er en elektriske motstandsmåler som er kjent for å brukes i porøse materialer, som tre. Utstyret må innstilles i forhold til hvilken tresort som benyttes; enten gran eller furu. Når fuktinnholdet øker, vil den elektriske motstanden bli mindre. Faktorer som temperatur, innhold av salt (impregneringsvæske) og lim vil være med på å påvirke den elektriske motstanden. Fuktinnholdet i treverket finnes ved å se på de elektriske motstandsmålingene mellom to elektroder som stikkes inn i materialoverflaten (Geving & Thue 2002).

I følge NS 3512:2014 (Standard Norge 2014) ligger måleområdet for gran og furu mellom 8 til 28 vektprosent fukt. Nøyaktigheten på måleutstyret er $\pm 0,5 - 2$ vektprosent når materialet ligger under fibermetningspunktet, ca. 30 %. Motstandsmåleren vil gi dårlig nøyaktighet (over ± 10 vektprosent) når fibermetningspunktet er nådd. Det er derfor ikke anbefalt å benytte en motstandsmåler når fuktigheten i materialet har passert fibermetningspunktet (Geving & Thue 2002).



Figur 24 Trefuktmåler/ motstandsmåler (Einstabland 2005)

2.6.3 HygroTrac

Ved bruk av HygroTrac er det enkelt å overvåke fuktigheten på et bestemt sted i en bygning eller konstruksjon. Systemet fungerer ved at en eller flere fuktsensorer blir plassert på ulike steder i en bygningsdel. Sensoren logger kontinuerlig og leser av vektprosent i trevirket, RF, temperatur og duggpunkt. Resultatene fra fuktighetsmåleren blir registrert på en nettside, OmniSense, og dette foregår ved at et trådløst modem er tilkoblet internett. Modemet fanger opp alle målingene trådløst fra sensorene som er blitt plassert (INSTRUMENTCOMPANIET AS 2015). Brukermanualen har oppgitt at nøyaktigheten for temperatur er $\pm 0,5$ °C og for relativ fuktighet $\pm 3,5$ % RF (OmniSense LLC).



Figur 25 HygroTrac sensor

Fra OmniSense, kan man for hvert sensor få ut trefuktekvivalenten (% WME), som er prosentandelen av fukten i materialets overflate. Hvis HygroTrac hadde blitt koblet på et annet materiale ville (% WME) vist fuktinnholdet treverk hadde hatt i likevekt til det materialet som testes (NZ Moisture Meters 2014).

NZ Moisture Meters deler WME inn i 3 soner:

- <18% (Grønn sone) - Materialet er i en trygg uttørkingstilstand. Fuktavhengige problemer, som for eksempel muggvekst vil ikke kunne oppstå.
- 18% - 20% (Gul sone) - Materialet er i en grensetilstand, hvor det kan være en liten fare for råte og muggvekstskader.
- 20% (Rød sone) - Materialet har svært stor innhold av fukt og råtevekst er uunngåelig over tid dersom man ikke gjør noe uttørkingstiltak umiddelbart.

2.6.4 Relativ fuktighetshygrometer

Relativ fuktighetshygrometer (modell MI70) gir en indikasjon på relativ luftfuktighet og temperatur i rommet.

2.6.5 Termografering

Termografering brukes vanligvis for å analysere temperaturforskjeller og fuktforskjeller i bygningsoverflater på ulike konstruksjoner. Ved termografering måles den innkommende strålingen som vil befinne seg i den infrarøde delen av det elektromagnetiske spekteret, og som ikke blir oppdaget av menneskets øye (Sverre Holøs & Aurlien 2014). Ved hjelp av dette utstyret kan man få ut et varmebilde som er basert på den tilsynelatende strålingstemperaturen. Tilsynelatende temperatur kan kompenseres for de strålingskildene som kommer inn i den infrarøde delen av spekteret under termograferingen (Standard Norge 2009). Et hvert objekt har sin egen evne til å emittere stråling, og den termiske strålingen som emitteres i forhold til en svartkropp, kalles for emissiviteten (Guttormsen 2009).

Termograferingsutstyr som brukes i forbindelse med termografering kan sammenlignes med et digitalkamera. I likhet med digitalkamera består varmekameraet av et objektiv, sensor og en skjerm. Ved hjelp av et varmekamera kan fargeskalaen justeres slik at temperaturforskjellen en ønsker å vise blir synliggjort. Justeringene kan også gjøres ved hjelp av et dataprogram etter termografering (Sverre Holøs & Aurlien 2014).

Termografering brukes også for å finne luftlekkasjer, kuldebroer, varmetap og fukt i bygningskonstruksjoner (Sverre Holøs & Aurlien 2014).

2.7 WUFI 2D

2.7.1 Generelt om WUFI 2D

WUFI («Wärme und Feuchte instationär») er utviklet av Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland. Det er et PC - program som kan benyttes til å utføre transiente beregninger av hygrotermiske forhold i bygningskomponenter ved naturlige klimabetingelser. Med transiente beregninger menes beregninger over lengre tid, som for eksempel uttørking av et materiale. Programmet tar i bruk fuktmekanikken for å beregne varmetransport, gjøre en vurdering av temperaturforhold og varmetap i bygningskomponenter og som grunnlag for beregning av energibehov til oppvarming (Gustavsen 2010).

Fukt- og varmetransport påvirker hverandre. Når fuktinnholdet øker, vil også varmekonduktiviteten i et materiale øke. Fordampning og kondensasjon innvirker på temperaturen, og temperaturforskjeller gir opphav til fukttransport. For å få best mulig bilde av forholdene, bør varme- og fukttransport betraktes i sammenheng (Gustavsen 2010).

Ved utførelse av en simulering i WUFI, tas det hensyn til fukttransport ved vanndampdiffusjon og kapillærledning i materialene. Programmets beregningsgrunnlag baseres på både faste- og fuktavhengige materialparametere, og gir mulighet for å regne med den hygrotermiske kilden i den aktuelle konstruksjonen. Programmet tar også hensyn til slagregn og stråling for utvendige klimadata, og sørger for at de betingelsene som brukes er nær virkeligheten (Gustavsen 2010).

WUFI kan for eksempel benyttes til å vurdere (Gustavsen 2010):

- Uttørking av et bygningsmateriale
- Fare for kondens
- Slagregnets betydning mot en utvendige overflate
- Hygrotermiske forhold i et bygningsdel ved varierende klima

WUFI kan benyttes for kartlegging av ulike materialer og bygningskomponenter, og for alternativsvurderinger med tanke på hygrottermiske funksjonsegenskaper i forskjellige situasjoner med ulik påkjenning. WUFI kan også benyttes for å teste og utvikle nye materialer med ulike egenskaper. For å kunne bruke WUFI på en god og effektiv måte, er det viktig å ha fagkunnskap om fukt og varme samt grunnleggende erfaring om bruk av numeriske beregningsmetoder (Gustavsen 2010).

Vi har to typer programmer, WUFI 1D og WUFI 2D. Forskjellen ligger i at WUFI 1D brukes for endimensjonale problemer, mens WUFI 2D gir muligheten til å regne på to dimensjoner. WUFI 2D tar i bruk samme statistikken som 1D og gir muligheten til å simulere fukt- og varmetransport i bygningskomponenter med en mer systematisk utforming (Gustavsen 2010).

Ulempen ved slike simuleringer er at man aldri vil kunne klare å oppnå resultater som er 100 % nær virkeligheten. Grunnen er at det skjer så mye i omgivelsene at det er vanskelig å få lagt inn likninger for alt i et program, andre ting som ikke inkluderes har man kanskje ikke kjennskap til. Det er en av mange grunner til at man alltid vil få en viss forskjell i simuleringene i forhold til virkeligheten. Flere kommende forskninger og riktige konklusjoner vil føre til at man kommer ett skritt videre og dermed enda nærmere virkeligheten.

Nødvendige materialparametere som benyttes i WUFI 2D er listet nedenfor (Wufi-wiki.com 2009a).

Tetthet (bulk density)	[kg/m ³]
Porøsitet (porosity)	[m ³ /m ³]
Varmelagringskapasitet (heat capacity)	[J/kgK]
Varmekonduktivitet	[W/mK]
Motstandsfaktor for vanndamp [-] (Diffusion resistance factor dry [-])	[μ]
Lufttemperatur	[°C]
Relativ fuktighet i luft, φ	[%]

Tettheten er forholdet mellom objektets masse [m] og dets volum [V_{tot}]

$$\rho_{bulk} = \frac{m}{V_{tot}}$$

Porøsiteten i programmet beregnes som 1 minus forholdet mellom tettheten av objektet og den tettheten vi får når objektvolumet er fratrukket porevolumet (Wufi-wiki.com 2009a). Dette kan settes opp slik:

$$n = 1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{true}}$$

$$\text{Hvor, } \rho_{true} = \frac{m}{(V_{tot} - V_{pores})} = \frac{m}{V_{true}}$$

Med *varmeledningskapasitet* menes nødvendig varme som trengs for å øke temperaturen til materialet med 1°C. Grovt regnes denne verdien som 850 J/kgK for mineralske materialer og 1500 J/kgK for de organiske materialene (Wufi-wiki.com 2009a). Gran har i teorien en varmekapasitet på 1900 J/kgK og tilhører under kategorien organisk (Geving & Thue 2002). I WUFI varierer denne verdien for gran avhengig av hvilket bibliotek og hvilket retning av materialet man ser på, men for hydrotermiske beregninger har ikke denne verdien noe stor betydning.

Varmekonduktivitet er et mål på materialets varmeledningsevne, jo høyere tall desto bedre verdier. Tre har verdier som ligger mellom 0,08 – 0,15 (Wufi-wiki.com 2009b). De hydrotermiske beregningene blir lite påvirket av denne verdien.

Materialets motstandsfaktor for vanndamp, μ er avhengig av forholdet mellom diffusjonen til vanndamp i luft og diffusjonen i materialet. For materialer som er svært porøse settes μ -verdien nær 1, og tilsvarende vil tette materialer ha en større motstandsfaktor (Wufi-wiki.com 2008). For tre er denne motstandsfaktoren lavere enn fliser og plast. I dette forsøket er disse verdiene veldig viktige. Trevirket har en motstandsfaktor $\mu = 50$ ved tørre forhold, og ved fuktigere forhold er de samme verdien $\mu = 20$ (SINTEF Byggforsk 2013).

Faktoren μ multiplisert med materialets tykkelse gir oss ekvivalent luftlagstykkelse (Sd-verdi). Verdien gir en indikasjon på materialets dampmotstand (Geving et al. 2010).

Lufttemperatur er temperaturen i omgivelsene og oppgis som [$^{\circ}\text{C}$] i WUFI 2D. Relativ fuktighet (RF) legges inn for klimaforholdene i programmet. For mer om relativ fuktighet, se avsnitt 2.4.3.

2.7.2 Kalkulasjonsmetode:

Kalkulasjoner utført i WUFI er avhengig av følgende formler:

Varmetransport:

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

Fukttransport:

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

I både varme- og transportformlene sier den venstre siden av formelen noe om lagringsvilkårene og den høyre siden om transportvilkårene. Det er viktig å legge merke til at transportbetingelsene er påvirket av både varme og fukt. Ut i fra varmetransportsformelen kan man se at varmekonduktiviteten og vandampdiffusjonen er sterkt påvirket av fuktigheten, mens i formelen for fukttransport er det væskefluksen/væsketransporten som avhenger av temperaturen. Konklusjonen er at varme og fukt avhenger av hverandre og dermed også formlene (Künzel 1995).

$dH/d\vartheta$ [$\text{J}/\text{m}^3\text{K}$]	- Varmelagringskapasiteten til fuktig bygningsmateriale
$dw/d\varphi$ [kg/m^3]	- Fuktlagringskapasiteten til bygningsmaterialet
λ_x, λ_y [W/mK]	- Varmekonduktivitet for fuktige bygningsmaterialer i x- og y- retning
$D_{\varphi x}, D_{\varphi y}$ [kg/ms]	- Væsketransportskoeffisient til bygningsmaterialet i x- og y- retning
δ_{px}, δ_{py} [kg/msPa]	- Vandampdiffusjonskoeffisient for bygningsmaterialet i x- og y- retning

h_v [J/kg]	- Fordampnings entalpi for vann
p_{sat} [Pa]	- Metningstrykket for vanndamp
ϑ [°C]	- Temperatur
φ [-]	- Relativ fuktighet

3. Metode

Metode og vitenskap er to begreper som blir brukt aktivt sammen. Med metode menes her ulike fremgangsmåter for gjennomføring av ulike vitenskapelige studier. Metoden er en viktig del av forskningen, og skal gi svar på hvordan dataene er samlet inn, behandlet og analysert. Det skal settes hypoteser og stilles forskningsspørsmål som skal besvares på en god måte. Det er viktig å planlegge nøye hvordan forskningen skal utføres og hvilke resultater man ønsker å oppnå. Dersom man ikke vet hvilke resultater man kan komme til å få, må man bare prøve og feile, og om nødvendig endre eller utvikle metoden underveis (metodeutvikling). Metoden bør beskrives på en nøyaktig måte slik at leseren uten noen problemer kan utføre forsøket og oppnå samme resultat (Dalland 1997).

3.1 Kvalitativt og kvantitativt forskningsmetode

Det finnes to typer forskningsmetoder; kvalitativt og kvantitativt metode. Kvalitativ metoden brukes for å gå i dybden og fange meninger og opplevelser hos de interessante, framfor å få ut resultater ved statistikk (målinger og tallverdier) som ved kvantitative metoder. Fordelen ved kvantitative metoden er at man får ut resultater som man kan bearbeide og kan eventuelt brukes til å finne en gjennomsnitt av en større mengde (Dalland 1997).

3.2 Valg av metode

Ulike spørsmål og problemer vil oppstå underveis når man velger en form for forskningsmetode. Man bør tenke igjennom og reflektere over det valget man tar. Når man tar et slikt valg bør man gjøre en vurdering av framgangsmåten, og om det er praktisk mulig å få gjennomført. Økonomi- og tidsbegrensninger vil også spille inn en rolle for valg av metode (Dalland 1997).

I denne oppgaven har vi valgt å gjennomføre en kombinasjon av kvalitativt og kvantitativt forskningsmetode. Resultater fra simuleringene, sensorer og veiecelle målinger gir oss dataene i form av tall, men i en gitt avgrenset tidsperiode. Disse tallfestede resultatene ble brukt for å tolke og analysere resultatene.

Metodebeskrivelsen vil gi en indikasjon på hvordan man ønsker å gå fram for å besvare den spesifikke problemstillingen, samt de forskningsspørsmål og hypoteser som stilles. I denne oppgaven vil også metodekvalitet og usikkerhet ved forsøket diskuteres.

3.3 Datainnsamling

Datainnsamlingen vil være grunnlaget for å besvare oppgaven, og de må være gyldige, pålitelige og relevante. Det er ikke alltid like lett å finne dataene man ønsker og noen ganger er det praktisk å kontakte noen kjente for å få relevante opplysninger.

Vanskeligheter som har oppstått underveis bør også oppgis (Dalland 1997).

Under arbeidet av oppgaven har det vært nødvendig med massivtreprøver fra Massiv Lust AS. Det ble utført et laboratorieforsøk hos Treteknisk Institutt, hvor det var mulighet for å kunne bruke de nødvendige verktøy som det var behov for ved gjennomføring av forsøket.

Lisensen for WUFI 2D har vært nødvendig for å få sammenlignet resultatene med forsøket. Det har vært veldig utfordrende å finne konkret materialdata om limsjiktet mellom massivtre lamellene. Dette var en viktig materialopplysning for simuleringen i WUFI 2D.

Datainnsamlingen fra HygroTrac- sensorene ble hentet ut fra nettsiden til OmniSense. For veggmålingene ble det utført to forsøk, dette fordi sensorene ikke logget (ingen variasjon i trefuktigheten) første gangen. Dette blir diskutert i starten av kapittel 4.

3.4 Forarbeid til laboratorieforsøk

For å få utført dette laboratorieforsøket med massivtreelementer, har vi vært avhengig av materialer fra Massiv Lust AS. Massiv Lust AS er en nyoppstartet norsk produsent i Norge, som holder til i Luster i Sogn og Fjordane. De har også et arkitektkontor i Oslo. Massiv Lust AS fikk den Nordiske Treprisen i 2014. De er hittil den eneste produsenten i Norge som produserer krysslimte massivtreelementer. De bruker norsk tømmer i elementene sine, og er en aktiv pådriver for god forvaltning og verdiskaping av norske skogsressurser. Fabrikken produserer, prosjekterer og monterer massivtrekonstruksjoner (Massiv Lust AS).

Massivtre produseres i forskjellige tresorter og størrelser. Vi har i dette forsøket sett på 5 sjikts elementer av gran, hvor hvert av sjiktene er på 2 cm. Det ble utarbeidet 15 massivtreprøver med dimensjonene $L = 30 \text{ cm}$, $B = 30 \text{ cm}$ og $t = 2 \times 5 = 10 \text{ cm}$. Prøvene ble skåret ved hjelp av en CNC- maskin, som vi fikk opplæring i å bruke på produksjonshallen i Luster. Denne maskinen ble programmert med nøyaktig $30 \times 30 \text{ cm}$. Prøvestykkene ble brukt til å utføre forsøket hos Treteknisk Institutt i Oslo.



Figur 26 Massiv Lust AS, Produksjonshall og kontorer (Massiv Lust AS)



Figur 27 Ferdig sammensatt massivtre i hallen

3.4.1 Produksjonsprosessen av massivtre hos Massiv Lust AS

Steg I: Råelement

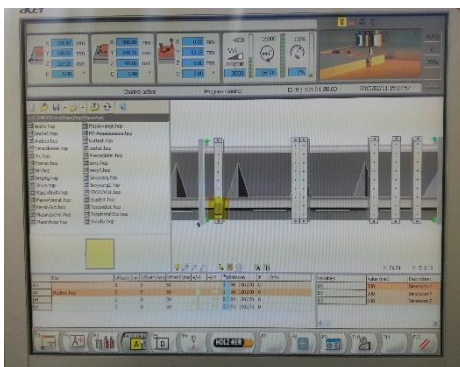
1. Massivtreelementer blir først prosjektert i tegneverktøyet, CAD. Bestillingslister, valg av type tresort og størrelsen på lameller blir vurdert under prosjekteringen.
2. Etter valg av tresort blir lamellene nedtørket til 12 vektprosent. Det tas hensyn til et avvik på $\pm 2 \%$ trefuktighet. Råvarene kommer inn i fabrikk, blir ferdig høvlet og pre-cutet i lengder.
3. Råvarene ligger pakket i plast innendørs i minimum 24 timer for å klimatiseres.
4. Etter klimatisering blir de korte-, og lange lamellene stablet og påført 2 komponent lim, Melamin-Urea-Formaldehyd lim (MUF-lim).
5. Etter at elementene har blitt påsmurt lim, blir de lagt i en høyfrekvent presse fra 4 sider med ca. 100 tonns trykk.
6. Til slutt blir elementene merket og stablet.

Steg II: CNC – Fresing

1. Elementtegninger konverteres fra filformatet CAD til CAM, fordi det er mest effektivt og gir mest nøyaktige resultater ved en CNC- maskin.
2. Deretter blir elementene rullet inn i fres på rullebånd.
3. Elementene formateres med ulike verktøy, som igjen er avhengig av deres geometri.
4. Til slutt blir elementene merket, pakket i plast og stablet for forsendelse med bil.

Hvordan bruke en CNC maskin?

Under befaringen i produksjonshallen hos Massiv Lust AS, ble vi fortalt hva og hvordan en CNC maskin fungerer. CNC maskinen er tilkoblet luftkompressor, vakuumpumpe og avsug. Vakuumpumpen starter automatisk, mens kompressor og avsug må slås på manuelt. Ved oppstart må man sørge for at spjeldet er åpent. Før maskinering av materialet skal maskinens spindel gjennom et oppvarmingsprogram. Maskinen beveger seg raskt og brukeren må selv passe på at personell og andre ting ikke står for nære eller i veien for maskinen. Programmeringen for CNC maskinen skjer ved et dataprogram. Vi vil ikke gå i dybden på programmering av CNC- maskinen, siden det utgjør en så liten del av denne oppgaven.



Figur 28 CNC- maskinen er programmert for 30x30 cm prøver



Figur 29 CNC- maskinen skjærer ut et av prøvestykkene



Figur 30 Dimensjonene ble kontrollert underveis etter at halve prøven var utskåret



Figur 31 Ferdig utskåret prøve

3.5 Laboratorieforsøk

I dette forsøket har det blitt sett på oppfukning og uttørking av en innvendig vegg- /gulv konstruksjon av massivtre. I tillegg til dette har det blitt sett på uttørking av en massivtrevegg på en plastfolie. Dette ble utført for å se om det har noe utslag på uttørkingstid i forhold til massivtrevegg uten plastfolie.

3.5.1 Metode og metodeutvikling

Prøvestykkene ble veid på forsøkslaben etter at de ble hentet fra Massiv Lust AS. Ved leveranse lå fukten på ca. 14 vektprosent. Prøvene ble preparert i et tørkeskap på 3 dager (80 °C i en dag og 60 °C på to dager) slik at de holdt et «akseptabelt» fuktprosent, mindre enn ca. 12 %, se Tabell 11.



Figur 32 Prøvene satt i tørkeskapet



Figur 33 Vektmåling av en prøve på veicellen

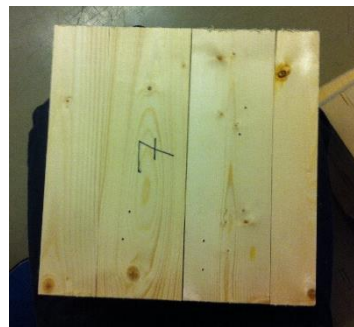
Etter nedtørkingen tok vi prøvene ut fra tørkeskapet og målte fuktprosenten ved hjelp av en trefuktighetsmåler. De isolerte hammer elektrodene på denne måleren ble banket langt inn i materialet for å måle trefuktigheten. Før bruk ble instrumentet kalibrert til trevirket gran med sin verdi på 555, og en laboratorietemperatur på 20 °C.

Fuktprosenten ble målt i sjikt 1 og 2 for hvert av prøvene, men på tre forskjellige steder på overflaten. Målingene ble tatt i der det lå minst kvister, på grunn av at kvister hindrer vannopptaket i treverket.

Fuktprosenten i de ytterste sjiktene ble målt ca. 1 cm inn i overflaten, og verdiene lå på ca. 7,1 %. Mens i sjikt nummer 2 ble det målt ca. 3 cm (inkludert sjikt 1) inn i materialoverflaten, som ga en variasjon fra 7,1 til 10,8 %. For å måle fuktigheten i trevirket måtte man stikke elektrodene langt nok inn i materialet for å finne den fuktige kjernen. Når man måler fukt i trevirket bør man også gjøre målinger i dybden og på overflaten av trevirket. Det viktigste er å måle fukten på de mest kritiske stedene på treverket (Mattsson & Stensrød 2009).



Figur 34 Trefuktighetsmåleren viser fuktprosenten i materialet



Figur 35 Viser de tre ulike stikningsområdene på elementet

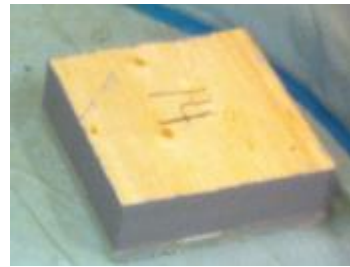
Neste steg ble å fordele prøvene etter vegg- og gulvelementer. Beslutningen ble 8 vegg- og 7 gulvelementer. Det ble benyttet flytende smøremembran for å forsegle vegg- og gulvsidene som ikke skulle ta opp vann under oppfuktingen. Det ble brukt omtrent 3 liter smøremembran for å forsegle alle prøvene.



Figur 36 Flytende smøremembran



Figur 37 Forseglet vegg



Figur 38 Forseglet gulv

I følge bruksanvisningen for smøremembranen ble det anbefalt å la det tørke i et døgn. Dagen etter ble det foretatt ny vektmåling, hvor forseglingen var inkludert. Før veggene og gulvene ble satt i et vannfylt basseng, ble HygroTrac sensorene koblet på veggene. Før HygroTracerne ble montert ble ID-numrene til de gjeldene prøvene registrert på et Excel ark. Dette ble registrert for å ha en viss oversikt over gjeldende data fra internettsiden til sensorene, OmniSense.

Det ble koblet HygroTrac sensorer på de stående veggene under oppfuktingen. Gulvene fikk montert sensorer under uttørkingen. Dette er en logger som vil vise fuktmålinger over en lengre tidsperiode. Sensoren ble montert rett inn i trevirket med to skruer, og mellom disse to skruene ble trefuktigheten målt. Dette er fordi skruene fungerer som elektroder. På undersiden av HygroTrac sensoren er det et hull med en logger som måler temperaturen og den relative fuktigheten.

3.5.2 Oppfuktingsprosessen

Figuren under viser hvordan prøvene ble oppfuktet i laboratoriet. Det ble plassert muttere på undersiden av materialprøvene slik at prøvene hadde muligheten til å bli oppfuktet fra undersiden. Høyden på vannet var ca. 2 cm, og ble kontrollert hver dag. Under oppfuktingsprosessen ble prøvene veid på en veiecelle hver 12. time; kl. 08:30 og 20:30. Oppfukningstiden til prøvene varierer mellom 1, 3 og 7 døgn, da vi har valgt å se på uttørking etter disse dagene. Se vedlegg 1.



Figur 39 Oppfukting av vegger og gulv

3.5.3 Uttørkingsprosessen

I dette forsøket har det blitt valgt å tørke ut prøvene ved naturlig uttørking, passiv metode. Denne metoden har tidligere blitt beskrevet i avsnittet om naturlig uttørking, se pkt. 2.5.3. Disse prøvene ble lagt under laboratorieklimaet. De første to ukene under uttørkingsprosessen ble prøvene veid på en veiecelle hver 12. time; kl. 08:30 og 20:30. Deretter gikk vi over til å måle kun en gang om dagen, og de siste ukene målte vi annenhver dag. Se vedlegg 1.



Figur 40 Uttørking på laboratoriet

Prøvene ble etter oppfuktingen umiddelbart skrudd sammen og lagt til uttørking. Disse ble skrudd sammen med 1 millimeters glippe. Gulvene fikk montert HygroTrac for uttørkingsprosessen.

Tabell 5 Viser oversikt over de forskjellige prøvene

Prøve nummer:	Antall dager under oppfukting	Antall dager under uttørking
1 og 2	1 døgn	30 døgn
3 og 4	1 døgn	30 døgn
5 og 6	3 døgn	28 døgn
7 og 8	3 døgn	28 døgn
9 og 10	7 døgn	24 døgn
11 og 12	7 døgn	24 døgn
13 og 14	7 døgn	-
15	7 døgn	24 døgn

Prøve nummer 15, ble tatt ut og lagt på en plastfolie for å observere om det ville gi noe forskjell på uttørkingstiden i forhold til de veggprøvene som hadde direkte kontakt med gulvoverflaten.

