

Byggfukt och energi

Professor Folke Björk
Avd för byggnadsteknik
Inst för byggvetenskap
KTH
2013 03 15



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

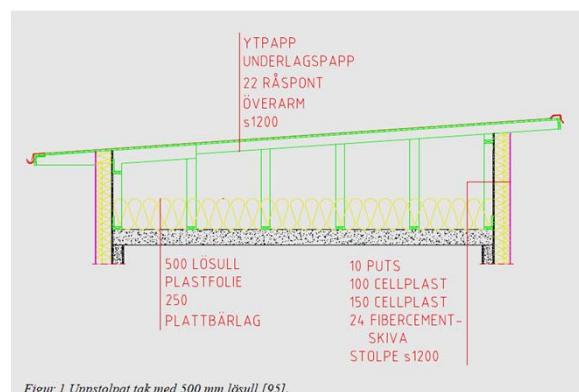
Temperatur (°C)	Ångbildningsvärme (kJ/kg)
0	2500,6
20	2453,7
100	2256,7

Blå Jungfrun i Hökarängen, Stockholm

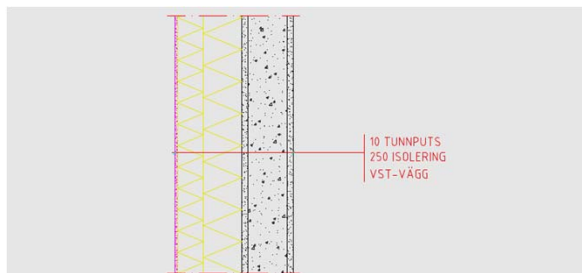
Beskrivning från examensarbete
av Ida Klemedtsson och Cimone Johansson
Svenska bostäder



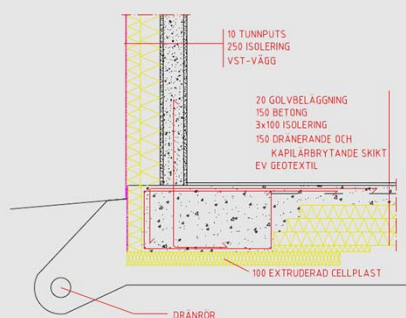
De fyra husen i Blå Jungfrun (egen bild)



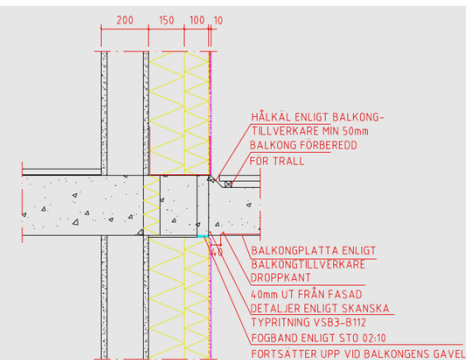
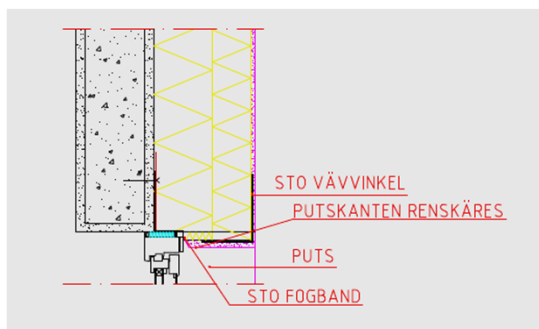
Figur 1 Uppstolpat tak med 500 mm lösull [95].



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 det 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% avbyggfukten 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 solenergin

- Genom att använda vattnets ångbildningsvärme 2,26 MJ/kg och att 1 kWh = 3,6 MJ erhöles
- $2,26 \cdot 100 / 3,6 = 63 \text{ kWh/m}^3 \text{ betong}$
- 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 $4700 \cdot 63 = 296 \text{ MWh}$ 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:

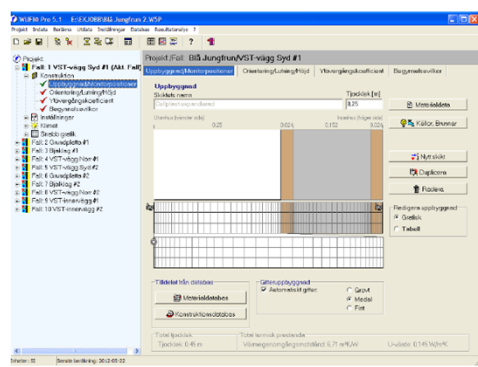
- Värmeledning
- Entalpiflöde genom fuktrörelse med fasövergång
- Kortvägig solstrålning
- Nattetid långvägig strålningskylning

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 byggheterna 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 byggheterna.

