

# Kapillarsugning

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser  
af alternative isoleringsmaterialer



KURT KIELSGAARD HANSEN  
ERNST JAN DE PLACE HANSEN

Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer  
Danmarks Tekniske Universitet



# Kapillarsugning

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser  
af alternative isoleringsmaterialer

Kurt Kielsgaard Hansen  
Ernst Jan de Place Hansen

December 1999

**Kapillarsugning**  
**Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser**  
**af alternative isoleringsmaterialer**

Kgs. Lyngby

ISBN 87-7740-265-0

ISSN 1396-2167

Electronic Publication

[www.bkm.dtu.dk](http://www.bkm.dtu.dk)

# KAPILLARSUGNING

## 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 udført i et samarbejde mellem Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM) og Institut for Bygninger og Energi (IBE), DTU. De øvrige rapporter omhandler

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

Den foreliggende rapport omhandler målinger af kapillarsugning.

Lyngby, 14. december 1999  
Kurt Kielsgaard Hansen

## Sammenfatning

Vandopsugningsevne, vandindhold og sugehastighed er bestemt ved kapillarsugningsforsøg ved 23°C for en række alternative og traditionelle isoleringsprodukter. Der er målt på en type perlite (ekspanderet vulkansk aske) fra Nordisk Perlite, to typer af papirisolering (en type fra Ekofiber, en type fra Miljø Isolering), en type af fåreuld (Herawool) og en type af hør (Heraflax) samt to typer af mineraluld fra henholdsvis Glasuld og Rockwool. Ekofiber Vind er undersøgt ved to densiteter, 40 kg/m<sup>3</sup> og 65 kg/m<sup>3</sup>, for at studere densitetens betydning. Resultaterne angives som opsuget vandmængde, kapillaritetstal og middelvandindhold efter tørring ved 105°C. Resultater afbildes dels som opsuget vand som funktion af opsugningstid, dels som vandindhold som funktion af højde over sugefladen.

## Indholdsfortegnelse

1	Formål .....	1
2	Fremgangsmåde .....	1
2.1	Kapillarsugning .....	1
2.2	Måling af vandindhold .....	3
2.3	Bestemmelse af sugehastighed .....	3
3	Undersøgte produkter .....	4
4	Måleresultater .....	6
4.1	Kapillarsugning - opsuget masse .....	6
4.2	Vandindhold .....	6
4.3	Sugehastighed .....	11
5	Diskussion .....	12
6	Konklusion .....	15
7	Litteratur .....	16
Appendix A	Optegning af kapillarsugningsforløb for alle produkter	10 sider
Appendix B	Målt vandindhold for alle produkter	7 sider
Appendix C	Eksempel på indtegnede linier til bestemmelse af kapillaritetstal	1 side

# KAPILLARSUGNING

## 1. Formål

Formålet med kapillarsugningsforsøgene er at bestemme vandopsugningsevne, vandindhold og sugehastighed for de undersøgte produkter. Forsøgene udføres så resultaterne kan sammenlignes med tidligere fundne måleresultater i /4, 5/.

## 2. Fremgangsmåde

### 2.1 Kapillarsugning

Kapillarsugningsforsøgene udføres efter LBM-prøvningsmetode 1 "Kapillarsugning" /1/ med de afvigelser, der er beskrevet nedenfor.

Måling af vandopsugningsevne sker med de på figur 1 og figur 2 viste opstillinger. Figur 1 viser opstillingen til løsfyldprodukt og figur 2 viser opstillingen til sammenhængende materiale.

Opstillingen i figur 1 består af et plexiglasrør med højde 200 mm og indvendig diameter 144 mm. Bunden består af et galvaniseret stålnet med hulmål 4 mm x 4 mm, hvorpå der ligger et fint polyesternet med maskevidde 73  $\mu\text{m}$ . Prøveemnet er et løsfyldprodukt. Der er ikke låg over røret for at forhindre fordampning. Sugefladen er placeret 10 mm nede i demineraliseret vand under måling, jf. /2,3/. Med bestemte tidsintervaller vejes rør med prøveemne efter at metalnettet er aftørret med en fugtig klud. Dette gælder Ekofiber Vind og Miljø Isolering. Perlite har dryppet af under en vinkel på  $15^\circ$  i 10 minutter, hvorefter sugefladen er aftørret med en fugtig klud.

Opstillingen i figur 2 består af et "bur" af galvaniseret stålnet med plademål 200 x 200 mm<sup>2</sup> og variabel højde. Prøveemnet er et sammenhængende materiale. Sugefladen er placeret 10 mm nede i demineraliseret vand under måling. Med bestemte tidsintervaller vejes bur med prøveemne efter 10 minutters afdrykning på  $45^\circ$  stativ i henhold til /2, 3/.

Der gennemføres 3 parallelle forsøg for hvert materiale. Klimaet i laboratoriet er  $50 \pm 5$  %RF,  $23 \pm 1.5^\circ\text{C}$  under forsøgenes udførelse.

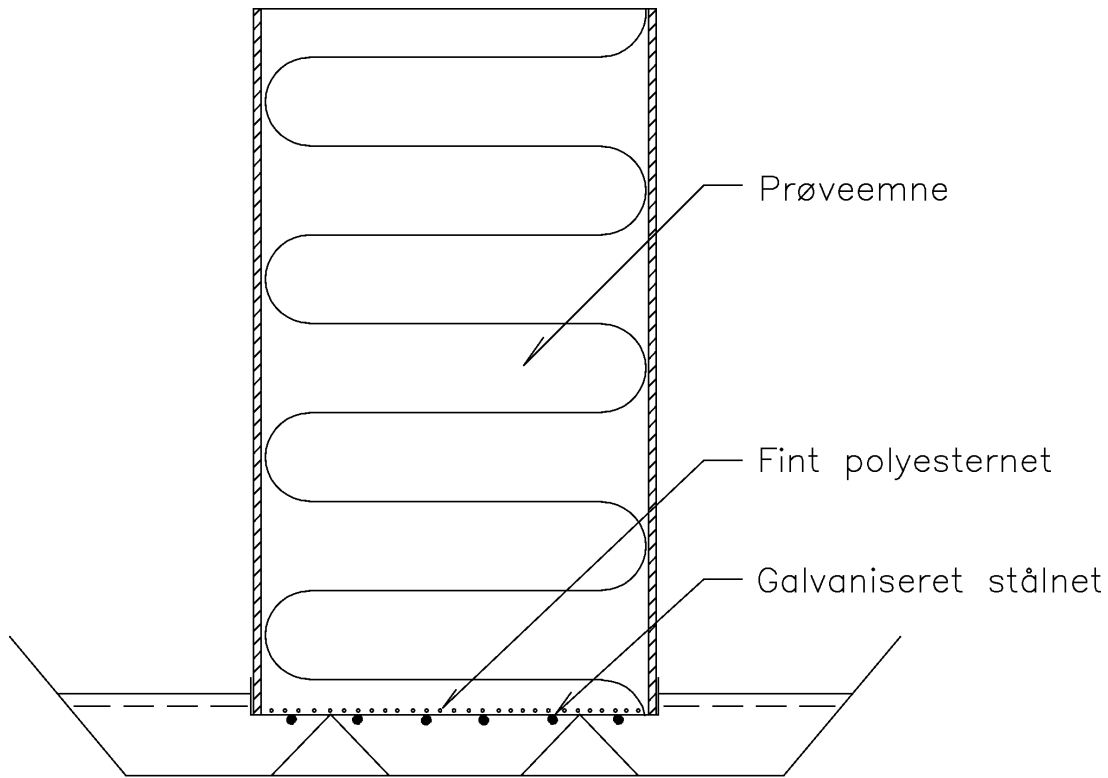
#### 2.1.1 Forsøgsbeskrivelse

Bur henholdsvis plexiglasrør (med 2 net) vejes tomt hvorefter prøveemne placeres heri og konditioneres 1 uge i laboratoriet før målinger påbegyndes. Det konditionerede prøvelegemes masse bestemmes,  $m_0$  (bur henholdsvis plexiglasrør med prøveemne).

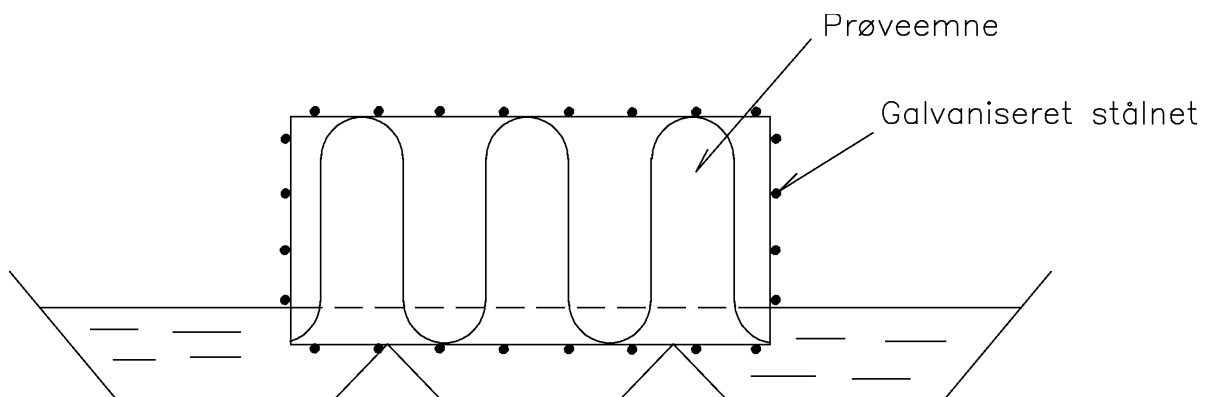
Sugefladen anbringes på afstandsholdere i kontakt med vand som ovenfor beskrevet og et ur startes.

Med passende tidsintervaller regnet fra kontakttidspunktet (for  $t = 1, 2, 4, 8, 16$  og  $32$  min, og  $1, 2, 4, 8, 24$  timer og herefter 1 gang i døgnet) tages prøvelegemer op, afdryppes (bur)

henholdsvis aftørres (plexiglasrør) og vejes (masse  $m_0$ ). For nogle af produkternes vedkommende er vejningerne først startet efter 2 timers opsugning. Kapillarsugningen stoppes efter mindst 10 dage.



Figur 1 Opstilling til måling af vandopsugningsevne for løsfyldprodukt.



Figur 2 Opstilling til måling af vandopsugningsevne for sammenhængende materiale.



## 2.2 Måling af vandindhold

Løsfyldprodukter udtages i 4 lag parallelt med vandoverfladen. De fire lag tørres hver for sig, hvorefter et fugtprofil kan bestemmes. Papirisolering tørres først ved 70°C og derefter ved 105°C aht. de tilsatte salte. Øvrige materialer udtages i 1 eller 2 lag, hvor lag nr. 2 har en tykkelse på ca. 20 mm, nærmest vandoverfladen. Disse materialer tørres ved 105°C. Det enkelte lag identificeres ved positionen i forhold til vandoverfladen, hvorved ordinataksen på figurer til afbildning af resultater starter ved -10 mm, jf. at sugeflader er placeret 10 mm nede i vandet.

For tørring ved 70°C anvendes formel (1) til beregning af vandindhold

$$u = \frac{m_1 - m_{70}}{m_{70}} \cdot 100\% \quad (1)$$

hvor  $u$  = vandindhold [vægt% (70°C)]  
 $m_1$  = prøveemnets masse ved afslutning af opsugning [kg]  
 $m_{70}$  = prøveemnets masse efter tørring ved 70°C [kg]

For tørring ved 105°C anvendes tilsvarende formel (2) til beregning af vandindhold

$$u = \frac{m_1 - m_{105}}{m_{105}} \cdot 100\% \quad (2)$$

hvor  $u$  = vandindhold [vægt% (105°C)]  
 $m_1$  = prøveemnets masse ved afslutning af opsugning [kg]  
 $m_{105}$  = prøveemnets masse efter tørring ved 105°C [kg]

## 2.3 Bestemmelse af sugehastighed

Opsugningsmålingerne omregnes til opsuget masse per arealenhed (sugeflade) efter formlen

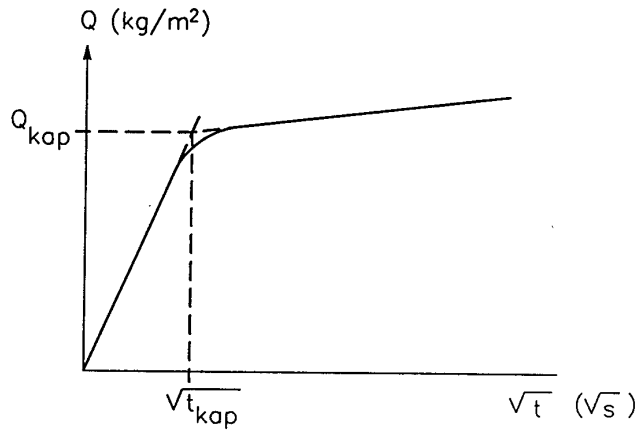
$$Q = \frac{m_t - m_o}{A} \quad (3)$$

hvor  $Q$  = opsuget masse per arealenhed [kg/(m<sup>2</sup> sugeflade)]  
 $m_t$  = masse af prøve efter sugning til tiden t [kg]  
 $m_o$  = masse af prøve efter konditionering [kg]  
 $A$  = sugefladens areal [m<sup>2</sup>]

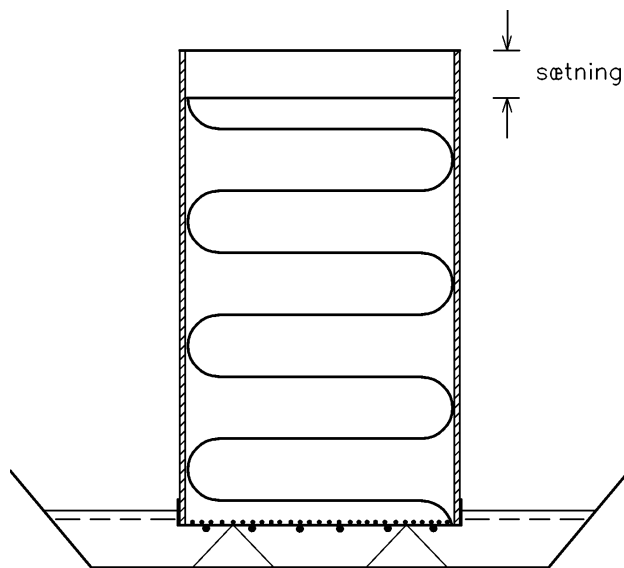
$Q$  beregnes og afsættes i et diagram  $Q = \sqrt{t}$ , figur 3. I dette diagram indlægges to rette linier og skæringen fastlægger værdierne  $\sqrt{t_{kap}}$  og  $Q_{kap}$ . Kapillaritetstallet – sugehastigheden – bestemmes som hældningskoefficienten i kurvens start

$$k = \frac{Q_{kap}}{\sqrt{t_{kap}}} \quad (4)$$

hvor  $k$  = kapillaritetstallet  $[kg/(m^2 \cdot \sqrt{s})]$   
 $Q_{kap}$  = opsuget masse per arealenhed til tiden  $\sqrt{t_{kap}}$   $[kg/(m^2 \text{ sugeflade})]$   
 $\sqrt{t_{kap}}$  = tiden til knæpunktabsorptionen  $[\sqrt{s}]$



Figur 3 Metode til bestemmelse af kapillaritetstal  $k$ .



Figur 4 Sætning under kapillarsugning.

### 3. Undersøgte produkter

I nedenfor viste tabel 1 er vist de anvendte densiteter, sugefladens areal, prøveemnets højde og sætning under kapillarsugningen for de undersøgte produkter. Sætning under kapillarsugning er vist i figur 4.

Tabel 1 Densitet, sugefladens areal, prøveemnets højde og sætning under kapillarsugning.

Produkt	Type <sup>1</sup>	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Sugeflade [m <sup>2</sup> ]	Prøveemne		Sugetid [dage]
				Højde [m]	Sætning [m]	
Perlite (ubehandlet)	L	116	0.016	0.20	0	15
		116	0.016	0.20	0	15
		116	0.016	0.20	0	15
Perlite (ubehandlet), uden afdrypning	L	109	0.016	0.20	0	13
		122	0.016	0.20	0	13
		112	0.016	0.20	0	13
Perlite SC (behandlet)	L	98	0.016	0.20	0	15
		95	0.016	0.20	0	15
		89	0.016	0.20	0	15
Ekofiber Vind (40 kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	L	43	0.013	0.19	0.01	35
		36	0.013	0.19	0.03	35
		34	0.013	0.19	0.03	35
Ekofiber Vind (65 kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	L	65	0.013	0.19	0	26
		65	0.013	0.19	0	26
		65	0.013	0.19	0	26
Miljø Isolering - 1 <sup>2</sup>	L	38	0.013	0.19	0.04	30
		37	0.013	0.19	0.03	30
		37	0.013	0.19	0.03	30
Herawool NF 040 <sup>3</sup>	S	31	0.040	0.10	0	34
		33	0.040	0.10	0	34
		32	0.040	0.10	0	34
Heraflax SF 040 <sup>4</sup>	S	30	0.040	0.03	0	34
		29	0.040	0.03	0	34
		29	0.040	0.03	0	34
Rockwool A-batt <sup>5</sup>	S	33	0.040	0.05	0	18
		32	0.040	0.05	0	18
		31	0.040	0.05	0	18
Glasuld 39 <sup>4 5</sup>	S	17	0.040	0.05	0	58
		18	0.040	0.05	0	58
		10	0.040	0.05	0	58

Noter til tabel 1:

- 1) Her angives enten L = løsfyldprodukt eller S = sammenhængende materiale.
- 2) Til Ekofiber Vind og Miljø Isolering er anvendt et plexiglasrør med  $d = 0.127$  m og  $h = 0.190$  m. Materialerne er sønderdelt i hånden og plexiglasrør er fyldt op. De varierende densiteter viser, at det er svært at pakke materialerne ens.
- 3) Uden støttefibre.
- 4) Leveres som rulleware.
- 5) Ved gentagelsesforsøg er densiteten 28, 28 og 30 kg/m<sup>3</sup> (Rockwool) henholdsvis 13, 15 og 13 kg/m<sup>3</sup>. Sugeflade og -højde uændret. Sugetid 27 dage.