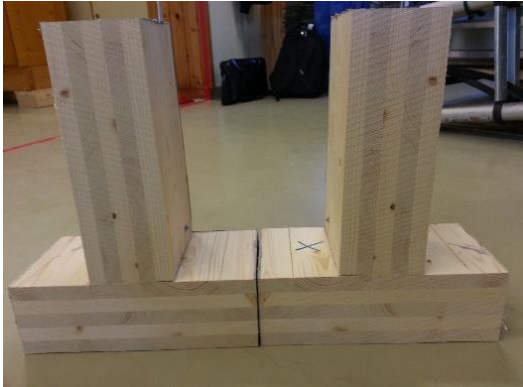
3.5.4 Termografering

Kameraet som ble brukt under forsøket er, FLIR E50bx (med 240x180 piksel og ≤ 0.045 °C sensitivt. Spektrrets område 7.5 – 13 μm og en nøyaktighet på ± 2 °C). I tillegg til dette ble det benyttet et program, FLIR Tools+, som var koblet sammen med termograferingskameraet under forsøket. Termografikameraet målte kun strålingen fra overflaten. Emissivitetsverdien befinner seg i et område mellom 0 til 1. Det ble valgt å stille måleutstyret inn med en emissivitetsverdi på 0,95. Valget ble tatt i forhold til en svartkropp med kjent emissivitetsverdi på 1, noe som er veldig høyt.

Prøve nummer 13 og 14 ble tatt ut etter sju døgn med oppfukting og deretter skrudd sammen. Det var interessant med et termograferingsbilde og derfor ble prøven kappet i to for å se temperatur- og fuktforskjeller inne i materialet. Temperaturendringen vil være en viktig faktor for å finne ut hvordan fuktigheten endrer seg.

En av de oppdelte prøvene av prøve (13 + 14), ble igjen kappet på nytt og termografert etter 10 dager ut i uttørkingsperioden. Dette ble utført for å se hvordan fuktegenskapene til materialet endres.

Dagen uttørkingsprosessen ble avsluttet, 23.03.15 ble prøve nummer (11 + 12) delt, for å undersøke om det fortsatt var fuktige områder inne i materialet. Denne prøven ble oppfuktet i 7 døgn, men delt etter 24 døgn med uttørking, slik at den kunne termograferes.

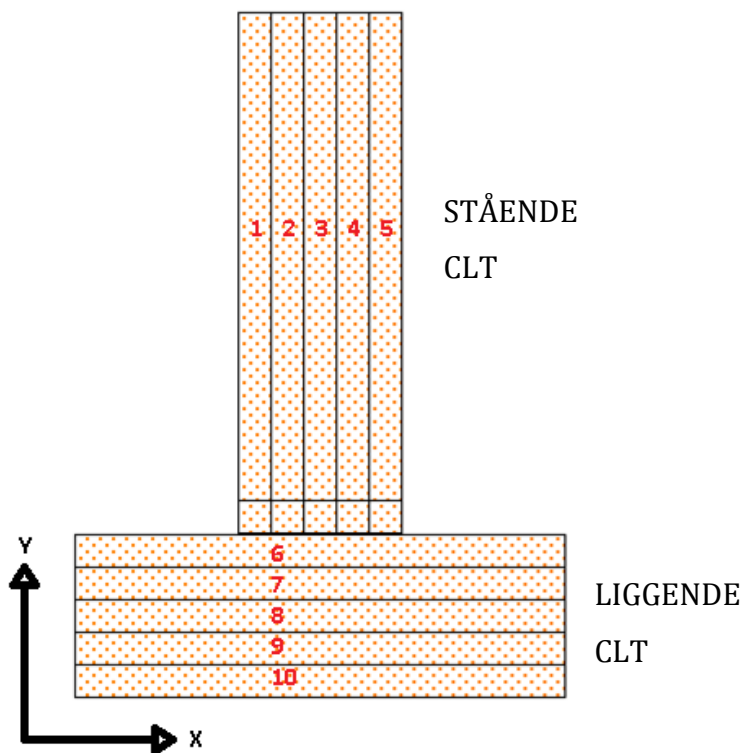


Figur 41 Snittet av termograferingsområdet

3.6 Simulering i WUFI 2D

3.6.1 Trelameller

Simuleringer i forbindelse med dette forsøket har blitt utført i WUFI 2D, hvor de aktuelle situasjonene har blitt programmert inn med en mest mulig tilnærming til virkeligheten. Før konstruksjonen ble tegnet opp i programmet ble det gjort en vurdering av de forskjellige treretningene; langsgående, radiell og tangentiell. Figur 3, Figur 4 og Figur 5 ble brukt til å finne ut av de ulike retningene på massivtrelamellene. Figur 42 viser et nummer for de ulike sjiktene som ble lagt inn i simuleringprogrammet.



Figur 42 Konstruksjonen som ble programmert inn i WUFI 2D

Tabell 6 Valg av treretninger:

Nr.	X- retning	Y- retning
1	Tangentiell	Langsgående
2	Tangentiell	Radiell
3	Tangentiell	Langsgående
4	Tangentiell	Radiell
5	Tangentiell	Langsgående
6	Radiell	Tangentiell
7	Langsgående	Tangentiell
8	Radiell	Tangentiell
9	Langsgående	Tangentiell
10	Radiell	Tangentiell

For “radiell” og “tangentiell” ble det i programmet benyttet materialet ‘Skandinavisk gran vinkelrett fibre og for “langsgående” ble det brukt “Gran longitudinal”. Materialene ble hentet fra materialbiblioteket i WUFI 2D fra NTNU og Fraunhofer. Materialbruken er listet i Tabell 7.

Tabell 7 Viser oversikt over materialbruk i WUFI 2D

Nr.	X- retning	Y- retning
1	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Gran longitudinal
2	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Skandinavisk gran vinkelrett fibre
3	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Gran longitudinal
4	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Skandinavisk gran vinkelrett fibre
5	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Gran longitudinal
6	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Skandinavisk gran vinkelrett fibre
7	Gran longitudinal	Skandinavisk gran vinkelrett fibre
8	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Skandinavisk gran vinkelrett fibre
9	Gran longitudinal	Skandinavisk gran vinkelrett fibre
10	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	Skandinavisk gran vinkelrett fibre

3.6.2 Lim

Det har vært veldig utfordrende å programmere inn et lag med lim i WUFI 2D. Vi har i denne oppgaven brukt Polyuretan (PUR), som egentlig går under kategorien “hardplast”. Men dette er en tilnærming vi bruker for limsjiktet, da vi tenker oss at limet blir hard og tilnærmet et plastlag mellom lamellene når den stivner.

Fra Tabell 8 kan det i tillegg til andre materialer også leses av verdier for polyuretan som er hentet fra Standard Norge «*NS-EN ISO 10456:2007 + NA:2010, tabell 3(forts), side 9*». Disse verdiene ble lagt inn, og i tillegg til dette ble porøsiteten satt til “null”, slik at materialet ikke kunne ta opp vann.

3.6.3 Datainput

Tabell 8 viser oversikt over materialbruken i WUFI 2D og Tabell 9 viser ekvivalent luftlagstykkelse (Sd- verdi) for materialoverflatene samt klimaforhold i laboratoriet.

Tabell 8 Materialbruk i WUFI 2D

Materialgruppe eller bruksområde	Densitet ρ Kg/m ³	Porøs- iteten (n)	Dimensjon- erende varmekond- uktivitet λ W/(mK)	Spesifikk varme- kapasitet C_p J/(kgK)	Relativ vanndampmots- tand μ	
					Tørr	Våt
Hard plast Polyuretan (PUR) (Tilnærmingsverdi for lim)	1200	≈ 0	0,25	1800	6000	6000
Polyetylenfolie (PE- folie)	130	0,001	2,3	2300	50000	50000
Luftsjikt	1,3	0,999	0,071	1000	0,73	0,73

Skandinavisk gran vinkelrett fibre	420	0,75	0,13	1600	50	50
Gran longitudinalt	455	0,73	0,23	1500	4,3	4,3

Tabell 9 Input data for «surface/climate»

Materiale	Vanndampmotstand (ekvivalent luftlagstykkelse) Sd m	Temperatur i [°C]	RF i [%]
	Surface	Climate	
Fliser	2	20	40
Luft	-	20	40
Smøremembran	12,2	20	40
Treverk	-	20	40
Polyetylenfolie (PE- folie)	50	20	40

Begrunnelse for valg av input data for «surface/climate», se Tabell 9:

Climate:

Det har vært en liten utfordring ved valg av RF for «climate» i WUFI 2D, valget er begrunnet i punkt 5.6. Det ble programmert inn med en temperatur på 20 °C og en RF på 40 %.

Surface:

Det ble brukt en polyetylenfolie, med en Sd- verdi = 50 m. Materialet ble lagt inn direkte fra WUFI 2D og ble kontrollert opp imot standarden, slik at Sd-verdien stemte.

Plastfolien hadde en reell tykkelse på 0,15 mm, men ble lagt inn med en tykkelse på 1 mm, noe som programmet krevde.

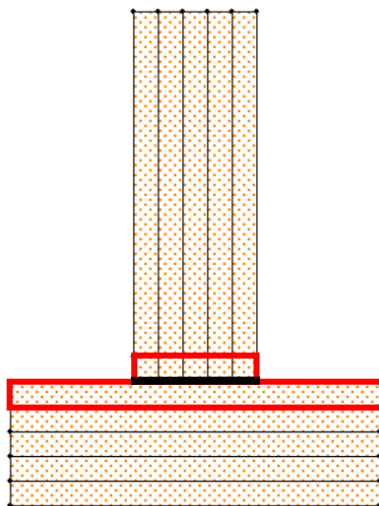
Videre ble smøremembran lagt inn med en Sd- verdi på 12,2 meter i henhold til produktanvisningen for HEYDI K10, smøremembran.

På undersiden av den sammensatte konstruksjonen er det lagt inn fliser med en Sd- verdi = 2,0 m, direkte fra WUFI 2D.

En kort oversikt over simuleringer som ble foretatt i WUFI 2D:

Tilfelle 1 uten lim:

1. Figur 43 viser den sammensatte konstruksjonen uten lim mellom sjiktene, men en luftlagstykkelse på 1 mm mellom gulv og vegg. Simulert for uttørking etter 1, 3 og 7 døgn med oppfukting.
2. Vegg 15, uten lim mellom sjiktene i konstruksjonen. Det er lagt inn en plastfolie som erstatter luftlaget. I simuleringen har vi valgt å plassere vegggen over en gulv, som har blitt oppfuktet i like lang tid. Dette var viktig for å kunne anslå hvor mye vann som trenges opp i sjikt 2 og 4 på vegggen. Simulert for uttørking etter 7 døgn med oppfukting.

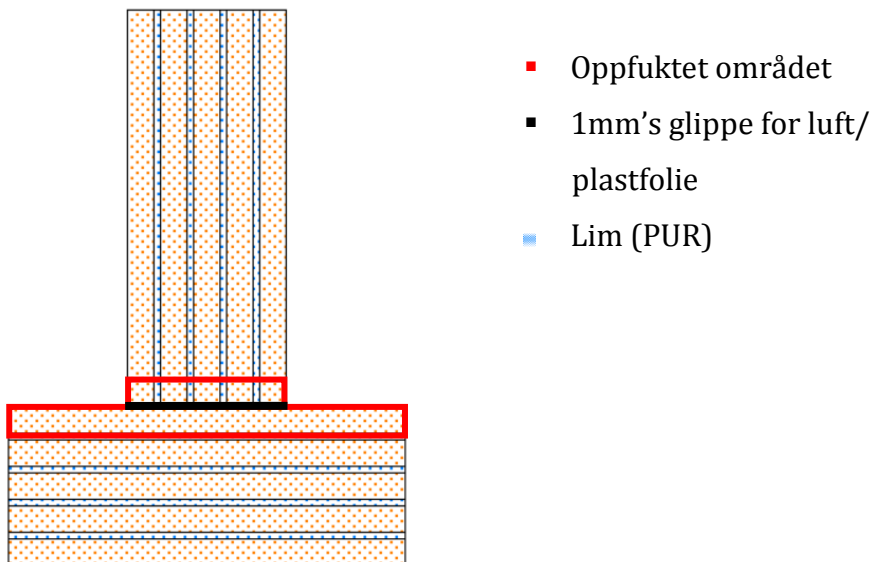


- Oppfuktet området
- 1mm's glippe for luft/
plastfolie

Figur 43 Oppbygning av konstruksjonen i WUFI 2D uten lim.

Tilfelle 2 med lim:

1. Figur 44 viser den sammensatte konstruksjonen med lim mellom sjiktene og en luftlagstykkelse på 1 mm mellom gulv og vegg. Simulert for uttørking etter 1, 3 og 7 døgn med oppfukting.
2. Vegg 15, med lim mellom sjiktene i konstruksjonen. Det er lagt inn en plastfolie som erstatter luftlaget. I simuleringen har vi valgt å plassere veggene over en gulv, som har blitt oppfuktet i like lang tid. Dette var viktig for å kunne anslå hvor mye vann som trengs opp i sjikt 2 og 4 på veggene. Simulert for uttørking etter 7 døgn med oppfukting.



Figur 44 Oppbygning av konstruksjonen i WUFI 2D med lim.

Termografering og WUFI 2D:

Til slutt ble det i forbindelse med termografering lagt inn en temperaturgradient i WUFI 2D. Dette ble utført for å kunne undersøke fuktforskjeller og for å se om fuktprofilen fra termograferingsmålingene samsvarte med et beregnet profil i WUFI 2D. 2D plot med initialbetingelser for en 7 døgns oppfuktingsprøve (13+14) og (11+12) ble kartlagt i forhold til de ulike tidspunktene termograferingen ble foretatt. Hensikten med dette var å kunne klare å forutsi mengden av fukt i materialene, ved hjelp av temperaturforskjeller, se pkt. 4.8 for resultat, og se vedlegg 4.

Initialbetingelser:

Det har blitt antatt at vannopptaket har foregått i de to første centimeterne i materialet. Veggsjiktene ble delt opp og lagt inn i programmet med en densitet som samsvarer med vektmålingene våre. Startverdiene for både vegger og gulv ble lagt inn med 7,1 % multiplisert med totale prøvens tørrdensitet ρ . Trefuktigheten på 7,1 % kommer fra motstandsmåleren, som ble benyttet etter prøvene ble preparert. Se vedlegg 2.

Beregningene i denne masteroppgaven for fuktinnhold i kg/m^3 er videre basert på volumet av det oppfuktede området. Se Figur 43 eller Figur 44. Initialbetingelser som er lagt inn for simuleringer, er vist i vedlegg 3.

4. Resultater

I denne delen blir resultatene presentert. Hvis ikke annet er kommentert, er forsøkene gjennomført i henhold til metoden som er beskrevet i Metode kapitlet, se kapittel 3. Aller først presenteres resultater for preparerte prøver, deretter presenteres målings- og simuleringsresultater fra WUFI 2D. Noen grafer har en kombinasjon av både HygroTrac-sensorer, vektmålinger og WUFI 2D simuleringer, men dette kommer tydelig fram av de aktuelle grafene. Til slutt vil termograferingsbildene bli presentert.

Sensorene som ble festet til veggene ble i utgangspunktet plassert parallelt med fiberretningen og den valgte plasseringen ga stor avstand fra vannoverflaten og opp til sensorenes elektroder. Den lange avstanden gjorde at sensorene ikke klarte å måle noe variasjon i fuktprosenten. Forsøket ble gjentatt med de samme veggelementene. En viktig forutsetning for å kunne benytte de samme prøvene har vært at trefuktigheten på midten etter gjennomføringen av det første forsøket var det samme etter oppfuktingen som når det ikke var oppfuktet. Veggene ble derfor snudd opp ned, hvor den delen som hadde ligget i vann tidligere ble forseglet, mens den øvre delen som tidligere var forseglet ble kappet 1,5 cm ned. Tre prøver ble igjen oppfuktet i 1, 3 og 7 døgn, hvor HygroTrac-sensorene denne gangen ble plassert på tvers og nær vannoverflaten. For vegger benyttes disse sensormålingene videre.

Vektmålinger av prøvene ble ikke foretatt på nytt, selv om forsøket ble gjentatt. I oppgaven benyttes derfor de samme vektmålingene som ble foretatt første gangen forsøket ble gjennomført.

I løpet av masterperioden har det blitt gjennomført målinger og simuleringer, som har gitt en god del resultater. Tabell 10 gir en enkel oversikt over resultater som er presentert videre.

Tabell 10 oversiktstabell for resultatdelen

Resultat	Betydning
Sammensatte prøver 1 døgn, Figur 46	Prøve (1+2) og (3+4), 1 døgn ved oppfukting og 30 døgn ved uttørking
Sammensatte prøver 3 døgn, Figur 47	Prøve (5+6) og (7+8), 3 døgn ved oppfukting og 28 døgn ved uttørking
Sammensatte prøver 7 døgn, Figur 48	Prøve (9+10) og (11+12), 1 døgn ved oppfukting og 24 døgn ved uttørking
Vegg 1 døgn, Figur 50	Prøve 1, 1 døgn ved oppfukting og 30 døgn ved uttørking
Gulv 1 døgn, Figur 51	Prøve 2, 1 døgn ved oppfukting og 30 døgn ved uttørking
Vegg 3 døgn, Figur 52	Prøve 7, 3 døgn ved oppfukting og 28 døgn ved uttørking
Gulv 3 døgn, Figur 53	Prøve 8, 3 døgn ved oppfukting og 28 døgn ved uttørking
Vegg 7 døgn, Figur 54	Prøve 9, 7 døgn ved oppfukting og 24 døgn ved uttørking
Gulv 7 døgn, Figur 55	Prøve 10, 7 døgn ved oppfukting og 24 døgn ved uttørking
Vegg 15, Figur 56	Prøve 15, 7 døgn ved oppfukting og 24 døgn ved uttørking. Ble plassert på en plastfolie under uttørkingen.
Relativ fuktighet og temperatur, 1 døgn Figur 57 (WUFI 2D) Figur 61 (HygroTrac)	Prøve (1+2), 1 døgn ved oppfukting og 30 døgn ved uttørking
Relativ fuktighet og temperatur, 3 døgn Figur 58 (WUFI 2D) Figur 62 (HygroTrac)	Prøve (7+8), 3 døgn ved oppfukting og 28 døgn ved uttørking
Relativ fuktighet og temperatur, 7 døgn Figur 59 (WUFI) Figur 63 (HygroTrac)	Prøve (9+10), 7 døgn ved oppfukting og 24 døgn ved uttørking

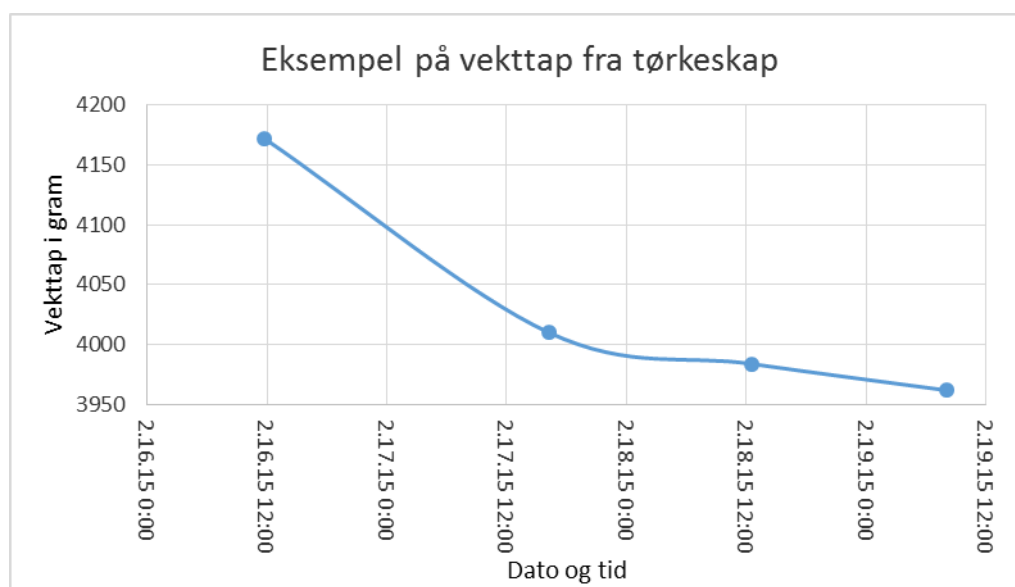
Relativ fuktighet og temperatur, vegg 15 Figur 60 (WUFI) Figur 64 (HygroTrac)	Prøve 15, 7 døgn ved oppfukting og 24 døgn ved uttørking. Ble plassert på en plastfolie under uttørkingen
---	---

4.1 Preparering av prøver

Ved forberedelsen av forsøket ble alle prøvene preparert, det vil si at prøvene ble lagt til tørking for å oppnå en akseptabel fuktprosent. Dette ble gjort for at alle prøvene skulle ha omtrent lik fuktprosent ved start. I Tabell 11 er det gitt en oversikt over vekttap i prøver som følge av at de ble plassert i varmeskapet. Figur 45 viser eksempel på uttørking for en av prøvene som har ligget i tørkeskapet i 3 døgn.

Tabell 11 Vekttap i prøver ved plassering i varmeskapet

Grader i tørkeskap	Vekttap i gram
80 °C	160 – 200 gram
60 °C	25 – 30 gram
60 °C	18 – 22 gram



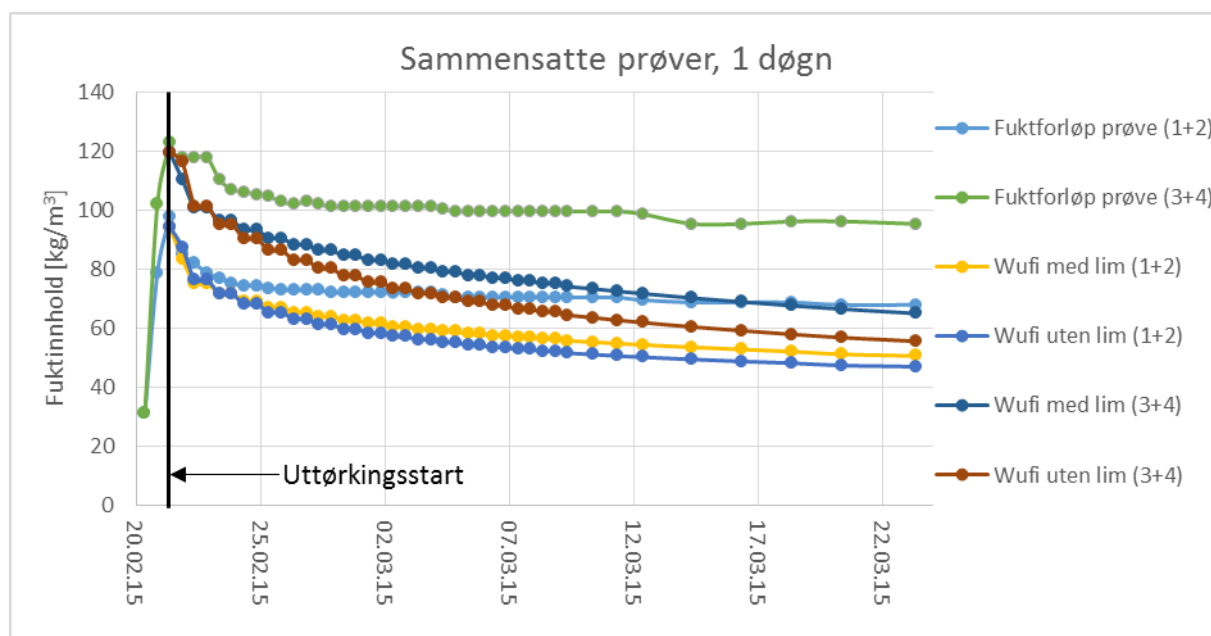
Figur 45 Eksempel på vekttap for en av prøvene som har ligget i tørkespet i 3 døgn

4.2 Målinger og simuleringer (sammensatte prøver)

Alle vektmålinger for både oppfukting og uttørking er oppsummert i grafer, se fFigur 46-
Figur 48. X-aksen er en tidsakse og Y-aksen viser fuktinnholdet (w) i kg/m^3 . Beregning
av fuktinnhold er utført i henhold til formelen som er vist i pkt. 2.4.10. Vektmålingene er
presentert for sammensatte prøver. For å sammenlikne resultater fra vektmålinger med
simuleringer er resultater fra WUFI 2D med og uten lim fremstilt i samme graf.

Tidsforløp for oppfukting: 20.02.2015 til 21.02.2015

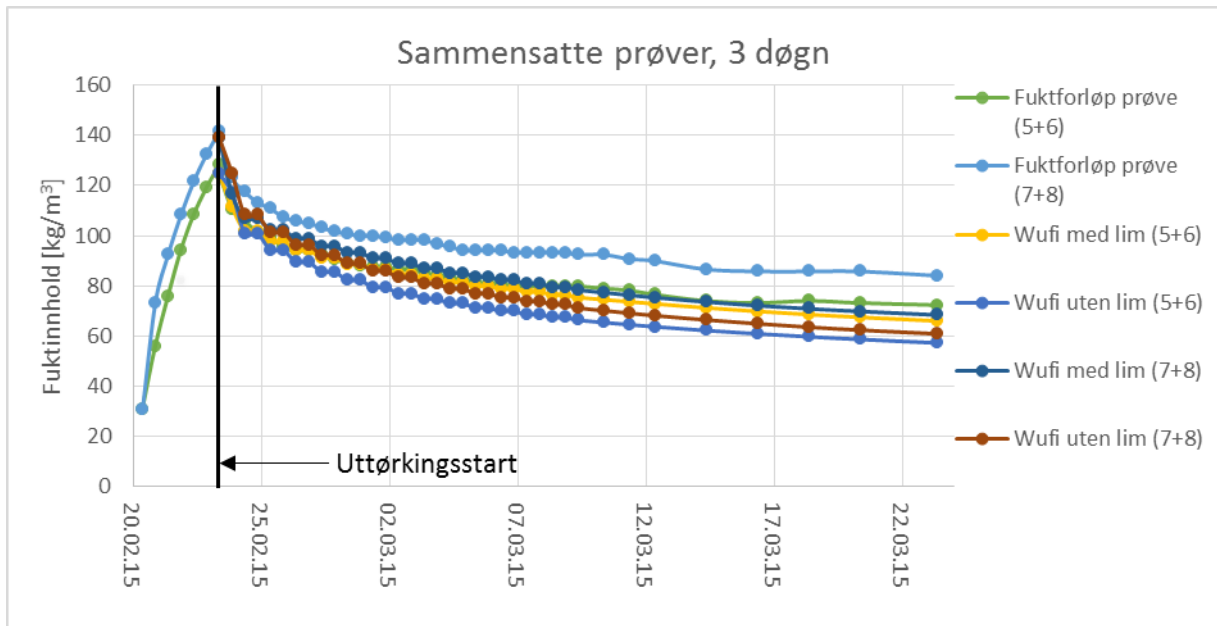
Tidsforløp for uttørking: 21.02.2015 til 23.03.2015



Figur 46 Fuktforløp for 31 døgn

Tidsforløp for oppfukting: 20.02.2015 til 23.02.2015

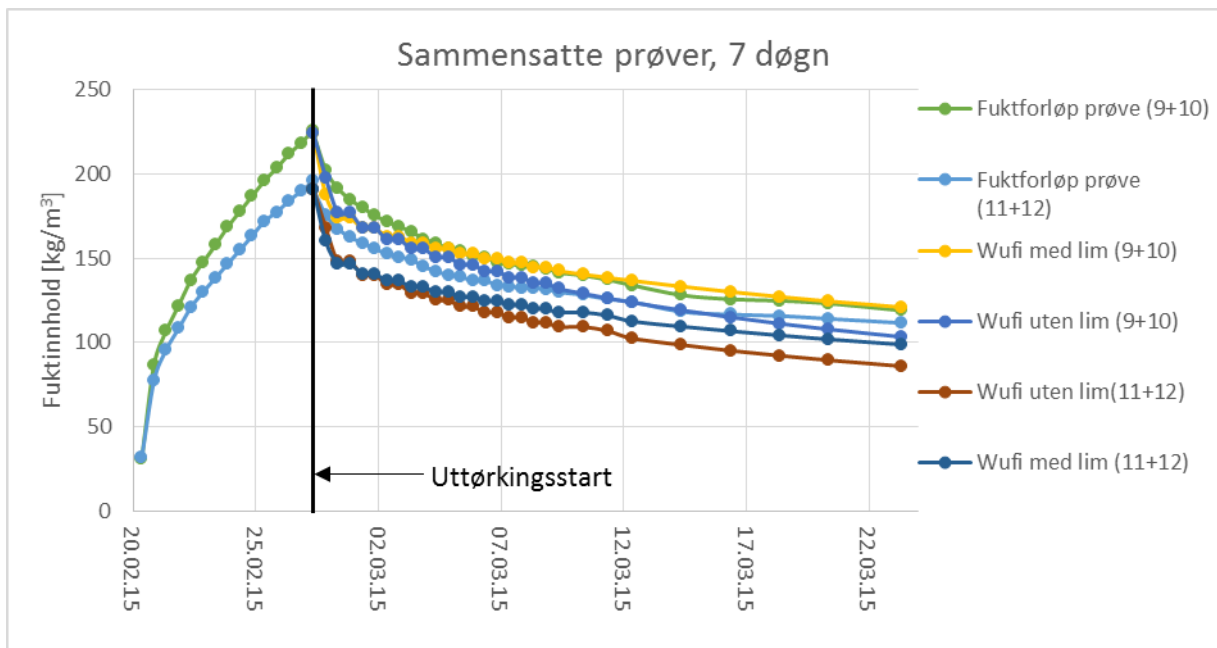
Tidsforløp for uttørking: 23.02.2015 til 23.03.2015



Figur 47 Fuktforløp for 31 døgn

Tidsforløp for oppfukting: 20.02.2015 til 27.02.2015

Tidsforløp for uttørking: 27.02.2015 til 23.03.2015



Figur 48 Fuktforløp for 31 døgn

4.3 Målinger og simuleringer for enkeltelementer i sammensatte prøver

I dette avsnittet er det valgt å presentere målingsresultater fra HygroTrac- sensorer og simuleringresultater fra WUFI 2D sammen. Dette ble gjort for at det skal være enkelt å sammenlikne og diskutere resultatene. For å forenkle fremstillingen av resultater og redusere antall grafer er følgende prøver tatt med videre; prøve (1+2), (7+8), (9+10) og vegg 15.

