

Byggfukt och energi

Professor Folke Björk
Avd för byggnadsteknik
Inst för byggvetenskap
KTH
2013 01 29



Uppföljning av energiprestanda enligt BBR

- Kraven verifieras genom mätning
 - Prestanda gäller aktuell energianvändning!
 - Viktigt att kunna skilja hushållsanvändning från uppvärmning och varmvatten
- Vid projektering:
 - beräkning med tillräckliga säkerhetsmarginaler
- Mätning i färdig byggnad
 - 12 månaders period inom 24 månader efter färdigställande
- Kontrollplan
 - Utformas så att slutbevis kan utfärdas före mätning

2

Fukt kan ge ökat energibehov genom:

- **Uttorkning kräver energi**
- Ökad värmeledningsförmåga jämfört med torrt material
- Fasomvandlingar inom konstruktionen leder till energitransport

Ångbildningsvärme för vatten vid olika temperaturer

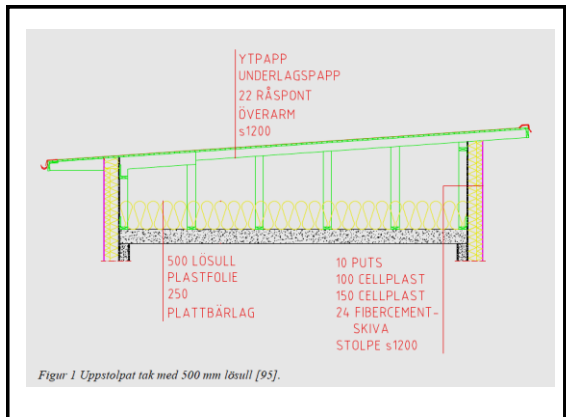
Temperatur (°C)	Ångbildningsvärme (kJ/kg)
0	2500,6
20	2453,7
100	2256,7

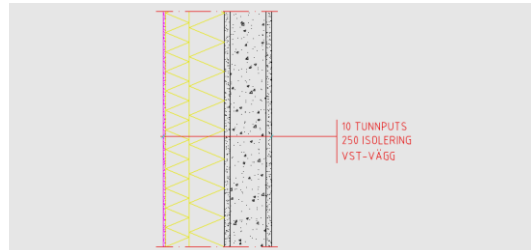
Blå Jungfrun i Hökarängen, Stockholm

Beskrivning från examensarbete
av Ida Klemetsson och Cimone Johansson
Svenska bostäder

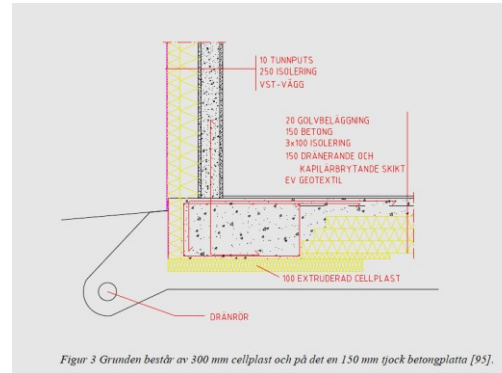


De fyra husen i Blå Jungfrun (egen bild)

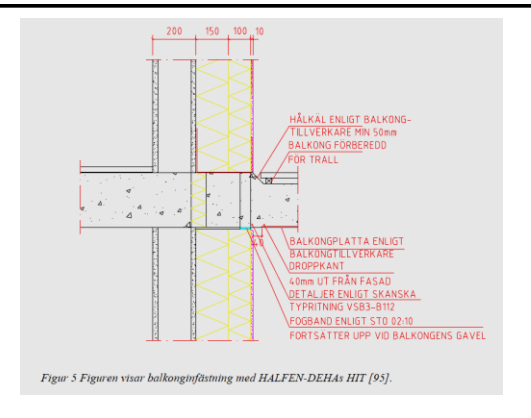
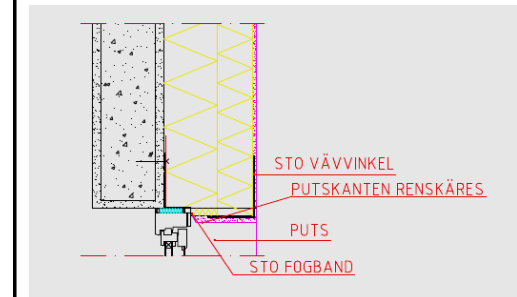




Figur 2 Ytterväggarna består av 200 mm tjocka VST-väggmoduler och på ytersidan av dessa har man sedan fäst 250 mm cellplast på vilken man avslutningsvis putsat med 10 mm tunnputs [95].



