

Kritiske fuktforhold ved lukking av høyisolerte konstruksjoner i bindingsverk av tre

Maret Gaare
Kirsti Løvteit

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)
Innlevert: Juni 2012
Hovedveileder: Stig Geving, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR BYGG, ANLEGG OG TRANSPORT

Oppgavens tittel:	Dato: 04.06.2012		
Kritiske fuktforhold ved lukking av høyisolerte konstruksjoner i bindingsverk av tre	Antall sider (inkl. bilag): 167		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Maret Gaare og Kirsti Løvteit			
Faglærer/veileder: Professor Stig Geving, Institutt for Bygg, Anlegg og Transport.			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Jonas Holme, SINTEF Byggforsk.			

Ekstrakt:

Hovedformålet med denne masteroppgaven er å finne hvilke(t) kritiske fuktforhold i treverk som er akseptable, ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger av tre. Dette er hovedsakelig undersøkt ved hjelp av to-dimensjonale fuktberegninger og et laboratorieforsøk. Det er også utført en litteraturstudie, der det er søkt å avdekke hva som er gjort av tidligere forskning på det aktuelle temaet.

Det er i en svensk studie undersøkt hvilket fuktinnhold trestendere i yttervegger bør bygges inn med. Dette er undersøkt ved hjelp av to-dimensjonale fuktberegninger. Studien anbefaler generelt et fuktinnhold i treverk på 12,5 - 18,5 vekt-%, avhengig av veggens oppbygning. I en annen svensk studie ble det utført et laboratorieforsøk der bunnsviller og stendere ble oppfuktet. Det ble konkludert med at det er stor muggvekstrisiko knyttet til monterte bunnsviller og stendere, som blir utsatt for vannbad og/ eller regnpåvirkning. Ved kortvarig regn som tørker i løpet av en dag, vil det ikke være risiko for muggvekst. I andre publikasjoner fra Sverige er det blant annet funnet at type vindsperre har stor betydning for fuktnivået. Treverk i prefabrickerte trehus, selv med raskt oppføring, blir utsatt for nedbør og temperaturforhold som kan medføre muggvekst.

Fuktberegningene i denne masteroppgaven er utført som en parameterstudie. De ulike inngangsparameterne var startfuktinnhold, start beregning, uteklima, isolasjonstykkelse og vindsperreprodukt. Kritisk fuktforhold er videre vurdert ut fra når muggvekst eventuelt oppstår. Etter startfuktinnhold, er det type uteklima og start beregning som har størst betydning for fuktforholdene i bunnsvillene. Det kaldeste uteklimate (Karasjok) og start beregning på vinteren (1. januar), gir de tregeste uttørkingsforholdene. Ut fra muggvekstanalysen gir de derimot de tryggeste forholdene med tanke på muggvekstrisiko. Det kan derfor tyde på at et høyere startfuktinnhold ved kaldt uteklima og bygging på vinteren kan være akseptabelt. Treverket nær vindsperren vil tørke raskere ved bruk av gipsplate sammenlignet med trefiberplate. Ved 150 mm isolasjon tørker bunnsvillene generelt raskere enn ved 400 mm. Ulike vindsperrer og isolasjonstykkelser gir likevel marginal forskjell i muggvekstanalysen. Ved høye startfuktinnhold, som 25 og 30 vekt-%, oppstår det muggvekst etter henholdsvis åtte og to uker med gunstige vekstforhold i de fleste beregningstilfellene. Det oppstår ikke muggvekst etter åtte uker ved lavere startfuktinnhold, som 18 og 20 vekt-%.

I laboratorieforsøket i masteroppgaven er det studert fem bunnsviller med ulik oppfukting. Bunnsvillene ble bygget inn i en vegg med hel høyde. Fuktpåvirkningene etterlignet realistiske tilfeller fra byggeplass,

og bunnsvillene ble derfor utsatt for vannbad og/ eller regnpåvirkning. Bunnsvillene tørket i fem dager etter de ble bygd inn i forsøksveggen. Deretter ble veggen isolert og lukket. Det ble foretatt målinger av fuktinnholdet i bunn- og toppsvillene i fire uker. Resultatene viser at bunnsviller som blir utsatt for simulert regn og vannbad i tre eller sju dager, er kritisk med tanke på muggvekst. Dette tilsvarer henholdsvis et startfuktinnhold på ca. 25 og 30 vekt-%, og muggvekst oppstår etter to uker med gunstige temperatur- og RF-forhold. Det oppstår ikke muggvekst i løpet av fire uker for bunnsviller som blir utsatt for lett regn i tre dager, eller som kun blir hygroskopisk oppfuktet. Slike vannpåvirkninger tilsvarer henholdsvis et startfuktinnhold på ca. 20 vekt-% og lavere enn 18 vekt-%. Det oppstår konveksjon i samtlige veggelementer, da toppsvillene får økt fuktinnhold etter lukking.

På bakgrunn av resultatene er kritisk fuktinnhold i høyisolerte bindingsverksvegger ved isolering og lukking, anbefalt å være 20 vekt-% eller lavere. Det er imidlertid behov for å gjennomføre flere forsøk og beregninger, for å vurdere om en kan øke det anbefalte fuktinnholdet ved bygging på vinteren, samt i kalde uteklime. En kan i tillegg vurdere å senke kritisk fuktinnhold ved bruk av doble bunnsviller, men en bør i så fall utføre flere forsøk og beregninger.

Stikkord:

- | |
|-------------------------|
| 1. Kritisk fuktinnhold |
| 2. Bunnsvill |
| 3. Muggvekst |
| 4. Uttøking av byggfukt |

Maret Gaare

Kirsti Løvteit

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2012, i samarbeid mellom to studenter. Masteroppgaven er skrevet ved Institutt for bygg, anlegg og transport ved NTNU, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, innenfor hovedprofilen bygnings- og materialteknikk. Arbeidet med masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng for hver av studentene.

Masteroppgaven tar for seg å avdekke hva som er akseptable fuktforhold i treverk i høyisolerte bindingsverksvegger ved isolering og lukking. Dette for å unngå at fuktproblemer som muggvekst oppstår. For å oppnå dette, er det gjennomført laboratorieundersøkelser og fuktregninger i WUFI 2D. I tillegg er det utført en litteraturstudie som tar for seg nyere forskning innenfor det aktuelle temaet.

Utarbeidelsen av masteroppgaven er utført i samarbeid med NTNU og SINTEF Byggforsk. Vi vil takke Ole Aunrønning fra NTNU, og Egil Rognvik, Jonas Holme og Sivert Uvsløkk fra SINTEF Byggforsk for deres engasjement og hjelp med laboratorieforsøket. Vi vil også rette en stor takk til Stig Geving, vår faglærer og veileder ved NTNU, for god hjelp og motiverende samtaler underveis i arbeidet.

Trondheim, 4. juni 2012

Maret Gaare

Kirsti Løvteit

Sammendrag

Generelt

Hovedformålet med denne masteroppgaven er å finne hvilke(t) kritiske fuktforhold i treverk som er akseptable, ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger av tre. Det er sett nærmere på effekten av lengre uttørkingstid av byggfukt som negativ fuktteknisk konsekvens av økt isolasjonstykkelse i yttervegger. Nasjonale og internasjonale krav og anbefalinger som er gitt for kritisk fuktforhold i treverk, er studert. I tillegg er det utført en litteraturstudie med hensikt å avdekke nyere forskning på det aktuelle temaet. Det er også utført to-dimensjonale fuktberegninger og et laboratorieforsøk.

Krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold

Krav og anbefalinger som er gitt i Norge tillater et fuktinnhold på 20 vekt-% i treverk ved lukking av konstruksjonen. Ellers ligger kravet i USA og Canada på 19 vekt-%, mens i Danmark, Tyskland og Østerrike er kravet 18 vekt-%. Sverige har et mye strengere krav på 75 % RF, noe som tilsvarer ca. 15,6 vekt-%.

Nyere forskning

Det er i en svensk studie undersøkt hvilket fuktinnhold trestendere i yttervegger kan bygges inn med. Dette er undersøkt ved hjelp av to-dimensjonale fuktberegninger. Studien anbefaler generelt et fuktinnhold i treverk på 12,5 - 18,5 vekt-%, avhengig av veggens oppbygning. I en annen svensk studie ble det utført et laboratorieforsøk der bunnsviller og stendere av tre ble utsatt for regn. Det ble konkludert med at det er stor muggvekstrisiko knyttet til monterte bunnsviller og stendere, som blir utsatt for vannbad og/ eller regnpåvirkning. Ved kortvarig regn som tørker i løpet av en dag, vil det ikke være risiko for muggvekst. Uttørkingen, ned til under 18 vekt-%, varierer med konstruksjonstype, og vil være mellom 3 - 6 uker for konstruksjoner som blir utsatt for vannbad.

Ulike vindsperreprodukt sin betydning for fuktnivået i høyisolerte vegger, er også undersøkt i Sverige. Det er kommet frem til at type vindsperre har stor betydning for fuktnivået. Vindsperrer som er mest mulig varmeisolerende og dampåpne, gir minst risiko for oppfukting av treverk som kan føre til muggvekst. En annen svensk studie har kartlagt fuktinnholdet i treverk som er benyttet i prefabrikkerte trehus. Det er funnet at treverk i prefabrikkerte trehus, selv med raskt oppføring, blir utsatt for nedbør og temperaturforhold som kan medføre muggvekst. Muggvekst oppstod både i fabrikk, ved lagring på byggeplass og grunnet nedbør under oppføring på byggeplass.

Fuktberegninger

Fuktberegningene i denne masteroppgaven er utført som en parameterstudie. De ulike inngangsparameterne var startfuktinnhold, start beregning, uteklime, isolasjonstykkelse og vindsperreprodukt. Kritisk fuktforhold er videre vurdert ut fra når muggvekst eventuelt oppstår. Etter startfuktinnhold, er det type uteklime og start beregning som har størst betydning for fuktforholdene i bunnsvillene. Det kaldeste uteklimeet (Karasjøk) og start beregning på vinteren (1. januar) gir de tregeste uttørkingsforholdene. Ut fra muggvekstanalysen gir de derimot de tryggeste forholdene med tanke på muggvekstrisiko. Det kan derfor tyde på at et høyere startfuktinnhold ved kaldt uteklime og bygging på vinteren, kan være akseptabelt. Treverket nær vindsperran vil tørke raskere ved bruk av gipsplate sammenlignet med trefiberplate. Dette kommer av at gipsplaten er mer dampåpen. Bunnsvillene vil generelt tørke raskere med 150 mm isolasjon enn 400 mm. Ulike vindsperrer og isolasjonstykkelser gir likevel marginal forskjell i muggvekstanalysen. Både uttørkingsforløpet og muggvekstrisikoen til bunnsvillene avhenger imidlertid av hvor i bunnsvillene man analyserer.

Ved høye startfuktinnhold, som 25 og 30 vekt-%, vil det generelt oppstå muggvekst etter henholdsvis åtte og to uker med gunstige vekstforhold. Dette gjelder ikke ved start beregning 1. januar og Karasjok-klima. Ved høye startfuktinnhold tørker ikke bunnsvillen under 80 % RF i løpet av de 12 første ukene etter start beregning. Grunnet sen uttørking av bunnsvillene, har temperaturen stor betydning for muggvekstdannelse. Ved lavere startfuktinnhold, som 18 og 20 vekt-%, vil det ikke oppstå muggvekst etter åtte uker.

Laboratorieforsøk

Laboratorieforsøket i denne masteroppgaven undersøker fuktforholdene i fem bunnsviller. Bunnsvillene gjennomgikk forskjellige fuktpåvirkninger før innbygging i en forsøksvegg med full vegghøyde. Inne- og uteklima var konstant på henholdsvis 23 °C/ 60 % RF og 0 °C/ 80 % RF. Fuktpåvirkningene etterlignet realistiske tilfeller fra byggeplass, og bunnsvillene ble derfor utsatt for vannbad og/ eller regnpåvirkning. Bunnsvillene ble forseglet på den ene enden for å etterligne fuktforholdene som opptrer på bunnsviller i hel lengde. Etter oppfukting ble bunnsvillene bygget inn i hvert sitt veggelement, og fikk tørke i fem dager før lukking. Etter lukking ble det foretatt målinger av fuktinnholdet i bunn- og toppsvillene i fire uker.

Bunnsvill A lå en uke i vannbad med to daglige vannpåsprøytninger, tilsvarende maksimalt fuktnivå på ca. 30 vekt-%. Her viser resultatene at det oppstår muggvekst etter to uker med gunstig temperatur og RF. Dersom det hadde vært ca. 2 °C varmere, viser muggvekstanalysen at muggvekst oppstår etter kun 24 timer. Dette gjelder også for bunnsvill B og E, som lå tre dager i vannbad med to daglige vannpåsprøytninger, tilsvarende et høyt fuktnivå på ca. 25 vekt-%. Bunnsvill E var 36 mm tykk i motsetning til de øvrige bunnsvillene på 48 mm. Det oppstår ikke muggvekst etter fire uker for bunnsvill C og D, som henholdsvis hadde et middels (ca. 20 vekt-%) og lavt fuktnivå (lavere enn 18 vekt-%). Bunnsvill C fikk to daglige vannpåsprøytninger i tre dager, mens bunnsvill D ble kun hygroskopisk oppfuktet.

Generelt blir bunnsvillene mest fuktig midt på, og særlig mot endeveden som ikke er forseglet. Uttørkingen vil imidlertid gå hurtigere ved ikke-foseglet ende enn ved forseglet ende. Likevel oppnår bunnsvillene omtrent samme fuktinnhold over hele bunnsvillen, etter fire uker. Bunnsvillene tørker raskere ut mot uteklima enn mot inneklime, og det er mot inneklime det oppstår muggvekst. Dette grunnet høy temperatur og et høyt fuktinnhold, samt høyere dampmotstand på varm side. Bunnsvillene har det høyeste startfuktinnholdet på overflaten, og de vil generelt tørke mer ut i midten av treverket enn på undersiden. Fuktinnholdet på undersiden av bunnsvillene stabiliserer seg ofte nokså raskt etter lukking. Bunnsvill E som fikk samme vannpåvirkning som bunnsvill B, vil tørke raskere fordi den er slankere. Det oppstår konveksjon i samtlige veggelementer, da toppsvillene får økt fuktinnhold etter lukking.

Anbefaling

På bakgrunn av resultater er kritisk fuktinnhold i høyisolerte bindingsverksvegger ved isolering og lukking, anbefalt å være 20 vekt-% eller lavere. Det er imidlertid behov for å gjennomføre flere forsøk og beregninger, for å vurdere om en kan øke det anbefalte fuktinnholdet ved bygging på vinteren samt i kalde uteklime. En kan i tillegg vurdere å senke kritisk fuktinnhold ved bruk av doble bunnsviller, men en bør i så fall utføre flere forsøk eller beregninger.

Abstract

Generally

This thesis is carried out in order to find which moisture conditions in woodwork, that are acceptable when closing high-insulated exterior timber frame walls. It is therefore investigated the negative effect built-in-moisture has on drying of woodwork in external walls, with increased insulation thickness. The requirements and recommendations provided for critical moisture conditions in woodwork nationally and internationally, are studied. In addition, it is conducted a literature study to find recent research on this topic. It is also performed two-dimensional moisture calculations and laboratory experiments.

Requirements and recommendations for critical moisture conditions

Requirements and recommendations in Norway allow woodwork to have a moisture content of 20 % when closing of the construction. Otherwise, the requirement in the U.S. and Canada is a moisture content of 19 %, while in Denmark, Germany and Austria the requirement is a moisture content of 18 %. Sweden has a much stricter requirement at 75 % RH, equivalent to a moisture ratio of ca. 15.6 %.

Recent research

It is in a Swedish study investigated the moisture content that is acceptable in studs when closing exterior walls. This is investigated using two-dimensional moisture calculations. The general recommendation for woodwork is a moisture content of 12.5 - 18.5 %, depending on the wall construction. In another Swedish study there is conducted a laboratory experiment in which bottom plates and studs were exposed to precipitation. It was concluded that there is great risk of mould growth on bottom plates and studs that have been exposed to water. When woodwork is exposed to brief rain, which can dry during one day, there will be no risk of mould growth. Drying time (to below a moisture content of 18 %) varies with the type of construction, and will be between 3 - 6 weeks for structures exposed to water.

Different types of weather resistive barrier's impact on moisture levels in high-insulating walls are also investigated in a Swedish study. It is concluded that the type of weather resistive barrier is of great importance. The better the thermal insulation performance and the higher the vapour permeability of the weather resistive barrier is, the less risk of mould growth. Another Swedish study has investigated the moisture content of woodwork in prefabricated wooden houses. It is found that woodwork in prefabricated wooden houses, even when constructed quickly, will be exposed to precipitation and temperature conditions that can lead to mould growth. Mould growth occurred both in the factory, on stock on site and due to precipitation during construction on site.

Moisture calculations

The moisture calculations in this thesis are conducted as a parameter study. Different input parameters were initial moisture content, initial calculation start, type of outdoor climate, insulation thickness and type of weather resistive barrier. Critical moisture conditions are then assessed based on when mould growth occurs. After the initial moisture content, the type of outdoor climate and when the calculation is started have the greatest impact on moisture conditions in bottom plates. The coldest outdoor climate (Karasjok) and start calculation January 1 gives the slowest drying conditions. From mould growth analysis it shows, on the other hand, that this provides the safest conditions. Therefore, it may indicate that higher initial moisture content may be acceptable when building in cold outdoor climate or during winter. The woodwork near the weather resistive barrier will dry faster when using gypsum board compared to fibreboard. This is because the gypsum board has higher vapour permeability. The moisture

content will in general decrease faster with 150 mm than 400 mm insulation. Different weather resistive barriers and insulation thicknesses still give a marginal difference in mould growth analysis. Both the drying process and the risk of mould growth in bottom plates, depends on where in the bottom plates analyzes are carried out.

At high initial moisture contents, such as 25 and 30 %, there will in general occur mould growth in most cases after respectively eight and two weeks with propitious growing conditions. This does not apply when initial calculation start is January 1 and cold outdoor climate (Karasjok). At high initial moisture contents, the bottom plates do not dry below 80 % RH during the first 12 weeks after closing of the construction. Due to the slow drying of the moisture in the bottom plates, the temperature has great significance for mould growth. At lower initial moisture contents, like 18 and 20 %, it will not occur mould growth after eight weeks.

Laboratory experiment

To assess the critical moisture conditions in the bottom plates of woodwork more closely, it is also carried out a laboratory experiment in this thesis. Five bottom plates went through different moisture stresses before installation in a test wall with full wall height. The different moisture stresses were intended to imitate realistic cases from construction sites, and bottom plates where exposed to water bath and/ or precipitation. The bottom plates were sealed at one end to imitate the moisture conditions that occur on full size bottom plates. After moisture stress, the bottom plates were built into separate wall elements, and were dried for five days before the wall construction was closed. Bottom plate A was one week in water bath and was sprayed with water twice a day, corresponding to a maximum moisture level (moisture content of ca. 30 %). The results show that it will occur mould growth after two weeks with propitious temperature and RH. If it had been 2 °C warmer, mould growth would occur after only 24 hours. This also applies to bottom plates B and E, which had a high moisture level (moisture content of ca. 25 %). Bottom plate B and E were three days in water bath, and were sprayed with water twice a day. Bottom plate E was 36 mm thick opposed to the other bottom plates that were 48 mm. There is no mould growth on bottom plate C and D after four weeks, which had respectively medium (moisture content of ca. 20 %) and low moisture levels (moisture content lower than 18 %). Bottom plate C was sprayed with water twice a day in three days, while bottom plate D was only exposed to moisture hygroscopically.

Generally, the bottom plates have the highest moisture content in the middle, and especially against the end that is not sealed. Desiccation will however be quicker at the non-sealed end than at the sealed end. Still, the bottom plates achieves about the same moisture content throughout the bottom plate. The bottom plates dry quicker towards outdoor climate than towards indoor climate, and it is against the indoor climate mould growth occurs. This is due to high temperature and high moisture content, and higher vapour resistance on the warm side of the wall. The bottom plates have the highest initial moisture content on the surface, and they will generally dry more in the middle of the woodwork compared to the underside. The moisture content on the underside of the bottom plates often stabilizes quickly after closing of the wall. Bottom plate E, which received the same water stress as bottom plate B, will dry faster because it has a thinner dimension. Convention will occur in all wall elements, as the top plates get increased moisture content after closing of the wall elements.

Recommendation

Based on the results, the critical moisture content in high-insulated exterior timber frame walls when insulated and closed, is recommended to be 20 % or less. However, there is a need to conduct several experiments and calculations, to determine whether one can increase the recommended moisture content in the construction when building during winter and in cold

outdoor climate. One may also consider lowering the critical moisture content by the use of double bottom plates, but this requires several experiments and calculations.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vii
Figurliste	xv
Tabelliste	xx
Formelliste	xxi
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål.....	2
1.3 Omfang	2
1.4 Begrensninger	3
1.5 Oppgavens oppbygning	3
2. Metode	5
2.1 Litteratursøk.....	5
2.2 Fuktberegninger	5
2.3 Laboratorieforsøk	5
3. Teori	7
3.1 Konsekvens av økt isolasjonstykkelse.....	7
3.1.1 Lengre uttørkingstid av byggfukt.....	7
3.1.2 Intern fuktomfordeling og konveksjon	8
3.1.3 Kaldere ytre del.....	10
3.2 Kritisk fukttilstand	10
3.2.1 Kritisk fukttilstand uttrykt ved fuktinnhold og RF	10
3.2.2 Kritisk fukttilstand for mikrobiell vekst	11
3.2.3 Kritisk fukt- og temperaturforhold.....	12
3.3 Mikrobiell vekst.....	12
3.3.1 Muggvekstdannelse.....	12
3.3.2 Muggvekst ved konstant og syklisk varierende RF	14
3.3.3 Visuell analyse av muggsopp.....	15
3.3.4 m-modellen	15
3.4 Oppfukting av treverk på byggplass	17
3.4.1 Treverkets vandring fra tilvirking til innbygging	17
3.4.2 Fuktutsatte bygningsdeler på byggeplass.....	19
3.5 Bestemmelse av fuktinnhold i treverk ved målinger	20

4. Litteraturstudie.....	23
4.1 Krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger.....	23
4.1.1 Norge.....	23
4.1.2 Sverige	23
4.1.3 Danmark.....	24
4.1.4 USA.....	24
4.1.5 Canada.....	24
4.1.6 Tyskland.....	24
4.1.7 Østerrike.....	24
4.1.8 Oppsummering av krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger.....	25
4.2 Nyere forskning	26
4.2.1 Laboriestudie av bunnsviller og stenderverk av trevirke utsatt for regn	26
4.2.2 Laboriestudie av bindingsverksvegger av tre med ulike vindsperrer	32
4.2.3 Akseptabelt innebygget fuktinnhold	36
4.2.4 Kartlegging av fuktforholdene i treverk benyttet i prefabrikkerte trehus	38
4.2.5 Oppsummering av nyere forskning.....	41
5. Fuktberginger – uttørking av bunnsviller i høyisolerte vegger.....	43
5.1 Innledning.....	43
5.2 Beregningsprogram	43
5.3 Forberedelser	44
5.4 Konstruksjon.....	44
5.5 Beregningsoppsett	46
5.6 Parametervariasjoner	46
5.6.1 Isolasjonstykkelse	46
5.6.2 Klima.....	47
5.6.3 Startfuktinnhold	47
5.6.4 Start beregning.....	48
5.6.5 Vindsperre.....	48
5.7 Resultater og vurderinger	48
5.7.1 Uttørking av byggfukt ved ulike startfuktinnhold med utgangspunkt i standardverdier ..	51
5.7.2 Uttørking av byggfukt ved ulike startberegningstidspunkt.....	52
5.7.3 Uttørking av byggfukt ved forskjellige uteklime	53
5.7.4 Uttørking av byggfukt ved forskjellige isolasjonstykkelser	53
5.7.5 Uttørking av byggfukt ved forskjellige typer vindsperre.....	54
5.7.6 Sammenligning mellom ulike inngangsparametere.....	55
5.8 Muggvekstanalyse	57

5.8.1	Muggvekstrisiko på bunnsviller med ulike startfuktinnhold med utgangspunkt i standardverdier	60
5.8.2	Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike startberegningstidspunkt.....	61
5.8.3	Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike uteklime	62
5.8.4	Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike isolasjonstykkelser	62
5.8.5	Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike vindspærreprodukt.....	63
6.	Laboratoriestudie – uttørking av bunnsviller i høyisolerte vegger.....	65
6.1	Innledning	65
6.2	Hensikt.....	65
6.3	Konstruksjonsoppbygning	65
6.4	Forberedelser	67
6.4.1	Oppfukting i klimarom, montering av måleinstrument og forsegling av bunnsvillende	67
6.4.2	Simulering av vanddammer og regnpåvirkning.....	68
6.4.3	Innbygging av bunnsviller	70
6.5	Klima	71
6.6	Plassering av målepunkter i topp- og bunnsvill.....	72
6.6.1	Plassering av målepunkter på overflate av topp- og bunnsvill	72
6.6.2	Plassering av målepunkter i midten av bunnsvill	74
6.7	Resultater og vurderinger	76
6.7.1	Bunnsvill A	77
6.7.2	Bunnsvill B	78
6.7.3	Bunnsvill C	79
6.7.4	Bunnsvill D.....	80
6.7.5	Bunnsvill E.....	81
6.7.6	Toppsviller	82
6.7.7	Sammenligning av uttørkingsforløpet i bunnsvillene	84
6.8	Muggvekstanalyse	85
6.8.1	Bunnsvill A	86
6.8.2	Bunnsvill B	87
6.8.3	Bunnsvill C	88
6.8.4	Bunnsvill D.....	88
6.8.5	Bunnsvill E.....	88
7.	Feilkilder	91
8.	Oppsummering	93
9.	Konklusjon	97
10.	Videre arbeid	99
11.	Referanseliste	101

12. Bilag

Bilag 1 – Startfuktinnhold i bunnsviller i fuktberegningene.....	A3
Bilag 2 – RF i uteklima ved preberegninger av fuktinnhold i bunnsvill.....	A5
Bilag 3 – Resultater fra fuktberegninger – Uttørking av byggfukt.....	A7
Bilag 4 – RF i uteklima i løpet av fire uker ved beregning av uttørking av byggfukt.....	A11
Bilag 5 – Muggvekstanalyse av resultater fra fuktberegninger.....	A13
Bilag 6 – Fuktmålinger av parallell bunnsvill.....	A17
Bilag 7 – Utregning av fukttilskudd fra inneluften i laboratorieforsøk.....	A19
Bilag 8 – Resultater fra laboratoriestudien – Uttørking av byggfukt.....	A21
Bilag 9 – Muggvekstanalyse av resultater fra laboratoriestudie.....	A31

13. Vedlegg

Vedlegg 1 – Oppgavetekst masteroppgave.....	B1
---	----

Figurliste

Figur 1 Masteroppgavens hovedinndeling.	4
Figur 2 Byggfukt illustrert ved hjelp av en typisk uttørkingskurve. Kilde: (Rydock, 2006). ..	7
Figur 3 Illustrasjon av treverkets kritiske fukttilstand i forhold til byggfukt og overskuddsfukt. Kilde: (Geving & Thue, 2002).	8
Figur 4 Eksempel på plassering av konveksjonssperre i yttervegg for å redusere den interne luftsirkulasjonen som gir økt fuktfordeling. Kilde: (Geving & Holme, 2010).	9
Figur 5 Sammenheng mellom RF og fuktinnhold avhengig av treverkets fukthistorie. Den øverste kurven er desorpsjonskurven, deretter skanningskurven og adsorpsjonskurven for furu. Kurvene er også aktuelle for gran. Kilde: (Nilsson, 2009).	11
Figur 6 Kriterier for vekst av muggsopp. Kilde: (Geving & Holme, 2010).	12
Figur 7 Farekart for soppangrep i trevirke. Kilde: (Clementz, Glasø, & Øvrum, 2009).	13
Figur 8 Kritisk fuktforhold for treverk etter ett døgn. Kilde: (Nilsson, 2009).	14
Figur 9 Kritisk fuktforhold for treverk med hensyn til temperatur og varighet av fuktforholdet. Kilde: (Johansson et al., 2005).	14
Figur 10 Utvikling av muggvekst ved konstant og syklisk RF. Kilde: (Thelandersson, 2011).	14
Figur 11 De seks ulike varighetskurvene for RF og temperatur i treverk. Dersom den oppståtte situasjonen overskrider den tid som hver varighetskurve representerer, er muggvekstrisikoen teoretisk 100 %. Kilde: (Togerö et al., 2011).	16
Figur 12 Illustrasjon av beregning av m. I formelen er $RF_{akt}(t)$ konstruksjonens faktiske RF ved tiden t. $RF_{krit}(T(t))$ er kritisk RF ved konstruksjonens temperatur T ved tiden t. γ er en sikkerhetsfaktor for å kvantifisere konstruksjonens fuktsikkerhet i et visst miljø. Sikkerhetsfaktoren er ofte 0,96. Kilde: (Lidgren, 2010).	16
Figur 13 Illustrasjon av livsløpssyklusen til gipsplater benyttet i bygninger. Den samme syklusen kan også gjelde for treverk, bortsett fra noe avvik på trinn nr. 3. Kilde: (Land & Must, 2004).	18
Figur 14 Eksempel på treverk som er angrepet av muggvekst grunnet kontakt med stående vann på gulvet. Kilde: (Land & Must, 2004).	18
Figur 15 Eksempel på en ferdig montert stender som er angrepet av muggvekst. Kilde: (Land & Must, 2004).	18
Figur 16 Oppfukting av bunnsvill fra stående vann grunnet ujevnheter eller lokale fall på gulvet. Kilde: (Hansson, 1989).	19
Figur 17 Oppfukting av bunnsvill fra vannrenner grunnet bølgete plastfolie under bunnsvill. Kilde: (Hansson, 1989).	19
Figur 18 Illustrasjon av fuktmåling ved elektrisk motstandsmåling. Kilde: (Geving & Thue, 2002).	21
Figur 19 Motstandsmåling der skruer blir benyttet som elektroder. Kilde: (Geving & Thue, 2002).	22

Figur 20 Ved motstandsmåling med hammerelektrode blir elektrodene banket inn til ønsket måleddybde i treverket. Kilde: (Geving & Thue, 2002).	22
Figur 21 Horisontalsnitt av forsøksveggen. Kilde: (Olsson, 2011b).	26
Figur 22 Vertikalsnitt av konstruksjon nr. 1. Kilde: (Olsson, 2011b).	27
Figur 23 Målepunktens plassering i den bunnsvillenden som er studert (den forseglede enden). Kilde: (Olsson, 2011b).	28
Figur 24 Målepunktens plassering i trestenderen over bunnsvillenden som er studert. Kilde: (Olsson, 2011b).	28
Figur 25 Målepunktens plassering 10 mm fra den bunnsvillenden som er studert. Kilde: (Olsson, 2011b).	28
Figur 26 Plasseringen av målepunkter 100 mm fra den bunnsvillenden som er studert. Kilde: (Olsson, 2011b).	28
Figur 27 Fuktinnholdet i konstruksjon nr. 1 over 86 dager i målepunktene I-N, samt Å og Ä. Kilde: (Olsson, 2011b).	29
Figur 28 Fuktinnholdet i konstruksjon nr. 1 over 86 dager i målepunktene A-H. Kilde: (Olsson, 2011b).	29
Figur 29 RF og temperatur i konstruksjon nr. 1 over 86 dager. Kilde: (Olsson, 2011b).	29
Figur 30 Oversikt over totalt antall prøver av muggvekstangrep. Resultatene er inndelt etter type konstruksjon og om konstruksjonen er angrepet av muggvekst eller ikke. Kilde: (Olsson, 2011b).	31
Figur 31 Horisontalsnitt av forsøksveggen med de ulike konstruksjonselementene. Kilde: (Olsson, 2011c).	32
Figur 32 Oversikt over plasseringen av målepunktene i forhold til stender, sett fra horisontalplanet. Kilde: (Olsson, 2011c).	34
Figur 33 Temperatur- og RF-målinger i målepunkt E ved innside av vindsperre for samtlige konstruksjoner. Kilde: (Olsson, 2011c).	35
Figur 34 Skisse over kartlagte arbeidsprosesser, og hvordan kartleggingen ble gjennomført. Kilde: (Olsson et al., 2010).	39
Figur 35 Oversikt over antall prøver fra et utvalg av trebygg, antall prøver med muggvekst (+ svertesopp), antall prøver med kun svertesopp og antall prøver med actinomyceter (act.). I tillegg er det vist antall prøver med fuktinnhold over 18 vekt-%. Resultater er vist fra 15 småhus, tre fabrikker (A2, I2 og G2-HX) og en boligblokk (VH). Kilde: (Olsson et al., 2010).	39
Figur 36 Fuktinnhold og frekvens av muggvekst for samtlige objekt. Frekvens 0 = ingen vekst, 1 = knapt muggvekst, 2 = moderat, 3 = rikelig vekst. Kilde: (Olsson et al., 2010).	40
Figur 37 Sammenligning av mengde muggvekst under henholdsvis under bygging på byggeplass, lager på byggeplass og i fabrikk. Kilde: (Olsson et al., 2010).	40
Figur 38 Standard konstruksjonsoppbygning.	44
Figur 39 Beregningstilfeller.	46

Figur 40 Fuktinnhold i bunnsvill etter to uker med tørking, der bunnsvillen hadde et startfuktinnhold på 25 vekt-%. Veggelementet med denne bunnsvillen har 400 mm isolasjon.	48
Figur 41 Plassering av målepunktene i bunnsvillen. Punkt nr. 1 og 6 er mot vindspærren, mens punkt nr. 3 og 4 er mot dampspærren.	49
Figur 42 RF og temperatur i bunnsvillen. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.	49
Figur 43 RF og temperatur i bunnsvillen. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 3 i bunnsvillen.	50
Figur 44 RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.	51
Figur 45 RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt tidspunkt for start beregning. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	52
Figur 46 RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt uteklima. Isolasjonstykkelse = 400 mm, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	53
Figur 47 RF i bunnsvillene for beregninger med ulike isolasjonstykkelser ved ulike startfuktinnhold. Uteklima = Oslo, start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	54
Figur 48 RF i bunnsvillene for beregninger med ulike vindspærreprodukt ved ulike startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, start beregning = 1. september. Resultatene er hentet fra punkt nr. 1 i bunnsvillene.	55
Figur 49 RF i bunnsvillene når startfuktinnholdet på 25 vekt-% (tørket i to uker) er sammenlignet med andre beregningstilfeller med ulike parameterforandringer. Parametervariasjoner er startfuktinnhold, start beregningstid, uteklima, isolasjonstykkelse og type vindspærreprodukt. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	56
Figur 50 RF i bunnsvillene når startfuktinnholdet på 25 vekt-% (tørket i to uker) er sammenlignet med andre beregningstilfeller med ulike parameterforandringer. Parametervariasjoner er startfuktinnhold, start beregningstid, uteklima, isolasjonstykkelse og type vindspærreprodukt. Figuren er den samme som figur 49, men i forstørret RF-skala for å tydeliggjøre forskjellene i uttørkingsforløpet. Case nr. 2, 4 og 5 er utelukket grunnet verdiene på RF-skalaen. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	57
Figur 51 Eksempel på beregning av glidende gjennomsnitt.	58
Figur 52 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillen i forhold til en varighetskurve for åtte uker. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.	60
Figur 53 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillene i forhold til en varighetskurve for to uker ved ulik startberegningstid. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo,	

startfuktinnhold = 30 vekt-%, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	61
Figur 54 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillene i forhold til en varighetskurve for åtte uker ved ulike uteklime. Isolasjonstykkelse = 400 mm, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	62
Figur 55 Resultater av temperatur og RF i punkt nr. 2 sammenlignet med varighetskurve for åtte uker ved ulike vindspærreprodukt. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.	64
Figur 56 Rekkefølge på de ulike prosessene i laboratorieforsøket.	65
Figur 57 Illustrasjon av forsøksveggen med rammeverk og de fem ulike veggelementene. .	66
Figur 58 Vertikalsnitt av veggelement A - D. Veggelement E har en 36 mm tykk bunnsvill.	67
Figur 59 Hygroskopisk oppfukning av bunnsviller, toppsviller og stenderverk i klimarom. .	68
Figur 60 Bunnsvill i vannbad.	69
Figur 61 Montering av de oppfuktede bunnsvillene i forsøksveggen.	71
Figur 62 Forsøksveggen sett fra innvendig side etter isolasjon og dampspærre er montert. ..	71
Figur 63 Forsøksveggen sett fra kald side. Ledningene ble ført ut på kald side for å sikre best mulig lufttetthet mot varm side.	72
Figur 64 Plassering av skruer i et målepunkt.	73
Figur 65 Plassering av målepunkter på <i>underside</i> bunnsvill. Målepunkt S5 ligger på samme plassering som S3, bare på overside bunnsvill.	73
Figur 66 Plassering av skruer på underside og langsides bunnsvill.	73
Figur 67 Plassering av målepunkter på <i>underside</i> toppsvill.	74
Figur 68 Plassering av målepunkter <i>i midten</i> av bunnsvill. Målepunktene plassering gjelder for alle bunnsvillene.	75
Figur 69 Plasseringen av elektroder sett fra bunnsvillens overside.	75
Figur 70 Illustrasjon av elektrode som ble benyttet til å måle fuktinnholdet midt i bunnsvillene.	75
Figur 71 Fuktinnhold i målepunkt S1 - S9 over tid i bunnsvill A.	77
Figur 72 Fuktinnhold i målepunkt E1 - E6 over tid i bunnsvill B.	78
Figur 73 Fuktinnhold i målepunkt S1 - S9 over tid for bunnsvill C.	80
Figur 74 Fuktinnhold i målepunkt E1, E4, S3 - S5 og S8 - S9 over tid i bunnsvill D. Alle punktene er mot <i>uteklime</i>	81
Figur 75 Fuktinnhold i målepunkt E3, E6, S1 og S6 over tid i bunnsvill D. Alle punktene er mot <i>inneklime</i>	81
Figur 76 Fuktinnhold i målepunkt S1 - S9 over tid i bunnsvill E.	82

Figur 77 Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill C.....	83
Figur 78 Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill D.....	83
Figur 79 Fuktinnhold i målepunkt S5 i samtlige bunnsviller. S5 ligger på overflaten av overside bunnsvill.	84
Figur 80 Fuktinnhold i målepunkt S3 i samtlige bunnsviller. S3 ligger på overflaten av underside bunnsvill mot uteklime.	85
Figur 81 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill A i forhold til en varighetskurve for 24 timer. Startfuktinnhold = 21 - 46 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.	87
Figur 82 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill B i forhold til en varighetskurve for to uker. Startfuktinnhold = 18 - 42 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.	88
Figur 83 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill E i forhold til en varighetskurve for to uker. Startfuktinnhold = 19 - 40 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S2 i bunnsvillen.	89

Tabelliste

Tabell 1 Kritisk fukttilstand og sammenhenger mellom RF og fuktinnhold ved 20 °C og ulike varigheter for desorpsjon. Hentet fra: (Nilsson, 2009).....	11
Tabell 2 Oppsummering av krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger.....	25
Tabell 3 Oppfukting av konstruksjonselementene. Hentet fra: (Olsson, 2011b).	27
Tabell 4 Sammenligning av målinger i punkt e for de ulike konstruksjonselementene. Hentet fra: (Olsson, 2011b).....	30
Tabell 5 Oppbygning av konstruksjonselementene. Hentet fra: (Olsson, 2011c).....	33
Tabell 6 Sammenstilling av resultater fra RF-målinger i samtlige konstruksjonselement. Hentet fra: (Olsson, 2011c).	34
Tabell 7 Oppbygning av konstruksjonselementer, regnet utenfra. Hentet fra: (Forsberg, 2011).....	36
Tabell 8 Oversikt over kritisk fuktinnhold i trestendere, og det mest kritiske området. Hentet fra: (Forsberg, 2011).	37
Tabell 9 Grenseverdier for akseptabelt fuktinnhold i trestendere ved lukking. Hentet fra: (Forsberg, 2011).	38
Tabell 10 Oversikt over materialene som ble benyttet i beregningene, samt de viktigste materialparametrene.	45
Tabell 11 Oversikt over hvilken varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold som gir muggvekst i de forskjellige beregningstilfellene. Det er tilstrekkelig at det er muggvekst i ett tidspunkt.....	59
Tabell 12 Oversikt over de ulike vannpåvirkningene.....	69
Tabell 13 Utrekning av antall vannpåsprøytinger på bunnsvillenes ulike overflater.	70
Tabell 14 Oversikt over temperatur og RF i de ulike fasene i laboratorieforsøket.	71
Tabell 15 Kort oppsummering av bunnsvillenes uttørkingsforløp. Gjennomsnittverdier står i parentes.....	76
Tabell 16 Oversikt over hvilken varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold som gir muggvekst i de forskjellige bunnsvillene. Det er tilstrekkelig at det oppstår muggvekst ved ett tidspunkt.....	86

Formelliste

Formel 1 Likning for korrigering av tretemperatur. Kilde: (Geving & Thue, 2002).	76
Formel 2 Omregning av fuktinnhold (vekt-%) til RF (%). Kilde: (Geving, Erichsen, Nore, & Time, 2006).	85

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Den 1. februar 2007 trådte forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK 07), i kraft. I TEK 07 ble det satt strengere krav til energibehovet i bygninger. Sammenlignet med det tidligere kravet i Teknisk forskrift fra 1997, var målet i TEK 07 å redusere energibehovet i bygninger med 25 %. Da forskrift om tekniske krav til byggverk fra 2007 ble endret i 2010 ved TEK 10, medførte dette ytterligere skjerpede krav til bygningers energibehov. Disse nye kravene til redusert energibehov medfører en generell økning i isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjoner. Eksempelvis vil det for yttervegger medføre en økning i isolasjonstykkelse fra 150 mm til ca. 250 mm. For å kunne oppnå krav til energibehov til såkalte passivhus, lavenergihus og lignende, som vil være strengere enn kravene i TEK 10, kan isolasjonstykkelsen i yttervegger komme opp mot 400 mm.

Denne økningen av isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjoner, medfører en bekymring i bygge- og anleggsbransjen for at faren for fuktskader øker. Når ytre del av konstruksjonen blir kaldere øker fuktnivået, med mugg- og råteskader som konsekvens. I tillegg får byggfukt og tilfeldige lekkasjer lengre uttørkingstid når isolasjonstykkelsen øker, både grunnet økt dampmotstand og økt treandel.

I en studie av SINTEF Byggforsk (Geving & Holme, 2010) ble det blant annet undersøkt om risikoen for fuktskader øker ved økt isolasjonstykkelse i bindingsverksvegger. Det ble sett på effektene av at når ytre del av konstruksjonen blir kaldere vil fuktnivået øke, samt lengre uttørkingstid av byggfukt når isolasjonstykkelsen øker. Det ble konkludert med at effekten av lengre uttørkingstid av byggfukt er større enn effekten av kaldere ytre del. Effekten av lengre uttørkingstid av byggfukt i høyisolerte bindingsverksvegger, vil derfor bli sett nærmere på i denne masteroppgaven. En høyisolert konstruksjon har en isolasjonstykkelse større enn omtrent 200 mm, men det vil bli lagt særlig vekt på tykkelser tilsvarende passivhusstandard, altså tykkelse opp mot 400 mm.

Ytterkonstruksjoner blir utsatt for fuktpåvirkninger både fra inne- og uteluft under bruk. Konstruksjoners oppbygning og bestanddeler har stor innvirkning på konstruksjoners påvirkning av fukt utenfra, men også på hvordan fukt i konstruksjoner tørker ut. Før bygninger blir tatt i bruk, blir ytterkonstruksjoner utsatt for fuktpåvirkninger grunnet høy RF i luften, nedbør eller andre kilder til fritt vann under bygging. Det kan da bli betydelige mengder med fukt i treverket, og hvis dette ikke tørker ned til akseptable nivåer før lukking, er det risiko for mikrobiell vekst i treverket.

Tidligere har det vært et krav at fuktinnholdet i treverk ved isolering og lukking av konstruksjoner må være lavere enn 20 vekt-%. Det er nå en usikkerhet til dette kravet da byggfukten vil tørke senere ut i høyisolerte konstruksjoner. Kravet er derfor vurdert å bli senket ned til 15 vekt-%. Dersom det nye kravet blir gjeldene vil det medføre store konsekvenser for byggeskikken i Norge. Nye metoder, som værbeskyttet bygging, vil da bli nødvendig med den type klima vi har i Norge.

1.2 Formål

Masteroppgaven er utarbeidet i samarbeid med NTNU og SINTEF Byggforsk. Rapporten tar utgangspunkt i laboratorieforsøk og fuktberegninger som er utført våren 2012, samt nyere forskning på det aktuelle temaet. Formålet er å avdekke hvilke(t) fuktforhold som er akseptable ved isolering og lukking av høyisolerte bindingsverksvegger av tre, for å unngå muggvekst og andre fuktproblemer. Det er valgt å fokusere på bunnsviller, siden bunnsviller er de bygningsdelene som er mest utsatt for fuktpåvirkninger under bygging.

Følgende problemstilling er valgt for masteroppgaven:

”Hvilke(t) kritiske fuktforhold i treverk er akseptable ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger av tre?”

1.3 Omfang

Masteroppgaven tar utgangspunkt i prosjektoppgaven av Gaare og Løvteit, som ble utarbeidet høsten 2011. I prosjektoppgaven ble det utført et litteraturstudium hvor det ble søkt å avdekke hva som er gjort av tidligere forskning på negative fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse. Både effektene av kaldere ytre del og lengre uttørkingstid av byggfukt ble studert. I tillegg ble det utført fuktberegninger i form av en parameterstudie i WUFI 1D. Fuktberegningene hadde hovedvekt på uttørking av treverk ved ulike isolasjonstykkelser, startfuktnivå og vindsperreprodukt.

Hovedfokuset i denne masteroppgaven vil være senere uttørking av byggfukt som negativ fuktteknisk konsekvens av økt isolasjonstykkelse i bindingsverksvegger av tre. Det er utført en litteraturstudie hvor det er søkt å avdekke krav og anbefalinger, nasjonalt så vel som internasjonalt, for kritisk fuktforhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger. Det er også fokusert på hva som er av nyere forskning på det aktuelle teamet, nasjonalt og internasjonalt.

Det er gjennomført fuktberegninger i WUFI 2D som vil være en videreføring av parameterstudien som ble utført i prosjektoppgaven av Gaare og Løvteit. Parameterstudien er videreutviklet fra 1D- til 2D-beregninger. Det er sett på uttørkingsprofilen til treverk med ulike startfukttinnhold ved ulike uteklime, startberegningstidspunkt, samt vindsperreprodukt og isolasjonstykkelse.

I tillegg er det utført et laboratorieforsøk der det ble bygd opp en forsøksvegg bestående av fem veggelementer i bindingsverk av tre. Bunnsvillen i hvert veggelement ble utsatt for ulik oppfukting før innbygging. Oppfuktingen skulle etterligne realistiske påvirkninger som treverk kan bli utsatt for på byggeplass. Det ble foretatt målinger av fukttinnholdet i bunn- og toppsvillene i fire uker, for å analysere uttørkingsprofilen.

Resultatene fra fuktberegningene og laboratorieforsøket ble benyttet i en muggvekstanalyse som gir svar på når og ved hvilke forhold muggvekst oppstår. Ved hjelp av analysene, er det gitt anbefalinger for hvilke(t) kritiske fuktforhold i treverk som er akseptable ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger av tre.

1.4 Begrensninger

Krav og anbefalinger til kritisk fuktforhold, som inngår i litteraturstudien, er først og fremst konsentrert om eksisterende anbefalinger i de skandinaviske landene. Dette fordi landene har forholdsvis likt klima som Norge. Det er også søkt etter anbefalinger i USA og Canada. USA er et land som har mange forskjellige typer klima, og landet er også kjent for ekstremvær. Klimaet i Canada er mye likt USA, men det er tørrere og kaldere (Wikipedia, den frie encyklopedi, 2012). Krav og anbefalinger i Tyskland og Østerrike er også studert, da landene ligger i front i utvikling av høyisolerte bygninger.

Fuktberegningene er begrenset til å studere variasjon av startfuktinnhold, uteklima og start beregning. I tillegg er det gjort noen beregninger med to ulike vindsperreprodukter, samt to forskjellige isolasjonstykkelser. Beregningstiden er satt til 12 uker.

I laboratorieforsøket er det kun studert treverk i bindingsverksvegger, hvor kledning og luftespalte er ekskludert. Vindsperran som dermed er ytterste sjikt, er upåvirket av regn og solstråling. Det er bygget opp kun fem veggelementer grunnet plassbegrensninger. Veggelementene har full vegg høyde for å få med innvirkning av omfordeling av fukt. Det er lagt vekt på å teste innvirkningen av ulike fuktpåvirkninger på bunnsviller før og under bygging, fremfor ulike konstruksjonsoppbygninger.

Vurderinger i forhold til kritisk fuktinnhold i treverk er i beregningene og laboratorieforsøket begrenset til kun muggvekstrisiko, da skader på treverk grunnet råte vanligvis oppstår etter en lengre tidsperiode (opptil flere år) med gunstige forhold (Magnussen, 2007).

1.5 Oppgavens oppbygning

Rapporten er inndelt i fem hoveddeler, der innledningen sammen med metode utgjør første del, se figur 1. Deretter er det gitt en innføring i teorien rundt fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse, kritisk fukttilstand, mikrobiell vekst, samt oppfukting av treverk på byggeplass. I tillegg er det gitt en kort innføring i målemetoder av fuktinnhold i treverk. I del tre følger en litteraturstudie av krav og anbefalinger for kritisk fuktforhold ved lukking av bindingsverksvegger, samt nyere undersøkelser som er utført angående dette temaet. Rapportens fjerde del består av beregninger i form av en parameterstudie i WUFI 2D, samt et laboratorieforsøk. Siste del er en oppsummering som avslutningsvis ender i en konklusjon og anbefaling.



Figur 1
Masteroppgavens hovedinndeling.

2. Metode

2.1 Litteratursøk

I litteratursøket er det undersøkt hvilke krav og anbefalinger som er gitt for kritisk fuktforhold i treverk ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger. Det er søkt etter lover, forskrifter og veiledninger i Norge, Skandinavia, USA, Canada, Østerrike og Tyskland. Det er også søkt etter publikasjoner av nyere forskning angående masteroppgavens tema. Hovedsakelig er det foretatt søk i ulike søkemotorer på Internett. En antar at det som eksisterer av nyere forskning er publisert på Internett.

Søkemotorer som er benyttet er Google, Google Scholar og Kvasir, i tillegg til fagdatabaser som ScienceDirect og Scopus. De fleste aktuelle studiene er hovedsakelig funnet på forskningsinstituttens hjemmesider i ulike land. Det er søkt på norsk, svensk, dansk og engelsk, med søkeord hentet fra problemstillingen. Kildene er valgt på bakgrunn av relevans i forhold til oppgavetekst og problemstilling, samt kvalitet. Ved vurdering av kvalitet er forfatter, utgiver, utgivelsesdato, siteringer og type dokument tatt i betraktning. Det er også mottatt en del litteratur fra veileder.

Litteratur til teoridelen er funnet på samme måte som litteraturstudien, altså via Internett, samt at det i tillegg er mottatt en del litteratur fra veileder.

Det viser seg at det er krevende å finne publikasjoner av nyere forskning angående kritisk fuktforhold i treverk ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger. En mulig forklaring er at det fortsatt er forholdsvis nytt å isolere bygninger med opp mot 400 mm isolasjon. Det er derfor nærliggende å tro at det er forsket lite på problemer med uttørring av byggfukt i høyisolerte konstruksjoner, og kritiske fuktforhold tilknyttet dette. Kun norske og svenske studier er funnet.

2.2 Fuktberregninger

Fuktberregningene er utført som en parameterstudie der det er valgt en standard oppbygning av en bindingsverksvegg. Fuktberregningene er utført i WUFI 2D, der det er lagt inn valgte standard inngangsparametere. Standard inngangsparametere er endret for å se på uttøringsforløpet i bunnsviller med forskjellig startfuktinnhold, samt variasjoner i uteklime, isolasjonstykkelse, start beregningstid og vindspereprodukt.

Ut fra WUFI-beregningene er det hentet RF- og temperaturverdier i ulike punkt i bunnsvillene. Verdiene er fremstilt grafisk og er sammenlignet med hverandre for å vurdere effekten av de ulike inngangsparametere. Fuktforholdet i bunnsvillene er så analysert med tanke på muggvekstrisiko.

2.3 Laboratorieforsøk

I laboratoriet hos SINTEF Byggforsk ble det bygget opp fem veggelementer. Fire av veggelementene ble bygd opp likt, mens det femte veggelementet har en tynnere bunnsvill. Bunnsvillene i veggelementene ble fuktet opp på forskjellige måter, slik at de hadde ulikt

fuktinnhold ved innbygging og lukking av veggen. Oppfuktingen foregikk ved at bunnsvillene ble lagt i vannbad og i tillegg fikk vannpåsprøytninger. En bunnsvill ble kun hygroskopisk oppfuktet. Etter at bunnsvillene ble innbygget i forsøksveggen, stod de og tørket i fem dager. Deretter ble veggen isolert og dampspærre montert, og fuktmålinger ble utført i fire uker.

Fuktmålingene foregikk ved hjelp av motstandsmåling fra skruer og elektroder som på forhånd ble plassert på strategiske steder på bunn- og toppsvillene. Måleravlesningene foregikk de to første ukene hver dag, mens det etter to uker ble avlest ca. annenhver dag.

Måleresultatene ble ført inn i et Excel-ark, og det ble utarbeidet grafer for hver bunnsvill for å illustrere uttørkingsforløpet. I tillegg ble det utført en analyse av når muggvekst oppstår med hensyn til varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold.

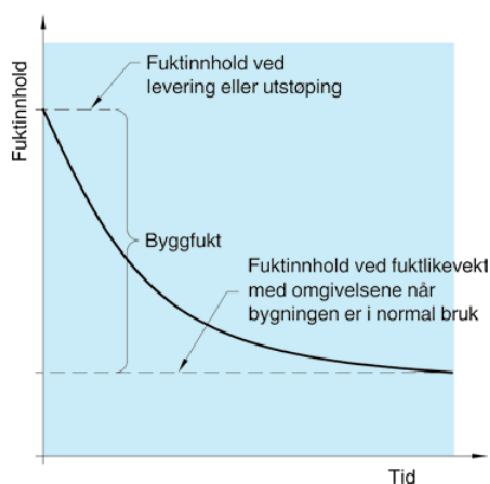
3. Teori

3.1 Konsekvens av økt isolasjonstykkelse

Økt isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjoner medfører negative effekter som kaldere ytre del, lengre uttørkingstid av byggfukt, samt intern fuktfordeling og konveksjon. Slike effekter kan gi økt risiko for muggvekst. Dette kapitlet gir en innføring i disse effektene.