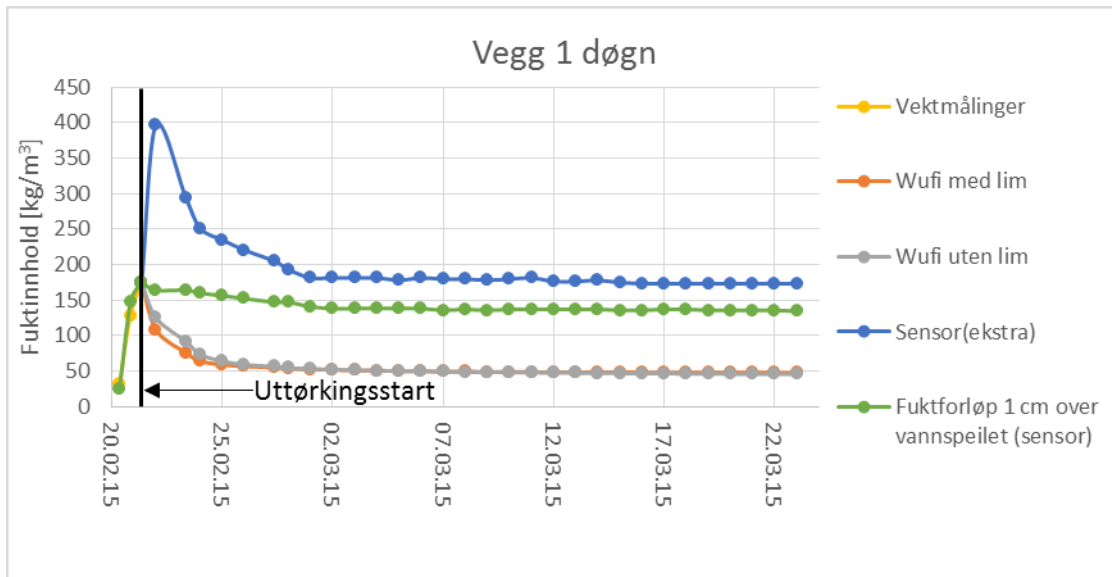
I graffremstillingene beskriver «sensor ekstra» den sensoren som ble plassert på den fuktigste delen etter oppfuktingen, mens «Fuktforløp 1 cm over vannspeilet (sensor)» står for den som ble plassert 1 cm over vannspeilet for å logge oppfuktingen og uttørkingen. Se Figur 49. På gulv ble det ikke montert noen sensor under oppfuktingen, men fikk påmontert «sensor» ved uttørkingsstart. For å kunne se hele fuktforløpet med oppfukting og uttørking ble det valgt å presentere grafene med en oppfukting fra vektmålinger og deretter uttørking fra HygroTrac- sensorene.



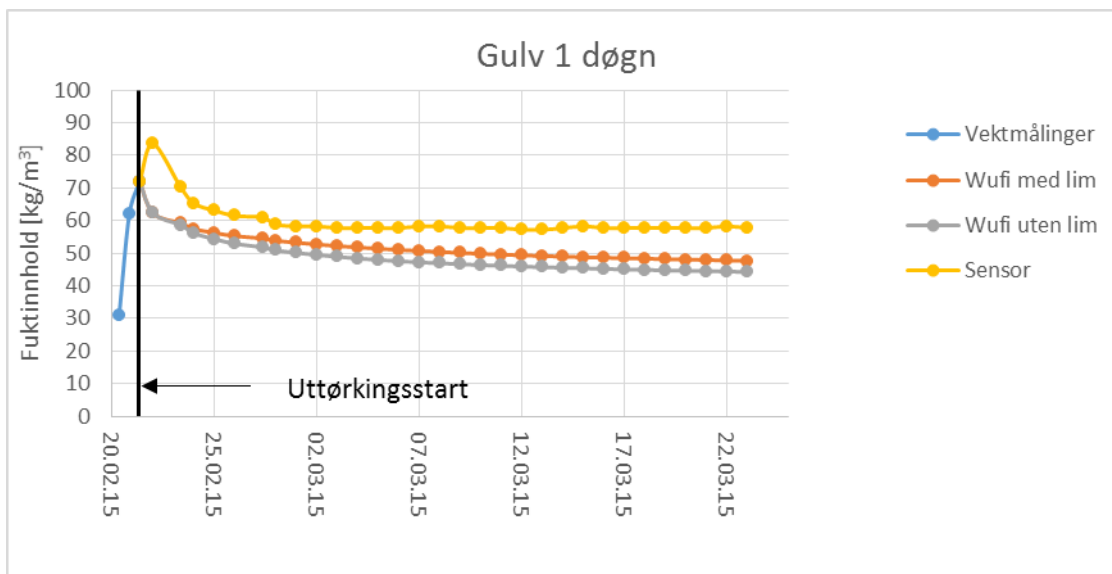
- Fuktforløp 1 cm over vannspeilet (sensor)
- Sensor ekstra

Figur 49 Plassering av veggsensorer

Figur 50 og Figur 51 viser oppfukning av vegger og gulv i tidsperioden 20.02.2015 – 21.02.2015, 1 døgn, og deretter uttørking frem til 23.03.2015.

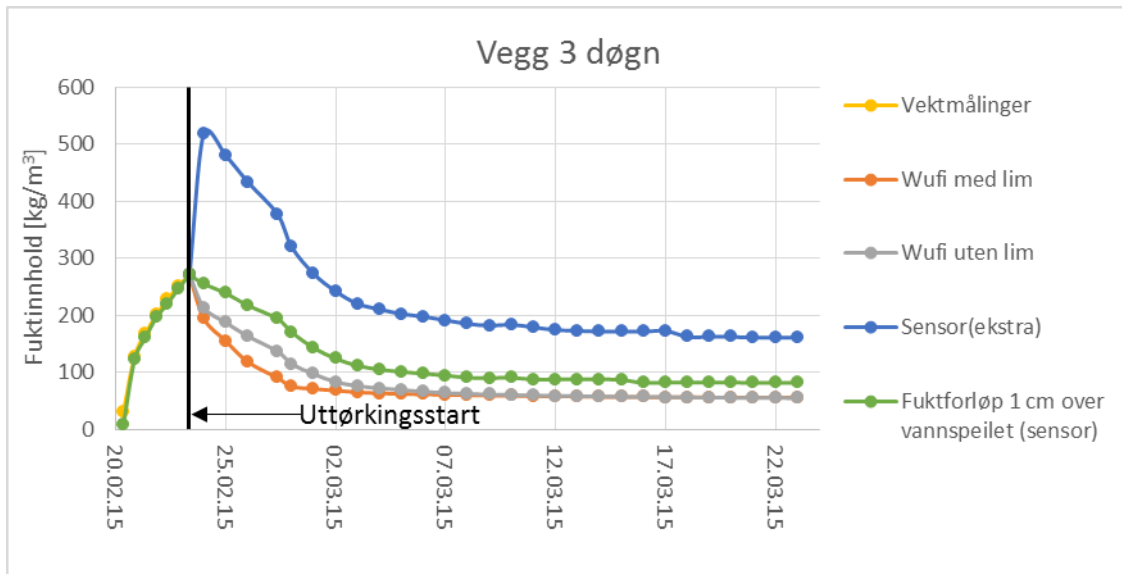


Figur 50 Viser fuktforløp for 1 døgnns prøven for vegg

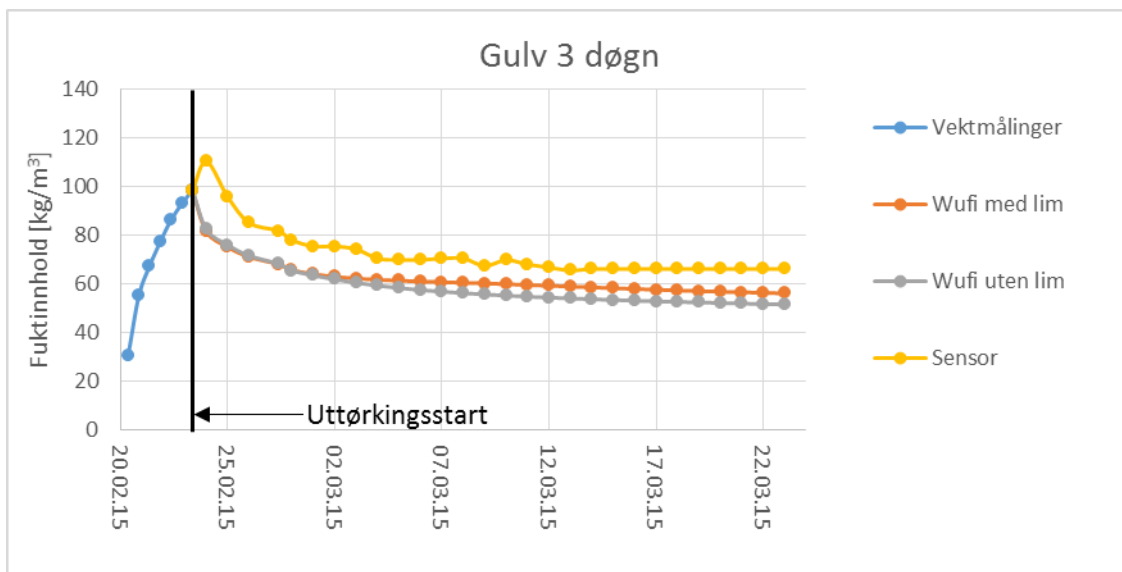


Figur 51 Viser fuktforløp for 1 døgnns prøven for gulv

Figur 52 og Figur 53 viser oppfukning av vegger og gulv i tidsperioden 20.02.2015 – 23.02.2015, og deretter uttørking frem til 23.03.2015.

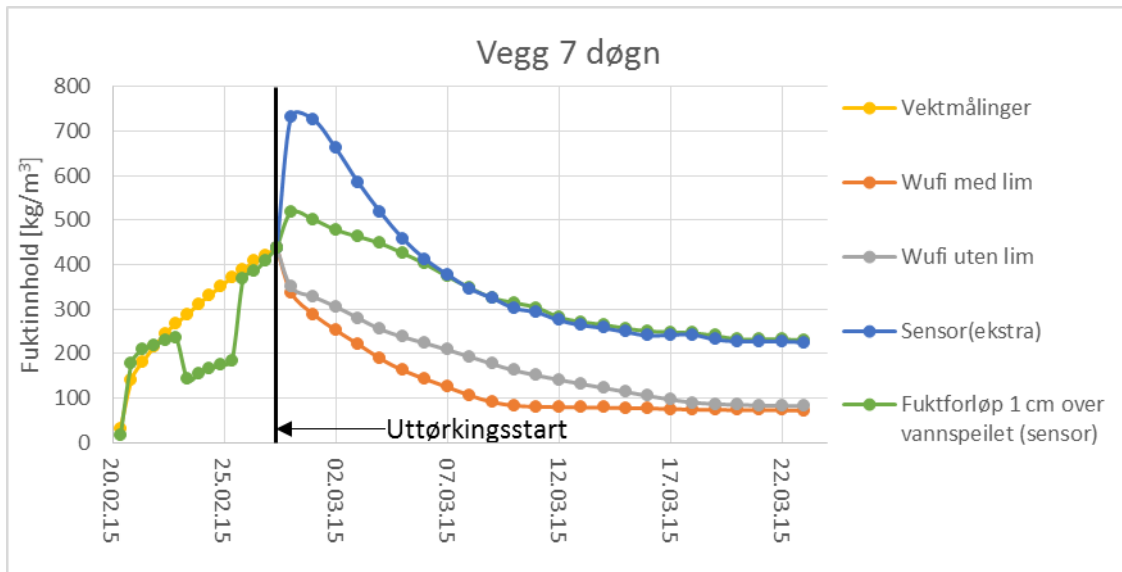


Figur 52 Viser fuktforløp for 3 døgns prøven for vegg

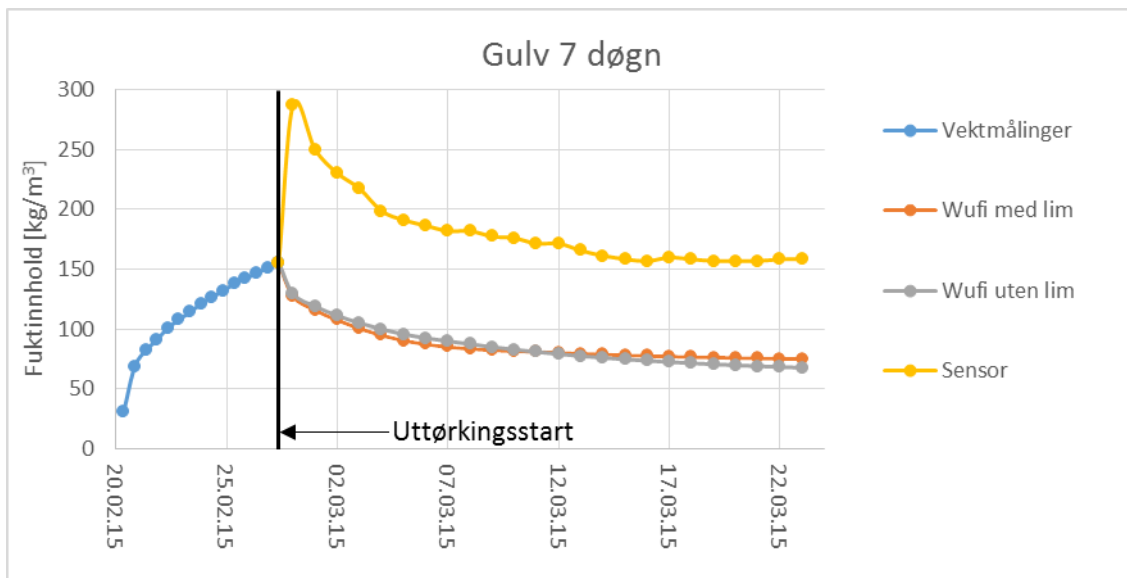


Figur 53 Viser fuktforløp for 3 døgns prøven for gulv

Figur 54 og Figur 55 viser oppfukning av vegger og gulv i tidsperioden 20.02.2015 – 27.02.2015, og deretter uttørking frem til 23.03.2015.

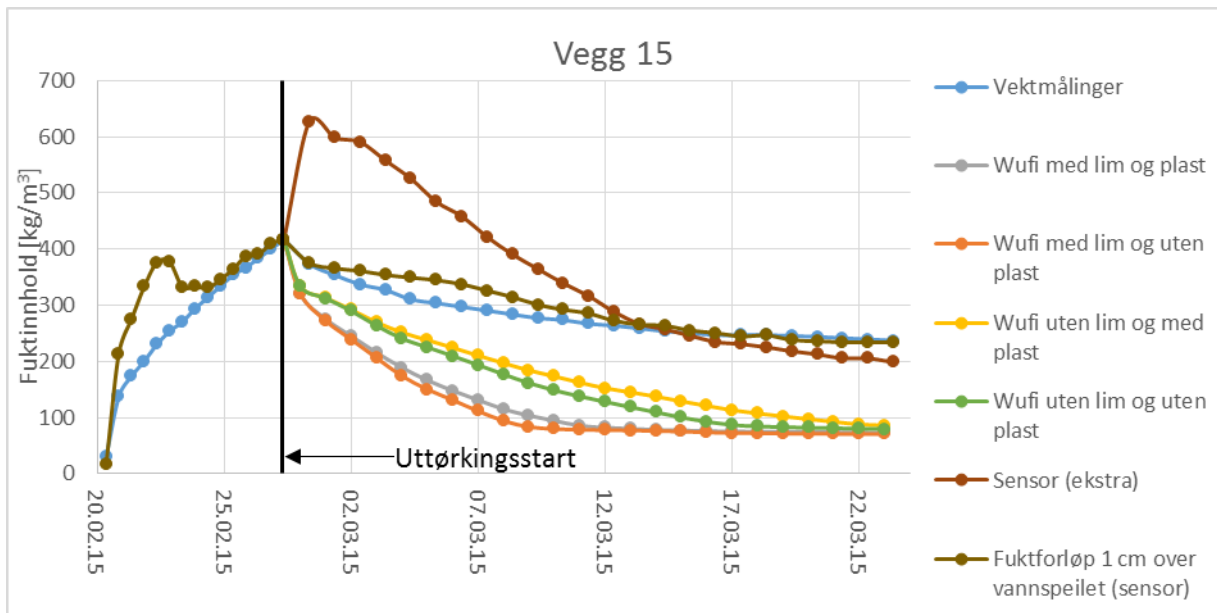


Figur 54 Viser fuktforløp for 7 døgns prøven for vegg



Figur 55 Viser fuktforløp for 7 døgns prøven for gulv

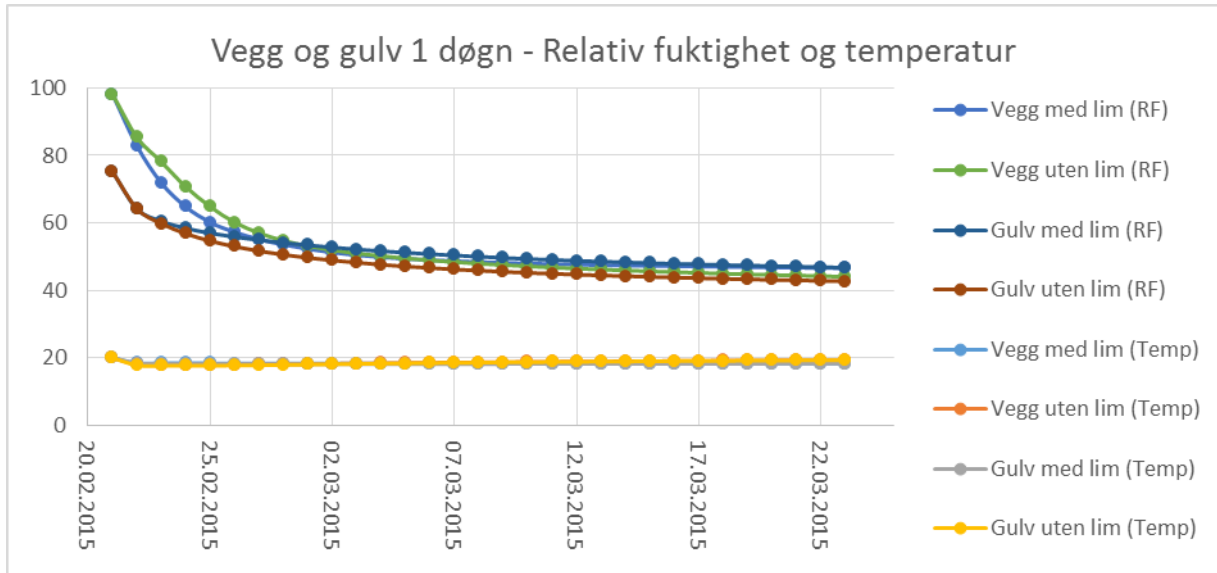
Figur 56 viser vegg 15, en prøve som har blitt oppfuktet i 7 døgn og deretter blitt uttørket i en tidsperiode fra 27.02.2015 til 23.03.2015. Det er lagt inn målinger fra HygroTrac- sensorene, WUFI 2D og veiecelle.



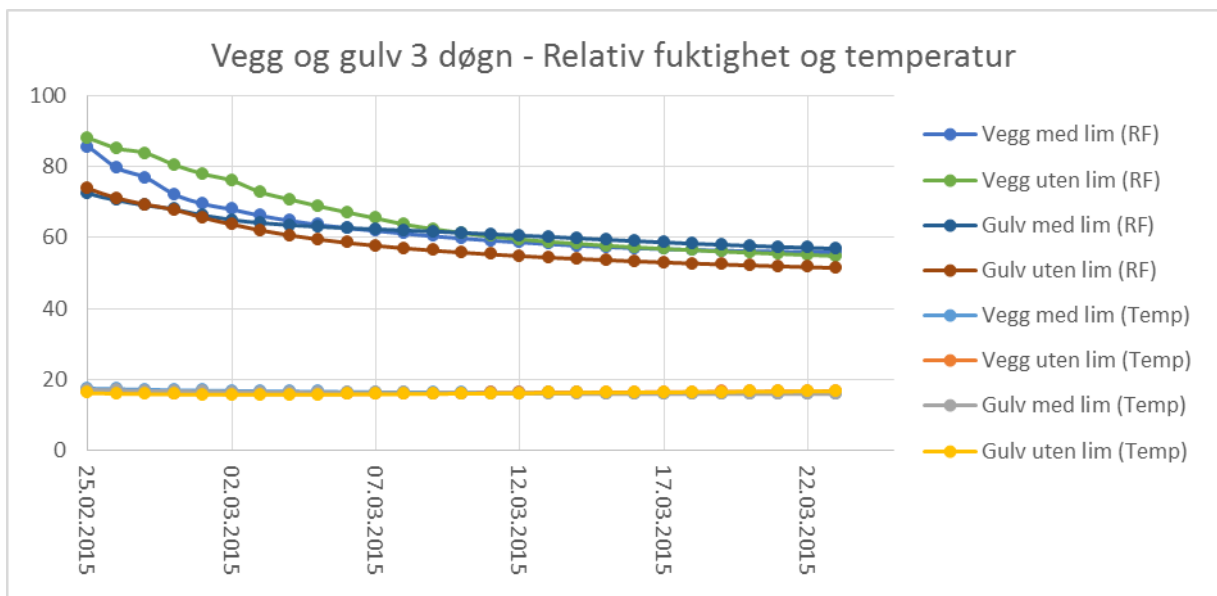
Figur 56 Viser fuktforløp for vegg 15

4.4 Relativ fuktighet og temperatur fra WUFI 2D

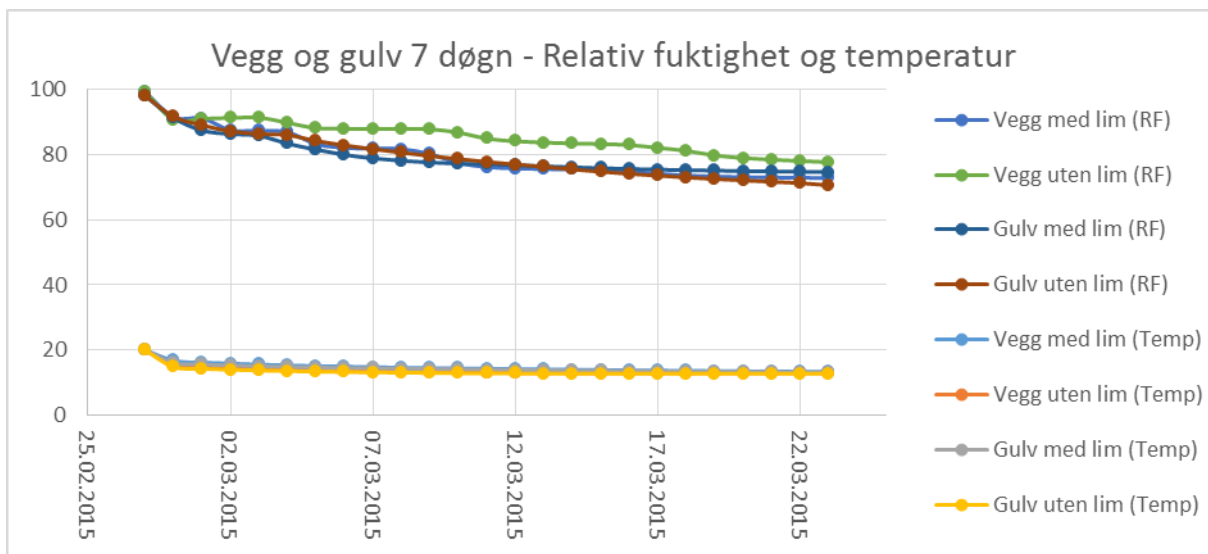
Figur 57 til Figur 60 viser RF og temperaturvariasjoner i gulv og vegger sammen for de ulike uttørkingsperiodene.



