



# LUND UNIVERSITY

## Fukt- och temperaturundersökning i Vadstena klosterkyrka

Sandin, Kenneth

1974

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Sandin, K. (1974). *Fukt- och temperaturundersökning i Vadstena klosterkyrka*. (Rapport 50). Tid. Institutionen för byggnadsteknik, Tekniska högskolan i Lund.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

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

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

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.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



Pastorsämbetet i Vadstena  
592 00 VADSTENA  
0143/102 46

*OIa: 13*

# FUKT- OCH TEMPERATUR- UNDERSÖKNING I VADSTENA KLOSTERKYRKA

AV KENNETH SANDIN



VADSTENA KLOSTERKYRKA

INSTITUTIONEN FÖR BYGGNADSTEKNIK  
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

---

# FUKT- OCH TEMPERATUR- UNDERSÖKNING I VADSTENA KLOSTERKYRKA

AV KENNETH SANDIN



VADSTENA KLOSTERKYRKA

RAPPORT 50  
LUND 1974

---

## FÖRORD

1971 tillkallades professor Nils Ahrbom att som sakkunnig utarbeta förslag till restaurering av Vadstena Klosterkyrka. Kyrkans yttermurar och strävpelare är svårt skadade av fukt, som orsakat sprickor och saltutfällningar. Den förestående restaureringen, som blir mycket omfattande, kommer att medföra stora kostnader. Av denna anledning och med hänsyn till tidigare misslyckande bedömdes det väsentligt att utreda orsaken till det höga fuktinnehållet i murverken, innan något restaureringsförslag kunde framläggas.

Avdelningen för Byggnadsmateriallära vid LTH fick 1972 i uppdrag att mäta fukt- och temperaturförhållandena i kyrkans murverk. Mätningarna pågick under drygt ett års tid 1972-74.

Arbetet har finansierats med medel från Statens Råd för Byggnadsforskning och Utbildningsdepartementet.

Registrering av data har till största delen utförts av SIB's mobila mätenhet, som härvid varit till mycket stor hjälp. Även databehandlingen av insamlade data har skett genom SIB's försorg. Jag vill därför framföra ett varmt tack för dessa insatser, främst till Carl-Axel Boman, som svarat för det direkta samarbetet på ett utmärkt sätt.

Jag vill även framföra ett hjärtligt tack till kyrkvaktmästare Ernst Nilsson, som varit till ovärderlig hjälp i samband med provtagningar på platsen och tillsyn av mätutrustningen.

I samband med utvärderingen av mätresultaten har tekn. dr. Lennart Ahlgren varit till stor hjälp genom sin stora erfarenhet inom fuktområdet. Jag tackar honom för alla givande diskussioner vi haft.

Personalen vid avd. Byggnadsmateriallära har varit till mycket stor hjälp vid genomförandet av undersökningen. Främst vill jag tacka forskningsingenjör Leif Erlandsson, institutionstekniker Sture Sahlén och ingenjör Bo Johansson för deras insatser vid provtagning och montering av mät-

utrustning, fru Anni-Britt Nilsson, som skrivit ut  
manuskriptet samt fru Britt Andersson och civ ing  
Matz Modéer, som svarat för figurritningen.

Lund i juni 1974

Kenneth Sandin

I N N E H Ä L L	SID
SAMMANFATTNING . . . . .	7
TABELLFÖRTECKNING . . . . .	9
FIGURFÖRTECKNING . . . . .	.10
BETECKNINGAR . . . . .	.13
1 INLEDNING . . . . .	.15
2 BESKRIVNING AV KYRKAN . . . . .	.16
2.1 Orientering och historik . . . . .	.16
2.2 Material och konstruktion . . . . .	.16
2.3 Tidigare reparationer . . . . .	.18
3 SKADOR . . . . .	.19
3.1 Murverk och strävpelare . . . . .	.19
3.2 Grundmur . . . . .	.20
3.3 Fönster . . . . .	.20
3.4 Golv . . . . .	.20
3.5 Övrigt . . . . .	.20
4 BESKRIVNING AV UNDERSÖKNINGEN . . . . .	.21
4.1 Program och målsättning . . . . .	.21
4.2 Undersökningsmetoder . . . . .	.22
4.2.1 Inom- och utomhusklimat . . . . .	.22
4.2.2 Slagregn och vattenfilmbildning . . . . .	.23
4.2.3 Fuktförhållandena i murverken . . . . .	.24
4.2.4 Fukttutbyte mellan murverk och kyrkorum . . . . .	.31
4.2.5 Materialegenskaper . . . . .	.31
4.2.6 Temperaturförhållandena i murverket . . . . .	.32
4.2.7 Övrigt . . . . .	.32
5 UNDERSÖKNINGSRESULTAT . . . . .	.33
5.1 Klimat . . . . .	.33
5.1.1 Klimatdata från SMHI . . . . .	.33
5.1.2 Klimatstation . . . . .	.33
5.1.3 Termohygrografer . . . . .	.33
5.1.4 Temperaturmätningar inomhus . . . . .	.34
5.2 Slagregn . . . . .	.34
5.2.1 Slagregnsmätningar . . . . .	.34
5.2.2 Vattenfilmbildning på fasadytorna . . . . .	.35
5.3 Fukt i murverk och strävpelare . . . . .	.36
5.3.1 Fuktkvoter . . . . .	.36
5.3.2 Kapillär vattenmättnadsgrad . . . . .	.37
5.3.3 Fuktgivarmätningar . . . . .	.38
5.4 Fukttutbyte mellan murverk och kyrkorum . . . . .	.40
5.5 Temperaturmätningar i murverket . . . . .	.41
5.6 Materialegenskaper . . . . .	.42
5.6.1 Kapillärsugningsförmåga . . . . .	.42
5.6.2 Uttorkningsförmåga . . . . .	.44
5.6.3 Övriga materialegenskaper . . . . .	.45
5.7 Övrigt . . . . .	.45
5.7.1 Fuktproduktion av kyrkobesökare . . . . .	.45
5.7.2 Luftbefuktning . . . . .	.46
5.7.3 Värmesystemet . . . . .	.46
5.7.4 Luftomsättning och vädring . . . . .	.46
5.7.5 Iakttagelser på platsen . . . . .	.46
6 TEORETISKA BERÄKNINGAR . . . . .	.48
6.1 Allmänt . . . . .	.48

forts	INNEHÅLL	SID
6.2	Uttorkning . . . . .	48
6.3	Kapillärsugning från mark . . . . .	51
6.4	Kapillärsugning genom fogarna . . . . .	52
7	DISKUSSION AV UNDERSÖKNINGSRESULTATEN . . . . .	55
7.1	Vattenånghalt inomhus-utomhus . . . . .	55
7.2	Avdunstning på insidan . . . . .	55
7.3	Fuktinnehåll . . . . .	57
7.4	Slagregn . . . . .	58
7.5	Fuktgivarmätningarna . . . . .	61
7.6	Temperaturer i murverket . . . . .	64
7.7	Temperaturer inomhus . . . . .	65
7.8	Sammanfattning av troliga skadeorsaker . . . . .	66
8	DISKUSSION AV MÖJLIGA ÅTGÄRDER . . . . .	68
8.1	Syfte med åtgärderna . . . . .	68
8.2	Åtgärder för att minska fuktinnehållet . . . . .	68
8.3	Åtgärder för att förhindra fuktansamling från slagregn . . . . .	71
8.4	Åtgärder för att förhindra eller minska uppsug- ning från marken . . . . .	72
8.5	Övrigt . . . . .	74
9	FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER . . . . .	75
	TABELLER . . . . .	77
	FIGURER . . . . .	85
	BILAGA . . . . .	156

## SAMMANFATTNING

Vadstena klosterkyrka är svårt skadad av fukt och skall genomgå en omfattande restaurering. För att utröna orsaken till det höga fuktinnehållet, har fukt- och temperaturförhållandena studerats under drygt ett års tid. Fukttillståndet har undersökts dels genom uttag av materialprov för fuktkvotsbestämning och dels med en elektrisk metod. Temperaturen har studerats med termoelement. Vidare har klimatdata insamlats för att studera fukt- och temperaturtillståndets beroende av omgivningens klimat.

Resultatet av undersökningen visar att murfukten kommer från slagregn och från marken. Nedtill i murverket dominerar markfukt medan högre upp, 2-3 m, slagregnets inverkan dominerar. Slagregnet träffar strävpelarna i större utsträckning än väggarna. Vidare är sydsidan utsatt för mer slagregn än övriga sidor. Fukttillståndet varierar på samma sätt, dvs är högst i strävpelarna och högre på sydsidan än på andra sidor. Markfukten har medfört att fukttillståndet är högre nedtill än högre upp.

Som åtgärder för att stoppa skadeutvecklingen, rekommenderas att allt cementbruk avlägsnas i fogarna och att murverket sedan får torka innan omfogning görs. Under denna uttorkningstid, ca 2 år, skall kyrkan skyddas mot regn genom intäckning av fasadytorna samtidigt som mellanrummet mellan fasad och intäckning ventileras kraftigt. Invändigt bör temperaturen höjas till ca 18°C samtidigt som ventilationen ökas så att 50-60 % RF erhålles. Åtgärder mot markfukt skall vidtas samtidigt för att uppsugning ej skall kunna ske från marken. En grundundersökning måste göras innan exakta åtgärder mot markfukt kan föreslås. En dränering intill grundmuren kan vara tillräcklig och rekommenderas under alla omständigheter.

När kyrkan torkat ut så att fukttillståndet gränsar till det hygroskopiska området, skall insidan omfogas med kalkbruk. På utsidan rekommenderas att ett kapillärbrytanden skikt inlägges i fogen, varefter omfogning med kalkbruk görs. Innan intäckningen avlägsnas bör fönster lagas och avtäckningar anbringas på alla icke vertikala ytor.



För att minska slagregnsbelastningen bör hängrännor och stuprör monteras på hela kyrkan.

Slutligen rekommenderas att en mindre del av kyrkan åtgärdas först, exempelvis brödrakoret i väster. I denna del skall då effekterna av vidtagna åtgärder studeras i detalj och underlag erhållas för att avgöra om vidtagna åtgärder mot markfukt är tillräckliga.

## TABELLFÖRTECKNING

- Tabell 1. Markeringar på slagregnsmätarna
2. Den absoluta viktsändringen av saltlösningen i fuktkuporna
  3. Viktsändringen enligt tabell 2 dividerad med partialtrycksskillnaden
  4. Kapillaritetstalet  $k_1$  för olika materialprover
  5. Motståndstalet  $m$  för olika materialprover
  6. Fuktledningstalet  $k_f$ , fuktkvot vid kapillär mättnad  $u_{\text{kap}}^{\text{max}}$  samt fuktkvot då uttorkningshastigheten börjar avta  $u_k$ , för olika materialprover
  7. Fuktdiffusionstalet  $k_d$  för olika materialprov
  8. Variationsgränser för jämviktsfuktkvoterna
  9. Porositeter och skrymdensiteter för olika materialprov
  10. Nederbörd, vind och utslag i slagregnsmätarna

## FIGURFÖRTECKNING

- Fig 1. Plan över Vadstena Klosterkyrka
- Fig 2. Kyrkans omgivning
- Fig 3. Murverkets uppbyggnad
- Fig 4. Höjdförhållanden väster om kyrkan
- Fig 5. Placering av termohygrografer
- Fig 6. Placering av termoelement inomhus
- Fig 7. Placering av slagregnsmätarna
- Fig 8. Slagregnsmätare
- Fig 9. Platser där materialprov uttagits
- Fig 10. Fuktgivare
- Fig 11. Grundprincipen för mätning av strömmen genom fuktgivaren
- Fig 12. Principkopplingsschema för mätning med fuktgivare
- Fig 13. Kalibreringskurva för en betong och ett kalkbruk
- Fig 14. Placering av fuktgivargrupperna
- Fig 15. Principiell placering av fuktgivare och termoelement inom grupp A-E. I grupp B motsvarar utsidan sydsidan
- Fig 16. Principiell placering av fuktgivare och termoelement inom grupp H
- Fig 17. Ingjutningsmetod för termoelement och fuktgivare
- Fig 18. Förändring av resistansen vid slagregn
- Fig 19. Fuktkupa
- Fig 20. Placering av fuktkupor
- Fig 21. Nederbördsiakttagelser från Vadstena, augusti 1973
- Fig 22. Månadsnederbörd i Vadstena (heldragen) och normalmånadsnederbörd i Linköping (streckad)
- Fig 23a. Klimatdata från Karlsborg, augusti 1973, sid 1
- Fig 23b. " " " " " sid 2
- Fig 23c. " " " " " sid 3
- Fig 24. Temperatur och relativ luftfuktighet för Karlsborg samt normaltemperatur för Motala och normal relativ luftfuktighet för Linköping

## forts figurförteckning

- Fig 25. Månadasnederbörd (heldragen) och normalmånadsnederbörd (streckad) i Karlsborg
- Fig 26. Temperatur och relativ luftfuktighet inomhus 14/1-21/1 1974. Termohydrograf 3
- Fig 27. Temperatur och relativ luftfuktighet inomhus
- Fig 28. Temperaturmätningar inomhus med termoelement
- Fig 29a. Temperaturmätningar i luften inomhus med termoelement 16/1 0800-20/1 0800 1974
- Fig 29b. Temperaturmätningar på golv och över tak inomhus med termoelement 16/1 0800-20/1 0800 1974
- Fig 29c. Temperaturmätningar vid fönster inomhus med termoelement 16/1 0800-20/1 0800 1974
- Fig 30a-g. Fuktkvoter bestämda på borrmjöl
- Fig 31a-f. Fuktkvoter bestämda på hela materialbitar
- Fig 32. Principutförandet vid kapillärsugning
- Fig 33a-d. Kapillära vattenmättnadsgrader,  $s_{kap}$
- Fig 34a-d. Vattenmättnadsgrader,  $s$
- Fig 35a-d. Fuktgivarnas och termoelementens placering i mätgrupp A, C, D, E. Vertikala snitt
- Fig 35e. Fuktgivarnas och termoelementens placering i mätgrupp B
- Fig 35f. Fuktgivarnas och termoelementens placering i mätgrupp H. Horisontellt snitt. Samtliga givare sitter ca 3,70 m högt
- Fig 36a-f. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp A,B,C,D,E,H
- Fig 37a-f. Fuktgivarmätningar i mätgrupp A,B,C,D,E,H 28/9-12/10 1973
- Fig 38a-f. Temperaturmätningarna i mätgrupp A,B,C,D,E,H
- Fig 39a,b. Temperaturmätningar i mätgrupp A,B 28/9-12/10 1973
- Fig 40. Temperaturmätningar i strävpelare på sydsidan 28/9-12/10 1973
- Fig 41. Temperaturgradienter i strävpelare på sydsidan 4/10-11/10 1973
- Fig 42. Temperaturmätningar i strävpelare på sydsidan 5/6 0800-7/6 0800 1973

## forts figurförteckning

- Fig 43. Temperaturgradienter i strävpelare på sydsidan 6/6 1400-7/6 0600 1973
- Fig 44. Principförloppet vid kapillärsugning
- Fig 45. Fuktproduktion från kyrkobesökare och läckage i värmesystemet
- Fig 46. Materialprov bestående av flera materialkvaliteter (naturlig storlek)
- Fig 47. Antagen konstruktion vid beräkningarna
- Fig 48a. Vattenånghalter inomhus och i väggytan på insidan
- Fig 48b. Vattenånghalter utomhus och i väggytan på utsidan
- Fig 49. Vattenånghalter inom- och utomhus
- Fig 50a-d. Resultat av slagregnsmätningarna 7/5 1973-21/3 1974
- Fig 51a. Fuktgivarutslag på olika djup
- Fig 51b. Fuktgivarutslag på olika höjd
- Fig 52a-b. Uppskattade extremtemperaturer i väggarna
- Fig 53. Daggpunkt och lägsta uppmätta yttemperatur
- Fig 54. Ventilrad och uppvärmd luftspalt
- Fig 55. Principutförandet vid dränering
- Fig 56. Principutförandet vid omfogning på utsidan

## BETECKNINGAR

A	yta	$m^2$
G	uppsugen vattenmängd	kg
R	resistans	$k\Omega$
$R_{10}$	resistans vid $10^\circ C$	$k\Omega$
b	bredd	m
$c, c_1, c_2$	ånghalt	$g/m^3$
$c_s$	ånghalt vid mättnad	$g/m^3$
d	tjocklek	m
g	viktsändring	$g/dygn, g/h, g/s$
h	höjd	m
k	konstant, allmänt	
$k_1$	kapillaritetstal	$kg/m^2 \sqrt{s}$
$k_d$	fuktdiffusionstal	$g/m \cdot h \cdot mmHg$
$k_f$	fuktledningstal	$cm^2/dygn$
l	längd	m
m	motståndstal	$s/m^2$
p	porositet (öppen)	%
$p^1$	porositet som fylls med vatten vid kapillärsugning	%
$p_1, p_2$	partialtryck	mmHg
s	vattenmättnadsgrad	
$s_{kap}$	kapillär vattenmättnadsgrad	
u	fuktkvot	(vikts-)%
$u_k$	fuktkvot då uttorkningshastigheten börjar avta	(vikts-)%
$u_{kap}^{max}$	fuktkvot vid kapillär mättnad	(vikts-)%
z	stighöjd	m
$\beta$	fuktövergångstal för vattenånga	m/s
$\gamma$	skrymdensitet	$kg/m^3$
$\eta$	dynamisk viskositet	$Ns/m^2$
$\sigma$	ytspänning	$N/m^2$
t	tid	s

## 1 INLEDNING

Murverken i Vadstena Klosterkyrka är svårt skadade av fukt. Detta visar sig främst genom avflagningar, sprickor och saltutfällningar. Den primära frågeställningen i detta sammanhang är: "Vilka åtgärder skall vidtas för att skadeutvecklingen skall stoppas?" För att kunna diskutera lämpliga åtgärder, måste först och främst orsaken till det höga fuktinnehållet fastläggas. Är det slagregn, markfukt, luftfukt eller något läckage som är orsaken? Är det kombinationer av dessa? För att få svar på dessa frågor planerades ursprungligen en undersökning innehållande fukt- och temperaturmätningar i murverken, utom- och inomhusklimatmätningar samt en besiktning av grundens och fönstrens beskaffenhet. Av dessa faktorer undersöktes enbart de två första, och föreliggande rapport är resultatet av dessa undersökningar.

Fukten i väggarna har dels bestämts genom uttagning av prover, som torkats för bestämning av det absoluta fuktinnehållet och dels med en elektrisk metod. Denna elektriska metod mäter variationer i väggen utan att ange några absolutvärden. Med dessa båda metoder erhålles sålunda både absolutinnehållet och de relativa variationerna exempelvis med hänsyn till olika väderlek, årstid, djup och höjd. Temperaturen på olika djup i murverken har registrerats med termoelement. Härigenom fås en uppfattning om hur snabbt väggen reagerar när temperaturen ute varierar, vilket har stor betydelse exempelvis vid bedömning av risken för frostsador.

Vidare har även materialegenskaper, utom- och inomhusklimatet, slagregn på utsidan och avdunstning på insidan studerats.

Ur resultaten av dessa mätningar dras sedan slutsatsen om varifrån fukten kommer. Detta ligger slutligen till grund för en bedömning av vilka åtgärder, som bör vidtas för att hindra en fortsatt skadeutveckling.

## 2 BESKRIVNING AV KYRKAN

### 2.1 Orientering och historik

Vadstena Klosterkyrka är en av landets största kyrkobyggnader med ett rum om 3 x 5 valv å 11 x 11 m och ett kor i väster som mäter 11 x 11 m. Se fig 1. Den invändiga höjden är ca 17 m. Marken lutar något mot väster och korets golv ligger ca 1 m lägre än golvet i kyrkorummet. Kyrkans omgivning framgår av fig 2. Söder och öster om kyrkan finns höga träd. Rakt västerut finns inga byggnader eller träd inom 50 m avstånd. Vättern ligger ca 100 m rakt västerut. På nordsidan ligger närmaste byggnad på ca 30 m avstånd. Omgivande byggnader är 3-4 våningar höga.

Klosterbygget påbörjades år 1369 och år 1405 togs brödrakoret i väster i bruk. Ytterväggarna fullbordades år 1414 och valven var färdigslagna år 1420. Klostret invigdes den 16 februari 1430. På 1890-talet utfördes en omfattande restaurering av kyrkan på grund av att murarna var svårt skadade och vissa ras hade uppstått. Även tidigare hade flera reparationer och ombyggnader gjorts. På 1890-talet ommurades stora delar av murverket och marken närmast kyrkan dränerades. Kyrkan försågs med uppvärmning genom lågtrycksånga på 1920-talet. På 1960-talet installerades en luftbefuktningsanläggning för att skydda inventarierna mot uttorkning.

### 2.2 Material och konstruktion

Kyrkorummet är övertäckt med 15 st stjärnvalv, vilkas horisontaltryck mot ytterväggarna tas upp av 18 st utvändiga strävpelare. Korutbyggnaden övertäcks av ett kryssvalv och har 4 st strävpelare. I skeppen bärs valven av arkadbågar och 8 st 8-kantiga pelare. Fönstren är placerade mellan strävpelarna. Se fig 1.

Yttermurar och strävpelare, som har en tjocklek mellan 1,5 och 2,0 m är uppförda med yttre och inre skal av huggna kalkstensblock. Skalens tjocklek varierar mellan 0,2 och 0,5 m. Fyllningen mellan skalen består av stenar och kalkbruk. Se fig 3. Kalkstenen är utvändigt fin-



huggen och murad med stor precision och tunna fogar. Invändigt är stenen ej så fint huggen och fogarna är bredare.

Vid restaureringen på 1890-talet ommurades och repare-  
rades stora delar av murverket. Fyllningen mellan skalen  
i en del strävpelare utbyttes mot tegel och både ut-  
och invändigt fogades med ett starkt cementhaltigt bruk.

Marken närmast kyrkan dränerades genom täckdikning vid  
restaureringen på 1890-talet. Denna täckdikning torde  
idag vara igenslammad.

Vid nyligen gjorda grävningar till 2 m djup i samband  
med andra arbeten vid SE hörnet påträffades inget grund-  
vatten. Marken var mycket hård.

Gamla utgrävningar väster om kyrkan är normalt torra,  
men efter regn är de blöta lång tid. Dessa utgrävningar  
är gjorda till ett djup om ca 2 m under själva murverket  
och grundmuren ligger här fri. Se fig 4.

Fönstren är inmurade i finhuggna kalkstensomfattningar  
och sitter mitt i murverket och murdelarna under fönst-  
ren på utsidan är avtäckta med solbänkar av kalksten.

Hängränna och stuprör finns endast på brödrakorets södra  
sida.

Golvet består av kalksten. Golvet under bänkarna är  
förhöjt och utfört av trä.

Kyrkorummet uppvärms med lågtrycksångsystem. Angradia-  
torerna är placerade vid ytterväggarna och lednings-  
rören är dragna i marken under golvet. Vidare instal-  
lerades luftbefuktningsaggregat på 1960-talet.

Grundmurarnas beskaffenhet är okänd. Den frilagda delen  
på västsidan består av stenar som utåt är fogade med  
ett cementbruk. Material och dimensioner i övrigt är  
okända.

### 2.3 Tidigare reparationer

Kyrkan har under årens förlopp varit föremål för en mängd reparationer och ombyggnader. Här skall enbart de som har betydelse för undersökningen beröras.

Vid en besiktning 1817 framgår att taket är otätt och att fönstren är i dåligt skick. Vissa strävpelare är även skadade.

1825 beslås strävpelare och solbänkar med kopparplåt.

1844 rapporteras att takrännor, strävpelareslag och fönster behöver repareras.

1892-98 utföres en omfattande restaurering. Nu ommuras och repareras stora delar av murverket, bl a sex strävpelare. Hur dessa arbeten utförts i detalj är okänt. I de strävpelare som ommurades utbyttes dock den tidigare sten-kalkbruksfyllningen mot tegel. Hur skadorna exakt såg ut är ej känt, men skadebilden torde ha varit ungefär densamma som idag.

På 1890-talet knackades den invändiga putsen ner och hela kyrkan, både ut- och invändigt, omfogades med ett starkt cementhaltigt bruk. Vidare fick kyrkan ett nytt kalkstensgolv. I golvet inlades ett antal av de gamla gravstenar, som tidigare helt täckte golvet.

1938 beslås strävpelarna med blyplåt efter det att en undersökning 1928 visat att avtäckningarna var otäta.

### 3 SKADOR

De allvarligaste skadorna uppvisar byggnadens yttermurar och strävpelare, som upptar trycket från valven.

#### 3.1 Murverk och strävpelare

Långhusets strävpelare har större eller mindre system av i huvudsak vertikala sprickor. Även de två höga strävpelarna på östra sidan är spruckna. Av de sex strävpelare som ommurades på 1890-talet är idag fyra bland de mest skadade. Förutom sprickor har även fogbruket lossnat på ett flertal ställen, både på strävpelarna och på murverket i övrigt. Längs alla sprickor förekommer saltutfällningar. Även på ställen där ej synliga sprickor finns, förekommer saltutfällningar. På insidan är fogarna nedtill rosafärgade och visar rikligt med saltutfällningar. På vissa ställe finns centimetertjocka lager med salt.

Ovan redovisade skador tyder på att murverket innehåller stora mängder vatten, som ej kan avdunsta på ett naturligt sätt. Ytterligare bevis för detta är att tidvis rinner det fritt vatten ur de trasiga fogarna.

Genom sprickorna kan ytterligare vatten snabbt sugas in i murverket, och påskynda skadeutvecklingen.

Väggarna tar alltså upp mer vatten än de kan avge. Vattnets enda möjlighet att avgå från murverket är genom fogarna. Dessa fogar tätades dock vid restaureringen med ett cementhaltigt bruk. Detta fick som följd att vattnet efter 1890-talet fick ännu svårare att avgå än tidigare. Även vattnets möjligheter att komma in i väggen försvårades genom omfogningen men ej i samma utsträckning som avdunstningen bl a beroende på sprickbildningar.

Utöver dessa skador, som främst visar sig i fogarna, är även själva kalkstenen utsatt för nedbrytning. På ett flertal ställen har ytskikt avflagnat till ett djup om 2-3 cm. Borrningar på utsidan har visat att stenen till

10 cm djup har dålig hållfasthet på grund av många horisontella sprickor. På större djup är däremot stenen mycket hållfast, även om enstaka horisontella sprickor finns.

Att åtgärderna, som vidtogs på 1890-talet, var olämpliga framgår också av att skadeutvecklingen skett snabbt efter denna tidpunkt, troligen betydligt snabbare än tidigare. De delar av murverket, som helt ommurades på 1890-talet, tillhör nämligen idag de mest skadade.

### 3.2 Grundmur

Några synliga sättningar i grunden kan ej påvisas. Någon undersökning av mark och grundmurar har dock icke gjorts.

### 3.3 Fönster

Under fönstren är murverket mer skadat än i övrigt. Detta beror på att fönstren är otäta mellan mur och glas, vilket medför att vatten vid slagregn rinner in genom fönstren och ner på fönsterbänkarna och murarnas insidor. Vidare är avtäckningarna under fönstren otäta. Murverket under fönstren är således utsatta för väsentligt större vattenbelastning än övriga delar.

### 3.4 Golv

Kalkstensgolvet är på ett flertal ställen missfärgat av fukt och träövergolvet vid bänkarna rötskadat. Fuktfläckarna förekommer främst vid kalkstensplattornas kanter.

### 3.5 Övrigt

Värmeanläggningen är gammal och uttjänt. Rören för ångtransporten ligger under golvet och är svårt rostangripna. Stora mängder vatten försvinner från systemet och går ut i marken under golvet.

#### 4 BESKRIVNING AV UNDERSÖKNINGEN

##### 4.1 Program och målsättning

Den övergripande målsättningen med undersökningen var att finna åtgärder mot en fortsatt skadeutveckling i kyrkan. För att nå detta, uppsattes följande delmålsättningar:

- a. Kartläggning av materialegenskaper och fukttransport-möjligheter inuti murverket
- b. Kartläggning av murverkets vattenbelastning
- c. Kartläggning av fukttransporten inuti murverket
- d. Kartläggning av väggfuktens beroende av inom- och utomhusklimatet

Dessa målsättningar utmynnade i följande delundersökningar:

- a. Inom- och utomhusklimat
- b. Slagregn och vattenfilmbildning
- c. Fuktförhållandena i murverken
- d. Fuktutbyte mellan murverk och kyrkorum
- f. Materialegenskaper
- g. Temperaturförhållandena i murverken

Exempel på frågor som undersökningen skall ge svar på är:

- a. Varifrån kommer murfukten? Varför?  
Är det markfukt, slagregn, luftfukt, läckage eller någon annan källa? Är det kombinationer av dessa faktorer? Vilka är dominerande?
- b. Vart tar fukten vägen? Varför?  
Hur stor del torkar ut inåt resp utåt? Uttorkningshastighet? Uttorkningens beroende av utom- och inomhusklimatet?
- c. Hur hindra eller minska fuktupptagning?
- d. Hur underlätta fuktavgivning?

Utöver dessa speciella frågor för Vadstena Klosterkyrka, var syftet även att få en generell bild av hur tjocka väggar reagerar för olika klimat. Hur ser temperatur- och fuktgradienten ut vid en plötslig yttre klimatändring? Skillnad mellan dag och natt? Solsken-mulet? Olika årstid? etc.

## 4.2 Undersökningsmetoder

I följande avsnitt beskrivs dels syftet med de olika undersökningarna och dels det praktiska tillvägagångssättet.

### 4.2.1 Inom- och utomhusklimat

Inom- och utomhusklimatet har kontinuerligt studerats under hela undersökningsperioden för att se om något samband finns mellan murverkets fukt- och temperaturförhållande och dessa klimatdata. Ett annat syfte var att direkt studera hur utomhusklimatet påverkar inomhusklimatet. Vidare förutsätter en fuktbalansberäkning att klimatdata är kända. Klimatdata under undersökningsperioden krävs även för att kunna avgöra om klimatet varit representativt eller om något extremår förelåg.

Med tanke på utformningen av framtida uppvärmningssystem har även temperaturskiktningar i kyrkan studerats. Detta har dock icke gjorts kontinuerligt utan enbart periodvis i samband med senare, i avsnitt 4.2.3 och 4.2.6, beskrivna fukt- och temperaturmätningar.

Utomhusklimatet har studerats med hjälp av uppgifter från SMHI och egna mätningar på platsen. Från SMHI har insamlats nederbördsiakttagelser från Vadstena och fullständiga väderdata från Karlsborg f o m nov 1972. Nederbördsiakttagelserna från Vadstena ger nederbörden under ett dygn. Mätaren töms varje morgon 07<sup>00</sup> och den angivna nederbörden avser således tiden från 07<sup>00</sup> föregående dygn till 07<sup>00</sup> det aktuella dygnet.

De fullständiga väderdata från Karlsborg innefattar bl a lufttemperatur, nederbörd, vindriktning, vindhastighet, lufttryck, ångtryck och relativ luftfuktighet. Nederbörden ges här dels som dygnsvärde i likhet med nederbördsiakttagelserna från Vadstena och dels i en uppdelning i tidsintervaller 07<sup>00</sup>-19<sup>00</sup> och 19<sup>00</sup>-07<sup>00</sup>. Vidare anges i vilken form nederbörden faller. Vindriktning och vindhastighet anges i 6-timmarsintervall. Även övriga data ges i mindre intervall än dygn, men för dessa har medelvärdet för dygn eller längre period använts vid utvär-

För att kunna registrera det exakta väderförloppet nära kyrkan placerades en av SIB's klimatstationer på ett öppet fält ca 1 km från kyrkan. Klimatstationen registrerar nederbörd, temperatur, vindriktning, vindhastighet och relativ luftfuktighet. Registrering skedde var 15:e minut och härigenom kunde således en bedömning göras dels av skillnaden mellan Vadstena och Karlsborg och dels skillnaden mellan fritt slagregn på ett öppet fält och slagregnsförhållandena på kyrkan (slagregn på kyrkan beskrivs i 4.2.2).

Temperaturen intill kyrkan har även periodvis registrerats med termoelement.

Inomhusklimatet har kontinuerligt studerats med 3 termohygrografer och periodvis med termoelement. Termohygrograferna var placerade enligt fig 5 och registrerade temperatur och relativ luftfuktighet. Termoelementen, som användes för att studera yttemperaturen på golv, väggar och fönster och eventuella luftskiktningar registrerades enbart i samband med mätningarna enligt 4.2.3. Termoelementen är placerade i västra delen av kyrkan, främst i brödrakoret enligt fig 6.

