



## Beregneede fugtforhold i konstruktioner

Del af "Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoelringsmaterialer"

Rode, Carsten; Rasmussen, Niels T.

*Publication date:*  
1999

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Rode, C., & Rasmussen, N. T. (1999). *Beregneede fugtforhold i konstruktioner: Del af "Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoelringsmaterialer"*. BYG Sagsrapport No. SR 00-06

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

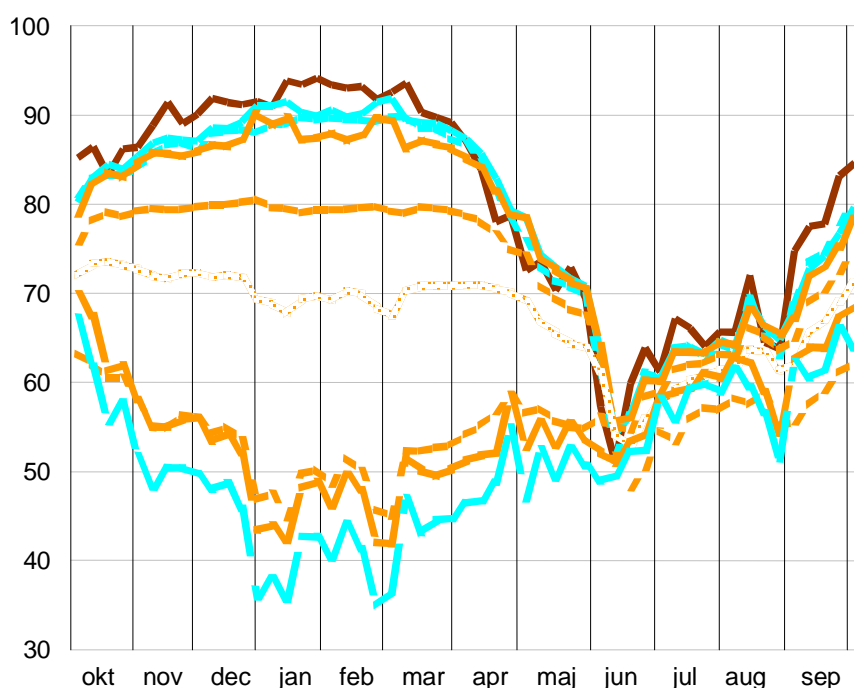
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



# BEREGNEDE FUGTFORHOLD I KONSTRUKTIONER

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser  
af alternative isoleringsmaterialer

Relativ fugtighed, %



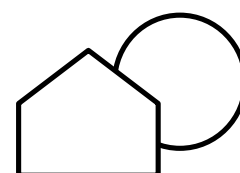
SAGSRAPPORT  
**SR-0006**

1999

ISSN 1396-402x

CARSTEN RODE  
NIELS T. RASMUSSEN

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI  
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET



**IBE**

# **BEREGNEDE FUGTFORHOLD I KONSTRUKTIONER**

## **Forord**

Den foreliggende rapport er en del af rapporteringen for projektet ”Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer” finansieret af Energistyrelsen (j.nr. 75664/98-0034). Projektet er gennemført i samarbejde mellem Institut for Bygninger og Energi (IBE) og Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM), DTU. De øvrige rapporter omhandler:

- Hovedrapport (BKM & IBE)
- Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer - leverandør/producentoplysninger (BKM)
- Sorptionsisotermer (BKM)
- Vanddamppermeabilitet (BKM)
- Kapillarsugning (BKM)
- Fugtbuffervirkning (BKM)
- Varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold (IBE)
- Egenkonvektion i fåreuld og papirisolering (IBE)

Den foreliggende rapport omhandler beregnede fugtforhold i konstruktioner med alternative isoleringsmaterialer.

Lyngby, december 1999  
Carsten Rode



## Sammenfatning

Den fugtmæssige ydeevne af forskellige konstruktioner er blevet analyseret med den én-dimensionale beregningsmodel MATCH for beregning af koblet fugt og varmetransport. Analysen vedrører både traditionelle væg- og tagudforminger med de alternative isoleringsmaterialer, og nogle alternative udformninger, der er anvist af leverandører af alternative isoleringsmaterialer. Analysen omfatter brug af de alternative isoleringsprodukter: Heraflax (hør), Miljøisolering (papirisolering) og Perlite. Til sammenligning er tillige gennemført beregninger af de samme konstruktioner isoleret med Glasuld og Rockwool. Beregningerne er gennemført for konstruktioner, der adskiller et typisk indeklima for en bolig fra det danske udeklima.

Der er undersøgt i alt fire forskellige varianter af ydervægge: To vægge af tegl/porebeton (med og uden ventilationsspalte mellem isolering og formur), og to træskeletvægge (med dampspærre,  $Z = 375 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ , eller dampbremse,  $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ). Endvidere er der regnet på i alt seks forskellige varianter af tagkonstruktioner: Et uventileret fladt tag, et hældningstag med diffusionsåbent undertag, og et ventileret loftsrum med fladt loft og skrå tagbeklædning - alle tagkonstruktioner har enten været med dampspærre eller med den mere diffusionsåbne dampbremse. Endelig er der for træskeletvæggen undersøgt nogle varianter, hvor indeklimaets fugttilskud er 60% større end normalt for en bolig, eller hvor der er en udadgående luftstrøm gennem konstruktionen.

De udførte beregninger synes at vise, at fugtforholdene i konstruktioner med alternative isoleringsmaterialer er på stort set samme niveau, som hvis mineraluld anvendes. Dog bliver perioden med kritiske fugttilstande i et uventileret fladt tag væsentligt længere, når der anvendes organiske isoleringsmaterialer, end hvis isoleringsmaterialet er uorganisk. I mange konstruktioner optræder der, uanset valget af isoleringsmateriale, perioder med høje fugtigheder (>85% RF) yderst i isoleringen, og materialerne må kunne modstå dette. Især med de organiske varianter af de alternative isoleringsmaterialer indbygges altid noget fugt, og det kan derfor være hensigtsmæssigt, at disse konstruktioner er åbne for fugttransport udadtil, fx ved at der udvendigt findes en ventileret luftspalte. Det uorganiske alternative isoleringsprodukt, perlite, synes at have samme hygrotermiske ydeevne som mineraluld. Beregningerne viser som regel, at fugtniveauet er mindre kritisk i konstruktioner, hvor der er anvendt en dampspærre af fx plastfolie, end hvor der er anvendt en mindre diffusionstæt dampbremse – det gælder dog ikke ubetinget for det uventilerede flade tag.



## Indholdsfortegnelse

|  | Side |
|--|------|
| Forord .....   | 1    |
| Sammenfatning .....  | 3    |
| Indholdsfortegnelse .....  | 5    |
| 1. Formål .....  | 7    |
| 2. Fremgangsmåde .....   | 7    |
| 2.1 Generelle betingelser for beregningerne .....                          | 7    |
| 3. Undersøgte konstruktioner .....   | 8    |
| 3.1 Teglmur uden ventilation – ”traditionel” .....                         | 8    |
| 3.2 Træskeletvæg – ”traditionel” .....                                     | 9    |
| 3.3 Teglmur – alternativ udformning med ventileret luftspalte .....        | 9    |
| 3.4 Træskeletvæg – alternativ udformning med dampbremse .....              | 9    |
| 3.5 Uventileret fladt tag .....  | 9    |
| 3.6 Uventileret fladt tag – alternativ udformning med dampbremse .....     | 9    |
| 3.7 Hældningstag .....   | 9    |
| 3.8 Hældningstag – alternativ udformning med dampbremse .....              | 9    |
| 3.9 Loftsrumsrum .....   | 10   |
| 3.10 Loftsrumsrum – alternativ udformning med dampbremse .....             | 10   |
| 3.11 Træskeletvæg – med dampspærre og forhøjet indendørs fugttilskud ..... | 10   |
| 3.12 Træskeletvæg – med dampbremse og forhøjet indendørs fugttilskud ..... | 10   |
| 3.13 Træskeletvæg – med dampbremse og eksfiltration .....                  | 10   |
| 4. Resultater .....  | 11   |
| 5. Diskussion .....  | 13   |
| 6. Konklusion .....  | 15   |
| 7. Litteratur .....  | 16   |
| Appendiks A. Relative fugtigheder i de undersøgte konstruktioner .....     | 17   |
| Appendiks B. Udskrift af materialebiblioteket for MATCH .....              | 31   |





## 1. Formål

Mange af de såkaldt "alternative" isoleringsmaterialer er organiske og derfor ganske hygroskopiske. Det er et åbent spørgsmål, hvilken indvirkning disse materials store fugtoptag har på den fugtmæssige ydeevne af konstruktioner, hvori de indbygges – hvad enten der er tale om, at materialerne indbygges i traditionelle konstruktioner som substitut for konventionelle isoleringsmaterialer, eller der er tale om indbygning i nye konstruktionsudformninger. I rapporten præsenteres en beregningsmæssig analyse af den hygrotermiske ydeevne af konstruktioner med forskellige isoleringsmaterialer.

## 2. Fremgangsmåde

Den fugtmæssige ydeevne er blevet analyseret med den én-dimensionale beregningsmodel MATCH (ver. 1.5) for beregning af koblet fugt og varmetransport (Pedersen, 1990). Analysen vedrører både traditionelle væg- og tagudformninger med de alternative isoleringsmaterialer, og nogle alternative udformninger, der er anvist af leverandører af alternative isoleringsmaterialer. Valget af konstruktionsudformninger hidrører således både fra SBI-anvisning 184 (SBI, 1995) og fra firmaet Ekofibers anbefalinger (Ekofiber, 1999). Analysen omfatter brug af de alternative materialer: Hør (*Heraflax SF 040*), papirisolering (*Miljøisolering*), og perlite (*Perlite SC*), hvoraf de første to er meget hygroskopiske, medens perlite stort set ikke er hygroskopisk. Til sammenligning er tillige gennemført beregninger af de samme konstruktioner isoleret med glas- og stenuld (*Glasuld 39* og *Rockwool A-batts*).

### 2.1 Generelle betingelser for beregningerne

Alle beregninger er gennemført med klimabetingelser, der for indeklimaets vedkommende er normale for en bolig. Det vil sige med en indendørs temperatur på 21°C og et dampindhold, der følger det udendørs med en tilvækst på 3,0 g/m<sup>3</sup> – dog lidt varmere og med et mindre fugttilskud om sommeren (23°C / 2,0 g/m<sup>3</sup> i månederne juni–august, og 22°C / 2,5 g/m<sup>3</sup> i maj og september). Udeklimaet er beskrevet ved timeværdierne i det danske referenceår, og alle ikke-vandrette konstruktioner er regnet med en hældning mod nord.

Hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialerne, der indgår i denne analyse, er så vidt muligt taget fra undersøgelser i dette projekt (Hansen og Hansen, 1999a og 1999b). Således er der anvendt sorptionsdata (data opnået ved tørring med magnesiumperchlorat) og data for damppermeabilitet ("korrigerede værdier") fra de i projektet indgående forsøg. Varmeledningsevne og varmekapacitet er for hør, papirisolering og perlite fra producentoplysninger, medens disse for de øvrige materialer er fra MATCH's materialebibliotek. Hygrotermiske egenskaber for andre byggematerialer end isolering er taget fra MATCH's materialebibliotek. Ved beregningerne er anvendt MATCH-programmets model for sorptionshysterese. Appendiks B indeholder en udskrift af materialebiblioteket fra MATCH-programmet for de her i projektet anvendte materialer.

Alle materialer er startet med et fugtindhold, der svarer til hygroskopisk ligevægt med luft ved ca. 80% relativ fugtighed (RF). Der er beregnet en tre-års periode fra en 1. oktober. Resultaterne gives for det sidste af de tre år.

Beregningerne er udført uden hensyntagen til fugttransport på væskeform. De nødvendige materialedata for at regne på væsketransport er ikke tilvejebragt for isoleringsmaterialerne. Endvidere er der ikke taget hensyn til slagregn, der i praksis vil holde fx en formur våd i lange perioder. Det er derfor ikke muligt ud fra beregningerne at udsige noget om, hvorvidt isoleringsmaterialerne bliver opfugtet på grund af den udendørs påvirkning ved regn og kapillarsugning gennem de udvendige bygningsdele.

Endelig skal det nævnes, at der fra forskellig side er udtrykt usikkerhed omkring muligheden for overhovedet med de beregningsmetoder, der er til rådighed i dag, at tage alle relevante transportprocesser i regning, når der regnes på fugtforhold i konstruktioner med organisk isolering. Der er oplyst om feltmålinger der kunne indikere, at konstruktioner med organiske isoleringsmaterialer har en bedre fugtmæssig tilstand end, hvad der kan eftervises ved beregninger. Der kan muligvis forekomme en såkaldt "ikke-Fick'sk" diffusionstransport, der kan forekomme andre fugttransporter, fx på væskeform, eller sorptionslignevægten kan være forsinket. Disse forhold vil blive undersøgt i efterfølgende projekter, bl.a. ved laboratorieforsøg og ved sammenligning med feltmålinger.

MATCH programmets evne til at beregne fugtforhold i bygningskonstruktioner er i øvrigt tidligere blevet kontrolleret for vægkonstruktioner i Rode & Burch, 1995, og for tagkonstruktioner i Pedersen, 1990, samt ved medvirken i såkaldte "common exercises" i IEA ECBCS Annex 24 (HAMTIE), 1995.

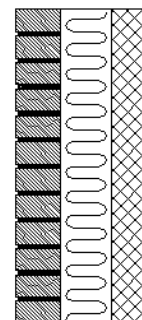
### 3. Undersøgte konstruktioner

Der er undersøgt i alt fire forskellige varianter af ydervægge: To vægge af tegl/porebeton (med og uden ventilationsspalte mellem isolering og formur), og to træskeletvægge (med dampspærre,  $Z = 375 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ , eller dampbremse,  $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ). Endvidere er der regnet på i alt seks forskellige varianter af tagkonstruktioner: Et uventileret fladt tag, et hældningstag med diffusionsåbent undertag, og et ventileret loftsrum med fladt loft og skrå tagbeklædning - alle tagkonstruktioner har enten været med dampspærre eller med den mere diffusionsåbne dampbremse. Endelig er der for træskeletvæggen undersøgt nogle varianter, hvor indeklimaets fugttilskud er 60% større end normalt for en bolig, eller hvor der er en udadgående luftstrøm gennem konstruktionen.

Efterfølgende bringes en summarisk introduktion til de undersøgte konstruktionstyper. Senere i rapporten og i resultatoversigterne er gengivet konstruktionsnumre (1-13), der refererer til nummereringen i de følgende delafsnit (3.1 – 3.13).

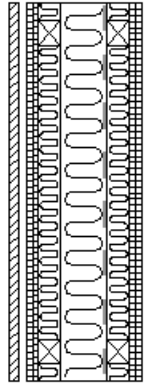
#### 3.1 Teglmur uden ventilation – "traditionel"

Denne ydermur består fra ydersiden af 108 mm tegl, 125 mm isolering, 100 mm porebeton, og en indvendig plastmaling (med diffusionsmodstand,  $Z = 3,0 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ). Muren har ingen dampspærre i øvrigt, og regnes uden ventileret luftspalte.



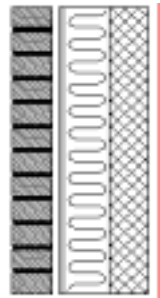
### 3.2 Træskeletvæg – ”traditionel”

Denne væg består af en udvendig beklædning 19 mm træ, 20 mm ventileret luftspalte, en vindspærre af 9+13 mm gips, 45+90+45 mm isolering med en dampspærre af polyethylenfolie (PE-folie,  $Z = 375 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ) mellem de to inderste lag, og 2x13 mm gipsplade som indvendig beklædning. Den udvendige ventilerede beklædning er beregnet ved at antage en ækvivalent diffusionsmodstand på  $0,5 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ . En sådan værdi er tidligere foreslået af TenWolde (1994) for beregning af vægge med udvendig, ventileret træbeklædning.



### 3.3 Teglmur – alternativ udformning med ventileret luftspalte

Den alternative udformning for en teglmur har en 20 mm ventileret luftspalte bag formuren og en 9 mm gipsplade som vindspærre foran isoleringen. I dette tilfælde beregnes formuren og ventilationen bag den ved at antage, at formuren har en tilsyneladende diffusionsmodstand på  $0,5 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ . En lignende værdi er bestemt af Straube m. fl. (1998) for en tilsvarende ydermur.

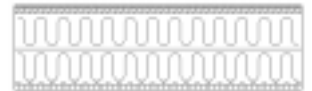


### 3.4 Træskeletvæg – alternativ udformning med dampbremse

Denne væg er den samme som beskrevet i afsnit 3.2, idet dog dampspærren af PE-folie er erstattet med en noget mere diffusionsåben dampbremse ( $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ).

### 3.5 Uventileret fladt tag

Taget består af tagpap på 12,5 mm krydsfinér, 200 mm isolering, en dampspærre (PE-folie,  $Z = 375 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ) og 15 mm gipsplade som indvendig beklædning.



### 3.6 Uventileret fladt tag – alternativ udformning med dampbremse

Dette tag er det samme som beskrevet i afsnit 3.5, idet dog dampspærren af PE-folie er erstattet med en noget mere diffusionsåben dampbremse ( $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ).

### 3.7 Hældningstag

Dette tag er opbygget som et paralleltag med en hældning på  $45^\circ$ , og har udvendigt en tagbeklædning af tagsten (tegl) på lægter. Taget har gips på ydersiden af isoleringen som diffusionsåbent undertag. Isoleringstykkelsen er 200 mm. Der regnes med en dampspærre af PE-folie ( $Z = 375 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ) mellem isoleringen og den indvendige 15 mm gipsbeklædning.

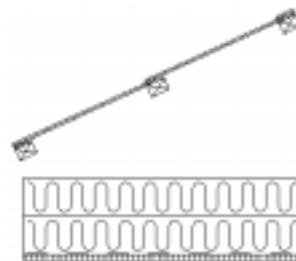


### 3.8 Hældningstag – alternativ udformning med dampbremse

Dette tag er det samme som beskrevet i afsnit 3.7, idet dog dampspærren af PE-folie er erstattet med en noget mere diffusionsåben dampbremse ( $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ).

### 3.9 Loftsrumsrum

Der er regnet på et loftsrumsrum med et konstant luftskifte på 3 gange i timen. Loftsrumsrummet består udefra af fibercementplader på trælægter, selve loftsrumsrummet med træspær og planker, 250 mm vandret isolering, dampspærre af PE-folie ( $Z = 375 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ), og 15 mm gipsplade som indvendig loftsbeklædning. Der er anvendt en særlig fremgangsmåde for at få det én-dimensionale beregningsprogram til at simulere loftsrumsrummet, luftskiftet med udendørs luft, og fugtkapaciteten af træ i loftsrumsrummet. Fremgangsmåden er tidligere blevet benyttet med nogen succes ved beregning af fugtforhold i loftsrumsrum rapporteret af Samuelsson (1995).



### 3.10 Loftsrumsrum – alternativ udformning med dampbremse

Loftsrumsrummet beskrevet i forrige afsnit er ligeledes beregnet med en dampbremse ( $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ) i stedet for dampspærren af PE-folie.

Der er tillige gennemført følgende tre varianter af beregningerne af træskeletvæggene:

#### 3.11 Træskeletvæg – med dampspærre og forhøjet indendørs fugttilskud

Disse beregninger svarer til beregningerne for træskeletvægge med dampspærre beskrevet i afsnit 3.2, idet dog fugttilskuddet indendørs er sat op til  $5,0 \text{ g}/\text{m}^3$  ( $3,3 \text{ g}/\text{m}^3$  i månederne juni – august, og  $4,2 \text{ g}/\text{m}^3$  i maj og september).

#### 3.12 Træskeletvæg – med dampbremse og forhøjet indendørs fugttilskud

Disse beregninger svarer til beregningerne for træskeletvægge med dampbremse beskrevet i afsnit 3.4, idet dog fugttilskuddet er sat op med 60% (som beskrevet i forrige afsnit).

