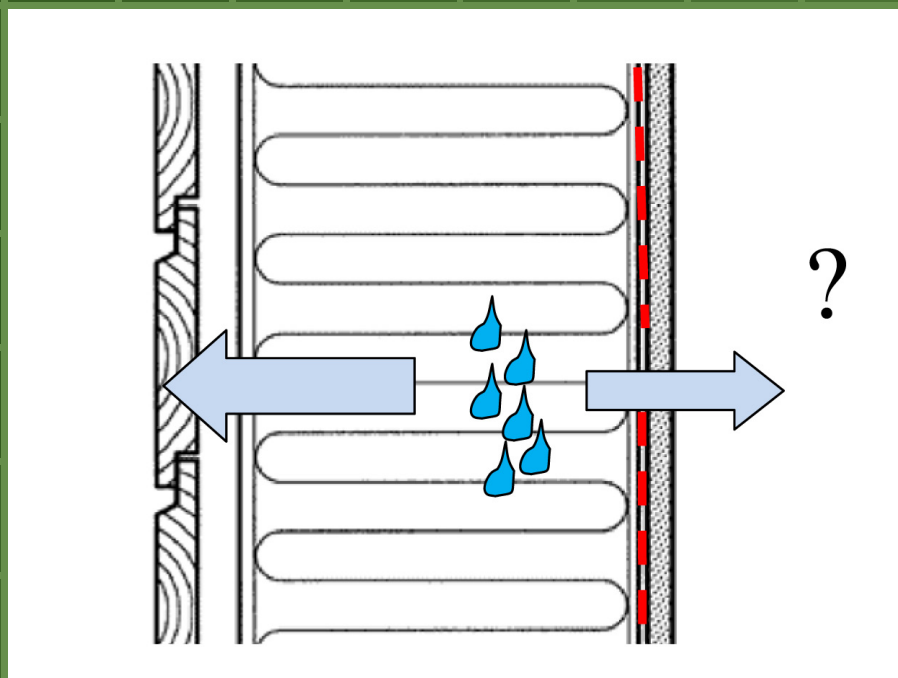


Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta

Prosjektrapport 65

2010



SINTEF Byggforsk

Stig Geving, Jonas Holme og Sivert Uvsløkk

Alternative dampsperrer med uttørkingmulighet mot innelufta

Prosjektrapport 65 – 2010

Prosjektrapport nr. 65

Stig Geving, Jonas Holme og Sivert Uvsløkk

Alternative dampsperrer med uttørkingstilgjengelighet mot innelufta

Emneord:

Dampsperre, dampbrems og uttørking

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1178-5 (pdf)

ISBN 978-82-536-1180-8 (trykk)

25 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2010

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



SINTEF Byggforsk

Stig Geving, Jonas Holme og Sivert Uvsløkk

Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta

Prosjektrapport 65 – 2010

Prosjektrapport nr. 65

Stig Geving, Jonas Holme og Sivert Uvsløkk

Alternative dampsperrer med uttørkingstilgjengelighet mot innelufta

Emneord:

Dampsperre, dampbrems og uttørking

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1178-5 (pdf)

ISBN 978-82-536-1180-8 (trykk)

25 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2010

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

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 ønske 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 uttørring innover mot inneluft, samtidig som de er tilstrekkelig dampette til å hindre kondensproblemer, markedsføres i dag i Norge av flere leverandører. Produktene benevnes ofte ”dampbremsere”. Det eksisterer imidlertid lite kunnskap om hvor godt slike produkter egentlig fungerer, både med hensyn til å oppnå uttørring innover og i forhold til økt risiko for kondensskader og muggvekst. I denne rapporten har vi sett nærmere på denne problemstillingen gjennom litteraturundersøkelser, beregninger og analyser.

Dette arbeidet er gjennomført innenfor forsknings- og utviklingsprogrammet *Climte Adapted Buildings (CAB) 2007-2010*. Forfatterne vil rette en stor takk til Norges forskningsråd for finansieringen av dette arbeidet.

Trondheim, desember 2010

Berit Time
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Sammendrag

I dette prosjektet er det gjort analyser og vurderinger knyttet til bruk av alternative dampsperrer i ytterkonstruksjoner. Det inkluderer yttervegger og luftede tak hvor det benyttes produkter på varm side av isolasjonen som er vesentlig mindre damprette enn hva som anbefales for ordinære dampsperrsjikt. En vesentlig begrunnelse for å benytte slike dampåpne eller også populært kalt ”pustende” produkter, er at konstruksjonen får en uttøringsmulighet innover. Den effekten har vært hovedtemaet for dette prosjektet.

Følgende problemstillinger har vært undersøkt nærmere i dette prosjektet:

1. *Krav til minimum dampmotstand på varm side for å unngå fuktskade som følge av kondensering og muggvekst.* Dette inkluderer også krav til minimum forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side. Dette har vært gjennomført som en litteraturstudie av tidligere beregnings- og måleprosjekter.
2. *Effekt av luftlekkasjer på krav til minimum dampmotstand på varm side.* En svakhet med tidligere undersøkelser knyttet til krav til dampmotstand på varm og kald side er at de ikke har tatt hensyn til effekten av eventuelle luftlekkasjer fra innelufta, men kun tar hensyn til vanddampdiffusjon fra innelufta. Dette er imidlertid undersøkt her i en beregningsstudie.
3. *Uttørring innover – når virker det?* En av de angitte fordelene med mer dampåpne konstruksjoner er muligheten for uttørring innover, i tillegg til uttørring utover i konstruksjonen. Dette fordrer selvfølgelig at vanddampmotstanden på varm side ikke er for høy. Man kan derfor forestille seg at det finnes en maksimal dampmotstand for såkalte ”dampbremsere” gitt at de skal muliggjøre en viss uttørring innover. Dette er undersøkt her i en beregningsstudie.

Ordinære bindingsverkskonstruksjoner i Norge har vanligvis relativt dampåpne vindsperrer, ofte med en S_d -verdi rundt og under 0,1 m. Beregningene viser klart at den innadrettede uttørringen er beskjeden i slike konstruksjoner, siden mesteparten av fukten vil tørke utover. For å få en innadrettet uttørring av betydning må dampmotstanden på varm side være ganske lav. Beregningene viser eksempelvis at dampmotstanden på varm side i de fleste tilfeller bør være lavere enn ca. $S_d = 1-2$ m. Selv da er det kun en begrenset del av den totale uttørringen som går innover, i størrelsesorden ca. 25%. Beregningene viser klart at det er mer effektivt å redusere dampmotstanden på vindsperra til en $S_d < 0,1$ m, enn dampmotstanden på varm side, for å bedre uttørring av byggfukt og tilfeldige lekkasjer og liknende.

Hovedkonklusjonen er altså at dampbremsere og liknende produkter har relativt liten nytteverdi mht. å øke uttøringshastigheten i bindingsverkskonstruksjoner i nordisk klima med ordinære vindsperrer. Hvis derimot vindsperra er mer damprett enn normalt kan det være en større nytteverdi med slike produkter. Uansett må S_d -verdien på varm side være relativt lav for å oppnå en stor andel innadrettet uttørring, og dette gjør selvfølgelig konstruksjonen mer utsatt for kondensproblemer og muggvekst. I løpet av et år vil en dampbrems med konstant dampmotstand gi netto fukttransport ut i veggen, og gi en økt risiko for fuktskader i konstruksjonen sammenlignet med bruk av vanlig dampsperre med $S_d > 10$ m. Det har ikke vært mulig i dette prosjektet å angi noen entydig grense for minimum dampmotstand som behøves på varm side for å unngå kondens og muggvekst, siden dette i praksis avhenger av svært mange faktorer.

Til tross for det overnevnte synes det klart at det er mulig å benytte mer dampåpne materialer på varm side av bindingsverkskonstruksjoner uten at fuktproblemer oppstår. Dette krever imidlertid at luftfuktigheten i bygget ikke er unormalt høy, dvs. at bygget må ha en velfungerende ventilasjon og ingen unormalt høy fuktproduksjon. Bygget må videre være lufttett og ha en mest mulig dampåpen vindsperre.

Selv om såkalte dampbremsere eller ”smarte” dampsperrer har liten nytteverdi for vanlige bindingsverksvegger over terreng, vil de kunne gi ekstra uttørkingskapasitet for enkelte andre typer konstruksjoner. Dette kan for eksempel gjelde konstruksjoner som har liten eller ingen uttørkingsmulighet utover, som for eksempel innvendig isolerte kjelleryttervegger og lette kompakte tak. Konstruksjoner som kan oppnå høy utvendig overflatetemperatur pga. solstråling (lette kompakte tak med mørk takteking) har et ekstra potensiale for å oppnå ekstra uttørring ved bruk av slike produkter.

Såkalte ”smarte” dampsperrer, dvs. produkter med variabel dampmotstand avhengig av fuktnivået, har trolig en bedre fuktsikkerhet enn ”dampbremsere” med konstant lav eller middels høy dampmotstand. De ”smarte” dampsperrere kan typisk åpne for innadrettet uttørring ved behov om sommeren, samtidig som de sperrer for utadrettet fukttransport fra innelufta om vinteren.

Undersøkelsene og analysene gjort i denne rapporten bekrefter at nåværende praksis med dampsperre med $S_d > 10$ m i vanlige vegger og tak (f.eks. bindingsverksvegger og luftede tak) er en sikker og robust løsning.

Innhold

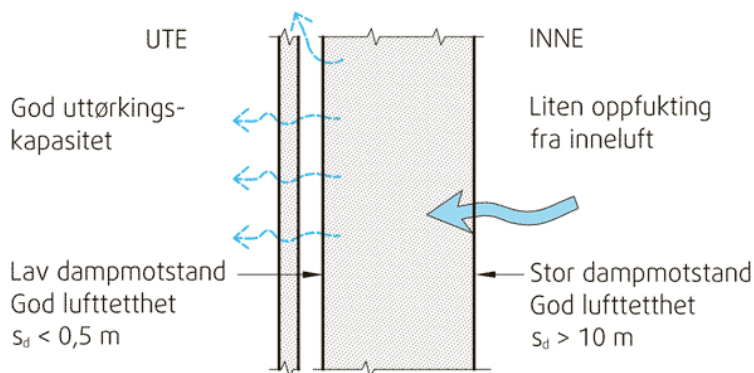
Førord	3
Sammendrag	5
1. Bakgrunn	9
1.1 Tradisjonell løsning	9
1.2 Hvorfor er det et ønske om alternative dampsperrer og materialer?	9
1.3 ”Pustende” vegger.....	10
1.4 Dampsperre ”light”: dampbrems	12
1.5 ”Smarte” dampsperrer.....	13
1.6 Fordeler og ulemper med dampåpne konstruksjoner	16
1.7 Faktorer som påvirker egnetheten til dampåpne konstruksjoner	20
2. Tidligere undersøkelser om minimum dampmotstand på varm side	22
2.1 Dagens anbefalinger til damp- og vindsperrer	22
2.2 Målinger på bindingsverksvegger	23
2.3 Beregninger på bindingsverksvegger.....	24
2.4 Beregninger og målinger for lette kompakte tak	29
3. Beregning av effekt av luftlekkasjer på minimum dampmotstand på varm side	31
3.1 Generelt.....	31
3.2 Fuktberegninger	31
3.3 Resultater og vurderinger.....	32
4. Uttørring innover – når virker det?	36
4.1 Generelt.....	36
4.2 Fuktberegninger	36
4.2.1 Basis inputparametre.....	36
4.2.2 Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, kraftig oppfuktet mineralull.....	37
4.2.3 Beregning B – 2-dimensjonal bindingsverksvegg, moderat oppfuktet stender	38
4.2.4 Beregning C – En-dimensjonal innvendig isolert betongvegg under terreng – oppfuktet mineralull	39
4.3 Resultater og vurderinger.....	41
4.3.1 Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, oppfuktet mineralull	41
4.3.2 Beregning B – 2-dimensjonal bindingsverksvegg, moderat oppfuktet stender	47
4.3.3 Beregning C – En-dimensjonal innvendig isolert betongvegg under terreng – oppfuktet mineralull	51
5. Oppsummering	57
5.1 Generelt.....	57
5.2 Minimum dampmotstand på varm side.....	57
5.3 Effekt av luftlekkasjer på minimum dampmotstand på varm side.....	58
5.4 Uttørring innover – når virker det?.....	58
5.5 Forslag til videre arbeid	60
6. Konklusjon	61
7. Referanser	62
Vedlegg	64
Vedlegg 1: Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, oppfuktet mineralull	65
Vedlegg 2: Forklaring av begrepet ”muggvekstpotensial” brukt i kapittel 3	68
Vedlegg 3: Beregnet muggvekstpotensial fra kapittel 3	71

1. Bakgrunn

1.1 Tradisjonell løsning

I bindingsverkskonstruksjoner og andre konstruksjoner er det vanlig å benytte en dampsperre. Dampsperras viktigste oppgave er å hindre oppfukning på grunn av luftlekkasjer og vandampdiffusjon fra innelufta. I tillegg skal den sammen med isolasjon redusere trekk og medfølgende varmetap.

Vandamp kan transporteres ut i vegg og gi kondens og skader. Vandamptransporten kan skje både ved luftlekkasjer gjennom utettheter i konstruksjonen og ved diffusjon gjennom materialene. Luftlekkasjer hindres ved å sørge for god lufttetthet i dampsperra. Risiko for kondens på grunn av diffusjon reduseres til akseptabelt nivå ved å sørge for at indre del av vegg har tilstrekkelig høy vandampmotstand, og at ytre del av vegg er så dampåpen som mulig, se kapittel 2.1 vedrørende anbefalte verdier for vandampmotstand. Generelt bør vegg bygges opp med avtakende dampmotstand utover i konstruksjonen. Se figur 1.1. Som dampsperre benyttes det som regel 0,15 eller 0,20 mm plastfolie, men også andre materialer kan være aktuelle.



Figur 1.1
Prinsippet for tetting mot vandamptransport og sikring av god uttørkingskapasitet. Kilde: Byggforskserien 523.002.

1.2 Hvorfor er det et ønske om alternative dampsperrer og materialer?

Alternative løsninger for de tradisjonelle løsningene for yttervegger og tak med dampsperre av plastfolie brukes i dag i en del sammenhenger, både i Norge og ellers i Europa og Nord-Amerika. Slike vegger (tilsvarende prinsipper gjelder også for luftede tak) blir gjerne populært kalt ”pustende vegger”. I disse veggene er den plastbaserte dampsperra erstattet med for eksempel et dampåpent cellulosebasert rullprodukt, typisk et vindsperreprodukt, plassert bak den innvendige kledningen. I noen løsninger er dette rullproduktet helt utelatt, og den innvendige lufttettheten tas hånd om av bygningsplater. Begrunnelsen for å sløyfe dampsperra kan være et ønske om å bare benytte naturlige materialer i konstruksjonene ut fra en helsemessig (avgassing), økologisk og ressursmessig tankegang, dvs. man vil blant annet unngå plastbaserte produkter. I tillegg antas det ofte at pustende vegger vil kunne ha en positiv innvirkning på innemiljøet. Dette ved at man dels antar vegg blir med på å stabilisere luftfuktigheten i innelufta og dels ved at man mener for eksempel CO₂ og oksygen kan transporteres ut gjennom den ”pustende” vegg.

En annen viktig begrunnelse for å sløyfe dampsperra eller å benytte et alternativt dampsperreprodukt er antakelsen om at vegg faktisk vil fungere bedre rent fuktmessig uten dampsperra eller

med et mer dampåpent sperreprodukt. Det sistnevnte benevnes ofte som ”dampbrems”. Denne fuktmessige fordelene begrunnes gjerne med at med en mer dampåpen innside vil veggen både kunne tørke innover og utover. Uttørking innover vil kunne være spesielt nyttig for å tørke byggfukt og mindre lekkasjer i veggen. For vegger som er utsatt for mye fukt utenfra, for eksempel fra nedbør, vil uttørking innover kunne være en ekstra sikkerhet. Dette kan for eksempel gjelde teglvanger som fuktes opp av regn, og deretter varmes opp av solskinn. Dermed er det en teoretisk mulighet for kraftig innadrettet vandampdiffusjon gjennom isolasjonssjiktet som kan gi kondens på utsiden av dampsperra (såkalt ”sommerkondensasjon”) – et problem som vil avhjelpest med en dampåpen innside.

For vegger med ingen eller begrensede uttørkingsmuligheter utover vil uttørking innover kunne være den eneste muligheten. Eksempelvis anbefales det i dag i Byggforskserien å ikke bruke dampsperra i kjelleryttervegger som er oppfylt utvendig til mer enn halv vegg høyde (Byggforskserien, 2007), begrunnet med at disse veggene (hvis de har innvendig utføring og isolering) som er helt tette på utsiden har behov for muligheten til å tørke ut innover.

1.3 ”Pustende” vegger

”Pustende vegger” eller ”pustende hus”(engelsk: ”breathing walls/houses”) anbefales ofte av arkitekter som tilstreber miljøvennlig design og opererer etter prinsippene om såkalte ”sunne hus” (Straube og Acharya, 1999). Selve begrepet ”pustende vegger” kan oppfattes som om det medfører en luftstrøm, men normalt benyttes det om produkter og konstruksjoner som er dampåpne og hygroskopiske. Hos enkelte designere kan også luftåpenhet, eller såkalte dynamiske vegger (Brunsell, 1995), være en del av begrepet ”pustende vegger”. Dette medfører at man tillater en svak og kontrollert luftstrøm fra utsiden til innsiden, noe som kan være energimessig gunstig. Varmen som er på vei ut veggen eller taket, avgis til og forvarmer den friske luften på vei inn og reduserer varmetapet fra huset. Videre i denne rapporten inkluderes imidlertid ikke slik luftåpenhet i begrepet ”pustende” vegger.

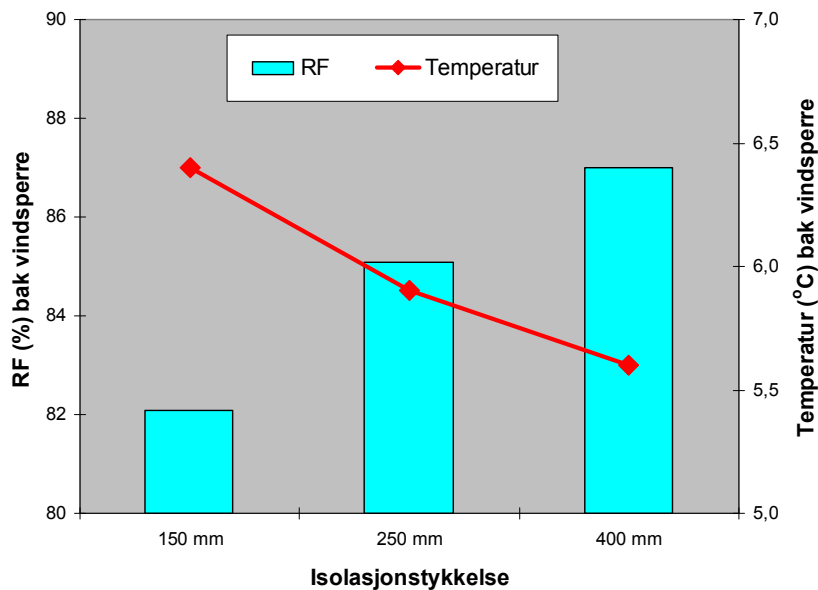
En forutsetning som ofte oppgis ved bruk av prinsippet om ”pustende” vegger er at det benyttes isolasjonsmaterialer med høy grad av hygroskopisitet, dvs. stor evne til å ta opp fukt ved behov og til deretter å avgi fukten når det er gode uttørkingsforhold. Slike isolasjonsmaterialer kan være cellulosefibrer, flis, spon, halm, saueull, trefiberplater og lignende. De eventuelle negative konsekvensene ved at mer fukt transporteres ut i konstruksjonen fra innelufta vil dermed motvirkes ved at det hygroskopiske isolasjonsmaterialet har kapasitet til å ta opp denne fukten midlertidig uten å ta skade. Cellulosefibrer, som kanskje er det mest brukte isolasjonsmaterialet i denne sammenheng i Norge, er dessuten vanligvis tilsatt brannhemmende og soppdrepende tilsetningsstoffer.

Som argument for at ”pustende vegger” fungerer uten fukttekniske problemer legges det ofte til grunn gode erfaringer med tradisjonelle og eldre bygninger som i sin tid ble oppført uten dampsperrer. Hvor relevant dette argumentet er kan diskuteres. Dagens bygninger brukes på en helt annen måte enn i tidligere tider, noe som gir andre belastninger, og i tillegg er dagens dampåpne konstruksjoner heller ikke helt sammenlignbare med tidligere tiders konstruksjoner:

- Tidligere tiders yttervegger og tak hadde vesentlig lavere U-verdi enn dagens konstruksjoner. Det betyr at temperaturen i ytre del av konstruksjonen var høyere og at den relative luftfuktigheten dermed var lavere (hvis konstruksjonene ellers er like på inn- og utside). Lavere RF gir mindre risiko for muggvekst. Se eksempel i figur 1.3.1 hvor effekten av dette er vist for en moderne veggkonstruksjon med forskjellig isolasjonstykkelse. Det betyr at konstruksjonene tidligere tålte større fukttilførsel fra innelufta. En annen effekt av økt isolasjonstykkelse er at tilført vann fra for eksempel lekkasjer o.l. tørker senere ut.
- I dag forbrukes mer vann i husholdningene, noe som gir høyere innendørs luftfuktighet dersom ventilasjonen/luftskiftet er den samme.
- Ytterkonstruksjonene var tidligere mindre lufttette enn i dag. Dette medførte at en gjennom disse luftlekkasjene var sikret en minimumsventilasjon som kunne holde inneluftas luftfuktighet på et lavere nivå sammenlignet med et moderne hus med mangelfull ventilasjon.

- Oppvarmingen var tidligere basert på vedfyring, noe som gir et innvendig undertrykk. Dermed ble det ikke tilført ekstra fukt til ytterkonstruksjonene fra innelufta gjennom luftlekkasjer. Når uteluft lekker innover gjennom ytterkonstruksjonen har den dessuten en uttørkende effekt.
- I mange tilfeller hadde faktisk eldre yttervegger innvendige materialer som fungerte som dampsperre, eller i det minste dampbrems. Eksempelvis ble det ofte benyttet flere lag krysslågt trepanel og papp på innvendig side i eldre bindingsverkstyper, se figur 1.3.2.

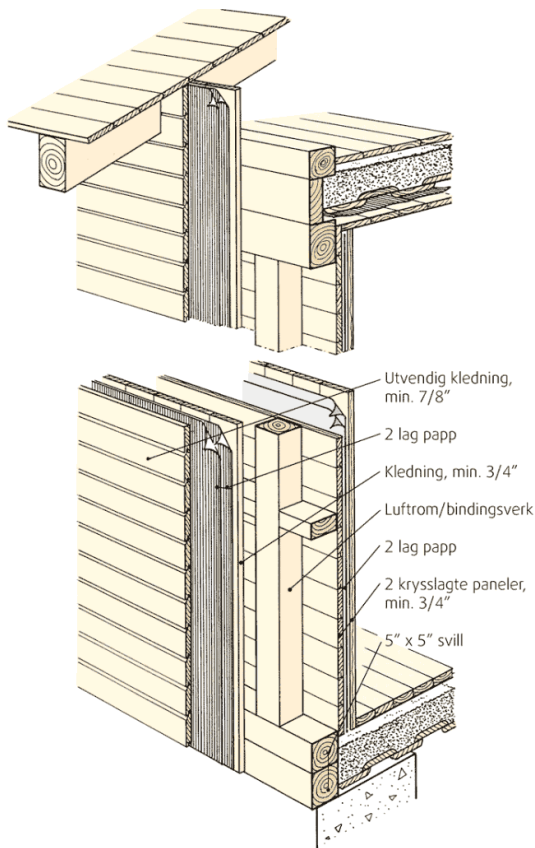
Argumentet om at vegger uten dampsperre fungerte før, og derfor bør moderne vegger også fungere uten dampsperre, er som diskutert ovenfor ikke helt relevant. Det er imidlertid klart at også moderne vegger kan fungere godt rent fuktteknisk uten den tradisjonelle dampsperra – under gitte forutsetninger! Disse forutsetningene blir nærmere diskutert i denne rapporten.



Figur 1.3.1

Beregnet temperatur og RF i overgangen mellom vindsperre og isolasjon for forskjellige isolasjonstykkelser og stasjonære forhold. Vi ser at jo mer velisolert veggen er, jo høyere blir RF og jo mindre "tåler" veggen av tilført fukt fra innelufta før skader/kondens oppstår. Klimaforhold: $T_{ute} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RF_{ute} = 90\%$, $T_{inne} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RF_{inne} = 40\%$. Konstruksjon: Luftet kledning, 13 mm porøs trefiberplate (vindsperre, $S_d^1 = 0,16\text{ m}$), X mm mineralull, dampsperre ($S_d = 10\text{ m}$), 13 mm gipsplate.

¹ Ekvivalent luftlagstykkelse, S_d , er en forholdsvis ny enhet for dampmotstand som er mer og mer brukt i Norge og andre land. At et materialsjikt har en S_d -verdi på 0,5 m betyr at materialsjiktet har samme motstand mot vanddampdiffusjon som et 0,5 m tykt lag med stillestående luft. Vindsperrer har eksempelvis typisk en S_d -verdi mellom 0,02-0,3 m (anbefalt < 0,5 m), mens en 0,15 mm plastfolie har en S_d -verdi på ca. 70 m (anbefalt for dampsperrer > 10 m).



Figur 1.3.2

Eldre bindingsverksvegg med to lag panel og papp på hver side. To lag tørt trepanel med min. tykkelse $\frac{3}{4}$ " har eksempelvis en S_d -verdi på ca. 2 m, dvs. omtrent tilsvarende det vi i dag benevner som dampbrems, se kap. 1.4. Merk at dampmotstanden til trebaserte materialer synker når fuktinnholdet øker, slik at de ytre lagene trepanel er vesentlig mer dampåpne enn de indre lagene. Kilde: Byggforskserien 723.306.

1.4 Dampsperre "light": dampbrems

Dersom begrunnelsen for å sløyfe dampsperra eller benytte et mer dampåpent produkt kun er basert på ønsket om å oppnå uttørkingsmuligheter mot inneluft, og ikke en økologisk tankegang hvor man ønsker å unngå for eksempel plastmaterialer, åpner det seg muligheter for å benytte en del nye moderne produkter på markedet.

Noen av disse produktene kan gå under benevnelsen "dampbrems". Begrepet dampbrems er foreløpig relativt udefinert. Den videste definisjonen er at en dampbrems er mindre damptett enn minimumskravet som stilles til dampsperrer og mer damptett enn maksimumskravet som stilles til vindsperrer. I forhold til anbefalinger i Byggforskserien, se kap. 2.1, gir dette følgende spenn i damptetthet; dvs. $0,5 \text{ m} < S_{d, \text{dampbrems}} < 10 \text{ m}$. I mange tilfeller vil nok denne definisjonen være for vid. Med en dampåpenhet i nærheten av en vindsperrers er risikoen for kondens høy, se kap. 2. Med en dampmotstand i nærheten av en dampsperre er uttørkingspotensialet innover trolig for lite til at produktet fyller sin tiltenkte funksjon. Dette er nærmere diskutert i kap. 4.

For Nord-Amerikanske forhold definerer Listiburek (2002) dampbrems ("vapour retarder") til å ha S_d -verdi mellom 0,34 – 3,4 m. Dampsperrer ("vapour barrier") defineres da til å ha en dampmotstand større enn $S_d = 3,4 \text{ m}$.

På det norske markedet finner vi for tiden tre produkter som går under benevnelsen dampbrems. Isola AS har produktet *Sd2 Dampbrems* (polypropylen med copolymer belegg) som har en S_d -verdi på ca. 5 m, men variasjonsområdet er samtidig relativt stort (2 – 10 m) (kilde: www.isola.no).

Würth har produktet *Wütop DB2* (polypropylen med PE/EVA belegg) som har en S_d -verdi på ca. 2 m (kilde: www.wuerth.no). Nortett markedsfører produktet *Delta Luxx* med en S_d -verdi på ca. 2 m (kilde: www.nortett.no). Variasjonsområdet for S_d -verdien for de to sistnevnte produktene er ikke oppgitt.

Også andre produkter enn plastbaserte rullprodukter som markedsføres nettopp som dampbrems, kan gå inn under begrepet dampbrems. Dette kan for eksempel være plateprodukter som har en viss dampmotstand. Hvis ønsket er å unngå plastmaterialer og lignende ut fra en økologisk tankegang er trebaserte produkter aktuelle – gitt at man håndterer lufttettingen på annen måte, for eksempel med en vindsperre bak plateproduktet. Noen eksempler på dampmotstander for plateprodukter og overflatebehandlinger er gitt i tabell 1.4.1. Dersom man ønsker å benytte plateprodukter og lignende er det derimot viktig at man har dokumenterte verdier for dampmotstanden. Dampmotstanden til produkter som for eksempel kryssfiner og OSB kan variere svært meget, og det er derfor ikke tilstrekkelig å basere seg på verdier hentet fra litteraturen som i tabell 1.4.1.

Tabell 1.4.1

Eksempler på typiske dampmotstander for noen produkter som kan tenkes å fungere som dampbrems, gjerne i kombinasjon med hverandre. Kilde: (Geving og Thue, 2002).

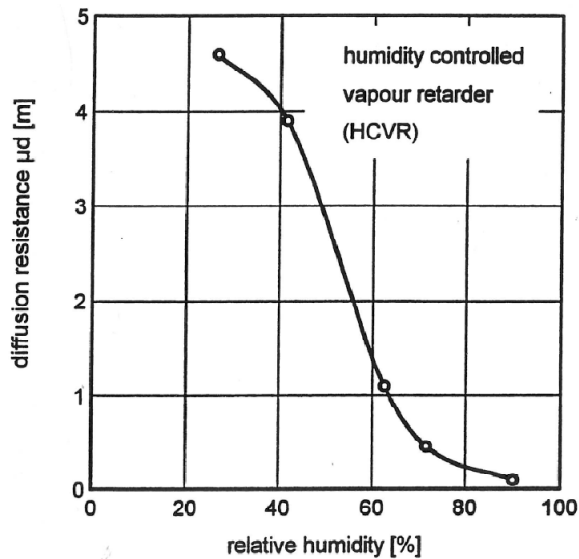
Materiale	S_d -verdi (m)
Kryssfiner, 13 mm	0,6-3,2
Sponplate, standard, 13 mm	0,6-1,6
OSB-plate, 13 mm	0,4-0,6
Vinyltapet	1,9
Akryllateksmaling	0,1-0,5
Alkydmaling, 2 strøk matt veggmaling	0,5-1,0
Alkydlakk, to strøk blank	3,7-7,6 m

1.5 ”Smarte” dampsperrer

Mens en såkalt dampbrems vil ha en gitt dampmotstand, for eksempel $S_d = 2$ m, finnes det i dag på markedet (ikke i Norge ennå) enkelte dampsperrer som varierer egenskapene etter behovet, dvs. såkalte ”smarte” eller ”intelligente” dampsperrer. Den fysiske virkemåten på disse produktene varierer, men hovedprinsippet er at dampsperra skal fungere som en ordinær damptett dampsperre hoveddelen av tiden, dvs. den skal hindre at vanndamp fra innelufta trenger ut i konstruksjonen. Hvis konstruksjonen derimot er fuktig, for eksempel fra lekkasjer eller liknende, slik at RF på utsiden av dampsperra blir svært høy, vil dampmotstanden reduseres slik at det blir uttørkingsmulighet innover.

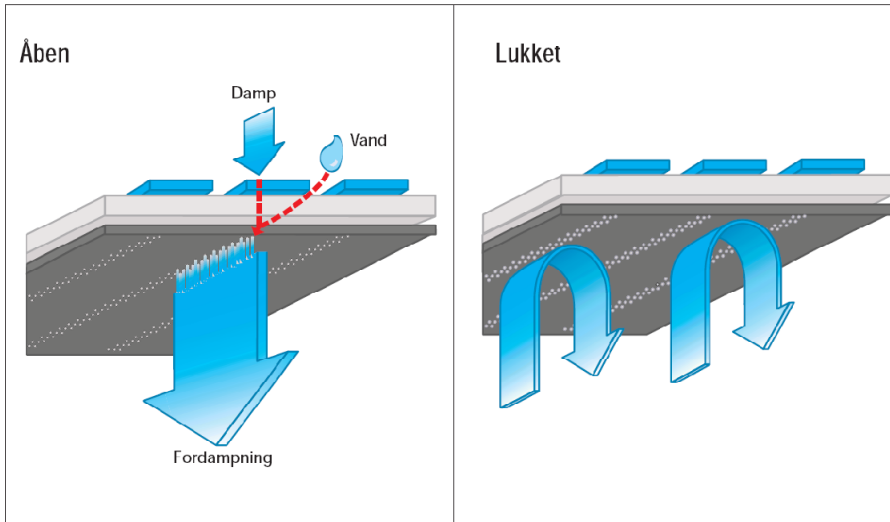
En tysk utviklet dampbrems har slike varierende egenskaper (Künzel, 1996). Produktet er en polyamidbasert (PA)-foile med en S_d -verdi på ca. 4-5 m når RF er under ca. 40% RF og ca. 0,1-0,2 m når RF er over 80%, se figur 1.5.1. Produktet markedsføres i Sverige av Isover under navnet *Vario Duplex* (kilde: www.isover.se). Andre lignende produkter finnes også, blant annet *DB+* og *Intello* som produseres av MOLL bauökologische Produkte i Tyskland (kilde: <http://de.proclima.com>). *Intello* har et enda større spenn enn *Vario Duplex*, med en S_d -verdi som varierer fra over 10 m ned til ca 0,25 m.

I skandinaviske strøk er RF i innelufta normalt godt under 40% om vinteren, dvs. da vil slike produkter yte maksimal motstand mot at vanndamp transporteres ut i konstruksjonen. På sommeren er gjerne inneluftas RF vesentlig høyere, typisk mellom 50 og 70% RF. I tillegg kan eventuell fukt transporteres innover i konstruksjonen, spesielt dersom solstråling hever den utvendige temperaturen på konstruksjonen. Dermed vil dampbremsen oppleve relativt høy RF og dermed få en lav dampmotstand. Uttørkingsmulighetene innover blir dermed maksimalt gode. Produktet har særlig vært utprøvd på lette kompakte treak. I slike takkonstruksjoner er uttørkingsmuligheten innover ekstra stor pga. at takflaten kan få høye temperaturer om sommeren når det er sol, og et slikt produkt vil åpne for at den innadrettede fukttransporten om sommeren kan unnsnippe til innelufta.



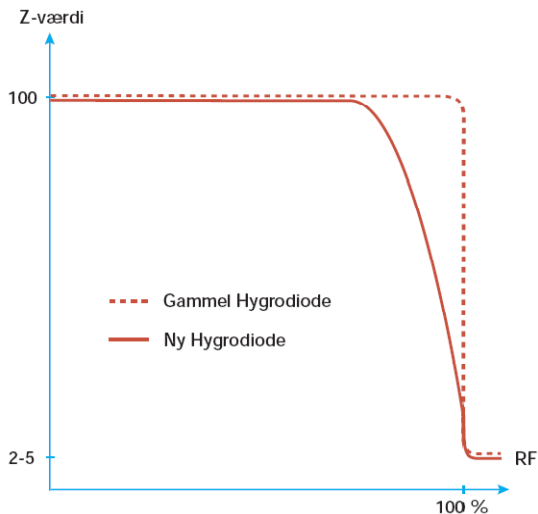
Figur 1.5.1
 "Smart" dampbrems med varierende dampmotstand ("diffusion resistance" = $S_d = \mu d$) avhengig av fuktforholdene (Künzel, 1996).

Hygrodiode er et danskutviklet produkt som er en variant av overnevnte produkt, som produseres av Icopal Danmark. Hygrodiode har vært på markedet lenge, og hadde tidligere NBI Teknisk godkjenning. Det tidligere produktet besto av en vannsugende filt med strimler av plastfolie på begge sider. Plastfoliestrimlene var lagt med overlapp mot strimlene på andre siden av filten, dvs. produktet var omtrent like damp tett som en ordinær plastfolie. De åpne feltene med filt gjorde imidlertid at eventuell sommerkondens på utsiden av plastfolien kunne transporteres via kapillærsuging inn til innsiden og fordampe mot innelufta. Produktet var tenkt spesielt til bruk i kompakte lette tretak, hvor høye temperaturer på tekkingen om sommeren gir gode uttørkingsmuligheter innover. En ny variant av Hygrodiode benytter i tillegg et foliemateriale som varierer med fuktnivået, se figur 1.5.2, og ligner dermed på overnevnte tyske produkt. Det er imidlertid den forskjell at dampmotstanden ved tørr verdi er vesentlig høyere, se figur 1.5.3.