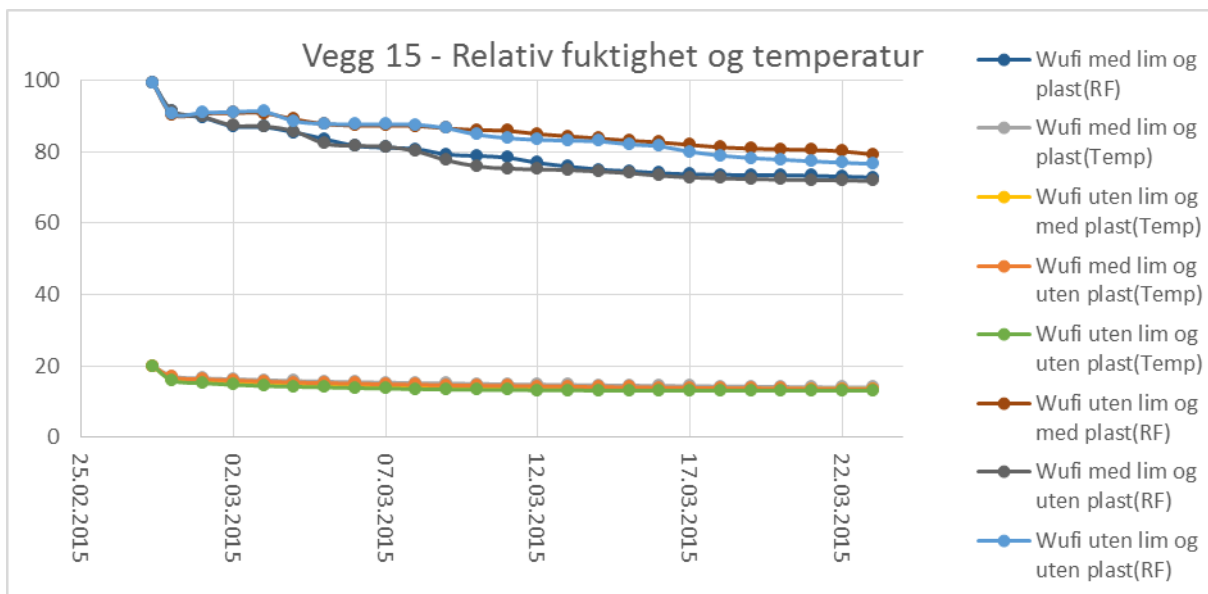
Figur 57 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 1 døgns prøvene, tidsperiode for uttørking er 21.02.15 - 23.03.15



Figur 58 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 3 døgns prøvene, tidsperiode for uttørking er 23.02.15 - 23.03.15



Figur 59 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 7 døgns prøvene, tidsperiode for uttørking er 27.02.15 - 23.03.15

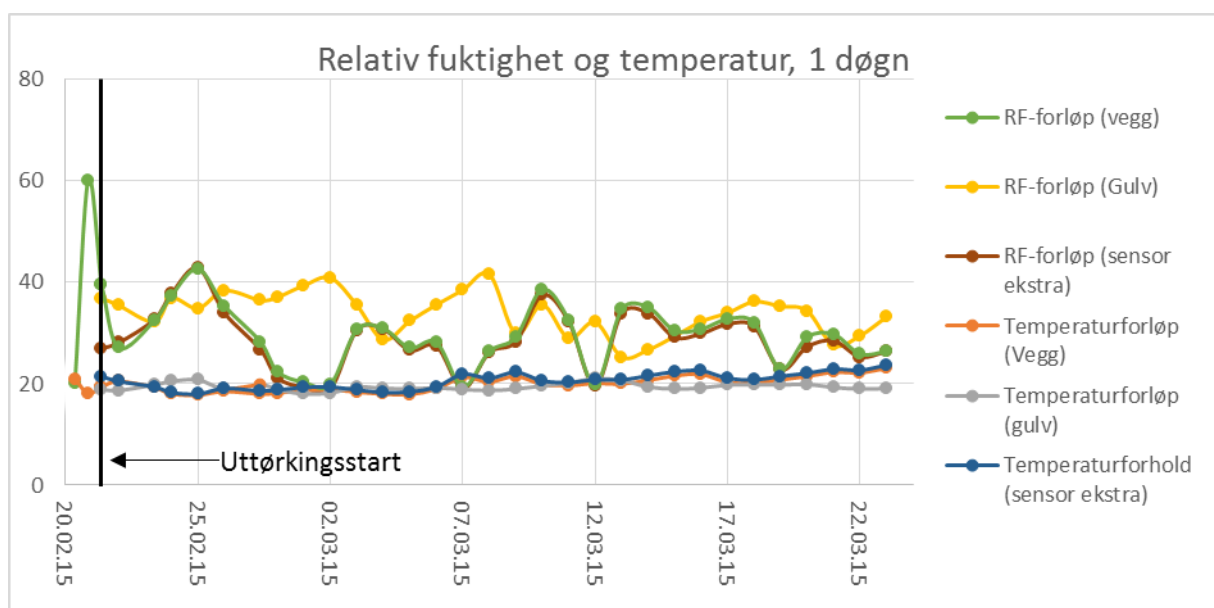


Figur 60 RF og temperatur variasjon i vegg 15 (7 døgns prøve), tidsperiode for uttørking er 27.02.15 - 23.03.15

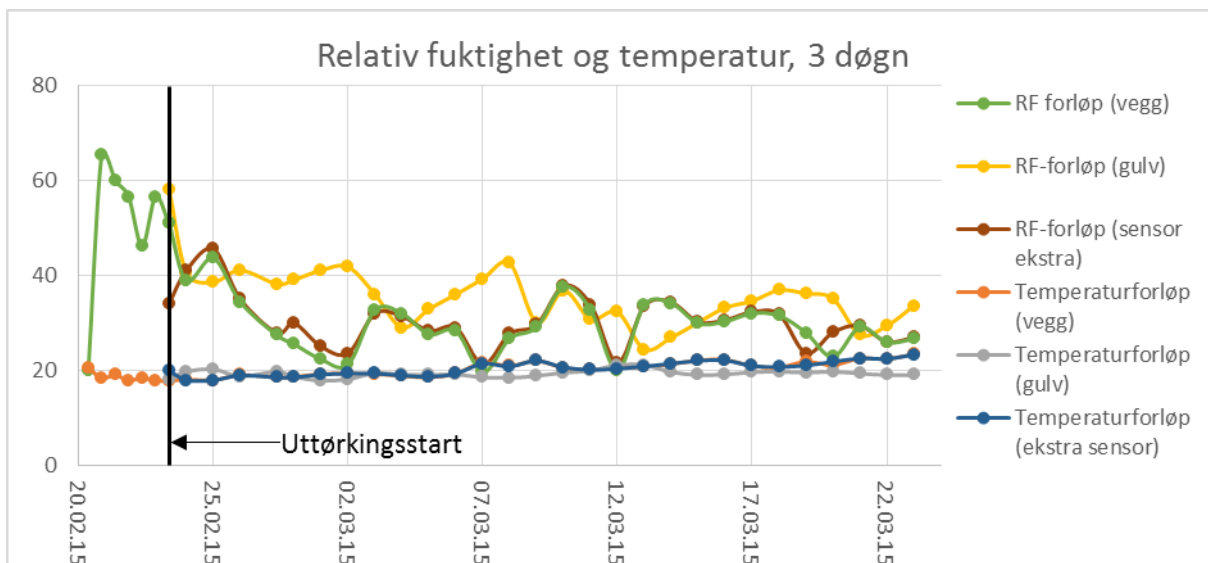
4.5 Relativ fuktighet og temperatur fra sensorene

I denne oppgaven ble det montert måleutstyr, HygroTrac for å ta kontinuerlige målinger av måleobjektet. Sensorene ble montert rett inn i trevirket med to skruer som var uisolerte, disse fungerte som elektroder og målte trefuktigheten, temperaturen og den relative fuktigheten mellom elektrodene. Disse resultatene ble hentet via nettsiden, OmniSense som logger resultatene. Sensorene for veggene ble montert rett før oppfuktingen, mens for gulv ble de montert rett etter oppfuktingen. Resultatene blir presentert videre for de aktuelle tidsforløpene.

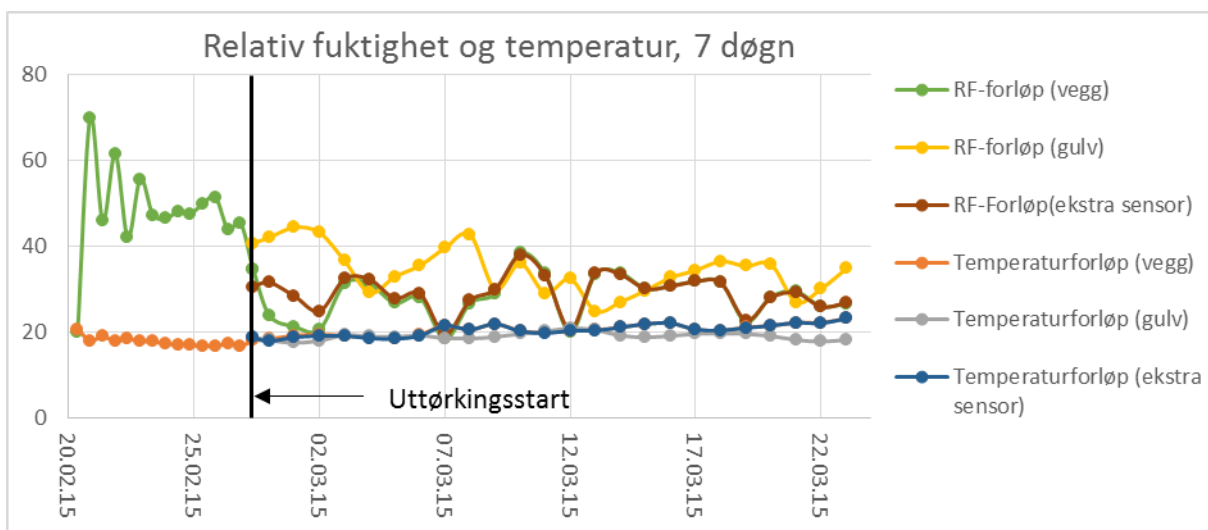
Den relative fuktigheten (RF) og temperaturen fra sensorene blir presentert i Figur 61. Oppfuktingsmålinger fra veggensensorene er lagt sammen med uttørkingsmålingene, slik at grafene blir kontinuerlig.



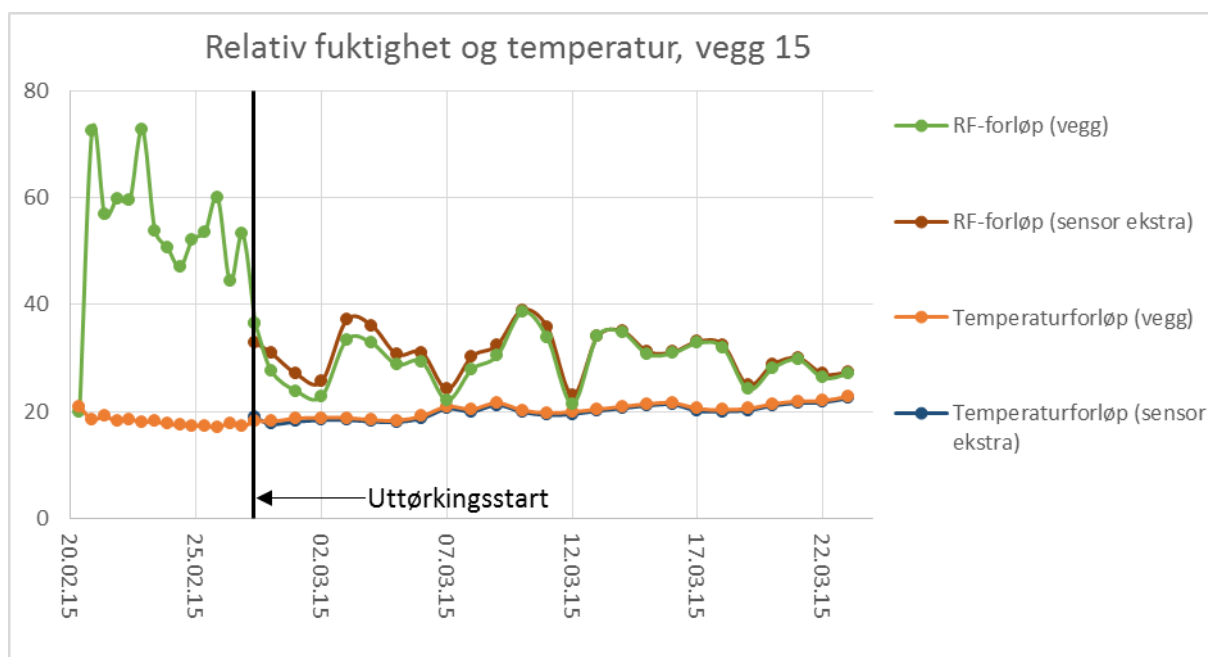
Figur 61 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 1 døgns prøvene, tidsperiode for oppfukking og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 21.02.15 og 21.02.15 - 23.03.15



Figur 62 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 3 døgns prøvene, tidsperiode for oppfukning og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 23.02.15 og 23.02.15 - 23.03.15



Figur 63 RF og temperatur variasjon i vegg og gulv for 7 døgns prøvene, tidsperiode for oppfukning og uttørking er henholdsvis 20.02.15 – 27.02.15 og 27.02.15 - 23.03.15



Figur 64 RF og temperatur variasjon i vegg 15 (7 døgn), tidsperiode for oppfukning og uttørking er henholdsvis 20.02.15 - 27.02.15 og 27.02.15 - 23.03.15

4.6 (%WME) fra sensorene

I Tabell 12 er det valgt å vise de høyeste (%WME) verdier som ble målt under forsøket. Det viste seg at de høye verdiene befant seg i vegger, ved «sensor ekstra» og derfor er det valgt å studere disse kritiske verdiene videre, se pkt. 2.6.3.

Tabell 12 Vurdering av muggvekst

Vegger	(%WME), verdier ved uttørkingsstart	Sone	Minste antall døgn med uttørking for å komme under faresone, dvs. < 18%	(%WME) og sone, etter minste antall døgn med uttørking
1 døgn oppfukning, prøve 1	18,8	Gul sone	1	13,8 (Grønn sone)
3 døgn oppfukning,	26,5	Rød sone	4	16,8(Grønn sone)

prøve 7				
7 døgns oppfukting, prøve 9	26,7	Rød sone	5	17,3(Grønn sone)
Prøve 15(med plastfolie under uttørking), 7 døgns oppfukting	27,5	Rød sone	8	17,7(Grønn sone)

4.7 Beregningsresultater

4.7.1 Beregningsresultater for sammensatte prøver

Det er en tydelig forskjell mellom 1, 3 og 7 døgns oppfuktingsverdier for de sammensatte prøvene, se figur Figur 46 -Figur 48. Hvis vi antar at oppfuktingen er 0 % ved en fuktinnhold på 30 kg/m³ (startpunktet). Prosentøkningen tas i forhold til dette startpunktet. Det er blitt valgt å ta med 2 sammensatte prøver fra 1, 3 og 7 døgn for å kunne sammenlikne prosentøkning i vanninnhold mot hverandre, slik at disse kan sammenliknes opp imot hverandre og for at flere resultater gir mindre usikkerhet.

Oppfuktingsverdien på ca. 30kg/m³ er en samlet verdi for den tørre konstruksjonen. Denne verdien er lik for alle sammensatte prøver.

1 døgn, sammensatt prøve (Figur 46)

- Prøve (1+2) oppfuktes til ca. 98 kg/m³ og uttørkes til ca. 67 kg/m³
- Prøve (3+4) oppfuktes til ca. 125 kg/m³ og uttørkes til ca. 95 kg/m³

Beregning:

- Prøve (1+2) = $(1-(30/98)) * 100\% = 69,4 \%$
- Prøve (3+4) = $(1-(30/125)) * 100\% = 76 \%$

Det er omtrent 69,4 – 76 % fuktøkning etter 1 døgn

3 døgn, sammensatt prøve (Figur 47)

- Prøve (5+6) oppfuktes til ca. 140 kg/m³ og uttørkes til ca. 85 kg/m³
- Prøve (7+8) oppfuktes til ca. 130 kg/m³ og uttørkes til ca. 72 kg/m³

Beregning:

- Prøve (5+6) = $(1 - (30/140)) * 100 \% = 78,6 \%$
- Prøve (7+8) = $(1 - (30/130)) * 100 \% = 76,9 \%$

Det er omtrent 78,6 – 76,9 % fuktøkning etter 3 døgn

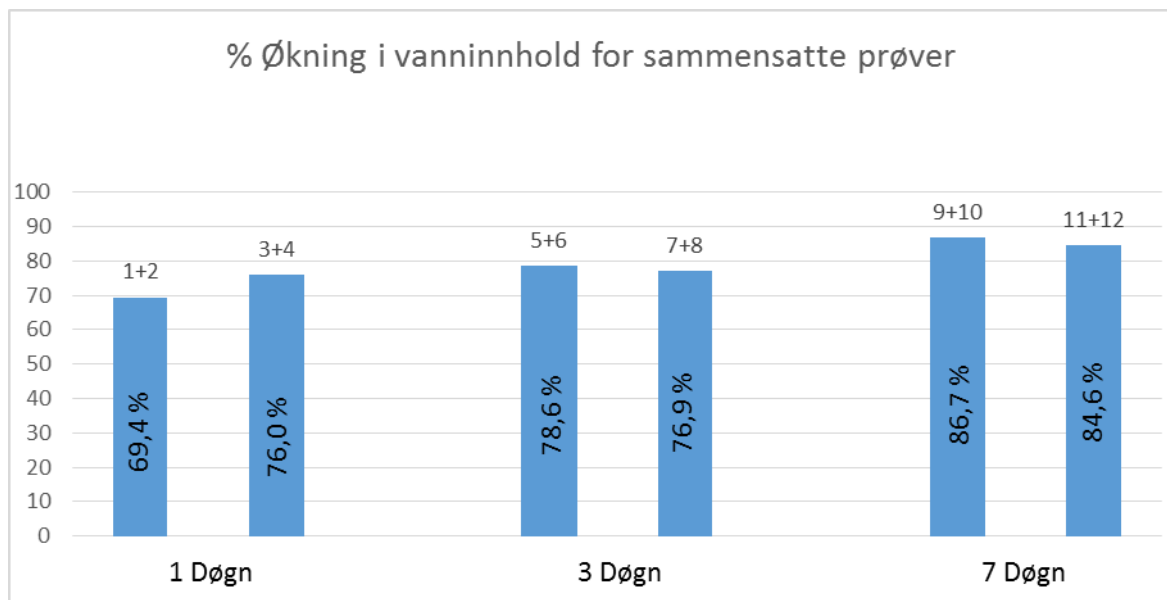
7 døgn, sammensatt prøve (Figur 48)

- Prøve (9+10) oppfuktes til ca. 225kg/m³ og uttørkes til ca. 119 kg/m³
- Prøve (11+12) oppfuktes til ca. 195kg/m³ og uttørkes til ca. 112 kg/m³

Beregning:

- Prøve (9+10) = $(1 - (30/225)) * 100 \% = 86,7 \%$
- Prøve (11+12) = $(1 - (30/195)) * 100 \% = 84,6 \%$

Det er omtrent 84,6 – 86,7 % fuktøkning etter 7 døgn



Figur 65 Prosentøkning i vanninnhold for sammensatte prøver

Det er ca. 69,4 – 76,0 %, 76,9 – 78,6 % og 84,6 – 86,7 % fuktøkning etter 1, 3 og 7 døgn.

4.7.2 Beregningsresultater for enkeltelementer i sammensatte prøver

For veggelementene er Δw differansen mellom vanninnholdet ved det høyeste punktet for «Sensor ekstra» og startverdien av «Fuktforløp 1 cm over vannspeilet (sensor)». Det er gjort med antagelse om at uansett hvor en sensor kobles på materialet, så vil den vise omtrent samme startverdi når prøven er tørr. For gulvelementer er Δw differansen mellom startverdien på «sensor» og fuktinnholdet i materialet ved tørr tilstand. Prøver som det er blitt sett på i denne sammenheng er; prøve (1+2), (7+8) og (9+10). ved 1, 3 og 7 døgn.

1 døgn (Figur 50 og Figur 51)

- For vegg har det vært en fuktøkning (Δw) på ca. 370 kg/m³
- For gulv har det vært en fuktøkning (Δw) på ca. 55 kg/m³

Beregning

- $(55/370)*100\% = 14,9\%$

Det vil si at gulvet etter 1 døgn med oppfukting har tatt opp omtrent 85,1% mindre vann enn veggen.

3 døgn (Figur 52 og Figur 53)

- For vegg har det vært en fuktøkning (Δw) på ca. 510 kg/m³
- For gulv har det vært en fuktøkning (Δw) på ca. 80 kg/m³

Beregning:

- $(80/510)*100\% = 15,7\%$

Det vil si at gulvet etter 3 døgn med oppfukting har tatt opp omtrent 84,3 % mindre vann enn veggen.

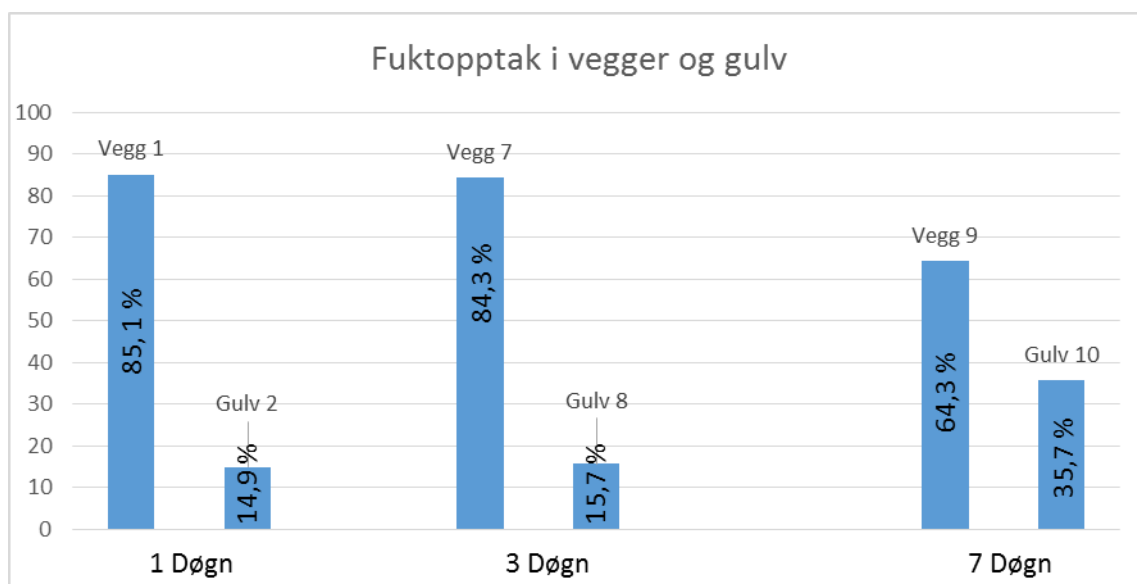
7 døgn (Figur 54 og Figur 55)

- For vegg har det vært en fuktøkning (Δw) på ca. 715 kg/m³
- For gulv har det vært en fuktøkning (Δw) på ca. 255 kg/m³

Beregning:

- $(255/715)*100\% = 35,7 \%$

Det vil si at gulvet etter 7 døgn med oppfukting har tatt opp omtrent 64,3 % mindre vann enn veggen.



Figur 66 Fuktopptak i vegger og gulv

4.7.3 Sensor kalibrering

Trefuktigheten fra sensorene ble kalibrert fra Southern Yellow Pine (SYP) til trevirket gran ved bruk av følgende formel:

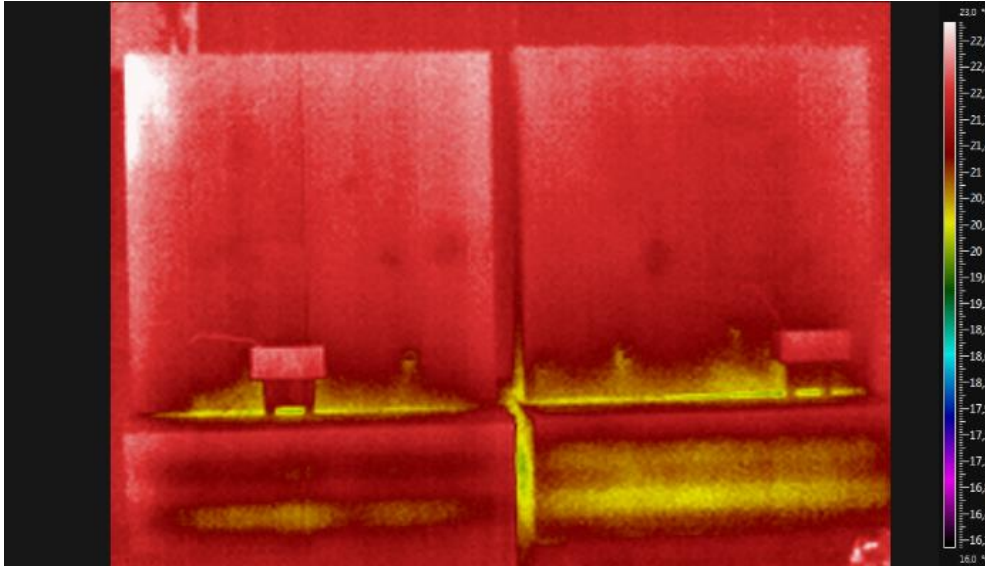
$$\%MC_{(gran)} = 0,5570224 + 1,0743609\%MC_{(furu)} + 0,0111586(\%MC_{(furu)} - 16,5)^2$$

Denne formelen er tilsendt fra OmniSense til Treteknisk Institutt som har gitt oss muligheten til å bruke det i denne sammenheng (Lundby 2013). Formelen er utledet av OmniSense til å samsvare med de interpolerte verdiene basert på Protimeter sine data (GE Protimeter 2006). Dette ble verifisert gjennom kontakt med en ansatt fra OmniSense LLC. De kalibrerte granverdiene ved bruk av formelen samsvarer med verdiene i tabellen.

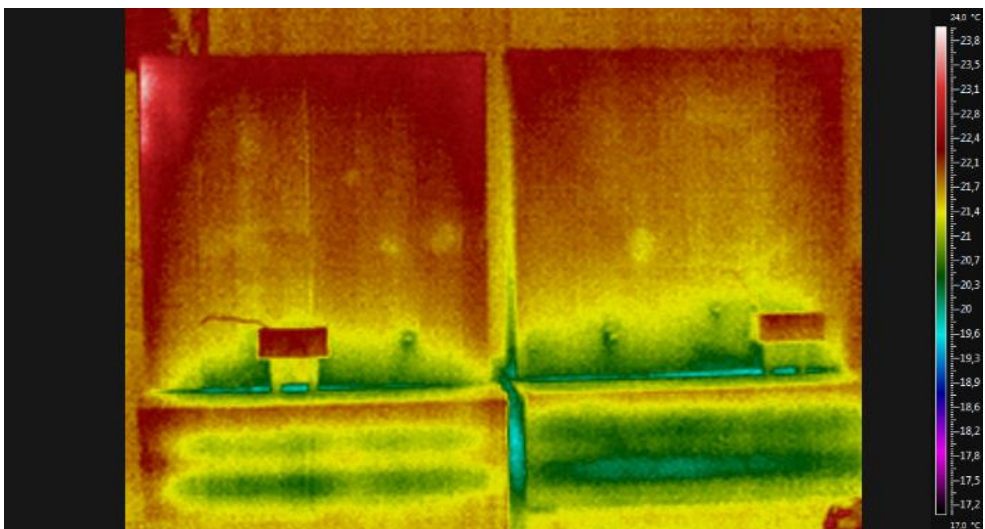
4.8 Termografering

Resultatene fra termograferingen blir presentert med termograferingsbilder, prøvenummer og dato for termografering.

