



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
DK-8000 Aarhus C
Tel. +45 72 20 20 00
Fax +45 72 20 10 19
info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Opfugtning af træ i murværk

**Rekvirent:
SBS-Byfornyelse
Ny Kongensgade 15
1472 København K**

Att.: Graves K. Simonsen

**Udført af bygningsingeniør Henning Sørensen,
kemiingeniør Helge Hansen m.fl.**

Århus, den 4. august 2008

Sag nr.: 1038613-17

*Rapporten må ikke kopieres, distribueres eller videregives uden
rekvirentens skriftlige tilladelse*

OPFUGTNING AF TRÆ I MURVÆRK

1. Indledning

Denne rapport beskriver undersøgelser af sammenhængen mellem fugtindhold i murværk og fugtindhold i tilstødende træ.

Undersøgelserne er udført i forlængelse af GI § 61 Projekt vedrørende fugtstandsning og måling.

Undersøgelserne er foretaget på Teknologisk Institut Murværk og Byggekomponenter i perioden januar 2007 til juli 2008.

2. Baggrund

Murværk kan som materiale sagtens tåle endog meget høje fugtindhold. Problemer med fugt i murværk er derfor ikke nødvendigvis knyttet til selve murværket, snarere til det faktum at det porøse murværk kan transportere vand videre til langt mere fugtfølsomme materialer som træ og tapet.

Træ kommer på forskellig vis i direkte kontakt med murværk, f.eks.:

- Bindingsværk
- Bjælkeender
- Tagkonstruktioner
- Paneler
- Vinduer
- Remme

I forbindelse med GI §61 Projekt vedrørende fugtstandsning, Delprojekt 1.3 Fugtmålesystemer blev der målt fugt i murværk med såkaldte beskyttede trædyvler. Målingen sker som modstandsmåling i et træstykke (bøg) der er placeret i en perforeret metaldåse der igen er placeret i et udboret hulrum i murværket. Måleresultaterne blev som for de andre fugtmålesystemer kalibreret i forhold til bore/veje-prøver. Kalibreringskurven er vist i bilag 4. Det ses at allerede ved 1 – 2 % fugt i murværket er der omtrent fuldt udslag på måleinstrumentet. Hertil skal lægges de ca. 1 % fugt, der normalt forsvinder ved udboring af prøvemateriale.

På basis af denne kalibreringskurve kunne det forventes at træ i ligevægt med murværk opnåede højt fugtindhold allerede ved ca. 3 % fugt i murværk.

Det skal bemærkes at responstiden for trædyvler viste sig at være ca. tre måneder. Det skyldes givetvis at træet ikke er i direkte kontakt med murværket så fugtoverførslen skal ske via atmosfæren i det udborede hulrum.

3. Metode

3.1 Prøvevægge

I undersøgelserne anvendtes tre af de prøvevægge der indgik i GI §61 Delprojekt 1.1 Undersøgelse af kemiske injiceringsmetoder. Alle vægge er opmuret med gule blødstrogne sten. Følgende vægge blev anvendt:

Tabel 1

Væg nr.	Mørteltype	Injicering	Vandtype
3	Kalkcementmørtel	Crisin 76	Fersk
5	Kalkcementmørtel	Arctite	Salt
6	Kalkmørtel	Crisin 76	Fersk

3.2 Træ

Træstykkerne blev udskåret af ca. 100 år gamle fyrrebjælker stillet til rådighed af Den Gamle By i Århus. Alle stykkerne blev udskåret således, at overgangen mellem kerneved og splintved er ens placeret i tværsnittet (se fig. 1).

Træstykkerne havde en længde på ca. 600 mm og tværsnit på 78 x 132 mm, svarende til slynsfladen af en kop med tilhørende fuger.