Figur 3 Grunden består av 300 mm cellplast och på den en 150 mm tjock betongplatta [95].



Figur 5 Figuren visar balkonginfästning med HALFEN-DEHAS HIT [95].

Byggarens bedömning av energibehov för torkning

- Vattenmängden i betongen är 100 Kg H₂O/m³ betong
- 40% av byggfukten torkas ut under byggtiden,
- 50% under driftår 1 och
- 10% under driftår 2.
- För enkelhetens skull antogs det att all uttorkning av byggfukten sker på bekostnad av ett ökat behov av köpt energi.
- Ingen uttorkande verkan av solenergi

- Genom att använda vattnets ångbildningsvärme 2,26 MJ/kg och att 1 kWh = 3,6 MJ erhöles
- $2,26 \cdot 100 / 3,6 = 63$ kWh/m³ betong
- Betongmängderna i projektet uppskattades till:
- Platta på mark 400 m³
- Kantbalkar och voter 200 m³
- Väggar 1900 m³
- Bjälklag 2200 m³
- Totalt 4700 m³
- Det totala energibehovet blev således $4700 \cdot 63 = 296$ MWh och 29 kWh/m² fördelat på den totala ytan.

Energibehov för torkning av betong, enligt byggaren:

- Byggtid, 11,6 kWh/m²
- Driftår 1: 14, 5 kWh/m²
- Driftår 2: 2,9 kWh/m².

	Förväntat köpt energibehov (kWh/m ² A _{temp})
Byggtid	11,6
Driftår 1	14,5
Driftår 2	2,9
Driftår 3	0
Σ	29

Tabell 12.6: Förväntat köpt energibehov för betongtorkning per m² A_{temp} enligt Skanska.

Helene Johansson

Examensarbete:

Byggfukt och energi

Sök på: www.diva-portal.org



Betongkvalitéer

Byggnadsdel	Kvalitet	vct
Grund	C32/40 skb	0,55
Vägg	C32/40 skb	0,55
Bjälklag	C32/40 skb	0,55
Badrum	C32/55	0,4

Tabell 9.1: Använda betongkvaliteter i Blå Jungfrun.

Simuleringsverktyget WUFI

Vid beräkning av värmetransport med WUFI beaktas:

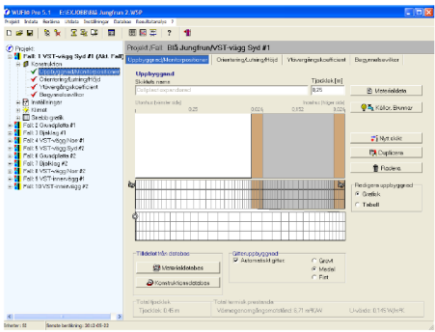
- Värmeledning
- Entalpiflöde genom fuktrörelse med fasövergång
- Kortvägig solstrålning
- Nattetid långvägig strålningskylning

Men inte:

- Konvektiv värmetransport genom att luftflöden, eftersom de är oftast är svårt att kvantifiera och sällan är endimensionella.

Modellerad vägg i WUFI

Uppbyggnad/monitorposition:



Definition av byggdelarna i WUFI

Byggnadsdel	Orientering	Lutning	Regnbelastning
VST-vägg Syd	Syd	90°	Fördefinierade parametrar i WUFI enligt ASHRE Standard 160P
VST-vägg Norr	Norr	90°	Fördefinierade parametrar i WUFI enligt ASHRE Standard 160P
VST-innervägg	-	90°	-
Grundplatta	-	0°	-
Bjälklag	-	0°	-

Tabell 10.6: Orientering, lutning och regnbelastning för de olika byggdelarna.