#### 4.2.2 Slagregn och vattenfilmbildning

För att registrera vattenbelastningen orsakad av slagregn har slagregnsmätare monterats på kyrkan. 4 st mätare monterades på nord- och västsidan i januari 1973 och ytterligare 2 st monterades på syd- och östsidan i maj 1973 för att ge en fullständigare bild av slagregnsfördelningen. Placeringen av slagregnsmätarna, som gjorts i samråd med klimatgruppen på SIB, framgår av fig 7. Strävan vid placeringen var att få slagregnsmätarna intill mät-punkterna enligt 4.2.3. Slagregnsmätaren H är placerad på höjden 5 m medan de övriga sitter ca 6-7 m över marken.

Slagregnsmätaren består av en "snedcirkulär kupa" som monteras på väggen med öppningen utåt, se fig 8. Regn som träffar öppningen rinner genom ett rör in i en behållare, som påverkar en vipparm med motvikt. När behållaren fyllts med 4 ml vatten töms behållaren genom att den sammanlagda

vikten av behållaren och vattnet blir större än motvikten och samtidigt ges en impuls till en punktskrivare.

4 ml vatten i behållaren motsvarar ca 0,13 mm slagregn. Punktskrivaren som tillåter registrering av 10 mätpunkter, är placerad inne i kyrkan och har en gångtid på 30 dagar utan pappersbyte.

För att ytterligare studera slagregnsfördelningen har kyrkan fotograferats vid regnväder. Genom att fotografera snett uppåt mot fasaden, kan den vattenfilm som bildas vid slagregn registreras. Vidare ger fotografering upplysning om hur vattnet rinner utefter fasaden. Den ursprungliga avsikten var även att kontinuerligt fotografera kyrkan under ett regnväder, för att härigenom få en uppfattning av hur snabbt vattenfilmen utbildas under regnet och hur snabbt den försvinner efter. Denna kontinuerliga fotografering kunde dock av praktiska skäl tyvärr ej genomföras.

#### 4.2.3 Fuktförhållandena i murverken

Fukttillståndet i murverken har studerats dels genom uttagning av materialprover för fukttinnehållsbestämning och dels genom registrering med hjälp av inmonterade känslökroppar, s k fuktgivare. När fuktgivarna monterades uppsamlades borrhjålet från de för fuktgivarna erforderliga hålen. Borrhjålet lades i dubbla plastpåsar för transport till laboratoriet för fuktkvotsbestämning. Vid fuktkvotsbestämningen vägdes först provet i naturligt tillstånd, varefter det placerades i torkugn med temperaturen 105°C. Efter 3 dygn vägdes provet på nytt varvid torrvikten erhöles. Fuktkvoten beräknades genom att dividera viktförlusten under torkningen (vatteninnehållet) med torrvikten och uttrycks i (vikts-)procent.

En kontroll av viktförlusten under transporten till laboratoriet visade att denna vara försumbar. Fuktkvoter bestämda på borrhjålet kan vara något missvisande beroende på den värme som utvecklas vid borrhningen, men ger ändå en uppfattning av fukttillståndet i de olika borrhålen. För att få ett riktigare värde på fukttinnehållet har dessa bestämningar kompletterats med fuktkvotsbestämningar på ostörda materialprov, som uttagits bakom fasad-



stenarna intill ett djup av 1 m. Placeringen av dessa provtagningar samt när de är gjorda framgår av fig 9. Fuktkvotsbestämning på borrmjöl gjordes vid samtliga fuktgivare. Placeringen av dessa beskrivs senare. Förutom vid fuktgivarna togs borrmjölprov även i ett antal punkter på sydsidan ända från marken till taket.

Med fuktkvotsbestämningar kan man ej visa hur fukttillståndet varierar i murverket med tiden. Anledningen härtill är främst att materialet är mycket varierande och vid två på varandra följande provtagningar fås ej samma material, varför fuktkvoterna således ej går att jämföra.

För att få en uppfattning om hur fukttillståndet varierar med tiden monterades som tidigare nämnts, fuktgivare i murverket.

Fuktgivaren består av en rak och en spiralformad kopparelektrod, åtskilda med ett autoklaverat cementbruk enligt fig 10. Autoklaveringen görs för att minska brukets förändring med tiden. Fuktgivaren är således cylinderformad med längden 25 mm och diametern 10 mm. När fuktgivaren placeras i kontakt med ett fuktigt material kommer cementbruket i givaren att få ett fuktinnehåll som blir beroende på det omgivande materialets fukttillstånd. Ändras fukttillståndet hos omgivningen ändras även fuktinnehållet i givaren. Genom att registrera ändringen i fuktgivaren fås således ett indirekt mått på ändringen hos omgivningen. Denna registrering kan göras kontinuerligt utan att förändra tillståndet genom uttag av materialprover.

Som ett mått på fuktinnehållet i givaren, och därmed indirekt på fukttillståndet hos omgivningen, används resistansen mellan elektroderna. Resistansen är nämligen direkt beroende av fuktinnehållet. Ett högt fuktinnehåll ger en låg resistans och tvärtom. Vid mätning läggs en växelspanning (1,0 V) mellan elektroderna och strömmen genom fuktgivaren mäts enligt fig 11. Med kännedom om spänning och ström kan sedan resistansen beräknas med Ohm's lag.

I praktiken mätes ej strömmen genom givaren utan spänningen över ett motstånd, som ingår i kretsen. Denna spänning transistorförstärkes och man registrerar således en spänning. Se fig 12. Denna spänning översätts sedan till resistans med hjälp av en tabell.

Att översätta resistansen till fuktkvot hos det omgivande materialet kräver omfattande kalibreringsarbete och förutsätter att omgivningen består av ett homogent material. En viss resistans hos givaren motsvarar olika fuktkvot i olika material. Anledningen till detta är att fukttinnehållet i givarbruket ställer sig i jämvikt med omgivningens fukt-tillstånd, och vid ett visst fukttillstånd har olika material olika fukttinnehåll. I det hygroskopiska området motsvaras fukttillståndet av den relativa luftfuktigheten. Vid den relativa luftfuktigheten 95 % kommer exempelvis en viss betong att få fuktkvoten 5 % medan en viss lättbetong får fuktkvoten 25 %. Om fuktgivaren placerades i betong resp lättbetong med dessa fuktkvoter, skulle resistansen vara samma.

För ett visst material kan en kalibreringskurva ritas, som visar sambandet mellan resistans i givaren och fuktkvot hos omgivningen. Undersökningar har visat att om resistans och fuktkvot inprickas i ett log-logdiagram fås en rät linje inom ett visst intervall för exempelvis betong och kalkbruk enligt fig 13. I murverken i Vadstena Klosterkyrka går det ej att kalibrera fukt-givarna mot fuktkvoten beroende på de varierande material-egenskaperna. Detta är ej heller nödvändigt eftersom det väsentliga är att studera tidsvariationen i fukttillståndet. Absolutbeloppen på fuktkvoterna kan enbart fås genom uttagning av prover.

Resistansen är förutom av fukttinnehåll även beroende av temperatur och saltinnehåll hos omgivningen. Vidare visar två givare icke samma resultat vid identiska om-givningar beroende på tillverkningsvariationer. Kalibre-ringsförsök har visat att ca 80 % av givarna har liten avvikelse från ett medelvärde, medan resten avviker vä-sentligt.

Att jämföra olika givare går alltså ej om inte resistansskillnaden är mycket stor. Temperaturberoendet medför att temperaturen måste registreras vid varje fuktgivare, varefter en korrektion göres och samtliga resistanser refereras till  $10^{\circ}\text{C}$ . Temperaturen registreras med hjälp av termoelement. Om temperaturen är mindre än  $0^{\circ}\text{C}$  ökas resistansen kraftigt. Vid låga temperaturer är således uppmätta värden missvisande och från dessa bortses i den fortsatta behandlingen. Saltinnehållet påverkar givaren så att ökat saltinnehåll ger mindre resistans. I murverket förutsätts att saltinnehållet är konstant, varför någon korrektion ej görs för detta.

#### Placering av mätpunkter

Fuktgivare och termoelement monterades i november 1972. Härvid placerades de i 5 olika grupper A, B, C, D, E med 6 termoelement och fuktgivare i varje grupp. I januari 1973 monterades ytterligare en grupp H, med 6 fuktgivare och 9 termoelement. Placeringen av grupperna, som framgår av fig 14, har gjorts med hänsyn till rådande yttre klimatförhållanden. Anledningen till att undersökningen i januari 1973 utökades med ytterligare en grupp var att de 5 första grupperna endast täckte de västra, norra och östra väggarna och att en grupp på sydsidan skulle ge en fullständig bild av rådande fukt- och temperaturförhållanden.

Den inbördes principiella placeringen av fuktgivare och termoelement inom grupperna A-E framgår av fig 15. Genom fuktgivarnas olika placering i höjddled kan eventuell vattentransport vertikalt avgöras. Variationen i djupet är gjord för att kunna fastställa eventuell horisontell vattentransport. Termoelementen har samtliga placerats på samma höjd för att få dels temperaturen vid de olika fuktgivardjupen och dels yttemperaturen. Att placera termoelement även vid den övre och den undre fuktgivaren ansågs ej motiverat, eftersom temperaturen vid dessa punkter ungefär torde vara lika med temperaturen på motsvarande djup vid de mellersta fuktgivarna.

Att mäta även yttemperaturerna är motiverat bl a för en bedömning av kondensationsrisken.

Inom grupp H är samtliga fuktgivare och termoelement placerade på samma höjd, ca 4 m över marken. Att variera placeringen i höjddled ansågs ej vara nödvändigt här eftersom det främst var inverkan av väderstreck som skulle studeras med denna grupp. Den inbördes principiella placeringen framgår av fig 16. Genom den gjorda placeringen kan fukt- och temperaturförhållandena i strävpe-lare studeras fullständigt i det valda snittet.

Av praktiska skäl avviker den verkliga placeringen inom varje grupp något. Den exakta placeringen beskrivs i avsnitt 5.3.

#### Montering av fuktgivare och termoelement

För resp fuktgivare och termoelement borrhades ett hål  $\phi$  25 mm till önskat djup. Vid borrhningen samlades borrhmjölet upp för laboratorieundersökning. Hålet rensades och försågs med några cm kalkcementbruk i botten. Fukt-givaren placerades i ett 1 m långt rör, som i ena änden var böjt och försett med tratt. Kabeln till fuktgivaren, som var 3-5 m, drogs genom röret varefter röret fylldes med KC-bruk. Termoelementet sattes fast i änden av röret, intill fuktgivaren, men termoelementkabeln drogs ej genom röret, utan placerades utvändigt. Det sålunda "laddade" röret fördes in i hålet. Härefter drogs röret sakta ut under samtidig vibrering, varvid fuktgivare och termo-element stannade kvar på avsedd plats. Att inte termo-elementkabeln drogs genom röret beror på, att den från början hade gjorts så lång att den ej skulle behöva skarvas, vilket skulle kunna påverka utslaget. Längden på vis-sa termoelementtrådar översteg 100 m. Fuktgivarkabeln däremot går att skarva utan någon risk för påverkan på mätresultatet. Gjutmetoden framgår av fig 17. Utvändiga kablar är dragna genom plaströr rakt ner till sockeln. Den fortsatta dragningen är gjord genom gummislang, som monterats på väggen. Kablarna från grupperna A-D drogs till en gemensam punkt i NV hörnet och härifrån in i kyr-

kan genom en glugg. Kablarna från punkterna E och H är indragna genom närbelägna dörrar. Inne i kyrkan har kablarna dragits till en gemensam punkt vid altaret, där mätinstrumenten är placerade. De invändiga kablarna är dragna utan något skydd rakt ner till golvet och härifrån utmed väggarna till altaret. Invändigt har kablarna endast skyddats på speciellt utsatta punkter.

### Registrering

Registrering av fuktgivare och termoelement har skett med hjälp av SIB:s mobila mätenhet, vars mätbuss stationerats vid kyrkan under pågående mätningar. För att kunna kartlägga eventuella årstidsvariationer planerades mätningarna att pågå under 1 år.

Av praktiska skäl fick denna tid förlängas till  $1\frac{1}{2}$  år. Anledningen till detta var dels mättekniska problem och dels den ogynnsamma väderleken vintern 72/73. De mättekniska problemen var helt tillrättade i juni 1973 och den första mätningen efter detta skedde i juli 1973. Mätningar före denna tidpunkt går ej att jämföra med senare mätningar. Problemen bestod främst i att de långa kablarna från fuktgivarna fungerade som antenn och mottog impulser från radiosändaren i Motala. Ett annat problem var jordningen av instrument och fuktgivare.

Under mätåret har givarna inte registrerats kontinuerligt utan mätningar har skett under 1-2 veckor med ca 2 månaders mellanrum. De första registreringarna i nov 1972 är missvisande även av det skälet att vid monteringen tillförs vatten, vilket medför en mindre resistans hos givaren. De exakta tiderna för registrering redovisas senare i samband med resultaten.

Vid mätningarna registrerades värdena normalt med 4 timmars intervall. Inom varje mätperiod kunde således eventuella snabba variationer i fukt och temperatur studeras, exempelvis direkt efter ett regn, vid solbelysning, vid plötslig temperaturändring eller skillnad mellan dag och natt. Intervallet kunde om så önskades vid något särskilt intressant tillfälle, exempelvis efter ett kraftigt slagregn, göras kortare.

Registrering skedde på SIB:s datalogy av fabrikat Modulog. Termoelementen var inkopplade på kanal 1-60 och fuktgivarna på kanal 61-100. När registreringen, som skedde helt automatiskt, började med kanal 1, så lades samtidigt en spänning över fuktgivarna. Avsökningshastigheten var 1 kanal/sekund. När mätningarna på fuktgivarna började, hade dessa således haft en spänning i 1 minut, vilket är nödvändigt för att fuktgivarna skall stabilisera sig. Den erforderliga stabiliseringstiden är 30-40 sek. Värdena stansades på en hålremsa och kunde även fås utskrivna direkt för kontroll av att allt fungerade.

### Utvärdering

Registrerade utslag hos fuktgivarna förvandlas via datamaskin till resistanser. Även korrektionen för temperatur gjordes med hjälp av datamaskin. Resultatet skrevs dels ut i tabellform och dels i diagramform.

Med anledning av tidigare nämnda rätlinjiga samband mellan resistans och fuktkvot för vissa material i ett log-log-diagram användes som mått på fukttillståndet logaritmen för resistansen vid  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $\log R_{10}$ . Härigenom kan variationen för varje enskild givare studeras. Om en fasadyta utsätts för slagregn, som suggs in i väggen, kommer den yttersta fuktgivaren att reagera först. När vattenfronten nått längre in i väggen kommer nästa givare att reagera etc. Samma blir förhållandet med givarna placerade på olika höjd om vattentransport sker vertikalt. Principutseendet för det förstnämnda förloppet framgår av fig 18. Vid jämförelse mellan olika givare måste dock en viss försiktighet iakttas. Att jämföra enbart 2 olika givare med avseende på deras absoluta utslag går inte med hänsyn till variationer vid tillverkningen. I murverket finns totalt 30 givare monterade. En jämförelse mellan olika grupper av givare är däremot möjlig, om antalet givare i varje grupp väljs tillräckligt stort. Härvid måste dock beaktas att någon enstaka givare kan avvika betydligt. Vidare måste skillnaden mellan de olika grupperna vara väsentlig.

#### 4.2.4 Fuktutbyte mellan murverk och kyrkorum

För att studera fukttransporten mellan kyrkorummet och väggarna har täta kupor anbringats på insidan av ytterväggarna. Kuporna består av ett flänsrör med invändig diameter på 100 mm. Dessa kupor är fastsatta på väggen och tätade med fogmassor. På sidan ut mot kyrkorummet finns en löstagbar plexiglasskiva. I kupan placeras en övermättad lösning av ett hygroskopiskt salt, som håller en konstant relativ fuktighet i kupan, se fig 19. Genom att väga skålen erhålls ett mått på fukttransport mellan kupa och vägg. Placeringen av kuporna framgår av fig 20. Kupa 1-7 monterades hösten 1972 och är placerade över fogar med den sammanlagda foglängden 15 cm i varje kupa. Kupa 8 och 9 monterades hösten 1973. Kupa 8 placerades liksom de övriga över en fog men med den skillnaden att fogbruket avlägsnades. Kupa 9 placerades helt på en sten.

Mätningar av fukttransport skedde i början veckovis i samband med övriga mätningar. Senare övergicks till mätning över längre perioder, 1-2 månader. Det använda saltet har varierat. Först användes NaCl, som ger 75 % relativ luftfuktighet. Senare användes  $MgCl_2$ , som ger 33 % och slutligen övergicks till NaBr, som ger 60 % relativ luftfuktighet.

#### 4.2.5 Materialegenskaper

Förutom fuktkvotsbestämning av samtliga uttagna prover, har även andra egenskaper undersökts. För ett 10-tal prover har den kemiska sammansättningen analyserats på CBL i Limhamn. Analysen gjordes med avseende på kalkhalt och ingående salter, för att få en uppfattning om variationen i materialsammansättning.

Andra egenskaper som undersökts är porositet, densitet, jämviktsfuktkvoter, kapillärsugning och uttorkningsförmåga. Den maximala kapillärsugningen har bestämts för att kunna jämföra den verkliga fuktkvoten i väggarna med den maximala, som kan nås genom kapillärsugning. Förhållandet mellan dessa fuktkvoter, kapillärmättnadsgraden,

Kapillärsugnings- och uttorkningshastighet har bestämts för att kunna bedöma fuktbalansen i murverket.

#### 4.2.6 Temperaturförhållandena i murverket

Temperaturen i murverket har studerats dels för att kunna korrigera temperaturen enligt 4.2.3 och dels för att få en uppfattning om hur temperaturen varierar i väggarna. Detta är intressant ur beständighetssynpunkt.

Termoelementen har placerats intill fuktgivarna och på ytan utanför. Temperaturen studerades således i punkter med 40 cm avstånd från varandra. Detta medför att snabba variationer, på ett litet djup, ej kan studeras. För att kunna studera även mycket snabba variationer på små djup, monterades på sydsidan även termoelement på djupet 1/2, 3, 7 och 20 cm.

Registrering och utskrift har skett på samma sätt som för fuktgivarna enligt 4.2.3.

Även för temperaturmätningarna uppstod problem i början beroende på de långa termoelementtrådarna. Den första mätningen med riktiga temperaturer gjordes i jan 1973.

#### 4.2.7 Övrigt

För att kunna bedöma fuktproduktionen inomhus, har uppgifter om antal kyrkobesökare, vattenförlust i värmesystemet och vattenåtgång i befuktningsanläggningen insamlats.



## 5 UNDERSÖKNINGSRESULTAT

### 5.1 Klimat

#### 5.1.1 Klimatdata från SMHI

Nederbördsiakttagelserna från Vadstena redovisar enbart nederbördsmängd. Ett exempel för augusti 1973 framgår av fig 21. En sammanställning av månadsvärdena för tiden nov 1972-april 1974 visas i fig 22, där även normalmånadsnederbörden för åren 1931-1960 från Linköping är inritad som jämförelse. Att redovisa varje månad för sig under hela mättiden saknar mening.

Klimatdata från Karlsborg är fullständiga och i likhet med nederbördsiakttagelserna från Vadstena redovisas ej varje datablad utan enbart ett exempel för augusti 1973 i fig 23a,b,c.

En sammanställning för tiden nov 1972 till april 1974 av temperatur och relativ luftfuktighet för Karlsborg samt normaltemperatur för Motala och normal relativ luftfuktighet för Linköping visas i fig 24.

Nederbördsmängd och normalnederbörd för Karlsborg framgår av fig 25. Angivna värden i fig 24 och 25 avser månadsmedelvärdet.

#### 5.1.2 Klimatstation

Registreringarna på klimatstationen har varit av skiftande kvalitet. Vintertid har den ej fungerat på grund av snön och kylan. Även på sommaren har den ibland varit ur funktion eller visat felaktiga värden. Någon redovisning av klimatdata från klimatstationen görs därför ej. Vid senare jämförelser kommer dock värden från klimatstationen i viss mån att beaktas, främst vindriktning och vindstyrka i kombination med regn.

#### 5.1.3 Termohygrografer

Termohygrograferna, vars placering visades i fig 5, registrerade kontinuerligt temperatur och relativ luftfuktighet enligt fig 26. I fig 27 redovisas de långsiktiga variationerna i temperatur och relativ luftfuktig-

för hela undersökningsperioden. I denna figur har ingen hänsyn tagits till variationer under en vecka. Vidare har bortsetts från extremvärden under korta tidsrymder. Hur temperatur och relativ luftfuktighet varierar under en typisk vintervecka, främst beroende på uppvärmning inför högmässan på söndagen, framgår av fig 26.

#### 5.1.4 Temperaturmätningar inomhus

Temperaturmätningar med termoelement gjordes periodvis och placeringen av termoelementen framgår av fig 6. De långsiktiga variationerna för temperaturen vid termostat, på golv, under och över tak framgår av fig 28. I denna figur är förloppet mellan punkterna okänt och har därför markerats med rätta linjer. Temperaturerna som använts är medeltemperatur för resp mätperiod.

De kortsiktiga variationerna inomhus, på golv, på fönster och utomhus redovisas enbart för en typisk vintervecka i fig 29a,b,c. I denna figur har medeltemperaturerna under tiderna 08-14, 16-22 och 00-06 använts. I fig 29a visas temperaturen vid termostaten, halva rumshöjden och under taket. I fig 29b visas temperaturen vid termostaten, över taket och på golvet. I fig 29c visas slutligen temperaturen utomhus, på fönsterbänk, på mittpost i fönster och på glasyta i fönster.

På sommaren är temperaturerna i figur 29 i stort konstanta och lika, bortsett från golvtemperaturen, som är någon grad lägre än de övriga.

## 5.2 Slagregn

### 5.2.1 Slagregnsmätningar

Resultat av slagsregnsmätningarna framgår av tabell 1. I denna tabell anges antal registreringar per dag och mätare. Mätarnas placering redovisades i fig 7.

### 5.2.2 Vattenfilmbildning på fasadytorna

Utöver det i 5.2.1 angivna slagregnet utsätts väggen även för regn som ej ger utslag i slagregnsmätarna. De övre delarna av kyrkväggarna träffas av mer slagregn än de nedre. Vatten från de övre delarna rinner sedan ner och ger en vattenfilm utan att ge utslag i mätarna. Samma sak gäller för takvatten, som rinner ner på väggen, p g a att inga hängrännor finns.

Vid regn har observerats att vattenfilm utbildas på praktiskt taget alla strävpelarna, oberoende av vindriktning och vindstyrka. På väggarna utbildas däremot vattenfilm först vid ett riktigt slagregn. Måttliga slagregn ger vattenfilm enbart på övre delen av väggen medan kraftiga slagregn ger vattenfilm på hela väggytan. Även väggytor på läsidan blir blöta i överkanten, dock utan att någon riktig vattenfilm bildas.

Vid små vindstyrkor och duggregn bildas i allmänhet vattenfilm enbart på strävpelarna medan väggarna endast blir fuktiga. På väggarnas övre delar och intill strävpelarna kan dock vattenfilm bildas även vid duggregn.

Blöta väggar och strävpelare kan förekomma även då någon nederbörd ej fallit. Under dygn med kalla nätter bildas nämligen frost på taket och när dagsmejan sätter in, smälter frosten och smältvattnet hamnar på väggar och strävpelare. Även riktig vattenfilm kan lokalt utbildas vid dessa tillfällen.

Sammanfattningsvis kan sägas att murverket är utsatt för större vattenbelastning än slagregnsmätningarna visar. Strävpelarna och överkanten på väggarna blir blöta vid varje regntillfälle och vattenfilm utbildas ofta, oberoende av vindstyrka och vindriktning. Hela väggytan blir däremot blöt enbart på vindsidan och för att vattenfilm skall utbildas på en hel vägg krävs ett direkt slagregn. Lokala undantag finns, exempelvis väggytor intill strävpelare och under fönster där vattenfilm kan utbildas utan att något direkt slagregn föreligger. I stort gäller dock att slagregnsmätningarna

ger en relativt god bild av fördelningen av slagregnet.

### 5.3 Fukt i murverk och strävpelare

#### 5.3.1 Fuktkvoter

Materialprov togs ut för fuktkvotsbestämning vid varje borrhål för fuktgivarna. Placeringen av dessa hål framgår av 5.3.3. Utöver dessa borrhål togs borrhprov även på sydsidan i sektion F enligt fig 9 på höjderna 3, 7, 11 och 15 m över mark. Vid uttag av bormjöl togs alltid nytt prov när materialet förändrades. En förändring bedömdes ske när antingen färgen på provet ändrades eller då borregenskaperna ändrades. Härigenom erhöles en mängd olika prov ur samma hål. Fuktkvoterna på prov ur samma hål var mycket varierande och då provtagningsmetoden gör att flera material ofta blandas till ett, är de angivna fuktkvoterna ej exakta. Fuktkvoterna i väggen kan variera antingen språngvis eller kontinuerligt beroende på hur materialgränserna ser ut. Ett exempel på språngvis variation är gränsen mellan sten och bruk medan en kontinuerlig variation sker mellan två kalkbruk som gradvis övergår i varandra. Resultatet av fuktkvotsbestämningarna från borrhålen framgår av fig 30a-g. I figurerna är vägg tjocklek ritad skalenlig medan höjden över mark resp golv ej är skalenlig utan anges vid varje diagram.

Hål som borrhats till ca 80 cm djup har markerats med kryss och hål som borrhats till 40 cm djup har markerats med punkter. 40 cm hålen är placerade intill 80 cm hålen.

Förutom på bormjöl har fuktkvoter även bestämts på hela materialbitar. Placeringen av dess provtagningsplatser framgår av fig 9. Fuktkvoterna visas i fig 31a-f. I fallet med hela bitar fås ett bättre värde på fuktkvoten, eftersom valet av material sker under bättre kontroll och sammanblandningen av olika material minskas.

Hålets storlek har varierat mellan 20x40 cm och 30x100 cm och proverna ligger således ej rakt innanför varandra.

En jämförelse mellan fuktkvoter bestämda på borrmjöl resp hela materialbitar visade att någon skillnad ej fanns mellan de olika provtagningssätten.

Som synes av fuktkvoterna, bestämda både på borrmjöl och på hela bitar kan två prover intill varandra visa helt olika fuktkvoter. Härav följer att några slutsatser om väggen fukttillstånd, utom att det är högt, ej kan dras

### 5.3.2 Kapillär vattenmättnadsgrad

För att få en uppfattning om murverkets fukttillstånd måste fuktkvoterna enligt 5.3.1 jämföras med något referensvärde. Här har som referensvärde valts fuktkvoten vid kapillär mättnad. Fukttillståndet vid kapillär mättnad har bestämts genom att proverna fått suga vatten från en fri vattenyta enligt fig 32. Under sugningen, som pågick tills ytterligare vatten ej togs upp (4 dygn), skyddades proverna mot uttorkning med en plastfolie. För att kunna jämföra fuktkvoten i naturligt tillstånd med fuktkvoten vid kapillär mättnad enligt ovan, måste fuktkvoterna bestämmas på exakt samma materialprov. För att en eventuell materialförändring, som troligtvis sker vid uppvärmning till 105°C i samband med uttorkningen, ej skulle inverka på resultatet, vägdes först proverna i naturligt tillstånd, varefter proverna fick suga kapillärt innan uttorkning slutligen skedde.

Som mått på murverkets fukttillstånd har använts den kapillära vattenmättnadsgraden, dvs aktuell fuktkvot dividerad med fuktkvoten vid kapillär mättnad,  $s_{\text{kap}}$ .  $s_{\text{kap}} = 1,0$  innebär exempelvis att något ytterligare vatten ej upptas vid kapillärsugning. Den kapillära vattenmättnadsgraden har bestämts för prover tagna i hålen IV-VII enligt fig 9. Resultatet av dessa bestämningar framgår av fig 33a-d.

För vissa prover har även den maximalt möjliga fuktkvoten bestämts, dvs när alla öppna porer i materialet är fyllda. För att uppnå den maximala fuktkvoten fylldes proverna med vatten under vakuum. Genom att dividera fukt-

kvot i naturligt tillstånd med maximal fuktkvot, erhålls vattenmättnadsgraden  $s$ . Resultatet av dessa bestämningar framgår av fig 34a-d. Dessa värden kan dock vara något felaktiga av två orsaker. För det första gjordes proverna något mindre vid vakuumbehandlingen, vilket medför att materialet ej var exakt detsamma. För det andra torkades proverna till  $105^{\circ}\text{C}$  innan vakuumbehandlingen.

### 5.3.3 Fuktgivarmätningar

Med fuktgivarna kan både långsiktiga och kortsiktiga fuktvariationer studeras. Med långsiktiga variationer avses sådana som sträcker sig över en årscykel och med kortsiktiga avses dygns- eller veckovariationer, exempelvis vid ett slagregn. Vid studium av de långsiktiga variationerna användes medelvärdena för varje mätperiod. Vid de kortsiktiga variationerna bortses från enstaka värde som av okänd anledning väsentligt avviker från övriga. I diagrammen över fuktvariationerna avsättes  $^{10}\log R_{10}$  som funktion av tiden. Felmarginalen i  $^{10}\log R_{10}$  ökar med absolutbeloppet och har uppskattats till följande belopp:

$\log R_{10}$	Felmarginal
-0,3	$\pm 0,02$
0,3	$\pm 0,02$
0,6	$\pm 0,03$
0,9	$\pm 0,04$
1,2	$\pm 0,06$

När temperaturen var nära noll eller lägre, bortsågs från dessa värden om det var uppenbart att resistansen hade ändrats beroende på frysning i givarna.

Från den principiella placeringen enligt 4.2.3 gjordes av praktiska skäl vissa avvikelser. Anledningen till detta var främst varierande vägg tjocklek och svårigheter att placera givarna på samma höjd. Den exakta inbördes placeringen av fuktgivarna framgår av fig 35a-f. I denna figur visas även vägg tjockleken.

De angivna djupen är baserade på mätning av kabellängd före och efter ingjutning och anger djup från vägg till givaren yttersta punkt. De verkliga djupen kan vara större eller mindre. Sannolikheten är dock störst att de verkliga djupen är mindre än de angivna p g a att kabeln troligen ej är sträckt i hålet. Större djup än det angivna kan bero på att mätmärket förflyttades under gjutningen. följande felmarginal torde vara realistisk

+3 cm  
-5 cm

Termoelementen ligger vid mitten på fuktgivaren. Dessa djup mättes ej, utan djupen bestämdes genom att föra in termoelementen till ett bestämt djup och därefter kontrollera att tråden ej följde med ut. Har tråden varit stilla och givaren följt med ut, ligger således termoelementen ej mitt för givarna.

I fortsättningen förutsättes dock att termoelementen ligger vid fuktgivarna.

De angivna höjderna är ungefärliga. Att ange dem exakt är svårt eftersom vissa mättes till golv och andra till markytan.

Resultatet av de långsiktiga variationerna framgår av fig 36a-f. Värdena i figurerna är medelvärde för resp mätperiod. Att linjerna ej dragits ut mellan mars och juli 1973 beror på den tidigare nämnda justeringen i juni. Värdena före och efter juli 1973 är ej direkt jämförbara. Observera även att skalorna är olika för de olika figurerna.

De kortsiktiga variationerna har varit små. Den största variationen fanns vid mätningar i sept-okt 1973 och visas i fig 37a-f. I figuren finns även antal slagregnsmarkeringar på resp yta angivna. För att få en kontroll på utrustningen har även manuella registreringar med ett annat instrument gjorts.

Vid studium av resultatet skall observeras att ca 20 % eller var 5:e givare kan avvika från de övriga. En närmare diskussion av detta och värdena i övrigt görs i kap 7.

#### 5.4 Fuktutbyte mellan murverk och kyrkorum

Saltlösningarna i fuktkuporna, vars placering visades i figur 20, har vägts i samband med andra mätningar i Vadstena. Detta är orsaken till de oregelbundna mätperioderna. Anledningen till de olika saltlösningarna är ovissheten i början om hur stor viktsförändringen skulle bli. Att just NaBr slutligen valdes beror dels på att viktsförändringen mellan 2 vägningar var lagom stor och dels på att luften inne i kyrkan håller drygt 60 % relativ luftfuktighet. Resultatet av mätningarna framgår av tabell 2. I tabellen har en viktsökning, dvs avdunstning från väggen, definierats positiv. Av tabellen framgår även när de olika kuporna monterades.