Figur 1.5.2

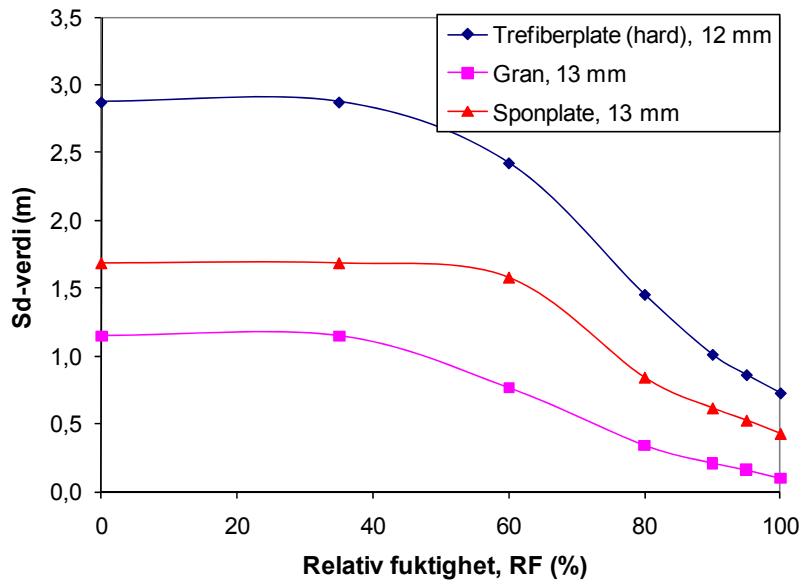
Prinsipiell virkemåte for Hygrodiode. På ene siden av en filtduk er det festet en plastfolie som er feltvis perforert. På andre siden av filteren og dekkende for perforeringen er det festet strimler av en spesiell plastfolie med varierende dampmotstand avhengig av fuktnivået (tilsvarende overnevnte tyskproduserte dampbrems). Det betyr at om vinteren når RF er lav på begge sider av dampsperra vil dampmotstanden være høy, mens om sommeren vil dampmotstanden synke etter som RF inne i konstruksjonen stiger, se figur 1.4.3. Dersom det kondenserer på utsiden av Hygrodiode, vil fukten suges opp av filteren og fordampes mot innelufta via perforeringene i plastfolien. Kilde: www.icopal.dk



Figur 1.5.3

Vanndampmotstand Z (i GPasm^2/kg) til Hygrodiode. 100 og 5 GPasm^2/kg tilsvarer hhv en Sd-verdi på ca. 19 m og 1m. Kilde: www.icopal.dk

Svært mange vanlige materialer fremviser litt av den effekten de smarte dampsperrene baserer seg på, dvs. at dampmotstanden reduseres jo høyere RF-nivå de utsettes for. Dette gjelder spesielt trematerialer og mineralske materialer. Noen eksempler er vist i figur 1.5.4. Det er imidlertid verdt å merke seg at man kan finne til dels stor variasjon i slike måledata når man leter i litteraturen, selv for et enkelt materiale som gran og spesielt for fabrikkproduserte materialer som sponplater og kryssfiner. Platematerialer av treverk har imidlertid et klart potensiale som en mulig fuktavhengig dampbrems, eventuelt i kombinasjon med en overflatebehandling.



Figur 1.5.4
Eksempler på fuktavhengigheten på Sd-verdi til treverk. Kilde: (Hedenblad, 1996)

1.6 Fordeler og ulemper med dampåpne konstruksjoner

Dampåpne konstruksjoner (dvs. ytterkonstruksjoner med lav dampmotstand på varm side) blir ofte benyttet med den hensikt å oppnå forbedret innemiljø og å bedre de fukttekniske forholdene for selve konstruksjonen. På den annen side vet vi at det å redusere dampmotstanden på den varme siden av veggen kan få akkurat motsatt virkning, dvs. kondens med påfølgende muggvekst med negativ påvirkning på innemiljøet. I det følgende diskuteres noen mulige fuktmessige fordeler og ulemper med dampåpne ytterkonstruksjoner.

Mulige fordeler

1. *Byggfukt og fukt fra tilfeldige smålekkasjer får uttørkingsmuligheter innover.*

Mange konstruksjoner vil fra tid til annen utsettes for mindre lekkasjer, for eksempel fra nedbør. Byggfukt er et annet problem, f.eks. fra produksjonsfukt i betong eller oppfuktet treverk og isolasjon fra nedbør under monteringsfasen. Dersom konstruksjonen har gode uttørkingsmuligheter kan det tenkes at fukten rekker å tørke før skader oppstår. Dersom konstruksjonen er relativt dampåpen på innsiden kan dette hjelpe til på uttørkingshastigheten, ved at fukten kan tørke både utover og innover.

I det skandinaviske klimaet, med stort sett alltid lavere temperaturer ute enn inne, vil imidlertid hoveddelen av uttøringen være utadrettet hvis utvendig del av konstruksjonen er dampåpen. Vinha et. al (2002a) fant for finsk klima at en dampåpen innvendig overflate ikke økte uttørkingshastigheten signifikant for en bindingsverksvegg med meget dampåpen vindspærre og luftet kledning. Den mest effektive måten å tørke konstruksjonen på er ifølge Vinha et. al. (2002a) således å sørge for at ytre del av konstruksjonen (vindspærra) er så dampåpen som mulig.

Det er imidlertid tilfeller hvor den innadrettede uttøringen blir viktigere. Det gjelder for eksempel for tilfellet at den utvendige delen av konstruksjonen er mer eller mindre damp tett, se punkt nedenfor. I tillegg vil det for helt eller delvis uoppvarmede bygninger være et potensiale for innadrettet uttøring dersom innvendig del av konstruksjonen er dampåpen. Dette kan

eksempelvis gjelde fritidsboliger som kun periodevis blir varmet opp. Konstruksjoner som kan bli kraftig oppvarmet av solstråling om sommeren har et spesielt stort uttørkingspotensiale innover. Vi vet for eksempel at mørke taktekkinger i kompakte tak kan oppnå temperaturer mellom 50 og 60 °C en solrik sommerdag. Det betyr at eventuell fukt i taket vil bli transportert innover på dagtid. Se også punkt 2 og 3 nedenfor.

2. *Konstruksjoner som er damptette på utsiden får uttørkingsmulighet*

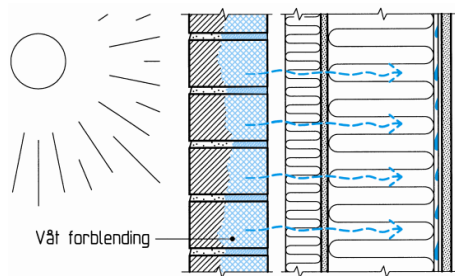
Svært mange konstruksjoner har liten eller tilnærmet ingen uttørkingsmuligheter utover. Det gjelder for eksempel kjelleryttervegger med grunnmursplate, betongkonstruksjoner over bakken som er innvendig isolert, kompakte tak og lokale detaljer hvor for eksempel metallbeslag sperrer for uttørkingen utover. I tillegg kan det være konstruksjonsløsninger hvor det av en eller annen grunn benyttes mer damptette vindsperrer enn anbefalt, for eksempel kryssfiner eller OSB-plater.

For konstruksjoner uten uttørkingsmulighet utover kan en dampåpen innside være et alternativ. Eksempelvis anbefales det i Byggeforskserien (Byggeforskserien 2007)] at det i innvendig isolerte kjelleryttervegger ikke benyttes dampsperre hvis det er fylt opp med masser utvendig til mer enn halv vegg høyde. Slike konstruksjoner kan imidlertid være utsatt for kondens hvis dampsperra sløyfes eller det benyttes en dampbrems, og derfor er det en del forutsetninger som bør ligge til grunn før en slik løsning velges. Den viktigste er uansett at luftfuktigheten inne må være lav.

For eksempelvis kompakte tak vil normalt kondensrisikoen bli svært stor dersom man ikke benytter dampsperre. På den annen side har kompakte tak ofte et svært stort potensiale for uttørking innover på solrike sommerdager. Produkter som eksempelvis ”smarte” dampsperrer kan derfor være aktuelle her. De har normal dampmotstand når de er ”tørre”, men slipper gjennom fukten hvis det eksempelvis kondenserer på utsiden av dem.

3. *Risiko for kondens på utsiden av dampsperra (sommerkondens) reduseres*

Et problem som kan oppstå i konstruksjoner der utvendig kledning har stor evne til å ta opp mye regnvann er såkalt ”sommerkondens”. Dette gjelder tunge murvegger, og kanskje spesielt teglforblendede bindingsverksvegger. Hvis forblendinga er fuktet opp av slagregn, vil den ha en RF på 100 %. Hvis sola skinner på forblendinga i den varme årstida, kan temperaturen på forblendinga bli høyere enn temperaturen i de indre delene av veggen. Det vil si at damptrykket i skallmuren kan bli vesentlig høyere enn damptrykket lenger inn i veggen. Dermed vil man kunne få en innadrettet fukttransport ved diffusjon, som kan resultere i kondens på utsida av dampsperra, se figur 1.6.1. Selv om kondens ikke nødvendigvis inntreffer, medfører vanligvis en oppfuktet forblending på sommerstid høy RF i bakveggen. Det har imidlertid ikke vært registrert problemer knyttet til dette i noen særlig grad i Norge. En mer dampåpen innvendig side av veggen vil imidlertid opplagt redusere dette potensielle problemet.



Figur 1.6.1

Sommerkondens på utsida av dampsperra. Hvis sola skinner på fasaden, og forblendinga samtidig er våt, vil temperaturen og damptrykket kunne bli vesentlig større enn lenger inn i veggen. Fukten vil da transporteres ved diffusjon innover i veggen, hvor den kan kondensere mot dampsperra. Dersom innsiden er dampåpen vil man trolig kunne unngå at det kondenserer.

4. Den hygrokopiske tregheten til veggen hjelper til å stabilisere romluftas luftfuktighet.

Luftfuktigheten i bygninger vil kunne variere meget over døgnet, avhengig av bruken av bygget og fuktproduksjonen. Enkelte ser på det som en fordel at luftfuktigheten ikke svinger for mye over døgnet. Alle hygrokopiske overflater i rommet vil naturlig ”dempe” svingninger i romluftas luftfuktighet, det være seg hygrokopiske materialer i veggen og møbler, bøker, tekstiler m.m. i rommet. Uten dampsperre er det mulighet for at større deler av veggen kan bidra til denne dempingen, for eksempel hvis det er benyttet isolasjonsmaterialer med stor hygrokopisk kapasitet.

De materialene som befinner seg nærmest romlufta vil imidlertid bidra mest med å dempe svingningene i luftfuktighet over døgnet. I flere undersøkelser er det påvist at hygrokopisk isolasjon bak den innvendige kledningen (uten dampsperre) har liten eller ingen betydning på fuktforholdene på den innvendige luftfuktigheten (Simonson et. al., 2001). Det er også vist at døgnvariasjoner i inneluftas RF kun påvirker de innerste par millimeter av kledningsoverflaten (Hagentoft, 2001), dvs. isolasjonens hygrokopisitet vil ikke innvirke på inneluftas luftfuktighet. Det betyr at dempingen man ønsker å oppnå kan man oppnå like effektivt ved å ha en dampsperre bak en hygrokopisk innvendig kledning.

Mulige ulemper

1. Fukt fra innelufta diffunderer ut i konstruksjonen med risiko for kondens, muggvekst og andre følgeskader.

Dersom det ikke benyttes dampsperre vil RF i ytre del av konstruksjonen bli høyere i den kalde delen av året og det kan bli risiko for kondens, muggvekst m.m. Dette er hovedgrunnen til at dampsperre er anbefalt benyttet i de fleste land med kalde vintre. Prinsippet for hva som skjer er vist i figur 1.6.2. Risikoen for at RF blir så stor at kondensering inntreffer er videre sterkt avhengig av luftfuktighetsnivået innendørs. Med god ventilasjon kan risikoen reduseres.

2. Luftlekkasjer fra inneluft ut i konstruksjonen med påfølgende følgeskader, kan øke uten bruk av eget lufttettende dampperresjikt

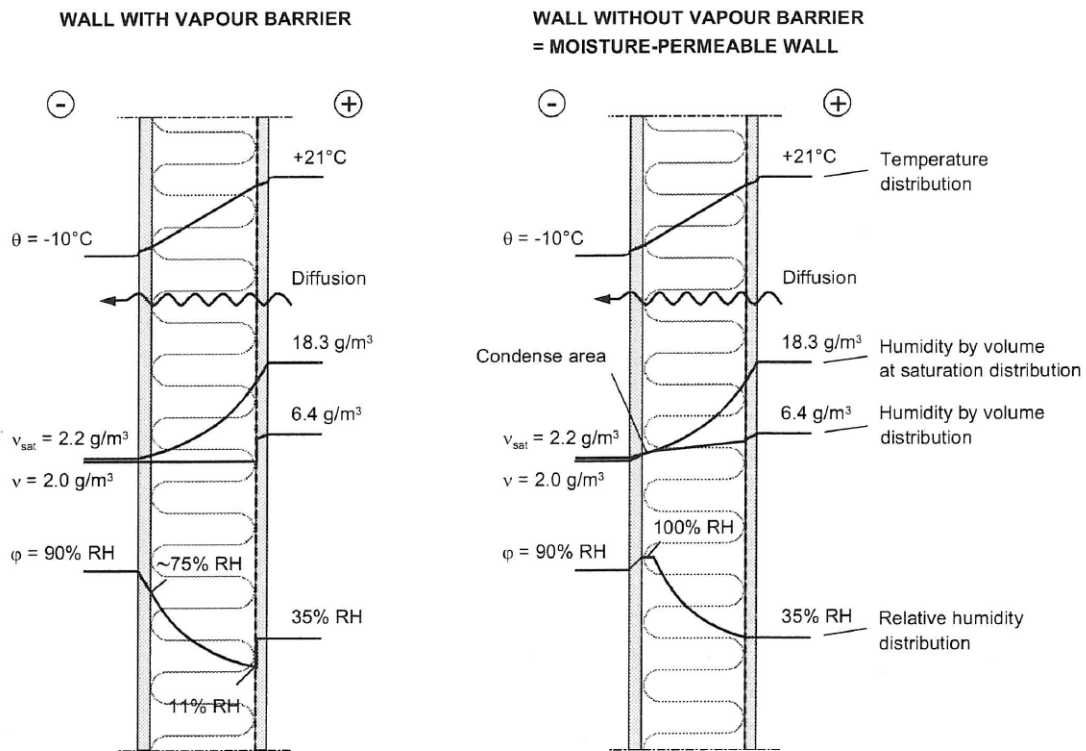
Den klassiske dampsperra av plastfolie har i tillegg til å stoppe/bremse vanndampdiffusjon en annen viktig funksjon. Den skal også sørge for lufttetthet på innvendig side av konstruksjonen. Dette delvis av energihensyn, men vel så viktig er at den skal hindre fuktig inneluft å lekke ut i konstruksjonen gjennom utettheter og gi lokale kondensskader. Slike luftlekkasjer er ofte sett på som et hyppigere problem enn rene ”diffusjonsskader” som illustrert i figur 1.6.2. Innvendig lufttetting kan gjennomføres med andre metoder og materialer enn bare plastfolie, men eksempelvis er plastfolien sett på som et robust materiale som føyer seg lett ved hjørner og er

motstandsdyktig mot rifter og lignende sammenlignet med for eksempel cellulosebaserte vindsperrer.

3. *Dampåpne ytterkonstruksjoner er mindre robuste for ugunstig bruk av bygningen (for høy luftfuktighet)*

Som det vil dokumenteres senere i rapporten kan dampåpne ytterkonstruksjoner fungere godt under visse forutsetninger. En av de viktigste forutsetningene er at luftfuktigheten innendørs ikke må bli for høy. Det betyr at det alltid må være en velfungerende ventilasjon i bygget, og at spesielle fuktkilder som befuktning, tørking av klær inne og lignende bør unngås. Vi vet at jo flere personer det er i en bolig, jo høyere blir den innvendige luftfuktigheten, slik at det kan sette begrensninger på persontettheten. Badet er normalt det rommet i en bolig med høyeste luftfuktighet, og vil trolig være mest utsatt for skader dersom deler av veggene er dampåpne.

Dampåpne ytterkonstruksjoner kan også sette begrensninger på hvordan konstruksjonen ellers bør bygges opp, for eksempel mht. materialvalg. Eksempelvis er det en fordel om vindsperra er så dampåpen som mulig, jo mer dampåpen konstruksjonen er på innsiden jo mer dampåpen bør vindsperra være. Bruk av isolasjon med hygroskopisk kapasitet kan også være en fordel.



Figur 1.6.2
Prinsipiell virkemåte mht. risiko for kondens og høy RF i ytre del av konstruksjonen for vegger med og uten dampsperra under vinterforhold (Vinha, 2007).

1.7 Faktorer som påvirker egnetheten til dampåpne konstruksjoner

I det følgende diskuteres endel faktorer som vil kunne påvirke egnetheten til dampåpne ytterkonstruksjoner. I dette tilfellet er egnetheten definert som risiko for at høy RF eller kondens, med mulighet for at muggvekst, råte og andre følgeskader oppstår.

1. Total dampmotstand på innvendig side

Når man vurderer dampmotstanden på innvendig side er det viktig at man tar med effekten av alle materialsjiktene, dvs. både fra eventuell vindsperr eller dampbrems, platematerialer, trekledning og ikke minst overflatebehandling. Det er derfor viktig å være klar over at dampåpne konstruksjoner ikke er dampåpne – men alltid har en viss dampmotstand. Denne dampmotstanden kan og bør trolig tilpasses forholdene, selvfølgelig med det bibehold at det fremdeles skal være uttørkingsmuligheter innover. Dampmotstanden bør også tilpasses vindsperras dampmotstand, jo mer damptett vindsperra er jo mer damptett bør innvendig side være. Se punkt 2 og 3 nedenfor.

2. Vindsperras dampmotstand

En del moderne vindsperrmaterialer er meget dampåpne ($S_d < 0,1$ m), men det er fremdeles en viss variasjon i nivået når man inkluderer alle typer vindsperrmaterialer. Det er opplagt at jo mer dampåpen vindsperra er, jo bedre er uttørkingsmulighetene for fukt som trenger inn i konstruksjonen for eksempel fra diffusjon innenfra. Når ordinær dampsperr ikke benyttes bør derfor vindsperra velges så dampåpen som mulig.

3. Forholdet mellom innvendig og utvendig dampmotstand

Generelt anbefales det at innvendig side av konstruksjonen har større dampmotstand enn den utvendige, for å sikre at uttørkingsmulighetene er større enn oppfuktingsmulighetene via diffusjon. Det er mange studier som har undersøkt om det er noe minimums forholdstall mellom innvendig og utvendig dampmotstand. De fleste konkluderer med at innvendig dampmotstand bør være et sted mellom ca. 5 – 10 ganger større enn utvendig vanddampmotstand, se kapittel 2. Det må også bemerkes at dersom innvendig luftfuktighet er mye høyere enn normalt (f.eks. svømmehaller) anbefales det vanligvis at forholdstallet er større enn det overnevnte, se pkt. 4 nedenfor. Det er ikke noe problem å oppnå dette med riktig valg av materialer – og likevel ha en relativt dampåpen innside. Det må likevel bemerkes at anbefalingene knyttet til disse forholdstallene vanligvis også inkluderer et minimumskrav til vindsperras dampmotstand (som ikke gir uttørkingsmuligheter innover), se kapittel 2.

4. Innendørs luftfuktighet og ventilasjon

Innendørs luftfuktighet er kanskje den enkeltstående faktoren (ved siden av vindsperras dampmotstand) som har størst betydning for kondensrisikoen når dampsperr ikke benyttes. Generelt kan man nok si at innendørs luftfuktighet må holdes relativt lav for at dampåpne konstruksjoner skal fungere. Det igjen betyr at man må ha kontroll på fuktildene/fuktproduksjonen i huset og at man må ha en velfungerende ventilasjon.

5. Vindsperras varmemotstand og eventuell isolasjon på utsiden av vindsperra

I en tradisjonell bindingsverksvegg vil normalt de høyeste fuktnivåene opptre på innsiden av vindsperra. Dersom vindsperra har en viss varmemotstand (for eksempel trefiberplate) eller det er et lite lag med varmeisolasjon på utsiden av vindsperra, vil RF på innsiden av vindsperra senkes og kondensrisikoen reduseres noe.

6. Isolasjonens (og vindsperras) hygroskopiske kapasitet

Dersom varmeisolasjonen (og eventuelt vindsperra) har høy hygroskopisk kapasitet, dvs. stor evne til å binde fukt i vanddampfasen, vil man kunne oppnå flere fordeler for dampåpne konstruksjoner. Høy hygroskopisk kapasitet betyr at materialene har en fuktmessig ”treghet” og at de vil dempe svingninger i fuktinnholdet i konstruksjonen. Det betyr at ved ugungstige

klimatiske forhold inne og ute som umiddelbart gir kondens i en vegg med mineralull (som har liten hygroskopisk kapasitet), vil for eksempel cellulosefiber forsinke fuktopptaket ved vindsperra. Hvis de ugunstige klimaforholdene ikke er for langvarige kan det tenkes at kondens unngås helt. Hvis de alternative materialene også kan holde på kondensvann, kan de hindre det i å renne ned i bunnen av veggen og fukte opp bunnsvill m.m., og heller tørke ut senere under mer gunstige forhold.

7. *Isolasjonstykkelse*

Som diskutert tidligere øker RF i ytre del av konstruksjonen når isolasjonstykkelsene øker (gjelder uavhengig av bruk av dampsperre eller ikke), se figur 1.3.1. Siden kravene til varmeisolasjon øker, betyr det at fremtidens konstruksjoner er mer utsatte for høy RF, kondens og muggvekst. Dampåpne konstruksjoner, som i utgangspunktet trolig vil ha høyere RF i ytre del sammenlignet med konstruksjoner med dampsperre, vil trolig være mest utsatt.

8. *Risikonivå for at høye byggfuktnivå eller lekkasjer opptrer*

En av de store fordelene med dampåpne konstruksjoner er mulighetene for hurtigere uttørring av byggfukt og mindre lekkasjer. Egnetheten til dampåpne konstruksjoner er derfor mest fremtredende dersom det er høy sannsynlighet for uakseptable byggfuktnivå og lekkasjer.

9. *Er det noe behov for uttørkingmulighet innover?*

I konstruksjoner med liten eller ingen uttørkingmulighet utover kan det være gunstig med uttørkingmulighet innover, for eksempel kjelleryttervegger som er innvendig isolerte. For bindingsverksvegger med luftet kledning, og rimelig dampåpen vindsperre, er uttørking-kapasiteten utover imidlertid god. I denne typen vegger er det derfor trolig mindre behov for den ekstra uttørkingkapasiteten innover. I (Vinha et. al., 2002a) ble det funnet at en dampåpen innside ikke økte uttørkingshastigheten i noen særlig grad når vindsperra var dampåpen. Betydningen av innadrettet uttørring (dvs. relativt i forhold til utadrettet uttørring) er nærmere undersøkt i kap. 4.

10. *Kritisk fuktnivå – eller hva tåler materialene av fukt?*

Forskjellige typer materialer har forskjellige kritiske fuktnivå, for eksempel de fukt- og temperaturnivå hvor det er risiko for muggvekst. Man må derfor ta hensyn til dette når man sammenligner forskjellige typer konstruksjoner. Dette vil hovedsakelig gjelde vindsperreproduktene og isolasjonen.

11. *Uteklima*

Størst risiko for kondens har man når utetemperaturen blir lav. Hvilke geografiske klima (for eksempel Stavanger, Oslo, Røros, Karasjok) man vurderer konstruksjonene etter vil derfor kunne ha betydning. Hvis man vurderer andre klima enn det Skandinaviske, skal man også være klar over at i et varmere klima vil man oftere få innadrettet vanddamptransport. Dette gjelder spesielt i strøk hvor air-condition er i hyppig bruk, dvs. når utetemperaturer er vanligvis/oftere høyere enn innetemperaturen. I slike tilfeller kan en damp tett innside være direkte ugunstig.

2. Tidligere undersøkelser om minimum dampmotstand på varm side

2.1 Dagens anbefalinger til damp- og vindsperrer

Anbefalinger fra SINTEF Byggforsk

SINTEF Byggforsk anbefaler i Byggforskserien (Byggforskserien, 2003) at dampsperrer for generell bruk i bygningskonstruksjoner bør ha en vanndampmotstand på minst $50 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ eller en ekvivalent luftlagstykkelse, S_d -verdi, på minst 10 m. S_d -verdien til et materialsjikt angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme diffusjonsmotstand som materialsjiktet. I bygninger med spesielt høy fuktpåkjenning, for eksempel svømmehaller og fryserier, bør vanndampmotstanden være større enn angitt ovenfor. I (Byggforsk, 2004) anbefales det at dampsperssjiktet i svømmehaller har en S_d -verdi på minst 50 m.

Videre anbefales det at samlet vanndampmotstand på varm side av varmeisolasjonen i en yttervegg eller et tak er minst ti ganger større enn samlet dampmotstand på kald side.

For vindsperrer for generell bruk i bygningskonstruksjoner anbefales det at vanndampmotstanden ikke overstiger $2,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$. Det tilsvarer at ekvivalent luftlagstykkelse, s_d -verdien, ikke overstiger 0,5 m. Dette er ca. en fjerdedel av tidligere (før 2002) anbefalt øvre grenseverdi for dampmotstanden til vindsperrer. For øvrig er det en fordel at materialet har så lav dampmotstand som mulig. Lav dampmotstand reduserer faren for opphopning av eventuell fukt som kommer innenfra, og gir raskere uttørring dersom det har kommet fukt inn i konstruksjonen. For vindsperrer med forholdsvis høy vanndampmotstand kan det være en fordel at materialet har evnen til å ta opp og lagre fukt midlertidig. Vindsperra kan da ta opp fuktighet i kritiske perioder med store fuktpåkjenninger og senere gi fra seg fuktigheten igjen i tørre perioder (Byggforskserien, 2003).

Noen eksempler på verdier på dampmotstand til typiske damp- og vindsperrer er gitt i tabell 2.1.1.

Tabell 2.1.1

Eksempler på typiske dampmotstander for vanlige damp- og vindsperrer.

Materiale	S_d -verdi (m)
Polyetylenfolie (t = 0,06 mm)	23
Polyetylenfolie (t = 0,15 mm)	70
Gipsplate (GU) (t = 9,5 mm)	0,05
Asfaltimpregnert porøs trefiberplate (t = 12 mm)	0,17
Plastfiberduk av polyetylen	0,017

Anbefalinger i andre land

Vinha (2007) har gitt en oppsummering av krav til dampmotstand gitt i en del lands byggeforskrifter, se tabell 2.1.2. Vinha (2007) oppsummerte også anbefalinger hentet fra diverse vitenskapelige studier til forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side ($S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$). De fleste studiene anbefalte at $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$ bør være større enn ca 5, men ellers varierte anbefalingene på minimum forholdstall fra 1 til 50.

Tabell 2.1.2

Krav til dampmotstand for vanlige ytterkonstruksjoner gitt i enkelte lands byggeforskrifter eller generelle utgitte anbefalinger iht. Vinha (2007).

Land	S_d , varm side	$S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$	Kommentar
Finland		> 5	Anbefalinger
Sverige	> 2,6 m	> 5	Tidligere forskriftskrav fra 1984
UK		> 5	Anbefalinger
Canada	> 4,3 m		Forskriftskrav
USA	> 3,4 m		Forskriftskrav

2.2 Målinger på bindingsverksvegger

Thue et.al. (1996) gjennomførte laboratorieundersøkelser ved Norges Tekniske Høgskole i Trondheim med oppbygning av 15 bindingsverksvegger med varierende dampmotstand på innvendig og utvendig side. Halvparten av veggene hadde dampmotstand på varm side lavere enn $S_d = 1,4$. Som varmeisolasjon var det benyttet både mineralull og cellulosefiber (løsfyll). Veggene ble utsatt for et relativt kaldt vinterklima med -10 til -16 °C på kald side og 25 °C og 50-55 % RF på varm side. Halvparten av veggene ble eksponert for dette klimaet i 69 dager, mens den andre halvparten sto et år under disse forholdne avbrutt av milde perioder (4-7 dager) hver tredje uke. Fuktmålinger ble gjort i bindingsverket og i isolasjonen. Thue og Skogstad (1996) konkluderte med at vandampmotstanden bør være over visse grenseverdier, men at et stort forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side ($S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$) til en viss grad kan kompensere for lav dampmotstand på varm side. Undersøkelsene viste at vegger med den tradisjonelle plastfolien (0,15 mm polyetylenfolie) hadde tilfredsstillende fuktforhold, selv under svært kritiske klimaforhold. Det bør nevnes at den valgte luftfuktigheten på varm side var svært høy, mye høyere enn hva man vil forvente for eksempel i normale boliger. Følgende anbefalinger ble gitt:

Hvis $S_{d, \text{varm side}} < 5,2$ m	velg $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} > 50$
Hvis $5,2$ m $< S_{d, \text{varm side}} < 7,0$ m	velg $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} > 25$
Hvis $S_{d, \text{varm side}} > 7,0$ m	velg $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} > 10$

Uvsløkk et. al (1999) gjennomførte testhusmålinger i Trondheims klima på 12 forskjellige bindingsverksvegger med luftet kledning, med varierende dampmotstand på innvendig og utvendig side. Inneklimaet var holdt på 23 °C og 50% RF, noe som er relativt høy luftfuktighet på den kaldeste tiden på vinteren. Alle veggene hadde mineralull som varmeisolasjon. Ni av elementene hadde dampmotstand på varm side lavere eller lik $S_d = 5$ m, og forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side ($S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$) varierende mellom 1 – 62. Det ble gjort kontinuerlige fuktmålinger i bindingsverket over flere år. Resultatene viste ingen dramatisk høye fuktverdier for veggene med lav innvendig dampmotstand. To elementer med en innvendig og utvendig dampmotstand på hhv. $S_{d, \text{varm side}} = 0,53$ m og $S_{d, \text{kald side}} = 0,08$ m ($S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} = 7$) hadde fuktforhold på omtrent samme nivå som som to elementer med $S_{d, \text{varm side}} = 5,0$ m og $S_{d, \text{kald side}} = 0,08$ m ($S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} = 62$). Tre elementer med svært dampåpen innside ($S_{d, \text{varm side}} = 0,08$ m og $S_{d, \text{kald side}} = 0,08$ m, dvs. $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} = 1$) fikk derimot en del høyere fuktnivåer om vinteren (nært 20 vekt% i topp og bunnsvill).

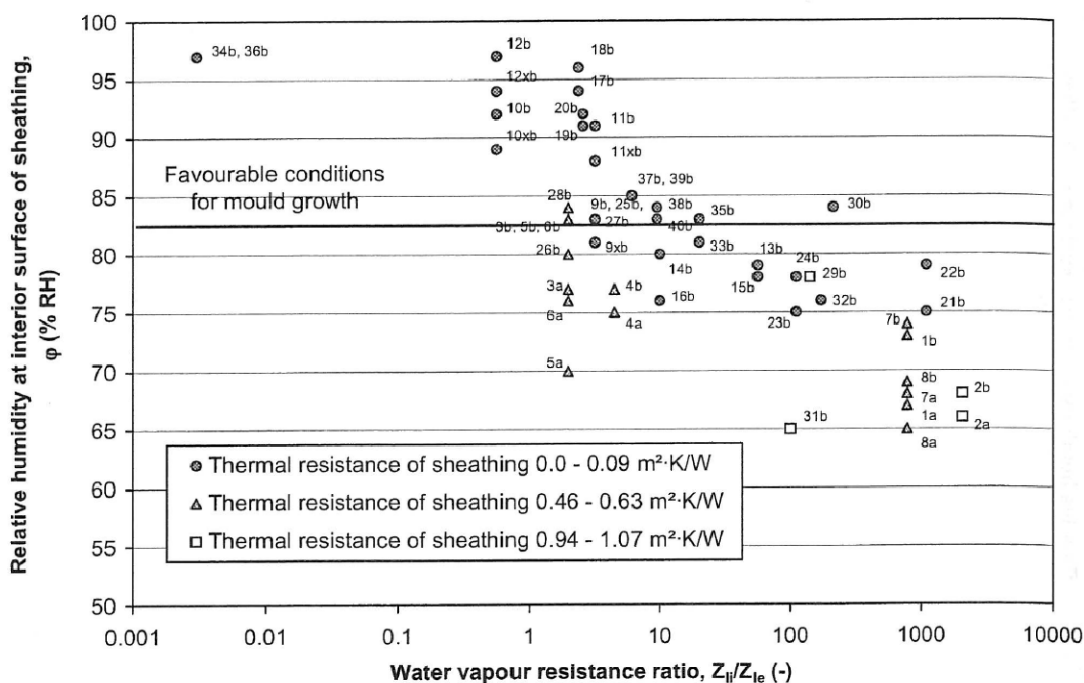
Murray og Tichy (2006) presenterte testhusmålinger på 12 forskjellige typer bindingsverksvegger i Washington State, USA. Innvendig luftfuktighet var satt relativt høyt (RF ca. 55%). En av veggene ble utført uten dampsperr (kun gipsplate med lateksmaling) og med OSB-plate som vindsperr og uventilert puss på utsiden, dvs. forholdet mellom dampmotstand på varm og kald side ($S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$) var godt under 1. Som forventet ble fuktnivået på innsiden av OSB-platen svært høyt om vinteren og muggvekst ble observert på våren. Veggens tørket imidlertid raskt når utetemperatur steg på våren. Det ble også utført målinger på to vegger med såkalt ”smart dampsperr” (dvs. dampmotstanden synker når RF ved dampsperra øker), og man fant en positiv effekt mht. at veggene med disse typene dampsperrer tørket raskere om våren.

Vinha (2007) gjennomførte laboratiemålinger på 64 forskjellige oppbygninger av bindingsverksvegger (små elementer). Konstruksjonene ble studert under finske høst-, vinter- og vårforhold, og fuktforholdene på innsiden av vindsperra var hovedparameteren som ble målt. Innetemperaturen var 20 °C og innendørs luftfuktighet var satt relativt høyt, med et fukttilskudd² på 4 og 6 g/m³. Fukttilskuddsverdiene på 4 og 6 g/m³ representerer typiske dimensjoneringsverdier (dvs. noe høyere enn gjennomsnittlige verdier) for norske boliger for hhv. ”tørre” rom (stue, soverom) og fuktige rom (bad), se (Geving et. al. 2008). Noen av måleresultatene er vist i figur 2.2.1. Hovedkonklusjonene var følgende:

- Negative effekter av vandampdiffusjon fra innelufta kan best unngås ved enten å:
 - Øke forholdstallet mellom innvendig og utvendig vandampmotstand

² Fukttilskudd er forskjellen mellom inneluftas og uteluftas vandampinnhold i g/m³.

- Øke innvendig vanndampmotstand
- Øke varmemotstanden til vindsperra, eller isolere noe på utsiden av vindsperra.
- Uttørkingen vil derimot best forbedres ved å senke vindsperras dampmotstand.
- Hygroskopisk vindsperra og isolasjon er normalt fordelaktig mht.p at oppfuktingen om høsten blir forsinket pga materialenes fuktighet. På den annen side blir uttørkingen om våren forsinket, noe som er ugunstig. Normalt betyr imidlertid oppfuktingen om høsten mest, slik at denne typen materialer totalt sett er gunstig for fuktforholdene. Et unntak gjelder derimot hvis vindsperrsjiktet er relativt damptett, hvor den forsinkede uttørkingen om våren er mer negativt.
- Vegger med forholdstall $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} < 5$ var mest kritiske mht. risiko for muggvekst og kondens. På den annen side var ikke dette bildet helt tydelig, en del av veggene med $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} < 5$ fungerte tilfredstillende, mens noen av veggene med $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}} > 5$ faktisk fikk problemer med mugg og kondens. Dette betyr at forholdstallet $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$ ikke er tilstrekkelig som kriterie, man må også vurdere andre forhold som inne- og uteklime, vindsperras varmemotstand, materialenes hygroskopiske kapasitet, vindsperras dampmotstand etc.