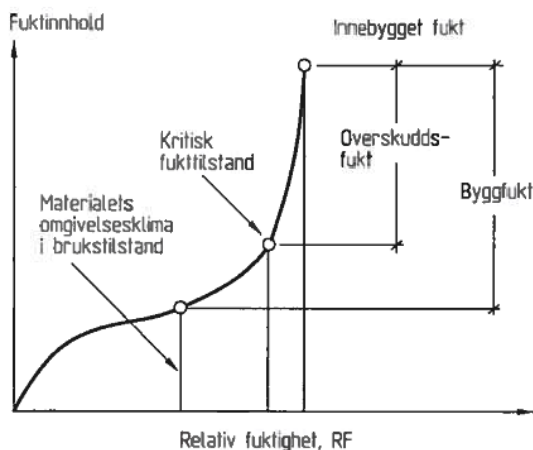
3.1.1 Lengre uttørkingstid av byggfukt

Byggfukt er det fuktinnholdet som konstruksjoner og materialer har når konstruksjonen blir lukket (Geving & Thue, 2002). Det er også den fuktmengden som må tørke ut for at materialet skal komme i fuktlikevekt med omgivelsene til bygningen under bruksperioden, se figur 2. Fukt kan bli tilført materialet før det kommer til byggeplass eller under bygging grunnet nedbør (Rydock, 2006). Ofte har treverk et større fuktinnhold ved levering enn det som tilsvarer likevekt med inneklimate i en brukssituasjon. Materialet kan dessuten bli tilført ekstra fukt ved utilstrekkelig tildekking i byggeperioden (Geving & Thue, 2002). Dersom byggfukt ikke tørker ut raskt nok etter lukking, eller blir stengt inne og forhindret i å tørke ut, kan det føre til problemer som dårlig inneklimate, helseplager og byggeskader (Rydock, 2006). Eksempel på byggeskader er nedsatt isolasjonsevne grunnet høyt fuktinnhold i isolasjonssjiktet, oppfukning av tørre materialer, eller uakseptabel oppsprekking og deformasjoner i materialer. I tillegg kan byggfukt føre til forsinket lukking av bygget grunnet lengre uttørkingstid, eller forsinkelser grunnet utbedring av byggeskader. Når det tar lengre tid før bygget blir lukket, er treverket enda mer utsatt for tilført fukt grunnet nedbør (Clementz, Glasø, & Øvrum, 2009).



Figur 2
Byggfukt illustrert ved hjelp av en typisk uttørkingsskurve. Kilde: (Rydock, 2006).

Tørketiden for byggfukt kan være lang, og en bør konsentrere seg om å tørke ut overskuddsfukten til under kritisk fukttilstand, slik at det resterende fuktinnholdet ikke fører til skader (Geving & Thue, 2002). Mengde overskuddsfuktighet som bør tørke ut avhenger av den kritiske fukttilstanden til treverket, se figur 3 og for øvrig avsnitt 3.2.



Figur 3
Illustrasjon av treverkets kritiske fukttilstand i forhold til byggfukt og overskuddsfukt. Kilde: (Geving & Thue, 2002).

Det er to årsaker til at det tar lengre tid å tørke ut byggfukt og fukt fra tilfeldige lekkasjer ved høyisolerte konstruksjoner (Geving & Holme, 2010);

- Treandelen øker og bidrar til at en større mengde byggfukt må tørke ut.
- Økt dampmotstand fra et tykkere isolasjonslag.

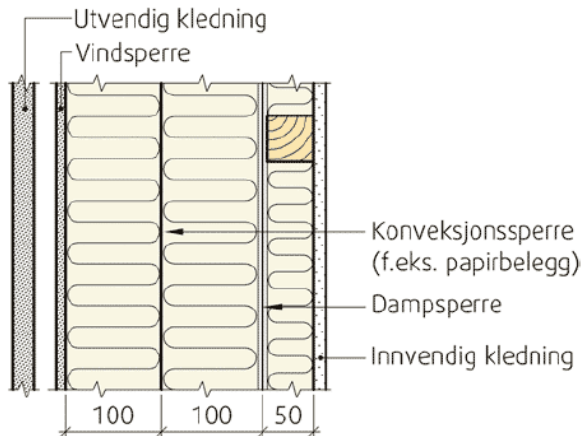
Hvordan omgivende materialer og omgivelser påvirker uttørkingstiden er også viktig for uttørking av byggfukten (Geving & Thue, 2002).

3.1.2 Intern fuktfordeling og konveksjon

Fuktkonveksjon er vanddamptransport med luftstrøm fra høyt lufttrykk til lavt lufttrykk (Geving & Thue, 2002). Lufttrykkforskjeller skyldes som oftest trykkvariasjoner grunnet vind, overtrykks- eller undertrykksventilasjon eller skorsteinseffekten. Naturlig konveksjon kan forekomme i spalter, hull og hulrom i bygningskonstruksjoner, enten de er fylt med luft eller isolert med luftpermeable isolasjonsmaterialer, slik som mineralull. Dette kan føre til omfordeling av fukt i konstruksjonen. Tvungen konveksjon fås dersom det oppstår en forskjell i luftens totaltrykk over en bygningsdel, og kan gi vesentlig større luftstrøm enn ved naturlig konveksjon. Dette kan være spesielt uheldig for utvendige bygningsdeler som yttervegger dersom luft strømmer fra varm mot kald side. Luften vil da bli kaldere og fuktigere på vei ut, og dersom temperaturen i konstruksjonen er lavere enn inneluften sitt duggpunkt, vil det oppstå kondens. Kondens medfører økt risiko for muggvekst. I høyisolerte konstruksjoner vil temperaturen inne i konstruksjonen bli lav, og risikoen for kondens er større.

Naturlig konveksjon øker med økende isolasjonstykkelse, og fører til økt varmetap utover i konstruksjonen, samt fuktfordeling (Geving, 2011a). Økt fuktfordeling i bindingsverksvegger oppstår grunnet økt intern luft sirkulasjon når isolasjonstykkelsen øker. Naturlig konveksjon påvirker temperaturfordelingen i konstruksjonen, og dermed påvirker den også fuktfordelingen (Uvsløkk, Skogstad, & Grynning). Dette fører til at øvre og ytre

del av veggen blir fuktigere, mens nedre og ytre del blir tørrere, særlig i uttøringsfasen. Siden fuktfordelingen gir økt fuktinnhold i øvre og ytre del, vil det der være større risiko for muggvekst. Den interne luftsirkulasjonen kan effektivt bli motvirket ved å bruke isolasjon med riktig dimensjon for å unngå hulrom, eller ved bruk av konveksjonssperre/ luftspærre midt i isolasjonshulrommet. Da kan en bruke isolasjon i to lag, der det ene laget har pålimt papir på den ene siden (Geving & Holme, 2010), se figur 4.



Figur 4

Eksempel på plassering av konveksjonssperre i yttervegg for å redusere den interne luftsirkulasjonen som gir økt fuktfordeling. Kilde: (Geving & Holme, 2010).

Effekten av naturlig konveksjon er mindre i bindingsverksvegger som er perfekt isolert uten hulrom, enn i vegger som har hulrom grunnet feil arbeidsutførelse (Økland, 1998). Konveksjon er også mindre i vegger med luftavbrudd. Det er imidlertid funnet at ulike klima har større betydning for mengde kondens enn det feil arbeidsutførelse har.

Feltmålinger utført ved NTNU (Økland, 1998) viser at det er en tydelig effekt av tvungen konveksjon i vegger. Effekten er overraskende høy for vegger som ikke ble utsatt for luftlekkasjer. Det er som nevnt påvist at naturlig konveksjon effektivt kan bli redusert ved hjelp av en vertikal konveksjonssperre. Konveksjonssperren bør imidlertid ikke benyttes i vegger med et høyt fuktinnhold på varm side. Horisontal konveksjonssperre er ikke et alternativ, da beregninger viser at den ikke reduserer effekten av naturlig konveksjon.

Beregninger viser også at effekten av naturlig konveksjon blir betydelig redusert når byggfukt i konstruksjonen blir redusert til akseptable nivåer. Dette gjelder også ved bruk av isolasjon med redusert luftpermeabilitet. Høyisolerte konstruksjoner bør derfor bygges med mineralull som har lav luftpermeabilitet. Det er imidlertid hevdet (Økland, 1998) at naturlig konveksjon ikke har betydelig innvirkning på veggens egenskaper når det gjelder muggvekst.

For å unngå naturlig konveksjon, er det anbefalt å:

- Installere isolasjonen fra varm side mot vindsperren for å unngå luftrom og is på kald side.
- Bruke I-profiler som gir lavere effekt av naturlig konveksjon enn heltre av gran.

Likeledes er det anbefalt følgende for å unngå tvungen konveksjon:

- Fokusere på å skape undertrykk på innsiden sammenlignet med utsiden.
- Bruke vindsperre med lav konduktivitet og ikke bruke foliematerialer.
- Bygge konstruksjonen så lufttett som mulig.

3.1.3 Kaldere ytre del

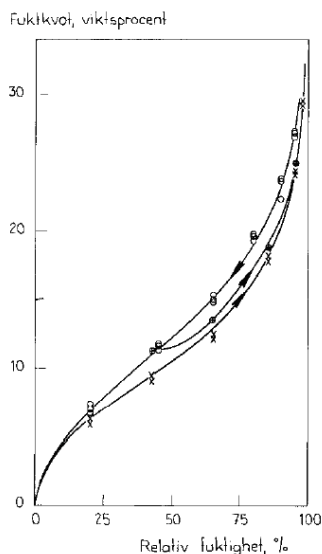
En annen effekt av økt isolasjonstykkelse er at fuktnivået i ytre del av ytterkonstruksjonen øker (Geving & Holme, 2010). Jo tykkere isolasjonen er, desto høyere blir fuktnivået. Dette kommer av at temperaturen ute, ved vindsperren, blir redusert i den kaldere årstiden ved økt isolasjonstykkelse. Det er hevdet (Geving & Holme, 2010) at effekten av kaldere ytre del har mindre betydning for fuktforholdene i konstruksjonen enn effekten av innebygget fukt. Effekten av kaldere ytre del er derfor ikke behandlet videre i masteroppgaven.

3.2 Kritisk fukttilstand

3.2.1 Kritisk fukttilstand uttrykt ved fuktinnhold og RF

Kritisk fukttilstand (KF) er grenseverdien til fuktinnholdet i et materiale, for at materialet skal opprettholde akseptable egenskaper i sin levetid (Geving S. , 1997). Begrepet KF egner seg best i situasjoner som avhenger for det meste av fuktinnhold eller RF, og der andre faktorer som temperatur og tid kun har mindre betydning. Det er enkelt i bruk, og påliteligheten er relativt høy når en inkluderer en sikkerhetsfaktor. Ofte er imidlertid prosesser som påvirker et materiale avhengig av andre faktorer enn fuktinnhold og RF. Dette er et problem med den forenklete verdien KF. Muggvekstrisiko er eksempelvis avhengig av både temperatur og tid i tillegg til fuktinnhold.

Over KF kan det altså være fare for at en fuktrelatert skade kan inntreffe, slik som muggvekst. Muggvekst kan unngås ved å tørke treoverflaten ned til 75 - 80 % RF, helst innen et par dager. Kritisk fukttilstand for muggvekst vil være på ca. 18 vekt-%. Sammenhengen mellom RF i luften og absolutt fuktinnhold i materialet, ved likevekt, blir vist i fuktlikevektskurver (sorpsjonskurver) (Geving, 2005). Forholdet mellom fuktinnhold og RF er ikke entydig, da forholdet mellom dem avhenger av fukthistorien og dels av temperaturen (Nilsson, 2009). For uttørring av fukt i trevirke gjelder desorpsjonskurven, se figur 5.

**Figur 5**

Sammenheng mellom RF og fuktinnhold avhengig av trevirkets fukthistorie. Den øverste kurven er desorpsjonskurven, deretter skanningskurven og adsorpsjonskurven for furu. Kurvene er også aktuelle for gran. Kilde: (Nilsson, 2009).

Ved analyse av muggvekst blir fuktinnholdet i materialoverflaten benyttet. Overflaten kan imidlertid være betydelig tørrere enn det gjennomsnittlige fuktinnholdet, grunnet store fuktgradienter over lang tid. Dette vanskeliggjør også forholdet mellom RF og absolutt fuktinnhold. Noen sammenhenger mellom RF og fuktinnhold kan en også se i tabell 1. Ved senere oppfuktning vil fuktinnholdet være ca. 2 vekt-% lavere enn den verdien som egentlig samsvarer med RF-verdien, se den midterste kurven i figur 5.

Tabell 1

Kritisk fukttilstand og sammenhenger mellom RF og fuktinnhold ved 20 °C og ulike varigheter for desorpsjon. Hentet fra: (Nilsson, 2009).

Varighet av desorpsjon	RF [%]	Fuktinnhold [vekt-%]
≥ 12 uker	80	19
4 uker	90	23
1 døgn	95	28

3.2.2 Kritisk fukttilstand for mikrobiell vekst

Kritisk fukttilstand for mikrobiell vekst på treverk og trebaserte materialer er av Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut (Johansson, Samuelson, Ekstrand-Tobin, Mjörnell, Sandberg, & Sikander, 2005) satt til 75 - 80 % RF. For dette intervallet gjelder en del betingelser. Intervallet er ment for materialer utsatt for fukt over lengre tid, og fuktnivået gjelder for materialets ytterste sjikt. Det er tatt utgangspunkt i kritisk fukttilstand ved romtemperatur, og for treverk kan dette nivået bli høyere ved lavere temperatur. Dersom materialet blir fuktet opp av eksempelvis regn eller lekkasjevann, er det krav om spesielle tiltak for at fuktnivået skal underskride det kritiske fuktnivået. En annen forutsetning er at

materialet er rent. Det er ikke sikkert at verdier over intervallet gir muggvekst, men det er risiko for det, og intervallet er dessuten ikke entydig.

En usikkerhet ved intervallet er at materialer er prøvd i et klima med 75 % RF, hvor det ikke foregår mikrobiell vekst, samt i klima med 80 % RF, hvor mikrobiell vekst foregår. Mellom disse RF-verdiene er det et stort gap, i tillegg til at det kan være måleusikkerhet. Det er anbefalt å legge til en sikkerhetsmargin til det kritiske fuktnivået for treverk ved bygging.

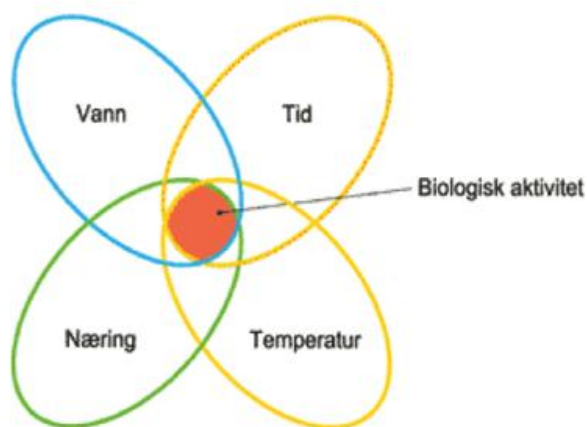
3.2.3 Kritisk fukt- og temperaturforhold

Fuktkriteriet «kritisk fukt- og temperaturforhold» (KFT) er ofte benyttet når bestandigheten til treverk blir bestemt ved vekst av mugg- og råtesopp (Geving & Thue, 2002). «KFT er øvre grense for fuktforholdet for at materialet skal opprettholde akseptabel funksjon gjennom levetiden, når det også er tatt hensyn til temperaturen» (Geving & Thue, 2002, s. 383). Verdien oppgis både i fuktinnhold og i RF i materialet, og ofte er en sikkerhetsfaktor/materialfaktor inkludert når KFT blir oppgitt som en enkeltverdi. Ved å dele verdien opp i flere enkeltverdier, kan en inkludere avhengigheten til eksponeringstiden.

3.3 Mikrobiell vekst

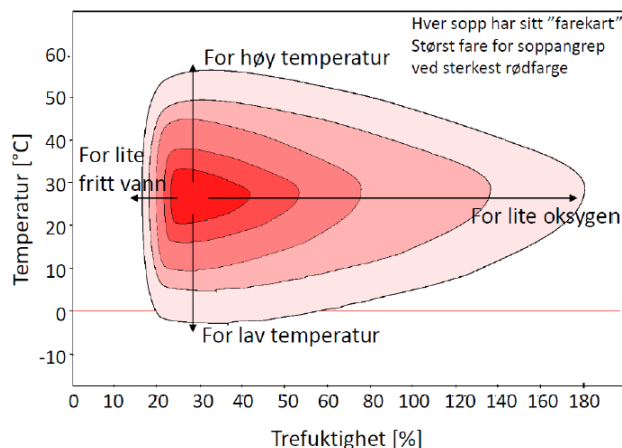
3.3.1 Muggvekstdannelse

Trevirke i byggverk kan bli skadet av blant annet råte, muggsopp, vannskader og skadedyr. I forbindelse med fuktskader i treet kan råte- og muggsopp oppstå. Disse mikrobielle vekstene er avhengig av næring, riktig temperatur og relativ fuktighet (RF), samt tilstrekkelig tid for å vokse (Geving & Holme, 2010), se figur 6.



Figur 6
Kriterier for vekst av muggsopp. Kilde: (Geving & Holme, 2010).

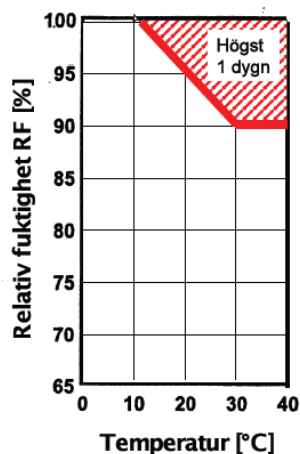
Trefuktigheten har stor betydning for muggvekstrisikoen, og den er påvirket av temperatur og RF i omgivende luft. Måling av trefuktighet, temperatur og RF vil derfor vise om forholdene er gunstig for muggvekst i lengre perioder. Et typisk farekart for muggvekst i trevirke, som funksjon av trefuktighet og temperatur, er illustrert i figur 7. Treverk som er mettet med vann blir ikke angrepet (Geving & Thue, 2002).



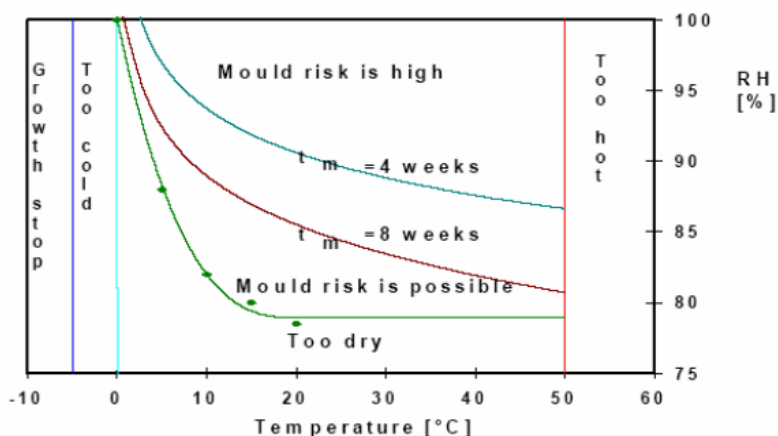
Figur 7
Farekart for soppangrep i trevirke. Kilde: (Clementz, Glasø, & Øvrum, 2009).

Råtesopp reduserer treverkets bæreevne, og den formerer seg ved å danne sporer (Geving S. , 2011b). Sporene forekommer naturlig i inne- og uteluften, og blir transportert med luftstrømmer. For at råtesopp skal kunne vokse for første gang på gran og furu, kreves normalt et fuktnivå på rundt 28 - 30 vekt-%, eller tilsvarende 95 - 98 % RF. Temperaturen bør minimum være 0 - 5 °C, men romtemperatur er mest gunstig. Har råtesopp først oppstått, kan soppene fortsette å vokse ved lavere fuktnivå enn det som er tilfelle for start av vekst. Eksempelvis kan ekte hussopp, som er regnet som den alvorligste råtesoppen, opprettholde veksten ved et fuktnivå på 16 vekt-%.

Muggsopp sporer forekommer også naturlig i inne- og uteluften. Skader grunnet muggsopp finner en oftest i forbindelse med byggfukt, lekkasjer og i rom med høy RF. Generelt kan vekst av muggsopp oppstå ved omtrent 80 % RF og temperatur på mellom 0 - 5 °C over tid. En RF på 80 % tilsvarer et fuktinnhold på omtrent 16 - 18 vekt-% for gran og furu. Optimale vekstforhold vil være ved RF mellom 95 - 98 %, og temperatur rundt 25 - 30 °C. Ved slike forhold kan muggvekst oppstå etter kun ett døgn, se figur 8. Ved lavere temperatur, eksempelvis rundt 10 °C, må RF være 100 % for at muggvekst skal oppstå innen kun ett døgn. For at muggvekst skal oppstå ved samme temperatur, men ved lavere RF-verdier (ca. 90 %), tar det omtrent fire uker før vekst oppstår (Johansson et al., 2005), se figur 9. Dersom RF er mellom 80 - 100 % og temperaturen er mellom 0 - 10 °C, eller RF er 80 % og temperaturen er mellom 10 - 50 °C, kan det ta over 12 uker før muggsopp starter å vokse.



Figur 8
Kritisk fuktforhold for treverk etter ett døgn.
Kilde: (Nilsson, 2009).

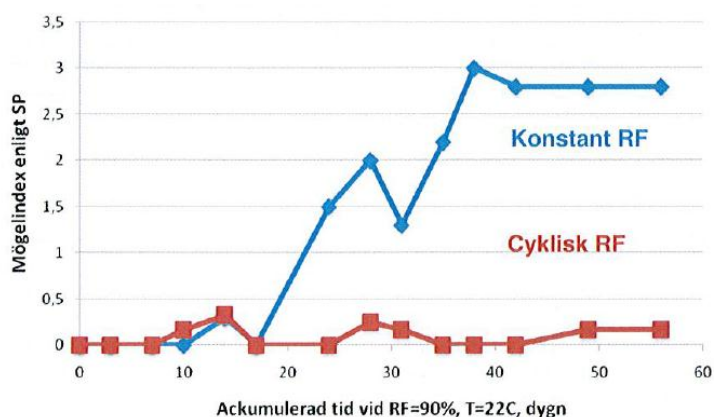


Figur 9
Kritisk fuktforhold for treverk med hensyn til temperatur og varighet av fuktforholdet. Kilde: (Johansson et al., 2005).

Dersom temperaturen blir for høy, opp mot 40 til 60 °C, vil de fleste mugg- og råtesoppene dø. Ved lave temperaturer, under 0 °C, stopper aktiviteten og soppene går i dvale. Soppene dør ikke, da de som regel overlever nedfrysing (Geving & Holme, 2010). Når treverket har vært fuktet opp tidligere, er det mindre motstandsdyktig for nye muggsoppangrep ved senere oppfuktning (Johansson & Stjernedal, 2005).

3.3.2 Muggvekst ved konstant og syklisk varierende RF

Forsøk på muggvekstrisiko på treverk viser en forskjell i risiko ved konstant og syklisk varierende RF (Thelandersson, 2011). Dersom treverket blir utsatt for et fuktig miljø som blir avbrutt annenhver uke av lavere RF, vil muggvekstrisikoen bli lavere enn ved et konstant fuktig miljø, se figur 10. Dette selv om den akkumulerte tiden med fuktig miljø er like lang for begge tilfeller. Tørrperioder virker derfor å være sterkt hemmende på den begynnende muggveksten, noe som bør tas hensyn til i bedømmingen av muggvekstrisiko.



Figur 10
Utvikling av muggvekst ved konstant og syklisk RF. Kilde: (Thelandersson, 2011).

3.3.3 Visuell analyse av muggsopp

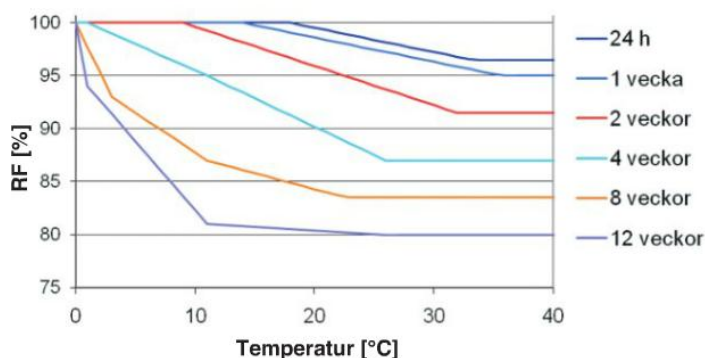
Forekomst av muggsopp kan bli påvist ved en mikrobiologisk analyse. En studerer da prøver fra materialoverflater i et mikroskop, siden vekst ofte ikke er synlig for det blotte øyet (Nilsson, 2009). Det eksisterer ingen standardisert mikrobiologisk analyse av bygningsmaterialer i laboratorium, da analysen kan bli utført på ulike måter. Utgangspunktet for analysen er imidlertid den samme, nemlig at en avgjør om materialet har mikrobiell vekst, og i så fall i hvilken utstrekning og type organisme. Grad av utstrekning kan variere, men innebærer som regel gradene sparsom, moderat og rikelig vekst. Ved mikrobiologiske undersøkelser tas normalt en materialprøve av treverket (Geving & Thue, 2002). En bør også vurdere å måle temperatur, RF og fuktinnhold ved prøvetakingspunktet. Det tas normalt prøver fra steder i konstruksjonen der det er størst sjanse for at det foreligger mikrobiell vekst. Områder med synlig vekst kan bli analysert direkte ved hjelp av mikroskop, mens sannsynlige vekstområder, hvor en ikke kan se muggvekst med det blotte øyet, må eventuelt gjennomgå isolasjon og oppdyrking.

Det eksisterer også andre alternative måter for å påvise og måle muggsopp, eksempelvis støvprøve med tape, samt luftprøver. Støvprøver gir resultater som ofte er vanskelig å tolke grunnet varierende støvmengde i konstruksjonen. Slike metoder vil derfor ikke være like aktuelle ved prøvetaking i trevirke fra en laboratorievegg, slik som i denne masteroppgaven.

3.3.4 m-modellen

m-modellen er et dataverktøy som blir benyttet som hjelpemiddel når en skal bedømme risikoen for mikrobiell vekst på treverk (Berggren, Togerö, & Svensson Tengberg, 2011). Modellen gjør det mulig å vurdere og sammenligne forskjellige konstruksjonsløsninger med tanke på muggvekstrisiko (Togerö, Svensson Tengberg, & Bengtsson, 2011). Dette ved å benytte målte eller beregnede data på RF og temperatur fra treverkets overflate. Formålet med m-modellen er å relatere hygrotermiske data fra beregninger eller målinger til kritiske nivå etter de nye reglene for fukt i Regelsamling för byggande, BBR 2012. I tillegg er formålet å vurdere risikoen for muggvekst. Modellen vurderer risikoen for at muggvekst oppstår for første gang.

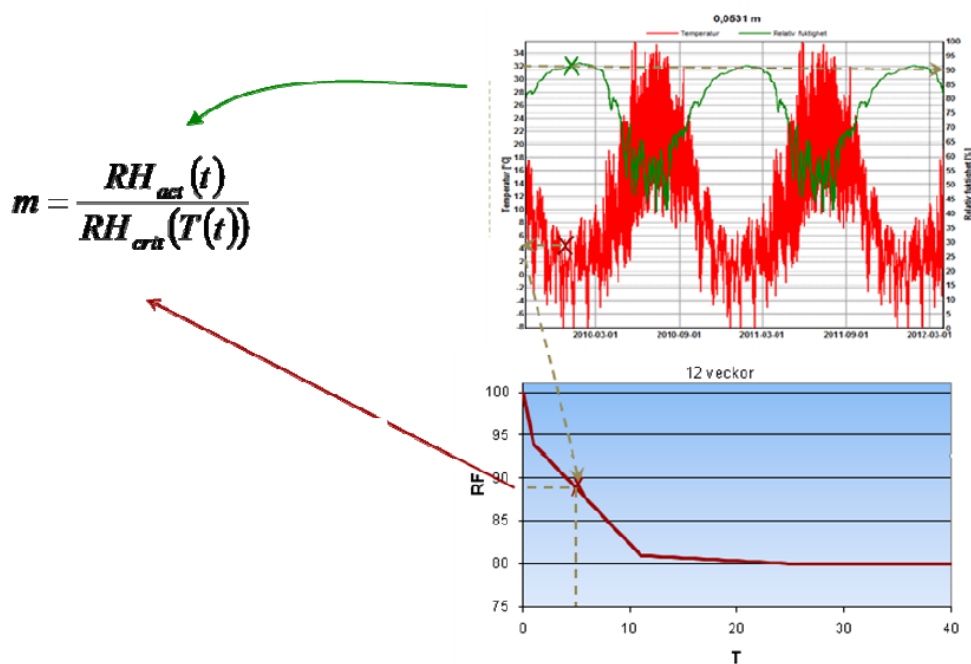
Modellen anvender seks ulike varighetssammenhenger mellom RF og temperatur, der hver såkalt varighetskurve representerer kritisk fukttilstand for treverk for en bestemt tidsperiode (Berggren et al., 2011), se figur 11.



Figur 11

De seks ulike varighetskurvene for RF og temperatur i treverk. Dersom den oppståtte situasjonen overskrider den tid som hver varighetskurve representerer, er muggvekstrisikoen teoretisk 100 %. Kilde: (Togerö et al., 2011).

For å vurdere om den oppståtte situasjonen overskrider den tid som hver varighetskurve representerer, må en regne ut en kvote «m» for hvert tidssteg. For å regne ut kvoten «m», trenger en helst timesverdier for temperatur og RF over en lengre tidsperiode (minst ett år). For formel for utregning av «m», se figur 12.



Figur 12

Illustrasjon av beregning av m. I formelen er $RF_{akt}(t)$ konstruksjonens faktiske RF ved tiden t. $RF_{krit}(T(t))$ er kritisk RF ved konstruksjonens temperatur T ved tiden t. γ er en sikkerhetsfaktor for å kvantifisere konstruksjonens fuktsikkerhet i et visst miljø. Sikkerhetsfaktoren er ofte 0,96. Kilde: (Lidgren, 2010).

Dersom $m \geq 1$, har konstruksjonen overskredet det kritiske fuktinnholdet ved det aktuelle tidssteget, og det er en viss risiko for at muggvekst oppstår.

Deretter regner modellen ut seks ulike akkumulerte tider for risiko, altså en for hver varighetskurve for å ta hensyn til variasjoner i klimaet. Dette blir gjort ved å summere alle tidene der tilstanden overskrider det kritiske fuktnivået, altså når $m \geq 1$. De akkumulerte tidene for risiko blir sammenlignet med de seks varighetskurvene. Det er nok at en av de seks akkumulerte tidene overskrider tilsvarende varighetskurve for at muggvekstrisikoen er 100 %. Dersom fukttilstanden varierer mellom perioder der mikrobiell vekst kan oppstå (risikoperiode) og ikke kan oppstå (tørpperiode), tar m-modellen hensyn til dette ved å legge inn en forsinkelse. Den akkumulerte risikoperioden blir redusert dersom det oppstår tørpperioder, og jo dårligere forholdene er for muggvekstrisiko, desto mer blir den akkumulerte muggvekstrisikoen redusert. Dersom tørpperioden blir tilstrekkelig lang, blir den akkumulerte muggvekstrisikoen nullstilt (Togerö et al., 2011).

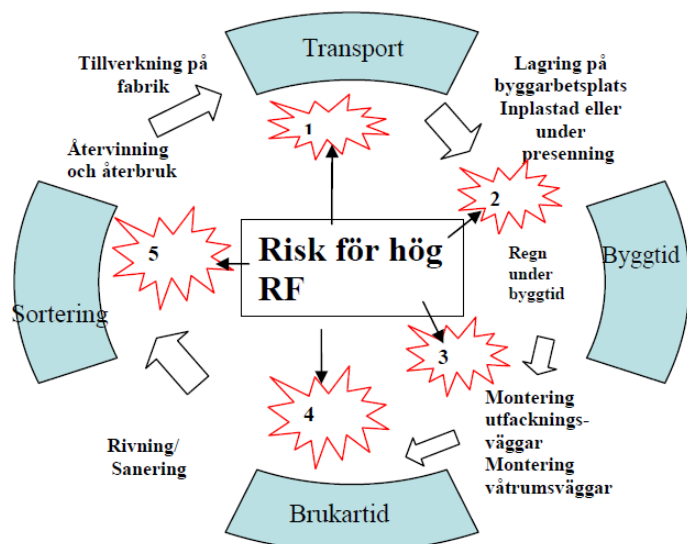
Fordelene med m-modellen sammenlignet med andre muggvekstmodeller, er at m-modellen beregner og tar hensyn til tørpperioder der muggvekst ikke kan oppstå. En har dermed mulighet til å simulere muggvekstoppførselen mer detaljert.

3.4 Oppfukting av treverk på byggplass

På byggeplass er noen ganger logistikken dårlig, noe som kan føre til uheldig oppfukting av treverk, som igjen kan føre til muggvekstangrep (Johansson & Stjernedal, 2005). Bindingsverksvegger i tre kan bli stående ute på byggeplass før montering, og etter montering kan de bli utsatt for langvarig regn. Værbeskyttelsen er ofte utilstrekkelig, og vann kan trenge inn i veggen under produksjon. Mangel på kontroll av håndtering og transport av treverk, samt tidspress, fører til at treverket ikke blir undersøkt ved levering. Fuktskader trenger da ikke å bli oppdaget før etter montering.

3.4.1 Treverkets vandring fra tilvirking til innbygging

Bygningsmaterialer, inkludert treverk, kan bli fuktet opp av vann på ulike tidspunkt før og etter lukking av konstruksjonen. En prinsippskisse er vist i figur 13. Dette er vist i en svensk studie av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (Land & Must, 2004), der det er foretatt undersøkelser omkring behandlingen av gipsplater på svenske byggeplasser.



Figur 13
Illustrasjon av livsløpsyklusen til gipsplater benyttet i bygninger. Den samme syklusen kan også gjelde for treverk, bortsett fra noe avvik på trinn nr. 3. Kilde: (Land & Must, 2004).

Under transport kan treverk bli utsatt for regn og/ eller ta opp kondens. Ved lagring av trematerialer kan materialene bli utsatt for regn, vannlekkasjer eller høy RF i omgivende luft (kondens). Dette avhenger eksempelvis av grad av tildekking. Treverket kan også bli utsatt for fukt gjennom luft og lekkasjer ved montering og etter lukking av konstruksjonen. Det er vanskelig å bedømme hvilket materiale som er angrepet av muggvekst eller ikke, da muggvekst ofte ikke er synlig med det blotte øyet. Figur 14 og 15 viser eksempler på muggvekstangrepet treverk, grunnet stående vann på gulvet, og muggvekstangrepet stender etter montering.



Figur 14
Eksempel på treverk som er angrepet av muggvekst grunnet kontakt med stående vann på gulvet. Kilde: (Land & Must, 2004).



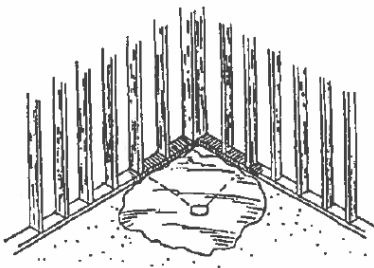
Figur 15
Eksempel på en ferdig montert stender som er angrepet av muggvekst. Kilde: (Land & Must, 2004).

Det er hevdet (Land & Must, 2004) at et problem med dagens trevirke er at det nå blir tørket ved høyere temperaturer enn tidligere. Tidligere var det vanlig å tørke trelast utendørs, men fra begynnelsen av 60-årene ble det tatt i bruk tørkeanlegg (Skogstad & Eduard, 2002). I løpet av 70-tallet økte omfanget av trelasttørring i slike anlegg, og det meste av trelasten blir nå tørket på denne måten. Treverket blir først varmet gradvis opp til ca. 40 °C ved høy RF for å hindre sprekkdannelse. Det er i løpet av de første dagene at forholdene er spesielt gunstige for muggvekst. Temperaturen er optimal for flere muggsopparter, og vanninnholdet i både treverket og luften er høyt. Når treverket blir tørket ut ved slike høye temperaturer, kan treverkets overflate lettere bli angrepet av muggvekst enn tidligere (Land & Must, 2004). Dette siden treets vannløselige næringsstoffer akkumulerer på overflaten. Tilførsel av ny fukt utgjør gode vilkår for muggvekst, og treverket er derfor mer utsatt for muggvekst ved senere oppfukning. Kritisk fuktinnhold vil da være under 15 - 16 vekt-%. Under byggeperioden kan fuktnivåer på 18 - 20 vekt-% forekomme i trestendere, og da kan synlig muggvekst oppstå i løpet av kun fem til sju dager.

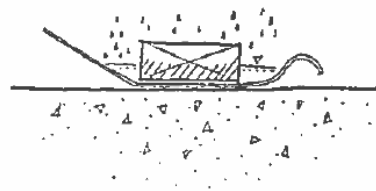
Det er viktig at materialer har et akseptabelt fuktinnhold ved mottak, for å hindre skader på materialer eller hindre lengre uttørkingstid (Geving & Thue, 2002). Trelast brukt til konstruktive formål, skal etter NS 3080 leveres med et fuktinnhold mindre eller lik 20 vekt-%. Vanlig fuktinnhold ligger mellom 14 og 20 vekt-%. Det er imidlertid tillatt at 5 % av partiet har høyere fuktinnhold enn 20 vekt-%, så lenge det er under 22 vekt-%.

3.4.2 Fuktutsatte bygningsdeler på byggeplass

Bunnsviller er de bygningsdelene som er mest utsatt for vann og nedbør i byggeperioden, siden det er de som blir montert først og dermed blir stående lengst utendørs (Hansson, 1989). Det er bunnsvillenes underside som er fuktigst, mens oversiden er tørrere, og stammen på stenderne er tørrest. Etter at treverket har kommet under tak, men før klimaskjermen er komplett, er det fremdeles bunnsvillene som er fuktigst. Graden av oppfukning kan ses som en følge av hvor eksponert bygningsdelene er for nedbør. Ved kraftig nedbør kan bunnsvillene havne i en dam grunnet ujevnheter eller lokale fall på gulvet, og suge til seg mye vann, se figur 16. Bunnsvillene kan også bli fuktet opp av eksempelvis vannrenner forårsaket av plastfolien under bunnsvillen, se figur 17.



Figur 16
Oppfukning av bunnsvill fra stående vann grunnet ujevnheter eller lokale fall på gulvet. Kilde: (Hansson, 1989).



Figur 17
Oppfukning av bunnsvill fra vannrenner grunnet bølgete plastfolie under bunnsvill. Kilde: (Hansson, 1989).

Det er også vist til målinger tatt av bunnsviller under byggetiden som hadde et fuktinnhold på 18 vekt-% ved levering (Hansson, 1989). Målingene viste at fuktinnholdet i bunnsviller kan øke med 10 % i løpet av byggeperioden, og da befinner de seg ofte i et område med muggvekstrisiko. Det er også utført målinger i en bunnsvill som hadde et fuktinnhold på 30 vekt-% ved montering av taket. Etter fire måneder, der huset var oppvarmet i tre av månedene, hadde bunnsvillen fremdeles et fuktinnhold på ca. 20 vekt-%.

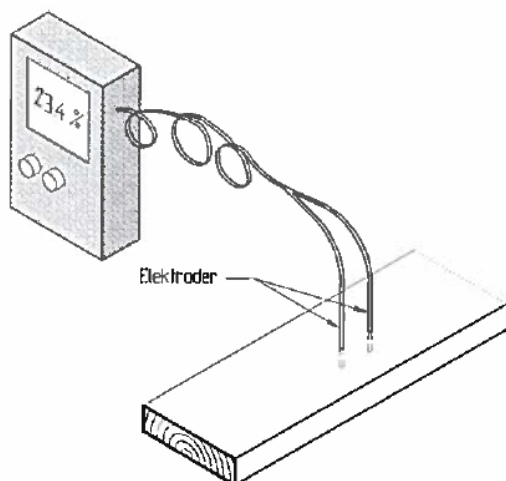
Type nedbør har stor betydning for hvor mye treverket blir fuktet opp (Geving & Thue, 2002). Ofte er bløt snø eller snøblandet regn kritisk for fuktopptak i treverk, da det kan bli liggende lenge på bygningsdelene. Bløt snø bør derfor kostes av eksempelvis bunnsviller som ikke er kommet under tak. Vanlig regn renner derimot hurtigere av bygningsdelene og tørker opp. Kraftig regn kan imidlertid være kritisk for delvis åpne konstruksjoner, hvor isolasjon og vindsperre allerede er montert.

For å unngå at bunnsviller kommer i unødig kontakt med vann, bør bunnsviller løftes opp fra betongunderlaget. Denne forhøyningen kan eksempelvis gjøres ved hjelp av en 10 mm høy profilert stålplate, en såkalt "Platcon stålvill" (Hansson, 1989). En kan også legge under 10 mm plastisolasjon i stedet for stålplate (Geving & Thue, 2002). En enklere variant er å legge flere lag med grunnmurspapp eller asfalt takbelegg under bunnsviller. Plastkiler med fugeskum i hulrommene mellom kilene, er også et alternativ. For å hindre at bunnsviller tar opp vann, kan en male endeveden med fortynnet alkyd eller linolje. Bunnsviller blir malt på endeveden siden oppsugingen av vann er størst herfra, altså i fiberretningen. I treets andre retninger går oppsugingen en del langsommere. Dersom en vil øke sikkerheten kan en male hele bunnsvillen. For ellers å få en velfungerende bunnsvilldetalj, bør bunnsvillen varmes fra undersiden ved å la betongplaten gå et stykke utenfor bunnsvillen (Hansson, 1989).

3.5 Bestemmelse av fuktinnhold i treverk ved målinger

Fuktinnhold i treverk kan bestemmes på ulike måter, deriblant tørking og veiing, motstandsmåling og kapasitiv måling (Geving & Thue, 2002). Tørking og veiing er den mest nøyaktige metoden for å måle fuktinnholdet, men den er tidkrevende og destruktiv. Kapasitive målinger blir ofte ikke korrekte på grunn av varierende densitet, lagoppdeling, inhomogenitet og overflatebehandling av bygningsmaterialer. Motstandsmålinger er mest brukt på tre og trematerialer, og det er videre gitt en innføring i denne målemetoden.

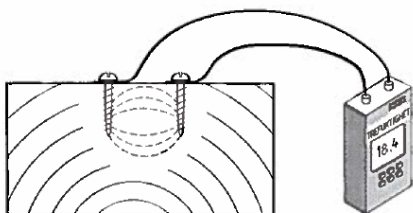
Motstandsmåling baserer seg på den elektriske motstanden i et materiale avhengig av fuktinnholdet. Motstanden i materialet er mindre jo høyere fuktinnhold det har. Ved hjelp av to elektroder som er plassert med en viss avstand i materialet og ledninger fra elektrodene til måleren, kan en måle motstanden i materialet, se figur 18. Fuktinnholdet finnes så ved å regne om den målte motstanden til fuktinnhold med en kalibreringskurve for det aktuelle materialet. I tillegg til fuktinnhold, avhenger den elektriske motstanden noe av temperatur, saltinnhold, densitet og plassering av elektrodene. For trevirke avhenger motstanden av fuktinnhold, treslag, tretemperatur (elektrisk motstand blir redusert ved økende temperatur), innhold av tyri, salter, og om det blir målt i kjerneved eller yteved.



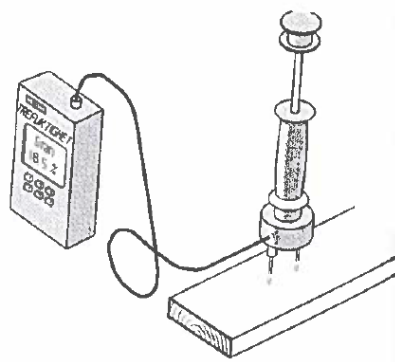
Figur 18
 Illustrasjon av fuktmåling ved elektrisk motstandsmåling. Kilde: (Geving & Thue, 2002).

Ofte er elektriske motstandsmålere kalibrert for ulike materialer, og noen har også innebygd temperaturkorreksjon som brukeren selv kan stille inn. For målinger i treverk, gir kompensasjoner for treslag og treetemperatur en god indikasjon på fuktinnholdet i treet. Treetemperaturen kan bli kompensert hos enkelte motstandsmålere, ellers bør de avleste fuktighetsverdiene korrigeres ved hjelp av ligning eller tabell/ diagram. Det er mulig å måle fuktinnholdet i ulike deler og dybder av materialet, men det er da en fordel å benytte elektroder som er isolert langs skaftet og uisolert ved tuppen. Slik unngår man å lese av fuktinnholdet på feil sted. Dette kommer av at måleren viser det høyeste fuktinnholdet mellom elektrodene, og dersom overflaten er fuktigere enn indre del av materialet der målingene egentlig skal skje, vil måleren vise fuktinnholdet på overflaten.

En kan benytte ulike elektroder til motstandsmålinger, og de kan en også lage selv. Eksempel på dette er å lage de fra sveisetråder eller bruke skruer, se figur 19. Da kan en trekke ledninger dit man ønsker å foreta målingene, noe som eksempelvis er hensiktsmessig dersom målingene foregår over en lengre tidsperiode. Dette er i tillegg hensiktsmessig dersom det ikke er mulig å komme til ved målepunktene. Ved målinger i treverk, ved hjelp av isolerte elektroder, bør en før målingene kontrollere at isoleringen er uskadd. Dersom de er skadet, bør de byttes ut. Avstanden mellom elektrodene er ofte 25 mm. En kan også benytte en hammerelektrode til å måle fuktinnholdet i treverket, se figur 20.



Figur 19
Motstandsmåling der skruer blir benyttet som elektroder. Kilde: (Geving & Thue, 2002).



Figur 20
Ved motstandsmåling med hammerelektrode blir elektrodene banket inn til ønsket måledybde i treverket. Kilde: (Geving & Thue, 2002).

Måleområdet for gran og furu er ca. 7 - 27 vekt-%, og nøyaktigheten er $\pm 0,5 - 2$ vekt-% under fibermetningspunktet (ca. 30 vekt-%). Motstandsmålere vil gi dårlig nøyaktighet (over ± 10 vekt-%) over fibermetningspunktet. Det er derfor anbefalt å ikke benytte motstandsmålere over fibermetningspunktet. Videre er det anbefalt å stikke inn elektrodene på langs av fiberretningen dersom det er praktisk mulig. Dette er anbefalt selv om det ikke har noen praktisk betydning om en stikker på langs eller tvers av fiberretningen, hos trevirke som har en jevnt fordelt fuktighet og er sprekkfritt. I tillegg bør en unngå å måle ved kvister, sprekker eller spikere.

4. Litteraturstudie

4.1 Krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger

Det er i dette kapittelet oppsummert hva et utvalg land har som gitte krav og anbefalinger, når det kommer til kritisk fuktinnhold ved isolering og lukking av bindingsverksvegger av tre. I tillegg til våre egne krav og anbefalinger her i Norge, er de andre landene i Skandinavia tatt med grunnet nokså likt klima. Et land som har store forskjeller i klimaet er USA, og det er derfor av interesse å se om de har ulike krav eller anbefalinger forskjellige steder i landet. I tillegg er det valgt å ta med Canada. Både Østerrike og Tyskland ligger i front når det kommer til høyisolerte bygninger, og det er derfor også sett på hvilke krav og anbefalinger som er gitt i disse to landene.

4.1.1 Norge

I Norge gjelder plan- og bygningsloven for planlegging av arealbruk og for byggesaksbehandling. Lovens tilhørende forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK 10), skal sikre at byggeprosjekter blir utført slik at de oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010).

Plan- og bygningsloven har også veiledninger, som ikke er rettskraftige, men som gir råd og anbefalinger om hvordan en kan oppnå kravene i loven og dens forskrifter. Veiledning om tekniske krav er ment til å utdype innholdet i TEK 10, som angir minimumsgrenser for et byggverks egenskaper for å kunne oppføres lovlig i Norge (Direktoratet for byggkvalitet, 2011). I tillegg gir veiledningen føringer for hvordan kravene kan etterkommes i praksis. I veiledningen til forskriftens § 13 - 19 (pkt. 1), står det at «materialer og konstruksjoner må tørke til et fuktinnhold under den kritiske verdi, for de materialer som inngår i konstruksjonene» (Direktoratet for byggkvalitet, 2011, s. 238). Videre i pkt. 3 står det at for trevirke i høyisolerte konstruksjoner, som har redusert uttørkingsevne, må fuktinnholdet være lavere enn 20 vekt-% før innbygging.

Det er også en anbefaling til kritisk fuktinnhold i treverk ved montering/ lukking i Byggforskeren utgitt av SINTEF Byggforsk. Konstruksjonsvirke som blir montert i konstruksjoner som tørker raskt etter lukking, er anbefalt å ha et fuktinnhold på maksimalt 20 vekt-% (Rydock, 2006). I konstruksjoner som tørker svært langsomt etter lukking, som vegger under terreng, bør treverket imidlertid ha et maksimalt fuktinnhold på 15 vekt-%. Det er anbefalt, i byggdetaljbladet om passivhus, at fuktinnholdet skal være så lavt som mulig i høyisolerte konstruksjoner (Bøhlerengen, 2012).

4.1.2 Sverige

I Sverige gjelder plan- og byggförordning (2011:338) som gir generelle krav til bygninger. Loven har en byggeforskrift som heter Regelsamling för byggande (BBR 12), og forskriften inneholder også en veiledning til loven. Kapittel 6:52 i forskriften, sier at det skal tas hensyn til kritisk fukttilstand når det skal bestemmes høyeste tillatte fukttilstand (Boverket, 2011). I henhold til muggvekst vil kritisk fukttilstand være den tilstanden hvor dette finner sted. I

materialer hvor muggvekst kan finne sted, skal en anvende en kritisk fukttilstand som er velundersøkt og dokumentert. Om dette ikke er velundersøkt og dokumentert, skal en benytte en RF på 75 % som kritisk fukttilstand. En RF på 75 % tilsvarer et fuktinnhold på omtrent 15 - 16 vekt-%.

4.1.3 Danmark

Byggebestemmelsene i Danmark består av Byggeloven og en rekke kunngjøringer som er utstedt med hjemmel i Byggeloven. Herunder er Bygningsreglementet som inneholder krav til bygninger. Bygningsreglementet inneholder både lovtekst og veiledninger, samt henvisninger til andre veiledninger. Det er blant annet henvist til en veiledning om håndtering av fukt i bygninger utgitt av Statens Byggeforskningsinstitutt. Veiledningen angir at maksimalt fuktinnhold i trekonstruksjoner er 18 vekt-%, ± 2 vekt-% (Møller, 2010).

4.1.4 USA

I USA eksisterer det en bygningslov som gjelder for hele landet uten regionale begrensninger. Den blir utarbeidet av The International Code Council, og heter International Codes (Wikipedia, the free encyclopedia, 2012). De fleste stedene i USA har innlemmet disse reglene. Bygningsloven angir at treverk skal ha et maksimalt fuktinnhold på 19 vekt-% eller mindre før isolering og lukking (International Code Council, Inc., 2003).

Krav til fuktinnhold i treverk ved installasjon kan imidlertid variere noe i de forskjellige delstatene i USA, grunnet store variasjoner i klimaet. Styrende organer i stater kan lokalt endre, modifisere eller slette noen deler av den internasjonale bygningsloven (South Dakota Legislature, 2012). Det er derfor av interesse å undersøke lovgivningen i noen utvalgte delstater. Det er tatt utgangspunkt i fire delstater: Oregon (fuktig nord-vestkyst), Florida (solfylt sør-vestkyst), New York (varierte og ofte mye nedbør, nord-østkyst) og South Dakota (kalde vintre og varme somre, midtvest). Både Florida, New York og South Dakota henviser til paragraf 2303.1.8.2 i International Building Code. Oregon har derimot en egen lovtekst i sitt reglement for bygninger. Lovteksten angir imidlertid også at maksimalt fuktinnhold skal være 19 vekt-% (Oregon Residential Specialty Code, 2008).

4.1.5 Canada

Peggy Lepper, Canadian Wood Council, forteller i en epost at i Canada har The National Building Code of Canada (NBCC) i del 9, normative krav til boliger og små bygninger (Lepper P., pers.med.). Det er et krav at fuktinnholdet i treverk ikke skal være mer enn 19 vekt-% ved isolering og lukking.

4.1.6 Tyskland

I følge den tyske bygningskoden DIN 68800, skal treverk ha et fuktinnhold på 18 vekt-% ved isolering og lukking. Et lavere fuktinnhold er derimot å foretrekke (Holzwerke Ladenburger, 2005).

4.1.7 Østerrike

I den Østerrikske bygningskoden «Holzschutz im Hochbau - Gebäude, errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen - Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmassnahmen», er 18 vekt-% høyeste tillatte fuktinnhold i heltre eller massivtre ved

lukking av bygningskonstruksjoner i følge avsnitt 5.3 (Österreichisches Normungsinstitut, 2002).

4.1.8 Oppsummering av krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger

Landene som er undersøkt, har omtrent de samme krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av konstruksjoner, se tabell 2. Sverige har imidlertid et strengere krav.

Tabell 2

Oppsummering av krav og anbefalinger til kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverksvegger.

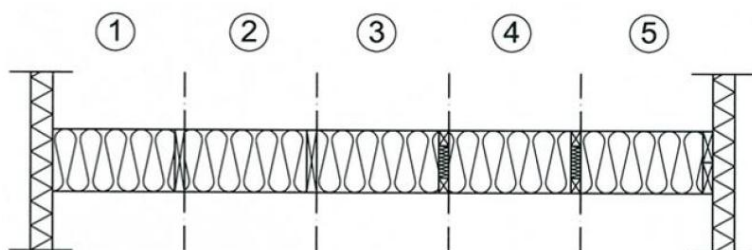
Land	Krav/ anbefaling
Norge	20 vekt-%
Sverige	75 % RF (tilsvarer ca. 15,6 vekt-%)
Danmark	18 vekt-% ± 2 vekt-%
USA:	
- Oregon	19 vekt-%
- Florida	19 vekt-%
- New York	19 vekt-%
- South Dakota	19 vekt-%
Canada	19 vekt-%
Tyskland	18 vekt-%
Østerrike	18 vekt-%

4.2 Nyere forskning

I Sverige pågår det et prosjekt med navn WoodBuild, som er et stort forskningsprosjekt innen rammen for Branschforskningsprogrammet 2006 - 2012 for skog- og treindustrien (Nilsson, 2009). Prosjektets formål er blant annet å øke kunnskapen om problematikken omkring bestandigheten for tre i klimaskjermen, samt utvikle tre som byggemateriale for fremtidens bærekraftige bygging. I forbindelse med WoodBuild er det gjennomført en rekke delprosjekt, og nedenfor blir fire av disse presentert.