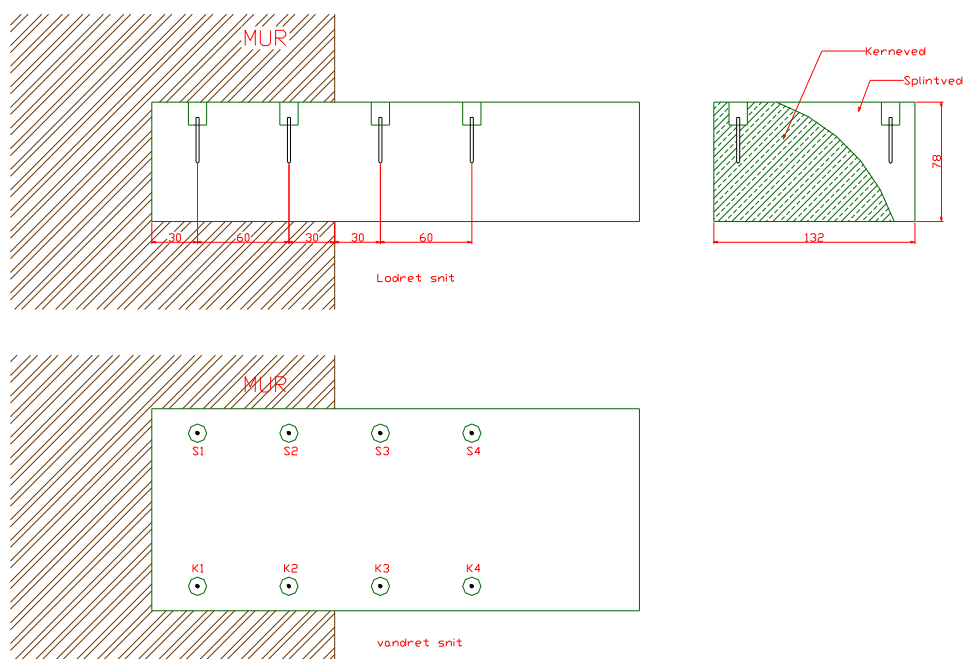


Fig. 1

3.3 Forsøgsopstilling

Træstykkerne blev anbragt i huller opstået ved udhugning af væggenes ”krydskopper”. Hullernes dybde var 120 mm. Der blev anbragt 3 træstykker i hver væg i højderne 840 mm, 510 mm og 310 mm, se fig. 2.

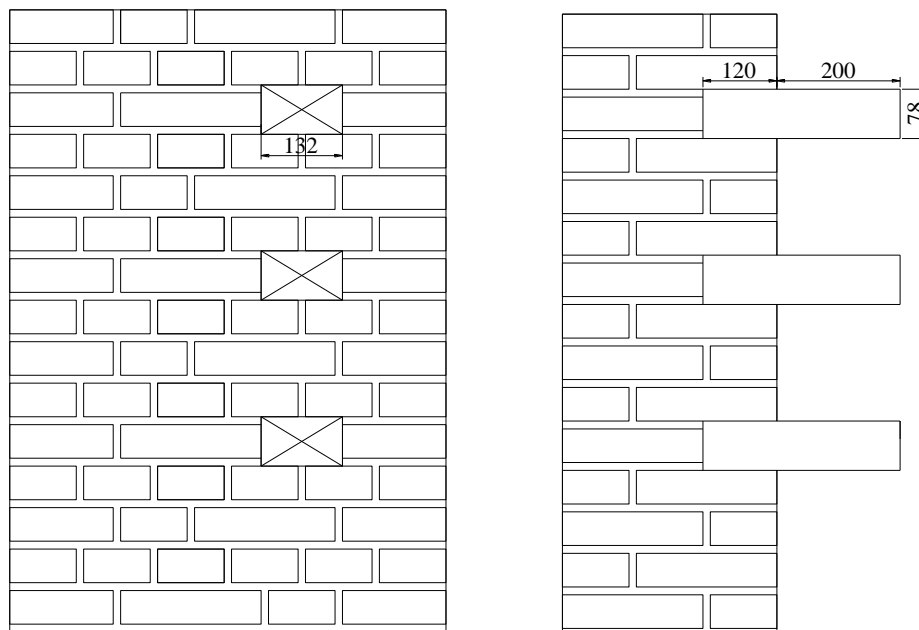


Fig. 2

3.4 Fugtmåling i murværk

Ved udhugningen af krydskopperne blev fugtindholdene i de udhuggede murværksmaterialer bestemt ved vejning før og efter tørring til konstant vægt. Resultaterne er vist i følgende tabel 2:

Tabel 2. Fugtindhold i murværk ved udhugning

Prøve mrk.	Mørtel	Tegl bund	Tegl højre	Tegl venstre	Tegl gennemsnit	Murværk*
Væg 3						
Nederst	9,96	7,69	9,56	7,09	8,11	8,52
Midt	7,28	2,67	2,53	1,46	1,46	3,34
Øverst	1,48	0,16	0,09	0,06	0,06	0,41
Væg 5						
Nederst	13,13	14,97	15,27	10,86	13,70	13,57
Midt	8,28	3,32	3,24	4,63	3,73	4,74
Øverst	6,70	2,26	1,24	2,28	1,93	2,99
Væg 6						
Nederst	9,70	14,42	14,62	12,87	13,97	13,02
Midt	9,19	11,77	13,07	10,75	11,86	11,27
Øverst	8,14	10,06	8,96	9,02	9,35	9,06