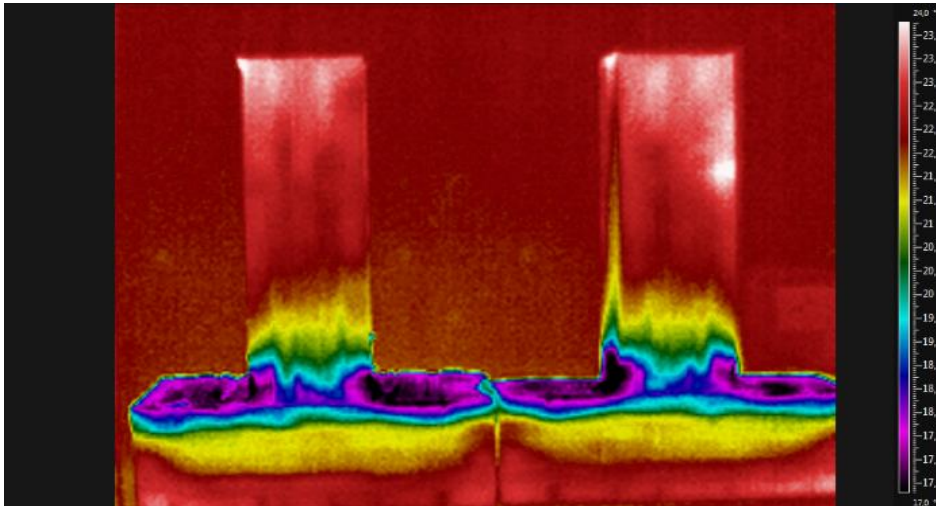
Termograferingsbilder, 27.02.15.



Figur 67 Til venstre: prøve (1+2), til høyre: prøve (3+4). Prøvene ble termografert etter 6 døgn med uttørking og brukt som referanse til prøve (13+14), som ble termografert umiddelbart etter 7 døgn med oppfukting.



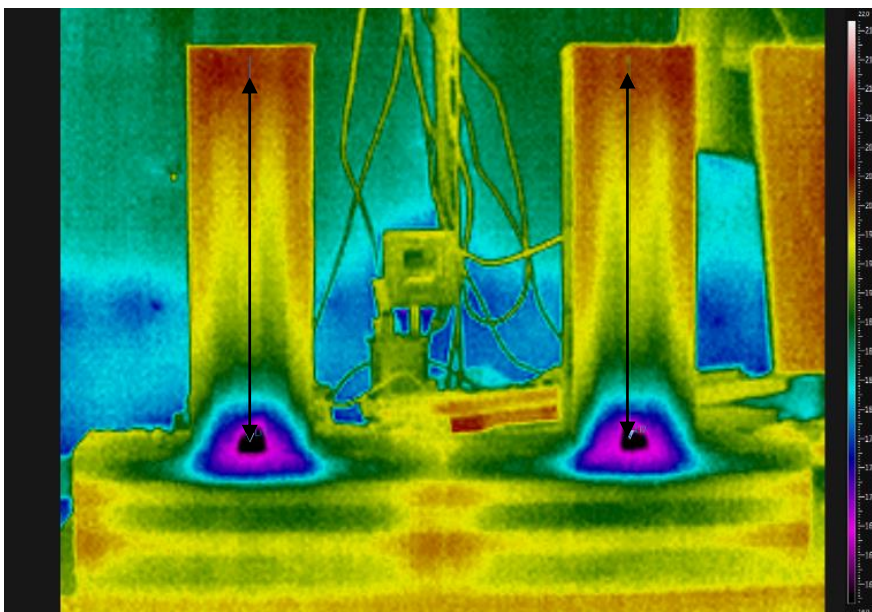
Figur 68 Til venstre: prøve (13+14), som ble tatt ut og termografert etter 7 døgn med oppfukting. Til høyre, prøve (3+4), brukt som referanse.



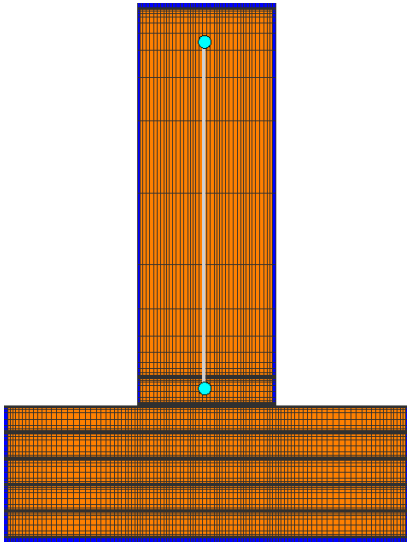
Figur 69 Prøve (13 + 14), vertikalsnitt

Termograferingsbilder, 09.03.2015:

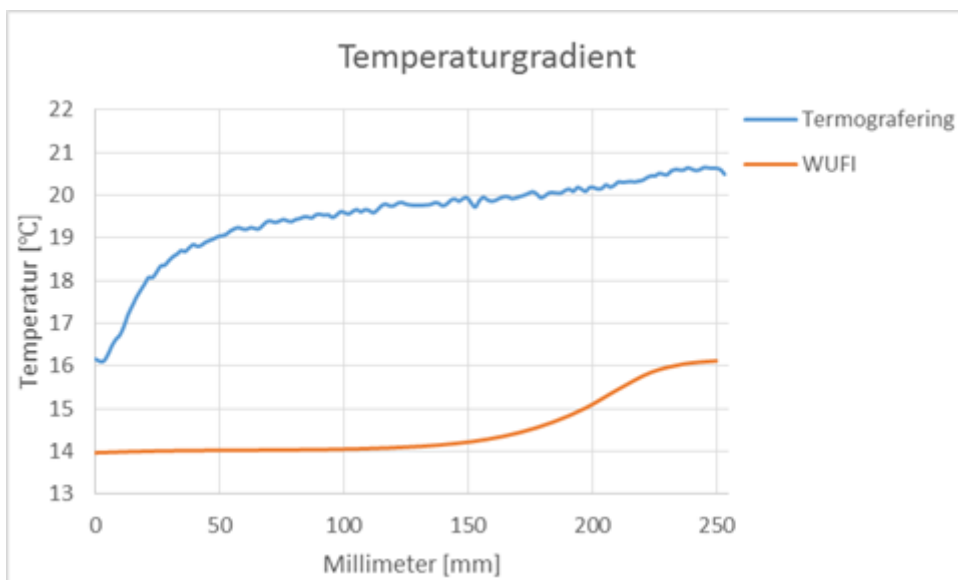
Figur 70 viser termografering av prøve (13+14) etter at den ble kappet på nytt. Fra Figur 70 kan man se en strek som viser den termiske temperaturgradienten fra det kaldeste punktet og opp til det varme. En termisk gradient er en gradvis forandring i temperatur og blir vist i Figur 72. Streken på Figur 71 viser en temperaturgradient som ble lagt inn i WUFI 2D for å finne en beregnet fuktprofil, for sammenlikning med termograferingen.



Figur 70 Den ene halvdel av prøve (13 + 14) ble kappet på ny og termografert etter 10 døgn med uttørking.



Figur 71 Beregnet profil i WUFI 2D, simulert for uttørking i 10 døgn (oppfuktet i 7døgn).

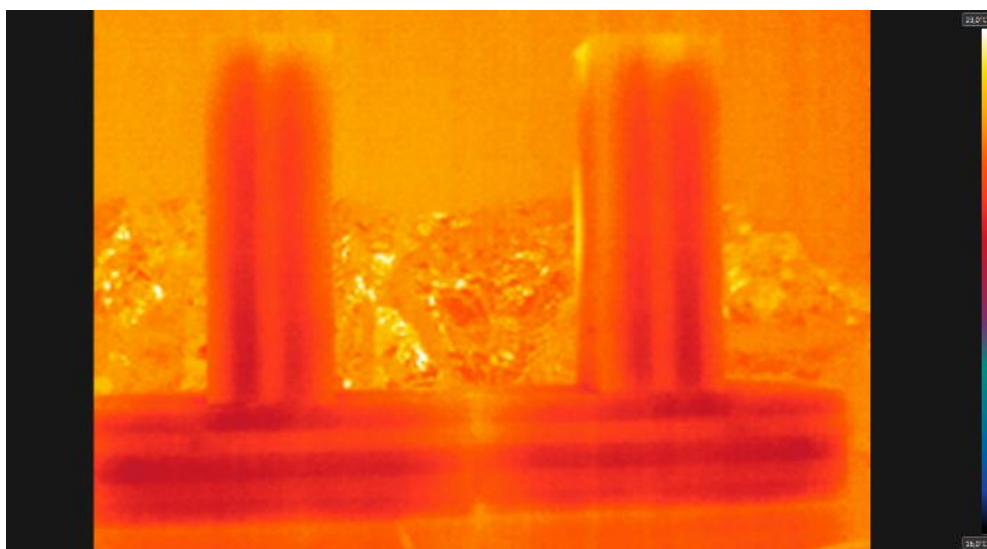


Figur 72 Viser temperaturgradienter for den termiske profilen fra termograferingskamera og WUFI 2D.

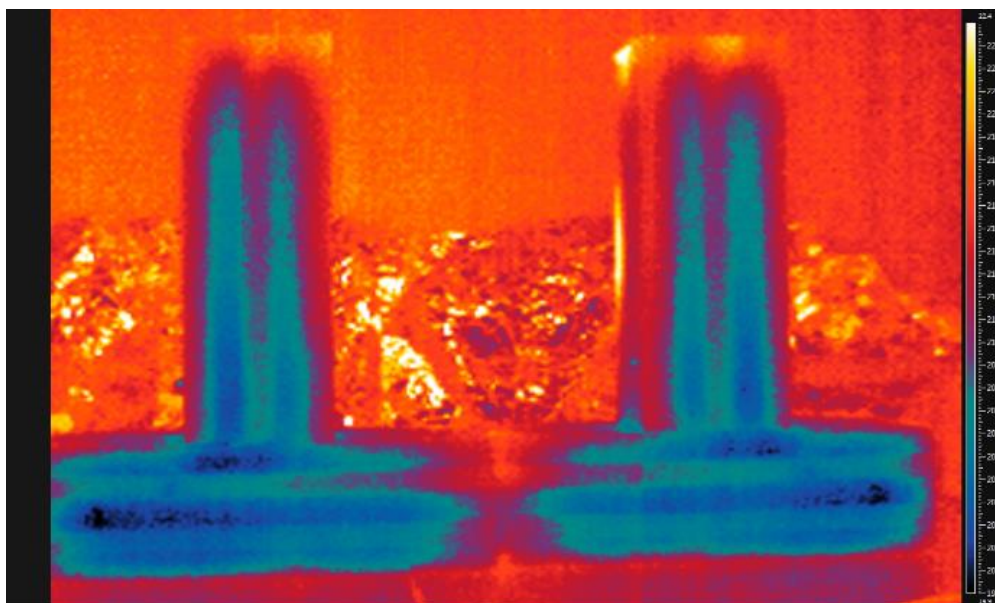
Fra temperaturgradienten for termografering kan det leses av en temperatur på 16,1 °C etter en uttørkingsperiode på 10 døgn. Før oppfuktingen har temperaturen for trevirket vært på ca. 20,6 °C, dette er en referansetemperatur for det tørre trevirket og kan leses ved slutten av temperaturgradienten for termograferingen. Ved å studere denne situasjonen ser man at det har vært et temperaturfall fra ca. 20,6 °C til 16,1 °C. Dette gir en temperaturforskjell, $\Delta T = 20,6 - 16,1 \text{ °C} = 4,5 \text{ °C}$. Fra termografering kan du si noe om temperaturforskjellen og få en viss forståelse av type fuktendring, men det er ikke mulig

å finne denne fukten med en gang. Her vises det til rapporten «*Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade*» (Lerma et al. 2011). I denne rapporten har det blitt sett på en bygningsfasade, hvor det har blitt tatt bilder av fasaden ved forskjellige fuktinnhold. Metoden som er benyttet for å finne temperaturdifferanse mellom disse tilfellene er også benyttet i denne oppgaven.

Termograferingsbilder, 24.03.2015



Figur 73 Prøve (11 + 12) ble kappet i to etter 24 dager med uttørking.

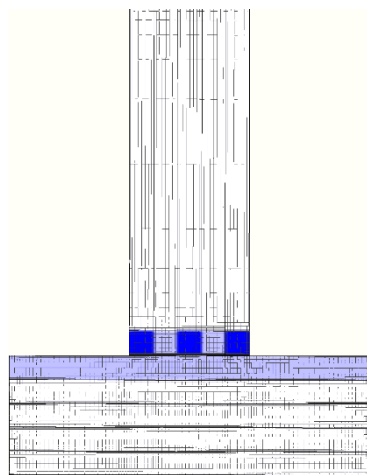


Figur 74 Viser termisk fokusering av prøve (11 + 12)

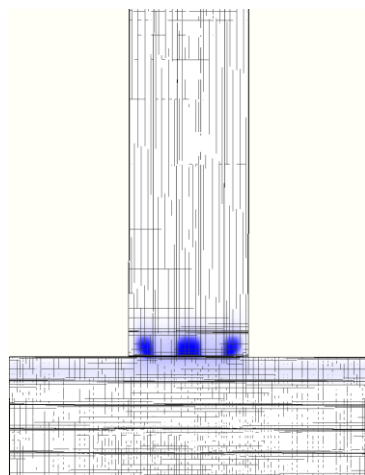
2D plot av uttørkingforløp i WUFI 2D

Det er blitt valgt å vise 2D plot fra WUFI av prøve (13 + 14) som ble termograferert umiddelbart etter 7 døgn med oppfukting og deretter med nytt termograferingsnitt etter nye 10 dager ut i uttørkingsperioden. Etter 24 dager med uttørking ble en annen prøve, (11+12) termograferert. Det er valgt å vise 2D plot fra WUFI for sammenlikning av fuktforløpet med termograferingsbilder for ulike tidspunkt.

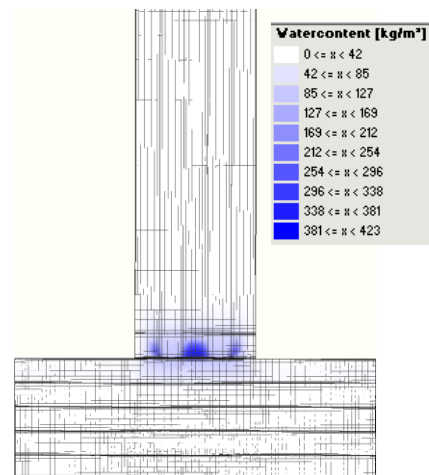
Konstruksjon uten lim



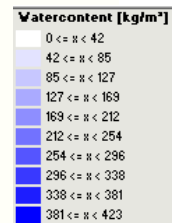
Figur 75 Uttørking 1 time



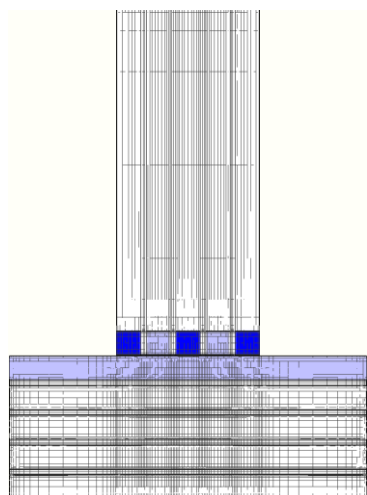
Figur 76 Uttørking 10 døgn



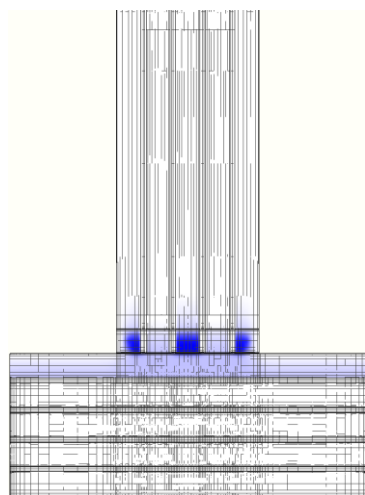
Figur 77 Uttørking 24 døgn



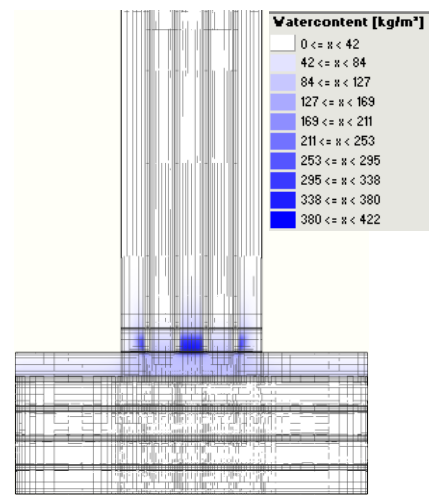
Konstruksjon med lim



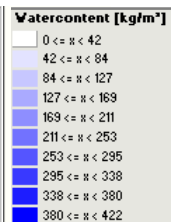
Figur 78 Uttørking 1 time



Figur 79 Uttørking 10 døgn



Figur 80 Uttørking 24 døgn



5. Diskusjon

I dette kapitlet blir resultatene fra forsøkene diskutert. For å forenkle resultatfremstillingene og få en oversiktlig diskusjon, ble det valgt ut en 1, 3 og 7 døgns prøve for fremstilling av grafer. Prøve (1+2), (7+8) og (9+10) er tatt med videre for fremstilling av grafer. Prøve (11+12) og (13+14) er benyttet til termografering.

5.1 Målekvalitet og usikkerhet

Usikkerheten ved måleutstyret må påregnes, siden det er en viss usikkerhet med alt måleutstyr. I denne sammenheng gjelder det spesielt ved måling av relativ fuktighet og usikkerhet knyttet til motstandsmåleren.

Excelarket som ble benyttet for kalibrering av trefuktigheten fra sensorene (fra «Southern Yellow Pine» til gran) er brukt internt hos Treteknisk Institutt. Etter standarden skal det regnes med en målenøyaktighet på ($\pm 0,1 \times$ fuktinnholdet i prosent av tørrvekt), se NS 3512:2014. Kalibreringsresultatene viser at denne usikkerheten ikke alltid ivaretas. Derfor er det en viss usikkerhet i kalibreringene.

I simuleringene har det blitt brukt tilnæringsverdi for valg av limdata («Hardplast Polyuretan») fra Standard Norge. Det kan gi en viss usikkerhet i forhold til de reelle limdataene.

5.2 Preparering av prøver

Før bruk ble prøvene preparert til en «akseptabel» fuktprosent $<12\%$, slik at prøvene skulle ha omtrent lik fuktprosent ved start. Ved 12% er trevirket relativt tørt. Fuktprosenten ble målt til $7,1\%$ for det første sjiktet på alle prøvene, for å være sikker på at alle prøvene ville ha samme utgangspunkt ved start. Fuktprosenten for alle fem sjikt ble målt. Fuktprosenten vil være forskjellig fra sjikt til sjikt og vil gi forskjellige resultater avhengig av hvor langt inn i materialoverflaten motstandsmålerens elektroder er banket inn. Siden elektrodene var på litt over 3 cm , var det vanskelig å få banket disse inn på de innerste sjiktene. Under beregningene er det gjort forenklinger, med en antakelse om at alle sjiktene har en startverdi på $7,1\%$. Dette har ikke hatt store konsekvenser for resultatene, siden HygroTrac- sensorene bare ble plassert i det første

sjiktet. Denne antakelsen kan ha hatt noe utslag på oppfuktingsområdet for veggelementene, hvor alle sjiktene er inkludert. Dette er neglisjert i denne oppgaven.

5.3 Målinger og simuleringer (sammensatte prøver)

Felles for alle sammensatte prøver, er at oppfuktingen skjer raskt, mens uttørkingen tar lenger tid. Figur 46, Figur 47, Figur 48, viser at oppfuktingen skjer raskt ved 1 døgn, med en gradvis økning de neste 3 og 7 døgn. Uttørkingstiden for fuktigheten i massivtrekonstruksjoner varierer etter hvor lang tid det har blitt oppfuktet. Felles for alle uttørkingsgrafer er at fuktigheten avtar raskt i starten og langsommere mot slutten. Fra litteraturen er det kjent at trevirke er hygroskopisk, og dets fuktighet er til enhver tid avhengig av den relative luftfuktigheten i omgivelsene. Det kan tenkes at konstruksjonen i forsøket tilpasses likevektsfukten (temperatur og RF i omgivelsene), og dermed vil uttørkingen gå tregt.

Ved overgangen mellom oppfukting og uttørking i grafene blir det et lite sprik. Dette skyldes vektreduksjon i de sammensatte prøvene på grunn av innskruingshull i materialet. En viktig presisering er at vekten på skruene er trukket fra i beregningene.

Uttørkingssimuleringer i WUFI 2D, med og uten lim viser generelt et hurtigere uttørkingsforløp sammenliknet med fuktforløpet fra vektmålingene. Videre kan man sammenlikne uttørkingsforløpene fra WUFI 2D med hverandre, og her ser man at et uttørkingsforløp med lim forsinket uttørkingen. Dette kan skyldes at limet har en ekvivalent luftlagstykkelse (S_d - verdi) som i realiteten vil forsinke uttørkingen.

For å kunne se hvordan det totale vannopptaket i de sammensatte prøver varierer etter 1, 3 og 7 døgn, ble det observert prosentvis fuktøkning totalt i de sammensatte prøvene fra et referansenullpunkt på 30 kg/m^3 som var lik for alle, se Figur 65. Det var utfordrende å finne et mål på vannstigningen i materialet, selv ved bruk av en motstandsmålert. Det ble antatt at fuktopptaket bare foregikk 2 cm inn i trevirket på begge konstruksjonsdeler. Alle beregninger er utført i henhold til dette. Beregninger i kapittel 4.7.1 viser at den prosentvise økningen for 1 døgn med oppfukting ligger mellom 69,4 - 76,0 %, for 3 døgn mellom 76,9 - 78,6 % og for 7 døgn mellom 84,6 - 86,7 %. Stolpediagrammene i Figur 65 viser en rask oppfukting ved start. En mulig

forklaring på at vannopptaket minkes kan være at porene i materialet delvis eller helt vil forsøke å fylle seg opp med vann. Når fibermetningspunktet blir nådd, vil ikke materialporene ha muligheten til å trekke til seg mer bundet vann.

Fibermetningspunktet regnes til 28 % for gran. For de kalibrerte fuktmålingene stemmer dette bra, siden fibermetningspunktet allerede blir passert etter 3 døgn med oppfukning (rådata, se vedlegg 5).

Av resultatene i Figur 65 er det også observert at gulvelementet i prøve (3+4), som har blitt oppfuktet i et døgn, har tatt opp omtrent like mye vann som en som har blitt oppfuktet i 3 døgn. Dette så ikke ut til å stemme, derfor ble mengden smøremembran som ble påført prøven kontrollsjekket. Det viste seg at prøven hadde fått påført omtrent halvparten så mye smøremembran som de andre prøvene.

I de sammensatte prøvene var det lagt inn en 1 mm's glippe mellom konstruksjonsdelene, med tanke på at det ville gi det verst tenkelige utfallet ved en vannlekkasje. Her ville vannet ha muligheten til å trenge inn i massivtreelementene på en god måte. På den annen side ga dette bedre forhold for uttørking, noe man ikke var klar over. Dersom glippen hadde blitt redusert til for eksempel 1/10 mm, ville prøven fått en langsommere uttørking på de luftutsatte flatene.

5.4 Målinger og simuleringer for enkeltelementer i sammensatte prøver

For å forenkle oversikten, er de relevante prøvene for 1, 3 og 7 døgn med oppfukning; (1+2), (7+8) og (9+10), tatt med videre. Hvert enkelt element (vegg og gulv) i de sammensatte prøvene er studert i forhold til vannopptak, se Figur 66. Resultatene viser generelt at veggelementene tar opp mer vann enn gulvelementene, men etter hvert som tiden går, vil vannopptaket i gulvet øke mer sammenliknet med økningen i veggen. Dette skyldes at fibermetningspunktet for veggelementene blir nådd fort, og de vil ikke lenger ta til seg så mye mer vann enn det de allerede har fylt opp porene med. Derimot vil gulvet, som tar opp vann sakte, fortsette å trekke til seg vann og etter en tidsperiode oppnå samme vanninnhold som veggen. En annen mulig forklaring på at veggelementene tar opp mer vann enn gulvelementene kan være at de fleste vegglamellene har fiberretning som danner 90 grader med vannspeilet. Cellehulrommene i disse lamellene vil suge opp mer vann, fordi trevirket trekker mest

vann i fiberretningen, i motsetning til gulvet, som må suge opp vann i radiell og tangentiell retning.

Under uttørkingsprosessen vil cellehulrommene først tørke ut til ca. 28 % (fibermetningspunktet) før det bundne vannet i celleveggene vil tørke ut. Fuktigheten minker etter hva slags temperatur, RF og hastighet det er i omgivelsene. En kombinasjon av diffusjon og kapillærkrefter vil føre fukten ut fra materialoverflaten ved hjelp av luften i laboratoriet. Fra teorien kjenner vi til at det vil skje en kapillærtransport i materialet, hvor kapillærkreftene vil føre vannet ut fra cellehulrommene og porene. Det vil foregå en vandampdiffusjon i cellehulrommene grunnet forskjellen i den relative fuktigheten fra materialoverflaten og innover i trevirket. Det foregår også en diffusjon av vandamp, pluss en diffusjon av det bundne vannet i celleveggen.

Figur 54 viser et oppfuktingsforløp fra både HygroTrac- og vektmålinger som er blitt foretatt på laboratoriet. Oppfuktingen er svært lik ved begge målemetodene. Ved oppfuktingen får HygroTrac grafen en hakk. Dette skyldes at sensorene ikke var skrudd hardt nok inn. Dette ble oppdaget noen dager senere. De ble skrudd inn, og dermed begynte fuktgrafene å følge samme kurve igjen. Fuktprosentmålingene fra HygroTrac ble først kalibrert i et excel ark, og den kalibrerte fuktprosenten ble gjort om til fuktinnhold i kg/m^3 , med en antagelse om at den siste vektprosenten ved oppfuktingen på sensorene tilsvarte antall kg/m^3 fra vektmålingene. Det ble plassert en ekstra sensor «sensor ekstra» på den mest kritiske delen av veggprøven. Det ble i vårt tilfelle det beste observasjonsområdet for uttørkingsoren som har logget over hele prosessen «Fuktforløp 1cm over vannspeilet (sensor)» har et stor sprik i forhold til «sensor ekstra», som har logget uttørkingen. «Sensor ekstra» viser en forholdsvis rask uttørking i forhold til «Fuktforløp 1cm over vannspeilet (sensor)», men avtar ganske raskt. Dette gjelder for fFigur 50, Figur 52Figur 54 ogFigur 56. I resultatene nedenfor sammenliknes kun «sensor ekstra» med simuleringer fra WUFI 2D. Dette fordi den andre sensoren er plassert utenfor sonen vi har observert. Det er valgt å ta med begge sensorene i graffremstillingen, fordi det er et interessant resultat som sier at vannet trekker seg opp ved disse sensorene, men ikke i like stor grad for 1 døgn som det gjør for 3 og 7 døgn. Dette er relevant å ta med seg videre som et tema for videre forskning.

Fra Figur 50 «Vegg 1 døgn», kan man se at «Fuktforløp 1cm over vannspeilet (sensor)» ikke har logget noe stor uttørkingshastighet. Dette kan skyldes at sensoren ikke har klart å fange opp fuktvariasjonene ved uttørking. Likevel ble det besluttet at det skulle kobles på en ekstra sensor “sensor (ekstra)” på det mest fuktige området rett etter oppfuktingsperioden, for å se hvordan de to sensorene samsvarte. Dette samsvarte veldig godt for 7 døgns prøvene, se Figur 54.