## 4. Måleresultater

### 4.1 Kapillarsugning – opsuget masse

Måleresultater fra kapillarsugning på Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) er vist i figur 5. I figur 5a er måleresultaterne vist med abscisse i [dage] og i figur 5b er måleresultaterne med abscisse i  $[\sqrt{s}]$ . Tilsvarende måleresultater for de øvrige produkter er vist i appendiks A. I figur 6 er vist måleresultater fra kapillarsugning med middelkurve for de enkelte produkter.

### 4.2 Vandindhold

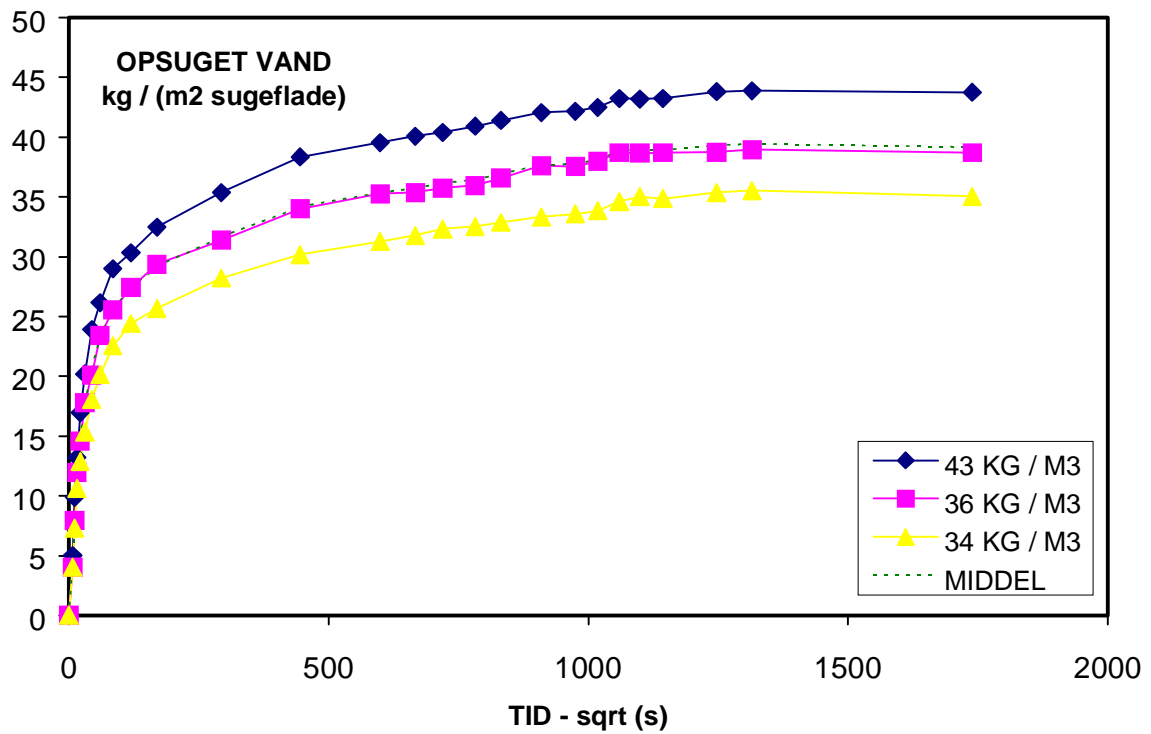
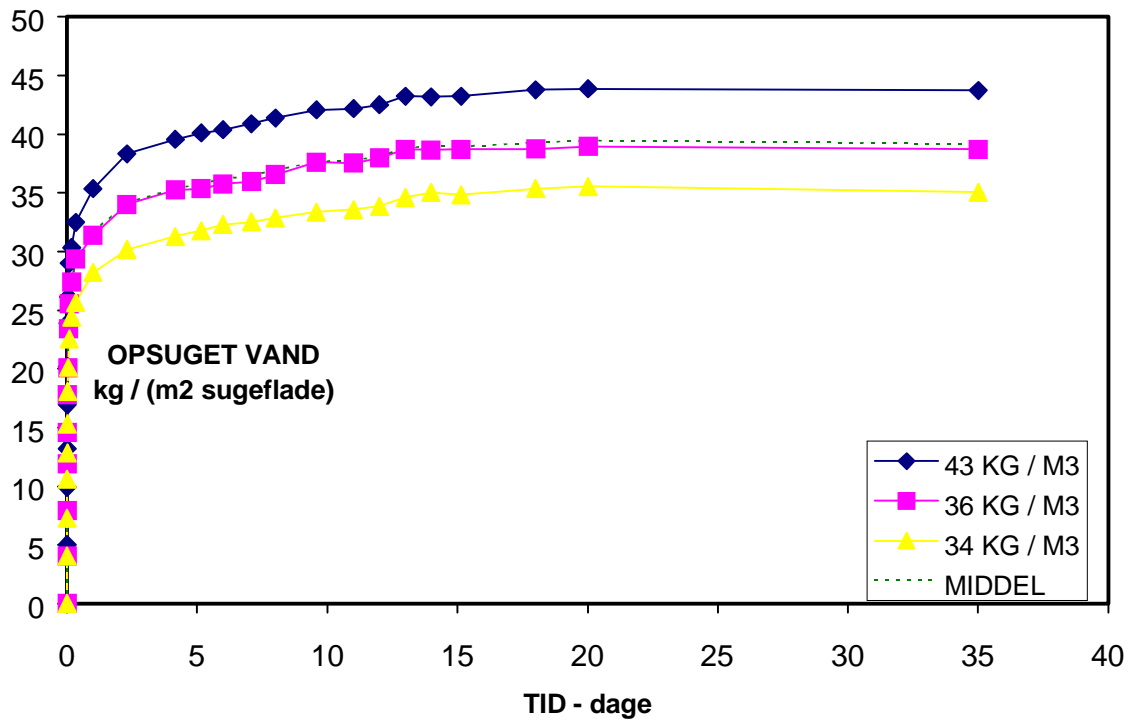
I tabel 2 er middelvandindholdet efter tørring ved  $105^\circ\text{C}$  vist for de enkelte produkter. Der er udført gentagelse af forsøg for enkelte produkter. Ved disse forsøg er alene vandindholdet ved opsugetingens afslutning bestemt. For Perlite (ubehandlet) er gentagelsesforsøget udført uden afdrypning, for Rockwool og Glasuld er gentagelsesforsøg udført på samme måde som de oprindelige forsøg, dog er prøveemnerne delt i to lag parallelt med vandoverfladen efterfølgende ved bestemmelse af vandindhold.

Tabel 2 Middelvandindholdet efter tørring ved  $105^\circ\text{C}$  for de enkelte produkter.

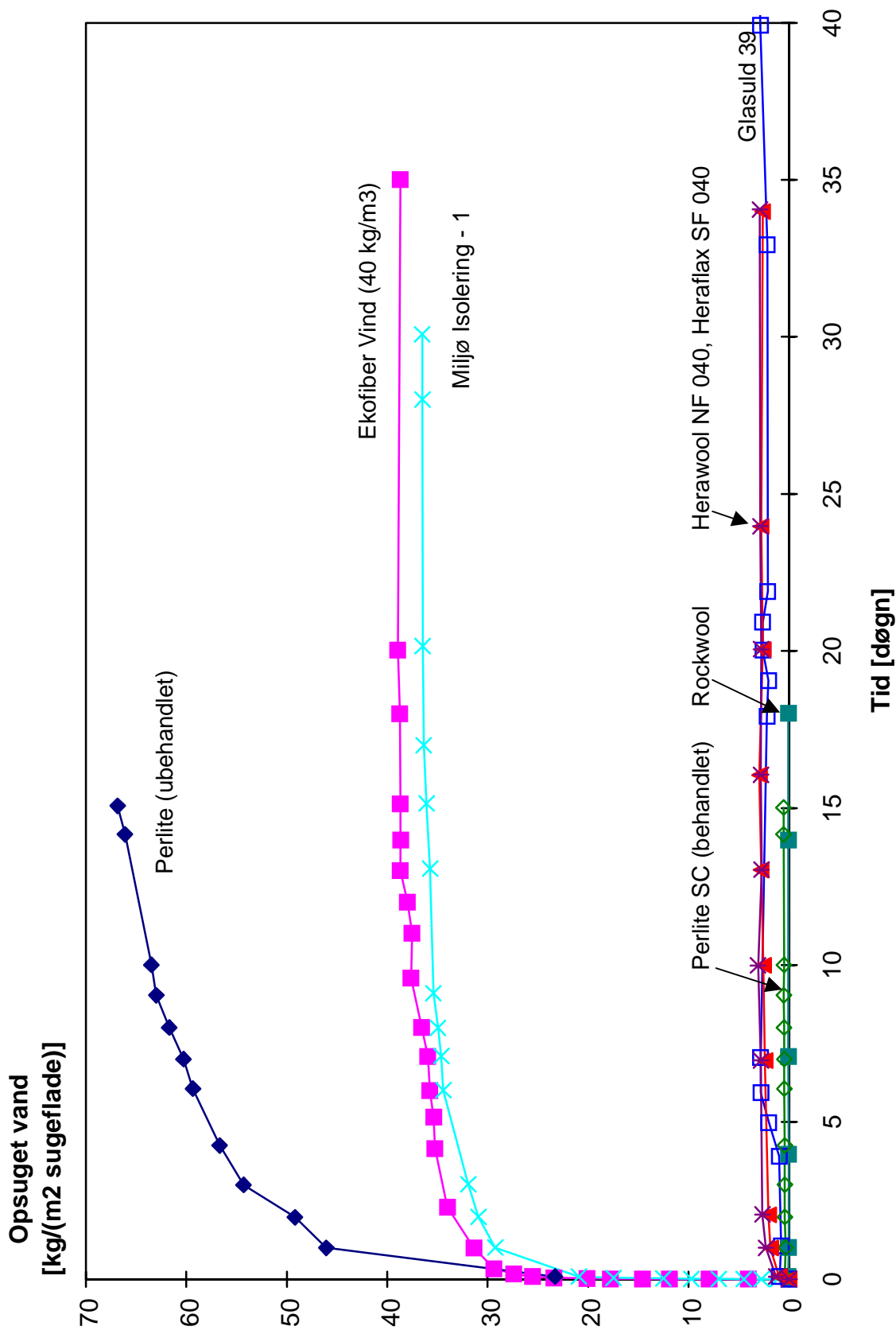
Materiale	Middelvandindhold [vægt% ( $105^\circ\text{C}$ )]
Perlite (ubehandlet)	314
Perlite (ubehandlet), uden afdrypning	329
Perlite SC (behandlet)	3.4
nederste 0-2 cm *	27
øverste 2-20 cm	1.5
Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ )	550
Ekofiber Vind ( $65 \text{ kg/m}^3$ )	657
Miljø Isolering - 1	453
Herawool NF 040	79
Heraflax SF 040	387
Rockwool A-batt	5.8
Rockwool A-batt (gentagelse)	2.4
Glasuld 39	394
Glasuld 39 (gentagelse)	200
nederste 0-2 cm *	427
øverste 2-5 cm	49

Note: \* = laget i kontakt med vand

### EKOFIBER VIND ( 40 KG / M3 )

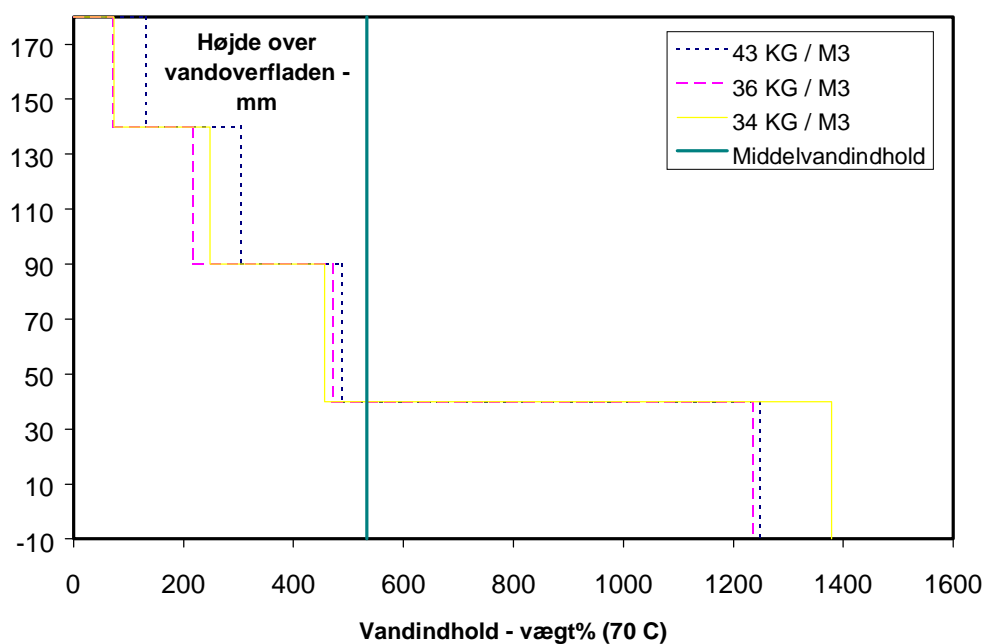


Figur 5 Opsugning på Ekofiber Vind (40 kg/m<sup>3</sup>). a: abcisse i [dage], b: abcisse i [ $\sqrt{s}$ ].

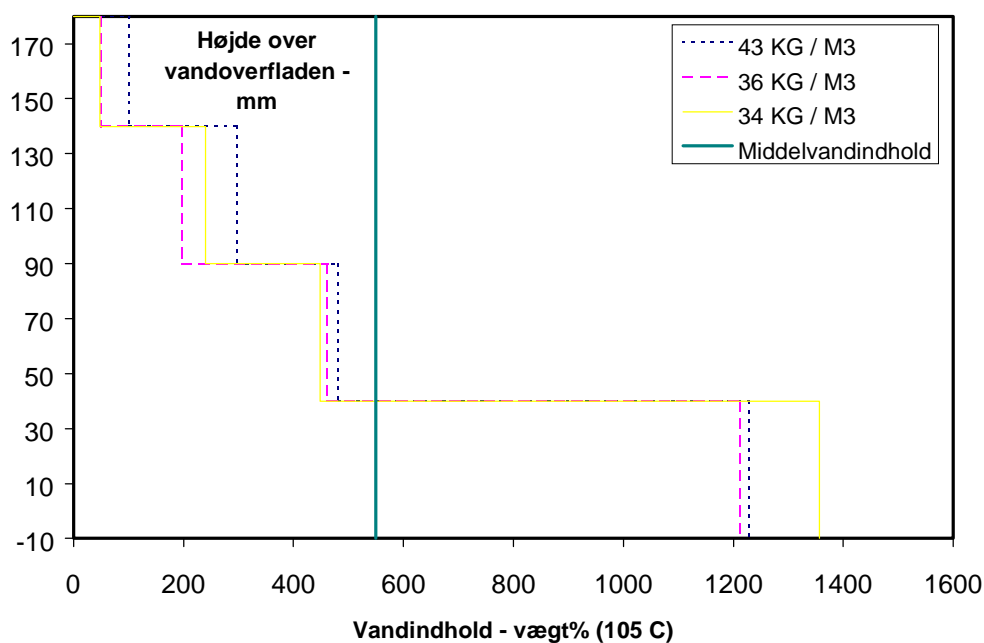


Figur 6 Opsugning for de undersøgte produkter angivet ved middellkurver for de enkelte produkter.