* beregnet tegl:mørtel 7:2

Det ses at:

- I væg 3 er vandindholdet større i mørtlen end i teglmaterialet. Dette er den normale situation i murværk med kalkcementmørtel
- I væg 5 er vandindholdet ligeledes større i mørtlen end i teglmaterialet, undtagen nederst hvor begge materialer er tæt på mætning og vandindholdene omtrent ens.

- I væg 6 er vandindholdet større i teglmaterialet end i mørtlen. Dette er den normale situation i murværk med kalkmørtel
- Vandindholdene er overalt større i væg 5 end i væg 3. Begge vægge er opmuret i kalkcementmørtel. Væg 3 tilsættes ferskvand, væg 5 saltvand. Væg 3 er injiceret med Crisin 76, væg 5 med Arctite.

Fugtmålingerne under selve forsøget blev foretaget med Troxler neutronrefleksionsmålere, der ved tidligere forsøg og længere tids erfaring har vist sig velegnet til formålet. Målinger blev udført ud for hvert træstykke på murens forside til venstre for træstykket og på murens bagside.

Omsætning fra instrumentets måltal til fugtindhold i murværk i vægt% blev foretaget ud fra kalibreringskurve fundet i GI §61 Projekt Fugtmålesystemer, se bilag 5. Hertil skal lægges ca. 1 % der normalt forsvinder ved udboring af prøvemateriale.

Fugtindholdet i murværket var konstant over tid, idet forsøget blev udført i klimarum ved 20 °C og 65 % relativ luftfugtighed, og der jævnlige blev påfyldt vand som i de tidligere forsøg. Målingerne med Troxler viste at fugtindholdet i murværket holdt sig konstant gennem forsøget.

3.5 Fugtmåling i træ

Fugtmålingen blev foretaget ved måling af den elektriske modstand over elektroder placeret i træet såvel inde i murværket som uden for murværket. Elektroderne er 1½" (37 mm) teflonbelagte søm så indflydelse af f.eks. salte i murværksmaterialerne undgås. Afstanden mellem elektroderne var 30 mm. Mållingerne blev foretaget på langs af årerne. Elektroderne blev placeret såvel i splintved som i kerneved på følgende positioner (se fig. 1):

Inde i murværk:

1. 90 mm fra murens overflade
2. 30 mm fra murens overflade

Uden for murværk:

3. 30 mm fra murens overflade
4. 90 mm fra murens overflade

Modstandsmålingen blev foretaget med T 301 COW, samme instrument som blev anvendt til de beskyttede trædyvler i de tidligere forsøg. Udlæst enhed er LogM Ω .

Sammenhængende værdier mellem elektrisk modstand og Troxler måletal blev registreret med jævne intervaller over 195 dage, hvorefter stationære forhold med rimelighed kunne antages at være opnået (se bilag 1).

Efter gennemførelsen af det egentlige forsøg blev der foretaget kalibrering af målesystemet for hver enkelt måleposition.

Træstykkerne blev taget ud af murhullerne og opskåret i skiver med tykkelse på ca. 60 mm. Hver skive indeholdt et målepunkt i splintved og et målepunkt i kerneved. Herefter blev skiverne yderligere delt ved skæring langs skillelinien mellem splintved og kerneved. Herved fremkom prøvelegemer med intakte elektroder for samtlige målepunkter i henholdsvis splintved og kerneved.

Prøvelegemerne blev efter tur anbragt under følgende forhold:

Tabel 3

Placering	Temperatur °C	Relativ fugtighed %	Tid døgn
Mørtellaboratoriet	20	40	31
Klimarum	20	65	91
Klimatelt over mættet natrium-chloridopløsning	20	75	69
Klimatelt over frit vandspejl af vandværksvand	20	>90	22

I hvert af ovenstående tilfælde blev vægten fulgt løbende. Når vægten kunne regnes konstant blev den og den elektriske modstand registreret, inden næste fase blev sat i gang.

Efter sidste klimafase blev træstykkerne tørret til konstant vægt ved 40 °C. Herefter blev vandindhold beregnet i % af tørvægten.