4.2.1 Laboratoriestudie av bunnsviller og stenderverk av trevirke utsatt for regn

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (Olsson, 2011b) har undersøkt i hvilken grad trestendere og tresviller i yttervegger tåler kortvarig fuktpåvirkning, i form av regn før lukking av bygget. Dette ble studert ved hjelp av analyse av mikrobiell aktivitet, samt målinger av temperatur, RF og fuktinnhold. Det ble tatt utgangspunkt i sju ulike bunnsvilleløsninger, der fem av disse ble plassert i et klimakammer med uteklima på den ene siden og inneklima på den andre. De resterende to stod kun i uteklima. Forsøket pågikk i ca. 12 uker. Hver av de fem konstruksjonselementene i forsøksveggen var 600 mm bred og en meter høy. Konstruksjonselementene var omringet med plastfolie på siden og over, for å hindre innbyrdes fuktpåvirkning. Over plastfolien fortsatte den isolerte veggen ytterligere 1,5 m. Elementene ble isolert med ca. 300 mm mineralull. For horisontalsnitt av forsøksveggen, se figur 21. Bunnsvillene lå på svilleisolasjon, plastfolie, en betongplate og nederst et lag XPS. Figur 22 viser vertikalsnitt av konstruksjon nr. 1.



Figur 21
Horisontalsnitt av forsøksveggen. Kilde: (Olsson, 2011b).



Figur 22
Vertikalsnitt av konstruksjon nr. 1. Kilde: (Olsson, 2011b).

Før forsøket ble gjennomført, ble treverket lagret i et rom med konstant klima på 50 % RF og 23 °C. Ved starten hadde trevirke et fuktinnhold på 17 - 18 vekt-%. Den ene enden av bunnsvillene ble forsegleet med tetningslim, for å etterligne forholdene som opptrer på midten av bunnsviller i hel lengde. Før elementene ble montert i forsøksveggen, ble bunnsvillene utsatt for vannbad og/eller simulering av regn utendørs. Ved utendørs plassering kan soppsporer naturlig feste seg til treverket. Fuktpåvirkningenes intensitet varierte mellom ett og tre døgn for forskjellige elementer, se tabell 3. Etter vannbelastningen, ble elementene umiddelbart montert i veggen. Forsøksveggen ble lukket i løpet av omtrent åtte timer.

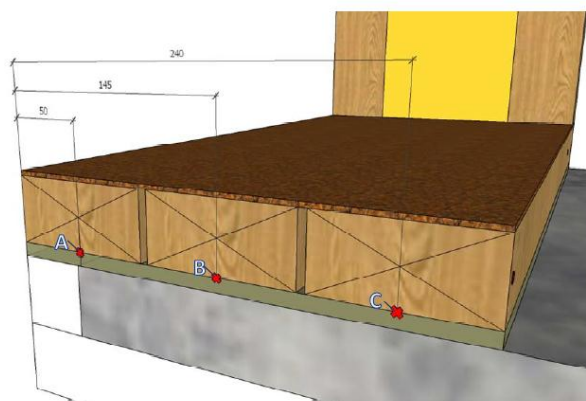
Tabell 3
Oppfukting av konstruksjonselementene. Hentet fra: (Olsson, 2011b).

Konstruksjon	Vannbad	Regn
1 Bunnsvill; 45 x 220 + 70 mm	1 døgn	-
2 Bunnsvill; 2 st. 45 x 95 mm med styresvill, 45 x 95 mm	1 døgn	-
	3 døgn	Ja
3 Bunnsvill; 2 st. 45 x 70 mm med styresvill, 45 x 70 mm	1 døgn	-
	3 døgn	Ja
4 Bunnsvill over 50 mm XPS, 45 x 220 + 70 mm	2 minutter	-
5 Stålsvill med stående stendere, 2 st. 45 x 145 mm	1 døgn	-
6 Bunnsvill; 45 x 220 mm	3 døgn	Ja
7 Stålsvill med stående strender, 45 x 220 mm	3 døgn	-

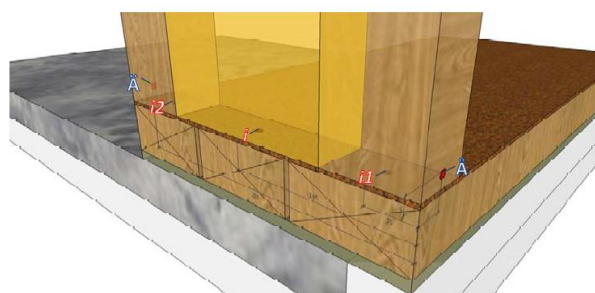
Vannbadet var 1 - 2 mm dypt, mens regnbelastningen foregikk to ganger daglig i ca. ett minutt, i løpet av to dager. Stenderne i konstruksjon nr. 5 og 7 ble også utsatt for vannbad. Konstruksjon nr. 4 ble lufttørket etter oppfukting frem til lukking av veggen, for å etterligne en bunnsvill som ikke kommer i kontakt med vann. Startdato for oppfukting av samtlige konstruksjoner var 2. august 2010.

Inneklimaet i klimarommet hadde konstant temperatur på 20 °C og naturlig varierende RF. Uteklimaet holdt en temperatur på 10 °C og en RF som varierte mellom 70 og 90 % annenhver uke.

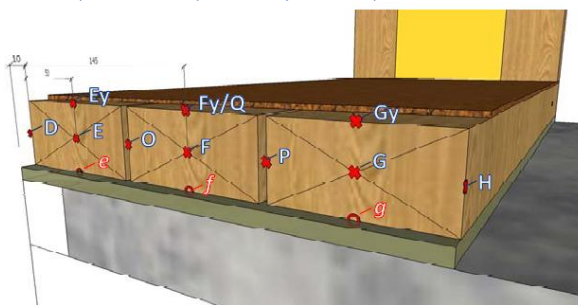
Målingene av fuktinnhold foregikk ved motstandsmåling, der to elektroder først og fremst ble plassert på overflaten av treverket. Noen elektroder ble også montert på en viss dybde i treet. RF og temperatur ble kontinuerlig målt en gang per time i gitte målepunkter. Se figur 23 - 26 for målepunkter som gjelder for samtlige konstruksjonselementer. For å undersøke om treverket ble angrepet av mikrobiell vekst, ble treverk fra overflaten analysert i mikroskop på slutten av forsøksperioden.



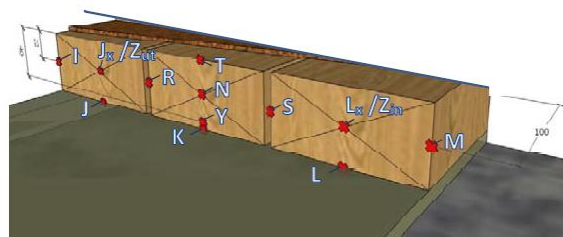
Figur 23
Målepunktene plassering i den bunnsvillenden som er studert (den forseglede enden). Kilde: (Olsson, 2011b).



Figur 24
Målepunktene plassering i trestenderen over bunnsvillenden som er studert. Kilde: (Olsson, 2011b).

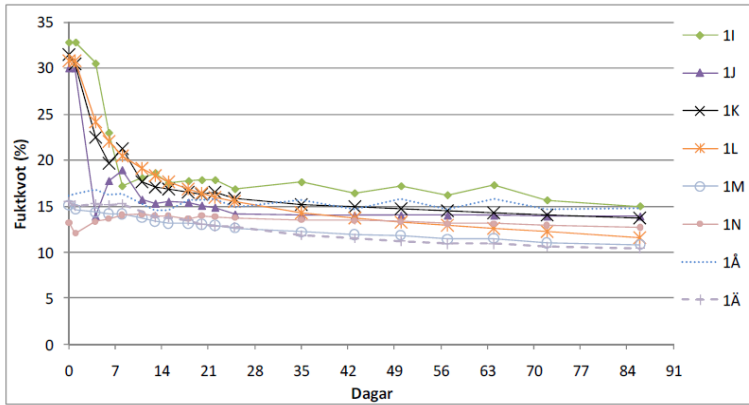


Figur 25
Målepunktene plassering 10 mm fra den bunnsvillenden som er studert. Kilde: (Olsson, 2011b).

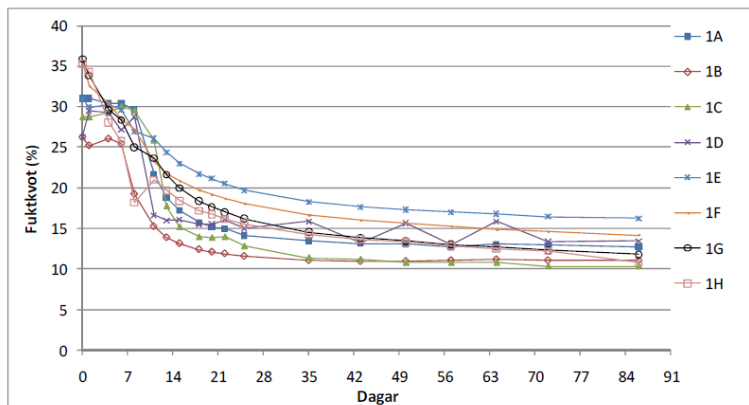


Figur 26
Plasseringen av målepunkter 100 mm fra den bunnsvillenden som er studert. Kilde: (Olsson, 2011b).

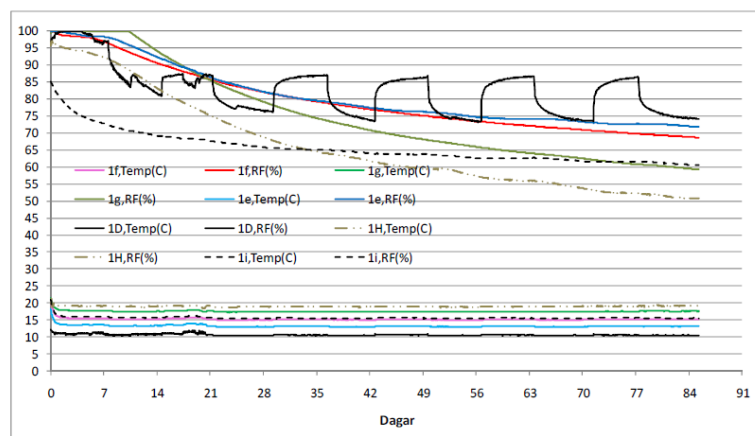
Resultatene fra målingene viser om muggvekst har forekommet før eller etter laboratorieforsøket, om den i så fall var synlig for det blotte øyet, temperatur i løpet av simuleringen, samt antall døgn fuktigheten var over 18 vekt-%. For konstruksjon nr. 1 varierte fuktinnholdet ved simuleringens slutt mellom ca. 10 - 17 vekt-%, se figur 27 og 28. Temperatur og RF varierte henholdsvis fra ca. 10 - 19 °C og fra ca. 51 - 75 %, se figur 29.



Figur 27
Fukttinnholdet i konstruksjon nr. 1 over 86 dager i målepunktene I-N, samt Å og Ä. Kilde: (Olsson, 2011b).



Figur 28
Fukttinnholdet i konstruksjon nr. 1 over 86 dager i målepunktene A-H. Kilde: (Olsson, 2011b).



Figur 29
RF og temperatur i konstruksjon nr. 1 over 86 dager. Kilde: (Olsson, 2011b).

For å sammenligne konstruksjonselementene kan en eksempelvis ta utgangspunkt i målepunkt *e*. Målepunkt *e* ligger på midten av overflaten til bunnsvillens underside, nærmest uteklime.

Tabell 4

Sammenligning av målinger i punkt *e* for de ulike konstruksjonselementene. Hentet fra: (Olsson, 2011b).

Konstruksjon	Temperatur [°C]	Antall dager > 18 vekt-%	Muggvekst	
			Før	Etter
1	13	23	1	3 ^{BB}
2	13	30	0	0
3	13	28	0	3 ^{BB}
4	13	0	0	0
5	18	37	-	3 ^J
6	10	11	0	3
7	-	-	-	-

Grad av muggvekst er angitt som følgende:

0 = ingen muggvekst

1 = knapt muggvekst

2 = moderat muggvekst

3 = rikelig muggvekst

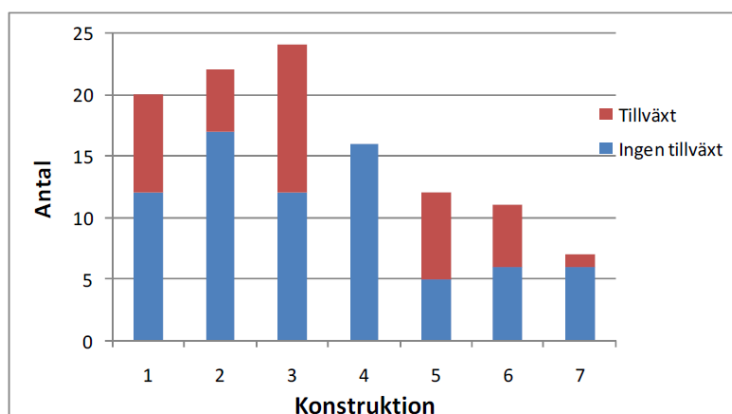
^B = svertesopp (blånad)

^{BB} = begynnende svertesopp (blånad)

^J = Gjærsopp (jåstsvamp)

(-) = ingen data

Som en kan se fra tabell 3, er det konstruksjon nr. 5, altså det elementet med bunnsvill og stendere som ble oppfuktet i ett døgn, som har flest antall dager med fuktinnhold over 18 vekt-%. Tilsvarende har konstruksjon nr. 4, som ble oppfuktet i to minutter med påfølgende lufttørring, ingen dager med fuktinnhold over 18 vekt-%. Flere av konstruksjonselementene fikk rikelig med muggvekst etter endt forsøk, og konstruksjon nr. 1 hadde allerede før simulering antydning til muggvekst. Graden av muggvekst totalt i konstruksjonselementene, er oppsummert i figur 30. I antall prøver med muggvekst inngår alle målepunkter der de sikkert visste at muggvekst hadde oppstått.



Figur 30

Oversikt over totalt antall prøver av muggvekstangrep. Resultatene er inndelt etter type konstruksjon og om konstruksjonen er angrepet av muggvekst eller ikke. Kilde: (Olsson, 2011b).

For samtlige konstruksjoner viser målingene høyere fuktinnhold over lengre tid der treverket har mulighet til å ta opp mer fukt, sammenlignet med steder der mindre oppsuging kan forekomme. Målepunkter nærmest uteklimaet har høyere fuktinnhold enn lengre inn i konstruksjonen. Fuktinnholdet ytterst i konstruksjonen var nokså likt fuktinnholdet i uteklimaet. På undersiden av stenderne på den bunnsvillenden som er studert, har det ikke oppstått muggvekst.

For konstruksjon nr. 2 ble det påvist overraskende lite muggvekst til tross for høyt fuktinnhold over en lang periode. Denne konstruksjonen behøvde 4 - 6 uker på å tørke ned til under 18 vekt-%. Den samme tørketiden er også registrert hos konstruksjon nr. 3 og 5. Konstruksjon nr. 1 tørket opptil to uker raskere, mens konstruksjon nr. 6 og 7 bare trengte 1,5 - 3 uker. Konstruksjon nr. 4 var under 18 vekt-% allerede før innbygging.

Konstruksjoner i klimaveggen og de to som kun stod i uteklima, som ble utsatt for vannopptak i ett eller tre døgn, fikk påvist nokså mye mikrobiell vekst. Dette gjaldt særlig på treverk som hadde begrensede uttørkingsmuligheter, slik som mot dampsperre, mot fuktige eller damptette materialer eller mot stålplater. Vannoppsuging fra endeveden er særlig kritisk med tanke på muggvekst. Lengre fra endeveden ble fuktinnholdet raskt lavt, og muggvekstrisikoen der ble mindre. Det er hevdet (Olsson, 2011b) at det vil være stor muggvekstrisiko på monterte bunnsviller og stender som blir utsatt for vannbad og/ eller regnpåvirkning. Det virker derimot ikke å være direkte muggvekstrisiko ved kortvarig regn som ikke medfører dryppende og rennende vann, og som kan tørke i løpet av en dag.

Uttørkingstiden ned til 18 vekt-% varierer som nevnt med konstruksjonstype, og vil generelt være mellom 3 - 6 uker for konstruksjoner som er utsatt for vannpåvirkning. Det er ikke oppdaget noe forskjell i muggvekstrisiko mellom ytre og indre del av konstruksjonen, selv om indre del har høyere temperatur. Dessuten viser resultatene at muggvekst oppstod selv om det ikke var synlig med det blotte øyet. Det var derfor behov for en mikrobiell analyse for med sikkerhet å kunne konstatere muggvekst. Resultatene indikerer at treverket også kan ha

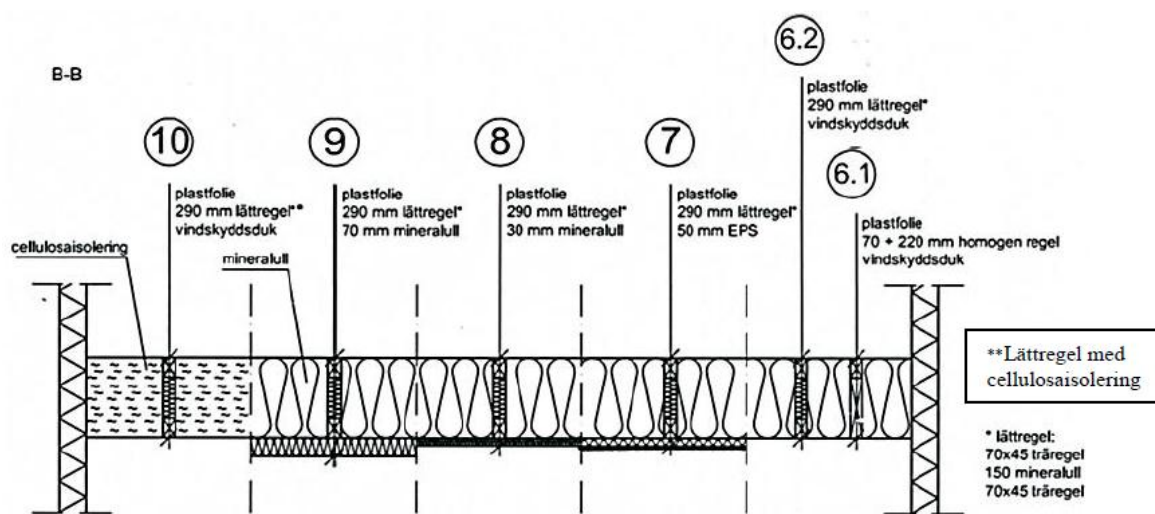
begynnende muggvekst allerede ved levering fra leverandør, siden muggvekst ble påvist før vannbelastning og før forsøket startet.

Det er anbefalt (Olsson, 2011b) å erstatte bunnsviller av trevirke med materialer som ikke er fuktømfintlige, eller arrangere et platå av ikke-fuktømfintlige materialer på betongplaten som bunnsvillene kan stå på. Slik unngår en at treverket kommer i kontakt med vann. I tillegg bør kuldebroer og luftlekkasjer unngås, da dette kan øke risikoen for fuktopptak i veggen ved vannlekkasjer i brukstiden. Det er også anbefalt å bruke ferdige veggelementer som er værbeskyttet. Dersom det blir benyttet nye løsninger, bør løsningene bli utredet før anvendelse.

4.2.2 Laboratoriestudie av bindingsverksvegger av tre med ulike vindsperrer

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (Olsson, 2011c) har gjennomført en laboratoriestudie av bindingsverksvegger med ulike vindsperrer. Bakgrunnen for studien er at en ikke vet sikkert hvor lenge treverk kan eksponeres for uteklima med ulik grad av RF og nedbør, før det oppstår muggvekst. Boverkets byggeregler anbefaler et kritisk fuktinnhold på 75 % RF. Det er imidlertid mulig å øke sikkerhetsmarginen for muggvekst, eller hindre for høy fuktighet. Dette kan en gjøre gjennom bruk av ulike vindsperrer med varmeisolerende effekt som bidrar til lavere fuktighet. Det ble derfor sammenlignet ulike vindsperrer, og forsøkt å finne deres påvirkning på fuktforholdet i veggen.

I forsøket ble det analysert innvirkningen av fire ulike vindsperrer. Disse ble satt i en prøvevegg med fem elementer. Fire av elementene hadde ca. 300 mm mineralullisolasjon, mens den siste hadde ca. 300 mm celluloseisolasjon. Ett element hadde dessuten to ulike trestendere; massivstender og lettstender. Se figur 31 og tabell 5 for oppbygning av konstruksjonselementene. Størrelse og avgrensning av konstruksjonselementene er den samme som i laboratorieforsøket presentert i kapittel 4.2.1. Fasaden ble ekskludert, og luftlaget utenfor vindsperran etterlignet en nordvendt, velventilert luftespalte. Dampsperran var en plastfolie med en S_d -verdi på 70 m.



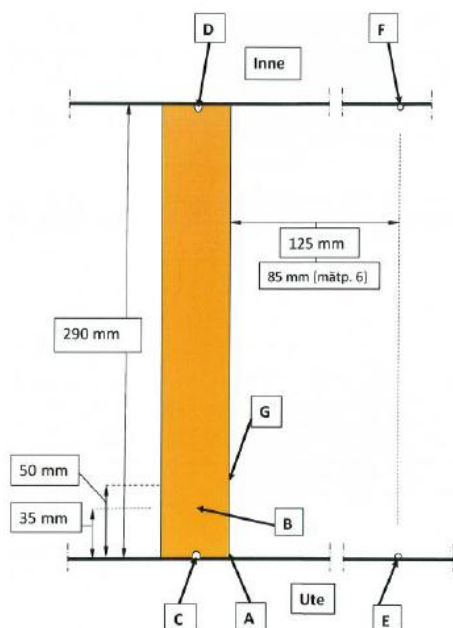
Figur 31
Horisontalsnitt av forsøksveggen med de ulike konstruksjonselementene. Kilde: (Olsson, 2011c).

Tabell 5**Oppbygning av konstruksjonselementene. Hentet fra: (Olsson, 2011c).**

Konstruksjon	Vindsperre S_d -verdi	Stender	Isolasjon
6.1	Vindsperreduk S_d -verdi = 0,2 m	70 + 220 mm massiv stender	Mineralull
6.2	Vindsperreduk S_d -verdi = 0,2 m	290 mm lettstender	Mineralull
7	50 mm EPS S_d -verdi = 1,5 m	290 mm lettstender	Mineralull
8	30 mm mineralull S_d -verdi = 0,04 m	290 mm lettstender	Mineralull
9	70 mm mineralull S_d -verdi = 0,04 m	290 mm lettstender	Mineralull
10	Vindsperreduk S_d -verdi = 0,2 m	290 mm lettstender	Cellulosefiber

Stenderne hadde et fuktinnhold på 15 - 17 vekt-% ved levering. Før forsøket startet hadde konstruksjonen tørket i inneklime i åtte uker, slik at mengden byggfukt var mindre enn det den normalt er på byggeplass. Konstruksjon nr. 6 og 9 ble isolert ca. en uke før simuleringsstart, mens konstruksjon nr. 10 fikk celluloseisolasjon installert ca. 1,5 måned før simuleringsstart. Vindsperrere ble montert omtrent en uke før oppstart. Forsøksveggen stod i et uteklime med konstant temperatur på 10 °C. RF varierte mellom ca. 70 og 90 % annenhver uke i 12 uker, og var deretter 90 % i fire uker. Inneklimeet holdt 20 °C og en naturlig varierende fuktighet.

Det ble foretatt målinger av temperatur, RF og fuktinnhold i samtlige konstruksjonselementer. I tillegg ble det utført to-dimensjonale beregninger av temperatur og RF av fire konstruksjoner. Etter endt forsøk ble det også tatt prøver for mikrobiell analyse av treverkets overflate. Målemetodene var lik som tidligere nevnt laboratorieforsøk presentert i kapittel 4.2.1. Se figur 32 for plassering av målepunkter i samtlige konstruksjoner.

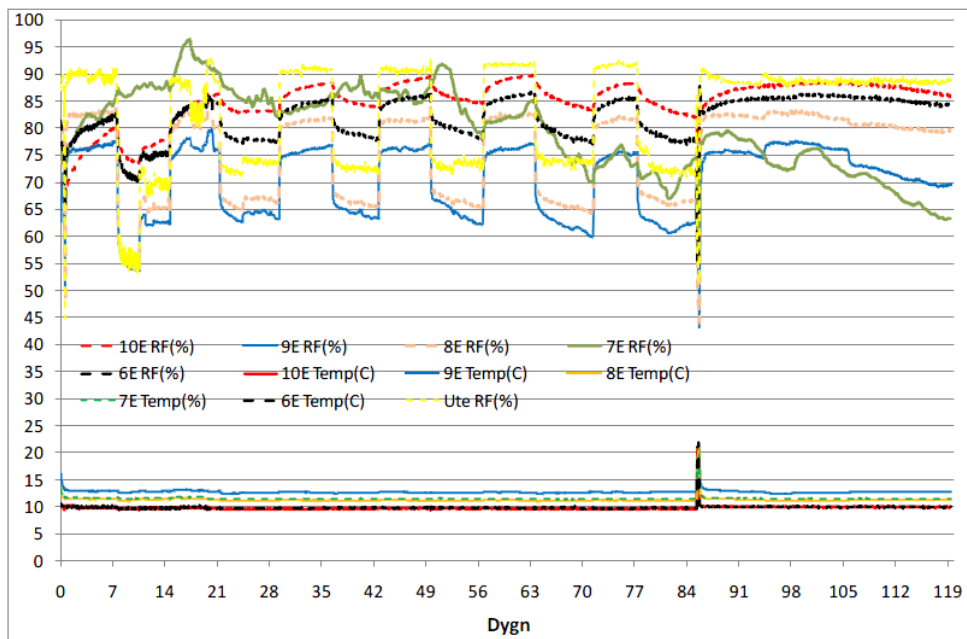


Figur 32
Oversikt over plasseringen av målepunktene i forhold til stender, sett fra horisontalplanet.
Kilde: (Olsson, 2011c).

Resultatsammendrag fra RF-målingene er vist i tabell 6. Figur 33 viser resultatene fra temperatur- og RF-målinger i målepunkt E ved utsiden av stenderen.

Tabell 6
Sammenstilling av resultater fra RF-målinger i samtlige konstruksjonselement. Hentet fra:
(Olsson, 2011c).

Konstruksjon	Høyeste oppnådde RF på innsiden av stender og utenfor vindsperre (målepunkt E)	Høyeste oppnådde RF på utsiden av stender (målepunkt C)
6.1 (vindsperreduk)	>85 %	79-82 %
6.2 (vindsperreduk)	>85 %	81-83 %
7 (50 mm EPS)	>90 %	77-80 %
8 (30 mm mineralull)	>80 %	77-79 %
9 (70 mm mineralull)	>75 %	72-73 %
10 (vindsperreduk)	<90 %	>85 %



Figur 33
Temperatur- og RF-målinger i målepunkt E ved innside av vindsperre for samtlige konstruksjoner. Kilde: (Olsson, 2011c).

Konstruksjon nr. 7 hadde en litt annerledes oppførsel enn de andre, da RF var tidvis over 90 % de åtte første ukene for så å synke de fire siste ukene. Årsaken til denne utviklingen kan være at henholdsvis fuktig og tørr luft innenfra ble presset ut gjennom små lufttuttheter i dampsperran. Dette har muligens forekommet i samtlige konstruksjoner, men at fukten har det ekstra vanskelig med å tørke ut fra konstruksjon nr. 7. Ved bruk av vindsperrereduk eller EPS, viser resultatene at uttørkingen tar lengre tid enn for øvrige konstruksjoner. Årsaken er at RF er betydelig høyere på innsiden av vindsperran enn utenfor ved tørre perioder.

Som en kan se fra tabell 6, ble det i samtlige konstruksjoner målt lavere RF på utsiden av stenderen enn ved innsiden av stenderen. Dette kan komme av at temperaturen var høyere på utsiden av stenderen, siden varmestrømmen er større i stenderen enn i isoleringen. Konstruksjonene med de høyeste oppnådde RF-nivåene på innsiden, har de høyeste oppnådde RF-nivåene på utsiden. Fukttinnholdet øker over tid i målepunktene 6.1 B og 10 B, noe som kan forklares av en omfordeling av fukt i henholdsvis massivstenderen og celluloseisolasjonen. I målepunkt D (innsiden av stender) og F (utsiden av dampsperre) ligger fukttinnholdet mellom 40 og 60 % RF for samtlige konstruksjoner over hele forsøksperioden.

Det ble kun avdekket knapp muggvekst i konstruksjon nr. 9 og 10, men det er noe usikkert når denne veksten har oppstått, da det ikke ble foretatt mikrobiell analyse før forsøket startet. Siden RF er lav i konstruksjon nr. 9, kan det tyde på at muggvekst her har oppstått før levering.

Resultatene viser at type vindsperre kan få stor betydning for fukttinnholdet i veggen. For å oppnå minst risiko for oppfukning i veggen, forårsaket av fukt fra inne- og uteluft, bør

vindsperreren være mest mulig varmeisolerende og dampåpen. Dersom det blir benyttet nokså damptette vindsperrere, slik som EPS, kan stenderverket oppnå høy fuktighet ved fukttilførsel innenfra eller ved byggfukt. Bruk av duk som vindsperreprodukt vil hindre uttørkingen utover, da fuktigheten er høyere innenfor duken enn ute ved tørt uteklima. På innsiden kan det også oppstå kondens, særlig dersom det er byggfukt eller fukttilskudd innenfra. Det ble også registret høyere fuktighetsnivå i enkle stendere enn i massivstendere. Fuktighetsnivået var også høyere på sidene av stenderne sammenlignet med midt i stenderne. Dette kan komme av at mer varmeledende materialer oppnår høyere temperatur, og dermed lavere fuktighet langt ute i konstruksjonen. Målinger og beregninger viser høy fuktighet i konstruksjonen ved bruk av celluloseisolasjon, noe som medfører muggvekstrisiko.

Det er anbefalt å isolere trestendere utvendig, for å minske risikoen for høy fuktighet og påfølgende muggvekst. Jo mer utvendig isolasjon, jo bedre. Ved fuktdimensjonering, bør en ta i betraktning hvor mye konstruksjonen tolererer av byggfukt og fuktkonveksjon. Fuktkonveksjon kan eksempelvis unngås ved undertrykk i ventilasjonssystemet. Det er ikke tatt hensyn til vind- og regnpåvirkning i denne laboratoriestudien. En bør derfor ta dette i betraktning, dersom en skal benytte vindsperrere som en også skal anvende som vind- og regneskyttelse.

4.2.3 Akseptabelt innebygget fuktinnhold

I en svensk studentoppgave ble det gjennomført beregninger for å komme frem til hvilket fuktinnhold det er akseptabelt å bygge inn trestendere i yttervegger med (Forsberg, 2011). Det ble sett på fire av veggene som inngikk i laboratoriestudien av høyisolerte bindingsverksvegger av tre, testet med ulike vindsperrere. Studien er presentert i avsnitt 4.2.2. For å finne akseptabelt fuktinnhold, ble det utført fuktsimuleringer i dataprogrammet WUFI 2D. I tillegg ble WUFI Bio benyttet for å undersøke risikoen for muggvekst.

Det ble utført beregninger for konstruksjonselement nr. 6.2, 7, 8 og 10, se tabell 7 for deres oppbygning. Beregningene ble gjennomført over en periode på to år, med oppstart 1. oktober og Stockholm-klima. Det ble utført beregninger med varierende innebygget fuktinnhold i trestenderne for hvert konstruksjonselement. Slik kunne en avdekke kritisk innebygget fuktinnhold. I tillegg ble muggvekstrisikoen analysert i seks punkter på samtlige vegger, ved hjelp av WUFI Bio.

Tabell 7

Oppbygning av konstruksjonselementer, regnet utenfra. Hentet fra: (Forsberg, 2011).

	Vegg nr. 6.2	Vegg nr. 7	Vegg nr. 8	Vegg nr. 10
Vindsperre	Papp (S_d -verdi = 0,2 m)	EPS, 50 mm (S_d -verdi = 1,5 m)	Mineralull, 30 mm (S_d -verdi = 0,04 m)	Papp (S_d -verdi = 0,2 m)
Trestendere	45 x 220 mm + 45 x 70 mm	45 x 290 mm lettstender	45 x 290 mm lettstender	45 x 290 mm Lettstender
Isolasjon	Mineralull, 300 mm	Mineralull, 300 mm	Mineralull, 300 mm	Cellulosefiber, 300 mm
Dampsperre	Plastfolie (S_d -verdi = 70 m)	Plastfolie (S_d -verdi = 70 m)	Plastfolie (S_d -verdi = 70 m)	Plastfolie (S_d -verdi = 70 m)

For å avgjøre hvilket kritisk fuktinnhold trestenderne kan bygges inn med, ble det tatt utgangspunkt i når risiko for muggvekst oppstår. For verdier over kritisk fuktinnhold vil det være risiko for muggvekst.

Tabell 8

Oversikt over kritisk fuktinnhold i trestendere, og det mest kritiske området. Hentet fra: (Forsberg, 2011).

Vegg nr.	Kritisk fuktinnhold	Mest kritisk område
6.2	20 vekt-%	Innside trestender mot inneklime
6.2 med høyere dampmotstand (Sd-verdi = 10 m)	12 vekt-%	Utside trestender mot inneklime
6.2 med doble trestendere	19 vekt-%	Innside trestender
7	18 vekt-%	Utside trestender
8	20 vekt-%	Innside trestender
10A (mht trestender)	18 vekt-%	Utside trestender
10B (mht cellulosefiber)	16 vekt-%	Øvre utvendige side

Resultater er presentert i tabell 8, og viser at innsiden av trestenderen er i mange tilfeller det mest kritiske området. Dette kan komme av at det her er et høyt fuktinnhold kombinert med en høy temperatur, noe som er gunstig for muggvekst. Utsiden av stenderen er ikke kritisk, da fukten lett kan diffundere gjennom mineralullen som er det ytterste laget, og som har en lav dampmotstand. Temperaturen på utsiden er dessuten relativ lav når byggfukten tørker ut.

I veggene oppstår konveksjon, og ved uttørring av byggfukt vil fuktinnholdet på utsiden av trestenderne øke. Økningen av fuktinnholdet avhenger blant annet av hvor damp tett vindsperran er. Ved høy dampmotstand vil fukten vanskeligere diffundere ut, og det kritiske fuktinnholdet ved lukking av konstruksjonen blir påfølgende lavere.

Bestemmelse av akseptabelt fuktinnhold som trestenderne bør bygges inn med, er satt til et intervall med en anbefalt nedre og øvre grense (Forsberg, 2011). Den nedre grensen er satt til 12,5 vekt-% for samtlige fire vegger, da det ikke er interessant å tørke stenderne mer enn til denne verdien. Dette kommer av at byggfukten tørker ut i løpet av det første året, og at fuktinnholdet varierer mellom ca. 9,5 - 12,5 vekt-% under det andre året. Den øvre grensen vil variere med veggens oppbygning. Dersom øvre grense blir overskredet, øker risikoen for muggvekst kraftig.

Den øvre grensen er bestemt av resultatene for risiko for muggvekst, men med noen endringer. Ettersom utsnittet av samtlige vegger ikke inneholder ekstra treverk, som sviller og lignende, blir det kritiske fuktinnholdet redusert med 1 vekt-%. For lettstendere bør en senke fuktinnholdet ytterligere med 0,5 vekt-%, da det ikke er tatt hensyn til doble trestendere. Det blir redusert med 1 vekt-% fra det anbefalte kritiske fuktinnholdet til de doble trestenderne, for å ha en sikkerhetsmargin. Etter å ha tatt dette i betraktning, er det gitt anbefalte grenseverdier for de fire veggene, se tabell 9.

Tabell 9

Grenseverdier for akseptabelt fuktinnhold i trestendere ved lukking. Hentet fra: (Forsberg, 2011).

Vegg nr.	Nedre grense	Øvre grense
6.2	12,5 vekt-%	18,0 vekt-%
7	12,5 vekt-%	16,5 vekt-%
8	12,5 vekt-%	18,5 vekt-%
10 A (mht trestender)	12,5 vekt-%	16,5 vekt-%
10 B (mht cellulosefiber)	12,5 vekt-%	14,5 vekt-%

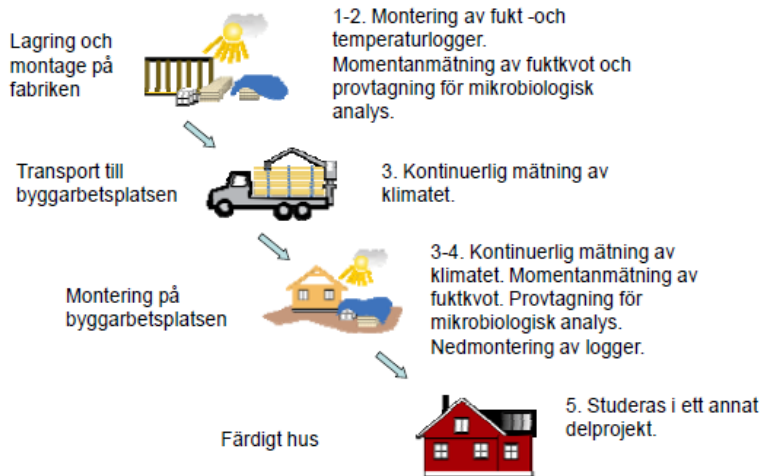
Generelt er det anbefalt (Forsberg, 2011) at trevirket bygges inn med et fuktinnhold på 12,5 - 18,5 vekt-%, avhengig av veggens oppbygning. Dersom det blir benyttet trestendere med fuktinnhold på 19,5 vekt-% i høyisolerte vegger, viser resultatene at det er økt risiko for muggvekst. I denne vurderingen er det viktig å ta vindsperrens dampmotstand i betraktning, da økende dampmotstand gir lengre uttørkingstid av byggfukt. I tillegg er det viktig å undersøke hvilket fuktinnhold konstruksjonen tolererer (fuktprosjektering), ved å gjøre en fuktsimulering med det tenkte klimaet. Hvilke materialer som blir anvendt er også avgjørende for verdien for kritisk fuktinnhold.

4.2.4 Kartlegging av fuktforholdene i treverk benyttet i prefabrikkerte trehus

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (Olsson, Mjörnell, & Johansson, 2010) utførte en kartlegging av fuktforholdene i prefabrikkerte trehus, ved å kartlegge opptredende temperatur- og fuktforhold. I tillegg ble det undersøkt om treverk ble utsatt for muggvekstangrep ved lagring, transport og på byggeplass. Kartleggingen tok utgangspunkt i en «nullhypotese» som lyder: «att trä utsätts inte för sådana betingelser, med avseende på smuts, fukt, temperatur och varaktighet, under byggskedet (från virkeslager till färdig byggnad) som kan orsaka mögelpåväxt» (Olsson, Mjörnell, & Johansson, 2010, s. 10).

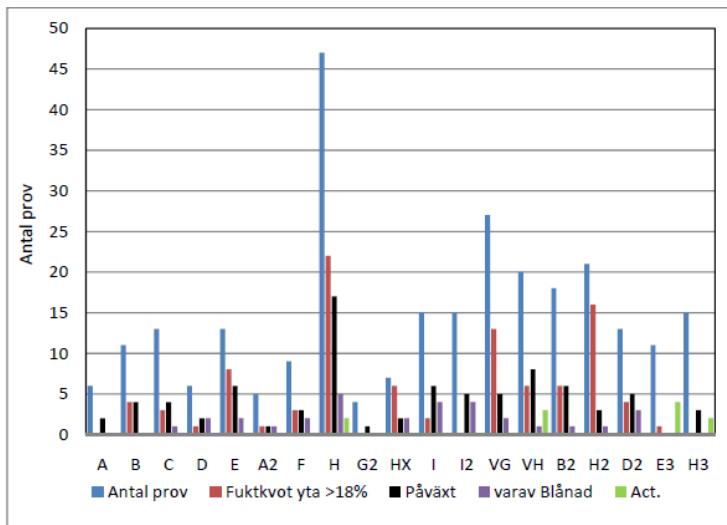
I kartleggingen inngikk fukt- og temperaturmålinger av treverk i 24 prefabrikkerte småhus, tre fabrikklagre, samt to boligblokker. De prefabrikkerte veggelementene bestod av stenderverk av tre, og ble bygget ferdig på fabrikk. Byggene var oppsatt ved ulike årstider og på forskjellige geografiske områder. På byggeplass ble veggelementene montert i løpet av forholdsvis kort tid, under åpen himmel. Det tok ca. ett døgn før småhusene fikk på plass vegger og takstoler, og undertaket ble ofte montert innen tre dager. Noen dager i forkant av levering/ montering, ble ofte styresviller og svilletetning montert på betongplaten på grunnen. Det var derfor risiko for at bunnsviller og vegger ble utsatt for regn i den perioden.

Fukt- og temperaturmålere ble montert på innsiden av veggelementene på fabrikk, og kontinuerlige målinger ble foretatt på fabrikk, under transport og frem til ferdig bygg. For å vurdere forekomst av muggvekst, ble det også utført en mikrobiologisk analyse av materialprøver tatt fra innsiden av trestenderen. Den mikrobiologiske analysen ble foretatt både på lager, fabrikk og under bygging for å vurdere om det oppstod muggvekst på treverket under byggeprosessen. I tillegg ble det på disse stedene målt fuktinnhold i treverket. Se figur 34 for skisse over hvilke arbeidsprosesser som ble studert, samt hvordan studien ble utført.



Figur 34
 Skisse over kartlagte arbeidsprosesser, og hvordan kartleggingen ble gjennomført. Kilde: (Olsson et al., 2010).

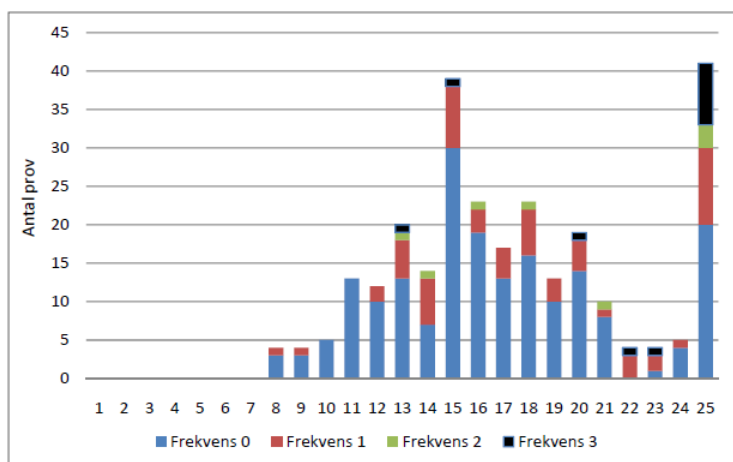
Resultatene viser at samtlige trehus har i større eller mindre grad vært utsatt for fritt vann, fått muggvekst grunnet fritt vann og/ eller hatt muggvekst før montering på byggeplass (Olsson, 2011a), se figur 35. Drøyt en tredjedel av prøvene har et økt eller høyt fuktinnhold (over 18 vekt-%) (Olsson et al., 2010). Nesten halvparten av samtlige prøver hadde muggvekst.



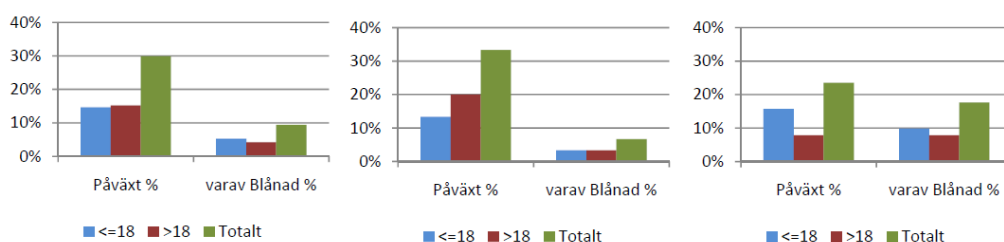
Figur 35
 Oversikt over antall prøver fra et utvalg av trebygg, antall prøver med muggvekst (+ svertesopp), antall prøver med kun svertesopp og antall prøver med actinomyceter (act.). I tillegg er det vist antall prøver med fuktinnhold over 18 vekt-%. Resultater er vist fra 15 småhus, tre fabrikker (A2, I2 og G2-HX) og en boligblokk (VH). Kilde: (Olsson et al., 2010).

Figur 36 viser prøvene gruppert etter målt fuktinnhold. Eksempelvis viser stolpe nr. 25 antall prøver med et fuktinnhold over 24 vekt-%. I tillegg er det vist antall prøver med muggvekst,

og grad av muggvekst. Se figur 37 for sammenligning mellom mengde muggvekst for de ulike byggeprosessene.



Figur 36
Fuktinnhold og frekvens av muggvekst for samtlige objekt. Frekvens 0 = ingen vekst, 1 = knapt muggvekst, 2 = moderat, 3 = rikelig vekst. Kilde: (Olsson et al., 2010).



Figur 37
Sammenligning av mengde muggvekst under henholdsvis under bygging på byggeplass, lager på byggeplass og i fabrikk. Kilde: (Olsson et al., 2010).

Det virker å være dobbelt så mange tilfeller med fuktinnhold over 18 vekt-% for materialprøver med muggvekst tatt fra yttervegger, sammenlignet med tak og innervegger. Nesten to femtedeler av prøvene fra innerveggene hadde muggvekst, men siden innervegger er mer beskyttet enn yttervegger, har sannsynligvis veksten oppstått før innbygging.

Målingene og prøvetakingen kan ses på som stikkprøver, siden de er foretatt på steder der det ble observert avvik i form av fukt, smuss og muggvekst, og på steder der dette ikke ble observert. Resultatene kan derfor ikke anvendes til å forutsi forholdene generelt. Det er likevel hevdet (Olsson et al., 2010) på grunnlag av resultatene, at treverk kan bli utsatt for nedbør og temperaturforhold som kan medføre muggvekst under bygging. «Nullhypotesen» nevnt tidligere må en derfor forkaste. Det er i studien henvist til håndboken «Fukt i Trä för branschen», der det står at kritisk fuktforhold i treverk er over 18 vekt-% ved en temperatur på 15 °C og varighet på åtte uker. Dette fuktinnholdet virker å stemme for gran i deres studie. Målingene viser imidlertid at RF og temperatur generelt er under disse grenseverdiene. Det er

heller ikke funnet at klimaet, som treverket ble utsatt for under transport og bygging, var tilstrekkelig for muggvekst.

Det ble forsøkt å gi en sammenheng mellom fuktinnhold og muggvekst, men ut fra resultatene er det vanskelig å gi en klar sammenheng. Dette fordi resultatene viser at noen tørre materialprøver hadde muggvekst, mens noen fuktige materialprøver ikke hadde muggvekst. Forklaringen kan være ulik varighet av gunstige fuktforhold og temperatur. Muggveksten var ganske jevnt fordelt på prøvene, uavhengig av fuktinnhold. Muggvekst har sannsynligvis oppstått på mange prøver allerede før leveranse fra fabrikk. Den dominerende muggveksten ved materialprøver på fabrikk var svertesopp. Svertesopp er en mikrobiologisk aktivitet som krever mye fukt eller fritt vann for å vokse. Det er hevdet (Olsson et al., 2010) å være vanligere med muggvekst uten svertesopp og fuktige materialer på byggeplass enn på fabrikk, noe som indikerer at muggvekst også har oppstått under byggeprosessen.

En femtedel av materialprøvene hadde påvist svertesopp, og da særlig på treverk på fabrikk. Det tyder på at treverket allerede var angrepet ved leveranse til fabrikk eller ved tørking på sagverk, siden denne typen muggvekst oppstår i sammenheng med fritt vann over lengre tid. Muggvekst på materialer på byggeplass virker å være vanligere enn når de blir oppbevart på et kaldt lager, avhengig av mengde oppfukning grunnet nedbør. Det fuktigste stedet i konstruksjonen var bunnsvillen, og siden den har begrensede uttørkingsmuligheter, er det stor risiko for muggvekst.

Siden studien viser at det ofte står vann på betonggulvet på grunnen, bør veggens avslutning utformes slik at veggen ikke kommer i kontakt med vannet. Elementene bør også bli tildekket bedre eller bør bli lagret, transportert og montert under tak. Særlig vindsperrers egenskaper og løsninger bør være kartlagt. Videre er det anbefalt å unngå å lagre treverket utendørs eller i uoppvarmede rom over lengre tid, for å unngå at treverket blir oppfuktet.

4.2.5 Oppsummering av nyere forskning

Resultater fra laboratoriestudien der bunnsviller og stendere blir utsatt for regn (Olsson, 2011b), viser at flere av de høisolerte konstruksjonselementene hadde rikelig med muggvekst etter endt forsøk. Ett element hadde muggvekst allerede før simulering, altså ved levering fra leverandør. Økt muggvekstrisiko gjelder særlig treverk som har begrensede uttørkingsmuligheter. Målinger viser høyere fuktinnhold over lengre tid for samtlige konstruksjoner der treverket har mulighet til å ta opp fukt, sammenlignet med steder der mindre oppsuging kan forekomme. Vannoppsuging fra endevend er særlig kritisk med tanke på muggvekst. Uttørkingstiden (ned til under 18 vekt-%) varierer med konstruksjonstype, og vil være mellom 3 - 6 uker for konstruksjoner som blir utsatt for vannpåvirkning. Resultatene viser også at muggvekst oppstår selv om det ikke er synlig med det blotte øyet. Det er konkludert med at det er stor muggvekstrisiko på monterte bunnsviller og stendere som blir utsatt for vannbad og/ eller regnpåvirkning. Ved kortvarig regn som kan tørke i løpet av en dag, er det imidlertid ikke ansett å være muggvekstrisiko.

Type vindsperre kan få stor betydning for fuktinnholdet i veggen, i følge et laboratorieforsøk av veggkonstruksjoner med ulike vindsperrer (Olsson, 2011c). For å oppnå minst risiko for

oppfukting i veggen, forårsaket av fukt fra inne- og uteluft, bør vindsperreren være mest mulig varmeisolerende og dampåpen. Det ble oppdaget knapp muggvekst i kun en av konstruksjonene, og i en annen konstruksjon tyder det på at veksten har begynt før levering. For konstruksjoner med vindsperrereduk og celluloseisolasjon, tar uttørkingen lengre tid sammenlignet med konstruksjoner med mineralull og EPS. Bruk av vindsperrereduk vil hindre uttørkingen utover. Bruk av nokså damptette vindsperrer, slik som EPS, kan gi stenderverket et høyt fuktinnhold ved fukttilførsel innenfra eller ved byggfukt.

For noen av konstruksjonselementene som inngikk i laboratorieforsøket med ulike vindsperrer, ble det utført to-dimensjonale fuktberegninger. Dette ble gjort for å angi anbefalt fuktinnhold det er akseptabelt å bygge inn trestendere i yttervegger med (Forsberg, 2011). Den generelle anbefalingen trevirket kan bygges inn med, er satt til et fuktinnhold på 12,5 - 18,5 vekt-%, avhengig av veggens oppbygning. Dersom det blir benyttet trestendere med et fuktinnhold på 19,5 vekt-% eller høyere i høyisolerte vegger, viser resultater at det er økt risiko for muggvekst.

Kartlegging av fuktinnhold i treverk som er benyttet i prefabrikkerte trehus (Olsson et al., 2010), viser at samtlige trehus som inngikk i studien hadde i større eller mindre grad vært utsatt for fritt vann, fått muggvekst grunnet fritt vann og/ eller hatt muggvekst før montering på byggeplass. Det ble påvist et økt eller høyt fuktinnhold (over 18 vekt-%) på drøyt en tredjedel av prøvene tatt i treverket. En mikrobiologisk analyse viser i tillegg at nesten halvparten av samtlige prøver hadde muggvekst. Muggveksten var ganske jevnt fordelt på prøvene, uavhengig av fuktinnhold, og muggveksten har sannsynligvis oppstått på mange prøver allerede før leveranse fra fabrikk. Det har også oppstått muggvekst under byggeprosessen. Det er funnet at treverk i prefabrikkerte trehus, selv med raskt oppføring, blir utsatt for nedbør og temperaturforhold som kan medføre muggvekst.

5. Fuktregninger – uttørking av bunnsviller i høyisolerte vegger

5.1 Innledning

Under arbeidet med masteroppgaven er det utført forskjellige fuktregninger. Fuktregningene er utført som en parameterstudie, der det er tatt utgangspunkt i en standard bindingsverksvegg av treverk og standard inngangsparametere. Uttørkingstiden av byggfukt i enkle bunnsviller er undersøkt. Bunnsviller er valgt siden bunnsviller er de bygningsdelene som er mest utsatt for fuktpåvirkninger under bygging.

Hensikten er å vurdere hvilke(t) kritiske fuktinnhold som bør benyttes for bunnsviller i høyisolerte bindingsverksvegger av tre, i forhold til muggvekstrisiko. Dette ble vurdert med hovedfokus på forskjellige startfuktinnhold, uteklime, samt når på året regningene starter. I tillegg ble to ulike isolasjonstykkelser og vindsperreprodukt undersøkt. Det er utført flere regninger hvor inngangsparametere ble endret, for å se hvilken effekt de forskjellige parametere har på fuktinnholdet i bunnsvillen. I tillegg er det studert hvor lang tid det tar før fuktinnholdet i bunnsvillen har tørket ned til et akseptabelt nivå. Bunnsvillene med høyt startfuktinnhold (25 og 30 vekt-%) ble lagt inn i regningsoppsettet med et fuktinnhold tilsvarende en uttørking i en eller to uker før start regning. De hadde derfor et variert fuktinnhold i bunnsvillen. Dette ble gjort for å gjøre situasjonen mest mulig realistisk.

5.2 Regningsprogram

Fuktregningene ble utført ved hjelp av WUFI 2D 3.3. WUFI står for «Wärme- und Feuchtetransport instationär» (varme- og fukttransport) (WUFI, 2010). Programmet muliggjør realistiske, to-dimensjonale regninger av koblet fukt- og varmetransport i bygningskomponenter. Regningene er transiente (over tid) av ikke-stasjonære hygrotermiske forhold i bygningsdeler av flere sjikt ved naturlige, varierende klimabelastninger. En benytter klimadata på timebasis som blant annet inkluderer regn og solstråling.

Videre følger en oversikt over transportmekanismer som er inkludert i regningsmodellen, samt faktorer som er neglisjert.

Faktorer for varmetransport:

- Varmedledning.
- Entalpiendringer ved faseoverganger i fukt.
- Varmetransport ved konveksjon er neglisjert, da det er vanskelig å kvantifisere.

Vanndamptransport:

- Vanndampdiffusjon.
- Vanndamptransport ved konveksjon er neglisjert.

Faktorer for væsketransport:

- Kapillærledning.

Transport ved gravitasjon, hydraulisk strøm over trykkforskjeller, elektrokinetiske og osmotiske effekter er ikke inkludert.

