

Smarte dampsperrer i bindingsverksvegger

Innadrettet uttørking i høyiolerte
konstruksjoner

Magne Agnalt

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Stig Geving, BAT

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



Oppgavens tittel: Smarte dampsperrer i bindingsverksvegger	Dato: 7.6.2013			
	Antall sider (inkl. bilag): 130			
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave	
Navn: Magne Agnalt				
Faglærer/veileder: Professor Stig Geving, Institutt for Bygg, Anlegg og Transport				

<p>Ekstrakt:</p> <p>Høyisolerte bindingsverksvegger fører med seg enkelte negative fukteffekter som øker risikoen for fuktskader i konstruksjonen. Hensikten med denne masteroppgaven er å undersøke hvilken effekt smarte dampsperrer har på uttørkingsevnen til høyisolerte bindingsverksvegger i tre, samt undersøke hvilke parametere som har innvirkning på denne effekten. Undersøkelsene er gjennomført ved hjelp av endimensjonale og todimensjonale fuktsimuleringer, samt en litteraturstudie.</p> <p>Fuktberegningene er utført i WUFI 1D Pro 5.2 og WUFI 2D 3.3 som simulerer koblet varme- og fukttransport for henholdsvis endimensjonale og todimensjonale beregninger. Fuktsimuleringene er utført som en parameterstudie, hvor ti ulike parametere er undersøkt. De endimensjonale simuleringene representerer tilfeldige lekkasjer i bruksfasen, og resultatene viser generelle fordeler ved bruken av SDS i bindingsverksvegger. Risikoen for vekst av mugg- og råtesopp er foretatt på vindsperras bakside. De todimensjonale simuleringene gir derimot mulighet for å simulere effekten av gjennomgående treverk i konstruksjonen, og risikoen for mugg- og råtevekst er foretatt ved bunnsvillas underside.</p> <p>Resultatene viser at den tradisjonelle byggemetoden som SINTEF byggforsk anbefaler for bindingsverksvegger gir god uttørkingsevne. Fuktforholdene generelt i ytterveggen viser mindre risiko for mugg- og råtevekst når det benyttes smarte dampsperrer fremfor tradisjonell PE-folie. Derimot er fuktforholdene i bunnsvilla i svært liten grad avhengig av hvilken type dampsperre som benyttes, og er svært utsatt for vekst av mugg- og råtesopp ved lukking med høyt fuktinnhold.</p>
--

Stikkord:

1. Smarte dampsperrer
2. Yttervegg
3. Passivhus
4. WUFI

Magne Agnalt

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet våsemesteret 2013 ved Institutt for bygg, anlegg og transport innenfor hovedprofilen bygnings- og materialteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Arbeidet med masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng.

Veileder ved instituttet har vært Stig Geving.

Masteroppgaven undersøker bruken av smarte dampsperrer i bindingsverksvegger, og ser nærmere på hvordan ulike parametervariasjoner påvirker effekten. Grunnlaget for vurderingene er fuktsimuleringer gjennomført i WUFI 1D og WUFI 2D. Det er også gjennomført en litteraturstudie som kartlegger tidligere forskning innenfor det aktuelle temaet.

Arbeidet med masteroppgaven er gjennomført i Sarpsborg. Jeg ønsker å takke de på Swecokontoret i Sarpsborg som har lagt forholdene til rette for at jeg skal kunne jobbe effektivt med oppgaven. De har bidratt med gode diskusjoner og faglige innspill.

Avslutningsvis vil jeg rette en stor takk til min veileder, Stig Geving, for god hjelp og uvurderlig veiledning i arbeidet med masteroppgaven.

Sarpsborg 7.6.2013

Magne Agnalt

SAMMENDRAG

Den grønneste energien er den energien vi ikke bruker. I arbeidet med å redusere energibruken i norske bygninger har regjeringen vedtatt at kravene i byggeteknisk forskrift skal skjerpes til passivhusnivå innen 2015. Dette innebærer høyisolerte konstruksjoner som fører med seg flere negative fukteffekter. Fuktskader koster det norske samfunn flere milliarder kroner i året og er årsaken til mange helseskader. Smarte dampsperrer (SDS) er et produkt som har dynamisk damp tetthet, og som ved å åpne for innadrettet uttørking skal redusere uttørkingsperioden og skadeomfanget ved fuktskader.

Hensikten med denne rapporten er å besvare følgende problemstilling:

"Hvilken effekt har smarte dampsperrer på uttørkingen av høyisolerte bindingsverksvegger i tre? Hvilke parametere har innvirkning på denne effekten?"

Rapporten er inndelt i tre hoveddeler; en litteraturstudie, endimensjonale og todimensjonale fuktsimuleringer.

Litteraturstudie

Økt isolasjonstykkelse gir økt risiko for mugg- og råtevekst i konstruksjonen. Blant de negative fukteffektene kan nevnes:

- kaldere ytre del fører til høyere RF og større fare for kondens
- tykkere konstruksjoner kan potensielt lagre mer fukt
- konveksjonen øker med økende isolasjonstykkelse

Dampsperras viktigste funksjon er å forhindre oppfukting av konstruksjonen som følge av luftlekkasjer og vandampdiffusjon fra innelufta. Det er derfor viktig at SDS er dampåpen nok til å tillate innadrettet uttørking, samtidig som den er tett nok til å unngå oppfukting av konstruksjonen vinterstid.

Tidligere forskning viser at bindingsverksvegger med SDS oppnår gode fukttekniske egenskaper sammenlignet med PE-folie. Et noe høyere fuktnivå vinterstid kompenseres med en raskere uttørking sommerstid. En rask uttørking kan være avgjørende for å unngå vekst av råte- og muggsopp. Effektiviteten til SDS avhenger av en rekke faktorer som er gjennomgått i parameterstudien.

Endimensjonale og todimensjonale fuktsimuleringer

Simuleringene er utført i WUFI 1D Pro 5.2 og WUFI 2D 3.3 som er henholdsvis et endimensjonalt og todimensjonalt beregningsprogram som simulerer koblet varme- og fukttransport. En systematisk fremgangsmåte er valgt for å sikre påliteligheten og nøyaktigheten til resultatene. Det er lagt mye arbeid i modelleringen slik at klima, startbetingelser og materialparametere skal bli så realistisk som mulig.

De endimensjonale simuleringene representerer tilfeldige lekkasjer i bruksfasen, og resultatene viser generelle fordeler ved bruken av SDS i bindingsverksvegger. Ti ulike parametere er undersøkt nærmere:

- Type dampsperre
- Isolasjonstykkelse
- Type vindsperre
- Fasadens orientering
- Plassering av SDS
- Innvendig fukttilskudd
- Byggfukt
- Innvendig overflatebehandling
- Uteklima
- OSB-plate som SDS

På bakgrunn av resultatene fra de endimensjonale simuleringene er enkelte parametere valgt ut for å inkludere todimensjonale effekter. Ved todimensjonale simuleringer er det mulig å simulere gjennomgående treverk i bindingsverkskonstruksjonen og fordele byggfukten mer realistisk. I denne rapporten ble byggfukten fordelt i bunnsvilla. Parametervariasjonene som er gjennomført i WUFI 2D er:

- Isolasjonstykkelse
- Plassering av SDS
- Byggfukt
- OSB-plate som SDS

Resultatene fra de endimensjonale og de todimensjonale simuleringene viser at parametervariasjonene påvirker uttørkingsevnen til konstruksjonen og effekten av SDS i ulik grad. Generelt i konstruksjonen viser SDS bedre uttørkingsevne sammenlignet med PE-folie, og effekten av SDS blir større ved blant annet økende isolasjonstykkelse. Fuktforholdene under bunnsvilla påvirkes i svært liten grad av hvilken type dampsperre som benyttes, og er svært utsatt for vekst av mugg- og råtesopp ved lukking av konstruksjonen med høyt fuktinnhold.

Vurderinger

Simuleringene er basert på enkelte forenklinger, både som ligger forutbestemt i programmene og som er gjort av undertegnede. Resultatene og anbefalingene er basert på kun en- og todimensjonale simuleringer. Eventuelle tredimensjonale effekter er derfor ikke medberegnet. Det har ikke vært anledning til å teste noen av parametervariasjonene i laboratorieforsøk. Resultatene vil være avhengig av hvilken type SDS som blir testet, ettersom ulike produkter har ulik damptetthet for en gitt RF i omgivelsene. Produktet som er benyttet i denne rapporten er AirGuard Smart.

Anbefaling

For den tradisjonelle byggemetoden som SINTEF byggforsk anbefaler for bindingsverksvegger viser konstruksjonen med PE-folie gode uttørkingsegenskaper, og SDS kan virke overflødig. Blir en dermed nødt til å benytte seg av byggemetoder som er mer ugunstig rent fuktteknisk, for eksempel med OSB-plate som vindsperre, gir SDS konstruksjonen langt bedre uttørkingsevne og reduserer risikoen for vekst av råte- og muggsopp generelt i konstruksjonen. Fuktforholdene i bunnsvilla derimot påvirkes i svært liten grad av hvilken type dampsperre som benyttes. Om SDS benyttes er det viktig at innvendig overflatebehandling ikke er for damptett da det kan gi fuktskader på innvendig overflate.

SUMMARY

The greenest energy is the energy we do not use. In efforts to reduce energy use in Norwegian dwellings the government has decided that the requirements of the construction technical regulations should be tightened to passive house level by 2015. It involves highly insulated structures that lead to several negative moisture effects. Moisture damages costs the Norwegian society several billion a year and it is the cause of many health problems. Smart vapor barriers (SVB) is a product that has a dynamic vapor density, and by allowing inward drying it will reduce both the drying period and the magnitude of the damage, in a moisture damage incident.

The problem discussed in this report is:

"How will smart vapor barriers affect the drying of highly insulated timber frame walls? What factors affect this effect?"

The report is divided into three main parts; study of relevant literature, one-dimensional and two-dimensional moisture simulations.

Study of literature

Increased insulation thickness increases the risk of mold and rot growth in the construction. The adverse moisture effects include:

- colder outer parts that lead to higher RF and greater risk of condensation
- thicker structures can potentially store more moisture
- convection increases with increasing insulation thickness

The main function of the vapor barrier is to prevent moisture in the structure due to air leakage and vapor diffusion from the indoor air. Therefore it is important for the SVB to be open enough to allow inward drying, but at the same time tight enough to avoid leakages during wintertime.

Previous research shows that timber frame walls with SVB achieved good moisture control performance compared with the traditional PE-foil. A somehow higher moisture level in the wall during wintertime is compensated with a shorter drying period during summertime. A quicker drying period may be essential to prevent growth of rot and mold. The effect of the SVB depends on a number of factors that are examined in this parameter studies.

One-dimensional and two-dimensional moisture simulations

The simulations are performed in WUFI 1D Pro 5.2 and WUFI 2D 3.3 that are respectively a one-dimensional and a two-dimensional calculation program that simulates coupled heat and moisture transfer. A systematic approach is chosen to ensure the reliability and accuracy of the results. There has been a great deal of work to get the climate, initial conditions and material parameters as realistic as possible.

The one-dimensional simulations are not as time consuming as the two-dimensional, they are used to show trends in how different parameter variations affect the SVB. Ten different parameters were investigated:

- Vapor barrier
- Insulation thickness
- Wind barrier
- The orientation of the facade
- The position of the SVB
- Interior moisture grants
- Built in moisture
- Internal surface treatment
- Outdoor climate
- OSB-board as SVB

Based on the results of the one-dimensional simulations, some of the parameters were chosen to include two-dimensional effects. Two-dimensional simulations make it possible to simulate continuous wood in timber frame walls and the built in moisture can distributed more realistically. The built in moisture were distributed in the bottom tie in the simulations in WUFI 2D and the parameter variations are:

- Insulation thickness
- The position of the SVB
- Built in moisture
- OSB-board as SVB

The results show that all the parameter variations affect the drying capacity of the structure to varying degrees. The effect of SVB is also affected. The difference is greater between SVB and PE-foil for increasing insulation thicknesses. In general the structures with SVB have better drying capability compared to structures with PE-foil. In almost every simulation, the constructions with SVB have higher water content and RH below the bottom tie during wintertime. During that period the temperature is low, and it represents no increased risk for rot and mold growth.

Evaluation

The simulations are based on certain simplifications, some destined by the simulation programs and others made by the signatory. The results and recommendations are based on one- and two-dimensional simulations only. Any three-dimensional effects are therefore not included. It has not been possible to test some of the parameter variations in the laboratory. The results will depend on the type of SVB being tested, as different products may have different vapor density for a given RH. The product that was tested in this report is AirGuard Smart.

Recommendation

In the traditional construction method, which SINTEF recommends for timber frame walls, the structure with PE-foil show solid drying properties, and SVB may seem superfluous. If one will have to choose a more unconventional building method for some reason, for example with an OSB-board as a wind barrier, the construction with the SVB will dry up much faster and reduce the risk of rot an mold. When SDS is used, it is important that the inner surface treatment is not too vapor tight, as it may cause moisture damage to the internal surfaces.

INNHold

Forord	III
Sammendrag	V
Summary	VII
Innhold	IX
Figurliste.....	XI
Tabelliste	XIII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Formål og problemstilling	2
1.3 Avgrensning og presisering av oppgaven.....	2
1.4 Oppgavens oppbygging	2
2 Teori.....	5
2.1 Bindingsverksvegger	5
2.2 Passivhus	7
2.3 Dampsperrer	9
2.4 Mikrobiell vekst.....	11
3 Tidligere Forskning.....	15
4 Endimensjonale fuktberegninger for bindingsverksvegger med SDS	23
4.1 Problemdefinisjon.....	23
4.2 Beregningsoppsett og inputparametre	24
4.3 Parametervariasjoner	30
4.4 Oppsummering	31
5 Resultater og vurderinger.....	33
5.1 Standardkonstruksjonen.....	33
5.2 Isolasjonstykkelse 250 mm.....	38
5.3 OSB som vindsperre	40
5.4 Sørlig orientering	42
5.5 Plassering av SDS i konstruksjonen	44
5.6 Innvendig fukttilskudd.....	46
5.7 Byggfukt	48
5.8 Innvendig overflatebehandling	50
5.9 Uteklima	52

5.10	OSB-plate som SDS	56
5.11	Oppsummering	57
6	Forenklinger og feilkilder	61
6.1	Forenklinger.....	61
6.2	Feilkilder.....	61
7	Todimensjonale fuktberegninger for bindingsverksvegger med SDS	65
7.1	Innledning.....	65
7.2	Beregningsprogrammet	65
7.3	Resultatforskjeller i WUFI 1D og WUFI 2D	65
7.4	Konstruksjonen og materialparametere	66
7.5	Adiabatiske grenser	68
7.6	Fuktfordeling	70
7.7	Simuleringsperiode.....	71
8	Resultater og vurderinger.....	73
8.1	Byggfukt	74
8.2	Isolasjonstykkelse.....	77
8.3	Plassering av SDS i konstruksjonen	79
8.4	OSB som SDS	82
8.5	Oppsummering	84
9	Konklusjon.....	85
10	Videre arbeider.....	87
11	Referanser.....	89
12	Vedlegg	91
12.1	Nye verdier AirGuard Smart	91
12.2	Vanninnhold WUFI 1D	92
12.3	Relativ fuktighet og temperatur WUFI 1D.....	96
12.4	Fuktstrøm WUFI 1D.....	104
12.5	Oppgaveteksten	113

FIGURLISTE

Figur 1: Fordeling av skadekilder for prosessforårsakede byggskader mellom 1993 – 2002 (Byggforskerien, 2010).	1
Figur 2: Sammenhengen mellom problemstillingen (rød) og teorien (blå) presentert i teorikapittelet.....	5
Figur 3: Oppbygging av tradisjonell bindingsverksvegg (Byggforskserien, 2007a).	5
Figur 4: Vanlige oppfuktingsmekanismer og skadeårsaker i yttervegg (Geving og Thue, 2002).....	7
Figur 5: Relativ fuktighet og temperatur bak vindsperra for ulike isolasjonstykkelser (Geving et al., 2010).....	8
Figur 6: Prinsippet for tetting mot luft- og vanndamptransport (Byggforskserien, 2008).	9
Figur 7: Vanndampmotstanden, S_d -verdi, for ulike produkter (Geving, 2012).	10
Figur 8: Smart dampsperre med varierende dampmotstand avhengig av fuktforholdene (Geving et al., 2010).....	11
Figur 9: Livssyklusen til muggsopp, samt vilkårene som må være til stede for at vekst skal kunne forekomme (Byggforskserien, 2005b).....	12
Figur 10: Et vertikalsnitt av ytterveggen som er undersøkt (Tariku et al., 2009).	15
Figur 11: Fuktinnhold i OSB-plata for veggen med SDS, PE-folie og kun maling (Tariku et al., 2009).....	16
Figur 12: Illustrasjon av ytterveggen som er undersøkt (Künzel, 1996).....	17
Figur 13: Totalt fuktinnhold i bindingsverksvegg for varierende dampmotstand på dampbremsen (Geving et al., 2010).	18
Figur 14: Andel innadrettet uttørking av den totale uttørkingen for ulike S_d -verdier på dampbrems og vindsperra (Geving et al., 2010).	19
Figur 15: Standardkonstruksjonen benyttet i beregningene i WUFI.....	23
Figur 16: Illustrasjon av hvordan tilfeldig lekkasje er simulert i WUFI.....	24
Figur 17: Forslag til dimensjonerende verdier for «lavt», «middels» og «høyt» fukttilskudd (Geving et al., 2008).....	26
Figur 18: Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonen (#1).....	34
Figur 19: Relativ fuktighet og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med AirGuard Smart og PE-folie (#1).....	35
Figur 20: Nedbørsmengde for Oslo hentet fra klimafilen i WUFI 1D.....	36
Figur 21: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom utvendig og innvendig side i perioden mellom 7 og 13 uker.....	37
Figur 22: Sammenligning av totalt vanninnhold i yttervegg med 250 mm isolasjon (#2) og standardkonstruksjonen (#1).	38
Figur 23: Relativ fuktighet og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med 400 mm isolasjon (#1) og hvor isolasjonstykkelsen er redusert til 250 mm (#2).	39
Figur 24: Totalt vanninnhold i ytterveggen for både standardkonstruksjonen og hvor vindsperra er byttet ut med OSB-plate (#3).	40
Figur 25: Relativ fuktighet og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med vindduk (#1) og konstruksjonen hvor vindduken er byttet ut med OSB-plate (#3).....	41

Figur 26: Totalt vanninnhold i ytterveggen for både standardkonstruksjonen og konstruksjonen med sørlig orientering (#4).	42
Figur 27: Solstrålingsmengde og total slagregnmengde for de ulike himmelretningene for Oslo fra klimadatabasen i WUFI (WUFI, 2013).	43
Figur 28: Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonen sammenlignet med tilfeller hvor SDS er plassert direkte bak gipsen og trukket 100 mm inn i isolasjonssjiktet.	44
Figur 29: Relativ fuktighet på varm side av AirGuard Smart for 0 mm, 50 mm og 100 mm fra innvendig side.	45
Figur 30: Totalt vanninnhold i konstruksjonen over simuleringsperioden for lavt, middels og høyt fukttilskudd.	46
Figur 31: Totalt vanninnhold i ytterveggen som er utsatt for en vannlekkasje sammenlignet med 80 % RF i hele veggen som representerer driftsfasen.	48
Figur 32: Totalt vanninnhold i ytterveggen for standardkonstruksjonen og konstruksjonen med mer damptett innvendig overflatebehandling.	50
Figur 33: Relativ fuktighet og temperatur på baksiden av innvendig gipsplate for standardkonstruksjonen (#1) og for en konstruksjon med mer damptett innvendig overflatebehandling (#10).	51
Figur 34: Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonen for ulike geografiske plasseringer...	52
Figur 35: Uttørkingsperioden for alle lokasjonene for konstruksjonene med både AirGuard Smart og PE-folie.	53
Figur 36: Totalt vanninnhold for standardkonstruksjonen og hvor det blir benyttet OSB-plate som SDS.	56
Figur 37: Vanninnhold for standardkonstruksjonen med de to ulike luftsjiktene.	62
Figur 38: Totalt vanninnhold i identisk modell simulert både i WUFI 1D og WUFI 2D.	66
Figur 39: Illustrasjon av konstruksjonen som er simulert i WUFI 2D.	67
Figur 40: Illustrasjon av et av Nordic Isoelementer AS sitt ringmursystem (Tu0/Tm100/Ti50) som var først ute med å få SINTEF-godkjent produktet som egnet for bruk i passivhus (Byggforsk, 2010) sammen med detaljen slik den er illustrert i WUFI 2D.	69
Figur 41: Forskjellen i temperatur i bunnsvilla med og uten grunnmur.	70
Figur 42: Fuktinnhold (vekt- %) for bunnsvilla som er benyttet i 2D-beregningene i denne oppgaven.	71
Figur 43: Totalt vanninnhold i bunnsvilla til standardkonstruksjonen over en periode på tre år.	72
Figur 44: Målepunkt for relativ fuktighet og temperatur i WUFI 2D markert med blått midt på bunnsvillas underside.	73
Figur 45: Totalt vanninnhold i bunnsvilla for normal driftsfase og oppfuktet bunnsvill med både PE-folie og AirGuard Smart.	74
Figur 46: Relativ fuktighet og temperatur målt midt på undersiden av bunnsvilla for både bunnsvill som har vært oppfuktet og for bunnsvill med normalt fuktinnhold.	75
Figur 47: Totalt vanninnhold i bunnsvilla for konstruksjoner med både 250 mm og 400 mm isolasjonstykkelse.	77
Figur 48: Relativ fuktighet og temperatur under bunnsvilla for isolasjonstykkelse 400 mm og 250 mm.	78

Figur 49: Totalt vanninnhold i bunnsvilla når dampsperra er plassert 0 mm, 50 mm og 100 mm fra innvendig side.	79
Figur 50: Relativ fuktighet og temperatur for tilfellene med dampsperra plassert 0 mm, 50 mm og 100 mm fra innvendig side.	80
Figur 51: Totalt vanninnhold i bunnsvilla for konstruksjonene med AirGuard Smart, PE-folie og OSB-plate som dampsperre.	82
Figur 52: Relativ fuktighet og temperatur simulert under bunnsvilla for konstruksjonene med AirGuard Smart, PE-folie og OSB-plate som dampsperre.	83

TABELLISTE

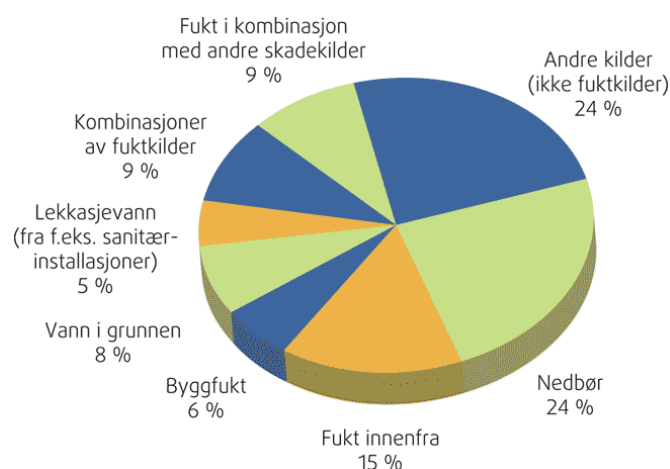
Tabell 1: Fuktkriterier for muggvekst på overflater (Geving og Thue, 2002).	12
Tabell 2: Kritiske fuktnivå for vekst av gran og furu (Geving og Thue, 2002).	13
Tabell 3: En oversikt over hvilke transportmekanismer som er inkludert eller ikke i WUFI (Stellander, 2012).	25
Tabell 4: De ulike sorpsjonskurvene til mineralull avhengig av om konstruksjonen benytter PE-folie eller SDS sammenlignet med standardfunksjonen i WUFI (Stellander, 2012).	28
Tabell 5: Oppsummering av parametervariasjonene i denne oppgaven.	32
Tabell 6: Materialparameterne til materialene benyttet i modellen i WUFI 2D.	67

1 INNLEDNING

I det innledende kapittelet presenteres bakgrunnen for oppgaven og valgt problemstilling. Det blir gjort rede for hvilke avgrensninger som ligger til grunn for masteroppgaven og gitt en kort beskrivelse av oppgavens oppbygging.

1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN

I mer enn 50 år har SINTEF Byggforsk kartlagt byggskader gjennom omfattende feltundersøkelser og lagret resultatene i byggskadearkivet (Byggforskerien, 2010). En kartlegging av skadekildene til alle de prosessforårsakede byggskadene viser at hele 76 % skyldes fuktpåvirkning i en eller annen form.



Figur 1: Fordeling av skadekilder for prosessforårsakede byggskader mellom 1993 – 2002 (Byggforskerien, 2010).

Fukt i seg selv er ikke skadelig, men blir det for store mengder på feil sted kan det føre til alvorlige problemer (Geving og Thue, 2002). Nedbrytning av bygningsmaterialer, helseproblemer og økt varmetap er problemer som skyldes for høyt fuktinnhold i konstruksjonen. Dette fører samtidig med seg betydelige kostnader. I Norge antas det at totale kostnader for utbedring av byggskader og byggfeil utgjør ca. 12 milliarder kr/ år (Geving, 2013a). Om en antar at ca. 60 % av kostnadene skyldes fuktskader blir det 7,2 milliarder kr/ år. I tillegg kommer utgiftene til alle helseskadene. Det er altså store beløp som kan spores tilbake til fuktskader, og samlet har dette store samfunnsmessige konsekvenser.

I klimameldingen har Regjeringen vedtatt at kravene i byggeteknisk forskrift skal skjerpes til passivhusnivå innen 2015 (Miljøverndepartementet, 2012). Passivhus har strenge krav til tetthet og energibruk til oppvarming (Standard-Norge, 2013). Typisk U-verdi på yttervegg for å nå kravene til passivhus er mellom 0,10 – 0,12 W/m²K, noe som tilsvarer en isolasjonstykkelse lik 350 – 400 mm med dagens isolasjonsmaterialer.

Omtrent 1/3 av alle skadene som er registrert i byggskadearkivet skjer i yttervegg over terreng (Byggforskerien, 2010), og enkelte i byggebransjen er bekymret for at andelen fuktskader i yttervegg vil bli større når isolasjonstykkelsen øker. Geving og Holme (2010) utførte en studie om høysisolerte konstruksjoner og fukt hvor de undersøkte effekten av kaldere ytre del

av konstruksjonen og lengre uttørkingstid av byggfukt og lekkasjer. Resultatene viste at det tok mye lenger tid å tørke ut høye nivåer av byggfukt når isolasjonstykkelsen øker, og risikoen for mugg- og råtevekst stiger.

Mange av fuktskadene kunne nok vært unngått om byggebransjen hadde hatt bedre verktøy for håndtering av fukt (Standard-Norge, 2012), og det er her hovedfokuset i arbeidet mot fuktskader bør ligge. Det er likevel ikke realistisk å se for seg en byggebransje uten skader. Når uhellet først er ute er det viktig at fukten tørker ut så raskt som mulig. I arbeidet med å redusere uttørkingsperioden er det utviklet produkter som kan tenkes å erstatte den tradisjonelle PE-folien som er anbefalt av SINTEF byggforsk i dag. Et slikt produkt er smarte dampsperrer som har en dynamisk vanndampmotstand som varierer etter relativ fuktighet (RF) i omgivelsene og åpner for muligheten for innadrettet uttørking. Smarte dampsperrer har vist seg å virke med en positiv effekt i flate kompakte tak, og denne oppgaven undersøker egnetheten av å bruke dette produktet i bindingsverksvegger av tre.

1.2 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING

Arbeidet tar utgangspunkt i endimensjonale og todimensjonale varme- og fuktsimuleringer, samt en litteraturstudie av tidligere forskning om temaet. Hensikten med denne masteroppgaven er å undersøke muligheter og begrensninger i forbindelse med bruk av smarte dampsperrer i høyisolerte bindingsverksvegger i tre. Effekten av smarte dampsperrer er sammenlignet med bruken av tradisjonell PE-folie gjennom en omfattende parameterstudie.

På bakgrunn av dette er følgende problemstilling besvart i masteroppgaven:

"Hvilken effekt har smarte dampsperrer på uttørkingen av høyisolerte bindingsverksvegger i tre? Hvilke parametere har innvirkning på denne effekten?"

1.3 AVGRENSNING OG PRESISERING AV OPPGAVEN

Masteroppgaven er skrevet i løpet av vårsemesteret 2013, og arbeidsinnsatsen som er lagt i oppgaven skal reflektere 30 studiepoeng. Det setter nødvendigvis begrensninger til tid og ressurser som har vært til rådighet.

Da masteroppgaven er skrevet i Sarpsborg, var det ikke mulig å få gjennomført laboratorieundersøkelser. I stedet er vurderingene basert på endimensjonale og todimensjonale varme- og fuktsimuleringer i WUFI. Tredimensjonale effekter er dermed ikke vurdert.

De fleste parametervariasjonene er gjennomført i WUFI 1D da det var mest hensiktsmessig med tanke på tidsbruken. På bakgrunn av resultatene er noen utvalgte problemstillinger simulert i WUFI 2D for å undersøke betydningen av todimensjonale effekter.

1.4 OPPGAVENS OPPBYGGING

Innledningsvis presenteres bakgrunnen for den valgte oppgaven, problemstillingen og hvilke avgrensninger som er gjort.

Teorien som danner grunnlaget for oppgaven blir gjennomgått i kapittel 2. Det blir gitt en innføring i bindingsverksvegger i tre med fokus på oppbygging og fuktproblematikk. Konseptet passivhus blir nærmere forklart og det blir gjort rede for noen av de negative fukteffektene som økt isolasjonstykkelse fører med seg. Avslutningsvis blir det presentert teori om dampsperrer, samt noe om mikrobiell vekst som kan forekomme som følge av fuktproblematikk.

I kapittel 3 blir det en gjennomgang av tidligere forskning på området. Resultater fra simuleringer og laboratorieforsøk sammenligner SDS og PE-folie for ulike konstruksjoner og parametervariasjoner.

En nøye gjennomgang av alle inputparametre og oppbygging av modellen for de endimensjonale simuleringene, samt en beskrivelse av beregningsprogrammet WUFI 1D, er gjort i kapittel 4. Alle parametervariasjonene er nærmere beskrevet og er oppsummert i en tabell avslutningsvis.

Resultatene fra de endimensjonale simuleringene er presentert i kapittel 5. Alle parametervariasjonene er presentert hver for seg, hvor det er en beskrivelse av resultatene samt en vurdering av disse. Avslutningsvis følger en kort oppsummering.

I kapittel 6 blir forenklinger og feilkilder for de endimensjonale simuleringene presentert og det blir gjort en vurdering av hvilken innvirkning disse har på resultatene.

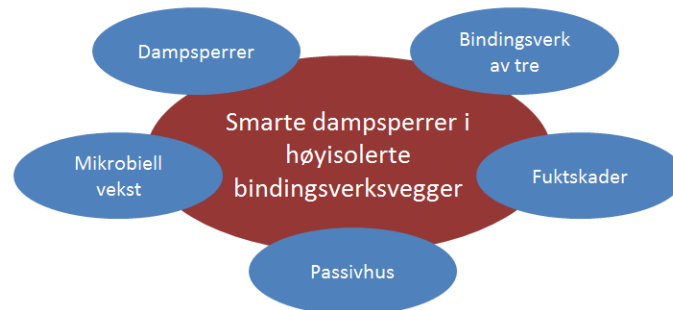
Inndata og den todimensjonale modellen som simuleres i WUFI 2D blir beskrevet i kapittel 7. Parametervariasjonene som simuleres er valgt ut på bakgrunn av resultatene fra WUFI 1D. Resultatene er presentert og vurdert nærmere i kapittel 8.

Avslutningsvis blir hovedelementene gjengitt i en konklusjon, og det presenteres forslag til videre arbeid basert på denne oppgaven.

For å øke rapportens lesbarhet er det valgt å legge enkelte dokumenter med som vedlegg fremfor å inkludere de i selve teksten. Blant vedleggene finnes det informasjon som kan være nyttig for leseren å støtte seg på, og det vil bli henvist til disse underveis i oppgaven.

2 TEORI

Det er ikke funnet mye teori som direkte dekker problemstillingen i denne masteroppgaven. Derimot berører problemstillingen flere teoriområder som er nødvendig å dekke for å kunne besvares. Hvilke emner som er presentert i teorikapittelet er vist i Figur 2.



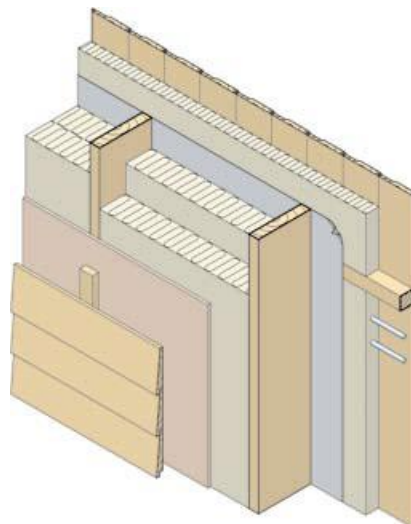
Figur 2: Sammenhengen mellom problemstillingen (rød) og teorien (blå) presentert i teorikapittelet.

2.1 BINDINGSVERKSVEGGER

Bindingsverksvegger i tre er mye brukt i Norge, både i enkle trehus og større næringsbygg. Tre er et organisk materiale, og vil ved tilstrekkelig fuktig miljø kunne gi næring til en eventuell muggsopp. Det er derfor svært viktig at bindingsverkskonstruksjonens oppbygging er utformet slik at nedbør, overflatevann, bruksvann og luftfuktighet ikke kan trenge inn i konstruksjonen (Byggforskserien, 2007a).

2.1.1 TRADISJONELL OPPBYGGING

En standard oppbygging av en bindingsverksvegg i tre kan sees i Figur 3.



Figur 3: Oppbygging av tradisjonell bindingsverksvegg (Byggforskserien, 2007a).

Selve bindingsverket består ofte av trevirke, hvor stenderdimensjonen bestemmes av hvor mye isolasjon en ønsker i konstruksjonen. I konstruksjoner hvor isolasjonstykkelsen er 200 mm eller mer anbefales det å dele isolasjonslaget med et lag papir for å redusere konveksjon

(Byggforskserien, 2007a). Flere produkter på markedet leveres med et papirlag på den ene siden så en slipper å montere dette selv.

På utsiden av isolasjonen monteres vindsperra. Vindsperras funksjon er todelt; for det første skal den hindre varmetap på grunn av luftlekkasjer samtidig som den skal beskytte veggene mot eventuelt regnvann som trenger inn gjennom ytterkledningen (Byggforskserien, 2003). For at ytterveggen skal ha god uttørkingsmulighet og hindre en oppsamling av vann inne i konstruksjonen er det viktig at vindsperra har så lav dampmotstand som mulig. Det finnes flere typer vindsperrere typer på markedet, og valg av produkt avhenger av bruksområde.

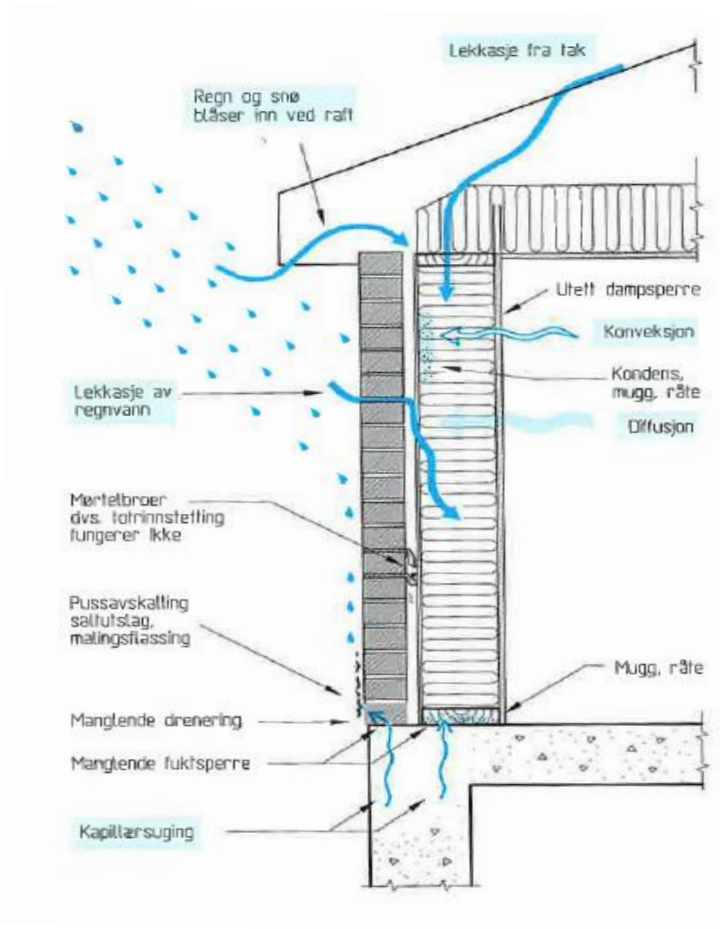
For å oppnå en effektiv og varig beskyttelse mot slagregn anbefales det å utføre ytterkledningen etter totrinnstettingsprinsippet (Byggforskserien, 2007b). Ved å benytte en luftet kledning som har en ventilert og drenert luftespalte mellom kledningen og vindsperra tilfredsstiller en dette prinsippet. Ytterkledningen fungerer som regnskjerm, mens luftespalten drenerer bort og tørker ut eventuell fukt som trenger gjennom ytterkledningen.

Dampsperra har, som vindsperra, flere funksjoner. I tillegg til å hindre at det oppstår sjenerende trekk og varmetap på grunn av luftlekkasjer, skal den forhindre at fuktig luft fra varm side skal transporteres inn i de kaldere delene av konstruksjonen ved luftlekkasjer og diffusjon (Byggforskserien, 2003). For å unngå perforeringer og dårlig tilpasninger rundt el-bokser anbefales det at dampsperra trekkes noe inn i veggen slik som vist i Figur 3. Av hensyn til kondensfare på innsiden av dampsperra bør ikke den inntrukne avstanden overstige $\frac{1}{4}$ av den totale isolasjonstykkelsen (Byggforskserien, 2007a). Krav og egenskaper til dampsperra blir nærmere omtalt i kapittel 2.3

Hvilken type innvendig kledning og overflatebehandling veggkonstruksjonen utføres med avhenger av materialvalg gjort i den resterende veggen. Dette gjelder spesielt med tanke på innadrettet uttørking.

2.1.2 FUKTPROBLEMATIKK I VEGGKONSTRUKSJONER

Figur 4 hentet fra Geving og Thue (2002) illustrer de vanligste oppfuktingsmekanismene og skadeårsakene i yttervegger. Blant disse er lekkasje av regnvann som følge av slagregn det største problemet. Stort takutspring, totrinnstetting og en vannavvisende vindsperra reduserer derimot faren for fuktskader betraktelig.



Figur 4: Vanlige oppfuktingsmekanismer og skadeårsaker i yttervegg (Geving og Thue, 2002).

Høy luftfuktighet i innelufta er en annen årsak som kan forårsake fuktproblemer i ytterveggen om konstruksjonen ikke er korrekt utført. Fuktproblemene skyldes enten vanndampdiffusjon eller luftlekkasjer (Geving og Thue, 2002). Luftlekkasjer er som regel et større problem enn vanndampdiffusjon, og som følge av skorsteinseffekten er øvre del av veggen mest utsatt. For å unngå at fuktig inneluft trenger gjennom ytterveggen og kondenserer er det derfor viktig at konstruksjonen er lufttett. Dette er dampsperras viktigste funksjon.

Foruten de fukttilskuddene som er til stede i driftstiden, er den innebygde byggfukten fra byggeperioden kritisk. Byggfukt er den fuktmengden som må tørkes ut for at materialene skal komme i fuktlikevekt med omgivelsene når bygningen er i normal bruk (Byggforskserien, 2006). Materialer inneholder litt fuktighet når de ankommer byggeplassen samtidig som det blir tilført fukt under byggingen på grunn av manglende eller dårlig tildekking. Dette er med på å bidra til byggfukten som må tørkes ut av konstruksjonen. Uttørkingstiden avhenger av en rekke forhold som vil bli nærmere undersøkt i kapittel 4.

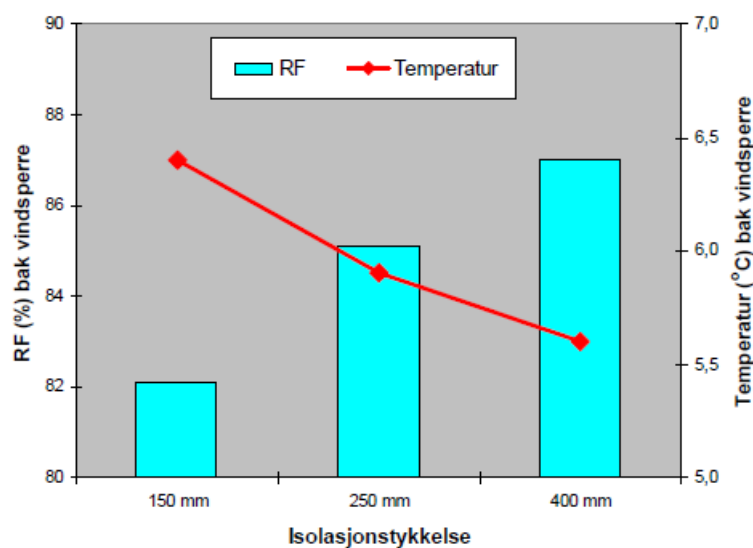
2.2 PASSIVHUS

Passivhus er på fremmarsj i Norge, og i klimameldingen uttrykker regjeringen at de innen 2015 vil skjerpe energikravene i byggeteknisk forskrift til passivhusnivå (Miljøverndepartementet, 2012). Passivhuskonseptet innebærer en meget godt isolert bygningskropp med minimale luftlekkasjer og kuldebroer, og med styrt ventilasjon med

høyeffektiv varmegjenvinning (Dokka et al., 2009). NS 3700 oppgir strenge krav til U-verdier for bygningsdeler og et meget lavt energibehov til oppvarming (Standard-Norge, 2010). For å innfri disse minstekravene gitt i standarden vil det med dagens isolasjonsmaterialer føre til noe tykkere vegger enn hva Tek10 stiller som krav.

Økt isolasjonstykkelse kan medføre noen negative fukteffekter:

- Mer isolasjon i konstruksjonen vil gi en kaldere ytre del som kan sees i Figur 5. Relativ fuktighet vil bli høyere og risikoen for kondens øker.
- Tykkere konstruksjoner kan potensielt lagre mer byggfukt som det kan være tidkrevende å tørke ut.
- Konveksjon og faren for kondens i isolasjonssjiktet øker med økende isolasjonstykkelse.



Figur 5: Relativ fuktighet og temperatur bak vindsperra for ulike isolasjonstykkelser (Geving et al., 2010).

Geving et al. (2010) har utarbeidet en rapport som tar for seg fuktproblematikken knyttet til høyisolerte konstruksjoner. De konkluderer med at risikoen for fuktskader og muggvekst øker noe med økende isolasjonstykkelse, men ved riktig material- og konstruksjonsvalg og korrekt utførelse kan denne risikoen lett motvirkes. Vanddampmotstanden til vindsperra og inneluftens luftfuktighet er faktorer som oftest har større betydning for muggvekstrisikoen enn økt isolasjonstykkelse.

Uvsløkk og Gustavsén gjorde i 2006 en utredning om hvilken påvirkning økt isolasjonstykkelse har på lette bindingsverkskonstruksjoner (Geving og Holme, 2010). Utredningen kom frem til følgende resultater:

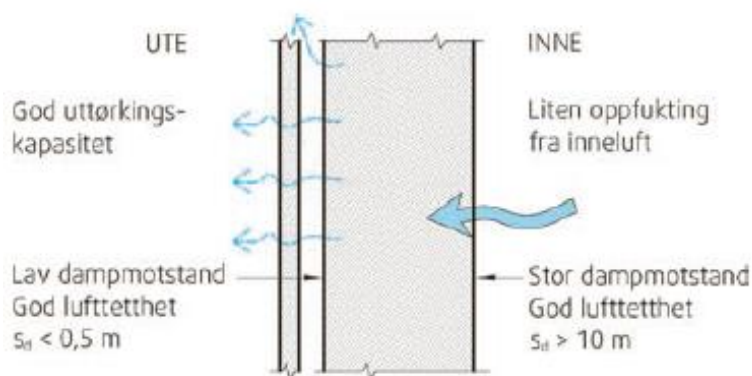
- Når isolasjonstykkelsen økes fra 150 mm til 250 mm medfører det en økende risiko for muggvekst i ytterveggen.
- Uttørkingsfasen er mest kritisk ettersom mengden fukt som må tørkes ut øker med økende mengde treverk.

- Risiko for fuktskader i selve driftsfasen blir ikke nevneverdig større som følge av økt isolasjonstykkelse.

De nye forskriftskravene til passivhus fører samtidig med seg andre krav som vil ha en positiv effekt på fuktforholdene i veggkonstruksjonen. Tettere konstruksjoner vil redusere oppfukning som følge av luftlekkasjer, samtidig som bedre og mer kontrollert ventilasjon vil føre til lavere luftfuktighet innendørs. Trolig vil effekten av disse tiltakene gi større positiv effekt på fuktforholdene enn den negative effekten som økt isolasjonstykkelse fører med seg (Geving og Holme, 2010).

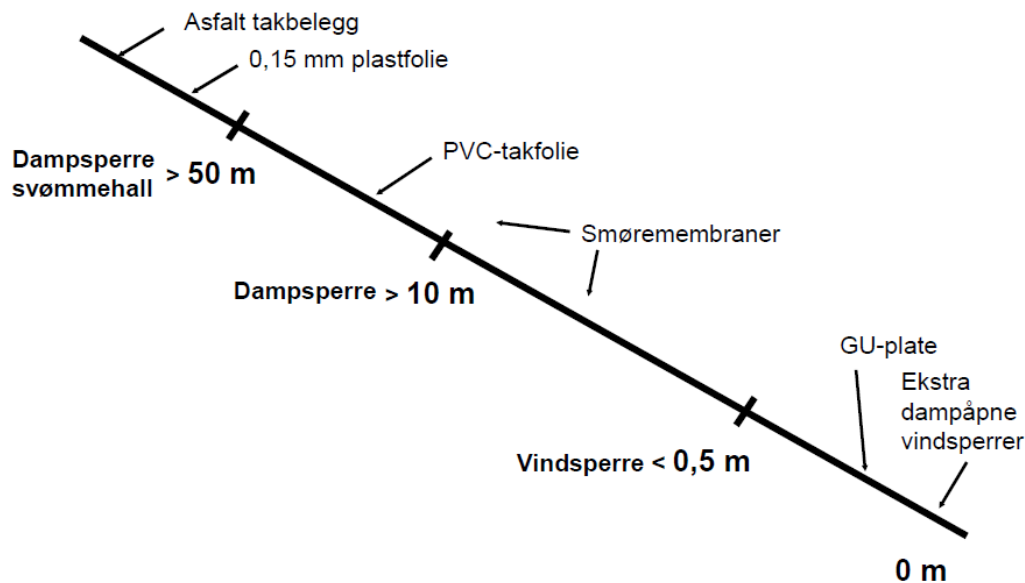
2.3 DAMSPERRER

Dampsperrers viktigste funksjon er som nevnt tidligere å hindre oppfukning av konstruksjonen som følge av luftlekkasjer og vandampdiffusjon fra innelufta. Luftlekkasjene kan hindres ved å sørge for god utførelse av dampsperra, blant annet ved godt klemte skjøter og unngå perforeringer. Risikoen for kondens som følge av diffusjon kan reduseres ved å sørge for at innvendig side av ytterveggen har tilstrekkelig høy vandampmotstand samtidig som den ytre delen er tilstrekkelig dampåpen (Geving et al., 2010). Prinsippet for sikring mot vandamptransport og sikring av god uttørking av yttervegg kan sees i Figur 6.



Figur 6: Prinsippet for tetting mot luft- og vandamptransport (Byggforskserien, 2008).

Vandampmotstanden til dampsperran bestemmes av ekvivalent luftlagstykkelse, en såkalt S_d -verdi. Desto høyere S_d -verdi dampsperra har jo mer damptett er produktet. SINTEF Byggforsk anbefaler at S_d -verdien til dampsperrer som blir benyttet i tradisjonelle bygningskonstruksjoner skal ha en S_d -verdi lik minimum 10 m (Byggforskserien, 2003). S_d -verdier for ulike produkter og hvor damptette de er i forhold til hverandre kan sees i Figur 7.



Figur 7: Vanndampmotstanden, S_d -verdi, for ulike produkter (Geving, 2012).

Det finnes ulike typer dampsperrer, og i det følgende kommer en nærmere forklaring på noen utvalgte varianter.

2.3.1 TRADISJONELL DAMPSPERRE

Den vanligste typen dampsperre som blir brukt i yttervegger av bindingsverk er polyetylenfolie, PE-folie (Byggforskserien, 2003). Folien produseres i ulike tykkelser, men det anbefales ikke å bruke tynnere folie enn 0,15 mm på grunn av fare for perforeringer. En 0,15 mm PE-folie har en S_d -verdi lik 70 m, altså godt innenfor minsteanbefalingen til SINTEF Byggforsk. Om utførelsen er korrekt blir konstruksjonen svært damp tett. Luftlekkasjer og vanndampdiffusjon vil ikke være noe problem, men produktet er så damp tett at det ikke tillates noe innadrettet uttørking.

2.3.2 DAMPBREMS

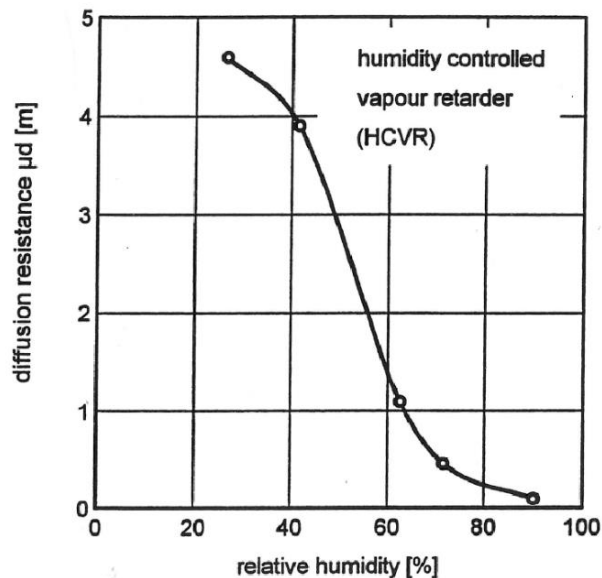
Dampbrems er et produkt som er mer dampåpen enn minimumskravet gitt av SINTEF Byggforsk. Tanken bak produktet er at det skal være tett nok til å hindre skadelig kondens vinterstid, samtidig som det er åpent nok til å tillate innadrettet uttørking på sommeren. Det finnes fortsatt ikke en klar definisjon på begrepet dampbrems, men Geving et al. (2010) bruker $0,5 \text{ m} < S_{d, \text{dampbrems}} < 10 \text{ m}$ som kan sees som en svært vid definisjon.

2.3.3 SMARTE DAMPSPERRER - SDS

Smarte dampsperrer, SDS, er utviklet på bakgrunn av samme problemstilling som dampbremsene. Begge ønsker å hindre vanndamptransport fra innsiden om vinteren samtidig som de åpner for innadrettet uttørking om sommeren.

Den store forskjellen mellom dampbrems og SDS er at dampbremsen har en konstant S_d -verdi mens S_d -verdien til en SDS vil variere avhengig av omgivelsenes relative fuktighet. Ideen er at den skal fungere som en ordinær damp tett dampsperre mesteparten av tiden, men når det blir høy fuktighet i konstruksjonen, som for eksempel ved en lekkasje, vil SDSen bli

mer dampåpen slik at det blir mulig for konstruksjonen å tørke ut mot innsiden. Hvordan det er tenkt at en SDS skal variere S_d -verdi med omgivelsene er illustrert i Figur 8.



Figur 8: Smart dampsperre med varierende dampmotstand avhengig av fuktforholdene (Geving et al., 2010).