#### 3.13 Træskeletvæg – med dampbremse og eksfiltration

Der regnes nu igen med et normalt indeklima for en bolig (fugttilvækst  $3 \text{ g}/\text{m}^3$  om vinteren), og med en dampbremse med  $Z$ -værdi på  $9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$  (dvs. som beskrevet i afsnit 3.4), men nu gennemføres beregningerne med en jævnt fordelt udadgående luftstrøm (eksfiltration) på  $0,1 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ . Dette ville for et  $2,5 \text{ m}$  højt rum med et gulvareal på  $16 \text{ m}^2$  svare til et luftskifte på  $0,18 \text{ h}^{-1}$ , hvis der var  $20 \text{ m}^2$  ydervægge.

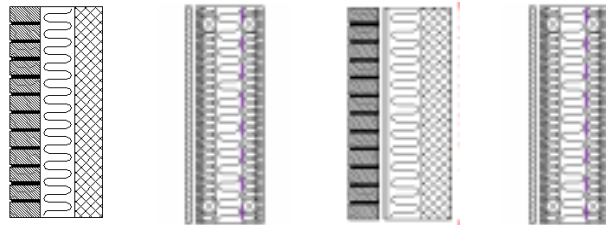
Det bemærkes, at en luftstrøm, der er jævnt fordelt over vægarealet, næppe forekommer i praksis, hvor luften snarere vil finde sin vej gennem arealmæssigt mere koncentrerede huller og sprækker mv. Den jævnt fordelte luftstrøm er imidlertid idealet for såkaldte dynamiske vægge, og beregningerne her kan vise hvordan det går, hvis en sådan luftstrøm er udadrettet.

Muligheden for at bruge MATCH-programmet til at regne på vægge med gennemsvivende luftstrøm er dokumenteret i Pedersen (1992).

## 4. Resultater

Materialernes relative fugtighed er bestemt ud fra de beregnede fugtindhold og materialernes sorptionskurver, idet der antages at herske lokal ligevægt. For det sidste beregningsår er antallet af dage bestemt, hvor den relative fugtighed er større end 85%, og den daglige gennemsnitstemperatur samtidig har været mindst 5°C, så der har været risiko for svampevækst. Antallet af sådanne kritiske dage er opgjort for de yderste 0-10 mm, 10-30 mm og 30-50 mm af isoleringen. En resultatoversigt vises i tabelform i figur 1 (vægge), i figur 2 (tage) og i figur 3 (supplerende undersøgelser af træskeletvæggen med forhøjet indendørs fugtighed eller eksfiltration).

En optegning af fordelingen af de relative fugtigheder beregnet for det sidste af tre år i hver af de undersøgte konstruktioner vises i Appendiks A.



|                              |          | Traditionelle vægge |         | Alternative vægge |         |
|------------------------------|----------|---------------------|---------|-------------------|---------|
|                              |          | 1                   | 2       | 3                 | 4       |
| <b>Ventileret luftspalte</b> |          | ingen               | 20 mm   | 20 mm             | 20 mm   |
| <b>Dampspærre</b>            |          | ingen               | Z = 375 | ingen             | Z = 9,7 |
| <b>Heraflax</b>              | 0-10 mm  | 138                 | 0       | 51                | 47      |
|                              | 10-30 mm | 131                 | 0       | 0                 | 0       |
|                              | 30-50 mm | 0                   | 0       | 0                 | 0       |
| <b>Miljø-isolering</b>       | 0-10 mm  | 136                 | 0       | 49                | 46      |
|                              | 10-30 mm | 144                 | 0       | 0                 | 0       |
|                              | 30-50 mm | 0                   | 0       | 0                 | 0       |
| <b>Perlite</b>               | 0-10 mm  | 135                 | 0       | 47                | 44      |
|                              | 10-30 mm | 152                 | 0       | 0                 | 0       |
|                              | 30-50 mm | 1                   | 0       | 0                 | 0       |
| <b>Glasuld</b>               | 0-10 mm  | 134                 | 0       | 55                | 50      |
|                              | 10-30 mm | 156                 | 0       | 0                 | 0       |
|                              | 30-50 mm | 1                   | 0       | 0                 | 0       |
| <b>Rockwool</b>              | 0-10 mm  | 135                 | 0       | 48                | 51      |
|                              | 10-30 mm | 160                 | 0       | 0                 | 0       |
|                              | 30-50 mm | 1                   | 0       | 0                 | 0       |

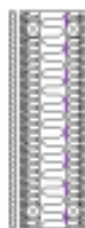
Figur 1. Antal dage med kritiske fugtforhold (RF > 85% og temperatur > 5°C) i de yderste 0-10, 10-30 og 30-50 mm af isoleringen i de viste ydervægge (benævnt hhv. "10 mm", "20 mm" og "20 mm").



|                        |          | Flade tage |         | Hældningstage |         | Loftsum |         |
|------------------------|----------|------------|---------|---------------|---------|---------|---------|
|                        |          | 5          | 6       | 7             | 8       | 9       | 10      |
| <b>Dampspærre</b>      |          | Z = 375    | Z = 9.7 | Z = 375       | Z = 9.7 | Z = 375 | Z = 9.7 |
| <b>Heraflax</b>        | x-finér  | 149        | 102     |               |         |         |         |
|                        | 0-10 mm  | 173        | 114     | 43            | 65      | 44      | 52      |
|                        | 10-30 mm | 80         | 60      | 0             | 0       | 0       | 3       |
|                        | 30-50 mm | 13         | 0       | 0             | 0       | 0       | 0       |
| <b>Miljø-isolering</b> | x-finér  | 161        | 107     |               |         |         |         |
|                        | 0-10 mm  | 199        | 126     | 44            | 62      | 41      | 51      |
|                        | 10-30 mm | 193        | 77      | 0             | 0       | 1       | 4       |
|                        | 30-50 mm | 57         | 0       | 0             | 0       | 0       | 0       |
| <b>Perlite</b>         | x-finér  | 102*       | 82      |               |         |         |         |
|                        | 0-10 mm  | 108        | 94      | 44            | 67      | 51      | 57      |
|                        | 10-30 mm | 68         | 71      | 0             | 10      | 3       | 11      |
|                        | 30-50 mm | 66         | 30      | 0             | 0       | 0       | 0       |
| <b>Glasuld</b>         | x-finér  | 107*       | 82      |               |         |         |         |
|                        | 0-10 mm  | 106        | 96      | 45            | 66      | 56      | 61      |
|                        | 10-30 mm | 64         | 70      | 0             | 8       | 4       | 7       |
|                        | 30-50 mm | 62         | 24      | 0             | 0       | 0       | 0       |
| <b>Rockwool</b>        | x-finér  | 30*        | 84      |               |         |         |         |
|                        | 0-10 mm  | 81         | 99      | 45            | 65      | 56      | 61      |
|                        | 10-30 mm | 63         | 70      | 0             | 11      | 7       | 14      |
|                        | 30-50 mm | 62         | 30      | 0             | 0       | 0       | 0       |

Figur 2. Antal dage med kritiske fugtforhold ( $RF > 85\%$  og temperatur  $> 5^{\circ}\text{C}$ ) i de yderste 0-10, 10-30 og 30-50 mm af isoleringen i de viste tagkonstruktioner. For de flade tage vises tillige antallet af dage med kritiske fugtforhold for tagets krydsfinérdæk ("x-finér").

\* Den relative fugtighed i krydsfinér over uorganisk isolering er i alle tilfælde ganske konstant med en værdi ganske tæt på 85% (se appendiks A). Det er derfor ret tilfældigt hvor mange dage, værdien efter ovenstående kriterium kan betragtes at være kritisk, og den tilsyneladende forskel de tre materialer imellem må ikke tillægges nogen signifikans.



|                              |          | Øget fugttilskud |         | Eksfiltration |
|------------------------------|----------|------------------|---------|---------------|
|                              |          | 11               | 12      | 13            |
| <b>Ventileret luftspalte</b> |          | 20 mm            | 20 mm   | 20 mm         |
| <b>Dampspærre</b>            |          | Z = 375          | Z = 9,7 | Z = 9,7       |
| <b>Heraflax</b>              | 0-10 mm  | 0                | 87      | 189           |
|                              | 10-30 mm | 0                | 0       | 210           |
|                              | 30-50 mm | 0                | 0       | 0             |
| <b>Miljø-isolering</b>       | 0-10 mm  | 0                | 82      | 184           |
|                              | 10-30 mm | 0                | 0       | 208           |
|                              | 30-50 mm | 0                | 0       | 0             |
| <b>Perlite</b>               | 0-10 mm  | 0                | 87      | 193           |
|                              | 10-30 mm | 0                | 5       | 215           |
|                              | 30-50 mm | 0                | 0       | 46            |
| <b>Glasuld</b>               | 0-10 mm  | 0                | 94      | 193           |
|                              | 10-30 mm | 0                | 9       | 213           |
|                              | 30-50 mm | 0                | 0       | 26            |
| <b>Rockwool</b>              | 0-10 mm  | 0                | 93      | 194           |
|                              | 10-30 mm | 0                | 11      | 213           |
|                              | 30-50 mm | 0                | 0       | 28            |

Figur 3. Antal dage med kritiske fugtforhold ( $RF > 85\%$  og temperatur  $> 5^\circ\text{C}$ ) i de yderste 0-10, 10-30 og 30-50 mm af isoleringen i træskeletvæggene, når der enten er et forøget fugttilskud i indeklimaet, eller der regnes med en udadgående luftstrøm på  $0,1 \text{ l}/(\text{m}^2\text{s})$

## 5. Diskussion

### 5.1 Den traditionelle hulmur (konstruktion 1)

Fugtigheden er i lange perioder ganske høj i den traditionelle teglmur uden ventileret hulrum. Dette vil formentlig forårsage kondensation i grænsefladen mellem isolering og tegl – noget der erfaringsmæssigt ikke er kritisk når der anvendes isolering, der er vandafvisende og kan modstå påvirkningen med vand, og der anvendes frostsikre teglsten.

### 5.2 Den traditionelle træskeletvæg (konstruktion 2)

Den traditionelle lette ydervæg af træ med dampspærre af PE-folie har ingen perioder med kritiske fugttilstande, uanset hvilket isoleringsmateriale der anvendes. Dette resultat forudsætter dog, at konstruktionen er lufttæt, idet der i denne beregning ikke er taget hensyn til evt. fugtkonvektion.

### 5.3 Den alternative hulmur eller træskeletvæg (konstruktionerne 3 & 4)

Den alternative hulmur (med ventileret luftspalte) og den alternative lette trævæg (med dampbremse) har perioder med fugtniveauer og temperaturer, der kan forårsage svampeangreb. Situationen er måske ikke kritisk, da de høje fugtniveauer kun findes helt yderst i isoleringen, og da de kritiske perioder ikke er så lange (sammenlagt ca. 1½ måned pr. år). Der ses ikke nogen afhængighed af hvilket isoleringsmateriale, der er brugt.

Den samlede varighed af kritiske perioder, er dog så stor, at det må betragtes at være betænkeligt om påvirkningen indefra eller udefra skulle ændres bare lidt i ugunstig retning. Der kan derfor i disse konstruktioner let være fare for svampeangreb i træbaserede materialer eller korrosion på ikke-rustfri ståledele, hvis fx den indendørs fugtighed viser sig at være højere end forventet (se beregningsvariant 12), hvis den ventilerede luftspalte ikke fungerer som forventet, eller hvis der skulle forekomme en udstrømning af fugtig rumluft gennem konstruktionen (beregningsvariant 13).

### 5.4 De flade tagkonstruktioner (konstruktionerne 5 & 6)

Der vil altid være noget hygroskopisk fugt til stede i disse lukkede konstruktioner. Hvis der anvendes PE-folie som dampspærre, tilføres konstruktionen ikke fugt, men der kan heller ikke slippe fugt ud. Beregningerne viser således, hvordan den indbyggede fugt fordeles internt i konstruktionen gennem året.

Når der anvendes ikke-organisk isolering, mineraluld eller perlite, er der næsten kun den hygroskopiske fugt til stede, som fra starten kommer fra krydsfineren. Krydsfinerens fugtindhold ligger derfor ganske tæt på 85% det meste af året, medens isoleringen har et fugtniveau under 85% RF det meste af tiden (se appendiks A). Om sommeren tørrer noget af krydsfinerens fugt ud og giver meget let anledning til høje relative fugtigheder i de underliggende isoleringslag. Derfor ses forholdsvis lange perioder, hvor den relative fugtighed i isoleringen er høj. Som appendiks A viser, er fugtigheden måske kritisk i isoleringen i disse perioder – eller mere specifikt, for nedbrydelige dele, der ligger i samme højde som isoleringen, fx ribber af træ. Problemet er kendt som ”sommerekondens”, og må imødegås ved at minimere byggefugten i krydsfinérdæk og ribber.

Der er mere hygroskopisk materiale i tagene, når der anvendes organisk isolering, og dermed mere indbygget fugt. I vinterhalvåret vil denne fugt akkumuleres i konstruktionens koldeste lag ved isoleringens yderside, og i krydsfineren. Derfor har tagene, der er isoleret med hør eller papirisolering, meget lange perioder med kritiske fugttilstande. Dette tørrer noget ud om sommeren, men så fordeles fugten til gengæld i det meste af isoleringstykkelsen. Alt i alt har store dele af isoleringslagene og krydsfinérdækket overordentligt lange perioder med kritiske fugttilstande.

Dampbremsen giver mulighed for nogen fugtudveksling med indeklimaet. De flade tage, især dem med organisk isolering, klarer sig relativt bedre, når den noget permeable dampbremse bruges i stedet for PE-folie, da den kan lukke noget den hygroskopiske byggefugt ud om sommeren. Tilstanden er dog stadig kritisk i alt for lange perioder for disse konstruktioner. Det skal bemærkes, at med den noget permeable dampbremse, bliver tagets fugttilstand ganske afhængig af den af indeklimaet bestemte balance mellem, hvor meget fugt der opfugtes om vinteren, og hvor meget der udtørres om sommeren. Muligheden for solindfald på taget spiller også en rolle for denne balance.



### **5.5 De hældende tagkonstruktioner (konstruktionerne 7 - 10)**

For hældningstaget og for tagrumskonstruktionen knytter sig de samme kommentarer som for de alternative vægudformninger. På grund af den åbne opbygning af disse konstruktioner mod det udendørs klima, og på grund af, at der er regnet med et moderat indeklima for boliger, bestemmes fugtniveauerne i de yderste isoleringslag nok lige så meget af de udendørs klimamæssige forhold som af indeklimaets. Der ses ingen eller kun en lille forskel i betydningen af hvilket isoleringsmateriale, der vælges. For loftsrummet kan den lille forskel være til gunst for de organiske materialer. Hyppigheden af kritiske fugtforhold er ganske lidt mindre, når der anvendes en diffusionstæt dampspærre i forhold til den mere permeable dampbremse.

### **5.7 Træskeletvægge ved forhøjet indendørs fugtighed (konstruktionerne 11 & 12)**

Her er det indendørs fugttilskud sat op med 60% i forhold til det normale indeklima. Træskeletvæggene med PE-folie som dampspærre er upåvirkede af den forhøjede indendørs fugtighed. Der optræder slet ikke perioder med kritiske fugtniveauer i isoleringen. Derimod forekommer der ligesom ved det normale indeklima, perioder med kritiske forhold i det yderste isoleringslag når træskeletvæggene har dampbremse ( $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ ) i stedet for dampspærre. Men hyppigheden af disse perioder er nu næsten fordoblet, hvorfor det nok kan synes betænkeligt ikke at have tilstrækkelig dampspærring i lette træskeletvægge mod nord. Der er kun en lille afhængighed af valget af isoleringsmateriale, og denne afhængighed overensstemmer med situationen ved det normale indeklima.

### **5.8 Træskeletvægge med udstrømning af rumluft (konstruktion 13)**

I denne situation bliver der alt for lange perioder med kritiske fugtniveauer i de kolde dele af isoleringen. De yderste 10+20 mm af isoleringen har disse høje fugtniveauer over halvdelen af året, og som det ses af appendiks A, er den relative fugtighed et godt stykke over 90% i disse perioder. Konstruktionen kan altså ikke modstå udstrømning af fugtholdig rumluft

## **6. Konklusion**

De udførte beregninger synes at vise, at de såkaldt "alternative" isoleringsmaterialer kan anvendes i stedet for mineraluld i et udvalg af traditionelle og modificerede danske bygningskonstruktioner, uden at der opstår kritiske fugttilstande. Man bør imidlertid være opmærksom på følgevirkningerne af, at der altid indbygges noget fugt sammen med de organiske varianter af de alternative isoleringsmaterialer. Det synes i særlig grad at være fordelagtigt, at konstruktionerne er åbne for fugttransport udadtil, når der anvendes isoleringsmaterialer der er organiske, og som derfor kan ophobe eller indbygges med et vist naturligt (hygroskopisk) fugtindhold. Det uorganiske, alternative isoleringsmateriale, perlite, synes at have samme hygrotermiske ydeevne som mineraluld.

Beregningerne, der er udført for konstruktioner, der afgrænser et fugtmæssigt moderat/normalt indeklima, synes ikke at indikere nogen synderlig fordel ved at anvende dampbremsere, der ikke er så diffusionstætte som dampspærrer af plastfolie.

## 7. Litteratur

Ekofiber, 1999. Produktinformation, [www.ekofiber.dk](http://www.ekofiber.dk)

Hansen, E. J. de Place og K. K. Hansen. 1999a. *Sorptionsisotermer*. Del af *Varme- og fugttekniske undersøgelser for alternative isoleringsmaterialer*. Serie R, no. 58. Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM), DTU.

Hansen, E. J. de Place og K. K. Hansen. 1999b. *Vanddamppermeabilitet (kopforsøg)*. Del af *Varme- og fugttekniske undersøgelser for alternative isoleringsmaterialer*. Serie R, no. 59. Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM), DTU.

IEA. 1996. Task 1: *Modelling. Addendum: Common Exercises, Summary Reports*. Final Report. International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme (ECBCS), Annex 24, Heat, Air and Moisture Transfer in New and Retro-fitted Insulated Envelope Parts (HAMTIE).

Pedersen, C. R. 1990. *Combined Heat and Moisture Transfer in Building Constructions*. PhD thesis. Report 214, Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.

Pedersen, C. R. 1992. *1-Dimensional Air Flow Through a Wall Structure, Second Common Exercise*. Report T1-DK-92/03. IEA Annex 24, Heat, Air and Moisture Transfer in New and Retro-fitted Insulated Envelope Parts (HAMTIE).

Rode, C. og D. M. Burch. 1995. *Empirical Validation of a Transient Computer Model for Combined Heat and Moisture Transfer*. Proc. Thermal Performance of the Exterior Envelope of Buildings VI Conference. December 4-8, Clearwater Beach, FL, USA.

Samuelson, I. 1995. *Fuktbalans i kalla vindsutrymmen - betydelsen av ventilation och valet av isoleringsmaterial*. SP Rapport 1995:68. Swedish National Testing and Research Institute.

SBI. 1995. *Bygningers energibehov*. SBI-anvisning 184. Statens Byggeforskningsinstitut.

Straube, J.F. & E.F.P. Burnett. 1998. *Drainage, Ventilation Drying, and Enclosure Performance*. Proc. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII Conference. December 6-10, Clearwater Beach, FL, USA.
















TenWolde, A. 1994. *Design Tools*. In: *Moisture Control in Buildings* (Ed.: H. R. Trechsel). American Society of Testing and Materials.

## Appendiks A. Relative fugtigheder i de undersøgte konstruktioner

Appendikset viser optegninger for det sidste af de tre beregningsår (1.oktober – 30. september) af den relative fugtighed i alle de lag, der indgår i konstruktionerne. Isoleringen er opdelt i de yderste 10 mm, laget fra 10-30 mm's dybde fra ydersiden, laget fra 30-50 mm's dybde, og resten af isoleringen er medtaget som enten ét eller to separate lag. Der vises resultater for de nedenstående konstruktioner, der alle er beregnet med hver af de fem undersøgte isoleringstyper.