Simuleringene i WUFI 2D er utført for å sammenlikne fuktforløpet med de målte verdiene. I WUFI 2D har det vært utfordrende å legge inn initialbetingelser som krevdes for å få kjørt simuleringene. Dette skyldes at det i praksis var vanskelig å få målt disse initialbetingelsene. Det har blitt gjort enkelte forenklinger/ antagelser ved beregninger og simuleringer. Den viktigste forutsetningen var at fuktopptaket finner sted i de første 2 cm i trevirket.

Initialbetingelsene for “watercontent i kg/m³” er i simuleringene basert på vektmålinger, og også trefuktighetsmålinger, for materialet i tørr tilstand. Disse verdiene har vært med på å undersøke uttørkingstiden til vegg/gulv konstruksjonen. I simuleringen har det vært ønskelig å utforske uttørkingstiden for forbindelsen, både med og uten lim. Det har også vært ønskelig å se på betydningen av plastfolie mellom vegg og gulvkonstruksjonen, se Figur 56.

Betydningen av lim har blitt undersøkt for uttørkingen i WUFI 2D. I denne sammenheng kan man se at et definert limlag mellom materialsjiktene uttørkes fortere i starten for vegger med lim, enn uten lim. Mot slutten av uttørkingsperioden legger fuktinnholdet seg på omtrent samme nivå. Årsaken til den hurtige uttørkingen i veggelementene kan være at det mellom limsjiktet blir tilnærmet et sugerør, slik at det raskt trekker opp og slipper ut vannet, fordi vannet ikke har muligheten til å fordele seg på et større område i trematerialet. Det må holde seg mellom limsjiktene. En forklaring på at kurvene med og uten lim jevner seg ut nesten likt for veggelementene, er at de grove porene i begge tilfellene har sluppet ut mye vann og nå er det bare små porer som holder på vannet med store tiltrekningskrefter. Det er vanskelig å få tørket ut siste resten av porevannet i begge tilfellene, og uttørkingskurvene med og uten lim vil legge seg på likt nivå.

Uttørkingsforløpet er omvendt for gulvprøvene, se Figur 51, Figur 53 og Figur 55. Det er vanskelig å finne en god forklaring på dette. Gulvresultatene fra simuleringene har et sprik i forhold til laboratorieforsøkets «sensor», men uttørkingsforløpet følger samme mønster. I WUFI er tørkehastigheten høyere enn det vi har målt fra laboratoriemålingene med sensorene, se graffremstillingene under punkt 4.3. Vi ser at «WUFI uten lim» tørker raskere enn «WUFI med lim». Dette skyldes i hovedsak at sidene på gulvelementet er forseglet, og vil dermed ikke ha noen mulighet for å tørke ut fra disse sidene. Tørkingen må skje i form av vanndamp, og dampen har ikke muligheten til å trenge seg ned i gulvelementet på grunn av limlaget under det øverste sjiktet på gulvelementet. Et limlag vil derfor forsinke uttørkingen i dette tilfellet.

Prøve «vegg 15», som ble lagt på en plastfolie ble programmert inn med en PE-folie (Sd= 50m) i WUFI 2D, se Figur 56. En uttørking med plastfolie forsinkes uttørkingstiden til materialet. Kurven «WUFI med lim og plast», og «WUFI med lim og uten plast» har raskere uttørkingsevne enn «WUFI uten lim og med plast» og «WUFI uten lim og uten plast». Figuren viser at vektmålinger og sensorene samsvarer godt, men er ikke i nærheten av WUFI. Dette kan skyldes at fuktegenskapene i WUFI ikke stemmer 100% med virkeligheten. Ut fra kurven for «sensor(ekstra)» med plast kan man se at forskjellen ved start- og slutt punktet på uttørkingsskurven er ca. 430 kg/m^3 , se figur Figur 56. Dette kan sammenliknes med «sensor (ekstra)» fra Figur 54, som ikke har noe plastfolie på undersiden, hvor fuktforskjellen er ca. 507 kg/m^3 . Fra dette kan det observeres at uttørkingshastigheten for en veggprøve med plast er lavere, i dette tilfellet får vi en differanse i fuktinnhold på $(507 - 430) \text{ kg/m}^3 = 77 \text{ kg/m}^3$.

Dette kan diskuteres, fordi plasten har en porøsitet tilnærmet null, og vannet som forsøker å slippe ut fra materialet vil samles opp på plastfolien. Det ble oppdaget spor av kondens på plastfolien, som skyldes temperaturendringer inne i materialet.

Vannsamlingen på plasten vil igjen fordampes inn i materialet og gi en lengre uttørkingstid. Noe annet som forsinkes uttørkingen, er at materialet ikke får muligheten til å tørkes nedefra. Derfor må all uttørking skje fra sidene av materialet.

På en annen side kan man stille spørsmål om fuktforskjellen på 77 kg/m^3 bare er på grunn av plastfolien eller om det også kan være på grunn av porøsiteten i materialet. Det

kan dog være at den prøven som slapp ut mest vann også hadde større porevolum, og som følge av dette hadde muligheten til å ta opp mer vann. En prøve som har muligheten til å ta opp mer vann enn en annen prøve, har også muligheten til å slippe ut mer vann. Det er vanskelig å vurdere om 77 kg/m^3 faktisk er en stor eller liten forskjell med hensyn til bare plast, fordi det er mange andre faktorer som spiller inn.

5.5 Relativ fuktighet og temperatur fra WUFI 2D

Temperaturresultater fra WUFI 2D viser ikke noen store temperaturendringer i materialet, selv om man simulerer med eller uten lim. Temperaturforskjellen er ikke mer enn ca. en grad. Ut i fra temperaturgrafene fra WUFI, ser man at temperaturen synker ulikt for materialer med 1, 3 og 7 døgns oppfukting. For eksempel har 7 døgns prøven en avtagende temperatur mot ca. 13 grader, mens 1 døgns prøvene synker til 18 grader.

For å undersøke om det blir noe soppvekst, er man avhengig av to faktorer; RF og temperatur. Ut fra uttørkingsresultatene fra punkt 4.4, ser man at den relative fuktigheten for prøvene med og uten lim er veldig høy i starten, der den er fuktigst, men synker etterhvert. For 1 døgn (etter ca. 4 uker) faller den relative fuktigheten ned til 40 %, mens for 7 døgn (etter ca. 3,5 uker) faller den ned til 77 % RF. Resultater fra WUFI samsvarer med teorien om at den relative fuktigheten øker ved et temperaturfall. Ved lav temperatur er det høy fuktighet, mens ved høy temperatur er det omvendt

Disse resultatene kan ikke sammenliknes med resultater fra HygroTrac- sensorene, fordi WUFI gir oss temperatur- og relativfuktighetsendringer inne i materialet, mens sensorene måler RF og temperatur i omgivelsene.

5.6 Relativ fuktighet og temperatur fra sensorene

Fra teorien er det kjent at oppfuktingen ved start vil foregå raskt, fordi adsorpsjonskrefter vil bidra til fuktopptak slik at kapillærkondensasjonen kan ta over. Ved en lav RF, vil kondensasjonen være tilnærmet ubetydelig. Under forsøket ble det målt en RF på 20 % i laben, ved hjelp av en relativ fuktighetshygrometer, noe som ansees som lavt. Det ble også plassert noen sensorer på konstruksjonen som skulle undersøkes, som blant annet målte RF og temperatur i lufta. Det viste seg at den relative

fuktigheten varierte fra 25 - 45 % for HygroTracere, med en nøyaktighet på 0,5 %. Dermed var spørsmålet om RF var 20 % eller 25 - 45 %. Det ble valgt å benytte en RF på 40 %, noe som er realistisk inneklime. Det er dog en viss usikkerhet knyttet til dette valget. Det kan være at en 20 % RF inne i laben var riktig, og at RF ved HygroTracerne var rundt 40 % som følge av fordampning i området.

En høy relativ luftfuktighet > 75 %, vil gi et godt grunnlag for soppskader (Mattsson & Stensrød 2009). De små temperaturvariasjonene i omgivelsene fører til RF variasjoner. Fra teorien er det gitt at når temperaturen senkes, så øker den relative fuktigheten, og omvendt. Det har blitt observert at den relative fuktigheten i sensorene har vært høyest ved oppfuktingen ved 7 døgn, ca. 75 % RF, men minker raskt når prøvene tørkes, og legger seg i et område mellom ca. 25 – 35 % RF. Dermed er det ikke noe stor fare for soppskader.

5.7 (%WME) fra sensorene

Av HygroTrac- målingene fra «sensor ekstra» ser man at (% WME) har vært ganske høy for veggelementene, se Tabell 12. Det har vist seg at den kritiske trefuktigheten (% WME) for veggelementer allerede overstiger den kritiske verdien for % WME > 20 % etter 3 døgn med oppfukting, men at det også avtar like raskt. De målte verdiene viser at massivtre er i faresone ved allerede etter 3 døgn ved oppfukting og at biologisk vekst av mugg og råte er uunngåelig. Det viser seg at veggelementene av massivtre tørker veldig raskt i naturlige forhold, men det er igjen helt avhengig av den relative fuktigheten og temperaturen i omgivelsene. Ved laboratorietemperatur på 20 °C, og en RF på 40 %, vil massivtre allerede i løpet av 3 døgn ved uttørking av en 7 døgns prøve komme under faresonen, se Tabell 12.

5.8 Termografering

Termografering ble brukt for undersøkelse av fukt i en innvendig bygningskonstruksjon av massivtre. Å finne fukt i konstruksjoner er en av de viktigste bruksområdene for bygningstermografering. Det ble observert temperaturforskjeller inne i termograferingssnittet, etter å ha tatt bilde av avstrålingen. Temperaturforskjellene er avhengig av fuktinnholdet. Der det er lavest temperatur er det størst fuktinnhold og omvendt. De foretatte termograferingsbildene viser forskjellen i fuktinnhold avhengig av hvor stor fordampingen er. Større fordampning krever mer energi. Dermed blir dette området kaldere. I realiteten er termografering en indikator på fuktinnhold, og det viktigste er at den viser fukten i hvert stadium.

Termograferingsbildet som ble tatt med en gang etter 7 døgns oppfukting, viste store temperaturforskjeller, og dermed ulikt fuktinnhold på de ulike stedene på materialoverflaten. Temperaturendringen var mellom 17 - 24 °C, se Figur 69. Det viste seg at de kaldeste områdene befant seg i overgangen mellom vegg- og gulvkonstruksjonen. Et nytt termograferingsbilde av den samme prøven ble foretatt med et nytt termograferingssnitt 10 dager ut i uttørkingen, se Figur 70. Det ble observert en forandring i materialet i forhold til forrige termografering, temperaturen varierte mellom 16 - 22 °C.

Programvaren FLIR Tools+ ble brukt under termograferingen. Ved hjelp av den termiske fuktprofilen som programmet brukte, ble det hentet ut en temperaturgradientsgraf (for prøven med 10 døgns uttørking, se Figur 70), fra det kaldeste til det varmeste punktet. For å se om WUFI 2D brukte den samme fuktprofilen som FLIR Tools +. Det viste seg at temperaturgradientene for disse programmene var forskjellige, og at beregningene ikke stemte overens med realiteten. Fuktgradienten i WUFI varierte fra 14 - 16 °C og for FLIR Tools+ lå det mellom 16 - 20,6 °C. Grunnen til dette kan være at fuktutvikling ikke er helt godt forstått blant forskerne og programutviklere.

Figur 73 og Figur 74 viser at en oppfuktingsprøve på 7 døgn fortsatt har et fuktig område etter 24 døgn med uttørking.

Det er blitt valgt å ta med 2D plot fra WUFI som sier noe om fuktinnholdet. Vi kan ikke si noe sikkert om hvor stort fuktinnholdet er ved termografering, men hvis fuktprofilen for de sammensatte prøvene hadde samsvart, kunne man ha sagt noe om vanninnholdet i forhold til simuleringsprogrammet WUFI. Det er interessant å se 2D plot for fuktinnhold for de tidspunktene termograferingene er foretatt. Hvis man får til at programmet samsvarer med temperaturgradienten, så vil også fuktprofilen samsvare. Dette fordi temperaturen sier noe om fuktinnholdet til enhver tid.

Ved termografering ble det observert endringer i varmeinnholdet i termograferingssnitt, uten at temperaturen i omgivelsene ble endret. Dette samsvarer med teorien om latent varme, som er den varmemengden som kreves for at et stoff skal kunne gjennomgå en faseovergang. I vårt tilfelle skjer dette fra flytende form til gassform eller fordampning. Slike faseoverganger krever ekstra energi, og stoffets varmeinnhold vil endres. Se pkt. 2.3.1.

6. Konklusjon

I denne masteroppgaven har målet vært å besvare 4 forskningsspørsmål, i tillegg til å se på gyldigheten av de forutsatte hypotesene. Forskningsspørsmålene omhandler «sensormålinger og vektmålinger i laboratoriet», «uttørkingsprosessen sammenliknet med simuleringer utført i WUFI 2D» og aller sist om de foretatte «termograferingsbildene». Først vil det trekkes konklusjoner for de stilte forskningsspørsmålene og til slutt vil gyldigheten av hypotesene vurderes.

Hvordan vil oppfuktings- og uttørkingsforløpet være for massivtreelementene?

Det er mange faktorer som spiller inn på uttørkingstiden til en konstruksjon, alt fra fuktighet i materialet til luftfuktighets- og temperaturvariasjoner i omgivelsene. Massivtre har en evne til å trekke til seg mye vann ved starten, spesielt i sin fiberretning, og noe mindre i den tangentielle og radielle retningen av materialet. Vi kan ut i fra denne oppgaven konkludere med at massivtre kan ta opp mye vann, men har også evnen til å tørke ut ganske raskt ved uttørkingsstart, slik at det ikke blir noe stor fare for råtevekst. Det er lurt å sette i gang et uttørkingstiltak senest 7 døgn etter en vannskade, slik at massivtreelementene tørkes ut.

Hvordan synker fuktigheten i materialet etter en gitt oppfuktingsperiode på henholdsvis 1, 3 og 7 døgn? Vil bruk av lim ha noe å si for uttørkingstiden?

Målinger viser at uttørkingen skjer raskt ved start og avtar sakte mot slutten. Simuleringer utført i WUFI 2D tørker ut raskere enn de foretatte vektmålingene på laboratoriet. Det kan konkluderes med at det er utfordrende å sammenlikne en praktisk utført måling med simuleringsprogrammet WUFI 2D. Det vil aldri være mulig å få en eksakt tilnærming til virkeligheten. For vegger og gulv viser WUFI en raskere uttørking enn det vi har fått fra vektmålinger.

Simuleringene viste ikke noe særlig utslag på uttørkingstiden ved programmering av lim i massivtrekonstruksjonen. For veggelementet ser man klart at «WUFI med lim» tørker raskere enn «WUFI uten lim» ved start, men etterhvert vil begge følge samme kurven. Simuleringene viser motsatt resultat for gulvelementene. Der vil lim forsinke uttørkingstiden.

Hvordan vil uttørkingsforløpet for et veggelement som ligger på byggfolie være sammenliknet med en som har direkte kontakt med gulvoverflaten?

Et veggelement med en plastfolie under forsinker uttørkingsevnen for konstruksjonen.

Er det mulig å detektere fukt ved bruk av et termograferingskamera?

Det er mulig ved hjelp av termograferingskamera å observere temperatur- og fuktforskjeller. Temperatur og fukt kan sees i sammenheng, ved at lav temperatur tilsvarer høy fuktighet, mens høy temperatur tilsvarer det motsatte. Mengden av fuktinnhold er likevel mer avansert å finne.

Massivtreelementer har gode uttørkingsegenskaper under naturlig uttørking.

Massivtrekonstruksjonen har vist gode uttørkingsegenskaper ved en RF på 40 % og en temperatur på 20 °C i forhold til biologisk vekst av råtesopp. Selv på en prøve med 7 døgns oppfukning og uttørking, har det ikke vært antydninger til vekst av mugg- og råtesopp. Den kritiske grensen for mugg- og soppvekst er allerede nådd etter 3 døgn med oppfukning %WME > 20 %. Det er anbefalt å sette i gang uttørking for å få ned fuktprosenten raskt. Vi ser at prøvene allerede etter 3 døgn med uttørking kommer under denne kritiske grensen.

WUFI 2D er godt egnet til simulering av uttørkingsforløp, og vil være en god tilnærming til den praktiske delen som utføres på laboratoriet.

Resultatene fra WUFI vil gi en viss usikkerhet i forhold til de praktiske målingene. Det er mye avansert statistikk som ligger bak programmet, og eventuelle feil/ mangler er vanskelig å oppdage. Det er vanskelig å få simuleringen til å stemme overens med virkeligheten, selv ved gode initialbetingelser. Det må derfor konkluderes med at beregningsprogrammet ikke egner seg til å forutsi fuktforløpet til massivtre.

Termograferingskamera er egnet til å finne fuktforskjeller i en massivtrekonstruksjon.

Termograferingskamera er egnet til å se hvor fukten befinner seg i materialet, men mengden av fukt er vanskelig å detektere.

7. Videre arbeid

Det hadde vært interessant å undersøke betydningen av limfugene i massivtrelementene i praksis, og sammenlikne det opp mot simuleringer i et numerisk transient beregningsprogram. Det kan være lurt å sammenlikne en krysslågt limprøve fra Massiv Lust AS og en massivtreprøve fra en annen leverandør med et annet trefestemiddel. Det bør benyttes en bedre tilnæringsverdi for lim ved programmering, og kanskje undersøkes limegenskapene hos 3 sjikt eller 5 sjikts massivtreelementer. Et slikt forsøk kan gjentas på samme måte som det er utført i denne oppgaven, men ved bruk av bedre måleinstrumenter. Dette fordi det ble observert stor usikkerhet ved måleinstrumentene som ble brukt i dette forsøket, selv om bruksanvisningen sier at usikkerheten ikke er så stor.

Vil uttørkingen avta like raskt etter 2 eller 3 uker med oppfukting? Dette vil være interessant å undersøke for den kritiske grensen ($\% \text{ WME} > 20 \%$ for råteskader) er allerede nådd i løpet av de 3 første døgnene ved oppfukting.

8. Bibliografi

- Aarstad, K. J., Glasø, G. & Bunkholt, A. (2008). *Massivtre: egenskaper, byggemetoder, bruksområder, økonomi, ressursbruk*, b. nr 20. Oslo: TreFokus AS og Treteknisk. 8 s. : ill. s.
- Blom Peter, Mattsson Johan & Bodil, I. (2003). *Vannskader: skadebegrensning, uttørking og sanering*, b. 39 - 2003. Oslo: NBI. 43 s. : ill. s.
- Dalland, O. (1997). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Universitetsforl. 182 s.
- Dyrbye, C. & Englev, M. (2009 - 2014). *Materialeegenskaber - Den Store Danske/Gyldendal I: Danske/Gyldendal, D. S. (red.)*. Den Store Danske/Gyldendal Den Store Danske/Gyldendal Tilgjengelig fra: [http://www.denstoredanske.dk/It, teknik og naturvidenskab/Teknik/Bygningsstatik, teknisk statik og styrkel%C3%A6re/materialeegenskaber](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Teknik/Bygningsstatik,_teknisk_statik_og_styrkel%C3%A6re/materialeegenskaber) (lest 25.04.15).
- Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. Ø. (2014). *Trehus*, b. 5. Oslo: SINTEF byggforsk. 464 s. : ill. s.
- Einstabland, H. (2005). 474.531 Måling av fukt i bygninger. *SINTEF Byggforsk*.
- GE Protimeter. (2006). *Calibration Tables for Wood, Holzarten – Tabelle, Table d'étalonnage des essences de bois*. Shannon Free Zone East, Shannon, Co. Clare, Ireland: GE Protimeter. Tilgjengelig fra: <http://www.ge-mcs.com/download/moisture-humidity/woodcalv2.pdf> (lest 13.05.15).
- Geving, S. & Thue, J. V. (2002). *Fukt i bygninger*, b. 50. Oslo: Instituttet. 465 s. : ill. ; 31 cm s.
- Geving, S. (2005). 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. *SINTEF Byggforsk*.
- Geving, S., Holme, J. & Uvsløkk, S. (2010). *Alternative dampsperrer med uttøringsmulighet mot innelufta*, b. Prosjektrapport 65. Oslo: Sintef Byggforsk Oslo. 84 s.
- Geving, S. (2011). *Fuktskader: årsaker, utredning og tiltak*, b. 3. Oslo: SINTEF byggforsk. 196 s. : ill. s.
- Gustavsen, A. (2010). *WUFI - Beregningsverktøy for fukt- og varmetransport i bygningskomponenter*. Trondheim: WUFI - NTNU & SINTEF BYGGFORSK. Tilgjengelig fra: <http://www.wufi.no/Introduksjon.php3> (lest 20.03.15).
- Guttormsen, M. (2009). *Emissivitet: Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/emissivitet> (lest 01.05.15).
- Hameury, S. (2005). Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study. *Building and Environment*, 40 (10): 1400-1412.
- INSTRUMENTCOMPANIET AS. (2015). Hygrotrac, Omnisense. *INSTRUMENTCOMPANIET AS*.
- Jerstad, P. (2007). *Rom, stoff, tid: fysikk 1 : grunnbok : studiespesialiserende program*. Oslo: Cappelen. 319 s. : ill. s.
- Kilde, V. (2011). Gran. *TreFokus AS og Treteknisk*, Nr. 28: 8.
- Kristensen, T. (1999). Bygningselementer av massivtre/ Prefab units of solid wood. *Norsk Treteknisk Institutt, Rapport Nr. 45*.
- Kristensen, T. (2001). 520.205 Massive treelementer. Typer og bruksområder. *SINTEF Byggforsk*.
- Kristine Nore, Johan Mattsson & Austigard, M. S. (2014). Cross Laminated Timber vs. timber frame walls in water damage – comparing drying and mould growth. *Norwegian Institute of Wood Technology, Mycoteam AS*: 8.

- Krohn, J. C. (2015). 700.115 Vannskader i bygninger. Tiltak og utbedring. *SINTEF Byggforsk*.
- Kvande, T. & Lisø, K. R. (2010). 700.110 Byggskader. Oversikt. *SINTEF Byggforsk*.
- Künzel, H. M. (1995). Simultaneous heat and moisture transport in building components. *One-and two-dimensional calculation using simple parameters*. IRB-Verlag Stuttgart.
- Lerma, J. L., Cabrelles, M. & Portalés, C. (2011). Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade. *Construction and Building Materials*, 25 (5): 2190-2197.
- Lundby, A. (2013). Fuktlogging av Kvamstykket barnehage. Treteknisk Laboratorium: Norsk Treteknisk Institutt
- Lundesgaard Jon & Institutt, N. T. (2000). 571.523 Trelast av gran og furu. Egenskaper og dimensjoner. *SINTEF Byggforsk*.
- Massiv Lust AS. *Massiv Lust AS*. Tilgjengelig fra: <http://www.massivlust.no/> (lest 12.04.15,).
- Mattsson, J. & Stensrød, O. (2009). *Håndbok om vannskader: årsak, undersøkelser, tiltak og gjenoppbygging*. Oslo: Mycoteam. 223 s. : ill. s.
- Mühlberg, M. (2008). Phase Diagrams for Crystal Growth. *Crystal Growth Technology: From Fundamentals and Simulation to Large-scale Production: 2-26*.
- Noreng, K. (1995). *Dampsperrer i tak*, b. 190-1995. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 39 s. : ill. s.
- NZ Moisture Meters. (2014). *Frequently Asked Questions - Building Related*. NZ Moisture Meters.: NZ Moisture Meters. Tilgjengelig fra: <http://www.moisturemeters.co.nz/faqs-building.asp> (lest 15.04.15).
- OmniSense LLC. *OmniSense S-900-1 Wireless Sensor Product Brief*. OmniSense S-900-1 Wireless Sensor Product Brief. Oxnard, CA 93035: OmniSense LLC. Tilgjengelig fra: http://www.omnisense.com/oms_cds/media/007-002-003%20OmniSense%20FMS%20S-900-1%20Product%20Brief.pdf (lest 15.03.15).
- Rydock, J. P. (2006). 474.533 Byggfukt. Uttørking og forebyggende tiltak. *SINTEF Byggforsk*.
- Siau, J. F. (1995). *Wood : influence of moisture on physical properties*. Keene, N.Y.: Department of Wood Science and Forest Products. 227 s. s.
- SINTEF Byggforsk. (2013). Teknisk godkjenning av Martinson KL-trä. *SINTEF Certification*
- Standard Norge. (2009). *Bygningers termiske egenskaper - Kvalitativ metode for å oppdage termiske uregelmessigheter i bygningers klimaskjermer - Infrarød metode, NS-EN 13187:1998* Lysaker: Standard Norge. 20 s.
- Standard Norge. (2014). *Måling av fukt i trekonstruksjoner/ Measurement of moisture in timber structures NS 3512:2014*. Lysaker: Standard Norge. 28 s.
- Sverre Holøs & Aurlien, T. (2014). 474.642 Termografering av bygninger. *SINTEF Byggforsk*.
- Thue, J. V. (2012). *Husbyggingsteknikk: bygningsfysisk grunnlag, kapittel 4-8 : kompendium emne TBA4160 Bygningsfysikk, grunnkurs : rev. høsten 2012*. [Trondheim]: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for bygg, anlegg og transport. 1 b. (flere pag.) : ill. s.
- Time, B. (1998). *Hygroscopic moisture, transport in wood*: Norwegian University of Science and Technology.

- Tronstad, S. (2006). *Tre og fuktighet: fra produsent til forbruker*, b. nr. 2. Oslo: Norsk treteknisk institutt. 41 s. : ill. s.
- Wufi-wiki.com. (2008). *Diffusion Resistance Factor, Moisture-dependent*. Tilgjengelig fra: <http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php5/Details:DiffusionResistanceFactorMoistureDependent> (lest 01.04.15).
- Wufi-wiki.com. (2009a). *Basic Material Data*: Wufi-wiki.com Tilgjengelig fra: <http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php5/Details:BasicMaterialData> (lest 01.04.15).
- Wufi-wiki.com. (2009b). *Heat Conductivity, Moisture-dependent*. Tilgjengelig fra: <http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php5/Details:HeatConductivityMoistureDependent> (lest 01.04.15).

9. Vedlegg

Vedlegg 1: Vektmålinger

Vektmålingene er oppgitt i gram, og har blitt trukket fra forseglingen og sensorene.

		Prøve nummer														
Dato og tid		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20.2.15	8:30	3962	3910	3924	3970	3864	3918	3890	3904	3950	3940	4046	3978	4028	3940	3858
20.02.15	20:30	4020	3966	3986	4078	3882	3960	3948	3948	4016	4008	4106	4028	4092	3998	3922
21.02.15	8:30	4048	3984	4010	4104	3904	3986	3972	3970	4040	4032	4130	4048	4116	4018	3944
21.02.15	20:30					3926	4008	3992	3988	4060	4048	4148	4060	4136	4034	3960
22.02.15	8:30					3944	4024	4008	4004	4078	4066	4164	4074	4154	4048	3978
22.02.15	20:30					3960	4034	4022	4016	4092	4078	4176	4084	4168	4058	3992
23.02.15	8:30					3972	4044	4034	4026	4104	4090	4188	4092	4180	4068	4002
23.02.15	20:30									4118	4102	4200	4100	4192	4078	4016
24.02.15	8:30									4130	4112	4210	4110	4204	4086	4028

Vektmålingene under uttørkingsprosessen:

De sammensatte prøvenes vektmaalinger er oppgitt i gram, og har blitt trukket fra vekten av forseglingen, sensorer og skruer.