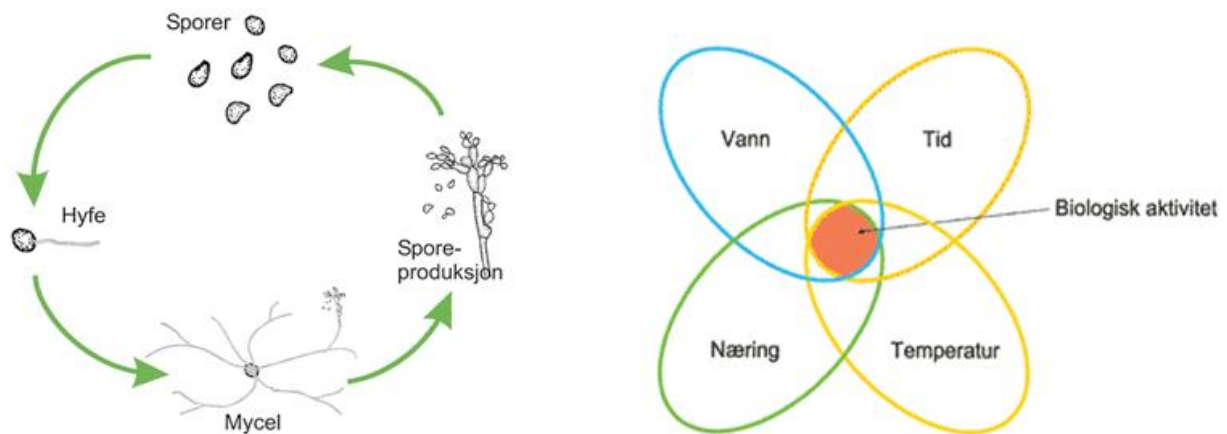
I denne oppgaven blir det ikke sett nærmere på dampbremsere, men i stedet fokusert på smarte dampsperrer og hvordan de presterer sammenlignet med tradisjonell PE-folie.

2.4 MIKROBIELL VEKST

Konsekvensen av høyt fuktinnhold i konstruksjonen er i verste fall at det oppstår gode leve- og vekstvilkår for mikrobielle organismer. Dette kan føre til en nedbrytning av materialene og en svekket bestandighet. Når det er snakk om trevirke, er det som regel råte- og muggsopp som lager problemer.

2.4.1 MUGGSOPP

Muggsopp er en fellesbetegnelse på en rekke forskjellige hurtigvoksende sopp som kan produsere store mengder sporer. Livssyklusprosessen til muggsoppen kan sees i Figur 9. Om sporene havner på en overflate hvor vekstvilkårene er gode, vil sporene starte og spire og nye sporer vil kunne produseres.



Figur 9: Livssyklusen til muggsopp, samt vilkårene som må være til stede for at vekst skal kunne forekomme (Byggforskserien, 2005b).

For at muggsoppen i det hele tatt skal kunne vokse må en del kriterier være på plass. Som det kan sees i Figur 9 må vann, tid, temperatur og næring være tilstede for å gi biologisk aktivitet. I en standard ytterveggskonstruksjon vil det være rikelig med næring, så i vurderingen av råte- og muggrisikoen er kombinasjonen fuktighet og temperatur over tid studert nærmere.

Den viktigste faktoren som påvirker muggvekst er fukt, men det er vanskelig å bestemme en kritisk verdi for når muggvekst starter (Geving og Thue, 2002). Muggvekst på overflater kan skjen når RF er mellom 80 og 100 %, men det optimale er når RF-nivået ligger mellom 95 og 98 %. Muggveksten er i tillegg temperaturavhengig, og de fleste muggsoppene vokser bare mellom +5 °C og +40 °C. Ved temperaturer over +40 °C dør de fleste muggsopper. Eksponeringstiden som er nødvendig for vekst er avhengig av både relativ fuktighet og temperatur, og varierer fra få dager til flere måneder. Desto høyere fuktighet desto raskere veksthastighet.

Geving og Thue (2002) har foreslått følgende kriterier for muggvekst på overflater:

Tabell 1: Fuktkriterier for muggvekst på overflater (Geving og Thue, 2002).

Alternativ	Kritisk fuktnivå	Kommentar
1	80 % RF	Den vanligste verdien som benyttes. Passer imidlertid best for $T > 20$ °C. Kan regnes som konservativ når den blir brukt for plasser med lavere temperaturer, f. eks i ytterkonstruksjoner.
2	18 vekt- % trefuktighet	Denne sier det samme som alternativ 1, men gjelder kun for vekst på gran og furu.
3	80 % RF når $t > 0$ °C	En forbedring av alternativ 1 ettersom det er tatt hensyn til temperaturen. Ved $T < 0$ °C antar man at det ikke forekommer muggvekst.
4	90 % RF når $t = 0 - 5$ °C 85 % RF når $t = 5 - 15$ °C 80 % RF når $t = 15 - 50$ °C	I alternativ 4 er det tatt hensyn til at kritisk fuktverdi stiger når temperaturen synker, og kan sees på som en forbedring av alternativ 3.

Muggsoppen forårsaker ikke råte, men kan føre til alvorlige helseskader og dårlig innemiljø (Geving og Thue, 2002).

2.4.2 RÅTESOPP

I bygningskonstruksjoner vil råte kunne føre til en nedbrytning av trevirkets bæreevne og over tid føre til at styrken blir helt ødelagt. Råten skyldes at trevirket blir utsatt for et soppangrep, Soppen som fører til råte kalles for råtesopp og spres på samme måte som muggsoppen. Det finnes mange ulike typer råtesopp og det er vanlig å dele de inn i brunråtesopp, hvitråtesopp og gråråtesopp (Byggforskserien, 2007c). I norske bygninger er brunråtesopper de mest vanlige, og den mest fryktede brunråtesoppen er ekte hussopp som med sine opp til 10 m lange strengmycel har god tilgang på vann og næring og derfor kan vokse ved lavere fuktnivåer (Geving og Thue, 2002).

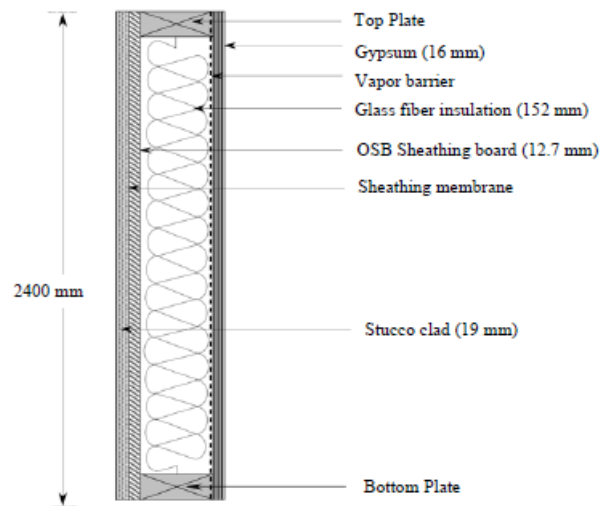
De ulike typene råtesopp trenger forskjellig minimum fuktinnhold for å overleve, så som for muggsoppen er det vanskelig å angi en kritisk fuktverdi (Geving og Thue, 2002). For at soppangrepet skal kunne starte første gang trengs som regel et høyere fuktinnhold enn det som er nødvendig for å overleve og vokse senere. For de fleste råtesoppene ligger dette fuktinnholdet nær fibermetningspunktet i trematerialene, som for gran og furu tilsvarer 95 – 98 % RF. Ekte hussopp kan starte angrep med langt lavere fuktighet, helt ned mot 85 % RF. Som for muggsoppen, har også temperaturen innvirkning på vekstvilkårene. Råtesoppene kan vokse i temperaturer helt ned til 0 °C, men blir det varmere enn omkring 45 °C vil råtesoppen mest sannsynlig dø. Geving og Thue (2002) har oppsummert fuktkriteriene for vekst av råtesopp i gran og furu i Tabell 2.

Tabell 2: Kritiske fuktnivå for vekst av gran og furu (Geving og Thue, 2002).

Alternativ	Kritisk fuktnivå	Kommentar
1	20 vekt- %	Dette er den vanligste verdien som benyttes, men kan ses på som meget konservativ. Den tar ikke hensyn til temperatur eller at fuktnivået må være høyere for at vekst skal kunne starte.
2	85 % RF	Dette er det samme som alternativ 1. 20 vekt- % tilsvarer 85 % RF.
3	20 vekt- % når $t > 0$ °C	Dette er en forbedring av alternativ 1, hvor en antar at vekst av råtesopp ikke finner sted ved minusgrader.

3 TIDLIGERE FORSKNING

Tariku et al. (2009) gjennomførte fukttekniske simuleringer på bindingsverksvegger i kanadisk kystklima, nærmere bestemt Vancouver. Hensikten med simuleringene var å kartlegge hvordan ulike typer dampsperrer i en veggkonstruksjon blir påvirket av fukttilskudd og innvendig overflatebehandling. Konstruksjonen som ble undersøkt kan sees i Figur 10.



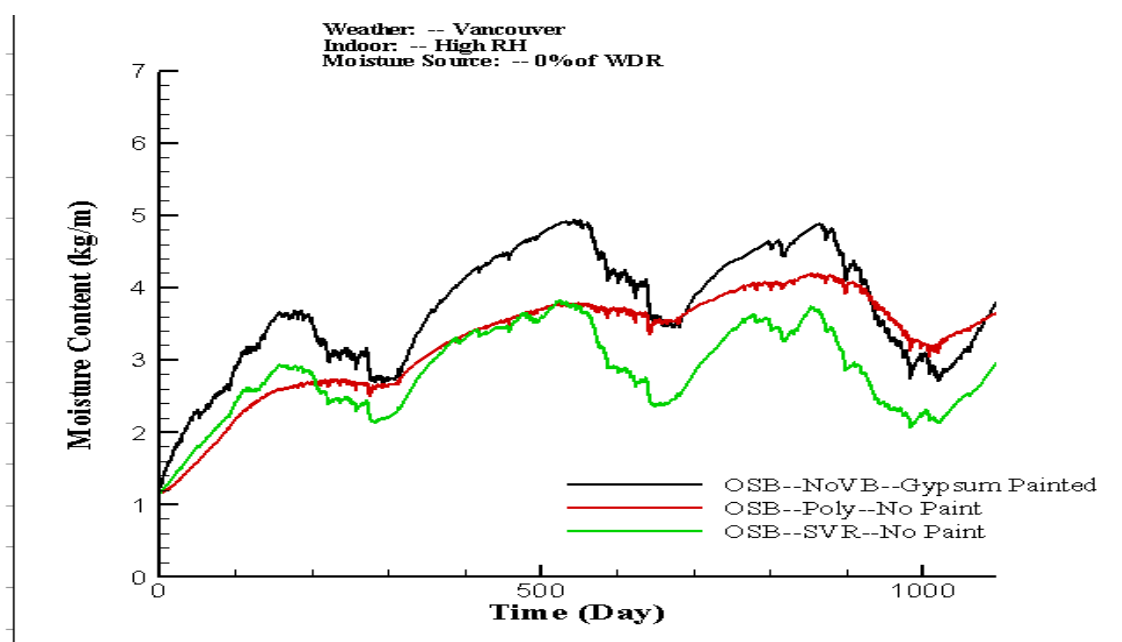
Figur 10: Et vertikalsnitt av ytterveggen som er undersøkt (Tariku et al., 2009).

Tre ulike konstruksjoner ble simulert. En vegg med tradisjonell PE-folie, en vegg med SDS og en vegg uten dampsperre. Fukttinnhold i OSB-platen og gipsplaten ble beregnet i alle simuleringene. Det ble gjennomført simuleringer hvor effekten av fukttilskudd og innvendig overflatebehandling ble undersøkt. Parameterne som ble variert:

- Fukttilskudd
 - Ingen fukttilskudd
 - 1 % av slagregnet som traff veggen trengte inn i konstruksjonen.
- Innvendig overflatebehandling
 - Ingen overflatebehandling
 - Akryl basert maling med høy dampmotstand.

I alle simuleringene uten eksternt fukttilskudd viste veggene med SDS bedre hygrotermiske egenskaper enn veggene med tradisjonell PE-folie og uten dampsperre, uavhengig av innvendig overflatebehandling. Fra Figur 11 ser vi at fukttinnholdet i OSB-plata er betydelig lavere enn for de to andre veggkonstruksjonene. Dette skyldes at SDS ikke tillater en like stor oppfukning vinterstid som veggene uten dampsperre, og tillater en større opptørking sommerstid enn hva tradisjonell PE-folie på grunn av muligheten for innadrettet uttørking.

Fukttinnholdet i den innvendige gipsplate viste i alle tilfellene uten eksternt fukttilskudd en variasjon som i stor grad fulgte variasjonene i klimaet innendørs.



Figur 11: Fuktinnhold i OSB-plata for veggen med SDS, PE-folie og kun maling (Tariku et al., 2009).

For de tilfellene hvor 1 % av slagregnet representerte en fuktlekkasje viste veggen med SDS et akseptabelt fuktnivå i OSB plata, uavhengig av innvendig overflatebehandling. Veggen med PE-folie viste derimot en fuktakkumulasjon over beregningsperioden og liten uttørking i løpet av sommeren. Veggkonstruksjonen med SDS viste imidlertid ikke tilfredsstillende resultat ved fuktinnholdet i den innvendige gipsplata når den var overflatebehandlet med akrylbasert maling. Grunnen til dette er at gipsplata ble plassert mellom to relativt damptette sjikt, samtidig som SDS tillot fukttransport fra ytre del av konstruksjonen og inn til gipsplata. Relativ fuktighet over 95 % ble målt i gipsplata over en lengre periode under andre og tredje året av simuleringen.

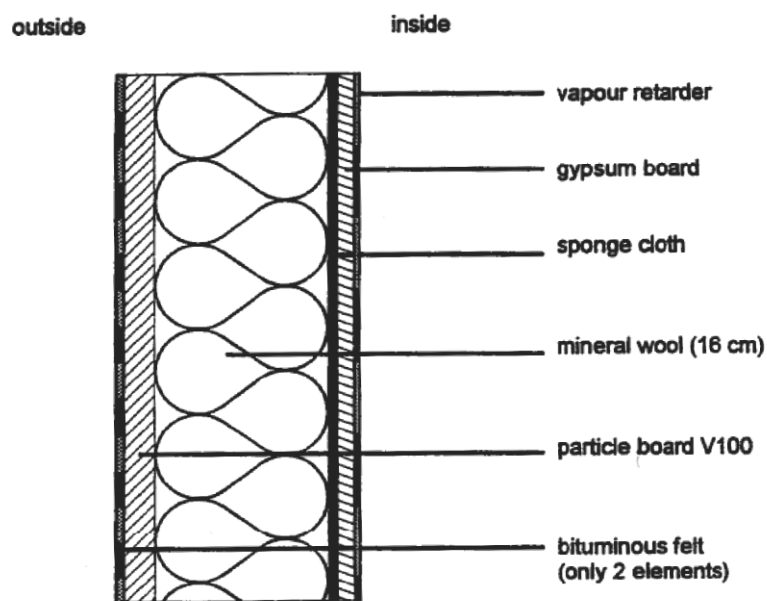
Artikkelen konkluderer med at veggkonstruksjoner med SDS viser bedre fukttekniske egenskaper og et lavere fuktinnhold i den ytre OSB plata, uavhengig av fukttilskudd og innvendig overflatebehandling. Derimot vil SDS kunne ha en ugunstig effekt på fuktinnholdet i innvendig gipsplate om gipsplata er overflatebehandlet med maling med høy dampmotstand.

Klimaet i Vancouver skiller seg fra osloklimaet på flere områder. Varmere store deler av året i kombinasjon med gjennomsnittlig flere soltimer i døgnet gir et større potensial for innadrettet uttørking (Organization, 2013). Nedbørmengden i Vancouver er betydelig større enn i Oslo, noe som også gir et større fukttilskudd til konstruksjonen da en andel av nedbørmengden absorberes av veggen.

I Norge er isolasjonstykkelsen større i nybygg enn hva som er oppgitt i denne artikkelen. Mengden byggfukt vil derfor være større for et bygg i Oslo, samtidig som økt isolasjonstykkelse fører med seg enkelte negative fukttekniske forhold. OSB plata som er plassert på kald side av isolasjonen er i tillegg mer damptett enn hva som er anbefalt av byggforsk (Byggforskserien, 2003), og ansees som et "worst case" scenario. Det er forhold som øker potensialet for innadrettet uttørking og dermed også favoriserer valget av SDS. Om

SDS hadde blitt trukket noe inn i konstruksjonen, noe som er anbefalt i Norge, kan det tenkes at enda mer fukt kan fanges inne mellom SDS og innvendig gipsplate om en damptett overflatebehandling benyttes.

Ett av de første forsøkene med SDS i veggkonstruksjoner ble utført ved Fraunhofer-instituttet i Holzkirchen i Tyskland (Geving, 2013b). Hensikten med forsøket var å undersøke hvordan en veggkonstruksjon med SDS tillater uttørking uten risiko for oppfukning vinterstid, sammenlignet med Hygrodiode. Det ble utført feltmålinger av fire veggkonstruksjoner lik den som kan sees i Figur 12 (Künzel, 1996). To av veggkonstruksjonene hadde et damptett asfaltbasert produkt som ytterste lag. Før målingene startet ble svampelaget mellom gipsplata og isolasjonen fuktet opp omtrent 3 Kg/m^2 med vann. Målingene ble utført mellom slutten av august til slutten av mars.



Figur 12: Illustrasjon av ytterveggen som er undersøkt (Künzel, 1996).

For veggkonstruksjonen med damptett ytterkledning hadde veggen med SDS hurtigere uttørking de fire første månedene enn veggen med Hygrodiode. Derimot vil veggen med SDS fuktes raskere i løpet av vinteren, og fuktinnholdet er omtrent det samme ($1,4 \text{ kg/m}^2$) for SDS og Hygrodiode i slutten av mars. For veggkonstruksjonene uten den asfaltbaserte ytterkledningen var sponplata direkte utsatt for regn, og vil i perioder med mye nedbør ta opp mye fuktighet. Også i dette tilfellet viste veggen med SDS bedre uttørking sensommeren enn hva veggen med Hygrodiode gjorde. På vinteren var oppfuktingen mer eller mindre parallell for de to veggene, men det totale fuktinnholdet i slutten av mars var lavere for veggen med SDS ($0,2 \text{ Kg/m}^2$).

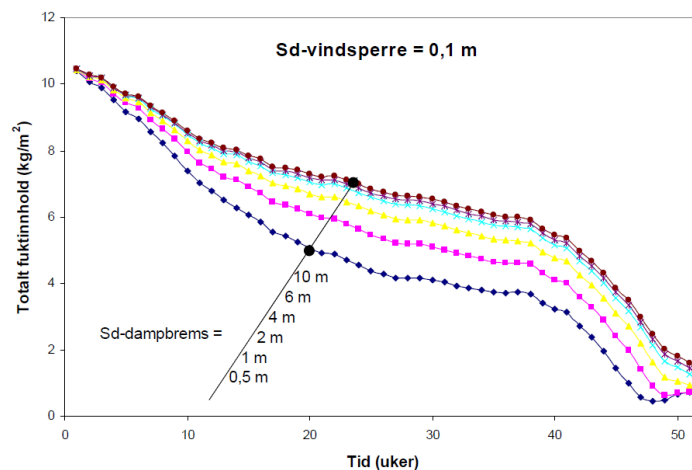
En raskere uttørking er viktig for å redusere risikoen for vekst av råte- og muggsopp. I denne artikkelen ble en SDS sammenlignet med Hygrodiode som også er en type SDS, men med en meget bratt overgang fra damptett til dampåpen tilstand (Icopal, 2008).

Geving et al. (2010) gjorde analyser og vurderinger knyttet til bruk av alternative dampsperrer i ytterkonstruksjoner. Det ble benyttet dampsperrer/dampbremsere som hadde lavere damp tetthet enn hva som anbefales for vanlige dampsperrer og det ble undersøkt hvilken uttørkingsmulighet konstruksjonen får innover. Rapporten undersøkte følgende problemstillinger:

1. Krav til minimum dampmotstand på varm side for å unngå fuktskader som følge av kondensering og muggvekst.
2. Effekt av luftlekkasjer på krav til minimum dampmotstand på varm side.
3. I hvilke tilfeller innadrettet uttørking virker.

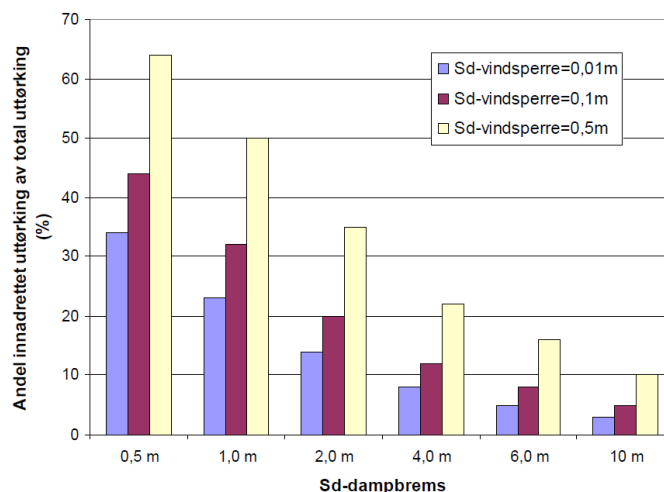
Det ble gjennomført fuktberegninger for bindingsverksvegger i både WUFI 1D Pro 4 og WUFI 2D-3 for bindingsverksvegger med høy startfuktighet, nordvendt orientering og et klima som representerer en fuktbelastning som er mer kritisk enn gjennomsnittsklimaet.

Beregninger for konstruksjonene med vindsperre med $S_d=0,1$ m viste en raskere uttørkingshastighet når dampsperra hadde en lav dampmotstand. Vi ser fra Figur 13 at desto lavere S_d -verdi det er på dampsperra jo hurtigere uttørking, samtidig som det er svært lite som skiller dampsperrere med S_d -verdi lik 4, 6 og 10 m.



Figur 13: Totalt fuktinnhold i bindingsverksvegg for varierende dampmotstand på dampbremsen (Geving et al., 2010).

Andelen innadrettet uttørking av total uttørking er som vi ser av Figur 14 sterkt avhengig av S_d -verdien til henholdsvis dampsperra og vindsperra. Desto mer dampåpen dampsperre og mer damp tett vindsperre som blir benyttet jo større andel av uttørkingen er innadrettet.



Figur 14: Andel innadrettet uttørking av den totale uttørkingen for ulike S_d -verdier på dampbrems og vindsperra (Geving et al., 2010).

Hovedkonklusjonen for bindingsverksvegger er altså at dampbremsere har relativt liten betydning for uttørkingshastigheten i nordisk klima hvor moderne vindsperrer med lav S_d -verdi blir benyttet. Om det derimot blir benyttet en mer damptett vindsperra enn normalt kan det være et større potensial for slike produkter. Beregningene viser at det er klart mer effektivt å redusere dampmotstanden på vindsperra enn dampmotstanden på varm side når det kommer til uttørkingshastigheten av byggfukt og tilfeldige lekkasjer.

I dette prosjektet ble det benyttet dampbremsere med konstant dampmotstand. Et problem med disse dampbremsene er at de ikke er tilstrekkelig damptette for å unngå fukt innenfra, og heller ikke dampåpne nok til å la konstruksjonen tørke ut tilstrekkelig til innsiden. Mye tyder på at smarte dampsperrer med variabel dampmotstand er et mer gunstig konsept, og er også foreslått som et forslag til videre arbeider av Geving et al. (2010).

Gatland et al. (2007) gjennomførte feltmålinger og WUFI simuleringer på nordvendte veggelementer i Washington, USA. Konstruksjonene som ble undersøkt var bindingsverksvegger i tre, og bestod av fra utsiden til innsiden: murpuss, to lag byggepapir, OSB plate, 140 mm glassfiber isolasjon/trestendere, dampsperra (SDS av typen polyamid folie, PE-folie og ingen dampsperra), gipsplate og maling. Forsøksperioden var over ett år, fra oktober 2003 til og med september 2004. Inneklimaet var 21 °C og relativ fuktighet mellom 50-55 %. Det ble foretatt målinger av fuktinnholdet i OSB plata og relativ fuktighet på overflaten inn mot isolasjonen til OSB plata og dampsperra. Det ble antatt at konstruksjonen var uten luft- og vannlekkasjer.

For veggene med maling og ingen dampsperra ble det målt 100 % RF i en lengere sammenhengende periode i OSB plata vinterstid som forårsaket store mengder vinterkondens. Det ble ikke registrert noen kondensering på OSB plata for veggene med SDS og PE-folie, men RF over 90 % ble målt. Uttørkingstiden i vår og sommermånedene var mye kortere for veggene med SDS og maling sammenlignet med veggene med PE-folie. Veggene med PE-folie ble aldri like tørre på varm side av OSB plata som de to andre veggene. RF på overflaten av kald side av dampsperra var også mye høyere fra våren til høsten for veggene med PE-folie

enn for de to andre veggene. Fukttinnholdet i OSB plata var tilnærmet likt for veggene med SDS og PE-folie, mens det for veggen med bare maling ble målt svært høyt fukttinnhold, over 24 vekt-%, i flere måneder vinterstid. Simuleringer utført i WUFI viste god overenstemmelse med feltmålingene i denne rapporten.

Klimaet i Washington er generelt mye varmere og har flere soltimer enn Oslo. Veggene i dette forsøket var vendt mot nord, så effekten av solstråling som traff veggen var minimal. Mengden slagregn som treffer vegger vendt mot nord er rimelig lik for Seattle (klimadata for Seattle ble brukt i simuleringen) og Oslo (WUFI, 2013). Konstruksjonen som ble undersøkt i dette forsøket var utformet fordelaktig for innadrettet uttørking. Byggepapiret som ble brukt mellom murpussen og OSB plata er vanligvis asfaltbaserte og dermed vanntett. OSB plata ble da plassert mellom to vanntette sjikt i veggen med PE-folie.

Buxbaum et al. (2007) gjennomførte simuleringer i WUFI for å undersøke de hygrokopiske egenskapene til ulike passivhus veggkonstruksjoner. Simuleringsperioden var fem år med uteklima som representerer et typisk år i Holzkrichen i Tyskland. Inneklimaet varierte som en sinusfunksjon med 20 °C og 30 % RF på vinteren og 22 °C og 60 % RF på sommeren. Startfuktforhold i alle materialer var 80 % RF. For å simulere mest ugunstig tenkelig forhold med tanke på fuktakkumulasjon i ytre del av veggen ble det valgt en nordlig orientering. Veggkonstruksjonen bestod av fra utsiden og inn; 15 mm utvendig puss, 50 mm treullsementsplate, 400 mm I-stenderverk med isolasjon, dampsperre/SDS/ eller ingen dampsperre og 15 mm innvendig puss. Totalt fukttinnhold og RF ble registrert i alle materialsjikt.

For konstruksjonen uten dampsperre ble mye fukt transportert ut i konstruksjonen vinterstid og kondenserer i konstruksjonens ytre, kalde del. Det ble under simuleringsperioden registrert en fuktakkumulasjon og stadig høyrer RF desto lengre tid det gikk. Fukttinnholdet i de ytre sjiktene økte fra 50 kg/m³ til 125 kg/m³, mens RF ble målt til mellom 90-96 % i lange perioder. For konstruksjonen med dampsperre ble det ikke registrert noen fuktakkumulasjon over simuleringsperioden. Fukttinnholdet i den ytre treullsementsplata varierer over året mellom 45 kg/m³ og 85 kg/m³. Der dampsperra ble byttet ut med SDS ble det registret tilnærmet like resultater som for konstruksjonen med dampsperra. Dette skyldes mest sannsynlig veggens nordlige orientering og ugunstige forhold for innadrettet uttørking.

Den nordlige orienteringen som var valgt i dette forsøket er ikke gunstig med tanke på innadrettet uttørking, og vil representere et "worst-case" scenario. Derimot er det valgt en ytterkledning av treullsementsplate med puss som har en høyere S_d-verdi enn hva som er anbefalt i byggforsk for ytterkledning (HBC, 2008). Dette vil øke potensialet for innadrettet uttørking. Simuleringen undersøkte ikke effekten av å trekke SDS et stykke inn i konstruksjonen, noe som kan ha innvirkning på effekten av SDS. Det ble ikke gjennomført en sammenligning med en vegg tilsvarende TEK10.

Oppsummering

De fleste forsøkene og simuleringene som er foretatt med SDS i bindingsverksveggkonstruksjoner viser gode fukttekniske egenskaper sammenlignet med

tradisjonell PE-folie og tilfeller uten dampsperre. En raskere uttørkingstid sommermånedene kan være nok til å unngå vekst av råte- og muggsopp og kan dermed ha betydelig innvirkning på bygningsdelers bestandighet.

Effekten av SDS er derimot avhengig av en rekke faktorer:

- Forholdstallet mellom S_d -verdien på varm og kald side av konstruksjonen.
- Innvendig overflatebehandling.
- Klimafaktorer som luftas fuktinnhold, temperatur, soltimer og nedbør-
- Fasadens himmelretning.

Hvordan disse og andre faktorer har innvirkning på effekten av SDS i høyisolerte bindingsverksvegger i tre blir undersøkt nærmere i denne oppgaven.

4 ENDIMENSJONALE FUKTBREGNINGER FOR BINDINGSVERKSVEGGER MED SDS

Gjennomføringen av fukttekniske analyser av bygningskonstruksjoner med simuleringmodeller er en omfattende prosess hvor det må tas mange valg og beslutninger underveis. Det er mange parametere å holde styr på, og beslutningene vil ha innvirkning på nøyaktigheten og påliteligheten til resultatene. Det er derfor valgt en systematisk fremgangsmåte lik den som er beskrevet i rapporten om beregningsprogrammer skrevet av Geving (1997) for å forbedre påliteligheten til analysene utført i denne oppgaven.

4.1 PROBLEMDEFINISJON

Bindingsverksvegger som bygges etter kravene i teknisk forskrift og som bygges med luftet kledning og lav dampmotstand på vindsperra fungerer erfaringsmessig godt fuktteknisk. Utfordringer kan derimot oppstå når en blir tvunget til å bruke løsninger som er mindre gunstige rent fuktteknisk. Eksempler på slike løsninger kan være tilfeller hvor en ikke får tilstrekkelig lufting, et mer damptett sjikt må benyttes som vindsperra eller at isolasjonstykkelsen øker.

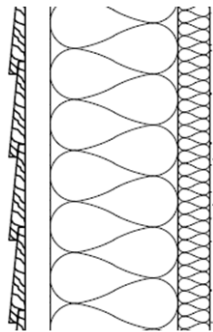
For slike konstruksjoner kan det tenkes at å bytte ut den tradisjonelle dampsperra med SDS vil bedre veggens uttørkingsmulighet ved i tillegg til å kunne tørke utover også har mulighet til innadrettet uttørking.

Målsetning

Den fukttekniske analysen tar sikte på å dokumentere effekten av SDS i bindingsverksvegger i tre, samt undersøke hvilke parametere som har innvirkning på denne effekten. Det er gjennomført flere forsøk på effekten av SDS i bindingsverksvegger tidligere, men målet med denne oppgaven er å undersøke egnethet, muligheter og begrensninger for SDS i høyisolerte bindingsverksvegger i tre under norske forhold.

Konstruksjonen

For å sikre et godt sammenligningsgrunnlag for alle parametervariasjonene er det definert en standardkonstruksjon som referansekonstruksjon. Oppbyggingen av standardkonstruksjonen som er benyttet i simuleringene i denne oppgaven er hentet fra byggforskserien og kan sees i Figur 15 (Byggforskserien, 2007a).



Figur 15: Standardkonstruksjonen benyttet i beregningene i WUFI.

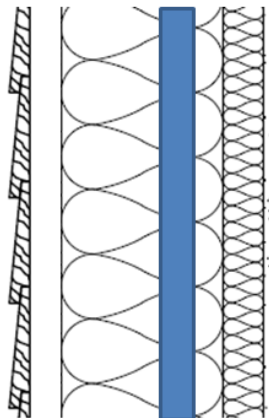
Ytterveggen består av, fra utsiden:

- Trekledning, 12 mm
- Ventilert luftespalte, 25 mm
- Vindsperre, 1 mm rulleprodukt
- Mineralull, 350 mm
- Dampsperre, 1 mm rulleprodukt
- Mineralull, 50 mm
- Innvendig malt gipsplate, 12,5 mm

Fuktkilder

Som nevnt tidligere i kapittel 2 er slagregn den største kilden til fukt i veggkonstruksjoner. I WUFI simuleres dette ved at en viss andel av regnet treffer fasaden i form av slagregn og bidrar til oppfuktning av ytterkledning.

For å illustrere byggfukt og tilfeldige lekkasjer er beregningene utført, som i Geving og Holme (2010), med høyt startfuktnivå i deler av isolasjonen. Fukten er fordelt i et 50 mm tykt isolasjonssjikt som er lokalisert 100 mm fra innsiden av konstruksjonen som illustrert i Figur 16. Plasseringen er valgt nærme varm side av konstruksjonen for å optimalisere forholdene for innadrettet uttørking.



Figur 16: Illustrasjon av hvordan tilfeldig lekkasje er simulert i WUFI.

4.2 BEREGNINGSOPPSETT OG INPUTPARAMETRE

Simuleringene er avhengige av en rekke valg som vil ha stor betydning for påliteligheten til resultatene. For at det skal komme klart frem hvilken informasjon beregningene er basert på, vil det i det følgende komme en beskrivelse og begrunnelse av de valgene som er tatt i forkant av simuleringene.

Valg av beregningsverktøy

De endimensjonale beregningene i denne oppgaven er utført med WUFI 1D Pro 5.2. WUFI er et beregningsprogram som er utviklet av Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland som beregner koblet varme- og fukttransport i bygningskomponenter (WUFI, 2013). Programvaren baserer seg på den nyeste kunnskapen om fukttransport ved vandampdiffusjon

og kapillærledning i bygningsmaterialer og gjør det mulig å gjennomføre transiente beregninger av hygrottermiske forhold i bygningskonstruksjoner. Både faste og fuktavhengige materialparametere blir benyttet, og slagregn og stråling er inkludert i klimadataene og sørger for en realistisk situasjon.

WUFI egner seg svært godt til undersøkelse av (WUFI, 2013):

- Uttørkingstid for byggfukt
- Kondensfare i bygningskomponenter
- Virkningen av slagregn mot utvendige flater
- Hygrottermiske forhold i ytterkonstruksjoner ved variasjoner i klima eller ved ekstreme klimaforhold.

En oversikt over hvilke transportmekanismer som er inkludert i WUFI og hvilke som er utelatt kan sees i Tabell 3. Ettersom WUFI 1D Pro 5.2 gjennomfører endimensjonale beregninger vil ikke virkningen av eventuelle gjennomgående trebjelker bli tatt med.

Tabell 3: En oversikt over hvilke transportmekanismer som er inkludert eller ikke i WUFI (Stellander, 2012).

	Transportmekanismer	
	Inkluderes i WUFI	Inkluderes ikke i WUFI
Varmetransport	- Varmeledning - Entalpiendringer ved faseoverganger i fukt - Kort- og langbølget stråling	- Varmetransport ved konveksjon
Damptransport	- Dampdiffusjon - Løsningsdiffusjon	- Fukttransport ved konveksjon
Væsketransport	- Kapillærledning - Overflatekryping	- Hydraulisk strømning - Dreneringsstrømning - Elektrokinetiske og osmotiske effekter

Uteklima

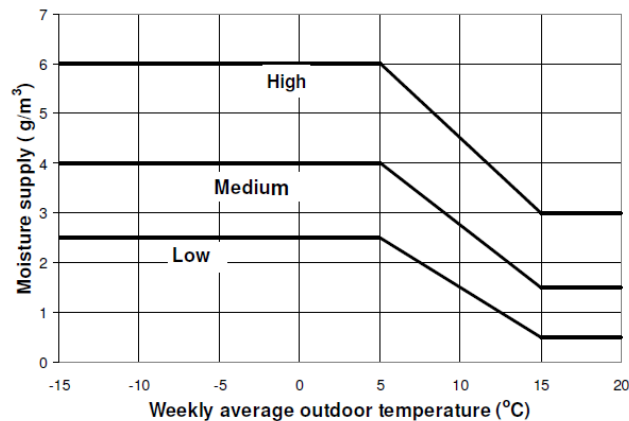
Uteklimate er en av de faktorene som har størst betydning for fuktforholdene i yttervegger (Geving og Thue, 2002). For fuktregninger anbefales det å bruke referanseår som representerer en mer kritisk belastning på konstruksjonen enn gjennomsnittsåret for å oppnå ønsket sikkerhetsnivå mot fuktskader. Slike klimadata kalles for "Moisture Design Reference Year" (MDRY) og finnes for 12 ulike steder i Norge. Klimadataene er basert på målinger utført tre ganger i døgnet av Meteorologisk Institutt og er omregnet til timesobservasjoner ved lineær interpolasjon (Thue et al., 2007).

Hva som karakteriserer kritisk fuktbelastning avhenger av type konstruksjon. For beregningen av MDRY er det da benyttet ulike typer konstruksjoner som vurderingsgrunnlag ved valg av referanseår, noe som tilsier at beregningsperioder over flere år vil få en større fuktpåkjenning på konstruksjonen enn et "normalår" (Thue et al., 2007). MDRY vil derfor trolig gi mindre uttørking innover enn hva et "normalår" ville gitt. For standardkonstruksjonen er klimaet i Oslo valgt som uteklimate.

Inneklima

For enkelte konstruksjoner og bygningstyper har inneklimaet større betydning for fuktforholdene i ytterkonstruksjonene enn uteklimaet (Geving og Thue, 2002). Ofte blir beregninger utført med konstante verdier for innendørs RF og temperatur over året, noe som kan være alvorlige forenklinger. WUFI inkluderer ikke, som vist i Tabell 3, fukttransport ved konveksjon. Lufttrykk kan ha stor påvirkning på fuktforholdene i konstruksjonen, men er bare aktuelt for beregninger som inkluderer konveksjon. Innvendig klimadata som er benyttet i denne oppgaven inkluderer derfor ikke lufttrykk, noe som må sees på som en forenkling.

En av de viktigste inputparameterne i hygrotermiske analyser av bygningskroppen ved bruk av simuleringprogrammer er verdiene av innendørs luftfuktighet (Geving et al., 2008). Da SDS har en varierende S_d -verdi avhengig av luftfuktigheten, vil innvendig luftfuktighet være av spesiell interesse når en skal vurdere fuktforholdene i konstruksjonen. Vanligvis blir tilskudd til innendørs luftfuktighet gitt av fukttilskuddet. Fukttilskuddet beskriver den samlede effekten av innendørs fuktproduksjonen, luftskifte og bygningsvolum (Byggforskserien, 2005a). Geving et al. (2008) utførte målinger og presenterte forslag til forandringer av verdiene til fukttilskudd i norske boliger enn det som er oppgitt i EN ISO 13788. I Figur 17 er 90 % - persentilen fra forsøkene presentert for henholdsvis «lavt», «middels» og «høyt» fukttilskudd. «Lavt» fukttilskudd representerer en stue i et hus med få beboere, «middels» fukttilskudd representerer stuer med mange personer og «høyt» fukttilskudd bad og vaskerom.



Figur 17: Forslag til dimensjonerende verdier for «lavt», «middels» og «høyt» fukttilskudd (Geving et al., 2008).

Middels fukttilskudd er brukt som standardverdi i simuleringene i denne oppgaven, men parametervariasjoner med høy og lavt fukttilskudd er gjennomført.

Materialparametere

I det følgende presenteres de materialene og deres materialparametere som har betydning for beregningene utført i denne oppgaven. Enkelte av materialene finnes i WUFIs materialdatabase fra tidligere. For de materialene som ikke finnes i materialdatabasen, eller hvor dataene i WUFI er mangelfulle, er det gjennom innhentet informasjon fra

produktdatablader eller andre tilsvarende materialer opprettet nye materialer i materialdatabasen.

Gipsplate

Gipsplater blir blant annet brukt til innvendig kledning. I beregningene er det brukt en gipsplate som er oppført i materialkatalogen til Fraunhofer Institut für Bauphysik som oppgir en S_d -verdi lik 0,10 m. Med innvendig overflatebehandling er total S_d -verdi lik 0,15m. Om vekstforholdene ligger til rette for det er gipsoverflater et ypperlig sted for vekst av muggsopp (Geving og Thue, 2002).

Dampsperre

Stellander (2011) utarbeidet i sin prosjektoppgave en oversikt over tilgjengelige SDS på markedet i dag. I denne oppgaven er det valgt å utføre beregninger med to produkter valgt fra denne oversikten. Det er valgt å gjøre en sammenligning med tradisjonell PE-folie.

Produktet Novaflexx er polyamidbasert og produseres av det tyske selskapet Doerken. Det har ikke lyktes å finne testresultater om hvordan S_d -verdien varierer med RF, men i følge Stellander (2012) har importøren bekreftet at Novaflexx' egenskaper er lik som for PA-folien som finnes i materialdatabasen til Fraunhofer Institut für Bauphysik i WUFI. Den oppgir en variasjon i S_d -verdi mellom 0,08 – 4,38 m. Novaflexx er mer dampåpen og har ikke et like stort variasjonsområde for S_d -verdien sammenlignet med de andre produktene i denne oppgaven.

AirGuard Smart er en smart dampsperre hvor S_d -verdien varierer fra 0,02 – 102,5 m som produseres av Dupont Tyvek (DuPont, 2013). Den store variasjonen i vandampdiffusjonsmotstanden gir produktet gode uttørkingsegenskaper ved høyt fuktinnhold i omgivelsene, samtidig som den er tett nok når konstruksjonen er tørr. AirGuard Smart finnes ikke i noen av materialdatabasene i WUFI, og måtte derfor legges inn manuelt. PA-folie ble benyttet som utgangspunkt, men noen basisparametere ble endret i henhold til produktdatabladet for AirGuard Smart. Blant annet ble vandampdiffusjonsmotstanden endret med nye verdier som kan sees i vedlegg 1.

Tradisjonell PE-folie er det produktet som blir mest brukt i bindingsverksvegger i dag, og er den løsningen Sintef Byggforsk anbefaler som en sikker og robust løsning. PE-folien som er benyttet i beregningene i denne oppgaven er hentet fra materialdatabasen i WUFI, og har en konstant S_d -verdi lik 100 m.

Mineralull

Mineralull er et ikke-hygroskopisk materiale, og vil ikke absorbere fuktighet som følge av kapillære krefter (Glava, 2013). Fuktlagringen for ikke-hygroskopiske materialer er mer eller mindre lik null ved lave verdier av relativ fuktighet i omgivelsene, mens det for RF tilnærmet 100 % tar opp en ubestemt mengde mellom null og maksimalt fuktinnhold (WUFI, 2013). En veldefinert sorpsjonskurve for disse materialene eksisterer dermed ikke.

Om en fra beregningene er interessert i fuktinnholdet i isolasjonssjiktet eller i hele konstruksjonen er det viktig at sorpsjonskurven til materialene bestemmes nøyaktig (Geving og Thue, 2002). Ettersom WUFI er avhengig av definert fuktinnhold per tidstrinn for å utføre

beregninger, tildeler programmet en standard sorpsjonskurve for alle ikke-hygroskopiske materialer eller materialer hvor fuktinnholdet ikke er spesifisert (WUFI, 2013). Sorpsjonskurven til mineralull har derimot et langt lavere fuktinnhold enn standardfunksjonen som blir tildelt i WUFI.

Stellander (2012) fant ut gjennom forhåndsregninger at sorpsjonskurven til mineralull gav numeriske problemer i WUFI som følge av svært lave verdier. For at de numeriske beregningene skulle fungere tilfredsstillende ble det utarbeidet egendefinerte sorpsjonskurver for mineralull. Undersøkelsene viste at det var hensiktsmessig å bruke forskjellige sorpsjonskurver avhengig av om det ble benyttet PE-folie eller SDS i konstruksjonen. I Tabell 4 vises de ulike sorpsjonskurvene for mineralull.

Tabell 4: De ulike sorpsjonskurvene til mineralull avhengig av om konstruksjonen benytter PE-folie eller SDS sammenlignet med standardfunksjonen i WUFI (Stellander, 2012).

RF [%]	Fuktinnhold [kg/m ³]			
	Standardfunksjon i WUFI	Egendefinert sorpsjonskurve for PE-folie	Egendefinert sorpsjonskurve for SDS	Sorpsjonskurve til steinull
0	0	0	0	0
20	0,12	0,1	0,04	0,04
40	0,31	0,3	0,07	0,07
60	0,69	0,7	0,08	0,08
80	1,79	1,3	0,12	0,12
90	3,83	2,0	0,16	0,16
95	7,38	4,0	0,8	0,23
96	8,94	5,0	1,8	0,33
99	22,71	22	7,0	-
99,5	30,2	30	8,0	-
100	44,79	38	8,5	-

Fra Tabell 4 kommer det frem at den egendefinerte sorpsjonskurven for mineralull i konstruksjonen med SDS er tilnærmet lik den faktiske sorpsjonskurven til steinull bortsett fra ved svært høy RF. Denne tilpasningen av sorpsjonskurven var tilstrekkelig for å oppnå numerisk stabilitet i WUFI for konstruksjonen med SDS. For konstruksjonen med PE-folie måtte det derimot en mye høyere sorpsjonskurve til for å gi numerisk stabilitet, og det anbefales derfor å benytte standardfunksjonen i WUFI for de beregningene. Årsaken til at det ble oppnådd numerisk stabilitet med den lave sorpsjonskurven for konstruksjonen med SDS, men ikke med PE-folie, skyldes mest sannsynlig at konstruksjonen med SDS gir større netto uttørking som reduserer fuktfordelingen i konstruksjonen (Stellander, 2012). I beregningene i denne oppgaven er sorpsjonskurven for SDS benyttet.

Vindsperre

Som vindsperre er det valgt å bruke et rulleprodukt bestående av polyetylen som er både vind- og vanntett, samtidig som det er svært diffusjonsåpent. Rulleproduktet finnes i store bredder som gjør det mulig å montere disse med et minimum av skjøter, noe som er en stor fordel for å oppnå god vindtetting (Byggforskserien, 2003). Rulleproduktet er et ikke-hygroskopisk

materiale og vil da ikke kunne ta opp noe av den fuktigheten som finnes i konstruksjonen. Det vil gi et mer korrekt bilde av den faktiske uttørkingen i simuleringene ettersom hygroskopiske materialer, ved å ta opp fuktighet, kan indikere raskere uttørking enn hva som faktisk er tilfellet. Rulleproduktet som er benyttet i denne oppgaven heter "weather resistive barrier" hentet fra materialdatabasen i WUFI, og har en S_d -verdi lik 0,10 m.

OSB-plate

Oriented Strand Board (OSB) er trebaserte bygningsplater av sammenlimte, retningsorienterte spon (Byggforskserien, 1999). Limet i platene er vannbestandig, men platene bør ikke eksponeres for luftfuktighet over 85 % RF i mer enn noen få uker per år. Mugg- og råtesopp vokser generelt lett på overflatene om platene ikke er overflatebehandlet mot soppdannelse (Geving og Thue, 2002). Vanndamppermeabiliteten til OSB-plata øker vesentlig ved høyere fuktinnhold. I beregningene i WUFI er det benyttet en OSB-plata som heter Norbor Sterling OSB 3. Produktet er lagt inn i WUFIs materialdatabase manuelt med spenn i S_d -verdi fra 0,94 – 4,6 m.

Luftespalte

Luftespalten mellom vindsperra og ytterkledningen er, som i rapporten til Geving og Holme (2010), modellert med et ventilasjonskilleledd som gir et luftskifte lik 20 l/h. Luftespalten på 25mm finnes i materialdatabasen "generelt materialer" i WUFI, og ventilasjonskilleleddet er lagt til manuelt.

Ytterkledning

Ytterkledningen består av langsgående trepanel av gran, og er hentet fra materialdatabasen Frauenhofer Institut für Bauphysik i WUFI.

Øvrige inputdata

For innvendig og utvendig overgangsmotstander er verdiene som er oppgitt i WUFI benyttet. Disse er henholdsvis for innvendig og utvendig side lik 0,125 m²K/W og 0,0588 m²K/W.

Fasadens orientering

Hvilken himmelretning som konstruksjonen er vendt mot kan ha innvirkning på uttørkingsevnen til veggen. For standardkonstruksjonen er ytterveggen vendt mot nord.

Startbetingelser

Fuktinnholdet ved starten av simuleringen er, foruten den delen av isolasjonssjiktet som representerer lekkasje, satt til 80 % RF. Det er et normalt fuktinnhold for materialer som har vært beskyttet mot direkte nedbør på byggeplassen (Geving og Thue, 2002). Starttemperaturen i konstruksjonen har liten betydning for resultatene, da temperaturen uansett innstiller seg raskt med omgivelsestemperaturene. I beregningene i denne oppgaven er starttemperaturen lik 20 °C.

Den delen av isolasjonssjiktet som representerer lekkasjen har et fuktinnhold lik 60 kg/m³. Det tilsvarer en 3 mm vannfilm jevnt fordelt i et isolasjonssjikt som er 50 mm tykt

Simuleringsperiode

Forhåndsberegninger viste at byggfukten var tørket ut og fuktlikevekt oppnådd for de aller fleste tilfellene allerede etter 15-20 uker. Det kan være interessant å se hvordan de ulike konstruksjonene oppfører seg de første ukene etter at byggfukten er tørket ut, dermed er det valgt en simuleringsperiode på 26 uker i parameterstudiet i denne oppgaven. Potensialet for innadrettet uttørking er størst i sommermånedene, dermed er starten for simuleringene valgt til første juli.

4.3 PARAMETERVARIASJONER

Det er valgt å undersøke hvilken effekt ti ulike parametere har på ytterveggskonstruksjonen i denne parameterstudien. Under følger en kort presentasjon av de ulike parametere.

Type dampsperre

Alle simuleringene er utført med PE-folie og SDS for de ulike parametervariasjonene. Forskjellen i ytelsen til dampsperreproduktene gir info om effekten av SDS i ytterveggen.

Isolasjonstykkelse

Hvor mye fukt som kan lagres i konstruksjonen er i stor grad avhengig av tykkelsen på veggen, og dermed isolasjonstykkelsen. Standardkonstruksjonen benytter 400 mm mineralull. For å undersøke hvordan uttørkingsegenskapene til konstruksjoner med SDS varierer med tanke på isolasjonstykkelse er det valgt å gjennomføre en parametervariasjon med en yttervegg som kun har 250 mm mineralull, en isolasjonstykkelse som tilfredsstiller kravene i TEK10.

Vindsperre

I kapittel 3 om tidligere forskning viser forsøk at vindsperras damptetthet er av betydning når det er snakk om innadrettet uttørking. Standardkonstruksjonen i denne oppgaven benytter en relativt dampåpen vindsperre, men det er valgt å gjennomføre en parametervariasjon hvor vindsperra blir byttet ut med et mer damptett produkt, nemlig OSB-plate.

Fasadens orientering

Standardkonstruksjonen har i simuleringene en nordlig orientering. Innadrettet uttørking er avhengig av høyere damptrykk i ytre deler av konstruksjonen enn indre deler. Damptrykket er avhengig av hvor mye solstråling som treffer fasaden. Nordlig orientering er dermed ikke fordelaktig for innadrettet uttørking, derfor er det valgt å gjennomføre en parametervariasjon med sørlig orientering av fasaden.

SDS' plassering i veggen

Som nevnt tidligere vil S_d -verdien til SDS variere med RF i omgivelsene. I en ytterveggskonstruksjon vil RF øke utover i konstruksjonen ettersom temperaturen synker. SDS' plassering i isolasjonssjiktet vil derfor ha betydning for hvordan SDS vil oppføre seg. Standardkonstruksjonen har SDS plassert 50 mm inn i isolasjonssjiktet, men det er utført parametervariasjoner hvor avstanden er justert til 0 og 100 mm inn i isolasjonen regnet fra innsiden.

Innvendig fukttilskudd

Det innvendige fukttilskuddet vil også kunne ha betydelig innvirkning på effekten av SDS i bindingsverksveggen. Som nevnt tidligere er det en forutsetning at den innvendige luftfuktigheten ikke er for høy ved bruk av SDS. Det er valgt å benytte middels høyt fukttilskudd for standardkonstruksjonen, samtidig som det er utført parametervariasjoner med både lavt- og høyt fukttilskudd.

Byggfukt

For å vurdere konstruksjonens uttørkingsevne er det valgt å gi standardkonstruksjonen et høyt startfuktnivå plassert som vist i Figur 16. For å undersøke hvorvidt det forekommer fuktakkumulasjon i konstruksjonen under driftsfasen er det valgt å utføre en parametervariasjon med startfuktnivå lik 80 % RF i hele sjiktet, noe som tilsvarer et normalt startfuktnivå.