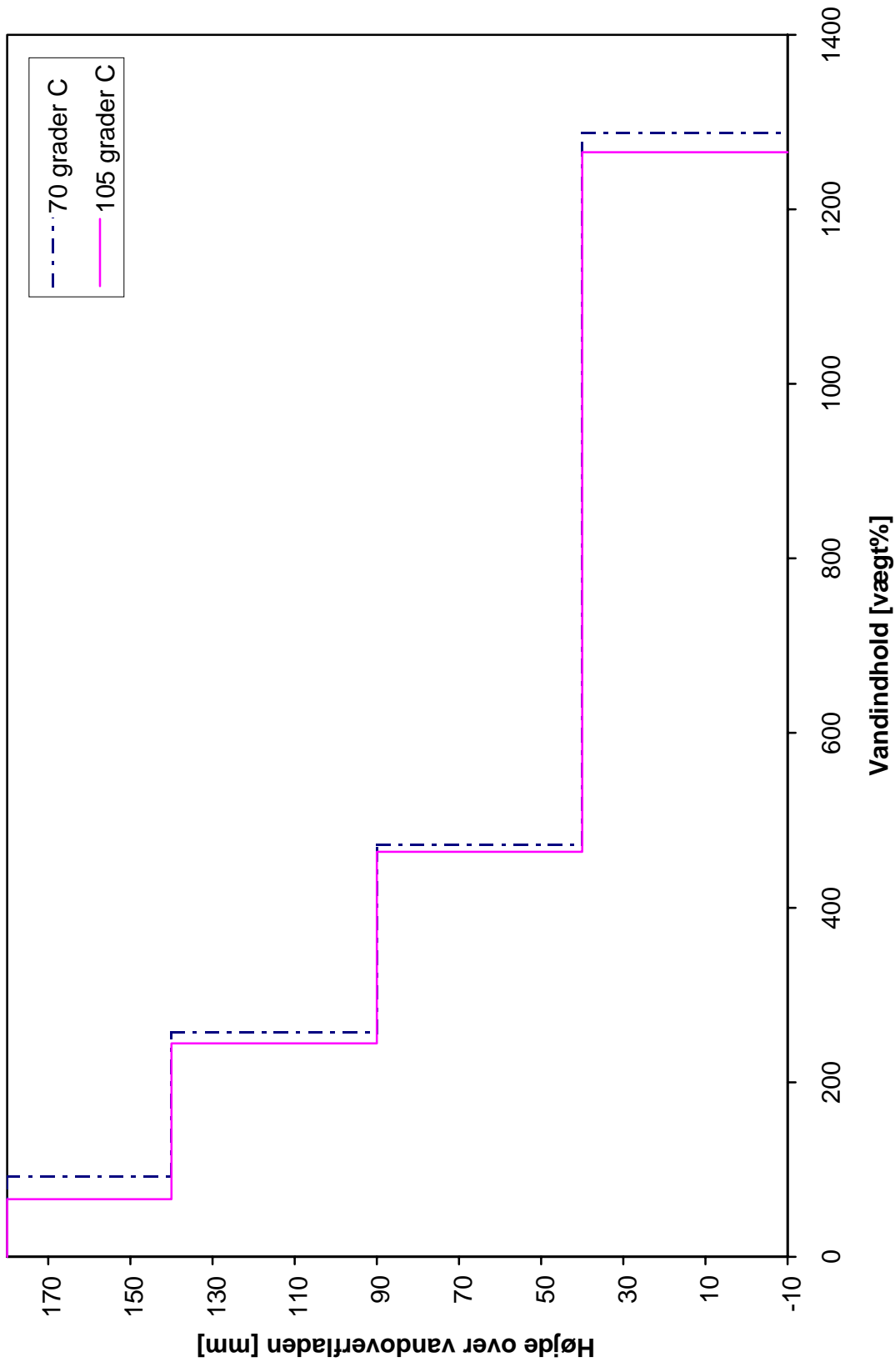
Vandindhold i de 4 lag fra målingen på Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $70^\circ\text{C}$  er vist i figur 7. I figur 8 er vist vandindhold efter yderligere tørring ved  $105^\circ\text{C}$ . På figur 9 er vist en sammenligning af vandindhold efter tørring ved  $70^\circ\text{C}$  efterfulgt af tørring ved  $105^\circ\text{C}$ . I appendix B er vist målt vandindhold for alle produkter. Position i forhold til vandoverfladen er angivet i overensstemmelse med side 3 øverst.



Figur 7 Vandindhold i Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $70^\circ\text{C}$ .



Figur 8 Vandindhold i Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $105^\circ\text{C}$ .



Figur 9 Sammenligning af vandindhold for Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $70^\circ\text{C}$  efterfulgt af tørring ved  $105^\circ\text{C}$ . Tørringen er udført på samme prøve i hvert lag



### 4.3 Sugehastighed

I tabel 3 er vist opsuget vand ( $Q_{kap}$ ), tid til knækpunktsabsorption  $\sqrt{t_{kap}}$  og kapillaritetstallet  $k$  for de enkelte prøveemner samt middelværdien for kapillaritetstallet for de enkelte produkter. I appendix C vises et eksempel på indtegnede linier til bestemmelse af kapillaritetstallet.

Tabel 3 Opsuget vand, tid og kapillaritetstal for de enkelte prøveemner samt middelværdien for kapillaritetstallet for de enkelte produkter.

Materiale	Opsuget vand - $Q_{kap}$		Tid - $\sqrt{t_{kap}}$ [ $\sqrt{s}$ ]	Kapillaritetstal - $k$	
	Prøveemne [kg/m <sup>2</sup> ]	Middel [kg/m <sup>2</sup> ]		Prøveemne [kg/(m <sup>2</sup> · $\sqrt{s}$ )]	Middel [kg/(m <sup>2</sup> · $\sqrt{s}$ )]
Perlite (ubehandlet)	68		251	0.27	
	65		240	0.27	
	65	66	240	0.27	0.27
Perlite (ubehandlet), ingen afdrypning	65		150	0.43	
	69		140	0.49	
	73	69	120	0.61	0.51
Perlite SC (behandlet)	0.53		103	0.005	
	0.53		103	0.005	
	0.53	0.5	103	0.005	0.005
Ekofiber Vind (40 kg/m <sup>3</sup> )	44		57	0.77	
	38		70	0.54	
	35	39	96	0.36	0.56
Ekofiber Vind (65 kg/m <sup>3</sup> )	70		80	0.88	
	68		80	0.85	
	62	67	90	0.69	0.81
Miljø Isolering - 1	39		130	0.30	
	36		139	0.26	
	35	37	148	0.24	0.27
Herawool NF 040	2.3		220	0.010	
	2.4		200	0.012	
	2.9	2.5	220	0.013	0.012
Heraflax SF 040	2.6		190	0.014	
	3.0		200	0.015	
	3.1	2.9	160	0.019	0.016
Rockwool A-batt	0.1		80	0.001	
	0.1		80	0.001	
	0.1	0.1	80	0.001	0.001
Glasuld 39	3.8		95	0.04	
	3.8		95	0.04	
	1.4	3.0	83	0.02	0.03

## 5. Diskussion

Måleresultater fra kapillarsugning på figur 6 og i tabel 3 viser at produkterne suger vidt forskelligt. Perlite (ubehandlet) suger mest; der nås et slutniveau på 66 kg/m<sup>2</sup> sugeflade. Papirisolering (Ekofiber og Miljø Isolering -1) når et slutniveau omkring 35 kg/m<sup>2</sup> sugeflade, mens de øvrige produkter suger mindre end 5 kg/m<sup>2</sup> sugeflade.

I tabel 4 sammenlignes nogle af de her fundne måleresultater med måleresultater for Rockwool A Plade Batts-10, Glasuld-36 Terræn, Leca Coated (behandlet) og Leca (ubehandlet), som er vist i /4. 5/.

*Tabel 4 Sammenligning af måleresultater for opsuget vand  $Q_{kap}$  og middelvandindhold.*

Materiale	Opsuget vand - $Q_{kap}$ [kg/(m <sup>2</sup> sugeflade)]	Middelvandindhold [vægt% (105°C)]
Perlite (ubehandlet)	66	314
Leca (ubehandlet) <sup>1</sup>	14	34
Perlite SC (behandlet)	0.5	
Nederste 0-2 cm		27
Øverste 2-20 cm		1.5
Leca Coated (behandlet) <sup>1</sup>	3.0	
Nederste 0-2 cm		26.5
Øverste 2-20 cm		0.1
Rockwool A-batt	0.1	5.8 <sup>2</sup>
Rockwool A Plade Batts-10 <sup>1</sup>	0.1	2.5
Glasuld 39	3.0	394 <sup>3</sup>
Glasuld-36 Terræn <sup>1</sup>	0.4	87

Noter til tabel 4:

- 1) Resultater fra /4, 5/
- 2) Gentagelsesforsøg giver et middelvandindhold på 2.4 vægt%
- 3) Gentagelsesforsøg giver et middelvandindhold på 200 vægt% (49 vægt% for de øverste 3 cm)

Det ses af tabel 4, at  $Q_{kap}$  og middelvandindhold for Perlite (ubehandlet) er betydeligt større end for Leca (ubehandlet). Ligeledes er  $Q_{kap}$  og middelvandindholdet for Glasuld 39 betydeligt større end for Glasuld-36 Terræn.

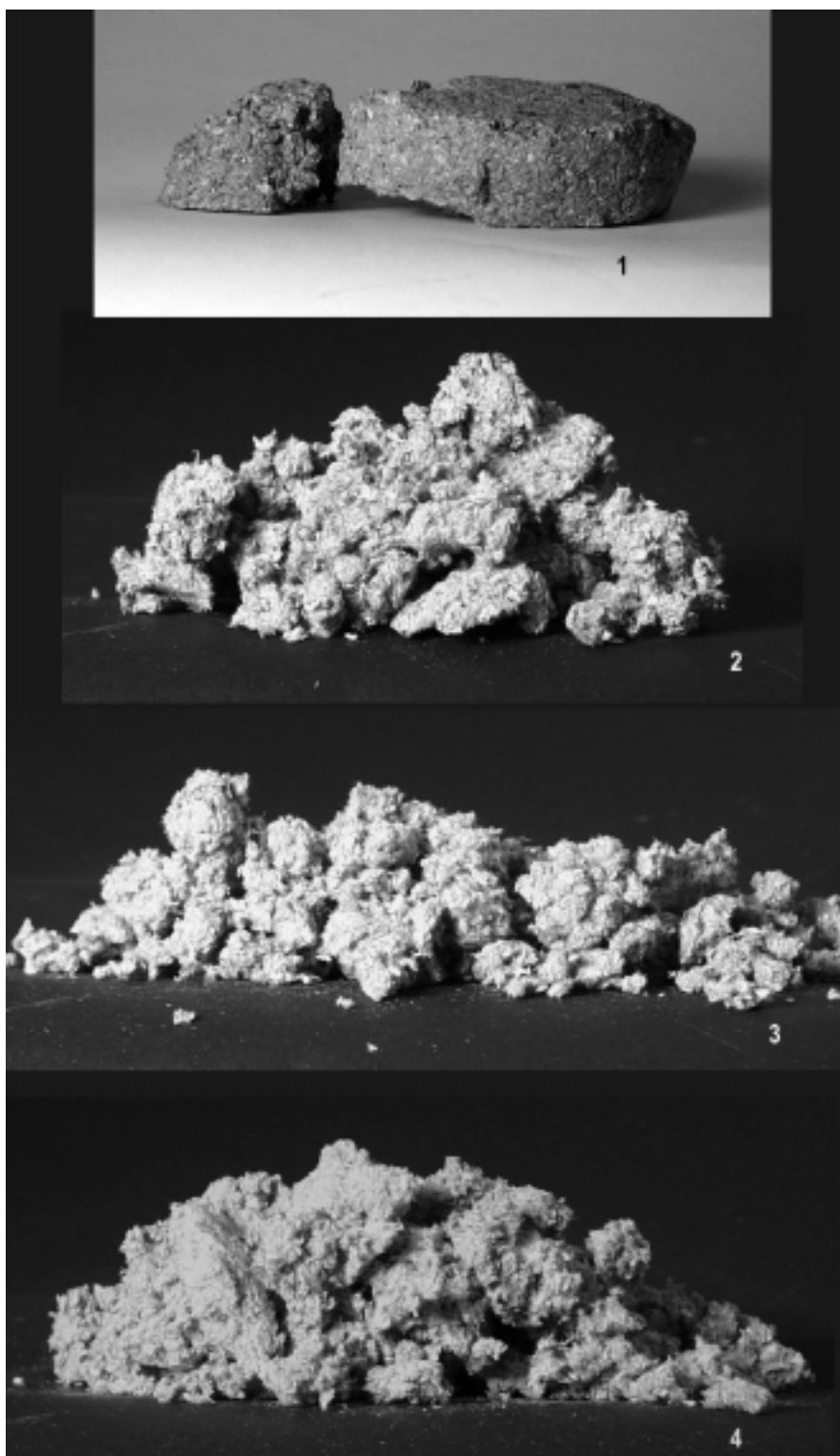
Måleresultaterne for Perlite SC (behandlet) og Leca Coated (behandlet) ligger i samme niveau. Dette gælder ligeledes for Rockwool A-batt og Rockwool A Plade Batts-10.

Det har ikke været muligt at finde sammenlignelige måleresultater for de øvrige produkter.

Der er bestemt vandindhold for Ekofiber Vind ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $70^\circ\text{C}$  og igen efter yderligere tørring ved  $105^\circ\text{C}$ , jf. sammenligning i figur 9. Det ses af figuren, at der ikke er stor forskel på de to vandindhold; forskellen ligger indenfor 25 vægt% for alle vandindhold mellem 0 og 1400 vægt%. Det blev på denne baggrund besluttet at tørre alle produkter ved  $105^\circ\text{C}$ .

På figur 10 er vist de fire lag fra målingen på Ekofiber Vind ( $65 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $105^\circ\text{C}$ . På billede 1 ses nederste lag af materialet, der har haft direkte kontakt med vandoverfladen, og som har indeholdt den største mængde vand (1300 vægt%). Det ses at materialet efter tørring har en fast form i retning af papmache. Det næste lag (billede 2), fra 4-9 cm over vandoverfladen er noget klumpet pga. et relativt stort vandindhold (600 vægt%). Strukturen af materialet i de to øverste lag (billede 3 og 4) ikke påvirket af vandopsugningen, på trods af et vandindhold på 200-350 vægt%.

Der er observeret sætning af samtlige prøveemner af papirisolering. Sætningen er i størrelsesordenen 0.01-0.04 m, der skal sættes i relation til prøveemnets starthøjde på 0.19 m. De i figurerne viste vandindhold som funktion af højde over vandoverfladen refererer til sluthøjden.



*Figur 10 Ekofiber Vind ( $65 \text{ kg/m}^3$ ) efter tørring ved  $105^\circ\text{C}$ . Billede 1 viser de nederste 5 cm af prøven (fra 1 cm under til 4 cm over vandoverfladen), billede 2 viser laget 4-9 cm over vandoverfladen, billede 3 og 4 viser lagene 9-14 cm og 14-19 cm over vandoverfladen.*

## 6. Konklusion

Følgende måleresultater er fundet ved de udførte kapillarsugningsforsøg:

*Tabel 5 Resultatoversigt. Kapillarsugning.*

Produkt	Opsuget vand $Q_{kap}$ [kg/(m <sup>2</sup> sugeflade)]	Kapillaritetstal $k$ [kg/(m <sup>2</sup> · √s )]	Middelvandindhold [vægt % (105°C)]
Perlite (ubehandlet)	66	0.27	314
Perlite SC (behandlet)	0.5	0.005	3.4
Nederste 0-2 cm			27
Øverste 2-20 cm			1.5
Ekofiber Vind (40 kg/m <sup>3</sup> )	39	0.56	550
Ekofiber Vind (65 kg/m <sup>3</sup> )	67	0.81	657
Miljø Isolering - 1	37	0.27	453
Herawool NF 040	2.5	0.012	79
Heraflax SF 040	2.9	0.016	387
Rockwool A-batt	0.1	0.001	5.8
Glasuld 39	3.0	0.03	394

Der er udført gentagelsesforsøg med Perlite (ubehandlet), Rockwool A-batt og Glasuld 39, der bekræfter de ovennævnte middelvandindhold for de pågældende produkter.

Middelvandindhold for Perlite SC (behandlet) er angivet for 2 højder aht. sammenligningen med Leca Coated, der er omtalt i diskussionsafsnittet.

Der er observeret sætning af samtlige prøveemner af papirisolering. Sætningen er i størrelsesordenen 0.01-0.04 m, der skal sættes i relation til prøveemnets starthøjde på 0.19 m.

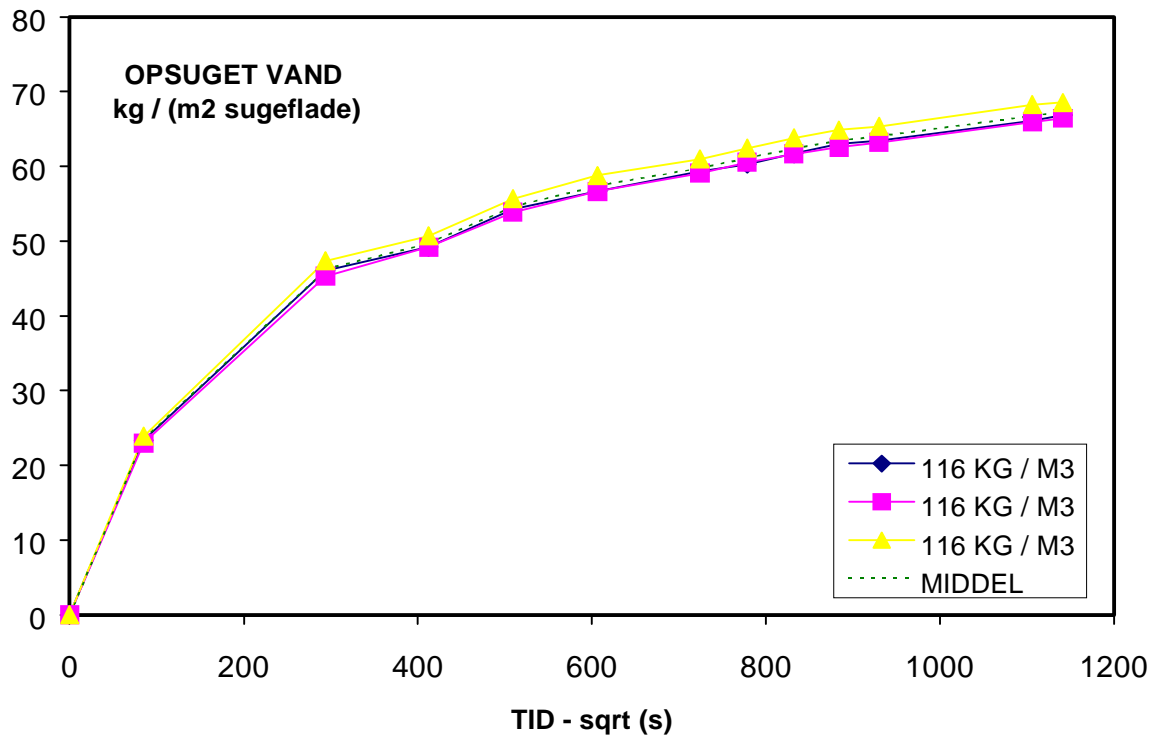
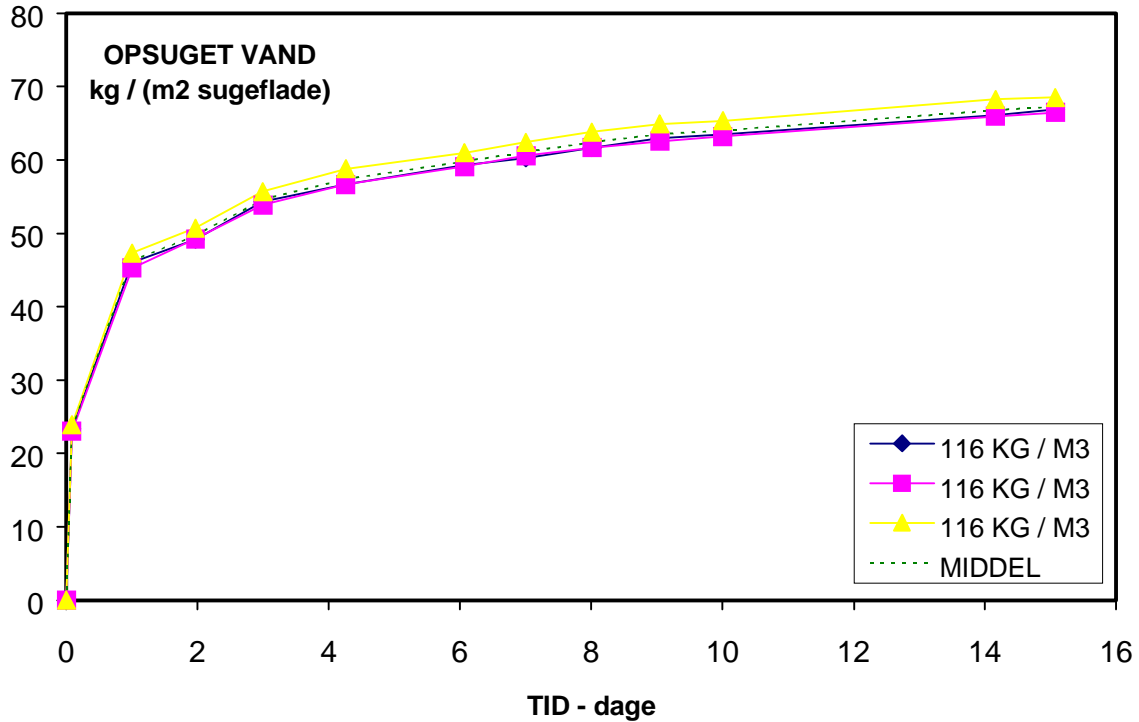
## 7. Litteratur