Dato	1+2	3+4	5+6	7+8	9+10	11+12	15
21.02.15 8:30	8024	8106					
21.02.15 20:30	8002	8102					
22.02.15 8:30	7994	8102					
22.02.15 20:30	7986	8102					
23.02.15 8:30	7982	8084	8008	8054			
23.02.15 20:30	7978	8076	7974	8016			
24.02.15 8:30	7976	8074	7962	8002			
24.02.15 20:30	7976	8072	7952	7992			
25.02.15 8:30	7974	8070	7946	7986			
25.02.15 20:30	7972	8066	7938	7978			
26.02.15 8:30	7972	8064	7934	7974			
26.02.15 20:30	7972	8066	7934	7972			
27.02.15 8:30	7972	8064	7930	7968	8350	8406	4090
27.02.15 20:30	7970	8062	7926	7964	8298	8370	4074
28.02.15 8:30	7970	8062	7922	7962	8272	8350	4064
28.02.15 20:30	7970	8062	7920	7960	8256	8338	4056
01.03.15 8:30	7970	8062	7918	7960	8244	8330	4052
01.03.15 20:30	7970	8062	7918	7958	8234	8322	4048
02.03.15 8:30	7970	8062	7916	7956	8224	8314	4042
02.03.15 20:30	7970	8062	7916	7956	8218	8310	4040
03.03.15 8:30	7970	8062	7914	7956	8210	8306	4036
03.03.15 20:30	7970	8062	7910	7952	8200	8296	4030
04.03.15 8:30	7968	8060	7908	7950	8194	8290	4026
04.03.15 20:30	7966	8058	7906	7946	8186	8284	4024
05.03.15 8:30	7966	8058	7904	7946	8182	8282	4022
05.03.15 20:30	7966	8058	7902	7946	8176	8276	4018

06.03.15 8:30	7966	8058	7902	7946	8174	8276	4018
06.03.15 20:30	7966	8058	7900	7944	8166	8270	4014
07.03.15 8:30	7966	8058	7900	7944	8164	8268	4014
07.03.15 20:30	7966	8058	7900	7944	8162	8266	4012
08.03.15 8:30	7966	8058	7900	7944	8160	8266	4010
08.03.15 20:30	7966	8058	7900	7944	8158	8264	4010
09.03.15 8:30	7966	8058	7900	7942	8152	8260	4006
10.03.15 8:30	7966	8058	7898	7942	8148	8256	4004
11.03.15 8:30	7966	8058	7896	7938	8142	8250	4000
12.03.15 8:30	7964	8056	7892	7936	8134	8246	3998
14.03.15 8:30	7962	8048	7886	7928	8120	8232	3992
16.03.15 8:30	7962	8048	7884	7926	8114	8228	3988
18.03.15 8:30	7962	8050	7886	7926	8112	8226	3988
20.03.15 8:30	7960	8050	7884	7926	8108	8222	3986
23.03.15 8:30	7960	8048	7882	7922	8098	8216	3982

Vedlegg 2: Målt vektprosent ved motstandsmåler

	Vegg	Gulv	Vegg	Gulv	Vegg	Gulv	Vegg	Gulv
Prøve nr:	1	2	3	4	5	6	7	8
Sjikt nr 1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Sjikt nr 1	7,5	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Sjikt nr 1	7,2	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,7	7,1

	Vegg	Gulv	Vegg	Gulv	Vegg	Gulv	Vegg
Prøve nr:	9	10	11	12	13	14	15
Sjikt nr 1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Sjikt nr 1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,6	7,1
Sjikt nr 1	7,1	7,5	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1

Vedlegg 3: Startfukten for preparerte prøver i sjikt 1 [kg/m³]
Tettheten før oppfuktingsperioden (oppgis i kg/m³).

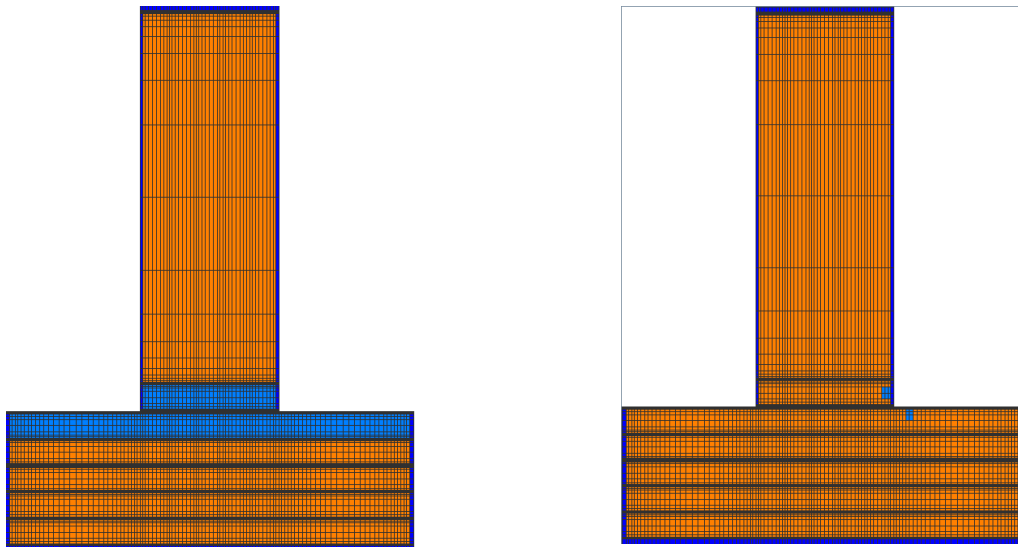
Volum = 0,3x0,3x0,1 = 0,009 m³

Startfukten før oppfuktingsperioden = $\rho \times 7,1 \%$

$\rho = m/V$

Prøve nr:	Tetthet ρ [kg/m ³]	Startfukten: [kg/m ³]
1	440,2222	31,255
2	434,4444	30,845
3	436	30,956
4	441,1111	31,318
5	429,3333	30,482
6	435,3333	30,908
7	432,2222	30,687
8	433,7778	30,798
9	438,8889	31,161
10	437,7778	31,082
11	449,5556	31,918
12	442	31,328
13	447,5556	31,776
14	437,7778	31,082
15	428,6667	30,435

Vedlegg 4: Initialbetingelser i WUFI 2D



Det blå området på figuren til venstre viser hvor resultater fra WUFI 2D ble hentet for sammensatte prøver. Mens figuren til høyre viser to blå markerte områder hvor resultater for enkeltelementer (gulv og vegg) i den sammensatte prøven ble hentet, ca. 1 cm inn i materialoverflaten. Dette begrunnes med at HygroTrac sensorene var uisolerte og målte middelverdien 1 cm inn i materialet.

UTEN LIM

1 Døgn

Project: 1 døgn

Use initial conditions from file

Temperature [°C] [] [...]

Rel. Humidity [-] [] [...]

Use initial conditions from table

Identifiser	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandine	20	30.8	0.266667
*Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinke	20	30.8	0.216
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Ska	20	72	0.752527
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: *Gran lon	20	31.3	0.272619
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	174.6	0.982051
Luftsjikt 1 mm :: Luftsjikt 1 mm	20	1.9	0.8

Project: 1 døgn

Simple | Enhanced

Start Date: 21.02.2015 | Time: 8:30 | Number of Time Steps: 720

Mode of Calculation:

Heat Transport Calculation

Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options:

Excluding Heat of Evaporation

Excluding Heat of Fusion

Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters:

Increased Accuracy

Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control:

Enabled

Steps: 3 | Max. Steps: 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

3 Døgn

Project: 3 døgn

Use initial conditions from file
 Temperature [°C]
 Rel. Humidity [-]

Use initial conditions from table

Identifier	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	30.8	0.266643
*Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinke	20	30.8	0.21596
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Skæ	20	98.6	0.864473
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: *Gran lon	20	30.7	0.265321
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	270.7	0.986105
Luftsikt 1 mm :: Luftsikt 1 mm	20	1.9	0.8

Project: 3 døgn

Simple | Enhanced

Start Date: 23.02.2015 | Time: 8:30 | Number of Time Steps: 672

Mode of Calculation: Heat Transport Calculation, Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options: Excluding Heat of Evaporation, Excluding Heat of Fusion, Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters: Increased Accuracy, Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control: Enabled | Steps: 3 | Max. Stages: 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

7 Døgn

Project: 7 døgn

Use initial conditions from file
 Temperature [°C]
 Rel. Humidity [-]

Use initial conditions from table

Identifier	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	31.1	0.270024
*Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinke	20	31.1	0.22164
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Skæ	20	155.5	0.981246
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: *Gran lon	20	31.2	0.270964
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	437.8	0.993157
Luftsikt 1 mm :: Luftsikt 1 mm	20	1.9	0.8

Project: 7 døgn

Simple | Enhanced

Start Date: 27.02.2015 | Time: 8:30 | Number of Time Steps: 576

Mode of Calculation: Heat Transport Calculation, Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options: Excluding Heat of Evaporation, Excluding Heat of Fusion, Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters: Increased Accuracy, Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control: Enabled | Steps: 3 | Max. Stages: 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

7 døgn

Vegg 15

(Luft
erstattet
med
plast)

Project: Uten lim med plast

Use initial conditions from file
 Temperature [°C]
 Rel. Humidity [-]

Use initial conditions from table

Identifier	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	31.1	0.270238
*Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinke	20	31.1	0.222
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Skæ	20	155.5	0.981245
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: *Gran lon	20	30.4	0.262321
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	417.1	0.992283
PE-Folie (sd = 50 m) :: PE-Folie (sd = 50 m)	20	0	0.8

Project: 7 døgn

Simple | Enhanced

Start Date: 27.02.2015 | Time: 8:30 | Number of Time Steps: 576

Mode of Calculation: Heat Transport Calculation, Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options: Excluding Heat of Evaporation, Excluding Heat of Fusion, Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters: Increased Accuracy, Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control: Enabled | Steps: 3 | Max. Stages: 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

MED LIM:

1 Døgn

Project: Med lim konstruksjon

Use initial conditions from file

Temperature [°C] [] [...]

Rel. Humidity [-] [] [...]

Use initial conditions from table

Identifier	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	30.8	0.266667
Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinkel	20	30.8	0.216
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Ska	20	72	0.752527
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Gran long	20	31.3	0.272619
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	174.6	0.982051
Luftsjikt 1 mm :: Luftsjikt 1 mm	20	1.9	0.8
*Plast, porøstet 0 :: *Plast, porøstet 0	20	0	0.170068

Project: 1 døgn

Simple Enhanced |

Start Date 21.02.2015 Time 8:30 Number of Time Steps 720

Mode of Calculation

Heat Transport Calculation

Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options

Excluding Heat of Evaporation

Excluding Heat of Fusion

Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters

Increased Accuracy Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control

Enabled Steps 3 Max Stages 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

3 Døgn

Project: Med lim konstruksjon

Use initial conditions from file

Temperature [°C] [] [...]

Rel. Humidity [-] [] [...]

Use initial conditions from table

Identifier	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	30.8	0.266667
Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinkel	20	30.8	0.216
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Ska	20	98.6	0.864579
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Gran long	20	30.7	0.265476
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	270.7	0.986105
Luftsjikt 1 mm :: Luftsjikt 1 mm	20	1.9	0.8
*Plast, porøstet 0 :: *Plast, porøstet 0	20	0	0.170068

Project: 3 døgn

Simple Enhanced |

Start Date 23.02.2015 Time 8:30 Number of Time Steps 672

Mode of Calculation

Heat Transport Calculation

Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options

Excluding Heat of Evaporation

Excluding Heat of Fusion

Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters

Increased Accuracy Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control

Enabled Steps 3 Max Stages 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

7 Døgn

Project: Med lim konstruksjon

Use initial conditions from file

Temperature [°C] [] [...]

Rel. Humidity [-] [] [...]

Use initial conditions from table

Identifier	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	31.1	0.270238
Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinkel	20	31.1	0.222
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Ska	20	155.5	0.981245
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Gran long	20	31.2	0.271429
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	437.8	0.993156
Luftsjikt 1 mm :: Luftsjikt 1 mm	20	1.9	0.8
*Plast, porøstet 0 :: *Plast, porøstet 0	20	0	0.170068

Project: 7 døgn

Simple Enhanced |

Start Date 27.02.2015 Time 8:30 Number of Time Steps 576

Mode of Calculation

Heat Transport Calculation

Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options

Excluding Heat of Evaporation

Excluding Heat of Fusion

Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters

Increased Accuracy Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control

Enabled Steps 3 Max Stages 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	Va.P.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

7 døgn

Vegg 15

(Luft

erstattet

med

plast)

Project: med lim og plast

Use initial conditions from file

Temperature [°C] [] [...]

Rel. Humidity [-] [] [...]

Use initial conditions from table

Identifiser	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	31.1	0.270238
Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinke	20	31.1	0.222
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Sk	20	155.5	0.981245
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Gran lon	20	30.4	0.262321
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	417.1	0.992283
PE-Folie (sd = 50 m) :: PE-Folie (sd = 50 m)	20	0	0.8
*Plast, porøsitet 0 :: *Plast, porøsitet 0	20	0	0.170068

Project: 7 døgn

Simple | Enhanced

Start Date: 27.02.2015 | Time: 8:30 | Number of Time Steps: 576

Mode of Calculation

Heat Transport Calculation

Moisture Transport Calculation

Hygrothermal Special Options

Excluding Heat of Evaporation

Excluding Heat of Fusion

Excluding Capillary Conduction

Numerical Parameters

Increased Accuracy

Adapted Convergence

Adaptive Time Step Control

Enabled

Steps: 3 | Max Stages: 5

Result File contains:

W.C.	R.H.	Temp.	VaP.	Flu.C.	Flu.D.	Flu.H.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Prøve (13+14) ble benyttet for sammenligning med termografering

Project: 7 døgn

Use initial conditions from file

Temperature [°C] [] [...]

Rel. Humidity [-] [] [...]

Use initial conditions from table

Identifiser	Temp. [°C]	W. [kg/m ³]	R.H. [-]
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: Skandina	20	31.1	0.270024
*Gran longitudinalt :: Skandinavisk gran vinke	20	31.1	0.22164
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Ska	20	133.3	0.980308
Skandinavisk gran vinkelrett fibre :: *Gran lon	20	31.8	0.278571
*Skandinavisk gran vinkelrett fibre våt :: *Gra	20	421.8	0.992481
Luftsjikt 1 mm :: Luftsjikt 1 mm	20	1.9	0.8

Ble simulert for 1time, 10 dager og 24 dager.

Vedlegg 5: Sensor registrering

Sensorene:

Hygrotrack registrering 20.02.15	Prøve nr.	Hygrotrack nr.
Vegg	1	195602A0
Gulv	2	19560239
Vegg	3	195602FE
Gulv	4	19560315
Vegg	5	1956039c
Gulv	6	Ingen Hygrotrack
Vegg	7	19560245
Gulv	8	1956033D
Vegg	9	19560316
Gulv	10	19560311
Vegg	11	1956028c
Gulv	12	1956003B
Vegg (Denne ble demontert pga termografering)	13	19560222
Gulv	14	Ingen Hygrotrack
Vegg	15	19560230

Til de nye vegg prøvene (24.03.15):

TIDSPUNKT	Prøve nr.	Oppfukting, Hygrotrack nr.	Uttørring (sensor ekstra), Hygrotrack nr.
Etter ett døgn (25.03)	Vegg 1	195602FE	19560222
	Gulv 2	19560315	
Etter tre	Vegg 7	1956039c	1956003B

døgn (27.03)	Gulv 8	195602A0	
Etter sju døgn (31.03)	Vegg 9	19560245	19560311
	Gulv 10	1956033D	
	Vegg 15	19560230	19560239

Gulv sensor rådata:

Gulv(2) 1 døgn:

read_date	sensorId	tempera ture	humidi ty	wood_p ct	Kal_gra n	Fuktinnhold [kg/m³]
21.02.2015 09:00	19560239	19,5	34,4	10,1	11,9	71,95666667
22.02.2015 09:00	19560239	18,7	36,2	12,1	13,8	83,52598958
23.02.2015 09:00	19560239	19,8	30,3	9,8	11,6	70,26796185
24.02.2015 09:00	19560239	20,5	31,6	8,9	10,8	65,27493308
25.02.2015 09:00	19560239	21,1	32,1	8,5	10,4	63,09099857
26.02.2015 09:00	19560239	18,8	33,1	8,2	10,1	61,4672588
27.02.2015 09:00	19560239	20,4	35,7	8,1	10,0	60,92871908
28.02.2015 09:00	19560239	19,3	34,9	7,7	9,7	58,7880946
01.03.2015 09:00	19560239	18,1	38,2	7,6	9,6	58,25632208
02.03.2015	19560239	18,3	34,7	7,6	9,6	58,25632208

09:00						
03.03.2015 09:00	19560239	19,5	33,1	7,5	9,5	57,72590299
04.03.2015 09:00	19560239	19,1	23,7	7,5	9,5	57,72590299
05.03.2015 09:00	19560239	19,5	23,2	7,5	9,5	57,72590299
06.03.2015 09:00	19560239	19,4	34,8	7,5	9,5	57,72590299
07.03.2015 09:00	19560239	19	37	7,6	9,6	58,25632208
08.03.2015 09:00	19560239	18,8	41,5	7,6	9,6	58,25632208
09.03.2015 09:00	19560239	19,1	24,9	7,5	9,5	57,72590299
10.03.2015 09:00	19560239	20,3	37	7,5	9,5	57,72590299
11.03.2015 09:00	19560239	20,5	22,9	7,5	9,5	57,72590299
12.03.2015 09:00	19560239	21	29,2	7,4	9,4	57,19683735
13.03.2015 09:00	19560239	21,3	24	7,4	9,4	57,19683735
14.03.2015 09:00	19560239	19,5	25,9	7,5	9,5	57,72590299
15.03.2015 09:00	19560239	18,9	27,5	7,6	9,6	58,25632208
16.03.2015 09:00	19560239	19,3	27,4	7,5	9,5	57,72590299
17.03.2015 09:00	19560239	19,9	29,5	7,5	9,5	57,72590299

18.03.2015 09:00	19560239	20	29,4	7,5	9,5	57,72590299
19.03.2015 09:00	19560239	19,6	31,2	7,5	9,5	57,72590299
20.03.2015 09:00	19560239	19,8	32,9	7,5	9,5	57,72590299
21.03.2015 09:00	19560239	19,6	27,6	7,5	9,5	57,72590299
22.03.2015 09:00	19560239	19	25,6	7,6	9,6	58,25632208
23.03.2015 09:00	19560239	19,3	33,3	7,5	9,5	57,72590299

Gulv(8) 3 døgn:

read_date	sensorId	tempera ture	humidit y	wood_pct	Kal_gra n	Fuktinnhold [kg/m3]
23.02.2015 09:00	1956033 D	19	61	12,5	14,2	98,576
24.02.2015 09:00	1956033 D	19,8	34,5	14,2	15,9	110,4545043
25.02.2015 09:00	1956033 D	20,7	33,8	12,1	13,8	95,84628692
26.02.2015 09:00	1956033 D	18,5	34,8	10,5	12,2	85,17592642
27.02.2015 09:00	1956033 D	19,7	34,9	10	11,8	81,92297514
28.02.2015 09:00	1956033 D	19,2	36,3	9,4	11,2	78,07068505
01.03.2015 09:00	1956033 D	18	39,8	9	10,9	75,53355314

02.03.2015 09:00	1956033 D	18,2	35,7	9	10,9	75,53355314
03.03.2015 09:00	1956033 D	19,6	33	8,8	10,7	74,27430562
04.03.2015 09:00	1956033 D	19,1	23,8	8,2	10,1	70,53383686
05.03.2015 09:00	1956033 D	19,6	23,7	8,1	10,0	69,91586116
06.03.2015 09:00	1956033 D	19,4	34,9	8,1	10,0	69,91586116
07.03.2015 09:00	1956033 D	18,5	37,9	8,2	10,1	70,53383686
08.03.2015 09:00	1956033 D	18,4	42,6	8,2	10,1	70,53383686
09.03.2015 09:00	1956033 D	18,7	24,9	7,7	9,7	67,45948909
10.03.2015 09:00	1956033 D	20,3	37,3	8,1	10,0	69,91586116
11.03.2015 09:00	1956033 D	20,1	23,6	7,8	9,8	68,07125249
12.03.2015 09:00	1956033 D	20,9	29,3	7,6	9,6	66,84927875
13.03.2015 09:00	1956033 D	21,5	22,4	7,4	9,4	65,63351731
14.03.2015 09:00	1956033 D	20	25,7	7,5	9,5	66,2406215
15.03.2015 09:00	1956033 D	19	28,1	7,5	9,5	66,2406215
16.03.2015 09:00	1956033 D	19,2	27,4	7,5	9,5	66,2406215
17.03.2015 09:00	1956033 D	19,7	29,8	7,5	9,5	66,2406215

18.03.2015 09:00	1956033 D	19,8	29,8	7,5	9,5	66,2406215
19.03.2015 09:00	1956033 D	19,4	32,1	7,5	9,5	66,2406215
20.03.2015 09:00	1956033 D	19,6	33,5	7,5	9,5	66,2406215
21.03.2015 09:00	1956033 D	20	26,9	7,5	9,5	66,2406215
22.03.2015 09:00	1956033 D	19	25,3	7,5	9,5	66,2406215
23.03.2015 09:00	1956033 D	19,3	33,4	7,5	9,5	66,2406215

Gulv(10) 7 døgn:

read_date	LOGGEDA TO	sensorl d	temperat ure	humid ity	wood_ pct	Kal_gr an	Fuktinnhold [kg/m³]
27.02.2015 09:00	27.02.15 9:00	195603 11	20,9	32,1	7,4	9,4	155,5266667
28.02.2015 09:00	28.02.15 9:00	195603 11	18,6	37,4	15,7	17,4	287,454832
01.03.2015 09:00	01.03.15 9:00	195603 11	17,7	43,2	13,5	15,2	250,0165071
02.03.2015 09:00	02.03.15 9:00	195603 11	18,1	36,3	12,3	14,0	230,3463632
03.03.2015 09:00	03.03.15 9:00	195603 11	19,7	32,9	11,5	13,2	217,5273499
04.03.2015 09:00	04.03.15 9:00	195603 11	19,1	24	10,3	12,1	198,7404538
05.03.2015	05.03.15	195603	19,6	23,4	9,8	11,6	191,0689889

09:00	9:00	11					
06.03.2015	06.03.15	195603	19,6	34,6	9,5	11,3	186,5102723
09:00	9:00	11					
07.03.2015	07.03.15	195603	18,8	37,9	9,2	11,0	181,9846776
09:00	9:00	11					
08.03.2015	08.03.15	195603	18,5	42,6	9,2	11,0	181,9846776
09:00	9:00	11					
09.03.2015	09.03.15	195603	19	24,7	8,9	10,8	177,4922046
09:00	9:00	11					
10.03.2015	10.03.15	195603	20,4	36,8	8,8	10,7	176,002074
09:00	9:00	11					
11.03.2015	11.03.15	195603	20,5	22,4	8,5	10,4	171,5537635
09:00	9:00	11					
12.03.2015	12.03.15	195603	21	29	8,5	10,4	171,5537635
09:00	9:00	11					
13.03.2015	13.03.15	195603	21,3	23	8,1	10,0	165,6742055
09:00	9:00	11					
14.03.2015	14.03.15	195603	19,3	26	7,8	9,8	161,3031791
09:00	9:00	11					
15.03.2015	15.03.15	195603	18,8	27,8	7,6	9,6	158,4075625
09:00	9:00	11					
16.03.2015	16.03.15	195603	19,2	27,5	7,5	9,5	156,9652745
09:00	9:00	11					
17.03.2015	17.03.15	195603	19,7	29,6	7,7	9,7	159,8535307
09:00	9:00	11					
18.03.2015	18.03.15	195603	19,8	29,5	7,6	9,6	158,4075625
09:00	9:00	11					
19.03.2015	19.03.15	195603	19,6	30,6	7,5	9,5	156,9652745
09:00	9:00	11					
20.03.2015	20.03.15	195603	19,2	33,7	7,5	9,5	156,9652745
09:00	9:00	11					

21.03.2015 09:00	21.03.15 9:00	195603 11	19,5	25,5	7,5	9,5	156,9652745
22.03.2015 09:00	22.03.15 9:00	195603 11	17,8	25,1	7,6	9,6	158,4075625
23.03.2015 09:00	23.03.15 9:00	195603 11	18,5	34,6	7,6	9,6	158,4075625

Vegg sensor rådata:

read_date	sensorId	temperat ur e	humid ity	wood_ pct	Kal_gr an	Fuktinnhold [kg/m³]	Veicell e [g]
24.03.2015 12:00	195602FE	20,8	20,2	7,4	9,4	24,2708531	3962
25.03.2015 00:00	195602FE	18,1	60,2	12,4	14,1	148,156136	4020
25.03.2015 12:00	195602FE	19,4	39,5	10,4	12,1	174,589111	4048

Tabellen under viser oppfukting 3 døgn vegg 7

read_date	sensorId	tem per atur e	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]	Veicell e [g]
24.03.2015 12:00	1956039C	20,6	20	7,1	9,2	9,02368863	3890
25.03.2015 00:00	1956039C	18,3	65,6	26,2	29,8	121,501256	3948
25.03.2015	1956039C	19	60,1	26,3	29,9	160,35611	3972

12:00							
26.03.2015 00:00	1956039C	17,8	56,6	26,8	30,5	196,473703	3992
26.03.2015 12:00	1956039C	18,4	46,2	26,5	30,1	219,735525	4008
27.03.2015 00:00	1956039C	17,8	56,6	26,9	30,7	246,473003	4022
27.03.2015 12:00	1956039C	17,8	51	27,3	31,2	270,687778	4034

Tabellen under viser oppfukting 7 døgn vegg 9

read_date	sensor Id	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]	Veicell e [g]
24.03.2015 12:00	19560 245	20,7	20,1	7,4	9,4	15,0873641	3950
25.03.2015 00:00	19560 245	18	69,9	22,1	24,7	178,634372	4016
25.03.2015 12:00	19560 245	19	45,9	20,2	22,4	208,434848	4040
26.03.2015 00:00	19560 245	17,9	61,5	17,8	19,7	216,91947	4060
26.03.2015 12:00	19560 245	18,5	42	16,5	18,3	229,491631	4078
27.03.2015 00:00	19560 245	17,8	55,7	15,3	17,0	233,887958	4092
27.03.2015 12:00	19560 245	17,8	47,3	7,6	9,6	141,9398	4104
28.03.2015 00:00	19560 245	17,3	46,5	7,6	9,6	153,446433	4118
28.03.2015	19560	17	48	7,7	9,7	164,799973	4130

12:00	245						
29.03.2015 00:00	19560 245	16,9	47,6	7,7	9,7	174,752831	4142
29.03.2015 12:00	19560 245	16,8	50	7,7	9,7	184,705689	4154
30.03.2015 00:00	19560 245	16,7	51,4	16,7	18,5	368,316601	4164
30.03.2015 12:00	19560 245	17,4	43,9	16,7	18,5	384,144786	4176
31.03.2015 00:00	19560 245	16,8	45,4	17,1	18,9	409,34167	4184
31.03.2015 12:00	19560 245	18,1	34,5	17,6	19,5	437,827778	4194