For samtlige prøvelegemer blev sammenhørende værdier af elektrisk modstand og vandindhold ved slutningen af hver kalibreringsfase indlæst i regneark. Herefter blev vandindholdet ved forsøgets afslutning bestemt ud fra de fremkomne grafer. Fugtindhold der blev bestemt til værdier over 30 % angives som > 30 %. Eksempler på kalibreringskurver er vist i bilag 2.

4. Fugtindhold i træ som funktion af fugtindhold i murværk

Undersøgelsens resultater er herefter samlet i følgende tabel:

Tabel 4: Alle data er for dag 195, hvor det skønnes, at stationære forhold var opnået.

	Troxler måletal	Murværk	Træ, vandindhold, vægt%								
		Fugt %**	S 1	S2	S3	S4	K 1	K2	K3	K4	
Væg 3	Øverst	19	2,5	11,8	13,2	12,1	11,9	10,5	10,6	10,2	7,7
	Midte	26	4,2	18,8	13,9	12,0	11,0	21,4	17,2	12,1	11,2
	Nederst	56	11,2	* 24,1	* 25,5	12,9	11,1	* 20,6	* 18,0	12,7	11,2
Væg 5	Øverst	24	3,6	14,0	11,6	12,5	10,7	11,0	9,4	9,9	9,7
	Midte	36	6,4	* 23,3	* 19,9	13,2	13,0	19,6	15,3	11,6	11,6
	Nederst	62	12,5	* 24,7	* 22,1	14,2	12,8	* 19,6	* 17,6	12,6	10,3
Væg 6	Øverst	51	9,9	* >30	* 22,9	13,7	12,5	* 21,8	* 20,4	11,9	11,3
	Midte	54	10,6	* >30	* 19,1	13,2	11,3	* 21,8	* 19,0	13,5	9,0
	Nederst	65	13,2	* >30	* 18,1	13,7	10,7	* 26,4	* 19,7	12,8	11,2

* angiver råddannelse

** hertil lægges ca. 1 % pga. vægttab ved udboring under kalibrering af Troxler

S1 – splintved 90 mm inde
S2 – splintved 30 mm inde
S3 – splintved 30 mm ude
S4 – splintved 90 mm ude
K1 – kerneved 90 mm inde
K2 – kerneved 30 mm inde
K3 – kerneved 30 mm ude
K4 – kerneved 90 mm ude

Resultaterne er desuden vist i 8 diagrammer for hver enkelt ”dybde” i henholdsvis splintved og kerneved, bilag 3.

Det ses at:

- Splintved generelt har noget højere fugtindhold end kerneved.
- Forholdene 90 mm uden for mur ikke afhænger af murværkets fugtindhold. De må derfor svare til træets tilstand ved 20 °C og 65% RH.
- Fugtindholdet 30 mm uden for mur viser tilsyneladende en svag afhængighed af murværkets fugtindhold.
- Fugtindhold inde i mur svarer ved lave fugtindhold i murværket (under ca. 3 % i væg 3, ca. 4 % i væg 5) til forholdene 90 mm uden for mur.
- Ved højere fugtindhold i murværket (over ca. 4 % i væg 3, ca. 6 % i væg 5, overalt i væg 6) er fugtindholdene i træ 16 – >30 %.
- De højeste fugtindhold (> 30%) ses kun i væg 6 (kalkmørtel) og kun 90 mm inde i mur.

5. Råddannelse

Efter forsøget blev der ved udtagningen af træstykkerne konstateret en del råddannelse.

Råddannelse er i tabel 4 angivet med *. Råddannelse er endvidere markeret i diagrammerne, bilag 3.

Det ses at råddannelse forekommer: ved fugtindhold i træ på over ca. 18% kombineret med fugtindhold i murværk på over ca. 6 % for splintved og fugtindhold i murværk på over ca. 10 % for kerneved.

Råddannelsen må dog regnes for at være indirekte afhængig af fugtindholdet i murværket. De nævnte forhold kan tyde på en afhængighed af den tid der går med opfugtning af træ.