Ytövergångsmotstånd
Yttertor

Byggnadsdel	Yttre yta (vänster sida)				
	Värmemotstånd m2K/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, normalljus	0,9 Puts, normalljus	0,7 Enligt konstruktionstyp/ lutning
VST-vägg Norr	0,04*	0,2 Puts, min (utan slagregn)	0,4 Puts, normalljus	0,9 Puts, normalljus	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 m2K/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/m³)
Betong vct 0,6 & 0,4	100
Fibercementskiva	95
Cellplast expanderad	0,18
Avjämningsmassa	75

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

Klimat kring de olika
byggdelarna

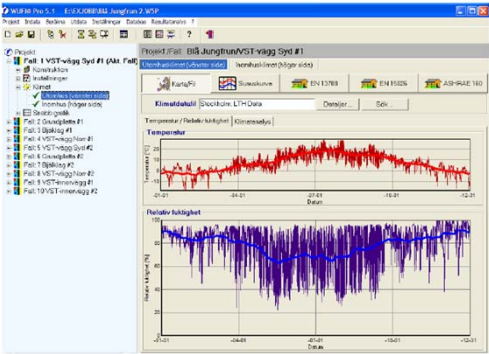
Konstruktionsdel	Vänster sida	Höger sida
VST-vägg Syd	Utomhusklimat – Karta	Inomhusklimat – EN13788
VST-vägg Norr	Utomhusklimat – Karta	Inomhusklimat – EN13788
VST-innervägg	Inomhusklimat (tvättstuga) – EN13788	Inomhusklimat – EN13788
Grundplatta	Markklimat – Sinuskurva	Inomhusklimat – EN13788
Bjälklag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

Klimat omkring byggndsdelarna
Inför beräkningarna

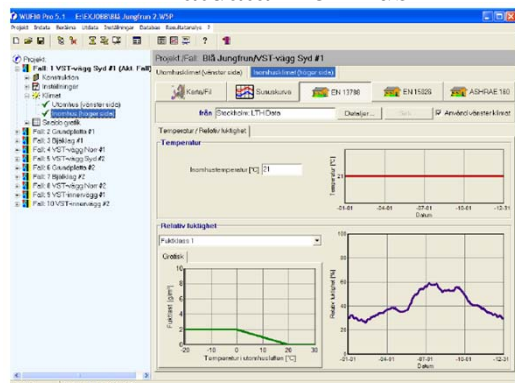
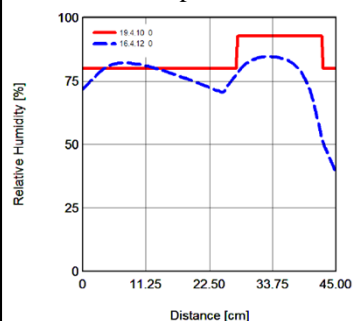
Konstruktionsdel	Förhållande	
	Sida 1	Sida 2
VST-yttervägg	Uteklimate Syd	Inneklimate
VST-yttervägg	Uteklimate Norr	Inneklimate
VST-innervägg	Inneklimate	Inneklimate
Grundplatta	Markklimat	Inneklimate
Bjälklag	Inneklimate	Inneklimate

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

Klimatdata Stockholm
1995 - 2005

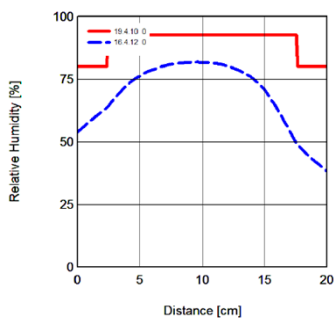


Klimatdata inomhus

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)

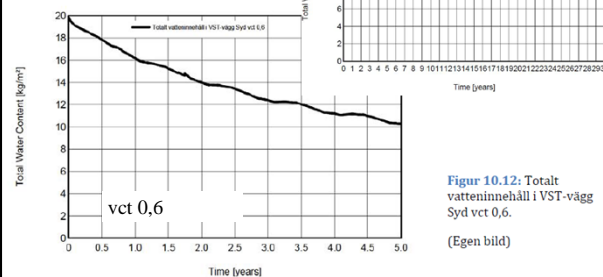
RF på olika djup enl WUFI
19 april 2010 och 16 april 2012

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

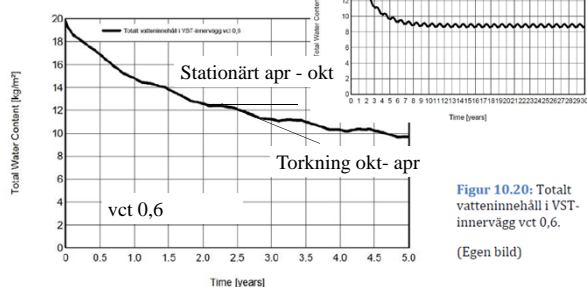


Figur 10.12: Totalt vatteninnehåll i VST-vägg Syd vct 0,6.