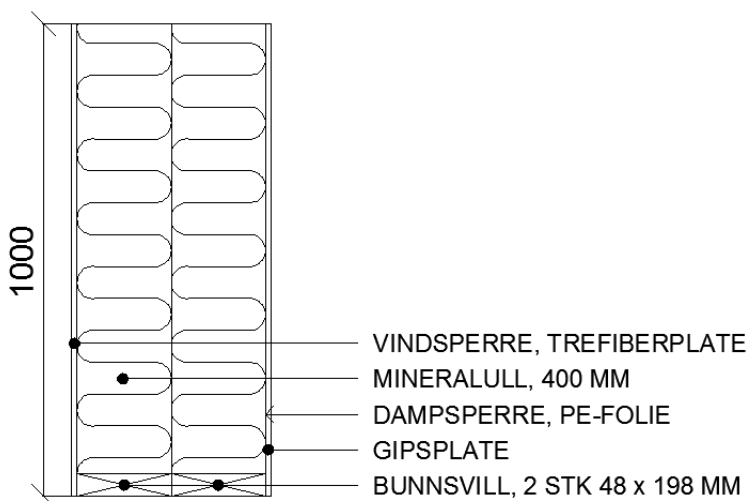
5.3 Forberedelser

Innledningsvis ble det foretatt noen preberegninger for å avgjøre hvilken struktur rutenettet skal ha i WUFI. Det er ønskelig å ha rutenettet finest mulig, med mange elementer for mest mulig nøyaktige beregninger, men det er viktig å finne en balanse mellom nettstruktur og akseptabel beregningstid. WUFI velger automatisk et passende rutenett, hvor det er flere og tettere elementer mot overgangen mellom forskjellige materialsjikt. Det er også tettere rutenett innad i et materiale dersom materialet er inndelt med for eksempel forskjellig fuktinnhold. I overgangen mellom to materialsjikt vil forandringen i fukt og temperatur være brattere enn i overgangen til adiabatisk grense, hvor det er forutsatt ingen varme- og fukttransport. For å kunne løse de brattere overgangene, bør det være et større antall elementer. Det er tre nivåer for valg av nettstruktur; grov, medium og fin. I tillegg er det mulig å stille inn nettstrukturen manuelt. Ut fra preberegningene, er det valgt å bruke den fineste nettstrukturen, siden beregningstiden var ansett som akseptabel.

5.4 Konstruksjon

Standard konstruksjonsoppbygning er følgende, regnet utenfra, se også figur 38:

- Vindsperre (trefiberplate, S_d -verdi = 0,23 m eller gipsplate, S_d -verdi = 0,10 m)
- Mineralull, 400 mm
- Dampsperre, PE-folie (S_d -verdi = 70 m)
- Innvendig kledning, gipsplate, 12,5 mm



Figur 38
Standard konstruksjonsoppbygning.

Beregningene er utført på et utsnitt av en bindingsverksvegg med en høyde på en meter. I et realistisk tilfelle vil en toppsvill ha innvirkning på uttørkingen til bunnsvillen, grunnet fuktfordeling i veggen. Fuktfordelingen skyldes naturlig konveksjon, og fører til en bedre uttørking av bunnsvillen. I tillegg fører det til en tørrere indre øvre del og en fuktigere ytre del. Denne effekten er ikke mulig å studere, da WUFI 2D ikke tar hensyn til naturlig konveksjon. Det er forutsatt et damptett sjikt (plastfolie) under bunnsvillene som hindrer uttørking nedover.

Materialene som ble brukt i beregningene er hentet fra materialdatabasen i WUFI. For en oversikt over materialene som ble brukt, samt de viktigste materialparameterne, se tabell 10.

Tabell 10
Oversikt over materialene som ble benyttet i beregningene, samt de viktigste materialparameterne.

	Densitet [kg/m ³]	Porøsitet [m ³ /m ³]	Varme-kapasitet [J/kgK]	Varme- konduktivitet [W/mK]	Diffusjons- motstand- faktor [-]
Kledning: Skandinavisk gran	420	0,75	1600	0,13	50
Vindsperre: trefiberplate	508	0,667	1700	0,12	19
gipsplate	850	0,65	850	0,2	8,3
Isolasjon: Mineralull	60	0,95	850	0,04	1,3
Bunnsvill: Skandinavisk gran	420	0,75	1600	0,13	50
Dampsperre: PE-folie, 0,15 mm	130	0,001	2200	2,2	70000
Innvendig kledning: Gipsplate	850	0,65	850	0,2	8,3

5.5 Beregningsoppsett

Beregningstilfellene er beskrevet i figur 39.

VARIABLE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Isolasjonstykkelse	400 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Isolasjonstykkelse	150 mm															
Uteklima	Oslo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Uteklima	Trondheim															
Uteklima	Bergen															
Uteklima	Karasjok															
Startfuktinnhold	30 vekt-% (tørket i 2 uker)		X				X					X				
Startfuktinnhold	25 vekt-%(tørket i 2 uker)	X						X					X			
Startfuktinnhold	25 vekt-%(tørket i 1 uke)			X					X					X		
Startfuktinnhold	20 vekt-%(i hele svillen)				X					X					X	
Startfuktinnhold	18 vekt-%(i hele svillen)					X					X					X
Start beregning	1. september	X	X	X	X	X										
Start beregning	1. januar						X	X	X	X	X					
Start beregning	1. juni											X	X	X	X	X
Vindsperre, trefiberplate	S _d : 0,23 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vindsperre, gipsplate	S _d : 0,10 m															

VARIABLE		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Isolasjonstykkelse	400 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
Isolasjonstykkelse	150 mm												X	X	X			
Uteklima	Oslo												X	X	X	X	X	X
Uteklima	Trondheim	X	X	X	X	X												
Uteklima	Bergen					X	X	X										
Uteklima	Karasjok								X	X	X							
Startfuktinnhold	30 vekt-% (tørket i 2 uker)	X				X			X			X				X		
Startfuktinnhold	25 vekt-%(tørket i 2 uker)	X					X			X			X				X	
Startfuktinnhold	25 vekt-%(tørket i 1 uke)		X															
Startfuktinnhold	20 vekt-%(i hele svillen)			X					X			X			X			X
Startfuktinnhold	18 vekt-%(i hele svillen)				X													
Start beregning	1. september	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Start beregning	1. januar																	
Start beregning	1. juni																	
Vindsperre, trefiberplate	S _d : 0,23 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Vindsperre, gipsplate	S _d : 0,10 m															X	X	X

Figur 39
Beregningstilfeller.

5.6 Parametervariasjoner

5.6.1 Isolasjonstykkelse

Det er allerede konkludert med i en studie gjort av SINTEF Byggforsk (Geving & Holme, 2010) at økt isolasjonstykkelse vil medføre lengre uttørkingstid av byggfukt, som igjen fører til økt risiko for muggvekst. Det er derfor i denne masteroppgaven lagt hovedvekt på

beregninger med isolasjonstykkelse på 400 mm, for å se på effekten av å endre andre parametere. Likevel er det utført noen få beregninger med en isolasjonstykkelse på 150 mm.

5.6.2 Klima

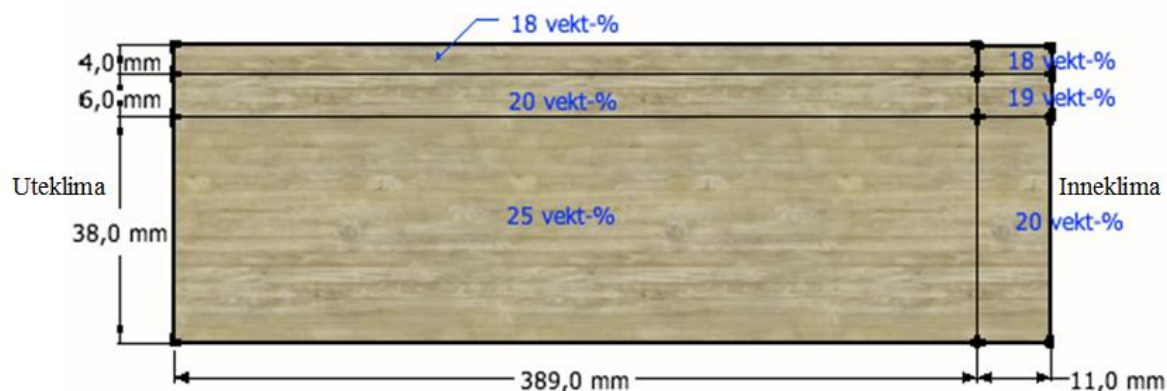
Såkalt Moisture Design Reference Years (MDRY) for Oslo er benyttet som standard uteklime. MDRY er timebaserte klimadata som skal representere en mer kritisk fuktbelastning enn det gjennomsnittlige klimaet. Det er i tillegg til Oslo, som ofte har et tørt og relativt kaldt innlandsklima med varme somre, sett på hvilken effekt andre klima har på kritisk fuktinnhold i bunnsviller. Det er valgt å gjøre beregninger med klimadata for Trondheim, Bergen og Karasjok. Både Trondheim og Bergen har et mildt og fuktig kystklima, men Trondheim har et noe kaldere klima enn Bergen. Karasjok er også undersøkt da tettstedet har et meget kaldt klima.

Innvendig klima er satt til å variere med det bestemte uteklime, henholdsvis Oslo, Trondheim, Bergen eller Karasjok. Temperaturen er satt til 20 °C, og fukttilskuddet til fuktklasse 2.

5.6.3 Startfuktinnhold

Det er utført beregninger med fire forskjellige startfuktinnhold, henholdsvis 30, 25, 20 og 18 vekt-%. I beregningene med startfuktinnhold på 18 og 20 vekt-%, er bunnsvillene simulert med samme fuktinnhold i hele bunnsvillen ved start beregning. Å starte beregninger med 25 eller 30 vekt-% jevnt i hele bunnsvillen, er noe urealistisk. Det er derfor utført preberegninger hvor bunnsvillen har et startfuktinnhold på 25 og 30 vekt-%. I preberegningene er det simulert at bunnsvillene tørker i to uker med kun vindsperre montert. Det vil si uten at isolasjon, dampspærre og innvendig kledning er montert. Dette muliggjør uttørring mot inneklime fra to sider av bunnsvillene. Bunnsvillene vil derfor være noe tørrere på overflatene mot inneklime ved lukking. I fuktberegningene er bunnsvillene delt inn i flere deler med forskjellig fuktinnhold for å etterligne fuktinnholdet bunnsvillene har etter to uker tørking. Se figur 40 for fuktinnhold i bunnsvillen etter to uker med tørking, der bunnsvillen hadde et startfuktinnhold på 25 vekt-%. Fuktinnholdet ved start beregning for øvrige bunnsviller er vist i bilag 1. Preberegningene er utført med et konstant inneklime på 10 °C og 60 % RF, Oslo som uteklime og start beregning 1. september.

Det er også utført samme preberegninger med et startfuktinnhold på 25 vekt-%, men hvor bunnsvillen har tørket i kun en uke. Simuleringene viser at bunnsvillen som har tørket i to uker har et generelt høyere fuktinnhold etter tørking enn bunnsvillen som har tørket i en uke. Dette kommer av at RF-nivåene i uteklime viser at RF er høyere ved utgangen av uke to enn ved utgangen av uke en, se bilag 2. Fuktinnholdet i bunnsvillen forsøker alltid å tilpasse seg RF i lufta.



Figur 40

Fuktinnhold i bunnsvill etter to uker med tørking, der bunnsvillen hadde et startfuktinnhold på 25 vekt-%. Veggelementet med denne bunnsvillen har 400 mm isolasjon.

5.6.4 Start beregning

Det er valgt å sette 1. september som standard inngangsparameter for start beregning. 1. september er ansett å være kritisk med tanke på muggvekst, grunnet forholdsvis mildt klima. I tillegg er det større mengder nedbør, og mer soppsporer i luften på høsten. Det er også utført parameterstudier der beregningsstart er satt til 1. juni og 1. januar, for å undersøke effekten av uttørking i både høst-, sommer- og vintermåned. Beregningene er kjørt i 12 uker, da det i tidligere forskning (Geving & Holme, 2010) viser at fuktinnholdet i bunnsvillene vil tørke ned til under kritisk grense for fuktinnhold innenfor denne tiden.

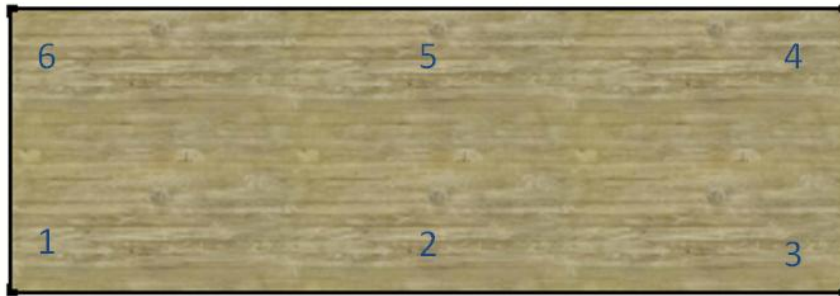
5.6.5 Vindsperre

Som standard, er beregningene utført med trefiberplate med en S_d -verdi på 0,23 m. En S_d -verdi på 0,23 m, tilsier at vindsperren har samme motstand mot vanndampdiffusjon som et 0,23 m tykt lag med stillestående luft. Dette blir ansett som en relativ damptett vindsperre, noe som typisk er en asfaltimpregnert trefiberplate. Det er også utført noen beregninger med en middels tett vindsperre i form av en gipsplate med en S_d -verdi på 0,10 m. Effekten av en dampåpen vindsperre er ikke undersøkt, da dette allerede er studert i prosjektoppgaven av Gaare og Løtveit.

5.7 Resultater og vurderinger

Fra WUFI kan det hentes ut ulike resultater fra beregningene. For de utførte beregningene er det interessant å hente ut verdier for RF og temperatur i seks forskjellige punkter i bunnsvillen, se figur 41. Slik inkluderer en store deler av bunnsvillens overflate. Alle resultatene er hentet fra de samme seks punktene for samtlige beregningstilfeller. Punktene er plassert samme sted i bunnsvillen nært overflaten, da det er på overflaten muggvekst kan forekomme. Det er i hovedsak RF og temperatur som er interessant å betrakte, da disse verdiene inngår i muggvekstmodeller.

I de forskjellige beregningstilfellene er det sett på hvordan temperaturen og RF-nivåene endrer seg i de forskjellige punktene i bunnsvillen, for å finne punktet som gir de mest kritiske verdiene med tanke på muggvekstrisiko.

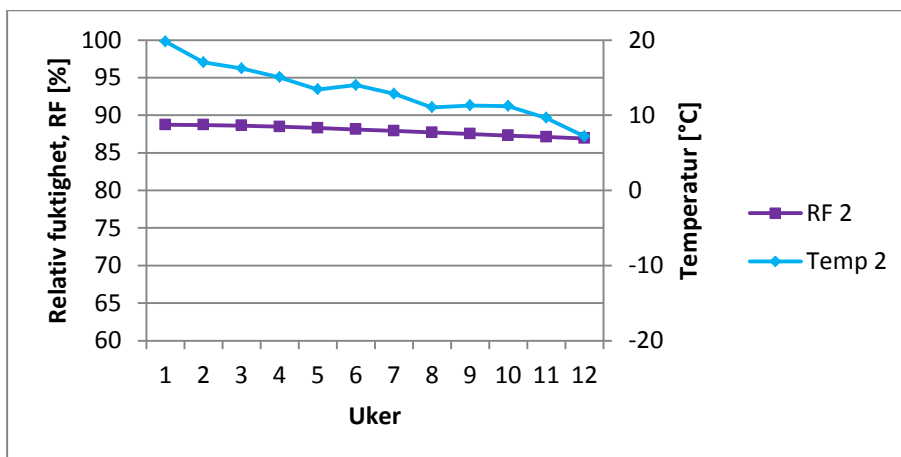


Figur 41

Plassering av målepunktene i bunnsvillen. Punkt nr. 1 og 6 er mot vindspærren, mens punkt nr. 3 og 4 er mot dampspærren.

For punkt nr. 1, viser resultatene at med startfuktinnhold på 18 og 20 vekt-%, vil fuktinnholdet i bunnsvillene alltid ligge under kritisk grense for muggvekst på 80 % RF. Ellers vil fuktinnholdet for noen av beregningstilfellene, med startfuktinnhold på 25 og 30 vekt-%, ligge over kritisk grense i noen uker, mens en del ligger over grensen gjennom hele beregningsperioden på 12 uker. I enkelte av beregningstilfellene, hvor uttørkingsforløpet ligger over 80 % RF, vil temperaturen i perioder være under 0 °C, og det vil da ikke være risiko for muggvekst.

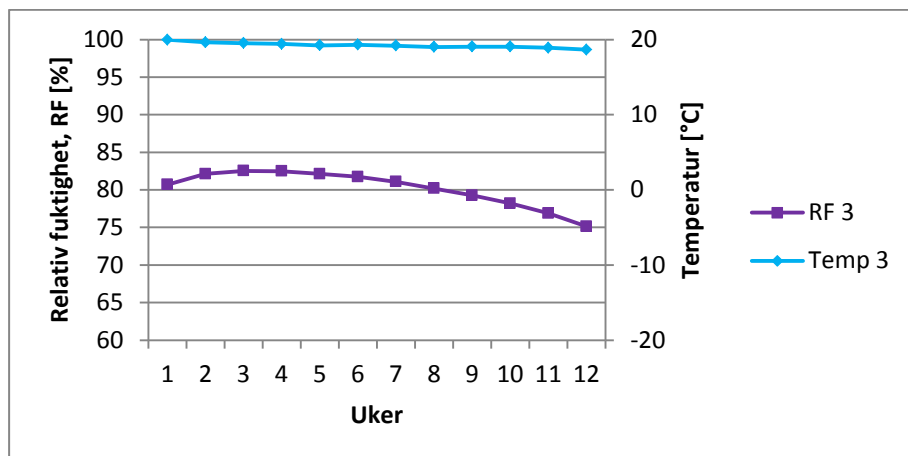
I punkt nr. 2 ligger RF-verdiene for nesten samtlige beregningstilfeller over kritisk grense på 80 % RF de 12 første ukene av uttørkingsperioden. Resultatene viser at uttørkingen går meget langsomt, se figur 42. Punktet ligger forholdsvis midt i konstruksjonen, og vil alltid ha temperaturforhold som er gunstig for muggvekst. RF-nivåene i beregningstilfellene med et startfuktinnhold på 18 vekt-% vil imidlertid aldri ligge over kritisk grense.



Figur 42

RF og temperatur i bunnsvillen. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.

Resultatene fra punkt nr. 3, viser at fuktinnholdet for noen få beregningstilfeller ligger over kritisk grense gjennom hele beregningsperioden. I beregningstilfellene med lave startfuktinnhold, ligger RF under 80 % de 12 første ukene. De fleste beregningstilfellene viser derimot at uttørkingen ned til under 80 % RF tar fra 5 - 9 uker. Punkt nr. 3 ligger mot damprette sjikt på to sider, noe som gir liten fukttransport. Dette er trolig grunnen til at uttørkingen av bunnsvillen går langsomt, se figur 43.



Figur 43

RF og temperatur i bunnsvillen. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 3 i bunnsvillen.

For punkt nr. 4, viser resultatene for beregningstilfellene generelt at bunnsvillene i dette punktet tørker fort, og at fuktinnholdet aldri vil ligge over kritisk grense. I punkt nr. 5 vil fuktinnholdet i de fleste beregningstilfellene ligge under kritisk grense. I noen tilfeller vil fuktinnholdet ligge over 80 % RF en liten periode før det tørker ut. Punkt nr. 4 og 5 ligger på overflaten mot isolasjonssjiktet, og bunnsvillen har derfor bedre uttørkingsmuligheter i disse punktene enn i punktene som ligger mot dampsperre. Dessuten har bunnsvillene med et startfuktinnhold på 25 eller 30 vekt-% et lavere fuktinnhold på overflaten mot isolasjonssjiktet, grunnet tørking før start beregning.

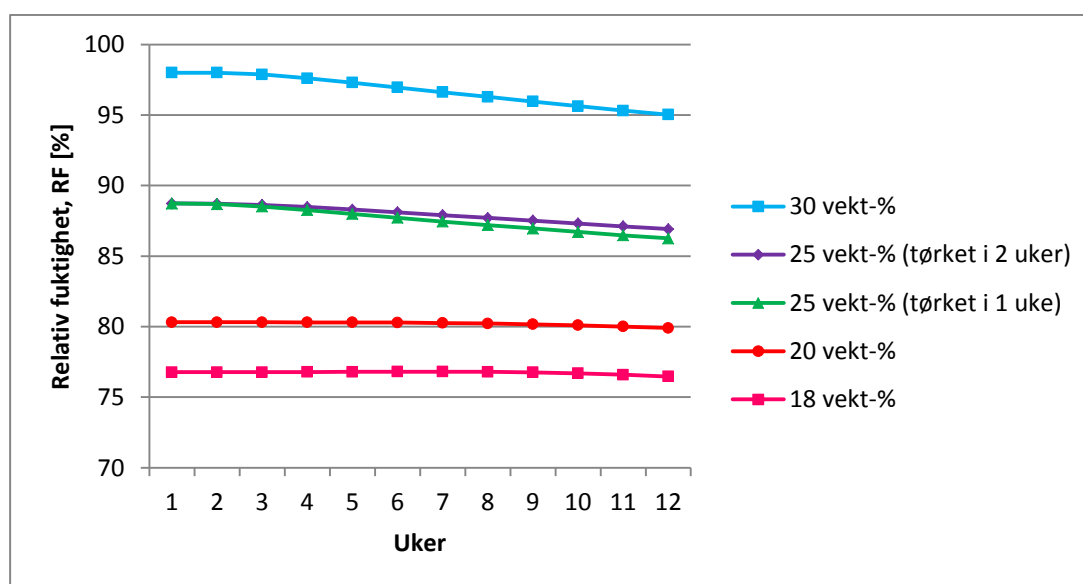
Fuktinnholdet i bunnsvillene i punkt nr. 6 tørker generelt raskt ut i begynnelsen, for så å stige i resten av beregningsperioden. Grunnen til dette er trolig vindsperrens evne til å ta opp fukt, for så å avgi fukt ved et senere tidspunkt. En annen årsak kan være at fukten i bunnsvillene tørker ut mot uteklime, og fukt fra andre steder i bunnsvillene «vandrer» forbi punkt nr. 6. I de fleste tilfellene ligger fuktinnholdet i bunnsvillene under 80 % RF i de 12 ukene beregningene er kjørt. For de tilfellene hvor fuktinnholdet ligger over kritisk grense i 12 uker, vil temperaturen i perioder være under 0 °C, og det vil derfor ikke være risiko for muggvekst.

Resultatene fra de forskjellige punktenes uttørkingsforløp, viser at punkt nr. 2 er det mest kritiske punktet med tanke på muggvekst. Punkt nr. 2 er derfor brukt i videre analyse av samtlige beregningstilfeller. Bunnsvillene i beregningstilfellene som hadde et startfuktinnhold på 25 vekt-%, før de fikk tørke i en eller to uker, har samme fuktinnhold i punkt nr. 2.

Det er likevel interessant å sammenligne uttørkingsforløpet for tilfellene med startfuktinnhold på 25 vekt-%, da bunnsvillene vil ha forskjellig fuktinnhold ved start beregning ytterst mot dampsperran og mot isolasjonssjiktet. Dette vil påvirke fuktfordelingen i bunnsvillan, og dermed uttørkingen.

5.7.1 Uttørking av byggfukt ved ulike startfuktinnhold med utgangspunkt i standardverdier

Resultatene fra punkt nr. 2, viser at bunnsviller med høyere startfuktinnhold tørker noe raskere i starten, enn bunnsviller med lavere startfuktinnhold. Bunnsvillene med et startfuktinnhold på 30 vekt-%, som har tørket to uker før start beregning, tørker raskest sammenlignet med bunnsvillene med andre startfuktinnhold, se figur 44. Fuktinnholdet reduseres imidlertid med kun 3 - 4 % RF i løpet av beregningsperioden.



Figur 44
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillan.

Beregningene hvor bunnsvillene har et startfuktinnhold på 25 vekt-%, men som har tørket i en eller to uker før start beregning, har et nokså likt uttørkingsforløp. Etter ca. 5 - 6 uker tørker imidlertid bunnsvillene, som har tørket i en uke, noe raskere. Dette kan komme av at bunnsvillan som har tørket i en uke før start beregning, har et startfuktinnhold som er lavere på overflaten mot inneklimeet, enn den som har tørket i to uker.

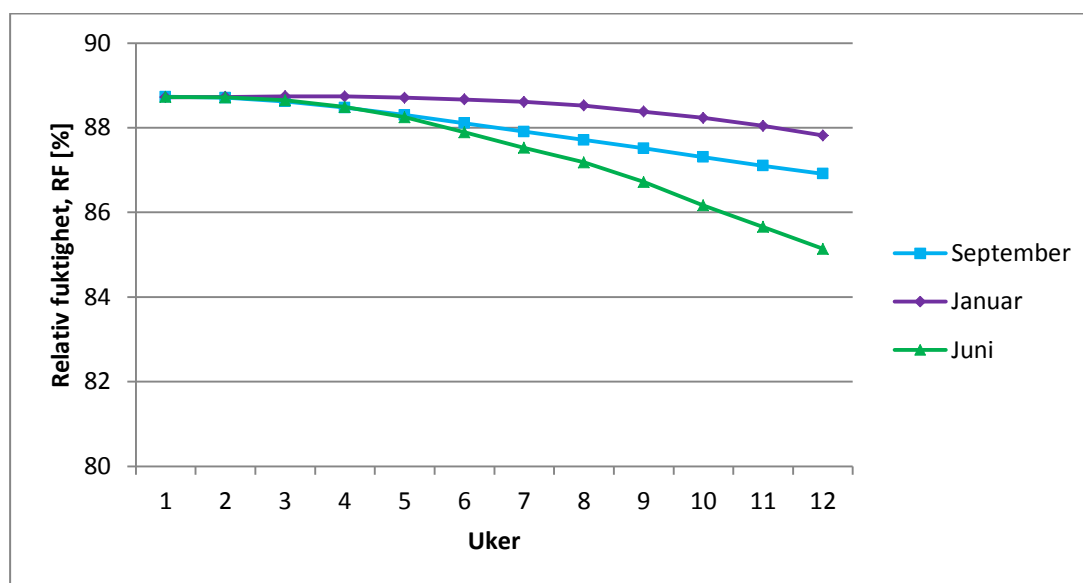
Beregningstilfellene med startfuktinnhold på 18 og 20 vekt-%, tørker nesten ikke i det hele tatt. Fuktinnholdet ligger nokså stabilt på ca. 77 og 80 % RF. Først etter ca. 8 - 9 uker starter bunnsvillene å tørke noe. Dette kommer av at det ses på punkt nr. 2 som ligger ved et plastfoliesjikt som hindrer uttørking. Resultatene viser at bunnsvillan vil tørke raskere i punkt nr. 3, 4 og 5. Se figur 41 for punktenes plassering i bunnsvillan.

5.7.2 Uttørking av byggfukt ved ulike startberegningstidspunkt

Alle beregningsresultatene er hentet fra punkt nr. 2. Resultater for uttørkingsforløpet ved beregningsstart 1. september og ulike startfuktinnhold, er vurdert i kapittel 5.7.1. Beregningsstart 1. januar gir omtrent samme uttørkingsforløp for de ulike startfuktinnholdene. Resultatene viser liten uttørking i løpet av de 12 første ukene. I beregningene med et startfuktinnhold på 25 vekt-%, hvor bunnsvillene enten har tørket i en eller to uker før beregningsstart, har bunnsvillene samme uttørkingsforløp de første seks ukene. Etter seks uker tørker bunnsvillene, som har tørket i en uke før beregningsstart, litt raskere.

Ved start beregning 1. juni går uttørkingen i bunnsvillene generelt raskere for alle beregningstilfellene med ulike startfuktinnhold, enn ved start beregning 1. september og 1. januar. I tilfellene med startfuktinnhold på 18 og 20 vekt-%, har bunnsvillene en nokså konstant RF-verdi frem til det er gått ti uker. Etter den tid begynner bunnsvillene å tørke. Se figur 3.1 og 3.2 i bilag 3 for grafer for startberegningstid 1. januar og 1. juni for forskjellige startfuktinnhold.

Figur 45 viser forskjellene i uttørkingsforløpet i bunnsvillene for beregningstilfellene med ulik startberegningstid, og med et startfuktinnhold på 25 vekt-% (tørket i to uker). Uttørkingen har samme forløp ved de ulike startberegningstidene de to første ukene. Etter to uker begynner bunnsvillene i tilfellene, hvor start beregning er satt til 1. september og 1. juni, å tørke. Først etter ca. 5 - 6 uker viser resultatene at bunnsvillene, i tilfellet hvor start beregning er satt til 1. januar, begynner å tørke. Fuktinnholdet i bunnsvillene ved start beregning 1. juni, vil tørke raskere enn ved start beregning 1. september og 1. januar. Det samme uttørkingsforløpet ses i bunnsviller med startfuktinnhold på 30 vekt-%.

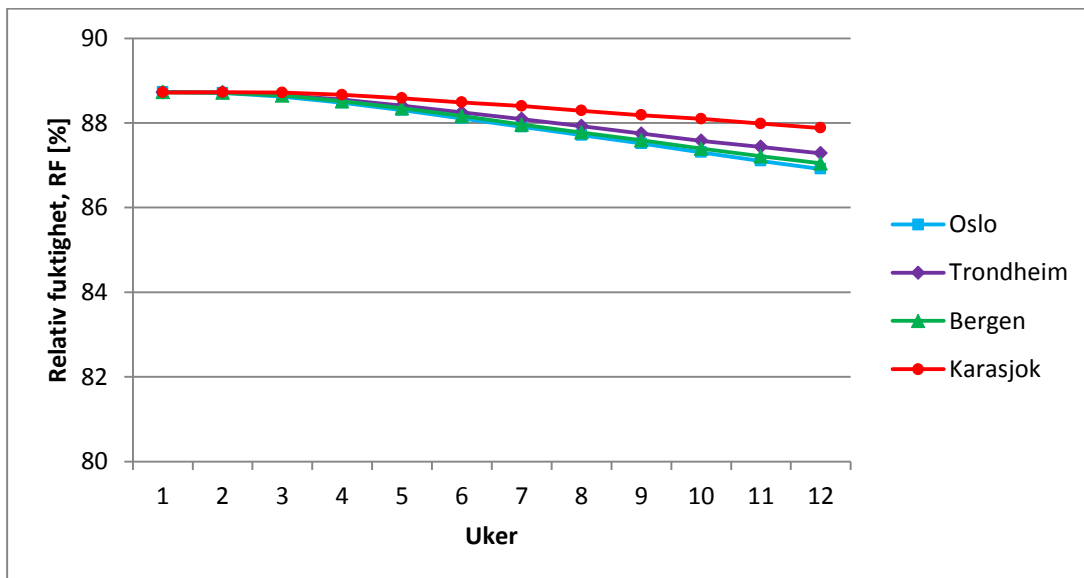


Figur 45
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt tidspunkt for start beregning. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

5.7.3 Uttørking av byggfukt ved forskjellige uteklima

Oslo som uteklima er presentert i avsnitt 5.7.1. Det samme uttørkingsforløpet i bunnsvillene for Oslo-klima, ser en også for Trondheim- og Bergen-klima. Se figur 3.3 og 3.4 i bilag 3 for uttørkingsforløp ved Trondheim- og Bergen-klima. Beregningene med Karasjok som uteklima viser at uttørkingen går senere enn for de andre klimaene, og bunnsvillene med de ulike startfuktinnholdene vil av den grunn ha en høyere RF i hele uttørkingsperioden, se figur 3.5 i bilag 3. Dette er trolig grunnet at Karasjok har det kaldeste uteklimaet, og har dermed de høyeste RF-nivåene i utelufta.

Dersom en sammenligner de ulike klimaene ved et startfuktinnhold på 25 vekt-% (tørket i to uker), ser en at uttørkingen går like fort de to første ukene uavhengig av type uteklima, se figur 46. Etter to uker går uttørkingen tregest med Karasjok-klima, mens uttørkingen vil i ytterligere sju uker være nokså lik for de øvrige klimaene. Bunnsvillene har tørket mest etter 12 uker ved Oslo- og Bergen-klima.



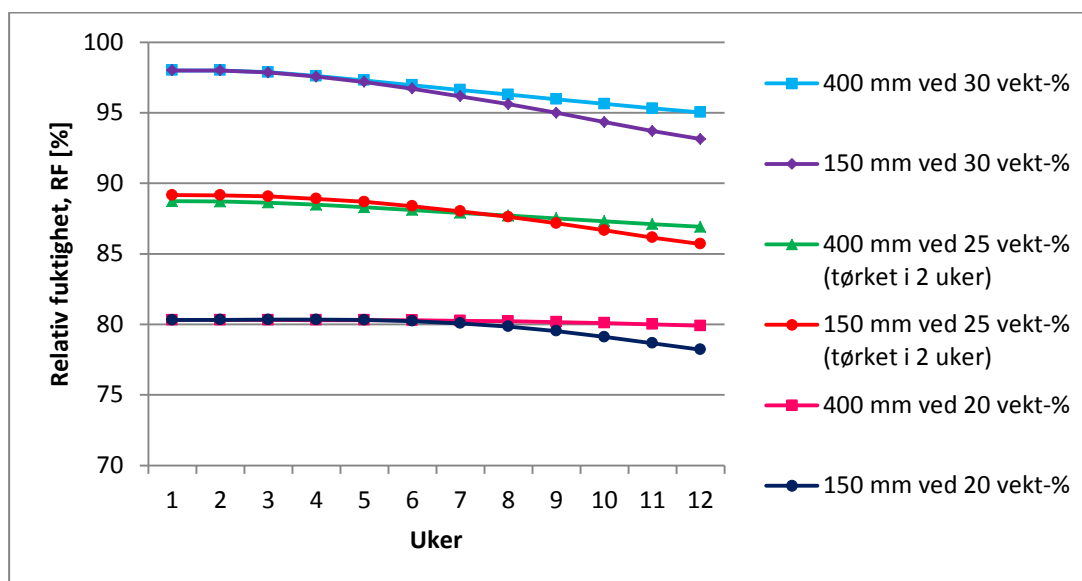
Figur 46
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt uteklima. Isolasjonstykkelse = 400 mm, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

I beregningene med et startfuktinnhold på 30 vekt-% forløper uttørkingen nokså likt som ved 25 vekt-% (tørket i to uker), se figur 3.6 i bilag 3. Ved et startfuktinnhold på 20 vekt-% er uttørkingen lik for alle klimaene, da den ligger jevnt på 80 % RF de første 12 ukene.

5.7.4 Uttørking av byggfukt ved forskjellige isolasjonstykkelser

Uttørking av byggfukt i punkt nr. 2 i bunnsvillene går generelt raskere for 150 mm isolasjon enn for 400 mm, for samtlige startfuktinnhold. Det er størst forskjell mellom 150 og 400 mm isolasjon ved startfuktinnhold 25 vekt-% (tørket i to uker), se figur 47. En isolasjonstykkelse på 150 mm gir en noe høyere RF de seks første ukene av uttørkingen, sammenlignet med 400 mm isolasjon. Etter seks uker gir en isolasjonstykkelse på 150 mm raskest uttørking. Hverken bunnsvillene med startfuktinnhold på 25 eller 30 vekt-%, for 150 og 400 mm isolasjon, tørker

ned til 80 % RF i løpet av de første 12 ukene. Dette gjelder kun for punkt nr. 2, da resultatene for punkt nr. 3, 4 og 5 viser at fuktinnholdet tørker ned til under 80 % RF.



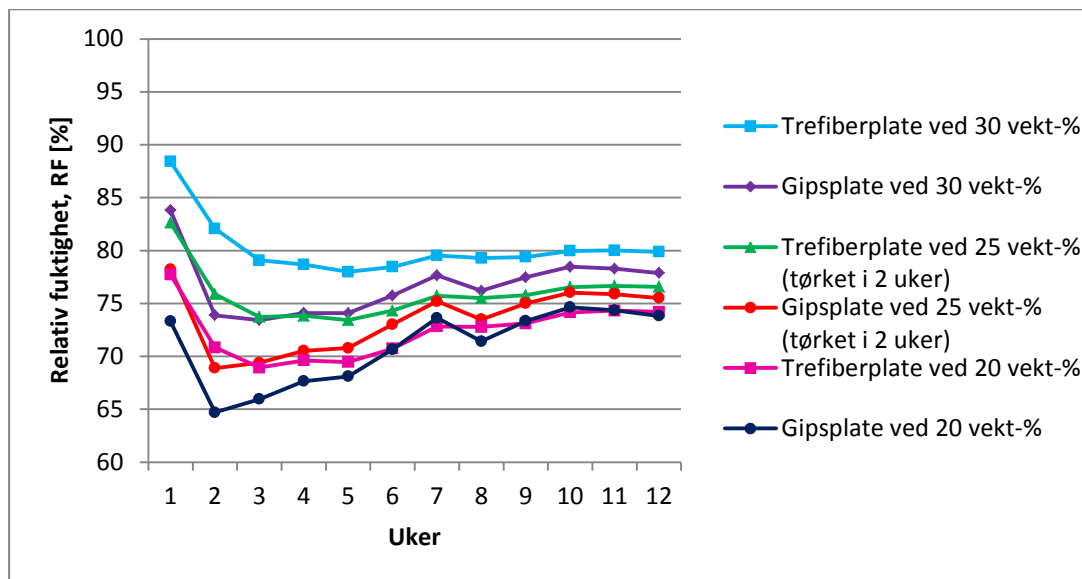
Figur 47
RF i bunnsvillene for beregninger med ulike isolasjonstykkelser ved ulike startfuktinnhold. Uteklimate = Oslo, start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

Resultatene for beregningene med startfuktinnhold på 20 og 30 vekt-% viser at bunnsvillene, med både isolasjonstykkelse 150 og 400 mm, har samme RF-verdi i begynnelsen av uttøringsperioden. Bunnsvillene har samme uttøringsforløp omtrent de fem første ukene. Derfra vil 150 mm isolasjon gi en noe hurtigere uttørking enn 400 mm. Det virker som uttørkingen, med en isolasjonstykkelse på 400 mm og et startfuktinnhold på 20 vekt-%, stabiliserer seg på ca. 80 % RF etter seks uker. Denne utviklingen skjer kun i punkt nr. 2, da fuktinnholdet i punkt nr. 4 og 5 tørker ned til under 80 % RF. Resultater fra andre punkter viser at uttørkingen går generelt raskere ved 150 mm isolasjon enn ved 400 mm.

5.7.5 Uttørking av byggfukt ved forskjellige typer vindspærre

Resultatene fra punkt nr. 2 viser at uttøringsforløpet i bunnsvillene, i beregningstilfellene med trefiberplate og i tilfellene med gipsplate, er ganske like. Dette er trolig grunnet at punkt nr. 2 ligger midt på bunnsvillan mot plastfolien, slik at treverket uansett har begrenset uttørking. Dersom en ser på punkt nr. 1, som ligger ved vindspærren, gir gipsplate en raskere uttørking, se figur 48. Dette gjelder for samtlige startfuktinnhold. Gipsplate har en lavere S_d -verdi enn trefiberplate, og er dermed mer dampåpen, noe som gir bedre uttørking mot uteklimate. Forskjellen mellom trefiberplate og gipsplate er størst tidlig i uttøringsforløpet. De første 1 - 2 ukene går uttørkingen raskt for samtlige bunnsviller. I denne perioden er RF-verdiene i uteklimate lave, se bilag 4. Etter fem uker vil fuktinnholdet i de fleste bunnsvillene øke. Dette kan komme av at RF i uteklimate ligger stabilt høyt i omtrent ti dager. Etter ca. åtte uker gir vindspærreproduktene, i beregningstilfellene med samme startfuktinnhold, omtrent

samme RF-nivå i bunnsvillene. RF-nivået stabiliserer seg på ca. 75 - 80 %. En mulig forklaring er at bunnsvillene har kommet i likevekt med RF i uteklime.

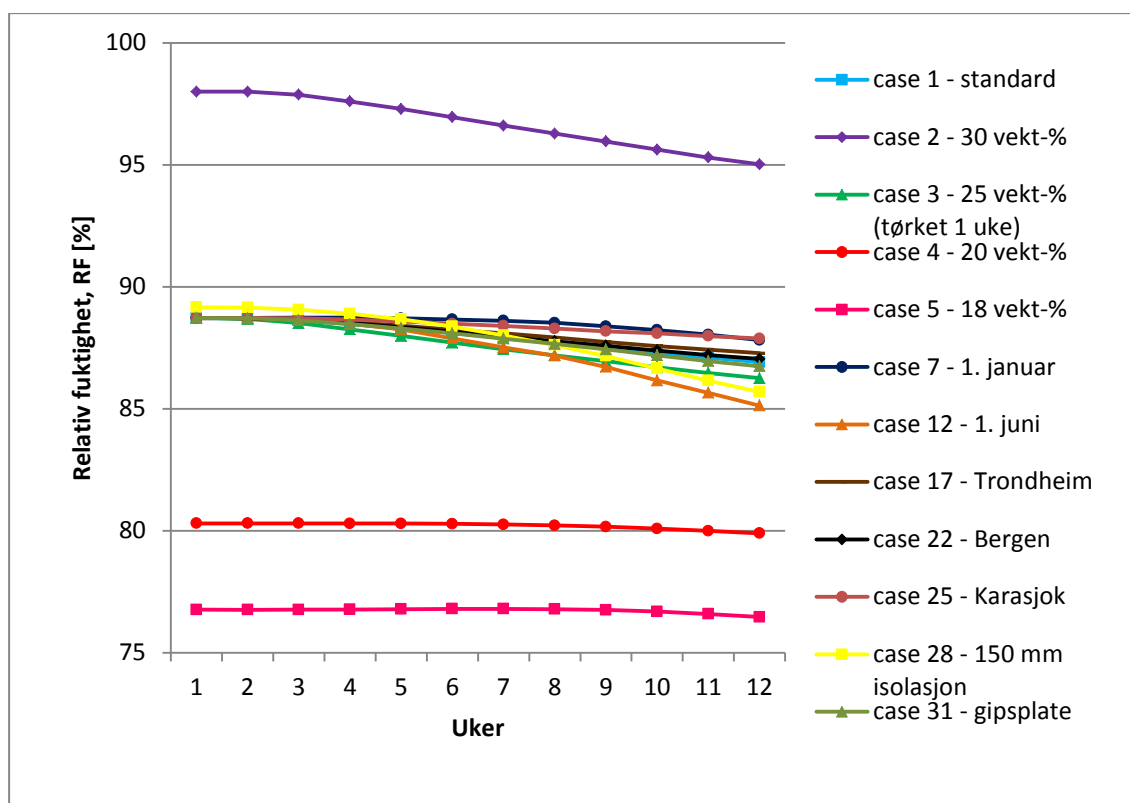


Figur 48

RF i bunnsvillene for beregninger med ulike vindsperreprodukt ved ulike startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, start beregning = 1. september. Resultatene er hentet fra punkt nr. 1 i bunnsvillene.

5.7.6 Sammenligning mellom ulike inngangsparametere

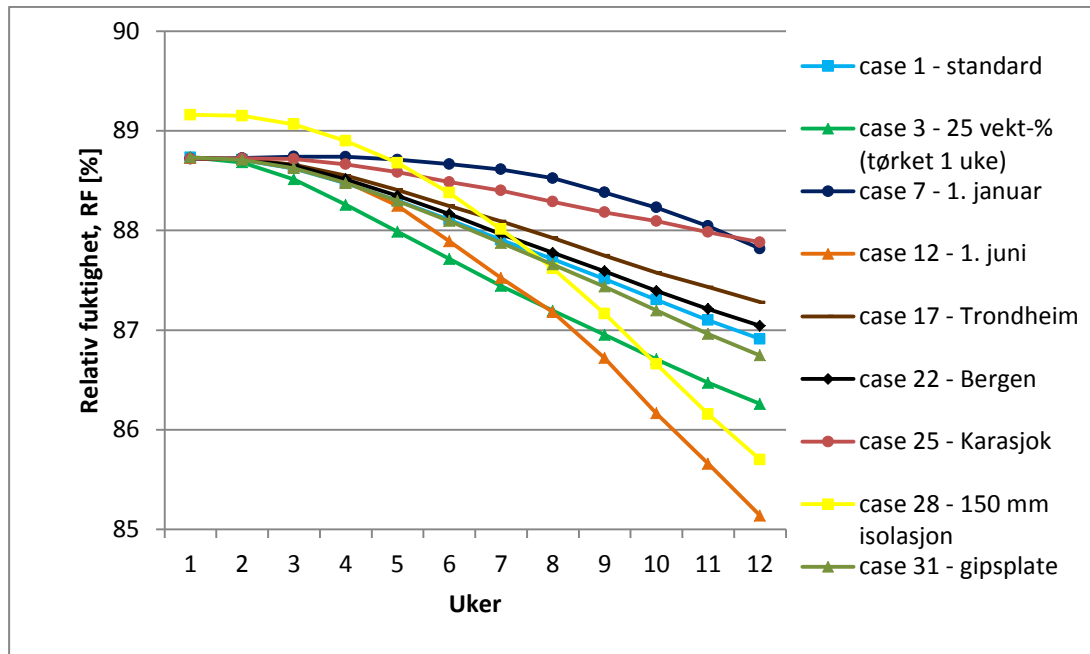
En annen måte å vurdere resultatene på, er å sammenligne betydningen av å endre standard inngangsparametere, uten å endre startfuktinnholdet på 25 vekt-% (tørket i to uker). Dette er også sammenlignet med beregningstilfellene med forskjellige startfuktinnhold, men hvor inngangsparametere ellers er standard, se figur 49. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2.



Figur 49

RF i bunnsvillene når startfuktinnholdet på 25 vekt-% (tørket i to uker) er sammenlignet med andre beregningstilfeller med ulike parameterforandringer. Parametervariasjoner er startfuktinnhold, start beregningstid, uteklime, isolasjonstykkelse og type vindsperreprodukt. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

Startfuktinnhold har størst betydning for RF-nivåene i bunnsvillene, men start beregning og isolasjonstykkelse har også stor betydning. Beregningstilfellene, hvor start beregning er 1. juni eller isolasjonstykkelsen er 150 mm, gir en bedre uttørking av bunnsvillene enn ved andre variable inngangsparametere, se figur 50. Dette forutsatt et startfuktinnhold på 25 vekt-% (tørket i to uker). Likevel tørker bunnsvillene ikke ned til under 80 % RF de første 12 ukene. Når beregningsstart er 1. januar eller uteklime er Karasjok, vil bunnsvillene tørke senest forutsatt et startfuktinnhold på 25 vekt-% (tørket i to uker). Dette kan komme av at det er kaldt i både Karasjok og i januar. Å endre vindsperreprodukt fra trefiberplate til gipsplate gir liten forskjell i uttørking. Uttørkingen er imidlertid noe bedre med gipsplate de første 12 ukene. Det presiseres her at resultatene er hentet fra punkt nr. 2, hvor type vindsperreprodukt ikke har like stor innvirkning på uttørkingen.



Figur 50

RF i bunnsvillene når startfuktinnholdet på 25 vekt-% (tørket i to uker) er sammenlignet med andre beregningstilfeller med ulike parameterforandringer. Parametervariasjoner er startfuktinnhold, start beregningstid, uteklime, isolasjonstykkelse og type vindsperreprodukt. Figuren er den samme som figur 49, men i forstørret RF-skala for å tydeliggjøre forskjellene i uttørkingsforløpet. Case nr. 2, 4 og 5 er utelukket grunnet verdiene på RF-skalaen. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

5.8 Muggvekstanalyse

For å vurdere muggvekstrisikoen i de ulike bunnsvillene, er det tatt hensyn til temperatur og RF i punkt nr. 2 i samtlige beregningstilfeller, samt varigheten av disse verdiene. Punkt nr. 2 er valgt da dette er det punktet i bunnsvillene med dårligst uttørking, se avsnitt 5.7. Temperatur- og RF-resultatene i hvert beregningstilfelle er sammenlignet med de såkalte varighetskurvene fra m-modellen nevnt i avsnitt 3.3.4. m-modellen er ikke benyttet i muggvekstanalysen, da en trenger tilgang til dataverktøyet. Det er derimot tatt i bruk varighetskurvene som benyttes i m-modellen.

Hver varighetskurve representerer kritisk fukttilstand for treverk for en bestemt tidsperiode, avhengig av temperatur og RF. Dersom den oppståtte situasjonen overskrider den tilhørende varighetskurven, er muggvekstrisikoen teoretisk 100 % (Togerö et al., 2011). Analysemodellen som er benyttet i denne masteroppgaven tar ikke hensyn til tørrperioder. Det er derfor ikke helt korrekt å si at muggvekstrisikoen teoretisk er 100 %, for beregningsresultatene.

For å kunne sammenligne resultatene fra fuktberegningene med varighetskurvene fra m-modellen, ble det regnet ut såkalt glidende gjennomsnittsverdier for temperatur og RF for hvert beregningstilfelle. Glidende gjennomsnitt ble funnet ved først å regne ut døgn gjennomsnitt for temperatur og RF fra timesverdier. Deretter ble gjennomsnittet til en og to uker beregnet ut fra døgn gjennomsnitt, mens gjennomsnittet for fire og åtte uker ble regnet

ut fra ukegjennomsnitt. Glidende gjennomsnitt ble så funnet for hver av disse tidsperiodene. Eksempelvis ble det glidende gjennomsnittet for en uke funnet ved å regne gjennomsnittet av de sju første døgnene, deretter de sju døgnene fra og med døgn to osv., se figur 51. Slik forsetter en å «gli» gjennom døgngjennomsnittene, helt til gjennomsnittet til de sju siste døgnverdiene er beregnet.

	Døgn	RF [%]	Uke	Glidende gjennomsnitt for 1 uke RF [%]
Gjennomsnitt	1	90	1	86,6 (gjennomsnitt av døgn 1-7)
	2	89	2	85,6 (gjennomsnitt av døgn 2-8)
	3	87	3	84,6 (gjennomsnitt av døgn 3-9)
	4	87		
	5	85		
	6	84		
	7	84		
	8	83		
	9	82		

Figur 51
Eksempel på beregning av glidende gjennomsnitt.

Gjennomsnittsverdiene ble plottet i et diagram med tilhørende varighetskurve, for å vurdere om den oppståtte situasjonen overskrider varighetskurven, og om muggvekst oppstår. Glidende gjennomsnitt ble foretatt for å få med flest mulige kombinasjoner av temperatur- og RF-verdier over tid, slik at en inkluderer små variasjoner på timesbasis. Et sammendrag av sammenligningen mellom beregningsresultatene og varighetskurvene er vist i tabell 11.

Tabell 11

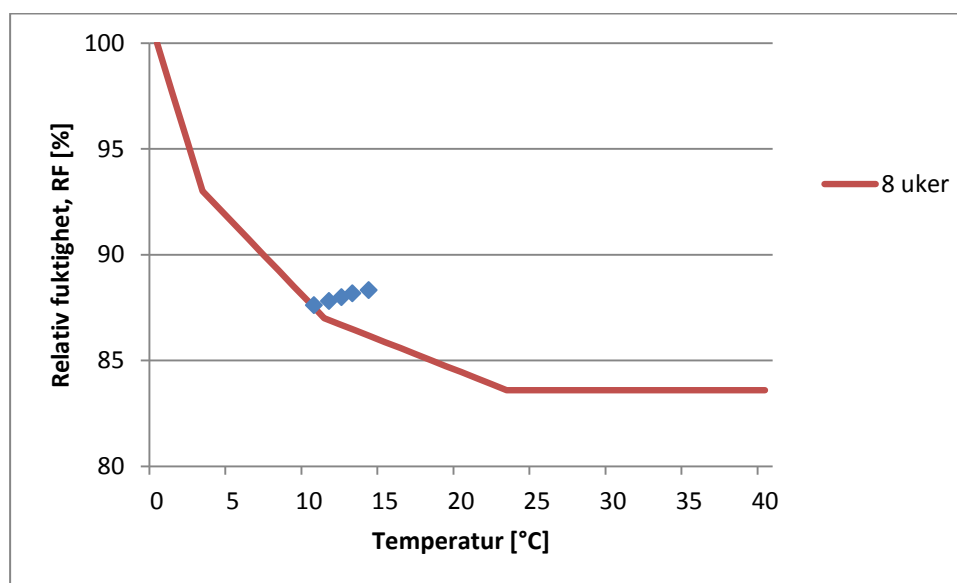
Oversikt over hvilken varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold som gir muggvekst i de forskjellige beregningstilfellene. Det er tilstrekkelig at det er muggvekst i ett tidspunkt.

Case	Forskjell fra standardtilfelle	Muggvekst etter				
		24 timer	1 uke	2 uker	4 uker	8 uker
1	Standard	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
2	30 vekt-%	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja
3	25 vekt-% (tørket 1 uke)	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
4	20 vekt-%	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
5	18 vekt-%	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
6	30 vekt-% og 1. januar	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja
7	1. januar	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
8	25 vekt-% (tørket 1 uke) og 1. januar	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
9	20 vekt-% og 1. januar	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
10	18 vekt-% og 1. januar	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
11	30 vekt-% og 1. juni	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja
12	1. juni	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
13	25 vekt-% (tørket 1 uke) og 1. juni	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
14	20 vekt-% og 1. juni	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
15	18 vekt-% og 1. juni	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
16	30 vekt-% og Trondheim	Nei	Nei	Nei (grenseland)	Ja	Ja
17	Trondheim	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
18	25 vekt-% (tørket 1 uke) og Trondheim	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
19	20 vekt-% og Trondheim	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
20	18 vekt-% og Trondheim	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
21	30 vekt-% og Bergen	Nei	Nei	Nei (grenseland)	Ja	Ja
22	Bergen	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
23	20 vekt-% og Bergen	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
24	30 vekt-% og Karasjok	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja
25	Karasjok	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei (i grenseland)
26	20 vekt-% og Karasjok	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei

27	30 vekt-% og 150 mm isolasjon	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja
28	150 mm isolasjon	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
29	20 vekt-% og 150 mm isolasjon	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
30	30 vekt-% og gipsplate	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja
31	Gipsplate	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
32	20 vekt-% og gipsplate	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei

5.8.1 Muggvekstrisiko på bunnsviller med ulike startfuktinnhold med utgangspunkt i standardverdier

Som en kan se fra tabell 11, oppstår muggvekst kun i beregningstilfellene som har et fuktinnhold på 30 og 25 vekt-% (tørket i en eller to uker), og ellers standard inngangsparametere. Muggvekst oppstår etter kun to uker med gunstige temperatur- og RF-forhold for bunnsvillen med et startfuktinnhold på 30 vekt-%. Ved et startfuktinnhold på 25 vekt-% (tørket i to uker) oppstår muggvekst etter åtte uker, se figur 52. I bunnsvillene med startfuktinnhold på 18 og 20 vekt-%, er det altså ikke fare for muggvekst. Se figur 5.1 - 5.4 i bilag 5 for muggvekstanalyse for standardtilfellet ved andre varigheteskurver.