2008.08.04
1038613-17

Århus, den 4. august 2008
Teknologisk Institut, Byggeri

Helge Hansen

/

René Østergaard

Dir. tf.: 72 20 38 27

Fax: 72 20 38 01

Dir. tf.: 72 20 11 38

Fax: 72 20 38 01

E-mail: helge.hansen@teknologisk.dk

E-mail: rene.ostergaard@teknologisk.dk

For alle diagrammer i bilag 1 gælder:

S står for splintved

K står for kerneved

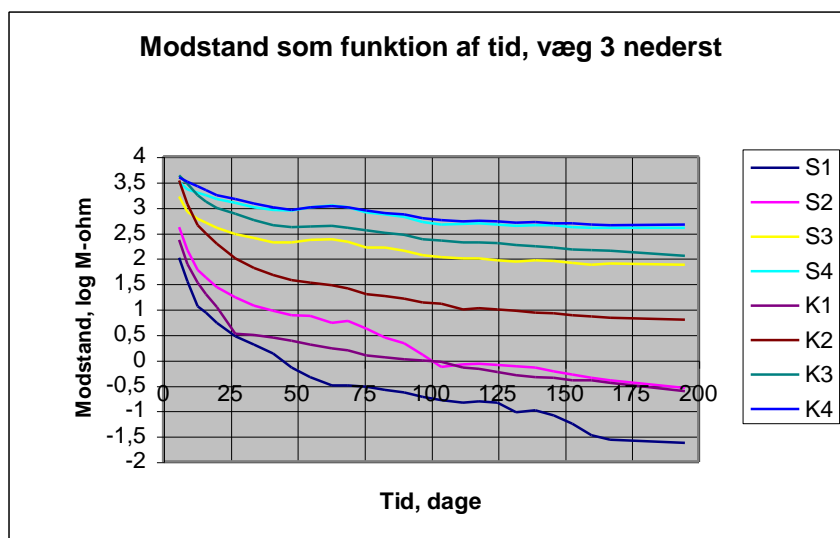
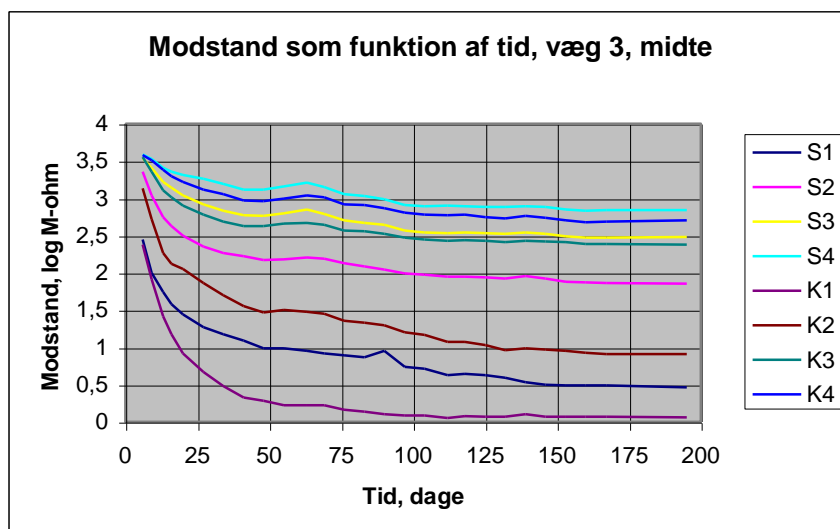
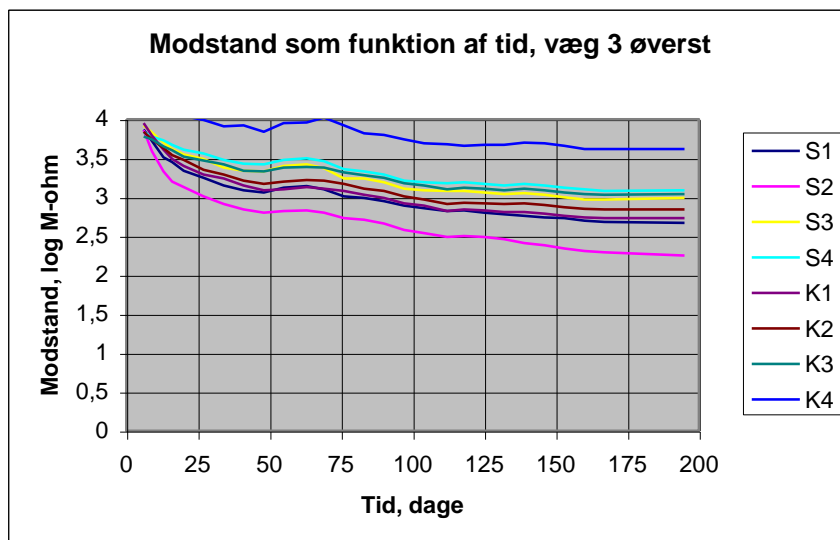
1 er målt 90 mm inde i muren