1. Muret ydervæg – ”traditionel”
2. Træskeletvæg – ”traditionel”
3. Muret ydervæg – alternative udformning med ventileret luftspalte
4. Træskeletvæg med dampbremse
5. Uventileret fladt tag med dampspærre
6. Uventileret fladt tag med dampbremse
7. Parallelt tag med dampspærre
8. Parallelt tag med dampbremse
9. Ventileret loftskonstruktion med dampspærre
10. Ventileret loftskonstruktion med dampbremse
11. Træskeletvæg med dampspærre, beregnet med forøget fugttilskud indendørs
12. Træskeletvæg med dampbremse, beregnet med forøget fugttilskud indendørs
13. Træskeletvæg med dampbremse, beregnet med eksfiltration 0,1 l/m<sup>2</sup>s

På hver resultatside er for hver af de beregnede konstruktioner vist optegnede forløb af de relative fugtigheder gennem det sidste beregningsår. Der er således 5 grafer på hver side, der hver repræsenterer beregningerne for konstruktionen med én variant af isoleringsmaterialet. Graferne er fordelt således:

|  |                        |  |
|--|------------------------|--|
| Isolering:<br>Heraflax<br>(hør)                        |                        | <b>Anvendte liniefarver for materialer</b><br><u>Linie</u> <u>Produkt/materiale</u><br> Heraflax (mørke gul)<br> Miljøisolering (lys orange)<br> Perlite (violet)<br> Glasuld (gul)<br> Rockwool (rød)<br><br> Formur af tegl (orange)<br> Bagmur af porebeton (blå-grå)<br> Gips (turkis)<br> Træbeklædning (brun)<br> Tagpap (sort)<br> Krydsfinér (brun)<br> Tagsten (mørkerød)<br> Tagbeklædning (blå)<br> Undertag af træplade (brun)<br> Loftsrum (isblå) |
| Isolering:<br>Miljøisolering<br>(papier-<br>isolering) | Isolering:<br>Perlite  |  |
| Isolering:<br>Glasuld                                  | Isolering:<br>Rockwool |  |

# 1. Muret ydervæg – ”traditionel”

**Konstruktion :** Hulmur

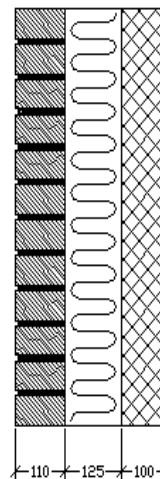
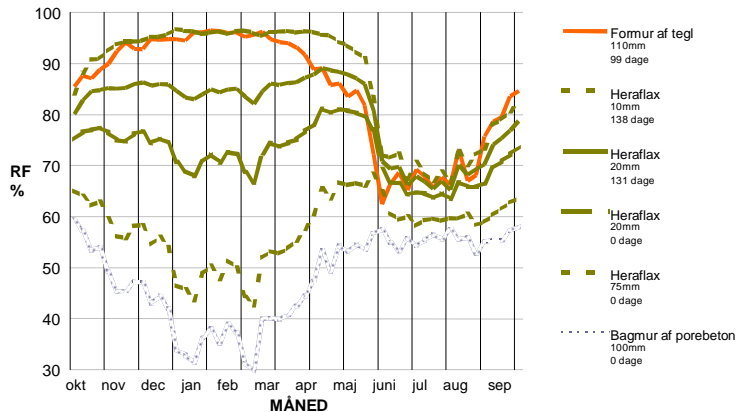
**Luftspalte :** Ingen

**Opbygning :** 110 mm tegl, 125 mm isolering, 100 mm porebeton, plastmaling

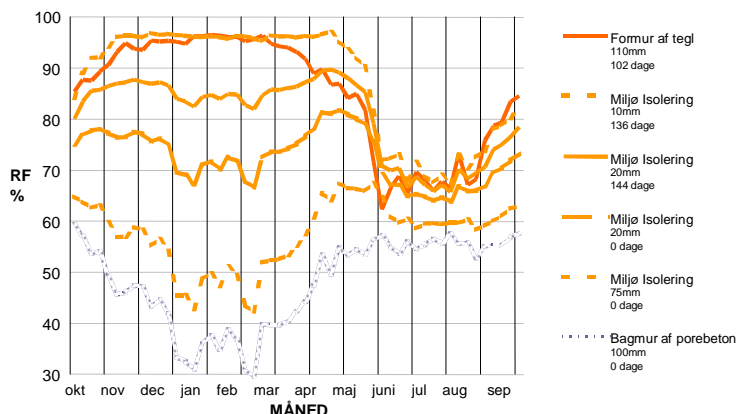
**Andet :**

**Dampspærre/bremse :** Ingen

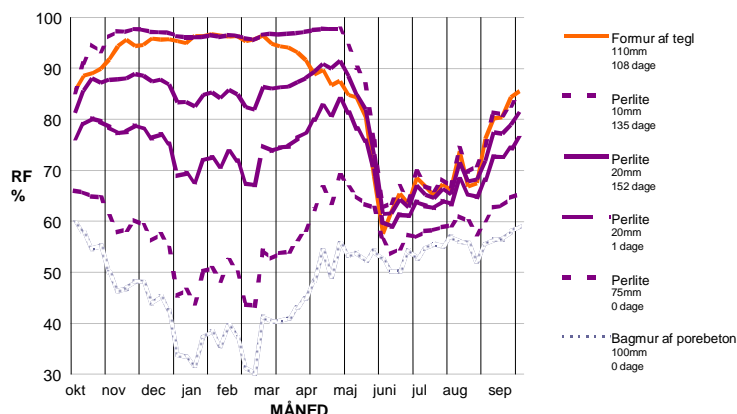
Relativ fugtighed



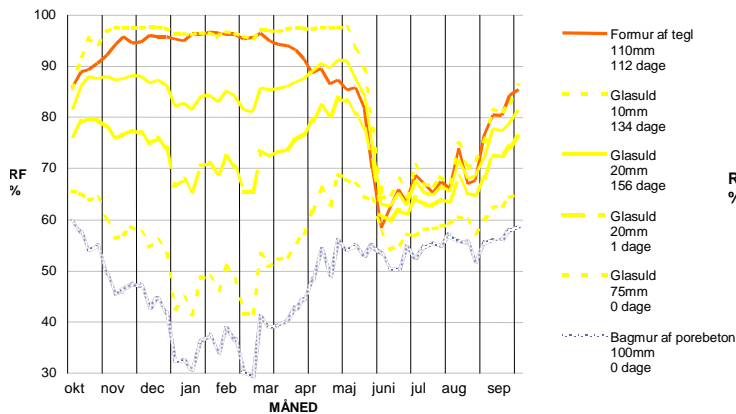
Relativ fugtighed



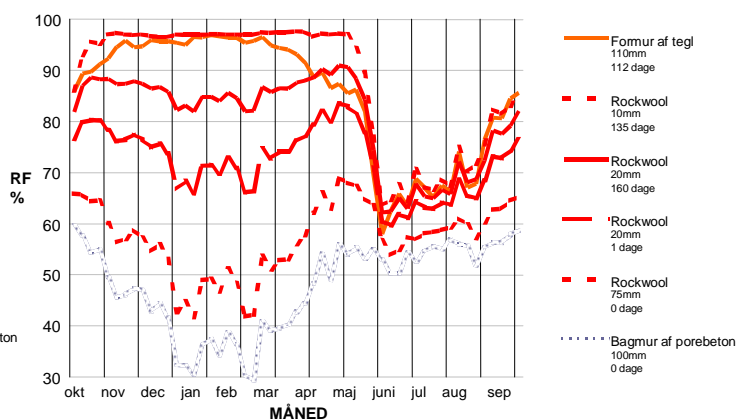
Relativ fugtighed



Relativ fugtighed



Relativ fugtighed



## 2. Træskeletvæg – ”traditionel”

**Konstruktion** : Let væg

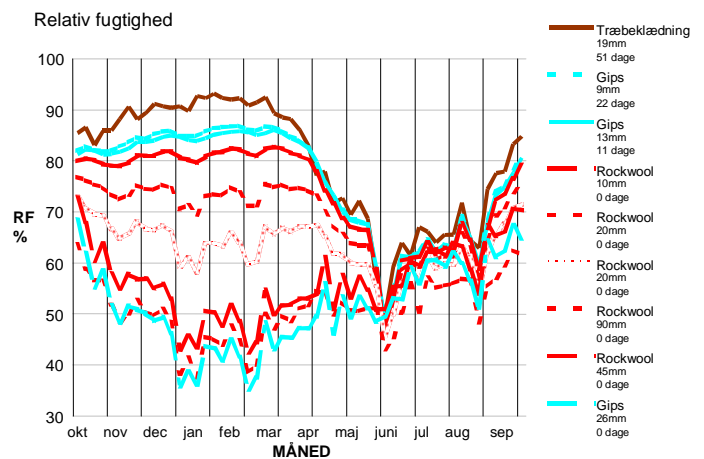
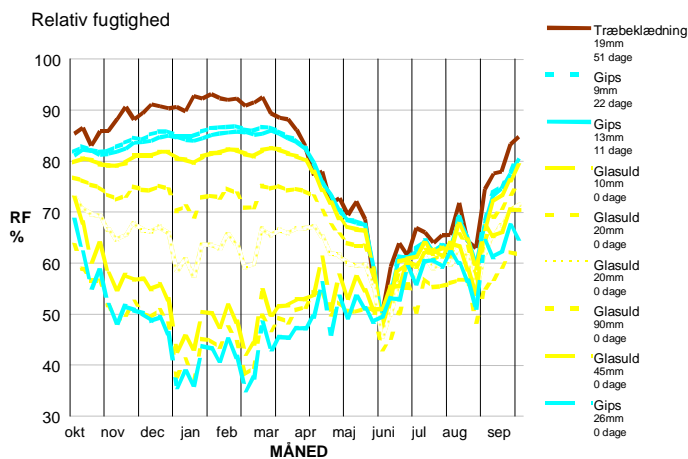
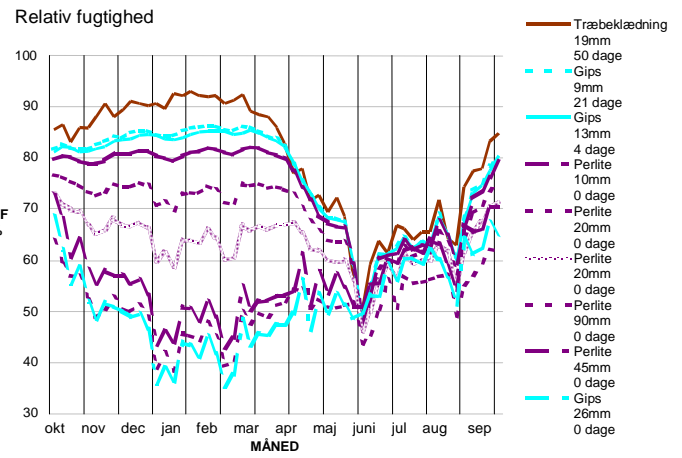
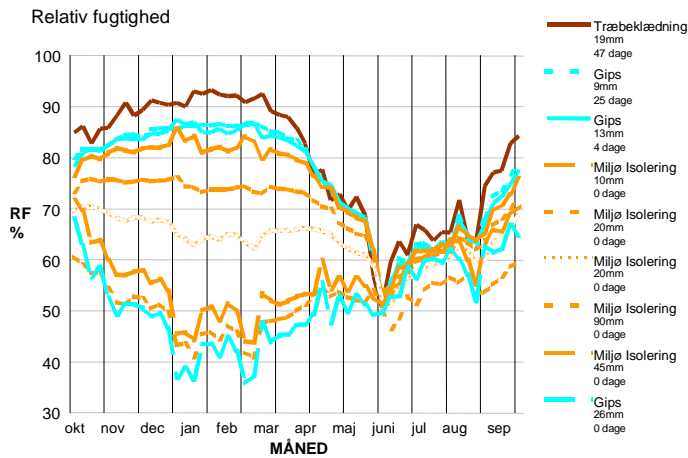
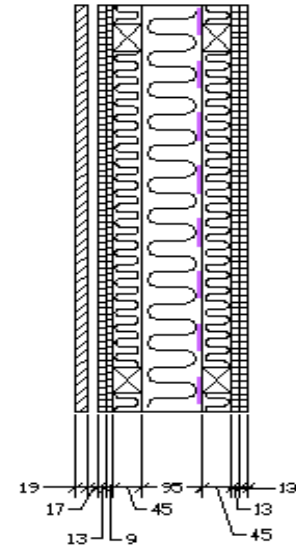
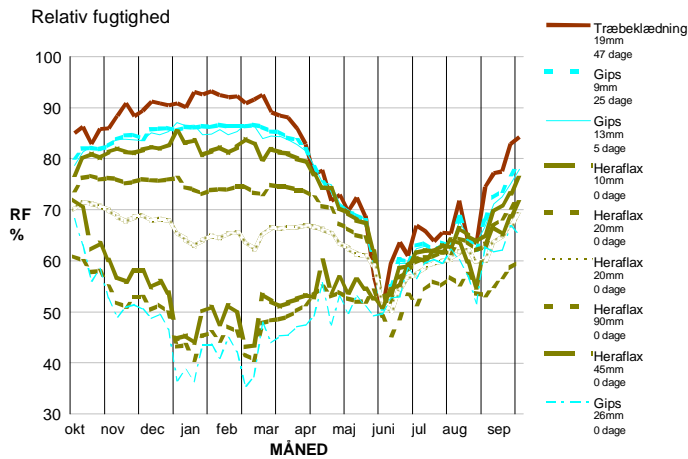
GPa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Luftspalte** : 20 mm luft

**Opbygning** : 19 mm træ, 20 mm luft, 9+13 mm gips, 140 mm isol., dampspærre, 45 mm isol., 13+13 mm gips

**Andet** : Z-værdien er for træbeklædning = 0,5 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Dampspærre/bremse** : Dampspærre Z = 375



### 3. Muret ydervæg - alternativ udformning med ventileret luftspalte

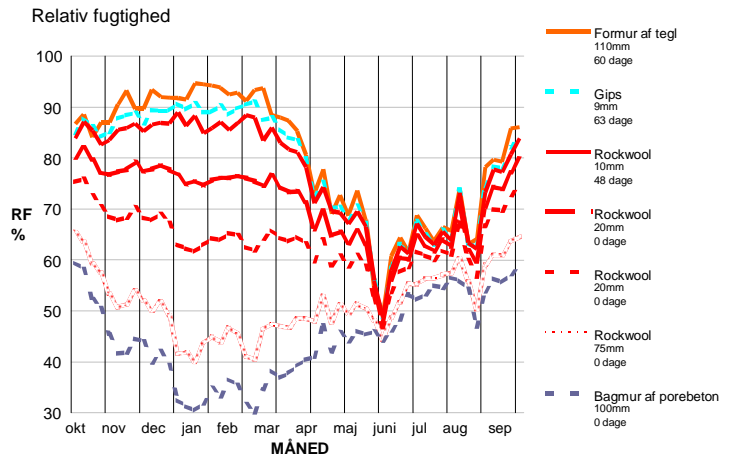
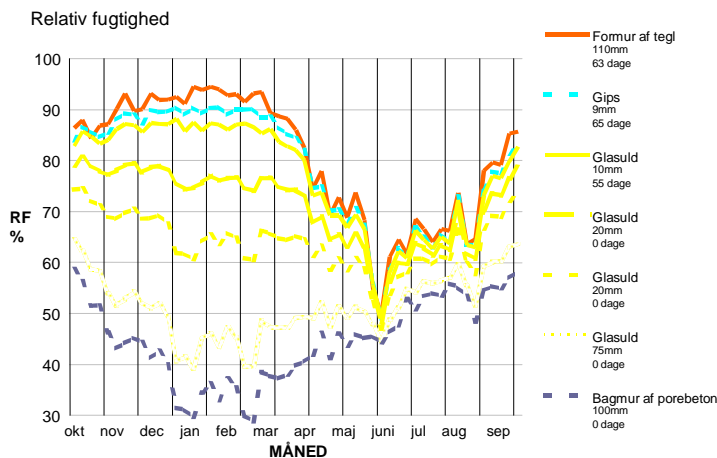
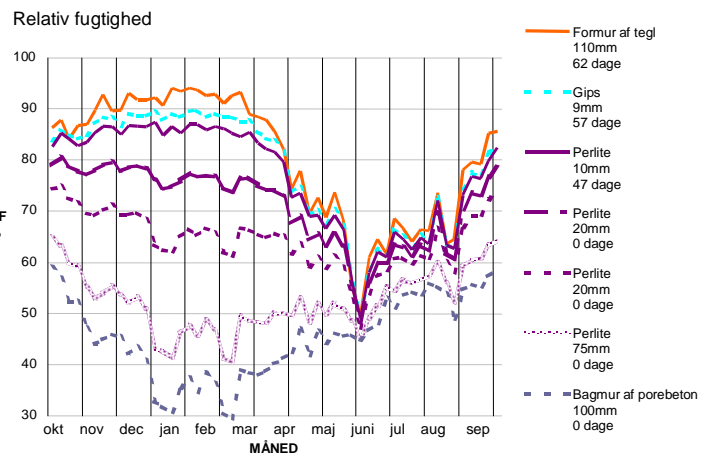
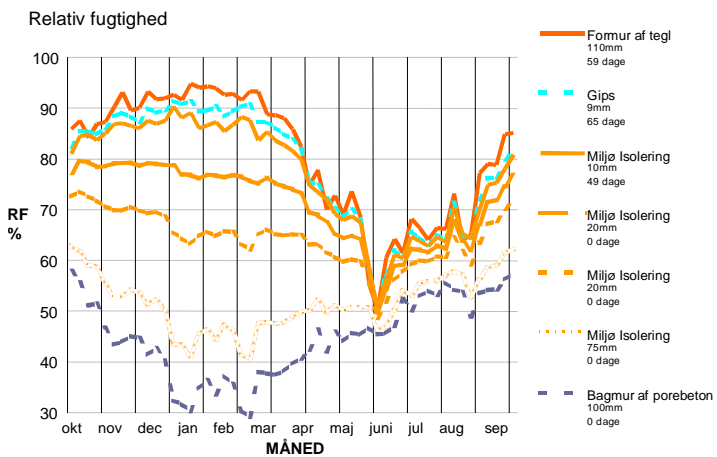
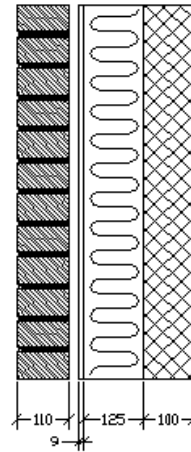
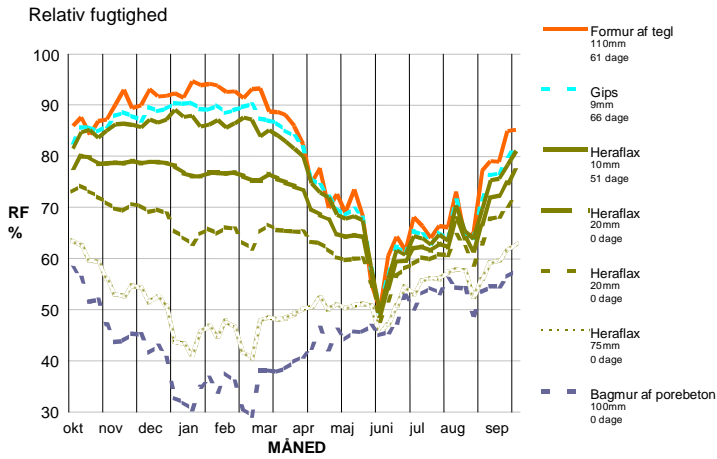
**Konstruktion** : Hulmur med ventileret luftspalte