Tabellen under viser oppfukting 7 døgn vegg 15

read_date	LOGGE DATO	sens orId	temper ature	humi dity	woo d_pct	Kal_ gran	Fuktinnhol d [kg/m³]	Veiece lle [g]
24.03.2015 12:00	24.03.15 12:00	1956 0230	20,9	20	7,3	9,3	16,0227688	3858
25.03.2015 00:00	25.03.15 0:00	1956 0230	18,5	72,5	24,6	27,7	214,103597	3922
25.03.2015 12:00	25.03.15 12:00	1956 0230	19,1	56,8	24,9	28,1	275,059786	3944
26.03.2015 00:00	26.03.15 0:00	1956 0230	18,1	59,9	26	29,5	333,097063	3960
26.03.2015 12:00	26.03.15 12:00	1956 0230	18,5	59,5	25,6	29,0	376,296101	3978
27.03.2015 00:00	27.03.15 0:00	1956 0230	18	72,8	23,5	26,4	376,748378	3992
27.03.2015	27.03.15	1956	18,1	53,9	19,7	21,8	332,699526	4002

5 12:00	12:00	0230						
28.03.201	28.03.15	1956	17,6	50,7	18,2	20,1	333,375443	4016
5 00:00	0:00	0230						
28.03.201	28.03.15	1956	17,4	47	16,9	18,7	330,843746	4028
5 12:00	12:00	0230						
29.03.201	29.03.15	1956	17,3	52,2	16,6	18,4	345,839875	4040
5 00:00	0:00	0230						
29.03.201	29.03.15	1956	17,2	53,6	16,5	18,3	364,41966	4052
5 12:00	12:00	0230						
30.03.201	30.03.15	1956	17,1	60	16,9	18,7	387,079444	4060
5 00:00	0:00	0230						
30.03.201	30.03.15	1956	17,7	44,3	16,3	18,1	390,686717	4070
5 12:00	12:00	0230						
31.03.201	31.03.15	1956	17,2	53,2	16,4	18,2	410,070061	4080
5 00:00	0:00	0230						
31.03.201	31.03.15	1956	18,3	36,5	16	17,7	417,102	4090
5 12:00	12:00	0230						

Uttørkings rådata for vegg

Vegg(1) 1 døgn:

read_date	LOGGED ATO	senso rId	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
25.03.2015 12:00	25.03.15 12:00	19560 2FE	19,4	39,5	10,4	12,1	174,589111
26.03.2015 12:00	26.03.15 12:00	19560 2FE	20,5	27,1	9,6	11,4	163,902398
27.03.2015 12:00	27.03.15 12:00	19560 2FE	19,3	32,5	9,6	11,4	163,902398
28.03.2015 12:00	28.03.15 12:00	19560 2FE	18	37,4	9,3	11,1	159,947813

29.03.2015 12:00	29.03.15 12:00	19560 2FE	17,8	42,7	9	10,9	156,022101
30.03.2015 12:00	30.03.15 12:00	19560 2FE	18,5	35,4	8,7	10,6	152,125261
31.03.2015 12:00	31.03.15 12:00	19560 2FE	18	28,3	8,3	10,2	146,974386
01.04.2015 12:00	01.04.15 12:00	19560 2FE	18,2	22,4	8,3	10,2	146,974386
02.04.2015 12:00	02.04.15 12:00	19560 2FE	18,7	20,3	7,8	9,8	140,607973
03.04.2015 12:00	03.04.15 12:00	19560 2FE	18,8	19,9	7,6	9,6	138,083864
04.04.2015 12:00	04.04.15 12:00	19560 2FE	18,4	30,7	7,6	9,6	138,083864
05.04.2015 12:00	05.04.15 12:00	19560 2FE	18	30,9	7,6	9,6	138,083864
06.04.2015 12:00	06.04.15 12:00	19560 2FE	17,9	27,1	7,6	9,6	138,083864
07.04.2015 12:00	07.04.15 12:00	19560 2FE	19	28,2	7,6	9,6	138,083864
08.04.2015 12:00	08.04.15 12:00	19560 2FE	21,3	19,4	7,4	9,4	135,572588
09.04.2015 12:00	09.04.15 12:00	19560 2FE	20,4	26,4	7,5	9,5	136,826622
10.04.2015 12:00	10.04.15 12:00	19560 2FE	21,5	29,2	7,4	9,4	135,572588
11.04.2015 12:00	11.04.15 12:00	19560 2FE	19,9	38,6	7,5	9,5	136,826622
12.04.2015 12:00	12.04.15 12:00	19560 2FE	19,7	32,6	7,5	9,5	136,826622
13.04.2015 12:00	13.04.15 12:00	19560 2FE	20,1	19,8	7,5	9,5	136,826622

14.04.2015 12:00	14.04.15 12:00	19560 2FE	20	34,7	7,5	9,5	136,826622
15.04.2015 12:00	15.04.15 12:00	19560 2FE	20,7	35,1	7,5	9,5	136,826622
16.04.2015 12:00	16.04.15 12:00	19560 2FE	21,6	30,5	7,4	9,4	135,572588
17.04.2015 12:00	17.04.15 12:00	19560 2FE	21,9	30,8	7,4	9,4	135,572588
18.04.2015 12:00	18.04.15 12:00	19560 2FE	20,3	32,8	7,5	9,5	136,826622
19.04.2015 12:00	19.04.15 12:00	19560 2FE	20,2	32,1	7,5	9,5	136,826622
20.04.2015 12:00	20.04.15 12:00	19560 2FE	20,8	22,9	7,4	9,4	135,572588
21.04.2015 12:00	21.04.15 12:00	19560 2FE	21,5	29,2	7,4	9,4	135,572588
22.04.2015 12:00	22.04.15 12:00	19560 2FE	22,3	29,8	7,4	9,4	135,572588
23.04.2015 12:00	23.04.15 12:00	19560 2FE	22,2	25,9	7,4	9,4	135,572588
24.04.2015 12:00	24.04.15 12:00	19560 2FE	23,1	26,4	7,3	9,3	134,321761

Vegg(1) sensor (ekstra), beregnes på samme måte som vegg (1) sensor.

read_date	LOGGED ATO	senso rId	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
25.03.2015 12:00	25.03.15 12:00	19560 222	21,5	27	7,1	9,2	174,589111
26.03.2015 12:00	26.03.15 12:00	19560 222	20,5	28,1	18,8	20,8	396,240374

27.03.2015 12:00	27.03.15 12:00	19560 222	19,4	32,7	13,8	15,5	294,401268
28.03.2015 12:00	28.03.15 12:00	19560 222	18,3	37,8	11,5	13,2	251,121948
29.03.2015 12:00	29.03.15 12:00	19560 222	18	42,9	10,6	12,3	234,798356
30.03.2015 12:00	30.03.15 12:00	19560 222	19,1	34	9,8	11,6	220,577398
31.03.2015 12:00	31.03.15 12:00	19560 222	18,6	26,8	8,9	10,8	204,903835
01.04.2015 12:00	01.04.15 12:00	19560 222	18,8	21,2	8,2	10,1	192,951206
02.04.2015 12:00	02.04.15 12:00	19560 222	19,3	19,3	7,5	9,5	181,206757
03.04.2015 12:00	03.04.15 12:00	19560 222	19,4	19	7,5	9,5	181,206757
04.04.2015 12:00	04.04.15 12:00	19560 222	18,8	30,6	7,5	9,5	181,206757
05.04.2015 12:00	05.04.15 12:00	19560 222	18,3	30,8	7,5	9,5	181,206757
06.04.2015 12:00	06.04.15 12:00	19560 222	18,4	26,6	7,3	9,3	177,889437
07.04.2015 12:00	07.04.15 12:00	19560 222	19,4	27,5	7,5	9,5	181,206757
08.04.2015 12:00	08.04.15 12:00	19560 222	21,9	19,1	7,4	9,4	179,545972
09.04.2015 12:00	09.04.15 12:00	19560 222	21,1	26,2	7,4	9,4	179,545972
10.04.2015 12:00	10.04.15 12:00	19560 222	22,3	28,3	7,3	9,3	177,889437
11.04.2015 12:00	11.04.15 12:00	19560 222	20,6	37,5	7,4	9,4	179,545972

12.04.2015 12:00	12.04.15 12:00	19560 222	20,3	32,3	7,5	9,5	181,206757
13.04.2015 12:00	13.04.15 12:00	19560 222	20,8	19,6	7,2	9,3	176,23715
14.04.2015 12:00	14.04.15 12:00	19560 222	20,8	33,9	7,2	9,3	176,23715
15.04.2015 12:00	15.04.15 12:00	19560 222	21,6	33,9	7,3	9,3	177,889437
16.04.2015 12:00	16.04.15 12:00	19560 222	22,4	29,2	7,1	9,2	174,589111
17.04.2015 12:00	17.04.15 12:00	19560 222	22,6	29,9	7	9,1	172,945321
18.04.2015 12:00	18.04.15 12:00	19560 222	21,1	31,8	7	9,1	172,945321
19.04.2015 12:00	19.04.15 12:00	19560 222	20,8	31,3	7	9,1	172,945321
20.04.2015 12:00	20.04.15 12:00	19560 222	21,5	22,8	7	9,1	172,945321
21.04.2015 12:00	21.04.15 12:00	19560 222	22,1	27,3	7	9,1	172,945321
22.04.2015 12:00	22.04.15 12:00	19560 222	22,9	28,5	7	9,1	172,945321
23.04.2015 12:00	23.04.15 12:00	19560 222	22,7	25,3	7	9,1	172,945321
24.04.2015 12:00	24.04.15 12:00	19560 222	23,7	26,4	7	9,1	172,945321

Vegg(7) 3 døgn:

read_date	LOGGED ATO	senso rId	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---

27.03.2015 12:00	27.03.15 12:00	19560 39C	17,8	51	27,3	31,2	270,687778
28.03.2015 12:00	28.03.15 12:00	19560 39C	18	38,9	25,9	29,4	254,894753
29.03.2015 12:00	29.03.15 12:00	19560 39C	17,9	43,7	24,4	27,5	238,394936
30.03.2015 12:00	30.03.15 12:00	19560 39C	19	34,4	22,4	25,0	217,073102
31.03.2015 12:00	31.03.15 12:00	19560 39C	18,5	27,4	20,1	22,3	193,510802
01.04.2015 12:00	01.04.15 12:00	19560 39C	18,6	25,5	17,7	19,6	170,016478
02.04.2015 12:00	02.04.15 12:00	19560 39C	19,2	22,3	14,7	16,4	142,217481
03.04.2015 12:00	03.04.15 12:00	19560 39C	19,3	21,2	12,6	14,3	123,795405
04.04.2015 12:00	04.04.15 12:00	19560 39C	19,2	32,7	11,1	12,8	111,159748
05.04.2015 12:00	05.04.15 12:00	19560 39C	18,8	32	10,3	12,1	104,598928
06.04.2015 12:00	06.04.15 12:00	19560 39C	18,5	27,6	9,8	11,6	100,561366
07.04.2015 12:00	07.04.15 12:00	19560 39C	19,3	28,3	9,4	11,2	97,3661802
08.04.2015 12:00	08.04.15 12:00	19560 39C	21,6	19,6	9	10,9	94,2019856
09.04.2015 12:00	09.04.15 12:00	19560 39C	20,9	26,7	8,5	10,4	90,290323
10.04.2015 12:00	10.04.15 12:00	19560 39C	22	29,1	8,4	10,3	89,5138013
11.04.2015 12:00	11.04.15 12:00	19560 39C	20,5	37,6	8,5	10,4	90,290323

12.04.2015 12:00	12.04.15 12:00	19560 39C	20,1	32,8	8,1	10,0	87,1958576
13.04.2015 12:00	13.04.15 12:00	19560 39C	20,5	20	8,1	10,0	87,1958576
14.04.2015 12:00	14.04.15 12:00	19560 39C	20,7	33,8	8,1	10,0	87,1958576
15.04.2015 12:00	15.04.15 12:00	19560 39C	21,3	34,1	8,1	10,0	87,1958576
16.04.2015 12:00	16.04.15 12:00	19560 39C	22,1	29,9	8	10,0	86,4270835
17.04.2015 12:00	17.04.15 12:00	19560 39C	22,2	30,3	7,3	9,3	81,099899
18.04.2015 12:00	18.04.15 12:00	19560 39C	20,9	32	7,4	9,4	81,8551146
19.04.2015 12:00	19.04.15 12:00	19560 39C	20,6	31,5	7,4	9,4	81,8551146
20.04.2015 12:00	20.04.15 12:00	19560 39C	21,8	27,9	7,4	9,4	81,8551146
21.04.2015 12:00	21.04.15 12:00	19560 39C	21,1	22,8	7,4	9,4	81,8551146
22.04.2015 12:00	22.04.15 12:00	19560 39C	22,5	29,1	7,3	9,3	81,099899
23.04.2015 12:00	23.04.15 12:00	19560 39C	22,4	25,9	7,3	9,3	81,099899
24.04.2015 12:00	24.04.15 12:00	19560 39C	23,4	26,6	7,3	9,3	81,099899

Vegg(7) 3 døgn, sensor(ekstra)

read_date	LOGGED ATO	sensor Id	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---

27.03.2015 12:00	27.03.15 12:00	19560 03B	19,9	34,1	14,1	15,8	270,687778
28.03.2015 12:00	28.03.15 12:00	19560 03B	17,9	41,1	26,5	30,1	517,411155
29.03.2015 12:00	29.03.15 12:00	19560 03B	17,9	45,6	24,8	28,0	480,102119
30.03.2015 12:00	30.03.15 12:00	19560 03B	18,9	35	22,6	25,3	433,463223
31.03.2015 12:00	31.03.15 12:00	19560 03B	18,5	27,9	19,8	22,0	376,786147
01.04.2015 12:00	01.04.15 12:00	19560 03B	18,5	29,9	16,8	18,6	319,39345
02.04.2015 12:00	02.04.15 12:00	19560 03B	19,1	25	14,2	15,9	272,441892
03.04.2015 12:00	03.04.15 12:00	19560 03B	19,3	23,6	12,4	14,1	241,45394
04.04.2015 12:00	04.04.15 12:00	19560 03B	19,3	32	11,1	12,8	219,845646
05.04.2015 12:00	05.04.15 12:00	19560 03B	18,9	31,4	10,5	12,2	210,090939
06.04.2015 12:00	06.04.15 12:00	19560 03B	18,6	28,3	10	11,8	202,067362
07.04.2015 12:00	07.04.15 12:00	19560 03B	19,3	29	9,7	11,5	197,299185
08.04.2015 12:00	08.04.15 12:00	19560 03B	21,4	21,2	9,3	11,1	190,995246
09.04.2015 12:00	09.04.15 12:00	19560 03B	20,8	27,7	8,9	10,8	184,752598
10.04.2015 12:00	10.04.15 12:00	19560 03B	22	29,6	8,7	10,6	181,654259
11.04.2015 12:00	11.04.15 12:00	19560 03B	20,6	37,8	8,8	10,7	183,201513

12.04.2015 12:00	12.04.15 12:00	19560 03B	20,1	33,9	8,5	10,4	178,571243
13.04.2015 12:00	13.04.15 12:00	19560 03B	20,3	21,5	8,2	10,1	173,975449
14.04.2015 12:00	14.04.15 12:00	19560 03B	20,8	33,6	8,1	10,0	172,451179
15.04.2015 12:00	15.04.15 12:00	19560 03B	21,4	34,3	8	10,0	170,93074
16.04.2015 12:00	16.04.15 12:00	19560 03B	22	30,2	8	10,0	170,93074
17.04.2015 12:00	17.04.15 12:00	19560 03B	22,1	30,6	8	10,0	170,93074
18.04.2015 12:00	18.04.15 12:00	19560 03B	20,9	32,3	8,1	10,0	172,451179
19.04.2015 12:00	19.04.15 12:00	19560 03B	20,7	31,8	7,4	9,4	161,888551
20.04.2015 12:00	20.04.15 12:00	19560 03B	21	23,6	7,4	9,4	161,888551
21.04.2015 12:00	21.04.15 12:00	19560 03B	21,8	28	7,4	9,4	161,888551
22.04.2015 12:00	22.04.15 12:00	19560 03B	22,5	29,4	7,3	9,3	160,394927
23.04.2015 12:00	23.04.15 12:00	19560 03B	22,4	26	7,3	9,3	160,394927
24.04.2015 12:00	24.04.15 12:00	19560 03B	23,3	26,9	7,3	9,3	160,394927

Vegg(10) 7 døgn:

read_date	LOGGED ATO	senso rId	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---

31.03.2015 12:00	31.03.15 12:00	19560 245	18,1	34,5	17,6	19,5	437,827778
01.04.2015 12:00	01.04.15 12:00	19560 245	18,4	23,9	20,7	23,0	516,80726
02.04.2015 12:00	02.04.15 12:00	19560 245	19,2	21,3	20,1	22,3	501,144698
03.04.2015 12:00	03.04.15 12:00	19560 245	19,4	20,6	19,2	21,3	477,989444
04.04.2015 12:00	04.04.15 12:00	19560 245	19,2	31,3	18,6	20,6	462,778335
05.04.2015 12:00	05.04.15 12:00	19560 245	18,8	31,2	18	19,9	447,747807
06.04.2015 12:00	06.04.15 12:00	19560 245	18,6	26,8	17,1	18,9	425,540605
07.04.2015 12:00	07.04.15 12:00	19560 245	19,4	28,1	16,1	17,9	401,34247
08.04.2015 12:00	08.04.15 12:00	19560 245	21,6	18,4	14,9	16,6	372,966839
09.04.2015 12:00	09.04.15 12:00	19560 245	20,6	26,7	13,8	15,5	347,590387
10.04.2015 12:00	10.04.15 12:00	19560 245	21,9	29	12,8	14,5	325,04758
11.04.2015 12:00	11.04.15 12:00	19560 245	20,3	38,4	12,3	14,0	313,964282
12.04.2015 12:00	12.04.15 12:00	19560 245	19,9	33,6	11,8	13,5	303,006388
13.04.2015 12:00	13.04.15 12:00	19560 245	20,3	20	10,8	12,5	281,466811
14.04.2015 12:00	14.04.15 12:00	19560 245	20,5	33,5	10,3	12,1	270,885127
15.04.2015 12:00	15.04.15 12:00	19560 245	21,1	33,8	10	11,8	264,596311

16.04.2015 12:00	16.04.15 12:00	19560 245	21,9	30,1	9,6	11,4	256,281449
17.04.2015 12:00	17.04.15 12:00	19560 245	22,1	30,8	9,3	11,1	250,097972
18.04.2015 12:00	18.04.15 12:00	19560 245	20,6	31,8	9,2	11,0	248,046845
19.04.2015 12:00	19.04.15 12:00	19560 245	20,4	31,6	9,1	10,9	246,000734
20.04.2015 12:00	20.04.15 12:00	19560 245	21,1	22,4	8,8	10,7	239,8925
21.04.2015 12:00	21.04.15 12:00	19560 245	21,5	28,2	8,4	10,3	231,818412
22.04.2015 12:00	22.04.15 12:00	19560 245	22,2	29,5	8,4	10,3	231,818412
23.04.2015 12:00	23.04.15 12:00	19560 245	22,2	26	8,4	10,3	231,818412
24.04.2015 12:00	24.04.15 12:00	19560 245	23,2	26,6	8,3	10,2	229,812431

Vegg(10) 7 døgn, sensor(ekstra):

read_date	LOGGEDA TO	senso rId	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
31.03.2015 12:00	31.03.2015 12:00	19560 311	18,7	30,6	16,4	18,2	437,827778
01.04.2015 12:00	01.04.2015 12:00	19560 311	17,9	31,6	26,7	30,4	732,337955
02.04.2015 12:00	02.04.2015 12:00	19560 311	18,8	28,4	26,5	30,1	726,076372
03.04.2015 12:00	03.04.2015 12:00	19560 311	19,1	24,9	24,4	27,5	661,62797

04.04.2015 12:00	04.04.2015 12:00	19560 311	19,1	32,4	21,8	24,3	585,119217
05.04.2015 12:00	05.04.2015 12:00	19560 311	18,6	32,3	19,4	21,5	517,72113
06.04.2015 12:00	06.04.2015 12:00	19560 311	18,4	27,9	17,2	19,0	458,659616
07.04.2015 12:00	07.04.2015 12:00	19560 311	19,2	29	15,4	17,1	412,271786
08.04.2015 12:00	08.04.2015 12:00	19560 311	21,5	19,6	14	15,7	377,396502
09.04.2015 12:00	09.04.2015 12:00	19560 311	20,6	27,4	12,7	14,4	345,955733
10.04.2015 12:00	10.04.2015 12:00	19560 311	21,9	30	11,8	13,5	324,721234
11.04.2015 12:00	11.04.2015 12:00	19560 311	20,2	38	10,8	12,5	301,63803
12.04.2015 12:00	12.04.2015 12:00	19560 311	19,8	33,2	10,4	12,1	292,555266
13.04.2015 12:00	13.04.2015 12:00	19560 311	20,3	20,7	9,6	11,4	274,647768
14.04.2015 12:00	14.04.2015 12:00	19560 311	20,4	33,7	9,1	10,9	263,63029
15.04.2015 12:00	15.04.2015 12:00	19560 311	21,1	33,4	8,8	10,7	257,084311
16.04.2015 12:00	16.04.2015 12:00	19560 311	21,9	30,1	8,4	10,3	248,431597
17.04.2015 12:00	17.04.2015 12:00	19560 311	22,1	30,7	8	10,0	239,864893
18.04.2015 12:00	18.04.2015 12:00	19560 311	20,6	31,8	8,1	10,0	241,998506
19.04.2015 12:00	19.04.2015 12:00	19560 311	20,4	31,5	8,1	10,0	241,998506

20.04.2015 12:00	20.04.2015 12:00	19560 311	21	22,8	7,6	9,6	231,3842
21.04.2015 12:00	21.04.2015 12:00	19560 311	21,5	28	7,4	9,4	227,176107
22.04.2015 12:00	22.04.2015 12:00	19560 311	22,2	29,2	7,4	9,4	227,176107
23.04.2015 12:00	23.04.2015 12:00	19560 311	22,1	25,9	7,4	9,4	227,176107
24.04.2015 12:00	24.04.2015 12:00	19560 311	23,2	26,8	7,3	9,3	225,080123

Vegg(15) 7 døgn:

read_date	LOGGED ATO	senso rId	tempera ture	humi dity	wood_ pct	Kal_g ran	Fuktinnhold [kg/m³]
31.03.2015 12:00	31.03.15 12:00	19560 230	18,3	36,5	16	17,7	417,102
01.04.2015 12:00	01.04.15 12:00	19560 230	18,1	27,6	14,3	16,0	375,386233
02.04.2015 12:00	02.04.15 12:00	19560 230	18,7	23,8	13,9	15,6	365,791022
03.04.2015 12:00	03.04.15 12:00	19560 230	18,8	22,8	13,7	15,4	361,024883
04.04.2015 12:00	04.04.15 12:00	19560 230	18,8	33,4	13,4	15,1	353,915007
05.04.2015 12:00	05.04.15 12:00	19560 230	18,4	32,8	13,2	14,9	349,201311
06.04.2015 12:00	06.04.15 12:00	19560 230	18,3	28,8	13	14,7	344,508593
07.04.2015 12:00	07.04.15 12:00	19560 230	19,1	29,3	12,7	14,4	337,508849

08.04.2015 12:00	08.04.15 12:00	19560 230	20,9	22,1	12,2	13,9	325,947497
09.04.2015 12:00	09.04.15 12:00	19560 230	20,4	27,9	11,7	13,4	314,517253
10.04.2015 12:00	10.04.15 12:00	19560 230	21,6	30,4	11,1	12,8	300,974026
11.04.2015 12:00	11.04.15 12:00	19560 230	20,2	38,6	10,7	12,4	292,050095
12.04.2015 12:00	12.04.15 12:00	19560 230	19,7	33,8	10,4	12,1	285,412213
13.04.2015 12:00	13.04.15 12:00	19560 230	19,9	21,4	9,8	11,6	272,278046
14.04.2015 12:00	14.04.15 12:00	19560 230	20,4	34,1	9,5	11,3	265,781762
15.04.2015 12:00	15.04.15 12:00	19560 230	20,9	34,8	9,4	11,2	263,626823
16.04.2015 12:00	16.04.15 12:00	19560 230	21,4	30,7	9	10,9	255,059509
17.04.2015 12:00	17.04.15 12:00	19560 230	21,6	30,9	8,8	10,7	250,807319
18.04.2015 12:00	18.04.15 12:00	19560 230	20,5	32,8	8,5	10,4	244,468366
19.04.2015 12:00	19.04.15 12:00	19560 230	20,3	32	8,6	10,5	246,576106
20.04.2015 12:00	20.04.15 12:00	19560 230	20,5	24,1	8,2	10,1	238,176613
21.04.2015 12:00	21.04.15 12:00	19560 230	21,4	28,1	8,1	10,0	236,08985
22.04.2015 12:00	22.04.15 12:00	19560 230	21,9	29,7	8	10,0	234,008332
23.04.2015 12:00	23.04.15 12:00	19560 230	22	26,3	8	10,0	234,008332

24.04.2015	24.04.15	19560	22,8	27	8	10,0	234,008332
12:00	12:00	230					

Vegg(15) 7 døgn, sensor(ekstra):

read_date	sensorI d	temperat ure	humidi ty	wood_p ct	Kal_gr an	Fuktinnhold [kg/m³]
31.03.2015	195602	18,9	32,9	18,9	20,9	417,102
12:00	39					
01.04.2015	195602	17,6	30,9	27,5	31,5	626,889999
12:00	39					
02.04.2015	195602	18,1	27	26,4	30,0	598,221782
12:00	39					
03.04.2015	195602	18,4	25,6	26,1	29,6	590,496589
12:00	39					
04.04.2015	195602	18,4	37,1	24,8	28,0	557,483361
12:00	39					
05.04.2015	195602	18,1	36,1	23,5	26,4	525,221874
12:00	39					
06.04.2015	195602	18	30,7	21,8	24,3	484,168056
12:00	39					
07.04.2015	195602	18,7	31	20,7	23,0	458,288839
12:00	39					
08.04.2015	195602	20,5	24,2	19,1	21,2	421,607145
12:00	39					
09.04.2015	195602	20	30,3	17,7	19,6	390,444777
12:00	39					
10.04.2015	195602	21,2	32,4	16,5	18,3	364,42809
12:00	39					
11.04.2015	195602	19,9	39	15,3	17,0	339,051938
12:00	39					

12.04.2015 12:00	195602 39	19,3	35,8	14,2	15,9	316,353159
13.04.2015 12:00	195602 39	19,5	23	12,8	14,5	288,242232
14.04.2015 12:00	195602 39	20,1	34	11,7	13,4	266,766698
15.04.2015 12:00	195602 39	20,6	35	11,2	12,9	257,183018
16.04.2015 12:00	195602 39	21,1	31,2	10,6	12,3	245,829392
17.04.2015 12:00	195602 39	21,3	31,1	10	11,8	234,635899
18.04.2015 12:00	195602 39	20,1	33,1	9,8	11,6	230,940321
19.04.2015 12:00	195602 39	20	32,5	9,5	11,3	225,430314
20.04.2015 12:00	195602 39	20,2	24,9	9,1	10,9	218,145912
21.04.2015 12:00	195602 39	21,1	28,8	8,8	10,7	212,729316
22.04.2015 12:00	195602 39	21,6	30	8,4	10,3	205,569463
23.04.2015 12:00	195602 39	21,7	27	8,4	10,3	205,569463
24.04.2015 12:00	195602 39	22,5	27,3	8	10,0	198,480781



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no