Figur 2.2.1
RF målt på innsiden av vindsperrsjiktet i 64 forskjellige bindingsverksvegger (Vinha, 2007). RF er plottet mot $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$ i tillegg til varmemotstanden til vindsperrsjiktet og eventuell utvendig isolasjon. Målingene ble gjort for finske høstforhold med et innvendig fukttilskudd på $4 \text{ g}/\text{m}^3$. Over 82,5 % RF (den svarte linjen) var det i gjennomsnitt gunstige forhold for muggvekst.

2.3 Beregninger på bindingsverksvegger

Det er mange studier hvor det er utført beregninger av bindingsverksvegger med hensyn på å vurdere hvorvidt dampåpne konstruksjoner fungerer, eller for å finne grenseverdier for minimum forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side og minimum dampmotstand på varm side. Hovedproblemet med disse studiene er at beregningsforutsetningene varierer til dels sterkt, slik at konklusjonene i praksis har begrenset gyldighet. Beregningene er gjort for forskjellige konstruksjoner (vindsperra, isolasjonstype etc.), inneklime og uteklime. I tillegg varierer det sterkt hva som er benyttet som kritisk fuktverdi, for eksempel aksepteres ikke noe kondens i det hele tatt, er det risiko for muggvekst som er benyttet som kriterie, eller er det kun at fukt som akkumuleres om

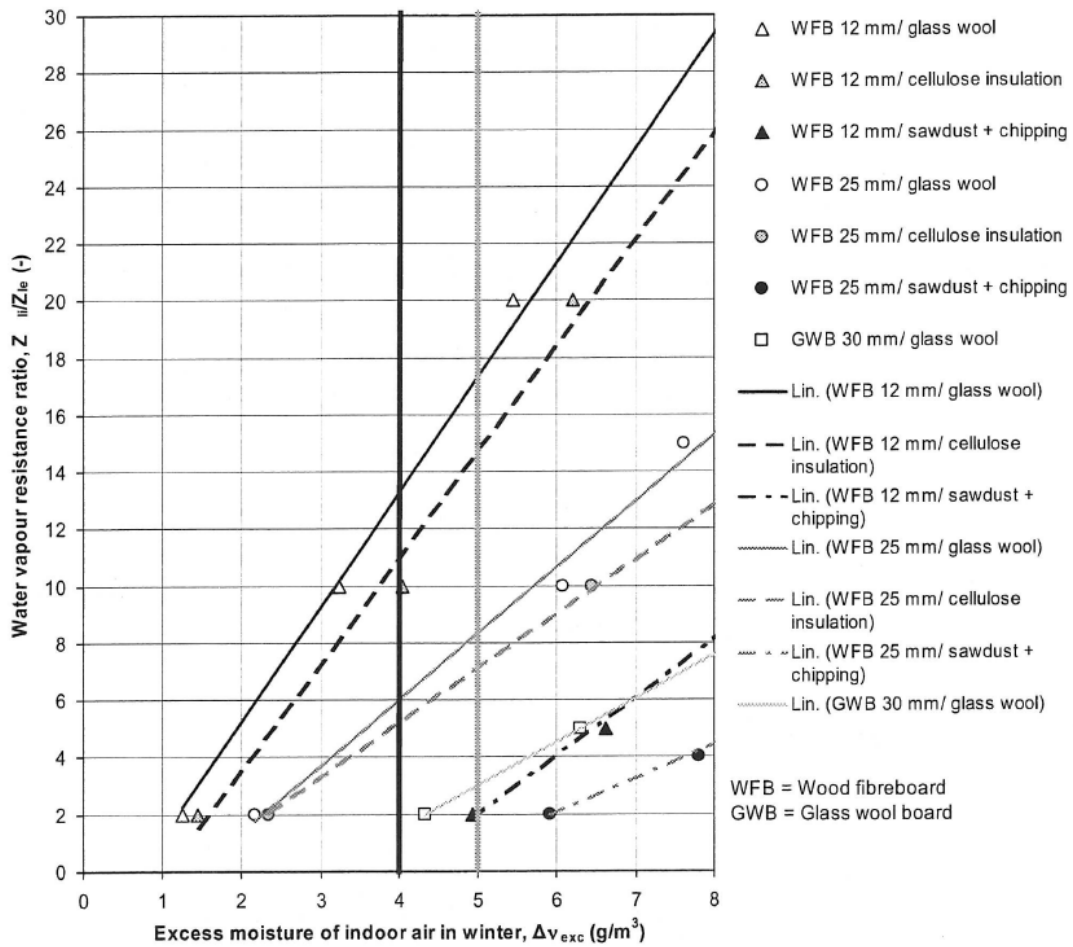
vinteren skal kunne tørke om sommeren. Det er klart at alt dette kan avstedkomme store variasjoner i resultatene.

Den kanskje mest omfattende studien, hvor alle disse variable og usikkerheter er vurdert, ble utført av Vinha (2007) for finske klimaforhold. Vinha (2007) benyttet både risiko for kondens og muggvekst som kriterie for om konstruksjonene fungerte eller ikke, ut fra følgende prinsipp: ”Temperatur og RF-forholdene på innsiden av vindsperra må ikke være mer kritiske enn for den mest kritiske, men likevel akseptable veggkonstruksjonen (referansevegg), hvor disse forholdene kun er forårsaket av utendørsforholdene (dvs. referanseveggen er helt damptett på innvendig side og har en vindsperrfolie med liten varmemotstand og $S_d = 0,13$ m).” For referanseveggen ble det beregnet en kontinuerlig kondensperiode på 34 dager når et såkalt 10%-klima (Moisture Design Reference Year) ble benyttet i beregningene. 10% - klimaet var et spesifikt år fra et sted (Sodankylä juli 1985-juni 1986) valgt ut fra 30 år fra fire forskjellige byer i Finland, og for å være kritisk mht. kondensrisiko. Grenseverdien for resten av beregningene (i forhold til kondenskriteriet) var altså at ingen konstruksjoner skulle ha en total kondensperiode på mer enn 34 dager. Det tilsvarende ble gjort for muggvekstkriteriet. Et eget 10%-klima ble valgt ut for å være kritisk mht. muggvekstrisiko (Lahti juli 2000-juni 2001). For referanseveggen ble det beregnet en såkalt (maksimal) muggvekstindeks på ca. 2 når 10 %-klimaet ble benyttet i beregningene. Muggvekstindeksen varierer fra 0-6 (0 = ingen vekst og 6 er svært kraftig vekst), og 2 tilsvarer da moderat vekst som kan observeres med mikroskop. Grenseverdien for resten av beregningene (i forhold til muggvekstkriteriet) var altså at ingen konstruksjoner skulle ha en muggvekstindeks større enn 2.

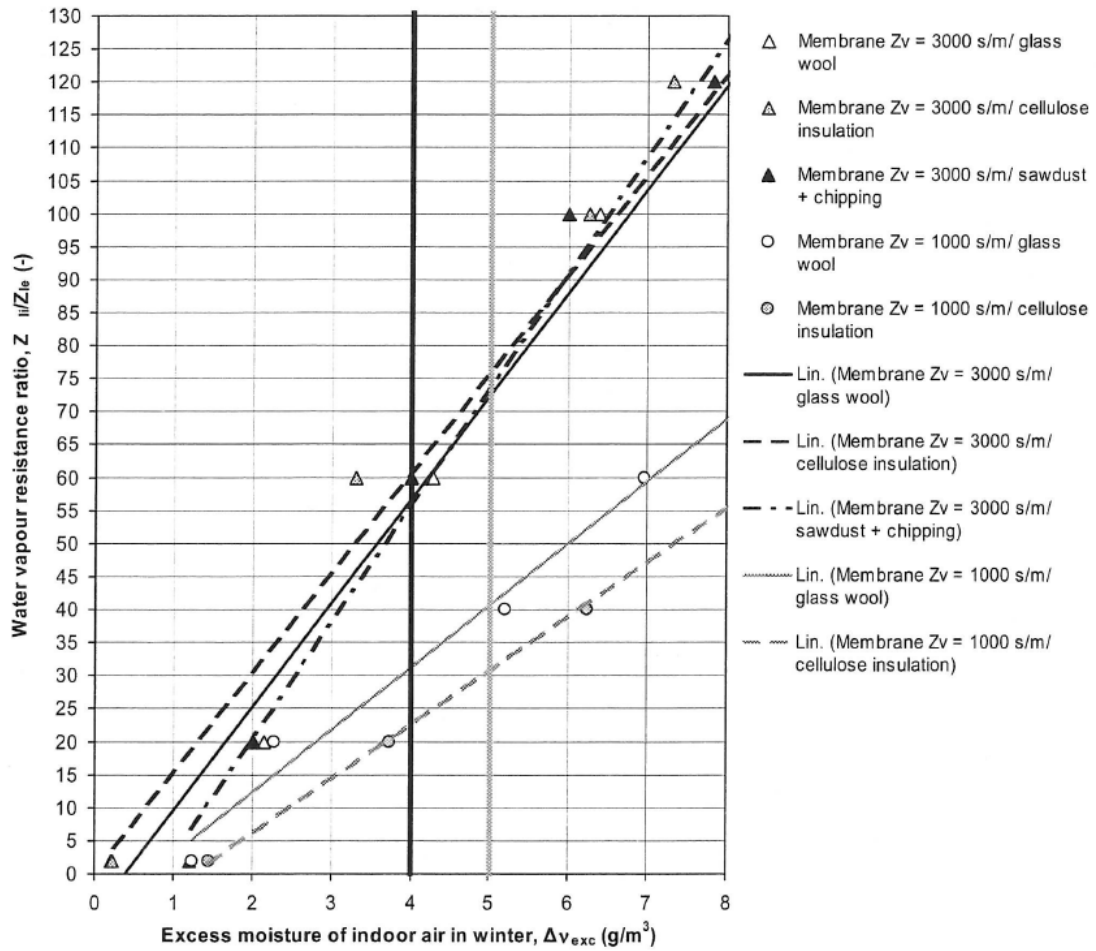
I det følgende refereres noen av hovedresultatene i overnevnte analyse:

Figur 2.3.1-2.3.3 viser forholdet mellom vanddampmotstand på varm og kald side og fukttilskuddet for noen av konstruksjonsoppbyggingene som ble undersøkt. Vi ser generelt at minimum $Z_{\text{varm side}}/Z_{\text{kald side}}$ øker når fukttilskuddet øker. Minimum $S_{d,\text{varm side}}/S_{d,\text{kald side}}$ minker derimot når varmemotstanden til vindsperrsjiktet øker. Hovedkonklusjonene er oppsummert i tabell 2.3.1. I tabell 2.3.2 er det vist eksempler på nødvendige forholdsstall $S_{d,\text{varm side}}/S_{d,\text{kald side}}$ for alle de analyserte veggene når fukttilskuddet er 5 g/m^3 ved vinterforhold. Det må nevnes at kritisk fuktkriterie med et par unntak ble kondenskriteriet – og ikke muggvekst. Når muggvekstkriteriet ble lagt til grunn i stedet for kondenskriteriet ble forholdstallet $S_{d,\text{varm side}}/S_{d,\text{kald side}}$ vanligvis noe lavere, se figur 2.3.3. Det ble også funnet at det valgte uteklimaet hadde stor betydning for forholdstallet $S_{d,\text{varm side}}/S_{d,\text{kald side}}$, som ble ca. 30-50% lavere når et ”gjennomsnittlig” uteklima ble benyttet i stedet for et mer kritisk ”10%-klima” (som ble benyttet i hovedberegningene).

Vi ser av tabell 2.3.2 at hygroskopisk isolasjon virker positivt når vindsperra er relativt dampåpen og har en viss varmemotstand. Når vindsperra er mindre dampåpen og har liten varmemotstand (for eksempel hard trefiberplate, OSB-plate og kryssfiner) ser vi til dels den motsatte effekten, og enkelte varianter av disse er ikke akseptable i det hele tatt (kondenskriteriet overskrides uansett hvor damptett dampsperra som velges). Dette skyldes trolig at all den bundede fukten i den hygroskopiske isolasjonen ikke rekker å tørke utover når utetemperaturen synker.

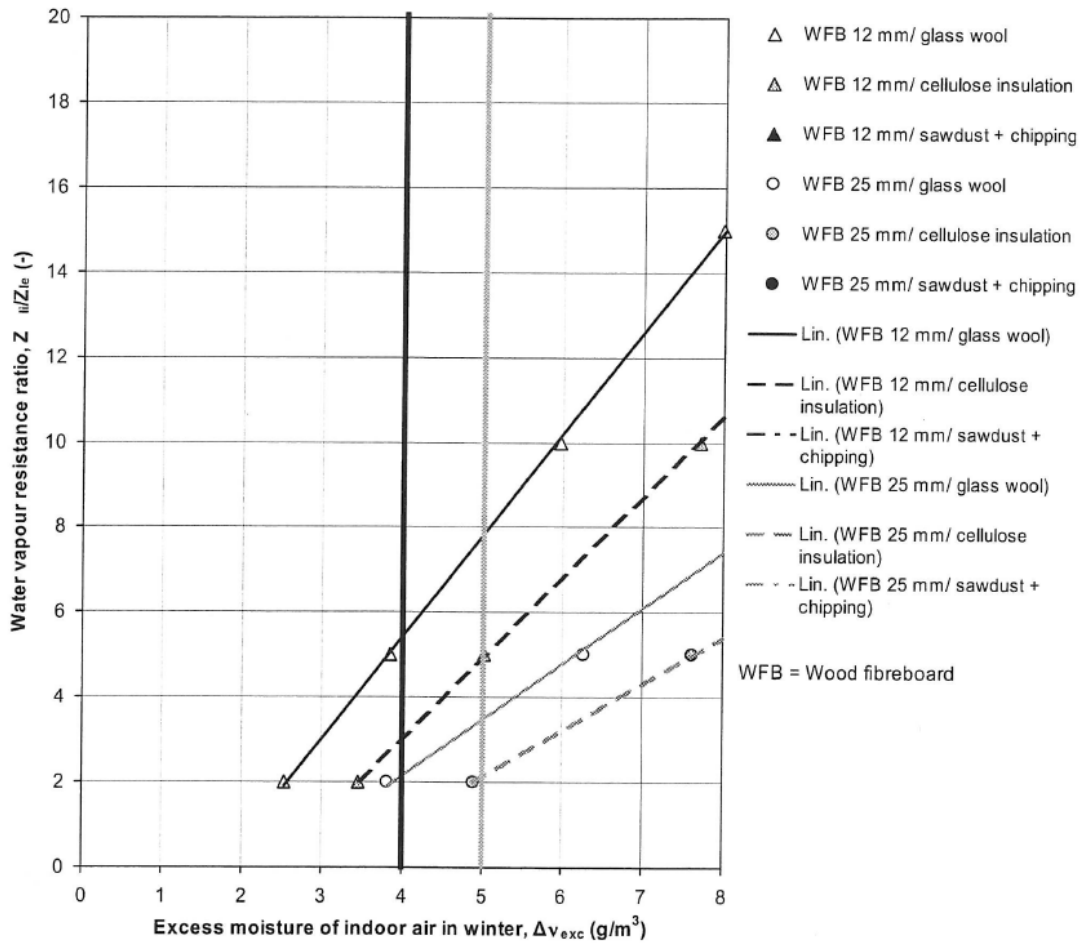


Figur 2.3.1
 Minimum forholdstall mellom vanddampmotstanden på varm og kald side med 12 mm og 25 mm trefiberplate og 30 mm glassullplate som vindspærre mht. å unngå kondens utover det som opptrer i referansekonstruksjonen. Resultatene er vist for forskjellige isolasjonstyper. Fra (Vinha, 2007).



Figur 2.3.2

Minimum forholdstall mellom vanndampmotstanden på varm og kald side med folieprodukter som vindsperrer (dvs. med lav varmemotstand) som vindsperre mht.p å unngå kondens utover det som opptrer i referansekonstruksjonen. Resultatene er vist for forskjellige isolasjonstyper. Fra (Vinha, 2007).



Figur 2.3.3

Minimum forholdstall mellom vanddampmotstanden på varm og kald side med 12 mm og 25 mm trefiberplate og 30 mm glassullplate som vindspærre mht.p å unngå muggvekst utover det som opptrer i referansekonstruksjonen. Resultatene er vist for forskjellige isolasjonstyper. Fra (Vinha, 2007).

Tabell 2.3.1

Egenskaper som forbedrer fuktoppførelsen til konstruksjonen og reduserer negative effekter av å benytte lav dampmotstand på innvendig side ihht (Vinha, 2007).

Materialsjikt	Egenskaper som forbedrer fuktoppførelsen til konstruksjonen (mhp at lavt forholdstall $S_{d, varm side} / S_{d, kald side}$ og lav vanddampmotstand på varm side kan velges)
Vindspærre	Høy varmemotstand Lav vanddampmotstand Høy hygroskopisitet Kapillært aktivt materiale
Varmeisolasjon	Høy hygroskopisitet, når vindsperra er dampåpen og/eller har høy varmemotstand Lav hygroskopisitet, når vindsperra er relativt damp tett Kapillært aktivt materiale
Innvendig kledning mm: damp/luftspærre platemateriale/kledning overflatebehandling	Høy dampmotstand

Tabell 2.3.2

Eksempler på minimum forholdstall mellom vanddampmotstand på varm og kald side og minimum vanddampmotstand på varm side, mht. å unngå kondens utover det som opptrer i referansekonstruksjonen. Gjelder for et fukttilskudd på 5 g/m^3 ved vinterforhold. Fra (Vinha, 2007).

Vindsperre	Varmeisolasjon ****					
	Ikke-hygroskopisk $W_{\text{hydr}} < 5 \text{ kg/m}^3$		Hygroskopisk $W_{\text{hydr}} \approx 15 \text{ kg/m}^3$		Meget hygroskopisk $W_{\text{hydr}} \approx 40 \text{ kg/m}^3$	
	$S_{d,\text{varm}}/S_{d,\text{kald}}$ (-)	$S_{d,\text{varm}}$ (m)	$S_{d,\text{varm}}/S_{d,\text{kald}}$ (-)	$S_{d,\text{varm}}$ (m)	$S_{d,\text{varm}}/S_{d,\text{kald}}$ (-)	$S_{d,\text{varm}}$ (m)
Glassullplate 30 mm $S_d = 0,041 \text{ m}$	4:1	0,16	2:1	0,08	2:1	0,08
Trefiberplate 25 mm $S_d = 0,11 \text{ m}$	9:1	1,0	8:1	0,89	2:1	0,22
Trefiberplate 12 mm $S_d = 0,064 \text{ m}$	18:1	1,2	15:1	0,97	3:1	0,19
GU-plate 9 mm $S_d = 0,069 \text{ m}$	20:1 *	1,4	21:1	1,4	10:1	0,68
Hard trefiberplate 4,8 mm $S_d = 0,37 \text{ m}$	14:1	5,2	28:1	10	Ikke akseptabel	
OSB-plate 12 mm $S_d = 1,9 \text{ m}^{**}$	11:1	20	Ikke akseptabel		Ikke akseptabel	
Kryssfiner gran 9 mm $S_d = 2,1 \text{ m}^{**}$	3:1***	5,8	8:1***	17	Ikke akseptabel	
Kryssfiner gran 9 mm + glassullplate 30 mm $S_d = 2,1 \text{ m}^{**}$	6:1	2,4	7:1	2,9	5:1	2,0
Vindsperrrefolie $S_d = 0,008 \text{ m}$	40:1*	0,3	10:1*	0,08	2:1	0,16
Vindsperrrefolie $S_d = 0,026 \text{ m}$	41:1	1,1	31:1	0,81	2:1	0,052
Vindsperrrefolie $S_d = 0,079 \text{ m}$	73:1	5,8	76:1	6,0	74:1	5,7
Vindsperrrefolie $S_d = 0,13 \text{ m}$	110:1	14	Plastfolie som dampsperre		Ikke akseptabel	

* For disse tilfellene ble det muggvekstkriteriet som var det kritiske, ikke som for resten av tilfellene der det var kondens-kriteriet som ble dimensjonerende.

** Oppgitt S_d -verdi gjelder for tørt materiale. Det gjøres oppmerksom på at for kryssfineren tok man hensyn til dens variasjon i forhold til fuktnivået, for eksempel er S_d -verdi ved 95 % RF lik 0,22 m. Tilsvarende hensyn tok man ikke for OSB-plata med den grunngivning at avhengigheten til RF er mindre enn for kryssfineren.

*** Oppgitt verdi i tabellen gjelder i forhold til tørt materiale, mens Vinha (2007) oppga verdier i forhold til fuktig materiale.

****Ikke-hygroskopisk varmeisolasjon er typisk mineralull, hygroskopisk er cellulosefibre mens meget hygroskopisk kan være sagflis.

2.4 Beregninger og målinger for lette kompakte tak

I bindingsverksvegger (og luftede skrå tak) med relativt dampåpen utside (med ventilert kledning/-tekkning) vil hoveduttørkingen normalt være rettet utover, mens uttørkingen innover normalt vil være mindre. Dette gjelder trolig selv om det benyttes en såkalt dampbrems på innsiden. Det betyr at fordelene ved å bruke en dampbrems i form av hurtigere uttørking, i mange tilfeller er relativt liten. Se beregningsresultater i kap. 4. Potensialet for hurtigere uttørking av byggfukt/lekkasjer ved bruk av en mer dampåpen dampsperre/dampbrems vil derfor trolig være større for konstruksjoner som har liten eller ingen uttørkingmuligheter utover. Eksempler på slike konstruksjoner er lette kompakte tak eller yttervegger under terreng.

Lette kompakte tak er konstruksjoner som i utgangspunktet har stort potensiale for innadrettet uttørking. Dette skyldes i hovedsak at tekkningen vil kunne oppnå relativt høye temperaturer på solrike dager, gjerne fra 40-60 °C for mørke tekkinger om sommeren. I prinsippet vil dette føre til en periodevis innadrettet fuktfordeling i takkonstruksjonen, slik at man får høy RF og i visse tilfeller faktisk kondens på utsiden av dampsperrsjiktet. Med en dampbrems i stedet for en ordinær plastfolie vil man dermed kunne få en vesentlig innadrettet uttørking i sommerperioden. En utfordring blir selvfølgelig at man risikerer oppfuktning av konstruksjonen om vinteren hvis dampbremsen har for lav dampmotstand. Det man ønsker her er da en dampbrems som er dampåpen om

sommeren og damp tett om vinteren. Det vil si at såkalte ”smarte dampsperrer” som omtalt i kap. 1.5 kan være ideelle i slike tilfeller.

Bruk av ”smarte dampsperrer” i lette kompakte tak er undersøkt i flere studier. Künzle (1999) undersøkte uttørkingsforholdene i varianter av lette kompakt trectak som var fuktet opp for å etterligne byggfukt. I feltforsøket ble forskjellige typer dampsperrer benyttet, og man fant at med en såkalt ”smart dampsperre” (samme produkt som vist i figur 1.5.1) fikk man vesentlig hurtigere uttørking av byggfukten enn med ordinær plastfolie.

Bludau og Künzle (2009) gjennomførte fukttekniske beregninger av et lett kompakt trectak med hhv. ”smart dampsperre” av typen vist i figur 1.5.1 og dampbrems med fast S_d -verdi på 3 m. Beregningene ble gjennomført for mange forskjellige steder i Skandinavia for å vurdere egnetheten til disse konstruksjonene i et kaldt klima. De fant at fuktnivået i taket ble noe lavere ved bruk av ”smart dampsperre” enn ved bruk av dampbremsen, noe som jo skyldes at om vinteren (når RF er lav i innelufta og rett utenfor dampserresjiktet) vil den ”smarte dampsperra” ha høyere dampmotstand (S_d tilnærmet 5 m, se figur 1.5.1) enn dampbremsen ($S_d = 3$ m). De fant videre at jo lenger nord man kom jo større ble risikoen for ugunstig høyt fuktinnhold. Taket med dampbrems fikk uakseptabelt høyt fuktinnhold nord for Oslo og Bergen, mens taket med ”smart dampsperre” fikk uakseptabelt høyt fuktinnhold først nord for Harstad. I disse beregningene ble det forutsatt at tekkingen hadde svart overflate, og generelt er det klart at for at den innadrettede uttørkingen skal få full effekt er man avhengig både av at tekkingen er mørk og at taket ikke ligger i skygge.

3. Beregning av effekt av luftlekkasjer på minimum dampmotstand på varm side

3.1 Generelt

Tidligere fuktberegninger rettet mot å finne grenseverdier for minimum forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side, og minimum dampmotstand på varm side, er omtalt i kap. 2.3. De har alle samme svakhet, nemlig at de kun regner med diffusjon og eventuelt kapillærsuging – men tar ikke hensyn til luftlekkasjer fra innelufta. Vi vet at luftlekkasjer fra innelufta oftere fører til kondensskader enn ren diffusjon. Luftlekkasjer kan være store enkeltstående lekkasjer som gir store kondensskader, og slike kan det være vanskelig å både beregne og dimensjonere konstruksjonene mot. Mindre luftlekkasjer som er mer jevnt fordelt bør man derimot ta hensyn til på en eller annen måte når man bestemmer grenseverdiene for akseptable dampmotstander på varm og kald side av konstruksjonen.

I dette kapitlet er det vist beregninger for et trectak hvor det nettopp er tatt hensyn til både luftlekkasjer og vandampdiffusjon.

3.2 Fuktberegninger

Det er gjennomført beregninger av fuktforholdene i et tak med varierende dampmotstand på varm og kald side, og med varierende grad av utadrettet luftlekkasje. Beregningene er utført vha. et beregningsprogram *Takfukt*, som er dokumentert i (Uvsløkk, 2005). I beregningsprogrammet tas det hensyn til de viktigste klimatiske, bygningstekniske og brukerbestemte forhold. Programmet beregner samhoørende verdier for temperatur og relativ luftfuktighet på innsiden av vindsperra, måned for måned gjennom et år. På grunnlag av beregnet temperatur og RF beregnes et ”muggvekstpotensial” for innsiden av vindsperra, se vedlegg 2. Muggvekstpotensialet er et kvantifisert uttrykk for risikoen for muggvekst.

Med utgangspunkt i månedsmiddelverdiene for temperatur og RF inne og ute beregner programmet en stasjonær temperatur- og damptrykksfordeling gjennom konstruksjonen. Det tar hensyn til fukttransport ved diffusjon og luftlekkasjer, og varmestrøm ved transmisjonsvarmetap og luftlekkasjer. Endring av fuktinnhold pga. sorpsjon i materialene og eventuell kondens beregnes og ”overføres” til neste måned.

For å beregne luftlekkasjene beregner programmet trykkforskjellen over vegger og tak som følge av husets lekkasjetall, geometri, utetthetenes fordeling og temperaturforskjellen mellom inne og ute. Trykk fra vind blir neglisjert. Luftlekkasjer påvirker fuktforholdene i konstruksjonene både ved at de tilfører fukt og varme til konstruksjonene, men også ved at luftlekkasjene reduserer fuktinnholdet i innelufta på samme måte som annen ventilasjon. Dette tas det hensyn til i beregningene. Programmet regner som om utetthetene er jevnt fordelt innen de enkelte delflatene. Dette er en god tilnærming for loftsgolv i et kaldt loft, mens virkningen av luftlekkasjer vil være mer ujevnt fordelt i vegger og sperretak.

Luftfuktighetsnivået inne er avhengig av fuktproduksjonen og grunnventilasjon, samt luftlekkasjer gjennom bygningsskallet pga. temperaturforskjeller mellom inne- og uteluft (skorsteinseffekten). De valgte nivåene for fuktproduksjon, ventilasjon m.m. gir et relativt høyt fuktnivå i beboerrommene, dvs. fukttilskuddet ligger på ca. $4,6 \text{ g/m}^3$ om vinteren og ca. $1,5\text{-}2 \text{ g/m}^3$ om sommeren (årsgjennomsnitt $3,3\text{-}3,9 \text{ g/m}^3$). Fukttilskuddet er definert som den gjennomsnittlige differansen mellom inneluftas og uteluftas fuktinnhold. De overnevnte verdiene gjelder for det rene diffusjonstilfellet (lekkasjetallet = 0). Ved lekkasjetall større enn 0 øker det totale luftskiftet i huset, dvs. fukttilskuddet synker (spesielt om vinteren). Eksempelvis ligger fukttilskuddet på ca. $2,5\text{-}3,0 \text{ g/m}^3$

om vinteren og ca. 1,5-2,1 g/m³ om sommeren (årgjennomsnitt ca. 2,5 g/m³) når lekkasjetallet er 2,5 m³/m³h50. Årsgjennomsnittet for fukttilskuddet er oppgitt i alle resultatdiagrammene, se vedlegg 3

Størrelsen på luftlekkasjene ut i veggen beregnes ut fra kjennskap til husets lekkasjetall, hvor det forutsettes jevn fordeling av tettheter over husets vegger og loftshimling. Drivtrykket for luftlekkasjene beregnes ut fra skorsteinseffekten. De største utadrettede lekkasjene skjer i øvre del av bygget, og beregningene er derfor gjennomført for taket i 2. etasje i en to-etasjes enebolig.

Beregningene er basert på følgende faste inngangsparametre:

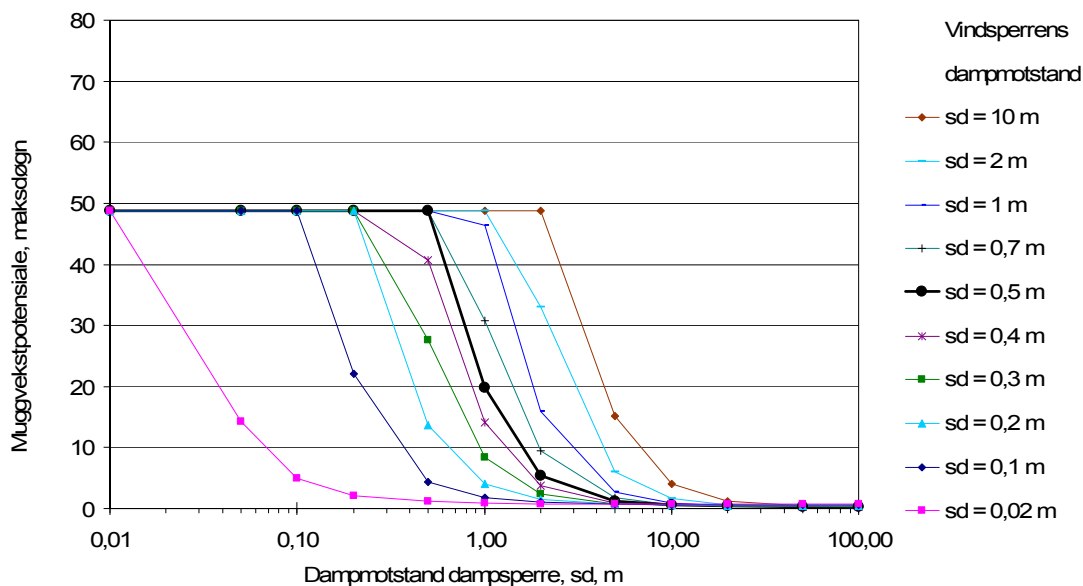
- Uteklima (temperatur, RF – månedsmidler):	5 steder i Norge
- Innnetemperatur:	20 °C
- Fuktproduksjon:	10 kg/døgn
- Grunnventilasjon (tilluft og fraluft):	0,2 m ³ /m ³ h
- Husets lekkasjetall v/50Pa:	0 – 0,5 – 2,5 - 4,0 m ³ /m ³ h50
- Samlet gulvareal:	150 m ² , 2 etasjer
- Isolasjonstykkelse (mineralull):	200 mm
- Varmemotstand vindsperre:	0,13 W/mK

Dampsperras S_d-verdier er variert mellom 0,01 m til 100 m, mens vindsperras S_d-verdi er variert mellom 0,02 m til 10 m. For å rangere de ulike kombinasjonene er risikoen for muggvekst på innsiden av vindsperra lagt til grunn som kriterie. Et såkalt ”muggvekstpotensial” som sier noe om risikoen for muggvekst og størrelsen på veksten er beregnet for hver av kombinasjonene. Muggvekstpotensialet er nærmere forklart i vedlegg 2.

3.3 Resultater og vurderinger

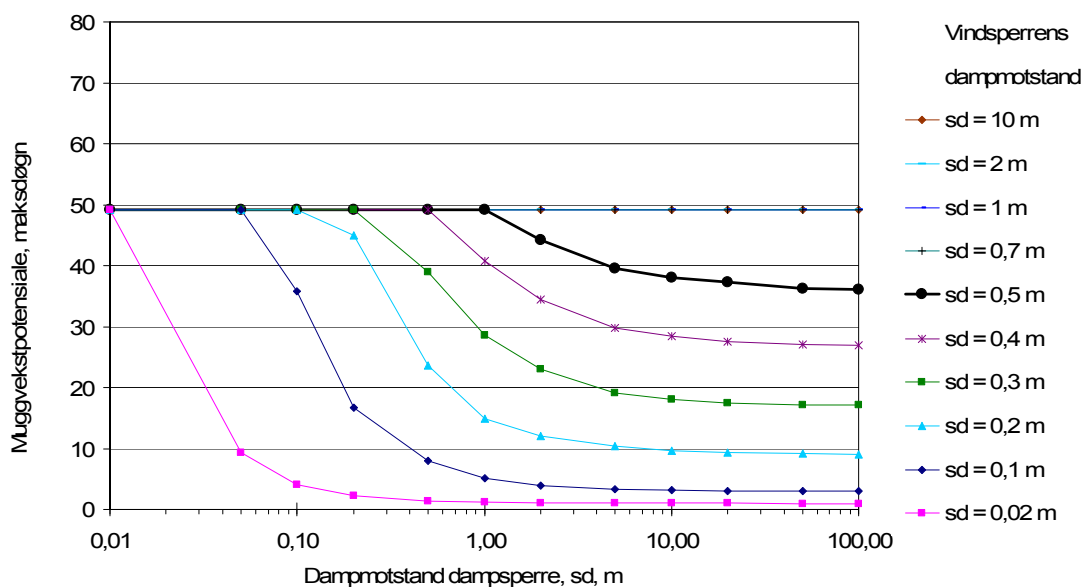
Eksempler på resultatene er vist i figur 3.3.1 og 3.3.2 for Trondheims klima og rent diffusjonstilfelle (ingen luftlekkasje) samt et tilfelle med kombinert diffusjon og luftlekkasjer. Komplette diagrammer for andre klima og andre nivåer for luftlekkasjer er vist i vedlegg 3. For hver kombinasjon av S_d-verdi til vindsperre og dampsperre er altså muggvekstpotensialet på innsiden av vindsperra beregnet for et helt år, og deretter plottet inn i diagrammet. Hver enkelt av punktene i figur 3.3.1 og 3.3.2 representerer derfor et års beregning av fuktforhold og muggvekstpotensial av en spesifikk konstruksjon.

Figur 3.3.1 viser det rene diffusjonstilfellet uten luftlekkasjer. Vi ser der at muggvekstrisikoen øker når S_d-verdien til dampsperra blir lavere enn ca 10 m. Samtidig ser vi at muggvekstrisikoen synker kraftig når S_d-verdien til vindsperra blir lavere. For de mest dampåpne vindsperrere (S_d < 0,1 m) ser vi at muggvekstrisikoen er lav selv når dampsperra har svært lav S_d-verdi (ned i 1 m). Dvs. vi får tilnærmet samme muggvekstrisiko for den klassiske løsningen med 0,15 mm plastfolie som dampsperre og trefiberplate som vindsperre (S_{d, varm} = 70 m, S_{d, kald} = 0,3 m), som vi får med alternative løsninger med mer dampåpne dampsperrer og svært dampåpne vindsperrer. Eksempelvis gir løsningene med dampbrems med S_d = 2 m og vindsperre med S_d = 0,1 m (for eksempel gipsplate), eller dampbrems med S_d = 0,5 m og vindsperre med S_d = 0,02 m, tilnærmet samme resultat som den klassiske løsningen. Det vil si at jo mer dampåpen vindsperra er, jo mer dampåpen kan vi la dampsperra være uten at det fører til økt muggvekstrisiko.