Någon direkt jämförelse mellan mätningar med olika salt går ej att göra, beroende på att randvillkoren är okända. Vidare går ej startvärdena att jämföra med de övriga, eftersom initialtillståndet ej är detsamma som tillståndet som råder då kupan varit i funktion en viss tid. Tiden mellan 8/11 1972 och 8/1 1973 resp 12/1 1973 och 10/5 1973 var kuporna tillslutna utan salt, vilket medför att inga värden före 10/5 1973 är jämförbara. Efter denna tidpunkt har mätperioden varit så lång att inverkan av skillnaden mellan initialtillstånd och fortvarighets-tillstånd kan försummas. Vid en jämförelse mellan olika kupor måste beaktas att fogbredden kan variera, vilket ger en skillnad i avdunstning eftersom nästan hela avdunstningen antas ske genom fogen.

För att kunna dra några slutsatser om väggarnas uttorkningsförmåga, måste de uppmätta värdena relateras till den drivande partialtrycksskillnaden mellan vägg och saltlösning.

Avdunstningen kan nämligen tecknas

$$g = k(p_1 - p_2) \cdot A \quad g/\text{dygn}$$



För att kunna bedöma partialtryckskillnaden måste relativ luftfuktighet och temperatur vara kända både vid saltlösning och i väggen.

Relativa luftfuktigheten i väggen kan sättas till 100 %. Detta gäller på visst djup i väggen. Storleken på djupet spelar ingen roll eftersom konstanten  $k$  tar hänsyn till detta. Djupet torde icke vara större än att temperaturen på detta djup kan sättas lika med yttemperaturen. Temperaturen över saltlösningen har mätts vid olika tillfällen och kan sättas till en grad högre än yttemperaturen. Temperaturen har antagits lika i alla kupor, vilket ger samma partialtrycksskillnad.

Under dessa förutsättningar visas i tabell 3 beräkningar av  $\frac{g}{k \cdot (P_1 - P_2) A}$  för mätningarna efter 10/5 1973.  $k$  och  $A$  är olika för de olika kuporna och en jämförelse mellan olika kupor är således svår att göra.

#### 5.5 Temperaturmätningar i murverket

Placeringen av termoelementen framgår av fig 35. Resultatet redovisas på samma sätt som för fuktgivarna, dvs med långsiktiga och kortsiktiga variationer. De långsiktiga variationerna visas för alla mätgrupperna i fig 38a-f. Temperaturerna som inprickats i denna figur är medeltemperaturen vid varje mättillfälle fr o m jan 1973. Mellan mättillfällena är förloppet okänt.

Som exempel på kortsiktiga variationer visas förloppet under mätperioden 28/9-12/10 1973 i sin helhet för mätgrupp A och B i fig 39a,b. De övriga grupperna visar samma temperaturvariationer och redovisas ej. I figuren har medeltemperaturen per dygn använts. Temperaturvariationer under ett dygn är mycket små på 40 cm djup ( $<1^{\circ}\text{C}$ ) och redovisas därför ej för de olika mätgrupperna.

För detaljstudium av temperaturvariationerna under korta tidsperioder, användes de fyra extra termoelementen på sydsidan, som är placerade i anslutning till H-gruppen. Tillsammans med vissa termoelement i H-gruppen finns i denna punkt termoelement på djupen 1/2, 3, 7, 20, 30 och 70 cm. Observera att dessa termoelement är placerade

i en strävpelare. I fig 40 visas temperaturerna under mätperioden 28/9-12/10 1973 med användandet av dygnsmedeltemperatur. För att göra figuren mer överskådlig, har vissa djup utelämnats. För att förtydliga temperaturgradienten, visas i fig 41 dygnsmedeltemperaturen i ett snitt genom pelaren vid olika tidpunkter under samma mätperiod. Tidpunkterna har valts så att en sänkning av temperaturen hela tiden förelegat.

I fig 42 visas dygnsvariationerna i strävpelaren på sydsidan under tiden 5/6 0800-7/6 0800 1973. Temperaturen har registrerats varje timma. Det första dygnet är ett dygn utan sol medan det andra visar förhållandena under solbestralning. I fig 43 visas temperaturgradienterna under dygnet med sol vid olika tidpunkter.

## 5.6 Materialegenskaper

De material som undersökts har i huvudsak varit desamma för samtliga försök. Om inte annat anges gäller följande klassificering av materialproverna:

	Provtagningsdatum
A: ordinärt kalkbruk	okt -72
B: " "	"
1: " "	"
2: fett kalkbruk	"
3: fogbruk cement	"
12: ordinärt kalkbruk	aug -73
13: " "	"
14: fett kalkbruk	"
15: kalkbruk med klumpar	"
16: Brunt löst kalkbruk	"
17: Tegel	"
18: "	"
19: fett kalkbruk	"

Klassificeringen är gjord genom jämförelse av proverna m a p utseende och är således mycket ungefärlig.

### 5.6.1 Kapillärsugningsförmåga

Den vattenmängd som upptas av ett material genom kapillärsugning från en fri vattenyta kan beräknas med ekvationen  $G=k_1 \cdot A \cdot \sqrt{t}$ . Denna ekvation förutsätter att det alltid finns en fri vattenyta att suga från och att en vattenfront bildas som förflyttar sig genom materialet och framför fronten har inget vatten upptagits.

Sambandet mellan frontens höjd över vattenytan och tiden ges av ekvationen

$$\tau = m \cdot z^2$$

Sambandet mellan de två konstanterna  $m$  och  $k_1$  blir

$$k_1^2 = \frac{(p^1 \cdot 10)^2}{m}$$

Det ovan skisserade förloppet vid kapillärsugning är dock starkt förenklat. Den kapillära vattenmättnadsgraden efter vattenfronten når ej omedelbart värdet 1,0 utan blir 0,80-0,90. Därefter ökas den långsammare. Hur viktsökningen principiellt sker vid kapillärsugning visas i fig 44. Detta innebär att materialet relativt snabbt når  $S_{\text{kap}} = 0,80-0,90$  medan en ytterligare ökning tar lång tid.

Kapillärsugningsförsöken har gjorts på prover med volymen 20-50 cm<sup>3</sup> och försöksanordningen framgår av fig 32. Proverna har fått suga tills något ytterligare vatten ej togs upp. I början av försöken vägdes proverna varje minut och allt eftersom viktsökningen minskade, gjordes intervallen mellan vägningarna längre.

I tabell 4 ges resultatet av  $k_1$ -bestämningen.

Vid försöksstarten var proverna i jämvikt med luften.  $k_1^{\text{bestämt}}$  anger de värden som erhålles om proverna förutsätts vara prismor med samma tvärsnitt som basytan över hela höjden. Efter korrektion för ojämnheter i provkropparna erhålls  $k_1$ -värdena.

Dessa kapillaritetstal gäller under en viss kapillär vattenmättnadsgrad. I tabellen anges även upp till vilken kapillär vattenmättnadsgrad kapillaritetstalet med säkerhet gäller. Beroende på svårigheten att välja lämpliga tidsintervall mellan vägningarna, har den exakta kapillära vattenmättnadsgraden ej fastslagits. Detta saknar för övrigt praktisk betydelse.

Bestämning av motståndstalet  $m$  har enbart gjorts för  $S_{\text{kap}} < 0,93$  och resultatet framgår av tabell 5. Bestämningen har gjorts genom att mäta vattenfrontens stighöjd vid olika tidpunkter.

Fuktkvoten vid kapillär mättnad redovisas i tabell 6.

### 5.6.2 Uttorkningsförmåga

Uttorkning av väggfukten kan antas ske i huvudsak genom fogbruket. Möjliga mekanismer vid uttorkningen är

1. Vattnet kan fritt transporteras till fogytan och transportkapaciteten fram till ytan är större än den avdunstade mängden. Avdunstningen kommer i detta fall att bli densamma som från en fri vattenyta och bestäms av ekvationen  $g = \beta(c_s - c) \cdot A$  g/s.
2. När transportkapaciteten fram till ytan är mindre än den mängd vatten som kan avdunsta enligt 1, kan avdunstningen beräknas med Pihlajavaaras ekvationer och diagram. Denna uttorkning bestäms av en materialkonstant, fuktledningstalet  $k_f$  och av rådande fuktinnehåll.
3. Om fogen ej är i kontakt med underlaget utan ett luftmellanrum finns, sker uttorkningen genom diffusion genom fogen. Denna diffusion bestäms av diffusionstalet,  $k_d$ , som är en materialkonstant, och av partialtrycksskillnaden. Fuktmängden ges av ekvationen  $g = \frac{d}{d}(P_1 - P_2) \cdot A$  g/h.
4. Det verkliga fallet torde vara kombinationer av ovanstående. Vidare sker uttorkning genom sprickor.

För att kunna bedöma hur en uttorkning av väggarna sker, har fuktledningstalet och diffusionstalet bestämts.

Vid bestämningen av fuktledningstalet  $k_f$ , vattenmättades proverna och förseglades på alla ytor utom den yta där uttorkningen skulle ske. I början var viktsminskningen konstant (alternativ 1 ovan gäller). När minskningen upphörde att vara konstant (alternativ 2 gäller) bestämdes fuktledningstalet  $k_f$  och resultatet visas i tabell 6. Som medelvärde kan  $k_f = 0,4$  väljas.

I tabell 6 visas även fuktkvoten vid kapillär mättnad samt fuktkvoten då uttorkningen övergår från alt 1 till alt 2.

Vid bestämning av diffusionstalet  $k_d$  monterades en skiva av materialet på en burk som innehöll ett hygroskopiskt salt som gav 96 % relativ luftfuktighet. Burken placerades i 50 % relativ luftfuktighet och 20°C. Genom att väga burken vid olika tider fås ett mått på diffusionen genom provet. Resultatet av diffusionstalsbestämningen visas i tabell 7.

Som medelvärde väljs för gamla fogbruk  $k_d = 0,5$  g/m·h·mmHg och för övrigt bruk  $k_d = 5$  g/m·h·mmHg.

### 5.6.3 Övriga materialegenskaper

#### Kemisk analys

Vissa prover analyserades vid CBL med avseende på kemisk sammansättning. Av protokollen, se bilaga framgår att i saltsyra löslig CaO, ett mått på kalkhalten, varierar mellan 10 och 40 %.

#### Jämviktsfuktkvoter

Jämviktsfuktkvoter bestämdes vid 96 och 75 % relativ luftfuktighet både vid absorption och vid desorption. Inom vilka gränser fuktkvoterna varierade för olika material framgår av tabell 8.

#### Porositet och densitet

Den öppna porositeten,  $p$ , och skrymdensiteten,  $\gamma$ , bestämdes genom att proverna vattenmättades under vakuum och därefter vägdes vattenmättade i vatten och i luft samt efter torkning vid 105°C. Resultatet av dessa mätningar visas i tabell 9.

## 5.7 Övrigt

### 5.7.1 Fuktproduktion av kyrkobesökare

Människor avger alltid fukt till omgivningen. Mängden beror på vilken aktivitet som pågår. Stillasittande kyrkobesökare kan antas avge ca 30g/timme. Antalet besökstimmar dvs antalet besökare x besökstiden vid varje aktivitet i kyrkan har beräknats under hela undersökningsperioden. Häri ingår dock ej turistbesök. På sommaren, under tiden juni-sept, uppskattas antalet turister till 1000/dag. Om dessa turister antas vistas i kyrkan i 30 min och fuktproduktion antas till 40 g/timme, blir den totala fuktproduktionen från dessa ca 20 kg/dag.

På andra tider än under sommaren uppskattas antalet kyrkobesökare per dag till ca 100 personer, vilket ger en fuktproduktion av ca 2 kg/dag. Den totala fuktproduktionen från kyrkobesökare framgår av fig 45.

### 5.7.2 Luftbefuktning

Luftbefuktningssystemet har endast varit i funktion en enda gång och inverkan av denna kan försummas.

### 5.7.3 Värmesystemet

Vattenförlusten ur kyrkans värmesystem har mätts under hela undersökningsperioden. Hösten 1973 reparerades vissa delar av ledningarna. Resultatet av mätningarna framgår av fig 45.

### 5.7.4 Luftomsättning och vädring

Någon mätning av antalet luftomsättningar har ej gjorts. En undersökning i Roskilde Domkyrka har redovisat mellan 0,1 och 0,2 luftomsättningar per timme. Det exakta talet är beroende av vädring och yttre klimat. Mätningar i andra kyrkor visar i stort sett samma resultat. Luftomsättningen varierar även med årstiden. På sommaren är dörrarna öppna hela dagarna, vilket medför större luftomsättning. Samtidigt är dock vindstyrkorna och temperaturdifferenserna ej så stora, vilket ger mindre luftomsättning. För Vadstena Klosterkyrka antas i fortsättningen för hela året 0,15 luftomsättningar/timme.

### 5.7.5 Iakttagelser på platsen

Vid uttag av materialprov har observerats att kalkstenen är kraftigt vittrad och har mycket låg hållfasthet intill 5-10 cm djup.

Kalkbrukets kvalitet varierar kraftigt från mycket hårt till bruk utan någon hållfasthet. Färgen har varierat från vit till mörkt brun. Vissa prover har bestått av ett blött lerliknande material, som man kan krama vatten ur medan andra prover bestått av till synes torrt grus.

Beträffande vidhäftningen mellan bruk och sten kan sägas att vid försök att skilja sten från bruk, gick ofta stenen sönder istället.

Vissa materialprov bestod av olika material som tydligt gick att särskilja med blotta ögat. Ett typiskt exempel

på detta visas i fig 46.

Tjockleken på stenskalen i murverken varierar mellan 0,25 och 0,75 m. Fogbredden varierar mellan 3 och 8 mm och fogtjockleken mellan 2 och 5 cm. Foglängd per m<sup>2</sup> uppgår till 6 m. Av fyllningen mellan skalen har 50-75 % uppskattats bestå av sten eller tegel. Stenstorleken i fyllningen varierar mellan någon cm och upp till 3-4 dm.

## 6 TEORETISKA BERÄKNINGAR

### 6.1 Allmänt

Att göra några exakta beräkningar på fuktförhållandena i murverken är omöjligt. Skälen till detta är att materialkvaliteterna och murverkets konstruktion är så varierande. För att få en uppfattning om vilka fukttillstånd som är möjliga, görs här dock vissa överslagsberäkningar. Vidare ger beräkningarna storleksordningen av vilken tid som krävs för att ge ett visst fukttillstånd. Det måste kraftigt understrykas att det inte är fråga om någon exakt beräkning utan enbart storleksordningen. Vid **studium** av exempelvis uttorkningen är det intressant att veta, om det tar 1, 10 eller 100 år tills väggen kan betraktas som torr. Det är med denna målsättning på noggrannhet som beräkningarna görs.

Tidigare har angivits murverkets konstruktion med avseende på mått och materialsammansättning samt materialkonstanter. Dessa data har varierat inom vida gränser och för att överhuvudtaget kunna göra någon beräkning måste vissa medelvärde användas. I det följande förutsättes väggen ha en konstruktion enligt fig 47. I övrigt görs följande antaganden:

Andel sten i fyllningen mellan stenskalen	60 %
Löpmeter fog/m <sup>2</sup> väggyta	6 m
Väggyta invändigt	3500 m <sup>2</sup>
Kapillaritetstal för kalkbruk	0,15 kg/m <sup>2</sup> √s
Fuktdiffusionstal för cementbruk	0,5 · 10 <sup>-3</sup> g/m · h · mmHg
Fuktkvot i kalkbruket idag	40 (vikts-) %
Porositet som fylls vid kapillärsugning	50 %
Motståndstal för kalkbruk	6 · 10 <sup>6</sup> s/m <sup>2</sup>

### 6.2 Uttorkning

Den maximala avdunstningen inåt fås med antagandet att transportkapaciteten fram till ytan är lika stor eller större än avdunstningen från en fri vattenyta. Detta antagande gäller enligt avsnitt 5.6.2 då fuktkvoten överstiger ett visst värde,  $u_k$ . Avdunstningshastigheten i detta fall bestäms av fuktövergångstalet  $\beta$ , som är be-



roende av lufthastigheten samt av ånghaltsskillnaden mellan vägg och luft. Normalt räknas med  $\beta=2,8 \cdot 10^{-3}$  m/s inomhus och  $\beta=17 \cdot 10^{-3}$  m/s utomhus. I kyrkan torde lufthastigheten vara något större än i "normalfallet", varför värdet  $\beta=4 \cdot 10^{-3}$  m/s användes inomhus.

Ånghalterna bestäms av temperaturen och den relativa luftfuktigheten och framgår av fig 48a, b. Relativa luftfuktigheten i väggytan har här satts till 100 % medan övriga relativa luftfuktigheter och temperaturer är enligt mätningar och insamlade data.

Förhållandena på utsidan avser medelvärde per månad och ånghalterna blir helt annorlunda om väggen utsätts för solbestrålning. Yttemperaturen kan vid solsken uppgå till  $+30^{\circ}\text{C}$ . Detta ger ånghalten  $30 \text{ g/m}^3$  i väggytan medan ånghalten i luften fortfarande i stort följer medelvärdet.

På insidan kan som medelvärde på ånghaltsskillnaden  $3,5 \text{ g/m}^3$  väljas för hela året. Avdunstningen inåt per  $\text{m}^2$  väggyta kommer då att uppgå till  $g=\beta(c_{\text{vägg}}-c_{\text{luft}}) \cdot f_{\text{ögyta}}/\text{m}^2$   
 $\text{väggyta } \text{g/s} \cdot \text{m}^2 = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \text{ g/s} \cdot \text{m}^2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2 =$   
 $35 \text{ g/dygn} \cdot \text{m}^2$ . Totalt ger detta in  $120 \text{ kg/dygn}$ .

På utsidan väljes som medelvärde  $1,5 \text{ g/m}^3$  under tiden okt-juni och  $5,0 \text{ g/m}^3$  under tiden juli-sept. Detta ger under okt-juni avdunstningen  $g=17 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \text{ g/s} \cdot \text{m}^2 =$   
 $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2 =$   $70 \text{ g/dygn} \cdot \text{m}^2$ .

Under tiden juli-sept blir avdunstningen utåt från väggen  $\frac{5,0}{1,5} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2 =$   $230 \text{ g/dygn} \cdot \text{m}^2$ .

En solig sommardag kan på en solbelyst yta avdunstningen uppgå till  $17 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2 =$   $850 \text{ g/dygn} \cdot \text{m}^2$ .

Antages uttorkning utåt kunna ske under 250 dygn jämnt fördelade under året, blir den totala avdunstningen både utåt och inåt från väggarna  $(35 + \frac{3}{4} \cdot 70 \cdot \frac{250}{360} + \frac{1}{4} \cdot 230 \cdot \frac{250}{360}) \cdot$   
 $360 \text{ g/år} \cdot \text{m}^2 \approx$   $40 \text{ kg/år} \cdot \text{m}^2$ .

Ovan gjorda beräkningar förutsätter att all avdunstning sker genom fogen som endast upptar  $0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 100 = 3$  % av

Varje  $m^2$  väggyta innehåller  $0,50 \cdot 0,40 \cdot 1,00 \cdot 10^3$  kg = 200 kg vatten, vilket alltså motsvarar 40 viktsprocent. 25 viktsprocent motsvarar 125 kg och 15 viktsprocent motsvarar 75 kg vatten.

Detta innebär att om all vattentillförsel stoppas och kyrkan får börja torka ut skulle fuktkvoten snabbt minska till 25 viktsprocent. Tiden för detta blir ca 2 år. Därefter avtar uttorkningshastigheten snabbt och för att nå 20 % krävs ytterligare ca 1 år och för att slutligen nå 15 % krävs ytterligare 20-25 år. Om cementbruket avlägsnas, påverkas inte uttorkningen de första åren, men uttorkningen mellan 20 och 15 % skulle påskyndas avsevärt, uppskattningsvis till ca 10 år.

Om all uttorkning skulle ske inåt, blir tiden till 25 viktsprocent nåtts, ca 5-6 år och för att nå 20 viktsprocent skulle krävas ytterligare 2-3 år.

Dessa uppskattningar visar enbart storleksordningen av uttorkningstiderna under förutsättning att all vattentillförsel stoppas. Med tanke på de stora felkällor som finns i beräkningarna kan följande sammanfattning göras: För att nå ett fuktinnehåll, som är ca hälften av det som finns idag och som gränsar till det hygroskopiska området, dvs ca 15-25 % krävs 3-10 år. Därefter går uttorkningen långsammare.

En fuktkvot på 20 % är dock en klar förbättring mot nuvarande läge, eftersom den kapillära transporten, och därmed transport av salter, då har minskat väsentligt. Även risken för frostangrepp har minskat avsevärt.

### 6.3 Kapillärsugning från mark

En beräkning av kapillärsugning från marken ger den maximala stighöjden för vatten. Härvid antages grunden ha samma konstruktion som väggen i övrigt samt att grundvattenytan ligger 2 m under markytan. Detta innebär att vatten sugas från grundvattenytan och upp genom grunden där ingen avdunstning sker. I väggen över marken sker däremot en samtidig avdunstning. Den sugande delen av väggen består enligt fig 47 av 1 m kalkbruk med 60 % sten.

Denna väggsektion förenklas i beräkningarna till en 40 cm bred pelare av rent kalkbruk. När vattenfronten nått över marken, är fuktkvoten så hög att avdunstning sker som från fri vattenyta. På större höjd över marken, där sugkapaciteten minskar, kommer så småningom även avdunstningen att minska för att slutligen helt ske som diffusion.

I det följande antas delen under vattenfronten vara i det närmaste kapillärt mättad medan över fronten inget vatten finns. I verkligheten sker övergången successivt. Det högsta läget på vattenfronten fås genom att beräkna transportkapaciteten på en viss höjd och därefter beräkna vilken ytterligare höjd som krävs för att allt vatten skall avdunsta.

$$\text{Transportkapaciteten på höjden } z \text{ är } \frac{dG}{dt} = k_1 \cdot A \frac{1}{2 \cdot \sqrt{t}} = k_1 \cdot A \frac{1}{2 \cdot z \cdot \sqrt{m}} = 0,15 \cdot 0,4 \frac{1}{2 \cdot z \cdot \sqrt{6 \cdot 10^3}} \text{ kg/s} \cdot \text{m vägg} = \frac{1000}{z} \text{ g/}$$

dygn  $\cdot$  m vägg.

I markytan ( $z=2$ ) är således transportkapaciteten 500 g/dygn. Som medelvärde på avdunstningen totalt utåt och innåt kan 150 g/dygn användas. Detta ger att på väggytan upp till ca 3-3,5 m kommer allt detta vatten att avdunsta. Det absolut högsta läget på vattenfronten med kapillär mättnad i hela väggsnittet är således 3-3,5 m. I verkligheten ligger denna lägre, samtidigt som den höjd, till vilken inget vatten sugas upp, ligger högre. I övergångszonen är vattenmättnadsgraden högre mitt i väggen än vid ytorna. Uppskattningsvis ligger gränsen för kapillär mättnad genom hela väggsnittet på höjden 1-2 m, medan den övre gränsen, där avdunstningen helt balanserar kapillärsugning, ligger på höjden 4-6 m.

#### 6.4 Kapillärsugning genom fogarna

Först studeras kapillärsugning genom fogen utan någon hänsyn till cementbruket i ytan. Hela fogen antas således bestå av kalkbruk. När fogen är mättad med vatten, kommer fyllningsbruket mellan skalén att suga vatten från fogen och transportkapaciteten där fogen övergår i fyllnings-

bruk, blir helt avgörande för den fortsatta kapillär-sugningen. Detta ger transportkapaciteten

$$\frac{dG}{dt} = k_1 A \frac{1}{2 \cdot z \sqrt{m}} = 0,15 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \frac{1}{2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{6} \cdot 10^6} \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 =$$

$$1,8 \cdot 10^{-3} \text{ g/s m}^2 = \underline{155 \text{ g/dygn} \cdot \text{m}^2}$$

Antages kapillärsugning kunna ske 110 dygn/år, kommer  $110 \cdot 155 \cdot 10^{-3} = 17 \text{ kg}$  vatten att upptas per år och  $\text{m}^2$ .

Denna uppsugningshastighet gäller om fogen är 0,5 cm på hela djupet. I verkligheten är fogen bredare längre in. Vid övergång mellan fog och fyllningsbruk är fogbredden troligen 1-2 cm. Detta medför att transportkapaciteten blir större. Att säga hur stor är omöjligt men antas en fördubbling blir uppsugningshastigheten av samma storleksordning som avdunstningshastigheten. Lokala variationer kan vara avgörande för om kapillärsugningen eller avdunstningen är störst.

Är kapillärsugningen större, kommer hela väggen att vattenmättas, medan om avdunstningen är större, fuktinnehållet kommer att avta mot insidan, och så småningom kommer väggen i jämvikt, då avdunstningen (mindre än som från fri vattenyta) är lika stor som uppsugningen.

Strävpelarna förutsättes ha samma uppbyggnad som väggarna. Här är samtliga ytor utvändiga och kapillärsugning och avdunstning skall alltså ske genom samma fogar. Enligt tidigare är kapillärsugningen ca  $20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{år}$ . Tas hänsyn till fogarnas ökande bredd längre in, kommer kapillärsugningen att överstiga avdunstningen. I strävpelarna är alltså förutsättningen större för att kapillärsugningen skall vara större än avdunstningen.

Antages antalet slagregnsdygn, som ger vattenfilm till 50/år, förskjuts balansen till fördel för uttorkningen i väggarna, medan i strävpelarna balansen skulle vara jämnare. Men även med detta antagande är skillnaden för liten för att säkert kunna avgöra om uttorkningsförmågan eller kapillärsugningsförmågan är störst och lokala skillnader kan vara avgörande.

Ovan gjorda beräkningar förutsatte att hela fogen var fylld med kalkbruk. Om fogens yttre del består av cementbruk, som inte innehåller någon spricka, kommer kapillärsugningen att minska kraftigt, medan avdunstningen är oförändrad vid de höga fukttillstånden. Efterhand som fuktinnehållet minskar, kommer även avdunstningen att minska och ett nytt jämviktsläge inställer sig.

Finns däremot i cementbruket små sprickor, kommer kapillärsugningen att öka kraftigt, medan avdunstningen ej påverkas i någon större utsträckning. Kapillärsugningen i en spricka ges av

$$g = \frac{b \cdot \tau}{4 \cdot \eta} \cdot \frac{1}{h} \cdot b \cdot l \cdot 10^6 \quad \text{g/s}$$

En spricka i cementbruket med bredden 0,01 mm ger exempelvis en kapillärtransport per m<sup>2</sup> väggyta, som blir

$$g = \frac{0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 0,074}{4 \cdot 0,0015} \cdot \frac{1}{0,02} \cdot 0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^6 \quad \text{g/s} \cdot \text{m}^2 = 0,4 \quad \text{g/s} \cdot \text{m}^2.$$

Denna spricka har alltså en transportkapacitet som är  $\frac{0,4}{1,8} \cdot 10^3 \approx 200$  ggr större än kapaciteten genom kalkbruksfogen. Transportkapaciteten i kalkbruksfogen kommer således att bli helt avgörande för kapillärsugningen och cementbrukets enda funktion blir att minska avdunstningen. En spricka med bredden 0,001 mm ger på motsvarande sätt en transportkapacitet, som är dubbelt så stor som genom kalkbruksfogen.

## 7 DISKUSSION AV UNDERSÖKNINGSRESULTATEN

Nedan diskuteras de olika mätresultaten var för sig och även vissa jämförelser görs. I det sista avsnittet 7.8 görs slutligen en sammanfattning av troliga orsaker till murverkets höga fukttinnehåll.

### 7.1 Vattenånghalt inomhus-utomhus

Vattenånghalterna har beräknats med utångspunkt från termohygrografmätningarna och insamlade data från SMHI. Vattenånghalten utomhus och inomhus samt skillnaden mellan dessa visas i fig 49. Av figuren framgår klart att vattenånghalten inomhus är högre än utomhus. Som medelvärde kan sägas att vattenånghalten inomhus är  $2,5 \text{ g/m}^3$  högre än utomhus. Kyrkans totala luftvolym är ca  $30.000 \text{ m}^3$  och det totala vattenöverskottet blir då ca 75 kg.

Med antagandet om 0,15 luftväxlingar per timme kommer  $0,15 \cdot 24 \cdot 75 \approx 270 \text{ kg}$  vatten att bortföras från kyrkan varje dygn. Detta vattenöverskott måste komma från golv, väggar kyrkobesökare eller något läckage. Kyrkobesökare gav, enligt fig 45 10-20 kg/dygn. Värmesystemets läckage tillförs i huvudsak marken under golvet. Anta att hälften, ca 50 kg/dygn tillförs kyrkorummet direkt. Detta medför att ca 200 kg/dygn kommer från golv och väggar. Med antagandet att allt läckage från värmesystemet tillförs kyrkorummet blir motsvarande siffra 100-150 kg/dygn. Att avgöra hur stor mängd som kommer från golvet resp väggarna är omöjligt, då marken under golvet ej har undersökts. Det konstaterade vattenöverskottet inomhus visar dock att den beräknade avdunstningen på insidan är av rätt storleksordning och att avdunstning alltså idag sker som från en fri vattenyta.

### 7.2 Avdunstning på insidan

I kuporna sker fukttransporten från vägg till saltlösning som ren diffusion, eftersom ingen luftrörelse finns.

Härvid är två fall möjliga:

1. 100 % RF innanför cementfogen
2. 100 % RF på ytan av cementfogen

I fall 1 skall fukten diffundera genom både cementfogen

och genom luften i kupan. Med samma antagande beträffande fogutformning som tidigare och att avståndet från saltlösningen till fogen är 10 cm, skulle den diffunderade mängden genom en 15 cm lång fog bli

$$g = \frac{c_1 - c_2}{\frac{2 \cdot 10^{-2}}{0,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,1}} \cdot 15 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ g/h}$$

sättes  $c_1 - c_2 \approx 3,5 \text{ g/m}^2$  ger detta  $g \approx 0,002 \text{ g/dygn}$ .

I fall 2 skall fukten enbart diffundera genom luften och detta ger med samma antagande som ovan

$$g = \frac{3,5 \cdot 0,1 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}}{10 \cdot 10^{-2}} \text{ g/h} = 0,06 \text{ g/dygn}$$

Detta värde stämmer väl med de uppmätta i fuktkuporna. Avdunstningen sker alltså som från en fri vattenyta i kuporna. Detta behöver dock icke nödvändigtvis betyda att så är fallet utanför kuporna, eftersom luftrörelserna gör att avdunstning från en fri vattenyta utanför kupan skulle bli ca 10 ggr större. Mätningarna visar dock, att transportkapaciteten fram till väggytan är så stor, att avdunstningen är minst 50 ggr så stor som genom diffusion, och enligt 7.1 så är vattenöverskottet så stort, att avdunstningen från väggarna bör vara 10 ggr större än det som erhållits i kuporna, alltså som från fri vattenyta.

Fuktkupa nr 9, som är monterad på sten, visar att avdunstningen här är mycket mindre än från fogen. Här är det alltså transportkapaciteten fram till ytan som är avgörande. Stenytan i kupan är  $80 \text{ cm}^2$ , medan fogytan i en kupa är  $8 \text{ cm}^2$ . Avdunstningen från kupa nr 9 är ca 10 ggr mindre än från övriga kupor. Detta innebär att avdunstning/ytenhet från fog är ca 100 ggr större än från sten. Fogytan är 3 % av totala väggytan. Om avdunstning från väggen skulle ske med samma hastighet som i kuporna, skulle den totala avdunstningen från stenarna alltså vara ca 1/3 av den totala avdunstningen från fogarna. Om avdunstning däremot sker som från fri vattenyta i fogarna blir denna avdunstning ca 30 ggr större än från stenyterna. Stenyterna kan alltså anses ej delta i uttorkning vid de höga fukttillstånd som råder.

Variationer mellan olika kupor enligt tabell 2 och 3 kan bero på varierande fogbredd. Kuporna nr 6 och 7 som sitter högre än de övriga visar något lägre värde på avdunstningen. Detta kan naturligtvis bero på mindre fogbredd, men ger samtidigt en antydning på, att avdunstningen kan vara något mindre på denna höjd.

Variation i tiden visar samma mönster som vattenånghaltsöverskottet inomhus med ett något större värde på sommaren, beroende på att partialtrycksskillnaden då är störst.