- /1/ LBM-prøvningsmetode 1: Kapillarsugning. 170189 CBN:sl Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby, 1989.
- /2/ DS/EN 12087: *Termisk isolering i byggeriet. Produkter. Bestemmelser af langtids-vandoptagelse ved neddykning*. 1. udgave. 1997-08-14.
- /3/ DS/EN 1609 + AC: *Termisk isolering i byggeriet. Produkter. Bestemmelse af korttids-vandabsorption ved delvis neddykning*. 1. udgave. 1997-06-10.
- /4/ Hansen, K.K. and Bunch-Nielsen, T. (1993): *Capillary rise of water in insulation materials and in gravel and stone – Part I. Mineral wool and expanded polystyrene*. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> symposium on Building Physics in the Nordic countries: Building Physics '93 (B.Saxhof, editor). Thermal Insulation Laboratory, Lyngby, Denmark, 1993. ISBN 87-984610-2-8 Volume 2, pp.761-768.
- /5/ Hansen, K.K. and Bunch-Nielsen, T. (1993): *Capillary rise of water in insulation materials and in gravel and stone – Part II. Products of light weight expanded clay aggregates*. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Symposium on Building Physics in the Nordic Countries: Building Physics '93 (B.Saxhof, editor). Thermal Insulation Laboratory, Lyngby, Denmark, 1993. ISBN 87-984610-2-8 Volume 2, pp.769-775.

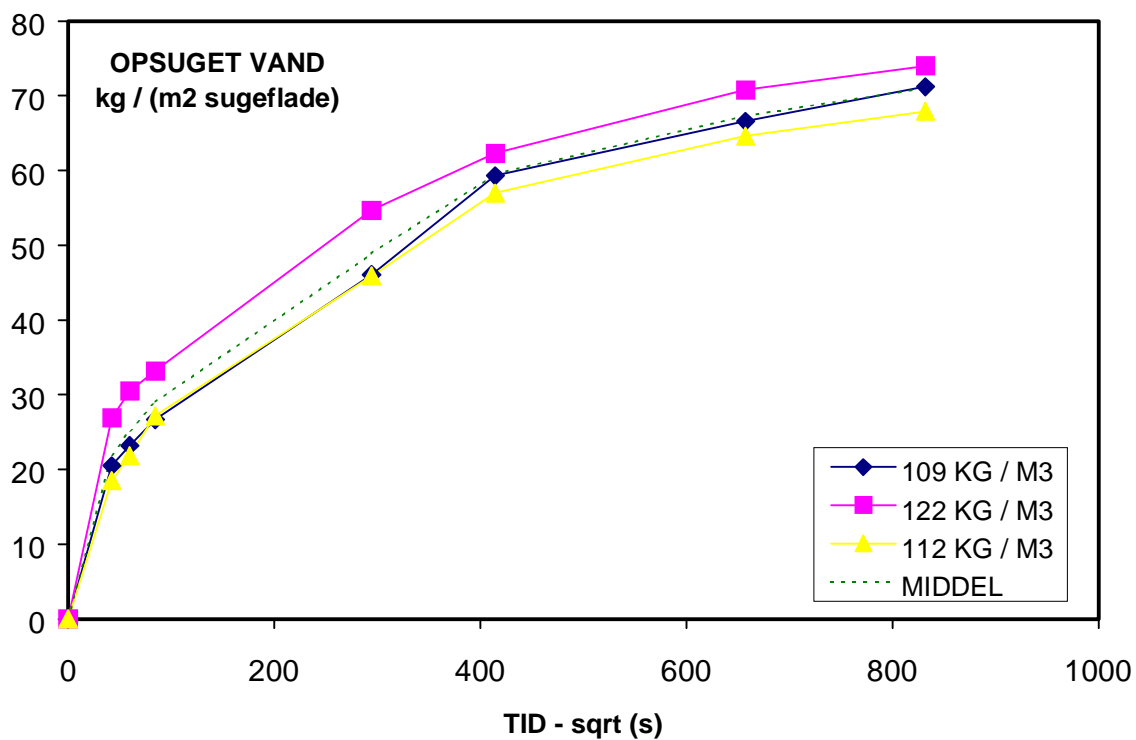
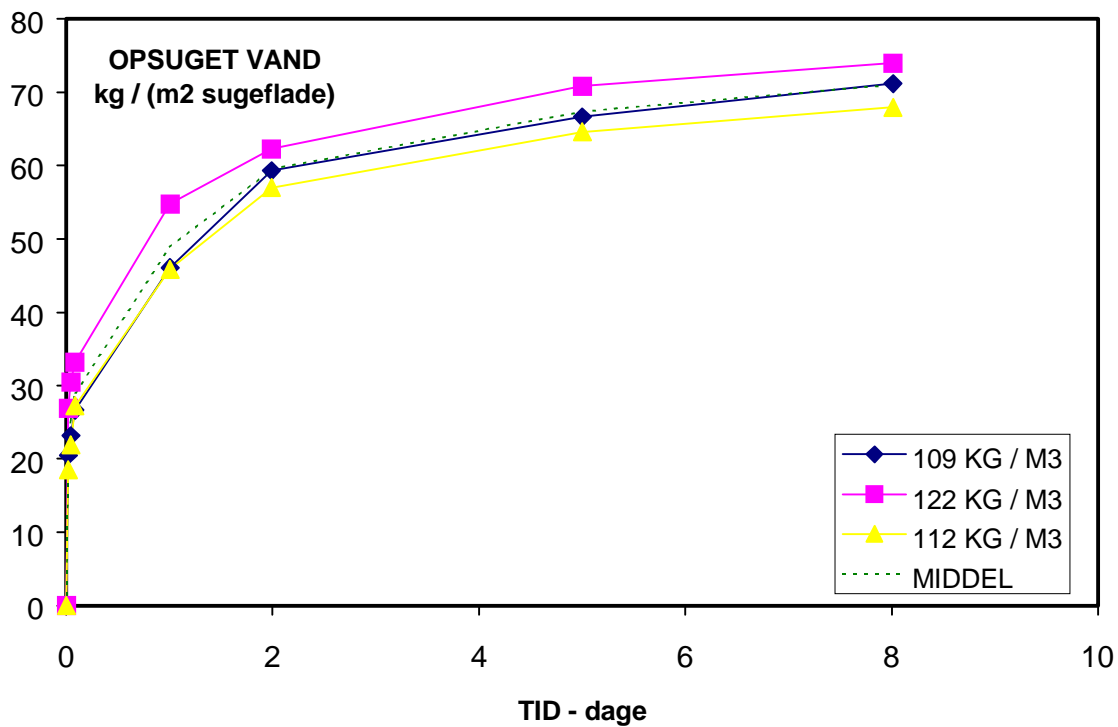
## Appendix A - Optegning af kapillarsugningsforløb for alle produkter

For hvert enkelt prøveemne angives densiteten i  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ . Desuden vises en middelkurve for hvert produkt.

### PERLITE ( UBEHANDLET )

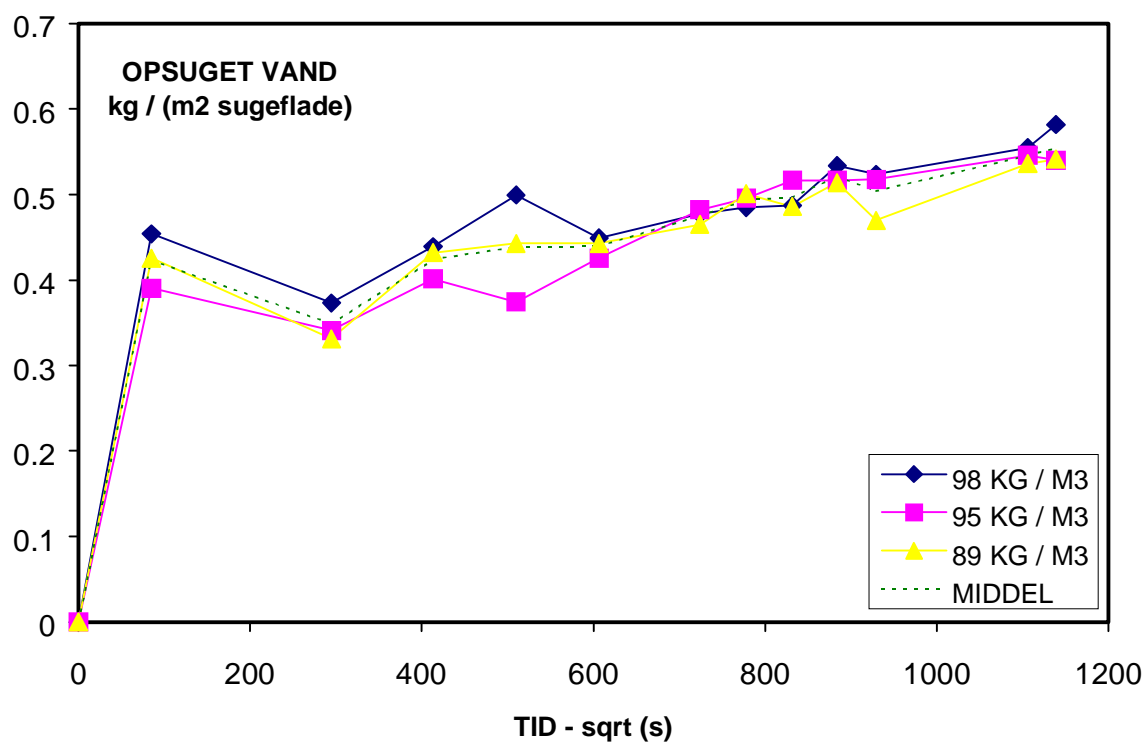
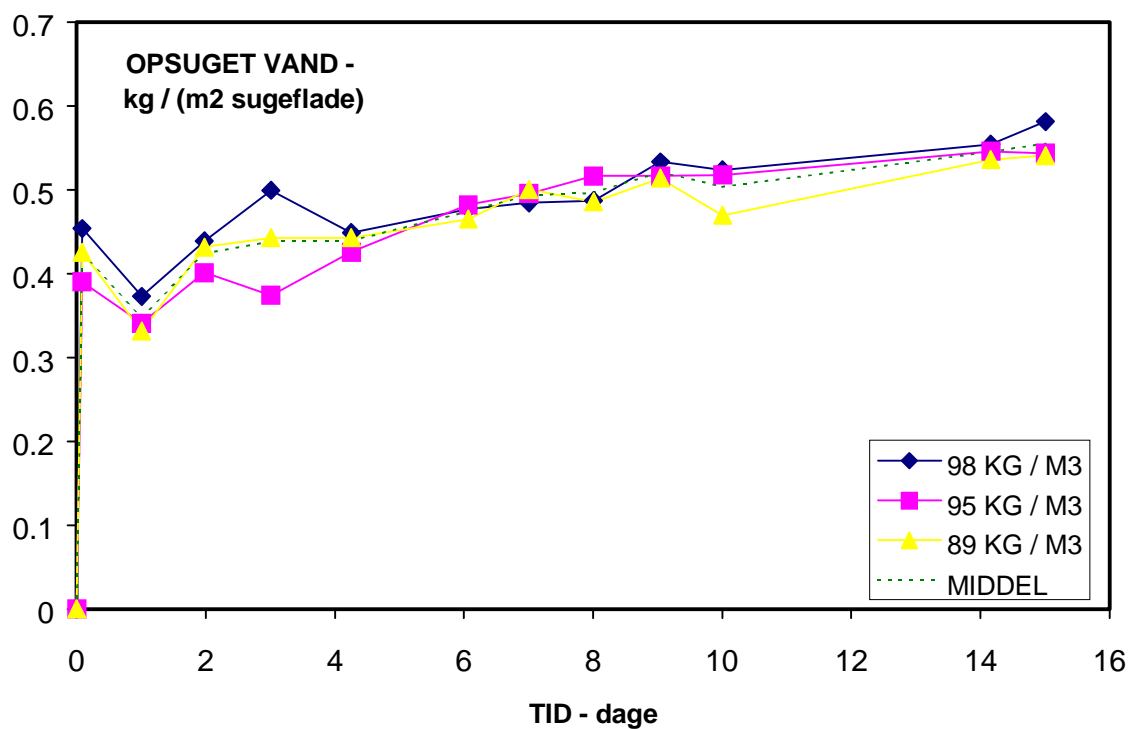


PERLITE ( UBEHANDLET ) ( GENTAGELSE UDEN AFDRYPNING )

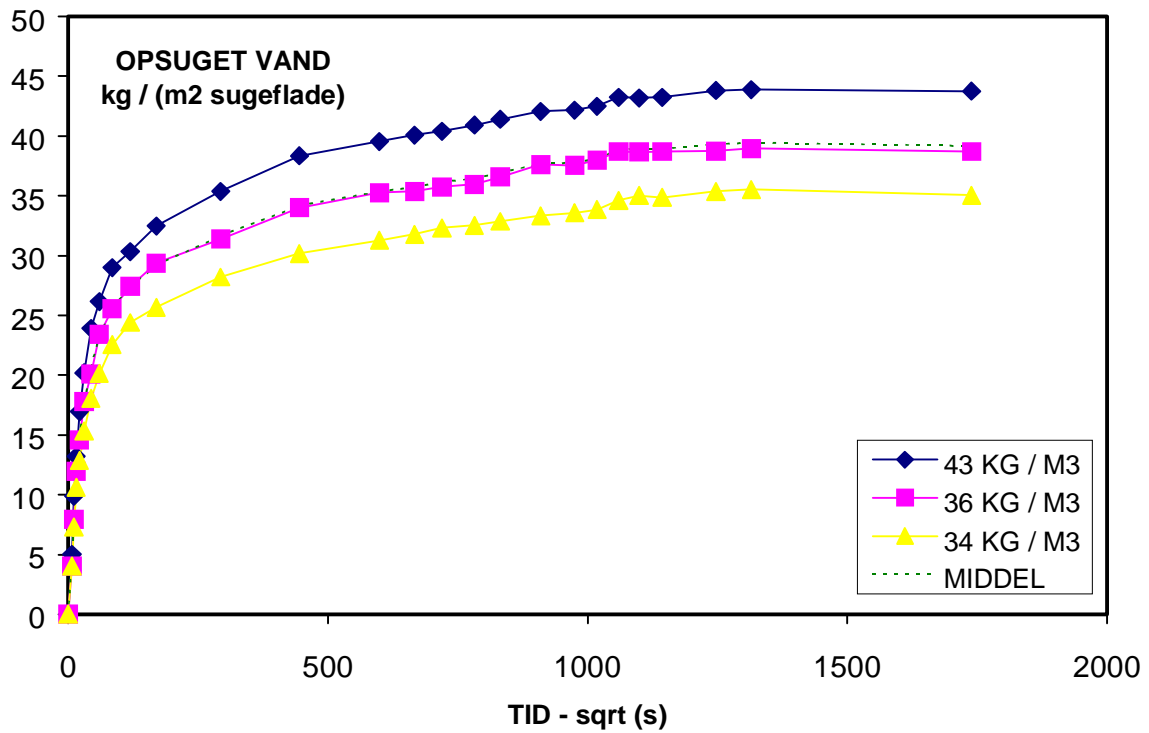
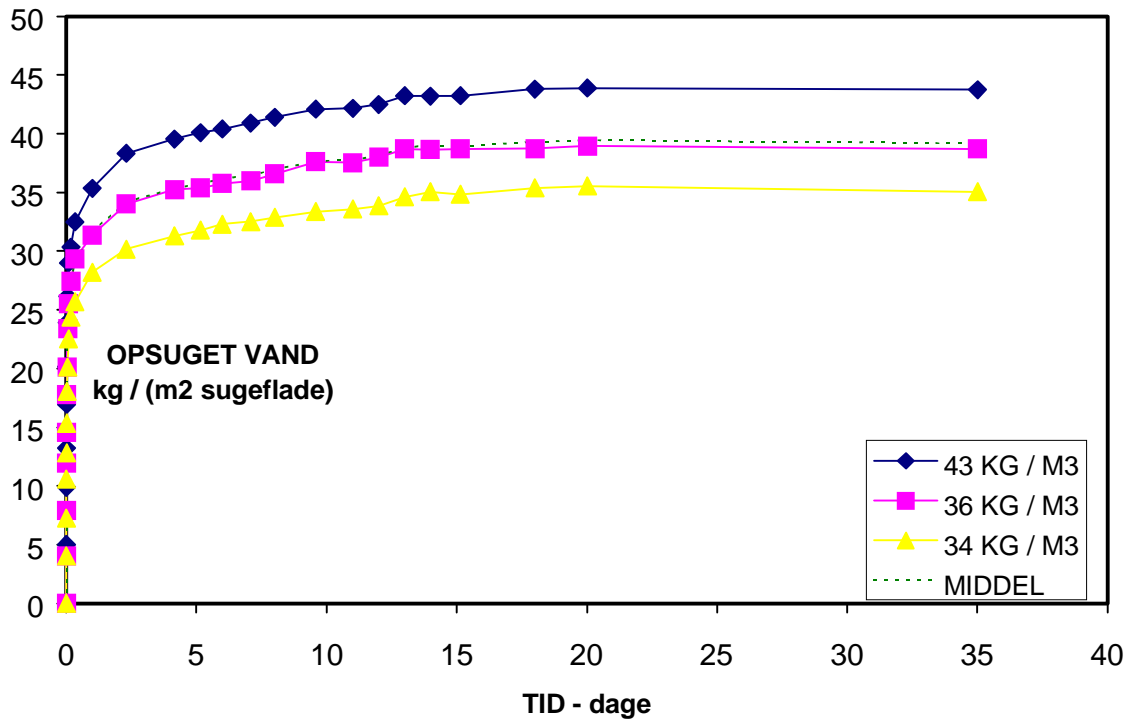