Trondheim, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 3,5 g/m²

Figur 3.3.1
Beregnet muggvekstpotensiale for varierende Sd-verdi for vindsperra og dampsperra (dampbremsen). Beregningene gjelder for Trondheims klima og rent diffusjonstilfelle (lekkasjetall = 0).



Trondheim, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 2,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 2,5 g/m²

Figur 3.3.2
Beregnet muggvekstpotensiale for varierende Sd-verdi for vindsperra og dampsperra (dampbremsen). Beregningene gjelder for Trondheims klima og kombinert diffusjon og luftlekkasje fra innelufta (lekkasjetall = 2,5 m³/(m²h50Pa)).

Hvis vi ser på tilfellet med kombinert vandampdiffusjon og luftlekkasjer (figur 3.3.2) ser vi at situasjonen forandrer seg en del. For den mest dampåpne vindsperra er muggvekstrisikoen tilnærmet uforandret, men for de mer tette vindsperrere øker muggvekstrisikoen til dels betraktelig

jo tettere vindsperra er. Her spiller faktisk dampmotstanden til dampsperra mindre rolle for muggvekstrisikoen.

Tilsvarende diagrammer som i figur 3.3.1 og 3.3.2 er utarbeidet for andre steder enn Trondheim, dvs. Oslo, Kristiansand, Kristiansund og Karasjok, se vedlegg 3. Vi ser stort sett de samme tendensene alle stedene, selv om den maksimale muggvekstrisikoen og avhengigheten av luftlekkasjer varierer noe. Trondheim, Kristiansund og Karasjok har eksempelvis relativ stor økning i muggvekstrisiko når lekkasjetallet økes fra 0 til $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h50}$, mens Oslo og Kristiansand har mindre økning. Den maksimale muggvekstrisikoen er minst i Karasjok og størst i Oslo, Kristiansand og Kristiansund.

Ut fra overnevnte figurer kan vi konkludere med at det å benytte en svært dampåpen vindsperre ($S_d < 0,1 \text{ m}$) er det beste tiltaket mht. å redusere risikoen for oppfukning og muggvekst fra vandampdiffusjon og luftlekkasjer. Hvilken dampmotstand som bør benyttes på varm side er et annet spørsmål. Beregningene viser klart at med en svært dampåpen vindsperre kan man benytte en mer dampåpen dampsperre enn vanlig, dvs. en såkalt dampbrems. Hvor dampåpen dampbremsen kan være uten at det oppstår fuktproblemer kan imidlertid disse beregningene ikke gi et klart svar på. Beregningene indikerer imidlertid at når de mest dampåpne vindsperrene ($S_d < 0,1 \text{ m}$) er benyttet kan dampbremsen trolig ha S_d -verdi helt ned i området $0,5 - 2 \text{ m}$. På grunn av usikkerheter ved beregningene er det imidlertid umulig å konkludere klart vedrørende dette. Følgende usikkerheter ved beregningene kan nevnes:

- Det er benyttet et fuktnivå i innelufta som er relativt høyt, i hvert fall for det rene diffusjonstilfellet. Det vil likevel kunne være rom (for eksempel bad) og boliger med et høyere innvendig luftfuktighetsnivå, noe som kan gjøre det mer ugunstig å ha dampåpen innside.
- Risikoen for kondens på innsiden av vindsperra er ikke vurdert. Dvs. selv om det skulle kondensere bak vindsperra når utetemperaturen er svært lav, vil dette ikke avleses i diagrammene – så lenge fukten kan tørke før temperaturen blir høy nok til at mugg kan vokse. Mye kondens og ising kan imidlertid være negativt hvis isen tiner og renner ned i veggen. Jfr. at Vinha (2007), se kap 2.3, gjennomførte sine beregninger med både muggvekst og kondens som dimensjoneringskriterie, og at han fant at kondenskriteriet ble dimensjonerende for de fleste konstruksjoner. Ising kan også tenkes å gjøre vindsperrsjiktet mer dampnett.
- Det er regnet med månedsmiddelverdier.

Til tross for usikkerhetene ovenfor er det på basis av alle beregningene vist i figur 3.3.1 og 3.3.2 og vedlegg 3 gjort en studie av minimum S_d -verdi på dampbremsen når vindsperra har S_d -verdi mellom $0,02-0,5 \text{ m}$. I tabell 3.3.1 er minimum S_d -verdi på dampbrems og maksimum forhold mellom S_d -verdi på kald og varm side ($S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$) gitt under forutsetningen at muggvekstpotensialet skal være under 10 maksdøgn. Valget av 10 maksdøgn som grenseverdi er dels tilfeldig, men det er valgt noe høyere enn muggvekstpotensiale til utvendig treverk som er skjermet for nedbør (typisk 1 – 3 maksdøgn), jfr. (Uvsløkk, 2007). Fra tabell 3.3.1 kan vi avlese følgende:

- For det rene diffusjonstilfellet (lekkasjetall = 0) varierer $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ mellom 1:2 til 1:4.
- For et lekkasjetall på $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h50}$ og $S_{d,kald \text{ side}} \leq 0,1 \text{ m}$ varierer $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ mellom 1:2 til 1:4.
- For et lekkasjetall på $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h50}$ og $S_{d,kald \text{ side}} \in 0,2-0,3 \text{ m}$ varierer $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ mellom 1:2 til 1:6 med unntak for Karasjok som er oppe i 1:13.
- For et lekkasjetall på $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h50}$ og $S_{d,kald \text{ side}} \leq 0,1 \text{ m}$ varierer $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ mellom 1:2 til 1:5.
- For et lekkasjetall på $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h50}$ og $S_{d,kald \text{ side}} = 0,2 \text{ m}$ varierer $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ mellom 1:2 til 1:40.

Hvis vi ser bort fra usikkerhetene med beregningene kan vi konkludere med at når vindsperra er svært dampåpen ($S_{d,kald} \leq 0,1 \text{ m}$) er $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ lite avhengig av størrelsen på luftlekkasjene, og $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}} > 5$ ser ut til å være et tilstrekkelig krav. Når vindsperra blir mer dampnett er $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ mer avhengig av størrelsen på luftlekkasjene, og $S_{d,kald \text{ side}}/S_{d, \text{ varm side}}$ må økes for å

gi tilstrekkelig sikkerhet mot muggvekst. Det kan da se ut som om $S_{d,kald\ side}/S_{d,varm\ side} > 10-40$ avhengig av hvor stor luftlekkasje man vil sikre seg mot.

En S_d -verdi på varm side lik 0,1 m tilfredstiller ”kravet” på $S_{d,kald}/S_{d,varm} > 5$ når $S_{d,kald} = 0,02$ m. Det er likevel verdt å merke seg at siden beregningene vist i dette kapitlet ikke har sett på risikoen for kondens (kun risikoen for muggvekst, dvs. kondens aksepteres så lenge det tørker ut før temperaturforholdene blir gunstige for muggvekst) kan det ikke anbefales å benytte så liten dampmotstand på varm side. Det er imidlertid klart at med en svært dampåpen vindspærre ($S_{d,kald} \leq 0,1$ m) kan man benytte en mer dampåpen dampbrems enn når vindsperra er noe mer damptett ($S_{d,kald} > 0,1$ m).

Tabell 3.3.1

Beregnet minimum S_d -verdi til dampbrems og maksimum forhold mellom S_d -verdi på kald og varm side under forutsetningen at **muggvekstpotensialet skal være under 10 maksdøgn**. Beregningene gjelder for det rene diffusjonstilfellet (lekkasjetall = 0) og for tilfeller med lekkasjetall lik 0,5 og 2,5 m^3/m^3h50Pa . Skraverte felt har muggvekstpotensiale over 10 maksdøgn.

Sted	Lekkasjetall (m^3/m^3h50Pa) a)		S_d -verdi vindspærre (m)					
			0,02	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Trondheim	0	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,07	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:3	1:3	1:3	1:3
	0,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,06	0,4	0,9	1,8	4	10
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:4	1:6	1:10	1:20
	2,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,05	0,4	8,0	-	-	-
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:40	-	-	-
Kristiansund	0	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,07	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:3	1:3	1:3	1:3
	0,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,06	0,4	0,9	1,8	4	10
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:4	1:6	1:10	1:20
	2,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,05	0,4	8,0	-	-	-
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:40	-	-	-
Oslo	0	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,05	0,2	0,5	0,6	0,8	0,9
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
	0,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,05	0,2	0,5	0,8	1,0	1,7
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:2	1:2	1:2	1:3	1:3	1:3
	2,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,04	0,2	0,5	1,8	-	-
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:2	1:2	1:2	1:6	-	-
Karasjok	0	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,08	0,4	0,8	1,0	1,5	1,8
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:4	1:4	1:4	1:3	1:4	1:4
	0,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,08	0,4	1,5	4,0	50	-
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:4	1:4	1:8	1:13	1:125	-
	2,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,04	0,5	-	-	-	-
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:2	1:5	-	-	-	-
Kristiansand	0	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,07	0,3	0,6	0,8	1,0	1,5
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
	0,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,06	0,3	0,7	1,5	2,0	4
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:3	1:4	1:5	1:5	1:8
	2,5	$S_{d,dampbrems}$ (m):	0,05	0,4	2,3	-	-	-
		$S_{d,kald\ side}/S_{d,varmside}$:	1:3	1:4	1:12	-	-	-

4. Uttørking innover – når virker det?

4.1 Generelt

En av de angitte fordelene med mer dampåpne konstruksjoner er muligheten for utørking innover, i tillegg til uttørking utover i konstruksjonen. Dette fordrer selvfølgelig at vanndampmotstanden på varm side ikke er for høy og at luftfuktigheten inne er lav nok. I dette kapitlet vises det beregninger med hensyn på å klarlegge en form for **maksimal vanndampmotstand på såkalte ”dampbremseser”** for at de skal muliggjøre en viss uttørking innover.

Når vanndampmotstanden på varm side senkes øker risikoen for kondens i konstruksjonen, men denne risikoen er ikke vurdert i dette kapitlet. Det henvises til kapittel 2 for tidligere undersøkelser mht. å klarlegge **minimum** vanndampmotstand på varm side, og forholdstallet mellom vanndampmotstanden på varm og kald side.

4.2 Fuktberegninger

Beregningene er hovedsakelig gjennomført ved hjelp av WUFI 1D Pro 4 (WUFI, 2009). WUFI 1D Pro 4 er et beregningsprogram for koblet ikke-stasjonær, en-dimensjonal varme- og fukttransport. Programmet inkluderer fukttransport ved hjelp av vanndampdiffusjon og kapillærtransport og tar hensyn til fuktkapasiteten til materialene.

I tillegg er det gjort noen tilleggsberegninger med WUFI 2D-3, som i prinsippet er samme modell som WUFI 1D Pro 4, men som regner to-dimensjonalt.

Alle beregningstilfellene gjelder konstruksjoner med høy startfuktighet. Konstruksjon A (kap. 4.2.2) og konstruksjon C (kap. 4.2.4) har fuktinnhold tilsvarende en vannlekkasje, mens konstruksjon B (kap. 4.2.3) har høy byggfukt.

4.2.1 Basis inputparametre

Som klimadata ble det benyttet såkalte Moisture Design Reference Years (MDRY) for Oslo. MDRY er klimadata på timebasis valgt ut for å representere en fuktbelastning som er mer kritisk enn gjennomsnittsklimaet. Det er valgt nordvendt orientering av veggkonstruksjonene. MDRY gir trolig mindre uttørking innover, siden en MDRY generelt er et noe kaldere år enn middelåret. Tilsvarende vil en nordvendt orientering trolig gi mindre innadrettet uttørking, siden en nordvendt vegg er kaldere utvendig enn en vegg som mottar mer solstråling. Det er imidlertid også sett noe på sørvendte vegger med større potensiale for innadrettet uttørking.

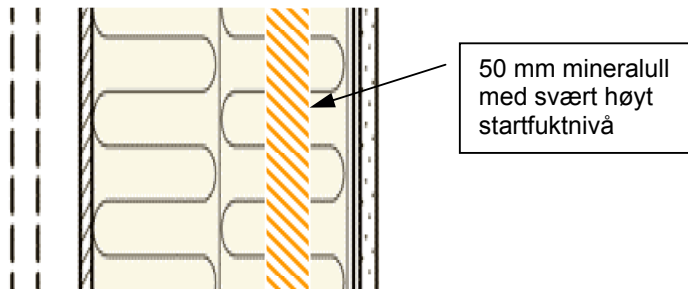
Innetemperaturen er satt konstant lik 20 °C. Fukttilskuddet i lufta er brukt som mål på fuktbelastning inne. Fukttilskuddet er definert som differansen i vanndampkonsentrasjon mellom inn- og utelufta i g/m³. Den er bestemt av fuktproduksjonen inne og ventilasjonsgraden. Som standard verdi for fukttilskuddet blir det brukt en verdi på 2,5 g/m³ for vinterforhold (utetemperatur under 5 °C) og 0,5 g/m³ for sommerforhold (utetemperatur over 15°C), med lineær interpolering for utetemperaturen mellom 5 – 15 °C. Dette representerer et nivå for luftfuktigheten som er nært gjennomsnittet for oppholdsrom i norske boliger, og som er relativt gunstig mht. uttørking innover – sammenlignet med om man hadde benyttet et fuktigere innemiljø.

De viktigste materialparametrene brukt i beregningene er delvis hentet fra WUFIs egen database.

4.2.2 Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, kraftig oppfuktet mineralull

Det er gjennomført en-dimensjonale beregninger for en bindingsverksvegg med følgende standard oppbygning regnet innenfra (se figur 4.2.1):

- Dampbrems (S_d varierer mellom 0,5 - 10 m)
- 250 mm mineralull
- Vindsperre rullprodukt ($S_d = 0,1$ m)
- Luftet kledning (trekledning)



Figur 4.2.1
Bindingsverksvegg (konstruksjon A) – vertikalsnitt.

Beregningene er gjennomført med et høyt startfuktnivå i deler av mineralullen. Fukt tilsvarende 10 mm vannfilm (dvs. 10 liter pr. m^2) er fordelt i et 50 mm isolasjonssjikt som er lokalisert 50-100 mm fra innsiden av konstruksjonen. Dette skal illustrere en tilfeldig lekkasje i bruksfasen. Jo nærmere fukten er innvendig side, jo større andel av den vil kunne tørke innover. Det er her valgt en plassering som er relativt fordelaktig mht. innadrettet uttørring (men ikke helt mot innvendig overflate). Resten av isolasjonen har et startfuktnivå på 80% RF. Beregningsperioden gikk over 1 år, med starttidspunkt 1. juli. Ett års beregningsperiode ble valgt siden forhånds-beregning viste at byggfukten var uttørket etter ca. 1 år. Generelt har man størst innadrettet uttørring i den varme årstiden, slik at man her starter med en periode med høy andel innadrettet uttørring. Beregningstilfellene er beskrevet i tabell 4.2.1.

Luftespalten bak trekledningen er modellert med et ventilasjonskildeledd som gir et luftskifte på 20 l/h.

Dampmotstanden til vindsperra har naturlig nok stor betydning for hvor stor andel av fukten som tørker innover, hvis vindsperra er relativt damptett vil naturlig nok en større andel kunne tørke innover. Det er derfor her valgt å variere dampmotstanden innenfor det spennet som anbefales for vindsperrer, dvs. $S_d = 0,01 - 0,5$ m.

Tabell 4.2.1

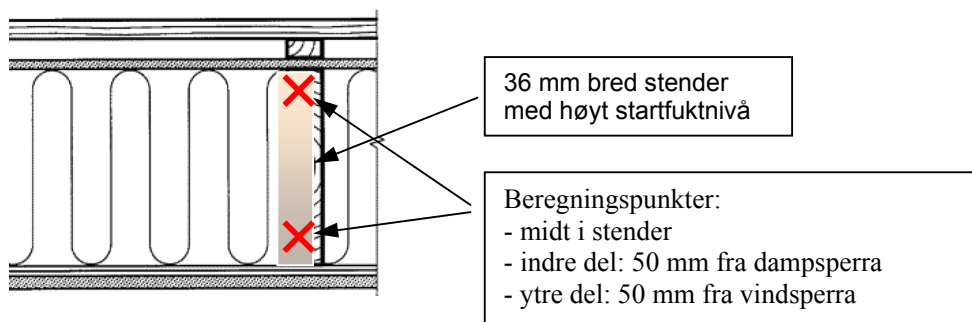
Beregningstilfeller for bindingsverksveggen (konstruksjon A). Standardverdier i fet skrift.

VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Sd dampbrems = 0,5 m	x											x					x				
Sd dampbrems = 1,0 m		x											x					x			
Sd dampbrems = 2,0 m			x				x	x	x	x	x										
Sd dampbrems = 4,0 m				x										x					x		
Sd dampbrems = 6,0 m					x										x					x	
Sd dampbrems = 10 m						x										x					x
Sd vindsperre = 0,1 m	x	x	x	x	x	x			x	x	x										
Sd vindsperre = 0,5 m							x					x	x	x	x	x					
Sd vindsperre = 0,01 m								x									x	x	x	x	x
Orientering = nord	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Orientering = sør									x												
Orientering = sør + lavere luftskifte (n= 1,0 1/h)										x											
Plassering lekkasjefukt: 50 mm fra innside	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Plassering lekkasjefukt: 50 mm fra utside											x										

4.2.3 Beregning B – 2-dimensjonal bindingsverksvegg, moderat oppfuktet stender

Det er gjennomført to-dimensjonale beregninger for en bindingsverksvegg med følgende standard oppbygning regnet innenfra (se figur 4.2.2):

- Dampbrems (S_d varierer mellom 0,5 - 10 m)
- 250 mm mineralull (inkl 36 mm trestender)
- Vindsperre rullprodukt ($S_d = 0,1$ m)
- Luftet kledning (trekledning)



Figur 4.2.2

Bindingsverksvegg (konstruksjon B) – horisontalsnitt.

Beregningene er gjennomført med et høyt startfuktnivå i trestenderen på 25 vekt%. Isolasjonen hadde et startfuktnivå på 80% RF. Beregningsperioden gikk over 1 år, med starttidspunkt 1. juli. Ett års beregningsperiode ble valgt siden forhåndsberegning viste at byggfukten var uttørket etter ca. 1 år. Generelt har man størst innadrettet uttørring i den varme årstiden, slik at man her starter med en periode med høy andel innadrettet uttørring. Beregningstilfellene er beskrevet i tabell 4.2.2.

Luftespalten bak trekledningen er modellert med et ventilasjonskilleledd som gir et luftskifte på 20 l/h.

Dampmotstanden til vindsperra har naturlig nok stor betydning for hvor stor andel av fukten som tørker innover, hvis vindsperra er relativt damptett vil naturlig nok en større andel kunne tørke innover. Det er derfor her valgt som standard en $S_d = 0,1$ m, dvs. ikke av de mest dampåpne rullproduktene, men heller ikke av de mindre dampåpne vindsperreproduktene.

Tabell 4.2.2

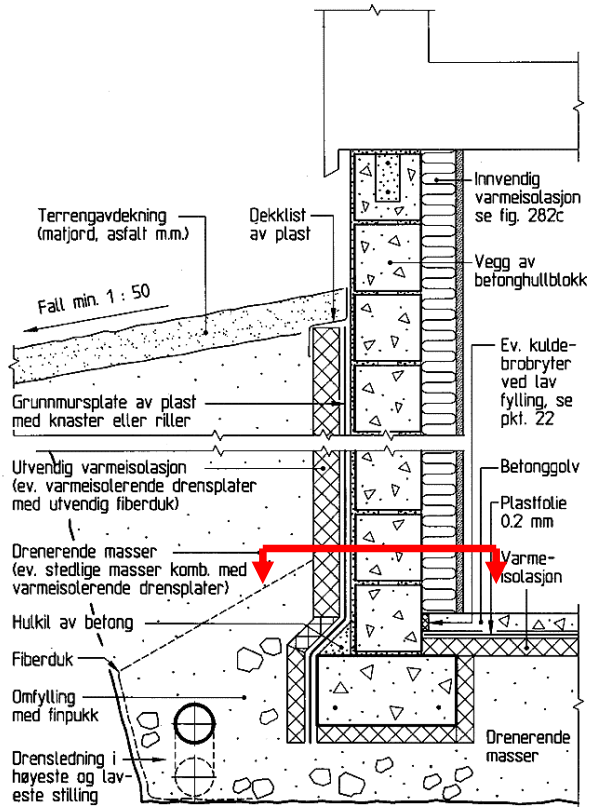
Beregningstilfeller for bindingsverksveggen (konstruksjon B). Standardverdier i fet skrift.

VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sd dampbrems = 0,5 m	x								
Sd dampbrems = 1,0 m		x							
Sd dampbrems = 2,0 m			x				x	x	x
Sd dampbrems = 4,0 m				x					
Sd dampbrems = 6,0 m					x				
Sd dampbrems = 10 m						x			
Sd vindsperre = 0,1 m	x	x	x	x	x	x			x
Sd vindsperre = 0,5 m							x		
Sd vindsperre = 0,01 m								x	
Orientering = nord	x	x	x	x	x	x	x	x	
Orientering = sør									x

4.2.4 Beregning C – En-dimensjonal innvendig isolert betongvegg under terreng – oppfuktet mineralull

Det er gjennomført en-dimensjonale beregninger for en betongvegg under terreng med følgende standard oppbygning regnet innenfra (se figur 4.2.3):

- Dampbrems (S_d varierer mellom 0,5 - 10 m)
- 150 mm mineralull
- 200 mm betong ($v/c=0,6$)
- Grunnmursplate
- 50 mm EPS
- Terreng



Figur 4.2.3
Innvendig isolert betongvegg over terreng (konstruksjon C). Rødt snitt viser dybden beregningene gjelder for.

Beregningene gjelder for en dybde 1,5 m under terreng. Eventuelle problemstillinger knyttet til veggkonstruksjonen i figur 4.2.3 over bakken er ikke vurdert her.

Beregningene er gjennomført med et høyt startfuktnivå i deler av mineralullen. Fukt tilsvarende 5 mm vannfilm er fordelt i de ytre 50 mm av mineralullsjiktet for halvparten av beregningstilfellene. Dette skal illustrere en tilfeldig vannlekkasje i bruksfasen. Resten av isolasjonen har et startfuktnivå på 80% RF, mens betongen har et startfuktnivå på 90%. Resten av beregningstilfellene ser kun på uttørring etter normalt byggfuktnivå (80% RF i isolasjonen og 90% i betongen).

Beregningsperioden gikk over 2 år (verdiene hadde stabilisert seg etter ca. 2 år), med starttidspunkt 1. juli. Det er forutsatt 100% RF i grunnen utenfor vegg. Temperaturen i grunnen er estimert ihht (Geving og Torgersen, 1997) for en dybde på 1,5 m under terreng (kjellervegg med U-verdi 0,22 og kjellergolv med 100 mm isolering). Temperaturen er beskrevet ved en sinusfunksjon med maksimum temperatur i august (13,1 °C) og minimum temperatur i februar (4,0 °C). Beregningstilfellene er beskrevet i tabell 4.2.3.

I tillegg til normal luftfuktighet innendørs er det sett på betydningen av høy luftfuktighet innendørs. Som høy verdi for fukttilskuddet blir det brukt en verdi på 6 g/m³ for vinterforhold (utetemperatur under 5 °C) og 3 g/m³ for sommerforhold (utetemperatur over 15°C), med lineær interpolering for utetemperaturer mellom 5 – 15 °C. Dette representerer et nivå for luftfuktigheten som er svært høyt, men som kan inntreffe på dårlig ventilerte badrom, vaskerom og lignende. Som normal verdi for fukttilskuddet blir det brukt en verdi på 2,5 g/m³ for vinterforhold og 0,5 g/m³ for sommerforhold.

Tabell 4.2.3
Beregningstilfeller for kjellerveggen.

VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
S _d dampbrems = 0,5 m	x							x							x						
S _d dampbrems = 1,0 m		x							x							x					
S _d dampbrems = 2,0 m			x							x							x				
S _d dampbrems = 4,0 m				x							x							x			
S _d dampbrems = 6,0 m					x							x							x		
S _d dampbrems = 10 m						x							x							x	
S _d dampbrems = fuktavhengig*							x							x							x
Vannlekkasje (5 mm vann i isolasjon)	x	x	x	x	x	x	x														
Ordinær byggfukt								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Normal luftfuktighet inne	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
Høy luftfuktighet inne															x	x	x	x	x	x	x

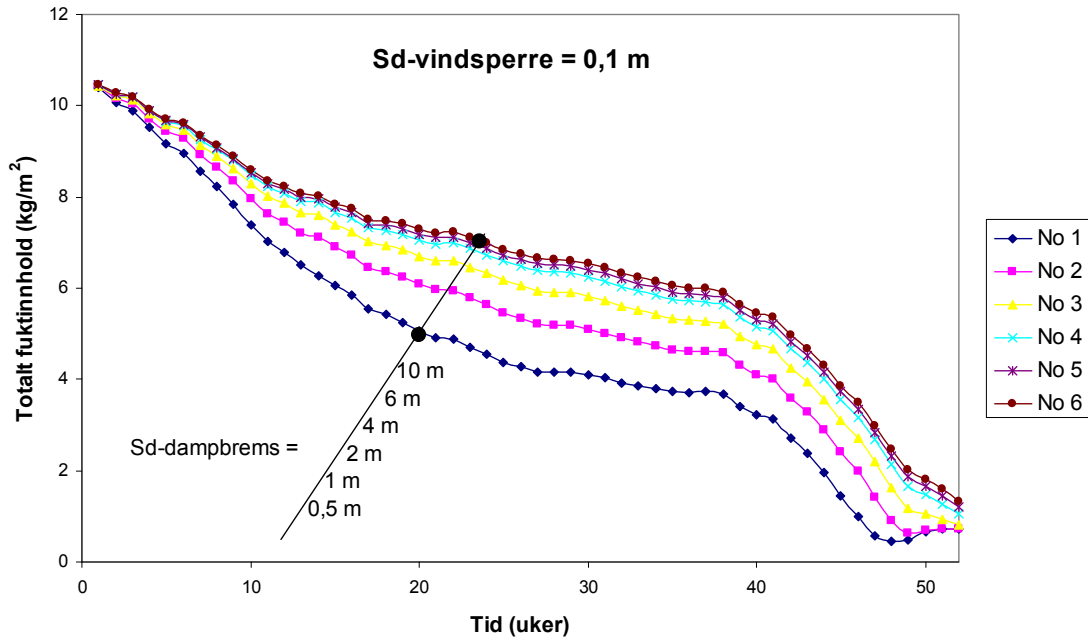
* Det benyttes en dampbrems med dampmotstand som er avhengig av RF-nivået tilsvarende figur 1.5.1.

4.3 Resultater og vurderinger

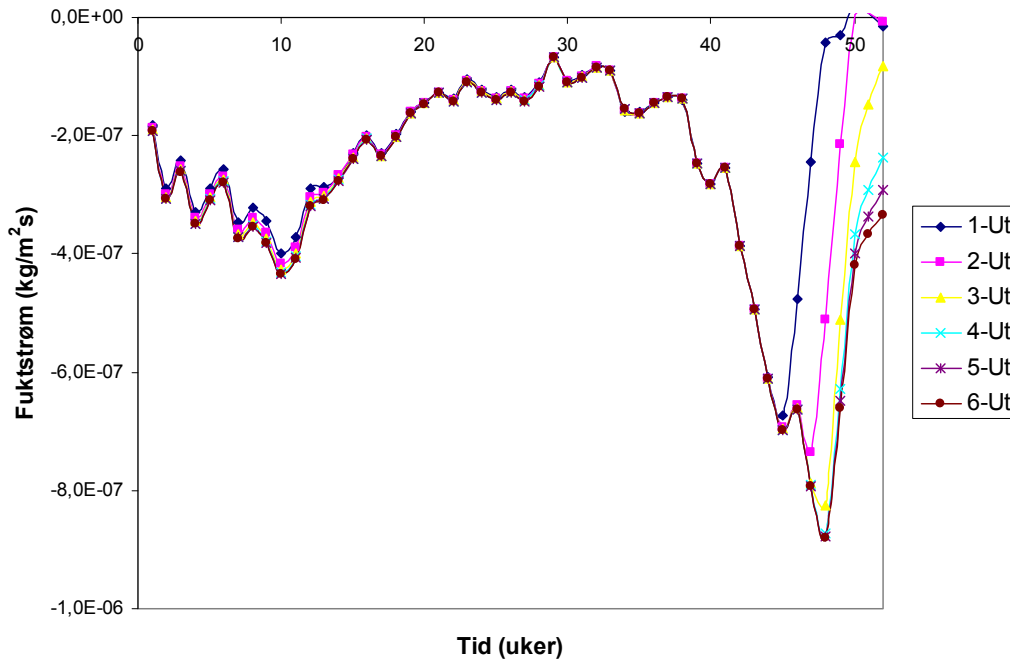
4.3.1 Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, oppfuktet mineralull

Noen av beregningsresultatene er vist i figur 4.3.1-4.3.3. Tilsvarende figurer for andre beregningstilfeller er vist i vedlegg 1. Hensikten med beregningene var å se om det var mulig å finne en maksimal dampmotstand på innvendig side av konstruksjonen, gitt at uttørkingen mot innelufta skal være av en slik størrelsesorden at det øker uttørkingshastigheten i vesentlig grad. For å vurdere dette har vi valgt å se på endringen i konstruksjonens totale fuktinnhold. I tillegg ser vi på forholdet mellom fuktstrømmen (fuktfluksen) gjennom hhv. vindsperra og dampbremsen. Selv om hoveduttørkingen normalt vil være utadrettet gjennom vindsperra, må vi forutsette at en relativt stor andel av den totale uttørkingen (for eksempel 25%) må være innadrettet for at dampbremsen skal ha en funksjon.

I Figur 4.3.1 vises det totale fuktinnholdet i bindingsverksveggen for forskjellige S_d-verdier på dampbremsen (S_d-vindsperra er lik 0,1 m). Som forventet ser vi at jo lavere S_d-verdi på dampbremsen jo hurtigere går uttørkingen av konstruksjonen. Vi ser imidlertid at uttørkingen med S_d-verdier på dampbremsen lik 4, 6 og 10 m skiller seg svært lite fra hverandre. Det betyr at man har liten effekt på uttørkingen av å redusere S_d-verdien fra for eksempel 10 m (anbefalt minimum dampmotstand på dampsperrer i Norge) til for eksempel 4 m. For dette beregningstilfellet kan det se ut som at man må ha en S_d-verdi på dampbremsen under 2 m får å få reell uttørking innover – og kanskje helt ned i 1 m.



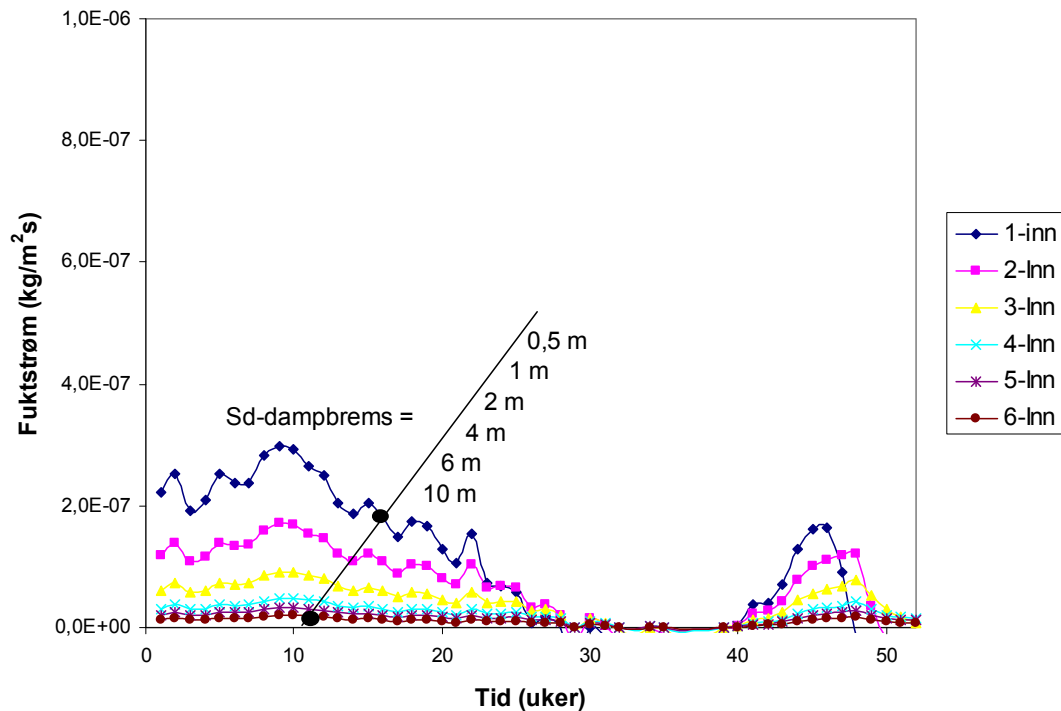
Figur 4.3.1
 Totalt fuktinnhold i bindingsverksvegg (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



Figur 4.3.2
 Utadrettet fuktstrøm (negativ fuktstrøm er utadrettet) gjennom vindsperra i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.

Figur 4.3.2 og 4.3.3 viser fuktstrømmen gjennom hhv. vindsperra (utadrettet) og dampbremsen (innadrettet) for varierende S_d -verdi på dampbremsen. Vi ser at utadrettet fuktstrøm gjennom vindsperra er lite påvirket av dampmotstanden til dampbremsen, og at den er vesentlig større enn innadrettet fuktstrøm – i hvert fall for høyere S_d -verdier på dampbremsen. Vi ser av figur 4.3.3 at

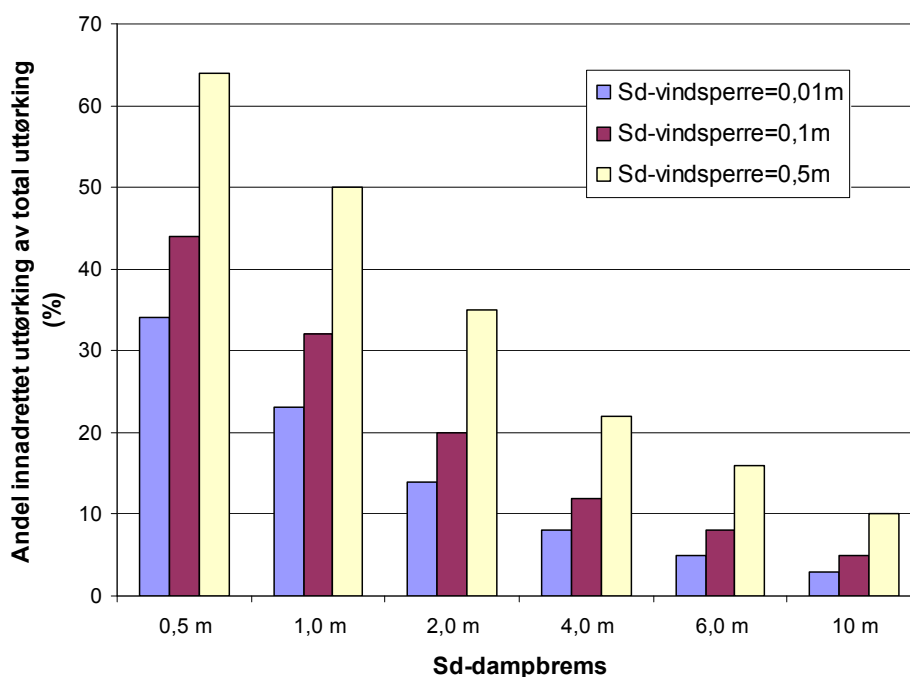
den innadrettede fuktstrømmen er svært liten for S_d -verdier på 4, 6 og 10 m. Dvs. tilsvarende som når vi så på det totale fuktinnholdet i figur 4.3.1, ser det ut som at man må ha en S_d -verdi på dampbremsen under 2 m for å få reell uttørking innover.



Figur 4.3.3
Innadrettet fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom dampbremsen i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.