**Dampspærre/bremse** : Ingen

**Luftspalte** : 20 mm

**Opbygning** : 110 mm tegl, 20 mm spalte, 9 mm gips, 125 mm isol., 100 porebeton, maling

**Andet** : Teglstenens Z-værdi er sat til 0,5 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg



## 4. Træskeletvæg med dampbremse

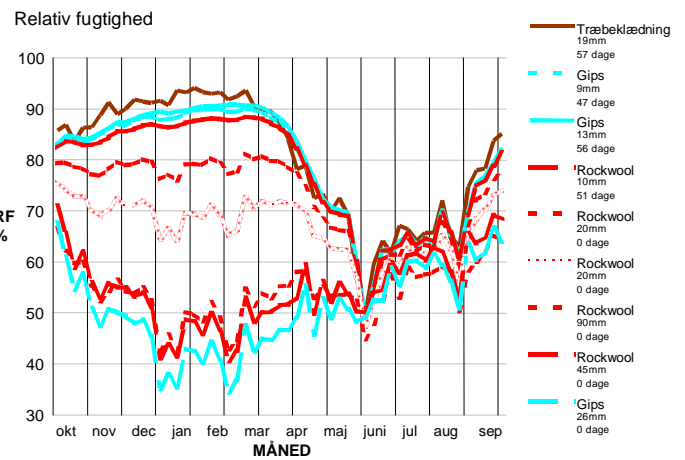
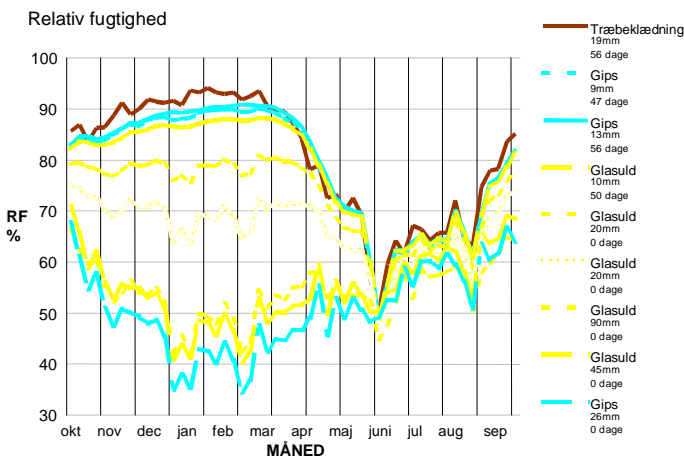
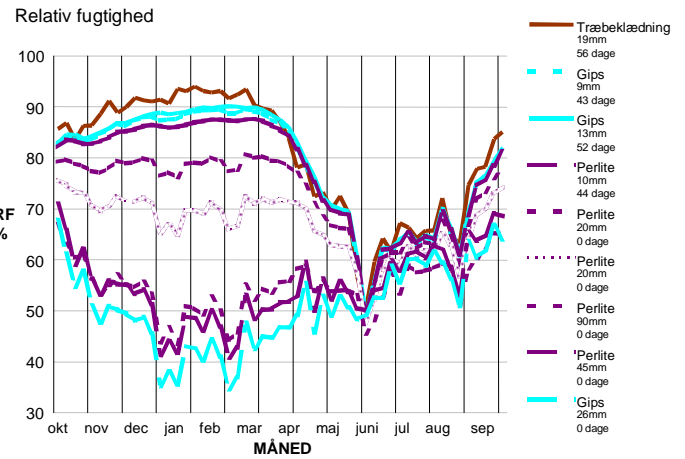
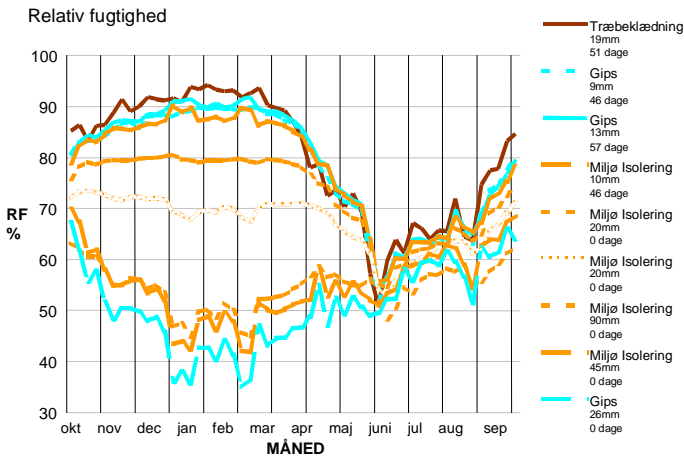
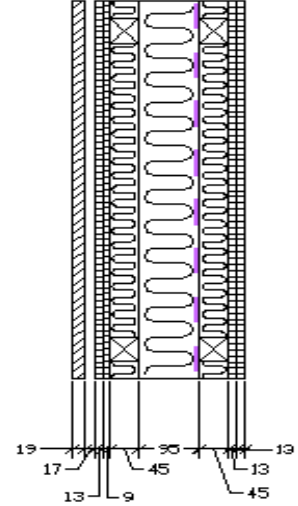
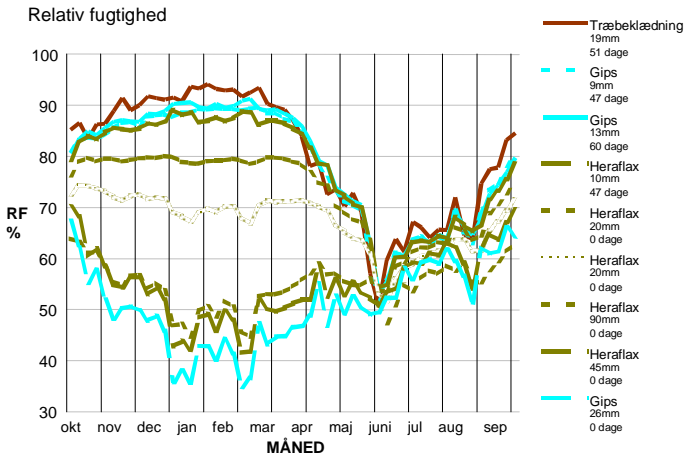
**Konstruktion** : Let væg

**Luftspalte** : 20 mm luft

**Opbygning** : 19 mm træ, 20 mm luft, 9+13 mm gips, 140 mm isol., dampbremse, 45 mm isol., 13+13 mm gips

**Andet** : Z-værdien er for træbeklædning = 0,5 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg.

**Dampspærre/bremse**: Dampbremse Z = 9,7 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg



## 5. Fladt tag med dampspærre

**Konstruktion :** Fladt tag

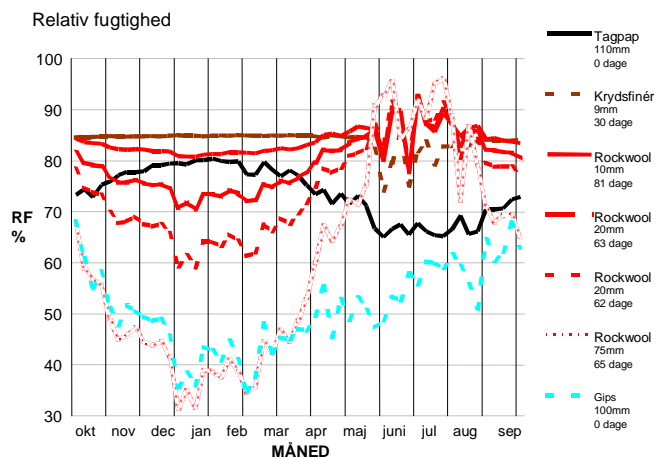
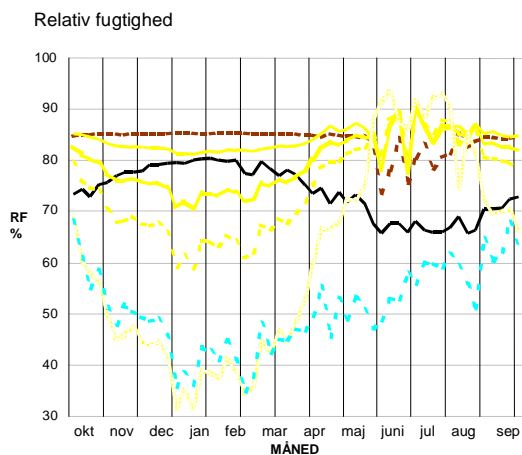
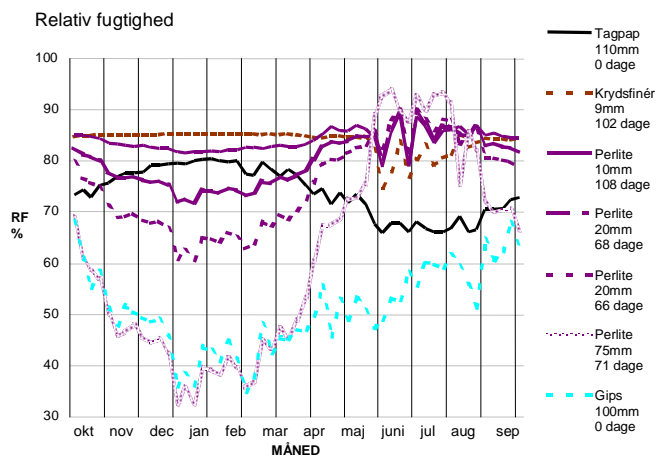
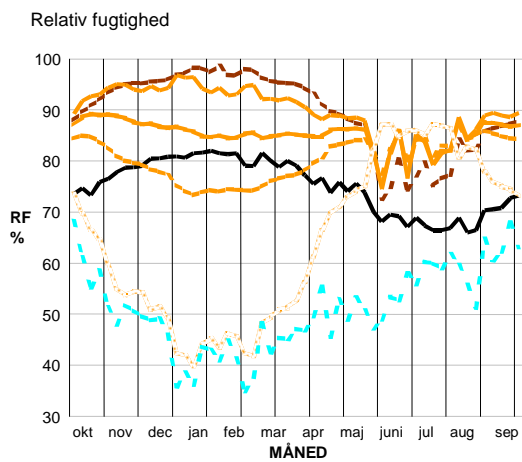
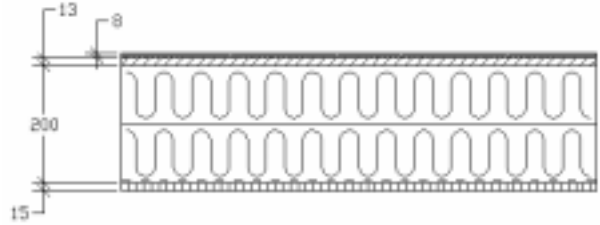
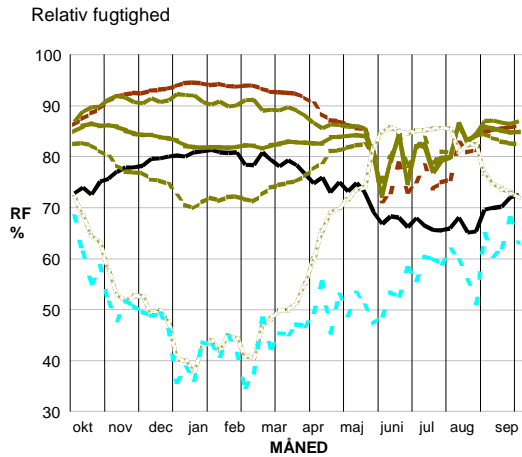
$GPa \cdot m^2 \cdot s/kg$

**Luftspalte :** Ingen

**Opbygning :** Tagpap, 12,5 mm krydsfiner, 200 mm isol., dampspærre, 15 mm gips

**Andet :**

**Dampspærre/bremse:** Dampspærre Z = 375





## 6. Fladt tag med dampbremse

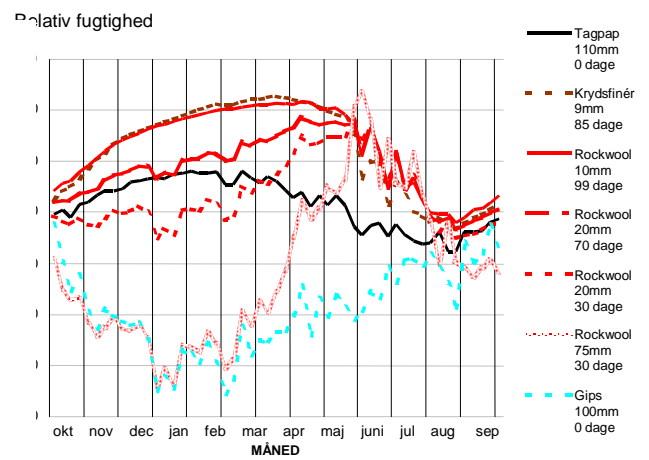
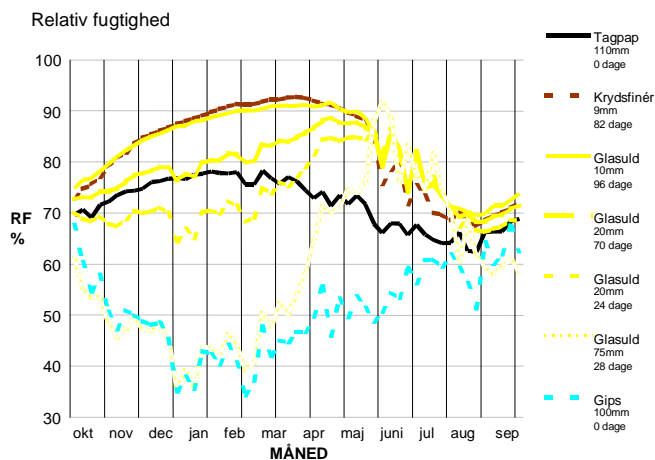
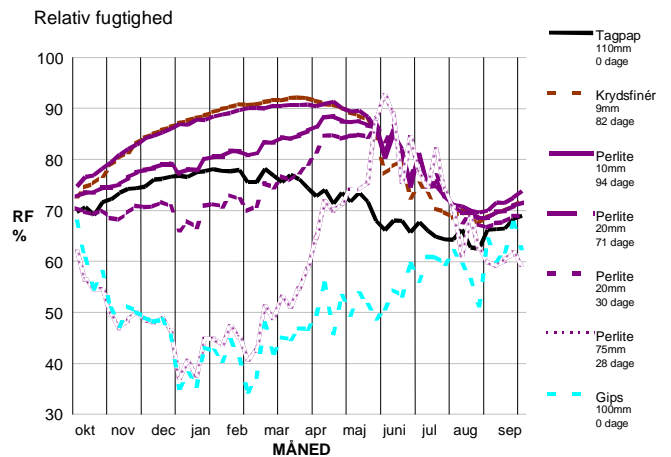
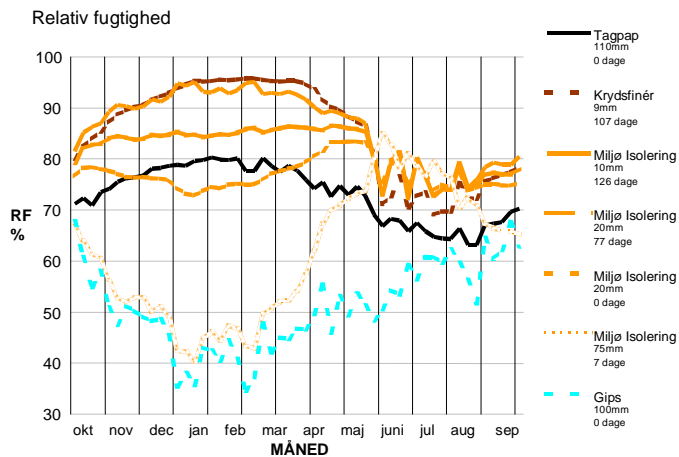
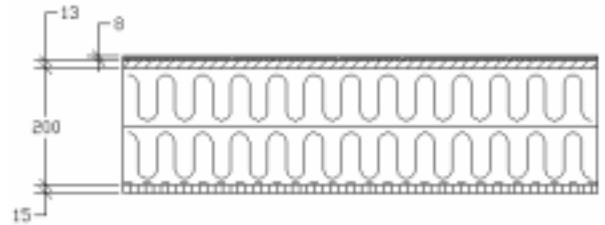
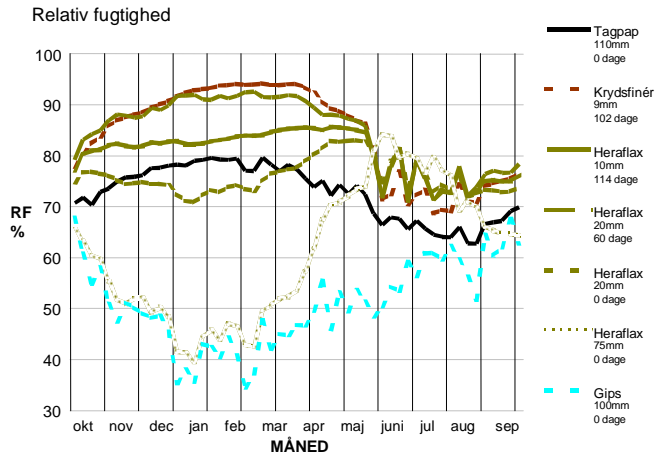
**Konstruktion :** Fladt tag