Innvendig overflatebehandling

Fra tidligere undersøkelser har vi sett at vandampmotstand på innvendig overflate har stor betydning for hvorvidt SDS fungerer optimalt eller ikke. For standardkonstruksjonen er det valgt å benytte en svært dampåpen overflatebehandling hvor total S_d -verdi for gips og maling til sammen er lik 0,15 m. For å undersøke følsomheten av innvendig overflatebehandling er det valgt å gjøre en parametervariasjon med to strøk akrylbasert maling hvor gipsen og malingen har en S_d -verdi lik 0,5 m til sammen.

Uteklima

For å undersøke hvordan SDS fungerer under norske forhold, er det valgt å gjøre parametervariasjoner for en rekke steder i Norge. Standardkonstruksjonen tar utgangspunkt i klimaet i Oslo, men beregninger er også utført for, Bergen, Trondheim, Røros og Tromsø. Alle lokalisasjonene har klimadata lagret i databasen i WUFI og representerer i stor grad det spekteret vi har av klimaforhold i Norge. For å sammenligne norske forhold med andre steder i Europa er det også valgt å gjøre beregninger for Gøteborg i Sverige og Holzkirchen i Tyskland. Ettersom fukttilskuddet er avhengig av utetemperatur, vil klimavariasjonene også påvirke det interne fukttilskuddet.

OSB som dampsperre

Om en ut fra en økologisk tankegang ønsker å unngå plastmaterialer i konstruksjonen eller ønsker å tilføre konstruksjonen stivhet, kan det være ønskelig å benytte OSB-plater som dampsperre. Dette kan være aktuelt for eksempel for prefabrikkerte ytterveggselementer. Dampmotstanden til for eksempel OSB-plater varierer med omgivelsenes relative fuktighet, og kan minne om oppførselen til en SDS. Avslutningsvis er det derfor valgt å gjennomføre en simulering av standardkonstruksjonen hvor dampspærren er byttet ut med OSB-plate.

4.4 OPPSUMMERING

I Tabell 5 er alle parametervariasjonene oppsummert i en matrise slik de er simulert i WUFI 1D. Resultatene i kapittel 5 presenteres etter samme inndeling som parametermatrisen.

Tabell 5: Oppsummering av parametervariasjonene i denne oppgaven.

Parametere	Variabler	Beregningstilfeller for bindingsverksvegg																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Dampsperre	Novaflexx	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	AirGuard Smart	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	PE-folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Isolasjons-tykkelse	400 mm	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	250 mm		x															
Vindsperre	Rulleprodukt $S_d=0,1m$	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	OSB-plate $S_d=2-13m$			x														
Fasadens orientering	Nord	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sør				x													
Plassering av SDS (fra innsiden)	0 mm					x												
	50 mm	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	100 mm							x										
Innvendig fuktilskudd	2,5 – 0,5 g/m ³							x										
	4,0 – 1,5 g/m ³	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
	6,0 – 3,0 g/m ³									x								
Byggfukt	60 kg/m ³	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	80 % RF i hele sjiktet										x							
Innvendig overflatebehandling	$S_{dTOR} = 0,15 m$	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
	$S_{dTOR} = 0,5 m$											x						
Uteklima	Oslo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							x
	Bergen												x					
	Trondheim													x				
	Røros														x			
	Tromsø															x		
	Gøteborg																x	
	Holzkirchen																	x
OSB-plate som SDS																		x

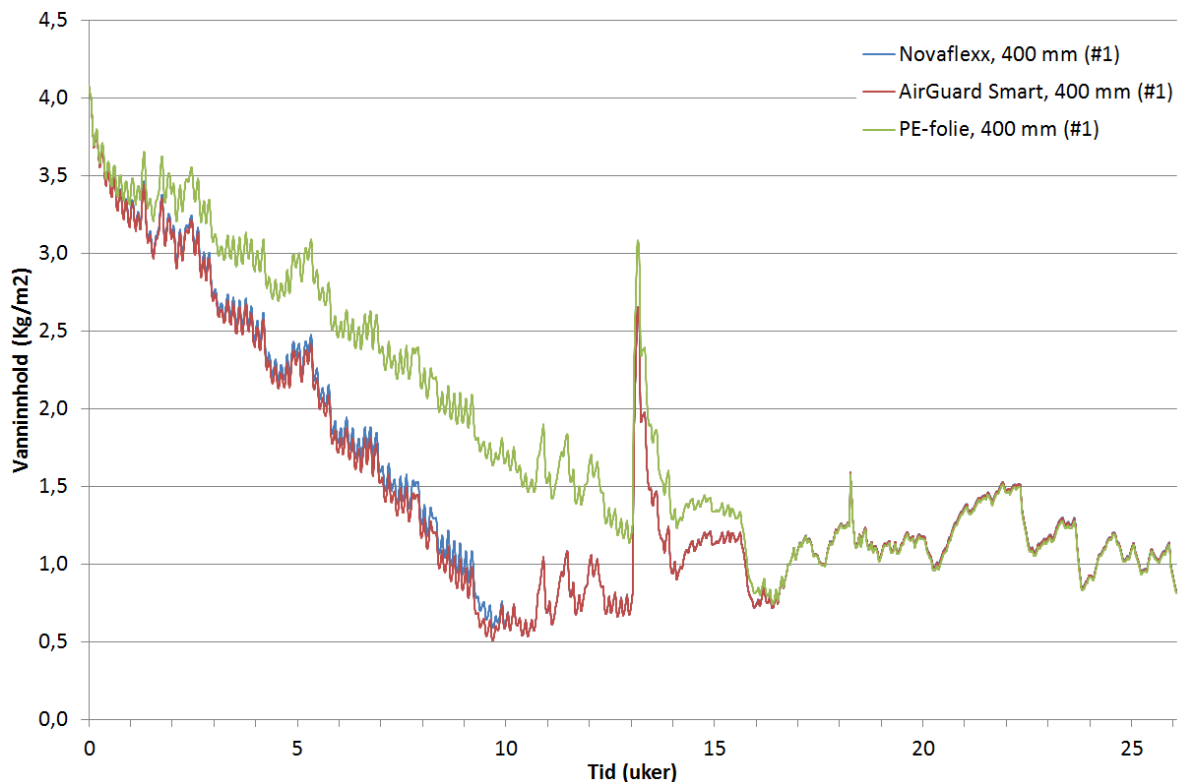
5 RESULTATER OG VURDERINGER

Det er gjennomført beregninger for alle parametervariasjonene beskrevet i Tabell 5. Noen av beregningsresultatene er vist i Figur 18 - Figur 38. Nummeret i forklaringsteksten (#) i figurene henviser til beregningstilfellene i tabell 5. For beregningsresultater som ikke blir presentert i det følgende kapittelet henvises det til vedlegg 2 og 3 hvor resultatene fra alle parametervariasjonene kan sees i sin helhet. Samtlige simuleringer viste svært liten forskjell i ytelsen til Novaflexx og AirGuard Smart. Der det var forskjeller viste AirGuard Smart noe bedre ytelse enn Novaflexx. Det er derfor valgt å presentere resultatene fra AirGuard Smart og PE-folie i et forsøk på å øke lesbarheten til grafene.

Hensikten med beregningene er å undersøke effekten av SDS i bindingsverksvegger i tre, samt undersøke hvilke parametere som påvirker denne effekten. For å vurdere dette er det valgt å fokusere på hvordan totalt vanninnhold i konstruksjonen varierer over simuleringsperioden på 26 uker. Det gir nyttig informasjon om hvor raskt konstruksjonen tørker ut og en tydelig fremstilling over hvilke parametere som påvirker uttørkingshastigheten. Vekstvilkårene for råte- og muggsopp er av interesse når en vurderer en ytterveggs hygrottermiske egenskaper. Kombinasjonen av relativ fuktighet og temperatur for hver parametervariasjon er derfor undersøkt nærmere. For en tradisjonell ytterveggskonstruksjon vil hoveduttørkingen normalt være utadrettet gjennom vindsperra. For å oppnå noen effekt med SDS antas det at minimum 25 % av uttørkingen må være innadrettet (Geving og Holme, 2010). Det er derfor valgt å se på forholdet mellom fuktransporten gjennom henholdsvis vindsperra og innvendig gipsplate. De grafene som ikke er presentert i oppgaven kan sees i vedleggene.

5.1 STANDARDKONSTRUKSJONEN

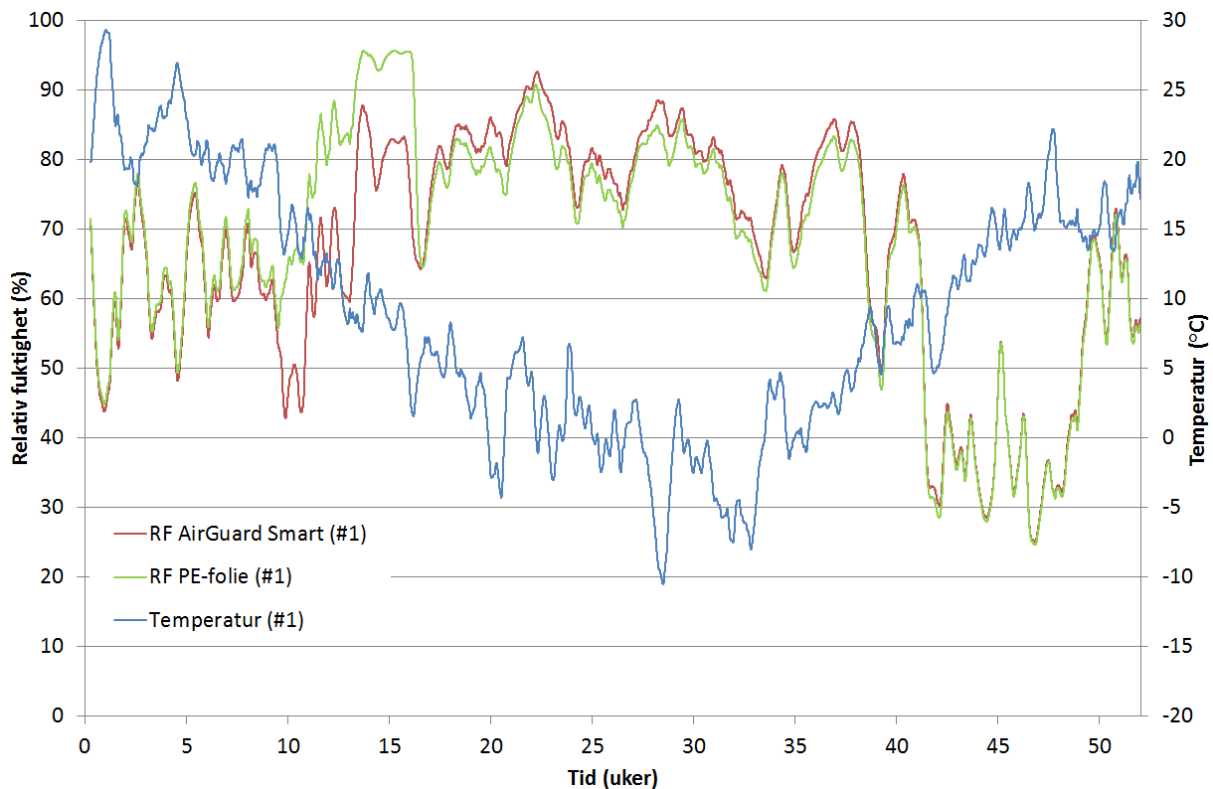
Standardkonstruksjonen representerer en typisk yttervegg for et passivhus. Hvordan det totale vanninnholdet i konstruksjonen utvikler seg gjennom simuleringsperioden kan sees i Figur 18.



Figur 18: Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonen (#1).

Veggene med SDS viser en mye raskere uttørking sammenlignet med veggene med tradisjonell PE-folie. Beregningene i WUFI viser at konstruksjonen med SDS har tørket ut all byggfukten i løpet av 9 uker, mens konstruksjonen med PE-folie ikke har tørket ut før etter 16 uker. Etter 16 uker viser alle konstruksjonene et like stort totalt vanninnhold, mellom 1-1,5 kg/m².

Figur 19 viser hvordan relativ fuktighet og temperatur på baksiden av vindsperra varierer for standardkonstruksjonen over et helt år. Ettersom resultatene fra simuleringene i WUFI er basert på timesverdier viste grafene over temperatur og RF store variasjoner over døgnet. For å øke lesbarheten og ikke minst kunne vise flere grafer i samme diagram er det valgt å benytte gjennomsnittsverdier for hver 48. time for å glatte ut grafene. De første 16 ukene har konstruksjonen med PE-folie høyere RF sammenlignet med AirGuard Smart. I en periode på 3 uker, omkring uke 15, har konstruksjonen omkring 95 % RF med temperatur ca. rundt 10 °C. Dette er omtrent 10 % høyere RF enn konstruksjonen med AirGuard Smart. I løpet av vintermånedene har derimot konstruksjonen med AirGuard Smart noe høyere RF enn konstruksjonen med PE-folie, selv om forskjellen er svært liten.



Figur 19: Relativ fuktighet og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med AirGuard Smart og PE-folie (#1).

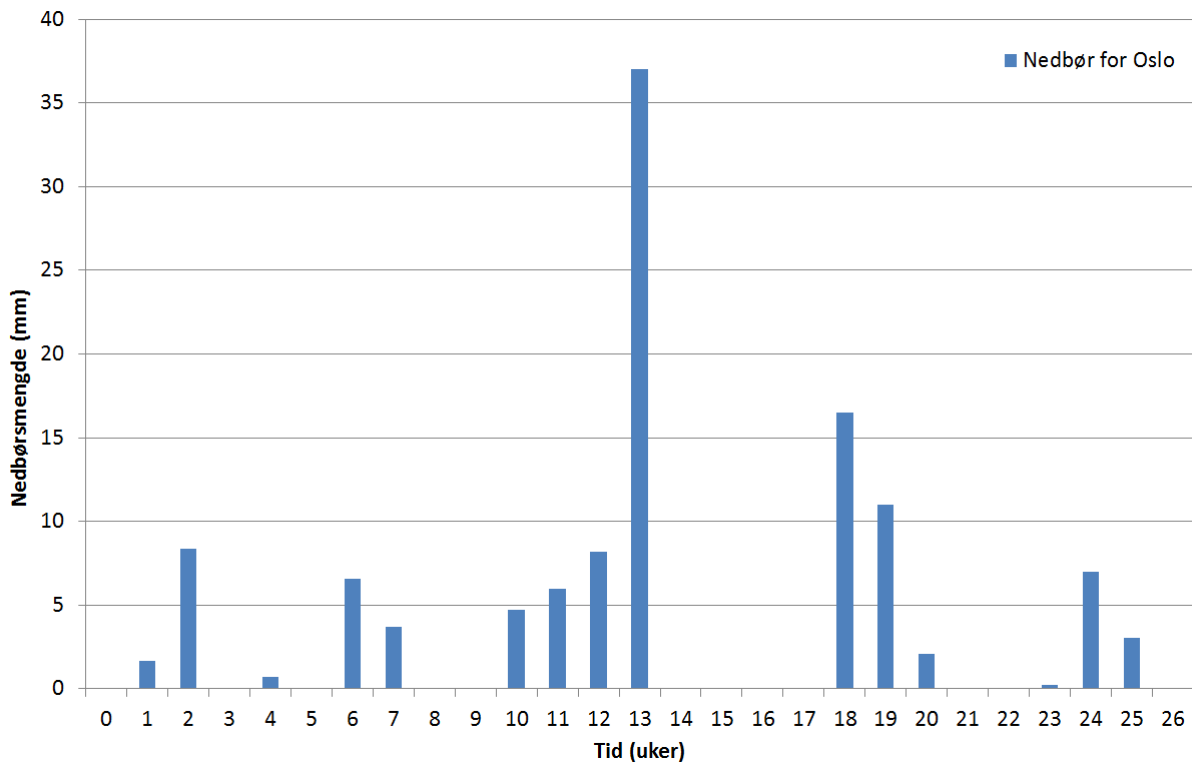
Vurdering

Standardkonstruksjonen viser forholdsvis gode hygrotermiske egenskaper uavhengig om det blir benyttet SDS eller PE-folie. Begge konstruksjonene viser god uttørking, dog vil konstruksjonen med SDS tørke ut byggfukten 7 uker tidligere. Det er et resultat av at konstruksjonen blir mer dampåpen når fuktigheten i konstruksjonen er høy, og på den måten bidrar til raskere uttørking ved at noe av byggfukten får mulighet til å tørke ut til innsiden. Andelen innadrettet uttørking var hele 31 % for konstruksjonen med AirGuard Smart, sammenlignet med 22 % for Novaflexx og 0 % for konstruksjonen med PE-folie.

Konstruksjonen med SDS vil ha minimalt høyere vanninnhold i konstruksjonen etter at lekkasjen har tørket ut, og som vi ser av Figur 19 noe høyere RF gjennom vintermånedene. Dette skyldes at AirGuard Smart ikke er like tett som PE-folien, og vil på vinterstid slippe mer fuktig luft ut i konstruksjonen og føre til høyere RF. Ettersom det i de periodene hvor RF er over 80 % er samtidig temperaturen forholdsvis lav, mellom -10 °C og 5 °C, er det ikke ideelle vekstvilkår for mugg og råte. Unntaket er rundt uke 13 - 15 når RF bak vindsperra i konstruksjonen med PE-folie overstiger 95 %. Da er det stor risiko for at vekst av råte- og muggsopp skal starte, og selv om den ikke vil vokse videre med forhold 80 % RF og lave temperaturer vil den heller ikke dø ut og kan komme raskere tilbake ved en senere anledning.

Mellom uke 10 og 15 får konstruksjonen en kraftig økning i relativ fuktighet ved vindsperra, både for ytterveggen med PE-folie og SDS. I Figur 18 kan det også observeres en høy økning i vanninnholdet i uke 13. Om en undersøker klimadataene fra Oslo som simuleringene i WUFI er basert på kan en fra Figur 20 se at i den samme perioden kommer mye nedbør. I uke

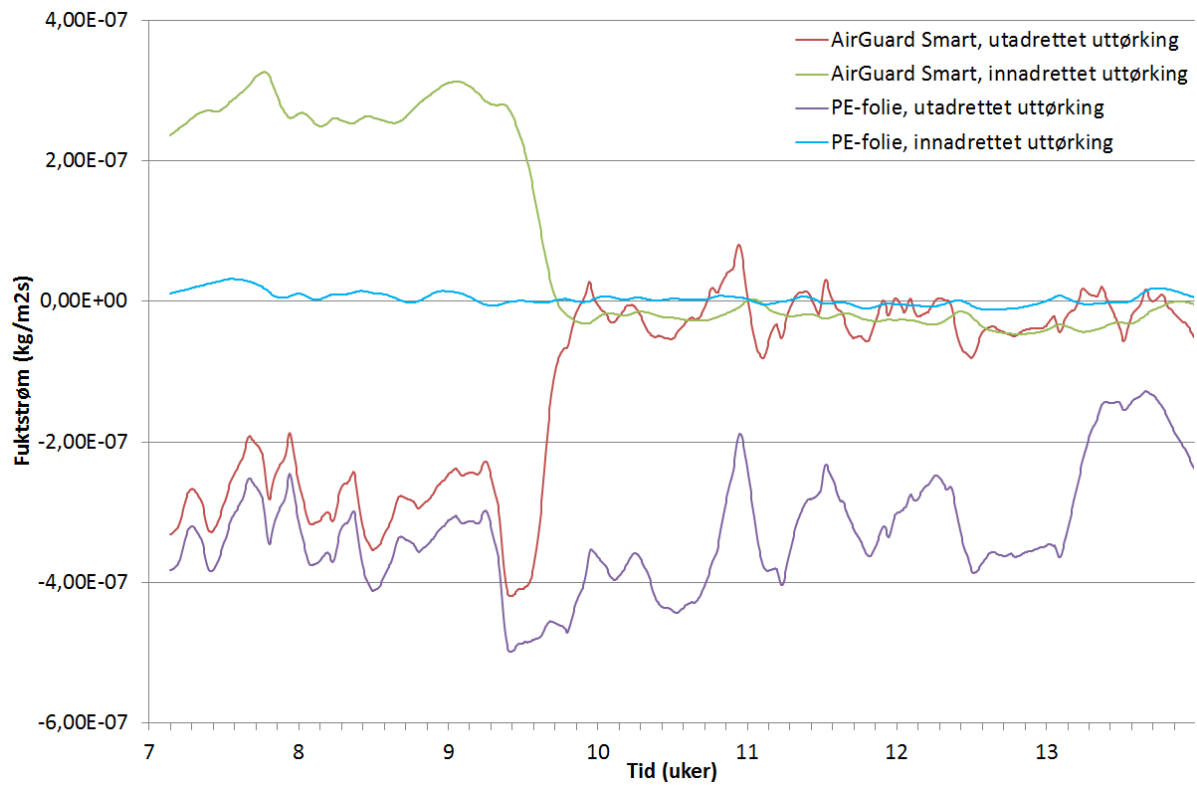
13 alene kommer det hele 37 mm nedbør. En del av denne nedbøren vil treffe veggen i form av slagregn og bli absorbert av ytterkledningen. Sammenlignet med de andre materialene kan ytterkledningen holde på mye fuktighet, så en økning i vanninnhold vil gi store utslag på totalt vanninnhold i Figur 18.



Figur 20: Nedbørsmengde for Oslo hentet fra klimafilen i WUFI 1D.

Grunnen til at ytterveggen med PE-folie har høyere RF og vanninnhold enn veggen med AirGuard Smart skyldes veggens manglende evne til å kunne tørke ut mot innsiden. Fuktstrømmen vist i Figur 21 viser at den totale andelen uttørking er omtrent dobbelt så høy for ytterveggene med AirGuard Smart sammenlignet med veggen med PE-folie i perioden før nedbøren starter i uke 10. Veggene har tilnærmet lik andel utadrettet uttørking i uke 7 og 8, men veggen med AirGuard Smart har tillegg omtrent like stor andel innadrettet uttørking. Dermed har veggen med AirGuard Smart et lavere vanninnhold og relativ fuktighet før nedbøren starter.

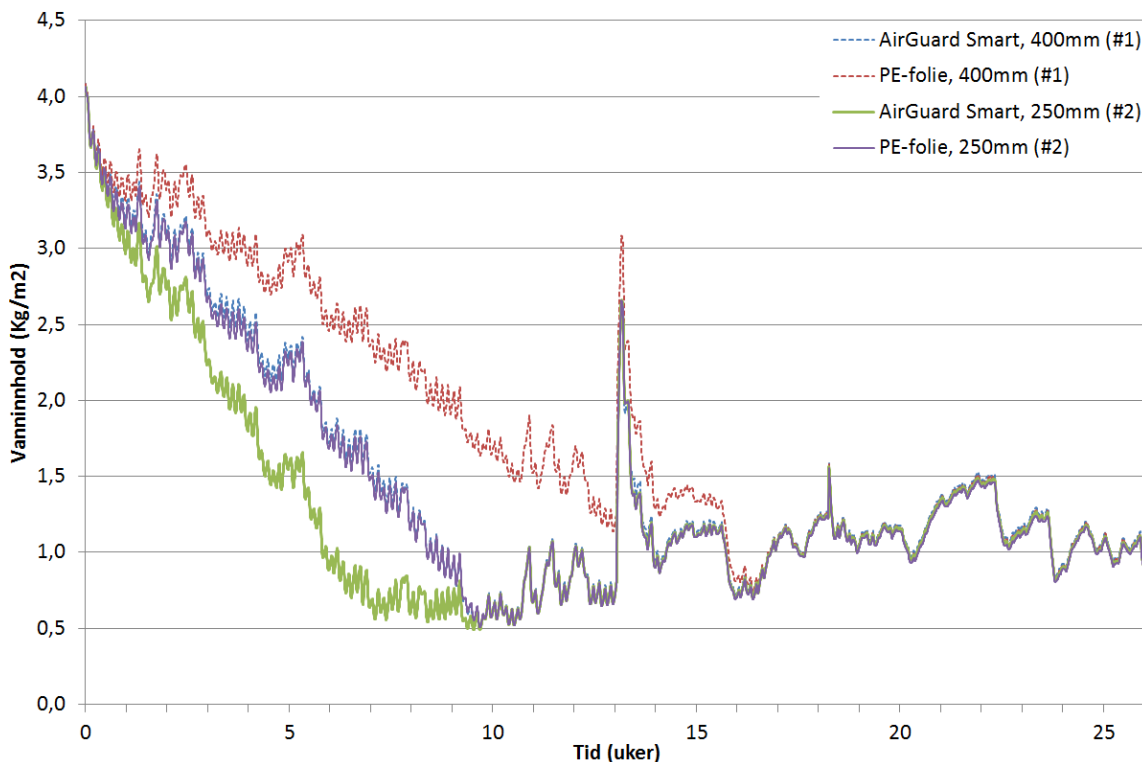
Det er tydelig at nedbøren som faller i uke 10-13 blir absorbert av ytterkledningen, da Figur 21 ikke viser en økning i fuktstrøm denne perioden. Resultatene viser også at konstruksjonen med AirGuard Smart vil trekke noe fuktighet inn i konstruksjonen etter uttørkingsperioden. Det forklarer det noe høyere fuktinnholdet i driftsperioden.



Figur 21: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom utvendig og innvendig side i perioden mellom 7 og 13 uker.

5.2 ISOLASJONSTYKKELSE 250 MM

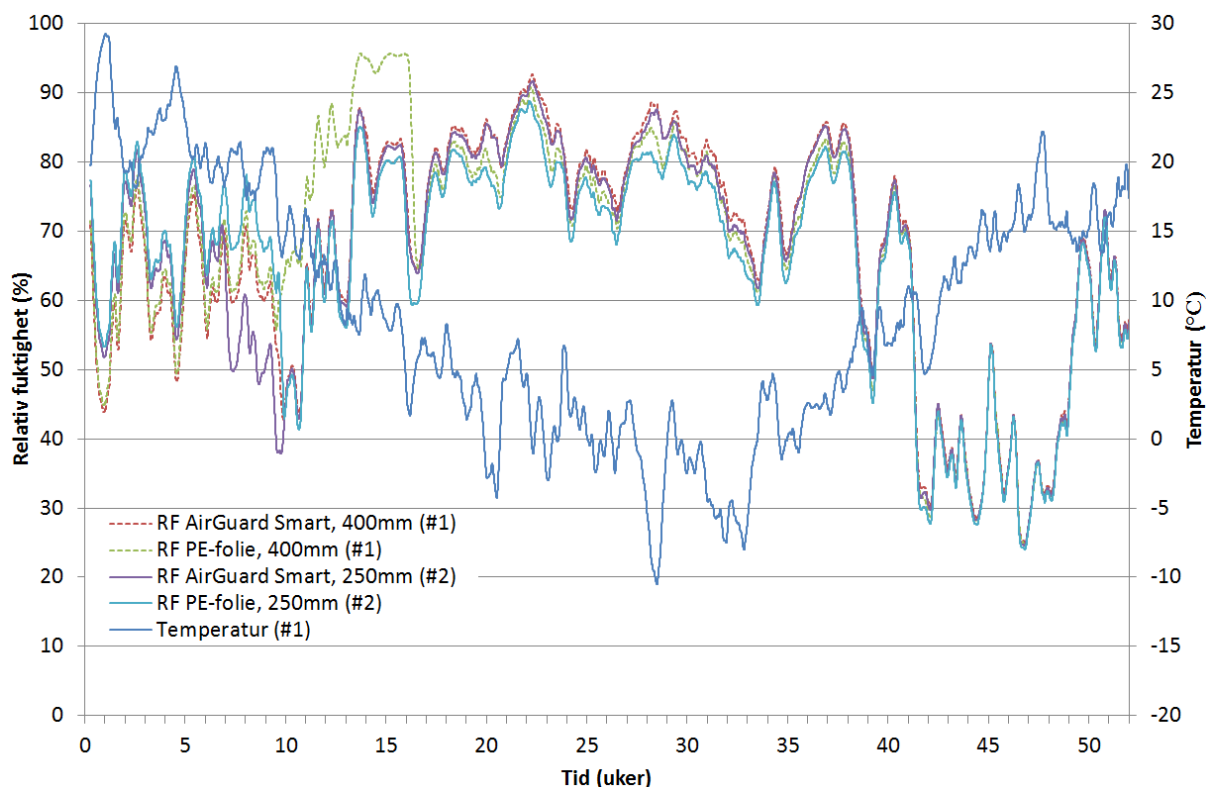
Figur 22 viser hvordan vanninnholdet varierer i simuleringsperioden for konstruksjonene med 250 mm og 400 mm isolasjon. Det kommer tydelig frem at vanninnholdet varierer med de samme tendensene i de ulike konstruksjonene selv om selve ytelsen er svært forskjellig. Konstruksjonen med 250 mm og AirGuard Smart har tørket ut all byggfukten allerede etter 7 uker sammenlignet med standardkonstruksjonen med PE-folie som ikke har tørket ut før etter 16 uker.



Figur 22: Sammenligning av totalt vanninnhold i yttervegg med 250 mm isolasjon (#2) og standardkonstruksjonen (#1).

Som det kommer frem av grafen kan en passivhus ytterveggskonstruksjon få tilnærmet like gode uttørkingsmuligheter som en yttervegg med 250 mm tykt isolasjonssjikt og tradisjonell PE-folie. Begge konstruksjonene har tørket ut byggfukten i løpet av en periode på 9 uker, og har nøyaktig det samme uttørkingsforløpet.

I Figur 23 vises relativ fuktighet og temperatur registrert bak vindsperra i konstruksjonene. Resultatene viser at konstruksjonen med 250 mm isolasjon og AirGuard Smart har langt lavere RF frem til omtrent uke 10, for deretter å følge de andre konstruksjonene. Det blir ikke registrert like høy RF i konstruksjonen med 250 mm isolasjon og PE-folie som for veggen med 400 mm.



Figur 23: Relativ fuktighet og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med 400 mm isolasjon (#1) og hvor isolasjonstykkelsen er redusert til 250 mm (#2).

Vurdering

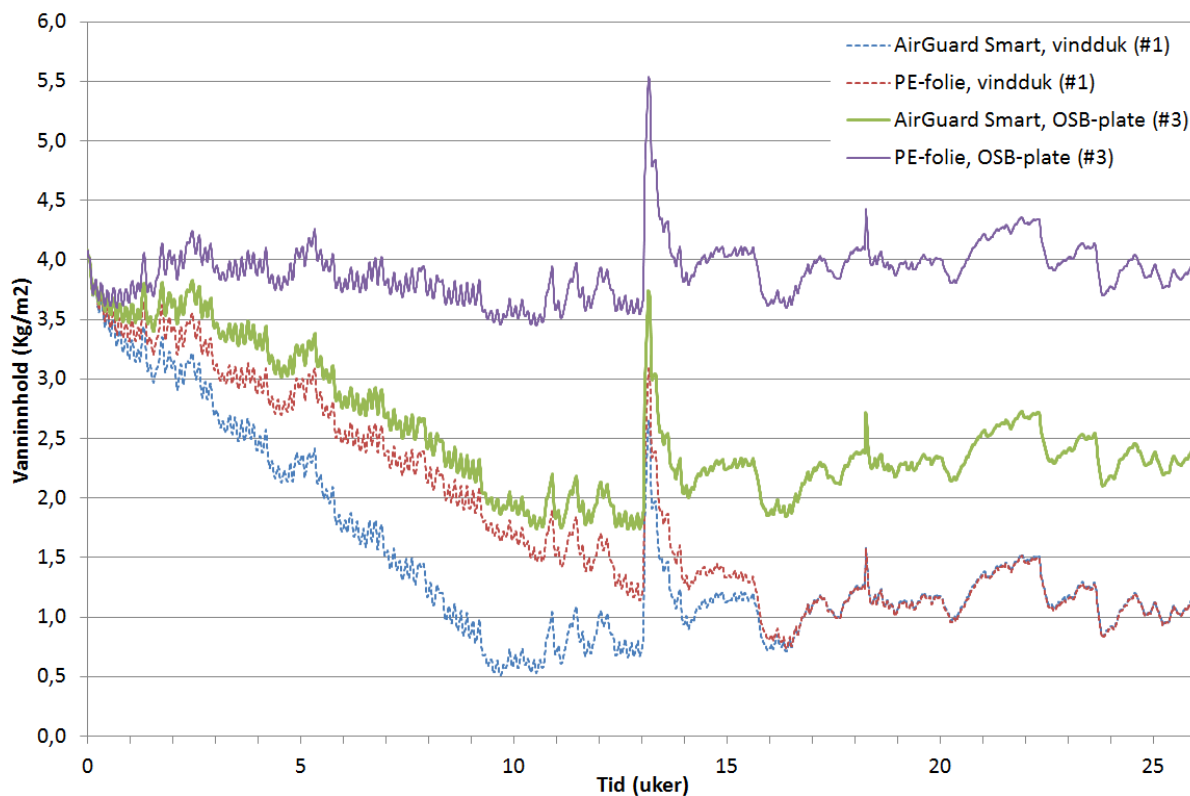
Når isolasjonstykkelsen reduseres fra 400 mm til 250 mm reduseres også potensialet for hvor mye fukt som kan lagres i konstruksjonen, samtidig som fukten har kortere transportetappe ut gjennom vindsperra. Dette er forhold som er fordelaktig for tynne konstruksjoner. Slik lekkasjefukten er modellert i de endimensjonale simuleringene vil likevel byggfukten være den samme for de to konstruksjonene uavhengig av isolasjonstykkelsen.

Som nevnt i teorikapittelet vil temperaturen i ytre del av konstruksjonen bli lavere når isolasjonstykkelsen øker. Det forklarer at konstruksjonene med 250 mm isolasjon har lavere RF i vinterukene sammenlignet med de tilsvarende konstruksjonene med 400 mm. Årsaken til at konstruksjonen med 250 mm isolasjon og AirGuard Smart har et langt lavere RF nivå rundt uke 10 skyldes fuktens korte transportetappe ut av konstruksjonen. Fukten kan tørke ut mot både innsiden og utsiden, dessuten er konstruksjonen langt smalere enn standardkonstruksjonen.

Ved todimensjonale simuleringer kan en undersøke hvilken betydning den økte andelen fuktig stenderverk har å si for ytterveggenes hygrotermiske egenskaper. Samtidig som isolasjonstykkelsen reduseres, minker andelen innadrettet uttørking. For ytterveggen med 250 mm isolasjonssjikt og AirGuard Smart er andelen innadrettet uttørking kun 27 %, sammenlignet med 31 % for standardkonstruksjonen med tilsvarende SDS.

5.3 OSB SOM VINDSPERRE

Når vindsperra i standardkonstruksjonen blir byttet ut med en mer damptett OSB-plate som vindsperra får konstruksjonen langt dårligere fukttekniske egenskaper som vist tydelig i Figur 24.

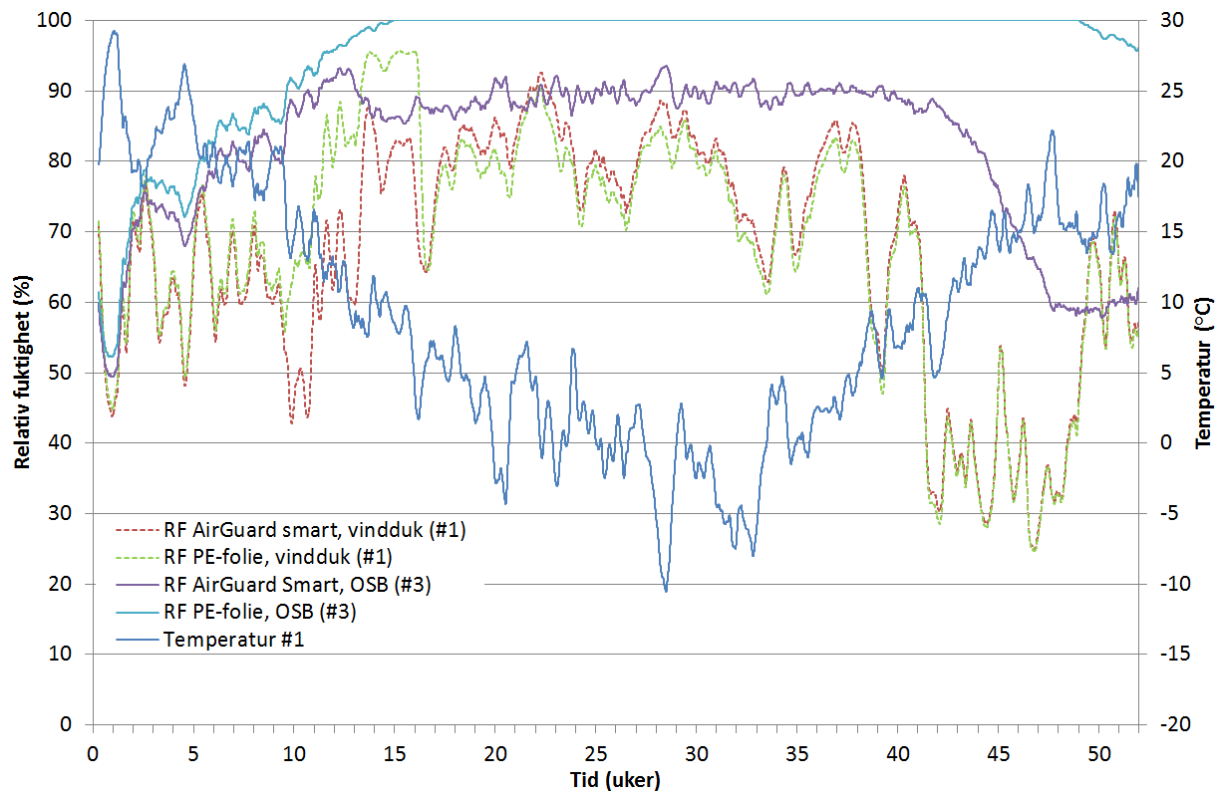


Figur 24: Totalt vanninnhold i ytterveggen for både standardkonstruksjonen og hvor vindsperra er byttet ut med OSB-plate (#3).

Ytterveggskonstruksjonen med OSB-plate som vindsperra og tradisjonell PE-folie som dampsperra vil akkumulere fukt i vinterukene. I løpet av simuleringsperioden er det totale fuktinnholdet i konstruksjonen uforandret, omlag 4 kg/m^2 . Om PE-folien byttes ut med SDS får konstruksjonen langt bedre fukttekniske egenskaper, og tørker ut til omtrent 2 kg/m^2 . I løpet av vinterukene øker vanninnholdet til omtrent $2,5 \text{ kg/m}^2$, ca. 1 kg/m^2 mer enn for standardkonstruksjonen.

Vurdering

Den negative hygrottermiske effekten av å bytte ut vindsperra med et mer damptett produkt er tydelig, men det er også gevinsten av å bruke SDS når man først har en mer damptett vindsperra. Ved å bytte ut PE-folien med AirGuard Smart synker vanninnholdet i konstruksjonen i vinterukene med hele $1,5 \text{ kg/m}^2$. Dette har mye å si for fuktforholdene bak vindsperra, noe som kommer tydelig frem av Figur 25. Konstruksjonen med OSB får langt høyere RF ved vindsperra sammenlignet med standardkonstruksjonen. Spesielt mellom uke fem og ti er det gode vekstvilkår og høy risiko for mugg- og råtevekst der RF er over 80 % og temperaturen omkring $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Konstruksjonen med både OSB-plate og PE-folie oppnår 100 % RF bak vindsperra i hele 34 uker.



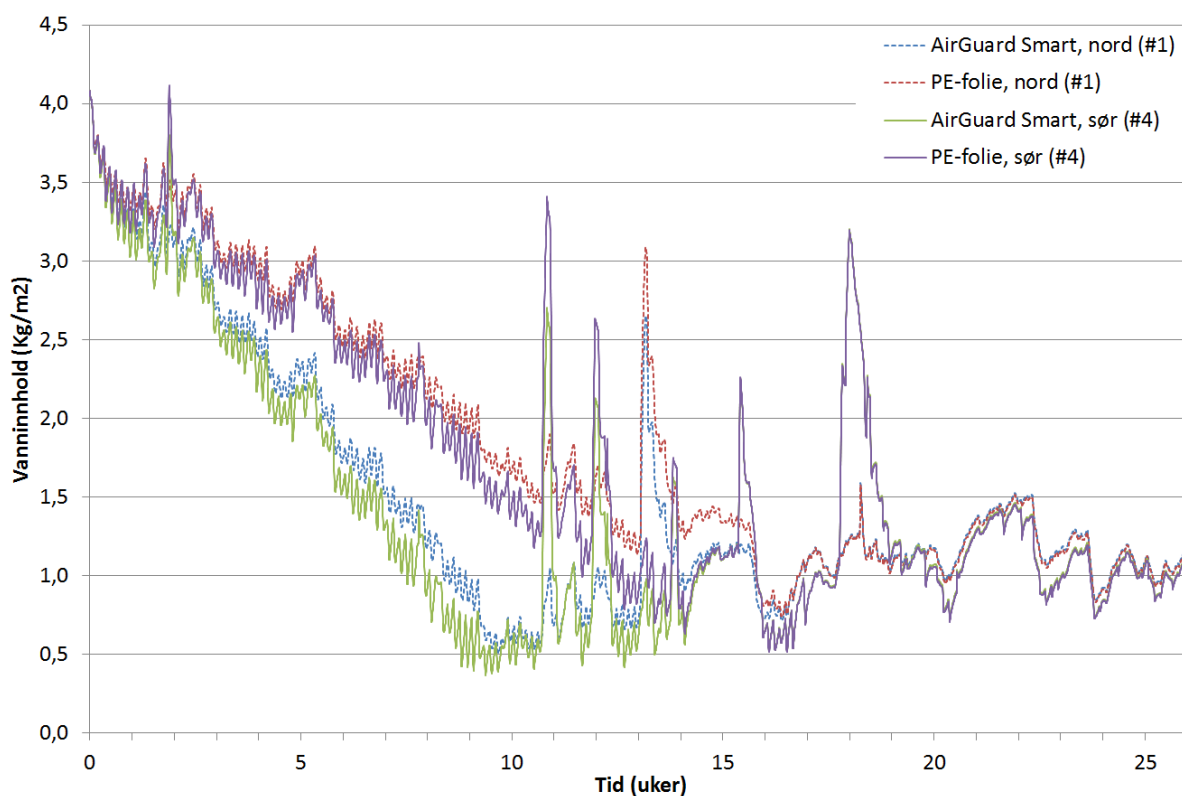
Figur 25: Relativ fuktighet og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med vindduk (#1) og konstruksjonen hvor vindduken er byttet ut med OSB-plate (#3).

Som beskrevet i teorikapittelet har vindsperras damp tetthet stor betydning for ytterveggenes hydrotermiske egenskaper. Figur 25 viser tydelig hvor effektivt det er å bytte ut OSB-plate som vindsperre med et mer dampåpent produkt.

Flere av artiklene som er presentert i kapittelet om tidligere forskning beskriver konstruksjoner som benytter OSB-plate som vindsperre. Selv om det er en konstruksjon som ikke anbefales i nordisk klima, kan det virke som det er mer normalt lenger sør i Europa. Det kan være aktuelt å gjøre forsøk med OSB-konstruksjonen i et annet klima og sammenligne resultatene fra Oslo med for eksempel Gøteborg og Holzkirchen.

5.4 SØRLIG ORIENTERING

Den ytterveggen som er sørvendt tørker raskere ut enn den nordvendte veggen. Fra Figur 26 kan det observeres at byggfukten er tørket ut etter åtte uker for konstruksjonen med AirGuard Smart sammenlignet med 14 uker for veggen med tradisjonell PE-folie. I løpet av høsten får den sørvendte veggen ved flere anledninger en økning i fuktinnholdet. Disse økningene i vanninnholdet i ytterveggen er større for den sørvendte veggen sammenlignet med den nordvendte.

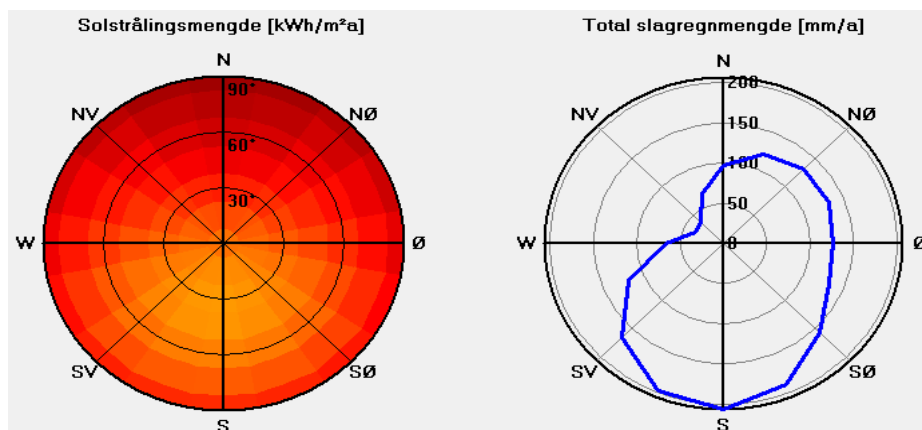


Figur 26: Totalt vanninnhold i ytterveggen for både standardkonstruksjonen og konstruksjonen med sørlig orientering (#4).

For veggen vendt mot sør med AirGuard Smart er uttørkingstiden en uke raskere sammenlignet med om den hadde vært vendt mot nord.

Vurdering

Alle de markante økningene i vanninnholdet i simuleringssperioden som kan sees i Figur 26 kan forklares ut fra slagregnmengden. I simuleringene i WUFI vil en andel av slagregnet som treffer veggen absorberes av ytterkledningen. Figur 27 viser at slagregnmengden som treffer den sørvendte veggen er dobbelt så stor som for den nordlige veggen, noe som medfører at mye mer fukt trenger inn i konstruksjonen og bidrar til oppfukning.

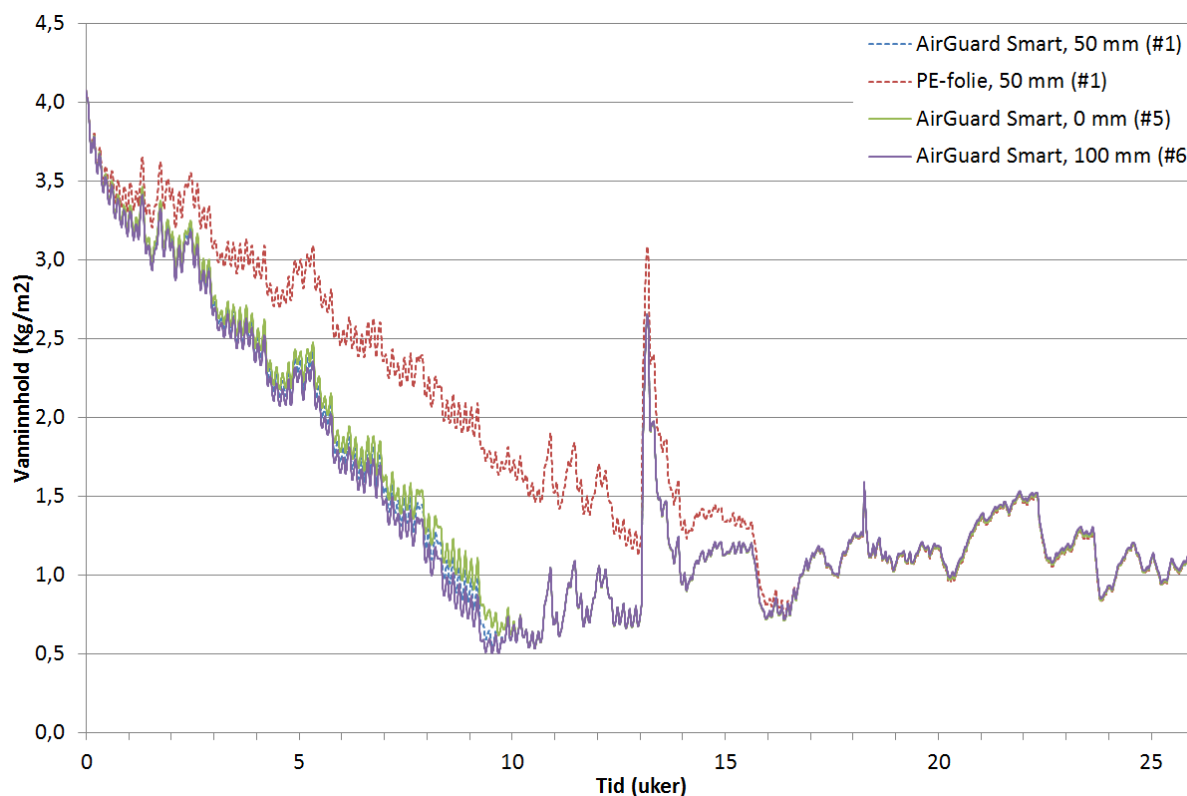


Figur 27: Solstrålingsmengde og total slagregnmengde for de ulike himmelretningene for Oslo fra klimadatabasen i WUFI (WUFI, 2013).

Til tross for større andel slagregn som treffer ytterveggen viser den sørvendte veggen bedre hydrotermiske egenskaper sammenlignet med den nordvendte veggen. Dette kan blant annet forklares ut fra solstrålingsmengden som treffer veggen. I venstre del av Figur 27 kan en i WUFI lese av at den totale stålingsmengden som treffer veggen med nordlig orientering er $375 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, sammenlignet med $697 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ for veggen som er vendt mot sør. Dette bidrar til økt potensial for innadrettet uttørking som følge av høyere temperatur og høyere vanndamptrykk som vil gi raskere uttørking for ytterveggen som benytter SDS (Geving og Thue, 2002). Det forklarer også mest sannsynlig at andelen innadrettet uttørking er hele 43 % for den sørvendte veggen med AirGuard Smart sammenlignet med 31 % for standardkonstruksjonen med nordlig orientering og samme SDS.

5.5 Plassering av SDS i konstruksjonen

I Figur 28 vises vanninnholdet for standardkonstruksjonen samt for variantene hvor SDS er flyttet direkte bak innvendig gipsplate og hvor den er trukket 100 mm inn i konstruksjonen. Alle variantene med PE-folie viste tilnærmet likt vanninnhold gjennom simuleringsperioden, så for å øke lesbarheten er kun grafen med PE-folie for standardkonstruksjonen presentert i tillegg til grafene med AirGuard Smart.



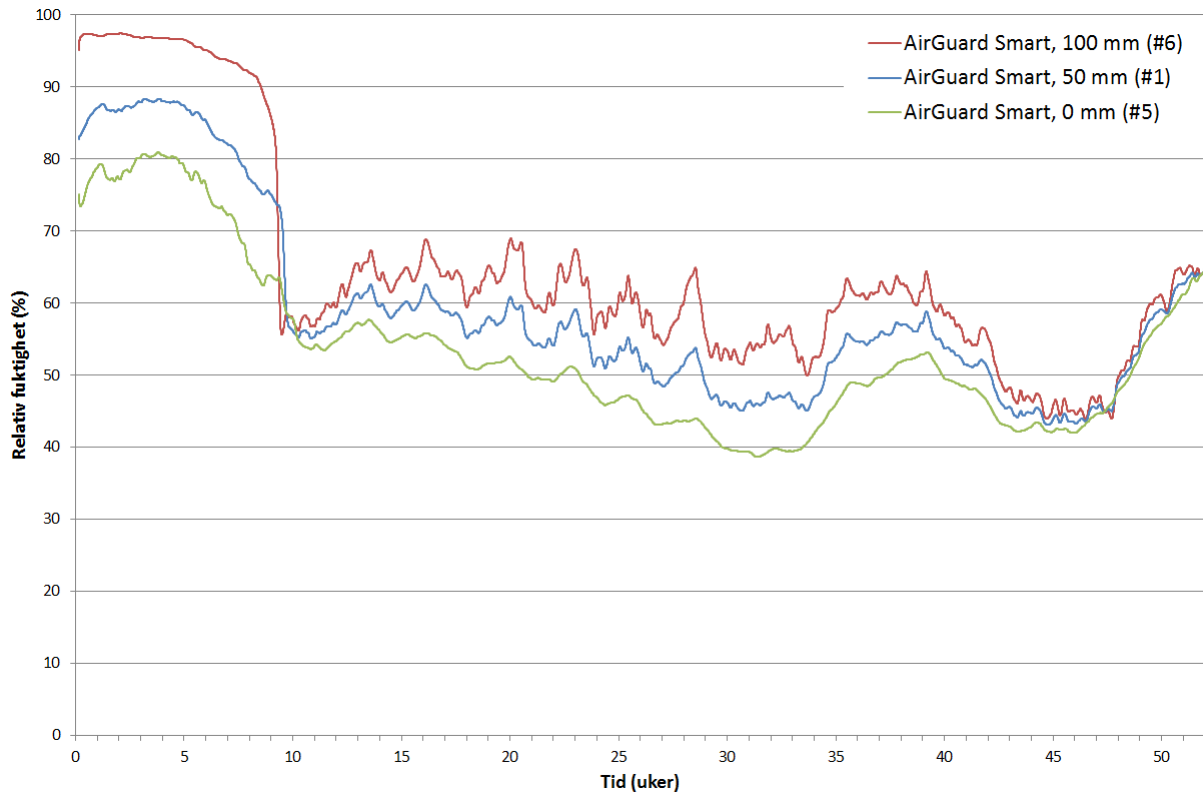
Figur 28: Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonen sammenlignet med tilfeller hvor SDS er plassert direkte bak gipsen og trukket 100 mm inn i isolasjonssjiktet.