2 er målt 30 mm inde i muren

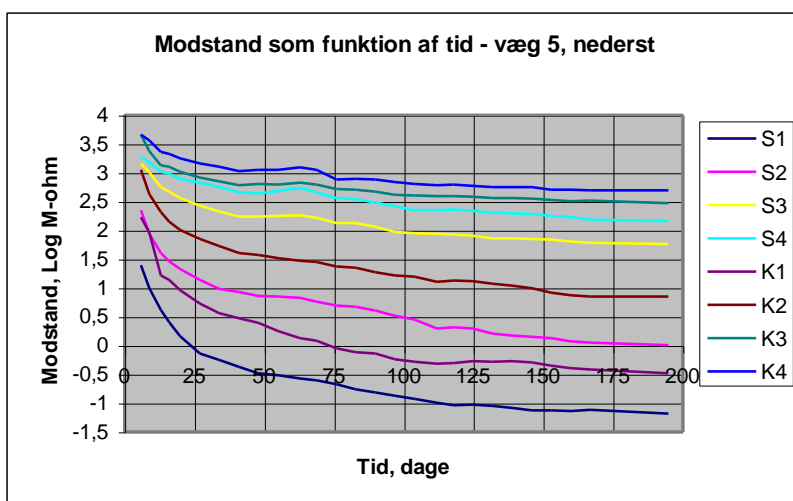
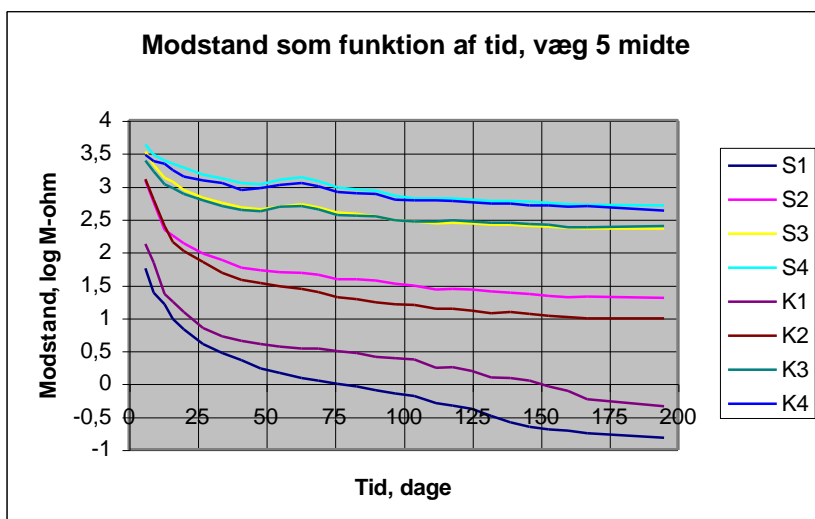
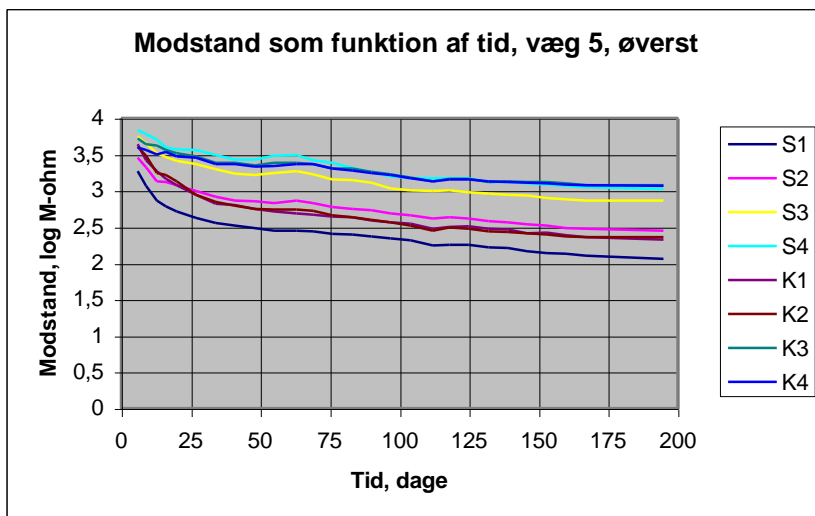
3 er målt 30 mm uden for muren