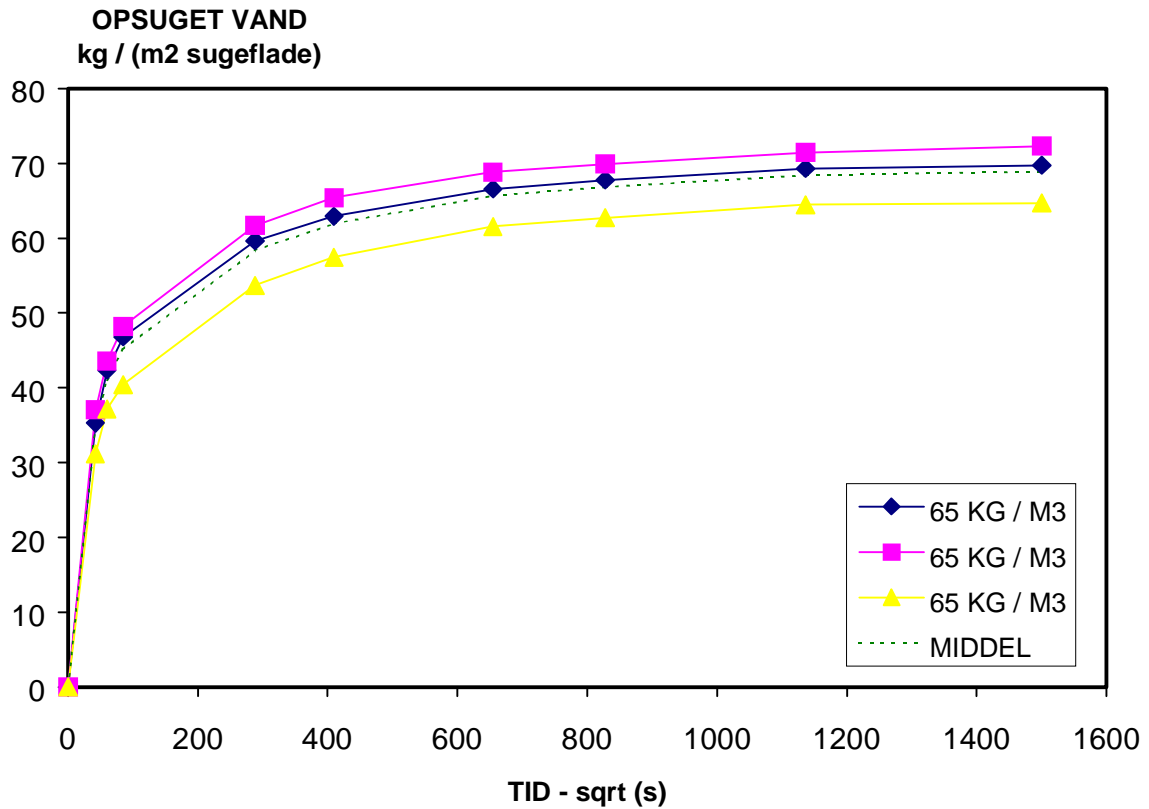
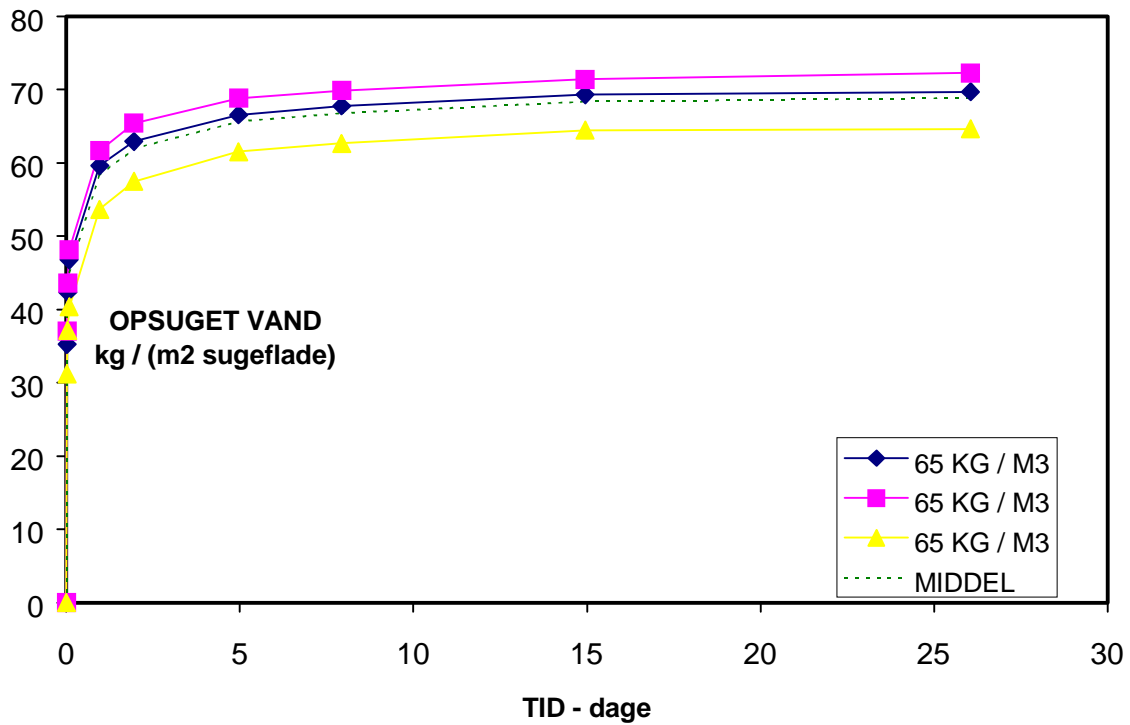
### PERLITE SC ( BEHANDLET )



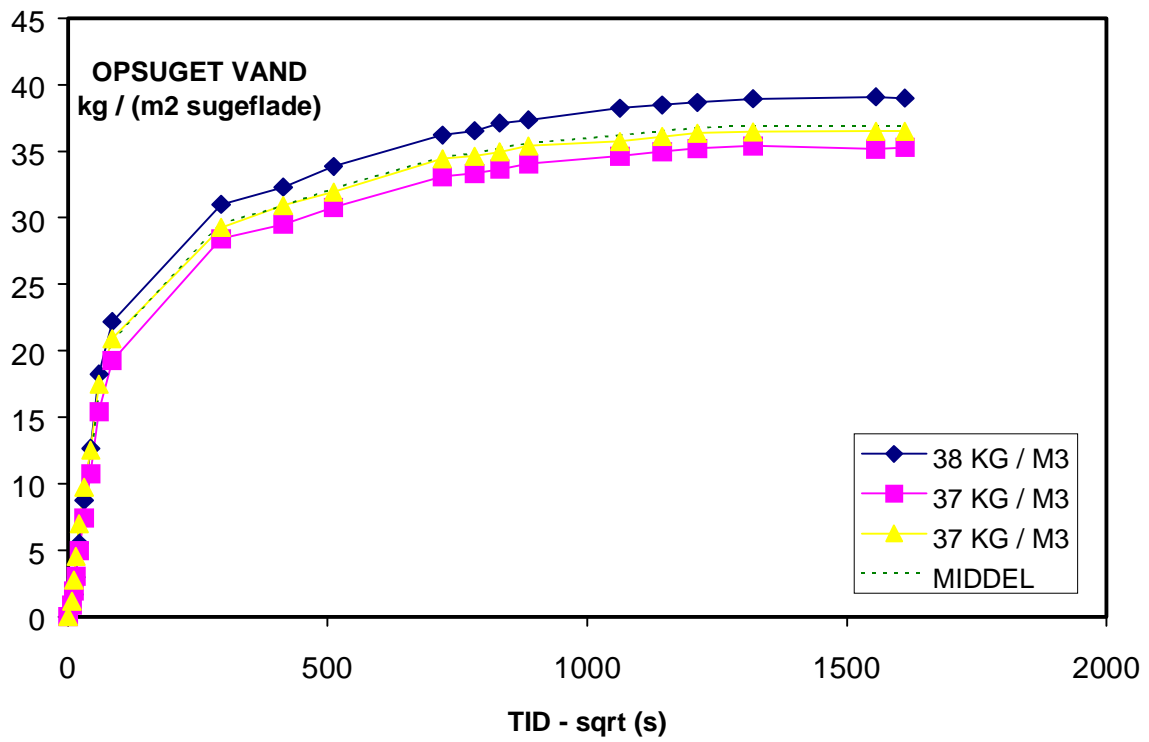
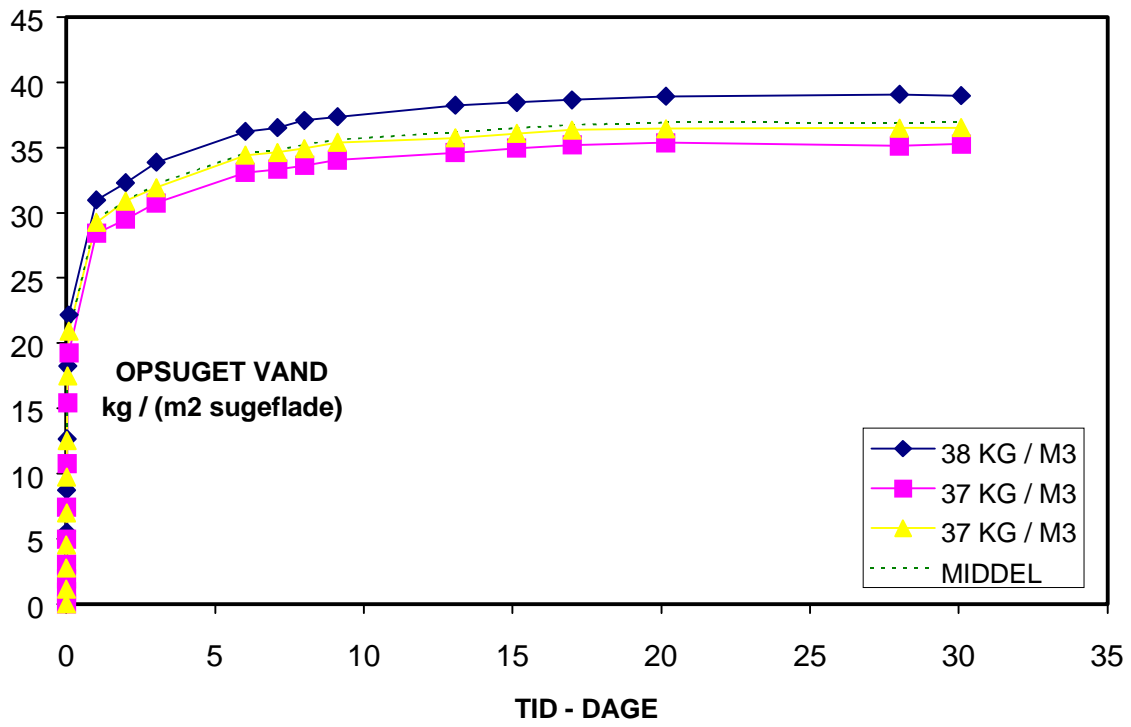
### EKOFIBER VIND ( 40 KG / M3 )



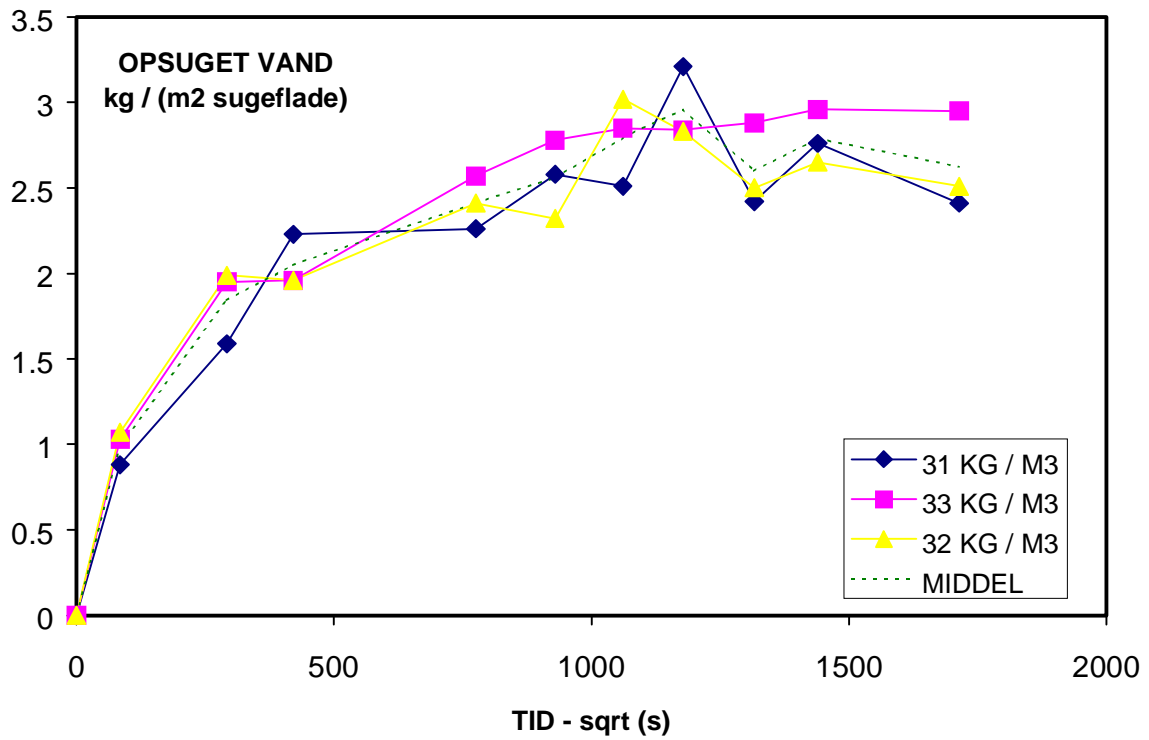
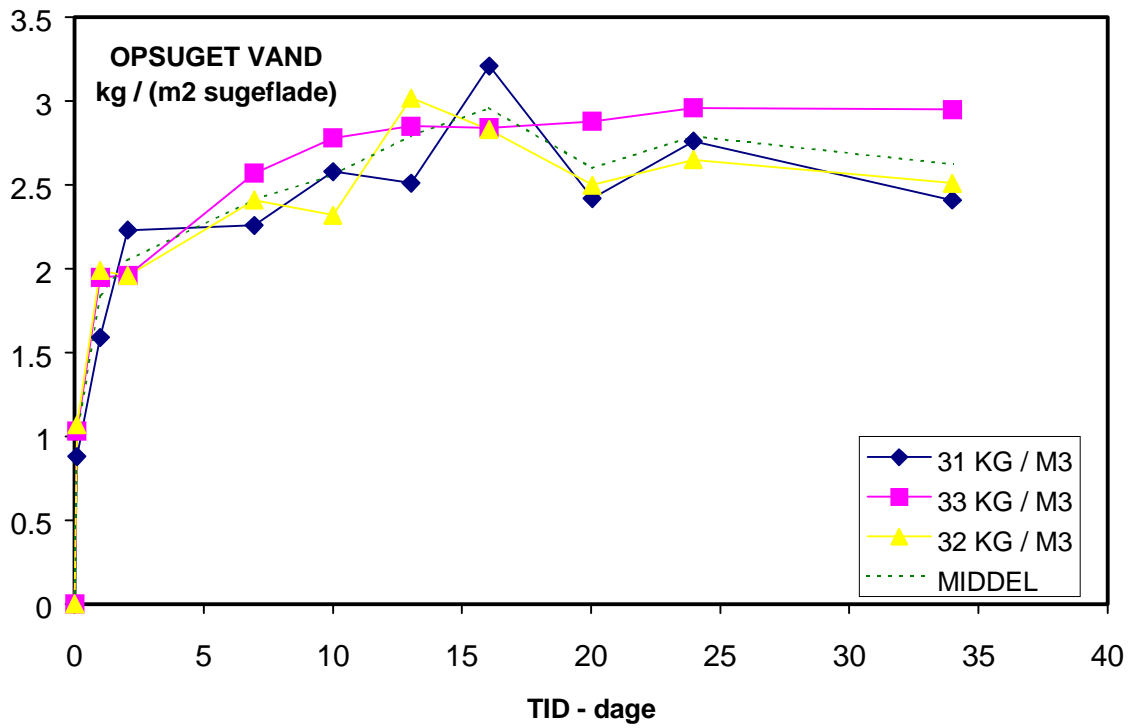
### EKOFIBER VIND ( 65 KG / M3 )