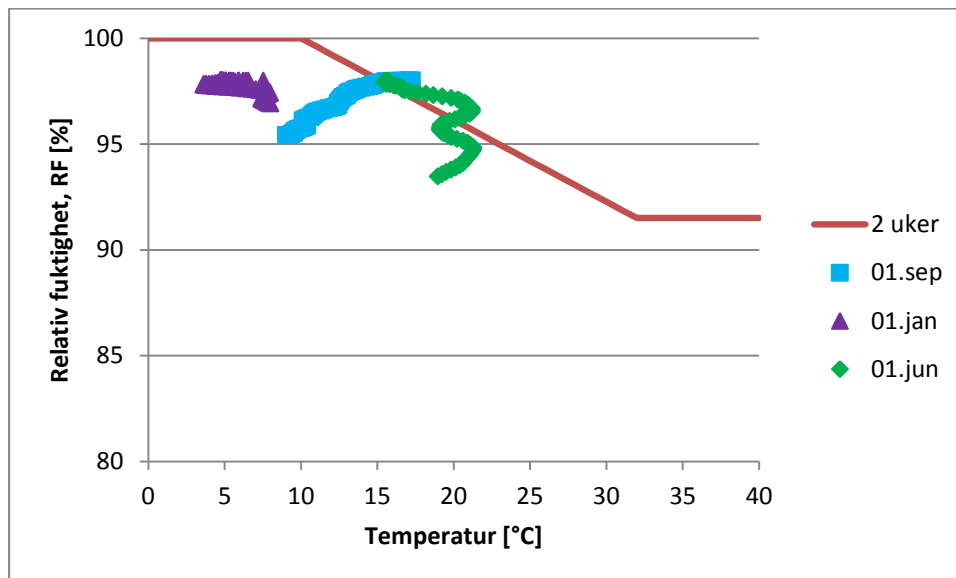


Figur 52

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillen i forhold til en varighetsskurve for åtte uker. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklimate = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.

5.8.2 Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike startberegningstidspunkt

Hvilket startberegningstidspunkt som velges, virker å ha en del betydning for når muggvekst oppstår, se figur 53. Ved start beregning 1. juni, viser resultatene at det oppstår muggvekst etter to ukers varighet av gunstige temperatur- og RF-verdier, ved et startfuktinnhold på 30 vekt-%. Dette gjelder også for start beregning 1. september. Det er imidlertid flere tidsperioder som gir muggvekst ved start beregning 1. juni enn 1. september. Start beregning 1.juni er derfor mer kritisk med tanke på muggvekst enn start beregning 1. september. For tilfellene med start beregning 1. januar oppstår muggvekst først etter fire uker. Ved beregningsstart 1. juni vil uttørkingen de første 12 ukene, foregå i sommermånedene med høye temperaturer. Dette fører til en større risiko for muggvekst. I januar er temperaturen generelt lav, noe som fører til mindre muggvekstrisiko. Det oppstår ikke muggvekst i tilfellene med startfuktinnhold på 25 vekt-% når start beregning er 1. januar. Ved startfuktinnhold på 30 vekt-% og beregningsstart 1. januar, oppstår det likevel muggvekst etter fire uker. RF-verdiene er nokså like uansett start beregningstidspunkt, og temperaturen er derfor utslagsgivende.



Figur 53

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillene i forhold til en varighetskurve for to uker ved ulike startberegningstidspunkt. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 30 vekt-%, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

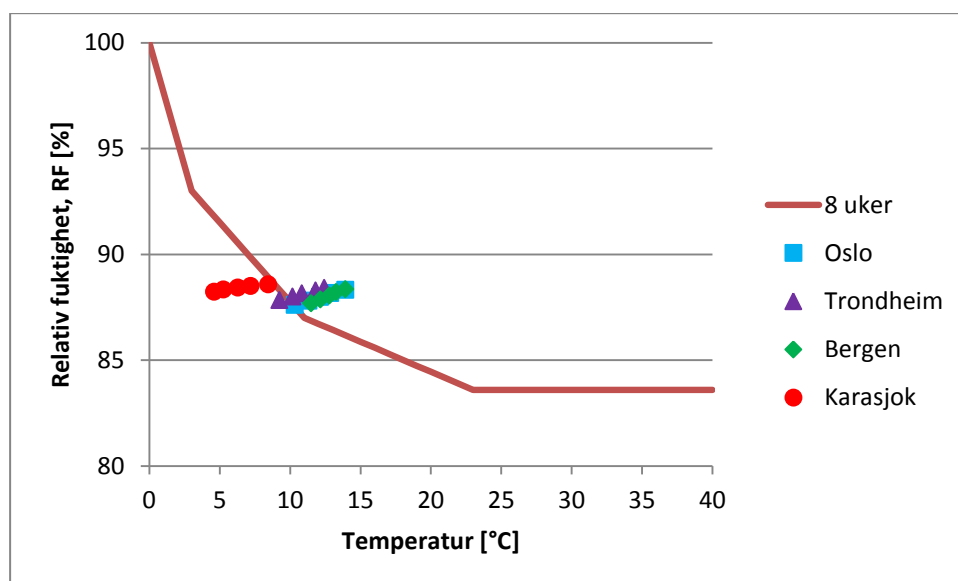
Med 1. juni som start beregningstid viser resultatene fra fuktberegningene at det er større spredning i RF-verdier for de ulike tilfellene, enn ved start beregning 1. september og 1. januar. I begynnelsen av uttørkingen er RF-verdien imidlertid nokså konstant for juni og januar. Temperaturen er også nokså lik for start beregning 1. juni, mens temperaturen for start 1. januar varierer mer, og for 1. september varierer temperaturen mest. Ved start beregning 1. september er det tydelig at det i starten av uttørkingen er høyest RF og temperatur, og at verdiene etter hvert blir redusert. Denne utviklingen er ikke like tydelig for juni, og særlig

ikke januar. Det er større spredning på punktene, med tanke på RF, ved start beregning 1. juni fordi bunnsvillene her har den raskeste uttørkingstiden.

5.8.3 Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike uteklima

Muggvekstrisikoen avhenger av hvilket uteklima som er benyttet i beregningene, se figur 54. Ved et startfuktinnhold på 25 og 30 vekt-% og Oslo-klima, oppstår muggvekst etter henholdsvis åtte og to uker med gunstige temperatur- og RF-forhold. Med Karasjok-klima, vil det imidlertid ikke oppstå muggvekst med et startfuktinnhold på 25 vekt-%, grunnet kaldt klima. Det vil derimot ved et startfuktinnhold på 30 vekt-% og Karasjok-klima oppstå muggvekst etter fire uker.

Trondheim- og Bergen-klima gir omtrent samme utslag for når muggvekst oppstår som Oslo-klima. I tilfellene med Bergen-klima og startfuktinnhold på 25 vekt-%, er det imidlertid flere av punktene som overskrider varighetskurven for åtte uker. Med et fuktinnhold på 30 vekt-%, vil det oppstå muggvekst ved varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold i to uker for Oslo-klima. Trondheim- og Bergen-klima er i grenseland, mens med Karasjok-klima må det være en varighet av gunstige forhold i minst fire uker for at muggvekst skal oppstå. Beregningstilfellene med ulikt uteklima har ganske like RF-verdier, mens temperaturen varierer mer. Som for start beregning, vil også temperaturen her være utslagsgivende for muggvekstdannelse.



Figur 54

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillene i forhold til en varighetskurve for åtte uker ved ulike uteklima. Isolasjonstykkelse = 400 mm, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

5.8.4 Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike isolasjonstykkelser

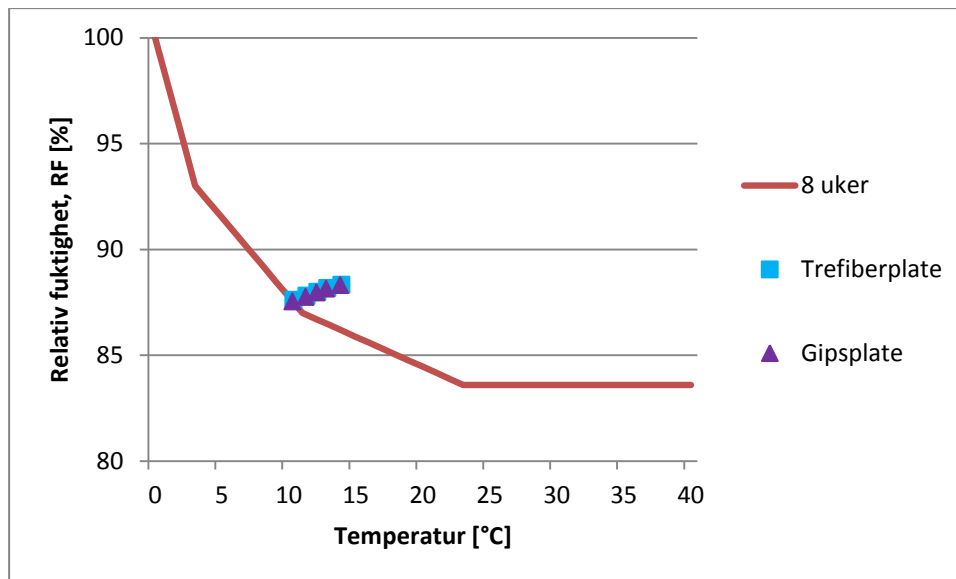
Resultatene viser at innvirkning av isolasjonstykkelse er ubetydelig, med tanke på muggvekstrisiko. Dette fordi det oppstår muggvekst etter like lang tid med gunstige temperatur- og RF-forhold, for både 150 og 400 mm isolasjon. Årsaken til dette er at

resultatene er hentet fra punkt nr. 2, som uansett gir liten uttørking av fuktinnhold. Dersom en ser på punkt nr. 3, som ligger nederst mot dampspærren, ser en at 150 mm isolasjon og et startfuktinnhold på 30 vekt-% gir muggvekst etter fire uker. For 400 mm isolasjon og et startfuktinnhold på 30 vekt-%, oppstår muggvekst akkurat ikke ved en varighet på fire uker, se figur 5.5 i bilag 5. Etter åtte uker er det muggvekstrisiko for begge isolasjonstykkelsene ved et startfuktinnhold på 30 vekt-%. Av muggvekstanalysen ser en at dette kommer av en høyere temperatur i bunnsvillen ved 150 mm isolasjon. Dessuten er RF-verdiene stabilt høyere for 150 mm isolasjon. For både beregningstilfellet med isolasjonstykkelse på 150 mm og 400 mm, der startfuktinnholdet er 30 vekt-%, oppstår muggvekst etter varighet av gunstige forhold i to uker. Ved et startfuktinnhold på 25 vekt-% oppstår muggvekst etter åtte uker ved begge isolasjonstykkelser.

5.8.5 Muggvekstrisiko på bunnsviller ved ulike vindspærreprodukt

Muggvekstanalysen viser samme muggvekstforhold for gipsplate som for trefiberplate i punkt nr. 2 i bunnsvillen. En mulig forklaring er at treverket i punkt nr. 2 uansett er hindret uttørking, siden punktet ligger midt på bunnsvillen mot plastfolie. Det blir ved bruk av begge vindspærreproduktene, og startfuktinnhold på 30 vekt-%, muggvekst ved en varighet av gunstig temperatur og RF i to uker. Ved startfuktinnhold på 25 vekt-%, tar det åtte uker før muggvekst oppstår, se figur 55.

Resultatene for punkt nr. 1, som ligger nederst mot uteklime, viser at det ikke vil vokse muggsopp etter åtte uker ved bruk av hverken gips- eller trefiberplate, og ved et startfuktinnhold på 30 vekt-%. Dette gjelder selv om gipsplaten gir en raskere uttørking enn trefiberplaten. En mulig årsak er at forskjellen mellom vindspærreproduktene ses like ved vindspærren, og her er temperaturen så lav at det uansett ikke vil være muggvekstrisiko ved startfuktinnhold på 25 eller 30 vekt-%.



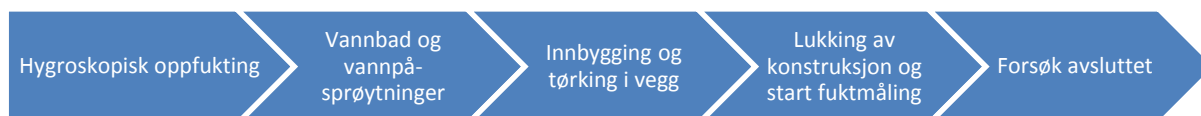
Figur 55

Resultater av temperatur og RF i punkt nr. 2 sammenlignet med varighetskurve for åtte uker ved ulike vindspærreprodukt. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

6. Laboratoriestudie – uttørking av bunnsviller i høyisolerte vegger

6.1 Innledning

Laboratorieforsøket ble gjennomført for delvis å etterligne et realistisk, men også kritisk tilfelle som kan oppstå på byggeplass. Det er valgt å utføre forsøk på enkle bunnsviller, da bunnsviller er de bygningsdelene som er mest utsatt for fuktpåvirkninger under bygging. Laboratorieforsøket etterligner ikke et ekstremt tilfelle, da bunnsvillene får tørke i fem dager før innbygging. Forsøket ble bygd opp som en bindingsverksvegg i hel takhøyde. Bindingsverksveggen bestod av fem ulike veggelementer, der både bunnsvill, toppsvill og stenderverk er av trevirke. I forkant av forsøket, ble bunnsvillene fuktet opp i ulik grad for å etterligne regnpåvirkning og/ eller fritt vann i form av dammer på gulv/ underlag. Forsøksveggen stod i et klimarom med konstant ute- og inneklimate. Veggelementene ble bygd i et rammeverk for å hindre at inne- og uteklimaet påvirker hverandre, og for å hindre intern påvirkning mellom veggelementene. Se figur 56 for prosessen i forsøket.



Figur 56
Rekkefølge på de ulike prosessene i laboratorieforsøket.

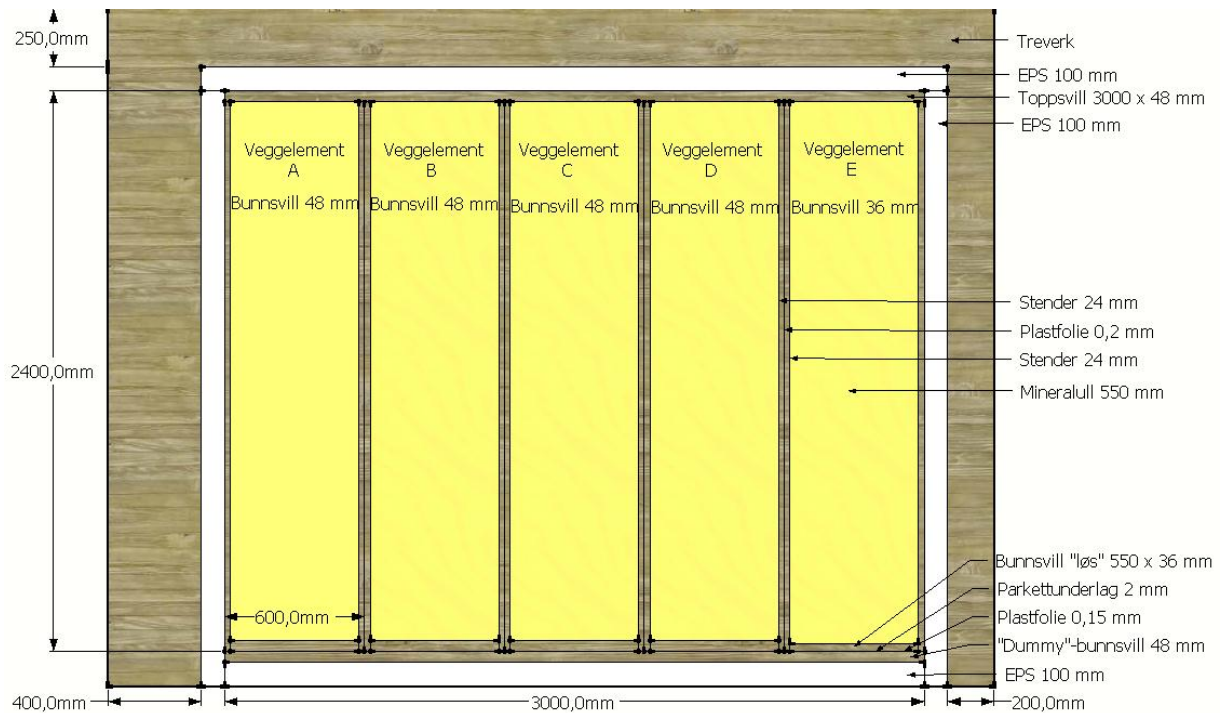
6.2 Hensikt

Hensikten med laboratoriestudien er å vurdere uttørkingsforløpet til oppfuktede bunnsviller i høyisolerte konstruksjoner, med tanke på muggvekstrisiko. Dette for å vurdere hvilke(t) kritiske fuktforhold i bunnsviller av tre som er akseptable ved lukking av høyisolerte bindingsverksvegger. Bunnsvillene ble testet med ulike startfuktinnhold, der fuktnivået varierte fra relativt høyt til hygroskopisk fuktnivå. Bunnsvillene ble bygd inn i en vegg med hel høyde. Slik kan en studere effekten av intern konveksjon, med mulig fuktfordeling til toppsvill. For å vurdere risikoen for muggvekst på bunnsvillene, ble det foretatt trefuktmålinger som ble benyttet i en muggvekstanalyse.

6.3 Konstruksjonsoppbygning

Forsøksveggen bestod av fem veggelementer. Rundt veggelementene stod det et rammeverk av tre som ble isolert med mineralull. Mellom rammeverket og veggelementene, ble det lagt et 100 mm tykt lag med EPS, se figur 57. Dette ble gjort for å gi reelle temperatur- og RF-forhold for topp- og bunnsviller, samt stenderer som grenser mot ute- og inneklimate. Hvert veggelement hadde c/c- avstand på 600 mm, og bestod av en trestender. For å få riktig treandel i hvert veggelement, ble stenderen delt på langs, slik at en halv stender (24 mm tykk) stod på hver side av isolasjonssjiktet. Stenderne ble adskilt med et 0,2 mm tykt lag med plastfolie for å hindre sideveis fukttransport.

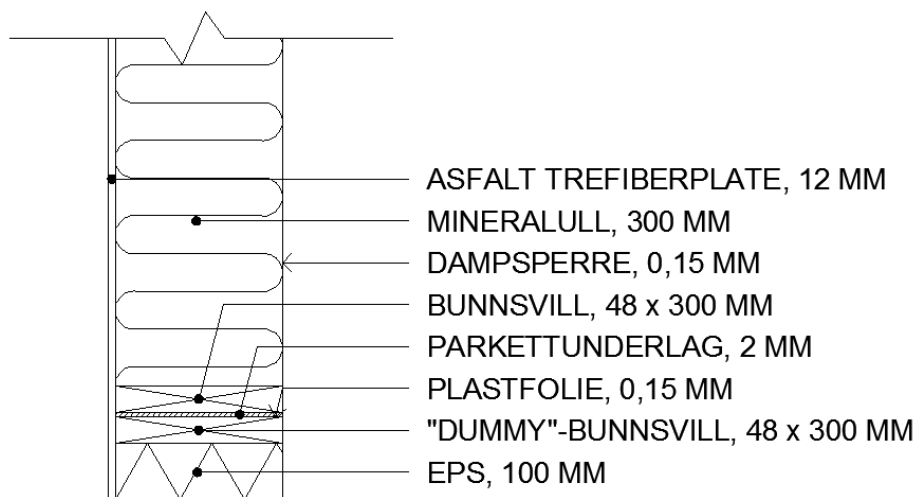
I bunn av rammeverket, ble det lagt et 100 mm tykt isolasjonssjikt (EPS) etterfulgt av en «Dummy»-bunnsvill. Deretter ble det plassert et lag med plastfolie, et parkettunderlag og deretter den løse bunnsvillen som ble fuktet opp. På undersiden av den løse bunnsvillen var det plassert skruer, benyttet som målepunkter for fuktinnhold. Siden disse stakk litt ut fra undersiden av bunnsvillen, ble parkettunderlaget benyttet for å «ta opp» skruene. Slik ble hulrom mellom den løse bunnsvillen og plastfolie forhindret.



Figur 57
Illustrasjon av forsøksveggen med rammeverk og de fem ulike veggelementene.

Ett veggelement bestod av følgende, regnet utenfra, se også figur 58:

- Vindspærre, asfaltimpregnert trefiberplate (S_d -verdi = 0,158 m)
- Mineralull, 300 mm
- Dampspærre, 0,15 mm PE-folie (S_d -verdi = 40 m)



Figur 58
Vertikalsnitt av veggelement A - D. Veggelement E har en 36 mm tykk bunnsvill.

Fire av elementene hadde altså lik oppbygning med en 48 mm tykk bunnsvill, mens et element hadde en noe tynnere bunnsvill på 36 mm. Det er valgt å bruke flest bunnsviller som er 48 mm tykk, fordi det er mest ugunstig, og derfor mest kritisk. I tillegg er det benyttet en bunnsvill på 36 mm, for å undersøke om den tørker raskere. K-bjelke ble benyttet i hele konstruksjonen for å få hel ved uten skjøter. Lengden på samtlige bunnsviller var 550 mm. Siden målepunktene på oversiden av bunnsvillen bygget ca. 10 mm over bunnsvilloverflaten, ble det lagt et 50 mm tykt lag med mineralull mot målepunktene. Slik sørger en for mest mulig lufttetting. Dampsperran ble teipet med Glava dampsperreteip der det var utettheter. Asfaltimpregnert trefiberplate er benyttet som vindsperre. Dette er en relativt damptett vindsperre som hindrer uttørking.

Høyden på veggelementene var 2,4 m regnet fra underkant av løs bunnsvill til overkant toppsvill, og 2,448 m fra underkant «Dummy»-bunnsvill til overkant toppsvill.

6.4 Forberedelser

6.4.1 Oppfukning i klimarom, montering av måleinstrument og forsegling av bunnsvillende

Bunnsviller, toppsviller og stenderverk av trevirke ble i forkant av forsøket hygroskopisk oppfuktet i et klimarom, med en RF på 84 % og temperatur på 30 °C, se figur 59. Treverket stod i klimarommet i fem uker, og hadde da oppnådd likevekt med omgivelsene. Bunnsvillene hadde da et fuktinnhold på ca. 17 - 18 vekt-%, som er det maksimale en oppnår ved ren hygroskopisk oppfukning. Toppsvillene og stenderverket hadde et fuktinnhold på ca. 15 - 16 vekt-%. Grunnen til at bunnsvillene fikk et høyere fuktinnhold, var at de var delt opp for å tilpasse veggelementene. I løpet av denne perioden ble det plassert måleinstrument for trefuktmålinger på bunnsvillene. Den ene svillenden ble forseglet med en vanntett smøremembran, siden treverk suger opp mest vann fra endeveden. Slik ble den forseglede enden et nøytralt område, og likt som resten av bunnsvillen. På den måten er det mulig å

etterlignende fuktforholdene som opptrer midt på bunnsviller i hel lengde. Smøremembranen var av merket VR-10 membran, og ble påført i to lag.



Figur 59
Hygroskopisk oppfuktning av bunnsviller, toppsviller og stenderverk i klimarom.

6.4.2 Simulering av vanddammer og regnpåvirkning

Tre av bunnsvillene ble, etter å ha blitt hygroskopisk oppfuktet, plassert i et 2 mm høyt vannbad og utsatt for to daglige vannpåsprøytninger, se tabell 12. En bunnsvill ble kun utsatt for to daglige vannpåsprøytninger. Den femte bunnsvillen ble kun oppfuktet hygroskopisk, og skulle derfor etterligne en bunnsvill som ikke kommer i direkte kontakt med vann. Denne bunnsvillen ble bygget inn med et startfuktnivå på 15 - 16 vekt-%. Grunnen til at bunnsvillen ikke oppnådde et høyere fuktinnhold (ca. 18 vekt-%) er noe uklart. En mulig forklaring kan være at bunnsvillen ble montert først i forsøksveggen, og at den derfor har tørket mens de andre bunnsvillene ble bygget inn. I tillegg ble bunnsvillene bygget inn før klimarommet ble innstilt til tørkeklima. Rommet hadde derfor i en periode en høyere temperatur enn tiltenkt. Fuktmålingene ble foretatt etter at alle bunnsvillene var bygget inn.

Tabell 12
Oversikt over de ulike vannpåvirkningene.

Bunnsvill	Dimensjon	Fuktnivå	Oppfukting
A	48 x 300 mm	1. Maksimalt	2 mm vannbad i 1 uke + 2 daglige vannpåsprøytninger + 5 dager tørking i vegg
B	48 x 300 mm	2. Høyt	2 mm vannbad i 3 dager + 2 daglige vannpåsprøytninger + 5 dager tørking i vegg
C	48 x 300 mm	3. Middels	2 daglige vannpåsprøytninger alle sider i 3 dager + 5 dager tørking i vegg
D	48 x 300 mm	4. Lavt	Hygroskopisk oppfukting*
E	36 x 300 mm	2. Høyt	2 mm vannbad i 3 dager + 2 daglige vannpåsprøytninger + 5 dager tørking i vegg

*Det maksimale en får til med ren hygroskopisk oppfukting er ca. 18 vekt-% (ca. 80 % RF).

Vannbadet skulle etterligne at bunnsvillene ble utsatt for stående fritt vann på gulvet, grunnet eksempelvis ujevnheter eller lokale fall på gulvet. Da bunnsvillene lå i vannbadet, ble karene dekket med plastfolie for å hindre at vannet fordampet, samt forhindre uttørking av bunnsvillene, se figur 60.



Figur 60
Bunnsvill i vannbad.

Vannpåsprøytingen ble utført med sprayflaske for å simulere regnpåvirkning. Sprayingen ble utført slik at en oppnådde en tynn vannfilm på treoverflaten, som skulle etterligne 0,3 mm regn, se tabell 13 for antall vannpåsprøytninger for hver bunnsvill. Disse oppfuktingene ble utført i kar som stod i romtemperatur. Stenderverk og toppsviller ble kun fuktet opp hygroskopisk, og ble deretter bygget inn i forsøksveggen uten noen annen form for vannpåvirkning.

Tabell 13

Utregning av antall vannpåsprøytninger på bunnsvillenes ulike overflater.

Størrelse overflate [mm]	Størrelse i [mm ³]	Vekt av vann [g]	Antall påsprøytninger [stk]*
Overside: 300 x 550 x 0,3	49 500	49,5	45
Kortende: 300 x 48 x 0,3	4 320	4,32	4
Kortende: 300 x 36 x 0,3	3 240	3,24	2
Langside: 550 x 48 x 0,3	7 920	7,92	7
Langside: 550 x 36 x 0,3	5 940	5,94	5

*Antall vannpåsprøytninger ble funnet ved å veie vanninnholdet i en kopp etter hver sprut med sprayflasken.

6.4.3 Innbygging av bunnsviller

Rammen rundt veggelementene ble på forhånd bygget opp i klimarommet der forsøket ble gjennomført. Det oppfuktede stenderverket og toppsvillene ble bygget inn ca. en uke før montering av de oppfuktede bunnsvillene. For at stenderverket og toppsvillene ikke skulle tørke ut før innbygging av bunnsvillene, ble temperatur og RF på den ene siden av forsøksveggen satt til henholdsvis 23 °C og 70 %. Den andre siden av forsøksveggen ble dekket med plast. Etter ca. en uke ble vindspærren og de oppfuktede bunnsvillene installert i forsøksveggen, se figur 61. Det ble da foretatt kontrollmålinger av fuktinnholdet i stenderverket i hvert veggelement, samt i to av toppsvillene med hammerelektrode. Målingene ble utført for å undersøke om treverket hadde tørket etter montering i forsøksveggen. I stenderverket ble det målt i to dybder på midten av lengderetningen; en måling på overflaten og en nesten inntil plastfolien. I toppsvillene ble det målt på midten i tre ulike dybder; en på overflaten, en midt i og en nesten gjennom. Det ble gjort en vurdering om en skulle utføre fuktpåvirkninger på stenderverket og toppsvillene, for å bevare det fuktinnholdet de i utgangspunktet hadde etter hygroskopisk oppfukting. Målingene viste derimot at dette ikke var nødvendig.

Bunnsvillene stod til tørking i forsøksveggen i fem dager for å etterligne en reell situasjon på byggeplass. Det er urealistisk å tro at bunnsviller, som i stor grad blir påvirket av nedbør på byggeplass, blir bygget inn uten å tørke noen dager først. Tørkeklima var 10 °C og 60 % RF på begge sider av veggen. Deretter ble isolasjon og dampspærre montert, og fuktmålingene startet, se figur 62.

For mer detaljert å kartlegge fuktprofilen til bunnsvillene, ble en 48 mm tykk parallell bunnsvill fuktet opp tilsvarende fuktnivå nr. 2 (høyt). Bunnsvillen lå derfor tre dager i vannbad med to daglige vannpåsprøytninger, etter hygroskopisk oppfukting. Den ble utsatt for samme tørkeklima, og tørket i fem dager slik som bunnsvillene som ble bygd inn i forsøksveggen. Under tørkeperioden stod den parallelle bunnsvillen på plastfolie. Bunnsvillen hadde da en asfaltimpregnert trefiberplate på den ene langsiden. Både før og etter tørking ble det foretatt en rekke målinger i bunnsvillen med en hammerelektrode. Det ble fortatt flere målinger både på over- og underside, samt på langsiden, enn i de allerede instrumenterte målepunktene på bunnsvillene i forsøksveggen. Det ble kun tatt målinger i en dybde, da bunnsvillene i forsøksveggen ble målt i ulike dybder. Se bilag 6 for tabell over resultatene av fuktmålingene i den parallelle bunnsvillen.



Figur 61
Montering av de oppfuktede bunnsvillene i forsøksveggen.



Figur 62
Forsøksveggen sett fra innvendig side etter isolasjon og dampsperre er montert.

6.5 Klima

I forsøket ble det benyttet ulike klima i de forskjellige fasene, se tabell 14.

Tabell 14

Oversikt over temperatur og RF i de ulike fasene i laboratorieforsøket.

Fase	Temperatur [°C]	RF [%]
Hygroskopisk oppfukting i klimarom	30	84
Vannpåvirkninger	Romtemperatur	Meget høy (opp mot 100)
Tørking i fem dager i forsøksvegg før lukking	10	60
Fuktmålinger i forsøksvegg etter lukking:		
- Uteklima	0	80
- Inneklima	23	60

Det er valgt en høy temperatur i inneklimaet, og en lav temperatur i uteklimaet, etter lukking av forsøksveggen. Dette for å studere effekten av konveksjon. Konveksjonen øker når temperaturforskjellen øker, og er størst når det er kaldest ute. Siden uteklimaet forestiller et høst-/vinterklima, vil inneklimaet ha en noe urealistisk høy RF. RF-verdien måtte være så høy grunnet et annet forsøk i samme klimarom. Fukttilskuddet i inneklimaet var ca. $8,4 \text{ g/m}^3$, se bilag 7 for utregning. I bolighus ligger fukttilskuddet vanligvis på ca. 4 g/m^3 (Geving & Thue, 2002). Utettheter i dampsperran fører til økt konveksjon. Det er derfor viktig at dampsperran blir helt lufttett for å unngå at fukt trenger inn i veggen fra varm side, noe som kan føre til kondens ute i konstruksjonen. Dette kan «forstyrre» målingene. Av den grunn ble ledningene, for måling av fuktinnhold på topp- og bunnsviller, ført ut på kald side, se figur 63.

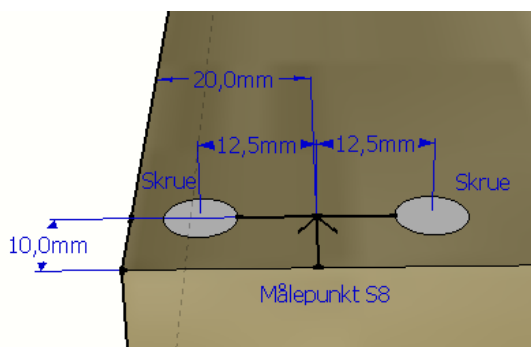


Figur 63
Forsøksveggen sett fra kald side. Ledningene ble ført ut på kald side for å sikre best mulig lufttetthet mot varm side.

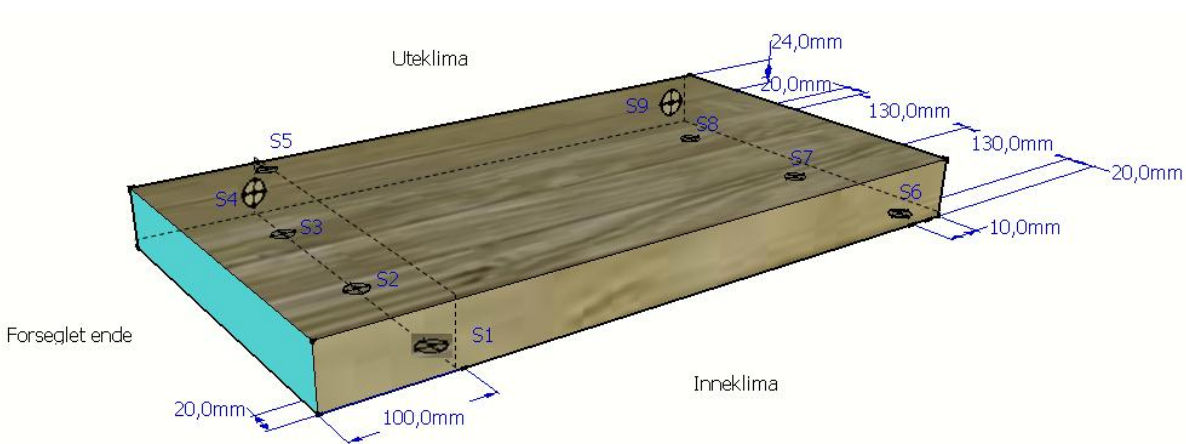
6.6 Plassering av målepunkter i topp- og bunnsvill

6.6.1 Plassering av målepunkter på overflate av topp- og bunnsvill

For å vurdere muggvekstrisikoen, ble det foretatt målinger av fuktinnholdet i topp- og bunnsvillene ved hjelp av en motstandsmåler, som oppgir fuktinnholdet i vekt-%. Motstandsmåleren er av typen Brookhuis Micro Electronics - FME moisture meter. Den ble kompensert for treslag og tretemperatur, henholdsvis gran (treslag = 555) og 20 °C. Målingene ble foretatt på overflaten av underside bunnsvill, siden muggvekst vokser på treoverflaten, og det er på undersiden det er mest fuktig grunnet hindret uttørring. Undersiden er også mer fuktig da denne siden ble neddykket i vann. Det ble også foretatt målinger i to målepunkt på bunnsvillenes langsida mot uteklima, samt i et målepunkt på oversiden av bunnsvillene. Målingene ble utført manuelt ved hjelp av små rustfrie skruer med isolerte ledninger. En isolert ledning ble festet til et skruehode, og skruen ble skrudd inn i bunnsvillen. For hvert målepunkt står to skruer med en avstand på 25 mm, altså står hver skrue 12,5 mm fra målepunktet, se figur 64. Skruene har en dimensjon på 3,5 x 9,5 mm. Det ble foretatt målinger 100 mm fra forseglet ende og 10 mm fra endeved, se figur 65 og 66. I hver av bunnsvillene ble det plassert ni målepunkter. Målepunktene er nummerert fra 1 - 9, samt fått forbokstaven «S» for skrue.



Figur 64
Plassering av skruer i et målepunkt.

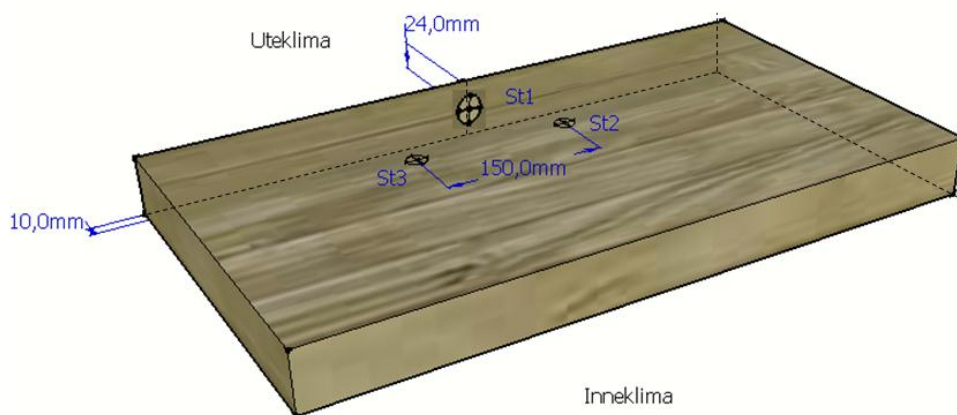


Figur 65
Plassering av målepunkter på *underside* bunnsvill. Målepunkt S5 ligger på samme plassering som S3, bare på *overside* bunnsvill.



Figur 66
Plassering av skruer på underside og langsida bunnsvill.

Flest fuktmålinger ble foretatt i bunnsvillene, men det ble også foretatt fuktmålinger i tre punkter på toppsvillene, for å studere effekten av intern konveksjon og fuktfordeling i veggen. Figur 67 viser plasseringen av målepunktene i toppsvillene. Målepunktene er nummerert fra 1 - 3, samt fått bokstavene «St» for skrue og toppsvill. Målepunkt St2 og St3 står 10 mm fra enden i bredderetningen, samt 75 mm fra midten i lengderetningen på underside toppsvill. St1 står midt på den 48 mm tykke toppsvillen, samt midt på lengderetningen mot uteklimaet.

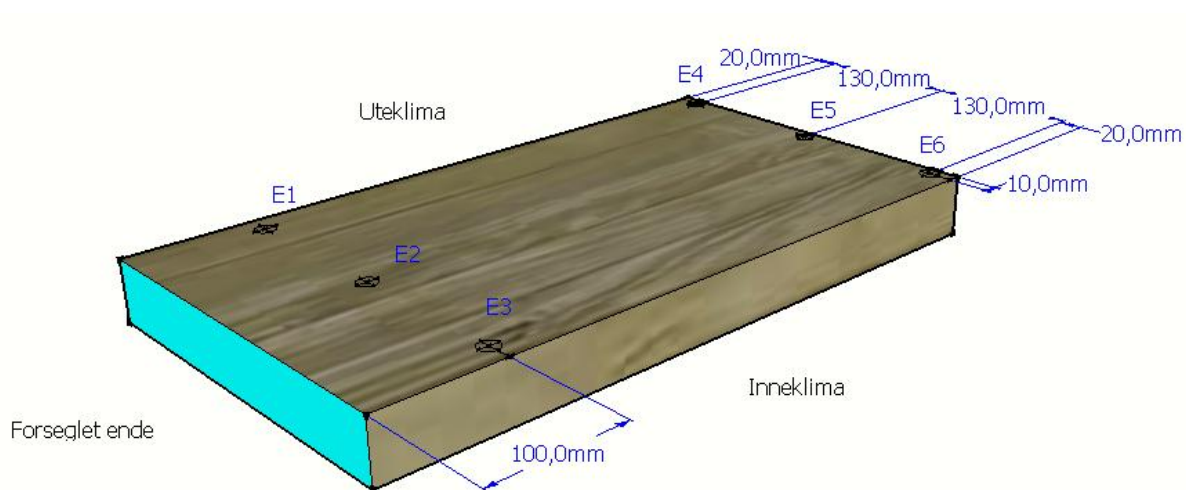


Figur 67
Plassering av målepunkter på underside toppsvill.

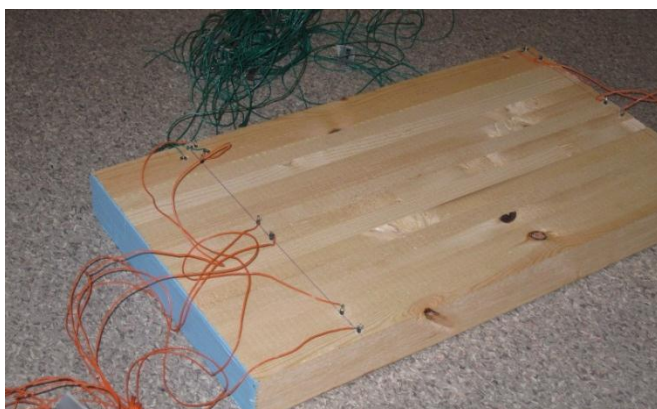
6.6.2 Plassering av målepunkter i midten av bunnsvill

Det ble også foretatt målinger av fuktinnholdet i midten av bunnsvillene for å vurdere uttørkingsforløpet. Dette ble gjort ved hjelp av elektroder banket inn i forborede hull. Hullene ble forboret fra oversiden til en dybde på 22 mm (16 mm for bunnsvill E). Deretter ble elektrodene plassert i hullene, og banket ned med hammer ytterligere 3 - 4 mm. Elektrodene ble plassert, på samme måte som skruene, 25 mm fra hverandre, og 12,5 mm fra hvert målepunkt. Det ble foretatt målinger i seks målepunkt for hver bunnsvill. Målepunktene er nummerert fra 1 - 6, samt fått forbokstaven «E» for elektrode. Tre av målepunktene ble plassert 100 mm fra forseglet ende. De andre tre målepunktene ble plassert 10 mm fra ikke- forseglet ende, se figur 68 og 69.

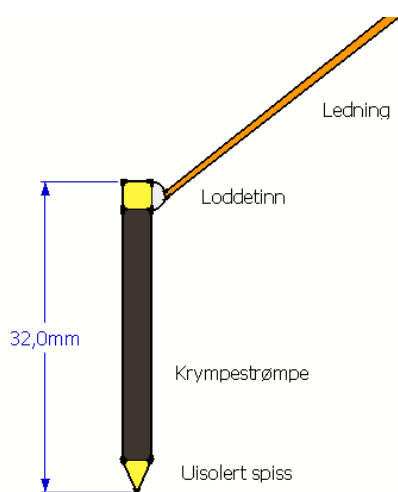
Elektrodene ble laget av ca. 2 - 3 mm tykke stålpinner, som ble kuttet til en lengde på ca. 32 mm, og slipt til en spiss på den ene enden. Deretter ble en ledning loddet til hver av stålpinnene. Til slutt ble det festet en krympestrømpe til pinnen. Krympestrømpen dekket hele elektrodene foruten den spisse enden, se figur 70. Slik kan en måle fuktinnholdet i ønsket dybde.



Figur 68
Plassering av målepunkter i midten av bunnsvill. Målepunktene plassering gjelder for alle bunnsvillene.



Figur 69
Plasseringen av elektroder sett fra bunnsvillens overside.



Figur 70
Illustrasjon av elektrode som ble benyttet til å måle fuktinnholdet midt i bunnsvillene.

6.7 Resultater og vurderinger

Fuktinnholdet i bunn- og toppsvillene ble daglig målt i samtlige målepunkter de første to ukene etter lukking av veggelementene. Den første målingen er tatt like etter isolering og lukking av veggelementene. Deretter ble det tatt målinger ca. annenhver dag i to uker. En antar likevel at en dekker lokale variasjoner i fuktinnholdet siden fuktinnholdet ligger nokså stabilt.

Den elektriske motstanden i tre faller med økende temperatur (Geving & Thue, 2002). Motstandsmåleren er innstilt på 20 °C, men det vil ikke være kontinuerlig 20 °C i bunn- og toppsvillene. Det er derfor nødvendig å korrigere for denne temperaturdifferansen, i de ulike målepunktene, for å få riktig fuktinnhold. Dette ble gjort ved hjelp av likning, se formel 1. Temperaturen i målepunktene ble simulert i WUFI 2D, siden det ikke ble foretatt temperaturmålinger.

Formel 1

Likning for korrigering av tretemperatur. Kilde: (Geving & Thue, 2002).

$$u_k = \frac{u + 0,567 - 0,026 * (t + 2,8) + 0,000051 * (t + 2,8)^2}{0,881 * (1,0056)^{t+2,8}}$$

u_k = korrigert fuktighet [vekt-%]

u = avlest fuktighet [vekt-%]

t = treets temperatur [°C]

I tabell 15 følger en kort oppsummering av uttøringsforløpet til samtlige bunnsviller, samt hvor den fuktigste delen av bunnsvillene er.

Tabell 15

Kort oppsummering av bunnsvillenes uttøringsforløp. Gjennomsnittverdier står i parentes.

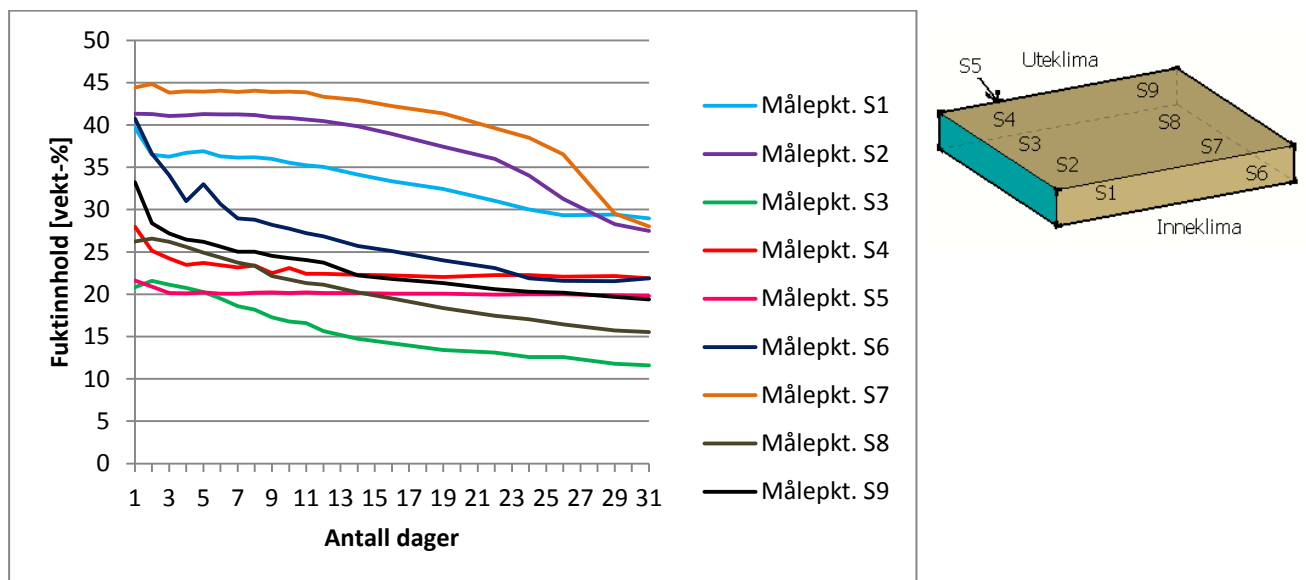
Bunnsvill	Fuktinnhold etter vannpåvirkning og før tørking [vekt-%]*	Fuktinnhold etter fem dager tørking [vekt-%]*	Det fuktigste punktet etter fem dager tørking	Fuktinnhold fire uker etter innbygging*	Det fuktigste punktet fire uker etter innbygging
A	30,3 - 53,5 (44,6)	21,5 - 46,0 (32,8)	E4	11,6 - 28,9 (21,1)	S1
B	27,3 - 49,9 (40,0)	18,1 - 42,3 (25,5)	E5	14,1 - 21,3 (17,5)	S7
C	14,0 - 42,1 (28,2)	11,9 - 25,1 (19,2)	S7	11,5 - 18,6 (15,1)	S5
D	14,7 - 17 (15,8)	13,8 - 15,5 (14,6)	S7	12,2 - 15,3 (13,5)	S5
E	26,8 - 48,7 (39,4)	18,5 - 40,3 (24,9)	E5	11,5 - 21,9 (16,1)	S2

*Variasjon i fuktinnholdet innad i bunnsvillene skyldes naturlig variasjon i treverket som gir lokalt forskjellig fuktopptak.

6.7.1 Bunnsvill A

Bunnsvill A har gjennomgått vannpåvirkninger tilsvarende en uke i vannbad, samt to daglige vannpåsprøytinger, slik at den har maksimalt fuktnivå. Denne bunnsvillen hadde det høyeste startfuktinnholdet av alle bunnsvillene. Etter tørking hadde bunnsvillen et gjennomsnittlig startfuktinnhold på ca. 33 vekt-%.

Uttørkingen av bunnsvill A går forholdsvis langsomt, og etter fire uker har enkelte deler et fuktinnhold på rundt 25 - 30 vekt-%, se figur 71. Dette gjelder særlig treverket i de midterste punktene mot forseglet og ikke-forseglet ende, henholdsvis S2 og S7. Bunnsvillen tørker generelt raskere ut midt i treverket sammenlignet med overflaten, og treverket tørker særlig raskt ved enden som ikke er forseglet, se figur 8.1 i bilag 8. På den forseglede enden hindrer smøremembranen fuktopptak og uttørking. Den ikke-forseglede enden vil derfor ta opp mest fukt og i tillegg tørke raskere. Etter fire uker ligger likevel fuktinnholdet høyere på enden som ikke er forseglet.



Figur 71
Fuktinnhold i målepunkt S1 - S9 over tid i bunnsvill A.

De fleste målepunktene indikerer at bunnsvillen tørker gjennom de fire første ukene. Treverket i målepunkt S1 og målepunkt S5, som ligger mot uteklima, ser ut til å stabilisere seg etter det første døgnet. Også uttørkingen på overflaten av bunnsvillens langside, mot uteklima og forseglet ende (S4), stabiliserer seg etter det første døgnet. En mulig forklaring er kondens på vindsperran, grunnet at det fremdeles pågår uttørking av fukt fra varm side. Treverk med et høyt startfuktinnhold ved målepunkter nær uteklima tørker raskt ut, men har likevel et fuktinnhold på 24 vekt-% etter fire uker. Treverket i målepunkt S4 og S8, mot uteklima, tørker mer ut enn øvrige målepunkter nær uteklima. Dette skyldes sannsynligvis intern fuktomfordeling grunnet naturlig konveksjon, som fører til at nedre og ytre del av veggen blir tørrere. Bunnsvillen tørker lite ut i midten av treverket mot uteklima og forseglet ende (E1), noe som trolig skjer grunnet fuktvandring fra varm til kald side. Mot inneklima vil

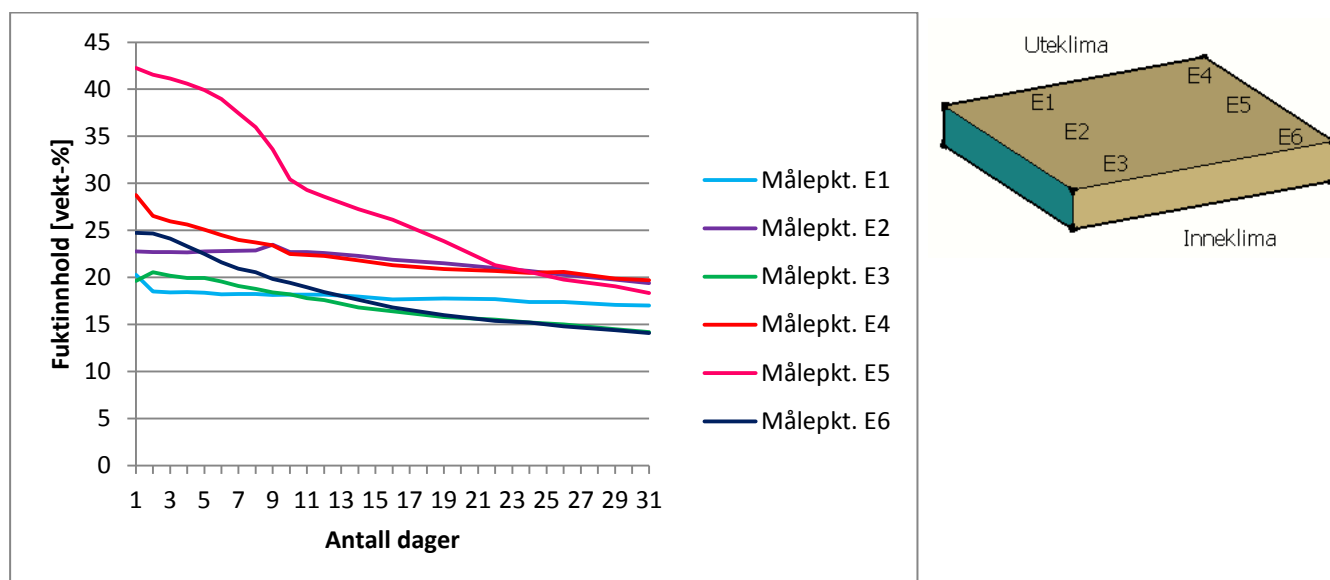
uttørkingen generelt gå tregere, men treverket vil tørke jevnt ut i løpet av de første fire ukene. Se figur 8.2 og 8.3 i bilag 8 for sammenligning av fuktinnholdet i målepunkter mot ute- og inneklima.

6.7.2 Bunnsvill B

Bunnsvill B har gjennomgått vannpåvirkning tilsvarende tre dager i vannbad og to daglige vannpåsprøytinger, slik at den har et høyt fuktnivå. Den har ved isolering og lukking et høyt startfuktinnhold, som i gjennomsnitt var over 25 vekt-%.

I starten er treverket midt i bunnsvillen mot ikke-forseglet ende, mest fuktig, se figur 72. Treverket ved ikke-forseglet ende tørker imidlertid raskere enn treverket ved forseglet ende, hvor fuktinnholdet ser ut til å stabilisere seg. I målepunkt E3, som ligger mot inneklima, forsetter derimot treverket å tørke. På undersiden av bunnsvillen er treverket på midten (S2 og S7) mest fuktig, både mot forseglet og ikke-forseglet ende, se figur 8.4 bilag 8. Treverket i målepunkt S2 og S7 har et fuktinnhold på over 20 vekt-% etter tre uker. I de øvrige punktene på undersiden (S1, S3, S6 og S8), har treverket et startfuktinnhold på ca. 17 - 27 vekt-%, og treverket tørker lite ut etter lukking av veggen. Fuktinnholdet målt i midten av bunnsvillen er nokså likt fuktinnholdet målt på oversiden av bunnsvillen.

Treverket på midten av bunnsvillen mot ikke-forseglet ende (E5 og S7) er mest fuktig de fire første ukene etter lukking. Dette siden bunnsvillen suger opp mer vann fra endeved. Treverket på langsiden (S4 og S9) og oversiden (S5) av bunnsvillen, samt i E1, har i utgangspunktet et nokså lavt fuktinnhold. Uttørkingen ser her ut til å stabilisere seg etter kun to dager etter lukking. Denne utviklingen ser en også i treverket i punkt S1, på undersiden av bunnsvill mot inneklima. Ellers vil treverket i de øvrige målepunktene, både mot ute- og inneklima, fortsette å tørke.



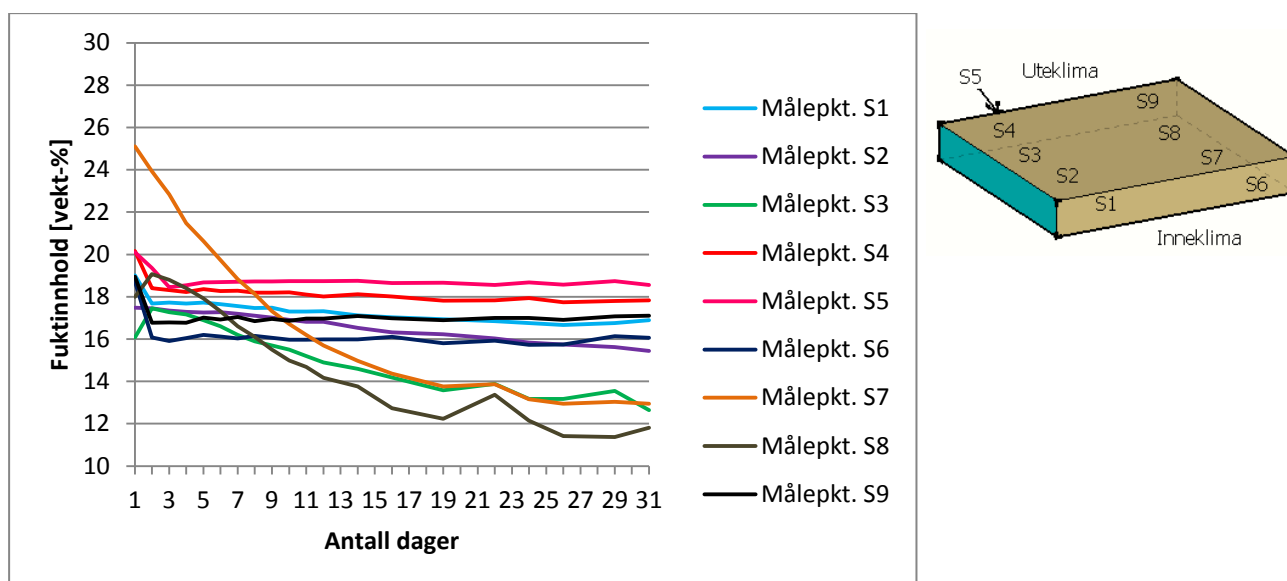
Figur 72
Fuktinnhold i målepunkt E1 - E6 over tid i bunnsvill B.