Tilsvarende beregninger som ovenfor er utført for en mer dampåpen vindsperr ($S_d = 0,01$ m) og en mindre dampåpen vindsperr ($S_d = 0,5$ m). Resultatene er vist i vedlegg 1. Vi finner at forskjellen i uttørkingshastighet ved varierende dampmotstand på dampbremsen er liten når vindsperras dampmotstand er liten og større når vindsperras dampmotstand er relativt stor. Dette er som forventet siden når vindsperras dampmotstand øker vil uttørkingen utover gå saktere, og den relative betydningen av innadrettet uttørking vil dermed øke.

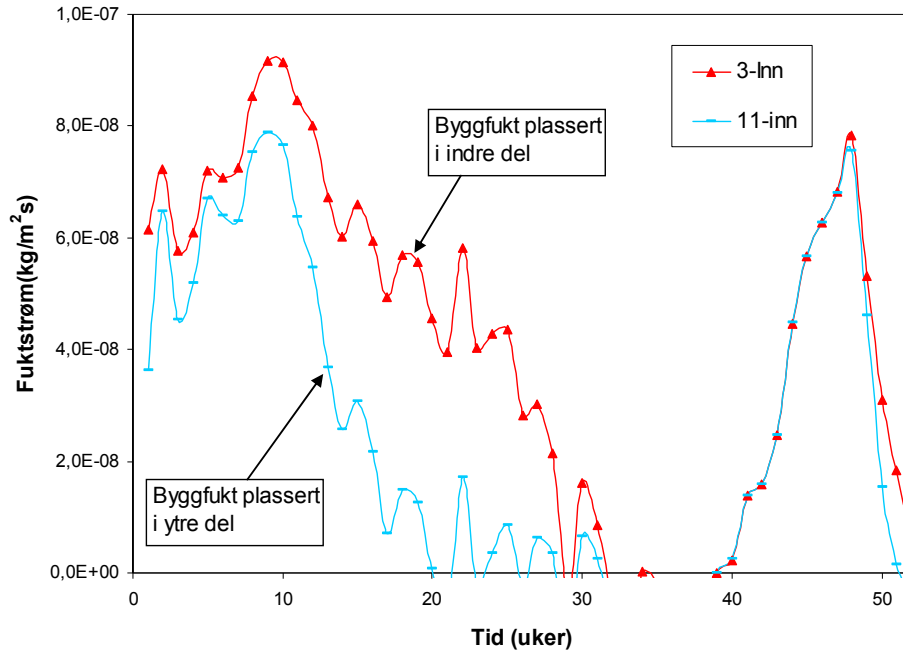
I figur 4.3.4 vises andelen innadrettet uttørking (innadrettet gjennom dampbremsen) av den totale uttørkingen ut av konstruksjonen ved varierende dampmotstand på både dampbrems og vindsperre. Vi ser også der at den relative betydningen av innadrettet uttørking øker når dampmotstanden på vindsperra øker. Vi kan eksempelvis kreve av dampbremsfunksjonen at den skal gi en viss andel uttørking innover for å ha en reell effekt. Eksempelvis kan vi forutsette at minst ca. 25% av den totale uttørkingen skal være innadrettet. Med det som forutsetning ser vi at med en S_d -verdi på vindsperra på hhv. 0,01 m, 0,1 m og 0,5 m, må S_d -verdien på dampbremsen være lavere enn hhv. ca 0,75 m, 1,5 m og 3,0 m.



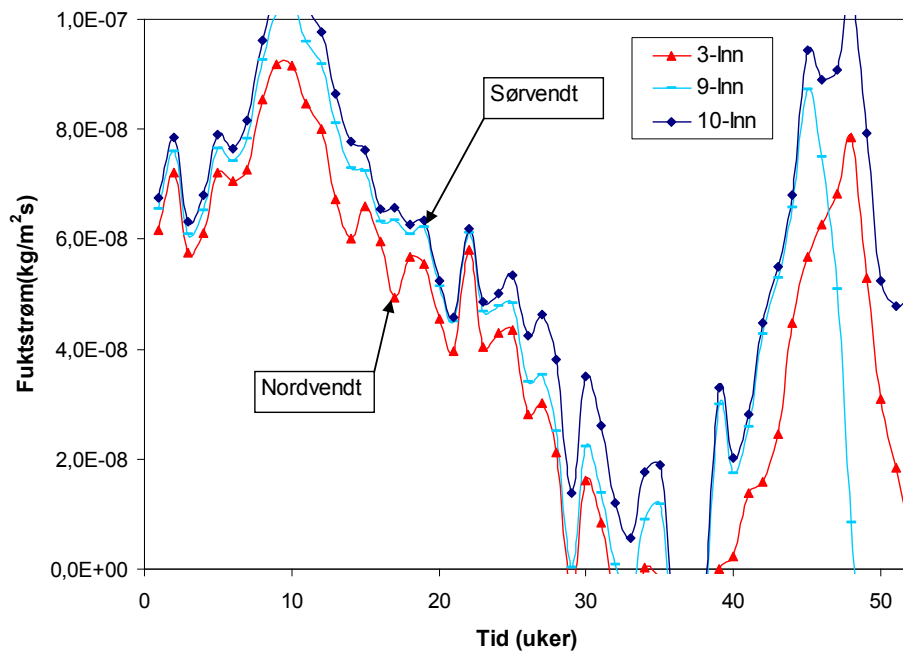
Figur 4.3.4 Andel innadrettet uttørking (innadrettet gjennom dampbremsen) av den totale uttørkingen ut av konstruksjonen (utadrettet gjennom vindsperre + innadrettet gjennom dampbremsen) for konstruksjon A, se figur 4.2.1. Beregnet for gjennomsnittlige fuktstrømmer i første halvår av beregningsperioden (1.juli-31.desember), nordvendt orientering og lekkasjefukt som er plassert 50 mm fra innsiden.

Av andre parametre vet vi at det kan ha betydning hvor i konstruksjonen fukten befinner seg. Hvis byggfukten/lekkasjefukten befinner seg i ytre del av isolasjonen vil en mindre andel av fukten tørke innover, sammenlignet med våre beregninger hvor vi har forutsatt at byggfukten i starten er plassert i indre del av konstruksjonen. Figur 4.3.5 viser denne effekten klart. Andel innadrettet uttørking av den totale uttørkingen er halvert (fra 20% til 10% når vi kun tar de første 26 ukene med i beregningen). Det betyr eksempelvis at for å opprettholde 25% andel innadrettet uttørking av totaluttørkingen, må S_d -verdien til dampbremsen reduseres ytterligere i forhold til verdiene gitt i avnittet over. I følge figur 4.3.4 ser det ut til at vi får en fordobling av den innadrettede uttørkingen når vi reduserer S_d -verdien på dampbremsen fra eksempelvis 2 m til 0,5 m.

Hoveddelen av den innadrettede uttørkingen skjer som vi kan se av figur 4.3.3 i den varme årstiden. Dersom fasaden er utsatt for solstråling vil ytre del av konstruksjonen få høyere gjennomsnittstemperatur, og vi vil kunne få noe økt innadrettet uttørking. Beregningene vist tidligere er gjennomført for en nordvendt fasade, men i figur 4.3.6 er det vist sammenlignende beregninger mellom nordvendt og sørvendt fasade. Vi ser at det er en viss effekt, men den er ikke spesielt stor. Andel innadrettet uttørking av den totale uttørkingen øker fra 20% (nordvendt) til maksimalt 30% (sørvendt og redusert ventilasjon bak kledning) når vi kun tar de første 26 ukene med i beregningen.

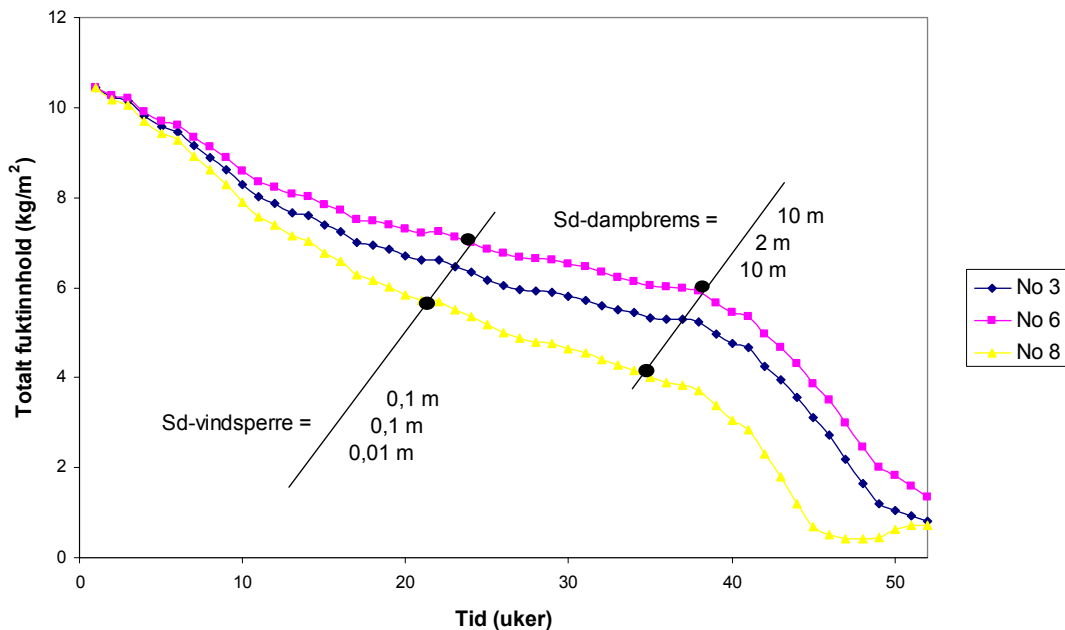


Figur 4.3.5
Effekt av hvor byggfukten er plassert i konstruksjonen. Figuren viser innadrettet fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom dampbremsen i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for S_d -dampbrems = 2 m. Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni. Beregningstilfelle 3 har byggfukten plassert 50 mm fra dampbremsen, mens beregningstilfelle 11 har fukten plassert 50 mm fra vindsperra.

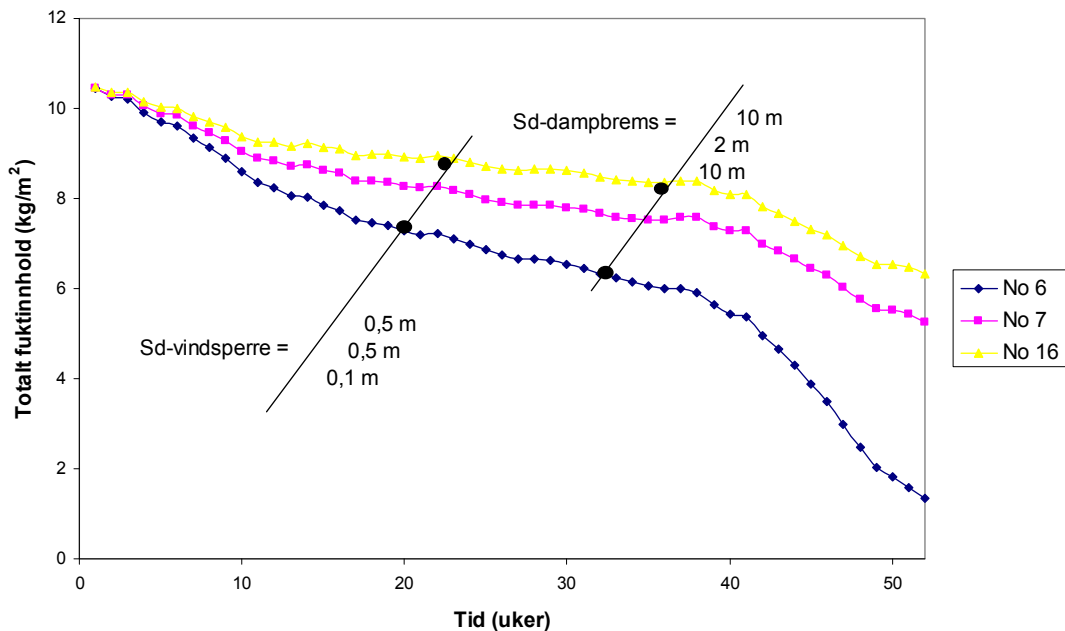


Figur 4.3.6
Effekt av soloppvarming av fasaden. Figuren viser innadrettet fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom dampbremsen i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for S_d -dampbrems = 2 m. Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni. Beregningstilfelle 3, 9 og 10 representerer hhv. en nordvendt vegg, en sørvendt vegg og en sørvendt vegg med svært lavt luftskifte bak kledning.

Vedrørende effektiviteten av det å benytte dampbrems for å tørke ut større mengder byggfukt, må det vurderes opp i mot muligheten av å heller benytte en mer dampåpen vindspærre. I figur 4.3.7 og 4.3.8 er det vist effekten av å enten benytte dampbrems (reduere S_d -verdi fra 10 m til 2 m) eller å benytte en mer dampåpen vindspærre (reduere S_d -verdi fra 0,1 m til 0,01 m, eller fra 0,5 m til 0,1 m). Vi ser at det å benytte en mer dampåpen vindspærre er et vesentlig mer effektivt tiltak.



Figur 4.3.7
Effekt av å benytte dampbrems kontra en mer dampåpen vindspærre. Figuren viser total fuktinnhold i bindingsverksvegg (konstruksjon A, se figur 4.2.1). Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



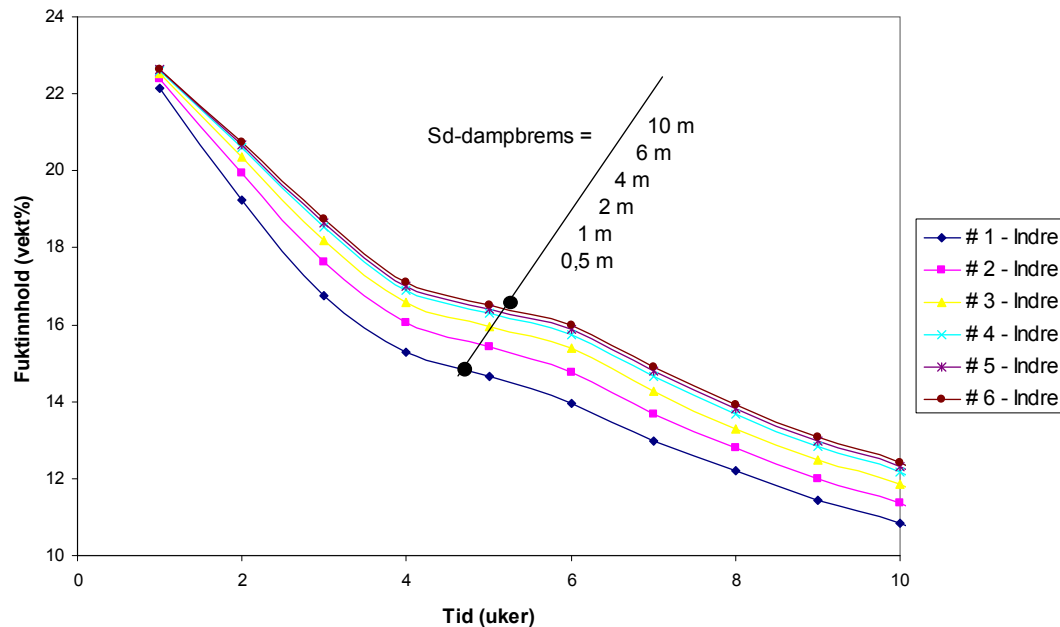
Figur 4.3.8
Effekt av å benytte dampbrems kontra en mer dampåpen vindspærre. Figuren viser total fuktinnhold i bindingsverksvegg (konstruksjon A, se figur 4.2.1). Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.

Det er viktig å bemerke at vi her kun har vurdert hva som er den maksimale dampmotstand til en dampbrems gitt at det skal være en viss effekt av den innadrettede uttørkingen. Vi har imidlertid ikke vurdert her hvorvidt de relativt lave dampmotstandene på dampbremsen (S_d -verdi under 10 m) har negative konsekvenser mhp risiko for kondens og muggvekst i ytre del av konstruksjonen for tilfellet hvor det ikke er byggfukt som behøver å tørke ut. Dette temaet er imidlertid behandlet nærmere i kap 2.1, 2.2 og 2.3.

4.3.2 Beregning B – 2-dimensjonal bindingsverksvegg, moderat oppfuktet stender

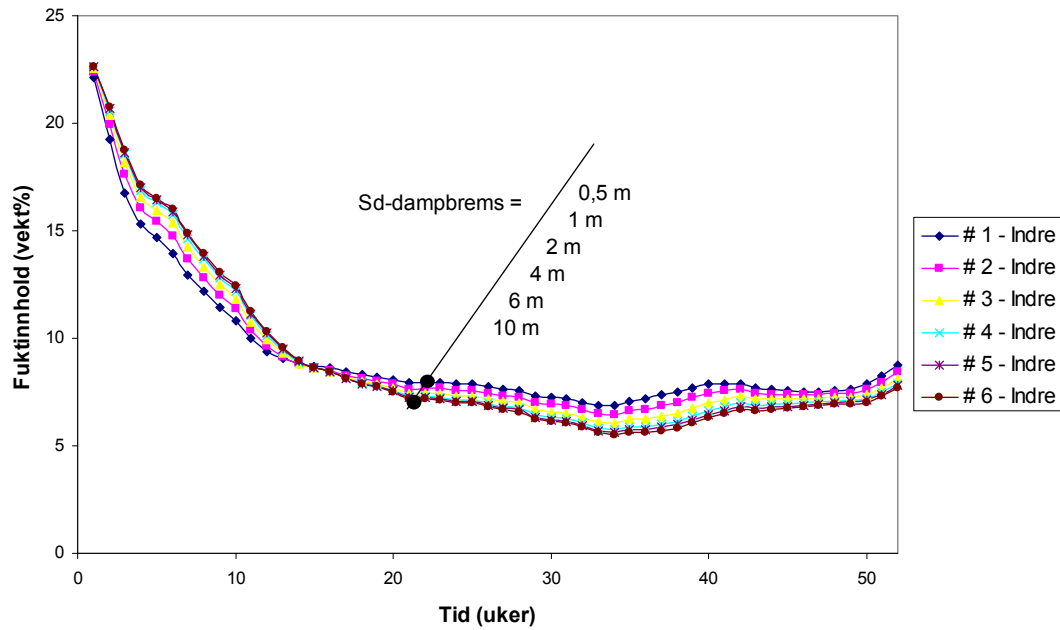
Noen av beregningsresultatene er vist i figur 4.3.9-14. Hensikten med beregningene var å se om det var mulig å finne en maksimal dampmotstand på innvendig side av konstruksjonen, gitt at uttørkingen mot innelufta skal være av en slik størrelsesorden at det øker uttørkingshastigheten i vesentlig grad. For å vurdere dette har vi valgt å se på endringen i stenderens fuktinnhold. I tillegg ser vi på forholdet mellom fuktstrømmen (fuktfluksen) gjennom vindsperra og dampbremsen. Selv om hoveduttørkingen normalt vil være utadrettet gjennom vindsperra, må vi forutsette at en større andel av den totale uttørkingen må være innadrettet for at dampbremsen skal ha en funksjon.

I figur 4.3.9 vises det gjennomsnittlige fuktinnholdet i de innerste 50 mm av stenderen for forskjellige S_d -verdier på dampbremsen (S_d -vindsperra er lik 0,1 m). Som forventet ser vi at jo lavere S_d -verdi på dampbremsen jo hurtigere går uttørkingen av konstruksjonen. Vi ser videre at uttørkingen med S_d -verdier på dampbremsen lik 2, 4, 6 og 10 m skiller seg svært lite fra hverandre. Det betyr at man har liten effekt på uttørkingen av å redusere S_d -verdien fra for eksempel 10 m (anbefalt minimum dampmotstand på dampsperrer i Norge) til for eksempel 2-4 m. For dette beregningstilfellet kan det se ut som at man må ha en S_d -verdi på dampbremsen under 1 m for å få reell uttørking innover – og kanskje helt ned i 0,5 m. Det er verdt å merke seg at man likevel oppnår relativt beskjeden effekt mhtp. uttørkingshastighet. Eksempelvis går det bare ca. 25% hurtigere å tørke ned til under 18 vekt% (grense for muggvekst) når dampbrems med S_d -verdi på 0,5 m benyttes istedenfor 10 m. Når dampbrems med S_d -verdi på 2 m benyttes istf 10 m går det kun ca 10 % hurtigere, eller ca. 2 døgn raskere å komme fra 25 vekt% til 18 vekt%..



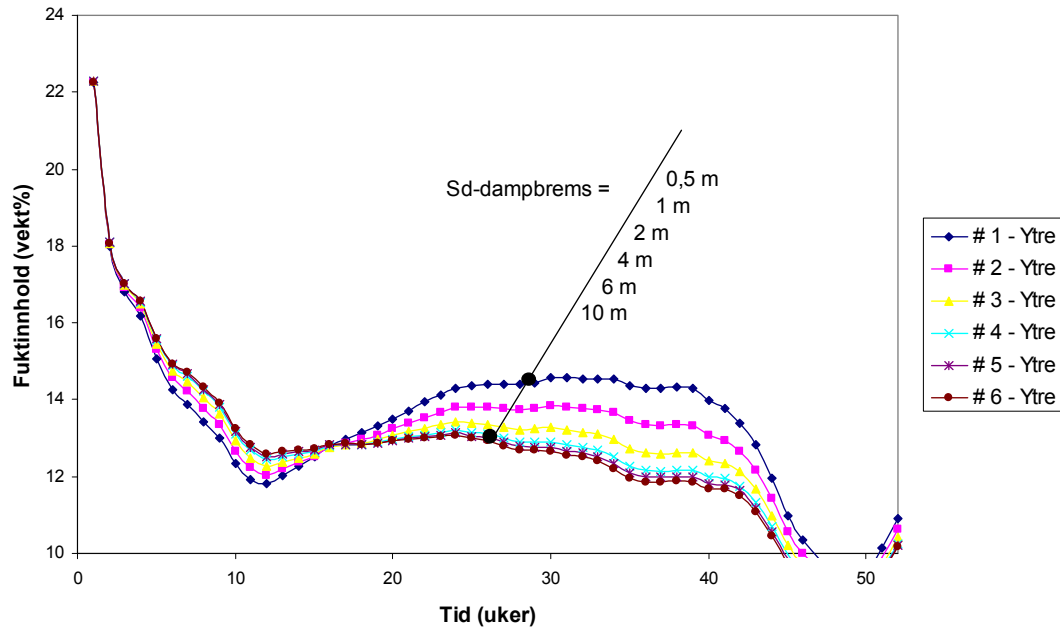
Figur 4.3.9
Gjennomsnittlig fuktinnhold i de innerste 50 mm av stenderen (konstruksjon B, se figur 4.2.2) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni. Her vises kun de 10 første ukene.

Under selve uttørkingen av byggfukten vil man ha et lavere fuktinnhold i treverket jo lavere dampmotstand dampbremsen har, som vist i figur 4.3.9. Det er imidlertid verdt å merke seg at når byggfukten har tørket ut, og treverket innstiller seg i den naturlige fuktlikevekten styrt av ute- og inneklimate, vil fuktinnholdet inne i veggen gå over til å være høyere jo lavere dampmotstand dampbremsen har, se figur 4.3.10. Det skyldes at damptrykket (og dermed RF) inne i veggen øker når innvendig dampmotstand avtar. Når byggfukten har tørket ut, vil fuktstrømmen gjennom dampbremsen gå fra å være innadrettet, til å være utadrettet – og større jo lavere dampmotstand.



Figur 4.3.10
Gjennomsnittlig fuktinnhold i de innerste 50 mm av stenderen (konstruksjon B, se figur 4.2.2) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni. (tilsvarende figur som ovenfor, men her er hele beregningsperioden vist).

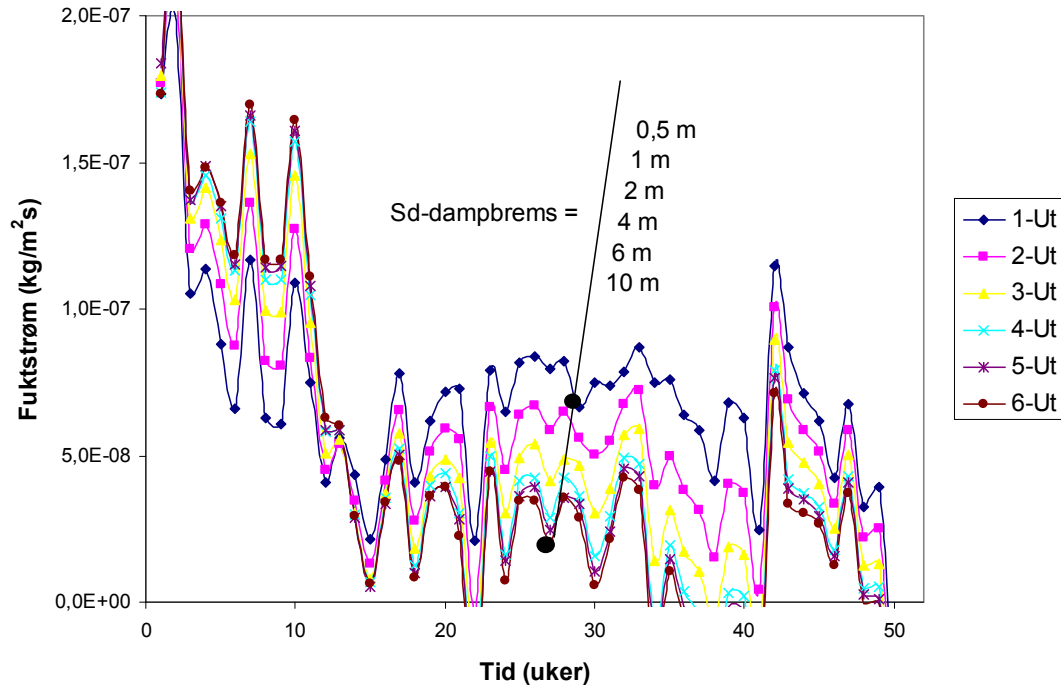
I figur 4.3.11 vises uttørkingen av de ytterste 50 mm av stenderen. Her ser vi at dampmotstanden til dampbremsen ikke har noen effekt mht. uttørkingshastighet ned til under 18 vekt%, her får man først en effekt når fuktinnholdet går under 18 vekt%. Tilsvarende som for den indre del av stenderen ser vi at når byggfukten har tørket ut, og treverket innstiller seg i den naturlige fuktlikevekten styrt av ute- og inneklimate, vil fuktinnholdet gå over til å være høyere jo lavere dampmotstand dampbremsen har.



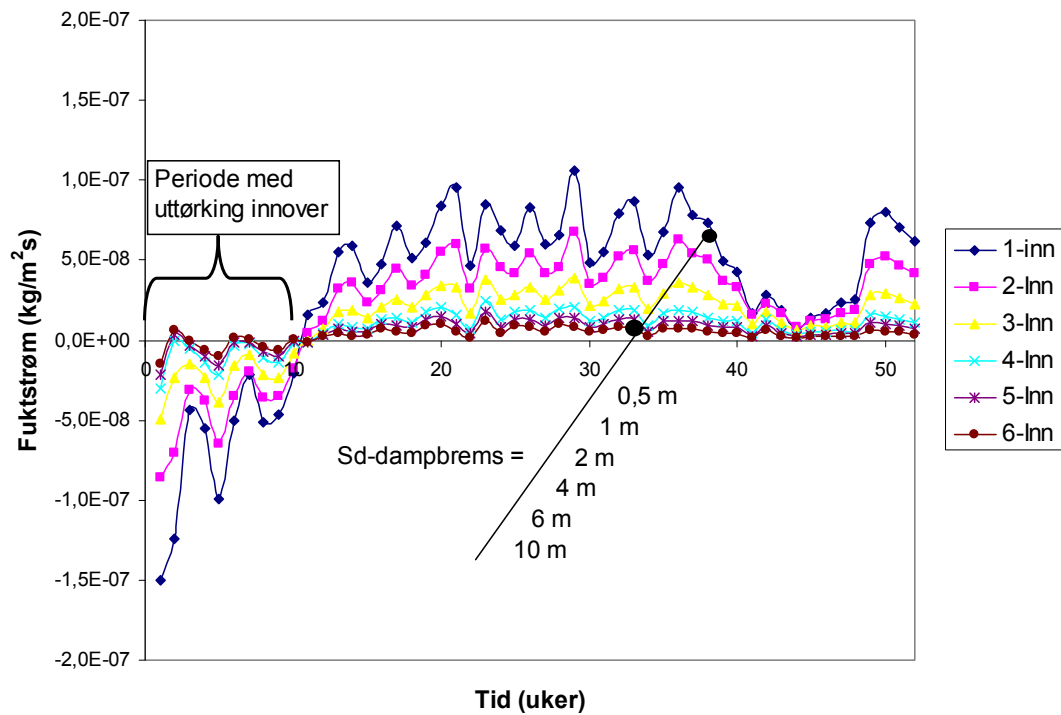
Figur 4.3.11

Gjennomsnittlig fuktinnhold i de ytterste 50 mm av stenderen (konstruksjon B, se figur 4.2.2) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.

Figur 4.3.12 og 4.3.13 viser fuktstrømmen gjennom hhv. vindsperra (utadrettet) og dampbremsen (innadrettet) for varierende S_d -verdi på dampbremsen. Vi ser at utadrettet fuktstrøm gjennom vindsperra er vesentlig større enn innadrettet fuktstrøm – i hvert fall for høyere S_d -verdier på dampbremsen. Vi ser også at den utadrettede fuktstrømmen i de 10 første ukene (når byggfukten driver og tørker ut) er lavere jo lavere dampmotstanden til dampbremsen er. Dette skyldes trolig at en større andel av fukten da kan tørke innover. Vi ser av figur 4.3.13 at den innadrettede fuktstrømmen er svært liten for S_d -verdier på 2, 4, 6 og 10 m. Dvs. tilsvarende som når vi så på fuktinnholdet i indre del av stenderen i figur 4.3.9, ser det ut som at man må ha en S_d -verdi på dampbremsen under 2 m får å få reell uttørking innover. Figur 4.3.13 viser også at året sett under ett går det mer fukt fra innelufta og ut i veggen enn fra veggen og inn gjennom dampbremsen til innelufta.

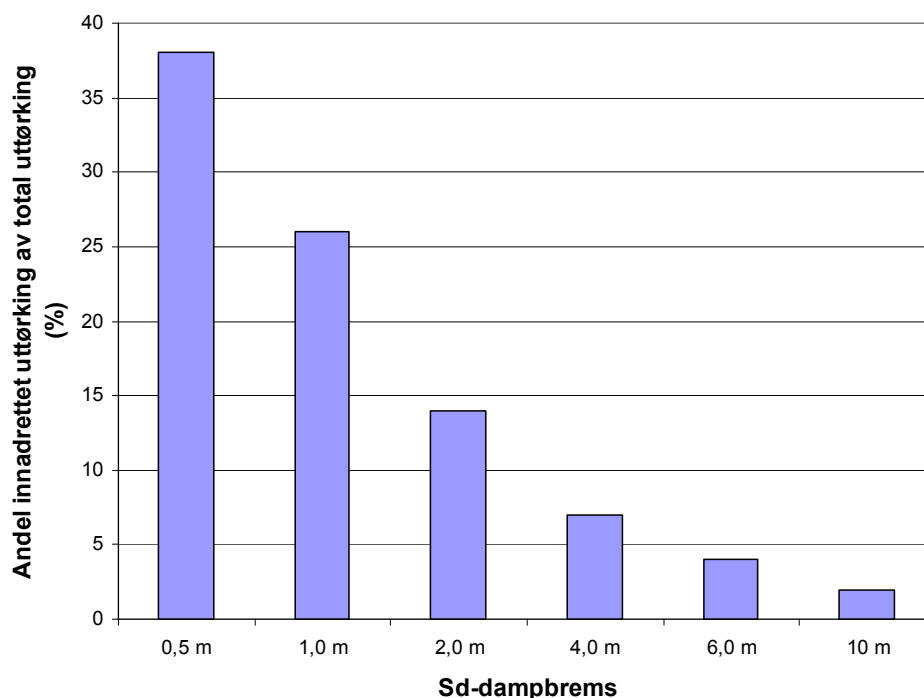


Figur 4.3.12
 Utadrettet fuktstrøm (positiv fuktstrøm er utadrettet) gjennom vindsperre i bindingsverksveggen (konstruksjon B, se figur 4.2.2) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperres S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



Figur 4.3.13
 Fuktstrøm gjennom dampbremsen i bindingsverksveggen (konstruksjon B, se figur 4.2.2) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Negativ fuktstrøm er innadrettet. Vindsperres S_d -verdi er 0,1 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.

I figur 4.3.14 vises andelen innadrettet uttørring (innadrettet gjennom dampbremsen) av den totale uttørringen ut av konstruksjonen ved varierende dampmotstand på dampbremsen, i løpet av de 10 første ukene da det er innadrettet fuktstrøm gjennom dampbremsen. Vi kan eksempelvis kreve av dampbremsfunksjonen at den skal gi en viss andel uttørring innover for å ha en reell effekt. Eksempelvis kan vi forutsette at minst ca. 25% av den totale uttørringen skal være innadrettet. Med det som forutsetning ser vi at med en S_d -verdi på vindsperra på 0,1 m, må S_d -verdien på dampbremsen være lavere enn hhv. Ca. 1,0 m.



Figur 4.3.14
Andel innadrettet uttørring (innadrettet gjennom dampbremsen) av den totale uttørringen ut av konstruksjonen (utadrettet gjennom vindsperra + innadrettet gjennom dampbremsen) for konstruksjon B, se figur 4.2.2. Beregnet for gjennomsnittlige fuktstrømmer i de 10 første ukene av beregningsperioden (1.juli-10.september).

Det er viktig å bemerke at vi her kun har vurdert hva som er den maksimale dampmotstand til en dampbrems gitt at det skal være en viss effekt av den innadrettede uttørringen. Vi har imidlertid ikke vurdert her hvorvidt de relativt lave dampmotstandene på dampbremsen (S_d -verdi under 10 m) har negative konsekvenser mhp risiko for kondens og muggvekst i ytre del av konstruksjonen for tilfellet uten at det er byggfukt som behøver å tørke ut. Dette temaet er imidlertid behandlet nærmere i kap. 2.1, 2.2 og 2.3.

4.3.3 Beregning C – En-dimensjonal innvendig isolert betongvegg under terreng – oppfuktet mineralull

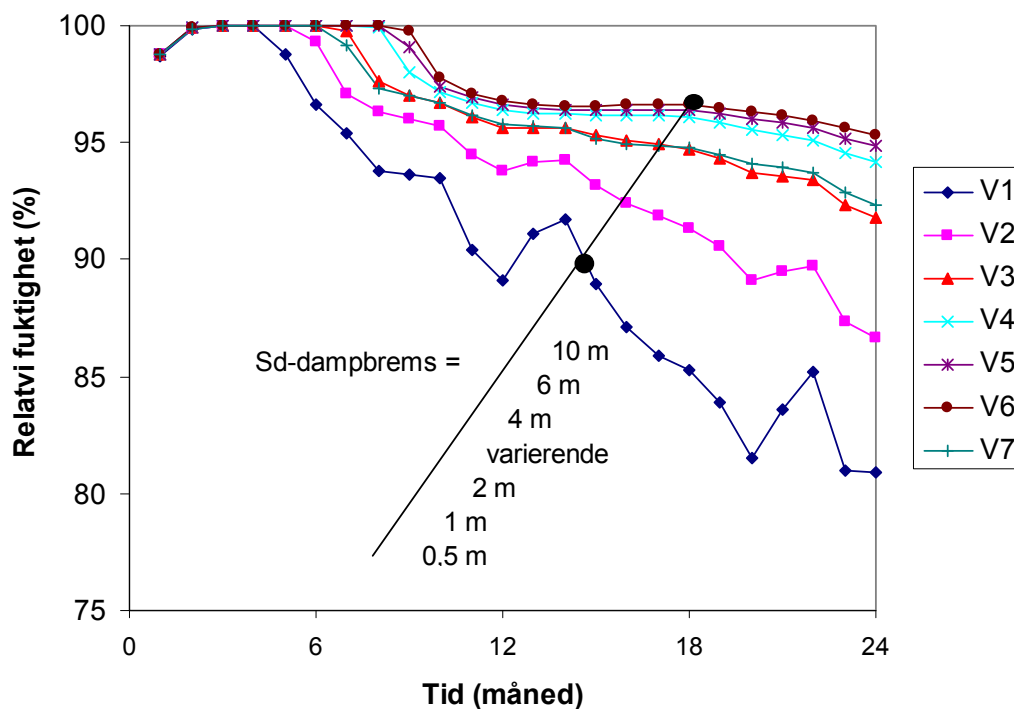
Noen av beregningsresultatene er vist i figur 4.3.15-23. Hensikten med beregningene var å se om det var mulig å finne en maksimal dampmotstand på innvendig side av konstruksjonen, gitt at uttørringen mot innelufta skal være av en slik størrelsesorden at det øker uttørringshastigheten av byggfukt/lekasjevann i vesentlig grad. For å vurdere dette har vi valgt å se på endringen av RF på betongens innvendige overflate, samt inne i mineralulla (50 mm fra betongoverflaten). I tillegg ser vi på konstruksjonens totale fuktinnhold.