Ved å flytte SDS 50 mm inn i konstruksjonen slik at den blir plassert direkte bak den innvendige gipsplaten øker uttørkingstiden med en uke sammenlignet med standardkonstruksjonen. Om den derimot flytter den 50 mm utover i konstruksjonen er uttørkingshastigheten den samme som for standardkonstruksjonen, altså 9 uker. Etter at byggfukten er tørket ut viser alle variantene tilsvarende verdier for resten av simuleringsperioden.

Vurdering

Til tross for at alle variantene med SDS viste tilnærmet likt vanninnhold i hele simuleringsperioden, tørket konstruksjonen hvor SDS var plassert 100 mm fra innvendig gipsplate ut en uke raskere sammenlignet med der SDS var plassert direkte bak gipsplata. Andelen innadrettet uttørking er også høyere, da hele 40 % av all fukten som har forlatt konstruksjonen har gått gjennom innvendig gipsplate. Grunnen til dette er mest sannsynlig at SDS har ligget i et mer fuktig miljø, og dermed vært med dampåpen. Figur 29 bekrefter dette, der det kommer tydelig frem at konstruksjonen som har SDS plassert 100 mm fra innvendig

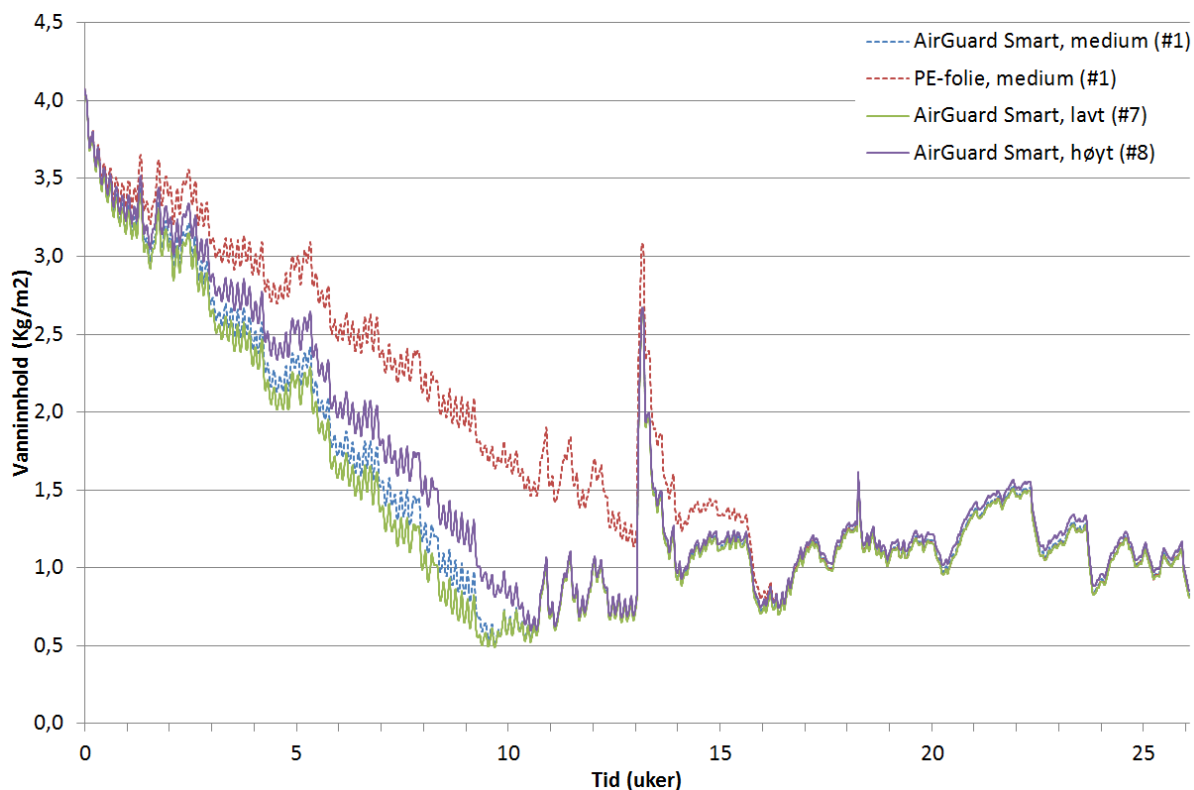
gipsplate har høyere RF på varm side stort sett hele simuleringsperioden. Spesielt de 10 første ukene hvor uttørkingen skjer er det det avgjørende for uttørkingstiden hvilken RF omgivelsene har og hvor dampåpen SDS blir. Resultatene viser at konstruksjonen med SDS 100 mm fra innvendig side har henholdsvis 10 % og 17 % høyere RF sammenlignet med når SDS er plassert 50 mm og 0 mm fra innvendig side. Dette tilsvarer en forskjell i S_d -verdi på 0,05 m og 0,15 m for AirGuard Smart.



Figur 29: Relativ fuktighet på varm side av AirGuard Smart for 0 mm, 50 mm og 100 mm fra innvendig side.

5.6 INNVENDIG FUKTTILSKUDD

Veggen med PE-folie viser ingen forandring i fukttinnholdet avhengig av om det innvendige fukttilskuddet er lavt, middels eller høyt. Veggen med SDS derimot viser dårligere hygrotermiske egenskaper ved økende innvendig fukttilskudd, som vist i Figur 30.



Figur 30: Totalt vanninnhold i konstruksjonen over simuleringsperioden for lavt, middels og høyt fukttilskudd.

Resultatene for medium innvendig fukttilskudd viser et vanninnhold som ligger $0,2 \text{ kg/m}^2$ høyere enn for situasjonen med lavt innvendig fukttilskudd gjennom uttørkingsperioden de første 9 ukene. Det skiller ikke mer enn noen få dager på uttørkingstiden for de to, og i driftsfasen viser de tilnærmet identisk vanninnhold resten av simuleringsperioden. Konstruksjonen som er utsatt for høyt innvendig fukttilskudd viser derimot dårligere hygrotermiske egenskaper sammenlignet med de to andre. Uttørkingstiden er hele 11 uker, 2 uker lengre enn hva resultatene for ytterveggen utsatt for lavt innvendig fukttilskudd viser. Gjennom hele uttørkingsperioden har konstruksjonen et vanninnhold som er omtrent $0,5 \text{ kg/m}^2$ høyere, og det ligger så vidt høyere i driftsfasen i resten av simuleringsperioden.

Vurdering

Resultatene viser tydelig at økt innvendig fukttilskudd gir lengere uttørkingstid, samt et noe høyere vanninnhold i konstruksjonen under driftsfasen. Høyt innvendig fukttilskudd og høy RF gir økt damptrykk på indre del av konstruksjonen. I kombinasjon med at SDS blir mer dampåpen ved høyere RF vil det tillate mer fukt å vandre inn i konstruksjonen. Andelen innadrettet uttørking viser også dette. For lavt innvendig fukttilskudd er andelen innadrettet uttørking hele 47 % med AirGuard Smart, sammenlignet med kun 3 % for situasjonen med

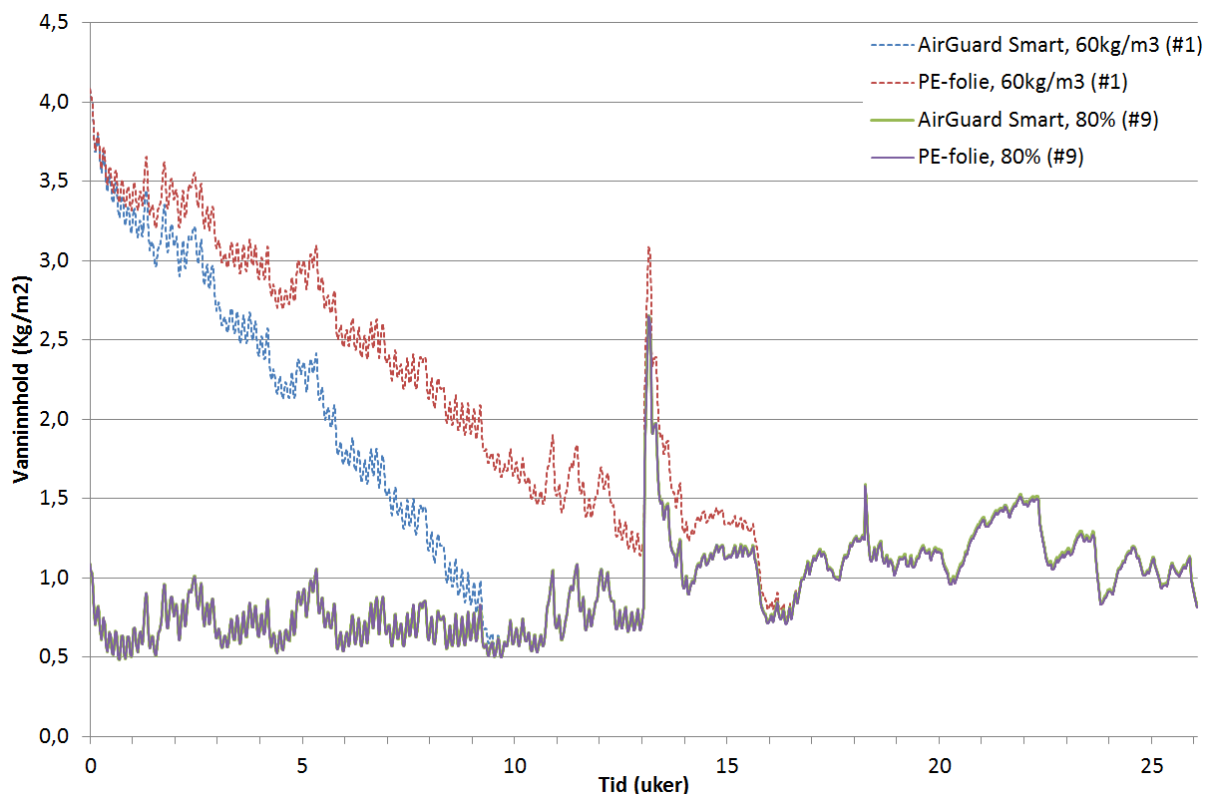
høyt innvendig fukttilskudd. Det skyldes at andelen fukt som trenger inn i ytterveggen er mye større før høyt fukttilskudd enn for lavt.

Uavhengig av innvendig fukttilskudd viser ingen av konstruksjonene spesielt stor fare for mugg- og råtevekst. Ved vindsperra er den relative fuktigheten mellom 80 – 90 % vintermånedene, men samtidig er temperaturene lave. For å se nærmere på grafene over RF og temperatur henvises det til vedlegg 2.

SDS egner seg ikke like godt i rom med høy fuktproduksjon. Svømmehaller med høy innvendig RF og stor takhøyde som gir høyt trykk mot dampsperra høyt opp på veggen ansees som svært utrygg med SDS.

5.7 BYGGFUKT

Grafene som vises i Figur 31 illustrerer vanninnholdet for konstruksjonene med PE-folie og AirGuard Smart for to ulike startfuktinnhold, en med byggfukt lik 60 kg/m^3 i et 50 mm tykt isolasjonslag og en med 80 % RF i hele ytterveggen. Hensikten er å se hvilken effekt byggfukten har på ytterveggens hygrotermiske egenskaper. 80 % RF i bygningsmaterialer ansees som normalt fuktnivå ved lukking av konstruksjonen og illustrerer driftstilstanden til ytterveggen.



Figur 31: Totalt vanninnhold i ytterveggen som er utsatt for en vannlekkasje sammenlignet med 80 % RF i hele veggen som representerer driftsfasen.

I driftsfasen er det ingen forskjell på om ytterveggen benytter SDS eller PE-folie, og fuktinnholdet i konstruksjonen varierer mellom $0,5 - 1,0 \text{ kg/m}^2$. På senhøsten starter fuktinnholdet i ytterveggen å øke, opp til mellom $1,0$ og $1,5 \text{ kg/m}^2$. Fuktinnholdet i ytterveggen er noe høyere i vintermånedene, men det er ingen forskjell om veggene har tradisjonell PE-folie eller SDS.

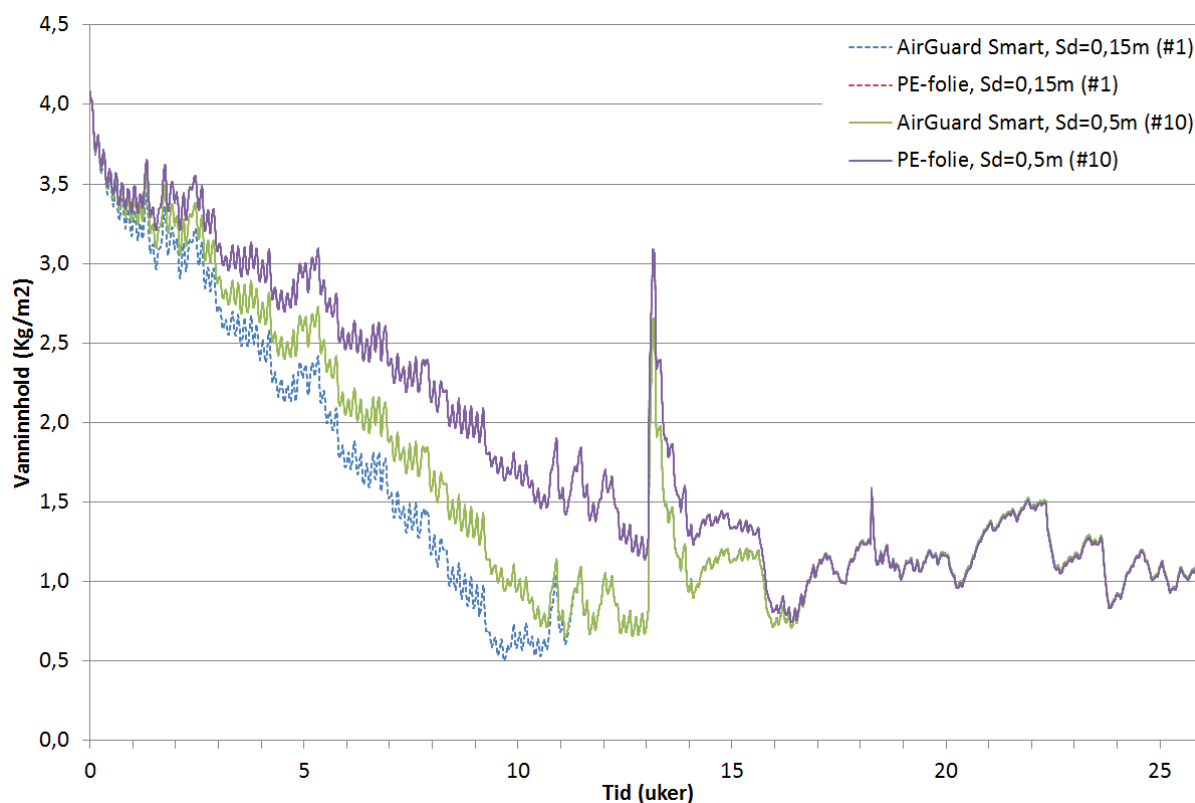
Vurdering

Resultatene viser at forskjellen mellom PE-folie og SDS i driftsfasen er minimale. Simuleringene i WUFI viste at det er større andel fukt som trekker inn i konstruksjonen fra innsiden enn det som tørket ut mot innsiden for veggen med AirGuard Smart. Dette skyldes som nevnt tidligere SDS' evne til å bli mer dampåpen når RF i omgivelsene stiger. Det er likevel ingen ting som tyder på at SDS presterer noe dårligere i driftsfasen i løpet av simuleringperioden med tanke på vekst av råte- og muggsopp. Derimot vil et noe høyere

fukttinnhold gi dårligere isolasjonsevne og høyere varmetap. Hvor mye den lille forskjellen i vanninnhold har å si for varmetapet er ikke beregnet.

5.8 INNVENDIG OVERFLATEBEHANDLING

I disse beregningene er effekten av innvendig overflatebehandling vurdert. Ved å øke dampmotstanden på innvendig overflate reduseres muligheten for innadrettet uttørking. Beregningsvariant 10 er derfor overflatebehandlet med to strøk akrylbasert maling, hvor gipsplate og malingslag samlet har en S_d -verdi lik 0,5 m. I Figur 32 vises vanninnholdet i konstruksjonen gjennom simuleringsperioden sammen med resultatene fra standardkonstruksjonen



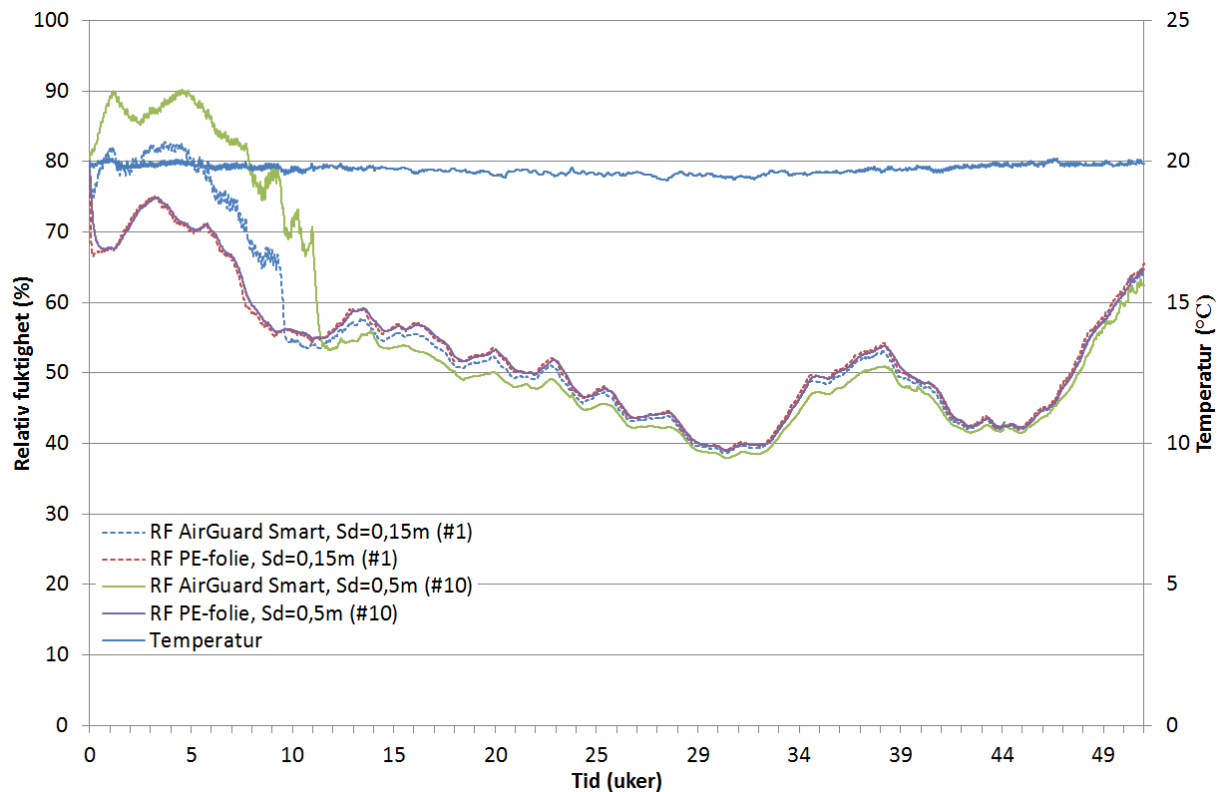
Figur 32: Totalt vanninnhold i ytterveggen for standardkonstruksjonen og konstruksjonen med mer damptett innvendig overflatebehandling.

Resultatene fra simuleringen viser at konstruksjonens hygrotermiske egenskaper blir dårligere når innvendig overflatebehandling blir mer damptett. Uttørkingstiden øker fra 9 til 11 uker for veggen med AirGuard Smart og har et vanninnhold som er omtrent $0,5 \text{ kg/m}^2$ høyere hele uttørkingsperioden. Fra 11 uker og gjennom vinterukene i simuleringsperioden viser alle veggene, både med PE-folie og SDS, tilnærmet like resultater uavhengig av S_d -verdien på innvendig overflate.

Vanninnholdet i ytterveggen med PE-folie ble ikke påvirket av S_d -verdien til den innvendige overflatebehandlingen.

Når innvendig gipsplate blir mer damptett er det fare for at fukten blir sperret mellom to relativt damptette sjikt. I Figur 33 vises resultatene av relativ fuktighet og temperatur registrert på baksiden av innvendig gipsplate. For konstruksjonene med AirGuard Smart er RF bak gipsplate mye høyere i uttørkingsperioden for tilfellet med mer damptett

overflatebehandling. Perioden over 80 % RF er samtidig tre uker lenger. Vinterstid er derimot RF lavere for konstruksjonen med mer damptett overflatebehandling. Temperaturen ligger rundt 20 °C hele året.



Figur 33: Relativ fuktighet og temperatur på baksiden av innvendig gipsplate for standardkonstruksjonen (#1) og for en konstruksjon med mer damptett innvendig overflatebehandling (#10).

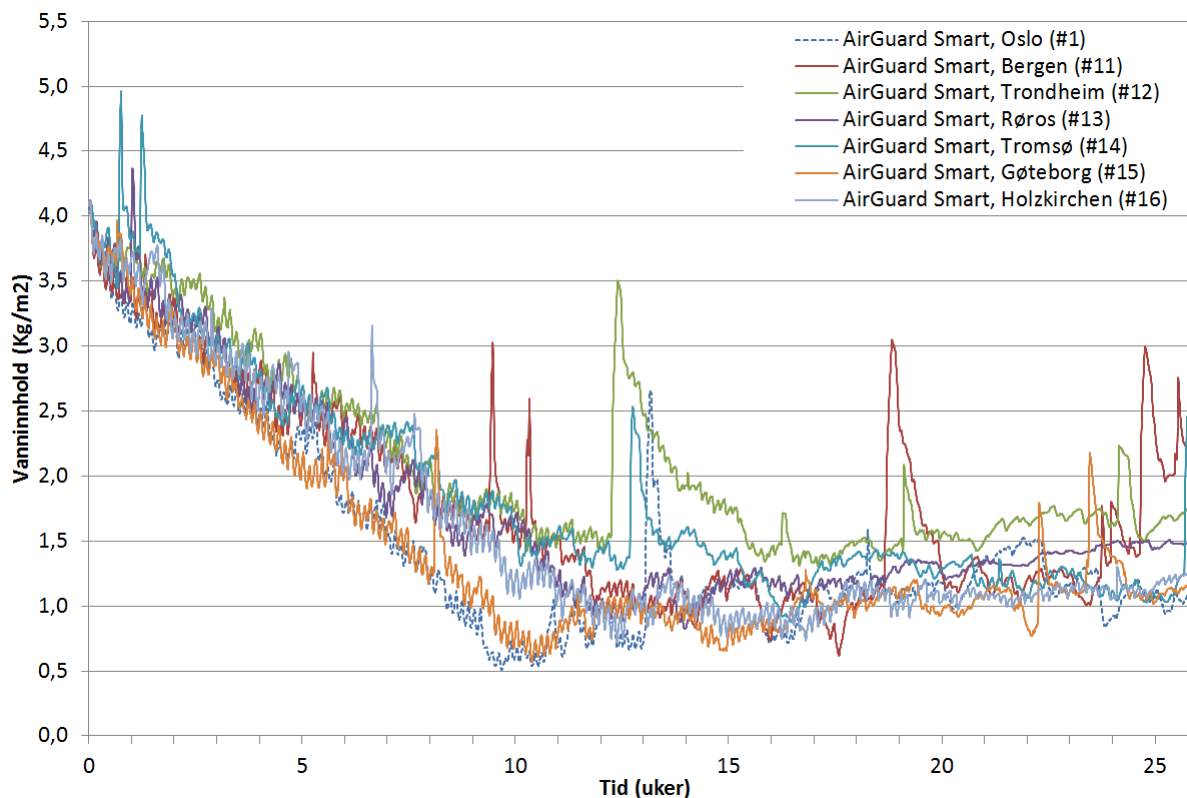
Vurdering

Til tross for at Figur 32 viser klart at konstruksjonens uttørkingstid blir lenger når innvendig dampmotstand øker, er det ikke registrert kritiske verdier for RF og Temperatur bak vindsperra. Risikoen for mugg- og råtevekst ansees derfor som liten. Grunnen til det er mest sannsynlig at veggen har svært god mulighet for uttørking mot utsiden, noe andelen innadrettet uttørking bekrefter med kun 27 %. Risikoen for mugg- og råtevekst blir derimot høyere på baksiden av innvendig gipsplate. Syv uker med RF over 80 % og temperatur rundt 20 °C gir gode vekstvilkår for muggsopp.

Effekten av SDS i konstruksjonen reduseres om en benytter en mer damptett overflatebehandling på innvendig side. Grunnen til dette er at overflatebehandlingen stopper for at fukten kan tørke ut mot innsiden, og SDS fungerer da mot sin hensikt. Den slipper da fukt inn til den innvendige gipsplaten uten at fukten får mulighet til å tørke ut videre innover.

5.9 UTEKLIMA

I Figur 34 er resultatene fra simuleringene av standardkonstruksjonen i Oslo sammenlignet med andre geografiske plasseringer som Bergen, Trondheim, Røros, Tromsø, Gøteborg og Holzkirchen. For å øke lesbarheten til diagrammet er kun resultatene med AirGuard Smart presentert. Resultatene med både PE-folie og AirGuard Smart for alle lokasjonene kan sees i vedlegg 2, 3 og 4.



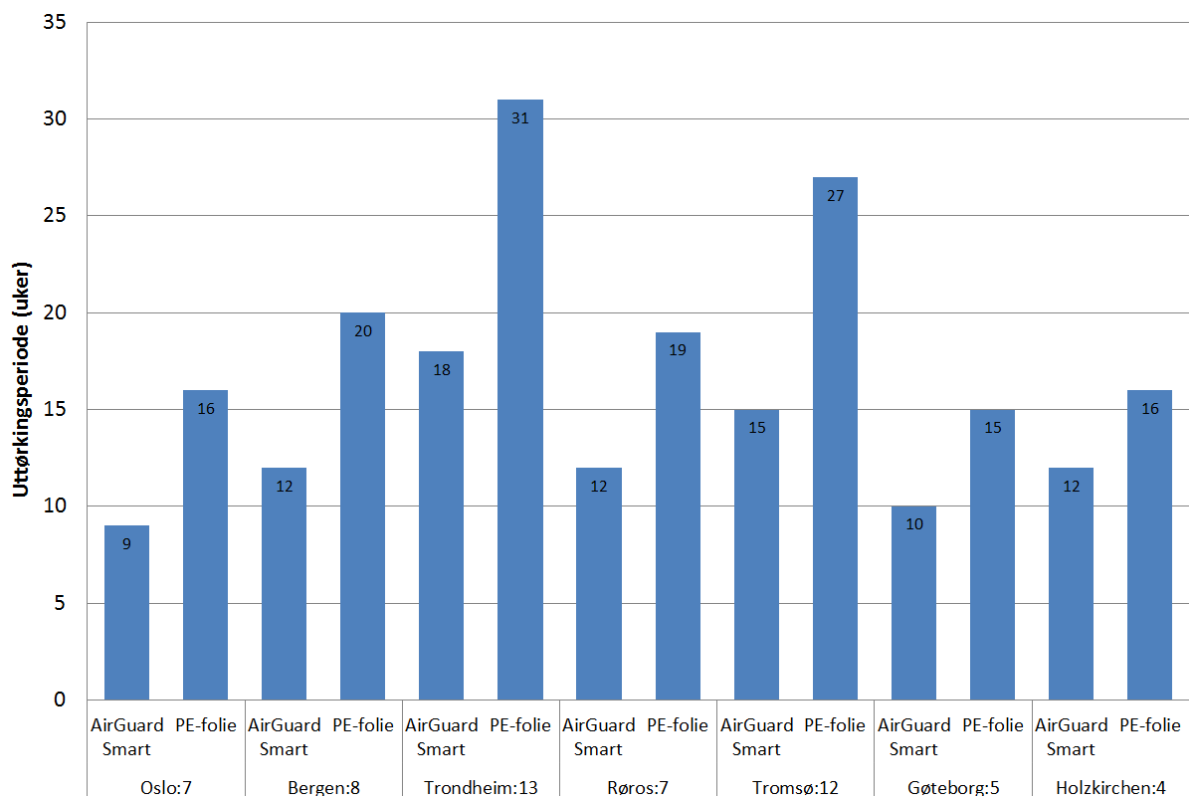
Figur 34: Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonen for ulike geografiske plasseringer.

Resultatene viser at flere av de andre klimaene gir mindre og ikke minst langsommere uttørking enn standardkonstruksjonen i Oslo. Konstruksjonen i Trondheim tørker ut langsomt, og etter 16 uker begynner fuktinnholdet i konstruksjonen å øke. I løpet av simuleringperioden kan det observeres en svak fuktakkumulasjon fra og med uke 16, med vanninnhold fra $1,40 \text{ Kg/m}^3$ til $1,8 \text{ kg/m}^3$ i uke 26. Konstruksjonen i Trondheim rekker ikke å kvitte seg med all byggfukten før fuktakkumulasjonen starter. Resultatene for Tromsø viser tilsvarende tendenser som for Trondheim, men har for det meste av tiden et vanninnhold som ligger noe lavere.

Konstruksjonen i Bergen skiller seg noe ut fra resten ved at de har hyppigere og større "hopp" i vanninnholdet gjennom simuleringperioden. Spesielt i vinterukene viser ikke konstruksjonen nok uttørkingsevne til å kvitte seg med all fukten som blir tatt opp, og viser tendens til fuktakkumulasjon fra og med uke 17. Klimaet i Røros gir imidlertid motsatt utslag på grafen i Figur 34, som ikke viser noen "hopp", men en langt glattere graf enn for de andre lokasjonene.

For å kunne sammenligne egnetheten til SDS i Norge med andre plasser i Europa, er det i tillegg valgt å gjøre simuleringer for klimaet i Gøteborg og Holzkirchen. Uttørkingstiden er henholdsvis 10 og 12 uker for de to stedene. Etter at byggfukten er tørket ut er vanninnholdet stort sett det samme som for standardkonstruksjonen i Oslo, selv om grafen for Holzkirchen viser en langt glattere kurve enn Gøteborg og Oslo.

For alle lokasjonene viste konstruksjonen med AirGuard Smart bedre uttørkingsevne sammenlignet med PE-folie. For å undersøke om effekten av å bytte ut den tradisjonelle PE-folien med smart dampsperrer er avhengig av klima, ble det gjennomført simuleringer av uttørkingshastigheten. Tiden før konstruksjonen fikk samme vanninnhold som tilsvarende «normal driftsfase» ble registrert for både AirGuard Smart og PE-folie, og resultatene er vist i Figur 35. Det kommer tydelig frem av resultatene at det er stor variasjon, både mellom de ulike lokasjonene og avhengig om konstruksjonen er utstyrt med AirGuard Smart eller PE-folie.



Figur 35: Uttørkingstiden for alle lokasjonene for konstruksjonene med både AirGuard Smart og PE-folie.

Trondheim og Tromsø skiller seg ut med henholdsvis 13 og 12 uker raskere uttørkingstid for konstruksjonen med AirGuard Smart. I Holzkirchen er differansen minst, hvor ytterveggen med AirGuard Smart tørker ut kun 4 uker raskere enn med PE-folie. For de resterende lokasjonene varierer differansen fra fem til åtte uker.

Vurdering

Resultatene viser at klimaet har stor innvirkning på hvor effektivt konstruksjonen tørker ut med AirGuard Smart. Disse forskjellene i uttørking er trolig en kombinasjon av flere

klimafaktorer som innfallende solstrålingsmengde, nedbør og vind og ikke minst utetemperatur som påvirker den relative fuktigheten innendørs.

Resultatene stemmer godt overens med det som er rimelig å anta ut fra tidligere forskning og de klimadataene som er tilgjengelige i WUFI. De andre lokasjonene som er simulert har et klima som er mer ugunstig rent fuktmessig. Både Bergen, Trondheim og Tromsø har mer nedbør og vind sammenlignet med Oslo som har en negativ effekt på vanninnholdet i konstruksjonen. Røros er det stedet med minst nedbør i løpet av simuleringsperioden, men kombinasjonen av svært lav midlere temperatur og lite innfallende solstrålingsmengde gir konstruksjonen dårlig uttørkingsevne (WUFI, 2013). Midlere temperatur for Røros er $-0,9\text{ °C}$ sammenlignet med $6,8\text{ °C}$ for Oslo. Den lave temperaturen bidrar da til et innemiljø med høyere relativ fuktighet og mer fukttransport ut i konstruksjonen. I løpet av simuleringsperioden var andelen innadrettet uttørking kun 29 % for både Trondheim, Tromsø og Røros sammenlignet med hele 40 % for Oslo. Bergen har et varmere klima og omtrent like stor innfallende solstrålingsmengde sammenlignet med Oslo, og andelen innadrettet uttørking er hele 35 %. Til tross for dette gjør den store nedbørsmengden at konstruksjonen tar opp mye fuktighet og får et vanninnhold som kan bli så mye som 1 kg/m^2 høyere enn for Oslo ved flere anledninger i løpet av simuleringsperioden. Uttørkingstiden er 17 uker, 8 uker lenger enn for samme konstruksjon i Oslo.

Gøteborg har en uke lengre uttørkingstid sammenlignet med Oslo. Klimaet i Gøteborg er varmere og mengden innfallende solstrålingsmengde på nordvendt vegg er omtrent den samme. Den ekstra uken skyldes mest sannsynlig nedbørsmengden som er 1074 mm i året for Gøteborg, men ikke mer enn 605 mm i året for Oslo (WUFI, 2013). I Figur 34 kan det observeres flere "hopp" i grafen over vanninnhold i løpet av uttørkingsperioden for Gøteborg enn for Oslo. Det samme kan sies om resultatene fra Holzkirchen i Tyskland. Med årlig nedbørsmengde på 1185 mm er det nesten dobbelt så mye nedbør som i Oslo. Ettersom sommeren er varmere i Holzkirchen og mengden innfallende solstrålingsmengde på den nordlige vegg er større, er det nærliggende å tro at nedbørsmengden må være årsaken til at uttørkingstiden er hele 3 uker lengre sammenlignet med Oslo.

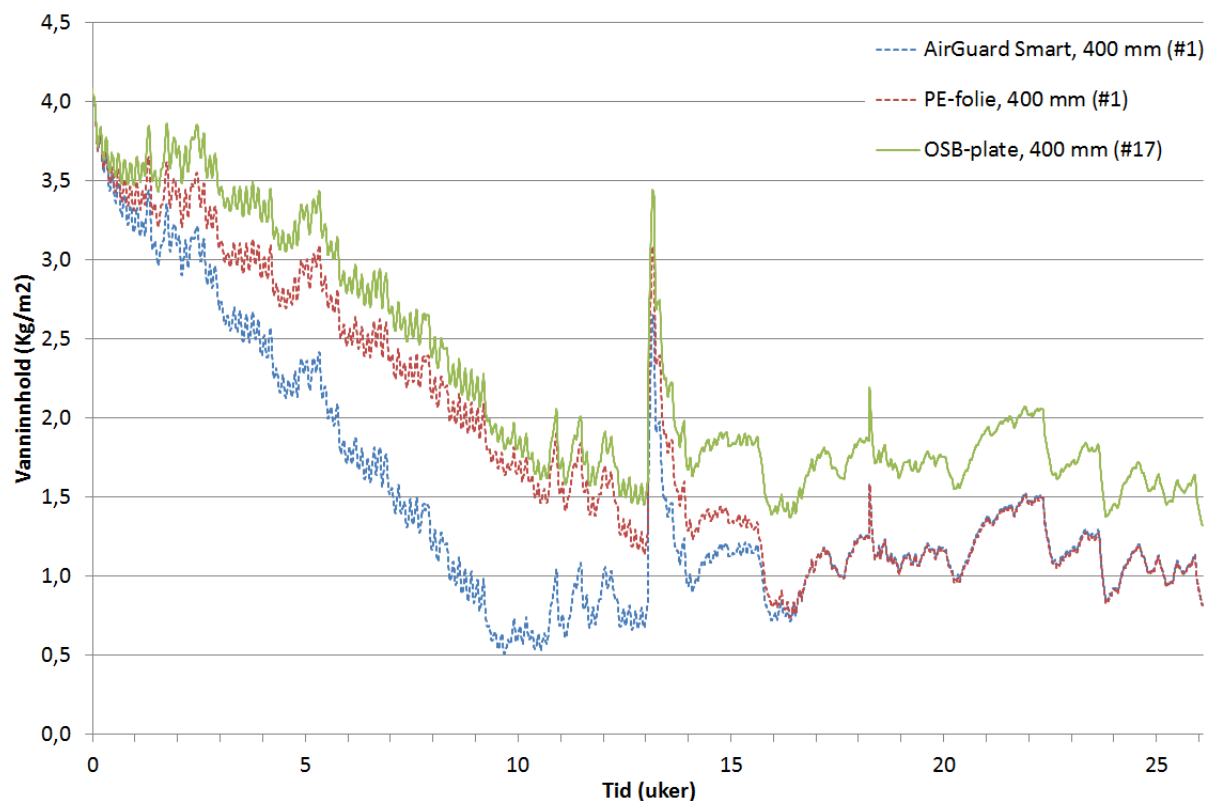
Resultatene i Figur 35 viser tydelig at SDS har en god effekt på uttørkingsegenskapene til ytterveggskonstruksjoner, uavhengig av lokasjon. Resultatene viser at effekten av SDS er størst på de lokasjonene hvor det allerede er tidkrevende å tørke ut konstruksjonen. Årsaken til at differansen mellom AirGuard Smart og PE-folie er så stor for Trondheim og Tromsø skyldes mest sannsynlig at klimaforholdene gjør uttørking vanskelig, og dermed blir det innadrettede bidraget svært viktig.

Til tross for at vanninnholdet i konstruksjonen er lavere i uttørkingsperioden med AirGuard Smart enn med PE-folie, er relativ fuktighet ved vindsperra tilnærmet den samme. Det forekommer ikke tilfeller hvor temperaturen er over 20 °C og relativ fuktighet er over 80 % samtidig i løpet av simuleringsperioden for noen av lokasjonene. Risikoen for mugg- og råtevekst er dermed ikke skremmende stor. Likevel er det en 6 ukers periode i Holzkirchen hvor relativ fuktighet ligger mellom 70 – 90 % og hvor temperaturen varierer mellom 15 og 20 °C . Etter uttørkingsperioden får alle konstruksjonene en periode hvor RF ligger 10 – 20 %

høyere for PE-folie enn for AirGuard Smart, og konstruksjonen i Tromsø og Trondheim med PE-folie vil kondensere bak vindsperra i flere uker vinterstid.

5.10 OSB-PLATE SOM SDS

I Figur 36 vises vanninnholdet i konstruksjonen når OSB-plate blir benyttet som SDS.



Figur 36: Totalt vanninnhold for standardkonstruksjonen og hvor det blir benyttet OSB-plate som SDS.

Resultatene fra simuleringen viser at konstruksjonen med OSB-plate som SDS har omtrent lik uttørkingstid som konstruksjonen med tradisjonell PE-folie. Vanninnholdet ligger derimot nesten konstant $0,5 \text{ kg/m}^2$ høyere enn for standardkonstruksjonen resten av simuleringsperioden som representerer driftsfasen.

Vurdering

Til tross for at OSB-plata har en varierende S_d -verdi avhengig av den relative fuktigheten i omgivelsene, viser konstruksjonen noe dårligere hygrottermiske egenskaper sammenlignet med konstruksjonene som benytter plastbaserte produkter. Det noe høyere vanninnholdet kan mest sannsynligvis forklares med at OSB-plata er et hygroskopisk materiale og dermed har evnen til å lagre mer fukt sammenlignet med de andre sperresjiktene.

Gjennom vinterukene ligger RF bak vindsperra noe høyere for konstruksjonen med OSB-plata sammenlignet med AirGuard Smart og PE-folie. I perioder er den registrert over 90 %. Dette skyldes antageligvis at OSB-plata ikke er dampåpen nok for tilstrekkelig innadrettet uttørking, men likevel dampåpen nok til å slippe noe fuktig inneluft ut i konstruksjonen. I samme perioden er til gjengjeld temperaturen lav, så risikoen for vekst av råte- og muggsopp er lav.

5.11 OPPSUMMERING

Denne parameterstudien utført i WUFI 1D har undersøkt hvilken effekt ti ulike parametere har på en bindingsverksvegg med både SDS og PE-folie i til sammen 17 ulike beregningsvarianter som er oppsummert i Tabell 5. Resultatene fra alle parameterne er gjengitt i egne underkapitler, samt en vurdering av hvilken effekt parametervariasjonen har på ytterveggens hygroskopiske egenskaper. Parameterne som er undersøkt er:

- Isolasjonstykkelse
- Vindsperre
- Fasadens orientering
- Plassering av dampsperre
- Type dampsperre
- Innvendig fukttillskudd
- Byggfukt
- Innvendig overflatebehandling
- Uteklima
- OSB-plate som SDS

For alle 17 beregningsvariantene kan totalt vanninnhold leses ut av grafene som er presentert i resultatene. I tillegg til vanninnholdet er andelen fukttransport gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre kartlagt, samt RF og temperatur ved vindsperra for å vurdere risikoen for mugg- og råtevekst. Disse kan sees i vedlegg 2,3 og 4.

Standardkonstruksjonen har 400 mm isolasjon, derfor er det valgt å gjennomføre parametervariasjon hvor isolasjonstykkelsen reduseres til 250 mm. Resultatene fra simuleringene viser at isolasjonstykkelsen har stor betydning for fuktforholdene i ytterveggen. Desto mer isolasjon som finnes i veggen og tykkere veggen er, jo lengre er uttørkingstiden. Det skyldes en kombinasjon av at konstruksjonen får potensiale til å lagre større mengder fukt samtidig som fukten får lengre transportvei. Ved å redusere isolasjonstykkelsen til 250 mm, blir uttørkingstiden for konstruksjonen med AirGuard Smart og PE-folie henholdsvis to og 7 uker kortere. Effekten av SDS i passivhusvegg blir svært tydelig, da uttørkingstiden for en vegg med 400 mm isolasjon og AirGuard Smart er nøyaktig den samme for en vegg med 250 mm isolasjon og PE-folie.

Det er gjort forsøk på å bytte ut den tradisjonelle vindduken med et mer damptett produkt for å undersøke hvordan fuktforholdene i konstruksjonen blir påvirket. I denne parameterstudien ble vindduken byttet ut med en OSB-plate. Resultatene viser helt tydelig at ytterveggens hygroskopiske egenskaper blir betydelig forverret. For standardkonstruksjonen med PE-folie blir vanninnholdet vinterstid firedoblet når det blir brukt OSB-plate som vindsperre, og i slutten av simuleringsperioden viser konstruksjonen ingen tegn til uttørking. Om en derimot bytter ut PE-folien med AirGuard Smart halveres vanninnholdet i konstruksjonen. Denne halveringen er av stor betydning for fuktforholdene ved vindsperra. For konstruksjonen med OSB-plate og PE-folie oppstår det kondensering i en periode på 34 uker, og en er nesten garantert problemer med sopp. For konstruksjonen med AirGuard Smart blir RF liggende omkring 90 % i samme periode, og risikoen for mugg- og råtevekst er blant annet avhengig av tidligere fuktforhold.

Fasadens orientering kan føre med seg både positive og negative innvirkninger på ytterveggens hygrotermiske egenskaper. En sørlig orientert yttervegg vil motta større andel innfallende solstrålingsmengde sammenlignet med en nordlig orientert vegg. Dette vil bidra

til økt temperatur og dermed høyere vanddamptrykk som gir større potensial for innadrettet uttørking. Derimot er klimaforholdene for de aller fleste steder i Norge slik at mesteparten av vinden kommer fra sør. Det betyr at en sørvendt yttervegg vil få større andel slagregn sammenlignet med en nordvendt, og dermed flere og større bidrag til oppfukning. Begge disse tilfellene kommer tydelig frem i resultatene fra simuleringene. Ytterveggene med både PE-folie og AirGuard Smart tørker ut raskere når veggen er vendt mot sør, samtidig som de har høyere fukttilskudd i løpet av simuleringsperioden. Likevel er vanninnholdet noe lavere for den sørvendte veggen, også i driftsfasen.

Relativ fuktighet forandrer seg gjennom hele sjiktet i ytterveggen, derfor var det interessant å undersøke hvordan effekten av SDS blir påvirket av dens plassering i ytterveggen. Resultatene viser at ytterveggens uttørking er uavhengig av plassering når det benyttes PE-folie. Når det benyttes SDS kan det derimot observeres noe raskere uttørkingstid når SDS trekkes lengre inn i konstruksjonen. Det skiller en uke på uttørkingstiden for veggen hvor SDS ligger direkte bak innvendig gipsplate og hvor SDS er trukket 100 mm inn i isolasjonen. Årsaken ligger i at den relative fuktigheten i omgivelsene er høyere lengre inn i konstruksjonen, dermed også damp tettheten til SDS og større andel av uttørkingen vil kunne skje mot innsiden.

Da mesteparten av fukttransporten er utadrettet, vil innvendig fukttilskudd kunne ha stor innvirkning på fuktforholdene i ytterveggen, spesielt ved bruk av SDS. Om det innvendige fukttilskuddet er høyt, vil det kunne bli høy RF i ytterveggen slik at SDS blir svært dampåpen. Resultatene viser at ytterveggens uttørkingstid er avhengig av innvendig fukttilskudd. For standardkonstruksjonen med AirGuard Smart er uttørkingstiden omtrent 9 uker for lavt og medium fukttilskudd, mens det for høyt fukttilskudd er hele 11 uker. I driftsfasen ligger vanninnholdet for høyt fukttilskudd også noe høyere i resten av simuleringsperioden. Det er veldig lite som skiller lavt og medium fuktinnhold. Vanninnholdet ligger noe lavere i uttørkingsperioden, samt at uttørkingstiden er noen dager kortere for konstruksjonen som er utsatt for lavt innvendig fukttilskudd.

Standardkonstruksjonen som er benyttet i denne parameterstudien har et vanninnhold som representerer en lekkasje tilsvarende 3 mm vannfilm fordelt i et 50 mm tykt isolasjonslag. For å undersøke hvordan standardkonstruksjonens hygrotermiske egenskaper er i normal driftsfase ble det gjennomført beregninger hvor vanninnholdet er 80 % RF i hele sjiktet. Resultatene viser at vanninnholdet er det samme i løpet av sommermånedene, uavhengig av om konstruksjonen benytter SDS eller PE-folie. Vinterstid derimot ligger vanninnholdet noe høyere for konstruksjonen med SDS, men det er ubetydelige vannmengder som ikke har noen innvirkning på risikoen for mugg- og råtevekst.

Innvendig overflatebehandling har stor betydning for ytterveggens fuktinnhold i uttørkingsperioden. Resultatene fra simuleringene viser at når det velges en mer damp tett innvendig overflatebehandling øker samtidig uttørkingstiden til konstruksjonen ettersom mindre fukt vil tørke ut mot innsiden. Uttørkingstiden for standardkonstruksjonen med AirGuard Smart økte fra ni til elleve uker når S_d -verdien for innvendig gipsplate og maling økte fra 0,15 m til 0,50 m. Risikoen for muggskader på bakside av innvendig gipsplate er

større når det benyttes en mer damptett overflatebehandling. Vanninnholdet i konstruksjonen med PE-folie er uavhengig av innvendig overflatebehandling. I driftsfasen viste resultatene ingen forskjell på vanninnholdet for noen av tilfellene.

Innfallende solstrålingsmengde, nedbør, vind og utetemperatur er klimaforhold som i stor grad påvirker ytterveggenes hygrotermiske egenskaper. Hvilket klima ytterveggen befinner seg i er altså ikke uten betydning. Resultatene viser at de nordlige konstruksjonene presterer dårligere sammenlignet med konstruksjonen i Oslo. Derimot var differansen mellom uttørkingstiden for PE-folie og AirGuard Smart desidert størst for de nordligste lokasjonene. Oslo er den byen med raskest uttørkingstid som er et resultat av lite nedbør og en forholdsvis høy midlere temperatur.

Til tross for at OSB-plater viser noen av de samme tendensene for damptetthet som SDS, viser den ikke spesielt gode resultater når den er brukt som dampsperre. Konstruksjonen stabiliserte seg på et høyere vanninnhold i driftsperioden, og i løpet av vintermånedene var det ved flere anledninger relativ fuktighet over 90 %.

6 FORENKLINGER OG FEILKILDER

Før arbeidet med simuleringene i WUFI 2D starter er det tatt en vurdering av betydningen av ulike forenklinger og feilkilder som kan være gjort i de endimensjonale simuleringene.

6.1 FORENKLINGER

Simuleringene baserer seg på en rekke forenklinger som er nødvendig for å kunne gjennomføre parametervariasjonene. Noen av forenklingene er selvvalgt, mens andre ligger forutbestemt i selve programvaren. I det følgende kommer en forklaring på de største forenklingene.

Fordeling av byggfukt

I WUFI 1D ble byggfukten simulert ved at et 3 mm vannspeil ble jevnt fordelt i et 50 mm tykt isolasjonssjikt. Resten av konstruksjonen hadde et startfuktnivå lik 80 % RF. For det første ble det oppfuktede isolasjonssjiktet plassert nærme varm side, noe som ansees å være fordelaktig for innadrettet uttørking. I et mer realistisk tilfelle ville fukten fordele seg mer jevnt over konstruksjonen, og spesielt i bindingsverket. Fraværet av treverk i konstruksjonen gjør at totalt vanninnhold er lavere enn i virkeligheten ettersom tre er et hygroskopisk materiale, og har mulighet til å lagre mye fuktighet.

Endimensjonal simuleringer

Konstruksjonen er bygget opp i en endimensjonal modell slik at en ikke får inkludert betydningen av todimensjonale effekter. Ved at modellen består av homogene sjikt må sees som en forenkling ettersom blant annet gjennomgående stenderverk ikke blir inkludert. Like fullt viser de endimensjonale simuleringene tendenser og innvirkninger de ulike parametervariasjonene har på konstruksjonen, og legger et godt grunnlag for hvilke parametervariasjoner som bør bli valgt ut til de todimensjonale simuleringene.

Unnlattelse av varme- og vanddamptransport ved konveksjon

Varme- og fukttransport som følge av konveksjon er utelatt i WUFI fordi det er en meget komplisert funksjon og er sjelden endimensjonal (WUFI, 2013). Kondensskader i konstruksjoner skyldes ofte fukttransport ved konveksjon, men blir ikke hensyntatt i simuleringene i WUFI. Fuktinnholdet i konstruksjonen blir da lavere i simuleringene enn hva det ville blitt i virkeligheten, og må sees på som en forenkling.

6.2 FEILKILDER

I løpet av simuleringene og under arbeidet med resultatene er det dukket opp enkelte feilkilder som her blir forklart nærmere. Det er også gjennomført en vurdering på hva dette vil ha og si for resultatene.