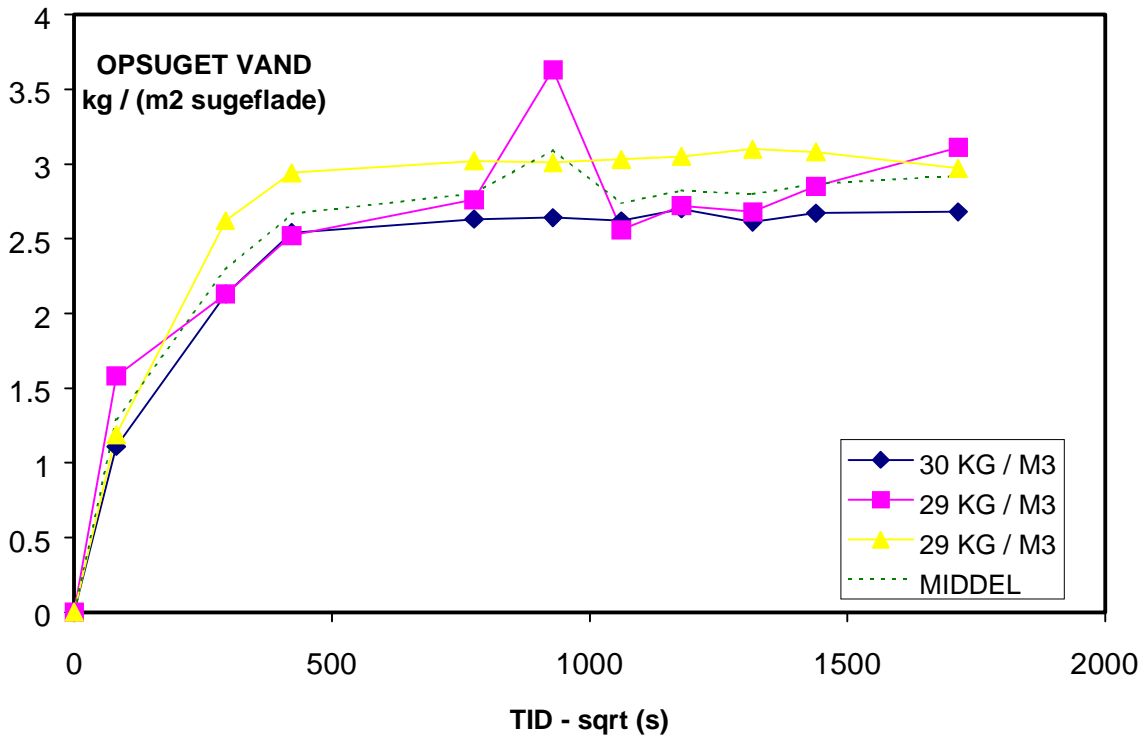
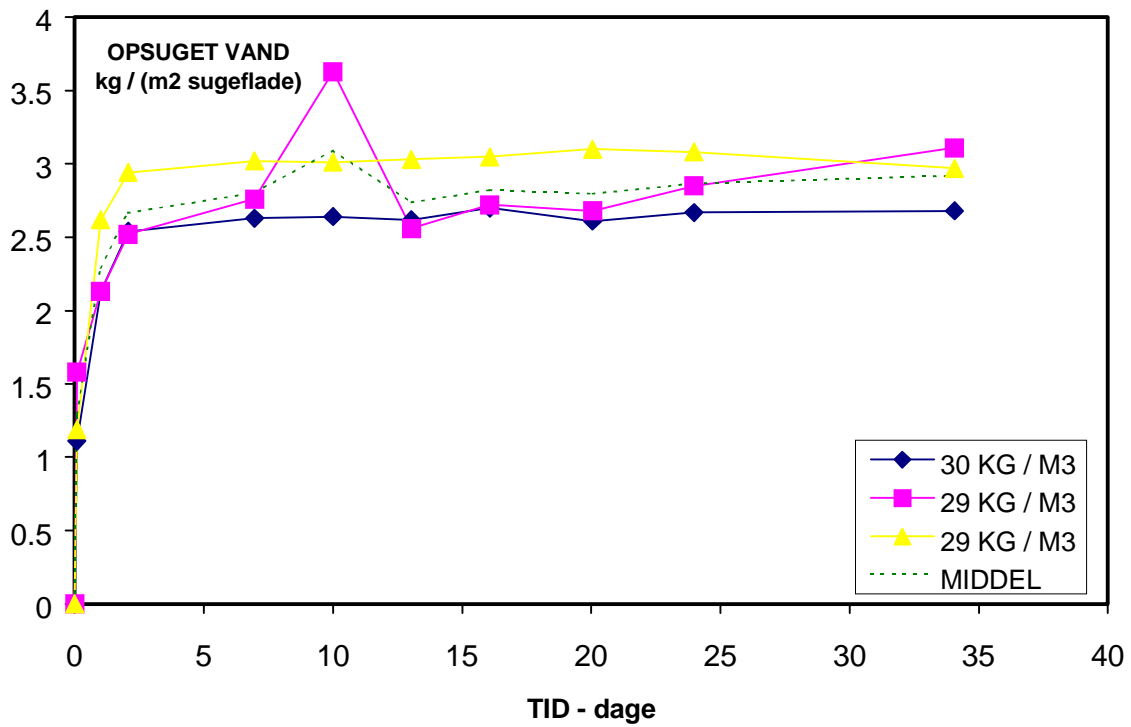
# MILJØ ISOLERING - 1



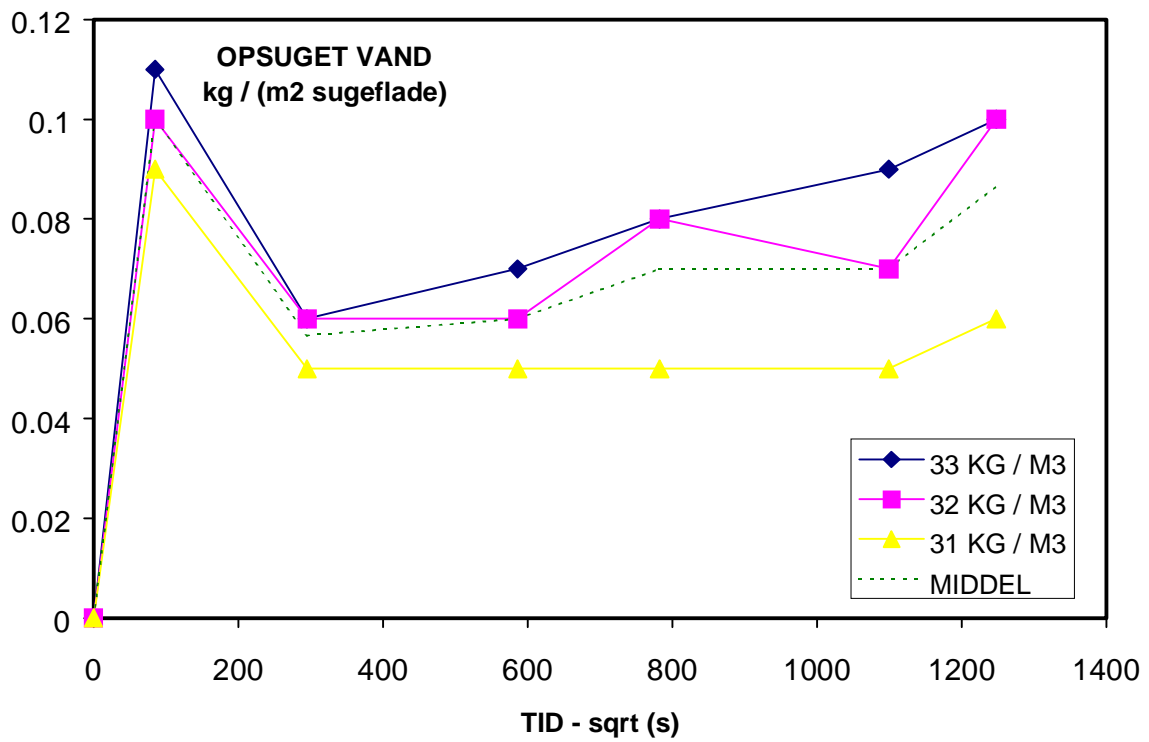
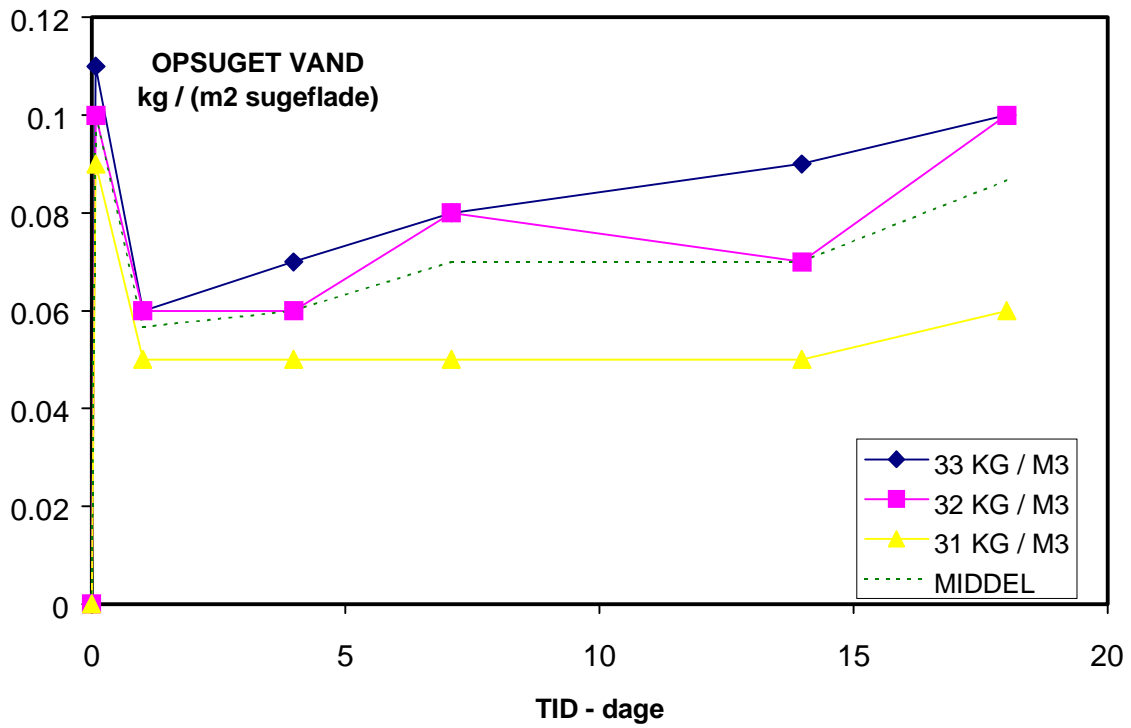
# HERAWOOL NF 040



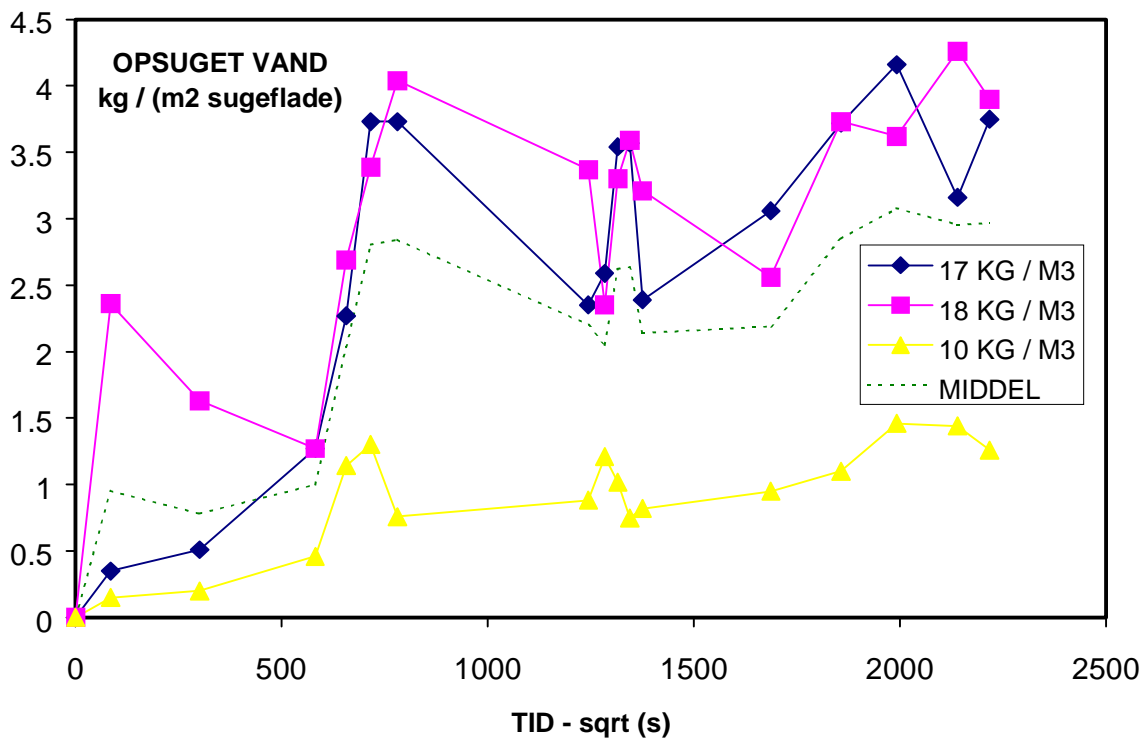
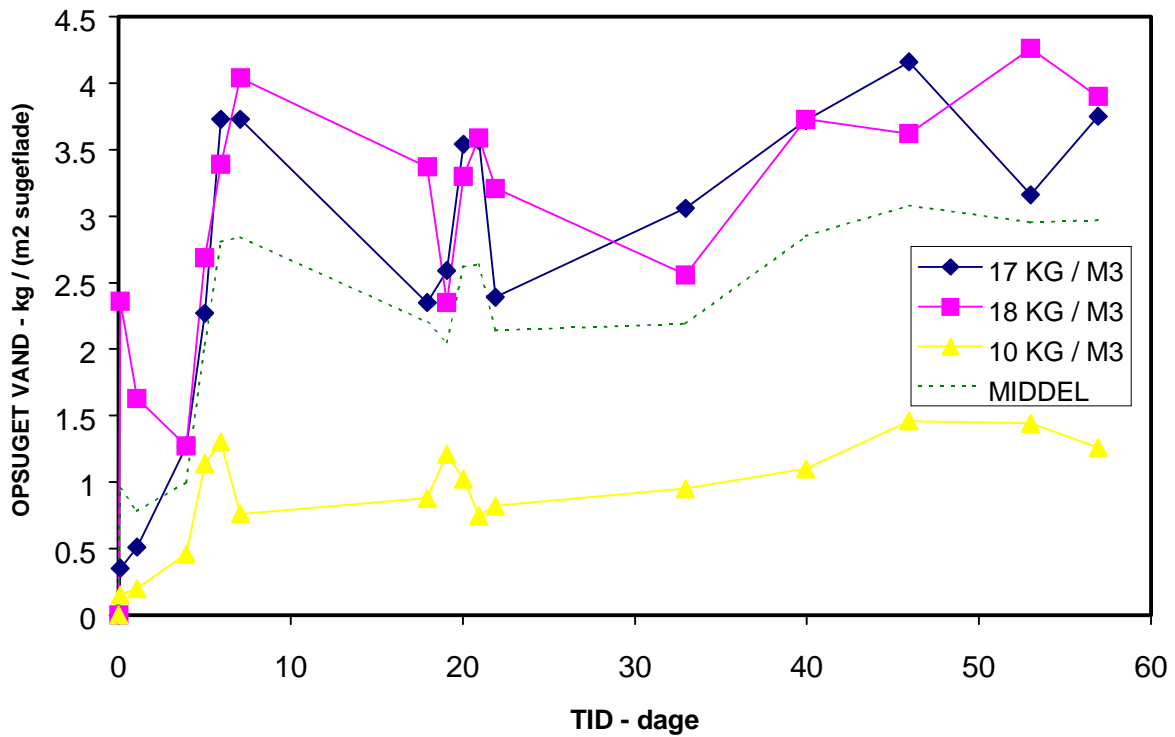
# HERAFLAX SF 040