### 7.3 Fuktinnehåll

Den ursprungliga tanken beträffande fuktinnehållet var att studera fuktkvoterna, bestämda på uttagna materialprov, och jämföra dessa på olika platser, olika höjd och olika djup i väggen. Fuktkvoterna enligt fig 30 visar emellertid att en jämförelse är helt omöjlig. Anledningen är som tidigare nämnts den varierande materialkvaliteten. Att i sådana fall jämföra fuktkvoter säger ingenting. Exempelvis visar fuktkvoterna för sektion F i fig 30 på höjderna 2,5 och 15,5 m vissa likheter, medan fuktkvoterna på höjderna 6,5 och 11,5 m visar vissa likheter. Detta innebär dock inte att fukttillstånden är lika i motsvarande punkter. Att en jämförelse är svår att göra framgår även av att variationen inom ett borrhål ofta är större än mellan olika hål. En jämförelse av fuktkvoterna i C och D på höjden 3,5 m visar en fallande tendens mot insidan. Detta är en svag antydning att även fukttillståndet i dessa punkter minskar mot insidan. I övrigt ger fig 30 och 31 ingenting.

Vid studiet av de kapillära vattenmättnadsgraderna enligt fig 33 kan dock vissa slutsatser dras. Provhål IV och VI har i stort sett konstant värde  $s_{\text{kap}} \approx 0,95$  på det undersökta djupet. Provhål V visar  $s_{\text{kap}} \approx 0,95$  in till 30 cm och längre in sjunker vattenmättnadsgraden. Provhål VII visar det omvända förhållandet  $s_{\text{kap}} \approx 0,95$  på ett djup större än 60 cm och lägre vattenmättnadsgrad mot ytan. Vattenmättnadsgraden  $s$  enligt fig 34 visar samma bild

Provhål IV och VI med  $s_{\text{kap}} \approx 0,95$  i hela snittet är båda på insidan och på 1-1,5 m höjd över golvet. Provhål VII med lägre  $s_{\text{kap}}$  vid ytan och stigande med djupet är



också på insidan men på 3,5 m höjd.

På låg höjd är alltså fukttillståndet konstant och högt genom hela väggen, medan högre upp fukttillståndet blir lägre mot insidan. Detta tyder på att de lägre delarna får ett större fukttillskott än de högre. Förklaringen till detta kan vara, att väggen suger kapillärt från grunden och att på låg höjd är sugkapaciteten betydligt större än avdunstningen, medan på större höjd sugkapaciteten och avdunstningen balanserar varandra. Den mot insidan minskande vattenmättnadsgraden antyder vidare att kapillär sugning från utsidan föreligger, dvs från slagregn.

Provhål V är placerad i en strävpelare på höjden 1,5 m. Här avtar den kapillära vattenmättnadsgraden inåt. Detta pekar icke på kapillärsugning från marken utan direkt på kapillärsugning från ytan. Anledningen till att  $s_{\text{kap}}$  minskar mot mitten kan vara att strävpelaren är ommurad på 1890-talet och kan således vara grundlagd på ett sätt, som inte medger kapillär sugning från marken, samtidigt som tiden varit för kort för att nå  $s_{\text{kap}} \approx 0,95$  i hela snittet genom kapillärsugning från ytan.

En jämförelse med de teoretiska beräkningarna styrker ovan gjorda antydningar. Kapillärsugningen från grunden med samtidig avdunstning visade nämligen, att det var fullt möjligt att få i det närmaste kapillär mättnad upp till ca 2 m över golvet, medan högre upp kapillärmättnadsgraden borde avta mot ytorna.

Beräkningen av kapillärsugning från utsidan och samtidig avdunstning visade, att skillnaden mellan avdunstning och vattentillförsel var liten och lokala variationer kunde vara avgörande.

Att fukttinnehållet är större nedtill än högre upp på insidan framgår av en tidigare skadeinventering av Ingmar Holmström, som speciellt pekade på att fogarna nedtill var missfärgade av fukt.

#### 7.4 Slagregn

Vid en bedömning av slagregnets inverkan är det inte tillräckligt att enbart studera mängden som träffar väggen.

Tidsförloppet har även stor betydelse. 5 markeringar på en mätare kan motsvara en vattenmängd som ger större vattenuppsugning till murverket än 10 markeringar. De 5 markeringarna kan nämligen ha kommit så utspridda i tiden, att vattenfilm funnits på väggen lång tid, medan de 10 markeringarna kan ha kommit i snabb följd och givit en vattenfilm under kort tid. Samtidigt kan dock fler markeringar på kort tid ge förutsättning för större kapillärsugning om en markering inte ger tillräcklig mängd för att utnyttja sugkapaciteten. För att lättare kunna diskutera slagregnets inverkan, visas mätresultatet på olika sätt i fig 50.

Av fig 50 framgår klart att mätpunkt H på sydsidan är utsatt för mest slagregn, både med avseende på total mängd och antal slagregnsdygn. Vidare är medelantalet markeringar/slagregnsdygn i särklass högst för H-punkten.

För mätpunkt B1, placerad på sydsidan av en strävpelare mot väst, är motsvarande värden väsentligt lägre än för H men samtidigt klart högre än för övriga mätpunkter.

Mätpunkterna D mot norr och E mot öster har de klart lägsta värdena.

För A, på vägg mot väster, gäller att antal slagregnsdygn är av samma storleksordning som för B1, men mängden både totalt och per slagregnsdygn är väsentligt mindre.

För B2, placerad på västsidan av en strävpelare mot väster, gäller för tiden jan-sept 1973 att antalet slagregnsdygn är ungefär detsamma som för B1, medan mängden är något mindre.

Mätningarna visar klart att sydsidan är utsatt för den i särklass största vattenbelastningen från slagregn. Västsidan är utsatt för en klart mindre vattenbelastning än sydsidan men samtidigt större än nord- och ostsidan, som har ungefär samma vattenbelastning.

Mätningarna har även klart visat att strävpelarna får betydligt mer slagregn, både med avseende på mängd och antal gånger än väggen i övrigt.

En jämförelse mellan A och B2, som är placerade mot samma väderstreck, under tiden jan-sept 1973 ger att A fått totalt 20 markeringar vid 9 slagregnstillfälle medan B2 fått 45 markeringar vid 16 slagregnstillfälle. Detta styrks även av iakttagelser på platsen enligt 5.2.2. Anledningen till detta är de virvlar som uppstår i närheten av strävpelarna och som gör att vinden böjer av och hindras nå väggen.

Mätningarna i Vadstena har visat att kyrkan är utsatt för slagregn ca 50 dygn/år. Enligt 5.2.2 ger dock icke allt slagregn utslag i slagregnsmätarna.

En utredning, gjord av Svenska Riksbyggen, anger antalet slagregnsdygn/år i Jönköping och Örebro till 115-125. Det torde vara realistiskt att räkna med samma antal även i Vadstena. Samtidigt är dock i denna siffra inräknad även så små slagregn, som ej ger vattenfilm. Antal slagregnsdygn som ger vattenfilm kan antas ligga mellan 50 och 100. Även de slagregn som ger vattenfilm men ej ger utslag i mätarna kan antas vara fördelade enligt ovan.

Fördelningen av slagregnet på kyrkan påverkas förutom av vindriktning även av kyrkans omgivning.

Väster och norr om kyrkan är det relativt öppet medan mot söder och öster höga träd finns nära kyrkan. Dessa träd och övrig bebyggelse medför att vindriktningen ändras intill kyrkan, främst på lägre höjder. Detta medför att det inte går att korrelera uppmätta värden på nederbörd, vindstyrka och vindriktning med utslagen i slagregns-mätarna. För att visa förhållandena vid några slagregns-tillfällen visas i tabell 10 nederbörd, vindstyrka, vindriktning och markeringar på slagregnsmätarna vid några slagregnsdygn. Nederbörd och vindförhållandena är mätta med klimatstationen på ett öppet fält 1 km från kyrkan.

På lång sikt råder däremot god överensstämmelse mellan den dominerande vindriktningen från syd-sydväst och slagregnsbelastningen.

Sammanfattningsvis gäller för vattenbelastningen från slagregn:

1. Sydsidan är utsatt för störst vattenbelastning
2. Västsidan är utsatt för mindre vattenbelastning än sydsidan men större än nord- och östsidan
3. Strävpelarna är utsatta för större vattenbelastning än väggarna
4. Överdelen är utsatt för större vattenbelastning än nederdelen
5. Murverket kan få vattenfilm även utan slagregn

#### 7.5 Fuktgivarmätningarna

Av fig 36 framgår att de långsiktiga variationerna är mycket små. Vid en jämförelse med tidigare angivna felmarginaler framgår, att variationerna helt ligger inom dessa marginaler. Vissa undantag finns dock, nämligen B1, C5 och flertalet i H-gruppen. C5 har genom kontrollmätning manuellt visat sig vara mätfel. De övriga går ej att direkt hänföra till mätfel. Någon klar tendens finns emellertid inte och någon slutsats går ej att dra. I mätpunkt H märkes dock en viss tendens att skillnaden mellan de olika givarna minskas. Variationerna är dock alltför små för att kunna dra några slutsatser.

Även de kortsiktiga variationerna enligt fig 37 är mycket små. I H-gruppen märks dock en klar minskning av resistansen i samband med det kraftiga slagregnet i början av perioden. Vidare framgår även att resistansändringen i givare 5 och 6, som sitter på olika djup, är tidsförskjutna ca 1 dygn. Detta är det tidigare skissade förloppet vid ett slagregn. Det bör dock betonas att ändringarna är mycket små. Detta beror på att den mängd vatten som transporteras in genom fogen skall fördelas på en mycket stor volym innan den träffar givaren. I H-punkten sitter de yttersta givarna inte lika djupt som i övriga grupper. Det är även möjligt att de yttersta givarna sitter i själva fogen. Detta kan förklara varför ett slagregn främst märks i H-gruppen. Att förändringen i resistansen trots detta är så liten beror på, att fuktinnehållet redan innan slagregnet är så stort, att den mängd vatten som överhuvudtaget kan sugas in i fogen är mycket liten.

Senare mätningar (juni-74) har visat större variation efter kraftiga slagregn. Mätningarna i juni hade föregåtts av en lång tid utan regn.

Slutsatsen beträffande variationer i tiden, både långsiktiga och kortsiktiga, blir att de är mycket små.

Enstaka givare går enligt tidigare beskrivning av fuktgivarna ej att jämföra. En jämförelse mellan grupper av givare är däremot möjlig. Även här föreligger dock en viss osäkerhet och för att någon slutsats skall kunna dras, måste skillnaden vara markant.

Bildas medelvärdet för varje mätgrupp enligt fig 36 fås följande resultat:

mätgrupp	$10_{\log} R_{10}^{\text{medel}}$
A	0,52
B	0,16
C	0,76
D	0,74
E	0,54
H	-0,25

Detta visar klart att strävpelarna har de lägsta värdena och därmed högst fukttillstånd. Vidare har mätgrupp H det allra lägsta värdet. Mätpunkterna C och D har de klart högsta värdena och därmed lägst fukttillstånd. Mätgrupperna A och E har värden som ligger över B men under C och D.

Jämförs dessa resultat med slagregnsmätningarna framgår att resistansen följer slagregnsbelastningen så, att där slagregnsbelastningen är stor, är resistansen låg och tvärtom. Detta pekar entydigt på att slagregnet är av mycket stor betydelse för fukttillståndet. E-gruppen följer ej detta mönster helt. Anledningen till detta kan vara antingen den tidigare nämnda givarspridningen eller att givarna sitter så nära hörnet att vattentransport från sydvägg och strävpelare i hörnet medför ett högt fukttillstånd även vid E-gruppen.

Figur 36 visar även att fuktgivarna på olika djup och höjd visar olika värde. Bildas medelvärdet för  $10_{\log} R_{10}$

på olika djup och höjd i väggarna fås följande resultat:

Fuktgivare	$10 \log R_{10}^{\text{medel}}$
1	
2	0,53
3	0,54
4	0,68
5	0,89
6	0,73
	0,52

Fuktgivare 1, 2, 3 och 4 ligger på höjden 3-4 m över marken och på varierande djup. I fig 51a är medelvärdena för dessa fuktgivare inlagda på respektive djup i väggen.

Fuktgivare 2, 5, 6 ligger på djupet 80 cm utifrån och på varierande höjd. I fig 51b är medelvärdena för dessa fuktgivare inlagda på respektive höjd över marken.

Observera i dessa figurer, att låg resistans betyder högt fukttillstånd.

Tendensen i dessa figurer är tydlig. I fig 51a stiger resistansen mot insidan. Fukttillståndet är alltså högre mot utsidan. I figur 51b stiger resistansen med höjden över marken. Fukttillståndet är alltså högre på små höjder. Det samma gäller även strävpelaren med mätgrupp B, medan mätgrupp E även här ej visar samma klara mönster.

Dessa mätningar stämmer helt med de kapillära mättnadsgraderna enligt 7.3, som på höjden 3,5 m avtar mot insidan. Vidare var den kapillära vattenmättnadsgraden på djupet 80 cm utifrån, där fuktgivarna 3, 5 och 6 sitter, i stort densamma på höjderna 1,5 och 3,5 m. Även resistanserna på dessa höjder är ungefär lika.

Den högre resistansen på större höjder pekar alltså entydigt på kapillärsugning från marken. Den ökande resistansen mot insidan pekar på kapillärsugning utifrån.

Ovanstående stämmer även med de teoretiska beräkningarna, som visade att gränsen för kapillär mättnad vid kapillärsugning från marken låg någon meter under nivån för fuktgivare 1-4, och på fuktgivarnivån krävs relativt små mängder vatten för att nå kapillärmättnad i den yttre delen av väggen. På höjden 8 m däremot var inverkan av kapillärsugningen från marken enligt beräkningarna försumbar.

Sammanfattningsvis visar fuktgivarmätningarna följande:

1. Fukttillståndet visar inga mätbara variationer i tiden.
2. Fukttillståndet i de olika mätgrupperna följer helt slagregnsbelastningen, dvs strävpelarna har högst fukttillstånd och sydsidan högre än övriga.
3. Fukttillståndet avtar mot insidan.
4. Fukttillståndet avtar med höjden över marken.

#### 7.6 Temperaturer i murverket

De långsiktiga variationerna i strävpelarna följer enligt fig 38 väl medeltemperaturen utomhus. Samma sak gäller för den yttre mätpunkten i väggarna. De övriga mätpunkterna i väggarna varierar i stort sett rätlinjigt mellan yttemperaturerna på ut- och insidan. Skillnaden i medeltemperatur mellan vinter och sommar är störst i strävpelarna och uppgår till 20-25°C. På insidan av en vägg är motsvarande skillnad 8-10°C. En jämförelse mellan temperaturerna vid en viss tidpunkt i ett väggsnitt ger, att den maximala skillnaden i väggtemperatur mellan ut- och insida varit 10-15°C på vintern.

Av fig 40 framgår att temperaturen på djupet 30 cm knappast påverkas av variationer i dygnsmedeltemperatur mellan 2 dygn, medan temperaturen på djupet 7 cm påverkas väsentligt. För att temperaturen på djupet 30 cm skall påverkas, krävs att dygnsmedeltemperaturen flera dygn i följd avviker från en tidigare dygnsmedeltemperatur.

Av fig 42 och 43 framgår att solbestrålning påverkar temperaturen kraftigt på djupet 3 cm. På ett dygn kan exempelvis temperaturen variera med 10°C, medan på djupet 7 cm differensen har sjunkit till 4°C. Dessa värden är enbart exempel och kan naturligtvis vara större vid långvarig solbestrålning.

Sammanfattningsvis kan sägas att i strävpelarnas och i väggarnas yttre delar medeltemperaturen följer medeltemperaturen utomhus på lång sikt. Variationer under dygnet och inverkan av solbestrålning påverkar enbart de yttersta 5-10 cm. Temperaturen har ej mätts vid något tillfälle då extrema förhållande rått, men med hjälp av mätta temperaturer görs i fig 52 en bedömning av extremförhållandena.

Denna figur ger att differensen mellan max- och mintemperatur i ytskiktet blir ca  $50^{\circ}\text{C}$ , medan på djupet 30 cm motsvarande skillnad sjunkit till ca  $20^{\circ}\text{C}$ . Samma siffror gäller i strävpelarna. Dessa temperaturdifferenser ger upphov till relativt stora temperaturrörelser i fasadstenarna. Antages stenarna vara 0,5 m lång, blir den totala längdändringen  $10 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 0,5 \text{ m} = 0,25 \text{ mm}$ . Denna längdändring måste helt upptas av fogen. Antages fogbredden till 5 mm blir deformationen i fogbruket  $\frac{0,25}{5} \cdot 1000 \text{ }^{\circ}/\text{oo} = 50 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ . Detta skall jämföras med brottöjningen, som vid drag är 0,2-0,4  $^{\circ}/\text{oo}$  och vid tryck något större. Slutsatsen av detta blir att sprickor måste uppstå i fogen. Antagandet i 6.4 att cementbruket inte hindrar kapillärsugningen p g a sprickor, är sålunda riktigt.

#### 7.7 Temperaturer inomhus

Temperaturmätningarna inomhus visar att några större temperaturskiktningar ej finns. Under uppvärmningsperioden är temperaturen under tak enligt fig 28 1/2-1 grad högre än vid termostaten. På kort sikt vid uppvärmning inför helgens gudtjänst blir differensen större, upp till 2 grader. Golvtemperaturen är på hösten någon grad högre än rumtemperaturen. På övriga årstider är golvtemperaturen någon grad lägre.

Yttertemperaturerna är intressanta ur den synpunkten att, om de är lägre än rumsluftens temperatur och den relativa luftfuktigheten är hög, finns risk för ytkondensation. I fig 53 visas daggpunkten, dvs den temperatur vid vilken rumsluften börjar kondensera. Daggpunkten har beräknats med hjälp av fig 27. I fig 53 är även den lägsta uppmätta yttertemperaturen inlagd. Som synes fanns under undersökningsperioden ingen risk för ytkondensation på väggarna. Enligt fig 29c ligger däremot temperaturen på fönster och fönsterbänk i närheten och även under daggpunkten. Här finns således stor risk för kondensation. Detta kondensvatten kan sedan rinna ner på väggen och sugas in i väggen.

Av fig 28 framgår även att temperaturen över tak är hög. Detta pekar på att mycket stora värmemängder går ut genom taket, som alltså är dåligt värmeisolerat.



### 7.8 Sammanfattning av troliga skadeorsaker

Mätningarna visar entydigt att slagregnet är en mycket stor anledning till det höga fukttinnehållet i murverket. Vidare pekar mätningarna på att kapillärsugning från marken inte kan uteslutas. Att säkert avgöra hur stor inverkan denna kapillärsugning har är omöjlig. Säkert är däremot att murverket skulle ha skadats även utan kapillärsugning från mark. Om kapillärsugning från marken själv kan ge så stort fukttinnehåll nedtill, att murverket kan ta skada, kan ej avgöras utan en grundundersökning. Gjorda beräkningar tyder dock på att detta är fullt möjligt.

Cementbruket i fogarna har försämrat avdunstningsmöjligheterna men inte påverkat kapillärsugningen.

Förhållandena har alltså blivit sämre efter omfogningen, men även med kalkbruk i hela fogen finns enligt beräkningarna förutsättningar för att murverket skall få ett mycket högt fukttinnehåll och detta var troligen fallet innan 1890-talets omfogning.

Rumsluftens fuktighet påverkar inte murverkets fukttinnehåll i någon större utsträckning. Att murverket skulle tillföras någon fukt från rumsluften kan helt uteslutas. Den enda inverkan rumsluftens fuktighet har, är att avdunstningsmöjligheterna försämras vid hög luftfuktighet. Lokala undantag finns dock, exempelvis under fönster, där murverket kan tillföras fukt från kondensvatten.

Beträffande variationen i fukttillstånd mellan olika delar av kyrkan gäller, att strävpelarna har betydligt högre fukttillstånd än väggarna. Vidare är sydväggen och västväggen på brödrakoret utsatt för större vattenbelastning från slagregn än övriga väggar.

Den troliga skademekanismen är följande:

1. Slagregn och markfukt har ansamlats i murverket. Detta kan ha skett mycket sakta och möjligen enbart på vissa ställen.
2. Denna fukt har medfört saltutslag och i kombination med kyla även frostsprängningar.
3. På 1890-talet reparerades kyrkan på dessa skador. Hela kyrkan omfogades med cementbruk.

4. Cementbruket medförde att avdunstningsmöjligheterna försämrades, varför förhållandena snabbt försämrades och hela murverket fick ett större fuktinnehåll.
5. Frostsprängningar har gjort att förloppet ytterligare accelererats.

## 8 DISKUSSION AV MÖJLIGA ÅTGÄRDER

### 8.1 Syfte med åtgärderna

Syftet med de åtgärder som skall vidtas är att nå ett sådant fukttillstånd i murverket att en fortsatt skadeutveckling hindras. Åtgärderna härvid kan indelas i två steg. Först skall fuktinnehållet sänkas och därefter skall det lägre fuktinnehållet bibehållas och eventuellt sänkas ytterligare. Dessa åtgärder sammanfaller till en del men är även i vissa fall motstridiga så att den ena åtgärden måste vidtas innan nästa kan påbörjas.

För att skadeutvecklingen skall stoppas måste fukttillståndet i murverken sänkas till det hygroskopiska området. Här övergår vattentransporten från att i huvudsak ha skett genom kapillärsugning till att i huvudsak ske genom diffusion. Detta medför bl a att transporten av salter upphör. Även risken för frostsprängningar är mycket liten i det hygroskopiska området. Enligt jämviktsfuktkvoterna skall alltså fuktkvoten sänkas till 15-20 %. Att sänka fuktkvoterna ytterligare är ej nödvändigt m h t skaderisken, men en ytterligare sänkning är naturligtvis positiv då bl a värmeförlusterna härigenom minskas.

### 8.2 Åtgärder för att minska fuktinnehållet

För att uttorkningen skall ske någorlunda snabbt, måste den ske genom avdunstning som från fri vattenyta. Under uttorkningen får alltså något kapillärbrytande skikt inte inläggas i murverket. Samtidigt innebär detta att kapillärsugning får slagregn kan förekomma. För att hindra detta måste slagregn hindras från att träffa fasadytan. Detta måste göras genom provisoriska anordningar under uttorkningstiden. Stora taksprång är ett alternativ. Ett annat och bättre alternativ är att täcka in hela fasadytan med presenning, plastfolie eller dylikt. Detta måste då göras så att takvattnet rinner av utanför detta skydd. Utrymmet mellan fasadytan och regnskyddet måste ventileras kraftigt för att fuktigheten ej skall bli för stor. En uppvärmning av utrymmet påskyndar uttorkningen väsentligt.

Samtidigt som åtgärder vidtas för att hindra regn att träffa fasaden, bör cementbruket avlägsnas i fogarna. Detta påskyndar uttorkningen och är även en åtgärd som diskuteras i 8.3.

Åtgärder som att avlägsna hela fasadskalet för att påskynda uttorkningen avrådes ifrån, främst beroende på de risker som är förenade med detta, exempelvis bäringhet och uttorkningssprickor.

Åtgärder som är möjliga på insidan är främst avlägsnande av cementbruket i fogarna och kraftig ventilation. Även en höjning av temperaturen medför en snabbare uttorkning. Vill man mycket snabbt få murverket uttorkat, måste fuktigheten inne i kyrkan sänkas så pass att inventarierna tar skada, varför särskilda åtgärder måste vidtas mot detta. Särskilt känsliga inventarier kan exempelvis avlägsnas.

För att visa hur de olika alternativen inverkar på uttorkningen, görs här några överslagsberäkningar på vilka tider som krävs för att nå en viss fuktkvot.

De siffror som anges är ~~beräknade~~ <sup>behäftade</sup> med samma osäkerhet som de teoretiska beräkningarna tidigare. Storleksordningen torde dock vara riktig, vidare fås en uppfattning om skillnaden mellan olika alternativ. Om ej annat anges görs samma antagande som i kapitel 6.

Alternativ 1. Taksprång så att regn ej träffar fasaden och avlägsnande av cementbruk på utsidan. Avdunstningen blir enligt tidigare beräkning ca 25 kg/m<sup>2</sup>·år på utsidan.

Alternativ 2. Intäckning av fasaden + ventilation som ger lufthastigheten 10 m/s. Denna lufthastighet medför att  $\beta$  i formeln  $g = \beta(c_1 - c_2)$  blir  $35 \cdot 10^{-3}$  m/s mot  $17 \cdot 10^{-3}$  m/s i föregående fall. Avdunstningen kommer alltså att fördubblas till 50 kg/m<sup>2</sup>·år på utsidan.

Alternativ 3. Intäckning av fasaden + värme + ventilation. Antages väggtemperaturen på ytan höjas med 5°C samt ventilation enligt föregående ökas  $c_1 - c_2$  med ca 2 g/m<sup>3</sup>. Detta ger ungefär en fördubbling av avdunstningen. Detta alternativ ger sålunda avdunstningshastigheten 100 kg/m<sup>2</sup>·år på

utsidan.

På insidan blir avdunstning enligt tidigare beräkning om cementbruket avlägsnas ca  $13 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{år}$ . Ökas ventilationen så att  $\beta$  inomhus ökas till  $6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  samtidigt som den relativa luftfuktigheten minskas till ca 50 %, kommer avdunstningen att öka till ungefär det dubbla, dvs  $25 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{år}$ . Höjs även temperaturen till ca  $18^\circ\text{C}$  året om, ökar avdunstningen ytterligare till det dubbla, dvs till  $50 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{år}$ . De angivna värdena ovan är enbart uppskattningar och får ej uppfattas som exakta.

Vidare gäller värdena enbart vid avdunstning som från fri vattenyta, alltså över ca 25 vikts-% fukt. Under 15 vikts-% sker avdunstning genom diffusion. Diffusionshastigheten är försumbar i jämförelse med avdunstning som från fri vattenyta. Antages rätlinjigt förlopp mellan dessa hastigheter, blir avdunstningshastigheten vid 20 vikts-% hälften av de tidigare angivna.

Enligt tidigare innehåller väggen  $200 \text{ kg vatten/m}^2$ , vilket motsvarar 40 vikts-%. För att nå 25 vikts-% i väggen måste alltså 75 kg vatten bort. För att nå 15 vikts-% måste ytterligare 50 kg vatten bort.

Detta innebär att om enbart taksprång monteras, kommer det att ta 2-3 år att nå 25 vikts-% och ytterligare 1-2 år att nå 20 % medan för att nå 15 % det skulle krävas betydligt längre tid.

Med intäckning av fasaden och kraftig ventilation samt höjning av temperaturen inomhus till ca  $18^\circ\text{C}$  och en ventilation så att den relativa luftfuktigheten inomhus blir 50-60 %, tar det ca 1 år att nå 25 vikts-%. En minskning till 20 vikts-% skulle ta ytterligare 1/2-1 år. Med fortsatt hög temperatur och låg relativ luftfuktighet inomhus skulle tiden att nå 15 % minskas till ca hälften i förhållande till tidigare. Denna tid är svår att ange beroende på att uttorkningshastigheten ändras snabbt nära det hygroskopiska området. Tiden kan uppskattas bli mellan 1 och 10 år beroende på vilken transportmekanism som är avgörande.

Det måste påpekas att siffrorna som nämnts är mycket grova uppskattningar. Fuktkvoten 15 % symboliserar exempelvis den övre delen av det hygroskopiska området och kan likaväl vara 10 eller 20 %.

### 8.3 Åtgärder för att förhindra fuktansamling från slagregn

Dessa åtgärder kan göras på två principiellt skilda sätt. Antingen kan slagregnet hindras från att träffa fasaden, eller kan slagregnet hindras från att sugas in i murverket om det träffar ytan. Även mellanting mellan dessa åtgärder finns naturligtvis, exempelvis tillåta en viss vattenuppsugning men samtidigt åstadkomma goda avdunstningsmöjligheter.

Åtgärder för att minska slagregnsbelastningen på väggen är riktiga taksprång, avtäckningar över strävpelare och på fönsterbänkar samt framför allt hängrännor och stuprör runt hela byggnaden.

En omfogningen av alla fogar, både ut- och invändigt med ett kalkbruk ger bättre avdunstningsmöjligheter än de nuvarande.

Dessa åtgärder att minska slagregnsbelastningen, samtidigt som avdunstningsmöjligheterna förbättras, kan vara tillräckliga för att uppnå en fuktbalans i det hygroskopiska området. Det avgörande i detta fall är hur mycket slagregnsbelastningen minskas. För att ytterligare förbättra förhållandena kan ett kapillärbrytande skikt inläggas under kalkbruket vid omfogningen på utsidan. Denna fog kan utföras så att först kratsas fogen ur till 5 cm djup. Vid den senare omfogningen fylls enbart de yttersta 2-3 cm med kalkbruk. Luftspalten kommer då att bli kapillärbrytande. Detta är arbetstekniskt svårt att genomföra. För att förenkla detta kan istället för en luftspalt ett poröst, elastiskt, icke kapillärsugande material placeras i botten på fogen, exempelvis fogremsor av den typ som användes i samband med tätning av fönsterkarmar. På insidan däremot skall inte något sådant skikt inläggas. Detta innebär att all kapillärsugning utifrån upphör medan kapillärsugning från murverket till insidan fortfarande kan ske.

Uttorkningsmöjligheterna på insidan är sålunda fortfarande goda medan uttorkning utåt däremot måste ske genom diffusion. Har fukttinnehållet innan omfogningen minskats till 15-20 % har detta ingen större betydelse eftersom uttorkningen ändå skulle ske i huvudsak genom diffusion. Med dessa åtgärder skulle fukttinnehållet långsamt sänkas till ett jämviktsförhållande, som bestäms av de relativa luftfuktigheterna utom- och inomhus. Uppskattningsvis skulle murverket få en fuktkvot på ca 5 vikts-% efter mycket lång tid.

Innan ett kapillärbrytande skikt inlägges i fogen måste dock murverket torkas ut så mycket att fukttillståndet gränsar till det hygroskopiska området. Görs inte detta kommer den första uttorkningen till 15-20 % att ta betydligt längre tid än den i 8.2 angivna, eftersom då nästan all uttorkning måste ske mot insidan. Görs exempelvis inget för att påskynda uttorkningen inåt och kapillärsugning utåt förhindras, skulle tiden för att nå 15-20 vikts-% bli upp till 10-15 år.

#### 8.4 Åtgärder för att förhindra eller minska uppsugning från marken

Åtgärderna för att minska fuktupptagningen sammanfaller i vissa avseende med åtgärderna för att minska fukttinnehållet.

En enkel och nödvändig åtgärd är att dränera med grus och dräneringsrör intill grundmuren både på ut- och insidan. I samband med att marken intill grundmuren grävs upp kan även väggen försees med något kapillärbrytande skikt, exempelvis asfaltstrykning, cementslamning eller en mineralullsskiva. Dessa åtgärder hindrar kapillärsugning genom grundmurens sidor. Används en mineralullsskiva som kapillärbrytande skikt, kan även en viss avdunstning ske genom sidorna av det vatten som eventuellt suggs upp nerifrån, medan asfalt och cementslamning hindrar denna avdunstning.

I samband med en sådan utgrävning kan problem uppstå med bärigheten. Eventuellt kan dräneringen göras bit för bit. Dräneringen får absolut ej utföras så att grundvattenytan påverkas. En grundundersökning är nödvändig innan några ingrepp görs.

En dränering kan vara tillräcklig mot markfukten. Om uppsugning nerifrån föreligger, måste emellertid ytterligare åtgärder vidtas, såvida inte fukten nedtill på murverket kan accepteras. Dessa åtgärder kan antingen inriktas på att hindra vatten från att sugas upp eller på att låta vattnet avdunsta under marknivån. Att hindra vattnet från att sugas upp kan ske genom ett kapillärbrytande skikt nedtill på väggen eller genom elektroosmos.

Det kapillärbrytande skiktet kan åstadkommas genom en undergjutning av betong, som är mycket komplicerat, eller genom en insprutning av något kapillärbrytande material i nederdelen på väggen. Elektroosmos, som innebär att elektroder monteras i väggen, är relativt oprövat i Sverige. Utomlands har metoden tillämpats med varierande framgång.

Vidtas ej åtgärder mot uppsugning från grunden och fukt ej accepteras nertill på vägarna, måste avdunstningen underlättas under mark- eller golvnivån. Detta kan göras med utförandet enligt fig 54. Intill väggen görs en luftspalt med en värmeslinga och ett tilluftsflöde i botten. Genom att värmeslingan värmer luften kommer denna att stiga uppåt och åstadkomma effektiv ventilation samtidigt som temperaturen både i väggytan och i luften som flyter förbi väggen höjs. Antag att tilluften har temperaturen  $15^{\circ}\text{C}$  och den relativa luftfuktigheten 60 %. Uppvärm vidare frånluften så att väggytan får temperaturen  $25^{\circ}\text{C}$ . Under markytan antas avdunstningsytan vara 20 % av totalytan. Detta ger med  $\beta = 15 \cdot 10^{-3}$  m/s en avdunstning  $g = 15 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 0,2 = 45 \cdot 10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>·s på insidan.