6.7.3 Bunnsvill C

Bunnsvill C har fått en vannpåvirkning tilsvarende to daglige vannpåsprøytinger i tre dager, noe som tilsvarer et middels fuktnivå. Startfuktinnholdet var gjennomsnittlig ca. 19 vekt-% ved isolering og lukking. Bunnsvillen fikk mindre vannpåvirkninger enn bunnsvill A, B og E, da det ikke er simulert så kraftig regn at det oppstår vanddammer. Det ble derfor ikke gitt noe vannpåvirkning på undersiden av bunnsvill C.

Fuktinnholdet er omtrent det samme på overflaten som midt i bunnsvillen i løpet av de fire første ukene. I midten reduseres imidlertid fuktinnholdet noe mer enn på underside bunnsvill, se figur 8.5 i bilag 8. På overflaten av bunnsvillen er det kun i målepunkt S3, S7 og S8, treverket fortsetter å tørke etter at det har gått ca. to dager, se figur 73. Dette er punkter som ligger mot uteklime eller på midten av den enden som ikke er forseglet. Treverket i målepunkt E5, i midten mot ikke-forseglet ende, tørker raskest. Dette målepunktet ligger like over S7, noe som viser at bunnsvillen har høy uttørring på midten mot ikke-forseglet ende. Målepunkt E6, som ligger mot inneklime ved ikke-forseglet ende, skiller seg litt ut i forhold til de øvrige målepunktene. Treverket i dette punktet har et mye lavere fuktinnhold ved lukking, og videre de fire første ukene. Det kan virke som treverket her har kommet i likevekt med omgivelsene allerede ved lukking. Dette kan komme av at målepunktet er plassert midt i treverket ved ikke-forseglet ende mot inneklime, slik at treverket har fått gode vilkår for uttørring før lukking.

Treverket i målepunkt E3 mot inneklime, samt i S3 og S8 mot uteklime, tørker raskt i løpet av de fire første ukene. Det er noe overraskende at det samme uttørringsforløpet oppstår både mot inne- og uteklime. De to første dagene øker imidlertid fuktinnholdet i treverket i E3, E6, S3 og S8, samtidig som toppsvillen i samme veggelement tørker. Uttørringsforløpet til bunnsvillen og toppsvillen ser ut til å påvirke hverandre, men om det er den interne fuktfordelingen som er årsaken til det overraskende resultatet, er noe uklart. Etter to dager vil uttørringsforløpet være motsatt, altså at fuktinnholdet i toppsvillen øker, mens bunnsvillen tørker. En forklaring kan være at temperaturen og RF på kald side ble først satt til 0 °C og 80 %, like etter konstruksjonen ble lukket. Det tok derfor litt tid før uteklimeet innstilte seg på riktige verdier, noe som kan ha ført til innledende ustabilitet. Det var derfor bedre uttørringsforhold i en liten periode etter lukking.

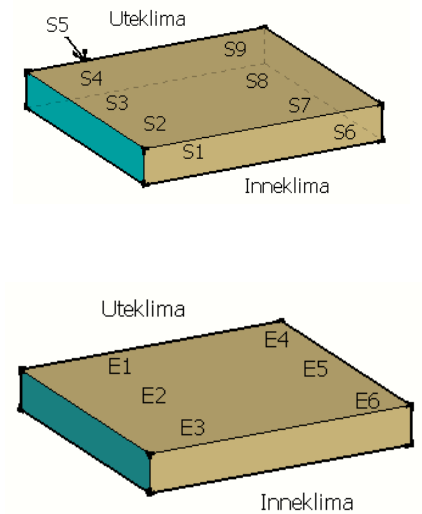
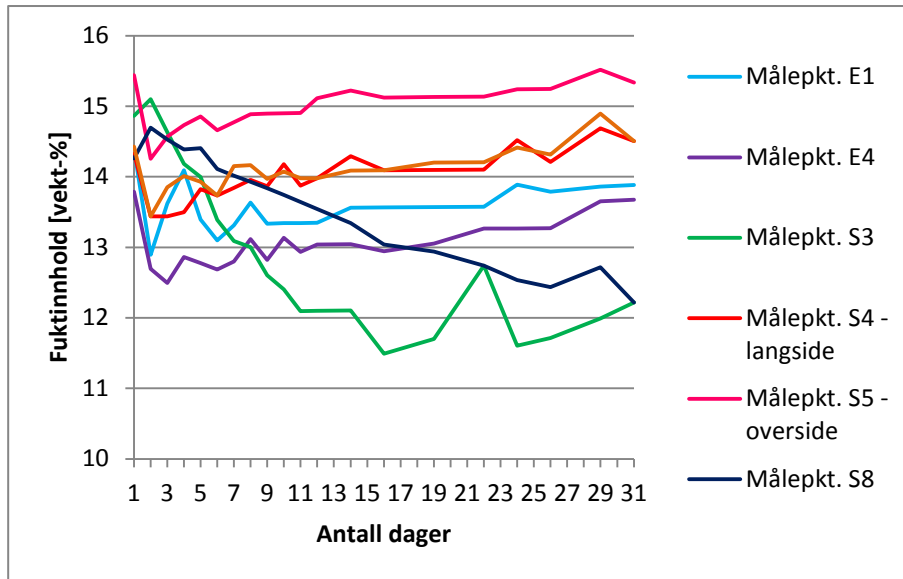


Figur 73
Fuktinnhold i målepunkt S1 - S9 over tid for bunnsvill C.

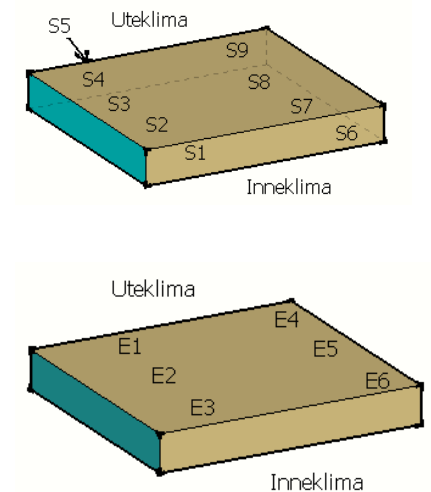
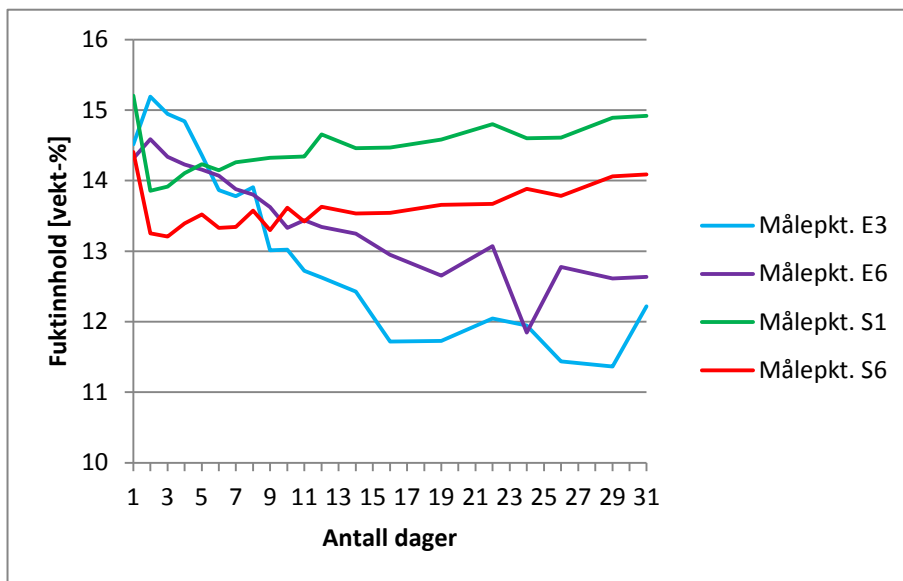
6.7.4 Bunnsvill D

Bunnsvill D ble kun hygroskopisk oppfuktet, noe som tilsvarer et lavt fuktnivå. Startfuktinnholdet var gjennomsnittlig ca. 14 vekt-% etter isolering og lukking.

Bunnsvillen har et noe høyere fuktinnhold på overflaten sammenlignet med midt i treverket, se figur 8.6 og 8.7 i bilag 8. Fuktinnholdet på overflaten tørker raskt de første to dagene, for så å stabilisere seg med fuktinnholdet i omgivelsene. Treverket i midten tørker derimot noe mer. På underside bunnsvill mot uteklime (S3) tørker treverket ganske raskt. I S4, S5 og S9, som også ligger mot uteklime, tørker treverket raskt de første to dagene. Deretter vil fuktinnholdet øke noe i resten av måleperioden, se figur 74. Dette skjer trolig på grunn av tilpasning til RF i uteklime. Mot inneklime tørker treverket kun i midten av bunnsvillen, og ikke på undersiden, da fuktinnholdet på undersiden øker noe, se figur 75. I bunnsvillen er det lite forskjell mellom fuktinnholdet nær forseglet og ikke-foseglet ende. Dette gjelder både like etter lukking av veggelementet, samt etter fire uker tørking. Grunnen til dette er trolig at alle sidene av bunnsvillen fikk lik fuktpåvirkning ved hygroskopisk oppfukting. Treverket tørker raskest i målepunktene E3 og E6 mot inneklime, samt i S3 og S8 mot uteklime. Dette er den samme utviklingen som ses i bunnsvill C.



Figur 74
Fuktinnhold i målepunkt E1, E4, S3 - S5 og S8 - S9 over tid i bunnsvill D. Alle punktene er mot *uteklima*.



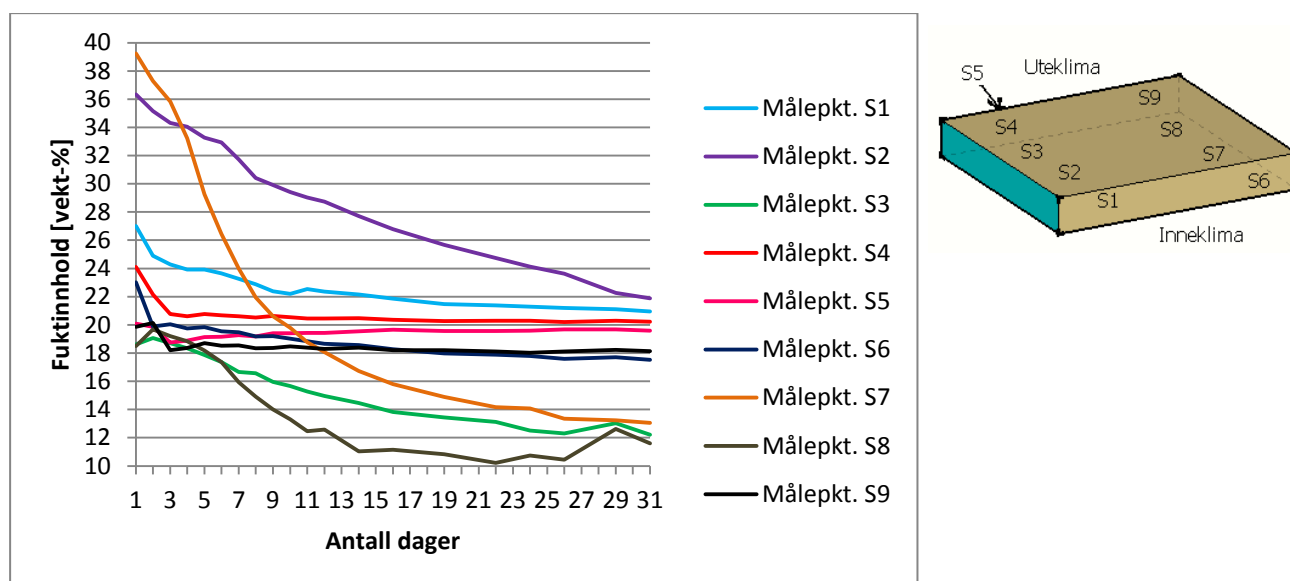
Figur 75
Fuktinnhold i målepunkt E3, E6, S1 og S6 over tid i bunnsvill D. Alle punktene er mot *inneklima*.

6.7.5 Bunnsvill E

Bunnsvill E fikk en vannpåvirkning tilsvarende tre dager i vannbad med to daglige vannpåsprøytinger, noe som tilsvarer et høyt fuktnivå. Bunnsvill E gjennomgikk samme vannpåvirkning som bunnsvill B. Treverket har ved lukking et startfuktinnhold på ca. 25 vekt-%. Bunnsvill E har omtrent samme startfuktinnhold som bunnsvill B, men bunnsvill E har en dimensjon på 36 mm i motsetning til de andre bunnsvillene som har en dimensjon på 48 mm.

Treverket er generelt fuktigere på overflaten sammenlignet med i midten, se figur 76, samt figur 8.8 i bilag 8. Det fuktigste punktet etter fire uker er S2, som ligger på overflaten på midten mot forseglet ende. Treverket i målepunkt S7 er fuktigst etter isolering og lukking, men tørker meget hurtig de fire første ukene. Punktet ligger på samme sted som S2, men mot ikke-forseglet ende. Dette kan indikere at den forseglede enden hindrer uttørking.

Mot uteklima, tørker treverket i målepunkt E4, S3 og S8 gjennom de fire første ukene. Treverket vil i de øvrige punktene mot uteklimaet stabilisere seg etter et par dager. Det kan derfor virke som om bunnsvillen tørker fra undersiden både på overflaten og midt i, mens treverket på oversiden eller langsiden av bunnsvillen ikke tørker. Mot inneklima, viser resultatene at treverket tørker raskest midt i. Resultatene viser liten forskjell i uttørkingsforløpet mot uteklima sammenlignet med inneklima.



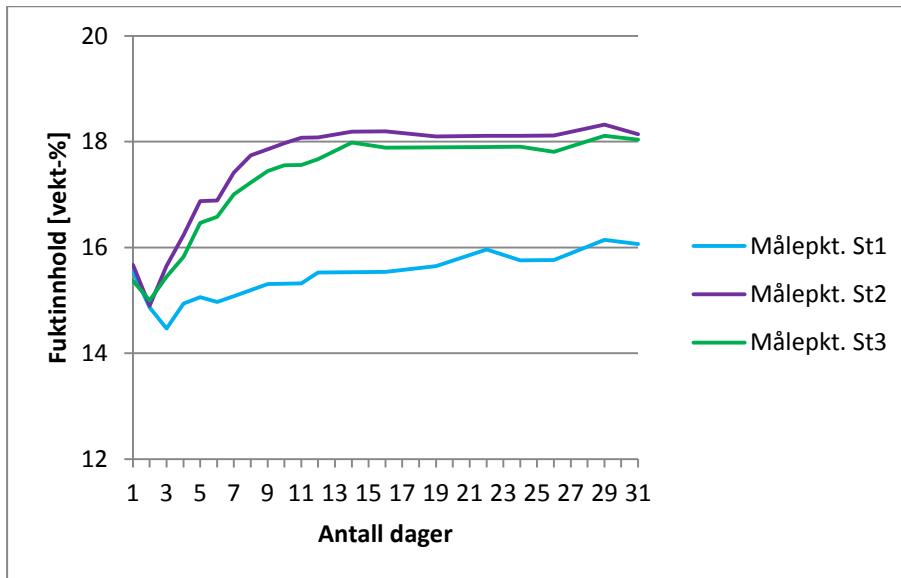
Figur 76
Fuktinnhold i målepunkt S1 - S9 over tid i bunnsvill E.

6.7.6 Toppsviller

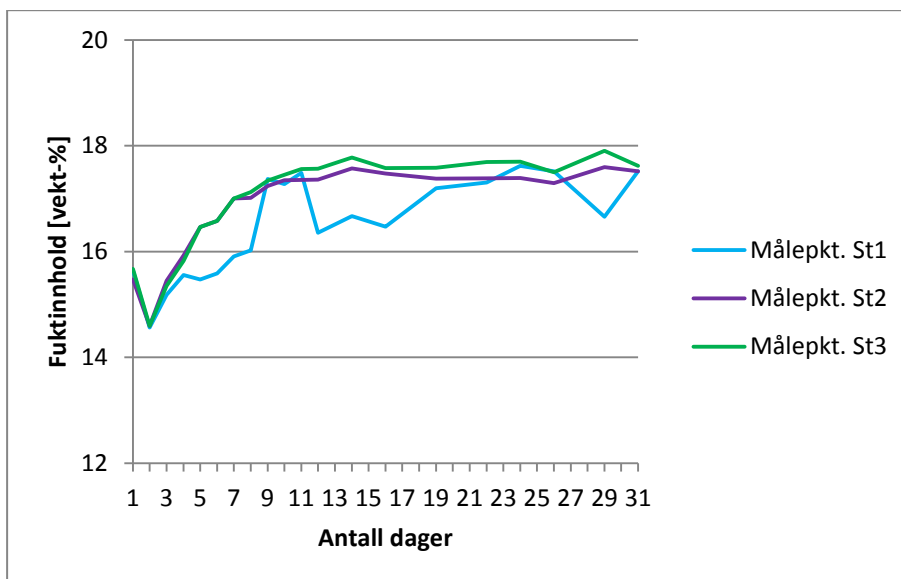
Fuktinnholdet i toppsvillene ble redusert det første døgnet, for så å øke de neste to ukene, se figur 77 for toppsvill i veggelement C. Dette skyldes økt intern luftsirkulasjon og økt intern fuktfordeling grunnet naturlig konveksjon. Øvre og ytre del av veggen blir da fuktigere, altså toppsvillene, mens nedre og ytre del av veggen blir tørrere, altså bunnsvillene. Resultatene viser ikke overraskende at toppsvillens langside (St1) mot vindsperrer ikke blir like påvirket av intern fuktfordeling, som toppsvillens underside mot isolasjonslaget. Dette gjelder imidlertid ikke for veggelement D, se figur 78. En mulig årsak til denne utviklingen i toppsvillen i veggelement D, er at vindsperrer ikke er klemte ordentlig mot toppsvillen. Slik kan fukt trenge opp til toppsvillens langside.

Målepunktene St2 og St3, på overflaten av undersiden i alle toppsvillene, indikerer at fuktinnholdet øker med ca. 2 vekt-%. I veggelement C og D ser man generelt den største effekten av konveksjon. Bunnsvillene i veggelementene hadde henholdsvis det nest laveste og

laveste startfuktinnholdet. Effekten er minst i veggelement A, som hadde det høyeste startfuktinnholdet. Dette er noe overraskende siden effekten av konveksjon vil normalt være høyere i vegger med høye fuktinnhold. En mulig årsak er større hulrom i isolasjonssjiktet i veggelement C og D, enn det eventuelt var i veggelementene med høyere startfuktinnhold. Hulrommene bidrar til høyere lufthastighet og dermed økt omfordeling. En annen årsak kan være at bunnsvillene, som har høyest startfuktinnhold, allerede hadde tørket en del før lukking, og var derfor relativt tørr på overflaten. De avga derfor ikke fukt i stor hastighet mot isolasjonssjiktet. I tillegg kan måleusikkerhet være en årsak.



Figur 77
Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill C.



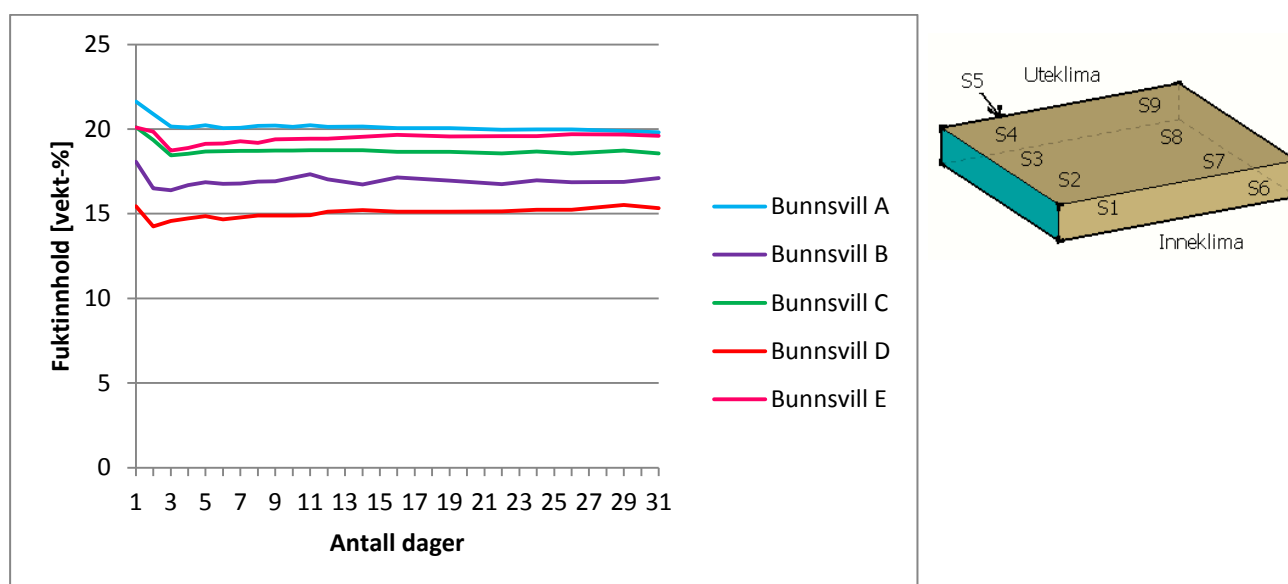
Figur 78
Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill D.

6.7.7 Sammenligning av uttørkingsforløpet i bunnsvillene

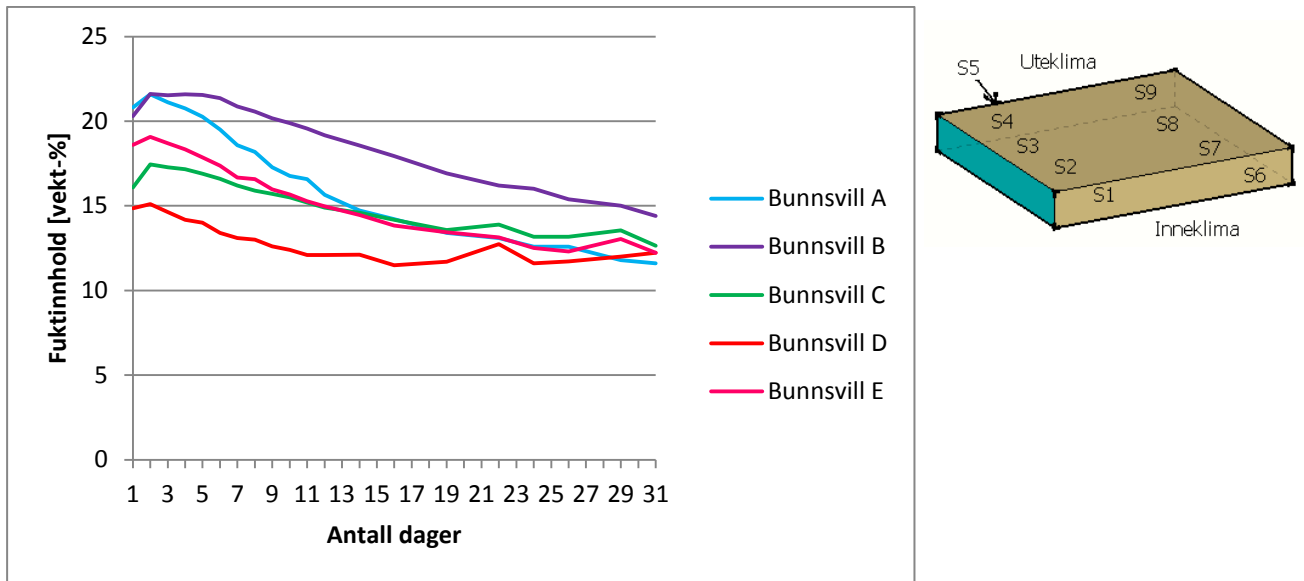
Resultatene viser at bunnsvillene tørker raskere midt i treverket mot inneklima (E3) enn mot uteklima (E1), ved forseglet ende, se figur 8.12 og 8.13 i bilag 8. Dette er sannsynligvis grunnet høy dampmotstand på varm side, som fører til uttørking fra varm til kald side. Grunnet denne fuktvandringen vil punktet nær uteklima være mer fuktig enn punktet ved inneklima. Ved ikke-forseglet ende er denne utviklingen ikke like tydelig. Treverket i E6, som ligger ved inneklima, vil tørke ned til et lavere fuktinnhold etter fire uker enn treverket i E4, som ligger mot uteklima. Treverket i E4, som ligger mot ikke-forseglet ende, tørker raskere enn treverket i E1, som ligger ved forseglet ende.

Når det gjelder målepunkter på undersiden av bunnsvillene mot inneklima, har bunnsvillene et nokså likt fuktinnhold uavhengig om det er mot forseglet eller ikke-forseglet ende (S1 og S6), se figur 8.14 og 8.15 i bilag 8. Treverket i målepunktet ved ikke-forseglet ende (S6) har et noe høyere startfuktinnhold enn ved forseglet ende (S1), og vil tørke noe raskere. Dette gjelder særlig for bunnsviller med de høyeste startfuktinnholdene. Punktet nær ikke-forseglet ende oppnår likevel omtrent det samme fuktinnholdet som nær forseglet ende, etter fire uker tørking. Ved uteklima viser resultatene samme utvikling, altså at uttørkingen er nokså lik ved forseglet og ikke-forseglet ende.

Fuktinnholdet på overside bunnsvill mot forseglet ende (S5) reduseres den første dagen etter lukking, for så å stabilisere seg, se figur 79. Resultatene fra målepunktet med samme plassering, bare på undersiden (S3), viser at fuktinnholdet øker den første dagen for så å reduseres, se figur 80. Treverket vil i tillegg oppnå et lavere fuktinnhold på underside enn overside etter fire uker. S5, som ligger mot mineralullsjiktet, vil få påfyll av fukt fra bunnsvillen lengre inn, som avgir fukt mot mineralullsjiktet. Fuktinnholdet i S5 vil derfor stabilisere seg på et høyere nivå enn S3. Treverket blir fuktigere i målepunkt S3 og tørker i målepunkt S5, i løpet av den første dagen etter lukking. En mulig forklaring er at uteklimaet ved lukking var innstilt som tørkeklima, noe som kan ha ført til innledende ustabilitet.



Figur 79
Fuktinnhold i målepunkt S5 i samtlige bunnsviller. S5 ligger på overflaten av overside bunnsvill.

**Figur 80**

Fuktinnhold i målepunkt S3 i samtlige bunnsviller. S3 ligger på overflaten av underside bunnsvill mot uteklima.

Bunnsvillens langsider har et nokså likt fuktinnhold uavhengig om det er nært forseglet ende eller ikke (S4 og S9), se figur 8.16 og 8.17 i bilag 8. Resultatene viser at bunnsvillen tørker raskt på langsiden den første dagen for samtlige bunnsviller, for så å stabilisere seg. Uttørkingen i begynnelsen kan komme av trefiberplatens evne til å ta opp fukt.

Bunnsvillene tørker mye i løpet av den første dagen etter lukking. En mulig forklaring er at uteklimaet ved lukking er innstilt som tørkeklima. Uteklimaet blir først satt i gang like etter konstruksjonen er lukket. Det tok derfor litt tid før uteklimaet gikk fra 60 til 80 % RF, det var bedre uttørkingsforhold i en liten periode.

6.8 Muggvekstanalyse

Den samme muggvekstanalysen er utført for bunnsvillene i laboratorieforsøket som for bunnsvillene i fuktbergingene. Siden muggvekstanalysen som ble benyttet i fuktbergingene er basert på RF-verdier, må laboratoriemålingene av fuktinnholdet (vekt-%) i bunnsvillene gjøres om til RF (%). Dette er gjort ved hjelp av formel 2.

Formel 2

Omregning av fuktinnhold (vekt-%) til RF (%). Kilde: (Geving, Erichsen, Nore, & Time, 2006).

$$y = -0,000038x^5 + 0,003580x^4 - 0,122368x^3 + 1,690849x^2 - 3,119747x$$

y er fuktinnholdet i RF og x er fuktinnholdet i vekt-%.

Muggvekstanalysen ble utført ved å sammenligne fukt- og temperaturforholdene i bunnsvillene, med de såkalte varighetskurvene fra m-modellen. Tabell 16 viser et sammendrag av muggvekstanalysen. Målepunktet i bunnsvillene med høyest fuktinnhold

gjennom hele uttøringsperioden, er punktet som er mest kritisk med tanke på muggvekstrisiko. Fukttinnholdet fra det aktuelle punktet i hver bunnsvill er derfor brukt i muggvekstanalysen.

Tabell 16

Oversikt over hvilken varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold som gir muggvekst i de forskjellige bunnsvillene. Det er tilstrekkelig at det oppstår muggvekst ved ett tidspunkt.

Bunnsvill	Fuktnivå	Muggvekst etter			
		24 timer	1 uke	2 uker	4 uker
A	Maksimalt	Nei (i grenseland)	Nei (i grenseland)	Ja	Ja
B	Høyt	Nei (i grenseland)	Nei (i grenseland)	Ja	Ja
C	Middels	Nei	Nei	Nei	Nei
D	Løvt	Nei	Nei	Nei	Nei
E	Høyt	Nei (i grenseland)	Nei (i grenseland)	Ja	Ja

Fukttinnholdet i toppsvillene ligger under kritisk grense for risiko for muggvekst de fire første ukene. Det er derfor ikke utført muggvekstanalyse av toppsvillene.

6.8.1 Bunnsvill A

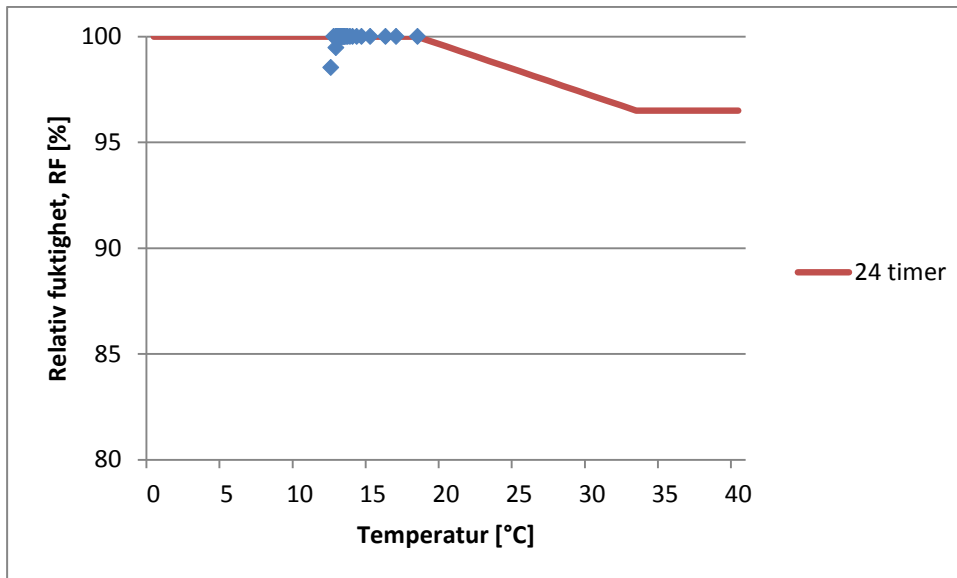
I bunnsvill A er det målepunkt S7 som er mest fuktig gjennom de fire første ukene av uttøringsperioden. Punktet ligger på undersiden av bunnsvillen i midten på ikke-forseglet ende.

Muggvekst oppstår etter kun to uker med gunstige RF- og temperaturforhold. Bunnsvillen er såpass fuktig at muggvekst nesten oppstår etter bare 24 timer, se figur 81. Dette gjelder også for en varighet på en uke, men temperaturen er akkurat for lav for muggvekstdannelse. Er temperaturen omtrent 2 °C høyere, vil muggvekst oppstå etter kun 24 timer.

Startfukttinnholdet i alle målepunktene i bunnsvillen ligger mellom ca. 21 og 46 vekt-%, gjennomsnittlig ca. 33 vekt-% (100 % RF). Det målepunktet som er mest fuktig har en RF på 100 % gjennom de fire første ukene. Dette punktet er derfor meget kritisk med tanke på risiko for muggvekst.

Siden resultatene for det mest fuktige punktet viser at det vil oppstå muggvekst på bunnsvillen, er det interessant å se om muggvekst også oppstår andre steder på bunnsvillen. Muggvekstanalysen viser at det vil oppstå muggvekst etter to uker med gunstige forhold i treverket, ved målepunktene som ligger på undersiden av bunnsvillen på midten og mot inneklimate, henholdsvis S2 og S7, S1 og S6. Resultatene fra de øvrige målepunktene viser at det ikke oppstår muggvekst på bunnsvillene etter to eller fire uker.

Se figur 9.1 – 9.4 i bilag 9 for grafer for varighetskurver for en, to og fire uker, samt muggvekstanalyse i andre målepunkter.



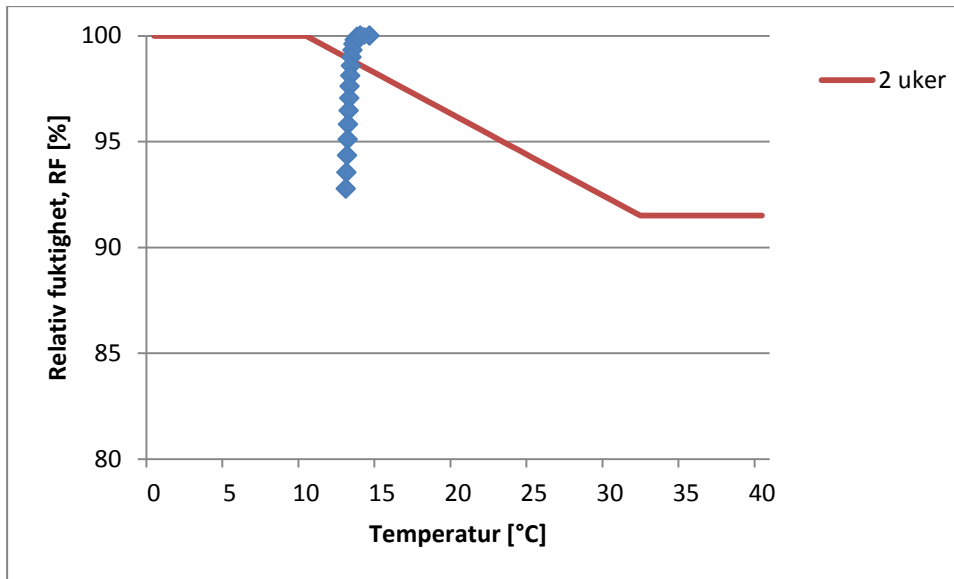
Figur 81

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill A i forhold til en varighetskurve for 24 timer. Startfuktinnhold = 21 - 46 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.

6.8.2 Bunnsvill B

Bunnsvill B har et startfuktinnhold mellom ca. 18 og 42 vekt-%, gjennomsnittlig ca. 26 vekt-%. S7 det mest fuktige målepunktet. Det oppstår muggvekst etter to uker med gunstige temperatur- og RF-verdier, se figur 82. Også på bunnsvill B, som bunnsvill A, oppstår nesten muggvekst etter kun 24 timer og en uke, men temperaturen er heller ikke her tilstrekkelig høy, se figur 9.5 – 9.7 i bilag 9. Muggvekst oppstår etter to ukers varighet av gunstige forhold. Dette gjelder kun tidlig i uttøringsperioden, da fuktinnholdet er høyest. Bunnsvillen tørker etter nesten tre uker ned til RF-nivåer på omtrent 90 - 95 %. Temperaturen ligger stabilt på 13 - 14 °C, noe som er for kaldt, sammen med opptredende RF, for at muggvekst skal oppstå. Det vil likevel være en viss risiko for muggvekst i denne perioden, siden muggvekst kan fortsette å vokse ved lavere RF- og temperaturnivåer når muggvekst først har oppstått.

Siden resultatene fra målepunktet som er mest fuktig viser at det oppstår muggvekst, er andre målepunkter også analysert. Etter fire uker vil det så vidt oppstå muggvekst på undersiden av bunnsvillen i midten mot forseglet ende (S2). Målepunkt S2 har det nest høyeste fuktinnholdet, og det vil derfor ikke oppstå muggvekst andre steder på bunnsvillen.



Figur 82

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill B i forhold til en varighetskurve for to uker. Startfuktinnhold = 18 - 42 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.

6.8.3 Bunnsvill C

Målepunktet S5, som ligger på oversiden av bunnsvillen mot forseglet ende og uteklime, er det mest fuktige punktet i bunnsvill C.

Bunnsvill C et forholdsvis lavt startfuktinnhold mellom ca. 12 og 25 vekt-%, gjennomsnittlig 19 vekt-%. Det vil ikke oppstå muggvekst på treverket i målepunkt S5 etter fire uker. Resultatene viser at selv om startfuktinnholdet er 25 vekt-% i punkt S7, vil det ikke oppstå muggvekst i løpet av fire uker. Dette er grunnet rask uttørring i punkt S7. Et gjennomsnittlig startfuktinnhold på nesten 19 vekt-% (84 % RF) virker derfor å være trygt med tanke på muggvekst, for ca. 14 °C eller lavere. For at muggvekst skal oppstå etter fire uker ved dette fuktinnholdet, må temperaturen være på ca. 25 °C eller høyere.

6.8.4 Bunnsvill D

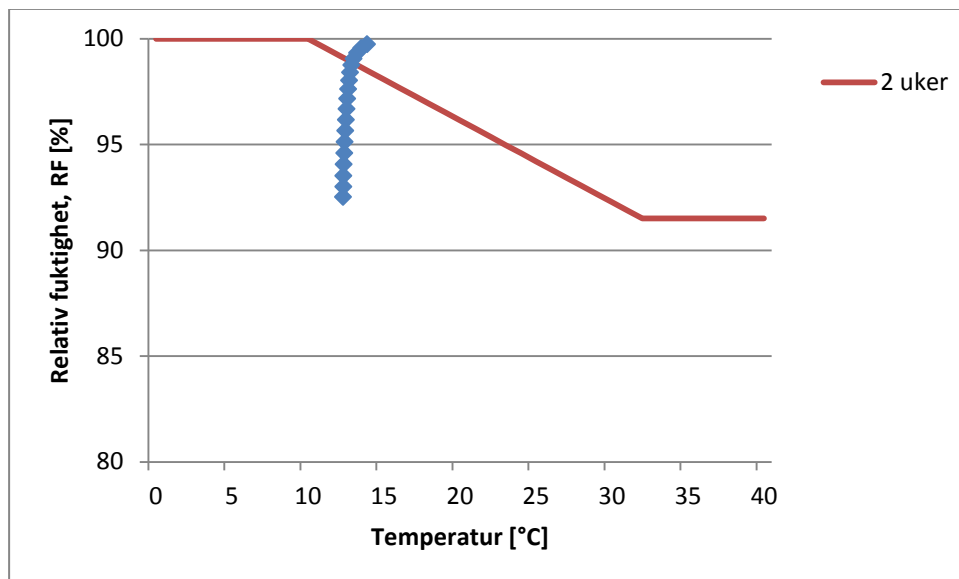
Bunnsvill D er også mest fuktig i målepunkt S5. Det vil, i likhet med bunnsvill C, heller ikke her oppstå muggvekst. Bunnsvill D har et lavt startfuktinnhold mellom ca. 13 og 15 vekt-%, gjennomsnittlig 14,6 vekt-% (ca. 72 % RF), og vil tørke ytterligere i løpet av fire uker. Resultatene viser at temperatur- og RF-forholdene ikke er i nærheten av å gi muggvekst. Å sette et krav om at bunnsviller skal bygges inn med et startfuktinnhold på 15 vekt-%, virker derfor å være konservativt. For å oppnå et så lavt fuktinnhold i et realistisk tilfelle på byggeplass, må sannsynligvis uferdige bygninger beskyttes mot oppfukning fra nedbør.

6.8.5 Bunnsvill E

Fuktinnholdet i bunnsvill E er høyest i målepunkt S2, som ligger på underside bunnsvill på midten mot forseglet ende. Bunnsvill E fikk samme vannpåvirkning som bunnsvill B. Muggvekst oppstår, i likhet med bunnsvill B, etter kun to uker med gunstige vekstforhold, se figur 83. Det virker imidlertid å være flere perioder der muggvekst kan oppstå for bunnsvill B sammenlignet med bunnsvill E. Dette da kun en eller to toukersperioder ligger over

varighetskurven for to uker for bunnsvill E. Grunnen til dette er at bunnsvill E har et noe lavere startfuktinnhold og tørker litt raskere enn bunnsvill B. Muggvekstanalysen viser derfor at det er mer fordelaktig å benytte 36 mm tykke bunnsviller fremfor 48 mm.

Startfuktinnholdet i bunnsvill E er mellom ca. 19 og 40 vekt-%, gjennomsnittlig ca. 25 vekt-% (ca. 94 % RF). Bunnsvill E er også i grenseland for at muggvekst kan oppstå etter kun 24 timer. Det vil imidlertid ikke oppstå muggvekst etter fire uker andre steder på bunnsvillen enn i målepunkt S2. Se figur 9.8 - 9.10 i bilag 9 for muggvekstanalyse ved varighetskurver for 24 timer, samt en og fire uker.



Figur 83

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill E i forhold til en varighetskurve for to uker. Startfuktinnhold = 19 - 40 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S2 i bunnsvillen.

7. Feilkilder

Mulige feilkilder i laboratorieforsøket:

- Måleområdet for gran er ca. 7 - 27 vekt-% og nøyaktigheten er $\pm 0,5 - 2$ vekt-% under fibermetningspunktet (ca. 30 vekt-%). Over fibermetningspunktet er nøyaktigheten ± 10 vekt-%. Måleresultatene som viser fuktinnhold over ca. 30 vekt-% er derfor usikre.
- Kondens kan oppstå på skruene i målepunktene, og kan føre til feil ved fuktavlesing.
- Målefeil kan ha oppstått dersom skruene ikke ble skrudd helt ned i bunnsvillene, da dette kan føre til et lokalt større fuktopptak.
- I og med at skruene stikker litt ut fra undersiden av bunnsvillene, og elektrodene stikker opp fra bunnsvillenes overflate, er det på disse områdene vanskelig å få det helt lufttett. Dette kan føre til luftsirkulasjon som kan «forstyrre» målingene.
- Siden det ikke ble utført temperaturmålinger i laboratoriestudien, ble temperaturen simulert i WUFI 2D. Det vil derfor være noe avvik mellom opptredende og beregnede temperaturer i bunnsvillene i forsøksveggen.
- Dårlig tetting, samt hull i dampsperran, kan gi økt fukttilskudd grunnet høy RF i innklimaet. Dette kan føre til økt konveksjon og intern fuktfordeling.
- Siden ledningene fra målepunktene føres ut på kald side, kan vindsperran noen steder bli klemt for dårlig mot topp- og bunnsvillene. Vindsperran kan derfor få nedsatt funksjon, og veggelementene blir mer påvirket av uteklimaet enn normalt. Dette kan føre til redusert temperatur i veggelementene.
- I klimarommet ble uteklimaet «satt på» like etter lukking av konstruksjonen. Det tok derfor litt tid før uteklimaet ble innstilt på riktig temperatur og RF. Dette kan ha ført til innledende ustabilitet, som førte til bedre uttørkingsforhold i en liten periode, grunnet høyere temperatur enn tiltenkt.
- Temperaturen i klimarommet var høyere enn det temperaturen var ment å være ved tørking, da bunnsvillene ble bygget inn i forsøksveggen. Dette førte til bedre uttørkingsforhold enn tiltenkt, i starten av tørkeperioden.

Mulige feilkilder i fuktberegningene:

- WUFI 2D tar ikke hensyn til varme- og vandamptransport ved konveksjon, noe som kan føre til mindre uttørking av bunnsvillene.
- Feil valg av inngangsparametere i WUFI 2D.
- Egenskapene til materialparameterne i WUFI 2D er ikke riktig til ønsket formål.
- Inntastningsfeil i WUFI 2D som fører til at utgangspunktet for beregningene blir feil.
- Feil ved konvertering av ASCII-utdatafiler til Excel-filer, og videre til grafer.

8. Oppsummering

Uttørking av byggfukt

Fuktberegningene viser at startfuktinnholdet har størst betydning for fuktforholdene i bunnsvillene. Høyere startfuktinnhold i bunnsvillene gir raskere uttørking enn lavere startfuktinnhold, men bunnsvillene med høye startfuktinnhold tørker fortsatt ikke ned til under 80 % RF i løpet av 12 uker. Forholdene som gir raskest uttørking, sett bort fra lave startfuktinnhold, er start beregning 1. juni og 150 mm isolasjon. Start beregning 1. januar og Karasjok som uteklime gir derimot tregest uttørking. Karasjok, det kaldeste uteklimate, gir den største effekten av å endre uteklime. Gipsplate gir raskere uttørking enn trefiberplate.

Laboratorieforsøket viser at bunnsvillene tørker raskere nær inneklime enn ved uteklime. Dette kan komme av at fuktvandringen går mot kald side, grunnet høy dampmotstand på varm side. Uttørkingen stabiliserer seg på flere steder av bunnsvillen mot uteklime. Resultater viser også at uttørkingen går raskere midt i bunnsvillene enn på overflaten, noe som er mer kritisk siden muggvekst oppstår på overflaten av treverk.

Siden bunnsviller vil trekke mer vann fra endeveden, vil fuktinnholdet nær endeveden være noe høyere de fire første ukene, sammenlignet med fuktinnholdet nær forseglet ende. Det tyder også på at uttørkingen nær ikke-foseglet ende går raskere enn ved forseglet ende, og at forseglet ende hindrer uttørking. Det vil derfor være både mindre fuktopptak, og uttørking fra treverket midt i en lang bunnsvill. Fuktinnholdet nær ikke-foseglet ende vil likevel ligge høyere enn ved forseglet ende etter tørking i fire uker. Her er det imidlertid en forskjell mellom målepunktene på overflaten, og målepunktene midt i bunnsvillen. Bunnsvillene vil i midten tørke raskere nær ikke-foseglet ende, mens dette ikke gjelder på overflaten. Bunnsvillene vil også generelt tørke raskere i midten enn på overflatene.

Muggvekstrisiko

Både beregnings- og laboratorieresultatene viser at et startfuktinnhold på ca. 30 vekt-% er kritisk høyt, da det vil oppstå muggvekst ved varighet av gunstige temperatur- og RF-forhold i to uker. Dette gjelder ikke i kaldt uteklime. Laboratorieforsøket viser at muggvekst oppstår på undersiden både mot inneklime og på midten av bunnsvillen.

I tillegg viser resultatene at et startfuktinnhold på ca. 25 vekt-%, også er for høyt med tanke på muggvekstrisiko. Laboratorieforsøket viser at det vil oppstå muggvekst etter to uker med gunstige forhold i bunnsviller med et gjennomsnittlig startfuktinnhold på ca. 25 vekt-%. Fuktinnholdet i det målepunktet som ble undersøkt i muggvekstanalysen, av bunnsvillen med et gjennomsnittlig fuktinnhold på 25 vekt-%, hadde derimot et startfuktinnhold som var mye høyere. Videre analyse viser at det ikke vil oppstå muggvekst på treverk som har et startfuktinnhold på 25 vekt-% etter fire uker. Fuktberegningene viser at muggvekst derimot vil oppstå etter varighet av gunstige forhold i åtte uker. Muggvekst oppstår selv om bunnsvillene er simulert med å ha tørket i en eller to uker før start beregning. Dersom bunnsviller blir utsatt for vannpåvirkning, tilsvarende vanndammer og regn, i tre eller sju dager, er det kritisk med tanke på muggvekst.

Med startfuktinnhold 1. januar eller Karasjok som uteklime, samt et startfuktinnhold på 25 vekt-%, vil det ikke oppstå muggvekst. Det kan derfor virke som om en kan tillate et høyere startfuktinnhold ved kaldt uteklime og innbygging om vinteren. Selv om start beregning 1. januar og Karasjok som uteklime gir den tregeste uttørkingen, sammenlignet med andre startberegningstidspunkt og uteklime, gir de tryggere muggvekstforhold. Dette indikerer at temperaturen har stor betydning for muggvekstdannelse.

Selv om 150 mm isolasjon gir en bedre uttørking enn 400 mm, viser muggvekstanalysen at forskjellen mellom dem er ubetydelig med tanke på muggvekstrisiko. Muggvekst vil oppstå på samme tidspunkt for både 150 og 400 mm isolasjon. Dette er også gjeldene for de ulike vindsperreproduktene. Gipsplate vil gi bedre uttørking enn trefiberplate, men muggvekst vil oppstå for begge produktene etter åtte uker med gunstige forhold.

Med startfuktinnhold på 18 og 20 vekt-% viser resultatene fra både fuktberegningene og laboratorieforsøket at det ikke oppstår muggvekst. Dersom bunnsviller blir utsatt for lett regnpåvirkning eller ren hygroskopisk oppfuktning, vil det ikke være risiko for muggvekst.

Resultatene er forholdsvis like for bunnsvill B og E som får samme vannpåvirkning. En ser imidlertid at det vil være noen flere perioder hvor muggvekst oppstår for bunnsvill B, med en tykkelse på 48 mm, enn bunnsvill E, med en tykkelse på 36 mm. Det tyder derfor på at det er mindre kritisk, med tanke på muggvekst, å bruke 36 mm bunnsvill fremfor 48 mm.

Målinger viser at fuktinnholdet i samtlige toppsviller øker i ytre del. Dette tyder på at det oppstår konveksjon og økt intern fuktfordeling, som kan føre til økt muggvekstrisiko. Dersom toppsvillene kun blir hygroskopisk oppfuktet (startfuktinnhold på ca. 15 - 16 vekt-%), vil det likevel ikke ha særlig betydning for muggvekstrisikoen. Dette siden fuktinnholdet ligger under 18 vekt-% i løpet av de fire første ukene av uttørkingen.

Sammenligning med nyere forskning

Resultatene fra fuktberegningene og laboratorieforsøket virker å samsvare nokså bra med tidligere forskning. I en svensk studentoppgave (Forsberg, 2011) ble det funnet at treverk generelt bør ha et fuktinnhold på 12,5 - 18,5 vekt-% før innbygging, avhengig av veggens oppbygning.

I en annen svensk studie (Olsson, 2011b) ble det erfart at på monterte bunnsviller og stendere av treverk, som blir utsatt for vannbad og regnpåvirkning, er det stor risiko for at muggvekst oppstår. Kortvarig regn eller kun hygroskopisk oppfuktning er derimot ikke kritisk. De samme resultatene ser en fra laboratoriestudien i denne masteroppgaven. Studien er nokså lik laboratorieforsøket i denne masteroppgaven, men er ikke direkte sammenlignbar. Ulikheter er at det ble benyttet noe forskjellig inne- og uteklime, forskjellig tørketid før isolering og lukking, samt ulik vannpåvirkning. Forsøksveggen i den svenske studien ble umiddelbart lukket etter innbygging av bunnsviller og stenderverk, og maks vannbelastning var tre dager. I tillegg ble treverket oppfuktet utendørs, slik at soppsporer kunne feste seg. Muggvekstrisikoen ble vurdert ut fra faktiske prøver av mikrobiell aktivitet, noe som ikke inngikk i denne masteroppgaven. Det ble påvist rikelig med muggvekst på treverket, også før innbygging i veggen.

Bunnsvillene i den svenske studien tørket ned til 18 vekt-% på 3 - 6 uker. Fuktmålinger i laboratorieforsøket i denne masteroppgaven er kun utført i fire uker. Resultater viser at fuktinnholdet ikke vil tørke ned til 18 vekt-%, i løpet av de fire første ukene, for bunnsvillene som hadde gjennomgått fuktpåvirkning med fritt vann. Det kan virke som om bunnsvillene i laboratorieforsøket i denne masteroppgaven var mer fuktig ved lukking av veggen, selv om de hadde tørket i fem dager. En annen mulig årsak er at uteklimaet i den svenske studien er 10 °C høyere, noe som øker uttørkingshastigheten.

Bunnsvillene som kun var hygroskopisk oppfuktet har i begge studiene et fuktinnhold lavere enn 18 vekt-% ved isolering og lukking. I tillegg viser resultater fra begge studiene at vannoppsuging fra endeved er særlig kritisk med tanke på muggvekst. Fuktinnholdet ved endeveden er høyere over lengre tid i samtlige konstruksjoner, sammenlignet med der mindre fuktopptak forekommer. Det er i den svenske studien ikke oppdaget noen forskjell i muggvekstrisiko mellom ytre og indre del av konstruksjonen, selv om indre del hadde høyere temperatur. Dette er forskjellig fra resultatene fra laboratoriestudien i denne masteroppgaven. I bunnsvillene er det funnet at muggvekst oppstår på midten av bunnsvillene og ved inneklimate.

En annen laboratoriestudie fra Sverige (Olsson, 2011c) viser at type vindsperreprodukt har stor betydning for fuktnivåene i en vegg. Dette er ikke undersøkt i laboratorieforsøket i denne masteroppgaven, men det er kort analysert i fuktberegningene. Resultatene fra fuktberegningene viser at type vindsperre hadde innvirkning på fuktnivåene. Det ble imidlertid kun sett på vindsperrer med ulike S_d -verdier, og ikke med ulike isolerende egenskaper. I den svenske studien er det anbefalt å benytte mest mulig isolerende og dampåpne vindsperrer. Fuktberegningene i masteroppgaven viser at uttørkingen går raskere med en mer dampåpen vindsperre, men at det ikke gir noen forskjell i muggvekstrisiko.

I Sverige er det også utført en studie (Olsson et al., 2011) der treverk som er benyttet i prefabrikkerte trehus er kartlagt. Det er funnet at treverk i prefabrikkerte trehus, selv med raskt oppføring, blir utsatt for nedbør og temperaturforhold som kan medføre muggvekst. Muggvekst oppstod både i fabrikk, ved lagring på byggeplass og grunnet nedbør under oppføring. Det er funnet at det er stor risiko for muggvekst på bunnsviller grunnet begrensede uttørkingsmuligheter.