Luftsjikt

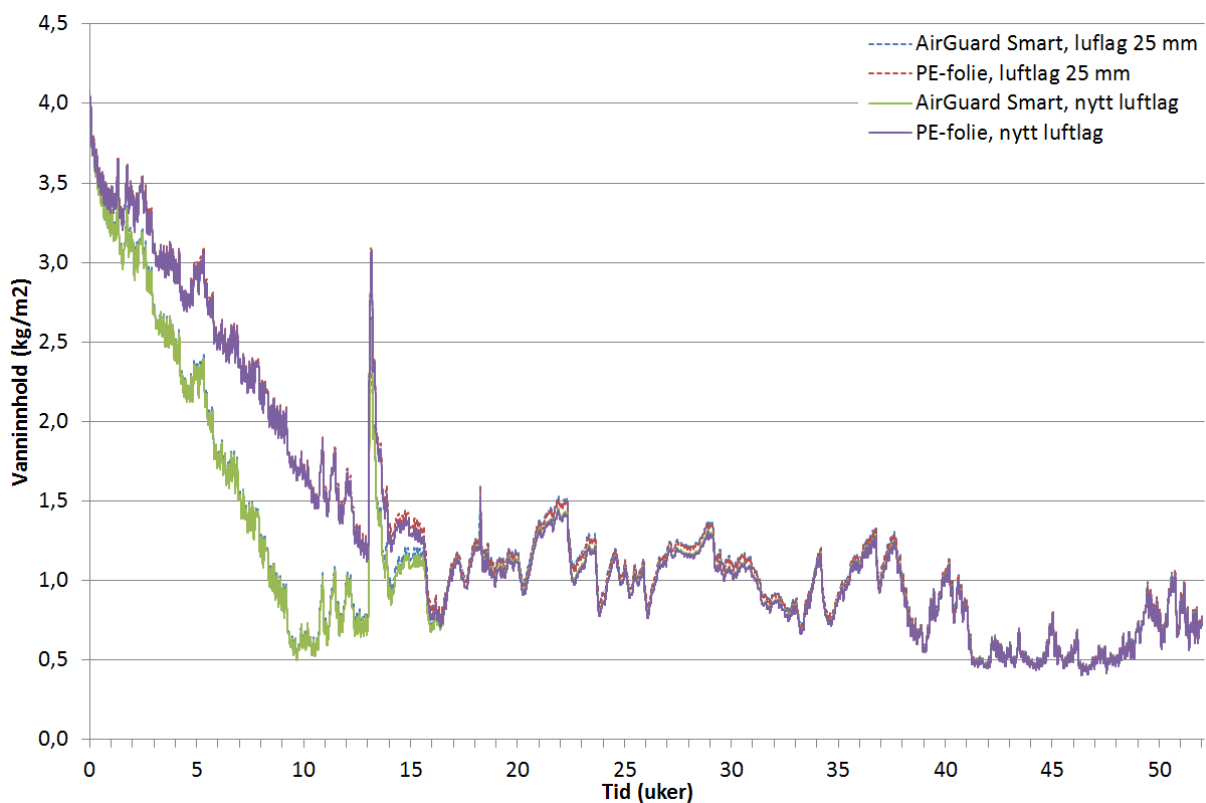
WUFI ble opprinnelig utviklet til å simulere hygrotermiske prosesser i porøse materialer, dermed kan det oppstå enkelte problemer når det skal simuleres et kontinuerlig luftsjikt i konstruksjonen. Varme- og fukttransport som foregår i et luftsjikt er for kompliserte til å

kunne gjennomføres detaljert i et endimensjonalt program som WUFI 1D. Det er derfor valgt å gjøre noen forenklinger.

I simuleringene som er utført i WUFI 1D er det benyttet "Luftsjikt 25 mm" som finnes i materialdatabasen "Generelt Materialer". I etterkant av at alle simuleringer var gjennomført ble undertegnede oppmerksom på at valg av luftsjikt muligens var noe uheldig.

"Luftsjikt 25 mm" bruker WUFIs standardfunksjon for beregning av fuktlagring, noe som kan gi et unormalt høyt vanninnhold i konstruksjonen (WUFI, 2013). Det bør derfor ikke benyttes i simuleringer hvor vanninnholdet blir brukt til å evaluere konstruksjonen. Om det samtidig blir tildelt en ventilasjonskilde til et luftsjikt med høyt fuktinnhold vil sjiktet ha høy fuktlikevekttreghet og uttørkingen kan kunne ta lengre tid i simuleringen enn i virkeligheten.

For å undersøke hva dette hadde å si for resultatene ble standardkonstruksjonen simulert med et nytt luftsjikt, "Luftsjikt 25 mm; without additional moisture capacity" som også finnes i "Generelt Materialer" i materialdatabasen i WUFI. Det luftsjiktet bruker en fuktlagringsfunksjon som tilsvarer fuktinnholdet til et luftlag som holder 20 °C, og gir et mye mer realistisk fuktinnhold og hygroskopisk treghet.



Figur 37: Vanninnhold for standardkonstruksjonen med de to ulike luftsjiktene.

Resultatene, som vi kan se i Figur 37, viser at det er svært lite som skiller mellom vanninnholdet i konstruksjonene med "luftsjikt 25 mm" og "luftsjikt 25 mm; without additional moisture capacity". Vanninnholdet i både uttørkingsperioden og driftsperioden ser ut til å være tilnærmet likt for standardkonstruksjonen, uavhengig av type luftsjikt

simuleringene er gjennomført med. Det konkluderes dermed med at resultatene fra simuleringen i WUFI 1D er troverdig, til tross for at feil luftsjikt ble benyttet.

Menneskelig feil

Når det er gjennomført så mange simuleringer for et så stort antall paramatervariasjoner er det fare for og det kan skje menneskelige feil. Det kan være feil i alt fra inntasting av verdier, uthenting av resultater eller i produksjonen av grafene. Det er mye data som skal behandles og mange ledd det kan skje feil. Heldigvis viser feilen seg som regel når en setter sammen diagrammene, da en raskt ser om det er noen verdier som skiller seg ut. Det er blitt oppdaget flere feil under arbeidet med resultatene, men disse er utbedret så fort de er blitt registrert.

7 TODIMENSJONALE FUKTBREGNINGER FOR BINDINGSVERKSVEGGER MED SDS

Simuleringene som er gjennomført i WUFI 1D er riktignok endimensjonale, likefullt viser resultatene tydelig tendenser for hvordan ytterveggen reagerer på parametervariasjonene. For å kunne kontrollere eventuelle todimensjonale effekter i konstruksjonen, er enkelte utvalgte problemstillinger valgt å gjennomføres i WUFI 2D.

7.1 INNLEDNING

Simuleringene som er gjennomført i WUFI 1D er basert på ulike forenklinger. Blant annet var byggfukten jevnt fordelt i et 50 mm tykt isolasjonslag. I en todimensjonal modell kan fukten fordeles i gjennomgående bindingsverk, og en mer realistisk fuktfordeling kan simuleres. På bakgrunn av dette har tre parametervariasjoner fra de endimensjonale simuleringene utpekt seg for nærmere undersøkelser:

- Byggfukt
- Isolasjonstykkelse
- Plassering av SDS

Avslutningsvis er det også gjennomført todimensjonale simuleringer av tilfellet hvor OSB-plate blir benyttet som SDS. De todimensjonale simuleringene tar sikte på å gi en mer realistisk vurdering av risikoen for mugg- og råtevekst for bindingsverksvegger av tre. For å måle effekten SDS har på uttørkingen av konstruksjonen vil resultatene for SDS sammenlignes med resultatene for PE-folie i alle simuleringene.

7.2 BEREGNINGSPROGRAMMET

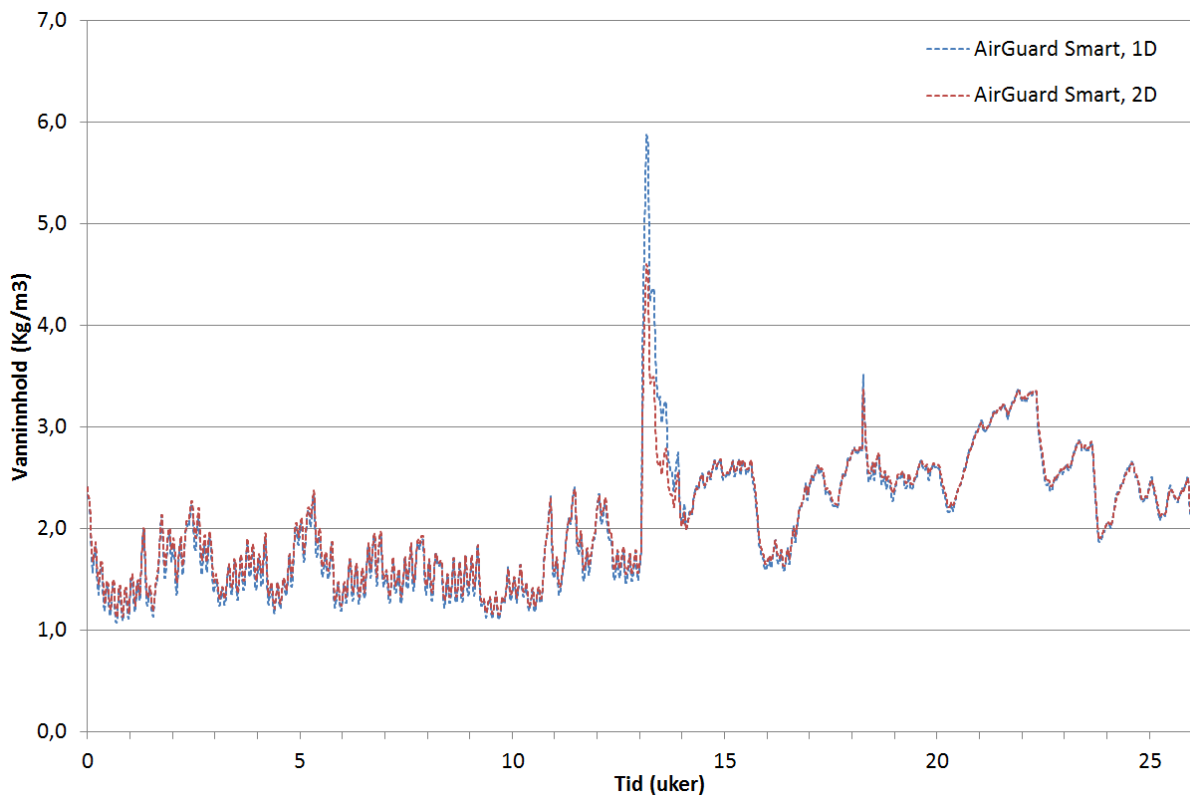
Simuleringene er utført i WUFI 2D 3.3, som er en todimensjonal utgave av programmet som ble benyttet til gjennomføringen av de endimensjonale simuleringene. WUFI 2D kan gjennomføre realistiske, to dimensjonale beregninger av koblet fukt- og varmetransport i bygningskomponenter. Oppbygningsmessig ligner WUFI 2D i stor grad på WUFI 1D som er beskrevet nærmere i kapittel 4, bortsett fra at transportligningene løses i to dimensjoner i stedet for en (WUFI, 2013). Muligheten for å modellere i to dimensjoner gjør samtidig at programmet egner seg svært godt til gjennomføring av fuktberegninger av overgangsdetaljer.

Transportmekanismene for varme-, damp- og væsketransport i WUFI 2D er de samme som for WUFI 1D og kan sees i Tabell 3.

7.3 RESULTATFORSKJELLER I WUFI 1D OG WUFI 2D

Det er ønskelig at de todimensjonale simuleringene blir gjennomført med samme inputdata og i de samme omgivelsene som simuleringene utført i WUFI 1D. Dette blir gjort som en kontroll på at modelleringen i WUFI 2D er korrekt utført. Derfor ble en identisk endimensjonal konstruksjon som ble benyttet i WUFI 1D også simulert i WUFI 2D. Ettersom byggfukten vil bli fordelt på en annen måte i WUFI 2D enn hva som ble gjort i WUFI 1D er det valgt å gjennomføre testsimuleringene med 80 % RF i hele konstruksjonen.

I Figur 38 vises totalt vanninnhold i konstruksjonen med AirGuard Smart simulert i både WUFI 1D og WUFI 2D. Resultatene viser tydelig at begge konstruksjonene har tilnærmet likt vanninnhold og varierer helt likt gjennom hele simuleringsperioden.

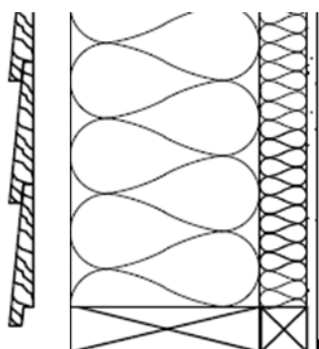


Figur 38: Totalt vanninnhold i identisk modell simulert både i WUFI 1D og WUFI 2D.

Likt vanninnhold i de to simuleringene indikerer at materialene som er valgt har de samme egenskapene med tanke på fuktlagringskapasitet i begge programmene. At vanninnholdet i konstruksjonen varierer helt likt for begge tilfellene over hele simuleringsperioden indikerer at både uteklima og inneklima også er simulert likt i begge programmene.

7.4 KONSTRUKSJONEN OG MATERIALPARAMETERE

Konstruksjonen som simuleres i WUFI 2D er i utgangspunktet den samme konstruksjonen som ble simulert i WUFI 1D, bortsett at en har muligheten til å ta høyde for todimensjonale effekter som for eksempel bindingsverk. Illustrasjon av standardkonstruksjonen som blir modellert i WUFI 2D kan sees i Figur 39.



Figur 39: Illustrasjon av konstruksjonen som er simulert i WUFI 2D.

Standardkonstruksjonen består av ytterkledning av gran, 25 mm luftsjikt, vindsperre, 350 mm mineralull/bunnsvill, dampspærre og innvendig overflatebehandlet gipsplate. Materialenes basisparametere kan sees i Tabell 6.

Tabell 6: Materialparameterne til materialene benyttet i modellen i WUFI 2D.

Materiale	Densitet (Kg/m ³)	Porøsitet (m ³ /m ³)	Spesifikk varmekapasitet (J/kgK)	Varme- konduktivitet (W/mK)	Ekvivalent luftlagstykkelse, S _d (m)
Gran	390	0,75	1600	0,13	0,3 - 1,3
Luftsjikt 25mm					
Vindsperre	130	0,001	2300	2,3	0,1
Mineralull	60	0,95	850	0,04	0,5
Dampspærre					
*PE-folie	130	0,001	2300	2,3	100
*AirGuard Smart	139	0,001	2300	2,9	0,02 - 102,5
Gipsplate	850	0,65	850	0,2	8,3

Skandinavisk gran ||, vinkelrett på fibre

Treverket som er benyttet i bunnsvilla er skandinavisk gran || vinkelrett fibre som finnes i NTNUs materialdatabase i WUFI. Materialeegenskaper for trebaserte produkter avhenger av flere faktorer. Fiberretning, fukttilstand og tidligere fukthistorie må vurderes fra hvert enkelt tilfelle. For skandinavisk gran || er sorpsjonskurven, densiteten og vanndampdiffusjonsmotstanden basert på verdier av nyere dato og er brukt i gjennomføringen av samtlige simuleringer i WUFI 2D.

Luftsjikt 25 mm, uten ekstra fuktlagringskapasitet

I simuleringene i WUFI 1D ble det brukt et luftsjikt som i utgangspunktet ikke egner seg når vanninnhold i konstruksjonen blir brukt til evaluering. Selv om undersøkelsene viste at det ikke hadde noen betydning for resultatene i de endimensjonale simuleringene, er det valgt å gjennomføre de todimensjonale simuleringene med "Luftsjikt 25 mm; without additional moisture capacity". Luftsjiktet gir et mer realistisk fuktinnhold og hygroskopisk treghet sammenlignet med det luftsjiktet som ble benyttet i WUFI 1D. WUFI (2013) oppgir at dette

luftsjiktet kan by på numeriske problemer, men forhåndsberegningene som er utført har ikke vist noen vanskeligheter når det kommer til beregningene. Det er lagt til en ventilasjonsskilde som gir et konstant luftskifte lik 20 l/h.

Mineralull

For mineralull er det benyttet det samme materialet som ble benyttet i de endimensjonale beregningene. Sorpsjonskurven er basert på arbeidet til Stellander (2012) for å unngå problemer med de numeriske beregningene. Det er sorpsjonskurven for SDS som også er benyttet i denne parameterstudien. For nærmere beskrivelse av mineralullen, se kapittel 4.

Dampsperre

To ulike dampsperreprodukter er testet under simuleringene i WUFI 2D, tradisjonell PE-folie og SDSen AirGuard Smart.

PE-folie

PE-folien som er brukt i simuleringene er hentet fra materialdatabasen "Frauenhofer" i WUFI under navnet "vapour retarder ($S_d=100$ m)". Vanddampdiffusjonsmotstanden til PE-folien er konstant lik $S_d=100$ m, uavhengig av relativ fuktighet i omgivelsene.

AirGuard Smart

De todimensjonale simuleringene er gjennomført med kun en type SDS, AirGuard Smart. På samme måte som for de endimensjonale simuleringene er AirGuard Smart lagt inn materialdatabasen manuelt med utgangspunkt i materialet "PA-folie" fra materialdatabasen "Frauenhofer" i WUFI. Basisparametere er forandret med data for AirGuard Smart (DuPont, 2013).

Gipsplate

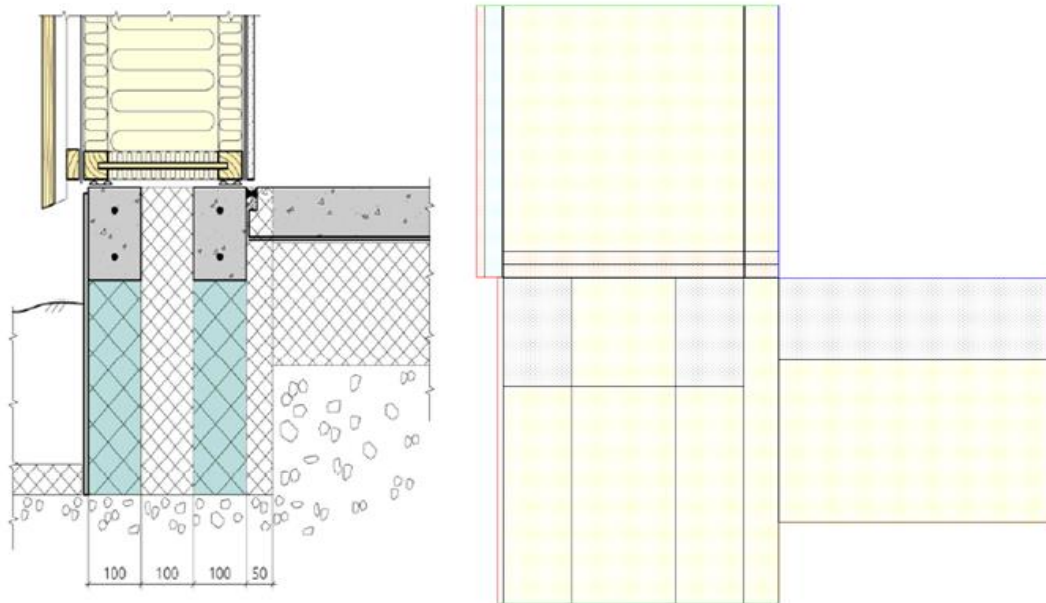
Gipsplaten som er brukt som innvendig kledning er hentet fra materialdatabasen «Frauenhofer» i WUFI. Gipsplaten er overflatebehandlet og har en samlet S_d -verdi lik 0,15 m. For mer informasjon om gipsplaten henvises det til kapittel 4.

OSB-Plate

I den siste parametervariasjonen byttes plastbaserte dampsperreproduktene ut med en OSB-plate. Den samme OSB-platen som ble benyttet i de endimensjonale simuleringene er også brukt i WUFI 2D, Norbor Sterling OSB 3. Produktet finnes ikke i materialdatabasene i WUFI så det er dermed lagt inn manuelt

7.5 ADIABATISKE GRENSER

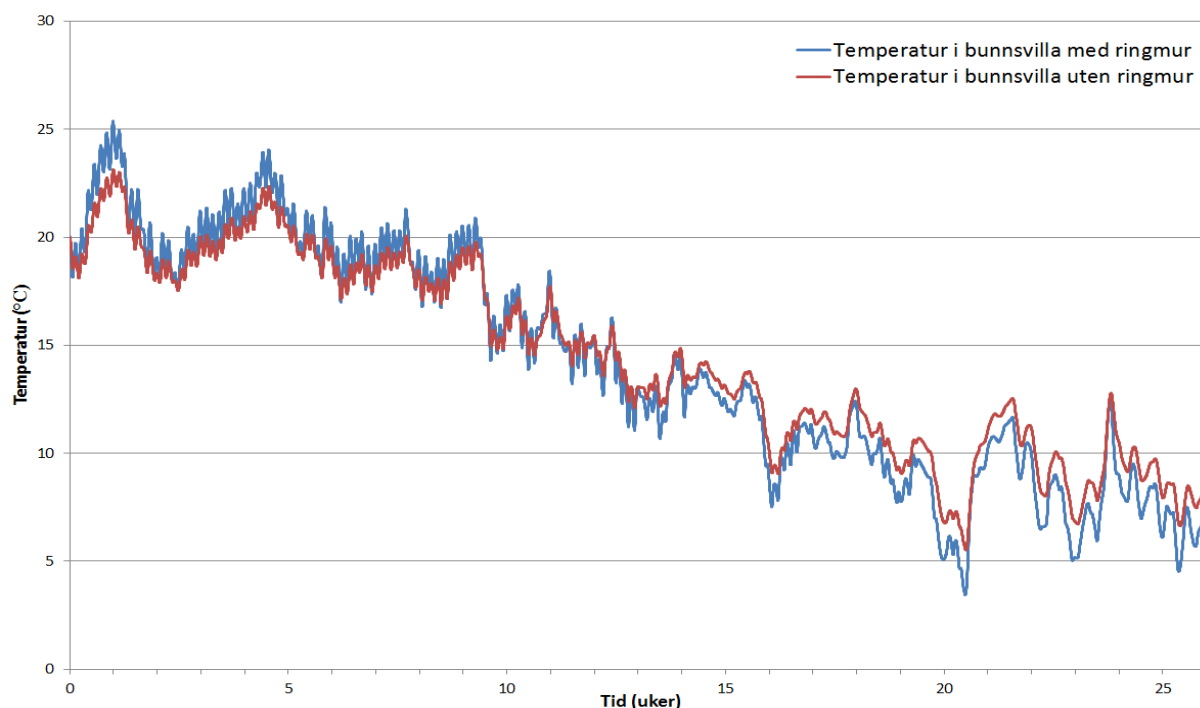
I WUFI 1D kan kun innvendig og utvendig klima påvirkes, da øvre og nedre del av konstruksjonen automatisk blir bestemt som adiabatisk grenser. WUFI 2D derimot åpner opp for blant annet å bestemme forskjellig klima på flere ulike overflater. Dette er interessant da temperaturprofilene i bunnsvilla i stor grad vil være avhengige av om konstruksjonen som modelleres befinner seg i første eller tredje etasje i et bygg.



Figur 40: Illustrasjon av et av Nordic Isoelementer AS sitt ringmursystem (Tu0/Tm100/Ti50) som var først ute med å få SINTEF-godkjent produktet som egnet for bruk i passivhus (Byggforsk, 2010) sammen med detaljen slik den er illustrert i WUFI 2D.

For en bunnsvill som befinner seg i tredje etasje er det rimelig å anta at de adiabatisk grensene kan settes under bunnsvill og et stykke opp i veggen. For å undersøke om denne forenklingen også kan benyttes for konstruksjonen i første etasje ble det gjennomført en presimulering av konstruksjonen plassert på en grunnmur. Detaljen slik den er simulert i WUFI 2D kan sees i Figur 40, hvor grønn farge angir adiabatisk, brun farge undergrunnsklimate, rød farge uteklimate og blå farge angir innvendig klimagrense. Som en forenkling ble grunnforholdene valgt til å holde konstant 5 °C og RF lik 100 % i hele simuleringsperioden. I simuleringene er det ikke benyttet en I-profil, men i stedet en massiv bunnsvill. Det vil mest sannsynlig føre til noe lavere temperaturer ved bunnsvilla.

Resultatene fra simuleringen ble sammenlignet med et tilfelle der den adiabatisk grensen ble plassert direkte under bunnsvilla, og kan sees i Figur 41. Resultatene viser tydelig at det ikke er stor forskjell i temperaturen i bunnsvilla avhengig av om det blir simulert med grunnmur eller ikke. Dette gjelder spesielt i uttørkingsperioden som også er den mest kritiske med tanke på mugg- og råtevekst hvor temperaturen ikke skiller mer enn en til to grader celsius. På bakgrunn av dette anslås det at forenklingen ved å bestemme undersiden av bunnsvillen til adiabatisk grense gir tilstrekkelig nøyaktig resultater i de kommende simuleringene i WUFI 2D.

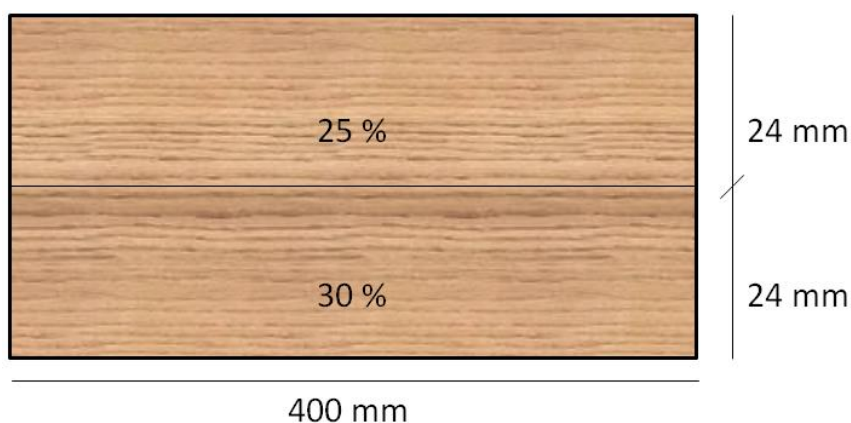


Figur 41: Forskjellen i temperatur i bunnsvilla med og uten grunnmur.

7.6 FUKTFORDELING

I WUFI 1D ble byggfukten simulert ved at all fukten ble fordelt i et 50 mm tykt isolasjonslag, men i WUFI 2D skal fukten fordeles i bunnsvilla. Hvordan denne fukta skal fordeles må bestemmes før beregningene kan starte. Det er ikke realistisk å starte fuktberegningene med jevnt fordelt fuktnivå i hele bunnsvilla (Gaare og Løtveit, 2012).

Fuktinnholdet i bunnsvillen som er benyttet i denne oppgaven er basert på arbeidet utført av Gaare og Løtveit (2012) som undersøkte kritiske verdier for fuktforhold ved lukking av høyisolerte konstruksjoner i bindingsverk av tre. De benyttet to forskjellige tilnærminger i bestemmelsen av fuktfordelingen i bunnsvilla, både gjennom simuleringer i WUFI 2D og fysiske målinger. På bakgrunn av dette er det foreslått en følgende inndeling av bunnsvilla med påfølgende fuktverdier som vist i Figur 42.



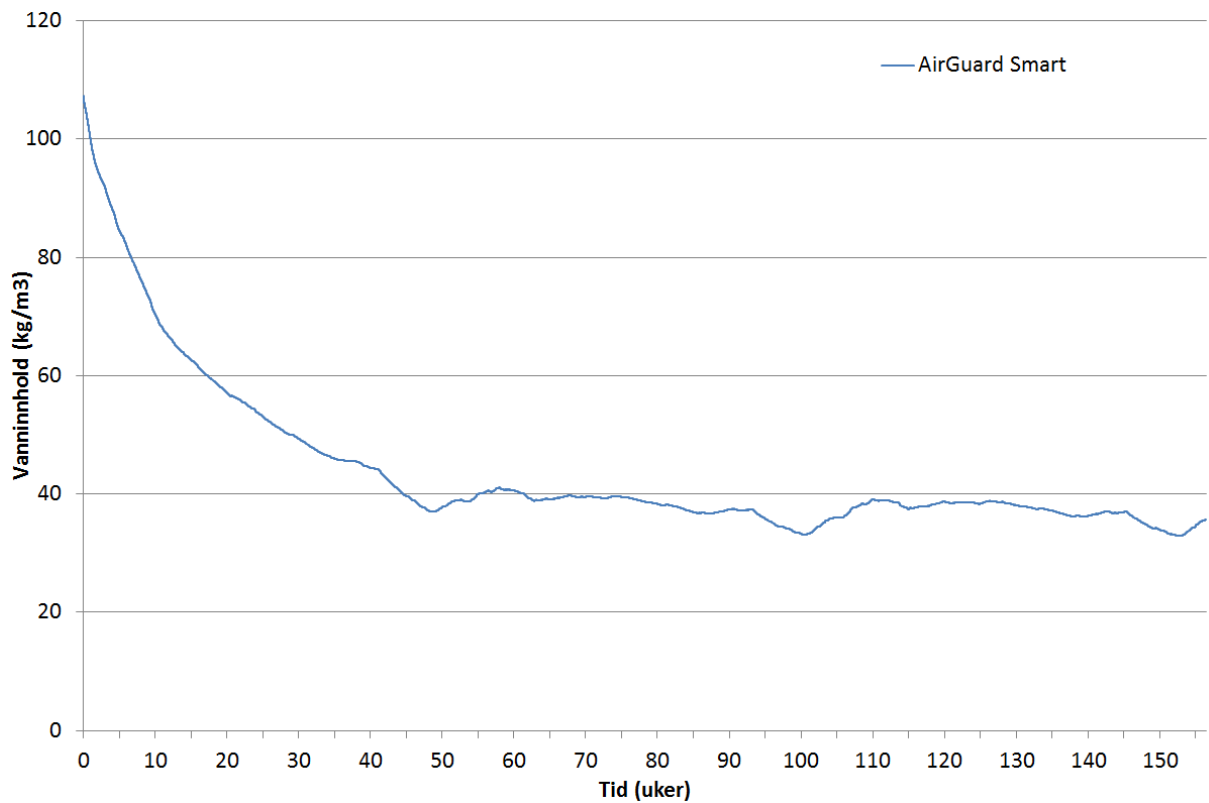
Figur 42: Fuktinnhold (vekt- %) for bunnsvilla som er benyttet i 2D-beregningene i denne oppgaven.

Fuktfordelingen som er valgt i bunnsvilla representerer en realistisk situasjon som kan skje på byggeplass. Etter at bunnsvilla er fastmontert blir den oppfuktet, men før konstruksjonen lukkes rekker den å tørke noe ut. Dermed er fuktinnholdet i bunnsvillas overside noe lavere enn bunnsvillas underside.

Resten av konstruksjonen har et startfuktinnhold som i simuleringene i WUFI 1D, lik 80 %.

7.7 SIMULERINGSPERIODE

I WUFI 1D var uttørkingsperioden for standardkonstruksjonen med AirGuard Smart omtrent 10 uker. I simuleringene i WUFI 2D fordeles byggfukten i bunnsvilla i stedet for et eget kontinuerlig horisontalt sjikt, noe som følgelig vil ha innvirkning på uttørkingstiden til konstruksjonen. Det er ikke like interessant å sammenligne vanninnholdet for hele konstruksjonen når en skal avgjøre uttørkingsperioden i de todimensjonale beregningene. Det er derfor utført presimuleringer av standardkonstruksjonen hvor totalt vanninnholdet i bunnsvilla er registrert over en periode over tre år.



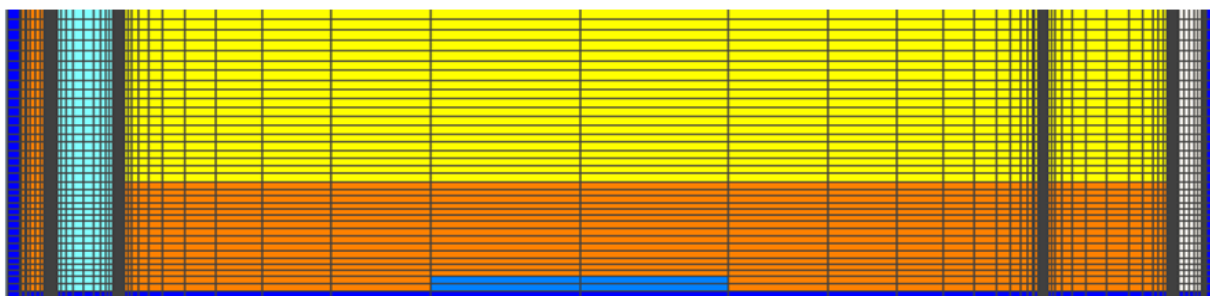
Figur 43: Totalt vanninnhold i bunnsvilla til standardkonstruksjonen over en periode på tre år.

Forhåndssimuleringene viser at det meste av byggfukten er tørket ut og fuktlikevekt oppnådd for standardkonstruksjonen etter omtrent 50 uker. Simuleringsperioden økes derfor fra 26 til 52 uker for de todimensjonale beregningene. Ettersom potensialet for innadrettet uttørking er størst i sommermånedene settes simuleringsstart til første juli.

8 RESULTATER OG VURDERINGER

Det er gjennomført simuleringer i WUFI 2D av standardkonstruksjonen med parametervariasjoner som byggfukt, isolasjonstykkelse, plasseringen av SDS i konstruksjonen og hvor OSB-plate er benyttet som SDS. Hensikten med de todimensjonale beregningene er å undersøke nærmere noen av resultatene fra simuleringene med WUFI 1D. Mer nøyaktige beregninger og muligheten til å simulere betydningen av todimensjonale effekter kan gi en mer korrekt vurdering av hvilken effekt SDS har på uttørkingsevnene til høyisolerte bindingsverksvegger i tre.

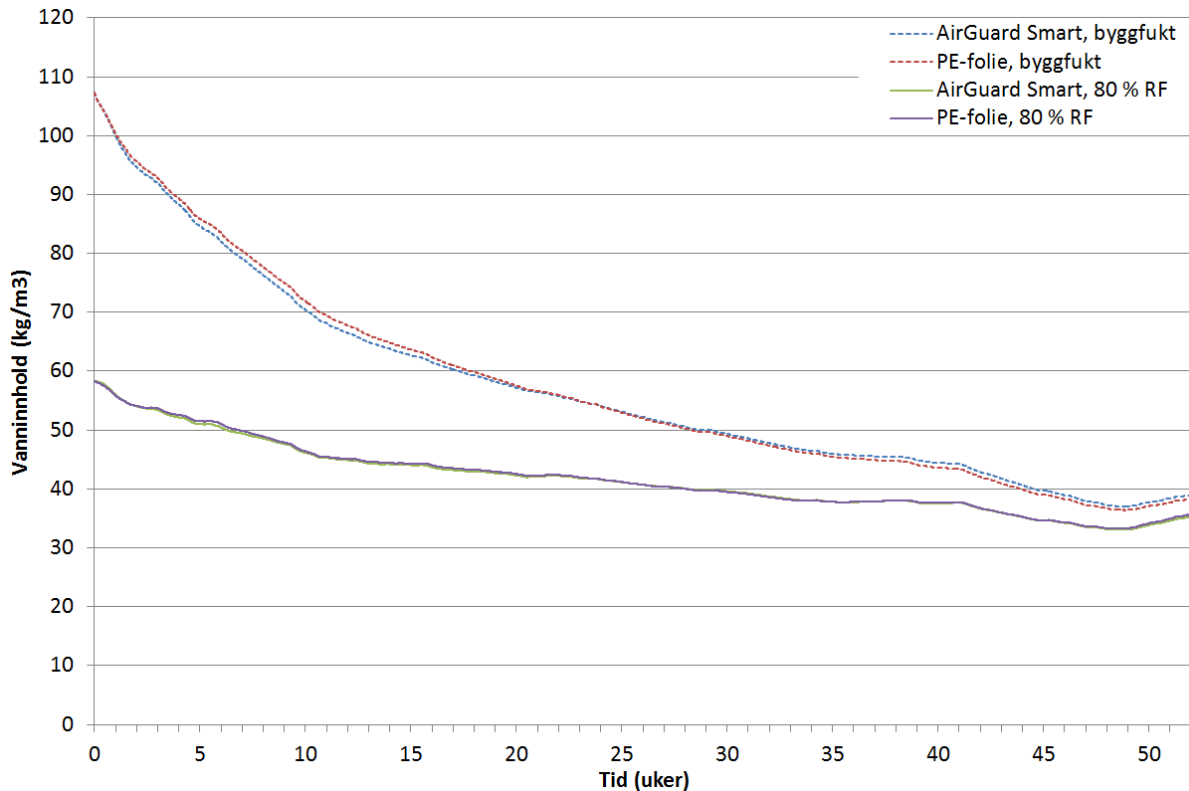
I kapittel 2 viser Figur 4 at bunnsvilla er et av de vanligste skadestedene for mugg og råte. Som for resultatene i WUFI 1D er det valgt å se nærmere på hvordan vanninnholdet varierer over simuleringsperioden, samtidig som kombinasjonen av relativ fuktighet og temperatur blir vurdert for å avgjøre risikoen for mugg- og råtevekst. Da det i WUFI 1D ble sett på hvordan vanninnholdet i hele konstruksjonen varierer, vil det i simuleringene i WUFI 2D bli sett på hvordan vanninnholdet i bunnsvilla varierer. RF og temperatur er registrert på den plassen i bunnsvilla hvor det er mest kritisk for mugg- og råtevekst. Gjennom simuleringer fant Gaare og Løvteit (2012) ut at det mest kritiske punktet i bunnsvilla med tanke på mugg- og råtevekst er midt på bunnsvillas underside. Dataene som benyttes i denne oppgaven er dermed hentet fra punktet som kan sees i blått i Figur 44.



Figur 44: Målepunkt for relativ fuktighet og temperatur i WUFI 2D markert med blått midt på bunnsvillas underside.

8.1 BYGGFUKT

I Figur 45 vises vanninnholdet i konstruksjonene med PE-folie og AirGuard Smart for tilfellet med både høyt startfuktinnhold i bunnsvilla og med 80 % RF jevnt fordelt i hele konstruksjonen. 80 % RF i hele konstruksjonen representerer normal driftsfase.



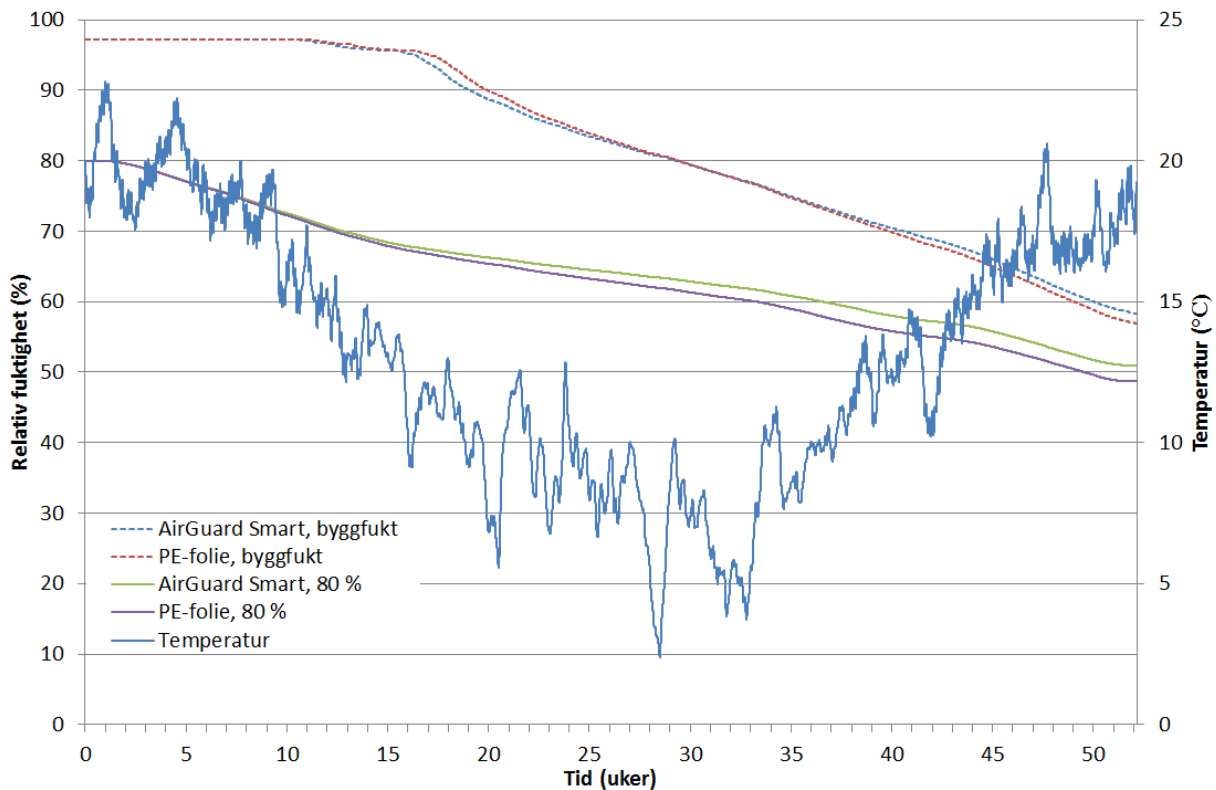
Figur 45: Totalt vanninnhold i bunnsvilla for normal driftsfase og oppfuktet bunnsvill med både PE-folie og AirGuard Smart.

Resultatene fra simuleringen viser at konstruksjonen med høyt startfuktnivå i bunnsvilla i løpet av simuleringsperioden på 52 uker ikke rekker å tørke ut all fukten og innstille seg i fuktlikevekt med omgivelsene. For konstruksjonen hvor bunnsvilla har blitt oppfuktet er uttørkingshastigheten størst de 10 første ukene, for deretter å flate litt ut før vanninnholdet begynner å stige igjen i uke 49. Konstruksjonen med AirGuard Smart har et noe lavere vanninnhold de 15 første ukene sammenlignet med konstruksjonen med PE-folie. På det meste er denne forskjellen omtrent $1,5 \text{ kg/m}^3$, og opptrer etter 10 ukers simulering.

Resultatene for tilfellet med 80 % RF fordelt i hele konstruksjonen viser at vanninnholdet i svært liten grad er avhengig av hva slags type dampsperre som benyttes. De samme tendensene som i WUFI 1D kan observeres hvor vanninnholdet ligger noe lavere for konstruksjonen med AirGuard Smart sommertid.

For å kunne fastslå risikoen for mugg- og råtevekst er relativ fuktighet og temperatur beregnet midt på undersiden av bunnsvilla. Resultatene, som kan sees i Figur 46, viser tydelig at RF er svært høy for konstruksjonen hvor bunnsvilla er godt oppfuktet. I hele 15 uker er det registrert RF mellom 95 og 97,5 % under bunnsvilla, og temperaturen i samme periode varierer mellom $17,5 - 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Mellom uke 15 og 25 har konstruksjonen med AirGuard Smart en noe lavere

RF under bunnsvilla, men uavhengig av type dampsperre når de 80 % RF nøyaktig samtidig etter 28 uker simuleringsperiode.



Figur 46: Relativ fuktighet og temperatur målt midt på undersiden av bunnsvilla for både bunnsvill som har vært oppfuktet og for bunnsvill med normalt fuktinnhold.

For konstruksjonen med 80 % RF i hele snittet er også RF under bunnsvilla avtagende under hele simuleringsperioden, både for konstruksjonen med AirGuard Smart og PE-folie. Det ser ikke ut til at bunnsvilla rekker å inntreffe fuktlikevekt med omgivelsene i løpet av simuleringsperioden.

For begge konstruksjonene, uavhengig av startfuktighet, ser det ut til at når RF synker under en bestemt grense vil ytterveggen med SDS ha høyere RF sammenlignet med veggen med PE-folie. For veggen med startfuktighet lik 80 % RF i hele konstruksjonen inntreffer det etter 10 uker, men for konstruksjonen med oppfuktet bunnsvill inntreffer det ikke før etter 37 uker. Da er RF omtrent 74 %.

Vurdering

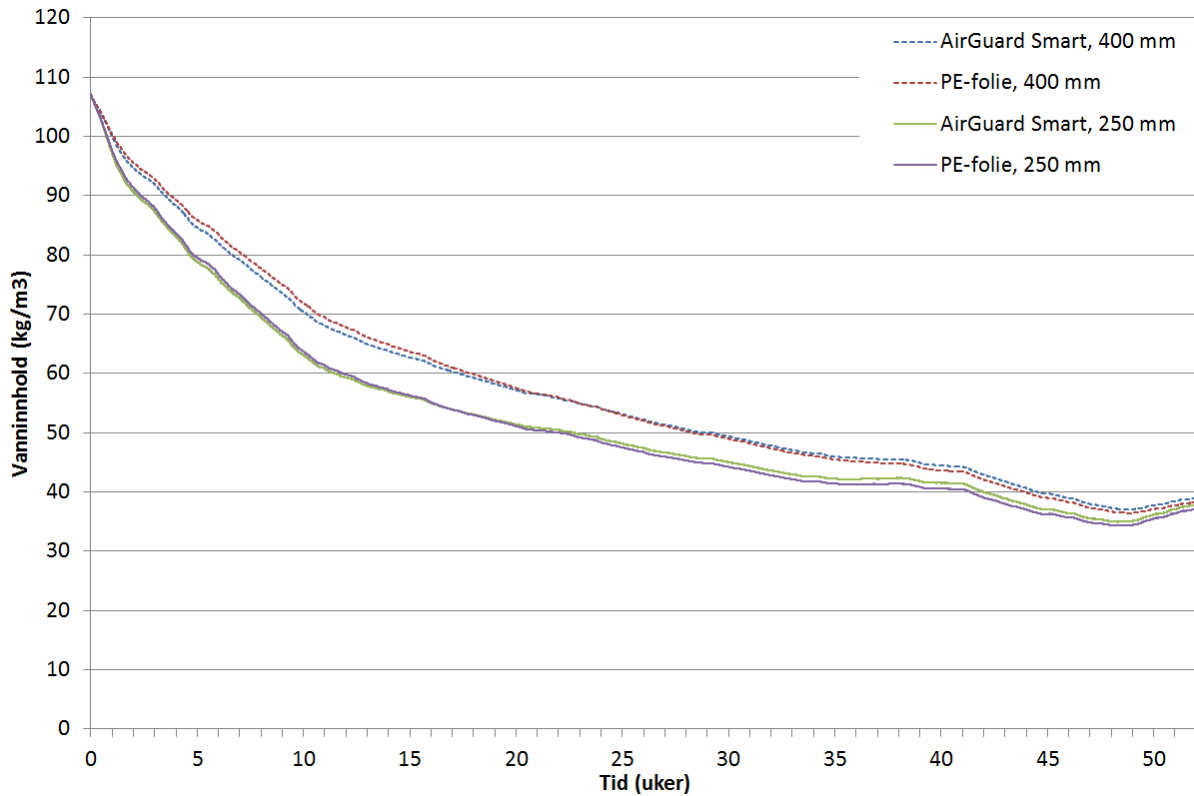
Resultatene fra simuleringene viste ikke stor forskjell i ytterveggens hygrotermiske egenskaper avhengig av hvilken type dampsperre som ble brukt. For konstruksjonen med oppfuktet bunnsvill viser ytterveggen med AirGuard Smart noe raskere uttørkingshastighet den første tiden, men i det som kan karakteriseres som normal driftsfase er vanninnholdet tilnærmet likt.

Risikoen for mugg- og råtevekst i bunnsvilla for den oppfuktede konstruksjonen kan karakteriseres som høy. 15 uker med relativ fuktighet over 95 %, samtidig som temperaturen

varierer mellom 17,5 – 22,5 °C ansees som ekstremt gode vekstvilkår, og råte- og muggsopper vil kunne starte å gro allerede etter få dager. Midt på bunnsvillas underside vil RF være over 80 % i hele 28 uker, og råte- og muggsoppen vil kunne fortsette å vokse i hele denne perioden. Lavere temperaturer de siste ukene kan derimot virke dempende på veksthastigheten.

8.2 ISOLASJONSTYKKELSE

For å undersøke hvilken betydning isolasjonstykkelsen har for effekten av SDS er det gjennomført simuleringer hvor isolasjonstykkelsen er redusert fra 400 mm til 250 mm. Resultatene som viser hvordan vanninnholdet i bunnsvilla forandrer seg i løpet av simuleringsperioden kan sees i Figur 47.

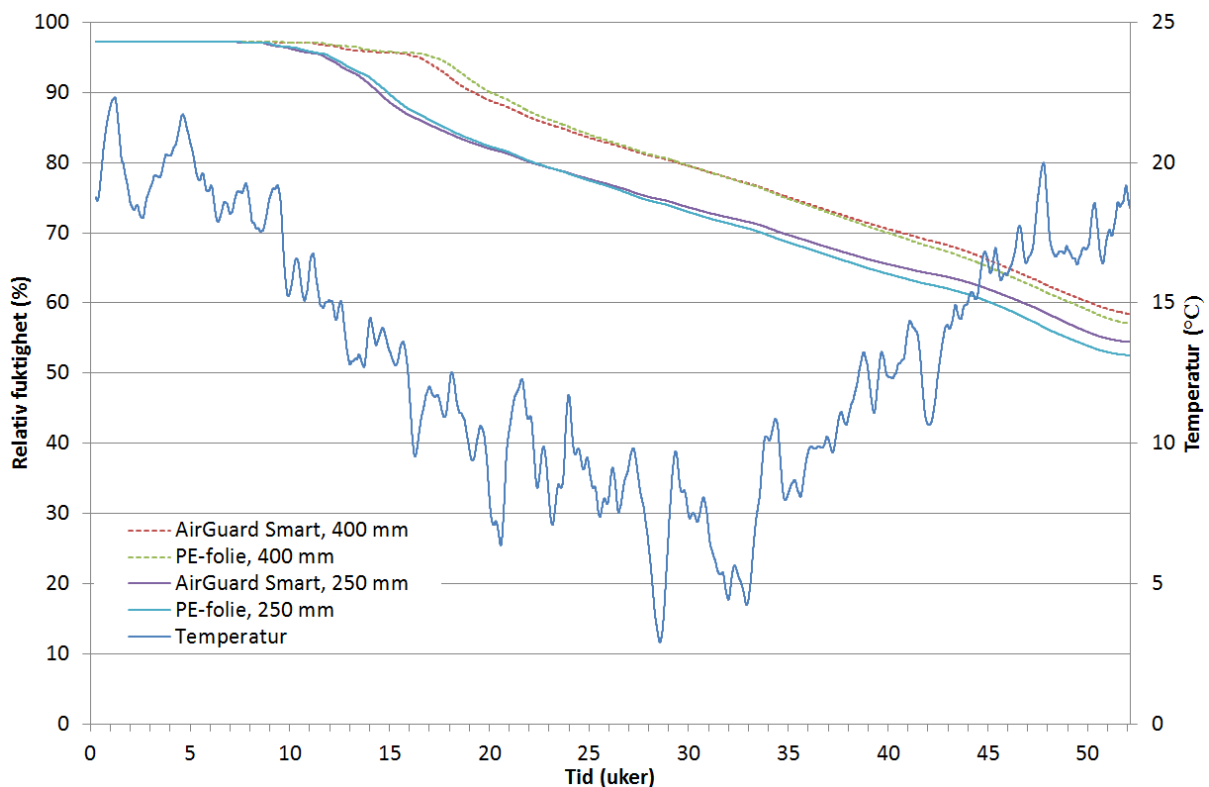


Figur 47: Totalt vanninnhold i bunnsvilla for konstruksjoner med både 250 mm og 400 mm isolasjonstykkelse.

Resultatene viser at når isolasjonstykkelsen reduseres fra 400 mm til 250 mm reduseres samtidig uttørkingstiden. Spesielt de 10 første ukene er uttørkingshastigheten raskere for konstruksjonen med 250 mm isolasjon. Som for standardkonstruksjonen med 400 mm isolasjon er det svært liten forskjell på om konstruksjonen har SDS eller PE-folie. Det er de samme tendensene som kan spores for begge konstruksjonene, men effekten av SDS er noe større for konstruksjonen med 400 mm. Under de første ukene med uttørking er vanninnholdet i konstruksjonene med AirGuard Smart noe lavere sammenlignet med PE-folien, men når vanninnholdet synker til omtrent 50 kg/m^3 skifter dette. Da er vanninnholdet i konstruksjonene med AirGuard Smart noe høyere resten av simuleringsperioden.