Ytövergångsmotstånd Yttertor

Byggnadsdel	Yttre yta (vänster sida)				
	Värmemotstånd m ² K/W	Sd-värde m	Absorptionstal - kortvägig strålning	Emissionstal - långvägig strålning	Absorptionstal - regnvatten
VST-vägg Syd	0,04*	0,2 Puts, min (utan slagregn)	0,4 Puts, normaljus	0,9 Puts, normaljus	0,7 Enligt konstruktionstyp/ lutning
VST-vägg Norr	0,04*	0,2 Puts, min (utan slagregn)	0,4 Puts, normaljus	0,9 Puts, normaljus	0,7 Enligt konstruktionstyp/ lutning
VST-innervägg	0,04*	- Ingen ytbehandling	- Ingen absorption	- Ingen emission	- Ingen regnvattenabsorption
Grundplatta	0,04*	- Ingen ytbehandling	- Ingen absorption	- Ingen emission	- Ingen regnvattenabsorption
Bjälklag	0,04*	- Ingen ytbehandling	- Ingen absorption	- Ingen emission	- Ingen regnvattenabsorption

Tabell 10.7: Ytövergångsmotstånd för den yttre ytan (vänster sida).

Ytövergångsmotstånd Inre ytor

Byggnadsdel	Inre yta (höger sida)	
	Värmemotstånd m ² K/W	Sd-värde m
VST-vägg Syd	0,13*	- Ingen ytbehandling
VST-vägg Norr	0,13*	- Ingen ytbehandling
VST-innervägg	0,13*	- Ingen ytbehandling
Grundplatta	0,13*	100 Ångspärr
Bjälklag	0,13*	100 Ångspärr

Tabell 10.8: Ytövergångsmotstånd för den inre ytan (höger sida).

Begynnelsefukthalter

Material	Vatteninnehåll (kg/m ³)
Betong vct 0,6 & 0,4	100
Fibercementskiva	95
Cellplast expanderad	0,18
Avjämningssmassa	75

Tabell 10.9: Typiska värden för byggfukt i de olika konstruktionsdelarna.

Klimat kring de olika byggdelarna

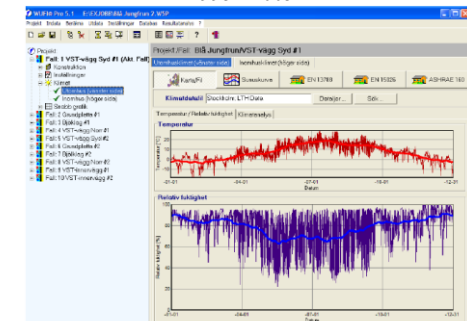
Konstruktionsdel	Vänster sida	Höger sida
VST-vägg Syd	Utomhusklimat - Karta	Inomhusklimat - EN13788
VST-vägg Norr	Utomhusklimat - Karta	Inomhusklimat - EN13788
VST-innervägg	Inomhusklimat (tvättstuga) - EN13788	Inomhusklimat - EN13788
Grundplatta	Markklimat - Sinuskurva	Inomhusklimat - EN13788
Bjälklag	Inomhusklimat - EN13788	Inomhusklimat - EN13788

Klimat omkring byggndsdelen Inför beräkningarna

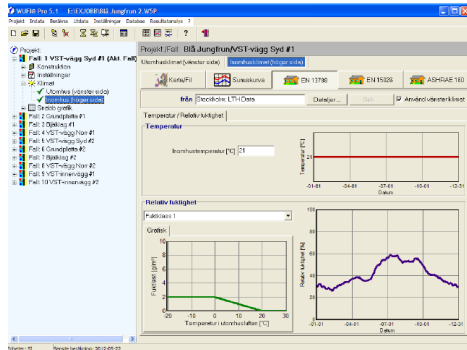
Konstruktionsdel	Förhållande	
	Sida 1	Sida 2
VST-yttervägg	Uteklimat Syd	Inneklimat
VST-yttervägg	Uteklimat Norr	Inneklimat
VST-innervägg	Inneklimat	Inneklimat
Grundplatta	Markklimat	Inneklimat
Bjälklag	Inneklimat	Inneklimat

Tabell 10.1: De olika undersökta konstruktionsdelarna och deras omgivande förhållanden.

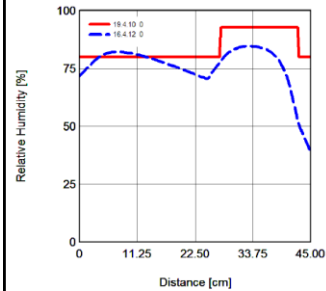
Klimatdata Stockholm 1995 - 2005



Klimatdata inomhus



RF på olika djup enligt WUFI 19 april 2010 och 16 april 2012

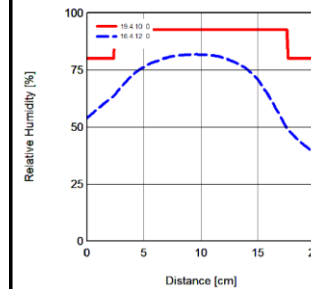


Figur 10.31: Relativ fuktighet på olika djup i VST-vägg Norr vct 0,6.