4 er målt 90 mm uden for muren

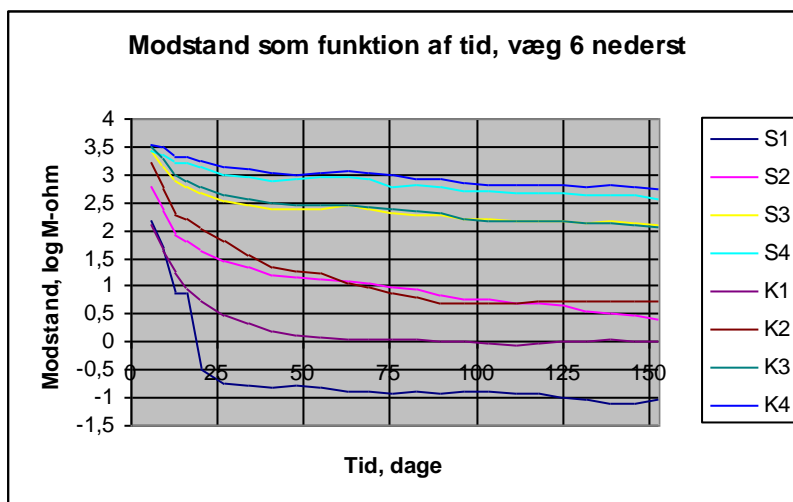
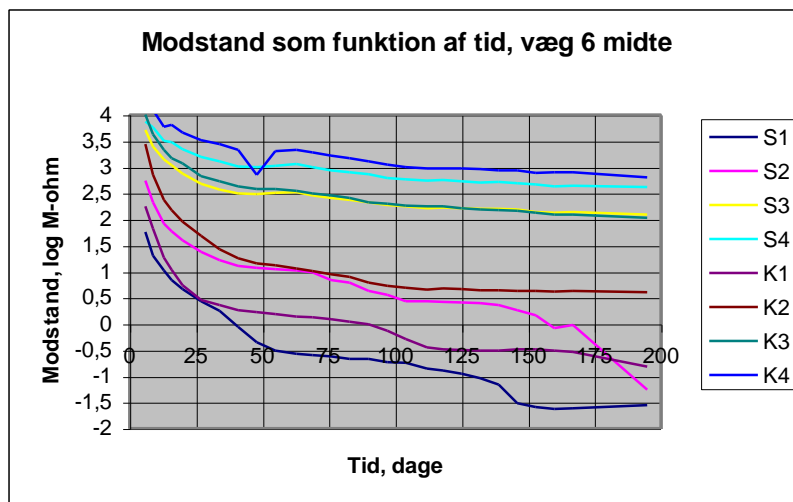
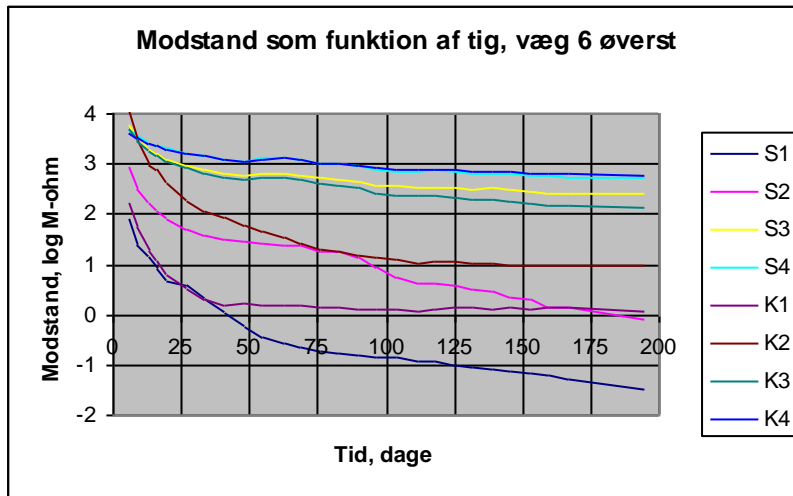
Væg 3