### ROCKWOOL A-BATT



### GLASULD 39

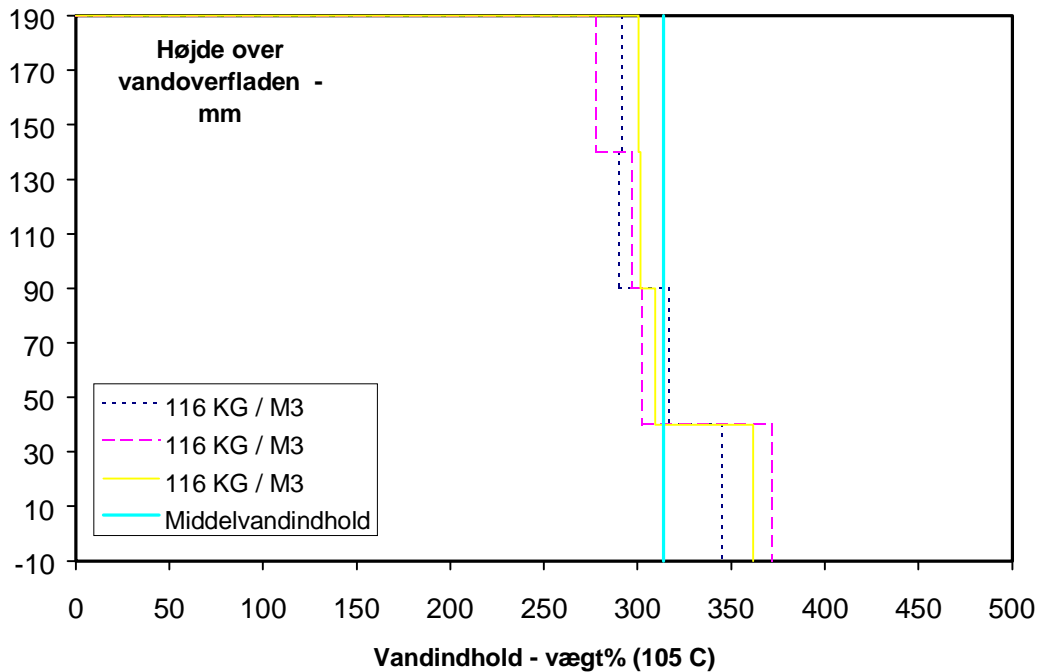




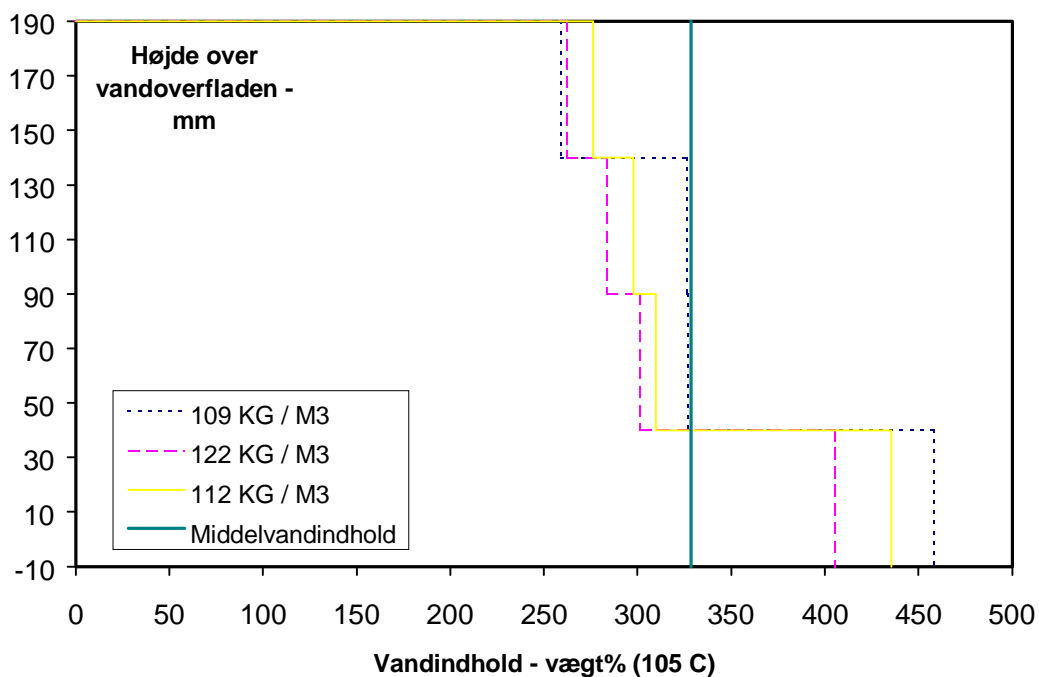
## Appendix B - Målt vandindhold for alle produkter

For hver enkelt prøveemne angives densiteten i  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ . Desuden markeres middelvandindholdet for hvert produkt. Bemærk at alle ordinatakser starter ved -10 mm svarende til at sugefluden var placeret 10 mm under vandoverfladen.

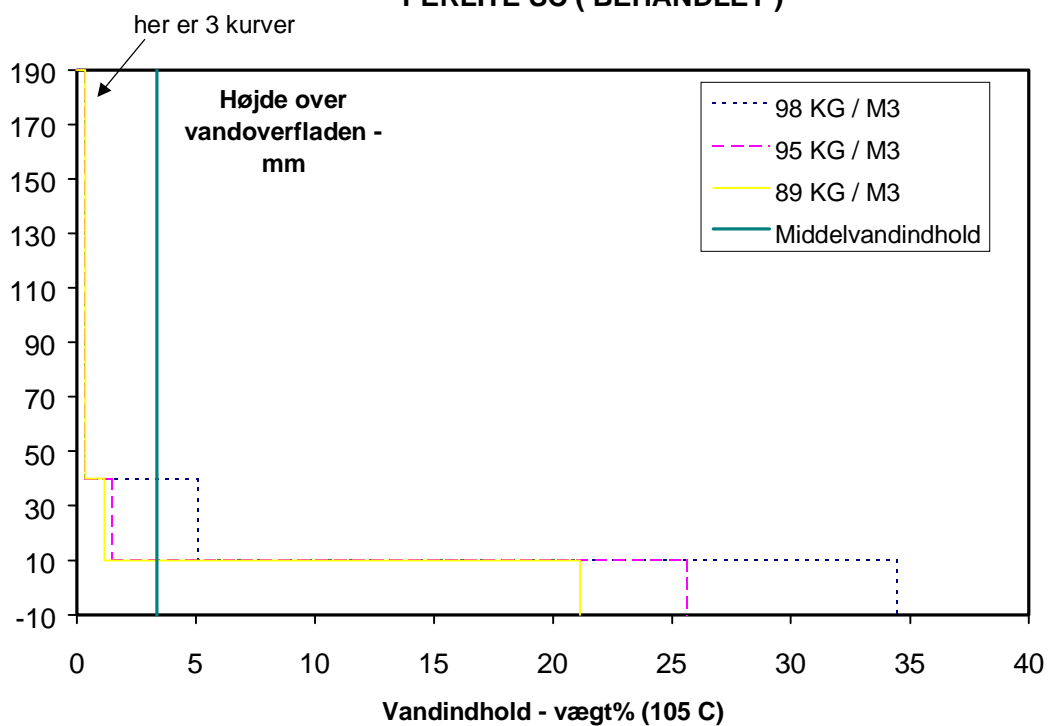
### PERLITE ( UBEHANDLET )



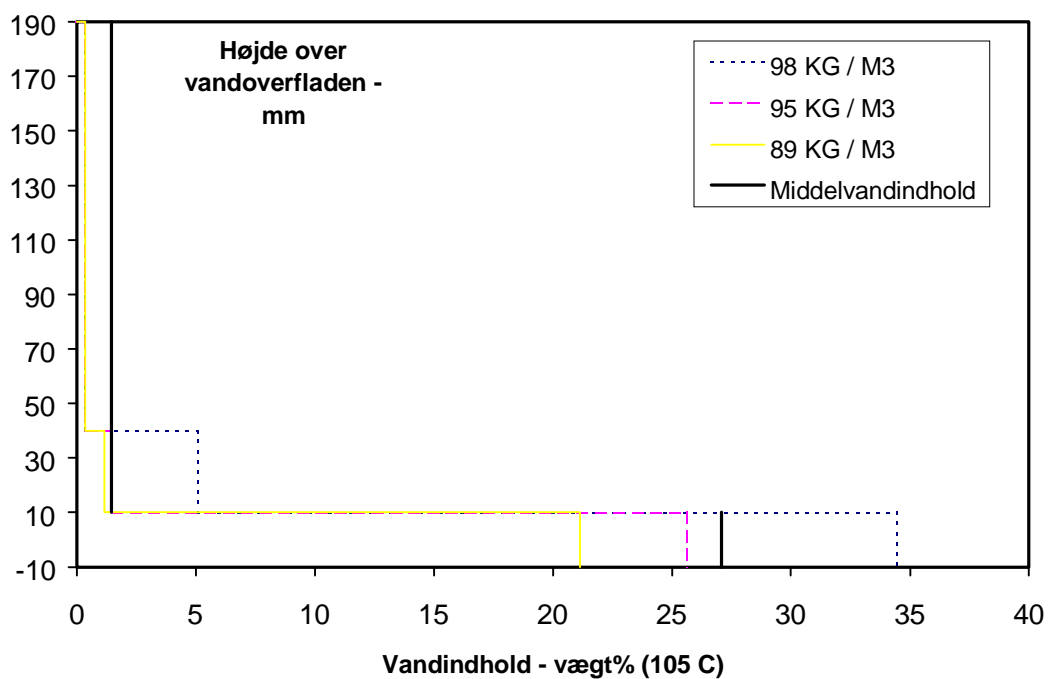
### PERLITE (ubehandlet) (gentagelse uden afdrypning)



### PERLITE SC ( BEHANDLET )

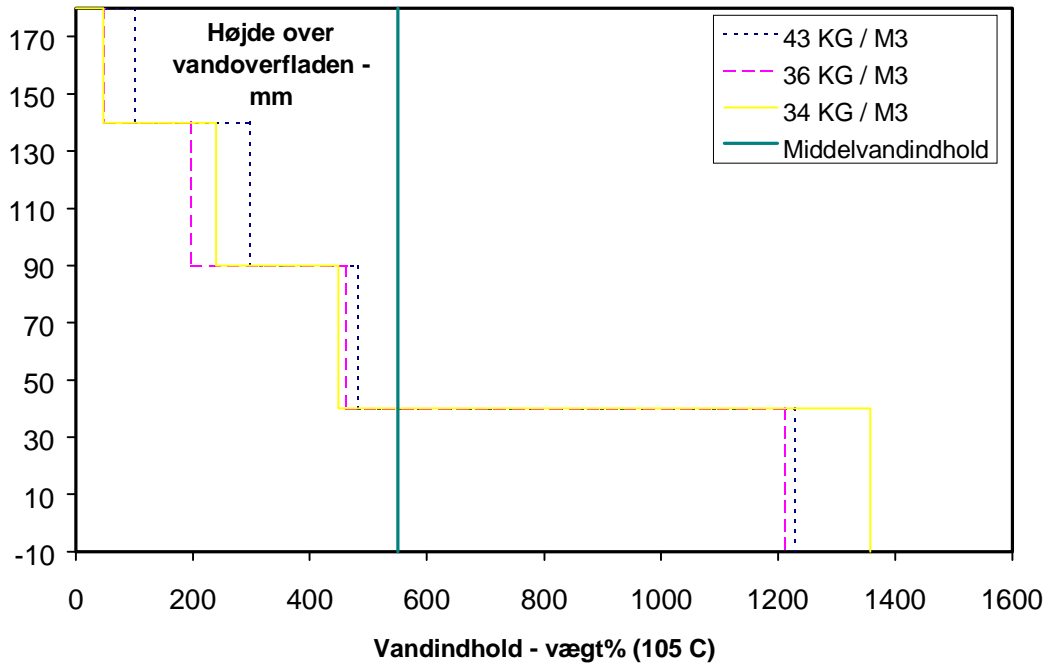


### PERLITE SC ( BEHANDLET )

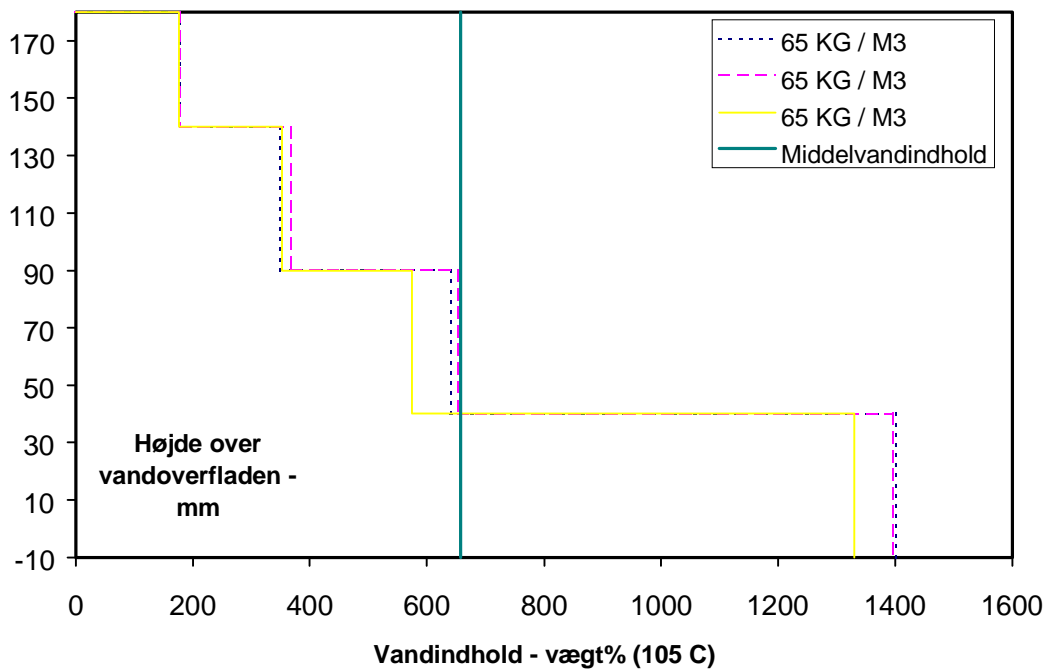


Øverst angives middelvandindhold for alle prøveemner og alle lag under ét. Nederst angives middelvandindhold for hvert af de to lag separat, aht. diskussionsafsnittet.

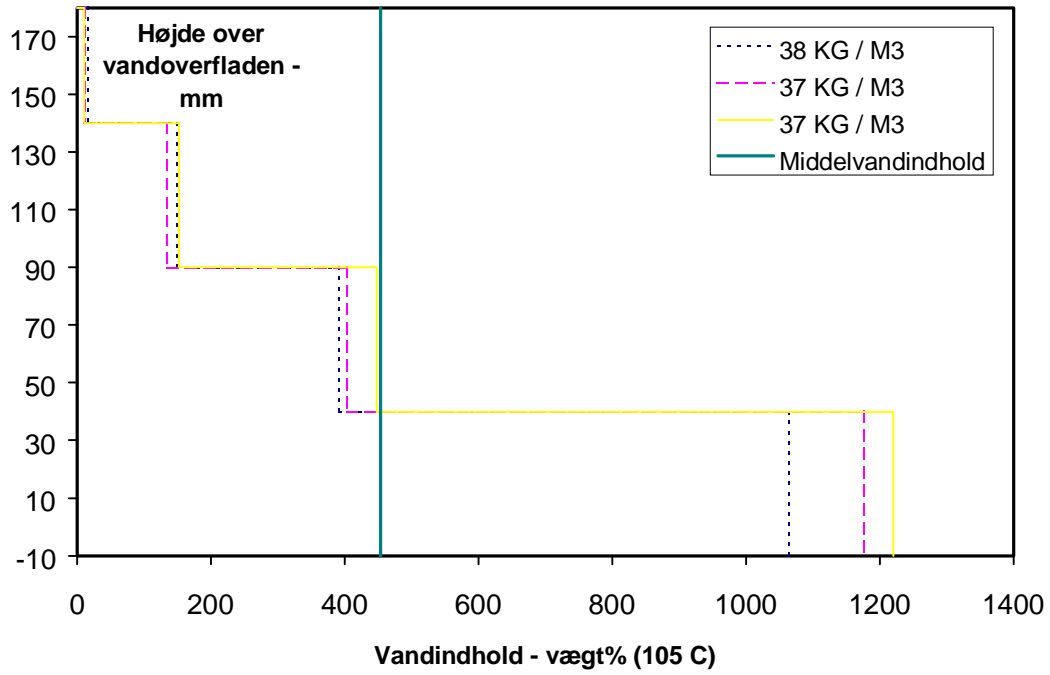
### EKOFIBER VIND ( 40 KG / M3 )