0-25 cellplast
25-27,4 fibercementskiva
27,4-42,6 betong
42,6-45 fibercementskiva

(Egen bild)

RF på olika djup enl WUFI 19 april 2010 och 16 april 2012



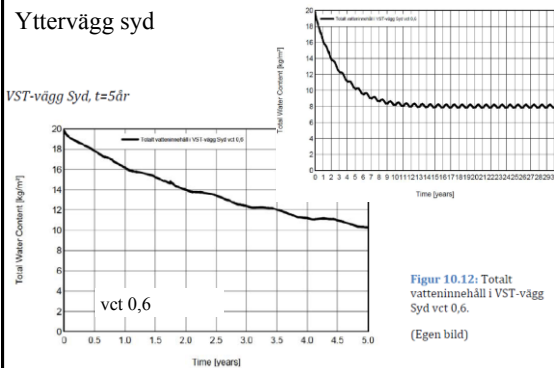
Figur 10.32: Relativ fuktighet på olika djup i VST-innervägg vct 0,6.

0-2,4 fibercementskiva
2,4-17,6 betong
17,6-20 fibercementskiva

(Egen bild)

Totalt vatteninnehåll Yttervägg syd

VST-vägg Syd, t=5år

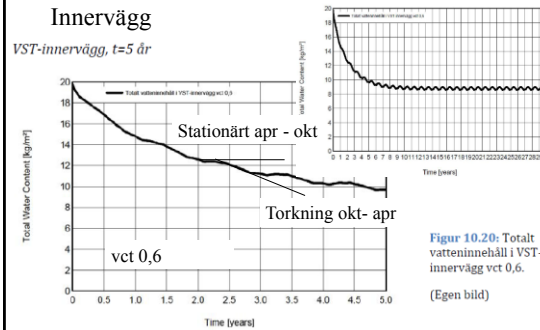


Figur 10.12: Totalt vatteninnehåll i VST-vägg Syd vct 0,6.

(Egen bild)

Totalt vatteninnehåll Innervägg

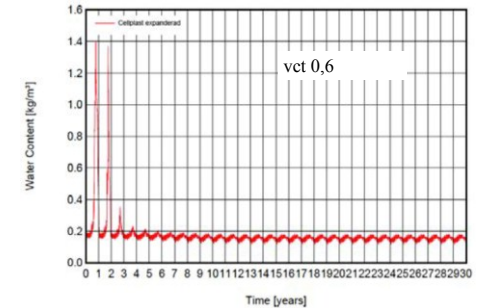
VST-innervägg, t=5 år



Figur 10.20: Totalt vatteninnehåll i VST-innervägg vct 0,6.

(Egen bild)

EPS – vatteninnehåll sydfasad



Jämförelse Mätta värden och WUFI-simulering

Konstruktionsdel	Värde RF (%)	WUFI-simulering
VST-yttervägg Syd	57	
VST-innervägg	56	
VST-yttervägg Norr	57	
Grundplatta	91	

Tabell 12.3: Värde på RF i de olika konstruktionsdelarna vid simulering i WUFI med slutdatum 2012-04-16.

Mätpunkt	Avläst RF (%)	Slutvärde RF (%)	Mätning
1 (VST-yttervägg Syd)	61,8	64,4	
2 (VST-innervägg)	55,7	63,4	
3 (VST-yttervägg Norr)	67,5	71,0	
4 (Grundplatta)	83,3	88,0	

Tabell 12.4: Avläst värde och korrigerat slutvärde på RF vid fuktmätning i konstruktionen 2012-04-16.

Olika byggdelar Tid till jämvikt och mängd fukt att torka ut

Konstruktionsdel	Tid till jämvikt (år)	Fukt att torka ut (kg/m ²)	
		vct 0,6	vct 0,4
VST-yttervägg	14-15	12	11,4
VST-innervägg	10-11	11,2	10,6
Grundplatta	30+	9,5	8,9
Bjälklag	30+	16	14,8

Tabell 11.1: Tid till jämvikt och fukt att torka ut i de olika konstruktionsdelarna.