**Luftspalte :** Ingen

**Opbygning :** Tagpap, 12,5 mm krydsfiner, 200 mm isol., dampbremse, 15 mm gips

**Andet :**

**Dampspærre/bremse:** Dampbremse  $Z = 9,7 \text{ GPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s/kg}$



## 7. Parallelt tag med dampspærre

**Konstruktion :** Parallelt tag 45°

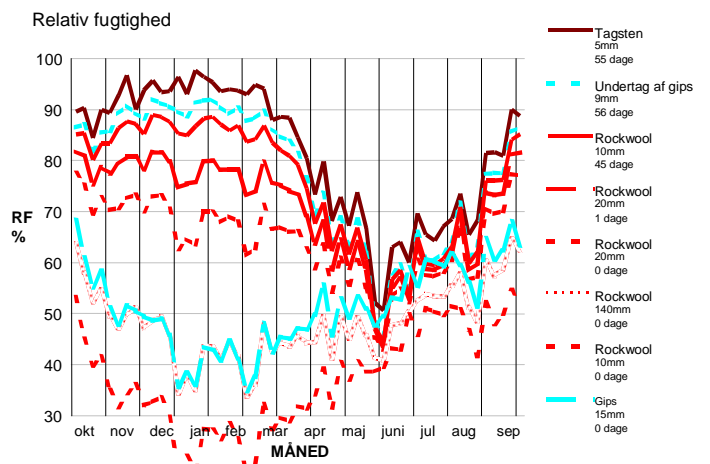
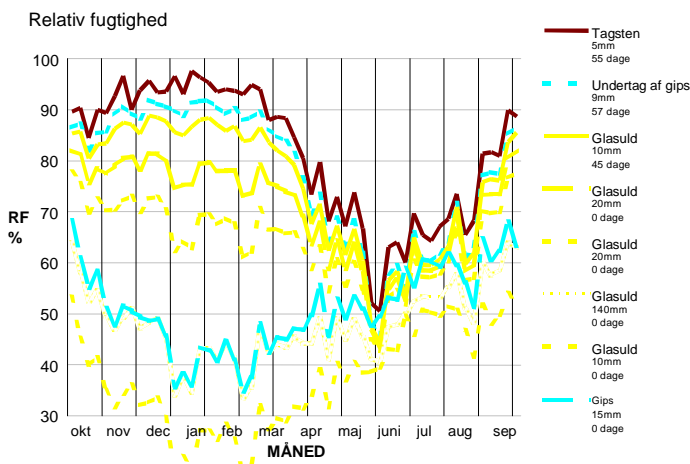
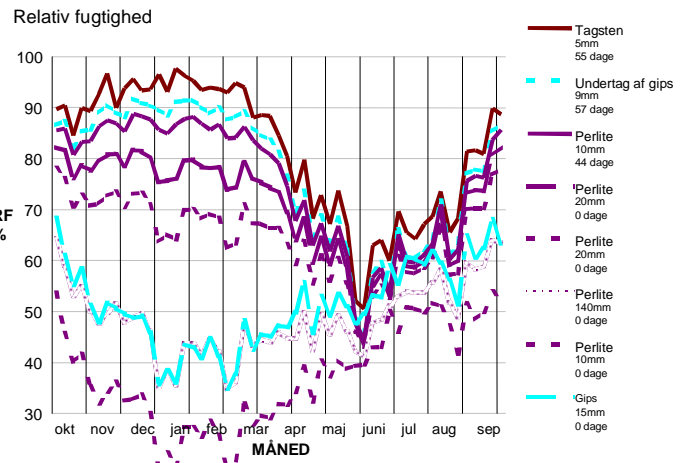
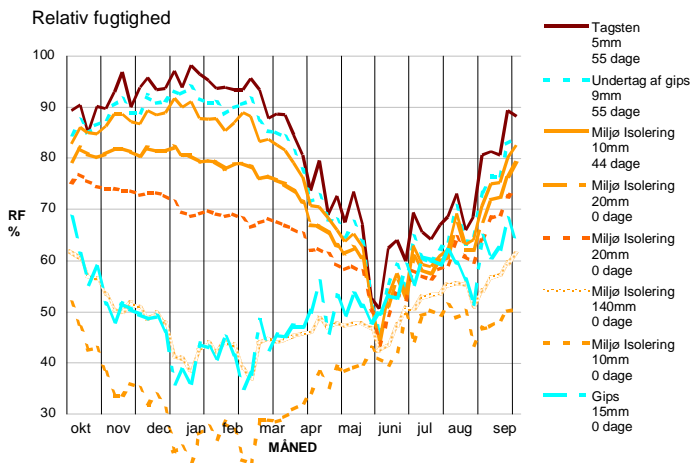
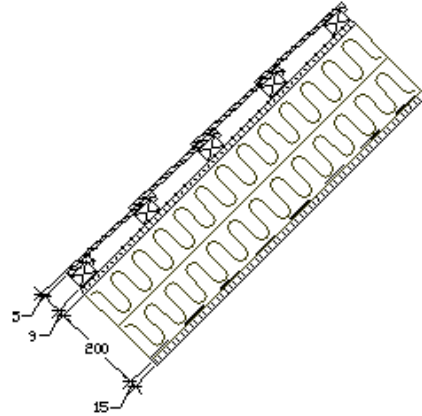
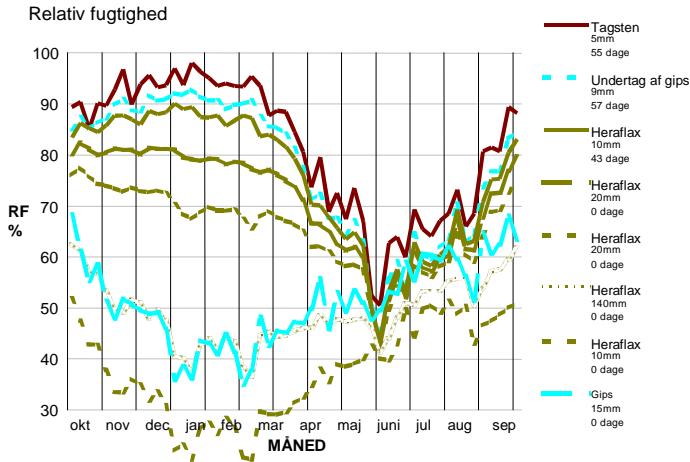
**Dampspærre/bremse:** Dampspærre Z = 375

GPa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Luftspalte :** Bag tegl

**Opbygning :** Tegl, luft, 9 mm gips, 200 mm isol., dampspærre, 15 mm gips

**Andet :**



# 8. Parallelt tag med dampbremse

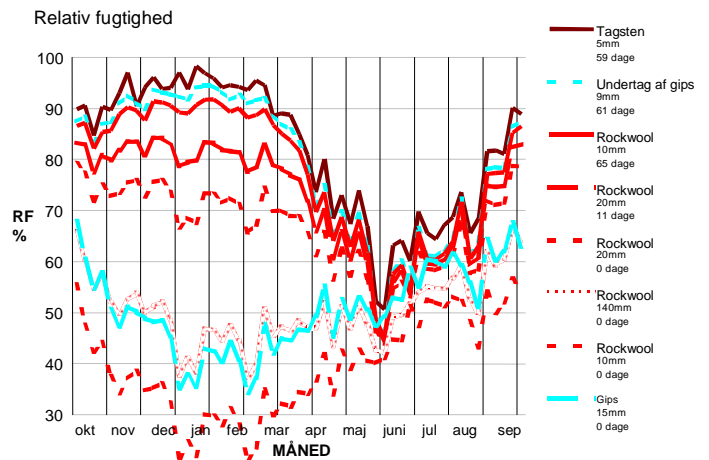
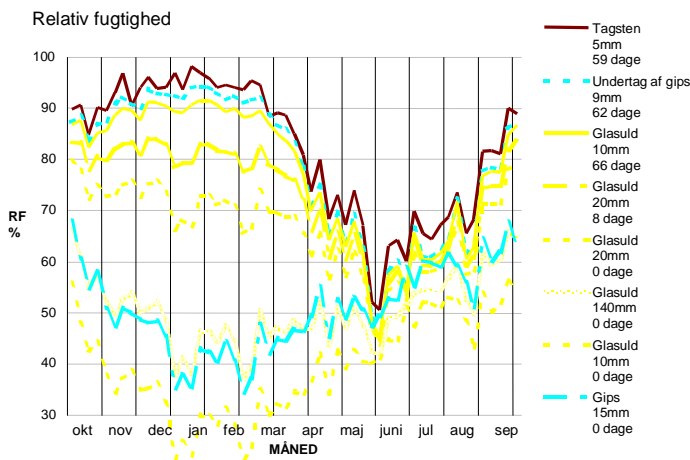
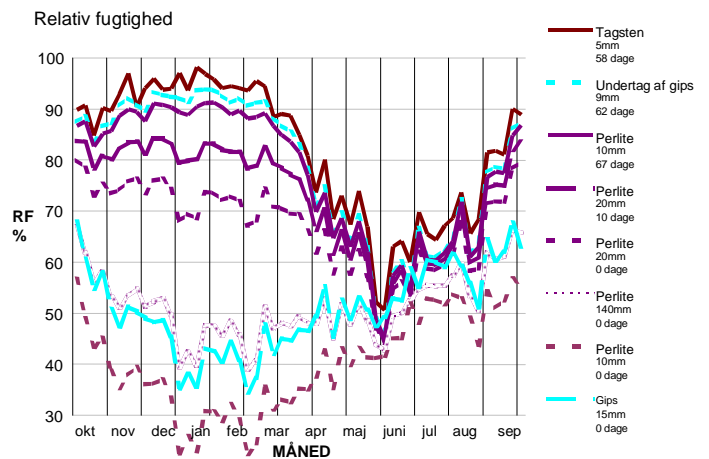
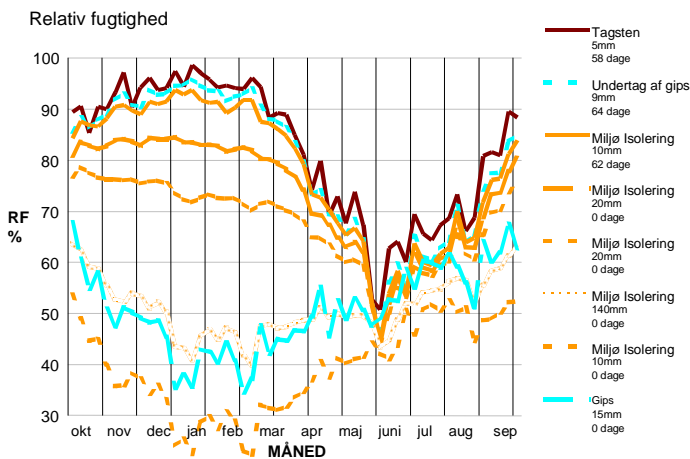
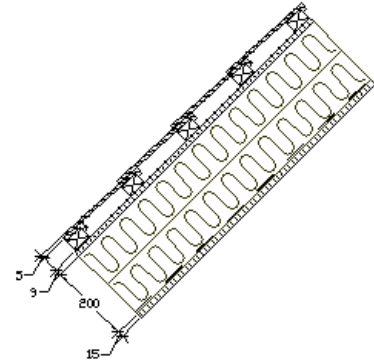
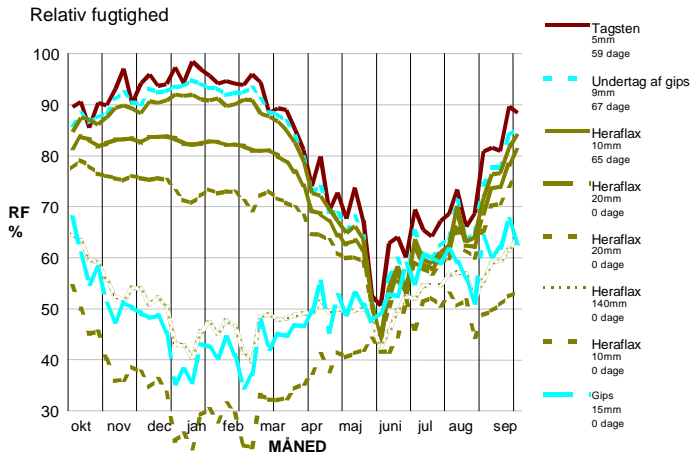
**Konstruktion :** Parallelt tag

**Dampspærre/bremse:** Dampbremse Z = 9,7 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Luftspalte :** Bag tegl

**Opbygning :** Tegl, luft, 9 mm gips, 200 mm isol., dampbremse, 15 mm gips

**Andet :**



# 9. Ventileret loftskonstruktion med dampspærre

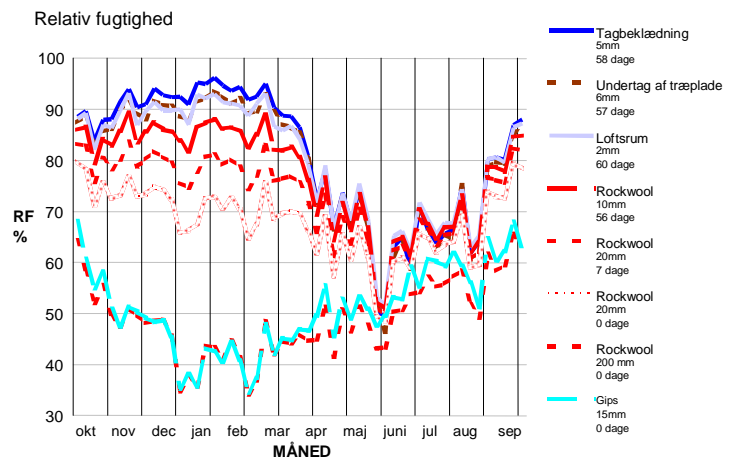
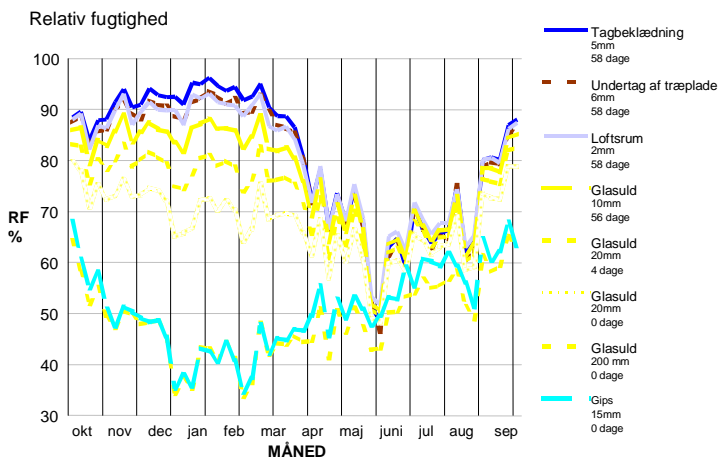
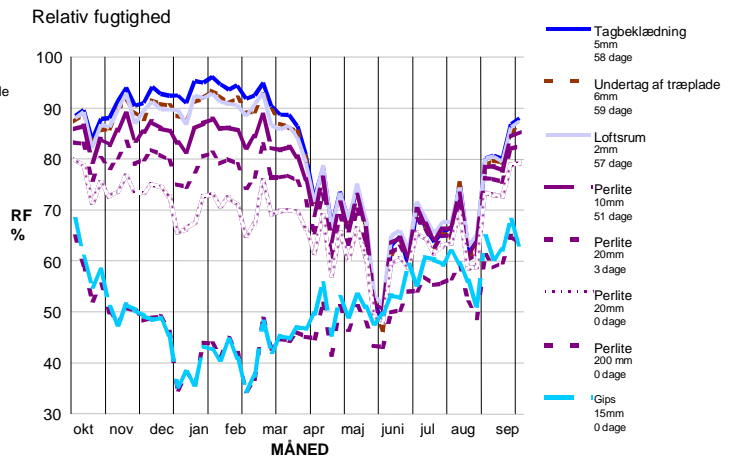
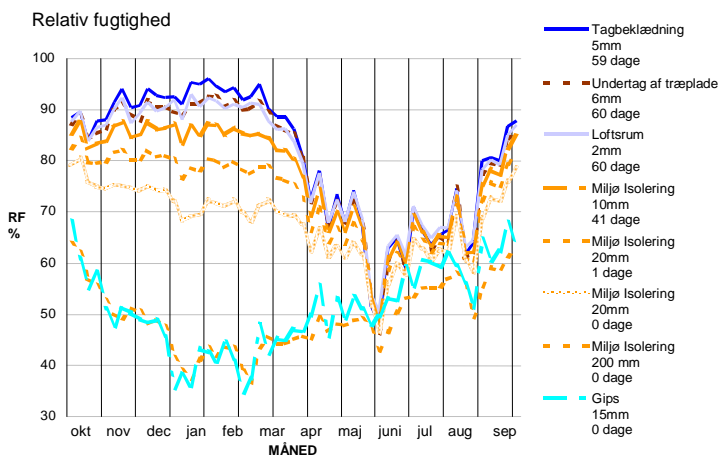
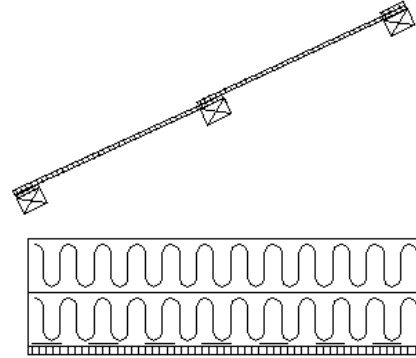
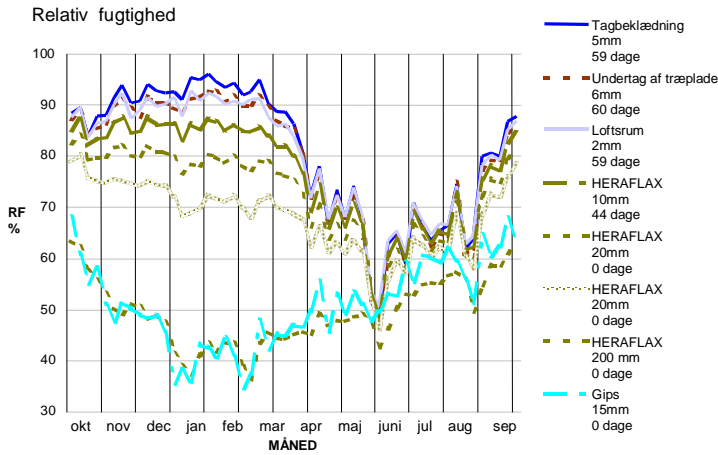
**Konstruktion :** Loft, tag 26°

**Dampspærre/bremse:** Dampspærre Z = 375 Pa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Lofstrum :** Ventileret med et luftskifte på 3 gange i timen.

**Opbygning :** Fibercementplader på lægter, loftsrum, 250 mm isol., dampspærre, 15 mm gips

**Andet :** Korrigeret for fugtkapaciteten af spær/gangbro.



# 10. Ventilert loftskonstruktion med dampbremse

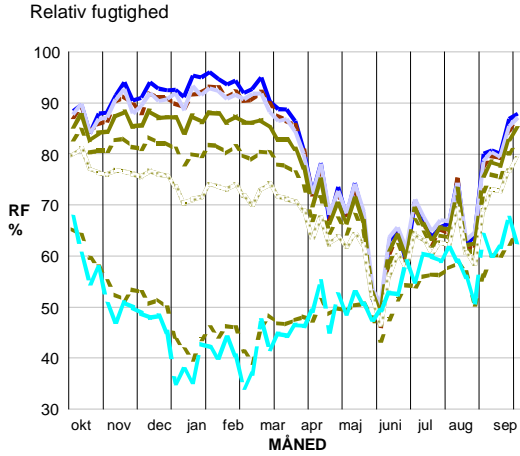
**Konstruktion :** Loft, tag 26°

**Dampspærre/bremse:** Dampbremse Z = 9.7 Pa·m<sup>2</sup>·s/kg

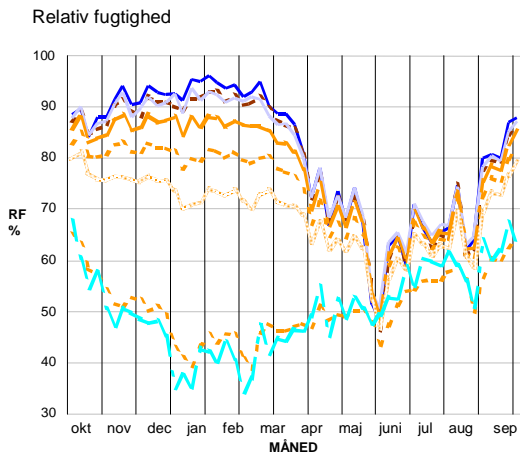
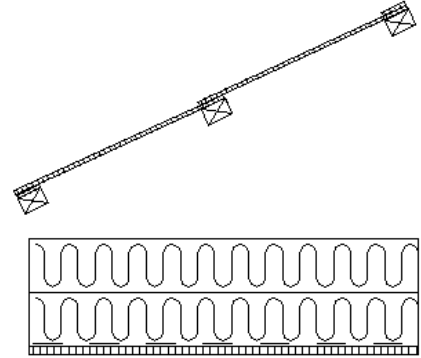
**Loftsrum :** Ventilert med et luftskifte på 3 gange i timen.