De samme tendensene er å se på resultatene over relativ fuktighet og temperatur i Figur 48. Det er ikke stor forskjell på om konstruksjonene benytter AirGuard Smart eller PE-folie, men derimot stor forskjell på 250 mm og 400 mm isolasjonstykkelse. Konstruksjonen med 250 mm har tørket ut til 80 % RF etter 21 uker sammenlignet med 29 uker for konstruksjonen med 400 mm. De åtte første ukene har begge konstruksjonene lik RF under bunnsvilla lik 97 %,

uavhengig av type dampsperre. Temperaturen i samme periode varierer mellom 17,5 – 22,5 °C.



Figur 48: Relativ fuktighet og temperatur under bunnsvilla for isolasjonstykkelse 400 mm og 250 mm.

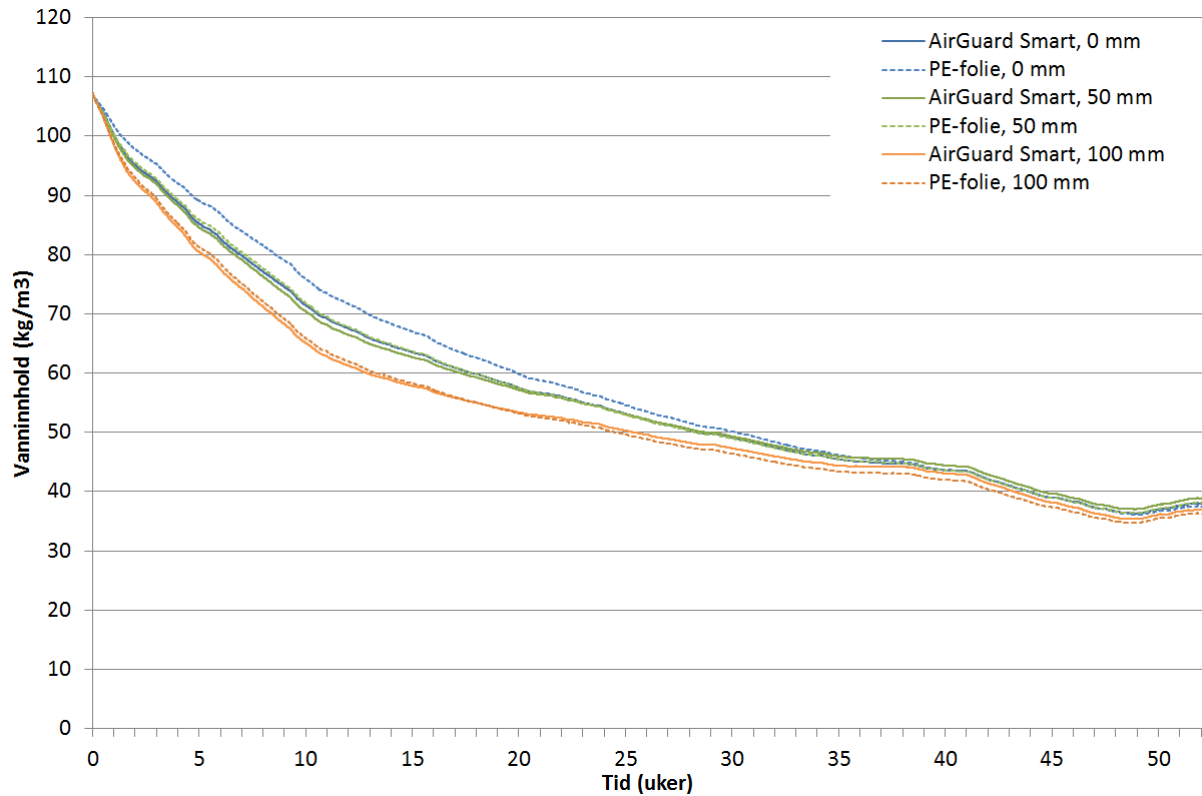
Når RF synker til under omtrent 75 % har begge konstruksjonene mer AirGuard Smart noe høyere verdi sammenlignet med PE-folie resten av simuleringsperioden.

Vurdering

Risikoen for mugg- og råtevekst er veldig høy de 9 første ukene, da både RF og temperatur befinner seg i gunstig område. Denne risikoen er helt uavhengig av om konstruksjonen bruker AirGuard Smart eller PE-folie, men skyldes det høye startfuktnivået som er valgt i bunnsvilla. At konstruksjonene med AirGuard Smart har høyere RF siste halvdel av simuleringsperioden har ikke så stor betydning for risikoen for vekst av råte- og muggsopp, da RF uansett er under 80 % på det tidspunktet. Konstruksjonen kan derimot få dårligere isoleringsevne ved høyere fuktnivå. Årsaken til de noe høyere verdiene er mest sannsynlig at AirGuard Smart er mer dampåpen og dermed slipper fuktighet inn i konstruksjonene vinterstid.

8.3 PLASSERING AV SDS I KONSTRUKSJONEN

Som nevnt innledningsvis i kapittel 2 vil temperaturfallet over konstruksjonen bli større når isolasjonstykkelsen øker. Lavere temperatur gir høyere relativ fuktighet og dermed en mer dampåpen SDS i konstruksjonen. I Figur 49 vises vanninnholdet i bunnsvilla for konstruksjoner med ulik plassering av dampsperra.

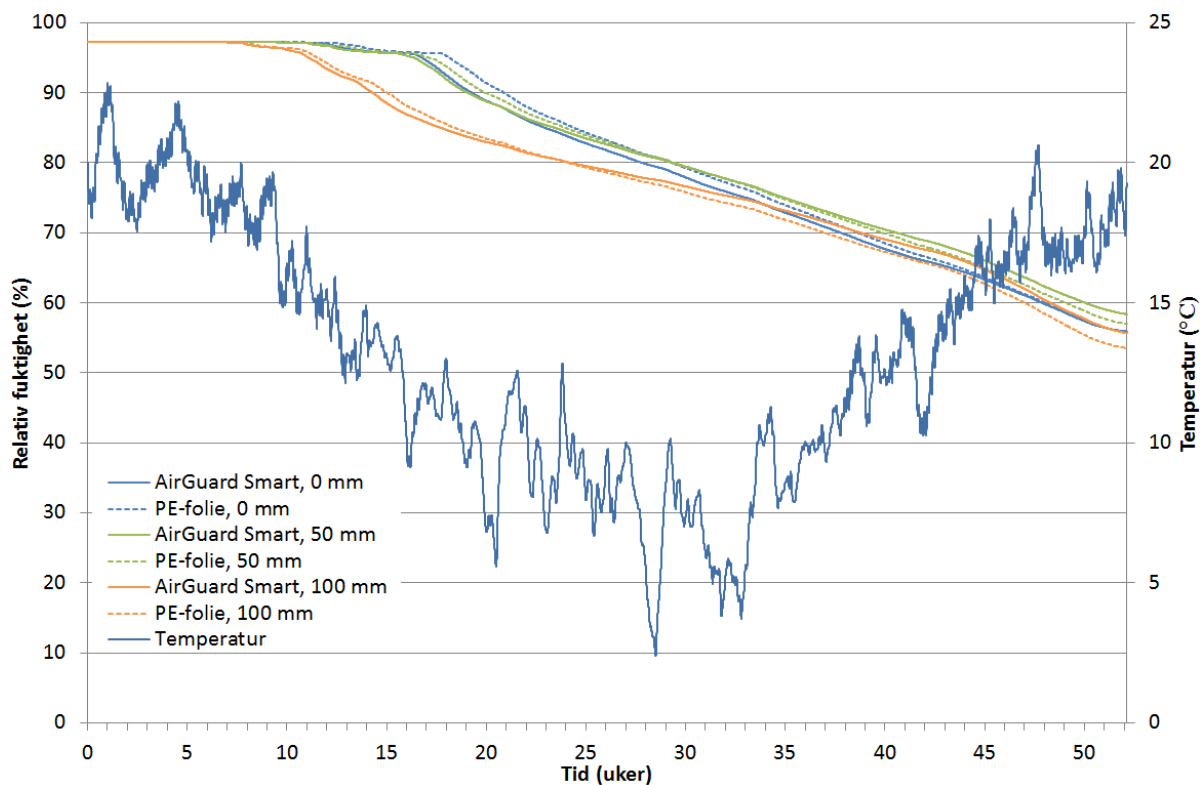


Figur 49: Totalt vanninnhold i bunnsvilla når dampsperra er plassert 0 mm, 50 mm og 100 mm fra innvendig side.

Resultatene viser at plassering av dampsperra i kombinasjon med type dampsperre har betydning for uttørkingshastigheten til bunnsvilla. AirGuard Smart plassert et stykke inn i isolasjonen ser ut til å gi raskest uttørkingshastighet den første tiden. For konstruksjonen med PE-folie direkte bak innvendig gipsplate tar det 19 uker å redusere vanninnholdet til 60 kg/m^3 , sammenlignet med 12 uker for konstruksjonen med AirGuard Smart 100 mm inn i isolasjonen. Forskjellen i vanninnholdet for konstruksjonen med PE-folie og AirGuard Smart er størst når dampsperra er plassert direkte bak gipsplata, og på det meste skiller det 4 kg/m^3 .

For konstruksjonen med dampsperra plassert 100 mm fra innvendig side er vanninnholdet noe lavere med AirGuard Smart enn med PE-folie de første 17 ukene. Resten av simuleringsperioden skifter dette, og vanninnholdet er noe lavere for konstruksjonen med PE-folie.

Relativ fuktighet og temperatur under bunnsvilla kan leses av grafene i Figur 50. Temperaturprofilen for de ulike konstruksjonene er tilnærmet like, dermed vises kun temperaturen for standardkonstruksjonen.



Figur 50: Relativ fuktighet og temperatur for tilfellene med dampperra plassert 0 mm, 50 mm og 100 mm fra innvendig side.

Resultatene viser at for alle plasseringene av dampperrisjiktet starter konstruksjonene med AirGuard Smart uttørkingen tidligere sammenlignet med PE-folie, og at de tørker ut til 90 % RF mellom en til to uker raskere. Derimot for konstruksjonene med dampperra 50 mm og 100 mm inn i isolasjonen er tiden det tar å tørke ut til 80 % RF uavhengig av type dampperra. Der dampperra er plassert direkte bak gipsplaten tar det en uke lengre for PE-folie enn for AirGuard Smart.

Effekten av flytte dampperrisjiktet 100 mm inn i isolasjonssjiktet er positiv. Uttørkingen starter etter 10 uker, omtrent 6 uker tidligere enn for de to andre plasseringene. Etter 23 uker er RF under 80 %, sammenlignet med 27 og 28 uker for konstruksjonene med dampperrisjiktene 0 mm og 50 mm fra innvendig side.

Vurdering

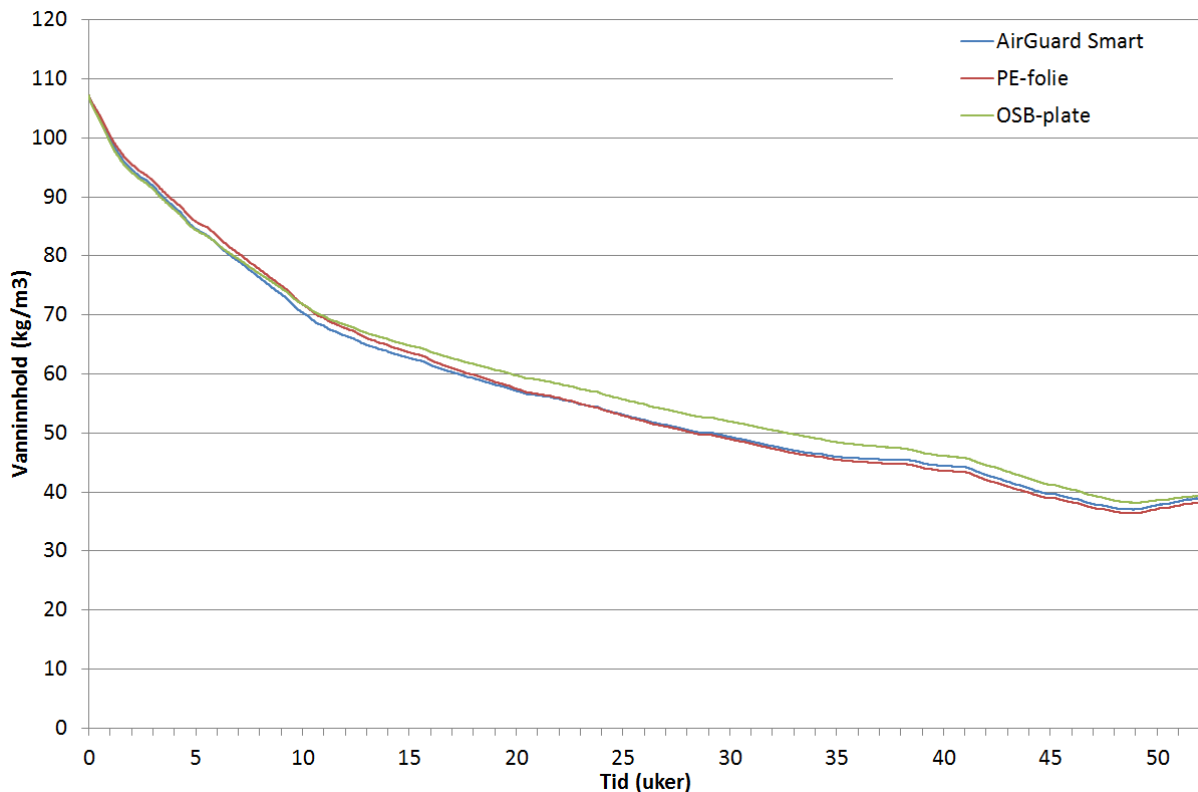
Grunnen til at det er effektivt å flytte dampperrisjiktet inn i isolasjonssjiktet skyldes mest sannsynlig at en større andel av ytterveggen vil møte mindre motstand for innadrettet uttørking da fukten slipper å passere dampperra. Risikoen for kondens øker samtidig som dampperrisjiktet flyttes lengre inn i isolasjonen, men 100 mm i en yttervegg med 400 mm isolasjon er innenfor byggforsk sin anbefaling på maksimalt ¼ inn av total isolasjonstykkelse.

Risikoen for mugg- og råtevekst er stor for alle konstruksjonene. Relativ fuktighet over 80 % i 23 uker og hvor samtidig temperaturen ved flere anledninger er over 20 °C gir gode vekstvilkår for råte- og muggsopp. 10 uker med over 95 % RF er mer enn godt nok for at råte-

og muggsoppen skal begynne å gro, og så lenge RF er over 80 % vil soppen kunne fortsette å vokse.

8.4 OSB som SDS

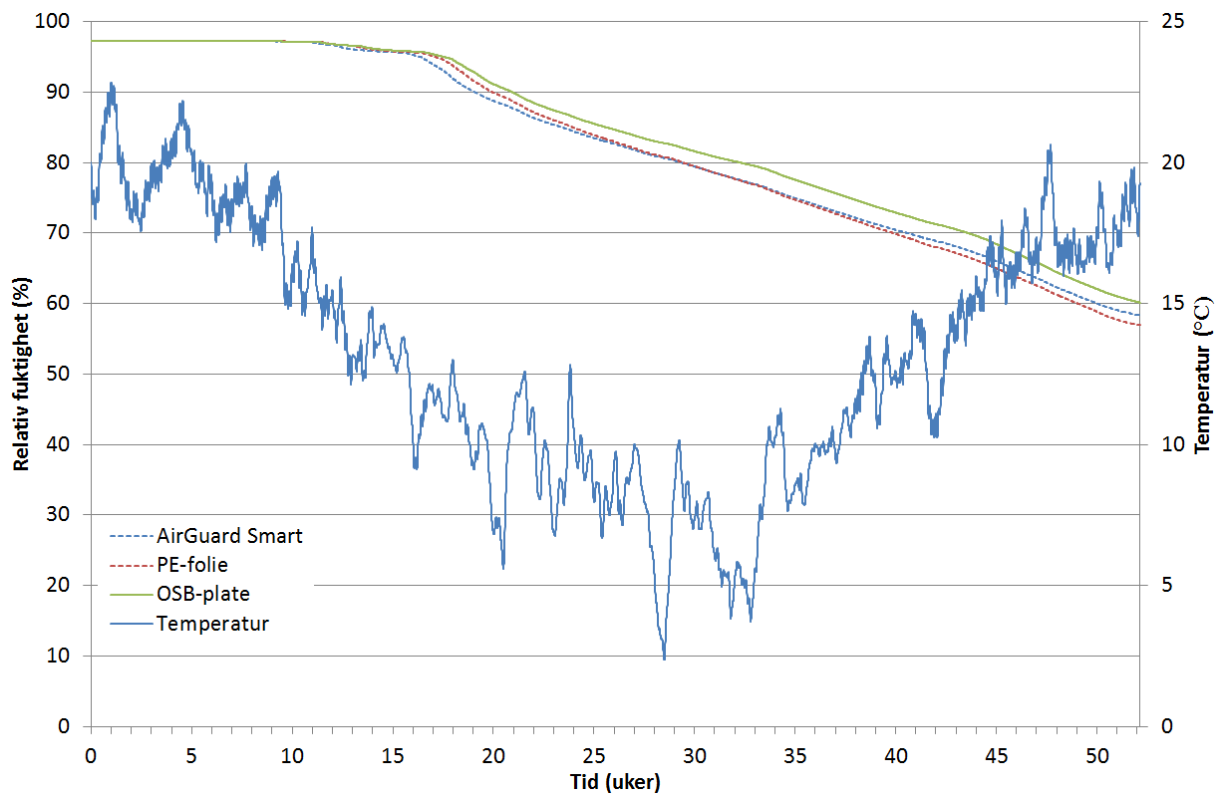
I enkelte tilfeller kan det være aktuelt å bytte ut de plastbaserte dampsperrere med trebaserte produkter, som for eksempel en OSB-plate. Resultatene fra de endimensjonale simuleringene i WUFI 1D viste at konstruksjonen med OSB-plate som SDS hadde langsom uttørkingstid og innstilte seg på et høyere vanninnhold sammenlignet med AirGuard Smart og PE-folie. I Figur 51 vises vanninnholdet i bunnsvilla for konstruksjoner med AirGuard Smart, PE-folie og OSB-plate som dampsperre.



Figur 51: Totalt vanninnhold i bunnsvilla for konstruksjonene med AirGuard Smart, PE-folie og OSB-plate som dampsperre

Resultatene viser at uttørkingshastigheten til bunnsvilla er ganske lik for de tre dampsperrere. Faktisk har konstruksjonen med OSB-plata noe lavere vanninnhold i bunnsvilla de ni første ukene sammenlignet med konstruksjonen med PE-folie. Konstruksjonen med AirGuard Smart og OSB-plata har likt vanninnhold de 6 første ukene av simuleringen, men så reduseres uttørkingshastigheten til konstruksjonen med OSB-plata og vanninnholdet synker ikke like fort som med AirGuard Smart. Etter uke ni viser resultatene at vanninnholdet i bunnsvilla til konstruksjonen med OSB-plata ligger noe høyere enn de to andre konstruksjonene resten av simuleringstiden.

I Figur 52 vises RF og temperatur målt under bunnsvilla i konstruksjonene med AirGuard Smart, PE-folie og OSB-plate. Alle konstruksjonene har lange perioder med både høy RF samtidig med høy temperatur. Blant annet viser resultatene at alle konstruksjonene ligger over 95 % RF i 15 uker samtidig som temperaturen ved flere anledninger er over 20 °C i den samme perioden.



Figur 52: Relativ fuktighet og temperatur simulert under bunnsvilla for konstruksjonene med AirGuard Smart, PE-folie og OSB-plata som dampsperre.

Konstruksjonene med AirGuard Smart og PE-folie tørker ut til 80 % RF etter 28 uker, men det tar hele 31 uker for konstruksjonen med OSB-plata.

Vurdering

Det tar 3 uker lenger tid for konstruksjonen med OSB-plata å tørke ut til 80 % RF under bunnsvilla sammenlignet med konstruksjonene med AirGuard Smart og PE-folie. Under disse tre ukene varierer temperaturen mellom 2,5 – 10 °C som er litt for lavt for at vekstvilkårene for mugg og råte skal være ideelle.

Til tross for noe høyere vanninnhold og RF i konstruksjonen med OSB-plata, er nok ikke risikoen for mugg- og råtevekst i bunnsvilla særlig høyere sammenlignet med de to andre konstruksjonene. Om bunnsvilla først er fuktet så mye opp tørker den ikke raskt nok ut samme hvilken dampsperre som benyttes.

8.5 OPPSUMMERING

Standardkonstruksjonen med høyt og lavt startfuktninnhold fordelt i bunnsvilla er simulert med AirGuard Smart og tradisjonell PE-folie. I driftsfasen, 80 % RF i hele sjiktet, er vanninnholdet tilnærmet likt og dermed uavhengig av type dampsperre. Under bunnsvilla er derimot RF noe høyere store deler av simuleringsperioden for konstruksjonen med AirGuard Smart. Til tross for dette er det ikke noe som tyder på at det er noen ulempe å benytte AirGuard Smart fremfor PE-folie, da RF uansett er godt under kritisk fuktnivå for mugg- og råtevekst. For konstruksjoner med høyt startfuktninnhold var det svært liten forskjell på hvilken type dampsperre som ble benyttet, både når det gjaldt vanninnhold i og RF under bunnsvilla. Begge typene hadde en periode på 15 uker med RF mellom 95 og 97 %, og når temperaturen er mellom 15 og 20 °C ligger alt til rettet for vekst av råte- og muggsopp. Konstruksjonene med høyt startfuktnivå og med AirGuard Smart og PE-folie når 80 % RF samtidig, etter 28 uker.

For å kunne undersøke hvilken innvirkning økt isolasjonstykkelse har på effekten av SDS, er standardkonstruksjonen simulert med isolasjonstykkelse 250 mm. Resultatene fra simuleringene viste at effekten av SDS i uttørkingsperioden ble mindre når isolasjonstykkelsen ble redusert fra 400 mm til 250 mm. Uavhengig av både isolasjonstykkelse og type dampsperre er det svært sannsynlig at det vil forekomme vekst av råte- og mugesopp da det er 97 % RF de åtte første ukene av simuleringen samtidig som temperaturen ligger omkring 20 °C.

Plasseringen av dampsperrersjiktet har betydning for uttørkingshastigheten til bunnsvilla og risikoen for vekst av råte- og muggsopp. Konstruksjonen med dampsperra 100 mm inn i isolasjonssjiktet tørker ut raskere enn konstruksjonen hvor dampsperra ligger direkte bak innvendig gipsplate. Det er derimot ikke noe som tyder på at effekten av SDS blir bedre ved å flytte den fra 50 mm inn i konstruksjonen til 100 mm inn i konstruksjonen. Forskjellen mellom AirGuard Smart og PE-folie ser ut til å være den samme. Uansett plassering og dampsperre er det meget sannsynlig at råte- og muggsopp vil starte og vokse under bunnsvilla ettersom RF er 97 % i minimum syv uker.

OSB-plater viser noen av de samme tendensene som SDS når det kommer til varierende damp tetthet, men blir mest sannsynlig litt for dampåpne til å kunne anbefales fremfor plastproduktene som benyttes i dag. Resultatene viste at RF under bunnsvilla lå noe høyere sammenlignet med AirGuard Smart og PE-folie fra uke 10 og ut simuleringsperioden, og brukte tre uker lenger på å tørke ut til 80 % RF. Det ser ut til at alle konstruksjonene innstiller seg på det samme vanninnholdet i slutten av simuleringsperioden.

9 KONKLUSJON

Denne masteroppgaven har studert hvordan smarte dampsperrer påvirker uttørkingsevnen til høyisolerte bindingsverksvegger i tre. Resultatene viser at smarte dampsperrer har en positiv effekt på uttørkingsevnen, men at denne i stor grad er avhengig av en rekke forhold.

De endimensjonale simuleringene representerer tilfeldige lekkasjer i bruksfasen, og resultatene viser generelle fordeler ved bruken av SDS i bindingsverksvegger. Standardkonstruksjonen viser raskere uttørking med SDS sammenlignet med PE-folie, og det er tydelig at effekten av SDS blir større ved økende isolasjonstykkelse. En bindingsverksvegg med 400 mm isolasjon og SDS viste nøyaktig samme uttørkingshastighet som en vegg med 250 mm isolasjon og PE-folie.

Ytterveggenes hygrotermiske egenskaper er ikke nevneverdig dårligere i driftsfasen med SDS sammenlignet med PE-folie. Riktignok er vanninnholdet i konstruksjonen noe høyere vinterstid, men det utgjør ingen større risiko for mugg- og råtevekst. Om derimot innvendig overflatebehandling blir for damp tett, vil ytterveggen med SDS oppleve høy RF på baksiden av innvendig gipsplate.

Bunnsvilla er den delen av ytterveggen som er mest utsatt for vekst av mugg- og råtesopp. De todimensjonale simuleringene viser hvilken effekt SDS har på uttørkingen av bunnsvilla, og hvordan den påvirker risikoen for mikrobiell vekst på bunnsvillas underside.

Resultatene viser at effekten av SDS ikke er like stor for fuktforholdene i bunnsvilla som den er for konstruksjonen i de endimensjonale simuleringene. Riktignok presterer konstruksjonene med SDS noe bedre i uttørkingsperioden sammenlignet med PE-folie, men forskjellene er så små at de ikke har noen betydning for risikoen for vekst av mugg- og råtesopp. Bunnsvillas uttørkingsevne viser en positiv effekt når dampsperrsjiktet plasseres et stykke inn i isolasjonen, men den er uavhengig av type dampsperre. Det er også gjennomført simuleringer hvor en OSB-plate ble benyttet som SDS, og resultatene viser at fuktforholdene i bunnsvilla i svært liten grad påvirkes av hvilken type dampsperre som benyttes.

Den tradisjonelle byggemetoden som SINTEF byggforsk anbefaler for bindingsverksvegger viser gode hygrotermiske egenskaper med PE-folie, og SDS kan virke overflødig. Om en derimot er tvunget til å velge løsninger med dårligere uttørkingsevne viser veggene med SDS i de aller fleste tilfeller langt bedre uttørkingsevne enn PE-folie og reduserer risikoen for vekst av råte- og muggsopp.

10 VIDERE ARBEIDER

I denne rapporten er det kun gjennomført endimensjonale og todimensjonale simuleringer. Eventuelle tredimensjonale effekter er dermed ikke inkludert. Gjennom laboratorieforsøk eller tredimensjonale simuleringer vil disse effektene inkluderes og en vil kunne gi et mer realistisk bilde av hvordan SDS påvirker uttørkingsevnen.

Simuleringsprogrammet som er benyttet inkluderer kun fukttransport ved diffusjon. Det anbefales at videre forsøk på SDS i bindingsverkskonstruksjoner også inkluderer fukttransport ved konveksjon.

Byggfukten i de todimensjonale simuleringene ble fordelt i bunnsvilla, og resultatene viste at SDS ikke hadde betydelig effekt på uttørkingsevnen eller risikoen for råte- og muggvekst i bunnsvilla. Trolig vil SDS ha større effekt om byggfukten ble fordelt i stenderverket, ettersom fukten da blir fordelt i hele dampsjiktets høyde. Dette er ikke simulert i denne oppgaven, og bør undersøkes nærmere.

Simuleringsstart er i alle simuleringene 1.juli. Dette er fordelaktig for innadrettet uttørking på grunn av mer solinnstråling og høyere temperaturer i ytterveggen. Trolig ville risikoen for mugg- og råtevekst vært enda større om simuleringsstart hadde blitt valgt til en kaldere tid på året.

Alle simuleringene er gjennomført med en type SDS, AirGuard Smart. Resultatene vil kunne vise andre verdier om andre typer SDS benyttes. Ettersom SDS varierer damptettheten etter RF i omgivelsene, kan det tenkes at det gjennom videre arbeider kan utvikles en ideell SDS.

Undersøkelsene i denne oppgaven er begrenset til høyisolerte bindingsverksvegger over terreng. Yttervegger under terreng og bindingsverksvegger i fritidsboliger med periodevis oppvarming er konstruksjoner hvor det kan være aktuelt å benytte SDS. Effekten av SDS i slike konstruksjoner burde undersøkes nærmere.

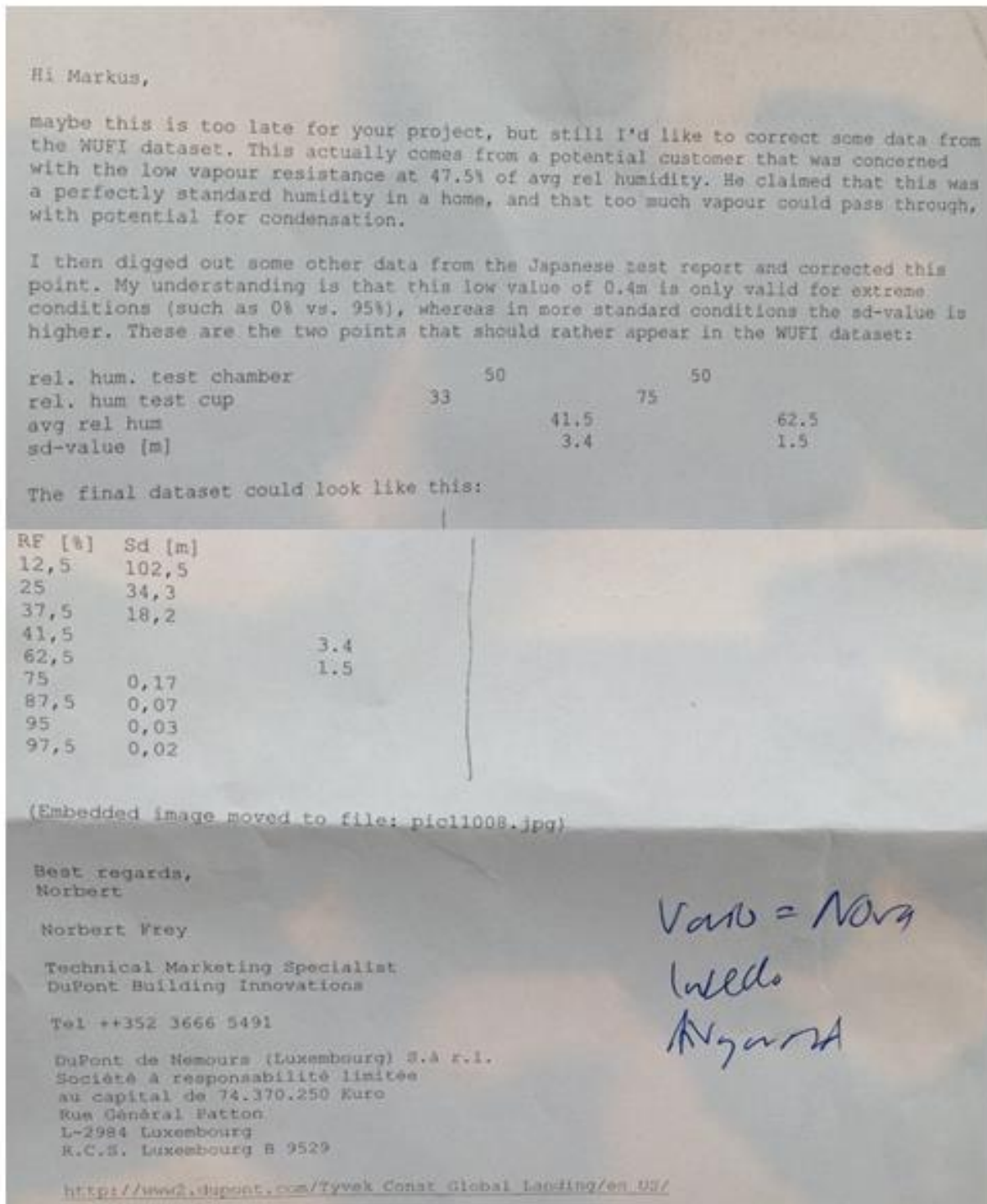
11 REFERANSER

- BUXBAUM, C., SEILER, A. og PANKRATZ, O. 2007. Hygrothermal performance of passive house wallsystems - simulation and monitoring. *11th Canadian Conference on Building Science and Technology, Alberta*.
- BYGGFORSK, S. 2010. Teknisk Godkjenning Nordic Ringmursystem. *Teknisk Godkjenning*. Trondheim.
- BYGGFORSKERIEN 2010. 700.110 Byggskader. Oversikt. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- BYGGFORSKSERIEN 1999. OSB-plater. Typer og egenskaper. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- BYGGFORSKSERIEN 2003. 573.121 Materialer til luft- og damptetting. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- BYGGFORSKSERIEN 2005a. 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- BYGGFORSKSERIEN 2005b. 701.401 Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for innklimaet. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- BYGGFORSKSERIEN 2006. 474.533 Byggfukt. Uttørking og forebyggende tiltak. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- BYGGFORSKSERIEN 2007a. 523.255 Bindingsverk av tre. Varmeisolering og tetting. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- BYGGFORSKSERIEN 2007b. 542.003 Totrinnstetting mot slagregn på fasader. Luftede kledninger og fuger. Oslo: SINTEF byggforsk.
- BYGGFORSKSERIEN 2007c. 720.082 Råte- og fargeskadesopp. Skadetyper og utbedring. . Oslo: Sintef byggforsk.
- BYGGFORSKSERIEN 2008. 523.002 Yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- DOKKA, T. H., KLINSKI, M., HAASE, M. og MYSEN, M. 2009. *Prosjektrapport 42 - Kriterier for passivhus- og lavenergibygg - Yrkesbygg*, Oslo, SINTEF byggforsk.
- DUPONT. 2013. *Dupont AirGuard Smart - AVCL with variable vapour resistance* [Online]. <http://www.siginsulation.co.uk/Literature/Airguard%20Smart%20flyer%20final.pdf>: Dupont. [Accessed 18.05.2013 2013].
- GAARE, M. og LØTVEIT, K. 2012. *Kritiske fuktforhold ved lukking av høyisolerte konstruksjoner i bindingsverk av tre*. Masteroppgave, NTNU.
- GATLAND, S. D., MURRAY, C., KARAGIOZIS, A. N. og UENO, K. 2007. The hygrothermal performance of wood-framed wall systems using a relative humidity-dependent vapor retarder in the Pacific Northwest. *Proceedings of ASHRAE X International Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, Clearwater Beach, Florida, USA*.
- GEVING, S. 1997. *Beregningsprogrammer for fuktt teknisk analyse av bygningskonstruksjoner*, Trondheim, Norges byggforskinstitutt.
- GEVING, S. 2012. Forelesningsfoil TBA 4171: Moisture in buildings - Walls and facades.
- GEVING, S. 2013a. Fuktskader - bakgrunn. *Seminar om Fuktproblematikk og vedlikehold i offentlige bygninger*. Vestfold.
- GEVING, S. 2013b. Smart vapour barriers for the building envelope: A state-of-the-art-review.
- GEVING, S. og HOLME, J. 2010. *Prosjektrapport 53 - Høyisolerte konstruksjoner og fukt*, Oslo, SINTEF byggforsk.
- GEVING, S., HOLME, J. og JENSSEN, J. A. 2008. Indoor air humidity in Norwegian houses. *Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries* vol. 2.
- GEVING, S., HOLME, J. og UVSLØKK, S. 2010. *Prosjektrapport 65 - Alternative dampsperrer med uttørkingmulighet mot innelufta*, Oslo, SINTEF akademisk forlag.
- GEVING, S. og THUE, J. V. 2002. *Håndbok 50 - Fukt i bygninger.*, Oslo, Norges byggforskningsinstitutt.
- GLAVA. 2013. *Teori fukt* [Online]. Glava. Available: <http://www.glava.no/bolig-fritidsbolig/teori/fukt/> [Accessed 15.03 2013].

- HBC 2008. Amroc Vindtæt. 8 mm Amroc cementspånplader anvendt som vindstandsede lag bag en ventileret regnskærm. (http://www.moland-danmark.dk/Sites/UserDefined/HBC/Folders/Produktoversigt/Amroc/Teknik/D108_Amroc_Vindtaet_bekl..pdf).
- ICOPAL. 2008. *Hygrodiode. Ny dynamisk dampspærre* [Online]. Icopal. Available: <http://www.icopal.dk/upload/Products/5FD7E6C107FBAF7AC125724A0036B6A8/3001Hygrodiode1208lowres.pdf> [Accessed 15.03 2013].
- KÜNZEL, H. M. 1996. Humidity controlled vapour retarders reduce risk of moisture damages. *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*. Espoo, Finland.
- MILJØVERNDEPARTEMENTET 2012. Meld. St. 21 Norsk klimapolitikk. Oslo: Det Kongelige Miljøverndepartement.
- ORGANIZATION, W. M. 2013. *Climatological Information* [Online]. World Meteorological Organization. Available: <http://www.worldweather.org> [Accessed 01.02 2013].
- STANDARD-NORGE 2010. NS 3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger. Lysaker: Standard Norge.
- STANDARD-NORGE. 2012. *Utfordringer med fukt i bygninger* [Online]. www.standard.no: standard.no. Available: <http://www.standard.no/no/Nyheter-og-produkter/Nyhetsarkiv/Bygg-anlegg-og-eiendom/2012/Utfordringer-med-fukt-i-bygninger-skal-standardiseres/> [Accessed 25.05 2013].
- STANDARD-NORGE 2013. NS 3700 : 2013. Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Boligbygninger. Lysaker: Standard Norge.
- STELLANDER, M. 2011. Litteraturundersøkelse vedrørende smarte dampsjikt med uttørkingsmulighet mot innelufta. Trondheim: NTNU.
- STELLANDER, M. 2012. *Smarte dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta*. Master, NTNU.
- TARIKU, F., MAREF, W., LENARDO, B. D. og GATLAND, S. 2009. Hygrothermal performance of RH-dependent vapour retarder in a Canadian coastal climate.
- THUE, J. V., OUSTAD, M. og GUSTAVSEN, A. 2007. WUFI 1D Pro 4.1 Brukermanual.
- WUFI 2013. WUFI. Holzkirchen, Tyskland: Fraunhofer Institut für Bauphysik.

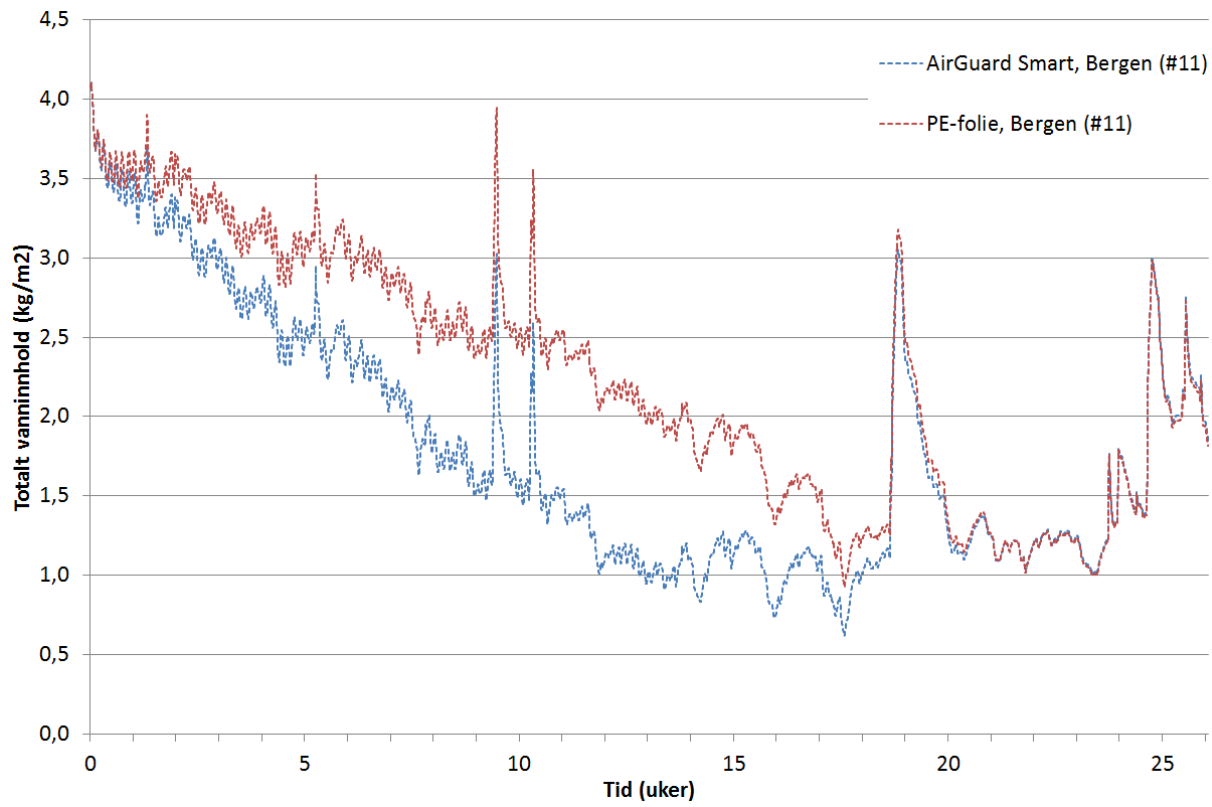
12 VEDLEGG

12.1 NYE VERDIER AIRGUARD SMART

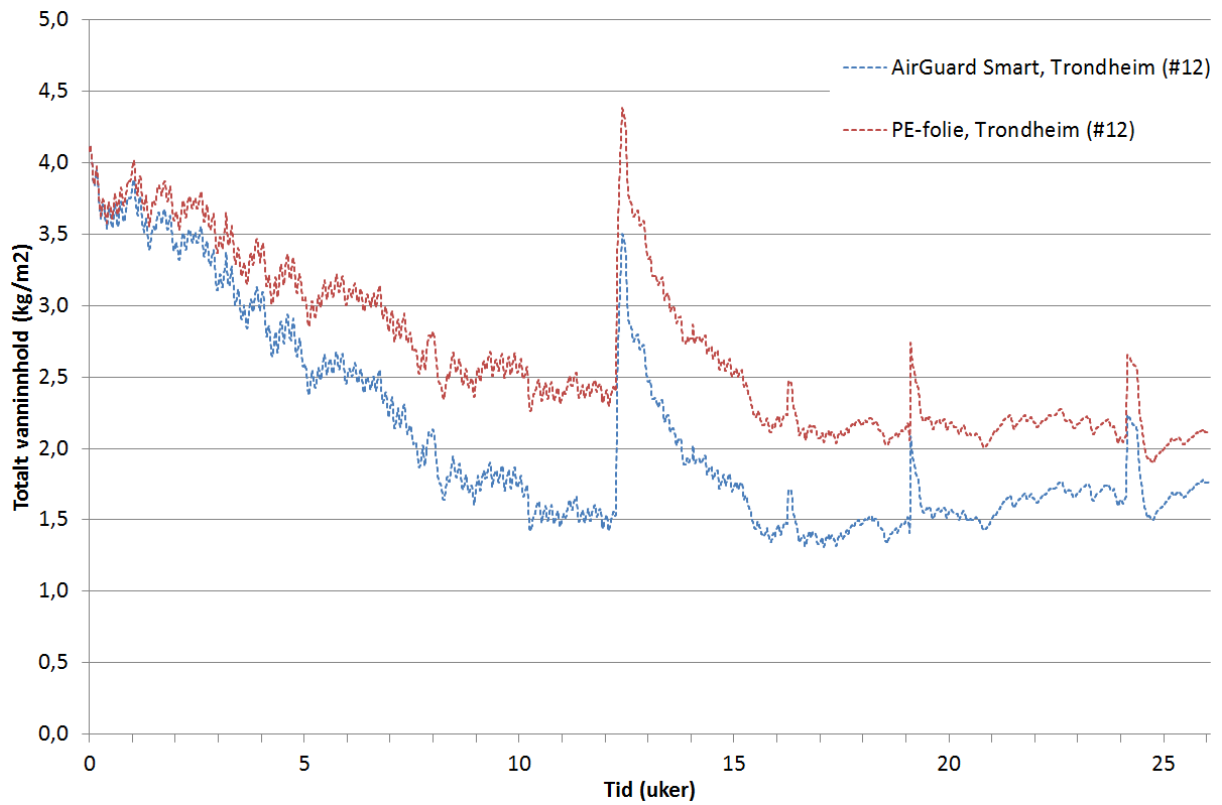


Figur 53: Nye Sd-verdier for AirGuard Smart. Mailkorrespondanse mellom Markus Støllander og Norbert Frey i DuPont.

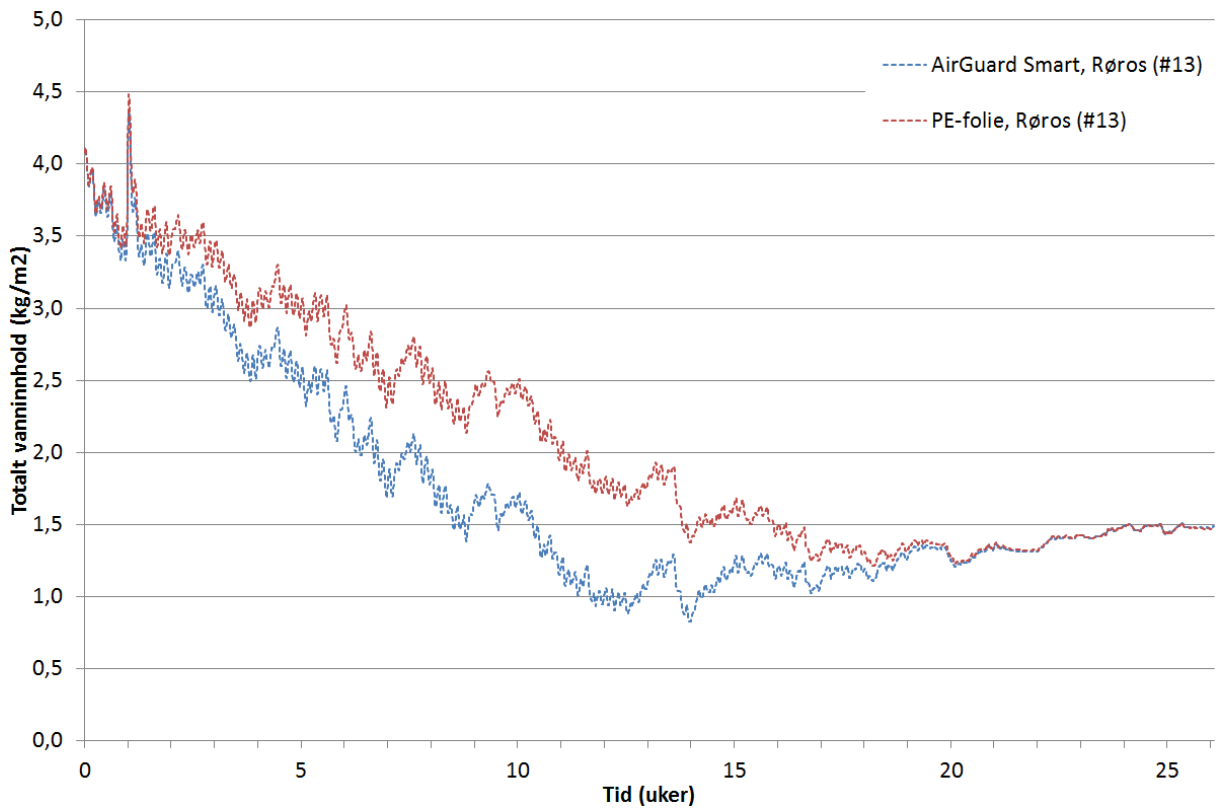
12.2 VANNINNHOLD WUFI 1D



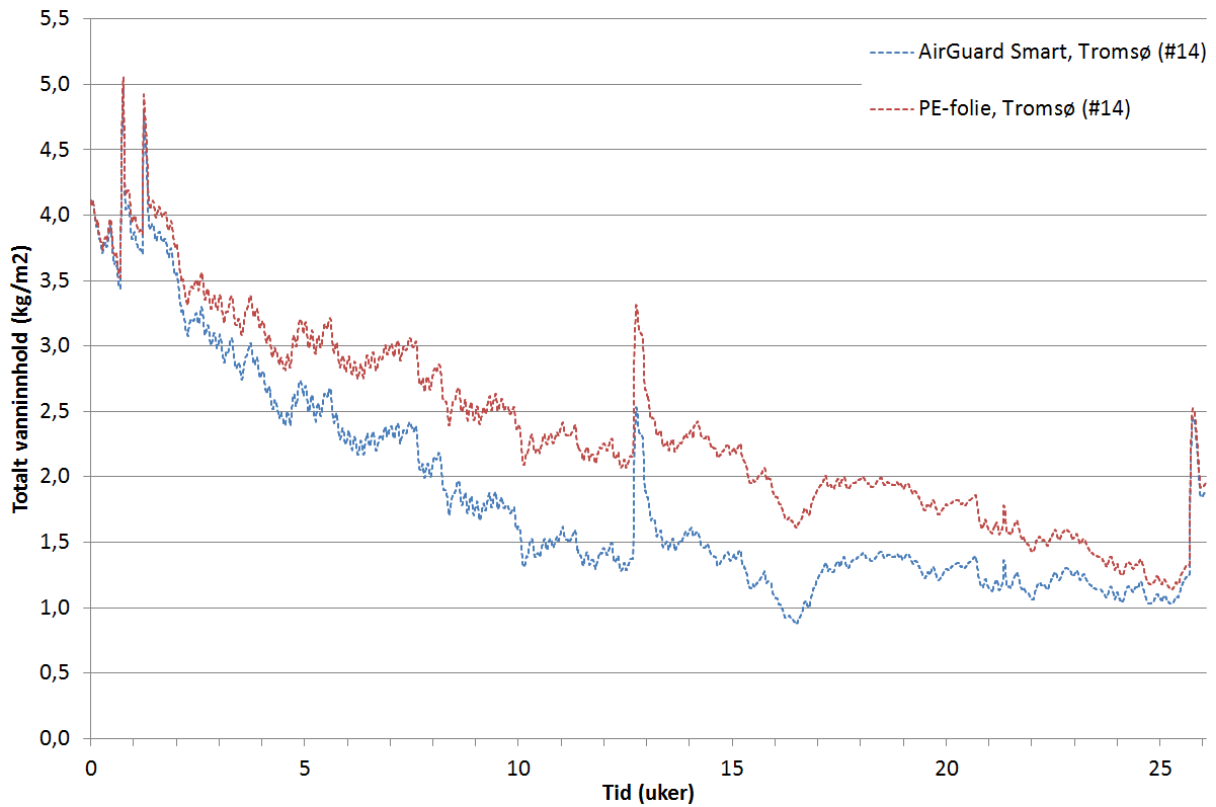
Figur 54: Totalt vanninnhold for konstruksjonen i Bergen (#11).



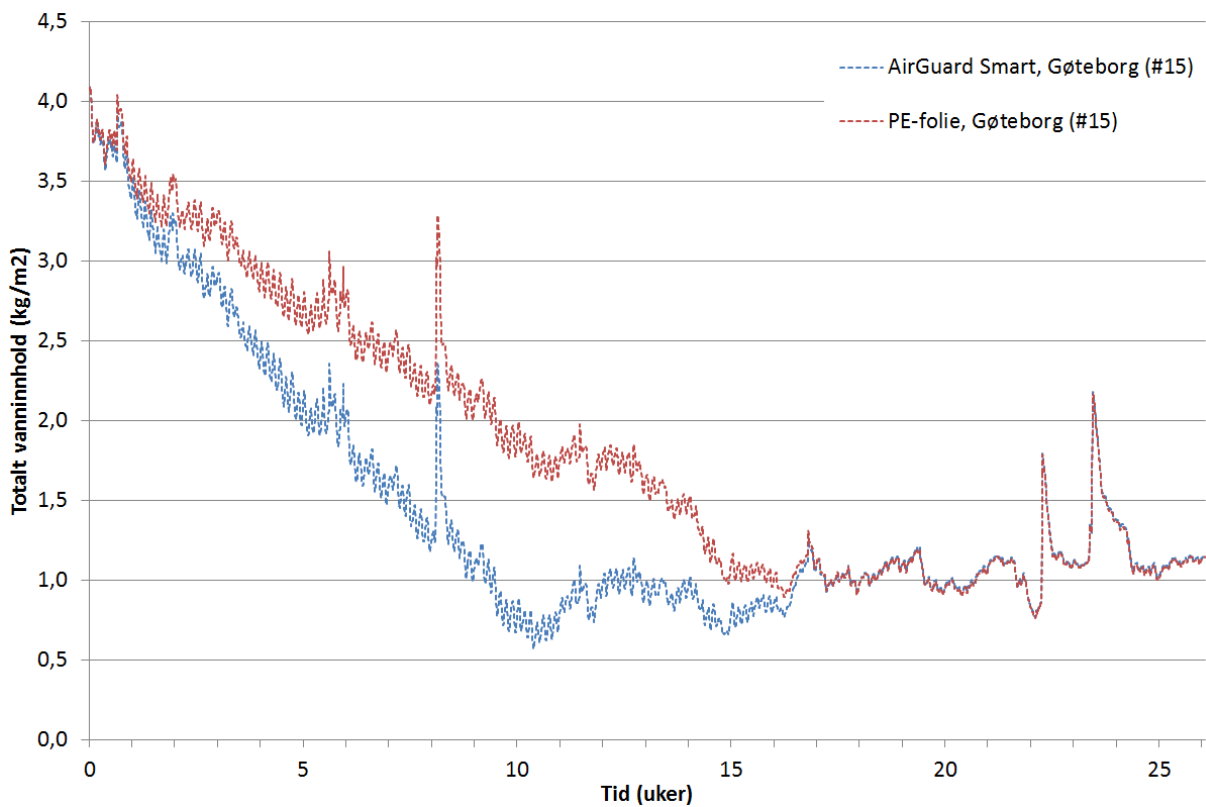
Figur 55: Totalt vanninnhold for konstruksjonen i Trondheim (#12).