I figur 4.3.15 og 4.3.16 vises RF på den innvendige betongoverflaten for forskjellige S_d -verdier på dampbremsen og forskjellig byggfuktnivå. Vi ser at jo lavere S_d -verdi dampbremsen har jo

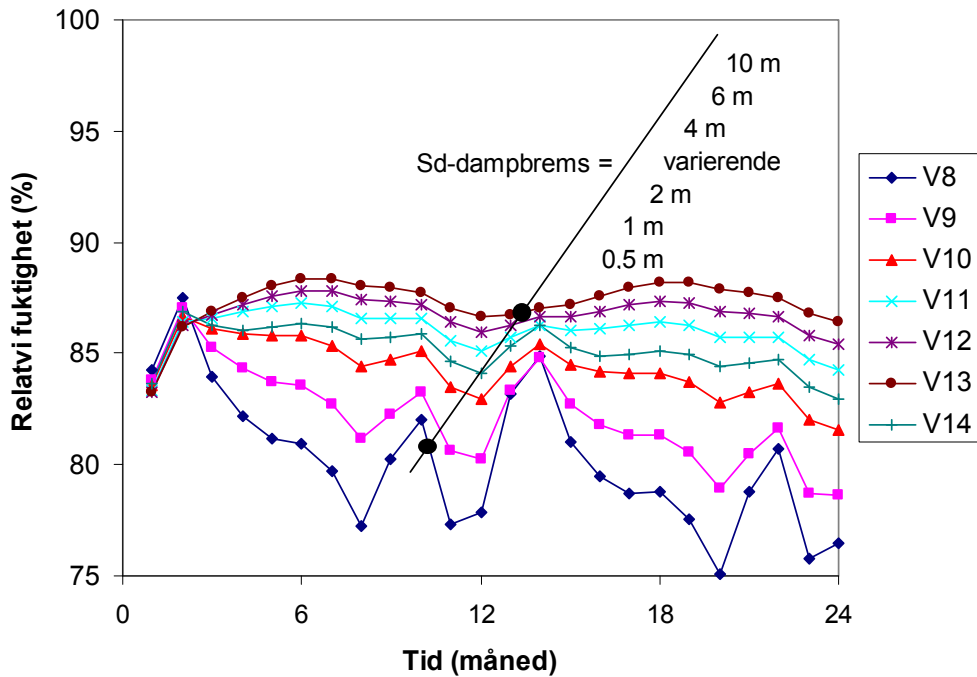
hurtigere går uttørkingen ved betongoverflaten. Vi ser videre at uttørkingen med S_d -verdier på dampbremsen lik 4, 6 og 10 m skiller seg relativt lite fra hverandre. Det betyr at man har forholdsvis liten effekt på uttørkingen av å redusere S_d -verdien fra for eksempel 10 m (anbefalt minimum dampmotstand på dampsperrer i Norge) til for eksempel 4 m. For dette beregnings-tilfellet kan det se ut som at man må ha en S_d -verdi på dampbremsen under 2 m for å få reell uttørking innover. Tilsvarende resultat finner vi om vi ser på RF inne i isolasjonen, 50 mm fra betongen, og det totale fuktinnholdet i konstruksjonen, se figur 4.3.18-23.

Dampbremsen med varierende S_d -verdi (beregningstilfelle V7 og V14) har en uttørkingshastighet som ligger omtrent på nivå med dampbremsen med konstant S_d -verdi lik 2 m, selv om S_d -verdien til den smarte dampbremsen kan være vesentlig under 1 m ved høye fuktnivå. Forklaringen på dette er at RF-nivået på inn og utsiden av den smarte dampsperreren er på et slikt lavt nivå (trolig i gjennomsnitt ca 50-60% RF) at den totale dampmotstanden blir ca. 2 m.

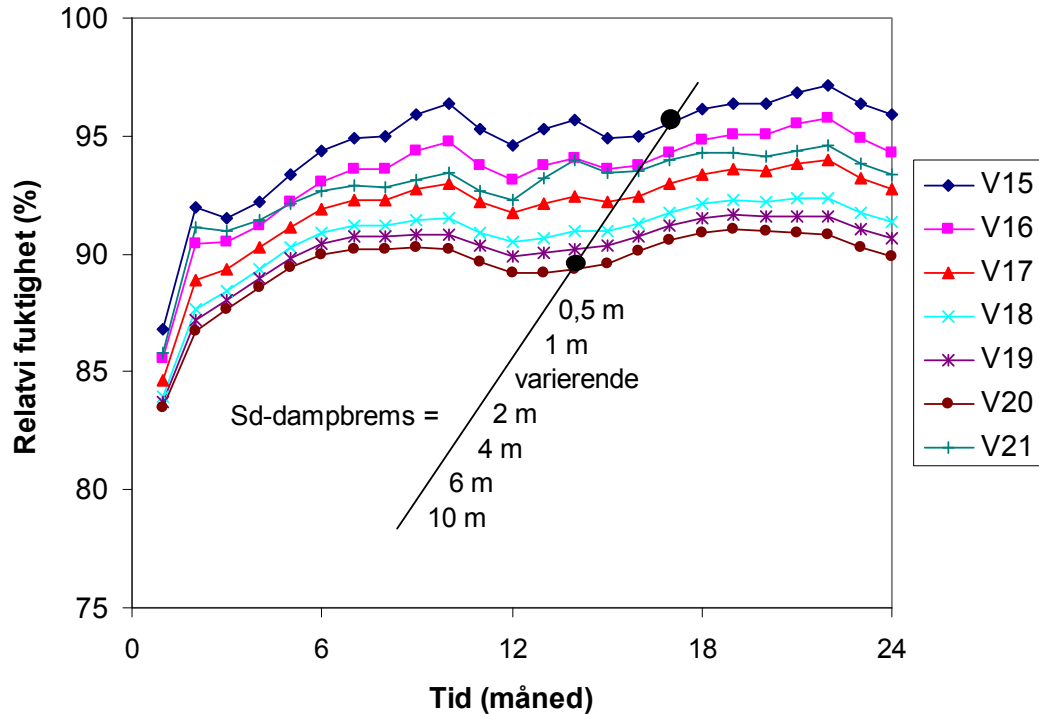
Beregningene med høy luftfuktighet innendørs viser tydelig den potensielle risikoen med å benytte dampåpne materialer på varm side av konstruksjonen. Vi ser av figur 4.3.17, 4.3.20 og 4.3.23 at fuktnivået i konstruksjonen er høyere jo lavere S_d -verdien til dampbremsen er. Med høy innvendig luftfuktighet som her er det ingen uttørkingmuligheter innover. Veggen blir tvert imot oppfuktet av fukttransport fra innelufta og utover gjennom dampbremsen. Det er verdt å merke seg at det høye fuktnivået det er regnet med normalt ikke vil inntreffe i normalt ventilerte rom med normal fuktproduksjon, men kan inntreffe for eksempel i dårlig ventilerte bad. Overgangen fra å ha en positiv effekt av dampåpen innside til negativ effekt vil imidlertid skje på et lavere fuktnivå enn hva som ble regnet med her (fukttilskudd på 6 g/m^3 om vinteren og 3 g/m^3 om sommeren).



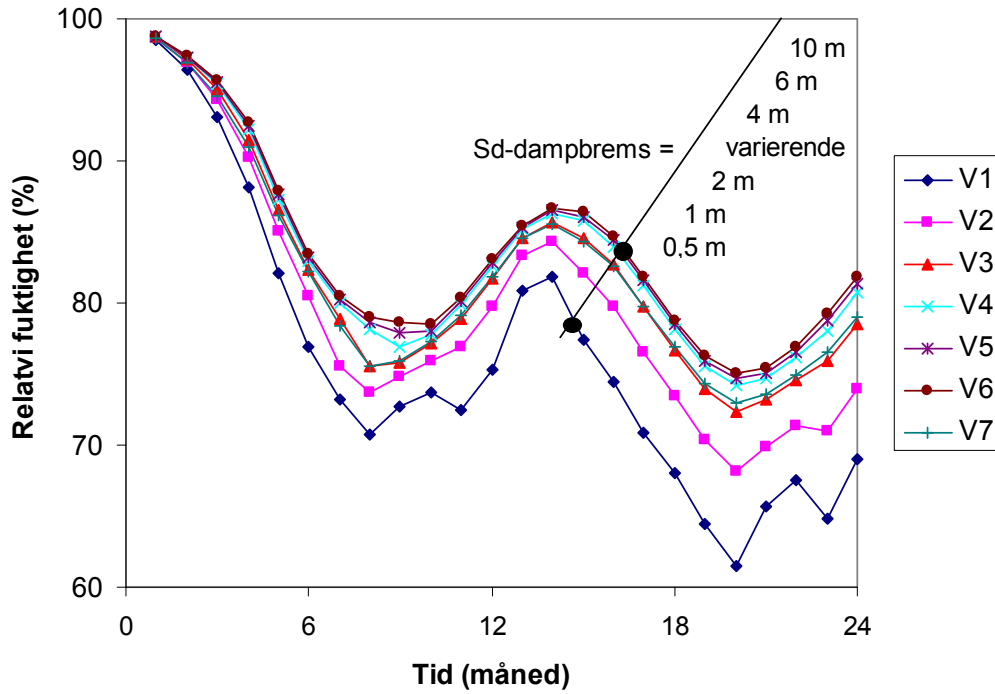
Figur 4.3.15
RF på innsiden av betongveggen (mellom betong og mineralull, konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Høyt byggfuktnivå tilsvarende 5 mm vannfilm i ytre 50 mm av mineralullen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



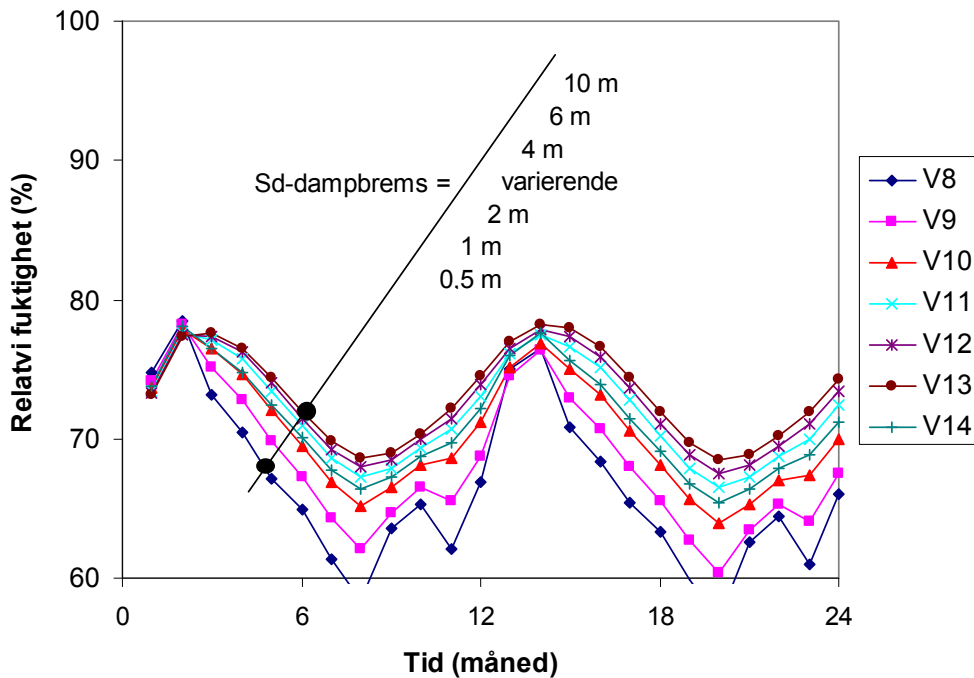
Figur 4.3.16
RF på innsiden av betongveggen (mellom betong og mineralull, konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Moderat byggfuktnivå tilsvarende 80 % RF i isolasjonen og 90 % RF i betongen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



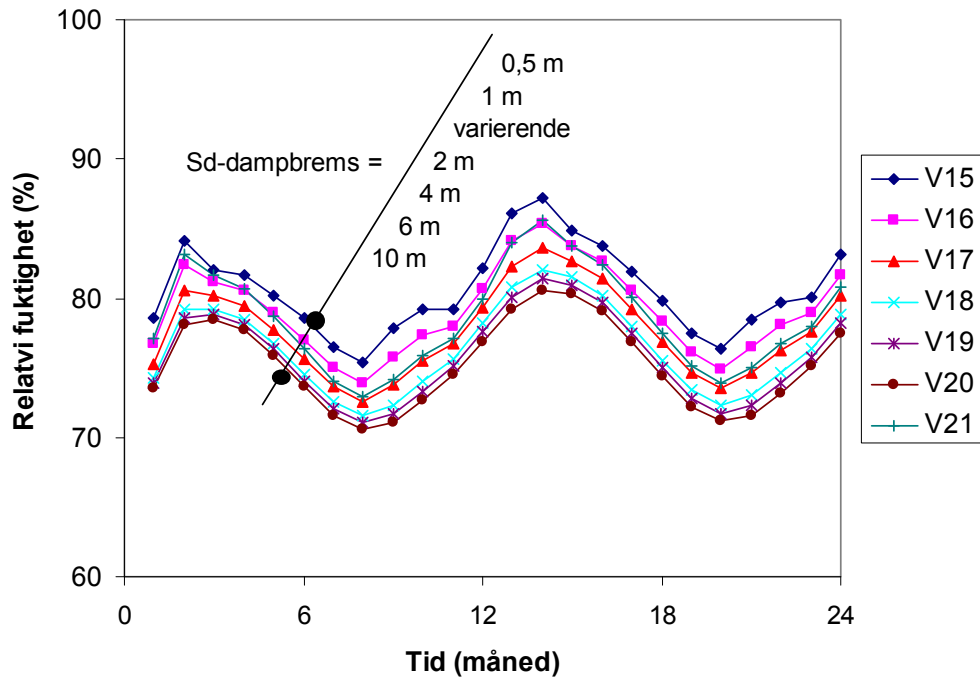
Figur 4.3.17
RF på innsiden av betongveggen (mellom betong og mineralull, konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Høyt fuktinnhold i innelufta. Moderat byggfuktnivå tilsvarende 80 % RF i isolasjonen og 90 % RF i betongen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



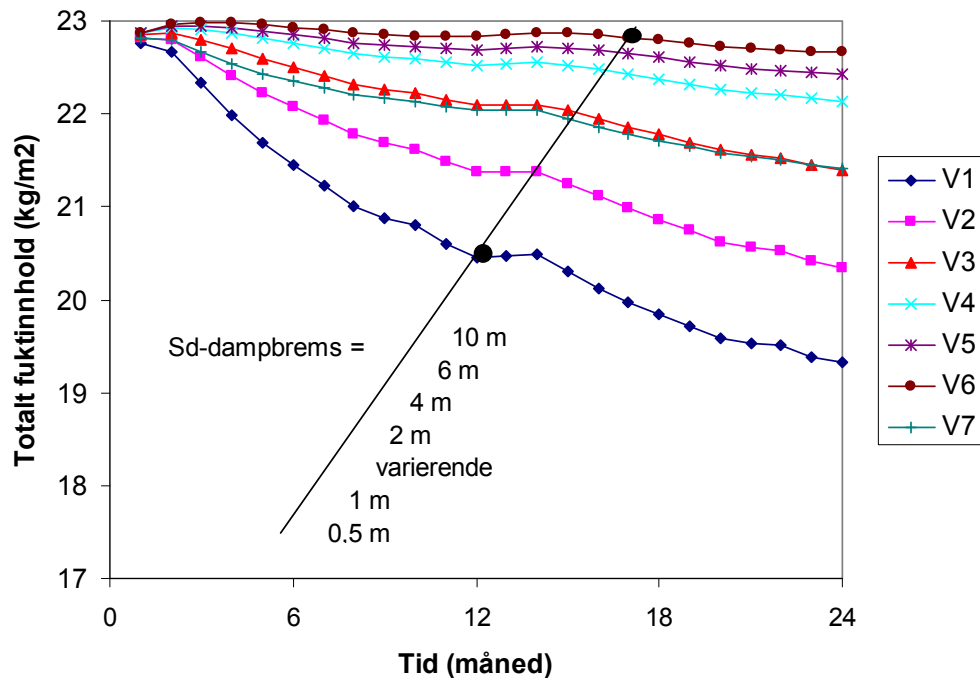
Figur 4.3.18
RF i mineralullen, 50 mm fra betongoverflaten (konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Høyt byggfuktnivå tilsvarende 5 mm vannfilm i ytre 50 mm av mineralullen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



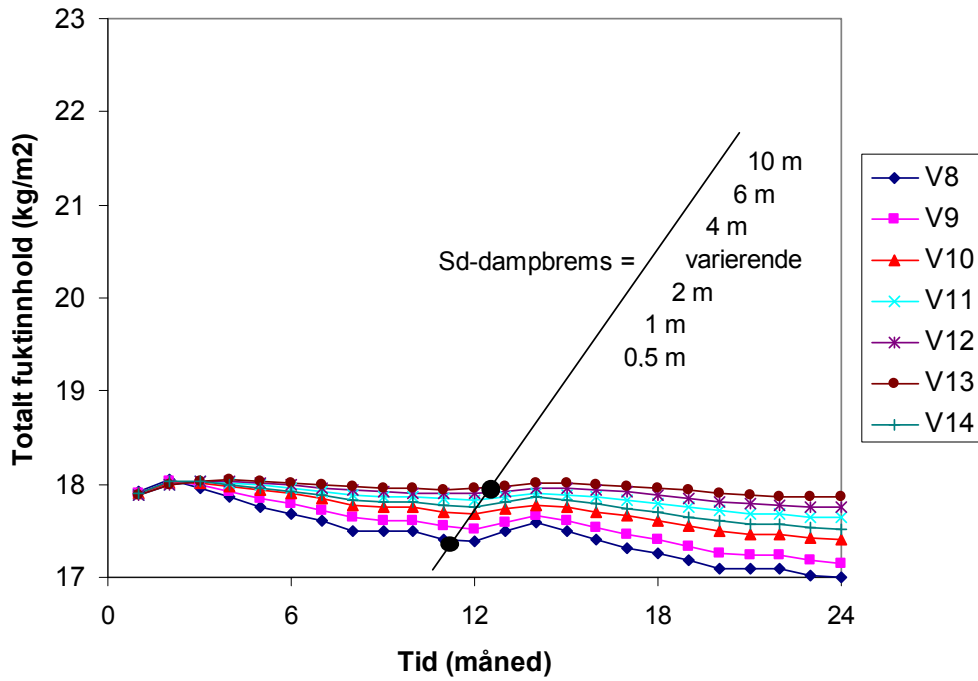
Figur 4.3.19
RF i mineralullen, 50 mm fra betongoverflaten (konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Moderat byggfuktnivå tilsvarende 80 % RF i isolasjonen og 90 % RF i betongen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



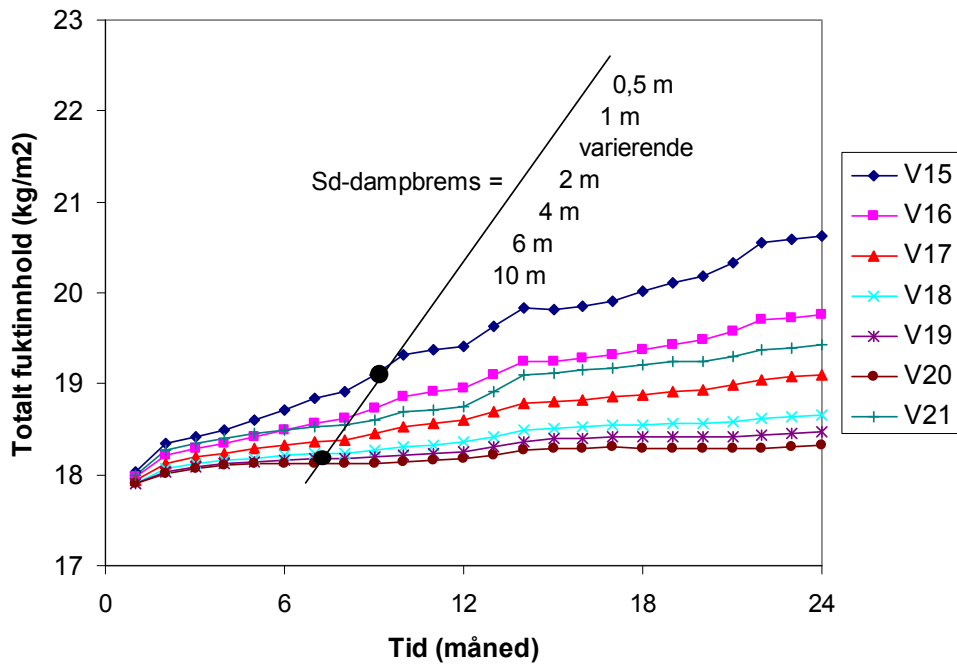
Figur 4.3.20
 RF i mineralullen, 50 mm fra betongoverflaten (konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Høyt fuktinnhold i innelufta. Moderat byggfuktnivå tilsvarende 80 % RF i isolasjonen og 90 % RF i betongen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



Figur 4.3.21
 Totalt fuktinnhold i kjellerveggen (konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Høyt byggfuktnivå tilsvarende 5 mm vannfilm i ytre del av mineralullen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



Figur 4.3.22
 Totalt fuktinnhold i kjellerveggen (konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Moderat byggfuktnivå tilsvarende 80 % RF i isolasjonen og 90 % RF i betongen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.



Figur 4.3.23
 Totalt fuktinnhold i kjellerveggen (konstruksjon C, se figur 4.2.3) for varierende dampmotstand på varm og kald side (S_d fra 0,5 til 10 m). Høyt fuktnivå i innelufta. Moderat byggfuktnivå tilsvarende 80 % RF i isolasjonen og 90 % RF i betongen. Beregningsperiode er 2 år fra 1. juli år 1 til 30. juni år 3.

5. Oppsummering

5.1 Generelt

I dette prosjektet er det gjort analyser og vurderinger knyttet til bruk av alternative dampsperrer i ytterkonstruksjoner. Det inkluderer yttervegger og luftede tak hvor det benyttes produkter på varm side av isolasjonen som er vesentlig mindre damptette enn hva som anbefales for ordinære dampsperrsjikt. En vesentlig begrunnelse for å benytte slike dampåpne eller populært kalt ”pustende” produkter er at konstruksjonen får en uttørkingsmulighet innover. Den effekten har vært hovedtemaet for dette prosjektet.

Følgende problemstillinger har vært undersøkt nærmere i dette prosjektet:

4. *Krav til minimum dampmotstand på varm side for å unngå fuktskade som følge av kondensering og muggvekst.* Dette inkluderer også krav til minimum forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side. Dette har vært gjennomført som en litteraturstudie av tidligere beregnings- og måleprosjekter.
5. *Effekt av luftlekkasjer på krav til minimum dampmotstand på varm side.* En svakhet med tidligere undersøkelser knyttet til krav til dampmotstand på varm og kald side er at de ikke har tatt hensyn til effekten av eventuelle luftlekkasjer fra innelufta, men kun tar hensyn til vanndampdiffusjon fra innelufta. Dette er imidlertid undersøkt her i en beregningsstudie.
6. *Uttørring innover – når virker det?* En av de angitte fordelene med mer dampåpne konstruksjoner er muligheten for uttørring innover, i tillegg til uttørring utover i konstruksjonen. Dette fordrer selvfølgelig at vanndampmotstanden på varm side ikke er for høy. Man kan derfor forestille seg at det finnes en maksimal dampmotstand for såkalte ”dampbremsere” gitt at de skal muliggjøre en viss uttørring innover. Dette er undersøkt her i en beregningsstudie.

5.2 Minimum dampmotstand på varm side

Det er gjennomført et større antall beregningsstudier, laboratoriemålinger og testhusmålinger internasjonalt knyttet til krav til dampmotstand på varm (og kald) side av bindingsverkskonstruksjoner for å unngå kondens og muggvekstskader. Dette er nærmere omtalt i kap. 2. Mange av disse studiene har også sett på konsekvensene av å benytte dampåpne innersjikt. De fleste studier anbefaler at forholdstallet $S_{d, \text{ varm side}}/S_{d, \text{ kald side}}$ bør være større enn ca 5, men ellers varierer anbefalingene på minimum forholdstall fra 1 til 50.

De fleste av studiene synes å konkludere med at det for bindingsverkskonstruksjoner er mulig å benytte mer dampåpne materialer på varm side enn hva som har vært vanlig i Norge – uten at det er noen stor risiko for påfølgende kondensskader og liknende. I Byggforskeren anbefales det å bruke produkter med med lavest mulig dampmotstand på kald side av isolasjonen (vindsperren) og at forholdstallet $S_{d, \text{ varm side}}/S_{d, \text{ kald side}} > 10$, og at dampsperrer til vanlig bruk har en $S_d > 10$ m. Det er interessant å se at en del land (USA, Canada, Finland m.fl) har mindre strenge krav/anbefalinger enn Norge (se tabell 2.1.2), med eksempelvis $S_{d, \text{ varm side}}/S_{d, \text{ kald side}} > 5$ og $S_{d, \text{ varm side}} > 2,6 - 4,3$ m. Mange av undersøkelsene viste også at man kan ha vesentlig lavere dampmotstand på varm side enn også dette, for eksempel med $S_d < 1$ m, uten at problemer oppsto. Eksempelvis er det gjennomført testhusmålinger i Trondheim med $S_{d, \text{ varm side}} = 0,53$ m og $S_{d, \text{ kald side}} = 0,08$ m (Uvsløkk et.al., 1999) hvor fuktnivået på kald side var akseptabelt.

Et problem med mange av studiene er at beregningsforutsetninger eller laboratorie- og testhusoppsett varierer sterkt, med forskjellige typer konstruksjoner, inneklime og uteklime. I tillegg er det vanligvis kun oppfukning ved diffusjon som er hensyntatt, mens fuktilder som luftlekkasjer, byggfukt og regnlekkasjer ikke er hensyntatt. I tillegg varierer det sterkt hvilket fuktkriterie man har benyttet, dvs. å unngå kondens eller muggvekst – eller begge deler. Alt dette avstedkommer store variasjoner i resultatene. En del studier konkluderer da også med at forholdstallet $S_{s, \text{ varm side}}/S_d$,

kald side ikke er tilstrekkelig som kriterie, siden forholdstallet i praksis er avhengig av andre faktorer som:

- fuktilførsel fra luftlekkasjer
- vindsperras dampmotstand
- vindsperras varmemotstand
- isolasjonens hygroskopiske kapasitet
- inneklime (luftfuktighet)
- uteklime
- byggfukt/lekkasjer

Dette fører til at minimum forholdstall $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$ i praksis varierer avhengig av overnevnte parametre. Spesielt vil høy varmemotstand på vindsperra (eventuelt i kombinasjon med isolasjon utenpå vindsperra) og hygroskopisk varmisolasjon kunne virke positivt inn på at man kan benytte et relativt lavt forholdstall $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$, og dermed også en relativt dampåpen innside. Se kap. 2.3. Moderne vindsperrfolier har liten varmemotstand sammenlignet med for eksempel trefiberplater, og kommer i så måte dårligere ut. På den annen side har de mest dampåpne vindsperrfoliene så lav dampmotstand (f.eks $S_d < 0,03\text{m}$) at selv om de krever et høyere forholdstall $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$, kan de likevel benyttes sammen med en relativt dampåpen innside. Den viktigste faktoren for å kunne benytte en dampåpen innside, blir jo likevel at man benytter en så dampåpen vindsperre som mulig. Man skal da imidlertid være klar over at med en meget dampåpen vindsperre blir uttørkingen utover så stor at det blir minimalt med uttørking innover, og begrunnelsen for nettopp å bruke en dampåpen innside blir dermed svakere, se kap. 4 og 5.4.

5.3 Effekt av luftlekkasjer på minimum dampmotstand på varm side

Det er gjennomført en beregningsstudie for å se på hvordan luftlekkasjer fra innelufta påvirker krav til dampmotstand på varm (og kald) side av bindingsverkskonstruksjoner for å unngå kondens og muggvekstskader, se kap. 3. Alle tidligere studier som har sett på krav til minimum dampmotstand på varm side (og minimum forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side) har kun inkludert effekten av vanndampdiffusjon. I konstruksjoner som ikke er helt lufttette, og hvor det er et luftovertrykk innvendig i forhold til utelufta, vil luftlekkasjene kunne gi kondens- og andre fuktskader selv om konstruksjonen rent "diffusjonsmessig" fungerer godt.

Beregningene viser at når en tar hensyn til luftlekkasjer ut i konstruksjonen vil nødvendig forholdstall mellom dampmotstand på varm og kald side for å unngå fuktskader øke. Dvs. at man må kompensere for den økte risikoen for fuktskader ved luftlekkasjer ved å redusere diffusjonen fra innelufta (dvs. øke dampmotstanden på varm side). Dette gjelder når vindsperra er middels dampåpen eller tettere ($S_{d, \text{kald side}} > 0,1 \text{ m}$). Når vindsperra er svært dampåpen ($S_{d, \text{kald side}} \leq 0,1 \text{ m}$) er $S_{d, \text{varm side}}/S_{d, \text{kald side}}$ derimot lite avhengig av størrelsen på luftlekkasjene.

5.4 Uttørking innover – når virker det?

Det er gjennomført en beregningsstudie basert på klimadata fra Oslo for å se på hvor stor betydning den innadrettede uttørkingen av byggfukt og eventuell annen fukt har når det benyttes en relativt lav dampmotstand på varm side av konstruksjonen. For at man skal ha en viss uttørking innover er det viktig at dampmotstanden på varm side ikke er for stor, og det er derfor forsøkt å finne et uttrykk for maksimal dampmotstand på varm side - gitt at en minimumsandel av den totale uttørkingen skal være innadrettet.

Det må imidlertid nevnes at en forutsetning for uttørring innover er at fuktinnholdet i innelufta er lavere enn inne i veggen, dvs. uttørringshastigheten er proporsjonal med damptrykkforskjellen. Det betyr i praksis at slike produkter kun er aktuelle i bygninger og rom med relativt tørr inneluft.

Bindingsverksvegger og luftede takkonstruksjoner

Moderne bindingsverkskonstruksjoner i Norge har vanligvis relativt dampåpne vindsperrer, ofte med en S_d -verdi rundt og under 0,1 m. Beregningene viser klart at den innadrettede uttørringen er beskjeden i slike konstruksjoner, siden mesteparten av fukten vil tørke utover. For å få en innadrettet uttørring av betydning må dampmotstanden på varm side være ganske lav.

Beregningene viser eksempelvis at dampmotstanden på varm side i de fleste tilfeller bør være lavere enn ca $S_d = 1-2$ m. Selv da er det kun en begrenset del av den totale uttørringen som går innover, i størrelsesorden ca 25%.

Hvis vindsperra er av den mest dampåpne typen (for eksempel $S_d < 0,02$ m) vil en enda mindre andel av den totale uttørringen være innadrettet. For å opprettholde ca 25% innadrettet uttørring må da dampmotstanden på varm side reduseres ytterligere, for eksempel lavere enn $S_d = 0,75$ m. Motsatt vil en mer damptett vindsperra (for eksempel $S_d = 0,5$ m) fordre en dampmotstand lavere enn ca $S_d = 3$ m for å opprettholde minimum 25 % innadrettet uttørring.

Beregningene viser imidlertid klart at det er mer effektivt å redusere dampmotstanden på vindsperra enn dampmotstanden på varm side for å bedre uttørring av byggfukt og tilfeldige lekkasjer og liknende. Eksempelvis er det mye mer effektivt å redusere vindsperras dampmotstand fra $S_d = 0,1$ m til 0,01 m (eller fra $S_d = 0,5$ m til 0,1 m), enn å redusere dampmotstanden på varm side fra $S_d = 10$ m til 2 m.

Hovedkonklusjonen er altså at dampbremsere og liknende produkter har relativt liten nytteverdi mht. å øke uttørringshastigheten i bindingsverkskonstruksjoner i nordisk klima med moderne vindsperrer. Hvis derimot vindsperra er mer damptett enn normalt kan det være en større nytteverdi med slike produkter. Uansett må S_d -verdien på varm side være relativt lav for å oppnå en viss andel innadrettet uttørring, og dette gjør selvfølgelig konstruksjonen mer utsatt for kondensproblemer og muggvekst.

Det er viktig å bemerke at vi her først og fremst har vurdert hva som er den maksimale dampmotstand på varm side gitt at det skal være en viss effekt av den innadrettede uttørringen. Lav dampmotstand på varm side (S_d -verdi under 10 m) kan imidlertid også ha negative konsekvenser mht. risiko for kondens og muggvekst i ytre del av konstruksjonen. For de fleste beregningstilfellene vist i kap. 3 og i vedlegg 3 øker for eksempel muggvekstrisikoen på vindsperra noe allerede når S_d -verdien blir lavere enn 10 m.

Innvendig isolert betongvegg under terreng

Det er gjort en begrenset studie av uttørringsforholdene for en kjelleryttervegg av betong med 75% av isolasjonen plassert på innsiden av betongen. Selv om uttørringsmulighetene utover er vesentlig dårligere enn for en bindingsverksvegg, fant vi at den innadrettede uttørringen var begrenset. For den aktuelle beregningsstudien fant vi at S_d -verdien på varm side måtte være under 2 m, og kanskje helst under 1 m, for å oppnå en effektiv forbedring av uttørringshastigheten av konstruksjonen. På den annen side fant vi at konstruksjonen var utsatt for oppfukning pga diffusjon fra innelufta ved eventuell høye luftfuktighetsnivåer i innelufta. Dvs. dampåpen innside er ingen god fuktteknisk løsning hvis det er fare for høye fuktnivåer innendørs.

Lette kompakte tak

Det er gjort en begrenset litteraturstudie av undersøkelser vedrørende bruk av såkalte dampbremsere og ”smarte” dampsperrer i lette kompakte tak, se kap. 2.4. Generelt fant man i disse undersøkelsene vesentlig hurtigere uttørring av byggfukt ved bruk av slike produkter, sammenlignet med bruk av vanlig plastfolie som dampsperra. De ”smarte” dampsperrere ga ifølge disse undersøkelsene også tilstrekkelig dampmotstand om vinteren til å unngå ugunstig oppfukning. Det må imidlertid

bemerkes at mange av disse undersøkelsene er gjennomført for varmere klimaforhold enn i Norge. En av undersøkelsene konkluderte med at jo lenger nord man kommer jo mer øker risikoen for uakseptabelt høyt fuktinnhold ved bruk av dampbrems. En viktig forutsetning ved bruk av dampbrems i slike tak er at tekkingen er mørk og at taket ikke ligger i skygge.

Andre konstruksjoner

I denne studien er det ikke undersøkt andre konstruksjoner enn overnevnte, hvorav kun lette kompakte tak og innvendig isolerte kjelleryttervegger var egnede konstruksjoner. I det følgende nevnes noen andre aktuelle konstruksjoner hvor bruk av dampbrems eller ”smarte” dampsperrer kan være aktuelt (men ikke vurdert nærmere i denne rapporten):

- Teglvegger som er utsatt for ”sommerkondens”, se figur 1.6.1.
- Mellombjelkelag med damptett golvbelegg, for eksempel tak med A-takstoler og oppholdsrom på deler av loftet.
- Bindingsverkskonstruksjoner i fritidshus som kun har periodevis oppvarming.
- Kjølerom
- Brukt lokalt (for eksempel på mindre arealer) der man mistenker at det er stor risiko for fremtidige lekkasjer utenfra.