Krav og anbefalinger

Krav og anbefalinger til hvilket fuktinnhold treverk bør ha ved isolering og lukking av konstruksjonen, varierer noe utover landegrensene. Stort sett varierer anbefalt fuktinnhold fra 18 - 20 vekt-%, men Sverige skiller seg ut med et krav på 75 % RF, noe som tilsvarer 15,6 vekt-%.

Konveksjon

I en norsk studie (Økland, 1998) er det hevdet at naturlig konveksjon ikke har betydelig innvirkning på veggens egenskaper når det gjelder muggvekst. Det samme viser resultatene fra laboratorieforsøket i denne masteroppgaven. Resultatene viser et noe økt fuktinnhold i toppsvillene grunnet konveksjon, men dette medfører imidlertid ikke muggvekst. Videre er det hevdet (Økland, 1998) at naturlig konveksjon blir betydelig redusert når byggfukt i

konstruksjonen blir redusert til akseptable nivåer. Laboratorieforsøket i denne masteroppgaven viser at det oppstår konveksjon ved høye startfuktinnhold, så vel som ved lave startfuktinnhold. En mulig årsak er hulrom i isolasjonssjiktet i veggelementene der bunnsvillene har lavest startfuktinnhold.

Anbefaling

På bakgrunn av utførte to-dimensjonale fuktberegninger og laboratorieforsøk, viser resultatene at anbefalt verdi for kritisk fuktinnhold i høyisolerte bindingsverksvegger ved isolering og lukking, bør være 20 vekt-% eller lavere.

Den anbefalte verdien er valgt på bakgrunn av beregninger og laboratorieforsøk, hvor det blant annet er analysert bunnsviller med fuktinnhold på ca. 20 og 25 vekt-%. Resultatene viser at det generelt oppstår muggvekst ved et startfuktinnhold på 25 vekt-%, og ikke ved et startfuktinnhold på 20 vekt-%. Intervallet mellom 20 og 25 vekt-% er noe usikkert. Det er derfor mulig at kritisk fuktinnhold kan ligge mellom 20 og 25 vekt-%.

Det er imidlertid behov for å gjennomføre flere forsøk og beregninger, for å vurdere om en kan øke det anbefalte fuktinnholdet ved bygging på vinteren, samt i kalde uteklima. Dessuten er det i muggvekstanalysen ikke tatt hensyn til tørrperioder, som kan være hemmende på muggvekst. En kan i tillegg vurdere å senke kritisk fuktinnhold ved bruk av doble bunnsviller, men en bør i så fall utføre flere forsøk eller beregninger.

I følge resultatene i denne masteroppgaven, virker et nytt krav til fuktinnhold i treverk ved isolering og lukking av passivhus på 15 vekt-%, å være vel konservativt.

9. Konklusjon

Resultatene fra laboratorieforsøket viser at dersom bunnsviller blir utsatt for vannpåvirkning, tilsvarende vanndammer og regn, i tre eller sju dager, er dette kritisk med tanke på muggvekst. Bunnsviller vil ved slik vannpåvirkning få et høyt startfuktinnhold på ca. 25 og 30 vekt-%. Med slike høye startfuktinnhold, viser resultatene fra laboratorieforsøket, at muggvekst oppstår etter to uker med gunstige temperatur- og RF-forhold. Resultatene fra fuktberegningene viser at uttørring til 80 % RF, tar over 12 uker for bunnsviller med høye startfuktinnhold. I tillegg viser beregningene at muggvekst oppstår etter to uker med gunstige forhold for startfuktinnhold på 30 vekt-%, samt etter åtte uker for startfuktinnhold på 25 vekt-%. Lett regnpåvirkning medfører et startfuktinnhold på ca. 20 vekt-%, og muggvekstanalyser viser at det ikke oppstår muggvekst i løpet av åtte uker.

Det er størst muggvekstrisiko på underside bunnsvill både på midten og nær inneklime, da uttørringen her er begrenset og temperaturen høyest. Bunnsviller er generelt fuktigere på overflaten sammenlignet med midt i treverket, og tørker generelt tregere på overflaten. Det oppstår konveksjon og økt intern fuktfordeling i samtlige veggelement i laboratorieforsøket, og fuktinnholdet i toppsvillenes ytre del øker. Fuktinnholdet blir imidlertid aldri så høyt at det er fare for muggvekst i løpet av fire uker.

Uttørring av fukt i bunnsviller går tregere i kaldt uteklime (Karasjøk) og ved start beregning 1. januar. Resultater viser imidlertid at det er mindre risiko for muggvekst ved kaldt uteklime og start beregning 1. januar. Det kan derfor muligens tillates et høyere kritisk startfuktinnhold om det bygges under slike forhold.

Resultatene viser at innvirkning av isolasjonstykkelse er ubetydelig med tanke på muggvekstrisiko, da det oppstår muggvekst etter like lang tid med gunstige forhold for både 150 og 400 mm isolasjon. Muggvekstanalysen viser at det heller ikke er noe forskjell ved bruk av trefiberplate eller gipsplate, med tanke på muggvekst.

Kritisk fuktinnhold som er akseptabelt i treverk ved lukking av høysisolerte bindingsverksvegger av tre, anbefales å være 20 vekt-% eller lavere. Det er imidlertid behov for å gjennomføre flere forsøk og beregninger, for å vurdere om en kan øke det anbefalte fuktinnholdet ved bygging på vinteren, samt i kalde uteklime. En kan i tillegg vurdere å senke kritisk fuktinnhold ved bruk av doble bunnsviller, men en bør i så fall utføre flere forsøk eller beregninger.

10. Videre arbeid

For å kunne anbefale hvilke(t) kritiske fuktforhold i treverk som er akseptable ved isolering og lukking av høyisolerte bindingsverksvegger i tre, bør det utføres flere fuktberegninger og laboratorieforsøk. Dette siden fuktberegningene og laboratorieforsøket kun har analysert deler av forholdene som innvirker på fuktnivåene i en bindingsverksvegg. Det kan i videre arbeid være aktuelt å inkludere andre inngangsparametere og veggoppbygging.

Andre inngangsparametere i fuktberegningene kan være flere start beregningstidspunkt på vinteren, for å undersøke om en kan øke kravet til kritiske fuktforhold ved bygging på vinteren. En kan også undersøke andre kalde uteklima enn Karasjok, for å kartlegge om også det gir grunnlag for å øke verdien for kritisk fuktforhold. Det kan også være aktuelt å undersøke andre konstruksjonsoppbygninger. Eksempelvis kan en studere uttørkingsforløpet og muggvekstrisikoen for doble bunnsviller, da dette vil være mer kritisk enn enkle bunnsviller. Det er også en mulighet å utføre beregninger i for eksempel WUFI-Pro, for å gjennomføre mer realistiske analyser som inkluderer blant annet kondensfare.

I laboratorieforsøket er det interessant å se på bruk av andre materialer i forsøksvegger. Dette kan være vindsperreprodukter med ulik damptetthet, eksempelvis gipsplater og folieprodukter. I tillegg kan en studere forskjellige isolasjonstykkelser og -produkter. Celluloseisolasjon, også kalt trefiberisolasjon, er aktuelt grunnet materialets hygroskopiske evner. Konsekvens av økt treandel i bindingsverksvegger bør også bli undersøkt. Stenderverkets uttørring og muggvekstrisiko kan en også studere. Det kan også være interessant å se på en annen oppfukting av bunnsviller. Forlengelse av tørkeperioden før lukking av konstruksjonen, er aktuelt å studere slik at forsøket blir mer realistisk i forhold til hva som er vanlig praksis på byggeplass.

I laboratorieforsøket ble det valgt et kaldt uteklima som øker konveksjon. Et varmere uteklima kan være mer gunstig for muggvekst, og er derfor interessant å undersøke. I tillegg kan det også være interessant å utføre feltforsøk hvor RF i uteklimaet er naturlig varierende. Eventuelt kan en utføre forsøk med naturlig varierende RF i inneklimaet. Det kan også være aktuelt å instrumentere målepunktene andre steder på bunnsvillene i laboratorieforsøk. Dette gjelder både i ulike dybder og på andre steder på overflaten. Det er eksempelvis kun ett målepunkt på oversiden av bunnsvillene. På bunnsvillenes langside er det kun plassert to målepunkt, som begge ligger mot vindsperran.

Ved muggvekstanalyser bør en benytte en modell som tar hensyn til tørrperioder, eksempelvis m-modellen. Dette vil gi et mer realistisk resultat av muggvekstrisikoen.

I henhold til det utførte laboratorieforsøket, bør fuktmålingene fortsette i minst fire uker til for nærmere å undersøke uttørkingsforløpet til bunnsvillene. Ved åpning av veggen kan en også analysere bunnsvillene for muggvekst i mikroskop. Selv om bunnsvillene ikke er tilført sopp sporer, forekommer sopp sporer naturlig i luften, slik at muggvekst kan ha oppstått.

11.Referanseliste

- Berggren, B., Togerö, Å., & Svensson Tengberg, C. (2011). *Fuktsäkerhet och isolering i välisolerade hus – hur kan takkonstruktionen optimeras?*, ss. 22-24. Förlags AB Bygg & teknik, Stockholm, Sverige.
- Boverket. (2011). *Regelsamling för byggande, BBR*. Kalskrona, Sverige.
- Bøhlerengen, T. (2012). *472.435 Passivhus i tre. Eksempler på detaljer for varmeisolering og tetting*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Clementz, C. A., Glasø, G., & Øvrum, A. (2009). *ENTRÈ - energieffektive trekonstruksjoner. Delrapport 1 - TEK 07*. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo, Norge.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2011). *Veiledning om tekniske krav til bygg*. Hentet 01.30.2012 fra: <http://193.69.20.80/dxp/content/tekniskekrav/13/19/>
- Forsberg, T. (2011). *Fuktomlagringar i välisolerade ytterväggar*. Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige.
- Geving, S. (1997). *Moisture design og building constructions. Hygrothermal analysis using simulation models. Part I*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, Norge.
- Geving, S. (2005). *421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Geving, S. (2011a). *Praktisk bygningsfysikk og husbyggingsteknikk - yttervegger og fasader*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, Norge.
- Geving, S. (2011b). *Fuktskader. Årsaker, utredning og tiltak*. SINTEF akademiske forlag, Oslo, Norge.
- Geving, S., & Holme, J. (2010). *Høyisolerte konstruksjoner og fukt. Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Geving, S., & Thue, J. V. (2002). *Fukt i bygninger*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Geving, S., Erichsen, T. H., Nore, K., & Time, B. (2006). *Hygrothermal conditions in wooden claddings*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Hansson, T. (1989). *Att bygga torrt*. Byggförlag, Sverige.
- Holzwerke Ladenburger. (2005). *Bauen mit trockenem Holz*. Tyskland.
- International Code Council, Inc. (2003). *International Building Code*. Illinois, USA.
- Johansson, D., & Stjernedal, M. (2005). *Entreprenörens verktyg för fuktsäkert byggande*. Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige.

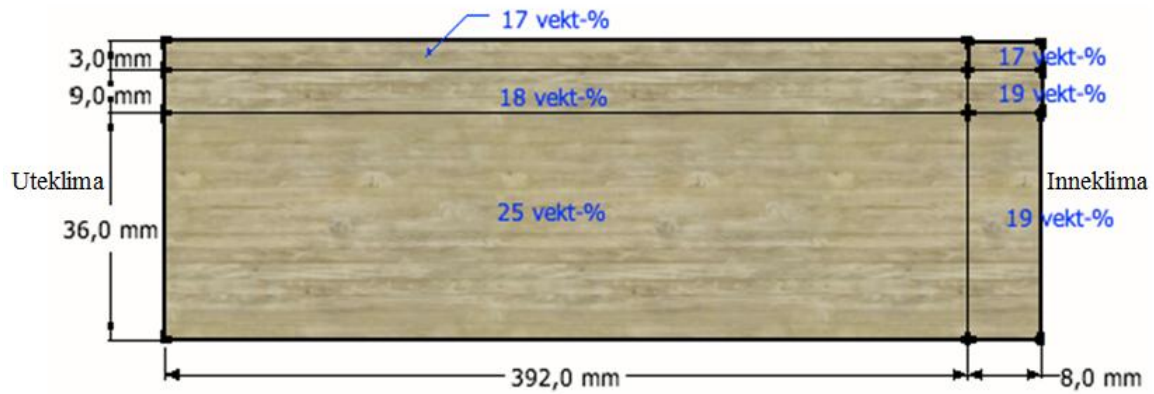
- Johansson, P., Samuelson, I., Ekstrand-Tobin, A., Mjörnell, K., Sandberg, P. I., & Sikander, E. (2005). *Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial - kunskapssammanfattning*. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, Sverige.
- Kommunal- og regionaldepartementet. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Hentet 30.01.2012 fra: http://lovdata.no/cgi-wift/wiftldles?doc=/app/gratis/www/docroot/for/sf/kr/kr-20100326-0489.html&emne=byggteknisk*%20%2b%20forskrift*&&
- Land, C. J., & Must, A. (2004). *Mikroorganismer. Luftburna mögelsvampar och mykotoxiner i svenska problemhus – anpassning till byggprocessen*. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Solna, Sverige.
- Lepper, P. Personlig meddelelse via epost. (15.02.2012). Canada.
- Magnussen, K. (2007). *720.082 Råte- og fargeskadesopp. Skadetyper og utbedring*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Møller, E. B. (2010). *Vejledning om håndtering af fugt i byggeriet*. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, Aalborg Universitet, Sverige.
- Nilsson, L.-O. (2009). *Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner*. Lunds Tekniska Högskola, Sverige.
- Olsson, L. (2011a). *Torrt träbyggande krävs*, ss. 16-21. Förlags AB Bygg & teknik, Stockholm, Sverige.
- Olsson, L. (2011b). *Laboratoriestudie av syllar och regler som utsatts för regn*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, Sverige.
- Olsson, L. (2011c). *Laboratoriestudie av träregelväggar med olika vindskydd*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, Sverige.
- Olsson, L., Mjörnell, K., & Johansson, P. (2010). *Kartläggning av fuktförhållanden vid prefabricerat trähusbyggande*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, Sverige.
- Oregon Residential Specialty Code. (2008). *Part III - Building Planning and Construction*. Hentet 10.02.2012 fra: http://www2.iccsafe.org/states/oregon/08_residential/08res_frameset.html
- Rydock, J. P. (2006). *474.533 Byggfukt. Uttørking og forebyggende tiltak*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Skogstad, M., & Eduard, W. (2002). *Helserisiko ved muggvekst på trelast*. Arbeidstilsynet. Hentet 01.03.2012 fra: <http://www.handboka.no/Skole/Veiled/Atba/bat537.htm>

- South Dakota Legislature. (2012). *State of South Dakota - Eighty-Seventh session legislative assembly, 2012*. Hentet 20.02.2012 fra <http://legis.state.sd.us/sessions/2012/Bill.aspx?File=HB1079P.htm>
- Thelandersson, S. (2011). *Fuktsikkerhet - hur kan man bedöma risken för mögelpåväxt?*, ss. 12-14. Förlags AB Bygg & teknik, Stockholm, Sverige.
- Togerö, Å., Svensson Tengberg, C., & Bengtsson, B. (2011). *m-model: a method to assess the risk for mould growth in wood structures with fluctuating hygrothermal conditions*, ss. 883-890. 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011, Sverige.
- Uvsløkk, S., Skogstad, H. B., & Grynning, S. (u.d.). *Hur man förhindrar naturlig konvektion från att förorsaka extra värmeförlust och fuktproblem i tjocka isoleringslager*. SINTEF Byggforsk, Norge.
- Wikipedia, the free encyclopedia. (2012). *USA*. Hentet 02.03.2012 fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/USA#Klima>
- Wikipedia, the free encyclopedia. (2012). *International Building Code*. Hentet 15.03.2012 fra: http://en.wikipedia.org/wiki/International_Building_Code
- WUFI. (2010). *Introduksjon*. Hentet 21.01.2012 fra: www.wufi.no/Introduksjon.php3
- Økland, Ø. (1998). *Convection in highly-insulated building structures*. Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet, Trondheim, Norge.
- Österreichisches Normungsinstitut. (2002). *Holzschutz im Hochbau - Gebäude, errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen - Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmassnahmen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Østerrike.

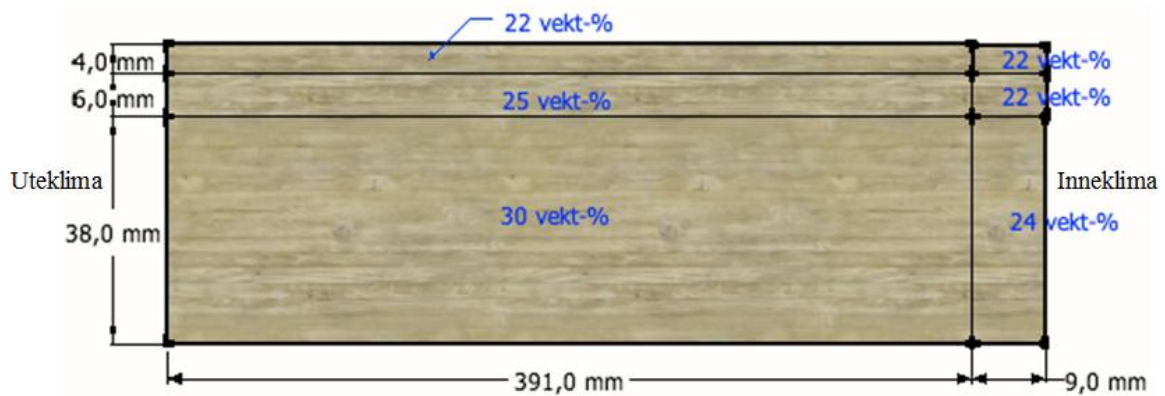
12. Bilag

Bilag 1 – Startfuktinnhold i bunnsviller i fuktberegningene	A3
Bilag 2 – RF i uteklima ved preberging av fuktinnhold i bunnsvill	A5
Bilag 3 – Resultater fra fuktberegninger – Uttørking av byggfukt	A7
Bilag 4 – RF i uteklima i løpet fire uker ved beregninger av uttørking av byggfukt	A11
Bilag 5 – Muggvekstanalyse av resultater fra fuktberegninger	A13
Bilag 6 – Fuktmålinger av parallell bunnsvill	A17
Bilag 7 – Utrekning av fukttilskudd fra inneluften i laboratorieforsøk	A19
Bilag 8 – Resultater fra laboratoriestudien – Uttørking av byggfukt	A21
Bilag 9 – Muggvekstanalyse av resultater fra laboratoriestudie	A31

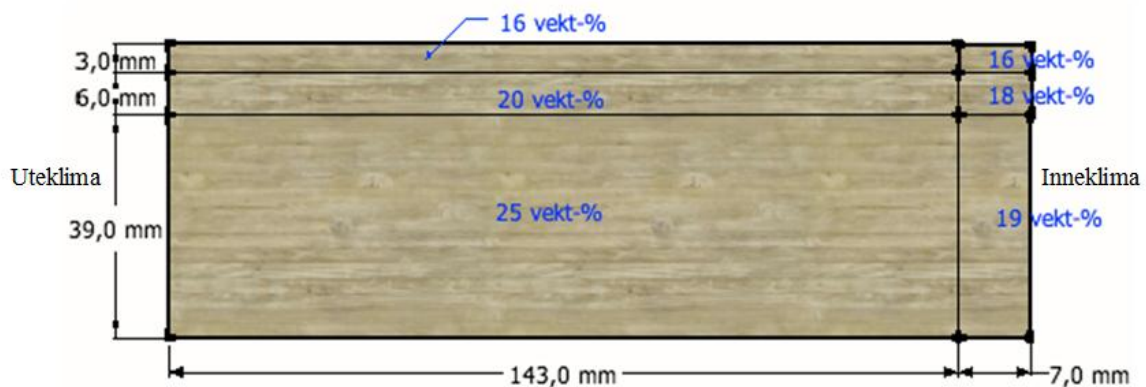
Bilag 1 – Startfuktinnhold i bunnsviller i fuktberegningene



Figur 1.1
Fuktinnhold i bunnsvill etter en uke med tørking, der bunnsvillen hadde et startfuktinnhold på 25 vekt-%. Veggelementet med denne bunnsvillen har 400 mm isolasjon.

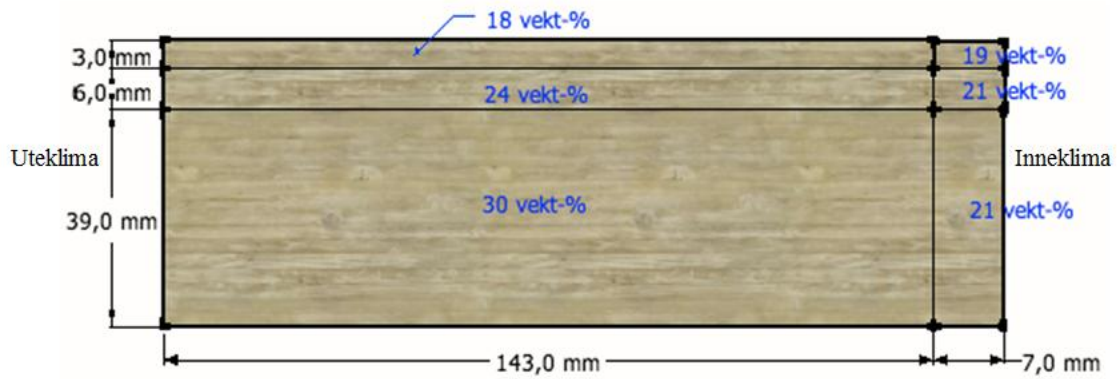


Figur 1.2
Fuktinnhold i bunnsvill etter to uker med tørking, der bunnsvillen hadde et startfuktinnhold på 30 vekt-%. Veggelementet med denne bunnsvillen har 400 mm isolasjon.



Figur 1.3

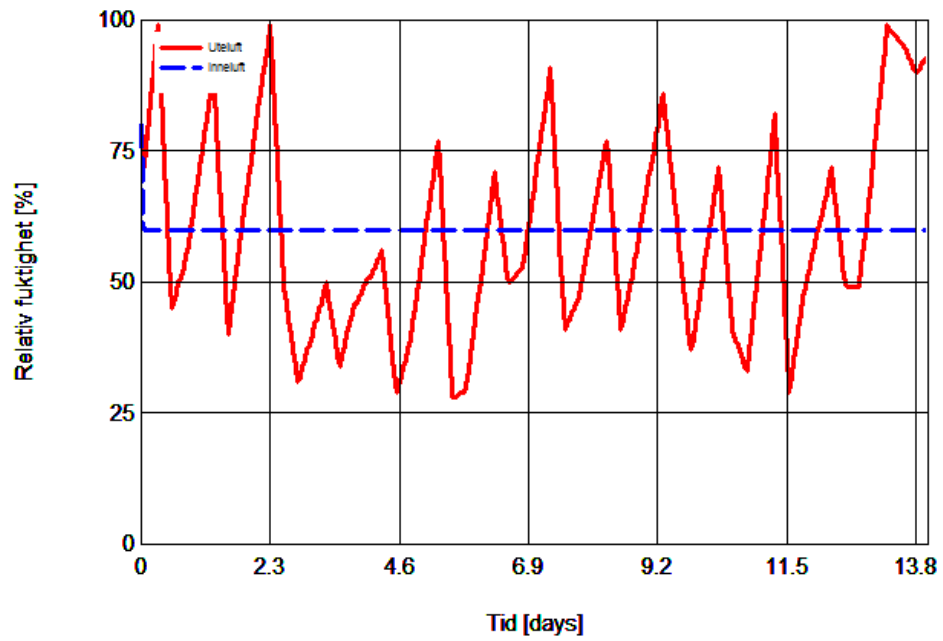
Fukttinnhold i bunnsvill etter to uker med tørking, der bunnsvillen hadde et startfukttinnhold på 25 vekt-%. Veggelementet med denne bunnsvillen har 150 mm isolasjon.



Figur 1.4

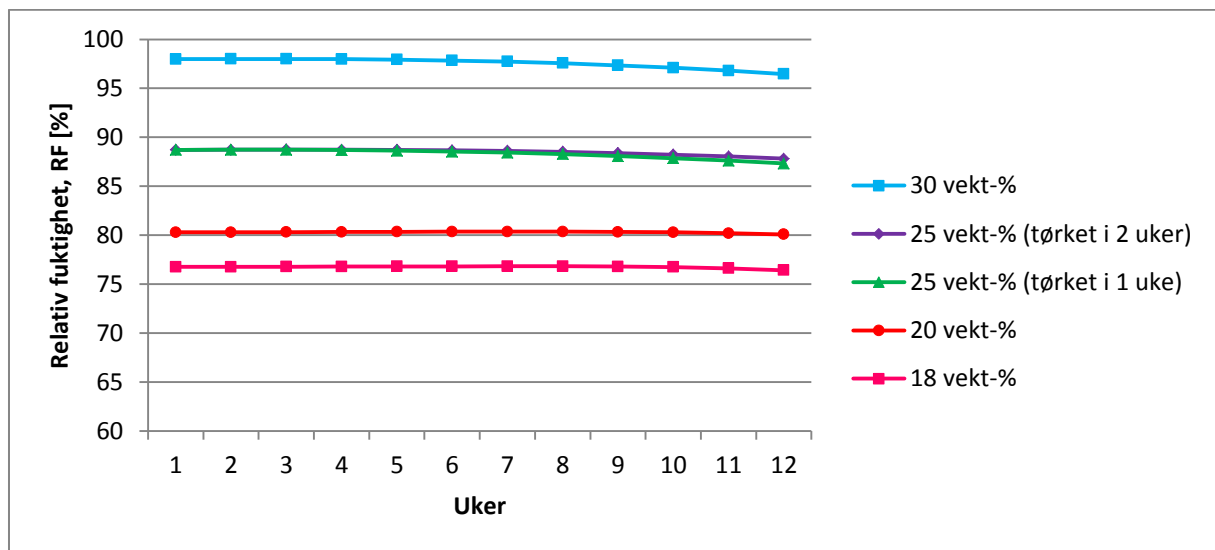
Fukttinnhold i bunnsvill etter to uker med tørking, der bunnsvillen hadde et startfukttinnhold på 30 vekt-%. Veggelementet med denne bunnsvillen har 150 mm isolasjon.

Bilag 2 – RF i uteklima ved preberegning av fuktinnhold i bunnsvill



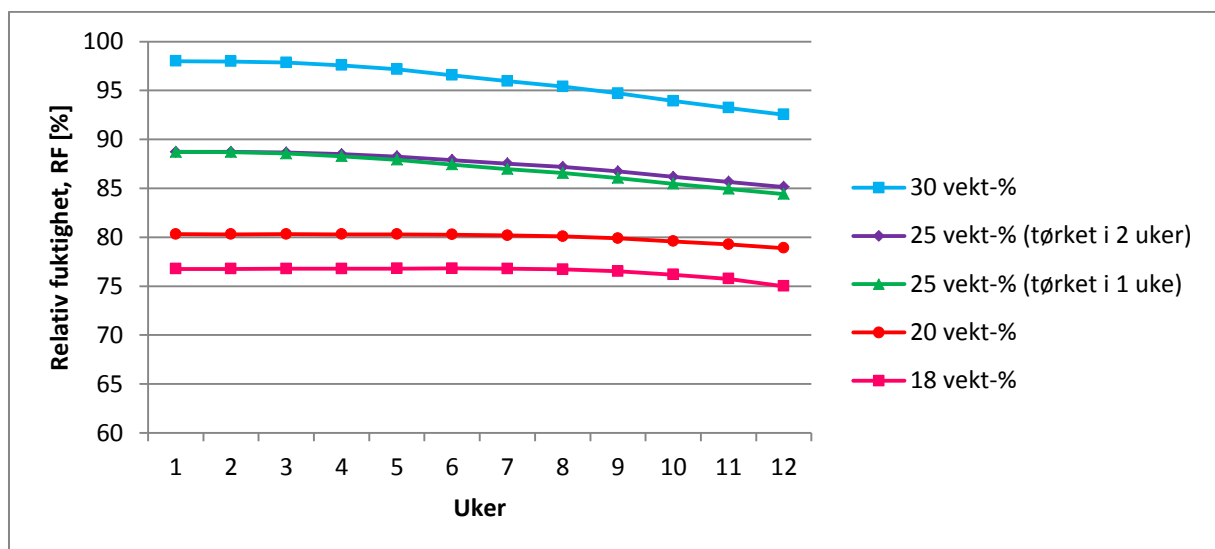
Figur 2.1
RF i uteklima. Uteklima = Oslo, start beregningstid = 1. september.

Bilag 3 – Resultater fra fuktberegninger – Uttørking av byggfukt



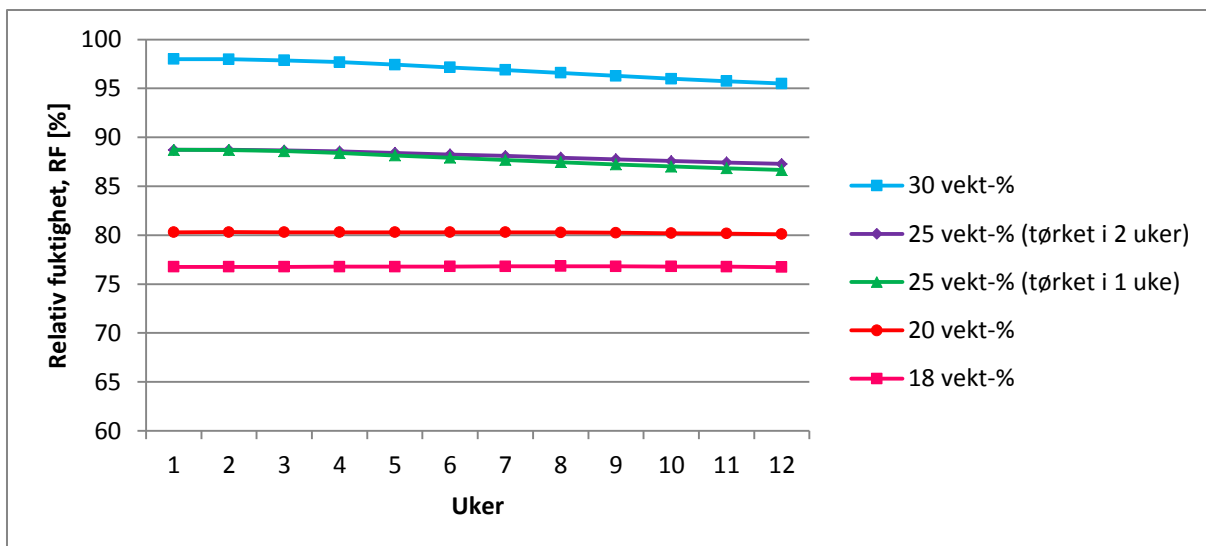
Figur 3.1

RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, start beregning = 1. januar, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

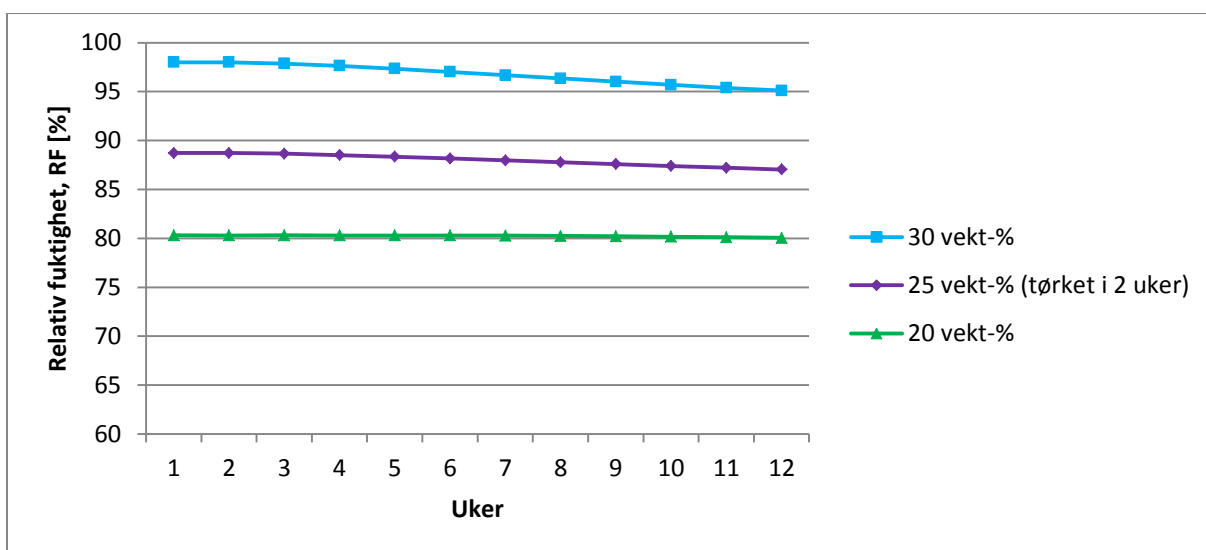


Figur 3.2

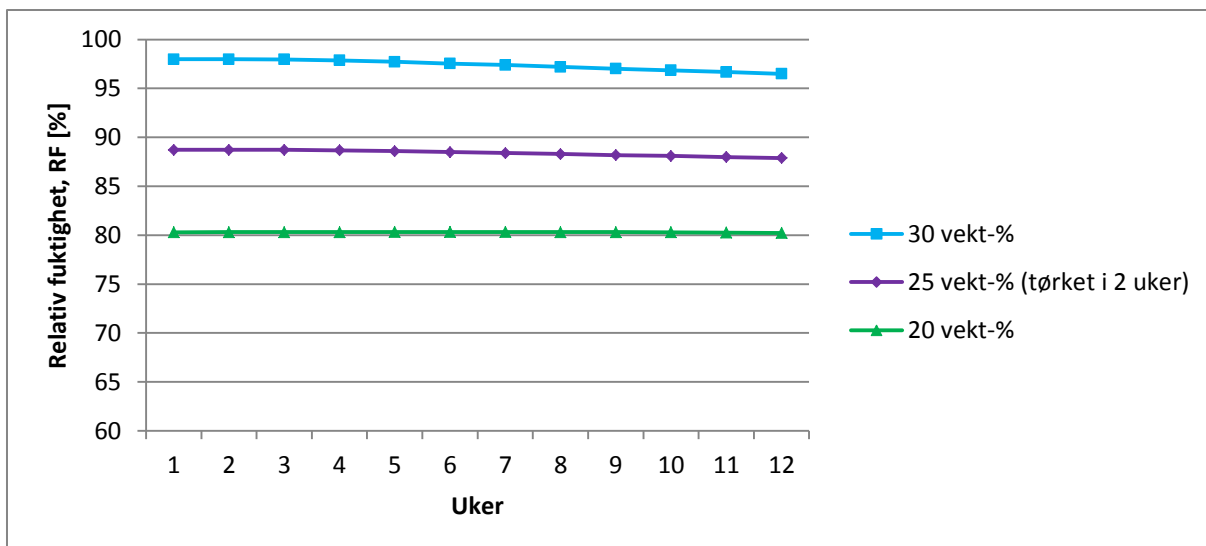
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, start beregning = 1. juni, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.



Figur 3.3
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = *Trondheim*, start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

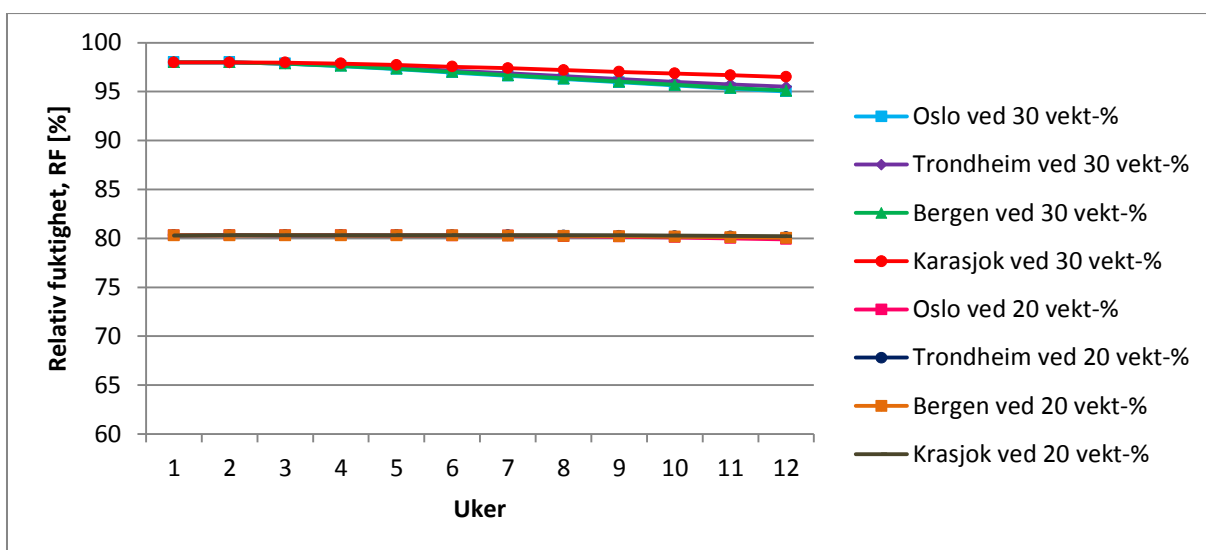


Figur 3.4
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = *Bergen*, start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.



Figur 3.5

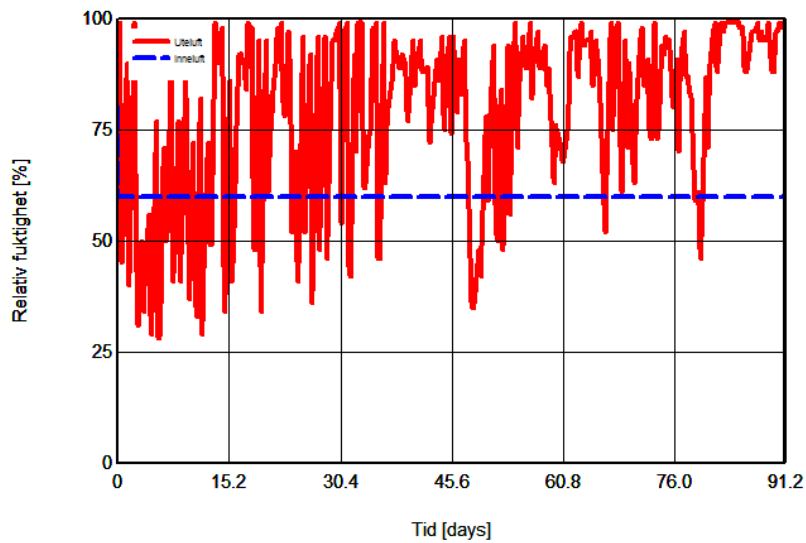
RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Karasjok, start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.



Figur 3.6

RF i bunnsvillene for beregninger med ulikt startfuktinnhold ved ulike uteklima. Isolasjonstykkelse = 400 mm, startfuktinnhold = 30 vekt-% / 20 vekt-%, start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillene.

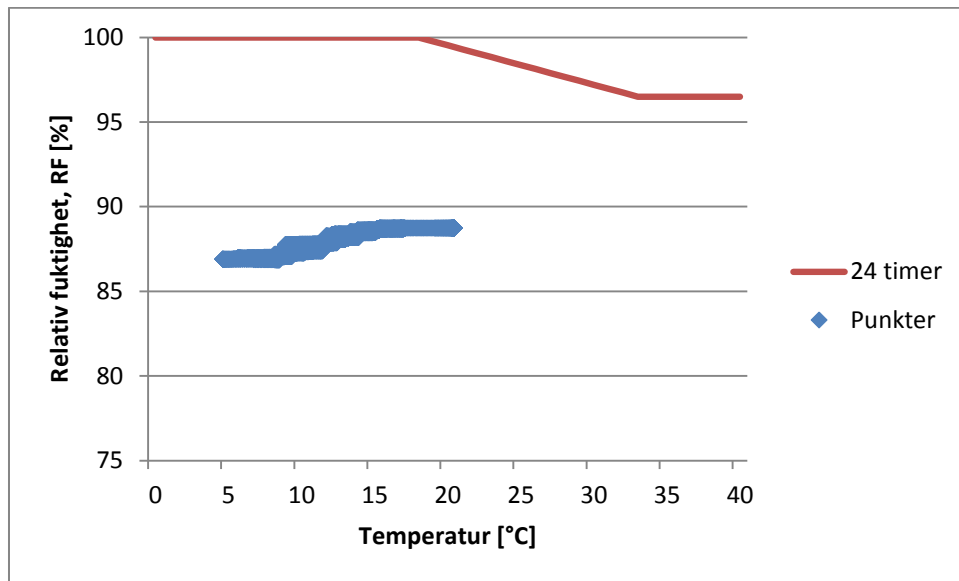
Bilag 4 – RF i uteklima i løpet fire uker ved beregninger av uttørking av byggfukt



Figur 4.1

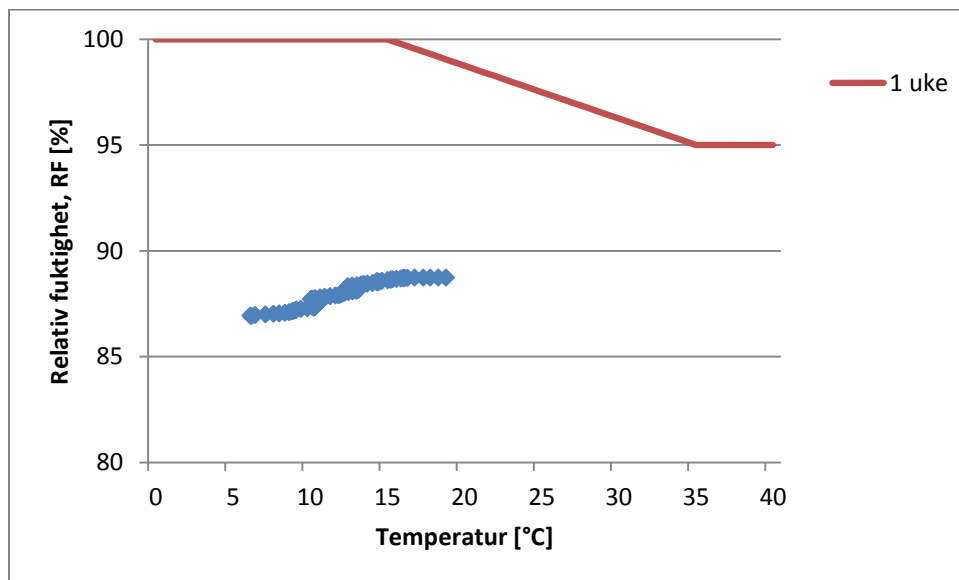
RF i uteklima. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 30 vekt-%, start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate.

Bilag 5 – Muggvekstanalyse av resultater fra fuktberegninger



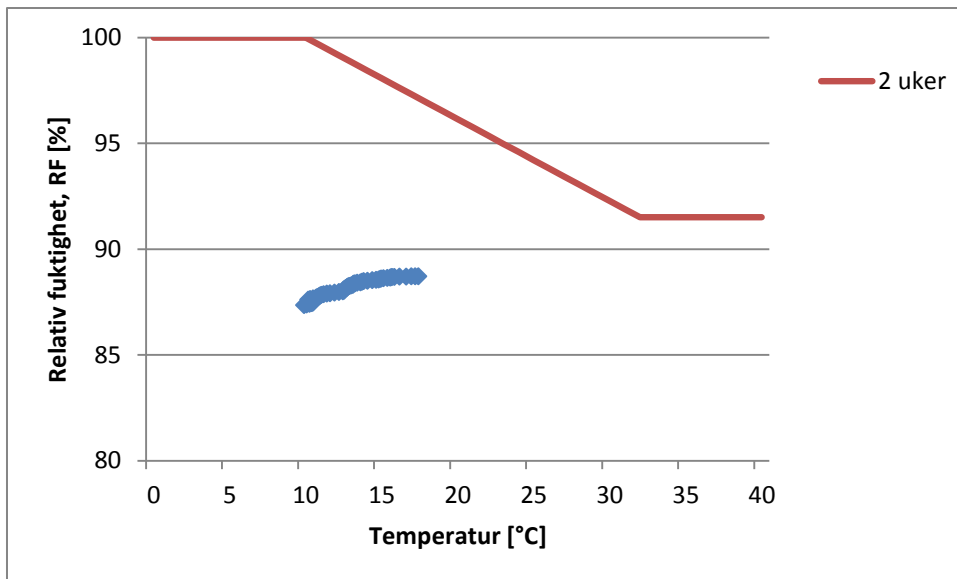
Figur 5.1

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillen i forhold til en varighetskurve for 24 timer. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.



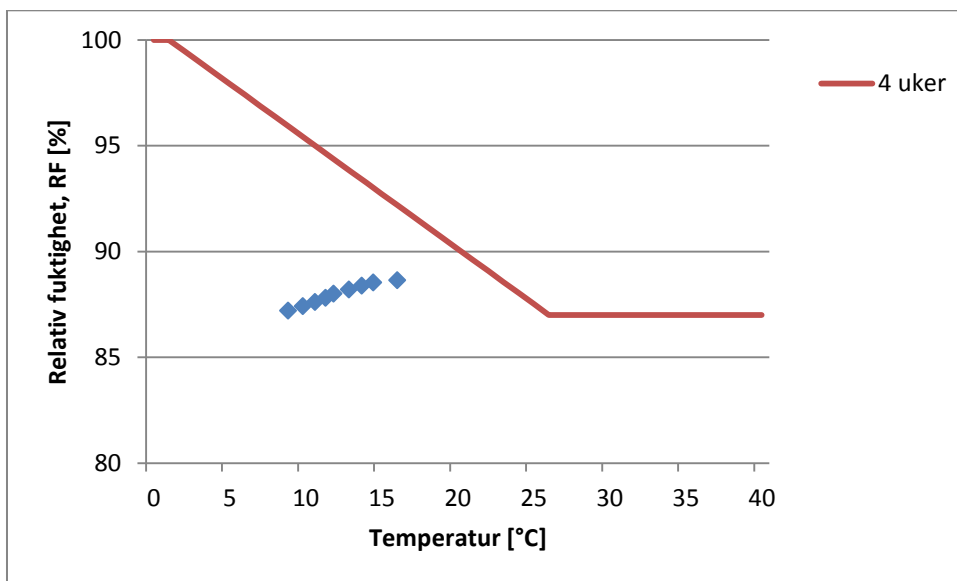
Figur 5.2

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillen i forhold til en varighetskurve for en uke. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklima = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.



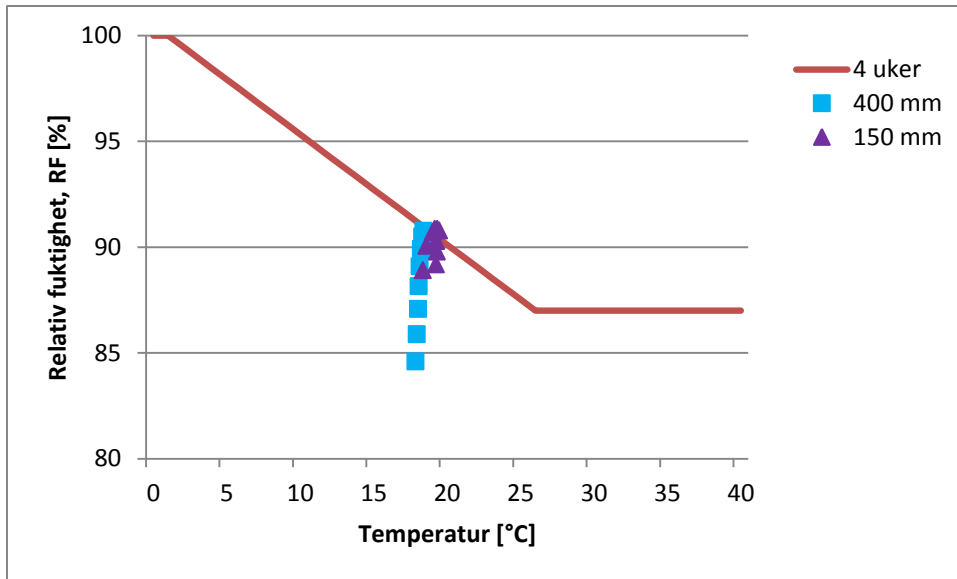
Figur 5.3

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillen i forhold til en varighetskurve for to uker. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.



Figur 5.4

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvillen i forhold til en varighetskurve for fire uker. Isolasjonstykkelse = 400 mm, uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 25 vekt-% (tørket i to uker), start beregning = 1. september, vindspærre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunnsvillen.

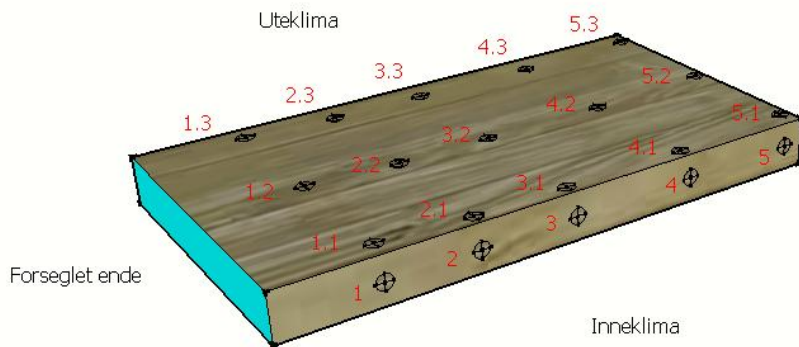


Figur 5.5

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunns villene i forhold til en varighetskurve for fire uker ved ulike isolasjonstykkelser. Uteklime = Oslo, startfuktinnhold = 30 vekt-%, start beregning = 1. september, vindsperre = trefiberplate. Resultatene er hentet fra punkt nr. 2 i bunns villene.

Bilag 6 – Fuktmålinger av parallell bunnsvill

Målepunktene ble plassert henholdsvis 100, 210, 320, 430 og 540 mm fra forseglet ende på over- og underside bunnsvill, se figur 6.1. Det ble også tatt målinger i samme avstand fra forseglet ende på langsiden av bunnsvill (punkt nr. 1 - 5). Målingene ble tatt på overflaten av bunnsvillen, ved ca. dybde 15 mm.



Figur 6.1
Målepunkter på parallell bunnsvill. Det er de samme målepunktene på over- og underside, samt inn- og utside.

Tabell 6.1
Fuktinnhold i parallell bunnsvill før og etter fem dager med tørking.

		Fuktinnhold i en viss avstand fra forseglet ende [vekt-%]					
		100 mm	210 mm	320 mm	430 mm	540 mm	
Før tørking	Overside	1	26,8	26,2	22,3	24,3	24,3
		2	26,0	24,6	24,8	28,1	28,1
		3	27,4	26,2	24,6	26,9	26,9
	Innside		28,3	32,6	34,8	29,3	35,4
	Utside		31,8	32,4	31,8	33,6	31,5
	Underside	1	29,9	35,1	30,0	34,0	35,7
		2	28,2	29,8	36,1	29,3	35,2
3		25,8	26,5	32,5	30,3	32,6	
Etter tørking	Overside	1	19,9	19,2	18,9	19,5	20,3
		2	23,2	20,3	20,3	23,7	24,2
		3	21	17,8	18,2	18,8	19,9
	Innside		20,9	21,1	20,3	19,9	19,9
	Utside		20,6	20,1	20,8	20,2	21,8
	Underside	1	24,7	24,2	24,8	25,5	25,1
		2	28,0	26,9	26,6	33,4	29,0
3		23,3	24,2	22,4	22,5	22,3	

Etter oppfukting og før tørking, er bunnsvillen fuktigst nær endevend som ikke er forseglet. Bunnsvillen er tilsvarende tørrest mot forseglet ende, mens den har et jevnt fuktinnhold på

midten. Etter fem dager med tørking er bunnsvillen like fuktig nær ikke-forseglet ende som forseglet ende. Også nå er den tørrest midt på.

Bilag 7 – Utregning av fukttilskudd fra inneluften i laboratorieforsøk

Utregning av fukttilskudd:

Inneklima: 23 °C og 60 % RF, metningskonsentrasjonen $v_{\text{sat}} = 20,54 \text{ g/m}^3$.

Uteklima: 0 °C og 80 % RF, metningskonsentrasjonen $v_{\text{sat}} = 4,85 \text{ g/m}^3$.

Verdien for metningskonsentrasjonene er funnet fra metningstabell D2 i boken «Fukt i bygninger» (Geving & Thue, 2002).