(Egen bild)

Totalt vatteninnehåll
Innervägg

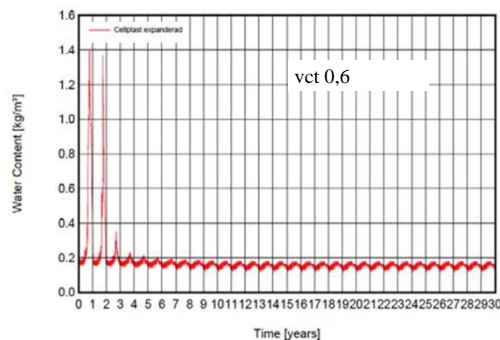
VST-innervägg, t=5 år



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 (%)
VST-yttervägg Syd	57
VST-innervägg	56
VST-yttervägg Norr	57
Grundplatta	91

WUFI-simulering

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

Mät punkt	Avläst RF (%)	Slutvärde RF (%)
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

Mätning

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 energi- åtgång (kWh)	59528,2	24327,1	19528,0	15406,5	11637,7	47188,7	27121,5	16439,6	13583,7	11448,5
Total energi- åtgång 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 energiåtgång och total energiåtgång 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 energiåtgång (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 energiåtgång 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

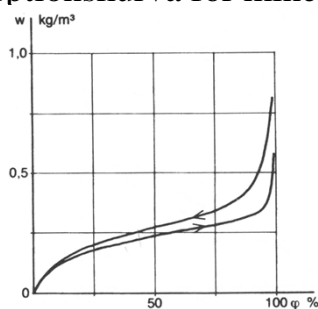
- Simuleringarna i WUFI visar att uttorkningstiden varierar med konstruktionstyp och att det kan ta mellan 10 och +30 år för att konstruktionen ska komma i jämvikt med omgivningen.
- Simuleringarna visar även att huvuddelen av torkningen sker under eldningssäsongen.

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

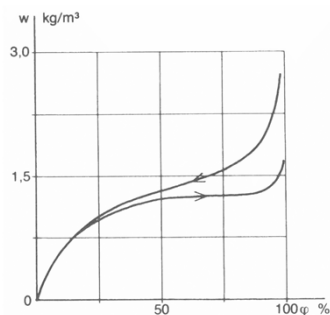
Fukt kan ge ökat energibehov genom:

- Uttorkning kräver energi
- **Ökad värmeledningsförmåga jämfört med torrt material**
- Fasomvandlingar 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

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

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:

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

EPS – vatteninnehåll sydfasad

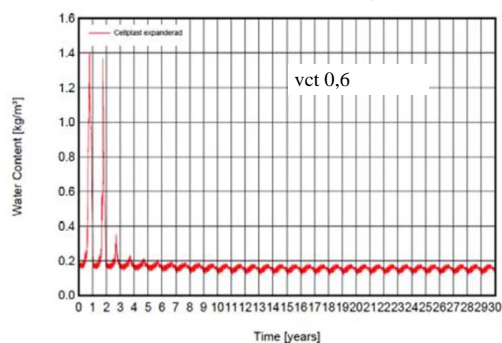


Table 4 – Moisture properties and specific heat capacity of thermal insulation materials and masonry materials

Material	Density ρ kg/m ³	Moisture content at 23 °C, 50 % RH		Moisture content at 23 °C, 80 % RH ^a		Moisture conversion coefficient ^b		Water vapour resistance factor ^c		Specific heat capacity c_p J/(kg K)
		ϵ' kg/kg	ψ m ³ /m ³	ϵ' kg/kg	ψ m ³ /m ³	Moisture content ϵ kg/kg	f_{ψ}	Moisture content ψ m ³ /m ³	f_{ψ}	
Expanded polystyrene	10 – 50	0	0	0	0	< 0,10	4	60	60	1450
Extruded polystyrene foam	20 – 65	0	0	0	0	< 0,10	2,5	100	100	1450
Polyurethane foam, rigid	28 – 55	0	0	0	0	< 0,15	6	60	60	1400
Mineral wool	10 – 200	0	0	0	0	< 0,15	4 ⁺	1	1	1000
Phenolic foam	20 – 50	0	0	0	0	< 0,15	5	50	50	1400
Cellular glass	100 – 150	0	0	0	0	=	=	=	=	1000
Particle board	140 – 240	0,02	0,03	0 to 0,03	0,8	=	=	5	5	900
Expanded cork	90 – 140	0,008	0,011	< 0,10	8	10	5	150	150	1500
Wood wool board	250 – 450	0,03	0,05	< 0,10	1,8	5	3	1470	1470	1470
Wood fibreboard	40 – 250	0,1	0,16	< 0,05	1,4	5	3	2000	2000	2000
Urea-formaldehyde foam	10 – 30	0,1	0,15	< 0,15	0,7	2	2	1400	1400	1400
Spray applied polyurethane foam	30 – 50	0	0	< 0,15	6	60	60	1400	1400	1400
Loose fill mineral wool	15 – 60	0	0	< 0,15	4	1	1	1000	1000	1000
Loose fill cellulose fibre	20 – 60	0,11	0,16	< 0,20	0,5	2	2	1600	1600	1600
Loose fill expanded perlite	30 – 150	0,01	0,02	0 to 0,02	3	2	2	900	900	900
Loose fill expanded vermiculite	30 – 150	0,01	0,02	0 to 0,02	2	3	2	1000	1000	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	