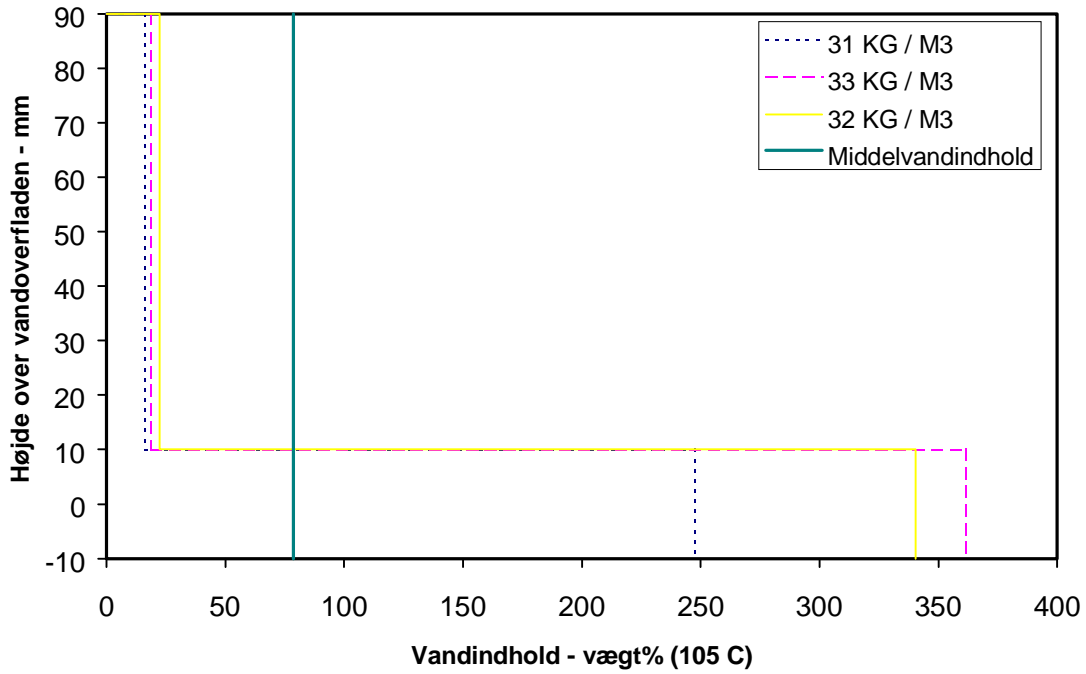
### EKOFIBER VIND ( 65 KG / M3 )



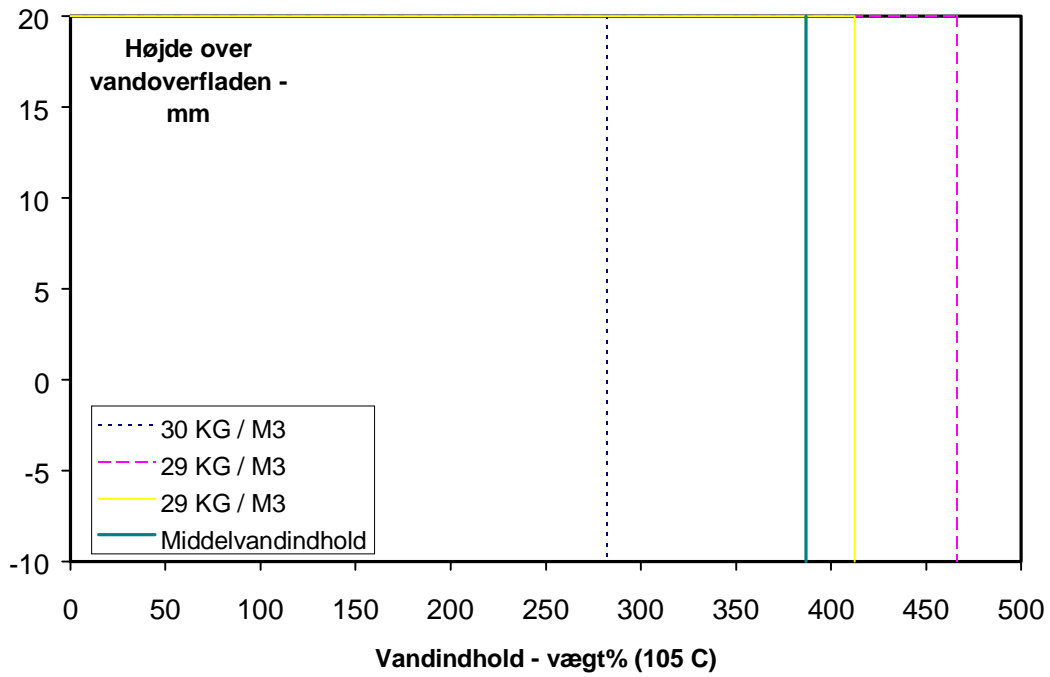
# MILJØ ISOLERING - 1



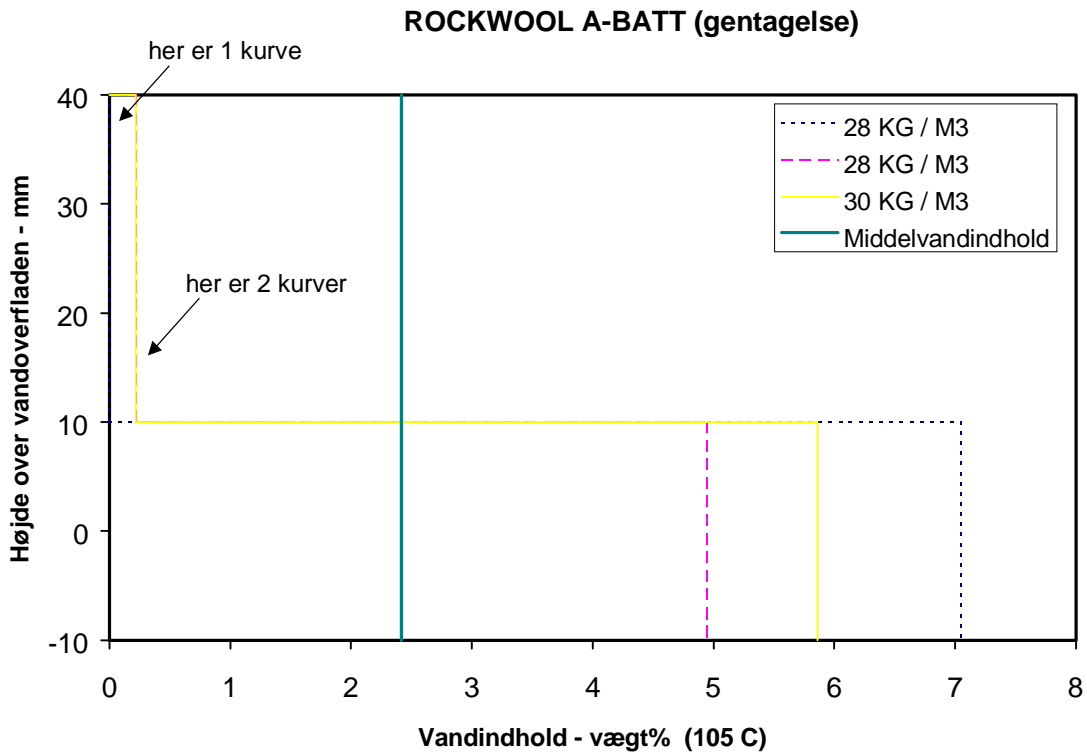
### HERAWOOL NF040



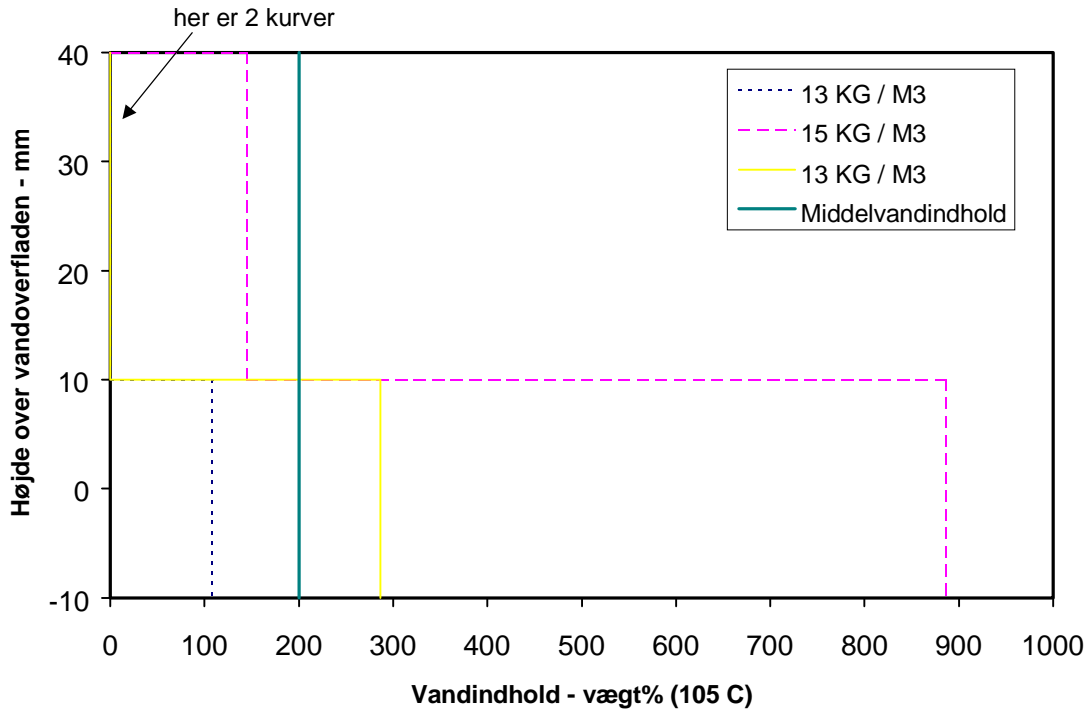
### HERAFLAX SF040



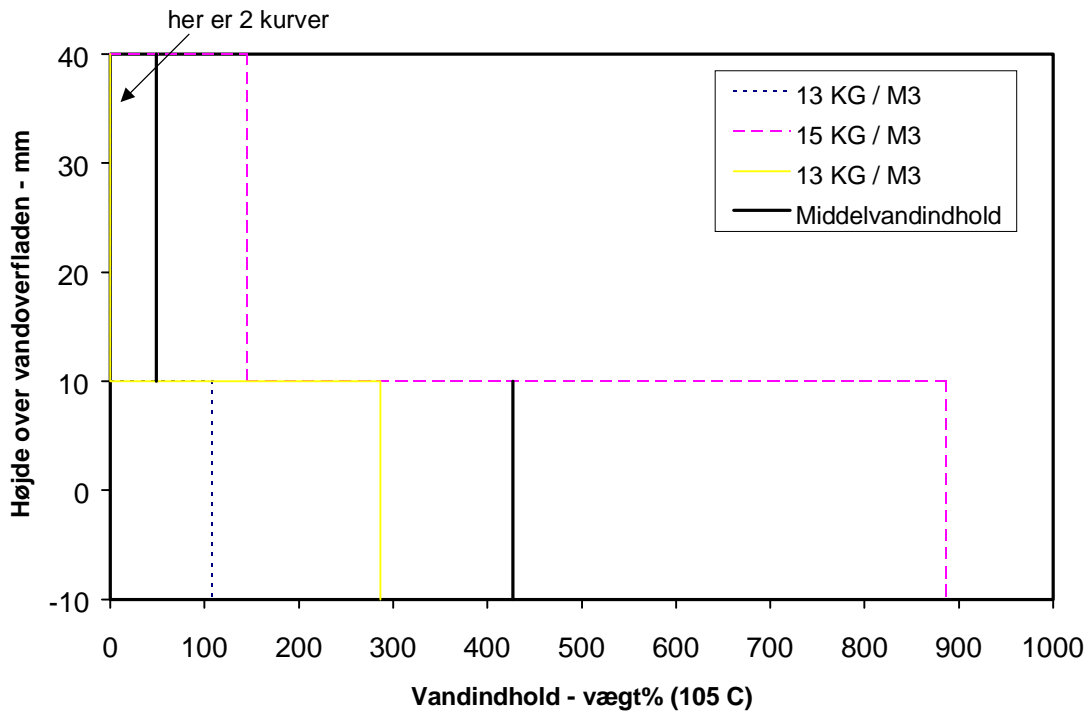
For Rockwool og Glasuld vises kun figur for gentagelsesforsøg, da prøveemnerne fra de oprindelige forsøg ikke blev delt op i flere lag. Til gengæld vises Glasuld dels med middelvandindhold for begge lag under ét, dels med middelvandindhold for hvert af de to lag separat aht. diskussions-afsnittet.



### GLASULD 39 RULLE (gentagelse)

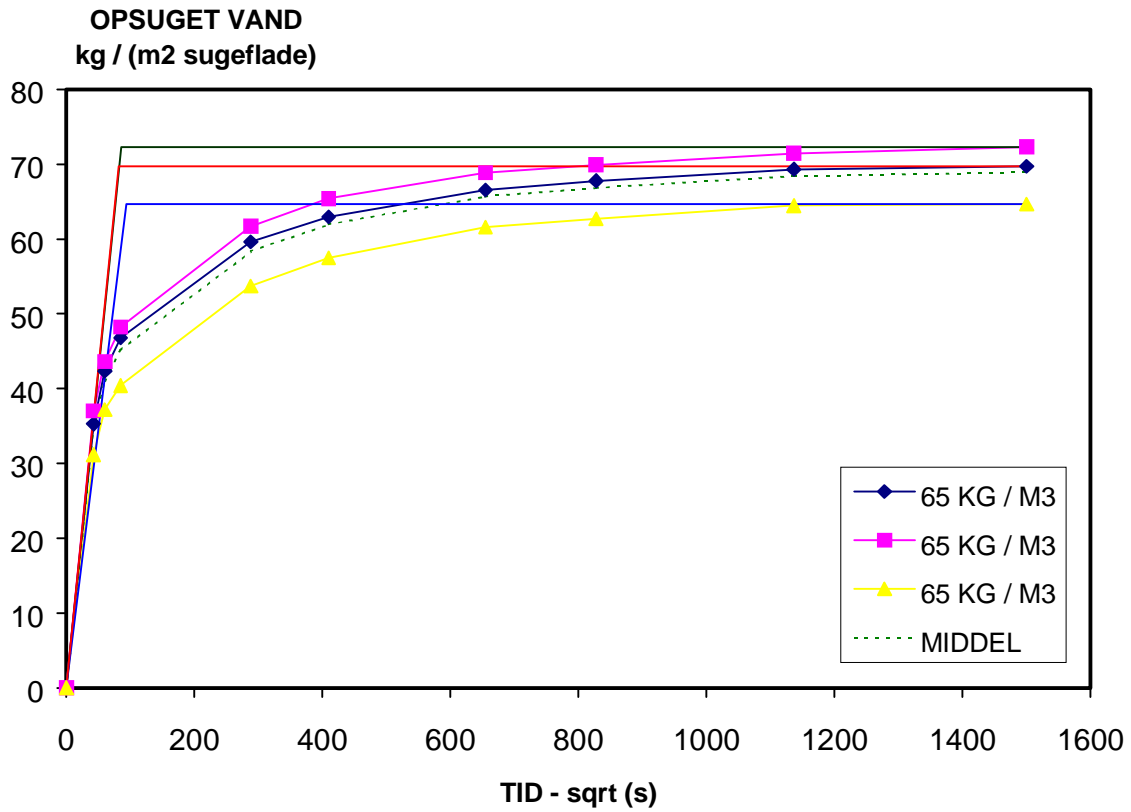


### GLASULD 39 RULLE (gentagelse)



## Appendix C - Eksempel på indtegnede linier til bestemmelse af kapillaritetstal

Figuren viser opsugningsforløbet for Ekofiber Vind ( $65 \text{ kg/m}^3$ ) med indtegnede linier til bestemmelse af kapillaritetstallet.





INSTITUT FOR BÆRENDE KONSTRUKTIONER OG MATERIALER  
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

Department of Structural Engineering and Materials  
Technical University of Denmark, DK – 2800 Lyngby

SERIE R

(Tidligere: Rapporter)

- R 39. POULSEN, JOHANNES SAND: Compression in Clear Wood. 1998.
- R 40. COLLETTE, FRÉDÉRIC S.: A Combined Tuned Absorber and Impact Damper. 1998
- R 41. ZHANG, JUN.: Fatigue Fracture of Fibre Reinforced Concrete-An Experimental and Theoretical Study.
- R 42. OLSEN, DAVID HOLKMANN: Concrete Fracture and Crack Growth  
A Fracture Mechanics Approach 1998
- R 43. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Determination of the Fracture Energy of Concrete- Comparison of the TPBT and the WST Method 1998
- R 44. NIELSEN, LAUGE FUGLSANG: Modified Dugdale cracks and Fictitious cracks
- R 45. CHRISTIANSEN, MORTEN BO: Crack Tip Stress Field Modelling 1998
- R 46. JENSEN, MEJLHEDE OLE: Clinker mineral hydration at reduced relative humidities
- R 47. JENSEN, MEJLHEDE OLE: Influence of temperature on autogenous deformation and RH-change in hardening cement paste
- R 48. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Holdbarhed af fiberarmeret beton og revnet beton. 1998.
- R 49. LANGE-HANSEN, P.: Comparative Study of Upper Bound Methods for the Calculation of Residual Deformations after Shakedown. 1998.
- R 50. KELLEZI, LINDITA: Dynamic Soil-Structure-Interaction. Transmitting Boundary for Transient Analysis. 1998.
- R 51. MEJLHEDE JENSEN, OLE: Chloride ingress in cement paste and mortar measured by Electronic Probe Micro Analysis. 1999
- R 52. KLENZ LARSEN, POUL: Desalination of painted brick vaults. 1999
- R 53. GERMAN HAGSTEN, LARS. GUDMAN-HØYER, TIM. ZENKE HANSEN, LARS OG NIELSEN, M.P: Eksperimentel bestemmelse af tegl bjælkens bæreevne. 1999
- R 54. PADFIELD, TIM: The Role of Absorbent Building Materials in moderating changes of Relative Humidity. 1999
- R 55. TEOH, B.K., HOANG, L.C. OG NIELSEN, M.P.: Shear Strength of Concrete I-Beams- Contributions of Flanges. 1999
- R 56. WEIQING, LIU. NIELSEN, M.P. DAJUN, DING: Experimental Study on the Shear Transfer Across Cracks in Reinforced Concrete. 1999
- R 57. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer - Leverandør/producentoplysninger. Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternativ isoleringsmaterialer. 1999
- R 58. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE OG HANSEN, KURT KIELSGAARD: Sorptionsisotermer. Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer. 1999
- R 59. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE OG HANSEN, KURT KIELSGAARD: Vanddampermeabilitet (kopforsøg). Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer. 1999