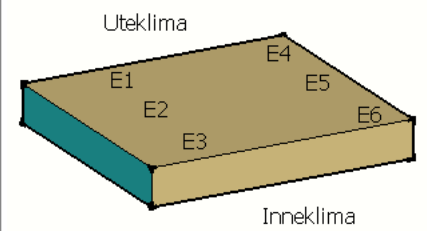
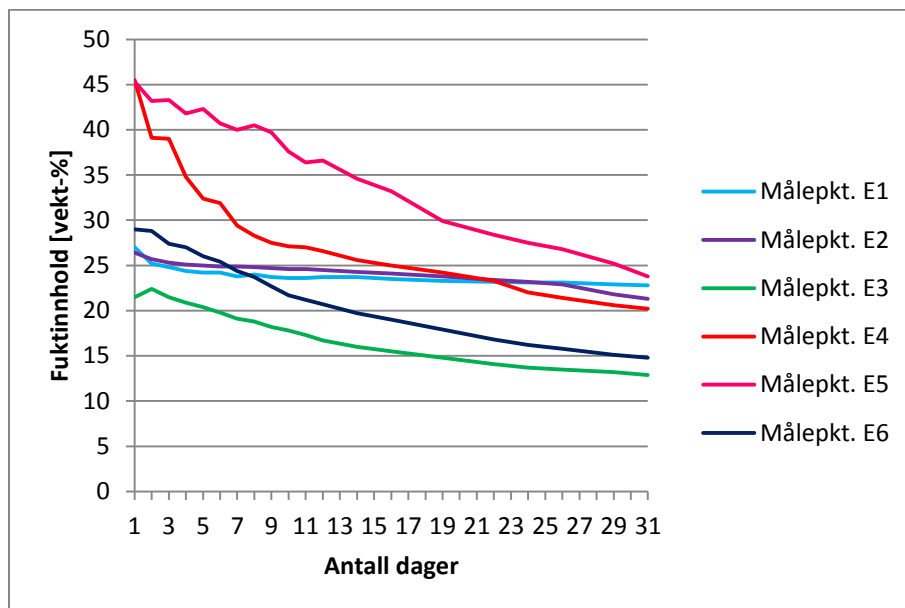
Inneklima: $v_i = 0,60 \times 20,54 = 12,3 \text{ g/m}^3$

Uteklima: $v_e = 0,80 \times 4,85 = 3,9 \text{ g/m}^3$

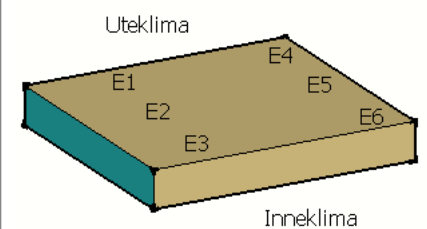
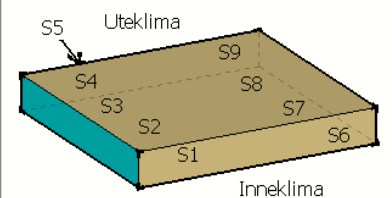
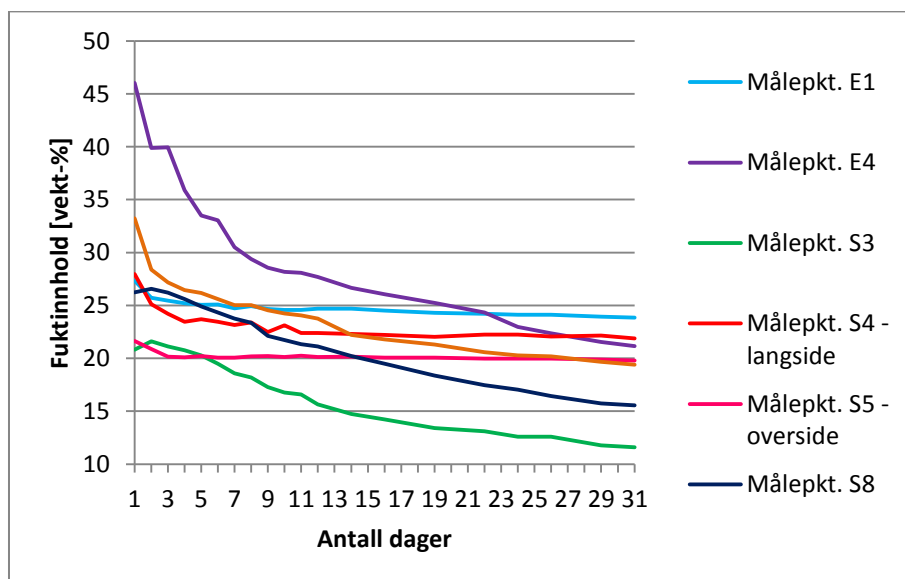
Anslått fukttilskudd til inneluften er da:

$$\Delta v = v_i - v_e = 12,3 - 3,9 = 8,4 \text{ g/m}^3.$$

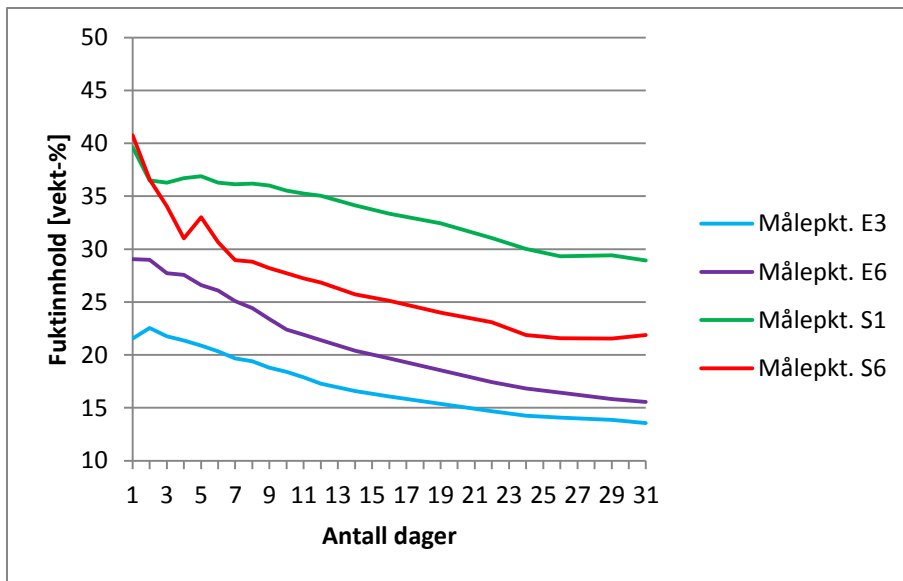
Bilag 8 – Resultater fra laboratoriestudien – Uttørking av byggfukt



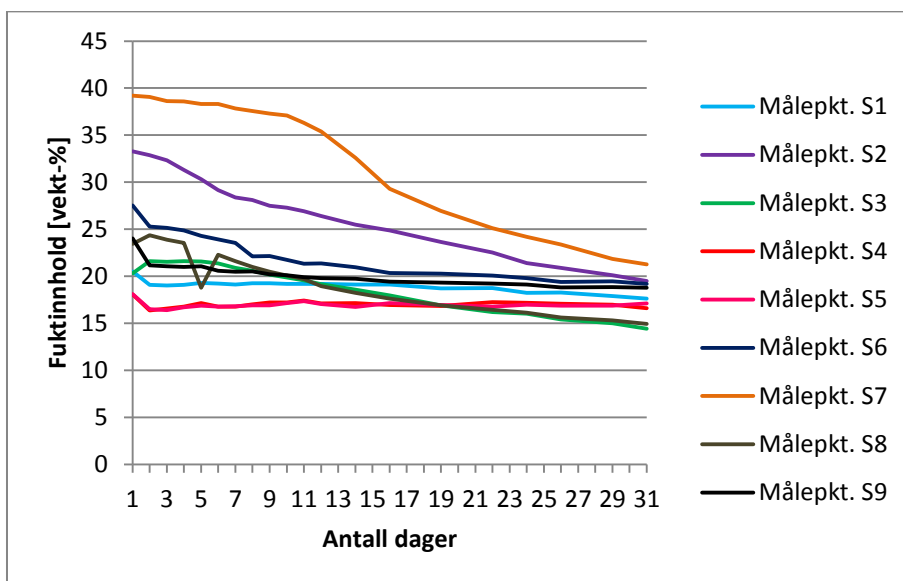
Figur 8.1
Fuktinnhold i målepunkt E1 – E6 over tid i bunnsvill A.



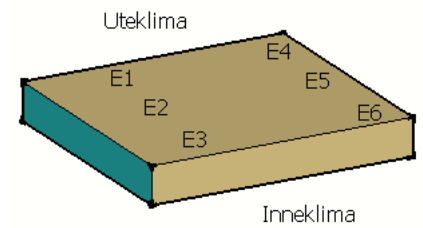
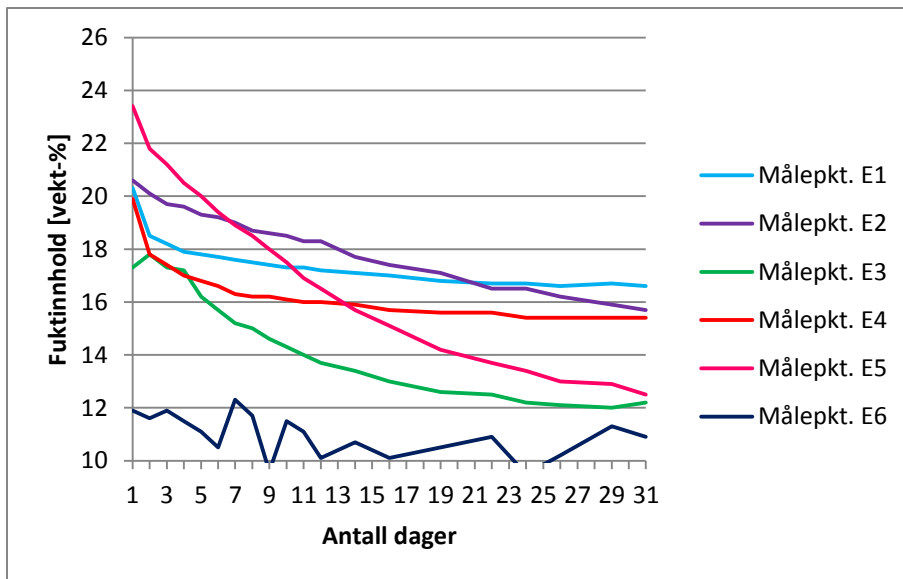
Figur 8.2
Fuktinnhold i målepunkt E1, E4, S3 - S5, S8 og S9 over tid i bunnsvill A. Alle punktene er mot uteklima.



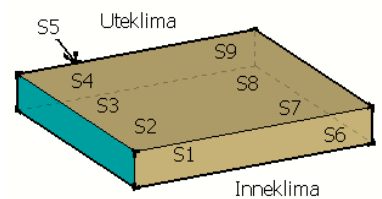
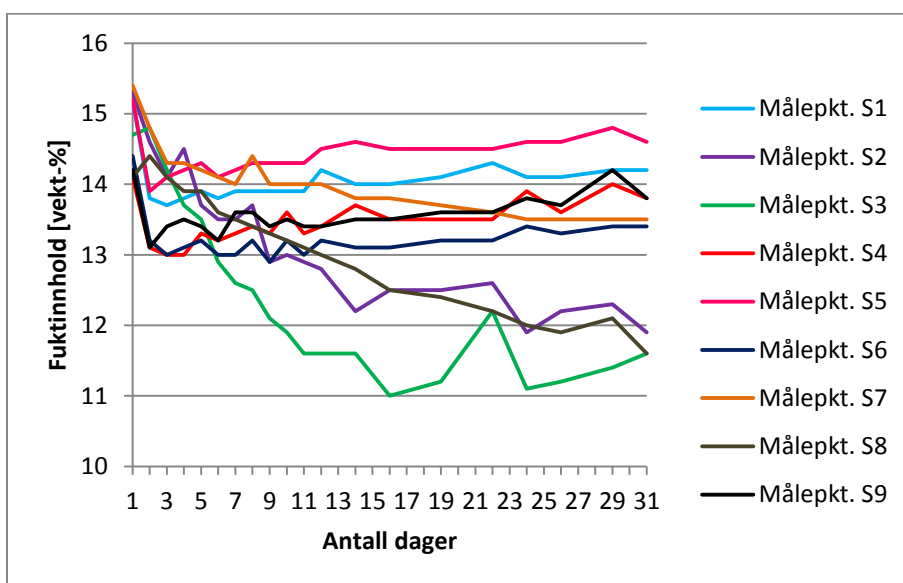
Figur 8.3
Fuktinnhold i målepunkt E3, E6, S1 og S6 over tid i bunnsvill A. Alle punktene er mot inneklima.



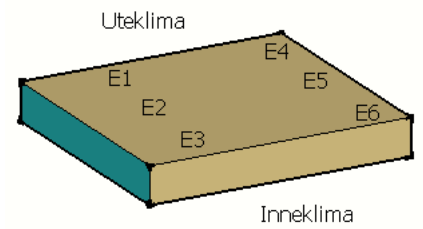
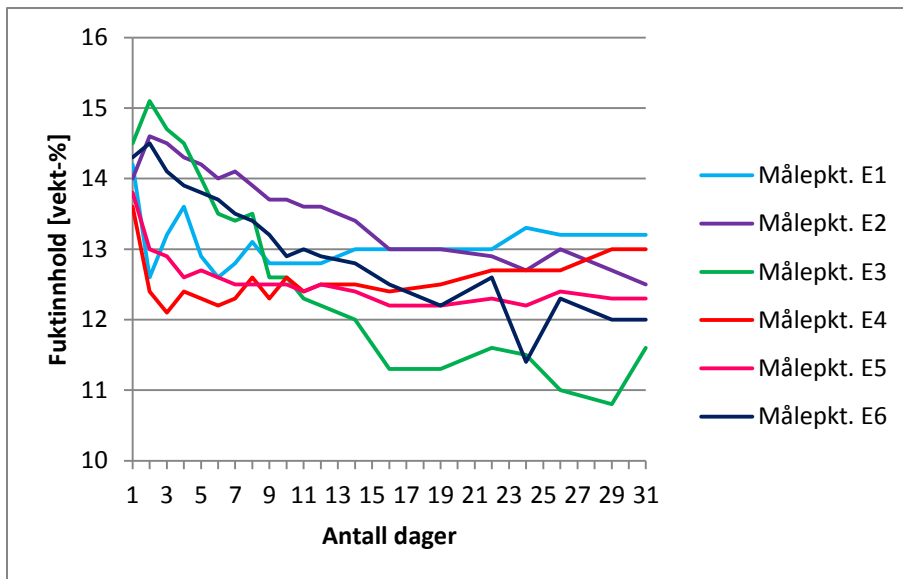
Figur 8.4
Fuktinnhold i målepunkt S1 – S9 over tid i bunnsvill B.



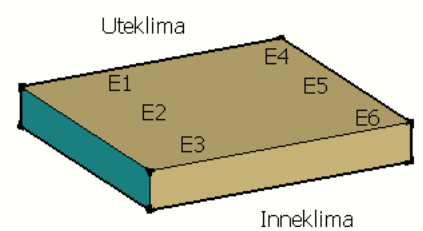
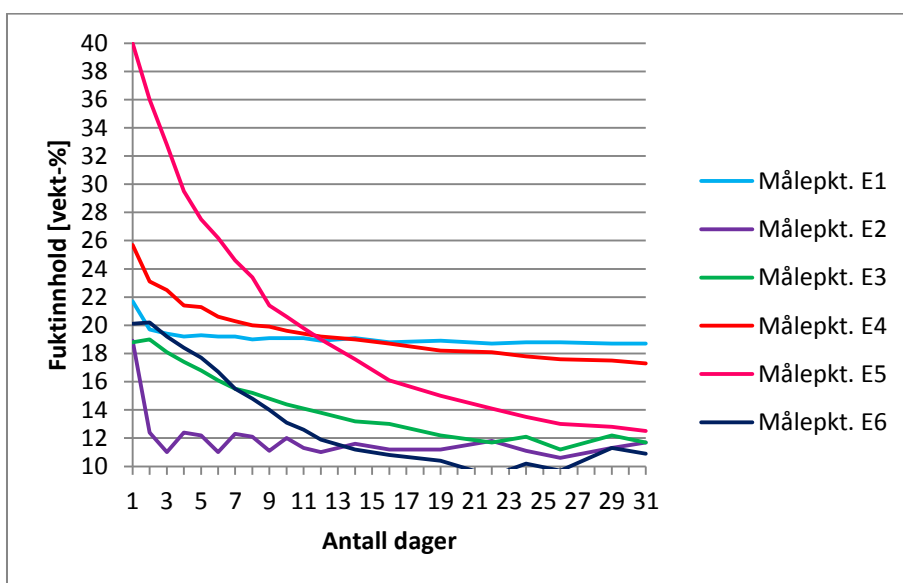
Figur 8.5
Fuktinnhold i målepunkt E1 – E6 over tid i bunnsvill C.



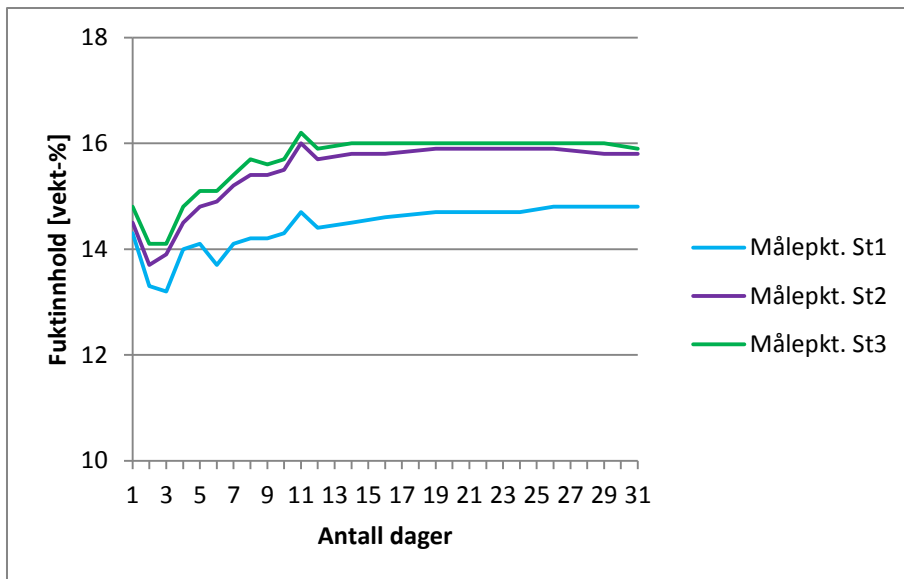
Figur 8.6
Fuktinnhold i målepunkt S1 – S9 over tid i bunnsvill D.



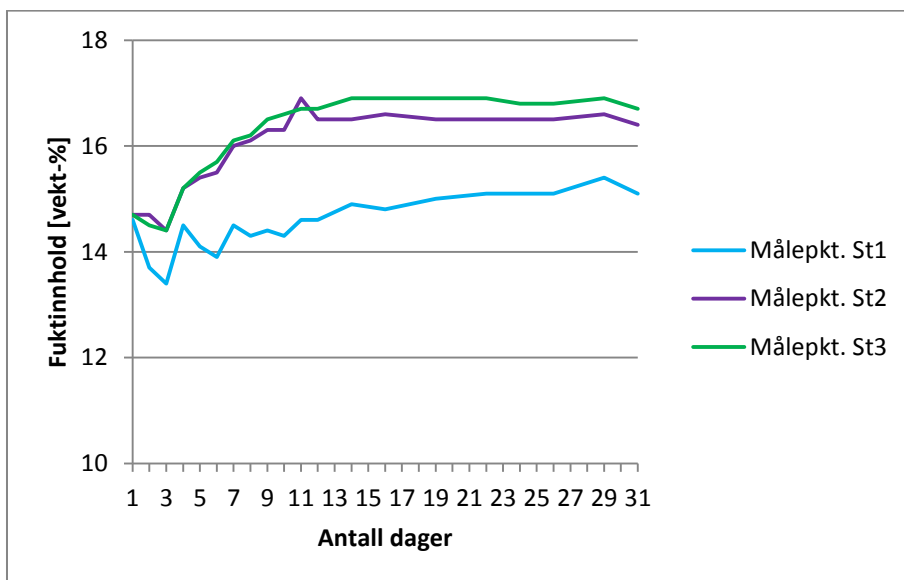
Figur 8.7
Fuktinnhold i målepunkt E1 – E6 over tid i bunnsvill D.



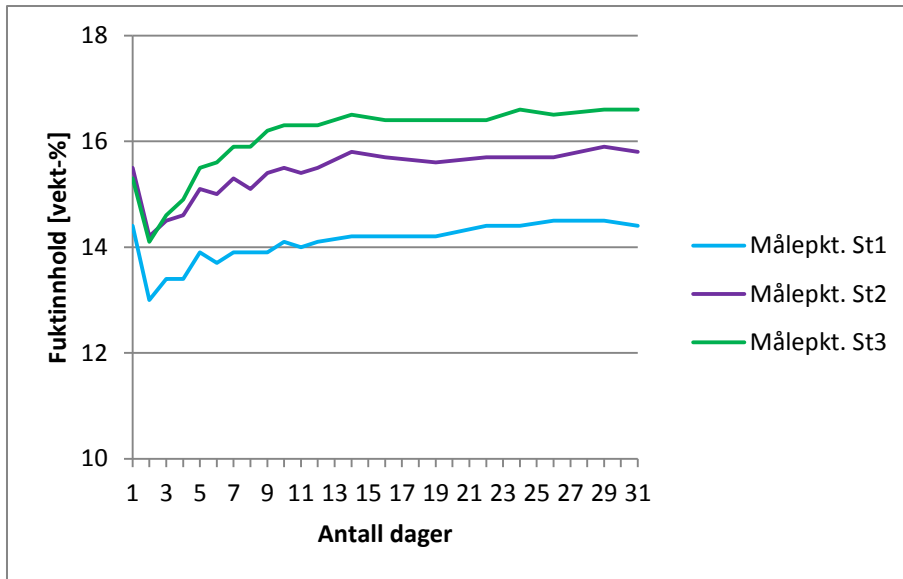
Figur 8.8
Fuktinnhold i målepunkt E1 – E6 over tid for bunnsvill E.



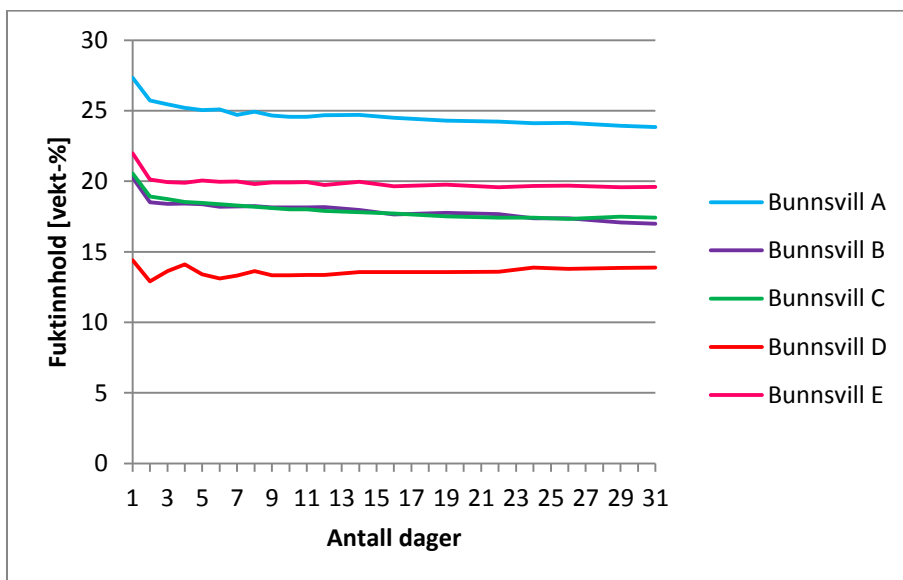
Figur 8.9
Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill A.



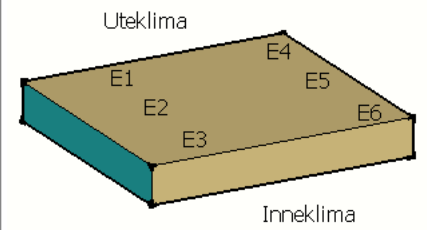
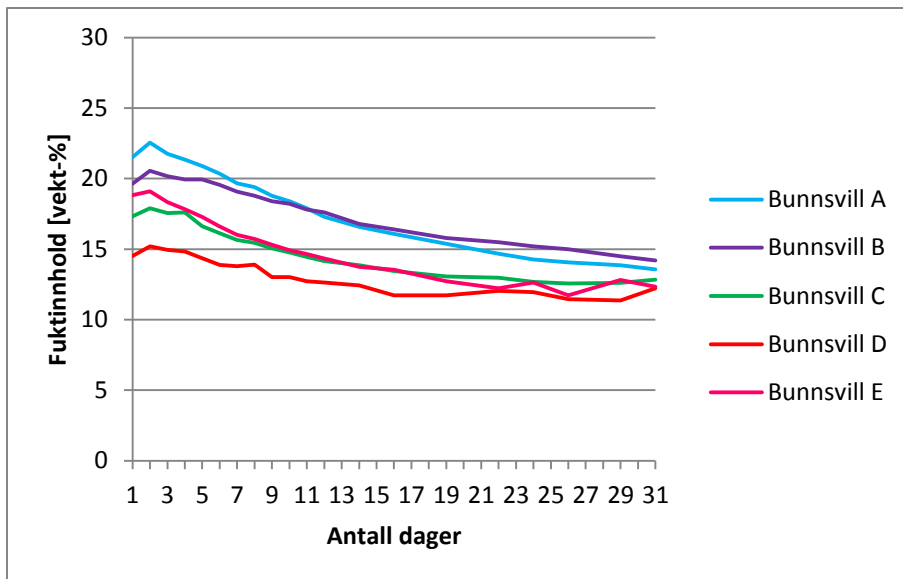
Figur 8.10
Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill B.



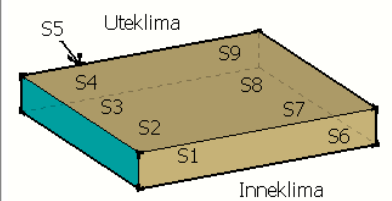
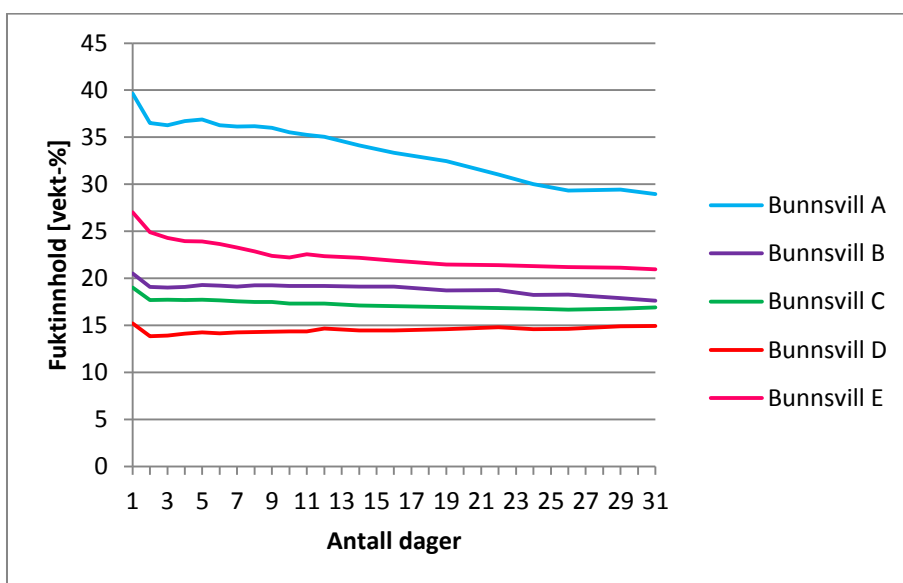
Figur 8.11
Fuktinnhold i målepunkt St1 – St3 over tid i toppsvill E.



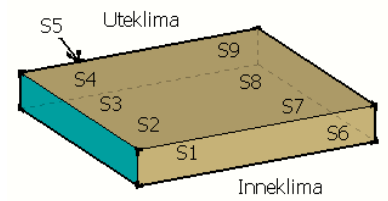
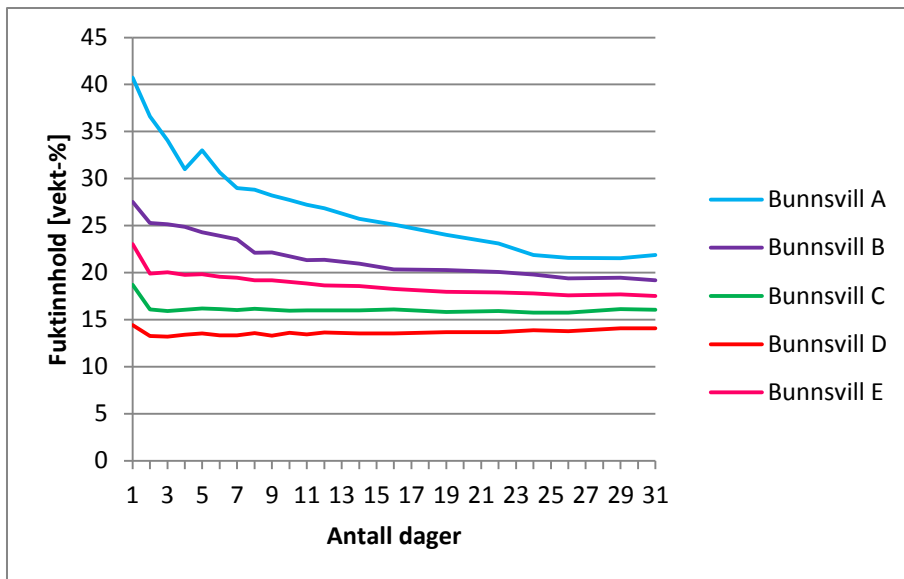
Figur 8.12
Fuktinnhold i målepunkt E1 over tid for samtlige bunnsviller.



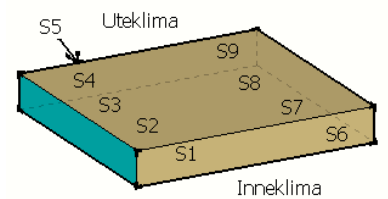
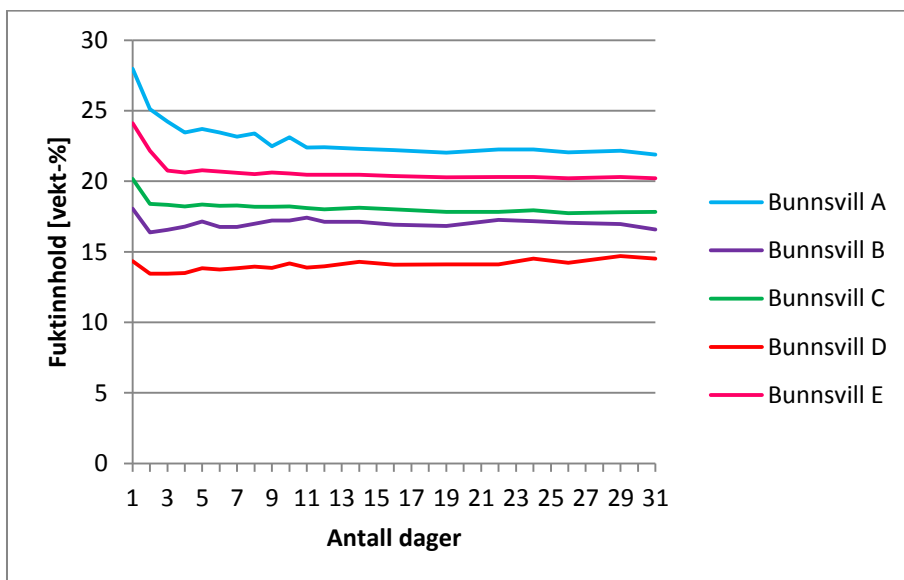
Figur 8.13
Fuktinnhold i målepunkt E3 over tid for samtlige bunnsviller.



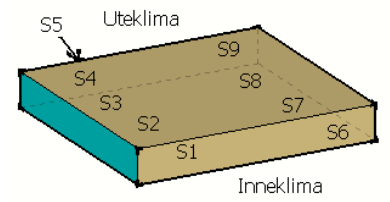
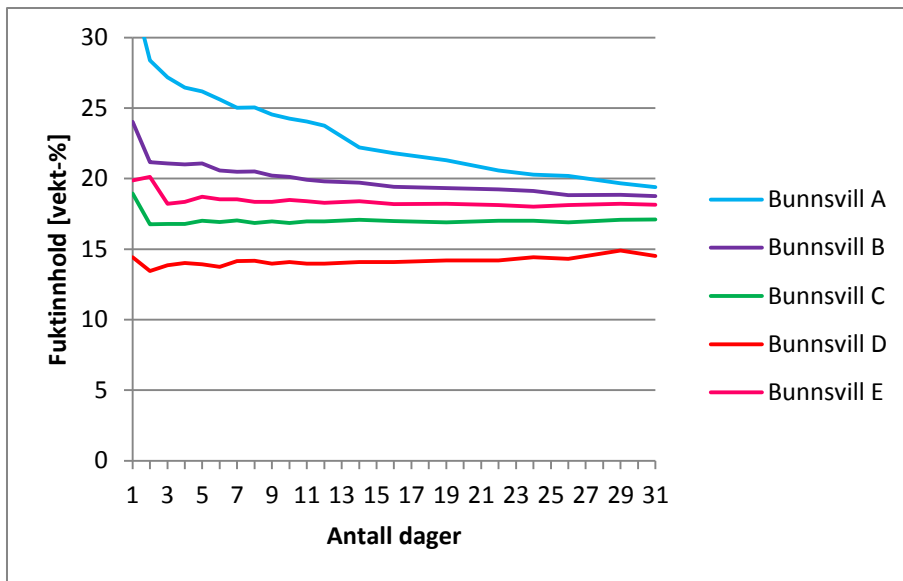
Figur 8.14
Fuktinnhold i målepunkt S1 over tid for samtlige bunnsviller.



Figur 8.15
Fuktinnhold i målepunkt S6 over tid for samtlige bunnsviller.

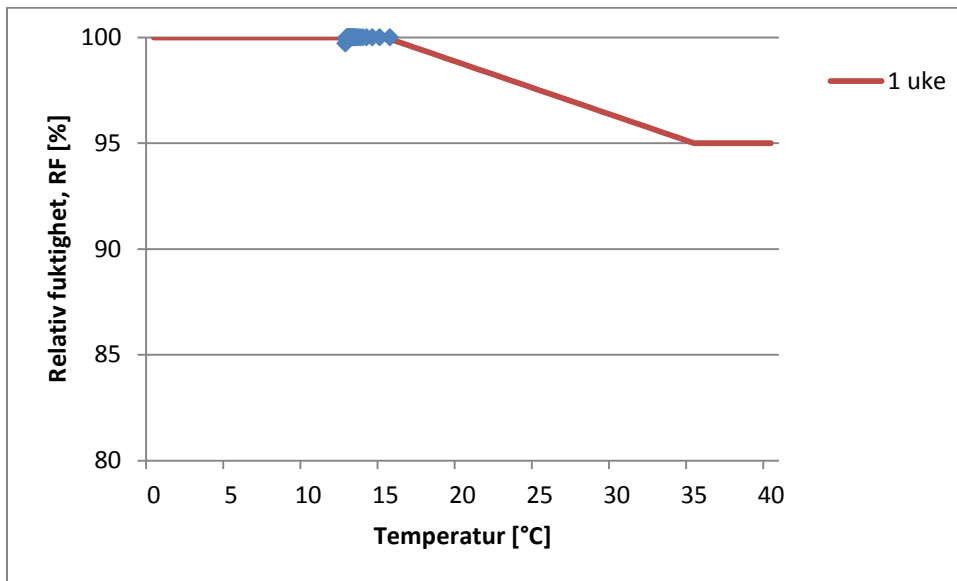


Figur 8.16
Fuktinnhold i målepunkt S4 over tid i samtlige bunnsviller.



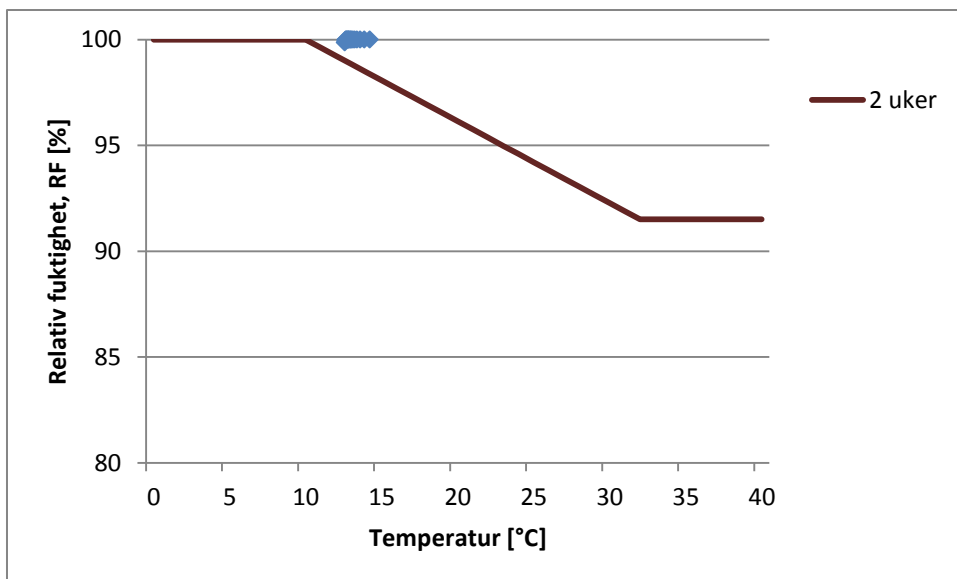
Figur 8.17
Fuktinnhold i målepunkt S9 over tid i samtlige bunnsviller.

Bilag 9 – Muggvekstanalyse av resultater fra laboratoriestudie



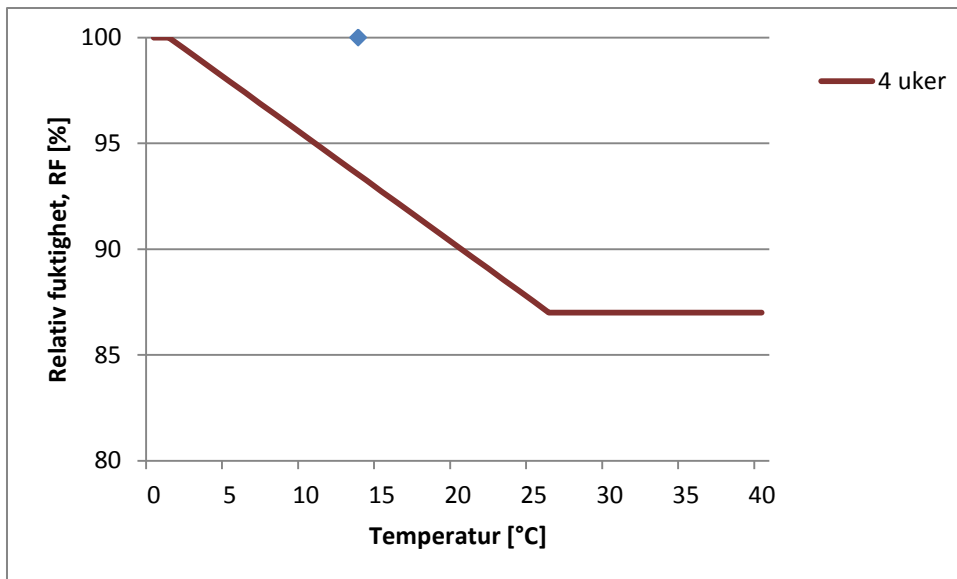
Figur 9.1

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill A i forhold til en varighetskurve for en uke. Startfuktinnhold = 21 - 46 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.

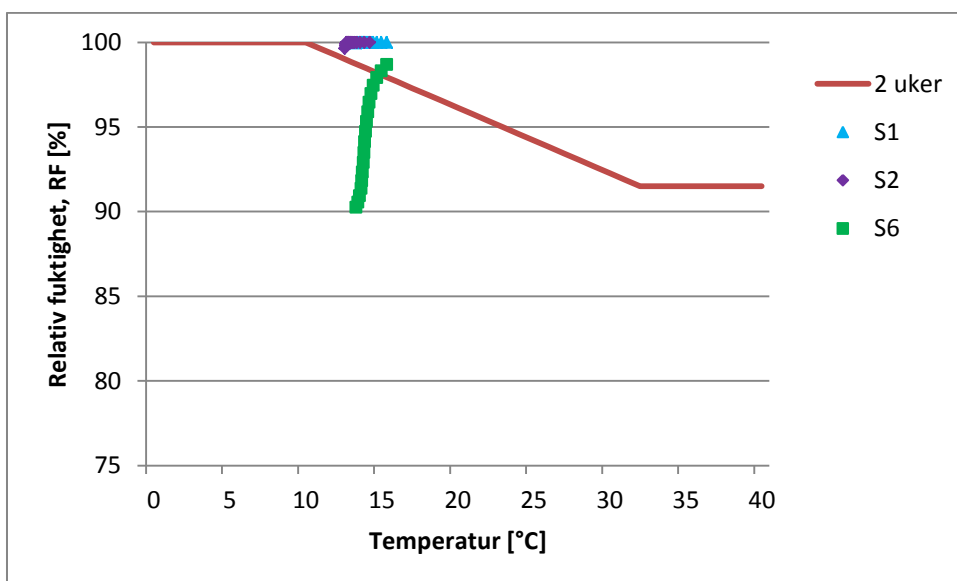


Figur 9.2

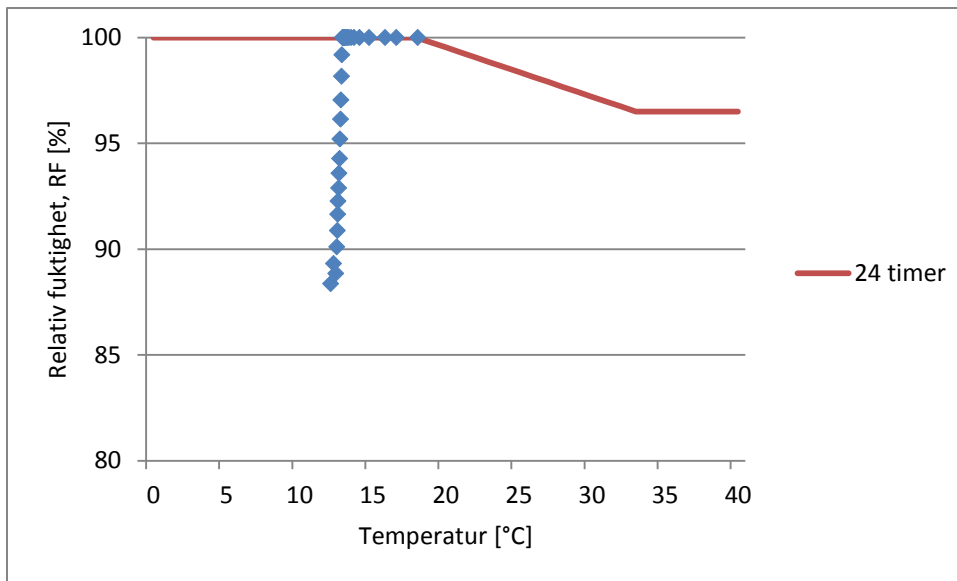
Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill A i forhold til en varighetskurve for to uker. Startfuktinnhold = 21 - 46 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.



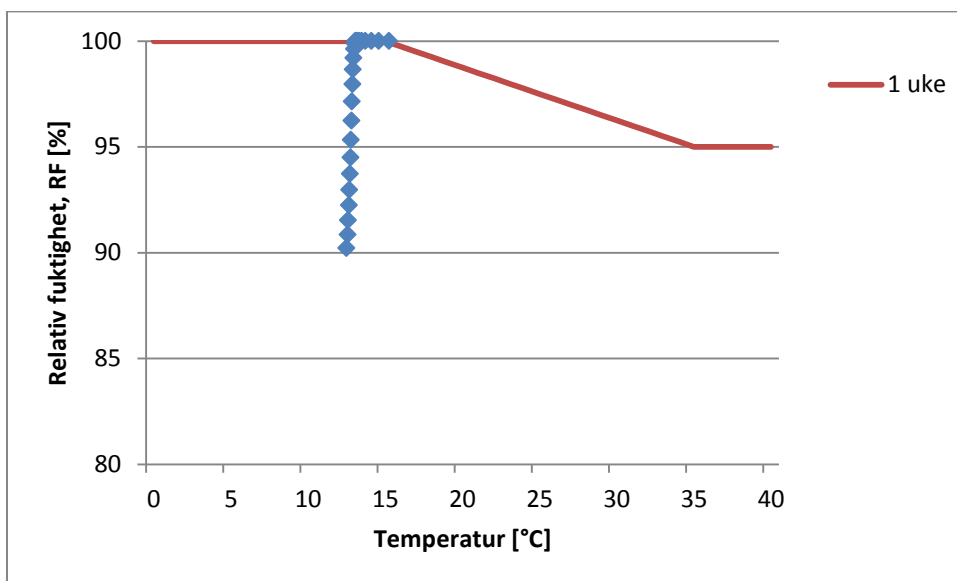
Figur 9.3
Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill A i forhold til en varighetskurve for fire uker. Startfuktinnhold = 21 - 46 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.



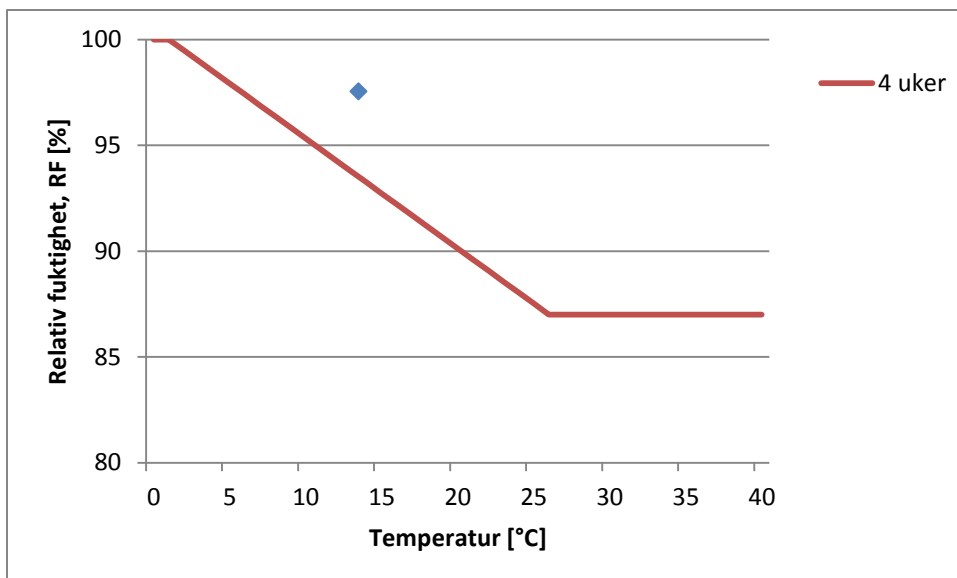
Figur 9.4
Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill A i forhold til en varighetskurve for to uker. Startfuktinnhold = 21 - 46 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S1, S2 og S6 i bunnsvillen.



Figur 9.5
 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill B i forhold til en varighetskurve for 24 timer. Startfuktinnhold = 18 - 42 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.

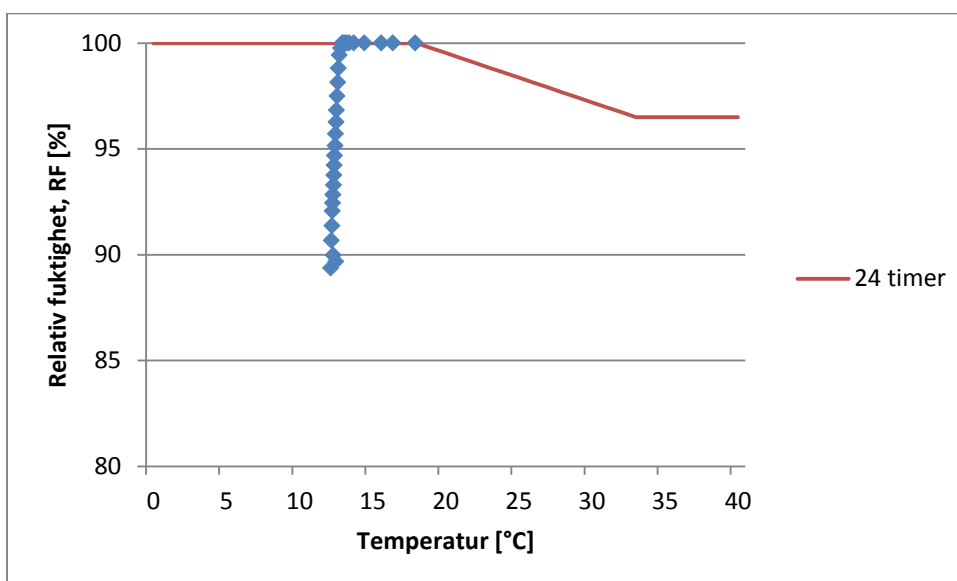


Figur 9.6
 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill B i forhold til en varighetskurve for en uke. Startfuktinnhold = 18 - 42 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.



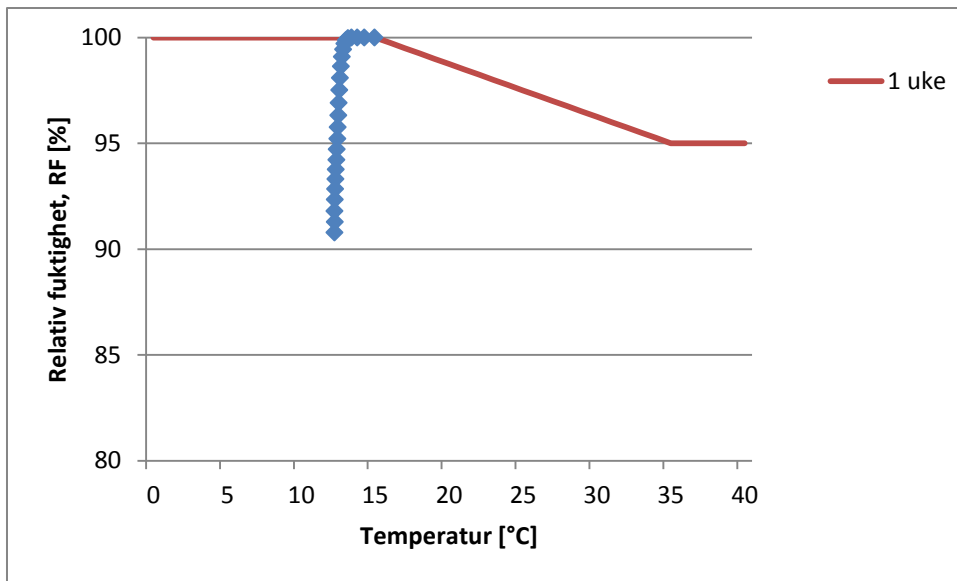
Figur 9.7

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill B i forhold til en varighetskurve for fire uker. Startfuktinnhold = 18 - 42 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S7 i bunnsvillen.

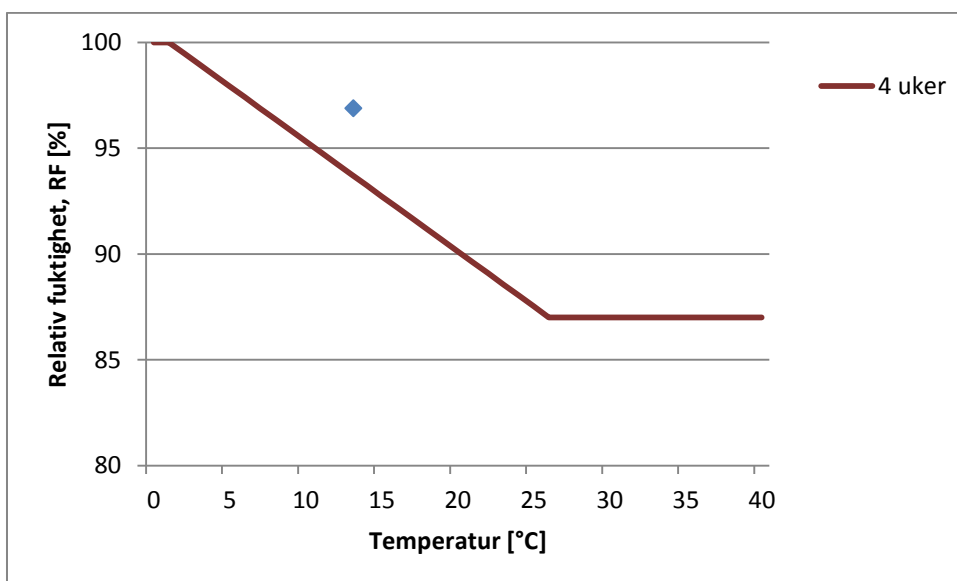


Figur 9.8

Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill E i forhold til en varighetskurve for 24 timer. Startfuktinnhold = 18 - 40 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S5 i bunnsvillen.



Figur 9.9
 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill E i forhold til en varighetskurve for en uke. Startfuktinnhold = 18 - 40 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S5 i bunnsvillen.



Figur 9.10
 Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill E i forhold til en varighetskurve for fire uker. Startfuktinnhold = 18 - 40 vekt-%. Resultatene er hentet fra målepunkt S5 i bunnsvillen.

13. Vedlegg

Vedlegg 1 - Oppgavetekst masteroppgave

MASTEROPPGAVE

(TBA4905)

VÅREN 2012

for

Maret Gaare og Kirsti Løvteit

Kritiske fuktforhold ved lukking av høyisolerte konstruksjoner i bindingsverk av tre

Critical moisture conditions in highly insulated wood frame walls when closing the construction

BAKGRUNN

I 2007 ble Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK07) endret. De mest omfattende endringene gjaldt energikravene, som trådte i kraft 1. februar 2007. Målet er 25 % reduksjon i energibehov til bygninger sammenlignet med kravene i Teknisk forskrift fra 1997. Dette medfører blant annet en generell økning i isolasjonstykkelsen i alle ytterkonstruksjonene. For yttervegger får man eksempelvis en økning fra 150 mm til ca 250 mm. I såkalte passivhus vil isolasjonstykkelsene være enda større enn hva man får ved kun å følge TEK07, for yttervegger kan man ha isolasjonstykkelser opp mot 400 mm.

Det er imidlertid en bekymring i bransjen for at faren for fuktskader i bygningskroppen øker i forbindelse med at isolasjonstykkelsene i både gulv, yttervegger og tak er i ferd med å øke betraktelig. Spesiell fokus har vært rettet mot det faktum at byggfukt og annen fukt som tilføres konstruksjonen tørker senere ut, og dermed kan gi økt risiko for muggvekst. Dette har blant annet ført til usikkerhet vedrørende hvilke krav som bør stilles til fuktinnhold i treverk når konstruksjonen isoleres/lukkes. Opp til nå har kravet vært at treverket skal ha et fuktinnhold lavere enn 20 vekt% ved lukking av konstruksjonen, men siden denne byggfukten vil bruke lenger tid på å tørke ut i en passivhuskonstruksjon har det vært hevdet at man bør senke dette kravet kanskje ned mot 15 vekt%. Det er imidlertid klart at dette kan få store konsekvenser for hvordan man kan bygge hus i norsk klima.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Hensikten med oppgaven er å finne hvilke fuktforhold i treverk som er akseptable ved lukking og isolering av høyisolerte bindingsverkskonstruksjoner uten at muggvekst eller andre fuktproblemer oppstår. Dette vil gjennomføres ved en laboratorieundersøkelse og fuktregninger med WUFI 2D.

Prosjektet gjennomføres i samarbeid med SINTEF Byggforsk.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Følgende delaktiviteter kan inngå i masteroppgaven:

- A. *Litteraturundersøkelse*. Det gjennomføres en gjennomgang av litteratur vedrørende eksisterende anbefalinger for såkalt kritisk fuktinnhold i treverk ved lukking av bindingsverkskonstruksjoner, samt nyere undersøkelser rundt dette temaet.
- B. *Fuktregninger*. Det gjennomføres parameterstudier med WUFI 2D med den hensikt å vurdere hvilke(t) kritisk fuktinnhold som bør benyttes for høyisolerte konstruksjoner. Man kan se for seg at kritisk fuktnivå kan variere avhengig av f.eks. mengde treverk, hvor lenge treverket har fått tørke før lukking, konstruksjonsoppbygging (dampmotstand vindsperre) og tidspunkt på året hvor uttørkingen skjer. Vurderingen kobles mot en egnet modell for estimering av muggvekstrisiko.
- C. *Laboratorieforsøk*. Det bygges opp veggelementer i klimarom som utsettes for et passende inne- og uteklima. Treverket i elementene fuktes opp for å simulere byggfukt, og uttørkingstiden blir fulgt over tid vha trefuktmålere og RF-sensorer plassert i egnede steder i treverket. Det vurderes om det i tillegg skal gjøres muggsoppmålinger ved avslutning av eksperimentet. Fuktmålingene analyseres med tanke på risiko for muggvekst, med utgangspunkt i muggvekstmodellen nevnt under punkt B.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidingen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- om nødvendig en liste med beskrivelse av viktige betegnelser og forkortelser benyttet
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger.
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>.

Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v. Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befaringsfeltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter **15. januar 2012**.

Besvarelsen i original (uinnbundet) og to innbundne kopier, samt besvarelsen i digital form skal leveres innen **11. juni 2012 kl 1500**.

Faglærer ved instituttet: prof. Stig Geving, Institutt for bygg, anlegg og transport

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Sivert Uvsløkk, SINTEF Byggforsk

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 30.01.2012

Stig Geving

Faglærer