Energibehov för alla byggdelar Jämförelse vct 0,4 och vct 0,6 byggtid till år 5.

År	Totalt alla konstruktionsdelar									
	vct 0,6					vct 0,4				
	1 (byggtid)	2	3	4	5	1 (byggtid)	2	3	4	5
Total energigång (kWh)	59528,2	24327,1	19528,0	15406,5	11637,7	47188,7	27121,5	16439,6	13583,7	11448,5
Total energigång per A _{temp} (kWh/m ²)	5,4	2,2	1,8	1,4	1,1	4,3	2,5	1,5	1,2	1,0

Tabell 11.4: Total energigång och total energigång per A_{temp} (=11003 m²) för uttorkning av alla konstruktionsdelar för alla fyra husen uppdelat per år och respektive vct 0,6 och 0,4.

Energibehov för torkning enligt WUFI-beräkning

	Total energigång (kWh/m ² A _{temp})
År 1 (Byggtid)	5,4
År 2	2,2
År 3	1,8
År 4	1,4
År 5	1,1
Σ	11,9

Tabell 12.5: Total energigång för betonguttorkning per m² A_{temp} vct 0,6.

Energibehov för torkning av betong, enligt byggaren:

- Byggtid, 11,6 kWh/m²
- Driftår 1: 14, 5 kWh/m²
- Driftår 2: 2,9 kWh/m².

	Förväntat köpt energibehov (kWh/m ² A _{temp})
Byggtid	11,6
Driftår 1	14,5
Driftår 2	2,9
Driftår 3	0
Σ	29

Tabell 12.6: Förväntat köpt energibehov för betonguttorkning per m² A_{temp} enligt Skanska.

Slutsats om energi för torkning

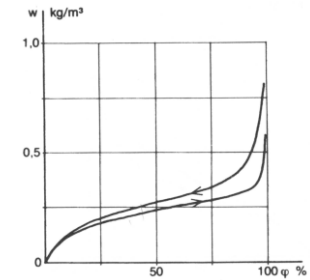
- Simuleringarna i WUFI visar att uttorkningstiden varierar med konstruktionstyp och att det kan ta mellan 10 och +30 år för att konstruktionen ska komma i jämvikt med omgivningen.
- Simuleringarna visar även att huvuddelen av torkningen sker under eldningssäsongen.

- Uttorkning av byggfukt i betongen verkar enligt WUFI-simuleringen spridas på många år – och påverkar inte särskilt mycket energibehovet under de första två åren.

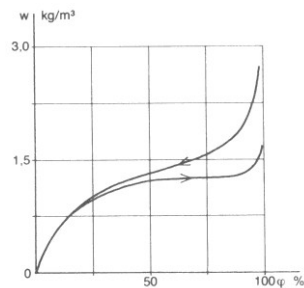
Fukt kan ge ökat energibehov genom:

- Uttorkning kräver energi
- **Ökad värmeledningsförmåga jämfört med torrt material**
- Fasmvandlingar inom konstruktionen leder till energitransport

Sorptionskurva för mineralull



Sorptionskurva för EPS



ISO TC 163/SC 2

Date: 2007-01-09

ISO/FDIS 10456:2007(E)

ISO TC 163/SC 2/WG 9

Secretariat: SN

Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values

Matériaux et produits pour le bâtiment — Propriétés hygrothermiques — Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles

Fuktberoende värmeledning

Enligt ISO/FDIS 10456

$$\lambda_p = \lambda_k * F_T * F_m * F_a \quad W/(m^{\circ}C)$$

λ_p = Praktiskt λ -värde

λ_k = Klassificerat λ -värde

F_T = Korrektionsfaktor för temperatur

F_m = Korrektionsfaktor för fukt

F_a = Korrektionsfaktor för åldrande

Exempel

Glasull klassificerad vid 10 °C och 50 % RH skall användas vid 25 °C och en fukthalt av 0,75 kg/m³.