Generelt kan det tenkes mange bruksområder hvor dampbrems og liknende produkter ikke gir økt fuktrisiko. Innadrettet uttørring i bruksfasen er betinget av at ytre del av konstruksjonen tidvis får høy temperatur grunnet soloppvarming for at det skal gi uttørring av særlig betydning. Det bør imidlertid gjøres ytterligere fukttekniske vurderinger for hvert enkelt av de overnevnte tilfellene.

Såkalte ”smarte” dampsperrer, dvs. produkter med variabel dampmotstand avhengig av fuktnivået, har trolig en bedre fuktsikkerhet enn ”dampbrems” med konstant lav eller middels høy dampmotstand. De ”smarte” dampsperrere kan typisk være åpne for innadrettet uttørring ved behov om sommeren, samtidig som de sperrer for utadrettet diffusjon fra innelufta om vinteren.

5.5 Forslag til videre arbeid

I dette prosjektet har hovedtyngden vært på bruk av såkalte dampbrems med konstant dampmotstand benyttet i bindingsverksvegger. Resultatene antyder at såkalte ”smarte” dampsperrer med variabel dampmotstand er et mer gunstig konsept, og bruk av slike produkter burde derfor undersøkes nærmere. Blant annet kan slike ”smarte” dampsperrer ha svært forskjellige dampmotstander, både i dampåpen og damptett modus, og det er derfor interessant å se nærmere på hva som er de optimale kombinasjoner av dampmotstander mhp fuktsikkerhet.

Resultatene viser også at mens dampbrems og smarte dampsperrer har liten nytteverdi i vanlige bindingsverksvegger, kan de ha en funksjon i visse typer konstruksjoner, som f.eks. lette kompakte tak. Bruk i slike konstruksjoner burde derfor undersøkes nærmere.

6. Konklusjon

Undersøkelsene og analysene gjort i denne rapporten bekrefter at nåværende praksis med dampsperre med $S_d > 10$ m i vanlige vegger og tak (f.eks. bindingsverksvegger og luftede tak) er en sikker og robust løsning.

Dampbremsere og liknende dampåpne produkter har relativt liten nytteverdi mht. å øke uttørkingshastigheten i bindingsverkskonstruksjoner i nordisk klima med moderne vindsperrer. Uansett må S_d -verdien på varm side være relativt lav for å oppnå en viss andel innadrettet uttørking, og dette gjør selvfølgelig konstruksjonen mer utsatt for kondensproblemer og muggvekst.

Til tross for det overnevnte synes det klart at det er mulig å benytte mer dampåpne materialer på varm side av bindingsverkskonstruksjoner uten at fuktproblemer oppstår. Dette krever imidlertid at luftfuktigheten i bygget ikke er unormalt høy, dvs. bygget må ha en velfungerende ventilasjon og ingen unormalt høy fuktproduksjon. Bygget må videre være lufttett og ha en mest mulig dampåpen vindsperre.

Selv om såkalte dampbremsere eller ”smarte” dampsperrer har liten nytteverdi for vanlige bindingsverksvegger over terreng, vil de kunne gi ekstra uttørkingkapasitet for enkelte andre typer konstruksjoner. Dette kan for eksempel gjelde konstruksjoner som har liten eller ingen uttørkingmulighet utover, som for eksempel innvendig isolerte kjelleryttervegger og lette kompakte tak.

7. Referanser

Bludau, C. and H.M. Künzel. 2009. *Flat roofs in cold climates – Climatic limits for building flat roofs with a permeable vapour retarder*. Proceedings of Cold Climate HVAC, Sisimut, Greenland, 16-19. March 2009.

Brunsell JT. 1995. *The performance of dynamic insulation in four residential buildings*. In: Flatheim G, Berg KR, Edvardsen KI, Eds. *Indoor Air Quality in Practice. Moisture and Cold Climate Solutions*. Proceedings. Symposium in Oslo, Norway 18-21 June 1995. Norwegian Society of Chartered Engineers, Oslo 1995, p 73-84.

Byggforsk, 2004. *Bade- og svømmeanlegg*. Håndbok 52. SINTEF Byggforsk, Oslo. 252 p.

Byggforskserien, 2003. 573.121 *Materialer til luft- og damptetting*. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Byggforskserien, 2007. 523.111 *Yttervegger mot terreng. Varmeisolering og tetthet*. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Geving og Thue, 2002. *Fukt i bygninger*. Håndbok 50, SINTEF Byggforsk, Oslo. 465 p.

Geving, S. et.al. 2008. *Indoor air humidity in Norwegian houses*. Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Copenhagen, Denmark, June 16-18, pp. 801-806.

Geving, S. og S.E. Torgersen, 1997. *Klimadata for fuktberegninger. Referanseår for 12 steder i Norge og klimadata for konstruksjoner mot grunnen*. Prosjektrapport 227, Norges byggforskningsrapport, Oslo.

Hagentoft, C.-E. 2001. *Introduction to Building Physics*. Lund, Studentlitteratur. 422 p.

Hedenblad, G. 1996. *Materialdata för fukttransportberäkningar*. Byggforskningsrådet, Stockholm.

Kumaran, M.K. 1996. *Final report. Task 3: Material properties*. IEA Anex 24, K.U.-Leuven, Belgia.

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, Sept 9-10, pp. 447-454.

Künzel, H.M. 1999. *Flexible vapour control solves moisture problems of building assemblies – Smart retarder to replace the conventional PE-film*. *Journal of Thermal insulation and Building Science*. Vol. 23 – July 1999, pp. 95-102.

Listiburek, J. 2002. *Moisture control for buildings*. ASHRAE Journal, February 2002.

Murray, C. og R. Tichy. 2006. *Moisture performance of wood framed wall systems in the Pacific Northwest*. In Proceedings: World Conference on Timber Engineering (CD-ROM).

Simonson, C.J. et.al. 2001. *Improving indoor climate and comfort with wooden structures*. Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 431. 291 p.

Straube, J.F. og V. Acahrya. 1999. *Indoor air quality, healthy buildings and breathing walls*. In: Oikos – Green Building Source, <http://oikos.com>

Thue, J.V. et.al. 1996. Wood frame walls in cold climate – vapour barrier requirements. *Journal of Thermal insulation and Building Envelopes*. Vol. 20 – July 1996, pp. 63-75.

Uvsløkk, S. 2005. *Tak med kaldt loft. Delrapport fra prosjekt 4 i FoU-programmet "Klima 2000"*. Prosjektrapport 396. ISBN 82-536-0902-7. Norges byggforskningsinstitutt, Trondheim.

Uvsløkk, S. 2007. *Vurdering av risiko for fuktskader ved økte isolasjonstykkelser*. Nasjonalt seminar om fuktskader 2007. 11. mai 2007, SINTEF Byggforsk og Mycoteam as.

Uvsløkk, S. et.al. 1999. *Hygrothermal performance of timber frame walls. Results from test house measurements*. Proceedings of the 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Göteborg, Sweden, August 24-26, Vol. 2 pp. 653-660.

Viitanen, H. og A-C. Ritschkoff. 1991. *Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature*. Rapport 221, Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten, Uppsala, Sverige.

Vinha, J. 2007. *Hygrothermal performance of timber framed external walls in Finnish climate conditions. A method for determining the sufficient water vapour resistance of the interior lining of a wall assembly*. Ph.D.-thesis. Publication 658, Tampere University of Technology, Finland.

Vinha, J. et. al. 2002. *Moisture transport in timber-framed external wall structures in nordic climate – laboratory tests*. Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, Norway, June 17.19, Vol. 2 pp. 595-602.

WUFI. 2009. <http://www.wufi-pro.com>

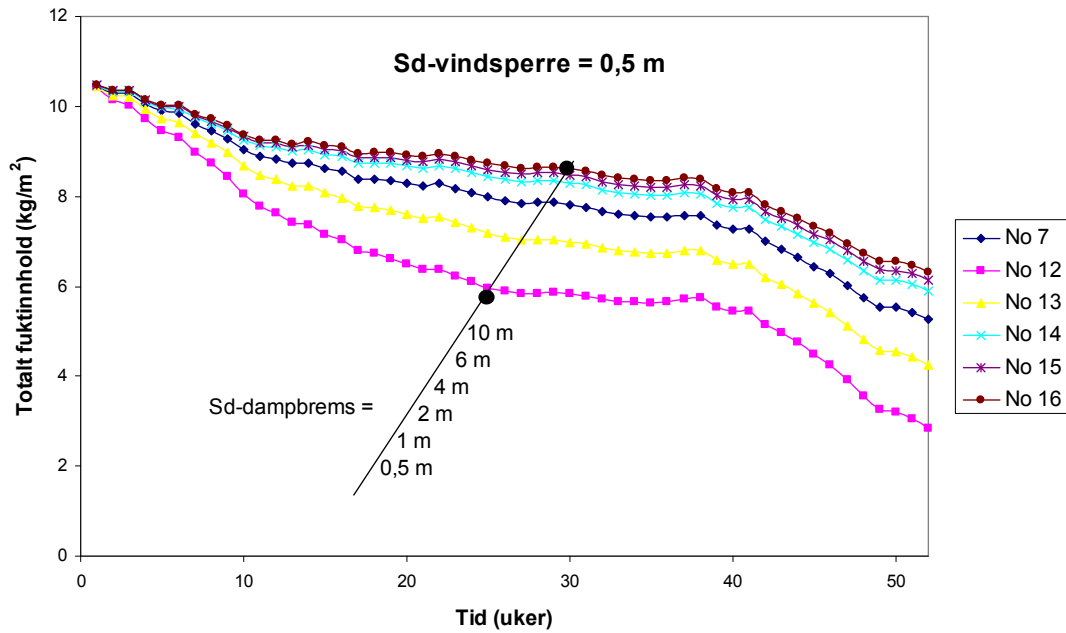
Vedlegg

Vedlegg 1: Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, oppfuktet mineralull

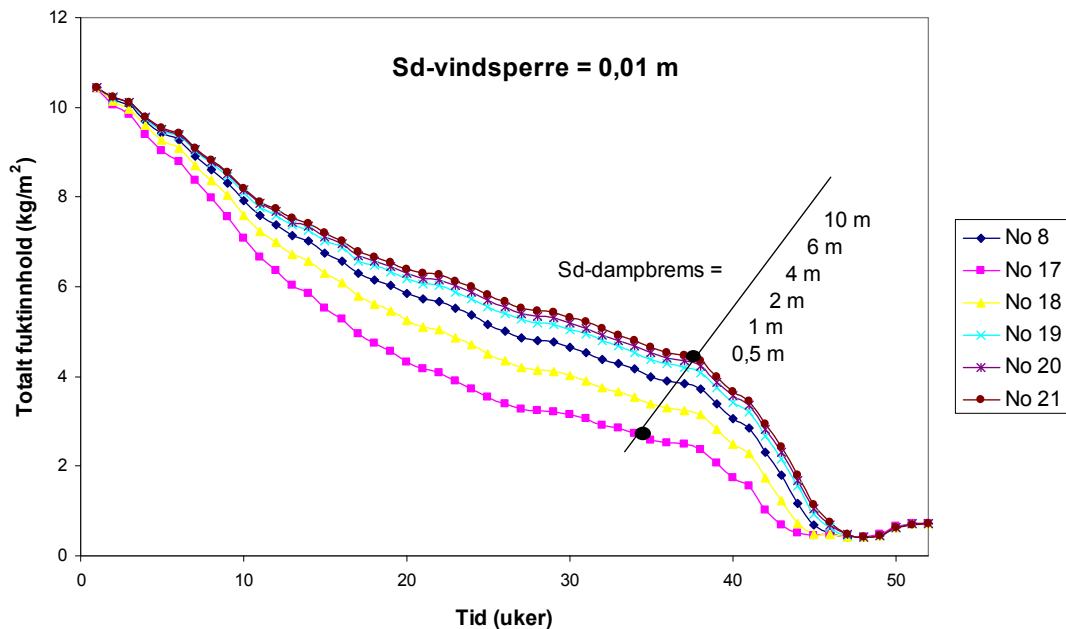
Vedlegg 2: Forklaring av begrepet ”muggvekstpotensial” brukt i kapittel 3

Vedlegg 3: Beregnet muggvekstpotensial fra kap 3

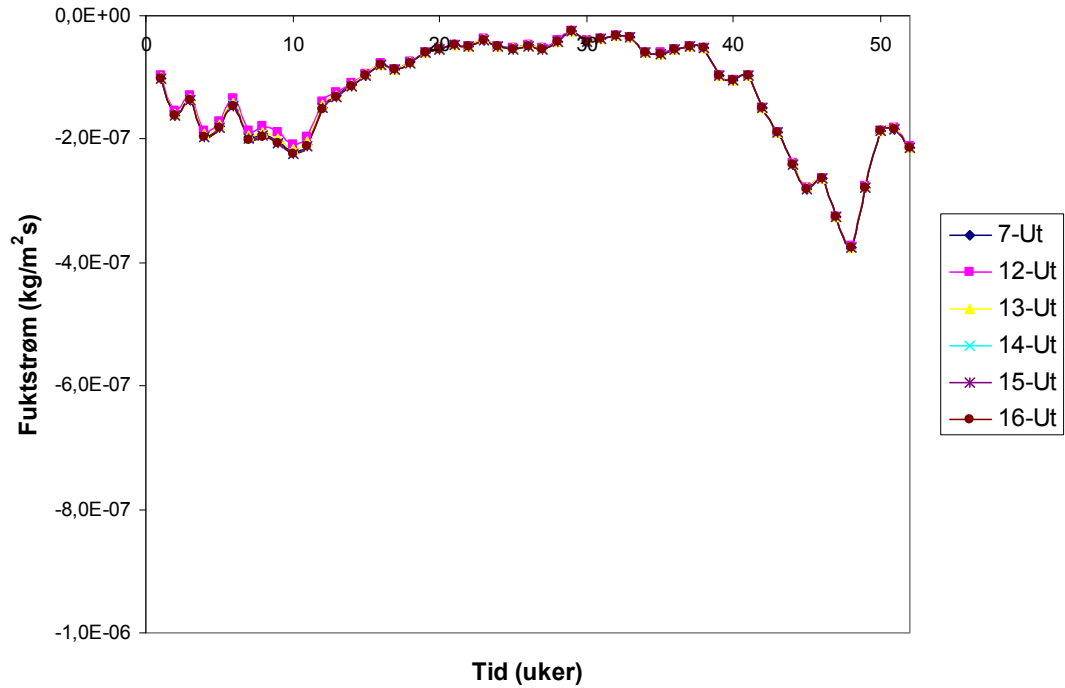
Vedlegg 1: Beregning A – 1-dimensjonal bindingsverksvegg, oppfuktet mineralull



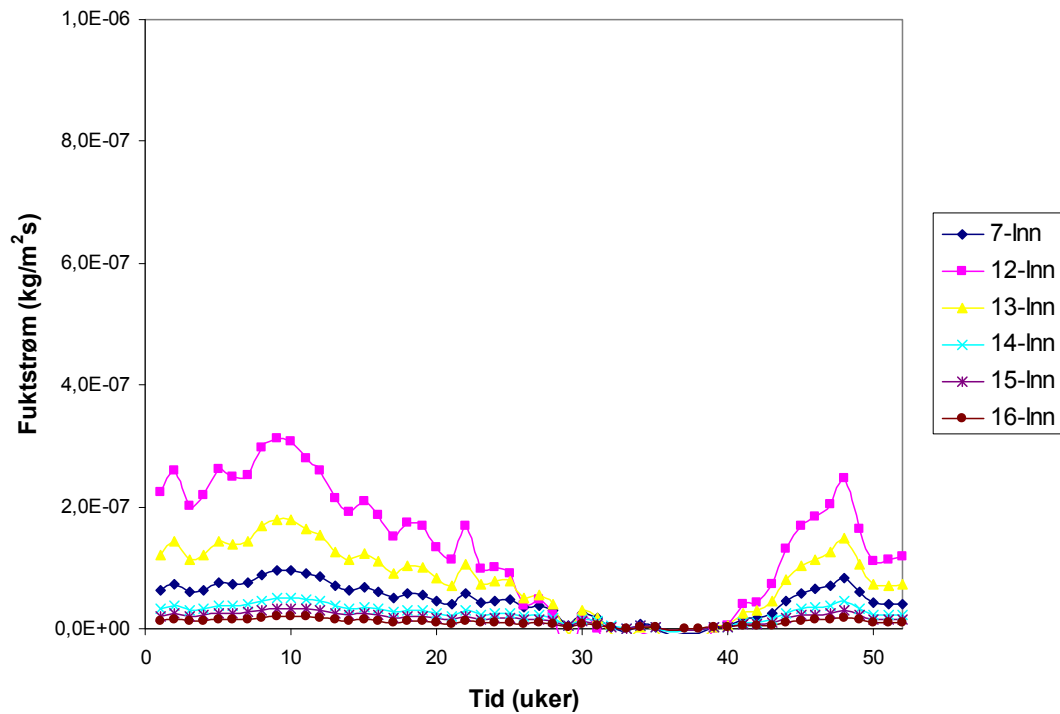
Figur V1.1
Totalt fuktinnhold i bindingsverksvegg (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,5 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



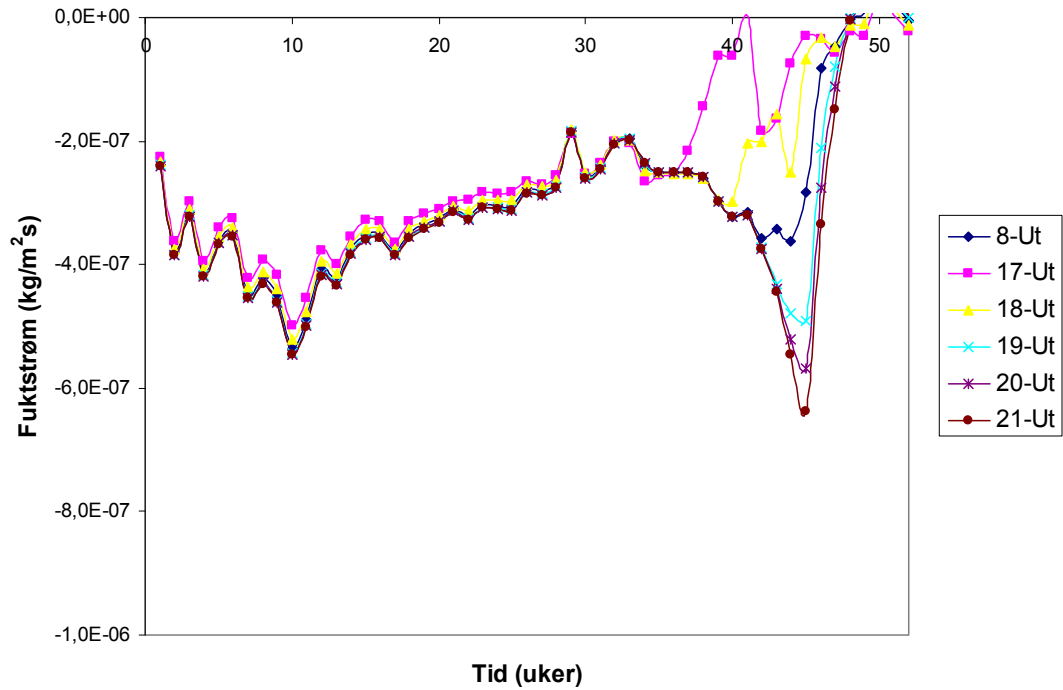
Figur V1.2
Totalt fuktinnhold i bindingsverksvegg (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,01 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



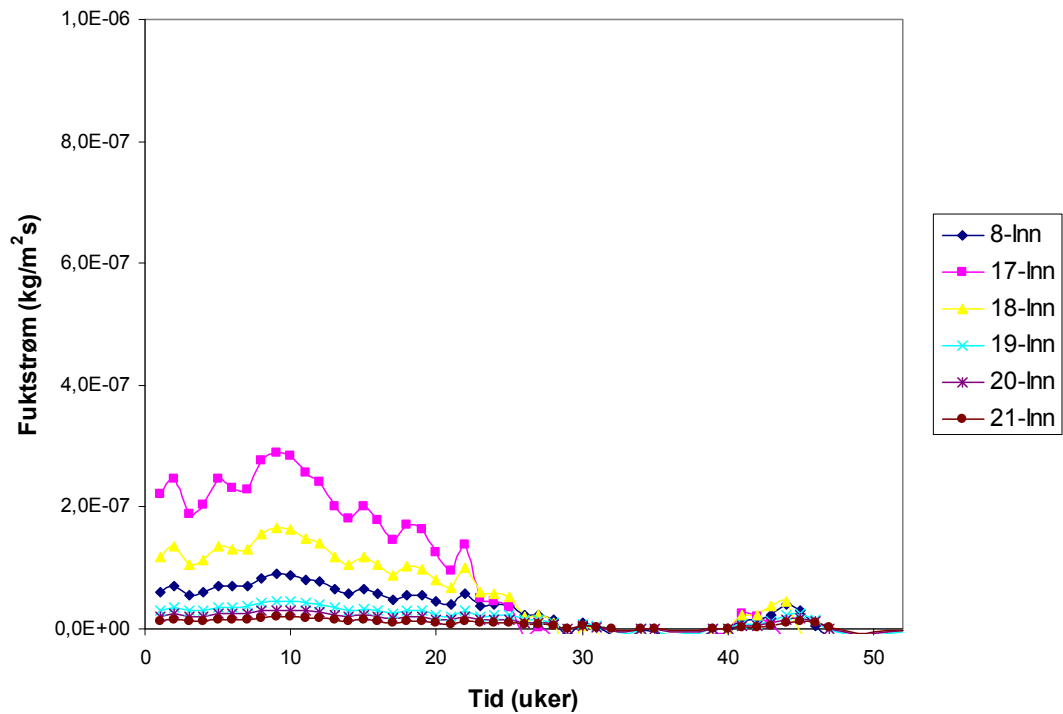
Figur V1.3
 Utadrettet fuktstrøm (negativ fuktstrøm er utadrettet) gjennom vindsperra i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,5 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



Figur V1.4
 Innadrettet fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom dampbremsen i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,5 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



Figur V1.5
 Utadrettet fuktstrøm (negativ fuktstrøm er utadrettet) gjennom vindsperra i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,01 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.



Figur V1.6
 Innadrettet fuktstrøm (positiv fuktstrøm er innadrettet) gjennom dampbremsen i bindingsverksveggen (konstruksjon A, se figur 4.2.1) for varierende dampmotstand på varm side (S_d fra 0,5 til 10 m). Vindsperras S_d -verdi er 0,01 m. Beregningsperiode er 1 år fra 1. juli – 30. juni.

Vedlegg 2: Forklaring av begrepet "muggvekstpotensial" brukt i kapittel 3

Dette utdraget er hentet fra Uvsløkk, S., 2005. *Tak med kaldt loft*. Prosjektrapport 396, Norges byggforskingsinstitutt, Oslo.

Rapporten er utarbeidet i forskningsprogrammet Klima 2000.

Generelt

For at mugg- og annen overflatesopp skal vokse må flere betingelser være oppfylt. Det må være næring, luft og soppsporer tilstede og relativ luftfuktighet og temperatur må være innenfor visse grenser. De fleste organiske byggematerialer gir tilstrekkelig tilgang på næring. Skitt og støv på overflaten av uorganiske materialer kan gi tilstrekkelig næring for soppvekst. Selv om forekomsten av soppsporer vil variere mye vil det som regel alltid være nok sporer tilstede for at det vil vokse mugg, forutsatt at de øvrige betingelsene er oppfylt. Det samme gjelder luft (oksygen og nitrogen). Hvis materialoverflaten tilsettes soppveksthindrende midler, fungicider, ved impregnering eller overflatebehandling vil soppvekst kunne hindres eller hemmes.

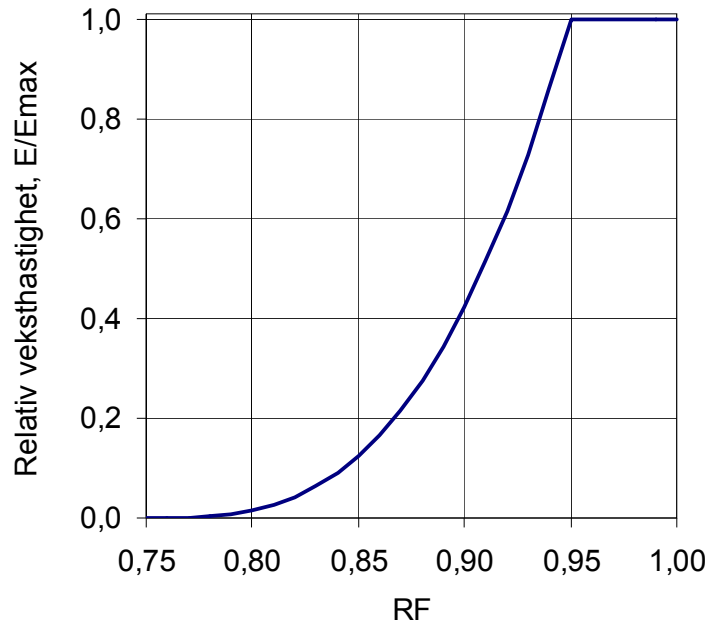
Soppveksthastighet

Veksthastigheten for sopp er sterkt avhengig av temperaturen og fuktforholdene ved materialoverflaten. På grunnlag av finske studier av muggsoppvekst på treoverflater (Viitanen og Ritschkof, 1991) er det satt opp noen kvantifiserte sammenhenger mellom veksthastighet for muggsopp og henholdsvis relativ luftfuktighet og temperatur ved materialoverflaten (Geving og Thue, 2002). Basert på de sammenhengene har vi gjort ytterligere noen forenklinger. Det er gjort for å kunne kvantifisere muligheten for soppvekst over tid under varierende temperatur- og fuktforhold.

Sammenhengene vi har brukt er vist i figurene V2.1, V2.2 og V2.3. Diagrammene angir relativ muggveksthastighet som er forholdet mellom veksthastighet ved aktuell RF eller temperatur og maksimal veksthastighet. Relativ veksthastighet er derfor et tall mellom 0 og 1. Figur V2.3 er laget ved å kombinere de to første diagrammene ved at de relative veksthastighetene avhengig av RF og temperatur er multiplisert med hverandre. Hvis for eksempel RF er 0,90 og temperaturen er 20 °C gir Figur V2.1 (RF) en relativ veksthastighet på ca. 0,4 og Figur V2.2 (temperatur) en relativ veksthastighet på 0,5. Figur V2.3 gir en samlet relativ veksthastighet på 0,2 som er produktet av 0,4 og 0,5.

Soppvekstpotensial

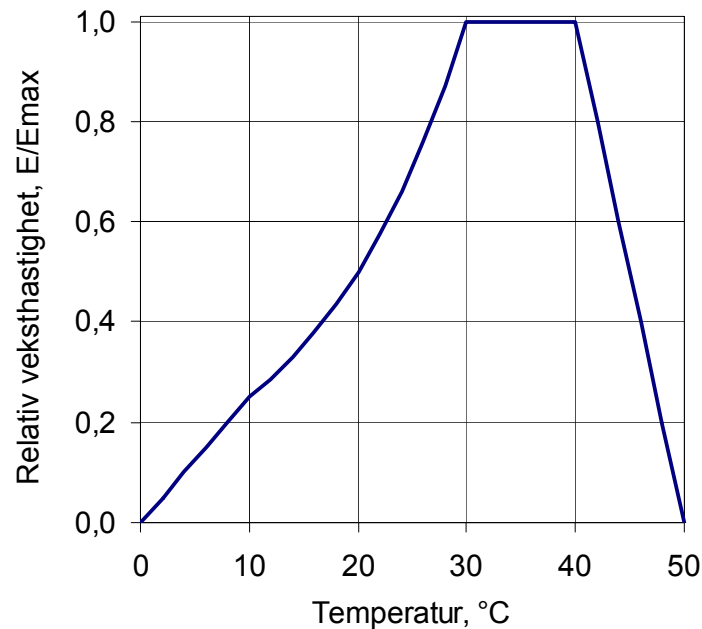
På grunnlag av beregnede månedsmiddelverdier for RF og temperatur ved undertaket og sammenhengen mellom temperatur, RF og muggveksthastighet beregnes et teoretisk vekstpotensial for muggsopp den aktuelle måneden. Soppvekstpotensialet oppgis som et ekvivalent antall "maksdøgn". Det tilsvarer antall døgn med maksimale vekstforhold som teoretisk gir samme soppvekst som ved de aktuelle fukt- og temperaturforholdene i måneden. For eksempel vil én måned (30 døgn) med beregnet midlere temperatur og RF som gir 10 % av maksimal veksthastighet gi et soppvekstpotensial tilsvarende 3 døgn med maksimal soppvekst (30 x 0,1). Beregnet soppvekstpotensial for hver måned summeres opp til et samlet soppvekstpotensial for ett helt år.



Figur V2.1

Relativ muggveksthastighet avhengig av relativ luftfuktighet, φ .

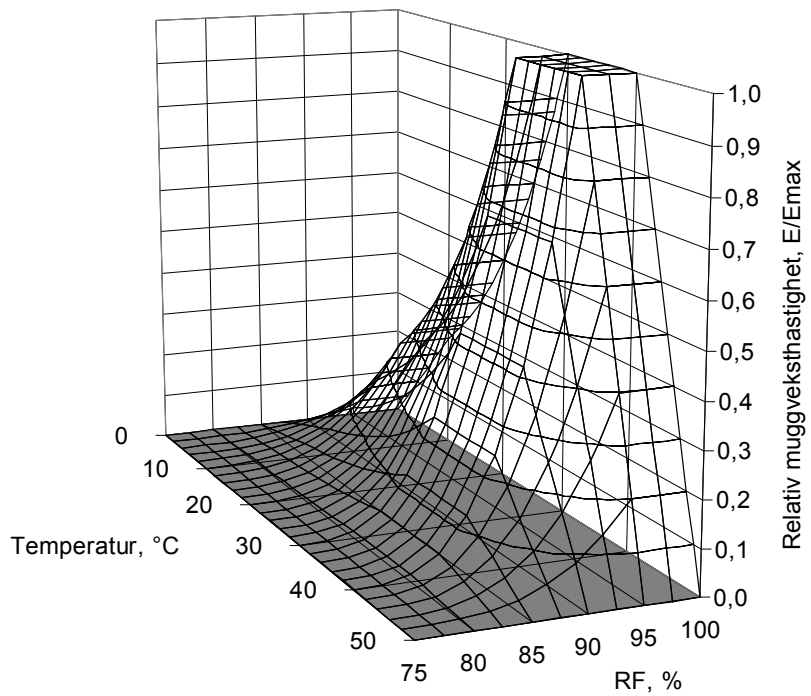
Ved $\varphi < 0,75$ (RF < 75 %) er det antatt at det ikke er noen soppvekst. Ved $0,75 < \varphi < 0,95$ beregnes den relative soppveksthastigheten etter uttrykket $E/E_{max} = ((\varphi - 0,75)/2)^3$. Når relativ fuktighet er over 0,95 regnes veksthastigheten å være maksimal for den aktuelle temperaturen.



Figur V2.2

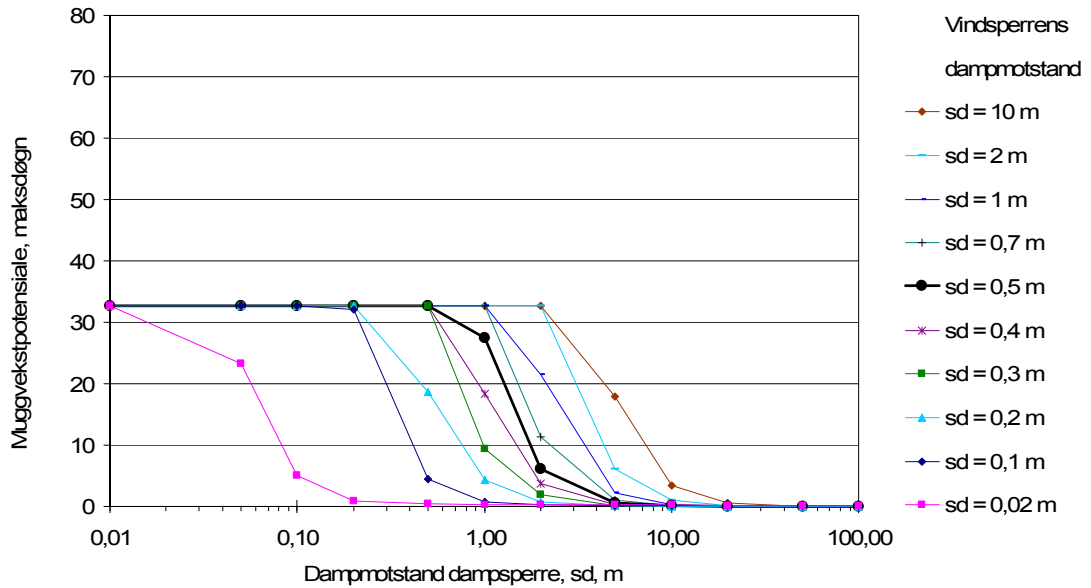
Relativ muggveksthastighet avhengig av temperatur.

Når temperaturen er lavere enn 0 eller høyere enn 50 °C er det i beregningene forutsatt at det ikke er noen soppvekst. I temperaturintervallet +10 - +30 °C har vi forutsatt at muggveksthastigheten fordobles pr. 10 °C temperaturøkning. I de øvrige temperaturintervallene er det forutsatt at veksthastigheten varierer lineært med temperaturen slik det framgår av figuren.

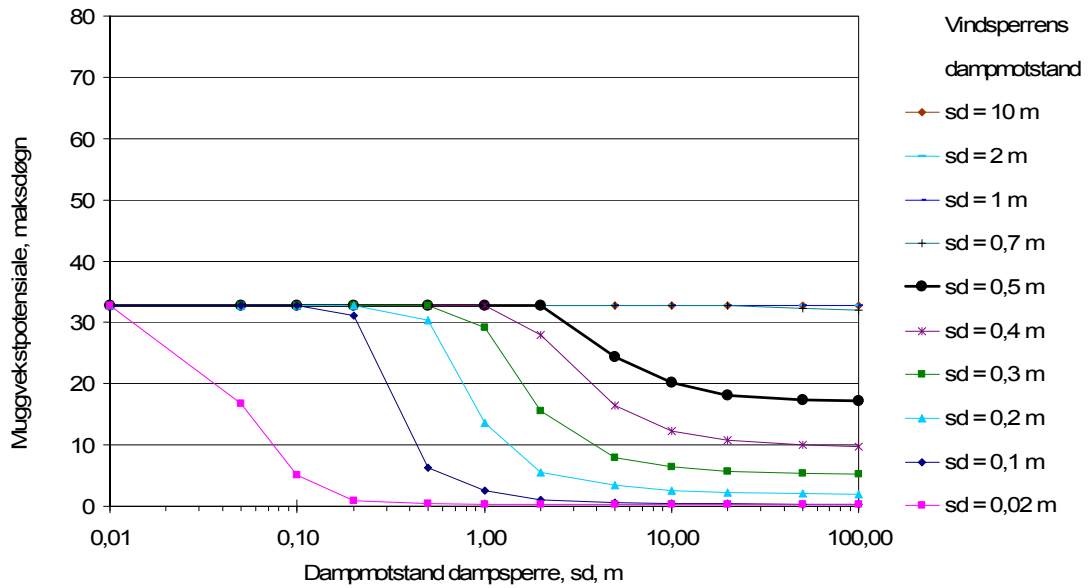


Figur V2.3
Relativ muggveksthastighet avhengig av både RF og temperatur.
Diagrammet er laget ved å kombinere diagrammene i figur V2.1 og figur V2.2.