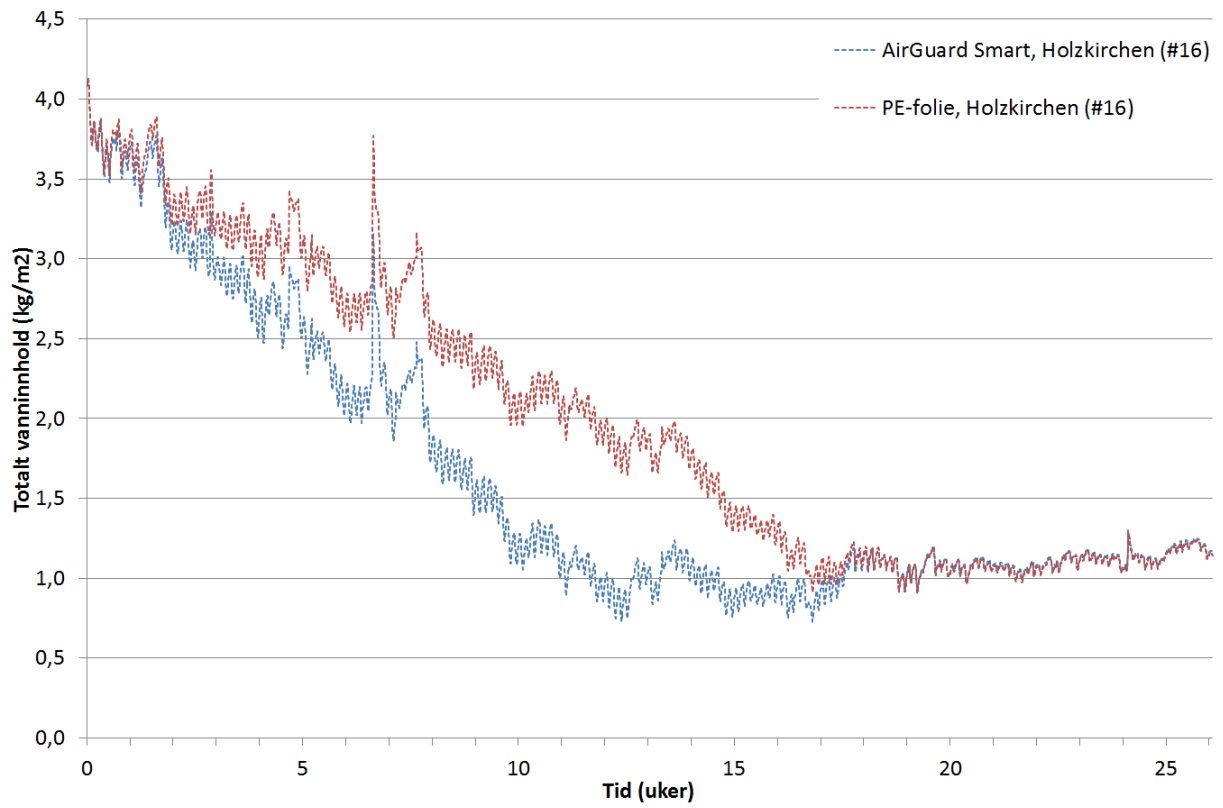
Figur 56: Totalt vanninnhold for konstruksjonen i Røros (#13).



Figur 57: Totalt vanninnhold for konstruksjonen i Tromsø (#14).

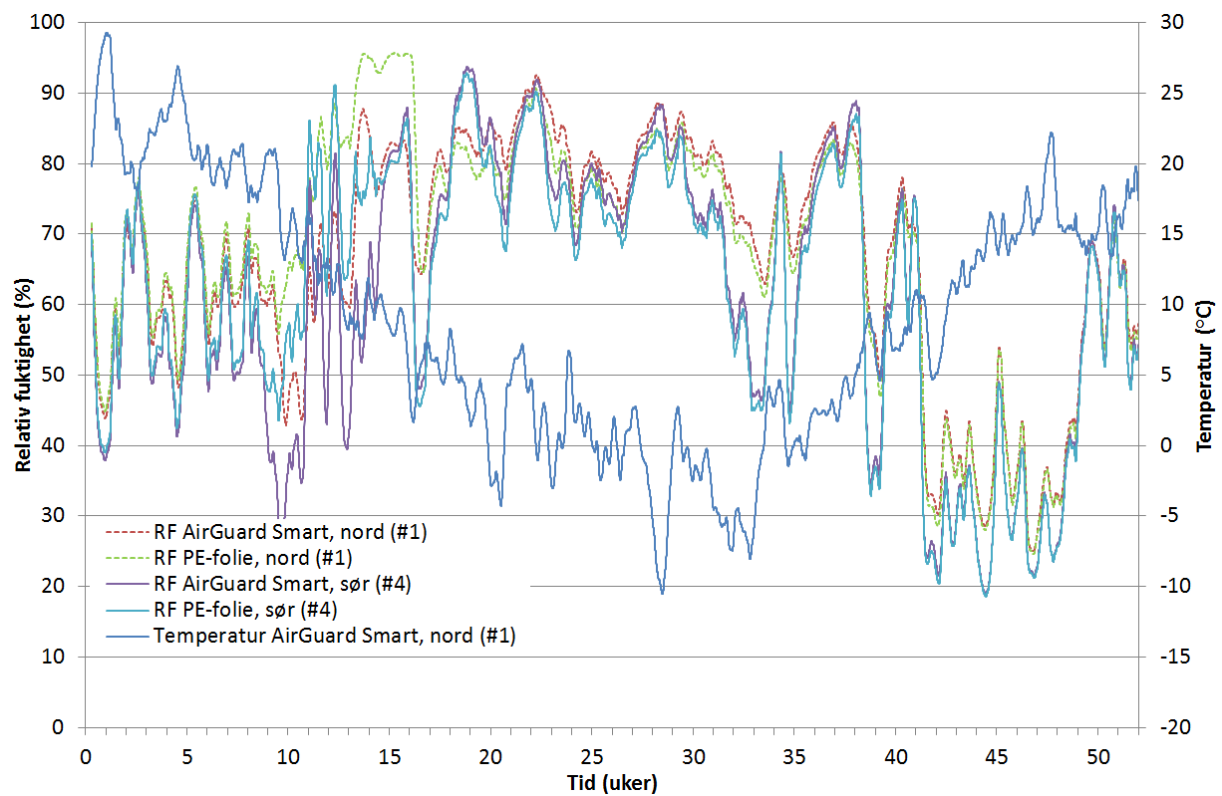


Figur 58: Totalt vanninnhold for konstruksjonen i Gøteborg (#15).

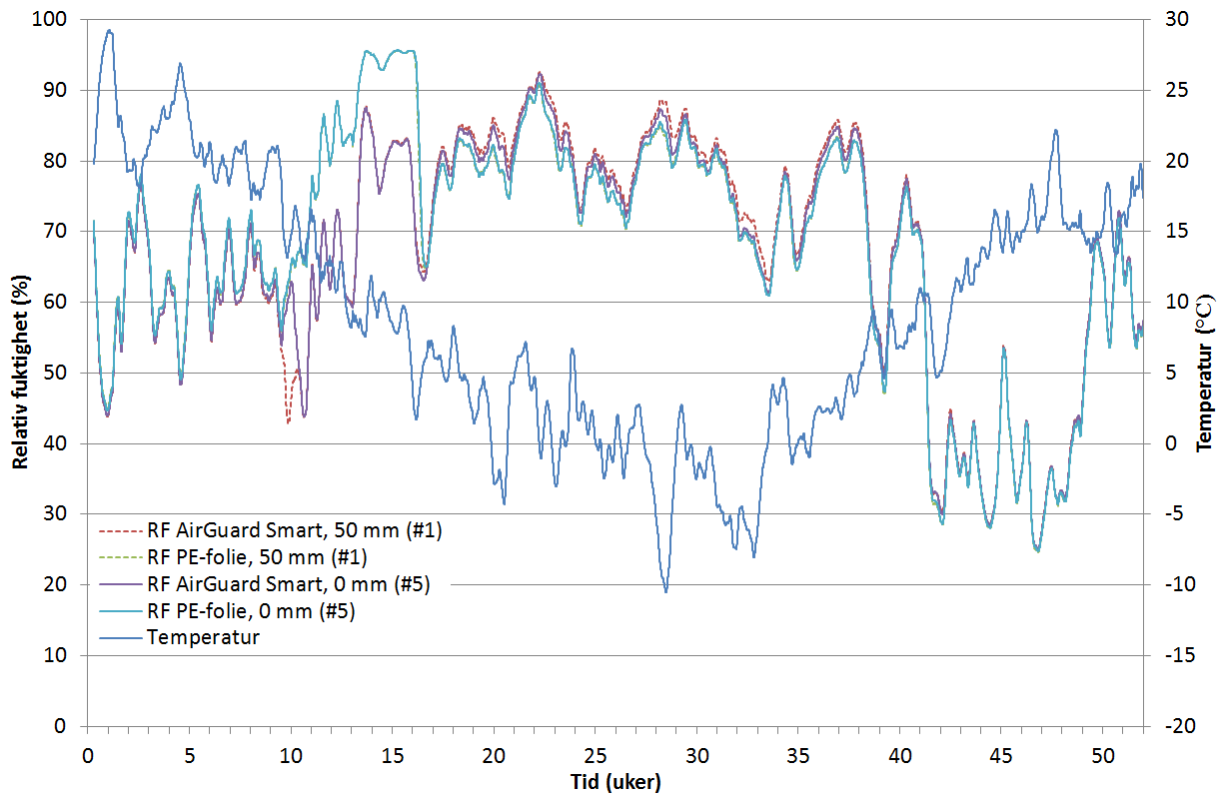


Figur 59: Totalt vanninnhold for konstruksjonen i Holzkirchen (#16).

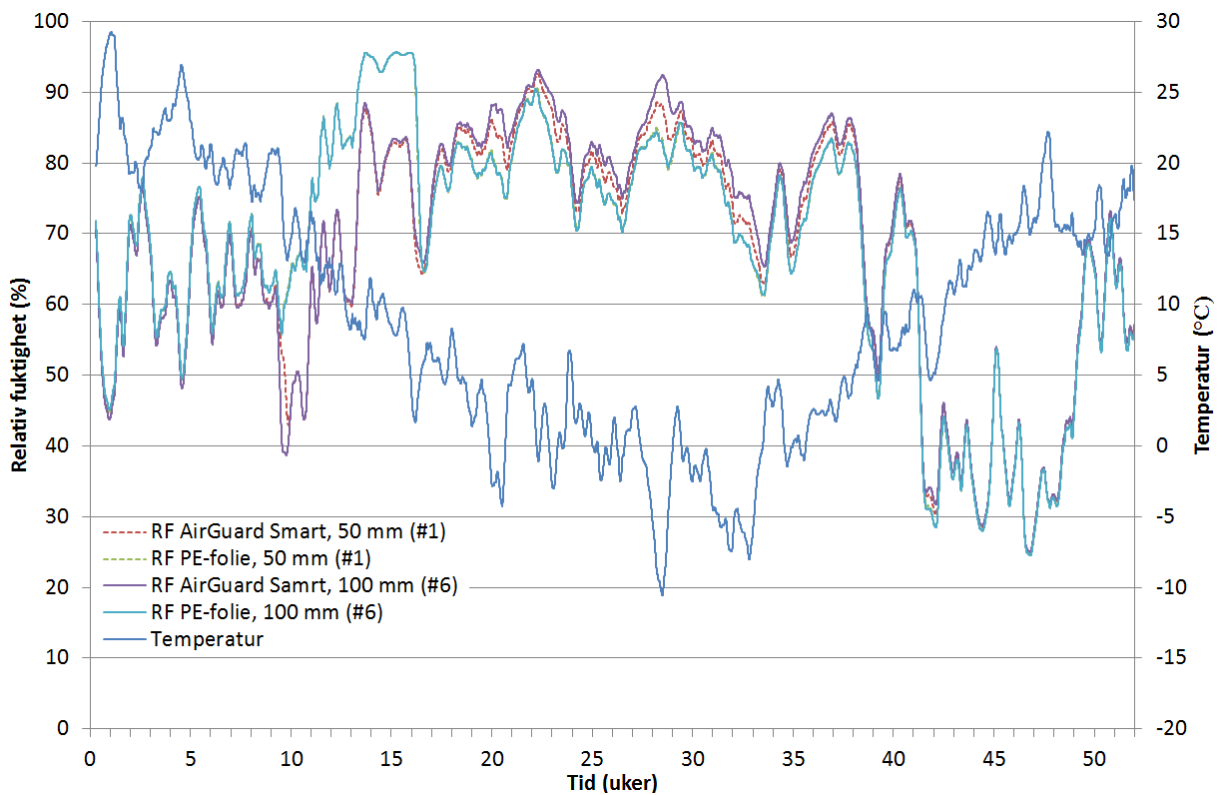
12.3 RELATIV FUKTIGHET OG TEMPERATUR WUFI 1D



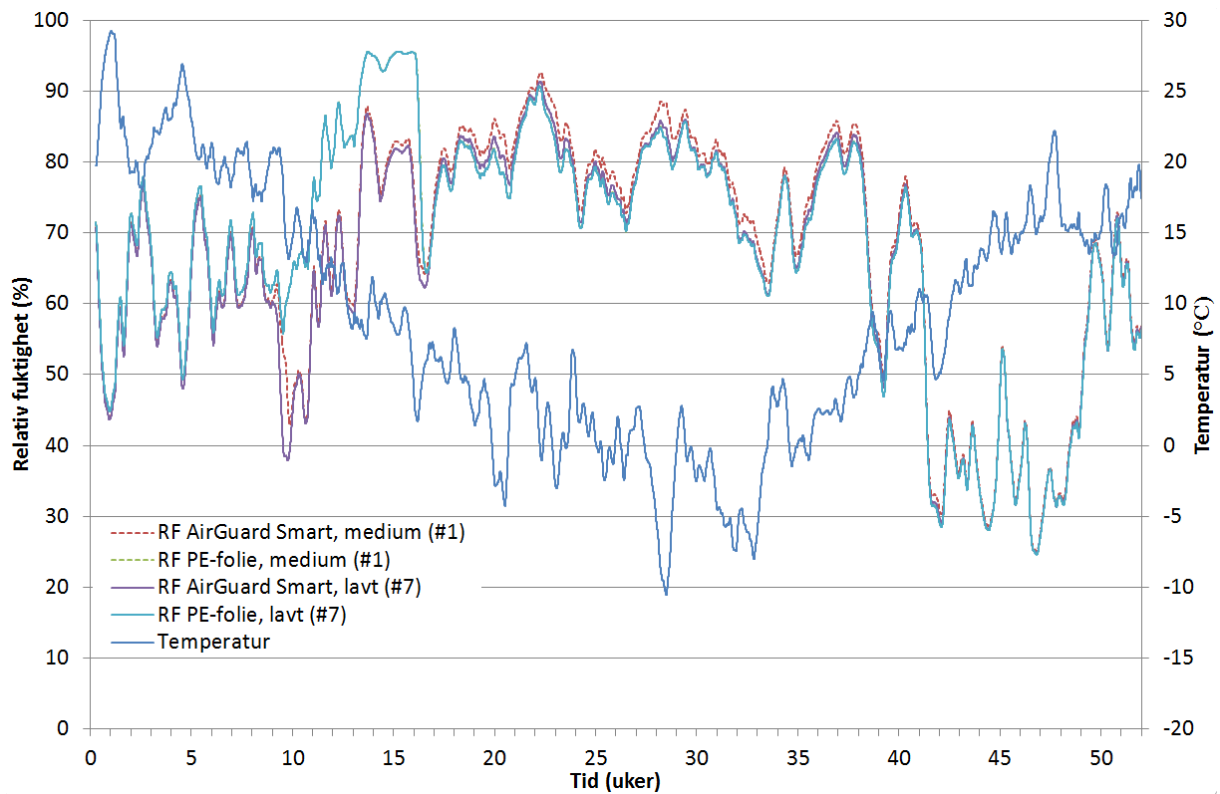
Figur 60: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen vendt mot nord (#1) og for konstruksjonen vendt mot sør (#4).



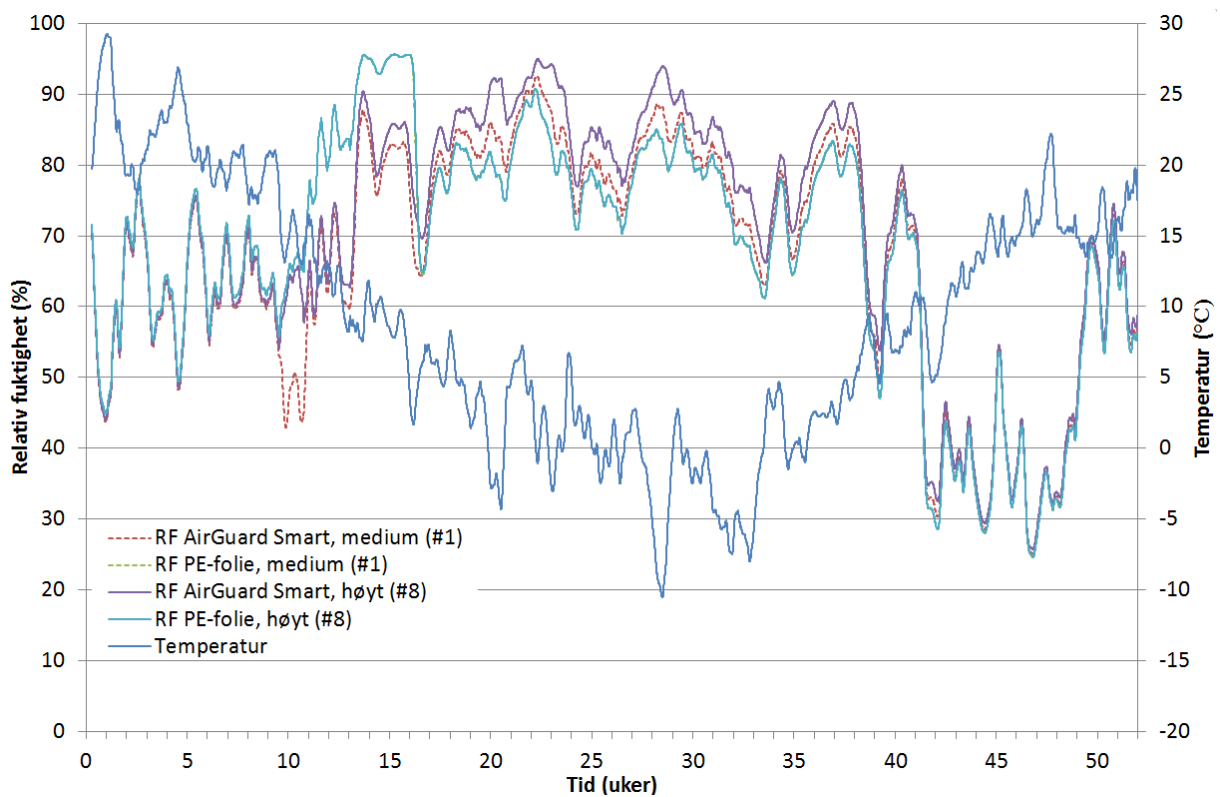
Figur 61: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen (#1) og for konstruksjonen med dampsperra 0 mm inn i isolasjonen (#5).



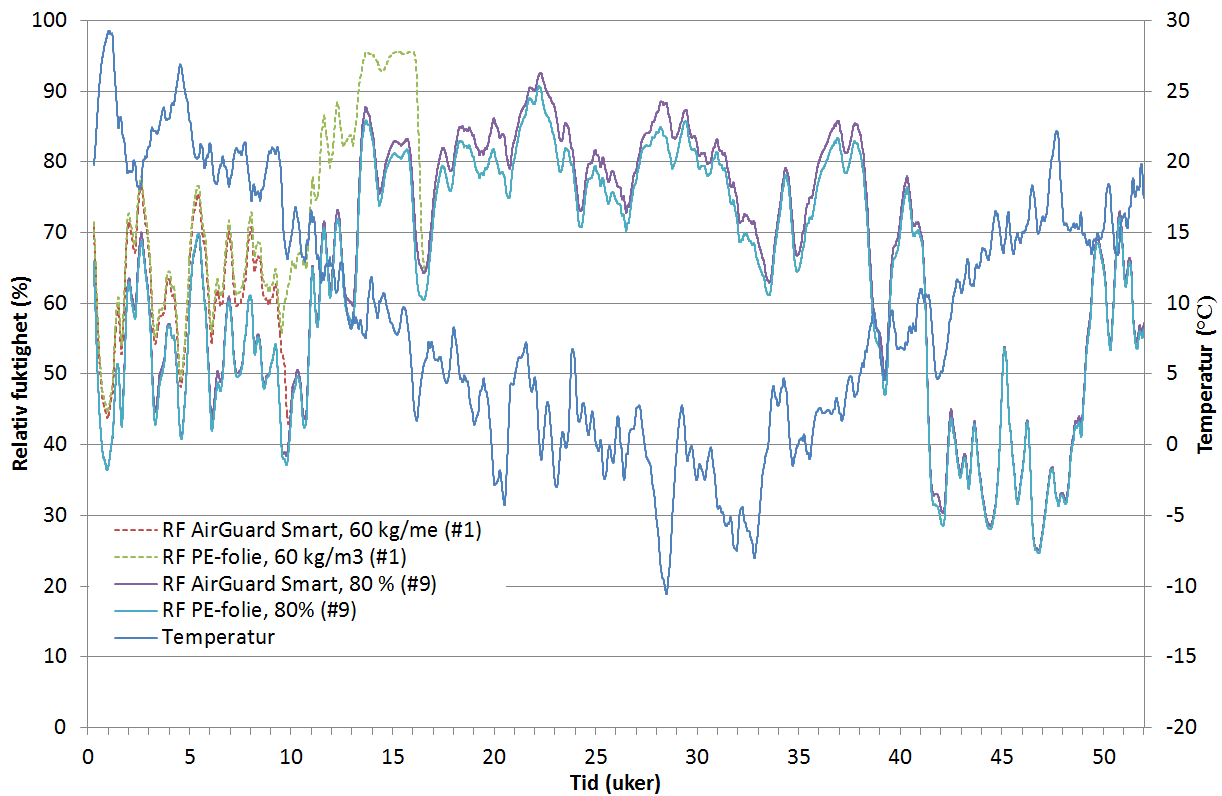
Figur 62: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen (#1) og for konstruksjonen med dampsperra 100 mm inn i isolasjonen (#6).



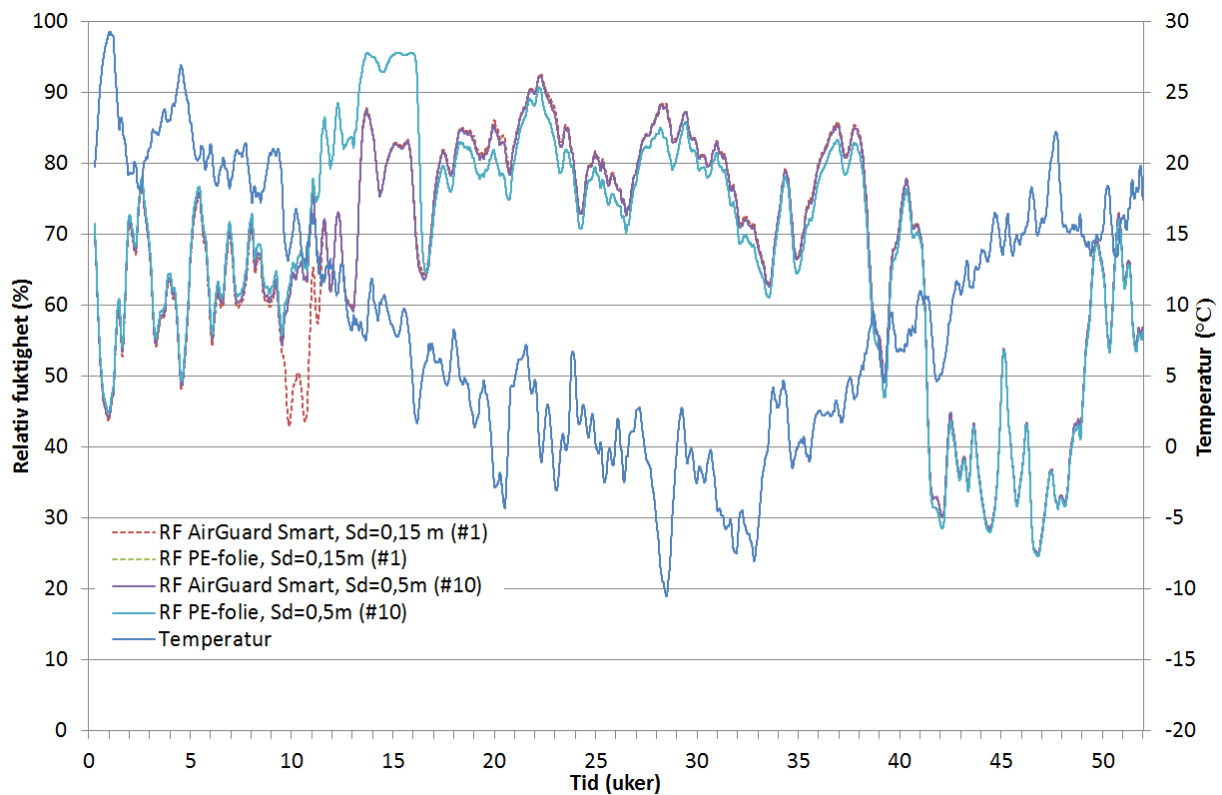
Figur 63: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med medium fukttilskudd (#1) og for konstruksjonen med lavt fukttilskudd (#7).



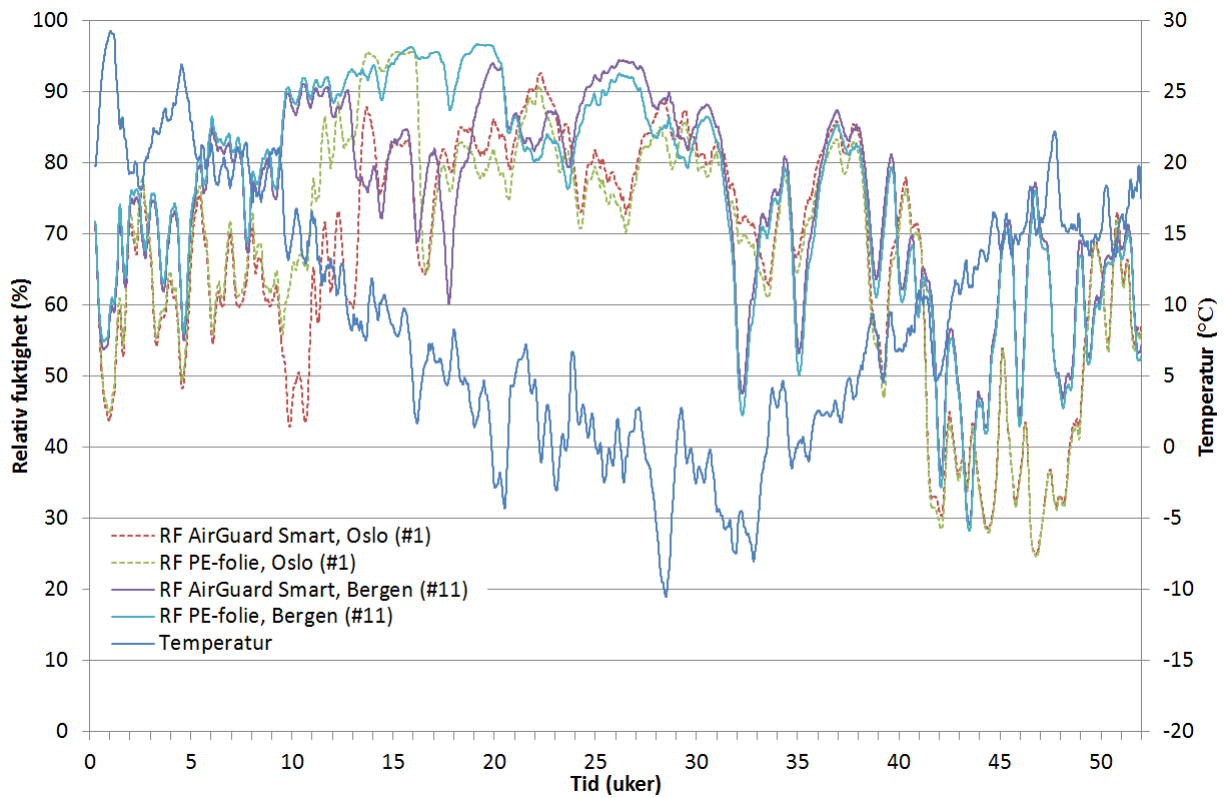
Figur 64: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med medium fukttilskudd (#1) og for konstruksjonen med høyt fukttilskudd (#8).



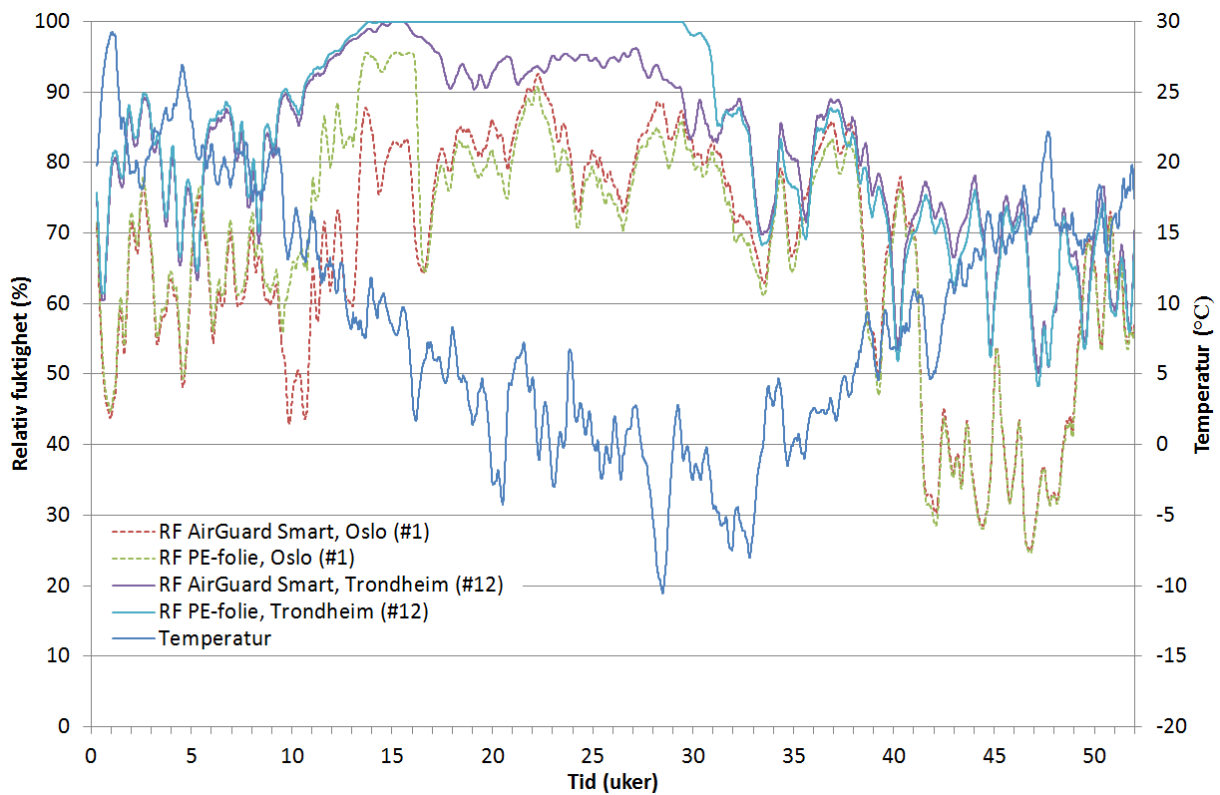
Figur 65: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen med høyt startfuktivå (#1) og for konstruksjonen med 80 % RF i hele konstruksjonen (#9).



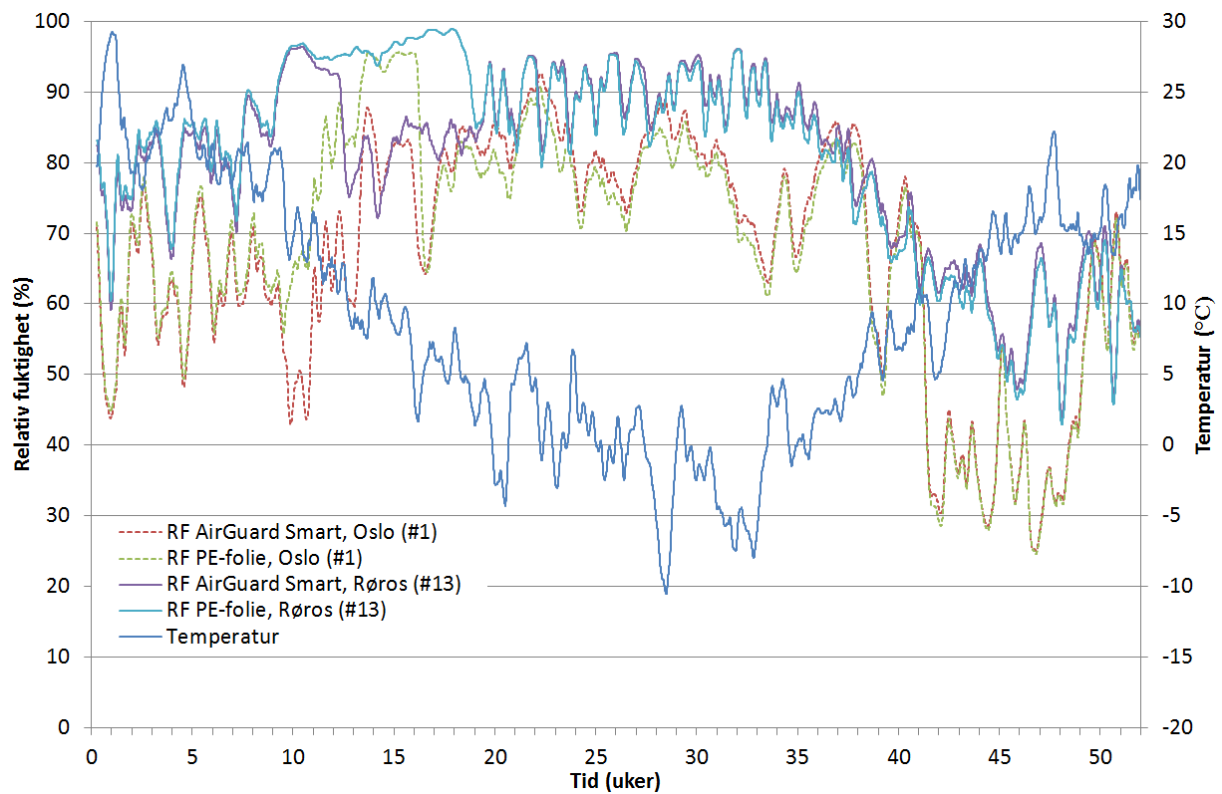
Figur 66: RF og temperatur for standardkonstruksjonen (#1) og for konstruksjonen med mer damptett overflatebehandling (#10).



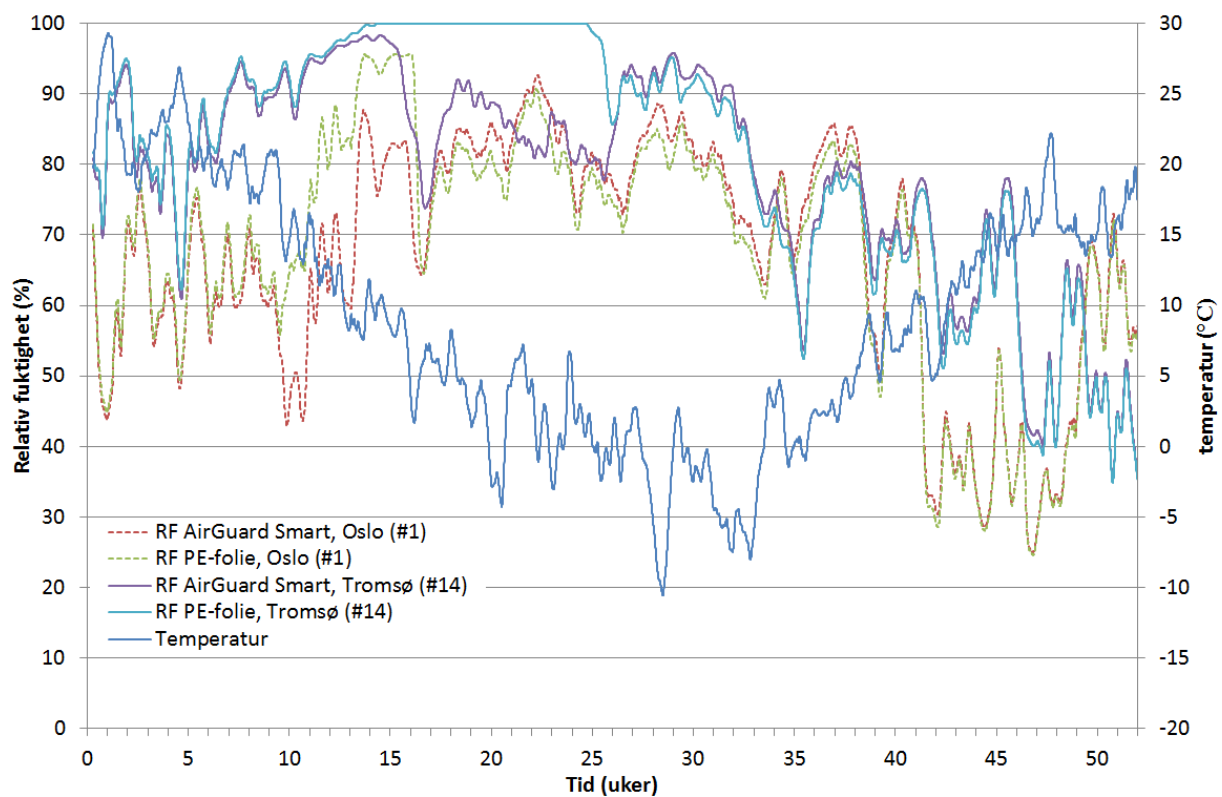
Figur 67: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen i Oslo (#1) og for konstruksjonen i Bergen (#11).



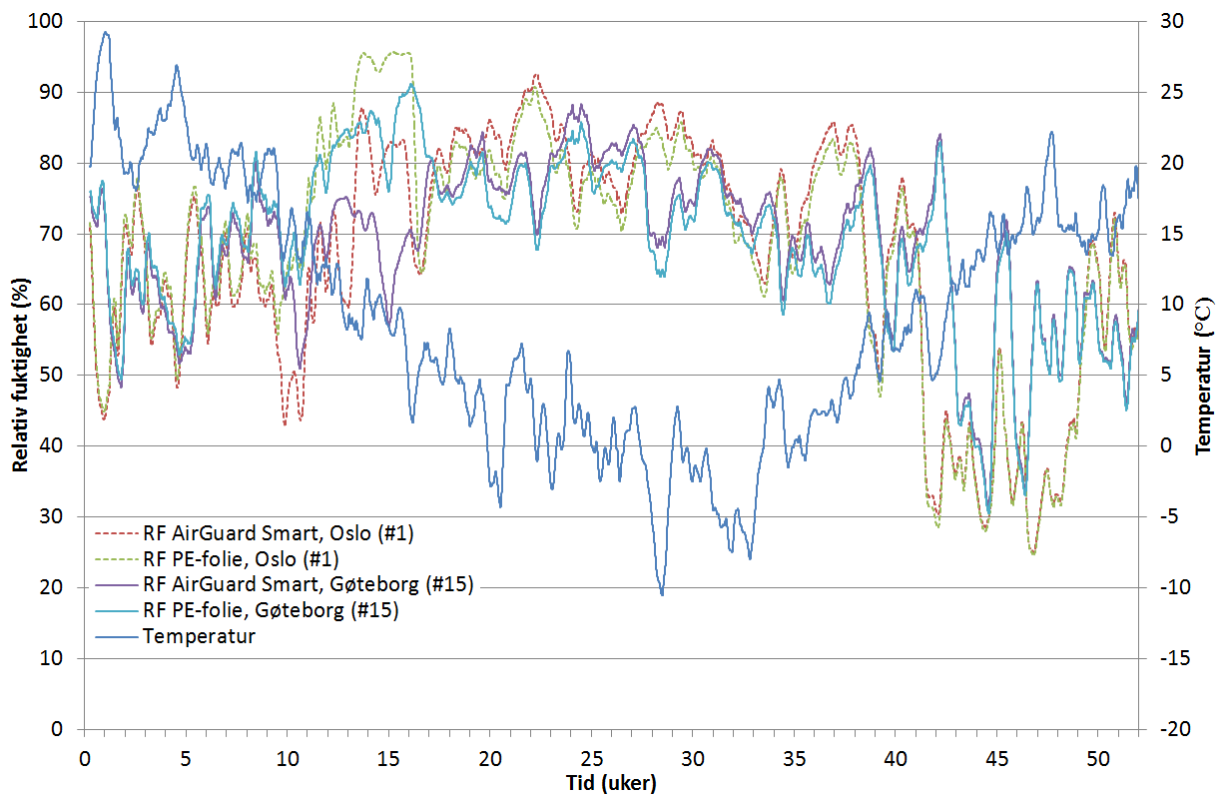
Figur 68: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen i Oslo (#1) og for konstruksjonen i Trondheim (#12).



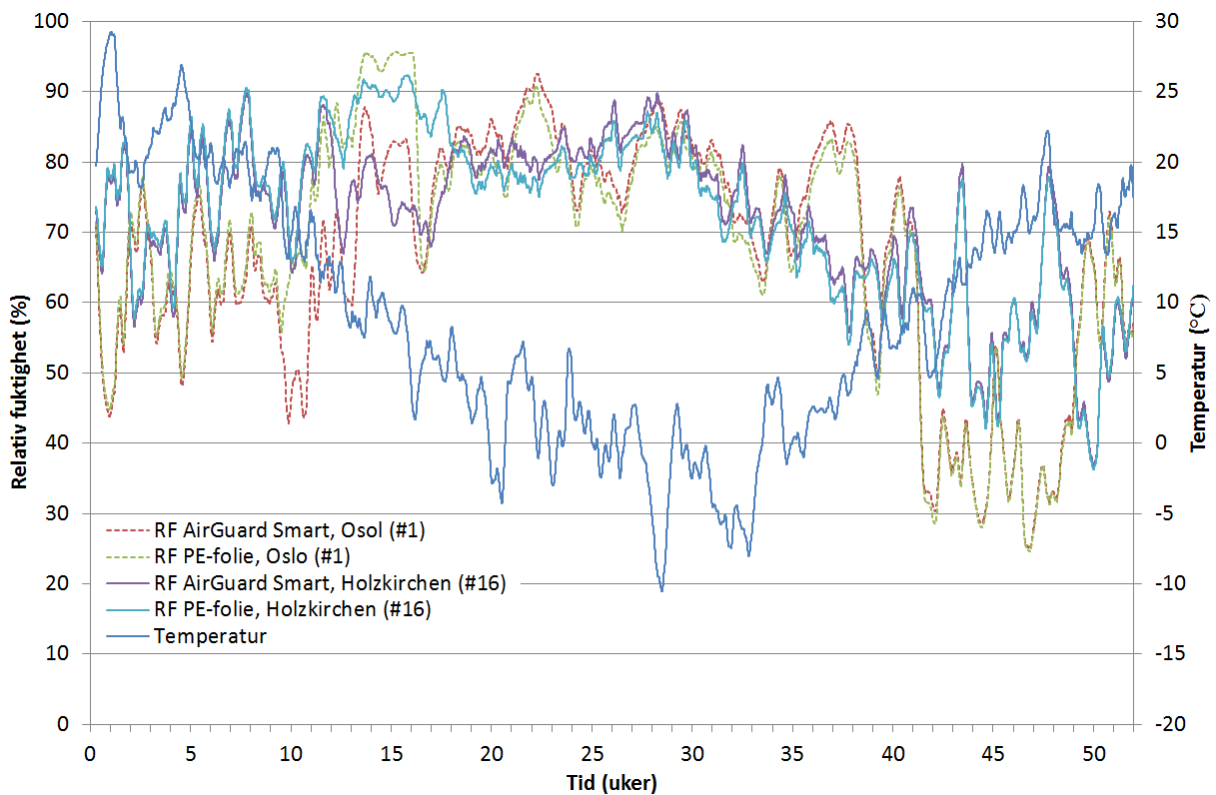
Figur 69: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen i Oslo (#1) og for konstruksjonen i Røros (#13).



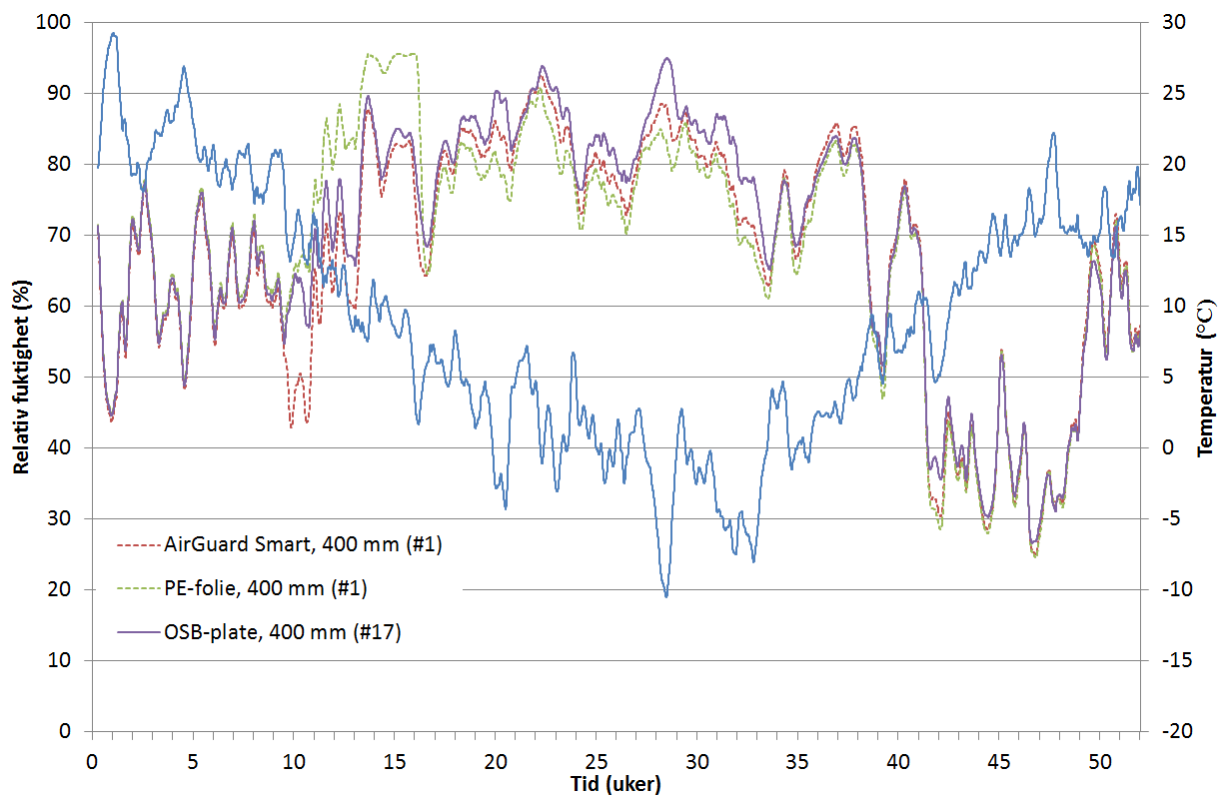
Figur 70: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen i Oslo (#1) og for konstruksjonen i Tromsø (#14).



Figur 71: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen i Oslo (#1) og for konstruksjonen i Gøteborg (#15).

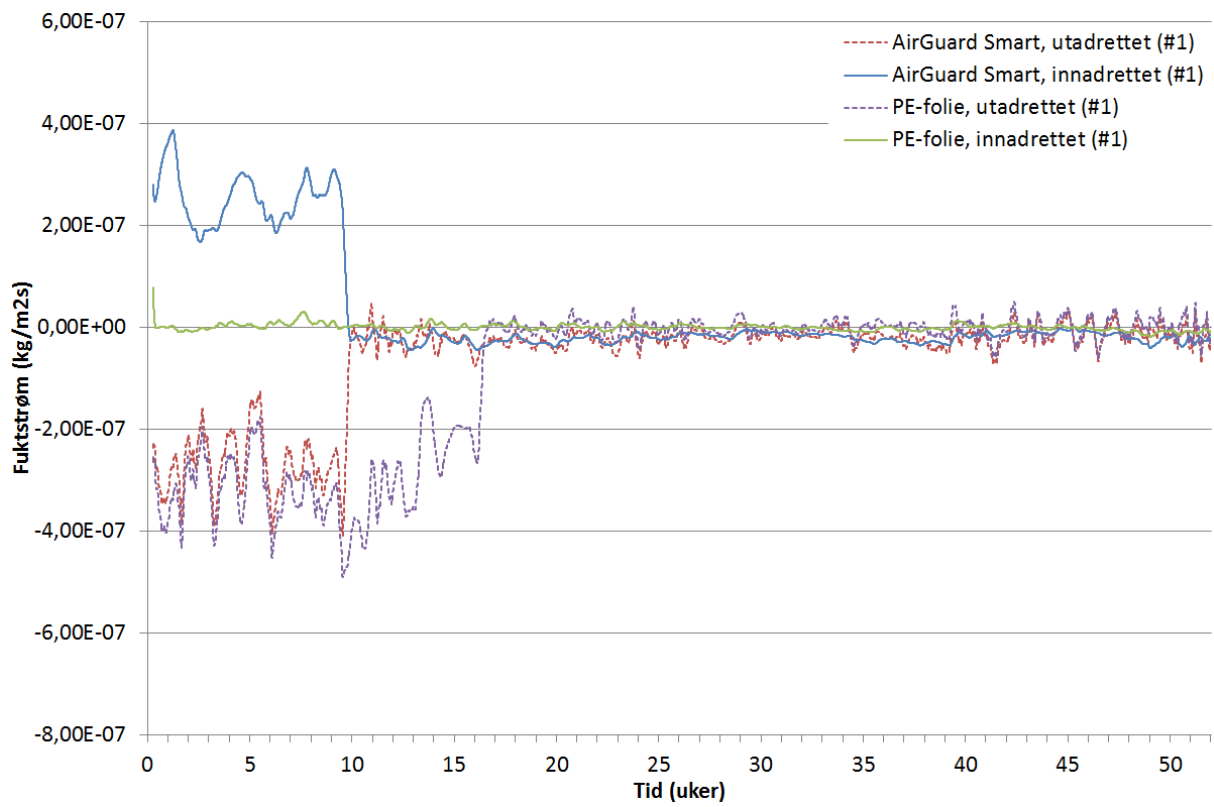


Figur 72: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen i Oslo (#1) og for konstruksjonen i Holzkirchen (#16).