Antages grundvattenytan ligga 1 m under luftspalten blir den uppsugna vattenmängden i nivå med underkanten på spalten

$$g = 0,15 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{10^3}{\sqrt{6 \cdot 10^6}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ g/m}^2 \text{ s.}$$

Avdunstningskapaciteten är sålunda betydligt större än uppsugningskapaciteten. Om en sådan lösning skulle väljas måste en intrimning ske så att den utnyttjas optimalt och eventuellt kombineras med kyrkans värmesystem. Vidare måste den utformas så att ingen risk finns att spalten täpps med smuts eller dylikt.



## 8.5 Övrigt

Fukten i golvet är ej av skadlig karaktär utan är närmast ett estetiskt problem. Åtgärd mot golvfukten är dränering av marken under golvet. För att ytterligare förbättra förhållanden kan golvet värmeisoleras. Även här gäller liksom för åtgärder mot markfukt i väggarna att en grundundersökning måste göras innan några mer detaljerade förslag kan ges.

Om det visar sig att den relativa luftfuktigheten i kyrkan efter vidtagna åtgärder sjunker så mycket att inventarierna tar skada, kan en luftbefuktningssystem utan risk för fuktskador i murverket installeras. Härvid måste dock luftfuktigheten hållas inom rimliga gränser. Vilken luftfuktighet som kan tolereras utan skaderisk bestäms av förhållandet mellan rumstemperatur och yttemperatur på väggarna. Att idag ange någon gräns är omöjligt.

## 9 FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER

Den första åtgärden måste vara att sänka fukttinnehållet i murverket. Cementbruket bör härvid avlägsnas från fogarna, både ut- och invändigt. Utsidan bör vidare intäckas och förses med kraftig ventilation. Invändigt bör temperaturen höjas till ca 18°C samtidigt som ventilationen ökas så att den relativa luftfuktigheten blir 50-60 %.

Samtidigt måste även åtgärder mot markfukten vidtas. Som tidigare nämnts måste dessa åtgärder föregås av en grundundersökning där dräneringen, grundvattenytan, material-egenskaper grundens konstruktion, bärighet mm klarläggas. Under alla förhållande bör marken intill grundmuren dräneras. I samband med denna dränering bär även grundmuren förses med ett kapillärbrytande skikt. Principutförandet visas i fig 55. Om ytterligare åtgärder krävs, får grundundersökningen avgöra.

Innan ytterligare åtgärder vidtas, måste sedan murverket torka i ca 2 år för att fukttransporten skall övergå från i huvudsak kapillärsugning till diffusion.

Efter uttorkningen rekommenderas att insidan omfogas med ett kalkbruk. På utsidan bör ett kapillärbrytande skikt inläggas i fogen, varefter omfogning sker med kalkbruk enligt fig 56. Denna lösning medför att kapillärtransport utifrån utesluts medan uttorkningen kan fortsätta både genom kapillärsugning mot insidan och genom diffusion utåt och inåt.

För att hindra regn att tränga in i murverket genom horisontella ytor och via insidan, måste ordentliga avtäckningar anbringas på alla icke vertikala ytor och fönster lagas så att inget regnvatten kan tränga in i kyrkan och rinna på insidan av väggen.

För att minska slagregnsbelastningen rekommenderas att hela kyrkan förses med hängrännor och stuprör.

Beträffande golvet är som tidigare nämnts ej fuktskadorna av någon allvarligare karaktär. Om åtgärder ändå skall vidtas bör dessa föregås av en undersökning av marken under golvet.

Åtgärder mot golvfukt bör vara dränering av marken i kombination med kapillärbrytande skikt. För att vara helt säker på att komma ifrån fuktproblem i golvet måste även värmeisolering inläggas. Denna värmeisolering kan då fungera som kapillärbrytande skikt.

Om förhållandena efter lång tid blir sådana att inventarierna kan ta skada på grund av låg luftfuktighet, kan en befuktningsanläggning installeras.

Ovanstående åtgärder mot fuktansamling från slagregn måste anses som helt säkra. Åtgärderna mot markfukt är däremot mer osäkra. Om inte någon fukt kan tolereras nedtill, måste kanske ytterligare åtgärder vidtas. Om en lösning enligt fig 54 skall väljas, måste avgöras i samband med utformningen av hela kyrkans värmesystem. Om åtgärderna mot markfukten efter lång tid visar sig otillräcklig, kan en injektering av något kapillärbrytande material göras senare i marknivån, utan att marken behöver grävas upp.

Innan åtgärder vidtas på hela kyrkan, rekommenderas att en mindre del åtgärdas enligt ovan för att i detalj kunna studera effekterna. Lämpligt härvid kan vara att åtgärda brödrakoret i väster först. Under denna tid bör fuktförhållandena studeras dels genom provtagning och dels genom mätning med befintliga fuktgivare. Genom att fuktgivarna finns även i de delar av murverket som inte åtgärdats, kan effekterna av vidtagna åtgärder studeras i detalj. Denna provtid bör vara minst 2 år. Om en lösning enligt fig 54 kan bli aktuell, bör även denna testas under provtiden.

TABELLER

Tabell 1. Markeringar på slagregnsmätarna

Datum	Antal markeringar/mätare					
	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	D	E	H
730121		2		2		
23	1		2	1		
27		1				
28			1			
0206		5				
14		1				
16	1	3	3	3		
17			1			
0307						
17		1				
0406		1	3			
16		9	1			
17			1			
30			3			
0501	6	14	9			
07						
08						
10		2				1
11	1	6	1			3
31						4
0610		6				10
13	1		2			
15						1
28						6
Anm. mätarna ur funktion 29/6-31/7						
0804	5	15	2			31
07	3	12	3			38
08	1	5	6			10
0928				1		8
29			1			8
30	1	2	6			15
1006		3				9
1105						9
06	1	1				4
11	1					1
12		1				2
18		1				
19	1	1				29
22	2	6				12
23	7	6		1	1	45
1203		1				12
04						2
06	1	2		3	1	1
09						1
10		1		1	1	1
11						1
13						5

E och H anslutes

B2 ur funktion.

Tabell 1 forts Markeringar på slagregnsmätarna

Datum	Antal markeringar/mätare					
	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	D	E	H
19731217	1	1				
Fram till 740103 kl 1445 har en större mängd ca (20-30 st) markerats på punkt H, några på punkt D samt ev en st på punkt B <sub>1</sub> . Reg pappret har varit stillastående mellan 731226 kl 0015-740103 kl 1445.						
19740113				1		26
14	1	4		1	1	62
15	1	4		1		71
17	1	1		1	1	5
18						53
19		1				5
23						3
28						2
29					1	17
0202						2
06				1		1
07					1	
08						1
10	1			1		20
11						13
20						9
21						1
0318					1	1
19	1	2		2	2	24
20						
21	1	2	15	6	5	20
25			3	3		7
0415						1
0522						18
0527		1	3			6
0529	7	10	16			26
0530	1		2			6
0602		2				7
0611						

B2 reparerad

Sista mätdatum

Tabell 2. Den absoluta viktsändringen av saltlösningen i fuktkuporna.  
Placering enligt fig 20.

Kupa nr			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Höjd över golv (m)			1,75	1,75	1,60	1,85	1,90	3,05	3,20	1,90	1,80
Foglängd i kupa (cm)			7	15	15	15	15	15	15	15	0
Tid	Salt	RF %	Viktsändring g/dygn								
6/10-72 - 27/10-72	NaCl	75	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
27/10-72 - 31/10-72	MgCl <sub>2</sub>	33	0,54	0,26	0,25	0,17	0,25	0,14	0,12	-	-
31/10-72 - 8/11-72	MgCl <sub>2</sub>	33	0,27	0,18	0,18	0,13	0,21	0,15	0,12	-	-
8/1-73 - 12/1-73	MgCl <sub>2</sub>	33	0,35	0,36	0,44	0,23	0,53	0,13	0,12	-	-
10/5-73 - 2/8-73	NaBr	60	0,11	0,09	0,11	0,12	0,22	0,08	0,03	-	-
2/8-73 - 4/10-73	NaBr	60	0,11	0,08	0,08	0,07	0,15	0,07	0,03		
4/10-73 - 3/12-73	NaBr	60	0,06	-	0,05	0,04	0,13	0,05	0,03	0,19	0,01
3/12-73 - 22/2-74	NaBr	60	0,05	0,04	0,04	0,03	0,09	0,03	0,03	0,11	0,007
22/2-74 - 9/4-74	NaBr	60	0,05	0,04	0,04	0,03	0,09	-	0,02	0,11	0,006

Tabell 3. Viktsändring enligt tabell 2 dividerad med partialtrycksskillnaden

Kupa		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tid	$P_1 - P_2$ mm Hg	$\frac{g}{k \cdot A(P_1 - P_2)}$ g/dygn·mm Hg								
27/10-72										
-										
31/10-72										
-										
31/10-72	7,3	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	-	-
-										
8/11-72										
-										
8/1-73	6,8	0,05	0,05	0,06	0,03	0,08	0,02	0,02	-	-
-										
12/1-73										
-										
10/5-73	4,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	-	-
-										
2/8-73										
-										
2/8-73	4,9	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	-	-
-										
4/10-73										
-										
4/10-73	3,5	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00
-										
3/12-73										
-										
3/12-73	3,2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04	0,00
-										
22/2-74										
-										
22/2-74	3,2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	-	0,01	0,04	0,00
-										
9/4-74										

Tabell 4. Kapillaritetstalet  $k_1$  för olika materialprover

Prov	A	B	12	13	14	15	16	19
$s_{\text{kap}}$	<0,92	<0,96	<0,90	<0,87	<0,92	<0,89	<0,93	<0,93
$k_1$ bestämt ( $\text{kg}/\text{m}^2 \sqrt{\text{s}}$ )	0,14	0,15	0,17	0,06	0,30	0,18	0,20	0,21
Korrektionsfaktor	0,93	0,95	0,92	0,87	0,59	0,74	1,01	0,72
$k_1$ ( $\text{kg}/\text{m}^2 \sqrt{\text{s}}$ )	0,13	0,14	0,15	0,05	0,18	0,13	0,20	0,15



Tabell 5. Motståndstal  $m$  för olika materialprover

Prov	A	B	12	13	14	15	16	19
$m$ (s/m <sup>2</sup> )	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$

Tabell 6. Fuktledningstalet  $k_f$ , fuktkvot vid kapillärmättnad  $u_{kap}^{max}$  samt fuktkvot då uttorkningshastigheten börjar avta  $u_k$ , för olika materialprover

Prov	1	2	3	A	B	12	13	14	15	16	19
$k_f$ cm <sup>2</sup> /dygn	0,2	1,2	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,9	0,3	1,1	0,3
$u_{kap}^{max}$	22	77	7	22	22	28	26	51	30	27	52
$u_k$	20	35	6	20	20	25	17	40	23	15	40

Tabell 7. Fuktdiffusionstalet  $k_d$  för olika materialprov

Prov	1	2	3	4	5	6	7	8
$k_d$ (g/m·h·mmHg)	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$

Anm prov 1, 2, 3 och 5 är gamla C-bruk  
4 och 6 är K-bruk  
7 och 8 är nya fogbruk

Tabell 8. Variationsgränser för jämviktsfuktkvoterna

RF	Jämviktsfuktkvot (vikts-%) vid	
	absorption	desorption
75 %	2-3	4-7
96 %	5-7	7-17

Tabell 9. Porositeter och skrymdensiteter för olika materialprover

Prov	1	2	3	12	13	14	15	16	17	18	19
Porositet(%)	38	66	16	45	40	63	49	42	6	10	58
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	1600	820	2100	1450	1600	920	1400	1500	2350	2250	1050

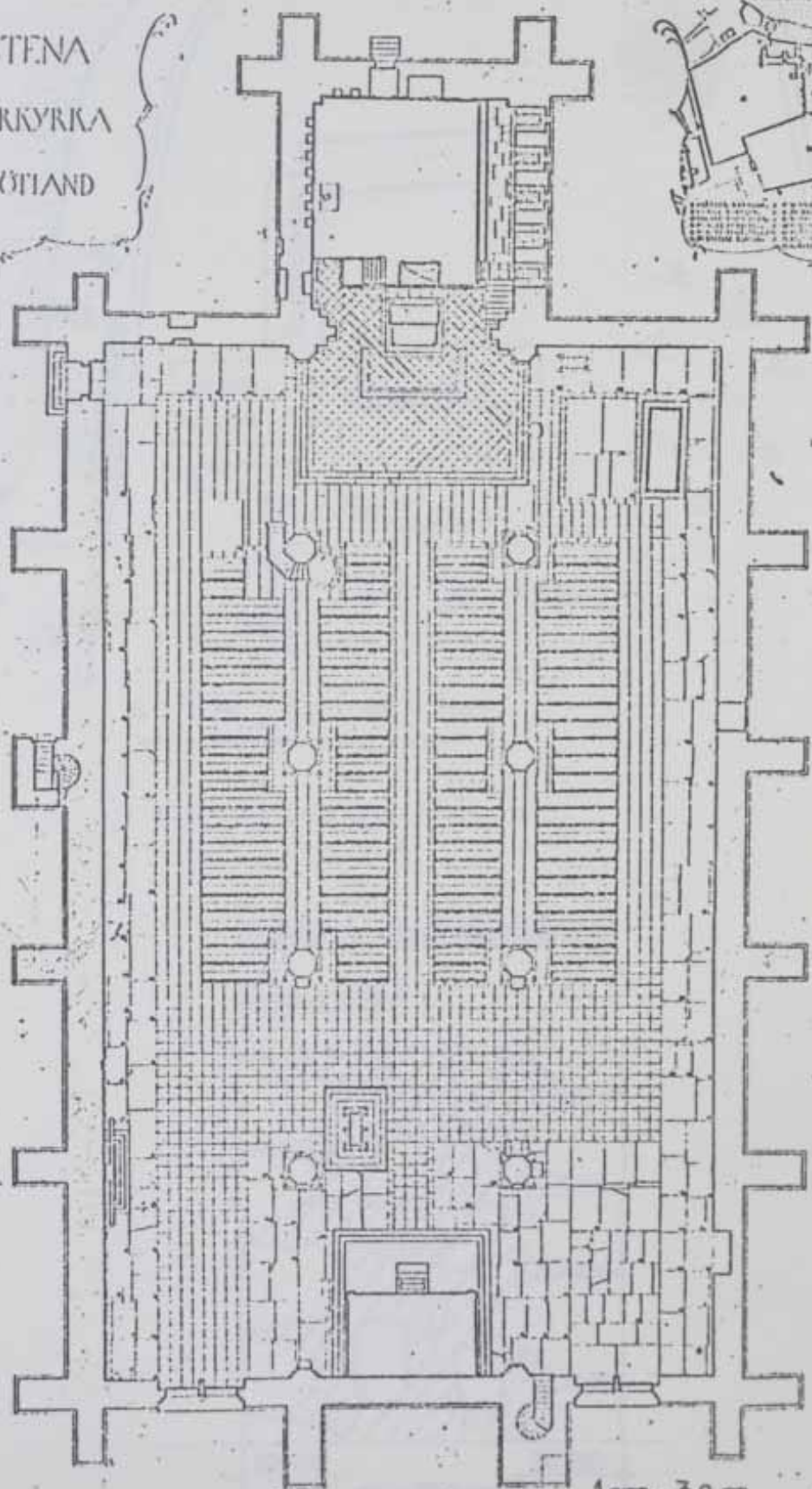


Tabell 10 forts

Klimatstation				Registrering på slagregnsmätare					
kl	regn (mm)	vind m/s	vind- riktning	A	B1	B2	D	E	H
				kl	kl	kl	kl	kl	kl
forts				10 juni 1973					
0700	0,2	5	SW		0623				
0945	0,2	6	SW						0914 0943
1130	0,3	6	SW		0953				
1145	0,2	6	SSW						1144
					1212				
1400	0,4	6	WSW						1213
				30 sept 1973					
0315	0,3	1	SSW						0325
0330	0,4	2	S						
0345	0,2	2	S						
0400	0,6	3	SSW						0400 0405
0415	1,0	4	SSW		0415	0415			0415 0415 0415
0430	0,6	3	SSW						0445 0645
0715	0,4	3	SW		0700				
									0730 0945 1020
1030	0,2	4	W	1020		1020			
						1115			1115 1215
1330	0,2	4	W			1305			1330
						1400			
						1625			1455

FIGURER

VADSTENA  
KLOSTERKYRKA  
ÖSTERGÖTLAND



GRÄNSLINJAN  
FÖR DEN ÄLDRE KLOSTERKIRKAN  
ÄR AV BEHÅLLNINGEN  
FÖR DEN NYA KLOSTERKIRKAN  
H. HÖVINGEBÄCKEN  
H. HÖVINGEBÄCKEN

UPPTÄCT  
OCH LICHT  
ÅREN 1922-1923  
AV  
H. HÖVINGEBÄCKEN

V 8  
30

1cm = 3,2 m

52

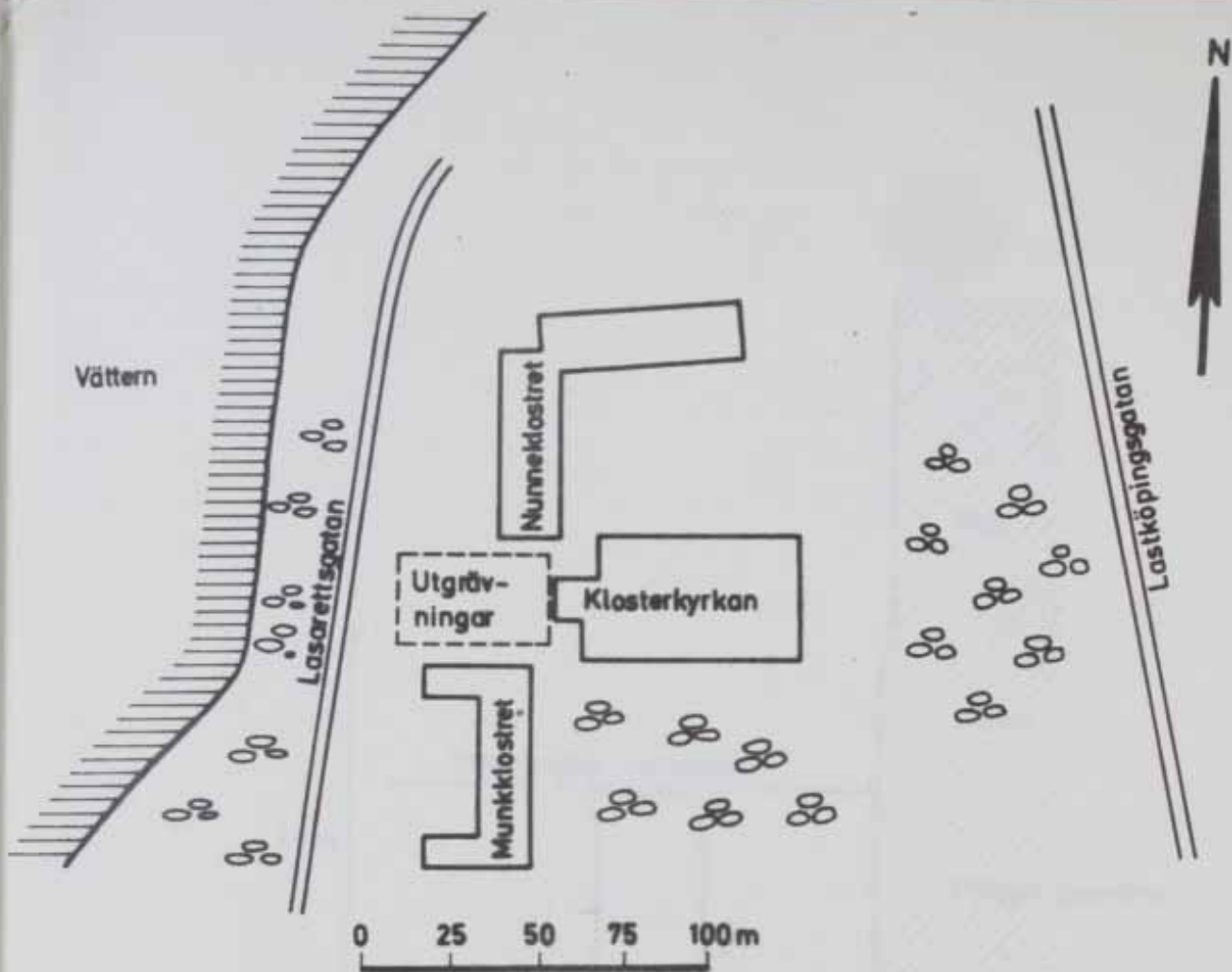


FIG. 2. Kyrkans omgivning.

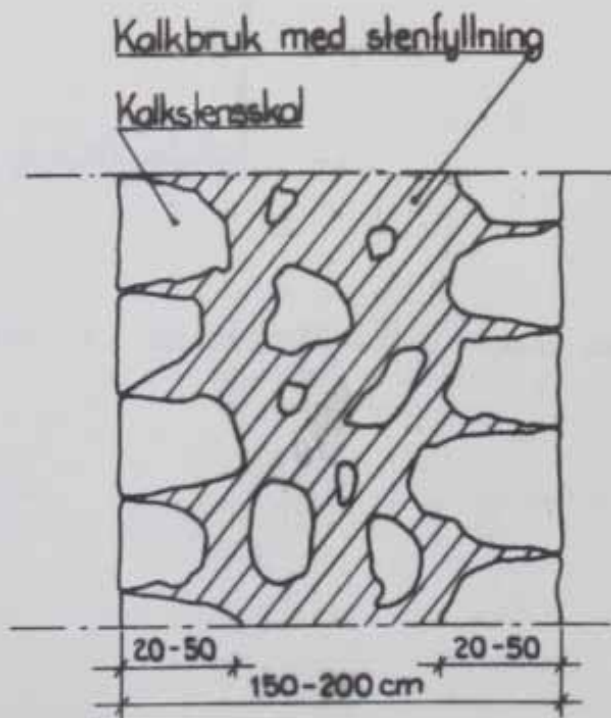


FIG. 3. Murverkets uppbyggnad.

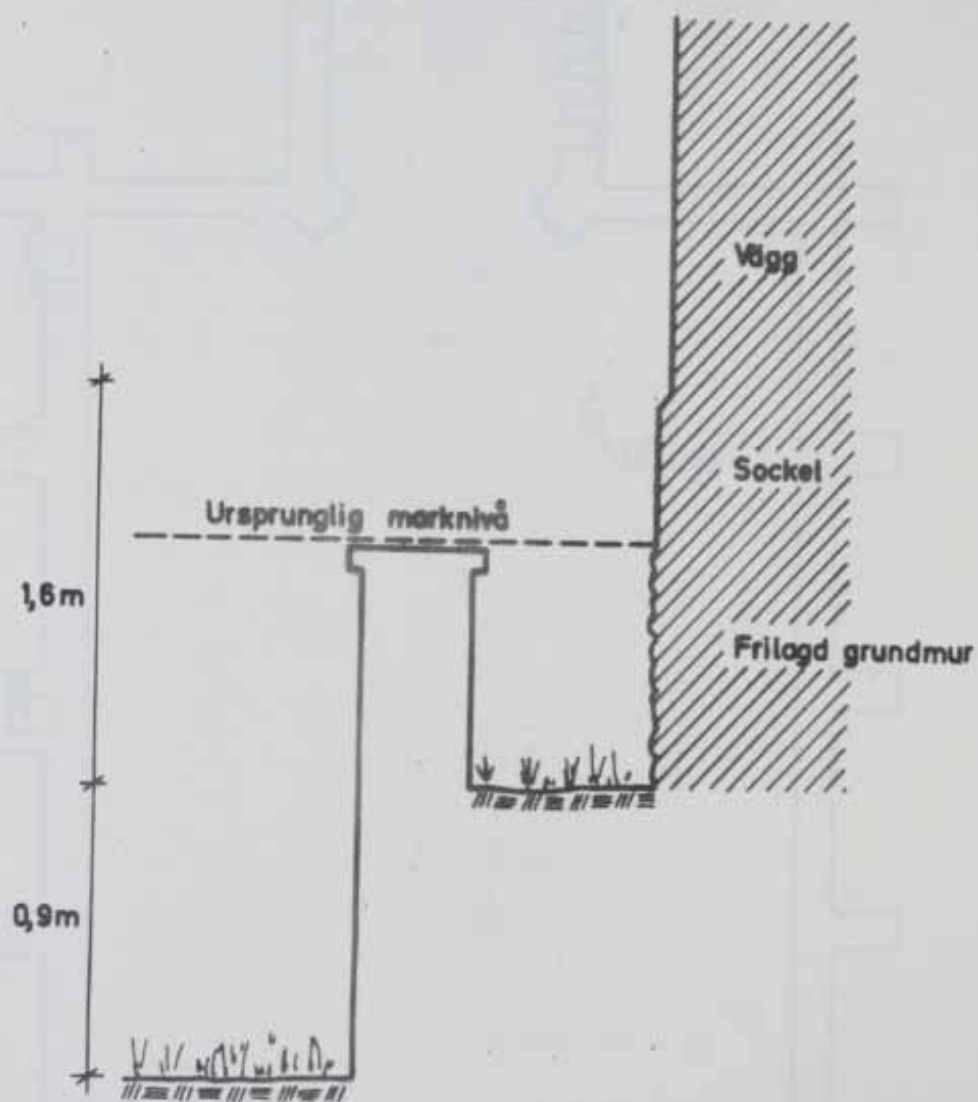


FIG. 4. Höjdförhållanden väster om kyrkan.

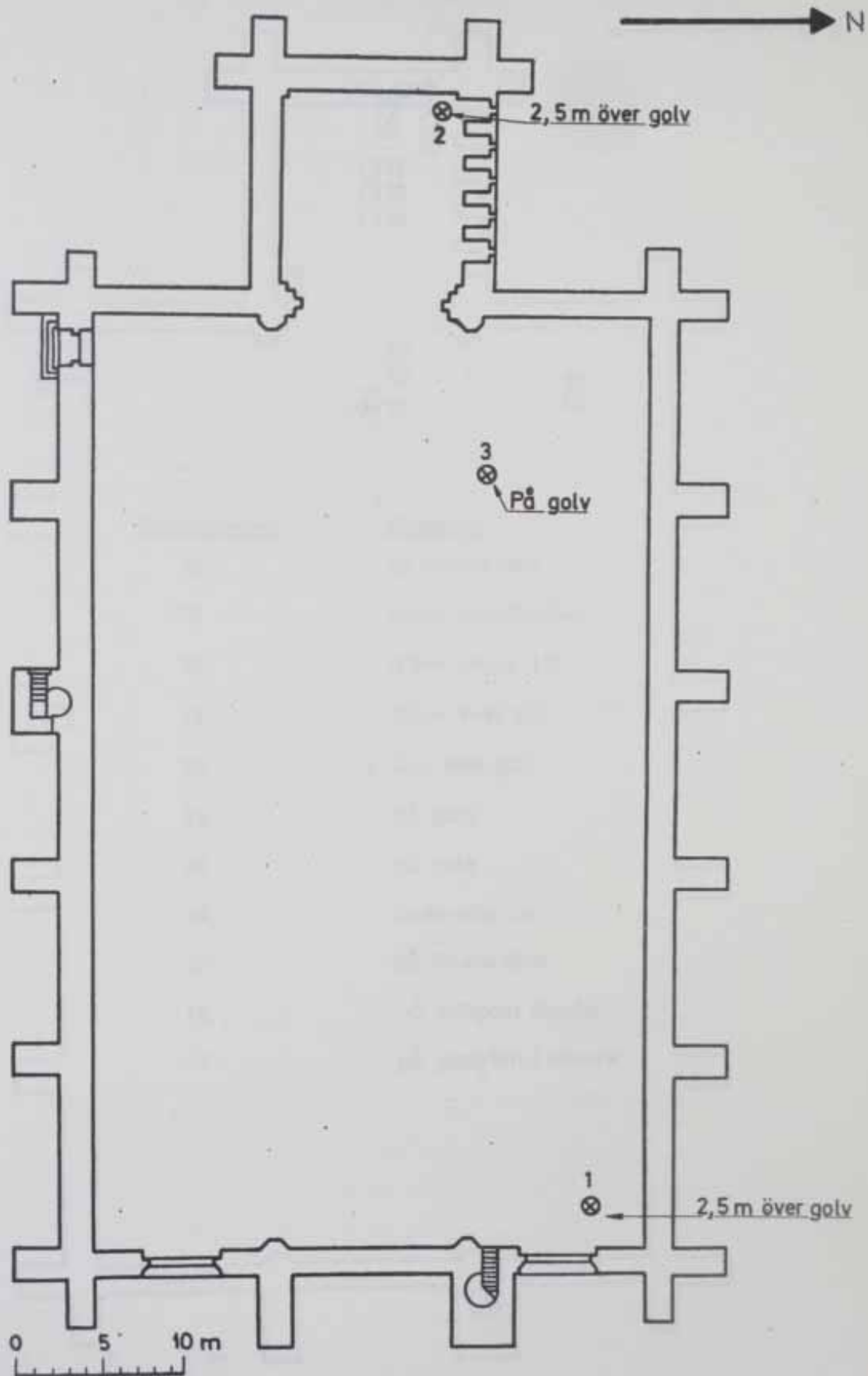


FIG. 5. Placering av termohygrografer.



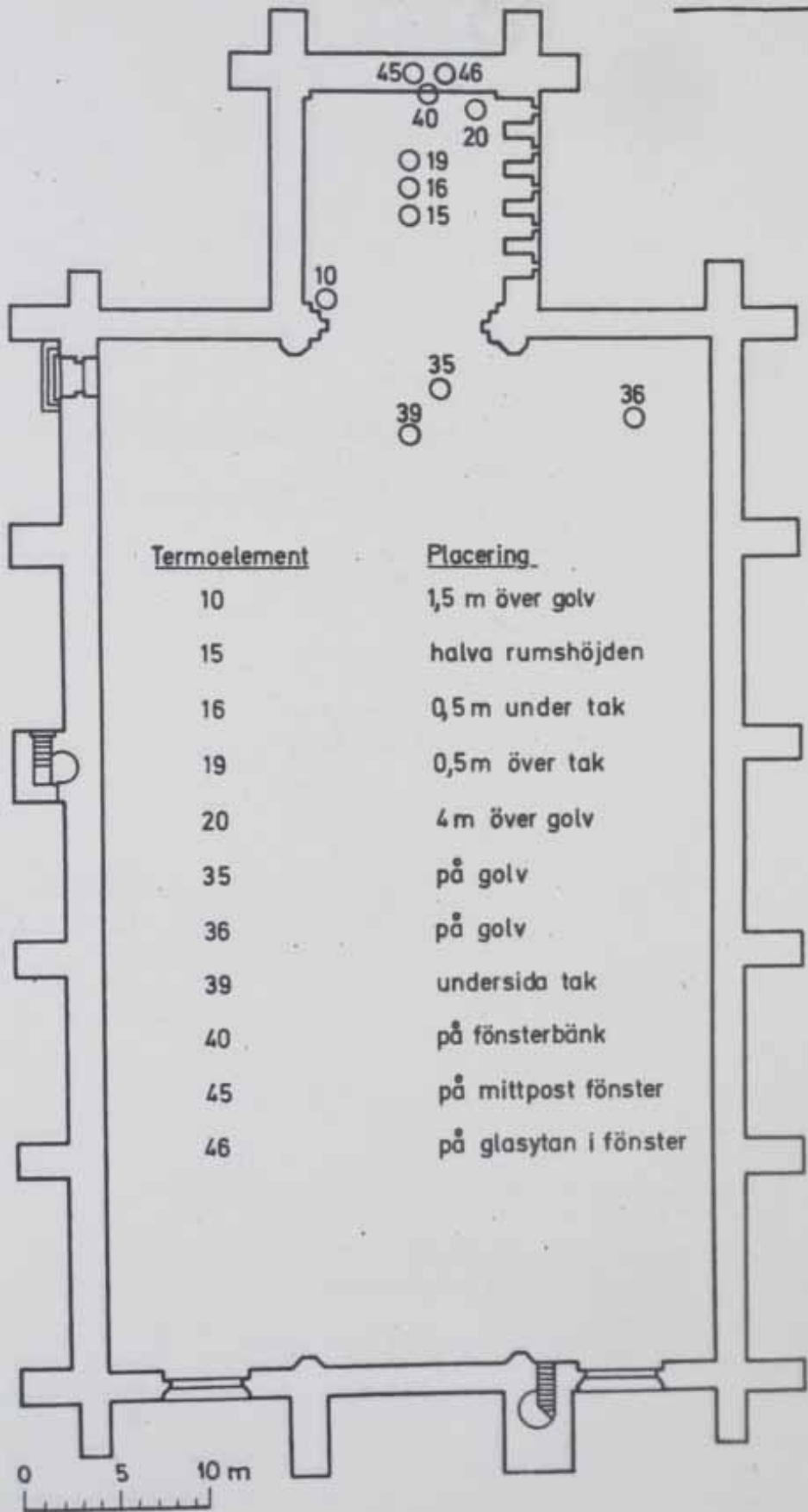


FIG. 6. Placering av termoelement inomhus.