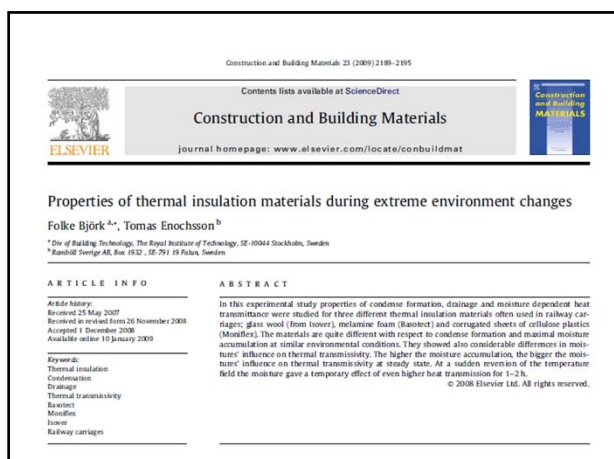
Expanderad polystyren
Ökning i värmeledning
 $F_m(2 \text{ kg/m}^3) = 0,8\%$
 $F_m(4 \text{ kg/m}^3) = 1,6\%$

Slutsats om värmeförlust

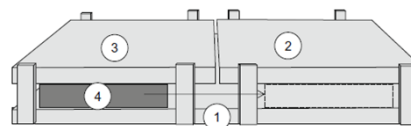
- Simuleringar i WUFI av fukttinnehållet i de olika ingående materialen i Blå Jungfrun och därefter genom beräkningar enligt standarden ISO 10456:700 har visat att fukttinnehållet i materialen i Blå Jungfrun inte leder till en ökad värmeledningsförmåga och därmed inget ökat energibehov.

Fukt kan ge ökat energibehov genom:

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



Plötslig ändring av värmeflödet i fuktig isolering



- 1: lower tank, 20°C
- 2: upper tank, 10°C
- 3: upper tank 30°C
- 4: material sample

Fuktens inverkan på energibehovet

Instängd fukt

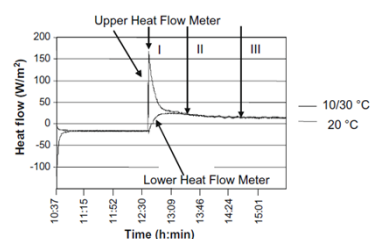
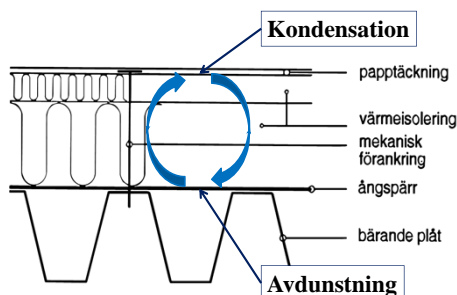


Fig. 4. Example on results from the upper and lower heat flow meters.

Värmeflöde i den undre värmeflödesmätaren

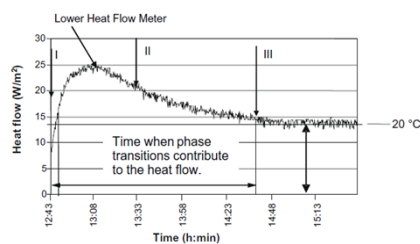
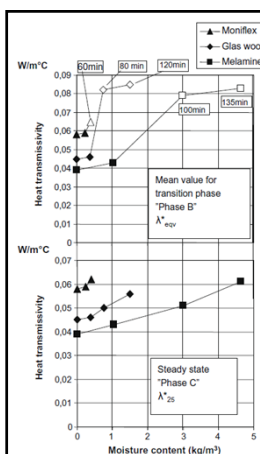


Fig. 5. A more detailed view of data in Fig. 4 from the lower heat flow meter



Värmetransmissivitet i prov av fuktig isolering

- Effekten av latent värme varade som mest ett par timmar
- Observera att detta är under extremt höga fuktnivåer och,
- Efter en extrem förändring i temperaturskillnad

Sammanfattning

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