**Opbygning :** Fibercementplader på lægter, loftsrum, 250 mm isol., dampbremse, 15 mm gips

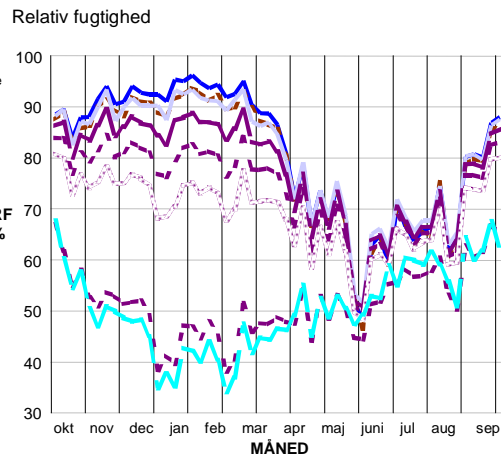
**Andet :** Korrigeret for fugtkapaciteten af spær/gangbro



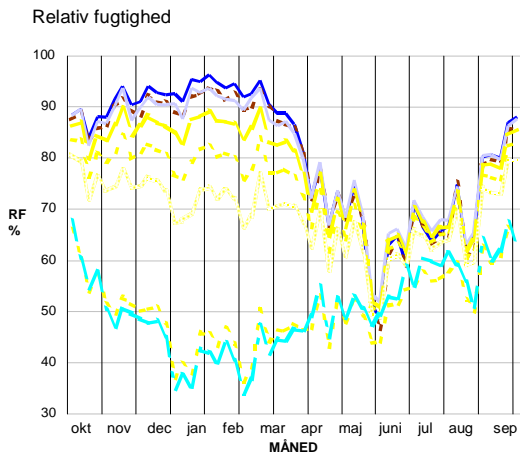
- Tagbeklædning  
5mm  
59 dage
- - Undertag af træplade  
6mm  
60 dage
- Loftsrumsrum  
2mm  
60 dage
- Heraflax  
10mm  
52 dage
- - Heraflax  
20mm  
3 dage
- ... Heraflax  
20mm  
0 dage
- - Heraflax  
200mm  
0 dage
- Gips  
15mm  
0 dage



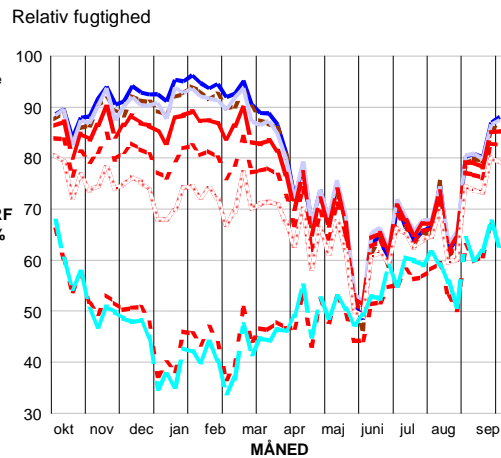
- Tagbeklædning  
5mm  
59 dage
- - Undertag af træplade  
6mm  
60 dage
- Loftsrumsrum  
2mm  
61 dage
- Miljø Isolering  
10mm  
51 dage
- - Miljø Isolering  
20mm  
4 dage
- ... Miljø Isolering  
20mm  
0 dage
- - Miljø Isolering  
200mm  
0 dage
- Gips  
15mm  
0 dage



- Tagbeklædning  
5mm  
59 dage
- - Undertag af træplade  
6mm  
59 dage
- Loftsrumsrum  
2mm  
61 dage
- Perlite  
10mm  
57 dage
- - Perlite  
20mm  
11 dage
- ... Perlite  
20mm  
0 dage
- - Perlite  
200mm  
0 dage
- Gips  
15mm  
0 dage



- Tagbeklædning  
5mm  
59 dage
- - Undertag af træplade  
6mm  
60 dage
- Loftsrumsrum  
2mm  
63 dage
- Glasuld  
10mm  
61 dage
- - Glasuld  
20mm  
7 dage
- ... Glasuld  
20mm  
0 dage
- - Glasuld  
200mm  
0 dage
- Gips  
15mm  
0 dage



- Tagbeklædning  
5mm  
58 dage
- - Undertag af træplade  
6mm  
60 dage
- Loftsrumsrum  
2mm  
64 dage
- Rockwool  
10mm  
61 dage
- - Rockwool  
20mm  
14 dage
- ... Rockwool  
20mm  
0 dage
- - Rockwool  
200mm  
0 dage
- Gips  
15mm  
0 dage

# 11. Træskeletvæg med dampspærre, beregnet med øget fugttilskud indendørs

**Konstruktion :** Let væg

**Dampspærre/bremse:** Dampspærre Z = 375

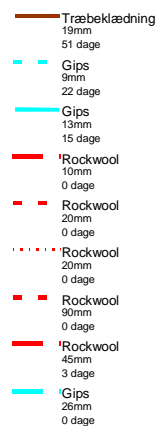
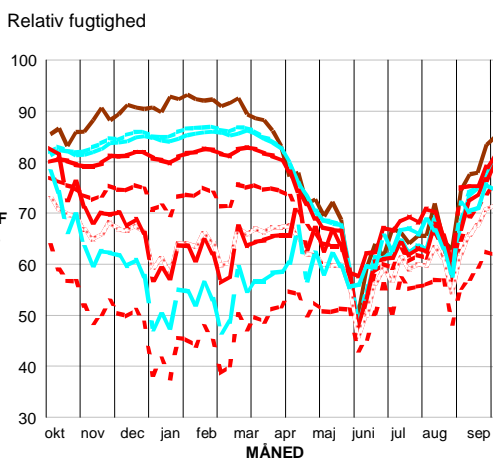
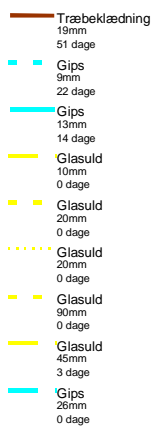
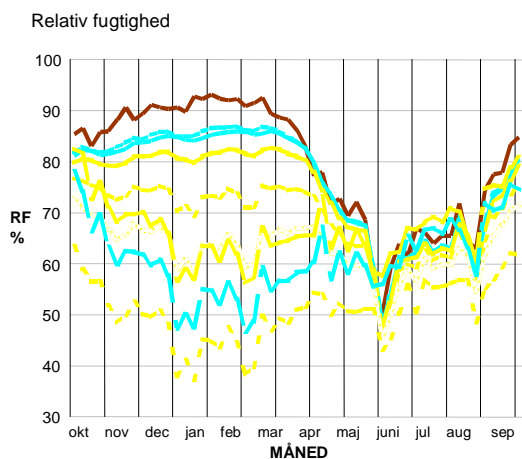
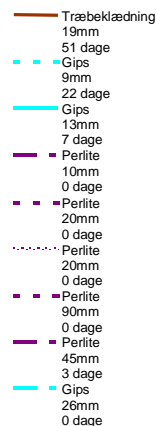
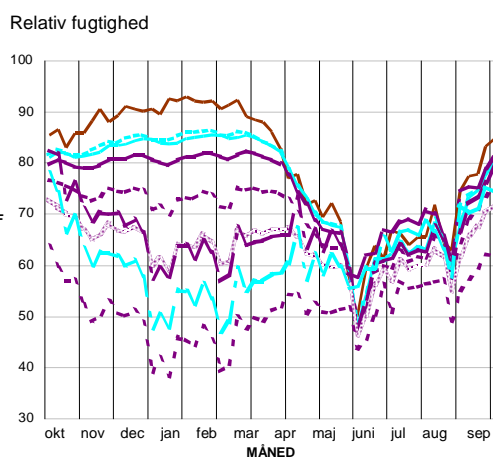
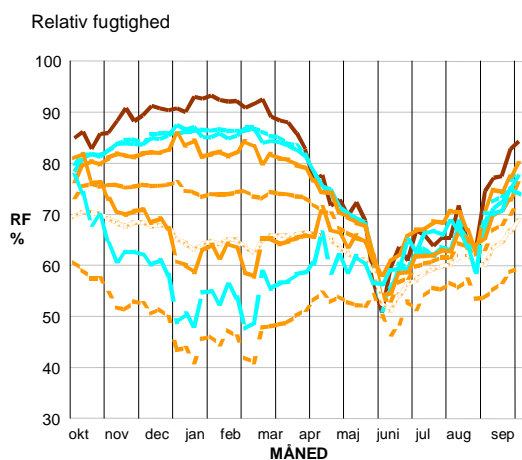
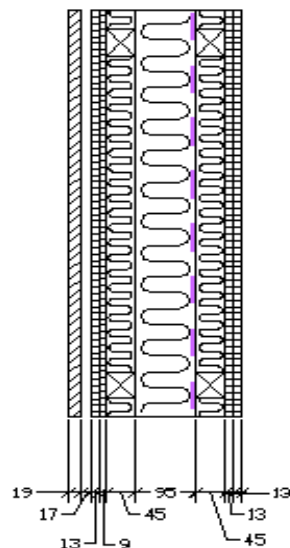
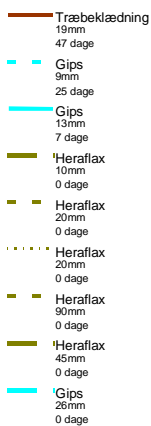
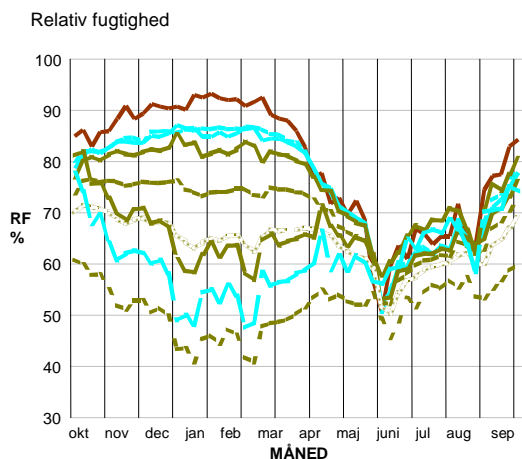
GPa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Luftspalte :** 20 mm luft

**Opbygning :** 19 mm træ, 20 mm luft, 9+13 mm gips, 140 mm isol., dampspærre, 45 mm isol., 13+13 mm gips

**Andet :** Fugttilskuddet i indeklimaet er forhøjet (3,3-5,0 g/m<sup>3</sup>).

Z-værdien er for træbeklædning = 0,5 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg.



## 12. Træskeletvæg med dampbremse, beregnet med øget fugttilskud indendørs

**Konstruktion** : Let væg

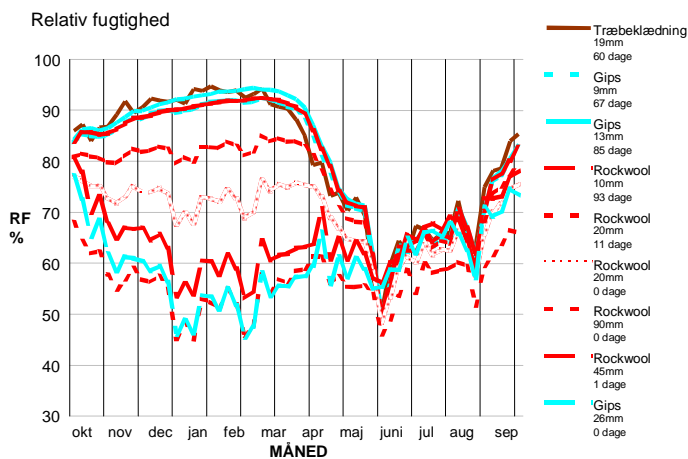
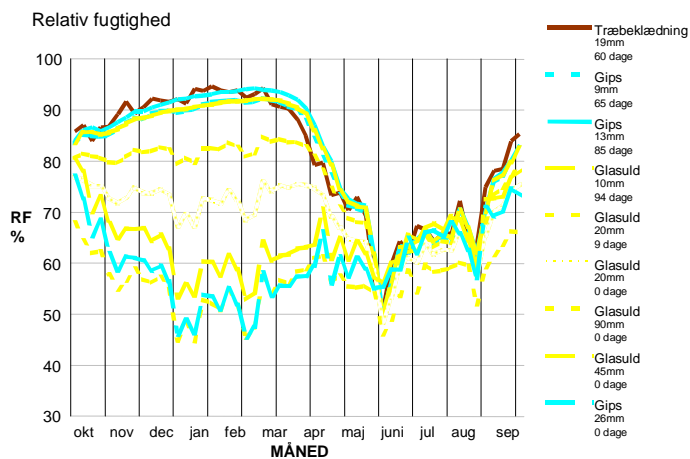
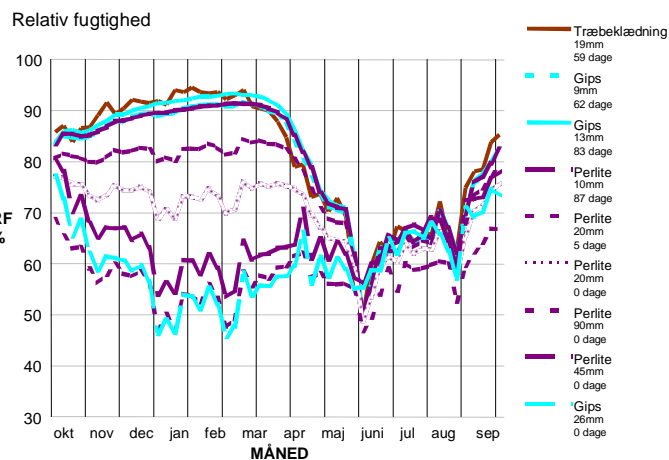
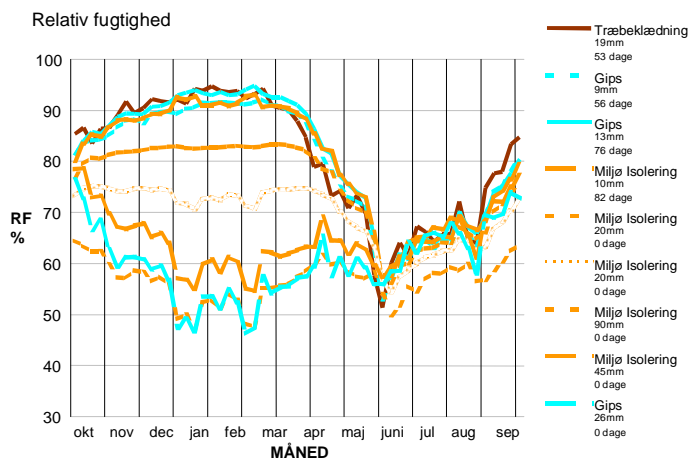
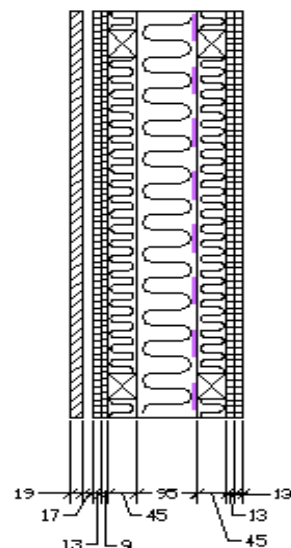
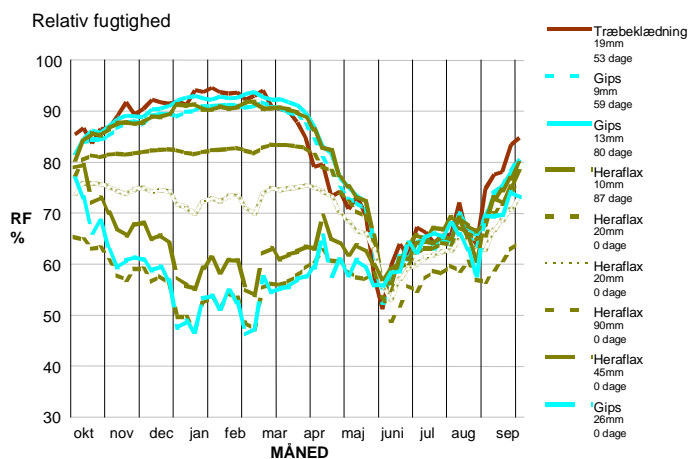
**Dampspærre/bremse**: Dampbremse  $Z = 9,7 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$

**Luftspalte** : 20 mm luft

**Opbygning** : 19 mm træ, 20 mm luft, 9+13 mm gips, 140 mm isol., dampbremse, 45 mm isol., 13+13 mm gips

**Andet** : Fugttilskuddet i indeklimaet er forhøjet ( $3,3 - 5,0 \text{ g}/\text{m}^3$ )

Z-værdien er for træbeklædningen =  $0,5 \text{ GPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}/\text{kg}$ .



### 13. Træskeletvæg med dampbremse, beregnet med eksfiltration 0,1 l/m<sup>2</sup>s.

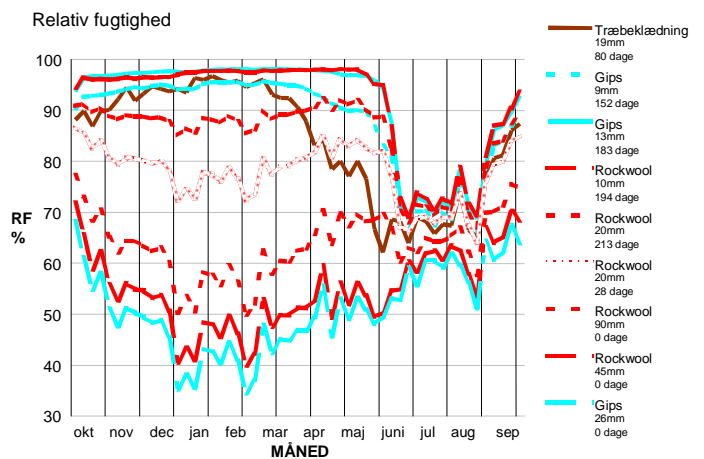
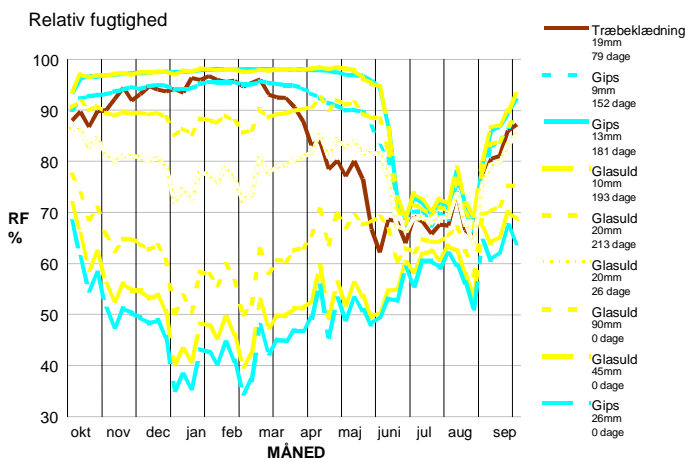
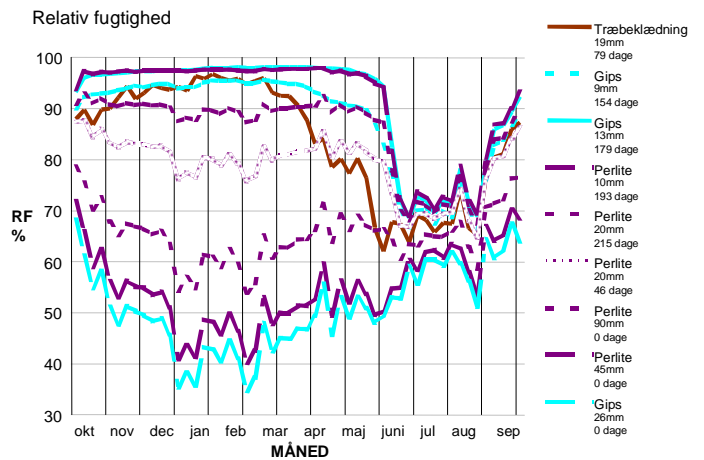
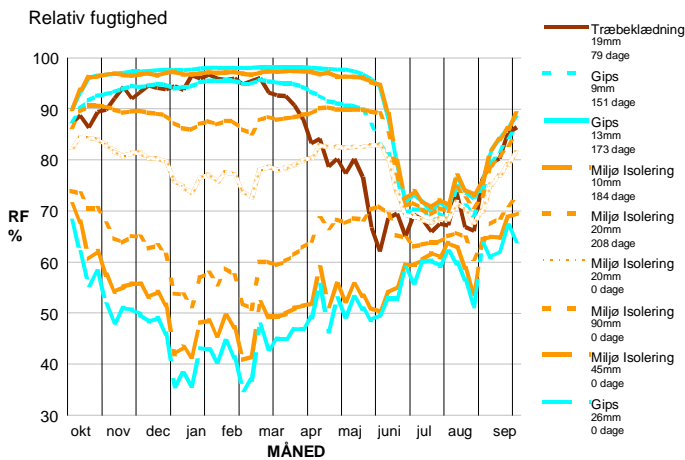
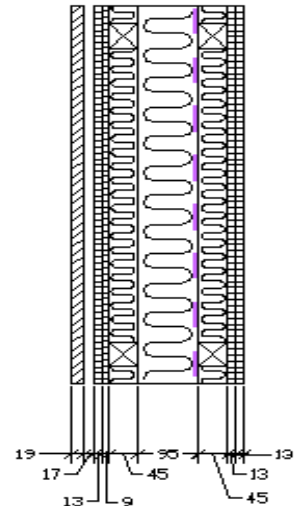
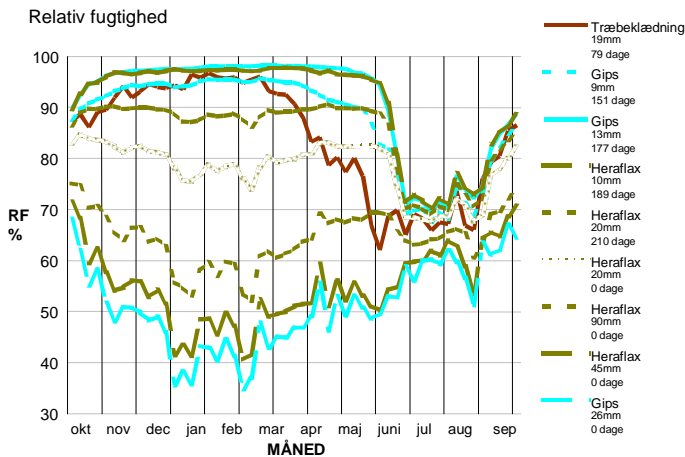
**Konstruktion** : Let væg