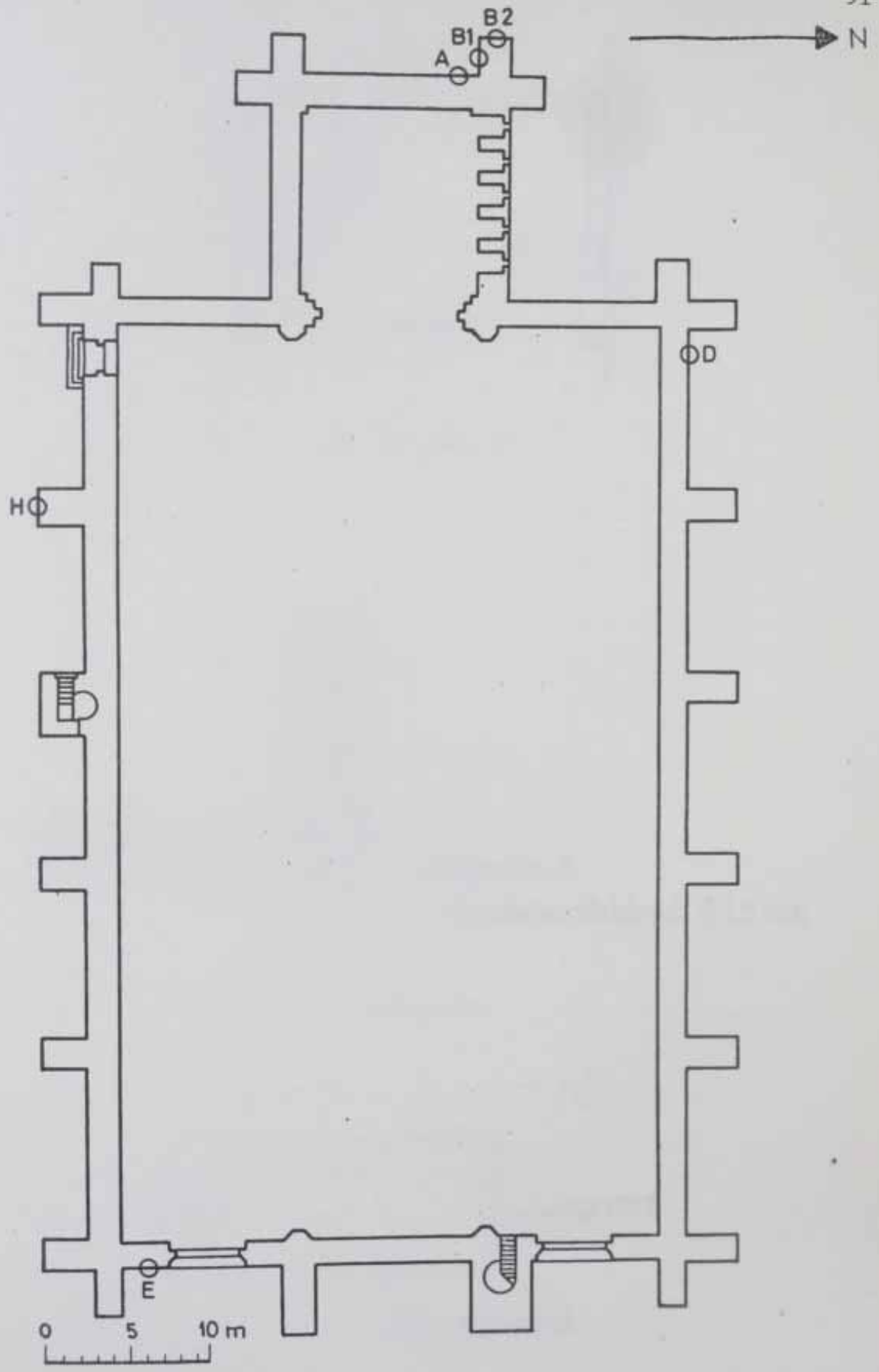


FIG. 7. Placering av slagregnsmätarna.

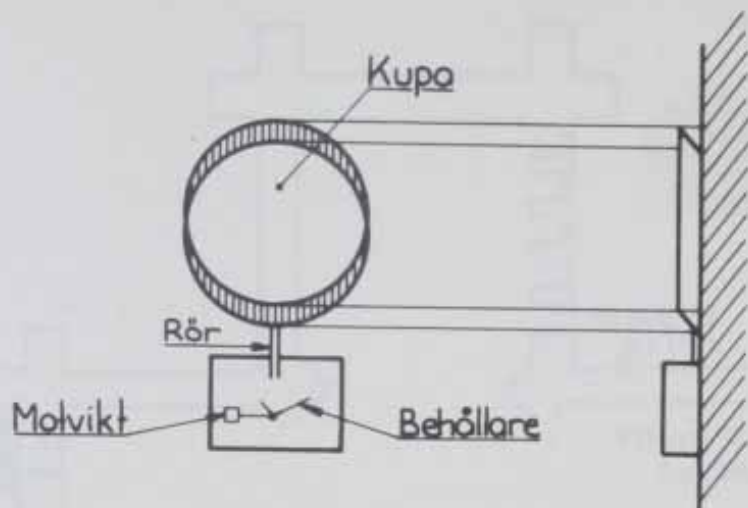


FIG. 8. Slagregnsmätare.

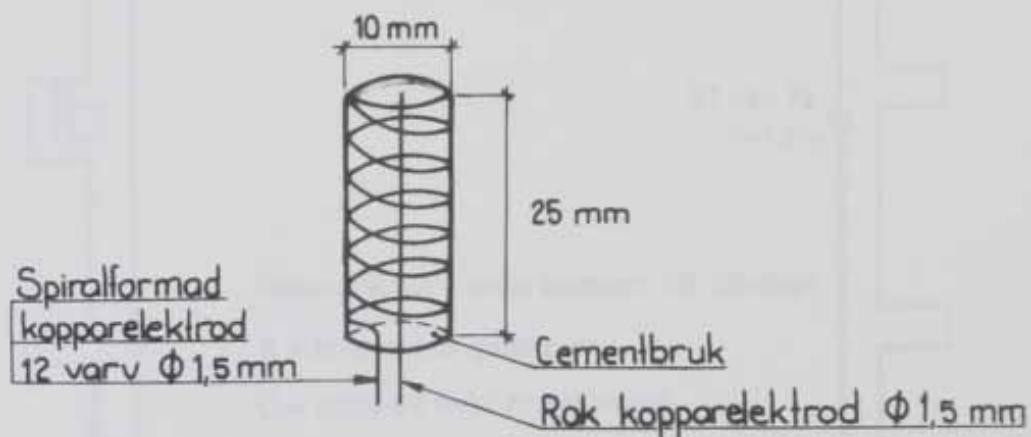


FIG. 10. Fuktgivare.

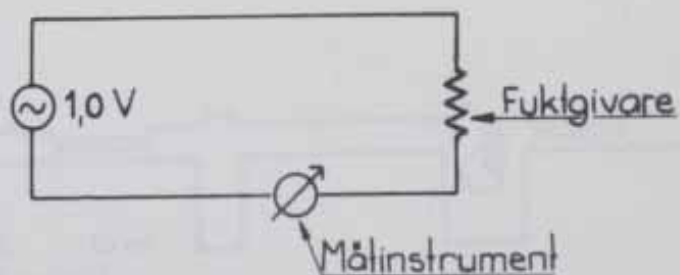


FIG. 11. Grundprincipen för mätning av strömmen genom fuktgivaren.

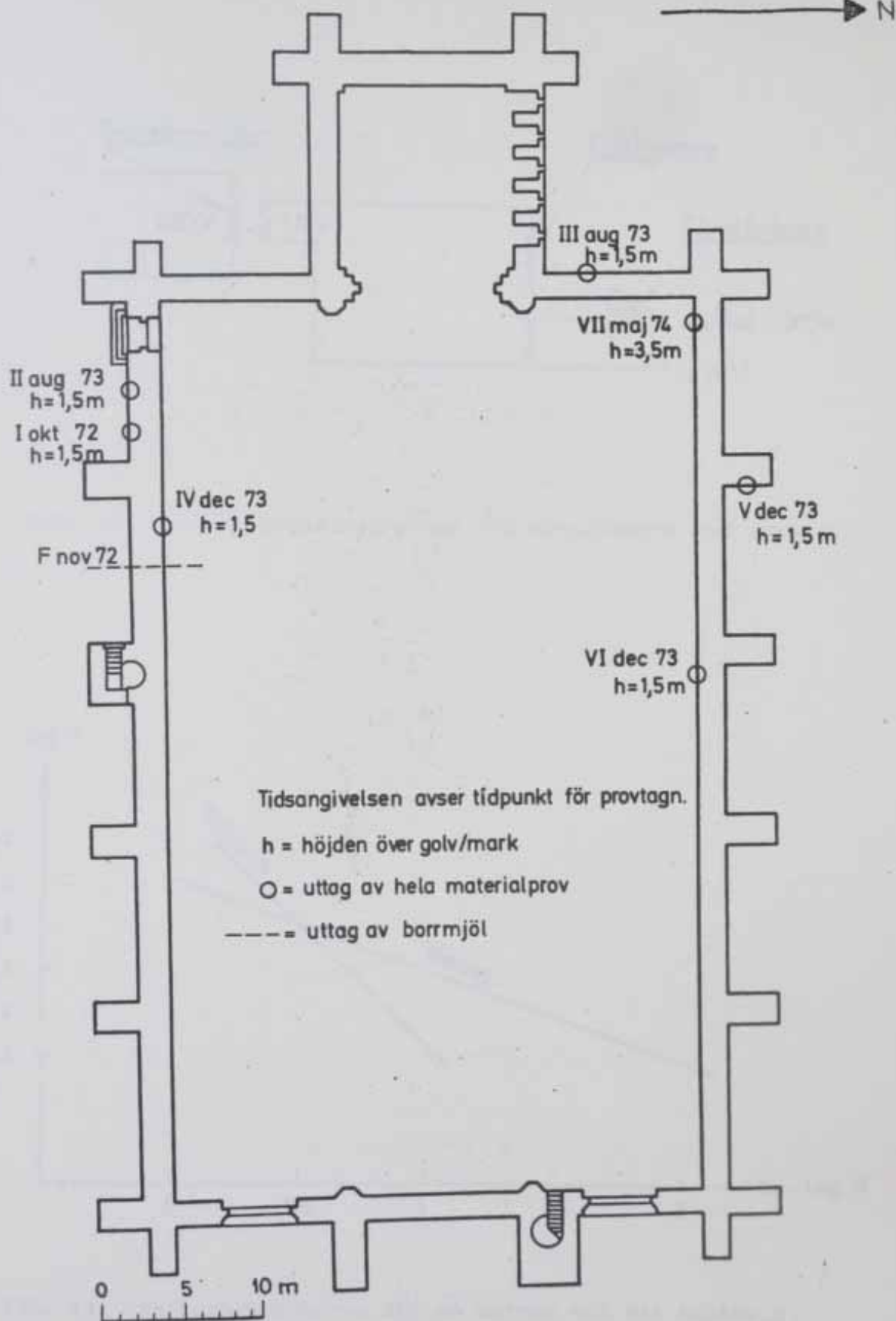


FIG. 9. Platser där materialprov uttagits.

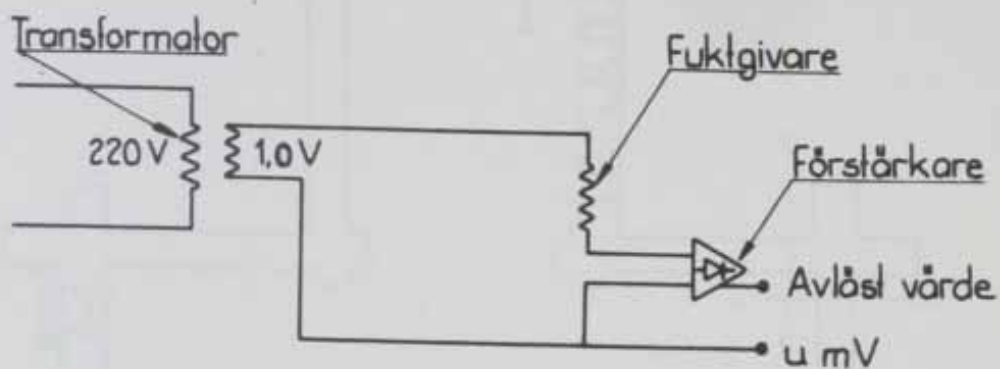


FIG. 12. Principkopplingsschema för mätningarna med fuktgivare.

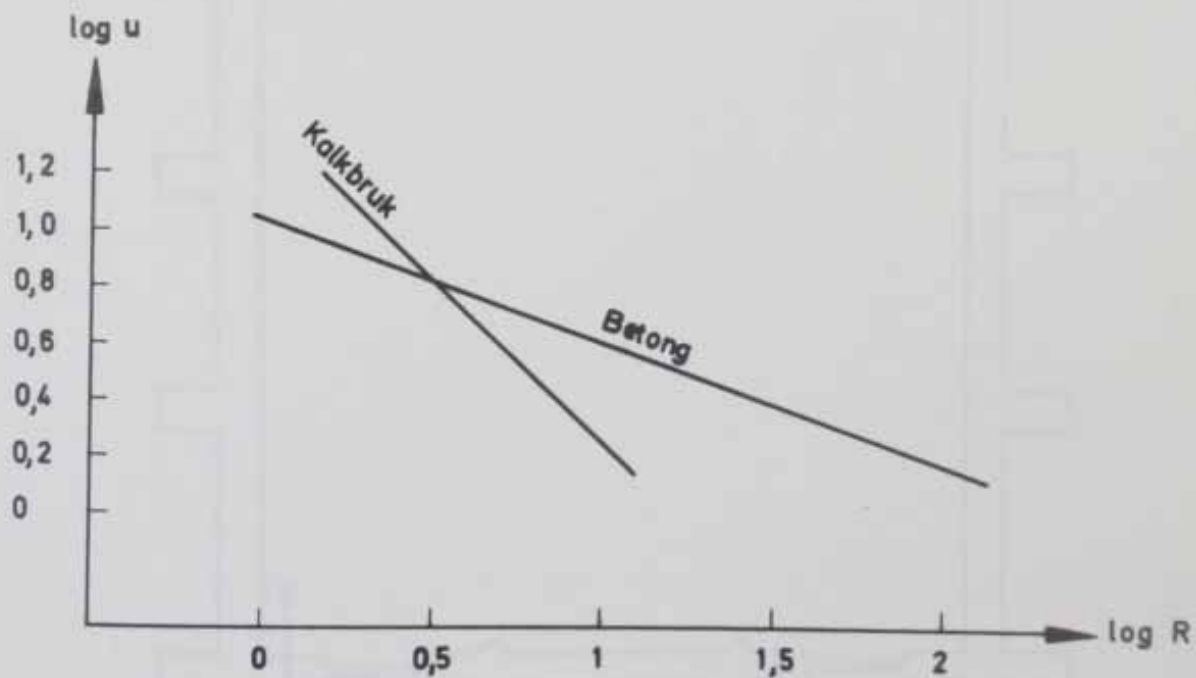


FIG. 13. Kalibreringskurva för en betong och ett kalkbruk.

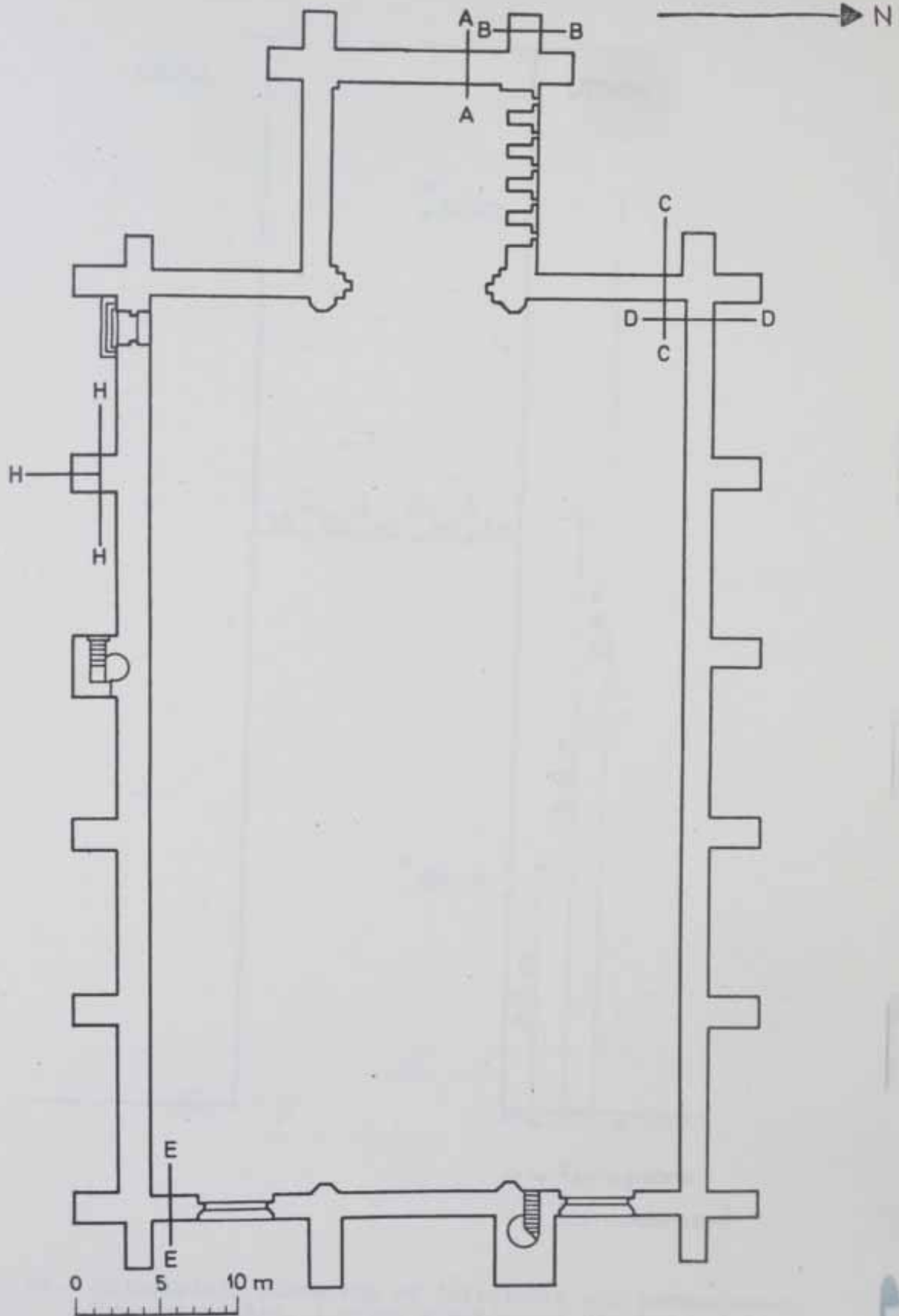


FIG. 14. Placering av fuktgivargrupperna.

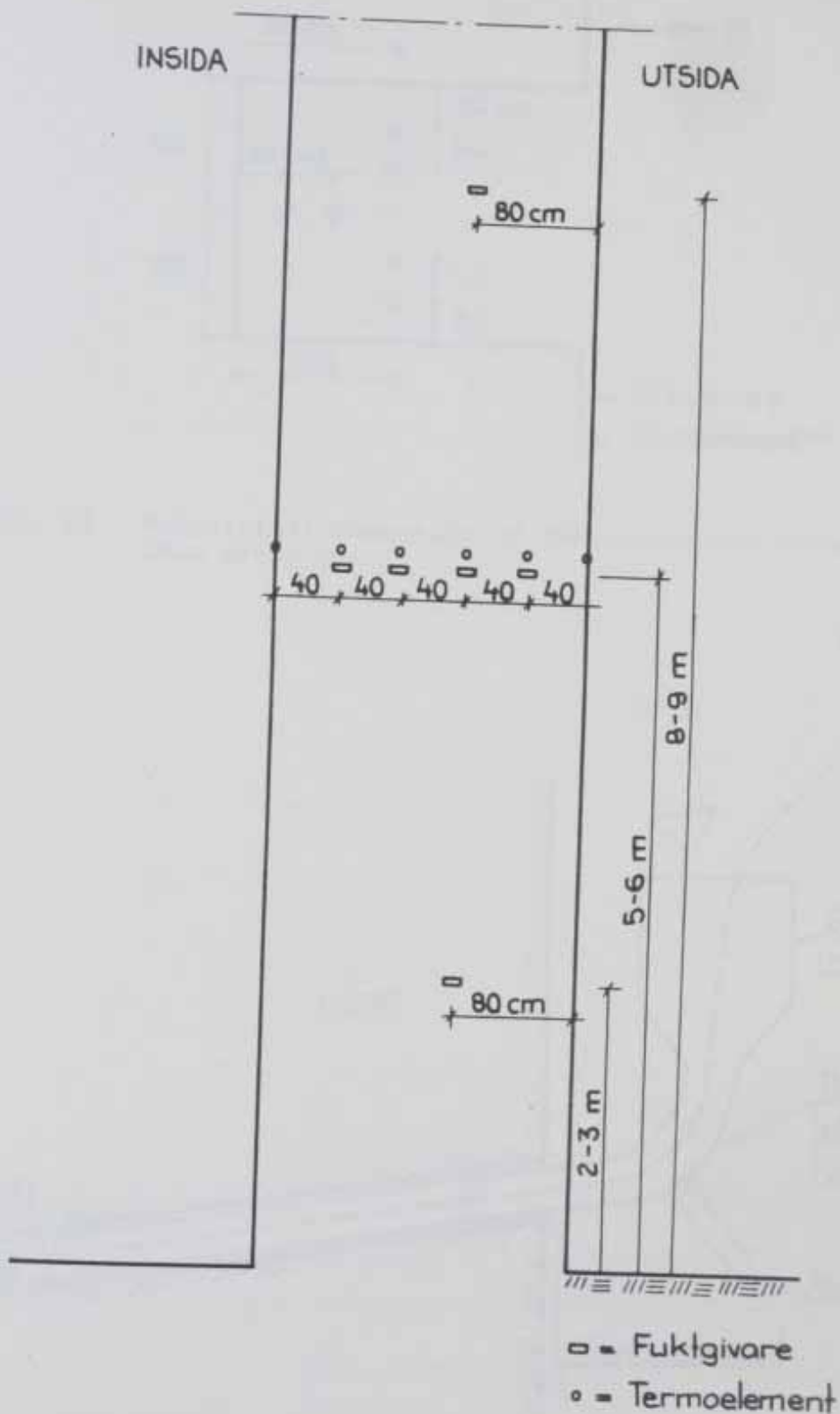


FIG. 15. Principiell placering av fuktgivare och termoelement inom grupp A-E. I grupp B motsvarar utsidan sydsidan.

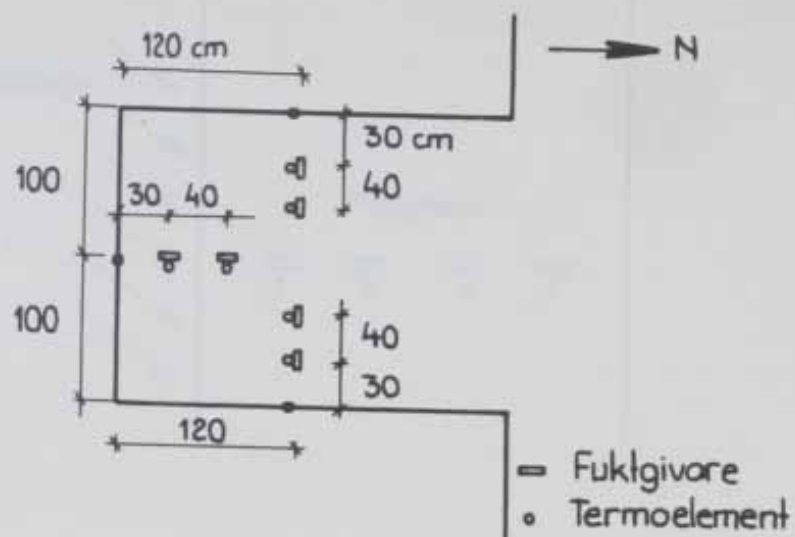


FIG. 16. Principiell placering av fuktgivare och termoelement inom grupp H.

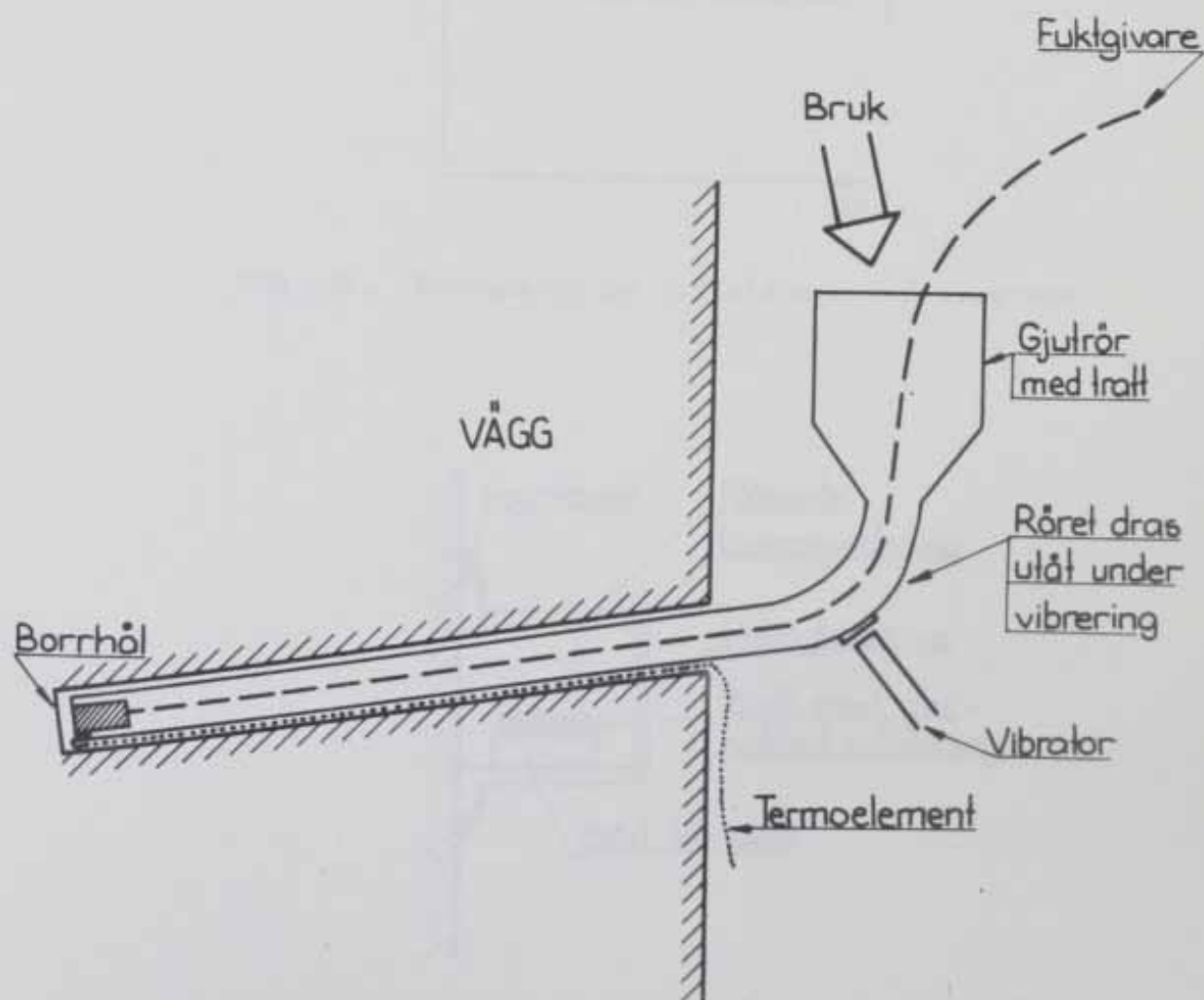


FIG. 17. Ingjutningsmetod för termoelement och fuktgivare.



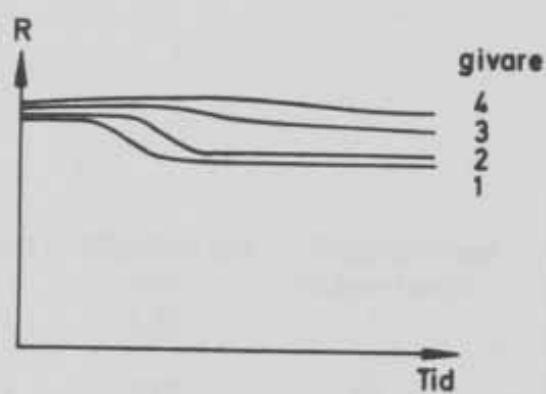
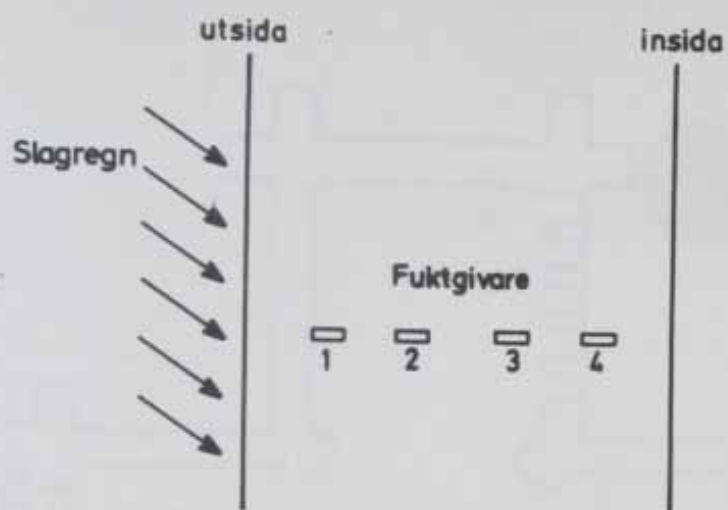


FIG. 18. Förändring av resistansen vid slagregn.



FIG. 19. Fuktkupa.