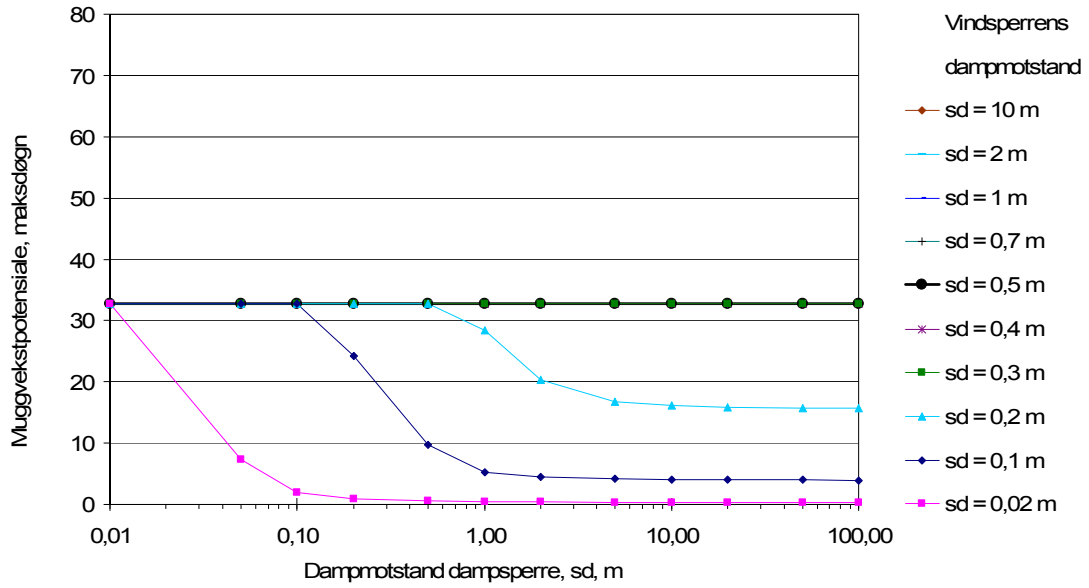
Vedlegg 3: Beregnet muggvekstpotensial fra kapittel 3



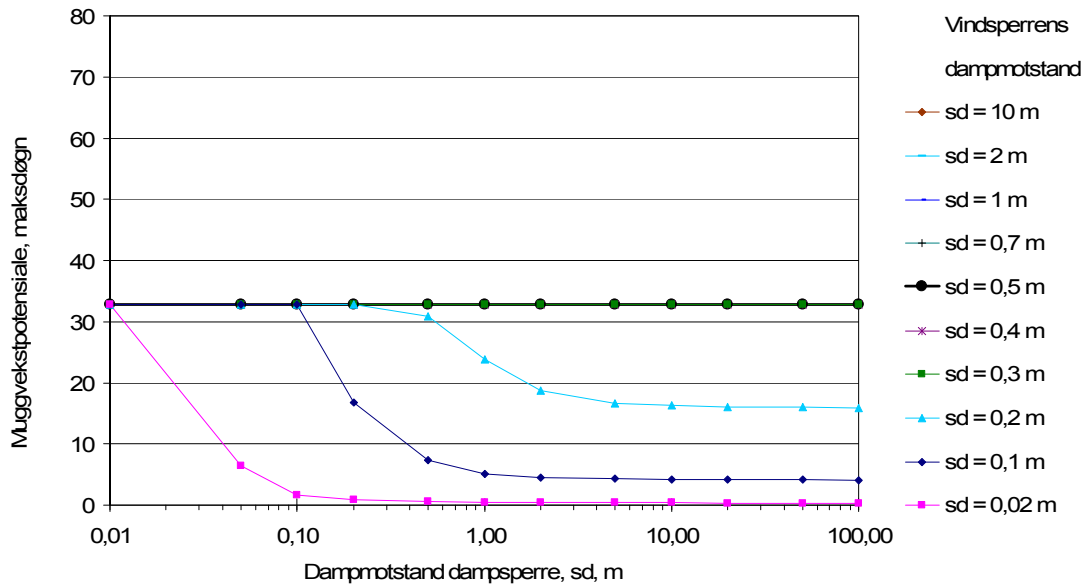
Karasjok, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3,9 g/m²



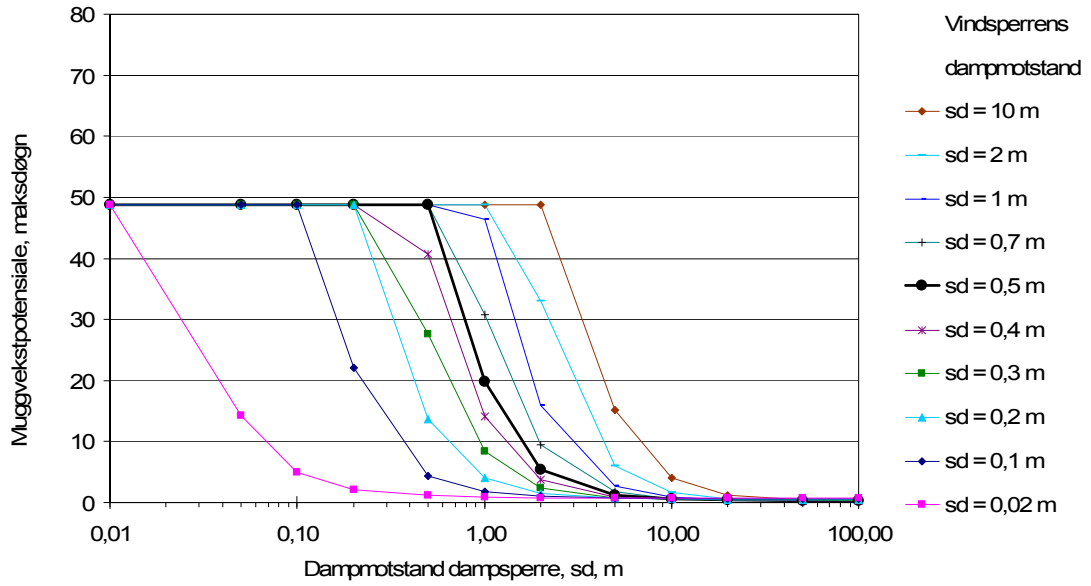
Karasjok, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3,4 g/m²



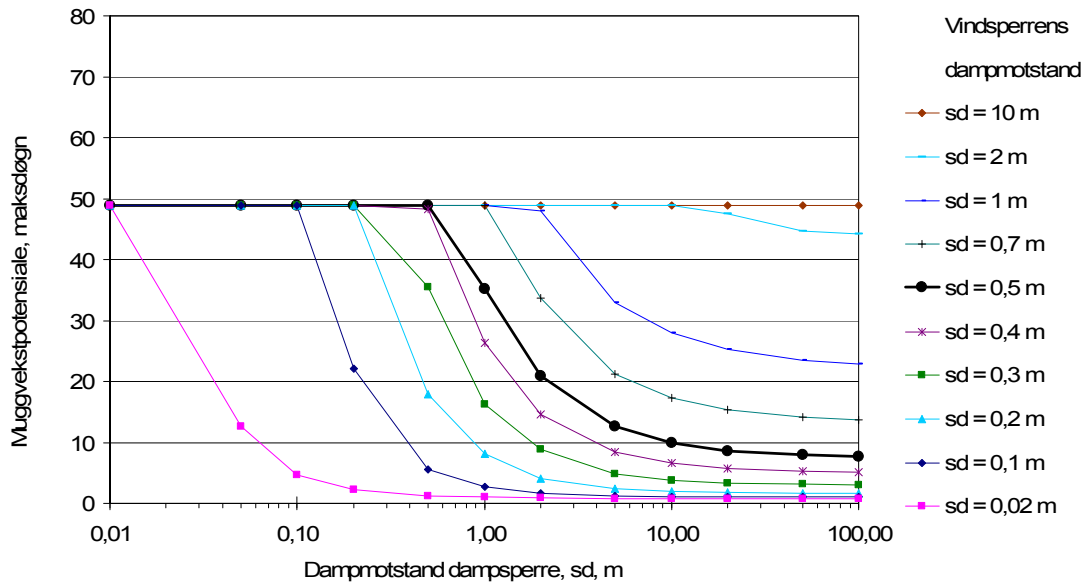
Karasjok, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 2,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 2,5 g/m³



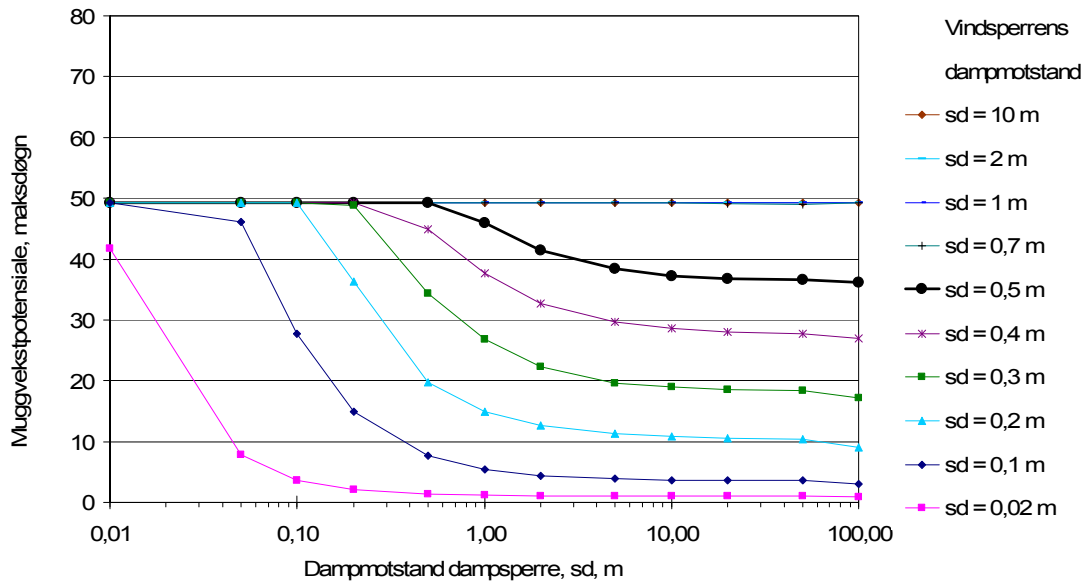
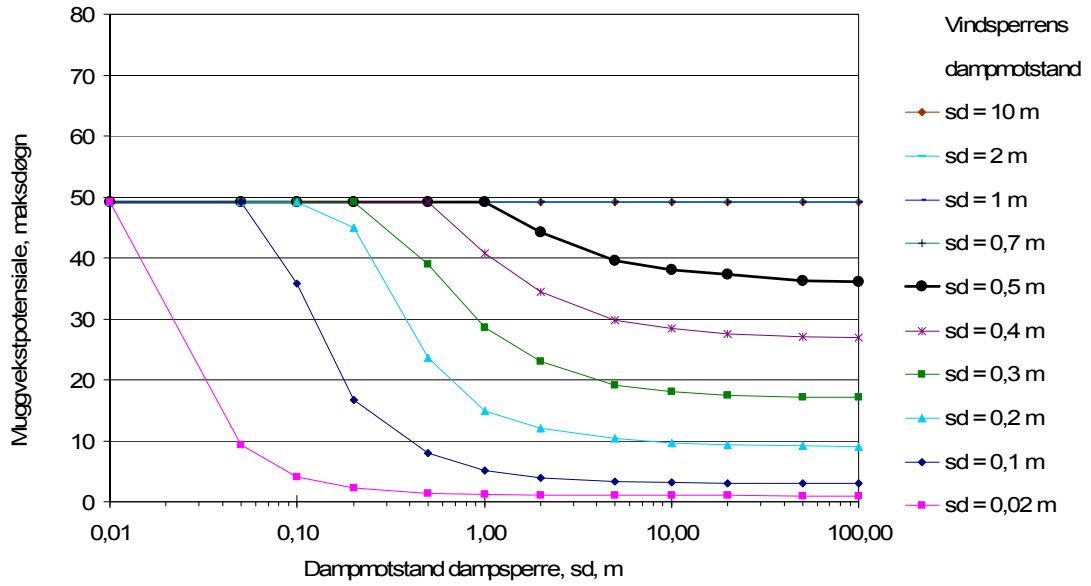
Karasjok, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 4 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 2,1 g/m³

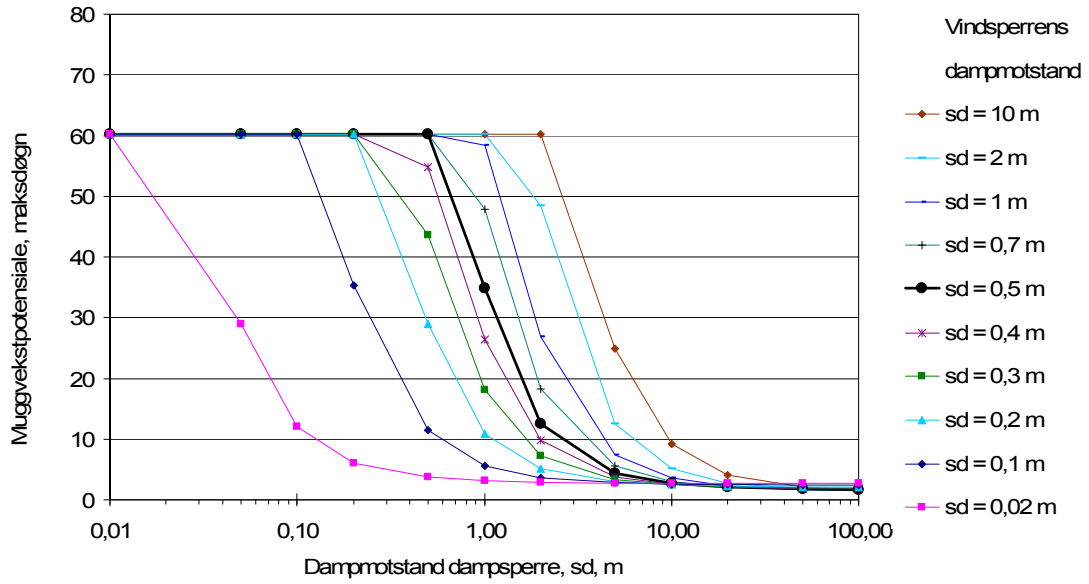


Trondheim, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3,5 g/m²

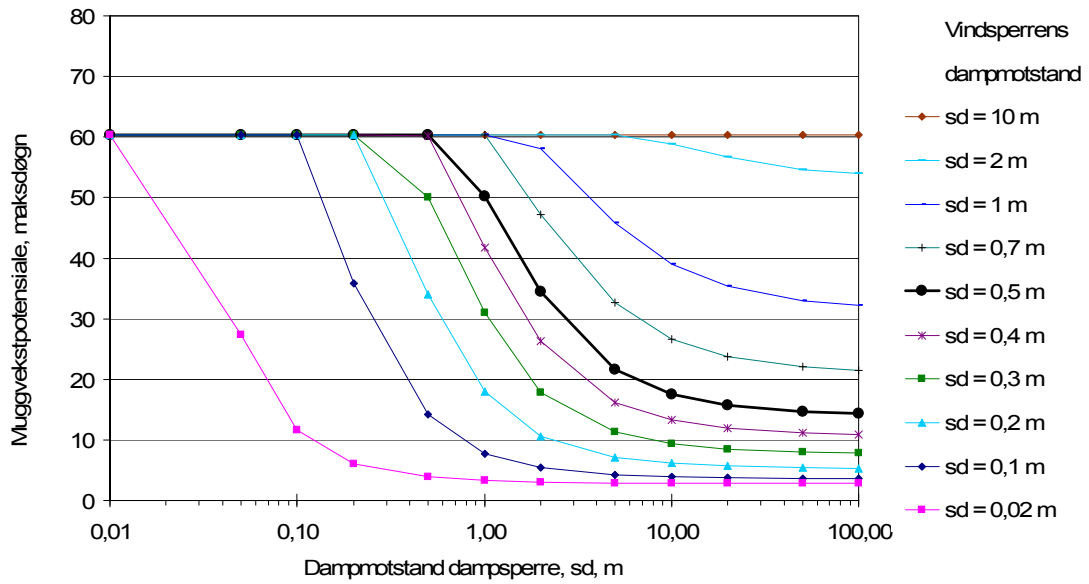


Trondheim, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3,2 g/m²

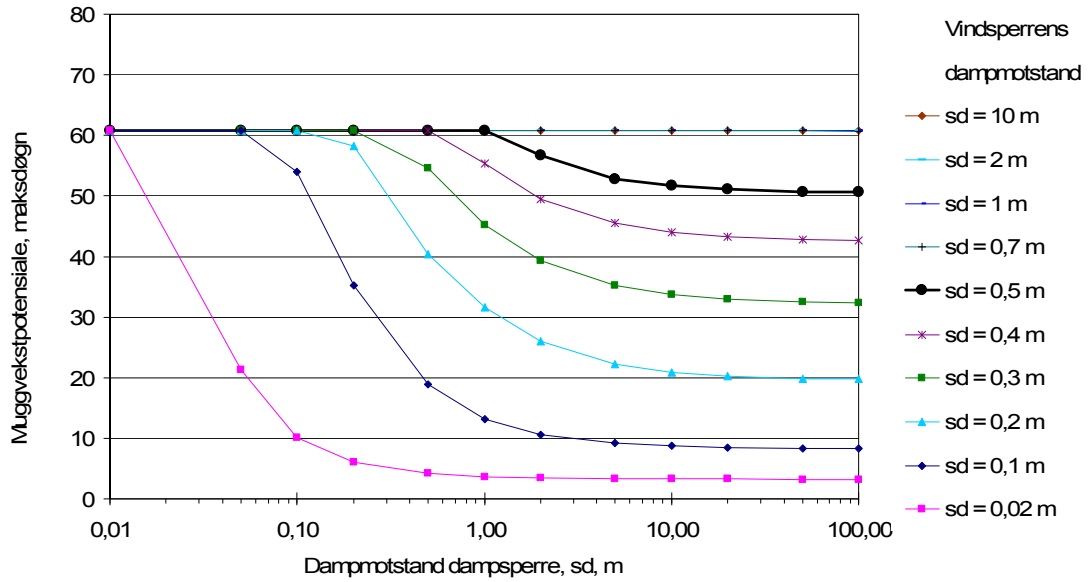




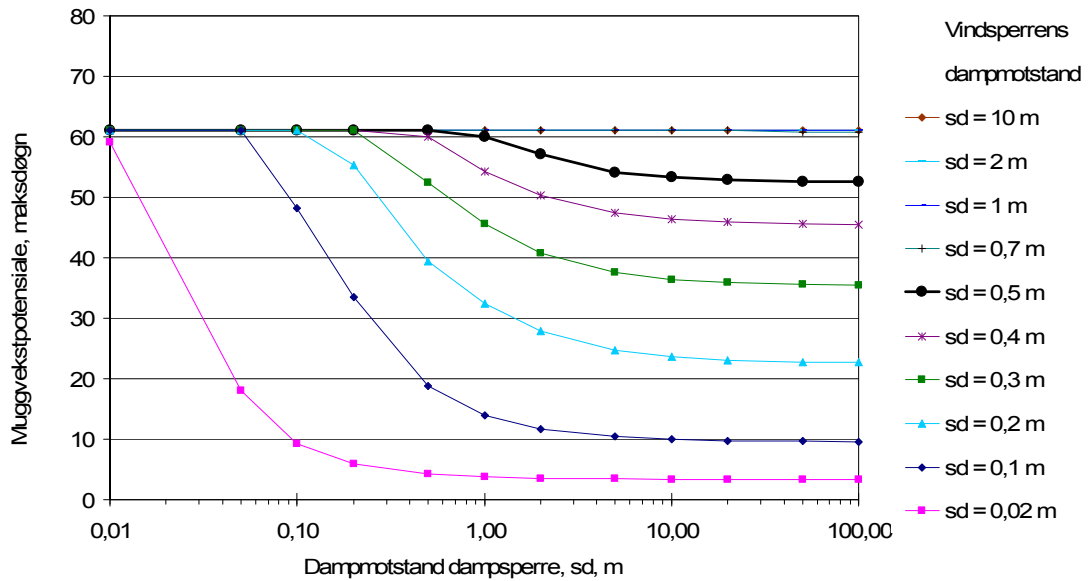
Kristiansund, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 3,4 g/m³



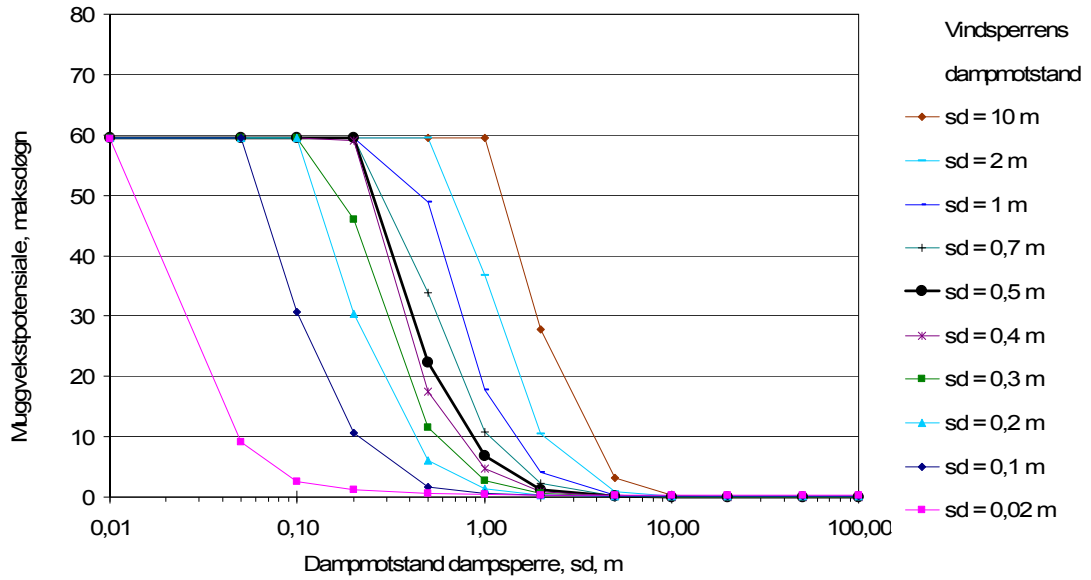
Kristiansund, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 3,1 g/m³



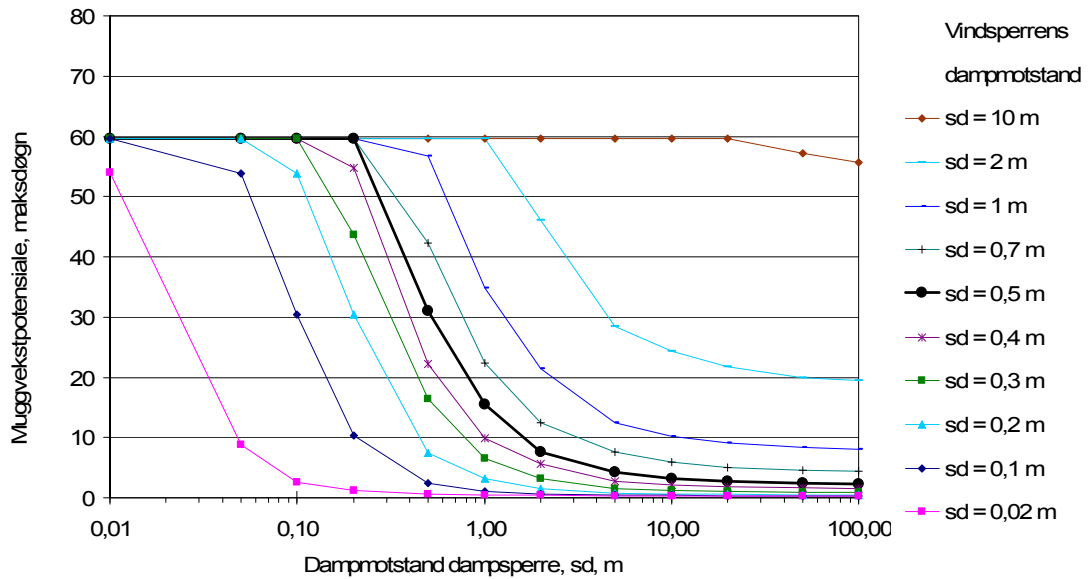
Kristiansund, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 2,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 2,5 g/m²



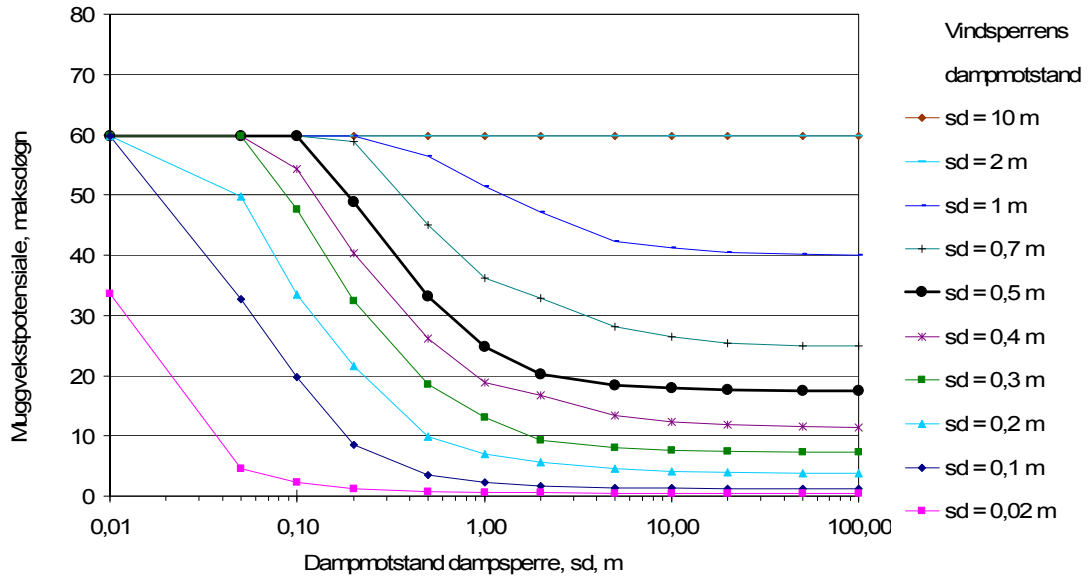
Kristiansund, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 4 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 2,2 g/m²



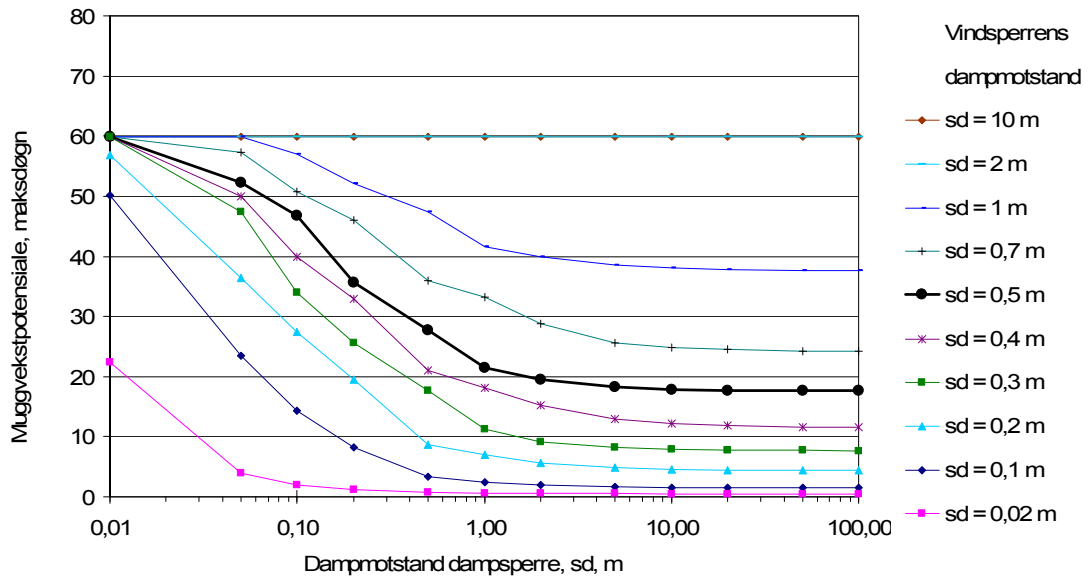
Oslo, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3,3 g/m²



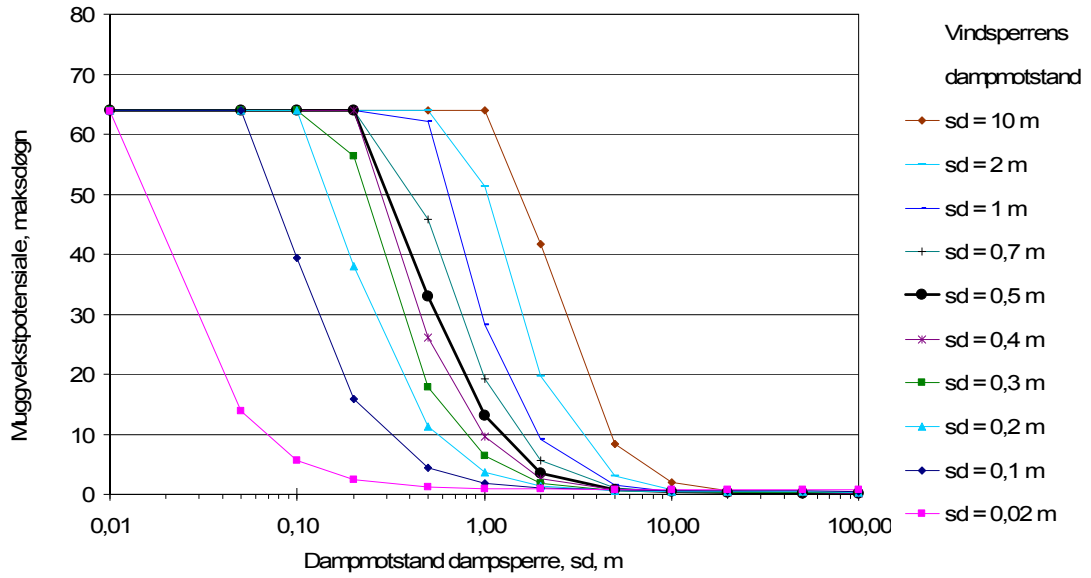
Oslo, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3 g/m²



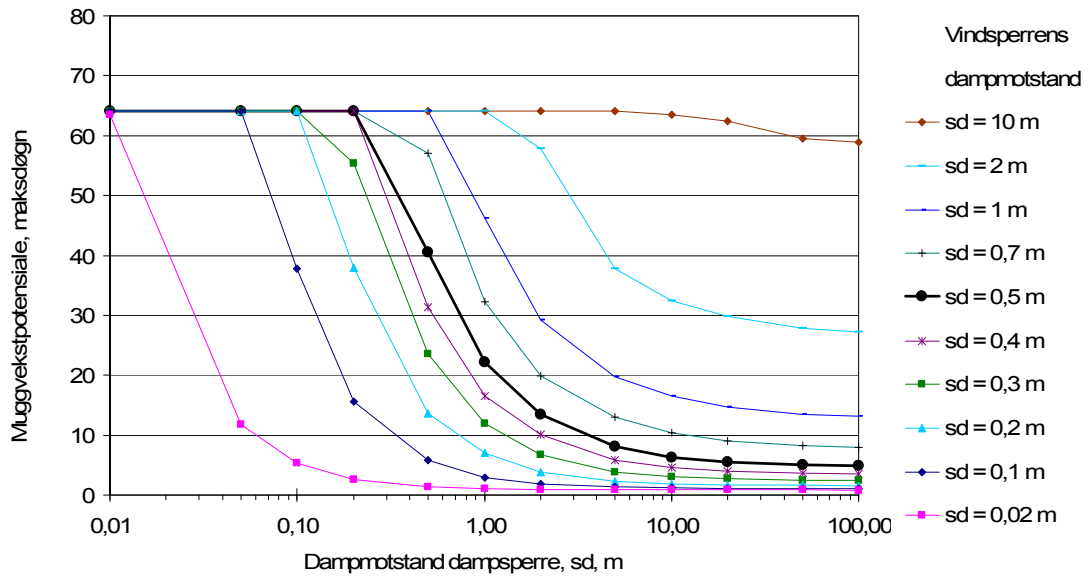
Oslo, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 2,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 2,3 g/m²



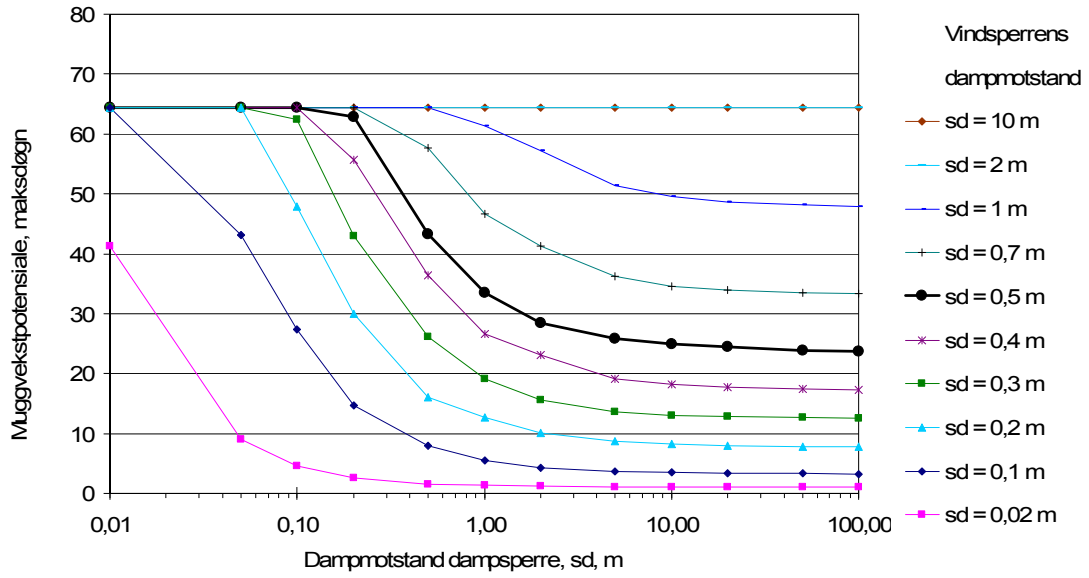
Oslo, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 4 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 2 g/m²



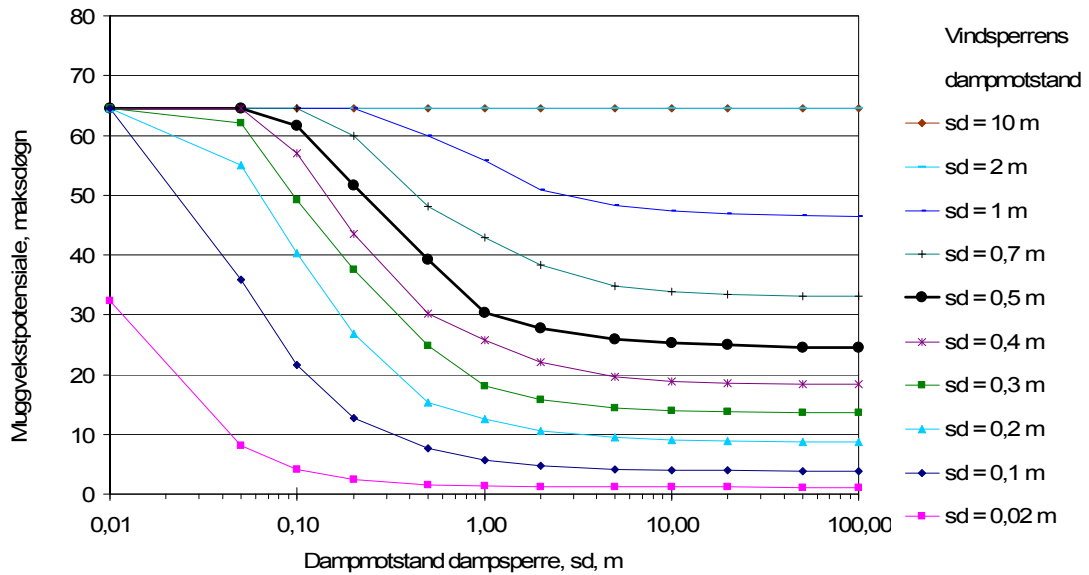
Kristiansand, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3,2 g/m³



Kristiansand, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 0,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fuktilskudd (årgjennomsnitt): 3 g/m³



Kristiansand, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 2,5 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 2,3 g/m²



Kristiansand, 2 etg., samlet golvareal: 150 m², lekkasjetall: 4 m³/(m²h50Pa), fuktproduksjon: 10 kg/d, grunnventilasjon: 0,2 m³/(m²h), fukttilskudd (årgjennomsnitt): 2,1 g/m²

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