**Dampspærre/bremse**: Dampbremse Z = 9,7 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg

**Luftspalte** : 20 mm luft,

**Opbygning** : 19 mm træ, 20 mm luft, 9+13 mm gips, 140 mm isol., dampbremse, 45 mm isol., 13+13 mm gips

**Andet** : Konstruktionen er beregnet med eksfiltration på 0,1 l/m<sup>2</sup>s  
Z-værdien er for træbeklædning = 0,5 GPa·m<sup>2</sup>·s/kg





## Appendiks B. Udskrift af materialebiblioteket for MATCH

### MATLIB.DAT for MATCH ver. 1.5

MATERIALS WITH WELL DEFINED THICKNESS AND HYGROTHERMAL CAPACITY

```
Mat.name 1          default  solar      longwave
          thickness absorpt.  emissivity
*' and    delx      Absorp   Emiss
8 chars.  digit 1   [m]      [-]      [-]

{ Thermal properties }

dry       thermal  freez.pnt thermal  water dep ice dep.  temp. dep.
density  capacity depress.  cond.      lambda    lambda    lambda
ro       cp       dtfreez  lambda10  lambdauw  lambdaui  tclambda
[kg/m3]  [J/(kg·K)][K]      [W/(m·K)] [W/(m·K)] [W/(m·K)] [W/(m·K2)]

{ Vapour transport and storage properties }

DELTAL_X RH-entries in delta-RH curve (for the hygroscopic region) [-].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
DELTAL_Y Vapour perm. entries ("delta") in delta-RH curve [kg/(m·s·Pa)].
List with same number of elements as DELTAL_X (no terminator)

DELTAH_X u-entries in delta-u curve (for the over-hygroscopic region) [kg/kg].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
DELTAH_Y Vapour perm. entries ("delta") in delta-u curve [kg/(m·s·Pa)].
List with same number of elements as DELTAH_X (no terminator)

ABSORP_X RH-entries in sorption curve (u-RH) (for absorption) [-].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
ABSORP_Y Moisture content entries ("u") in absorption curve [kg/kg].
List with same number of elements as ABSORP_X (no terminator)

DESORP_X RH-entries in sorption curve (u-RH) (for desorption) [-].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
DESORP_Y Moisture content entries ("u") in desorption curve [kg/kg].
List with same number of elements as DESORP_X (no terminator)

{ Liquid transport and storage properties }

critical  capillary vacuum
moist.cnt moist.cnt moist.cnt
ucr       ucap      uvac
[kg/kg]   [kg/kg]   [kg/kg]

HYDCND_X u-entries in hydraulic conductivity's depend. on MC (Kliq-u) [kg/kg].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
HYDCND_Y Hydr.cond. entries ("Kliq") in Kliq-u curve [kg/(m·s·Pa)].
List with same number of elements as HYDCND_X (no terminator)

SUCABS_X ln(PSuc)-entries in suction curve for moisture absorption ln[Pa].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
SUCABS_Y Moisture content entries in u-ln(PSuc) absorption curve [kg/kg].
List with same number of elements as SUCABS_X (no terminator)

SUCDRY_X ln(PSuc)-entries in suction curve for drying ln[Pa].
List of one to n numbers terminated with an asterisk *
SUCDRY_Y Moisture content entries in u-ln(PSuc) absorption curve [kg/kg].
List with same number of elements as SUCDRY_X (no terminator)

{ Comments }

Comment lines. At least one (which is indented one whitespace) is mandatory.
-----
```

MATERIALS WITHOUT CAPACITIES (SINGLE RESISTANCES)

Mat.name 0 thermal vapour  
 resistnce resistance  
 '\*' and R Z  
 8 chars. digit 0 [m²K/W] [Pam²s/kg]

{ Comments }

Comment lines. At least one (which is indented one whitespace) is mandatory.

-----  
 \$WOOD BASED PRODUCTS

|          |          |          |        |        |        |        |          |
|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|----------|
| *PINE    | 1        | 0.019    | 0.77   | 0.9    |        |        |          |
| 510.0    | 2500.0   | 7.0      | 0.12   | 0.17   | 0.21   | 0.0    |          |
| DELTA_X  | 0.60 *   |          |        |        |        |        |          |
| DELTA_Y  | 3.8E-11  |          |        |        |        |        |          |
| DELTAH_X | 0.2921 * |          |        |        |        |        |          |
| DELTAH_Y | 1.5E-11  |          |        |        |        |        |          |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.2075   | 0.434  | 0.658  | 0.860  | 0.9565 | 0.9835 * |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.0595   | 0.0925 | 0.1225 | 0.1795 | 0.2425 | 0.294    |
| DESORP_X | 0.0      | 0.203    | 0.455  | 0.6577 | 0.802  | 0.900  | 0.948 *  |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.068    | 0.115  | 0.1493 | 0.195  | 0.2323 | 0.2707   |
| 0.350    | 0.310    | 1.340    |        |        |        |        |          |
| HYDCND_X | 0.31 *   |          |        |        |        |        |          |
| HYDCND_Y | 1.0E-50  |          |        |        |        |        |          |
| SUCABS_X | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |        |          |
| SUCABS_Y | 0.310    | 0.2873   |        |        |        |        |          |
| SUCDRY_X | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |        |          |
| SUCDRY_Y | 1.34     | 0.2963   |        |        |        |        |          |

Pine, 510 kg/m3,  $\lambda=0.12$  W/mK,  $\delta=1.5E-12 / 1.5E-11$  kg/msPa, Z is 0,5 for 19mm  
 Vap.Perm:  
 Sorption: KKH->LA (Pine).  
 HydrCond: Dummy values (liquid flow not active)  
 Suction : Dummy values  
 CAR 940809

|          |          |         |          |          |          |          |         |
|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|
| *PLYWOOD | 1        | 0.0125  | 0.77     | 0.9      |          |          |         |
| 525.0    | 2500.0   | 7.0     | 0.13     | 0.17     | 0.21     | 0.0      |         |
| DELTA_X  | 0.0      | 0.6     | 0.98*    |          |          |          |         |
| DELTA_Y  | 2.5E-12  | 2.5E-12 | 1.0E-11  |          |          |          |         |
| DELTAH_X | 0.2725 * |         |          |          |          |          |         |
| DELTAH_Y | 1.0E-11  |         |          |          |          |          |         |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.201   | 0.4295   | 0.650    | 0.850    | 0.9475   | 0.971 * |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.0625  | 0.0955   | 0.1285   | 0.1795   | 0.2355   | 0.274   |
| DESORP_X | 0.0      | 0.2025  | 0.4445   | 0.651    | 0.7965   | 0.899    | 0.947 * |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.073   | 0.116    | 0.155    | 0.1975   | 0.2415   | 0.2725  |
| 0.35     | 1.00     | 1.28    |          |          |          |          |         |
| HYDCND_X | 0.0      | 0.349   | 0.35     | 1.0      | 1.28*    |          |         |
| HYDCND_Y | 1.0E-50  | 1.0E-50 | 2.19E-14 | 4.91E-14 | 4.91E-14 |          |         |
| SUCABS_X | -10.0    | 0.5     | 1.0      | 2.0      | 4.0      | 8.0      | 10.0    |
|          | 10.5     | 11.0    | 11.5     | 12.0     | 12.5     | 13.0     | 13.5    |
|          | 14.0     | 14.5    | 14.7857* |          |          |          |         |
| SUCABS_Y | 0.9999   | 0.7826  | 0.7207   | 0.6411   | 0.5389   | 0.4075   | 0.3577  |
|          | 0.3463   | 0.3352  | 0.3244   | 0.3140   | 0.3038   | 0.2938   | 0.292   |
|          | 0.2905   | 0.2895  | 0.2887   |          |          |          |         |
| SUCDRY_X | -10.0    | 8.0     | 10.0     | 10.5     | 11.0     | 11.5     | 12.0    |
|          | 12.5     | 13.0    | 13.5     | 14.0     | 14.5     | 14.7858* |         |
| SUCDRY_Y | 1.28     | 1.279   | 1.2787   | 1.2746   | 1.2587   | 1.2064   | 1.0738  |
|          | 0.8401   | 0.5377  | 0.3771   | 0.3253   | 0.3050   | 0.2938   |         |

Plywood, 525 kg/m3,  $\lambda=0.13$  W/mK,  $\delta=2.5E-12 / 1.0E-11$  kg/msPa  
 Vap.Perm:  
 Sorption: KKH->LA (Plywood).  
 HydrCond:  
 Suction :  
 CAR 940724

|          |          |         |          |          |          |          |         |
|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|
| *PLYW_3  | 1        | 0.0125  | 0.77     | 0.9      |          |          |         |
| 525.0    | 2500.0   | 7.0     | 0.13     | 0.17     | 0.21     | 0.0      |         |
| DELTA_X  | 0.0      | 0.6     | 0.98*    |          |          |          |         |
| DELTA_Y  | 2.7E-12  | 2.7E-12 | 1.1E-11  |          |          |          |         |
| DELTAH_X | 0.2725 * |         |          |          |          |          |         |
| DELTAH_Y | 1.0E-11  |         |          |          |          |          |         |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.201   | 0.4295   | 0.650    | 0.850    | 0.9475   | 0.971 * |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.0313  | 0.0478   | 0.064    | 0.09     | 0.12     | 0.137   |
| DESORP_X | 0.0      | 0.2025  | 0.4445   | 0.651    | 0.7965   | 0.899    | 0.947 * |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.037   | 0.058    | 0.078    | 0.100    | 0.121    | 0.136   |
| 0.35     | 1.00     | 1.28    |          |          |          |          |         |
| HYDCND_X | 0.0      | 0.349   | 0.35     | 1.0      | 1.28*    |          |         |
| HYDCND_Y | 1.0E-50  | 1.0E-50 | 2.19E-14 | 4.91E-14 | 4.91E-14 |          |         |
| SUCABS_X | -10.0    | 0.5     | 1.0      | 2.0      | 4.0      | 8.0      | 10.0    |
|          | 10.5     | 11.0    | 11.5     | 12.0     | 12.5     | 13.0     | 13.5    |
|          | 14.0     | 14.5    | 14.7857* |          |          |          |         |
| SUCABS_Y | 0.9999   | 0.7826  | 0.7207   | 0.6411   | 0.5389   | 0.4075   | 0.3577  |
|          | 0.3463   | 0.3352  | 0.3244   | 0.3140   | 0.3038   | 0.2938   | 0.292   |
|          | 0.2905   | 0.2895  | 0.2887   |          |          |          |         |
| SUCDRY_X | -10.0    | 8.0     | 10.0     | 10.5     | 11.0     | 11.5     | 12.0    |
|          | 12.5     | 13.0    | 13.5     | 14.0     | 14.5     | 14.7858* |         |
| SUCDRY_Y | 1.28     | 1.279   | 1.2787   | 1.2746   | 1.2587   | 1.2064   | 1.0738  |
|          | 0.8401   | 0.5377  | 0.3771   | 0.3253   | 0.3050   | 0.2938   |         |

Plywood, 525 kg/m3, adjusted for pitched roof 26 deegrees  
Vap.Perm:  
Sorption: KKH->LA (Plywood).  
HydrCond:  
Suction :  
CAR 940724  
\$

\$ALTERNATIVE INSULATION

|           |          |          |       |       |       |       |       |
|-----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| *HERAFLAX | 1        | 0.045    | 0.6   | 0.9   |       |       |       |
| 30.00     | 1382.0   | 5.0      | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |       |
| DELTA_X   | 0.72 *   |          |       |       |       |       |       |
| DELTA_Y   | 1.50E-10 |          |       |       |       |       |       |
| DELTAH_X  | 0.8466 * |          |       |       |       |       |       |
| DELTAH_Y  | 1.67E-10 |          |       |       |       |       |       |
| ABSORP_X  | 0.03     | 0.09     | 0.15  | 0.25  | 0.55  | 0.85  | 0.90  |
|           | 0.94     | 0.96 *   |       |       |       |       |       |
| ABSORP_Y  | 0.032    | 0.040    | 0.047 | 0.055 | 0.084 | 0.173 | 0.276 |
|           | 0.452    | 0.955    |       |       |       |       |       |
| DESORP_X  | 0.03     | 0.09     | 0.15  | 0.25  | 0.55  | 0.85  | 0.90  |
|           | 0.94     | 0.96 *   |       |       |       |       |       |
| DESORP_Y  | 0.033    | 0.041    | 0.048 | 0.056 | 0.085 | 0.174 | 0.28  |
|           | 0.47     | 0.965    |       |       |       |       |       |
| 0.8466    | 10.99    | 11.86    |       |       |       |       |       |
| HYDCND_X  | 0.8466 * |          |       |       |       |       |       |
| HYDCND_Y  | 1.0E-50  |          |       |       |       |       |       |
| SUCABS_X  | -10.0    | 14.786 * |       |       |       |       |       |
| SUCABS_Y  | 10.99    | 0.8458   |       |       |       |       |       |
| SUCDRY_X  | -10.0    | 14.786 * |       |       |       |       |       |
| SUCDRY_Y  | 11.86    | 0.8466   |       |       |       |       |       |

Heraflax insulation, 30 Kg/m3  
Sorption: KKH, (average of DESORP and ABSORP is used)  
Vap.Perm: KKH,  
cp = 1382 [J/kg K], from cellulose, NIST  
lambda = 0.036 Heraflax (pratical),  
T\_freeze; ucr; absorptance; emissivity; from cellulose1  
HydrCond: Dummy values (liquid flow not active)  
Suction : Dummy values  
N.T. Rasmussen 990420

```

*MILJØISO 1          0.045    0.6      0.9
40.00  1850.0      5.0      0.040    0.000    0.000    0.000
DELTA_X 0.72*
DELTA_Y 2.0E-10
DELTAH_X 0.8466 *
DELTAH_Y 1.67E-10
ABSORP_X 0.03      0.06      0.09      0.12      0.15      0.25      0.35
          0.45      0.55      0.65      0.75      0.85      0.90      0.92
          0.94      0.96 *
ABSORP_Y 0.017     0.024     0.028     0.031     0.035     0.046     0.056
          0.066     0.076     0.094     0.120     0.160     0.194     0.216
          0.255     0.402
DESORP_X 0.00      0.03      0.09      0.15      0.25      0.55      0.85
          0.90      0.94      0.96 *
DESORP_Y 0.0      0.00331   0.0186    0.0305    0.0417    0.0849    0.176
          0.219     0.275     0.402
0.8466  10.99      11.86
HYDCND_X 0.8466 *
HYDCND_Y 1.0E-50
SUCABS_X -10.0     14.786 *
SUCABS_Y 10.99     0.8458
SUCDRY_X -10.0     14.786 *
SUCDRY_Y 11.86     0.8466
Cellulose insulation, Miljøisolering med salte, 40 kg/m3
Sorpton: KKH,
Vap.Perm: KKH,
cp = 1850 [J/kg K], (EKOFIBER)
lambda10 = 0.040
T_freeze; ucr; absorptance; emissivity; from cellulose1
HydrCond: Dummy values (liquid flow not active)
Suction : Dummy values
N.T. Rasmussen 990420

```

```

*PERLITE 1          0.045    0.6      0.9
85.00  837.0      5.0      0.039    0.000    0.000    0.000
DELTA_X 0.259     0.723 *
DELTA_Y 0.95E-10  1.03E-10
DELTAH_X 0.94 *
DELTAH_Y 0.89E-10
ABSORP_X 0.45      0.55      0.65      0.75      0.85      0.90      0.92
          0.94      0.96 *
ABSORP_Y 0.000189  0.000505  0.00103   0.00172   0.00307   0.00507   0.00655
          0.00922   0.0172
DESORP_X 0.0      0.03      0.09      0.15      0.25      0.55      0.85
          0.90      0.94      0.96 *
DESORP_Y 0.0      0.000568  0.000779  0.000989  0.00120   0.00217   0.00400
          0.00535   0.00779   0.0172
0.8466  10.99      11.86
HYDCND_X 0.8466 *
HYDCND_Y 1.0E-50
SUCABS_X -10.0     14.786 *
SUCABS_Y 10.99     0.8458
SUCDRY_X -10.0     14.786 *
SUCDRY_Y 11.86     0.8466
PERLITE insulation(treatet with silicone), 85 Kg/m3
Sorpton: KKH, BKM
Vap.Perm: KKH, BKM
Thermal cond.: Nordisk Perlite
Cp, 837 [J/kg K], Nordisk Perlite
T_freeze; ucr; absorptance; emissivity; from cellulose1
HydrCond: Dummy values (liquid flow not active)
Suction : Dummy values
N.T. Rasmussen 990420

```

|                       |          |          |        |        |        |         |        |
|-----------------------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|
| *GW39(N)              | 1        | 0.10     | 0.55   | 0.9    |        |         |        |
| 16.0                  | 800.0    | 3.0      | 0.036  | 0.011  | 0.032  | 2.0E-04 |        |
| DELTA <sub>L</sub> _X | 0.72 *   |          |        |        |        |         |        |
| DELTA <sub>L</sub> _Y | 1.55E-10 |          |        |        |        |         |        |
| DELTA <sub>H</sub> _X | 0.0417 * |          |        |        |        |         |        |
| DELTA <sub>H</sub> _Y | 1.57E-10 |          |        |        |        |         |        |
| ABSORP_X              | 0.45     | 0.55     | 0.65   | 0.75   | 0.85   | 0.90    | 0.92   |
|                       | 0.94     | 0.96 *   |        |        |        |         |        |
| ABSORP_Y              | 0.0010   | 0.0016   | 0.0030 | 0.0056 | 0.0136 | 0.0239  | 0.0331 |
|                       | 0.0500   | 0.101    |        |        |        |         |        |
| DESORP_X              | 0.00     | 0.03     | 0.09   | 0.15   | 0.25   | 0.55    | 0.85   |
|                       | 0.90     | 0.94     | 0.96 * |        |        |         |        |
| DESORP_Y              | 0.00     | 0.0009   | 0.0020 | 0.0028 | 0.0035 | 0.0067  | 0.0179 |
|                       | 0.0265   | 0.0410   | 0.101  |        |        |         |        |
| 50.0                  | 50.0     | 55.0     |        |        |        |         |        |
| HYDCND_X              | 50.0 *   |          |        |        |        |         |        |
| HYDCND_Y              | 1.0E-50  |          |        |        |        |         |        |
| SUCABS_X              | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |         |        |
| SUCABS_Y              | 50.0     | 0.0253   |        |        |        |         |        |
| SUCDRY_X              | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |         |        |
| SUCDRY_Y              | 55.0     | 0.0433   |        |        |        |         |        |