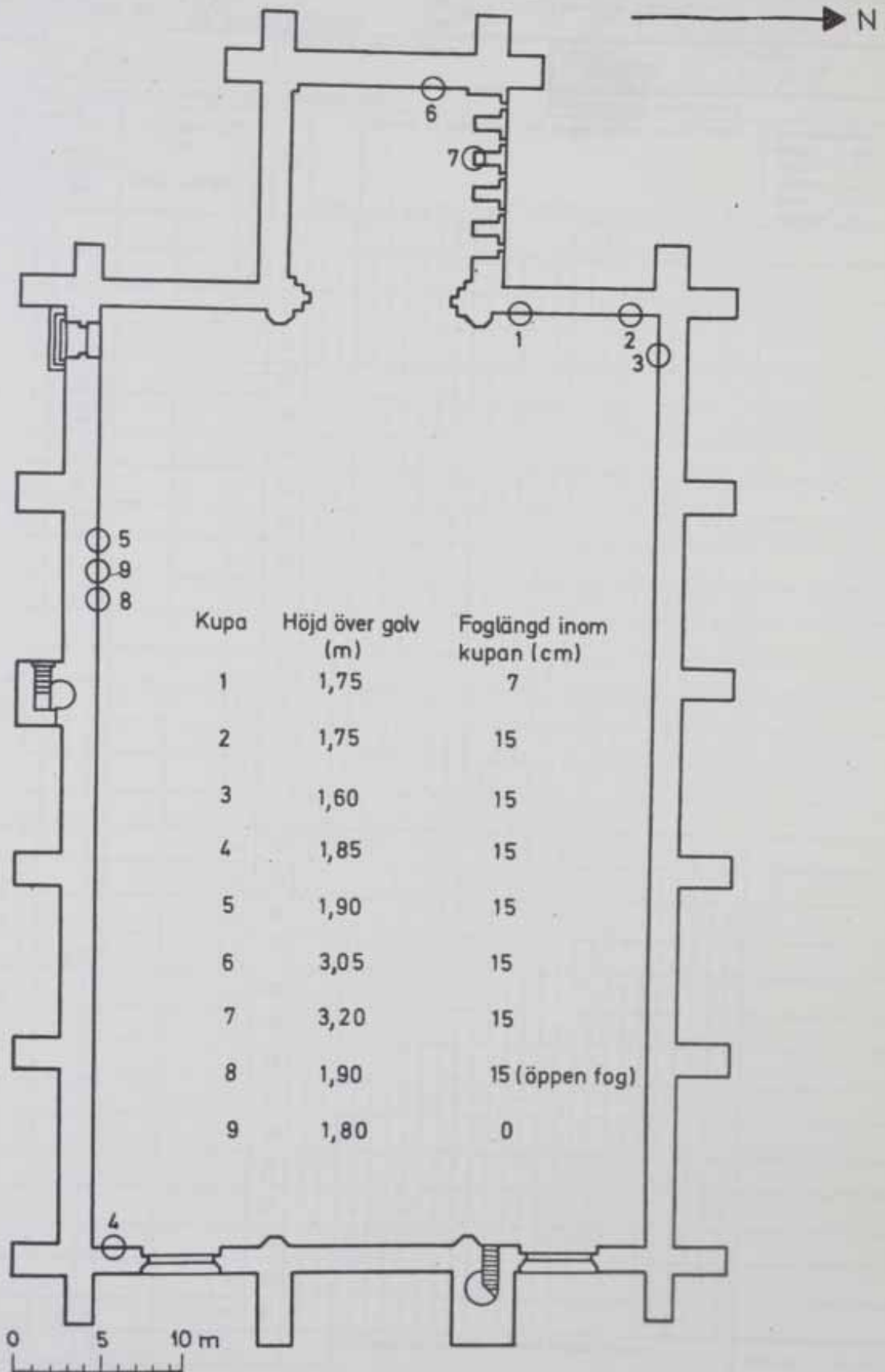


FIG. 20. Placering av fuktkupor.



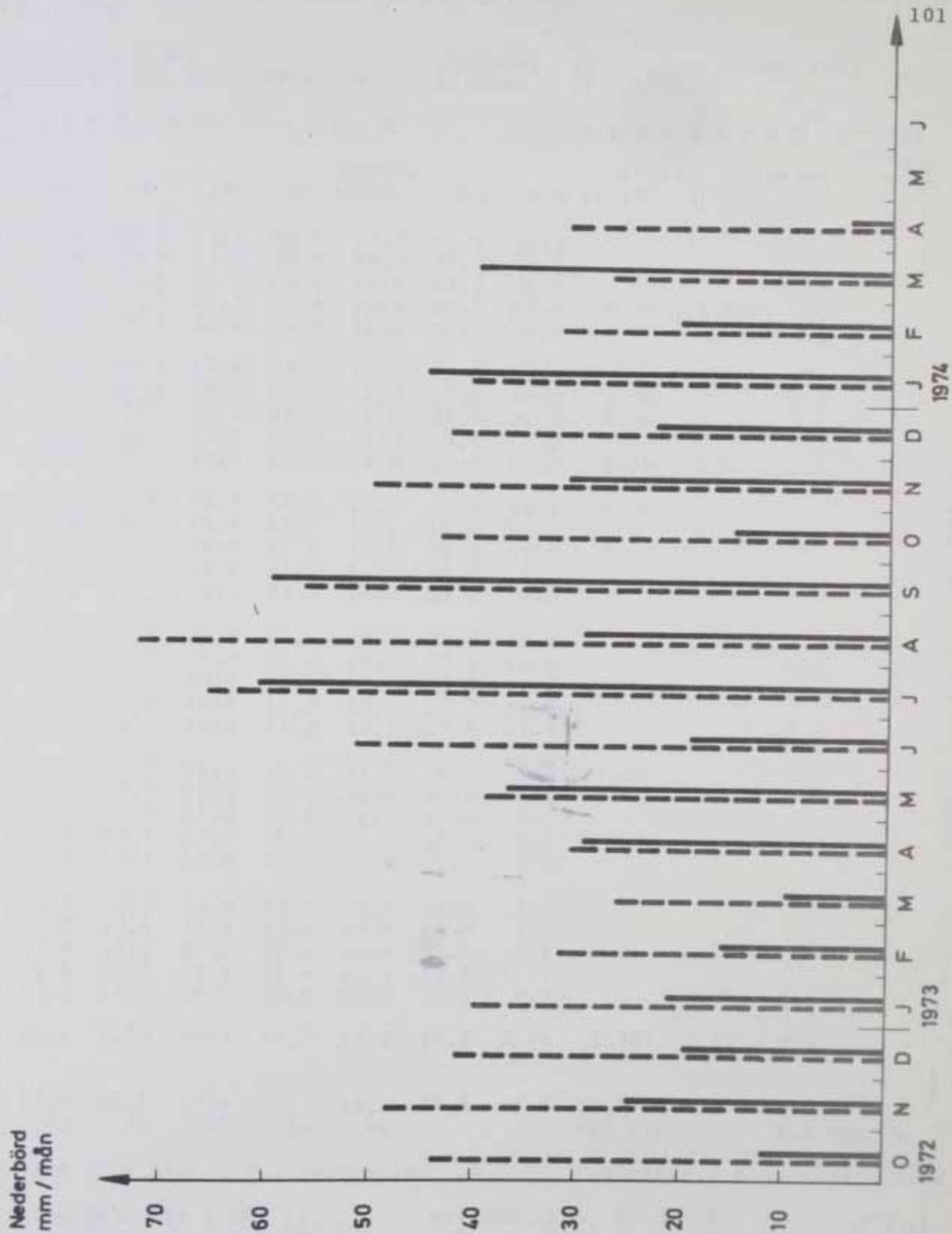


FIG. 22. Månadsnederbörd i Vadstena (heldragen) och normalmånadsnederbörd i Linköping (streckad).



3431 KARLSBORG  
POSITION: 5331 1432 HÖH: 94

SYNOPSIS: 80  
FLÖDOR: 67

ÅR: 1973 MÅN: 8

A VINDENS RIKTNING OCH TÄTHET I M/S					L U F T T R Y C K STATIONENS NIVÅ				I MB HAVSYTANS NIVÅ					
	KL 01	KL 07	KL 13	KL 19	01	07	13	19	01	07	13	19		
1	NSI	4 W	1 W	4 WSW	4	2,4	5,1	4,9	3,7	14,5	17,2	16,8	15,7	1
2	SW	2 WSW	4 WSW	5 W	4	4,9	3,6	2,7	1,5	17,1	15,7	14,5	13,3	2
3	NSI	1 S	3 S	4 E	1	2,5	1,8	1,5	98,9	14,7	13,8	13,3	10,7	3
4	SSI	2 SSW	2 SE	3 WSW	2	97,4	95,6	94,3	92,0	9,4	7,5	6,1	3,9	4
5	SSI	2 SSW	3 S	5 SSW	7	94,5	94,5	92,5	89,5	6,7	6,5	4,6	1,5	5
6	SW	4 SSW	3 SSW	4 SSW	6	94,6	95,9	94,0	91,6	6,7	8,0	5,9	3,4	6
7	SW	4 SW	4 WSW	8 WSW	3	91,0	92,4	94,3	94,2	2,8	4,4	6,2	6,1	7
8	SSI	5 WSW	5 WNW	5 W	5	91,2	89,0	94,9	97,0	3,3	1,1	7,1	9,0	8
9	NSI	4 W	6 W	5 SW	2	0,1	3,1	6,1	7,5	12,4	15,4	18,2	19,6	9
10	SSI	4 SSW	6 SSW	6 WSW	5	7,2	4,9	2,9	4,1	19,4	17,1	15,0	16,2	10
11	SW	4 WSW	4 WSW	6 WNW	3	4,5	5,3	6,3	7,4	16,7	17,5	18,2	19,4	11
12	I	3 NIF	3 SE	2 SSW	1	9,1	11,9	15,8	13,3	21,4	24,2	25,7	25,4	12
13	W	2 WSW	2 SE	3 WNW	2	14,6	15,0	15,0	14,5	26,9	27,3	27,0	26,5	13
14	NI	2 SI	1 S	3 S	2	15,1	15,6	14,9	13,3	27,5	27,9	26,7	25,2	14
15	I	2 SI	1 S	3 NW	2	14,0	14,2	13,3	11,4	26,3	26,5	25,2	23,2	15
16	W	2 W	1 S	3	0	12,0	12,0	11,1	9,3	24,2	24,2	22,9	21,1	16
17	NI	1	3 SSW	4 SSW	3	9,2	7,7	5,8	2,0	21,5	19,8	17,5	13,7	17
18	I	2 SSW	4 W	10 WSW	6	0,5	96,9	99,1	0,4	12,5	8,9	10,7	12,4	18
19	NSI	4 W	7 W	7 W	5	1,4	99,8	99,3	98,7	13,6	11,9	11,3	10,7	19
20	SW	3 SW	2 W	5 W	5	97,9	96,0	95,5	95,5	10,1	8,2	7,5	7,5	20
21	I	2 NI	6 NW	6 WNW	5	96,7	99,2	3,6	5,8	8,9	11,5	15,7	11,0	21
22	W	4 NI	6 WNW	4 WNW	2	8,3	10,1	10,2	9,3	20,7	22,6	22,5	21,6	22
23	NSI	4 SI	2 W	6 W	3	9,1	7,8	5,4	3,2	21,6	20,3	17,4	15,3	23
24	NSI	4 NI	2 NW	4 N	2	1,0	0,1	0,1	0,2	13,3	12,4	12,1	12,3	24
25	NI	3 NIF	3 NW	2 NW	2	3,5	7,1	8,0	9,0	15,9	19,6	20,1	21,2	25
26	I	2 WSW	2 WNW	2 WNW	4	10,4	10,5	9,4	7,9	23,0	22,9	21,7	20,9	26
27	I	2	0 SSE	3	0	8,9	8,9	8,9	7,0	21,3	21,3	21,0	19,1	27
28	NI	1 WIF	1 S	4	0	7,2	6,8	6,3	4,8	19,6	19,2	18,2	16,8	28
29	NI	1 WIF	4 S	4 SW	1	4,8	4,3	3,5	1,6	17,1	16,5	15,5	13,7	29
30	SW	1 WSW	1 S	3 E	1	1,4	0,0	98,8	96,4	13,6	12,2	10,3	3,4	30
31	NSI	4 SSW	3 WSW	6 SW	3	94,7	94,9	95,7	95,6	6,8	7,0	7,7	7,6	31
I	2,8	3,0	4,5	2,9	3,6	3,5	3,6	2,8	15,8	15,8	15,6	14,8		

MEDELV. AV VINDHAST 7,13,19,1 3,5

					01	07	13	19	
MAX VINDHAST					1027,5	1027,9	1027,0	1026,5	
	4	7	10	7	MIN LUFFTRYCK	1002,8	1001,1	1004,6	1001,5

VINDFÖRDELNING PÅ 8 HUVUDVINDRIKTNINGAR  
ÅRITAL FALL I 4 OCH MEDELVINDHAST I M/S

LUGNT  
4,0

FIG. 23b. Klimatdata från Karlsborg  
augusti 1973, sid 2.

1431 KARLSBORG  
POSITION: 5331 1432 HÖH: 94 SYNOPNR: 80 AR: 1973  
FLÖDOMR: 67

D	Å A I G T R Y C K				RELATIV FUKTIGHET				S I K T				MOLNMÄNGD & VÄDER VÄRDE R- (ATTONDELAR) FÖRLOPP				19-01-07-13-19
	01	07	13	19	01	07	13	19	01	07	13	19	01	07	13	19	
1	14,4	16,0	13,9	13,9	88	88	55	65	82	80	86	82	1	30	60	30	
2	11,4	13,6	15,5	12,7	78	80	55	47	80	65	70	80	1	7	20	20	
3	12,8	15,3	13,5	14,8	82	83	46	56	75	70	65	70	0	1	1	3	
4	15,8	16,3	17,0	18,7	86	84	70	94	65	65	65	65	3	7R	1	6	R R U
5	11,1	10,6	12,3	14,3	82	63	81	84	84	86	70	75	0	7	8R	4	U R R U
6	11,8	12,5	13,0	10,3	77	81	65	47	84	82	70	84	2	8	7	5	R R
7	18,6	13,1	10,5	17,9	89	84	51	91	70	80	84	84	8R	6	4	6	R R
8	12,0	12,4	11,2	10,3	80	95	85	55	84	65	84	89	7	8R	8R	1	R R R
9	9,8	10,2	10,8	11,1	76	76	55	60	89	89	89	89	0	10	30	60	R R U
10	13,4	14,3	14,7	12,9	83	92	84	69	82	65	60	82	7	8R	7	7	R R U U
11	12,3	13,5	11,7	13,8	78	81	49	67	82	84	89	89	8	5	2	6	U
12	12,0	14,1	13,1	14,0	78	88	62	68	89	80	89	89	3	60	40	20	
13	11,8	12,5	13,4	9,7	75	78	58	39	89	89	89	89	3	30	10	10	
14	12,1	12,4	12,9	12,4	90	72	50	47	89	80	88	89	0	10	10	10	
15	10,9	12,5	12,1	12,8	70	74	42	43	86	84	88	89	0	10	10	10	
16	14,2	12,3	11,3	16,0	79	66	38	57	81	75	75	80	0	10	00	10	
17	13,7	15,3	11,9	10,5	88	86	35	37	80	65	80	82	0	00	10	40	
18	15,9	14,3	10,3	10,7	83	83	44	52	83	70	88	89	5	7	20	30	RA
19	10,8	11,1	11,3	10,7	77	73	59	58	89	89	89	86	3	5	4	6	
20	10,6	10,3	9,5	8,4	81	77	50	46	89	89	89	89	4	7	40	20	
21	9,8	9,6	7,5	7,5	76	76	44	50	89	89	89	89	2	6	20	30	R
22	7,8	7,2	6,8	6,5	65	64	45	42	89	89	89	89	1	4	6	2	
23	8,5	3,3	6,2	6,8	79	77	31	38	89	89	89	89	0	5	40	10	
24	10,8	10,3	7,1	8,1	88	86	35	47	82	70	89	89	0	20	30	40	
25	7,7	6,3	8,3	7,5	64	60	46	47	89	89	89	89	0	10	20	10	
26	7,9	7,5	7,2	7,4	84	63	35	38	89	89	89	85	0	1	6	4	
27	9,1	11,1	13,6	12,9	75	88	72	65	89	86	86	80	0	4	5	1	
28	11,3	11,7	14,7	10,9	92	94	62	52	82	80	75	80	0	00	10	10	
29	12,3	13,4	16,5	14,9	90	87	84	94	70	65	60	60	0	5	5	5	P
30	12,7	12,7	12,4	14,7	87	88	70	84	70	65	75	65	7	7	7	8	P R
31	14,0	13,0	12,3	8,9	90	88	65	53	60	80	86	89	8R	7	5	1	R R U U
I	11,8	12,2	11,7	11,7	81	80	56	57						2,4	4,3	3,6	3,2

MEDEL IOLMÄTNING 7,13,19: 3,7 46% AVVIKELSE %

MAX Å IGTÖYCK 18,6 16,3 17,0 18,7  
MIN Å IGTÖYCK 7,7 6,3 6,2 6,5

REL.FUKT, = 00 BETYDER 100 %

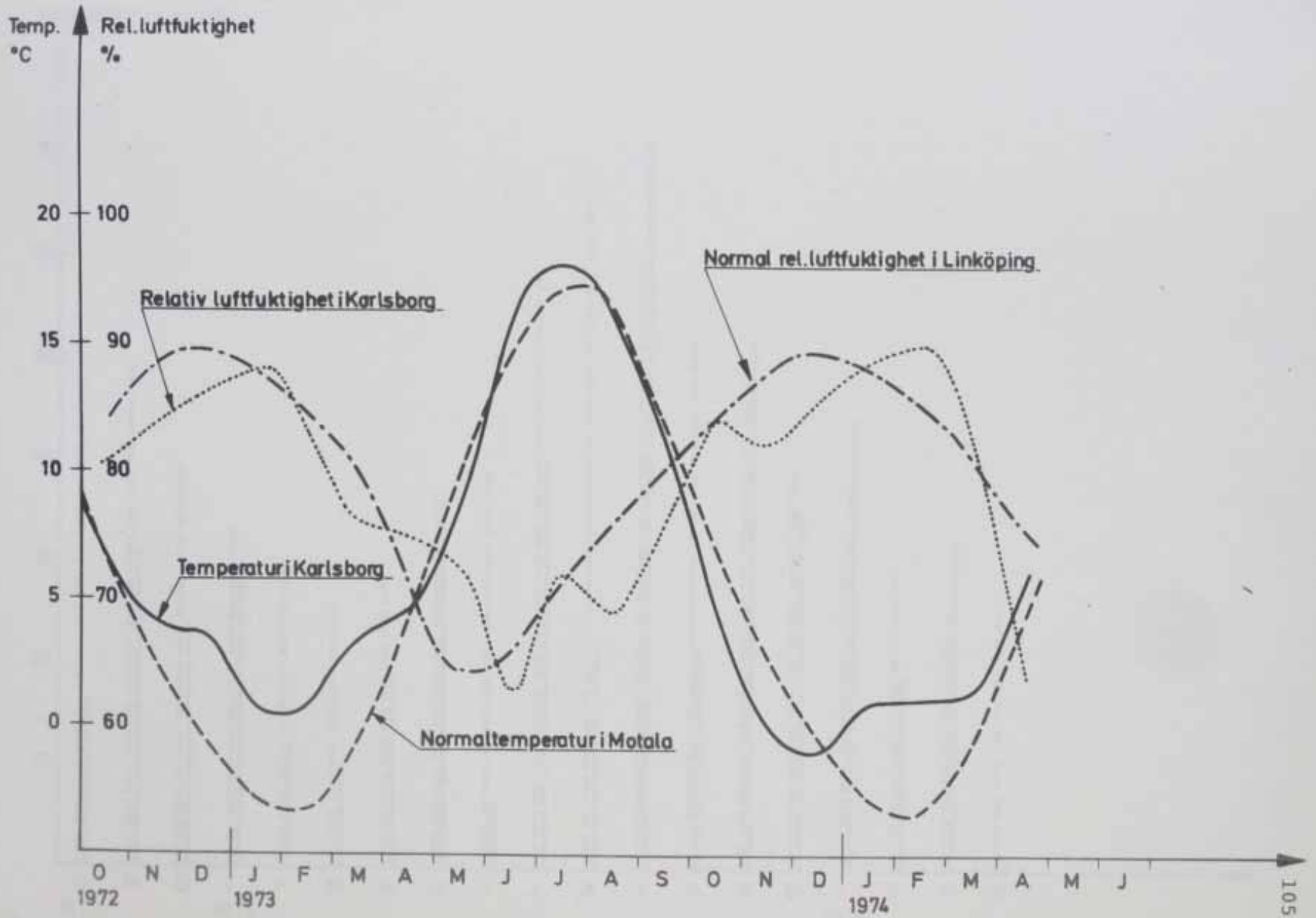
MAX REL.FUKT 92 95 85 94  
MIN REL.FUKT 64 60 31 37

ANTAL FALL I FÖR ÅSKA DIMMA KLART MULET  
1 0 0 0

E=REGNBÅGE F=RIFFROST G=DAGG  
M=SMÅHAGEL N=VORRSKÖV O=SOLSKEN  
T=TORRDIS U=REGNSKIV V=DIMFROST  
A=ÅSKA X=REGNILL, SNÖRY

FIG. 23c. Klimatdata från Karlsborg  
augusti 1973, sid 3.

FIG. 24. Temperatur och relativ luftfuktighet för Karlsborg samt normaltemperatur för Motala och normal relativ luftfuktighet för Linköping.





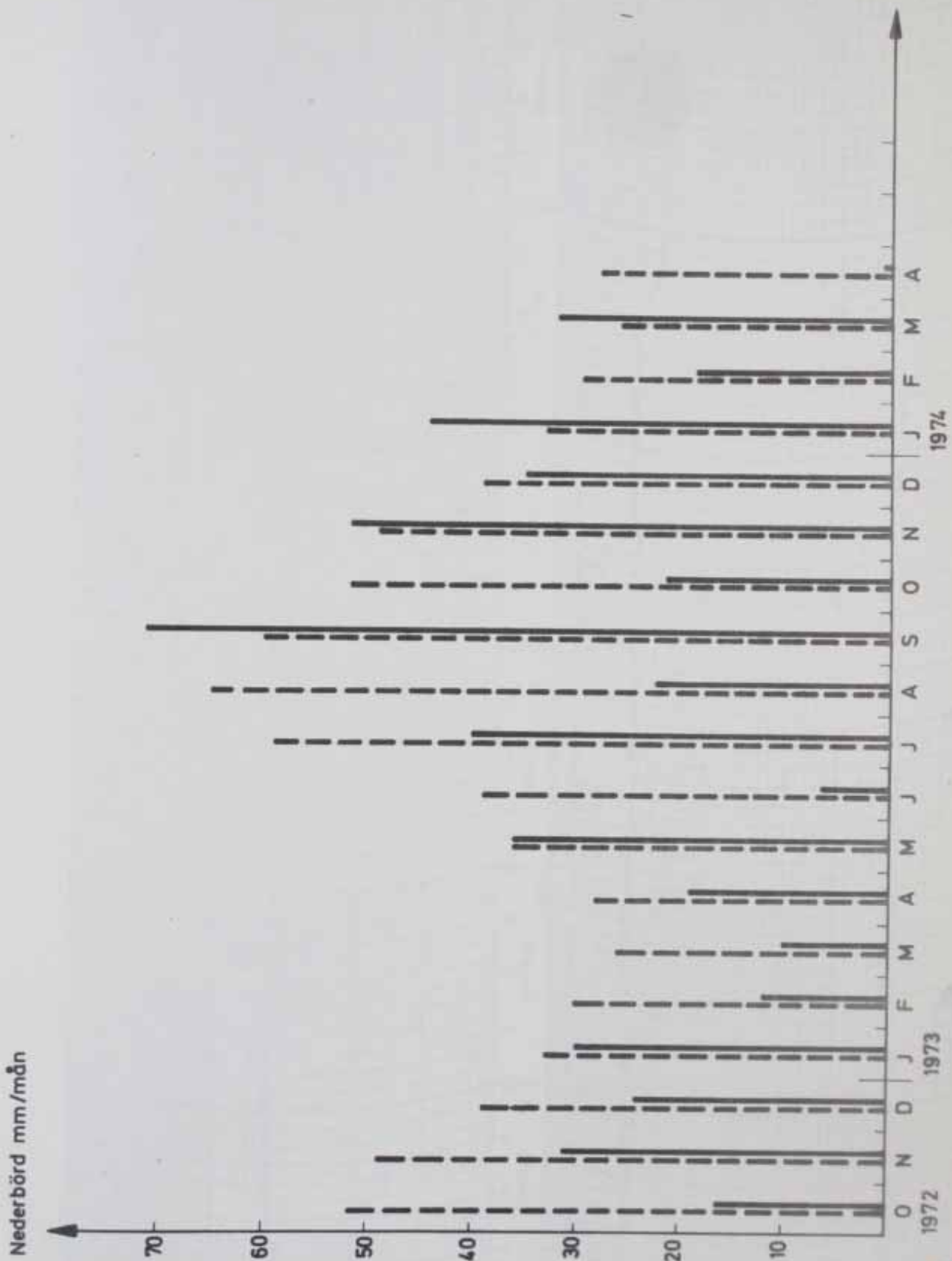


FIG. 25. Månadsnederbörd (heldragen) och normalmånadsnederbörd (streckad) i Karlsborg.

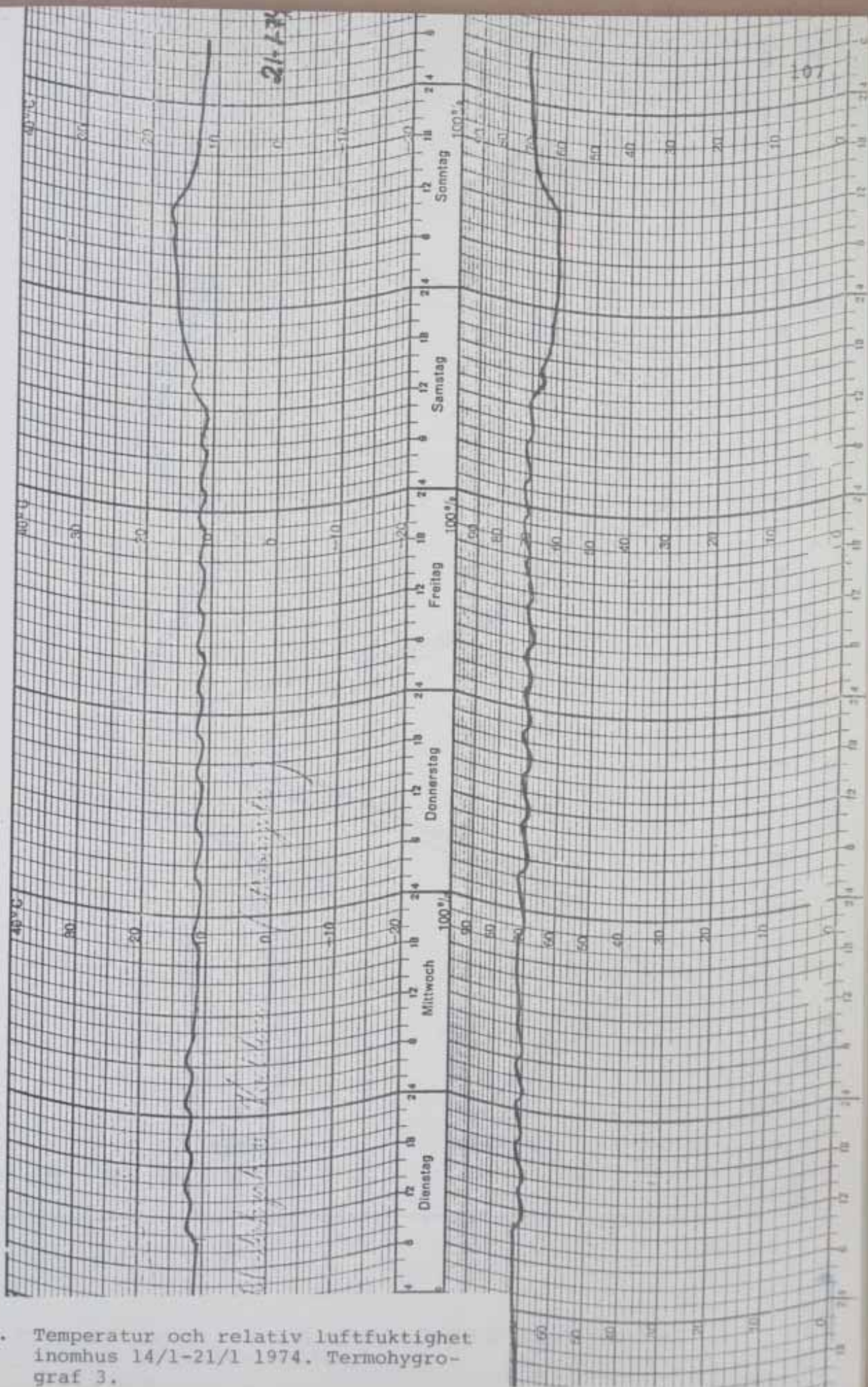


FIG. 26. Temperatur och relativ luftfuktighet inomhus 14/1-21/1 1974. Termohygrograf 3.

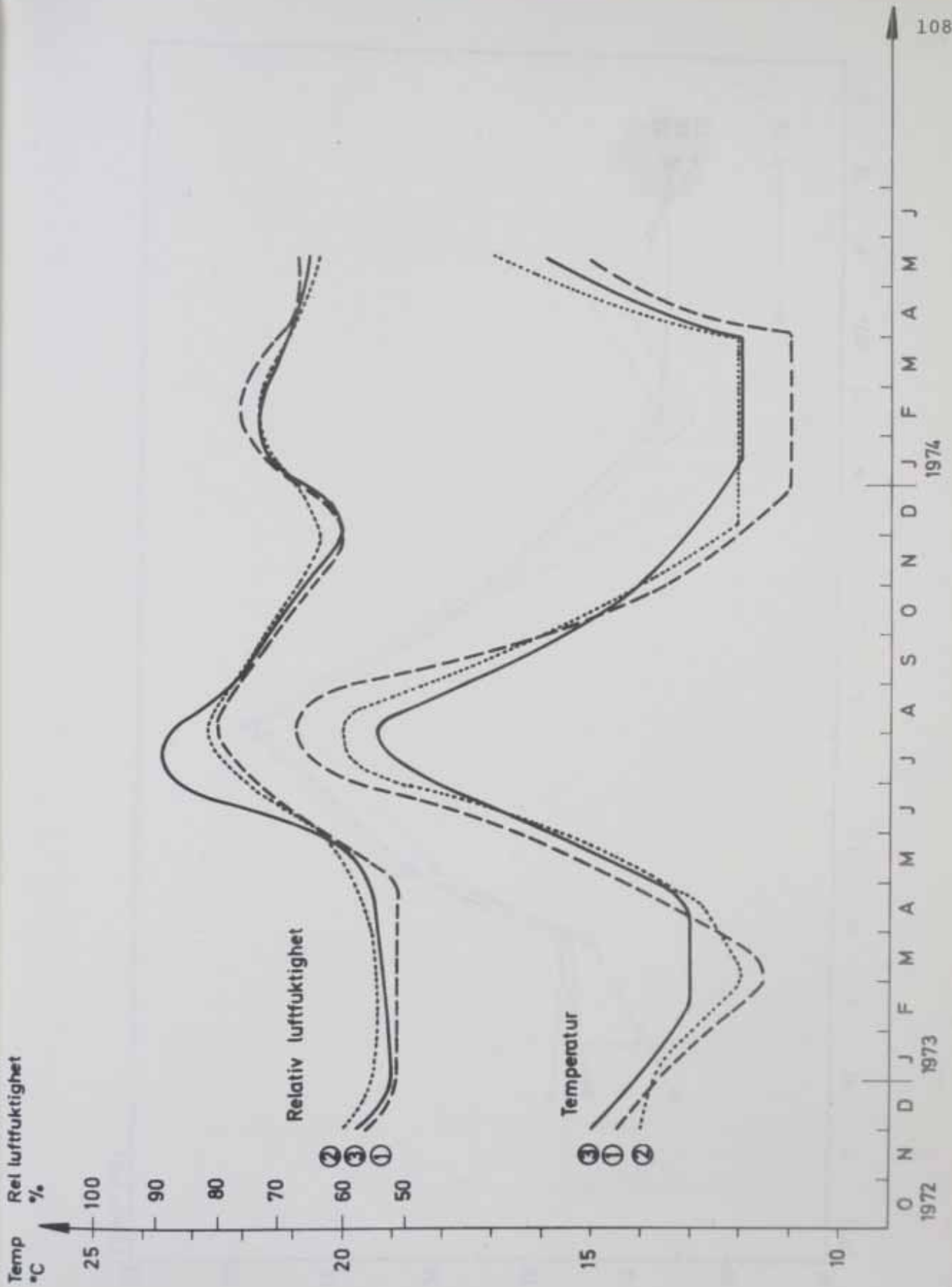


FIG. 27. Temperatur och relativ luftfuktighet inomhus. Mätpunkter enligt fig 5.