Beräkning på glasull enligt ekvation ovan:

$$\lambda_p = 0,038 * 1,083 * 1,005 * 1 = 0,0414 W/(m^{\circ}C)$$

EPS – vatteninnehåll sydfasad

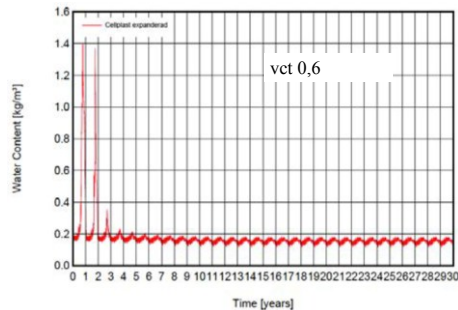


Table 4 - Moisture properties and specific heat capacity of thermal insulation materials and masonry materials

Material	Density ρ kg/m ³	Moisture content at 23 °C, 65 % RH		Moisture content at 23 °C, 85 % RH ^a		Moisture conversion coefficient ^b		Water vapour resistance factor		Specific heat capacity c_p J/(kg·K)		
		Γ' kg/kg	ψ m ³ /m ³	Γ' kg/kg	ψ m ³ /m ³	Moisture content α kg/kg	Moisture content μ m ³ /m ³	f_{ψ}	μ dry wet			
Expanded polystyrene	10 – 50	0	0	0	0			< 0,10	4	60	1400	
Extruded polystyrene foam	20 – 65	0	0	0	0			< 0,10	2,5	150	1400	
Polyurethane foam, rigid	28 – 55	0	0	0	0			< 0,15	6	60	1400	
Mineral wool	10 – 200	0	0	0	0			< 0,15	4 ^c	1	1000	
Phenolic foam	20 – 50	0	0	0	0			< 0,15	5	50	1400	
Cellular glass	100 – 150	0	0	0	0				∞	∞	1000	
Perlite board	140 – 240	0,02	0,03	0 to 0,03	0,8				5	5	900	
Expanded cork	90 – 140	0,008	0,011	0,011				< 0,10	6	10	5	1500
Wood wool board	250 – 450	0,03	0,05	0,05				< 0,10	1,8	5	3	1470
Wood fibreboard	40 – 250	0,1	0,16					< 0,05	1,4	5	3	2000
Urea formaldehyde foam	10 – 30	0,1	0,15			< 0,15	0,7		2	2	1400	
Spray applied polyurethane foam	30 – 50	0	0	0	0			< 0,15	6	60	1400	
Loose-fill mineral wool	15 – 60	0	0	0	0			< 0,15	4	1	1	1000
Loose-fill cellulose fibre	20 – 60	0,11	0,16	0,16	< 0,20	0,5			2	2	1000	
Loose-fill expanded perlite	30 – 150	0,01	0,02	0,02	0 to 0,02	3			2	2	900	
Loose-fill extruded vermiculite	30 – 150	0,01	0,02	0,02	0 to 0,02	2			3	2	1000	

$$F_m = e^{f_{\psi}(\psi_2 - \psi_1)}$$

Omräkningsfaktor

Skilnad i fukthalt mellan referensvärde och aktuellt värde

Material	Density ρ kg/m ³	Conversion coefficient ^b		
		f_{ψ}	Moisture content ψ m ³ /m ³	f_{ψ}
Expanded polystyrene	10 – 50		< 0,10	4
Extruded polystyrene foam	20 – 65		< 0,10	2,5
Polyurethane foam, rigid	28 – 55		< 0,15	6
Mineral wool	10 – 200		< 0,15	4 ^c

Expanderad polystyren
Ökning i värmeledning
 $F_m(2 \text{ kg/m}^3) = 0,8\%$
 $F_m(4 \text{ kg/m}^3) = 1,6\%$

Slutsats om värmeförlust

- Simuleringar i WUFI av fukttinnehållet i de olika ingående materialen i Blå Jungfrun och därefter genom beräkningar enligt standarden ISO 10456:700 har visat att fukttinnehållet i materialen i Blå Jungfrun inte leder till en ökad värmeledningsförmåga och därmed inget ökat energibehov.