Glass Wool, Class 39, 16 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.036$  W/mK,  $\delta=1.57E-10$  kg/msPa, (N)= new  
Vap.Perm:  
Sorption: KKH  
HydrCond: Dummy values (liquid flow not active)  
Suction : Dummy values  
N.T. Rasmussen 990420

|                       |          |          |        |        |        |         |        |
|-----------------------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|
| *RWABB(N)             | 1        | 0.05     | 0.55   | 0.9    |        |         |        |
| 32.0                  | 800.0    | 3.0      | 0.036  | 0.060  | 0.180  | 1.0E-04 |        |
| DELTA <sub>L</sub> _X | 0.26     | 0.725 *  |        |        |        |         |        |
| DELTA <sub>L</sub> _Y | 1.57E-10 | 1.7E-10  |        |        |        |         |        |
| DELTA <sub>H</sub> _X | 0.0158 * |          |        |        |        |         |        |
| DELTA <sub>H</sub> _Y | 1.35E-10 |          |        |        |        |         |        |
| ABSORP_X              | 0.00     | 0.060    | 0.090  | 0.12   | 0.15   | 0.25    | 0.35   |
|                       | 0.45     | 0.55     | 0.65   | 0.75   | 0.85   | 0.90    | 0.92   |
|                       | 0.94     | 0.96 *   |        |        |        |         |        |
| ABSORP_Y              | 0.00     | 0.0001   | 0.0003 | 0.0004 | 0.0007 | 0.0011  | 0.0013 |
|                       | 0.0016   | 0.0021   | 0.0023 | 0.0026 | 0.0031 | 0.0041  | 0.0046 |
|                       | 0.0054   | 0.0087   |        |        |        |         |        |
| DESORP_X              | 0.00     | 0.03     | 0.09   | 0.15   | 0.25   | 0.55    | 0.85   |
|                       | 0.90     | 0.94     | 0.96 * |        |        |         |        |
| DESORP_Y              | 0.00     | 0.0007   | 0.0010 | 0.0015 | 0.0017 | 0.0031  | 0.0042 |
|                       | 0.0049   | 0.0056   | 0.0087 |        |        |         |        |
| 9.0                   | 9.0      | 9.6      |        |        |        |         |        |
| HYDCND_X              | 9.0 *    |          |        |        |        |         |        |
| HYDCND_Y              | 1.0E-50  |          |        |        |        |         |        |
| SUCABS_X              | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |         |        |
| SUCABS_Y              | 9.0      | 0.0081   |        |        |        |         |        |
| SUCDRY_X              | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |         |        |
| SUCDRY_Y              | 9.6      | 0.0161   |        |        |        |         |        |

Rockwool, A-Base Board, 32 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.036$  W/mK,  $\delta=1.35E-10$  kg/msPa, (N)= new  
Vap.Perm:  
Sorption: KKH  
HydrCond:  
Suction : Dummy values (liquid flow not active)  
N.T. Rasmussen 990420  
\$

§OTHER BUILDING MATERIALS

|          |          |          |          |        |        |          |        |
|----------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|--------|
| *ASBCEM  | 1        | 0.005    | 0.36     | 0.45   |        |          |        |
| 1880     | 900      | 7.0      | 0.60     | 0.3    | 0.62   | 4.0E-04  |        |
| DELTA_X  | 0.0      | 0.6      | 0.98 *   |        |        |          |        |
| DELTA_Y  | 1.50E-11 | 1.50E-11 | 3.00E-11 |        |        |          |        |
| DELTAH_X | 0.1177 * |          |          |        |        |          |        |
| DELTAH_Y | 3.00E-11 |          |          |        |        |          |        |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.2525   | 0.4515   | 0.648  | 0.8525 | 0.9845 * |        |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.0465   | 0.0525   | 0.0595 | 0.0715 | 0.111    |        |
| DESORP_X | 0.0      | 0.201    | 0.398    | 0.601  | 0.801  | 0.950    | 0.98 * |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.0475   | 0.0695   | 0.082  | 0.0955 | 0.116    | 0.1177 |
|          | 0.10     | 0.12     | 0.206    |        |        |          |        |
| HYDCND_X | 0.12 *   |          |          |        |        |          |        |
| HYDCND_Y | 1.0E-50  |          |          |        |        |          |        |
| SUCABS_X | -10.0    | 14.786 * |          |        |        |          |        |
| SUCABS_Y | 0.12     | 0.1097   |          |        |        |          |        |
| SUCDRY_X | -10.0    | 14.786 * |          |        |        |          |        |
| SUCDRY_Y | 0.206    | 0.1177   |          |        |        |          |        |

Asbestos Cem. Board, 1880 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.60$  W/mK,  $\delta=1.5E-11 / 3.0E-11$  kg/msPa  
 Vap.Perm:  
 Sorption: KKH->LA (Asbestos Cement)  
 HydrCond&  
 Suction : Dummy values (liquid flow not active)  
 CAR 940809

|           |          |          |         |         |         |         |         |
|-----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| *BRICKOUT | 1        | 0.110    | 0.73    | 0.9     |         |         |         |
| 1800.0    | 800.0    | 5.0      | 0.63    | 4.4     | 9.4     | 0.0     |         |
| DELTA_X   | 0.6 *    |          |         |         |         |         |         |
| DELTA_Y   | 2.2E-10  |          |         |         |         |         |         |
| DELTAH_X  | 0.0099 * |          |         |         |         |         |         |
| DELTAH_Y  | 2.3E-11  |          |         |         |         |         |         |
| ABSORP_X  | 0.0      | 0.250    | 0.4585  | 0.656   | 0.8505  | 0.9545  | 0.984 * |
| ABSORP_Y  | 0.0      | 0.00195  | 0.0027  | 0.00325 | 0.00355 | 0.0041  | 0.0055  |
| DESORP_X  | 0.0      | 0.2005   | 0.4025  | 0.606   | 0.8005  | 0.951 * |         |
| DESORP_Y  | 0.0      | 0.00185  | 0.00305 | 0.0039  | 0.0052  | 0.0086  |         |
|           | 0.02     | 0.13     | 0.18    |         |         |         |         |
| HYDCND_X  | 0.02     | 0.13     | 0.18 *  |         |         |         |         |
| HYDCND_Y  | 1.12E-12 | 2.98E-9  | 2.98E-9 |         |         |         |         |
| SUCABS_X  | -10.0    | 9.0      | 10.0    | 11.0    | 12.0    | 13.0    | 14.0    |
|           | 14.5     | 14.786 * |         |         |         |         |         |
| SUCABS_Y  | 0.13     | 0.1299   | 0.1277  | 0.1080  | 0.06519 | 0.01986 | 0.00970 |
|           | 0.00896  | 0.00531  |         |         |         |         |         |
| SUCDRY_X  | -10.0    | 9.0      | 10.0    | 11.0    | 12.0    | 13.0    | 14.0    |
|           | 14.5     | 14.786 * |         |         |         |         |         |
| SUCDRY_Y  | 0.18     | 0.1799   | 0.1768  | 0.1495  | 0.0899  | 0.0267  | 0.0120  |
|           | 0.0103   | 0.00926  |         |         |         |         |         |

Brick, outdoors, 1800 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.63$  W/mK,  $\delta=2.3E-11$  kg/msPa, Z is 0,5 for 110mm  
 Vap.Perm:  
 Sorption: KKH->LA (Brick 1680 kg/m<sup>3</sup>)  
 HydrCond&  
 Suction :  
 CAR 940809, rev. 961024

|          |          |          |          |        |        |         |          |
|----------|----------|----------|----------|--------|--------|---------|----------|
| *CELCON  | 1        | 0.10     | 0.65     | 0.90   |        |         |          |
| 625      | 900      | 7.0      | 0.17     | 0.3    | 0.62   | 4.0E-04 |          |
| DELTA_X  | 0.0      | 0.60     | 0.98 *   |        |        |         |          |
| DELTA_Y  | 3.00E-11 | 3.00E-11 | 6.00E-11 |        |        |         |          |
| DELTAH_X | 0.4183 * |          |          |        |        |         |          |
| DELTAH_Y | 6.00E-11 |          |          |        |        |         |          |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.178    | 0.331    | 0.548  | 0.753  | 0.903   | 0.953    |
|          | 0.980 *  |          |          |        |        |         |          |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.018    | 0.023    | 0.024  | 0.029  | 0.046   | 0.091    |
|          | 0.165    |          |          |        |        |         |          |
| DESORP_X | 0.0      | 0.178    | 0.331    | 0.549  | 0.751  | 0.911   | 0.977 *  |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.023    | 0.028    | 0.036  | 0.065  | 0.164   | 0.390    |
|          | 0.40     | 1.50     |          |        |        |         |          |
| HYDCND_X | 0.40     | 0.70     | 1.50 *   |        |        |         |          |
| HYDCND_Y | 1.21E-12 | 6.53E-10 | 6.53E-10 |        |        |         |          |
| SUCABS_X | -10.0    | 4.0      | 7.0      | 9.0    | 11.0   | 13.0    | 14.0     |
|          | 14.786 * |          |          |        |        |         |          |
| SUCABS_Y | 0.70     | 0.6848   | 0.6299   | 0.5607 | 0.4591 | 0.3198  | 0.2345   |
|          | 0.165    |          |          |        |        |         |          |
| SUCDRY_X | -10.0    | 6.0      | 6.5      | 7.0    | 7.5    | 8.0     | 9.0      |
|          | 10.0     | 12.0     | 13.0     | 13.5   | 14.0   | 14.5    | 14.786 * |
| SUCDRY_Y | 1.50     | 1.480    | 1.385    | 1.215  | 1.0281 | 0.9152  | 0.8195   |
|          | 0.7669   | 0.7026   | 0.6709   | 0.6285 | 0.5584 | 0.4686  | 0.4003   |

Cellular Concrete, 625 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.17$  W/mK,  $\delta=3.0E-11$  /  $6.0E-11$  kg/msPa

Vap.Perm:

Sorption: KKH->LA (Cellular Concrete, 500 kg/m<sup>3</sup>)

HydrCond&

Suction :

CAR 940810

|          |          |          |          |         |         |         |         |
|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| *GYPSUM  | 1        | 0.012    | 0.78     | 0.9     |         |         |         |
| 700.0    | 870.0    | 7.0      | 0.20     | 1.69    | 5.07    | 0.0     |         |
| DELTA_X  | 0.0      | 0.6      | 0.98*    |         |         |         |         |
| DELTA_Y  | 2.36E-11 | 2.36E-11 | 2.66E-11 |         |         |         |         |
| DELTAH_X | 0.0279 * |          |          |         |         |         |         |
| DELTAH_Y | 2.66E-11 |          |          |         |         |         |         |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.10     | 0.20     | 0.40    | 0.50    | 0.60    | 0.70    |
|          | 0.80     | 0.90     | 0.93     | 0.95    | 0.97    | 0.975   | 0.98    |
|          | 1.00 *   |          |          |         |         |         |         |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.0006   | 0.0010   | 0.0021  | 0.0029  | 0.0041  | 0.0060  |
|          | 0.0093   | 0.0159   | 0.0192   | 0.0221  | 0.0257  | 0.0267  | 0.0279  |
|          | 0.95     |          |          |         |         |         |         |
| DESORP_X | 0.0      | 0.10     | 0.20     | 0.40    | 0.50    | 0.60    | 0.70    |
|          | 0.80     | 0.90     | 0.93     | 0.95    | 0.97    | 0.975   | 0.98    |
|          | 1.00 *   |          |          |         |         |         |         |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.00061  | 0.00101  | 0.00211 | 0.00291 | 0.00411 | 0.00601 |
|          | 0.00931  | 0.01591  | 0.01921  | 0.02211 | 0.02571 | 0.02671 | 0.02791 |
|          | 1.03     |          |          |         |         |         |         |
| 0.10     | 0.95     | 1.03     |          |         |         |         |         |
| HYDCND_X | 0.10 *   |          |          |         |         |         |         |
| HYDCND_Y | 1.0E-50  |          |          |         |         |         |         |
| SUCABS_X | -10.0    | 14.786*  |          |         |         |         |         |
| SUCABS_Y | 0.95     | 0.0279   |          |         |         |         |         |
| SUCDRY_X | -10.0    | 14.786*  |          |         |         |         |         |
| SUCDRY_Y | 1.03     | 0.0279   |          |         |         |         |         |

Gypsum, 700 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.20$  W/mK,  $\delta=2.36E-11$  /  $2.66E-11$  kg/msPa

Properties inspired by data from M.K.Kumaran, "Hygrothermal Properties of Gypsum Board: A Compilation of Data from IEA Annex 24 Participants", IEA Annex 24 Report T3-CA-94/02; sorption data from ref[7] (NIST) of that report. Dummy values for the liquid moisture transport properties.

CAR 940517 & 940725.

|          |          |          |         |         |         |         |         |
|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| *TILES   | 1        | 0.005    | 0.36    | 0.45    |         |         |         |
| 1800.0   | 800.0    | 5.0      | 0.63    | 4.4     | 9.4     | 0.0     |         |
| DELTA_X  | 0.6 *    |          |         |         |         |         |         |
| DELTA_Y  | 2.3E-11  |          |         |         |         |         |         |
| DELTAH_X | 0.0099 * |          |         |         |         |         |         |
| DELTAH_Y | 2.3E-11  |          |         |         |         |         |         |
| ABSORP_X | 0.0      | 0.250    | 0.4585  | 0.656   | 0.8505  | 0.9545  | 0.984 * |
| ABSORP_Y | 0.0      | 0.00195  | 0.0027  | 0.00325 | 0.00355 | 0.0041  | 0.0055  |
| DESORP_X | 0.0      | 0.2005   | 0.4025  | 0.606   | 0.8005  | 0.951 * |         |
| DESORP_Y | 0.0      | 0.00185  | 0.00305 | 0.0039  | 0.0052  | 0.0086  |         |
| 0.02     | 0.13     | 0.18     |         |         |         |         |         |
| HYDCND_X | 0.13 *   |          |         |         |         |         |         |
| HYDCND_Y | 1.0E-50  |          |         |         |         |         |         |
| SUCABS_X | -10.0    | 14.786 * |         |         |         |         |         |
| SUCABS_Y | 0.13     | 0.0053   |         |         |         |         |         |
| SUCDRY_X | -10.0    | 14.786 * |         |         |         |         |         |
| SUCDRY_Y | 0.18     | 0.0093   |         |         |         |         |         |

Roofing Tiles, 1800 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda=0.63$  W/mK,  $\delta=2.3E-11$  kg/msPa

Vap.Perm:

Sorption: KKH->LA (Brick 1680 kg/m<sup>3</sup>)

HydrCond&

Suction :

CAR 940814

|           |          |          |        |        |        |        |        |
|-----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| *VENTFILT | 1        | 0.002    | 0.7    | 0.9    |        |        |        |
| 500.0     | 1000.0   | 3.0      | 0.1    | 0.054  | 0.162  | 0.0    |        |
| DELTA_X   | 0.6 *    |          |        |        |        |        |        |
| DELTA_Y   | 1.35E-10 |          |        |        |        |        |        |
| DELTAH_X  | 0.1936 * |          |        |        |        |        |        |
| DELTAH_Y  | 1.35E-10 |          |        |        |        |        |        |
| ABSORP_X  | 0.0      | 0.200    | 0.400  | 0.600  | 0.700  | 0.800  | 0.900  |
|           | 0.950    | 0.980 *  |        |        |        |        |        |
| ABSORP_Y  | 0.0      | 0.0020   | 0.0029 | 0.0041 | 0.0050 | 0.0062 | 0.0082 |
|           | 0.0097   | 0.0110   |        |        |        |        |        |
| DESORP_X  | 0.0      | 0.200    | 0.400  | 0.600  | 0.700  | 0.800  | 0.900  |
|           | 0.950    | 0.980 *  |        |        |        |        |        |
| DESORP_Y  | 0.0      | 0.0020   | 0.0029 | 0.0041 | 0.0050 | 0.0062 | 0.0082 |
|           | 0.0097   | 0.0110   |        |        |        |        |        |
| 0.3       | 1.0      | 1.20     |        |        |        |        |        |
| HYDCND_X  | 1.0 *    |          |        |        |        |        |        |
| HYDCND_Y  | 1.0E-50  |          |        |        |        |        |        |
| SUCABS_X  | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |        |        |
| SUCABS_Y  | 1.0      | 0.1952   |        |        |        |        |        |
| SUCDRY_X  | -10.0    | 14.786 * |        |        |        |        |        |
| SUCDRY_Y  | 1.20     | 0.19521  |        |        |        |        |        |

Felt, 500 kg/m<sup>3</sup> (1.0 kg/m<sup>2</sup> @ 2 mm) ,  $\lambda=0.1$  W/mK,  $\delta=1.35E-10$  kg/msPa

Vap.Perm:

Sorption: KKH->WL (Cotton)

HydrCond&

Suction : Dummy values (liquid flow not active)

CAR 940810

\$



\$ROOF MEMBRANES

|          |         |          |        |        |        |        |         |  |
|----------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|---------|--|
| *MODBIT  | 1       | 0.008    | 0.93   | 0.9    |        |        |         |  |
| 1050.0   | 1000.0  | 3.0      | 0.20   | 0.63   | 1.89   | 0.0    |         |  |
| DELTA_X  | 0.005 * |          |        |        |        |        |         |  |
| DELTA_Y  | 5.7E-15 |          |        |        |        |        |         |  |
| DELTAH_X | 0.014 * |          |        |        |        |        |         |  |
| DELTAH_Y | 5.7E-15 |          |        |        |        |        |         |  |
| ABSORP_X | 0.0     | 0.25     | 0.444  | 0.649  | 0.850  | 0.948  | 0.979 * |  |
| ABSORP_Y | 0.0     | 0.0009   | 0.0021 | 0.0035 | 0.0069 | 0.0117 | 0.0140  |  |
| DESORP_X | 0.0     | 0.25     | 0.444  | 0.649  | 0.850  | 0.948  | 0.979 * |  |
| DESORP_Y | 0.0     | 0.0009   | 0.0021 | 0.0035 | 0.0069 | 0.0117 | 0.0140  |  |
| 0.030    | 0.020   | 0.030    |        |        |        |        |         |  |
| HYDCND_X | 0.003 * |          |        |        |        |        |         |  |
| HYDCND_Y | 1.0E-50 |          |        |        |        |        |         |  |
| SUCABS_X | -10.0   | 14.786 * |        |        |        |        |         |  |
| SUCABS_Y | 0.01995 | 0.01407  |        |        |        |        |         |  |
| SUCDRY_X | -10.0   | 14.786 * |        |        |        |        |         |  |
| SUCDRY_Y | 0.030   | 0.01407  |        |        |        |        |         |  |

Modified Bitumen, @ 8mm : Z=1400 GPam<sup>2</sup>s/kg  
 Vap.Perm: Calculated from default thickness and Z-value from general knowledge.  
 Sorption: KKH->LA (no values for bitumen, instead values taken for plastic carpet (PVC) with some stone wool and wood wool in it).  
 HydrCond&  
 Suction: Dummy values => liquid moisture transport not effective for this material.

CAR 940724

\$

\$VAPOR RETARDERS

|                                      |   |        |         |
|--------------------------------------|---|--------|---------|
| *PE15                                | 0 | 0.0001 | 375.0E9 |
| Polyethylene, 0.15 mm (6 mil), Z=375 |   |        |         |

\$PAINT

|   |   |        |       |
|---|---|--------|-------|
| *PLASTPNT                                 | 0 | 0.0001 | 3.0E9 |
| Plastic Paint, Z=3 GPam <sup>2</sup> s/kg |   |        |       |

\$OTHER SINGLE RESISTANCES

|                      |   |      |       |
|----------------------|---|------|-------|
| *AIR20               | 0 | 0.16 | 1.1E8 |
| Stagnant Air, 20 mm. |   |      |       |

|   |   |       |         |
|---|---|-------|---------|
| *B2-0 %   | 0 | 0.005 | 9.66E09 |
| Dampbremse fra miljøisolering, (KKH)<br>Niels/Claus |   |       |         |

\$

References:

"

- IEA: M. K. Kumaran, "Final report, volume 3, Task 3: Material Properties", International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 24; Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts, 1996.
- KKH: K.K.Hansen, "Sorptions Isotherms, a Catalogue", Building Materials Lab., Technical University of Denmark, Technical Report 162/86, 1986.
- LA: L.Ahlgren, "Moisture Fixation in Porous Building Materials", Division of Building Technology, The Lund Institute of Technology, Report 36, 1972.
- WL: W.Luck, "Feuchtigkeit. Grundlagen, messen, regeln", R.Oldenbourg, 1964.
- OK: O.Krischer, "Die wissenschaftliche Grundlagen der Trocknungstechnik", Springer-Verlag, 1963.