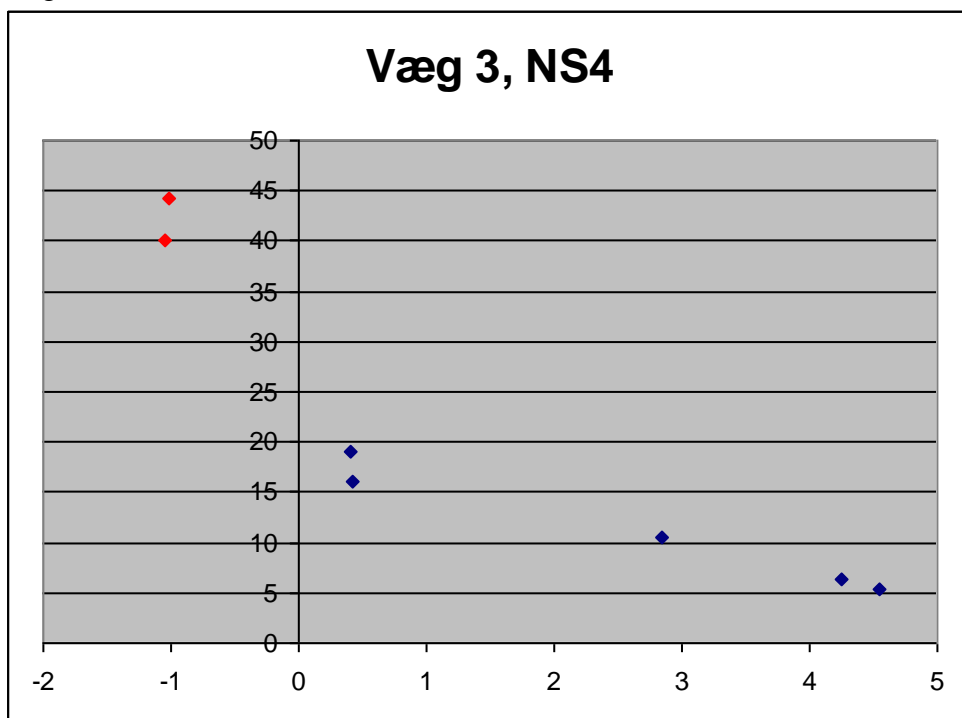
Væg 5



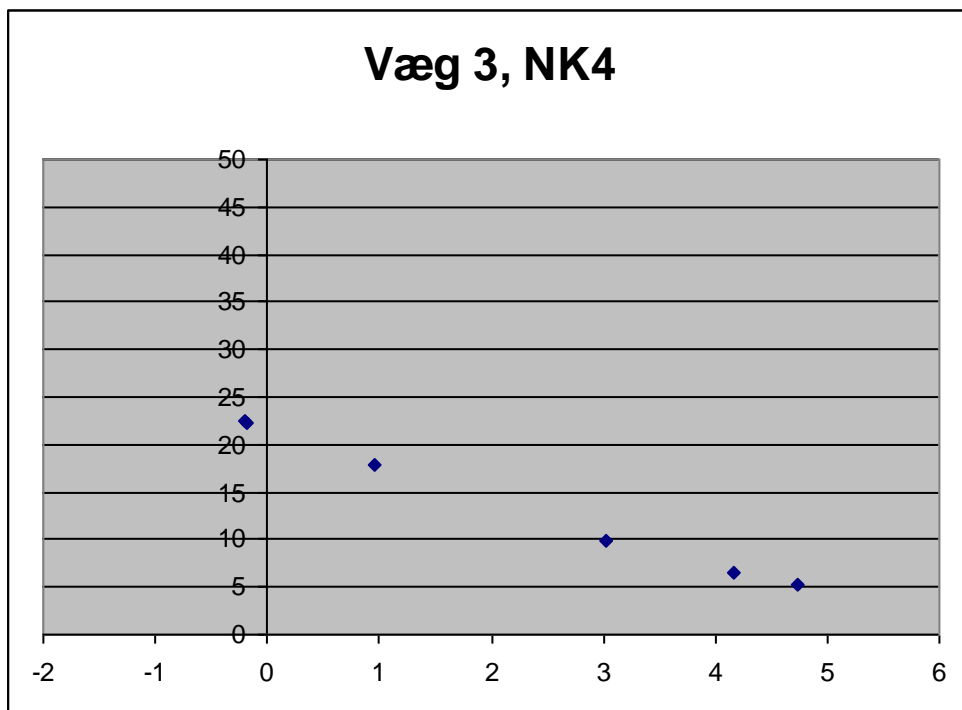
Væg 6



Væg 3, nederst



Måleserie med målinger over 30% fugt i træ.
Målingerne over 30% medtages ikke i den videre beregning



Måleserie uden målinger over 30% fugt i træ
Alle målingerne medtages i den videre beregning