Fukt kan ge ökat energibehov genom:

- Uttorkning kräver energi
- Ökad värmeledningsförmåga jämfört med torrt material
- Fasomvandlingar inom konstruktionen leder till energitransport**

Construction and Building Materials 20 (2003) 2189–2195

Contents lists available at ScienceDirect
Construction and Building Materials
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat

Properties of thermal insulation materials during extreme environment changes
Folke Björk ^{a,*}, Tomas Enochsson ^b

^a Div of Building Technology, The Royal Institute of Technology, SE-10044 Stockholm, Sweden
^b Swedish Institute of Building Research, SE-791 23 Falun, Sweden

ARTICLE INFO

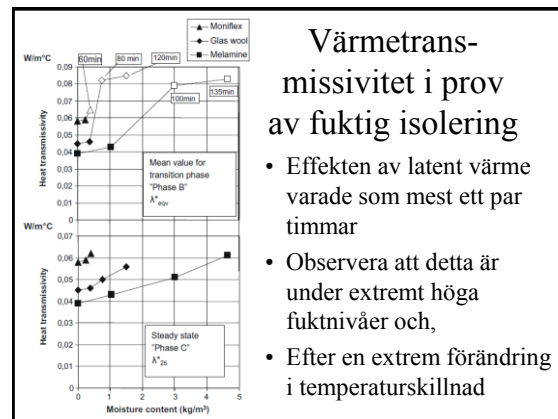
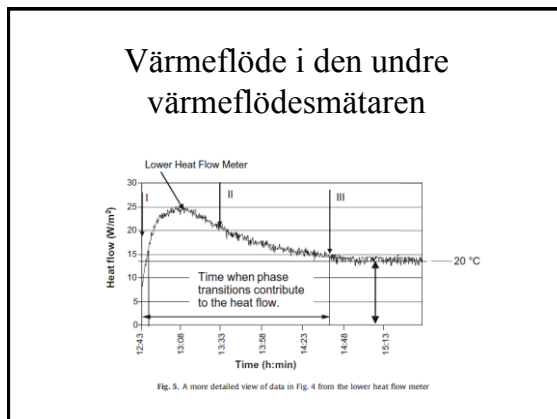
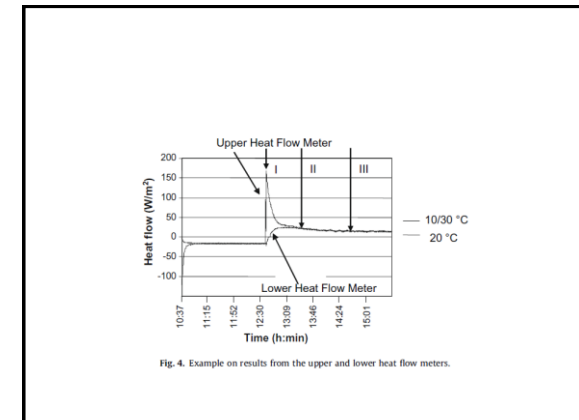
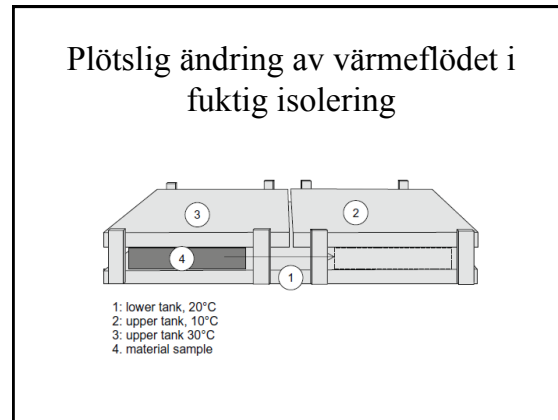
Article history:
Received 25 May 2007
Received in revised form 26 November 2008
Accepted 1 December 2008
Available online 10 January 2009

Keywords:
Thermal insulation
Condensation
Drainage
Thermal transmittance
Basewall
Miniflex
Insulation
Railway carriages

ABSTRACT

In this experimental study properties of condense formation, drainage and moisture dependent heat transmittance were studied for three different thermal insulation materials often used in railway carriages: glass wool (fleece), melamine foam (Basewall) and corrugated sheets of cellulose plastic (Miniflex). The materials are quite different with respect to condense formation and maximal moisture accumulation at similar environmental conditions. They showed also considerable differences in moisture influence on thermal transmittance. The higher the moisture accumulation, the bigger the moisture influence on thermal transmittance at steady state. At a sudden inversion of the temperature field the moisture gave a temporary effect of even higher heat transmission for 1–2 h.

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.



Sammanfattning

- Under byggtiden har torkningen stor betydelse för energibehovet
- En betongstomme torkar långsamt – så energibehovet för torkning sprids under en lång tid
- De aktuella fuktnivåerna har mycket liten betydelse för värmeisoleringsmaterialens prestanda