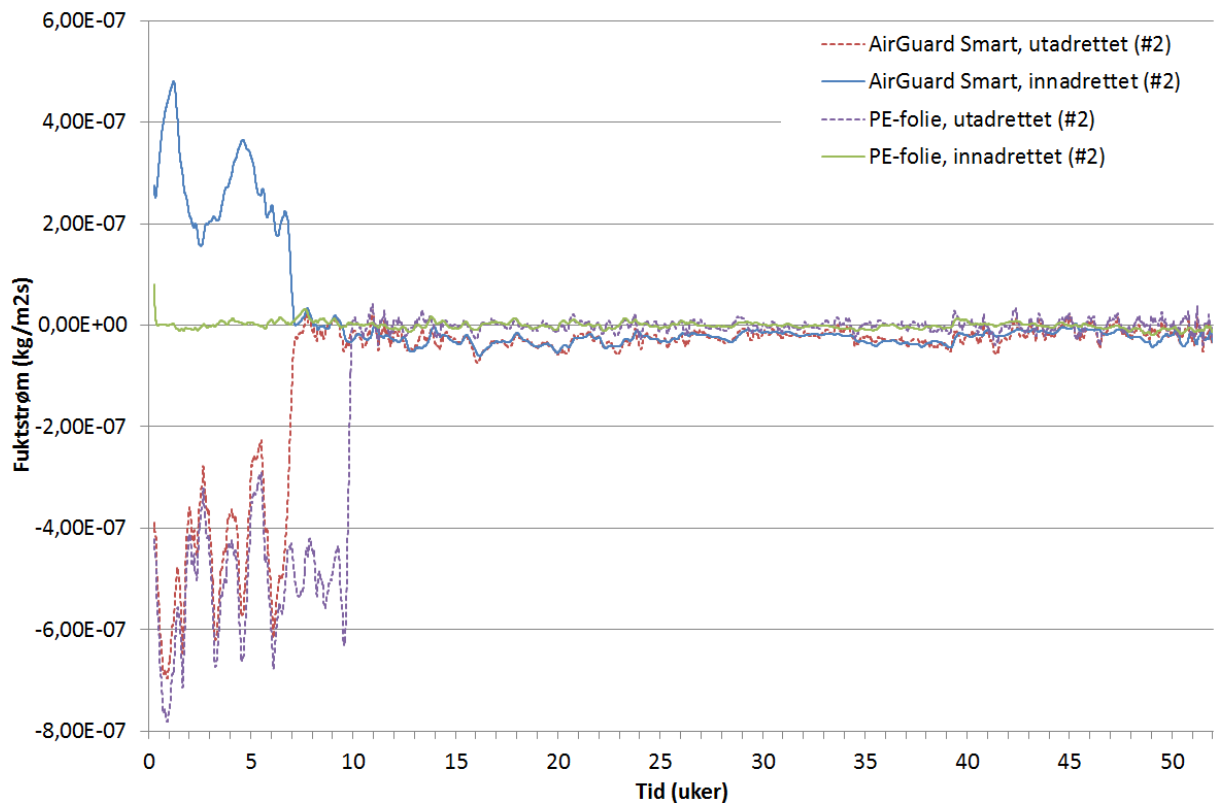


Figur 73: RF og temperatur ved vindsperra for standardkonstruksjonen (#1) og for konstruksjonen med OSB-plate som dampsperra (#17).

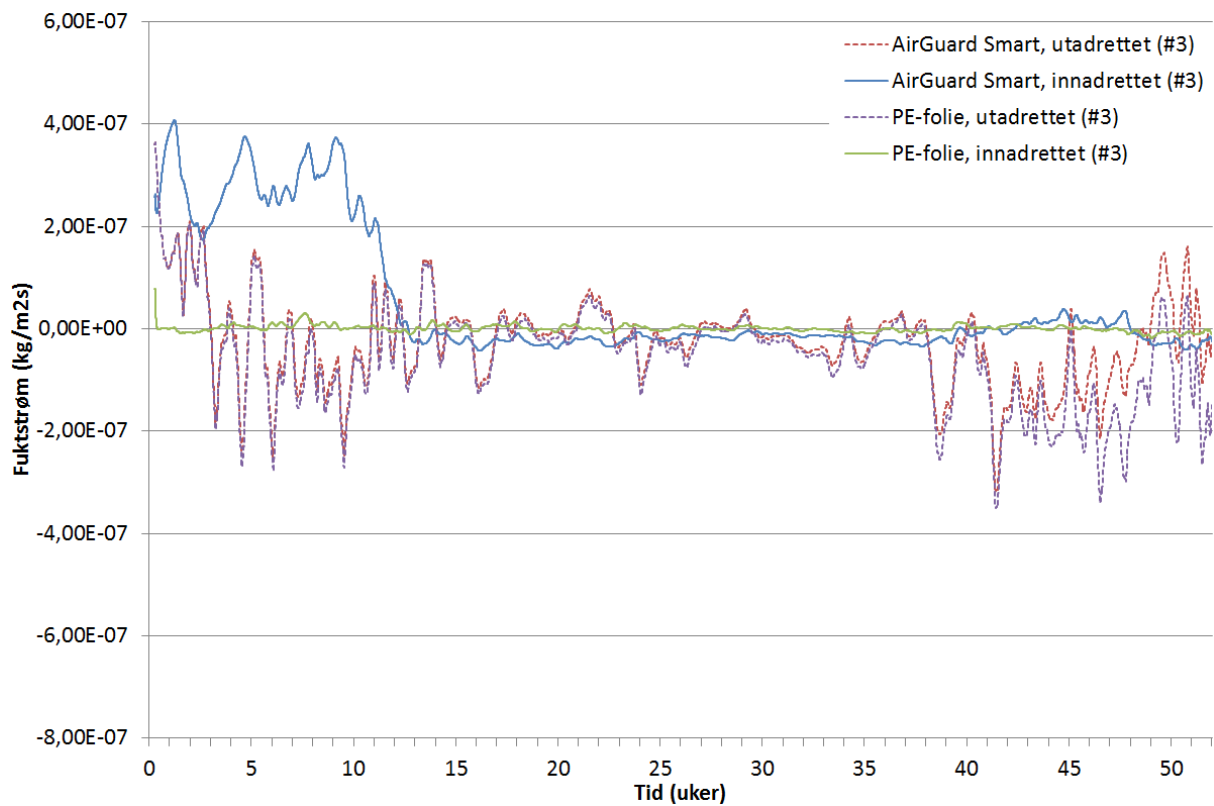
12.4 FUKTSTRØM WUFI 1D



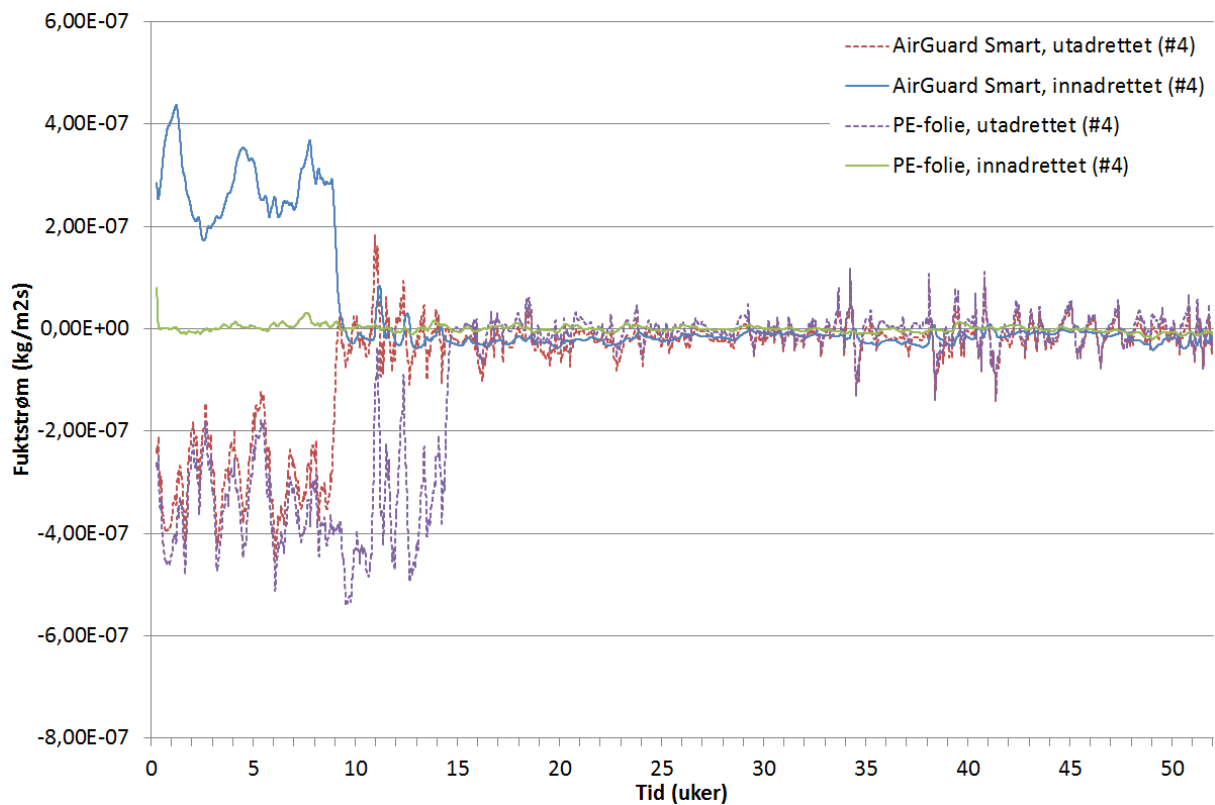
Figur 74: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for standardkonstruksjonen (#1).



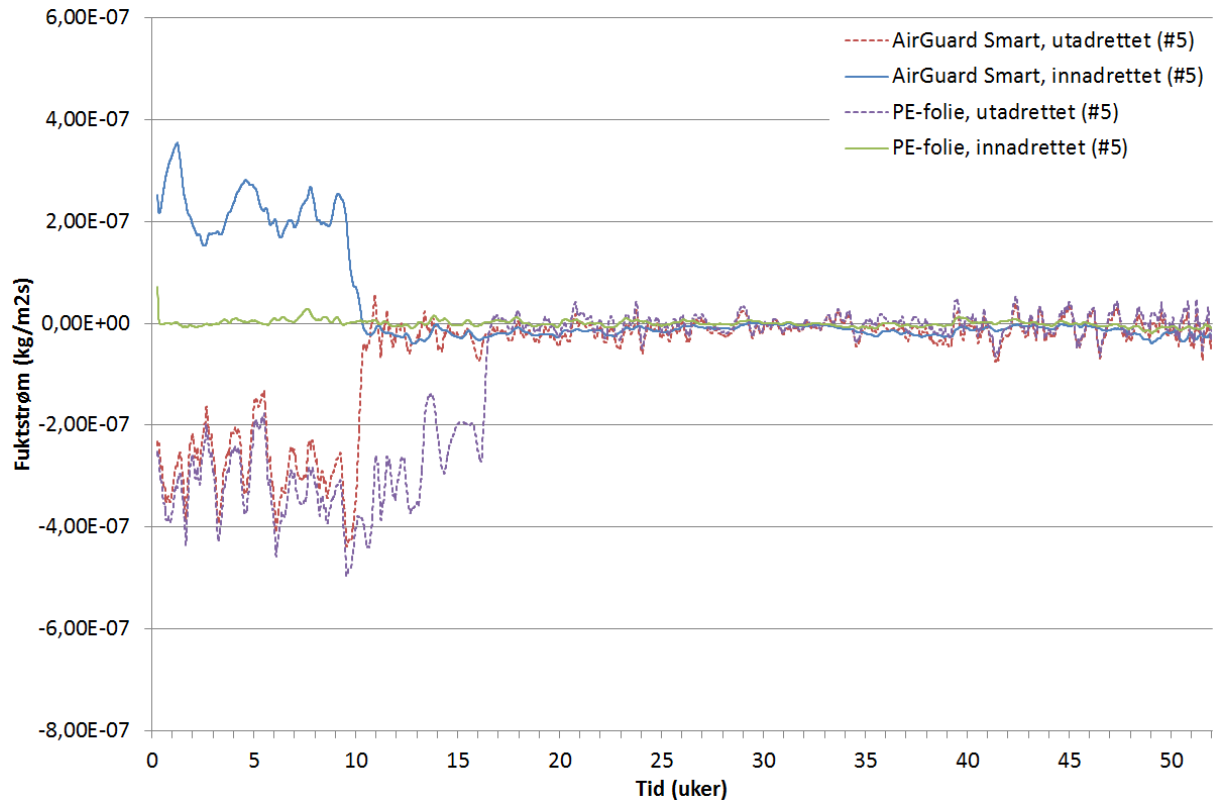
Figur 75: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen 250 mm isolasjon (#2).



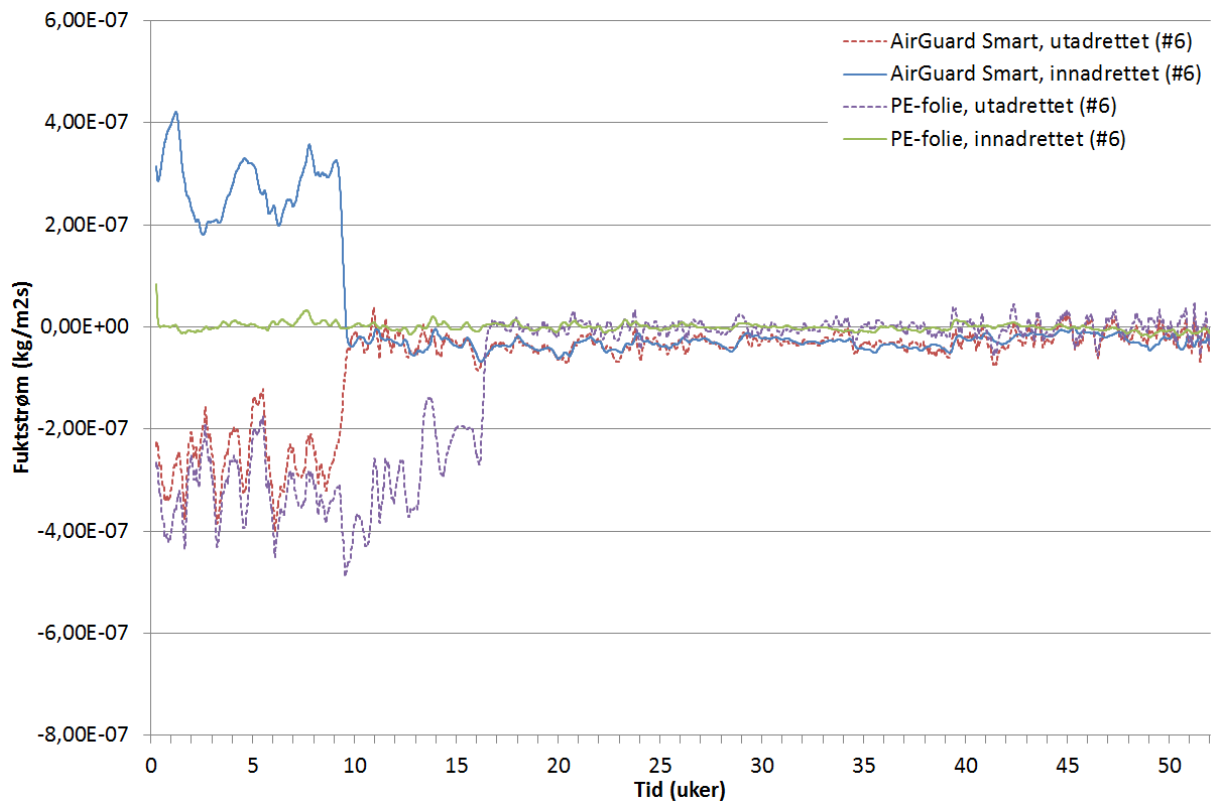
Figur 76: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med OSB-plate som vindsperre (#3).



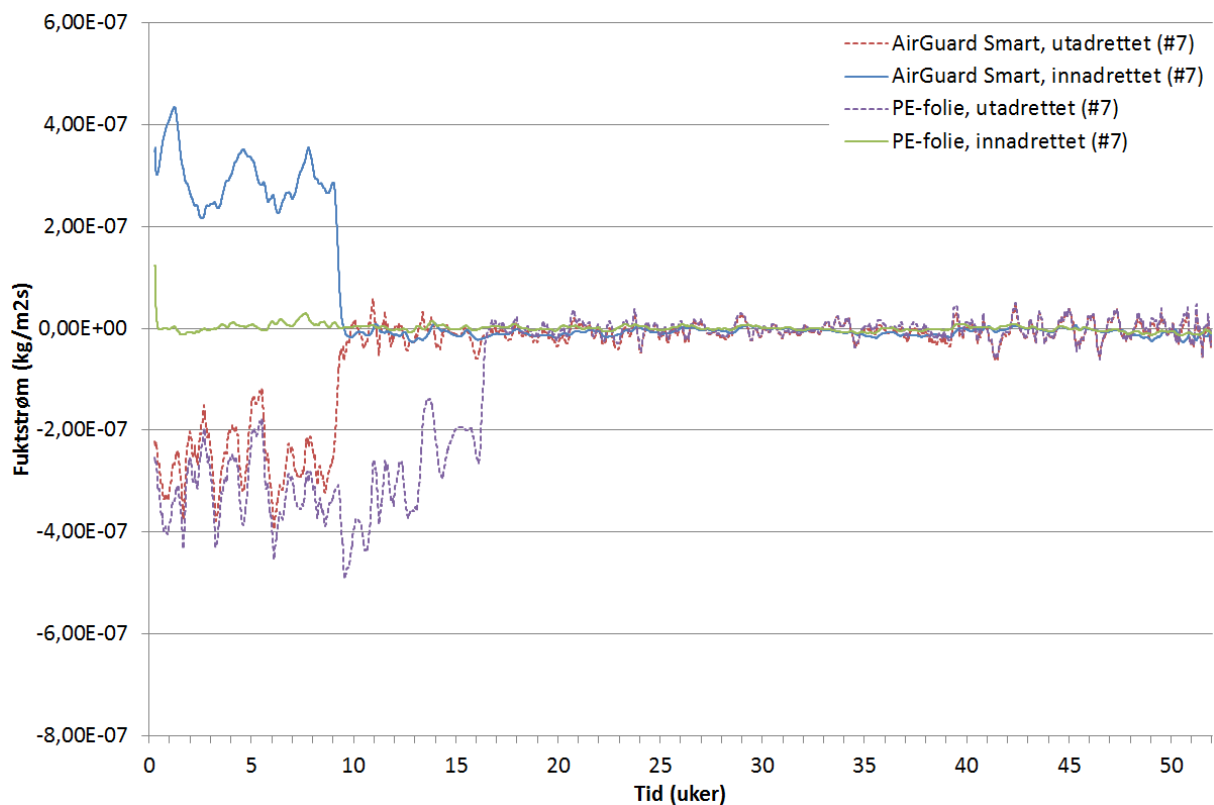
Figur 77: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med sørlig orientering (#4).



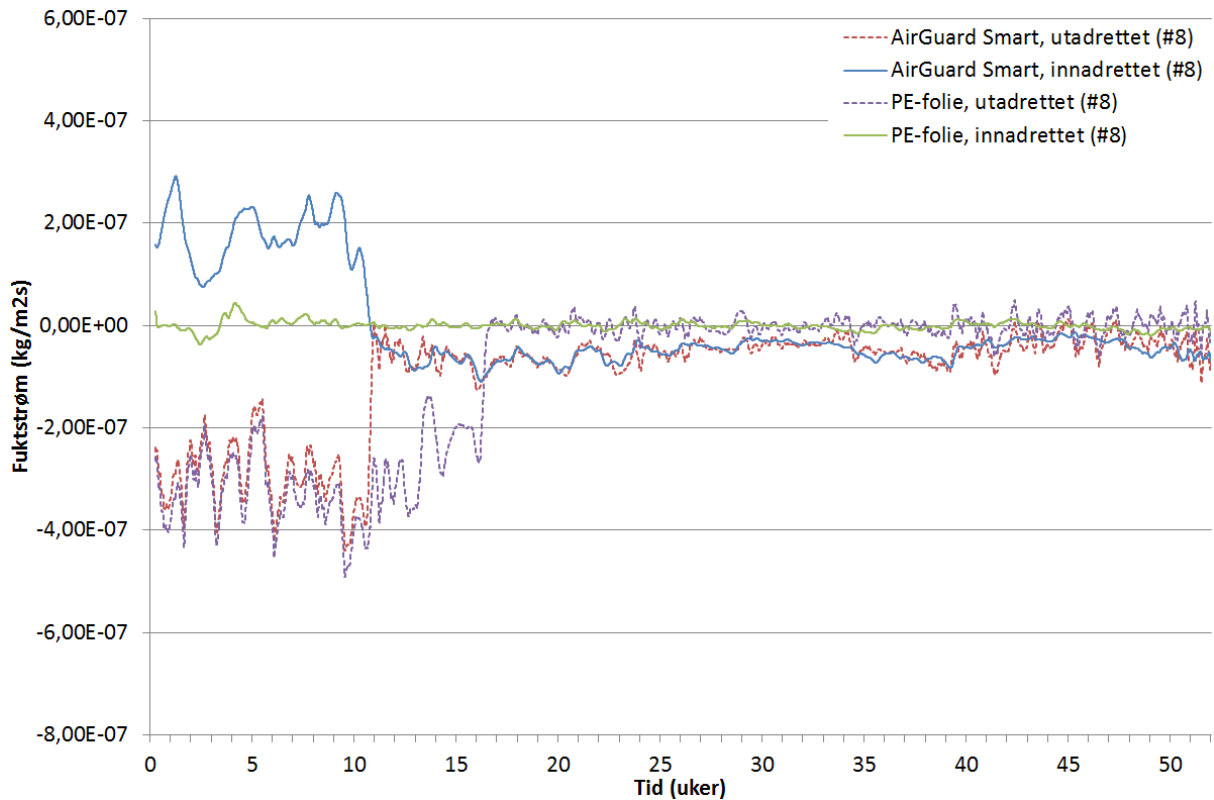
Figur 78: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med SDS 0 mm inn i isolasjonen (#5).



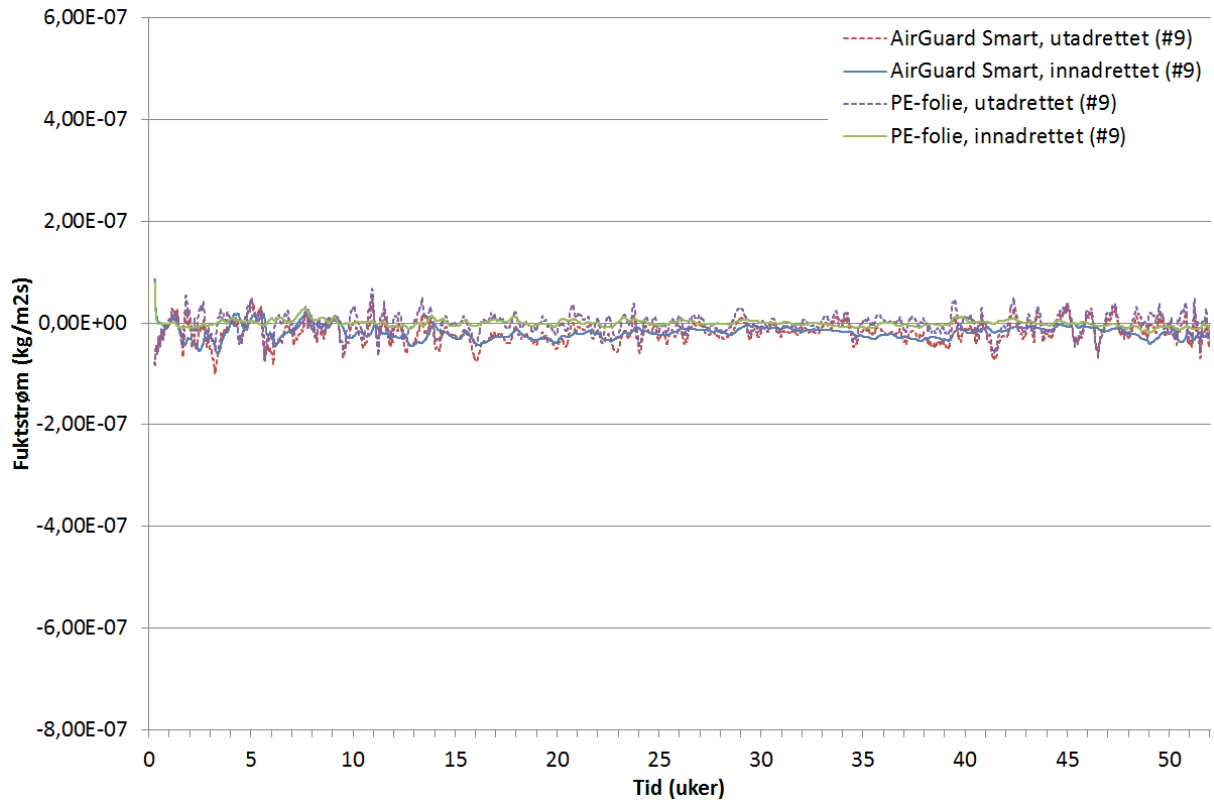
Figur 79: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med SDS 100 mm inn i isolasjonen (#6).



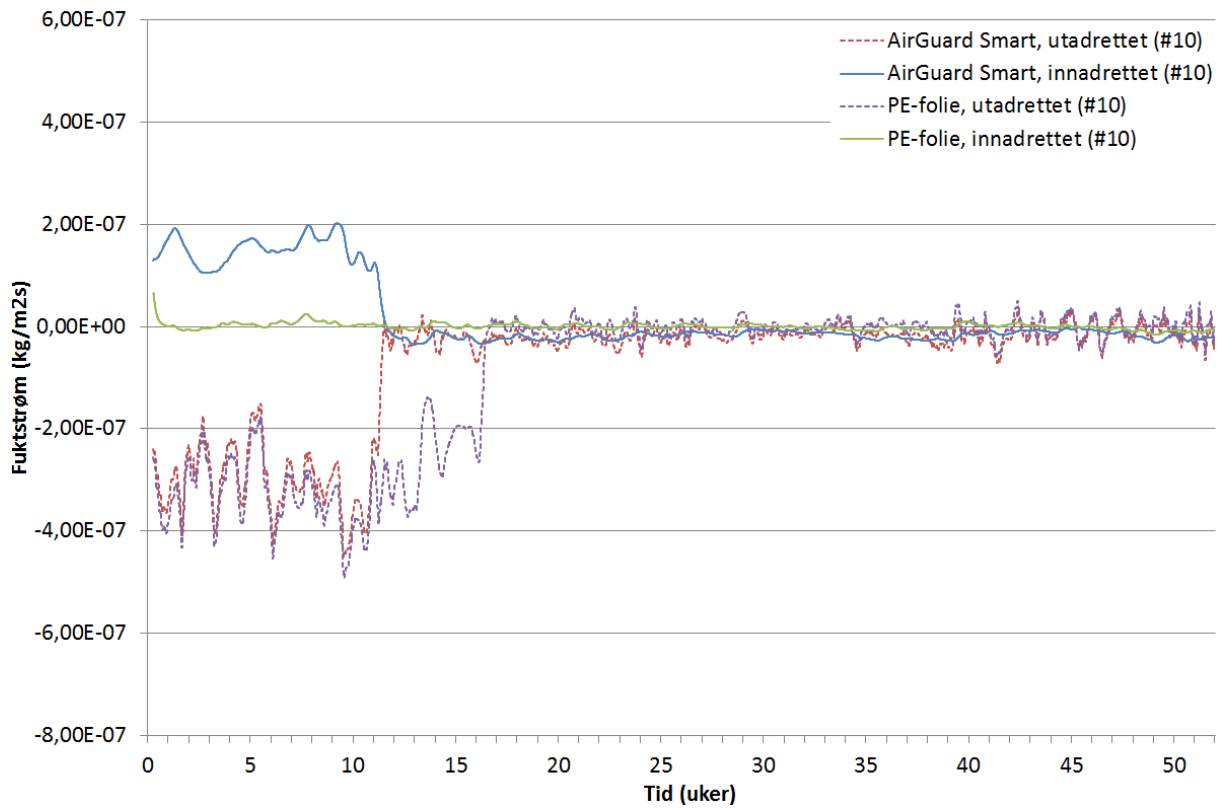
Figur 80: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med lavt innvendig fukttilskudd (#7).



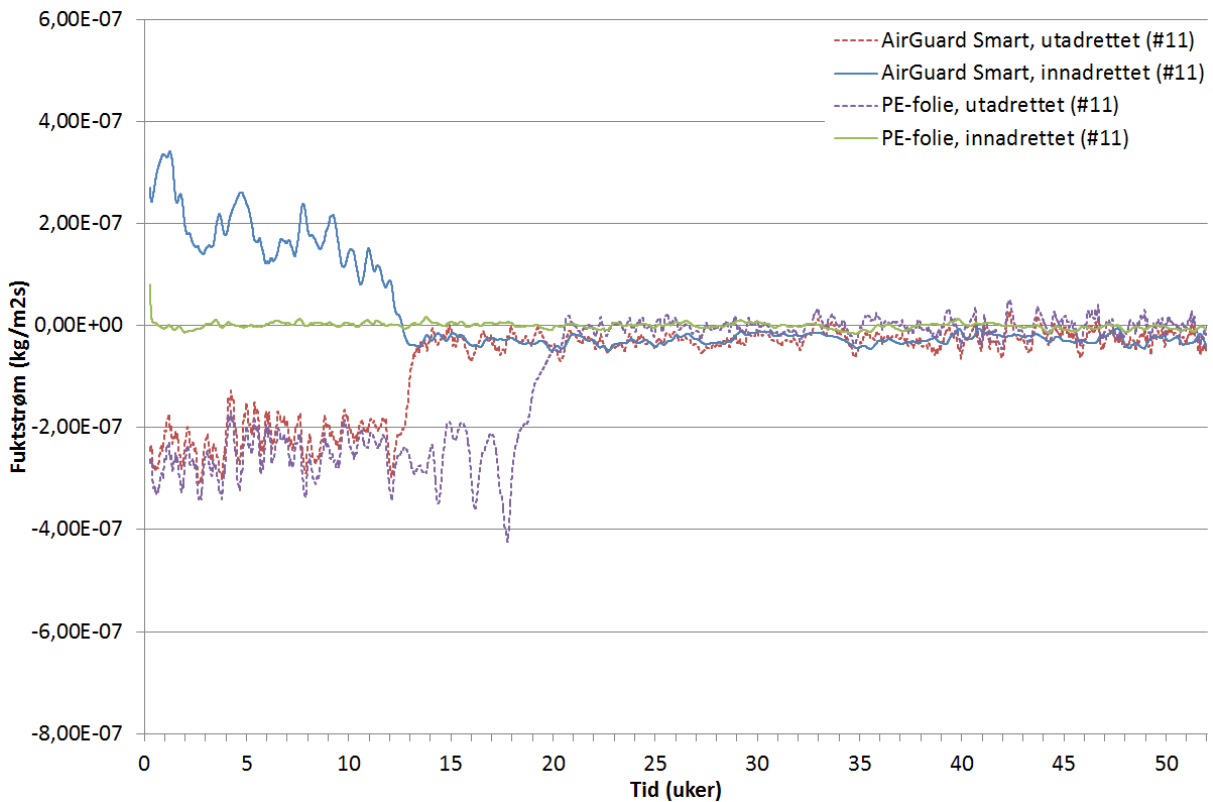
Figur 81: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med høyt innvendig fukttilskudd (#8).



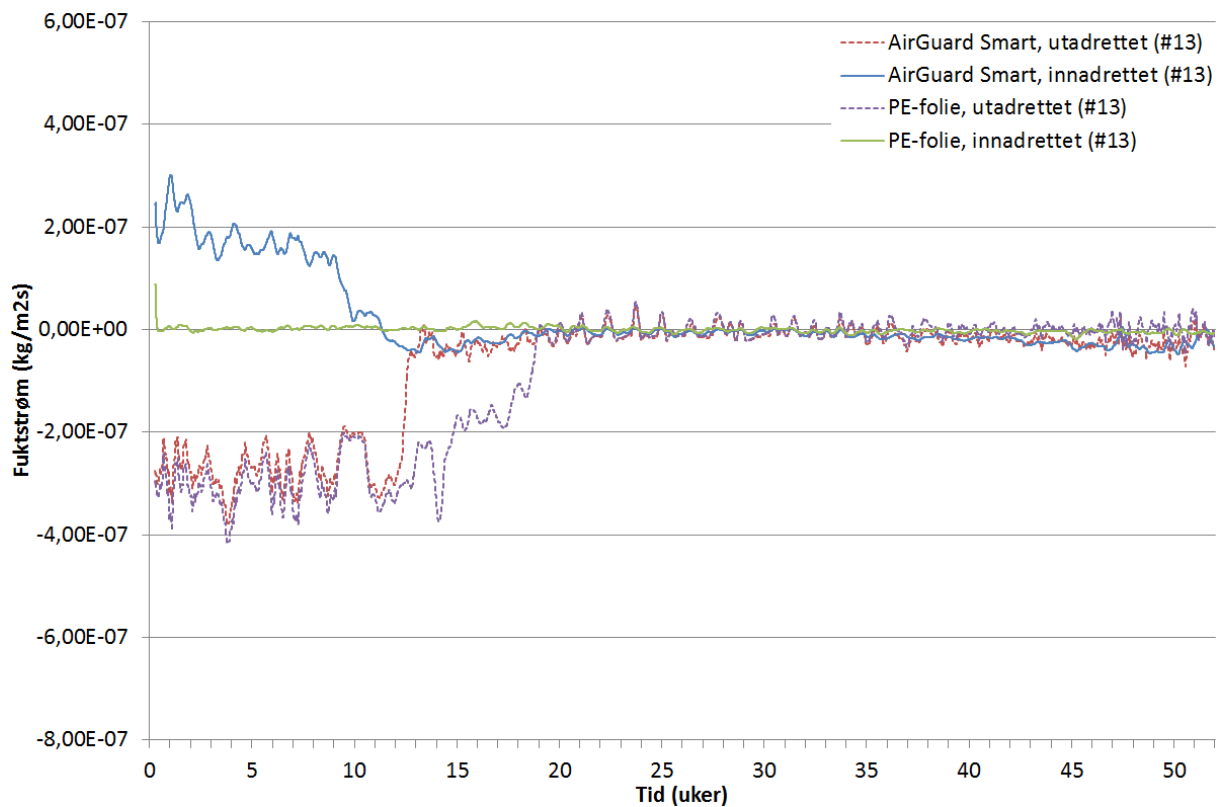
Figur 82: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med 80 % RF i hele sjiktet (#9).



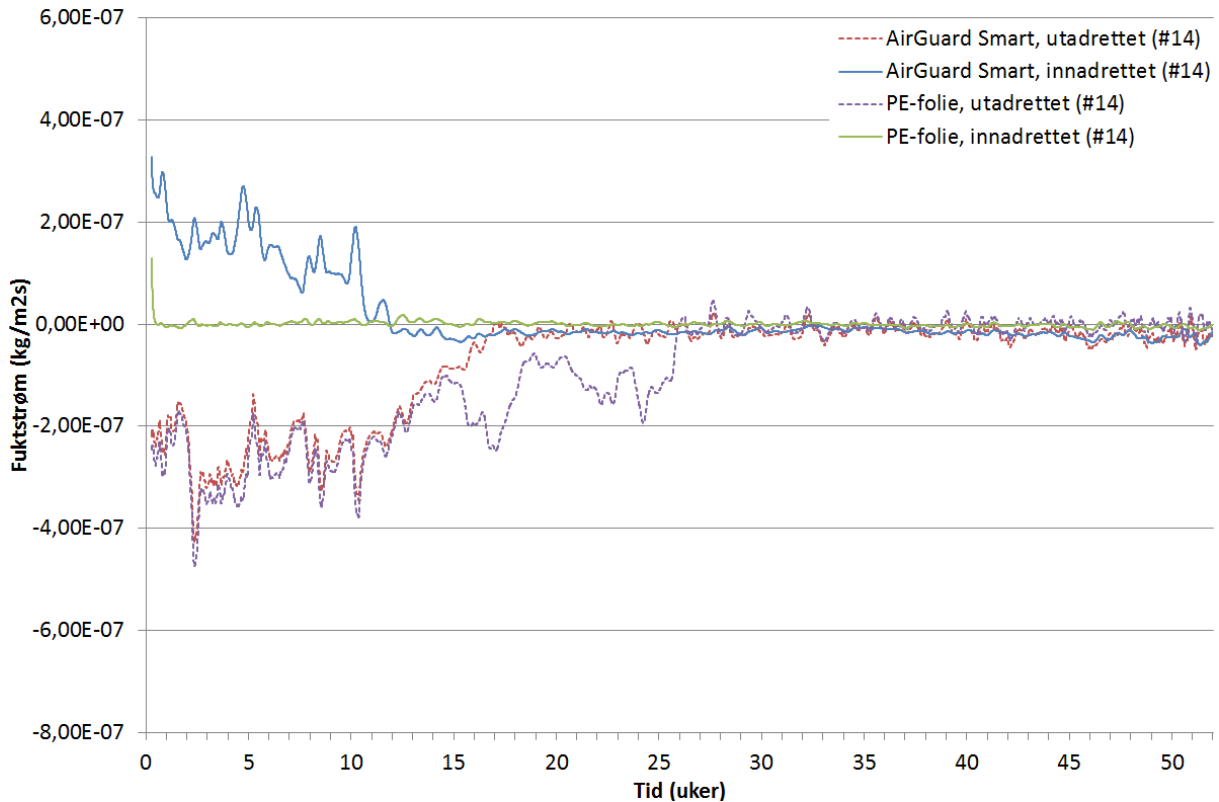
Figur 83: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med høy dampmotstand på innvendig overflatebehandling (#10).



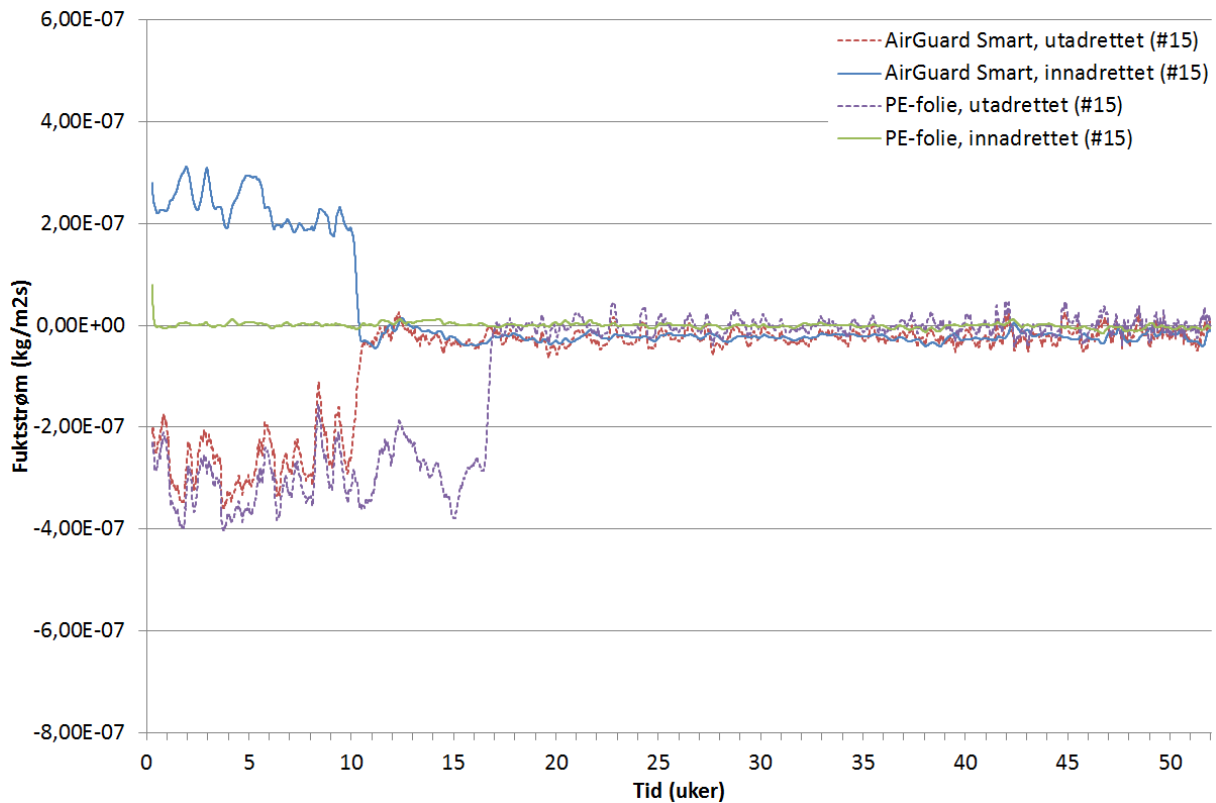
Figur 84: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen i Bergen (#11).



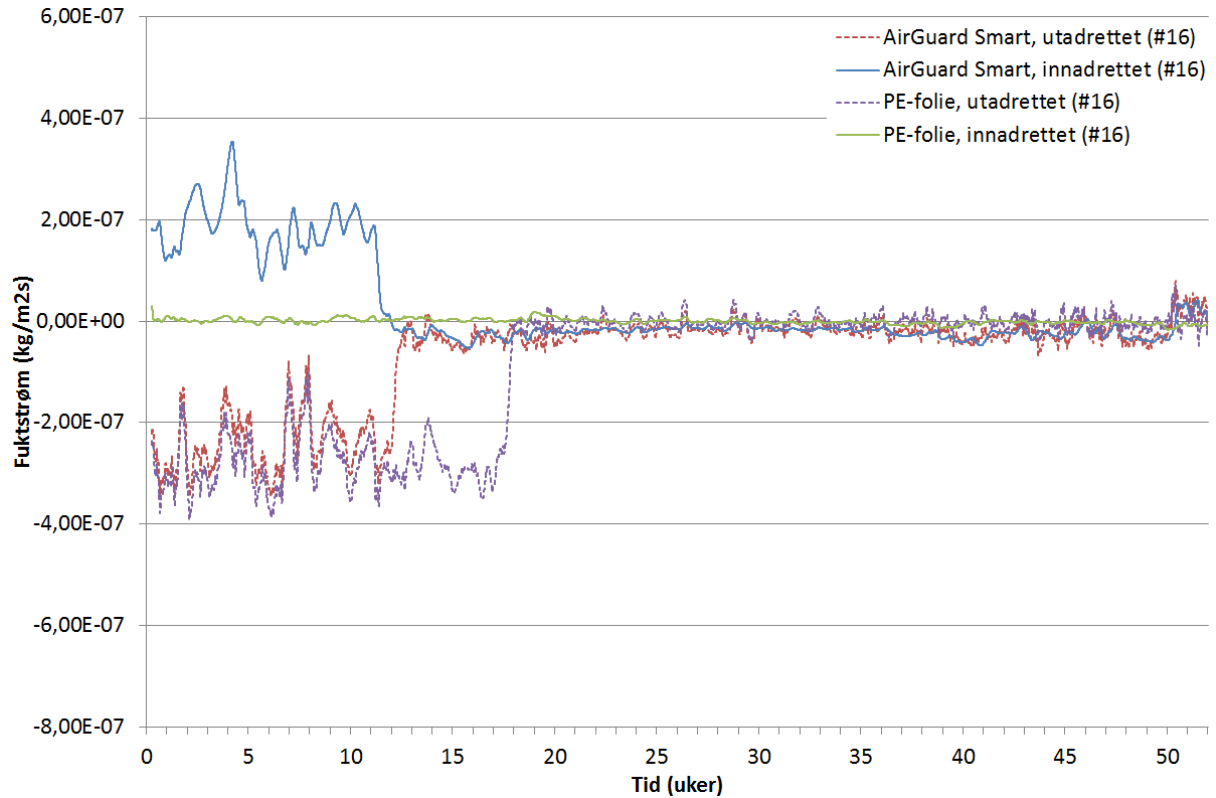
Figur 85: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen i Røros (#13).



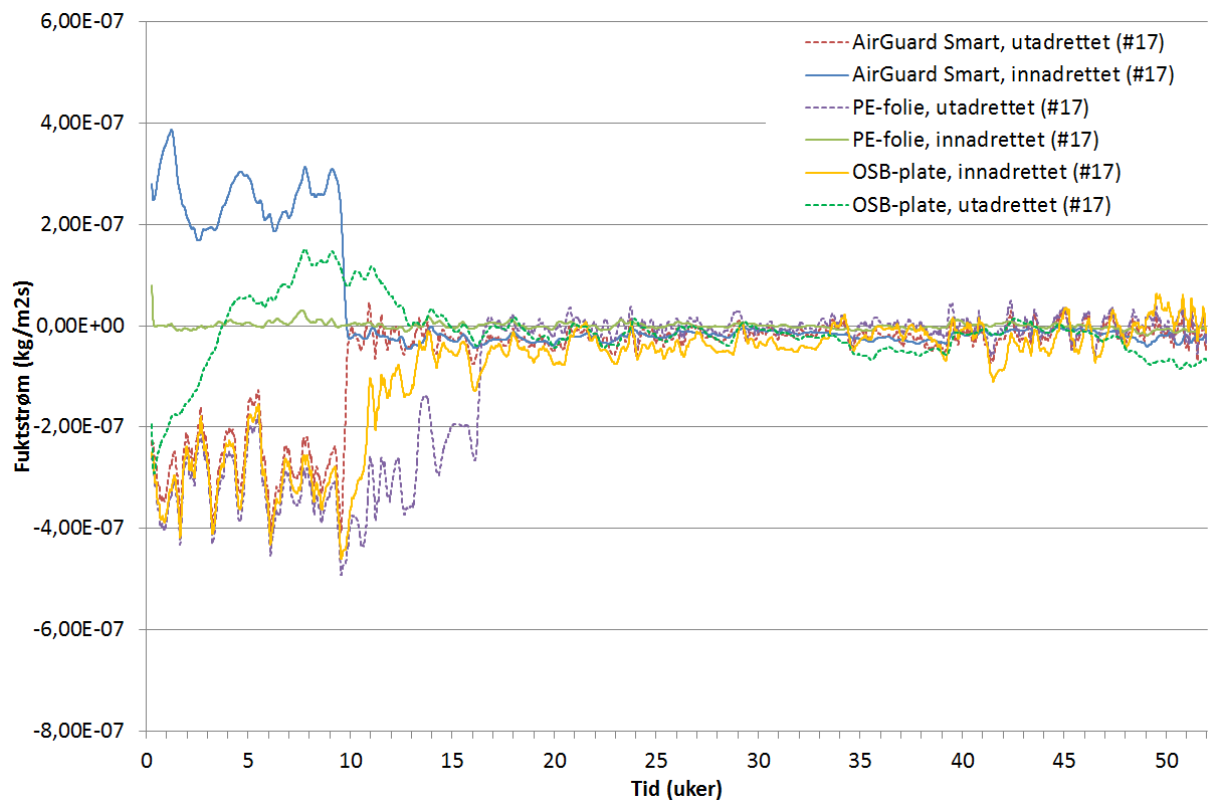
Figur 86: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen i Tromsø (#14).



Figur 87: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindspærre for konstruksjonen i Gøteborg (#15).



Figur 88: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindspærre for konstruksjonen i Holzkirchen (#16).



Figur 89: Fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom innvendig gipsplate og utvendig vindsperre for konstruksjonen med OSB som vindsperre (#17).

MASTEROPPGAVE

(TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave)

VÅREN 2013

for

Magne Agnalt

Smarte dampsperrer i bindingsverksvegger

Smart vapour barriers in wood frame walls

BAKGRUNN

Alternative løsninger til de mer tradisjonelle løsningene for yttervegger og tak med dampsperre av plastfolie brukes i dag i en del sammenhenger. Slike vegger (tilsvarende prinsipper gjelder også for luftede tak) blir gjerne populært kalt ”pustende vegger”. En viktig begrunnelse for ønsket om å sløyfe dampsperra eller å benytte et alternativt sperreprodukt er antakelsen om at veggen faktisk vil fungere bedre rent fuktmessig uten dampsperra eller med et mer dampåpent sperreprodukt. Den fuktmessige fordelene begrunnes gjerne med at med en dampåpen innside vil veggen både kunne tørke innover og utover.

Spesialprodukter som sies å kunne være så dampåpne at de kan gi uttørking innover mot inneluft, samtidig som de er tilstrekkelig damptette til å hindre kondensproblemer, markedsføres i dag i Norge av flere leverandører. Produktene benevnes ofte ”dampbremsere”. Felles for mange av disse dampbremsene er at de har konstant dampmotstand, og som et kompromiss ender de gjerne opp med å ha en dampmotstand som ikke gir særlig god uttørking innover samtidig som de gir økt risiko for kondensproblemer. Det har imidlertid kommet en produkttype på markedet som har variabel dampmotstand, dvs. at de er dampåpne når det behøves uttørking mot innelufta og de er damptette ellers. Slike produkter benevnes gjerne «smarte dampsperrer» (SDS). Det eksisterer imidlertid lite kunnskap om hvor godt slike produkter egentlig fungerer, både med hensyn til å oppnå uttørking innover og i forhold til økt risiko for kondensskader og muggvekst.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Hensikten med oppgaven er å undersøke endel aspekter i forbindelse med virkemåte, muligheter og begrensninger i forbindelse med SDS benyttet i bindingsverksvegger. I oppgaven inngår både litteraturundersøkelser og parameterstudier med WUFI 1D og eventuelt WUFI2D.

Bindingsverksvegger er i utgangspunktet ikke den konstruksjonstypen som har mest behov for uttørkingsmuligheter mot innelufta, siden uttørkingsmulighetene mot uteluft normalt er gode. Eksempelvis har man funnet at bruk av vanlige dampbremsere har liten nytte i vanlige bindingsverksvegger. Vi ser likevel en del potensiale for SDS i bindingsverksvegger, for eksempel i vegger med tettere vindsperre enn normalt. I høyisolerte bindingsverksvegger ser vi også et potensiale, med hensyn til å gjøre konstruksjonen mer robust mhp fukt.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Følgende deloppgaver kan inngå i masteroppgaven:

- A. *Litteraturundersøkelse.* Det gjennomføres en kortfattet litteraturundersøkelse av SDS benyttet i bindingsverksvegger.
- B. *Parameterstudier med WUFI.* Det gjennomføres parameterstudier med WUFI 1D for å klarlegge egnethet og nytte av SDS i bindingsverksvegger. Et hovedtema vil være bruk av SDS i høyisolerte konstruksjoner, og i hvilken grad det vil kunne motvirke den fuktmessig negative effekten av å øke isolasjonstykkelsen opp mot 400 mm. Bruk av SDS i mer vanlige isolerte vegger er også et tema. Spesielt er det aktuelt å se på spesialtilfeller hvor SDS kan være spesielt egnet, for eksempel ved bruk av mer dampette vindsperrer enn vanlig. Problematiske forhold som ved inntrukket dampsperre bør også undersøkes.
- C. *Parameterstudier med WUFI 2D.* Det gjennomføres noen beregninger med WUFI 2D på utvalgte problemstillinger. Hovedhensikten er å kontrollere beregningene i delaktivitet B mhp betydningen av eventuelle 2-dimensjonale effekter.

A. 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 veileder og faglærer ved instituttet (samt med ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt).

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 <http://www.ntnu.no/selvhjelpspakken/ppt-dokmaler/Masteroppgave/>
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk, innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger
- oppgaveteksten (signert)
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidennummer)
- 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.

Hva skal innleveres?

- Besvarelsen i original (uinnbundet)
- To innbundne kopier
- Eventuelt: X avtalte tilleggs kopier for formidling til ekstern samarbeidspartner (dekkes av instituttet eller ekstern partner)
- CD med besvarelsen i **digital form** i pdf-format eller word-format med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel))
- En kortfattet (tilsv. 1-2 A4-sider inkl. evt. illustrasjoner) populærvitenskapelig oppsummering av arbeidet, på html-mal gitt av instituttet, beregnet for publisering på internettet.
Oppsummeringen bør redegjøre for hensikten med arbeidet og for gjennomføringen og de vesentligste resultater og konklusjoner av arbeidet. Mal finnes på: <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

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>

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 godkjennelse 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.

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, befarings, feltkurs 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 **14. januar 2013**

Besvarelsen i original (uinnbundet) og to innbundne kopier, samt besvarelsen i digital form skal leveres innen **10. juni 2013 kl 1500**.

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

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner:

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 03.02.2013

Stig Geving

Faglærer