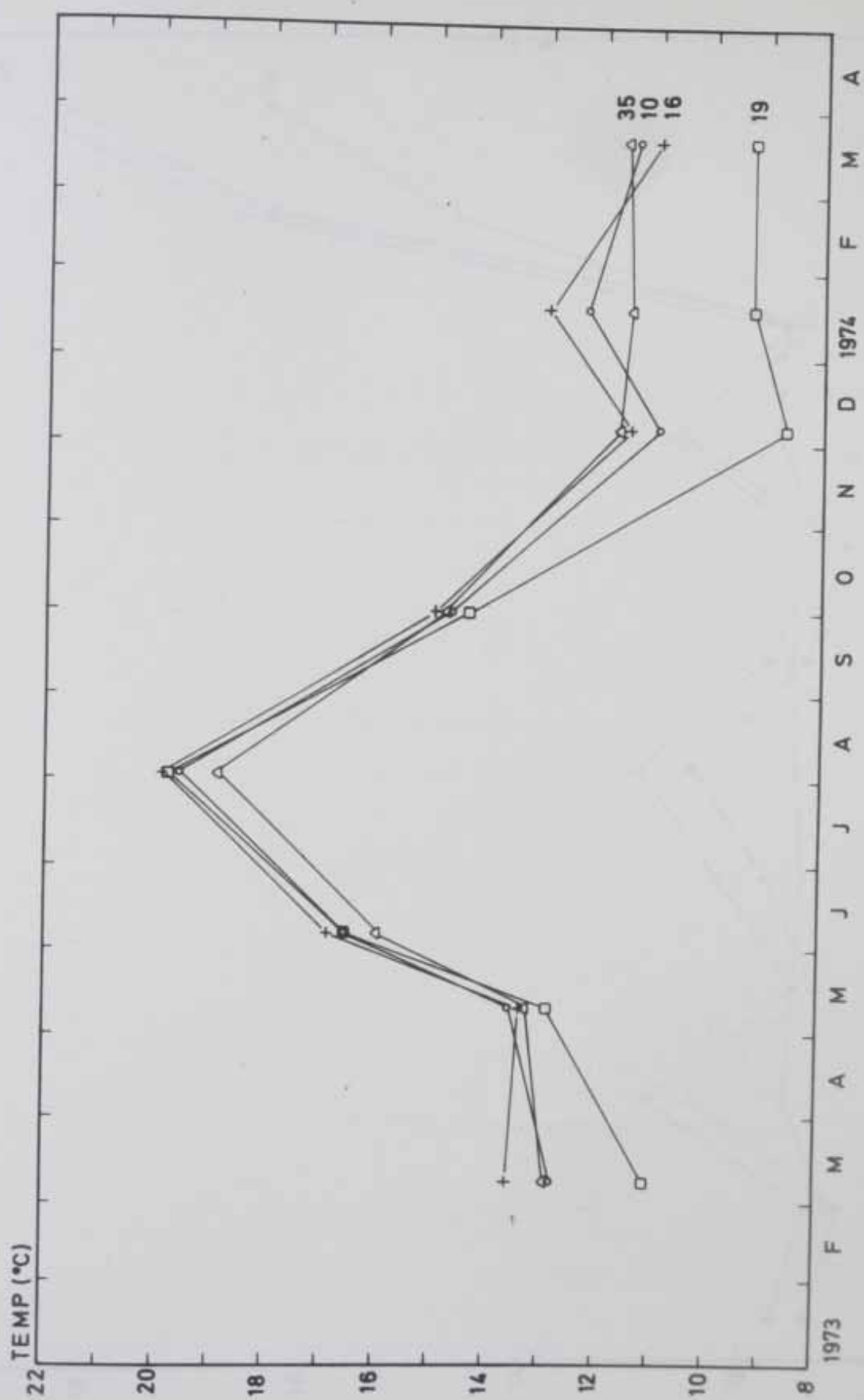


FIG. 28. Temperaturmätningar inomhus med termoelement. Mätpunkter enligt fig 6.

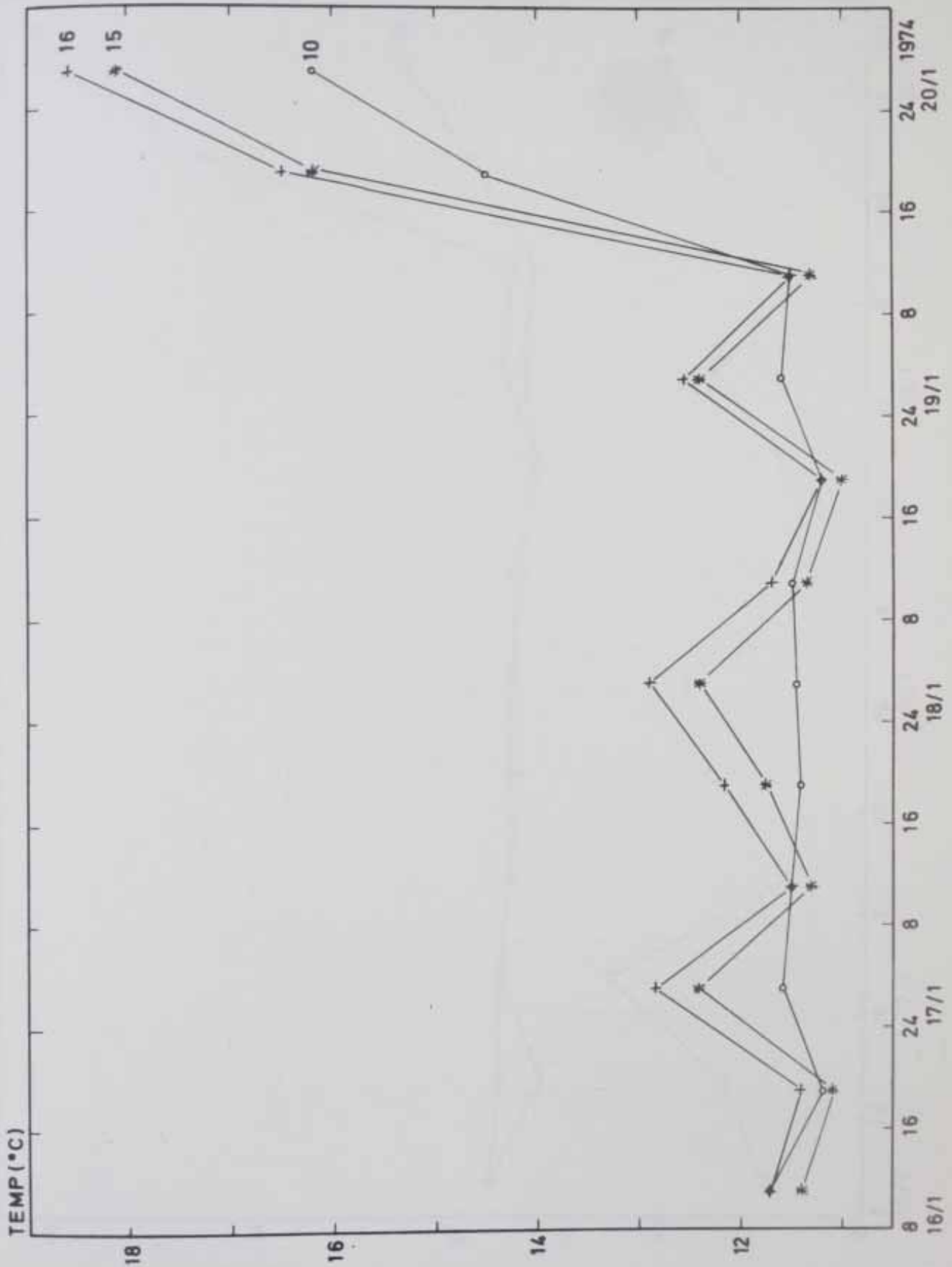


FIG. 29a . Temperaturmätningar i luften inomhus med termoelement.  
16/1 0800-20/1 0800 1974. Mätpunkter enligt fig 6.

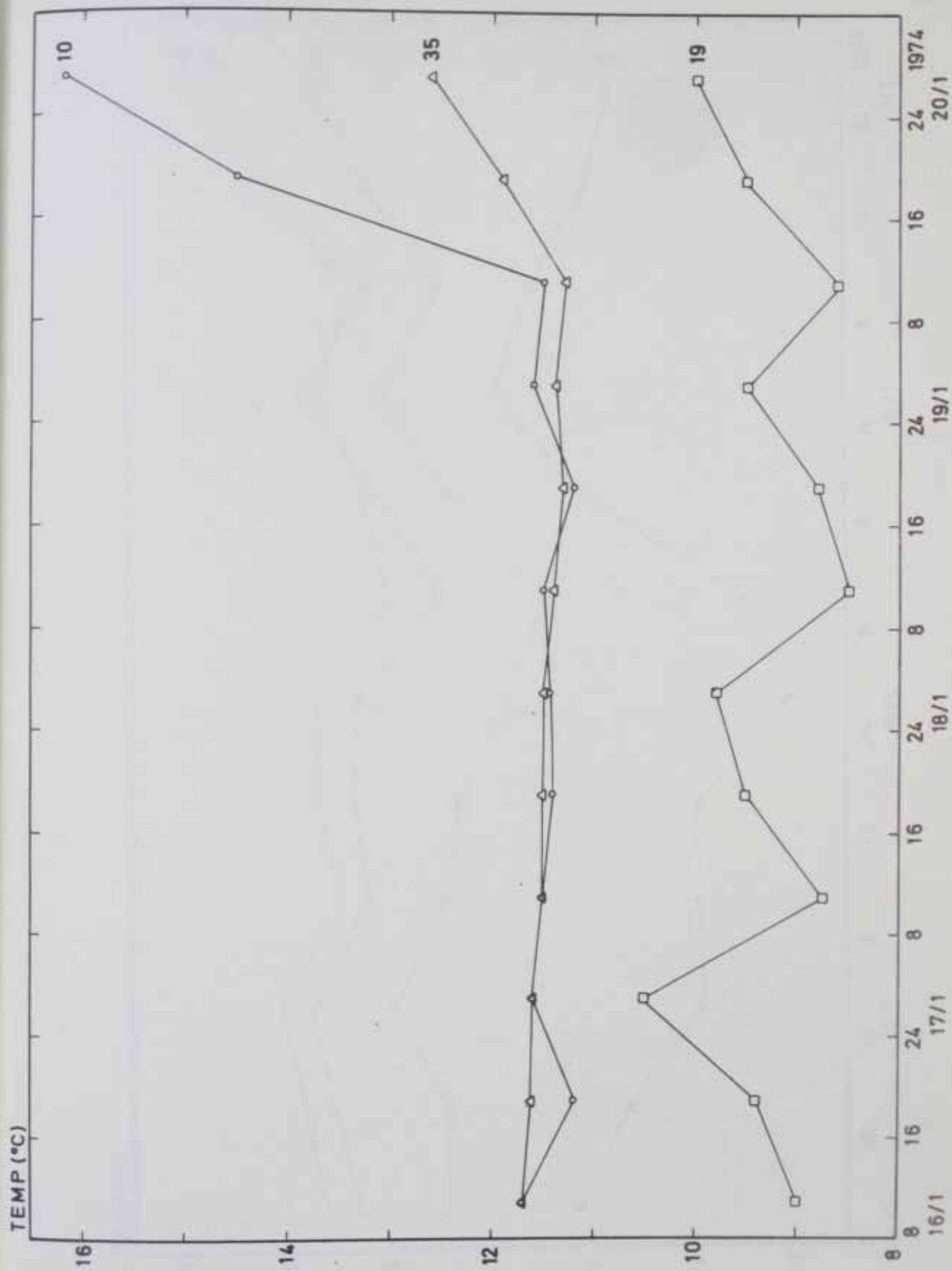


FIG. 29b. Temperaturmätningar på golv och över tak inomhus med termoelement. 16/1 0800-20/1 0800 1974. Mätpunkter enligt fig 6.

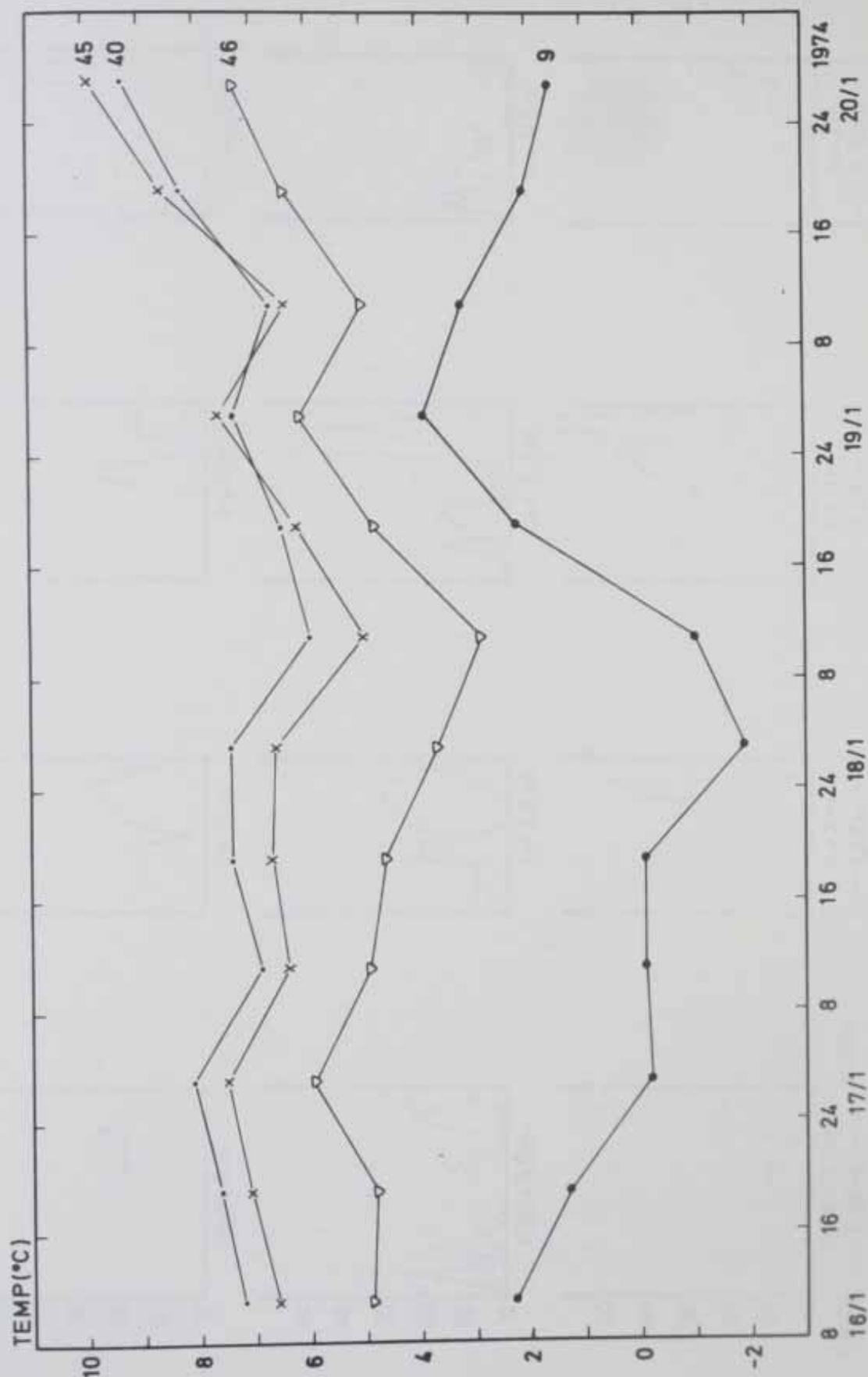


FIG. 29c. Temperaturmätningar vid fönster inomhus med termoelement.  
16/1 0800-20/1 0800 1974. Mätpunkter enligt fig 6.

FIG. 30a-d. Fuktkvoter bestämda på borrhjöl. Sektionernas läge enligt fig 14.

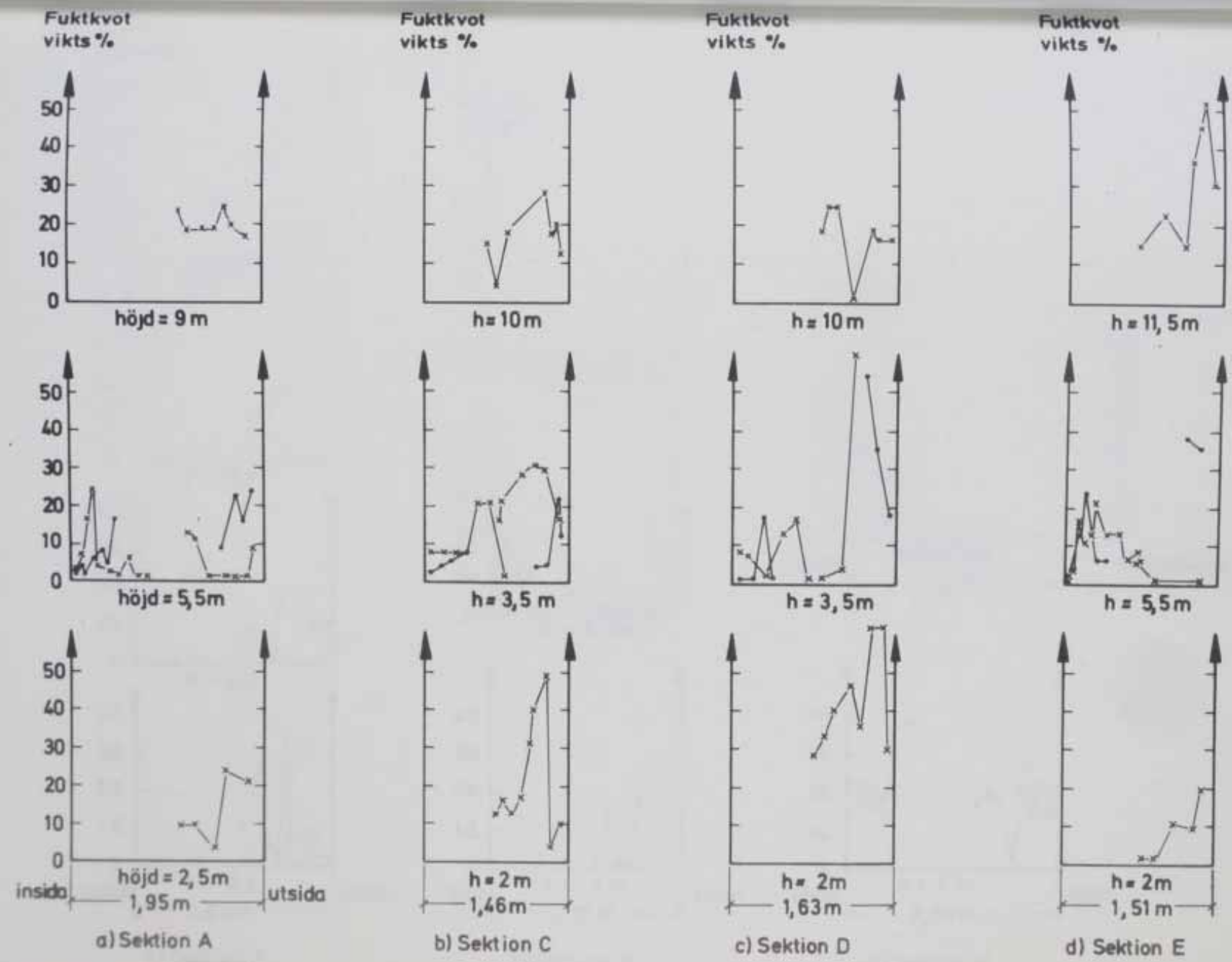
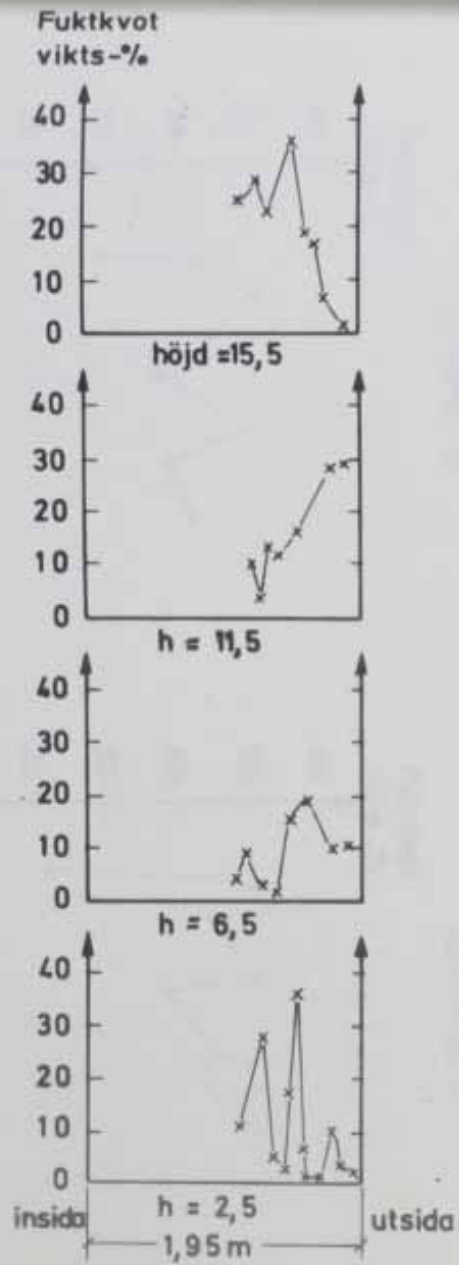
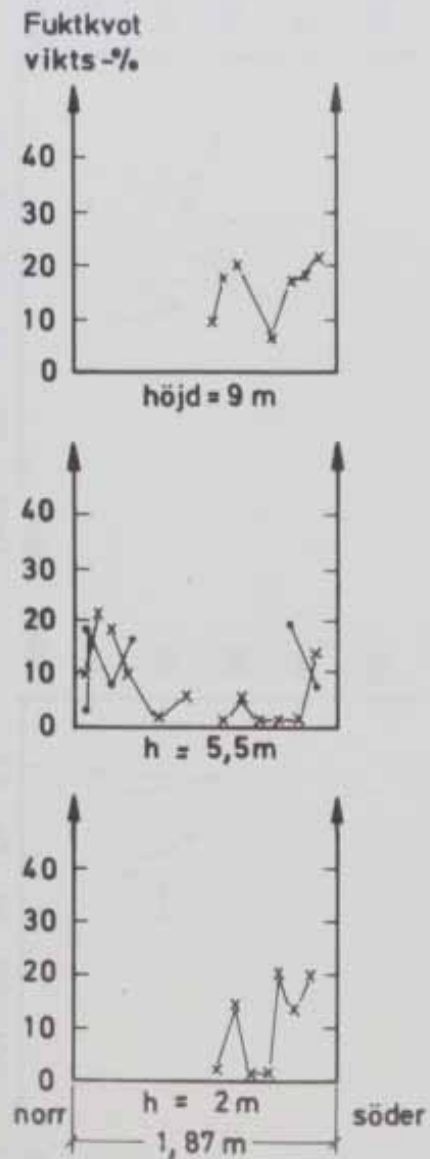




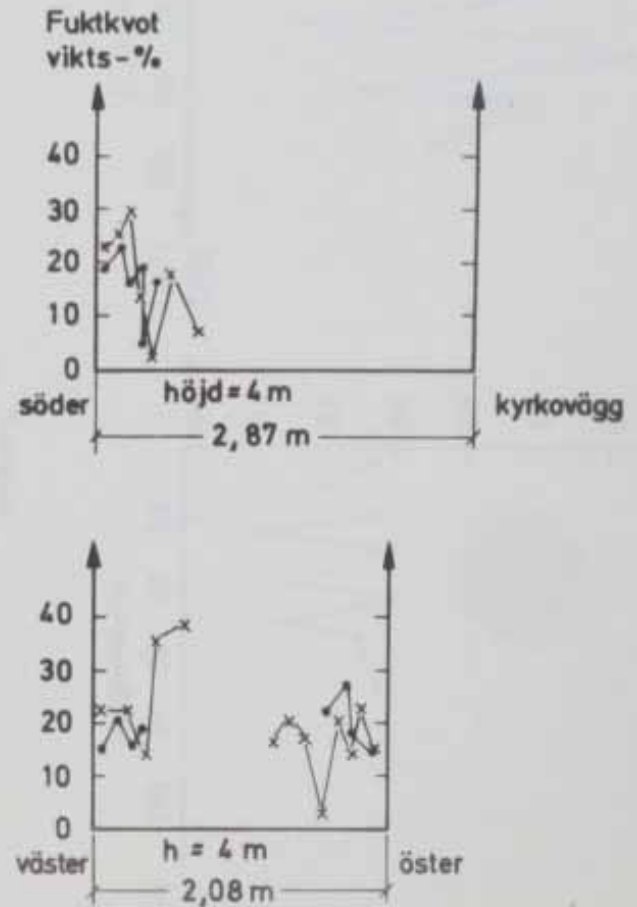
FIG. 30e-g. Fuktkvoter bestämda på borrhjöl. Sektionernas läge enligt fig 14 och 9.



e) Sektion F



f) Sektion B



g) Sektion H

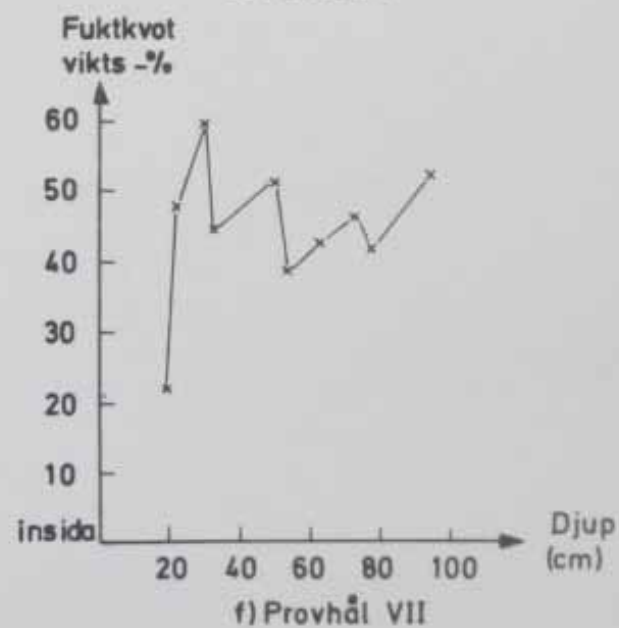
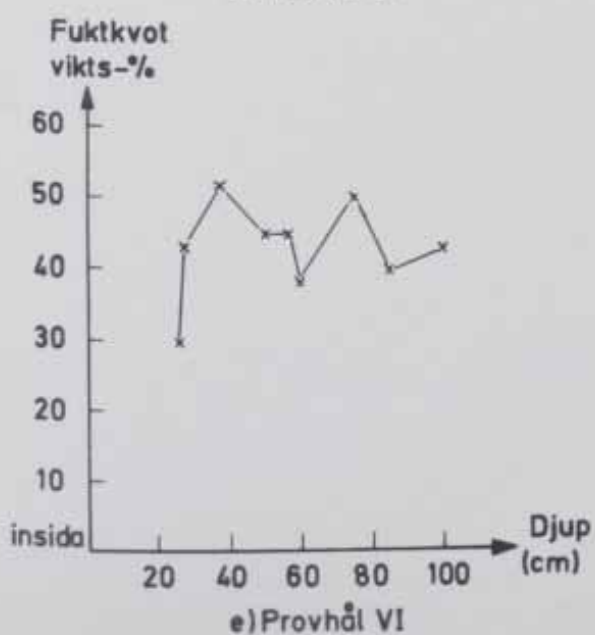
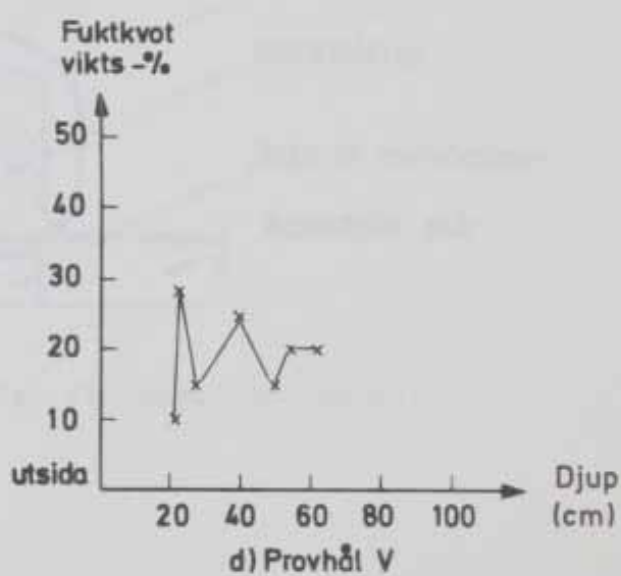
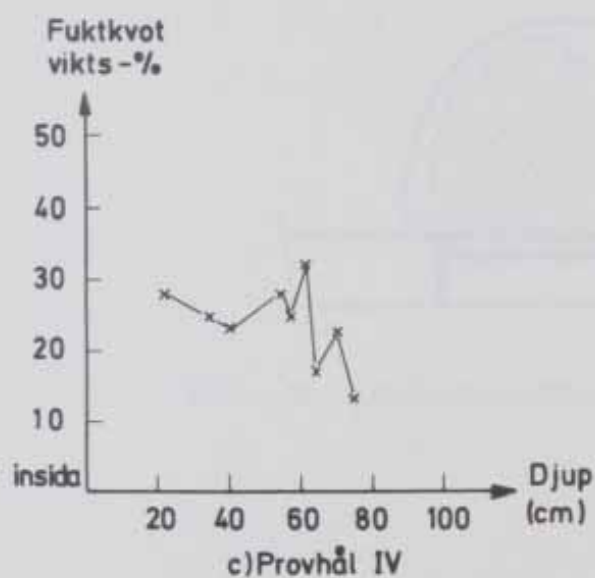
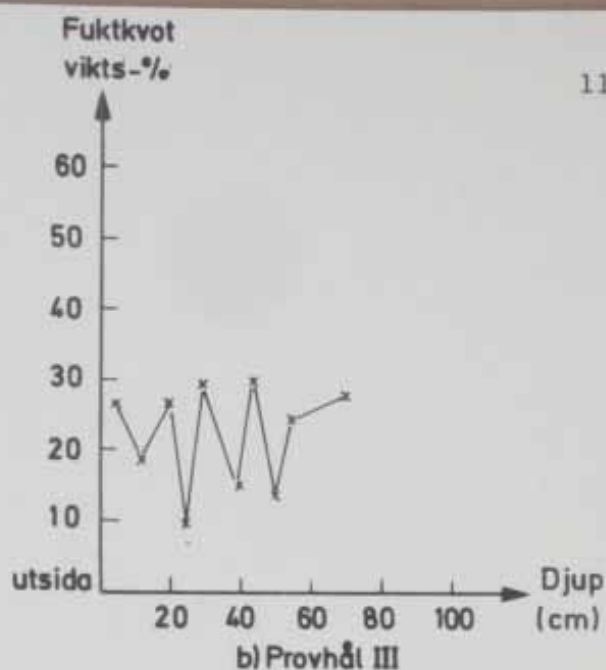
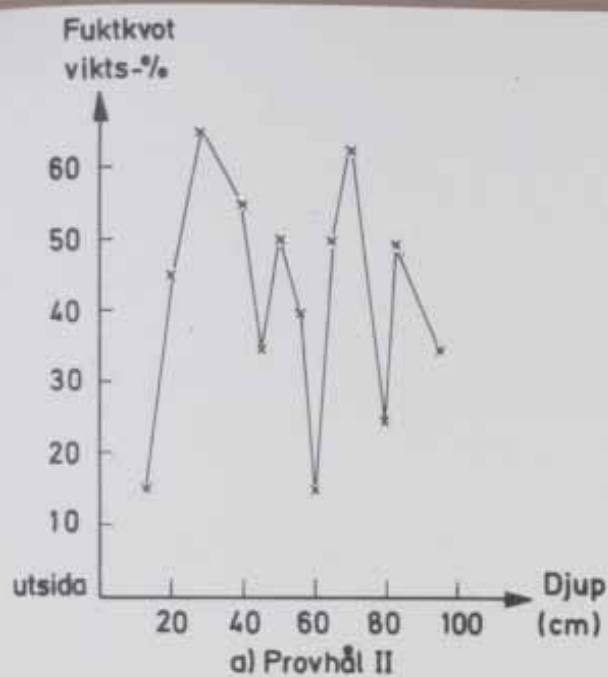


FIG. 31a-f. Fuktkvoter bestämda på hela materialbitar. Placering enligt fig 9.

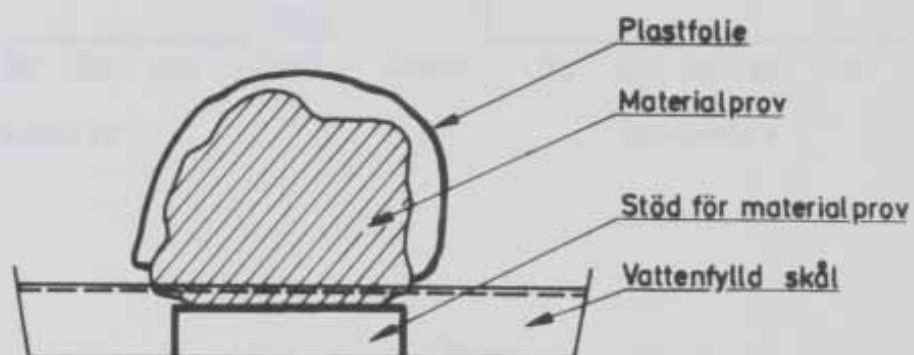
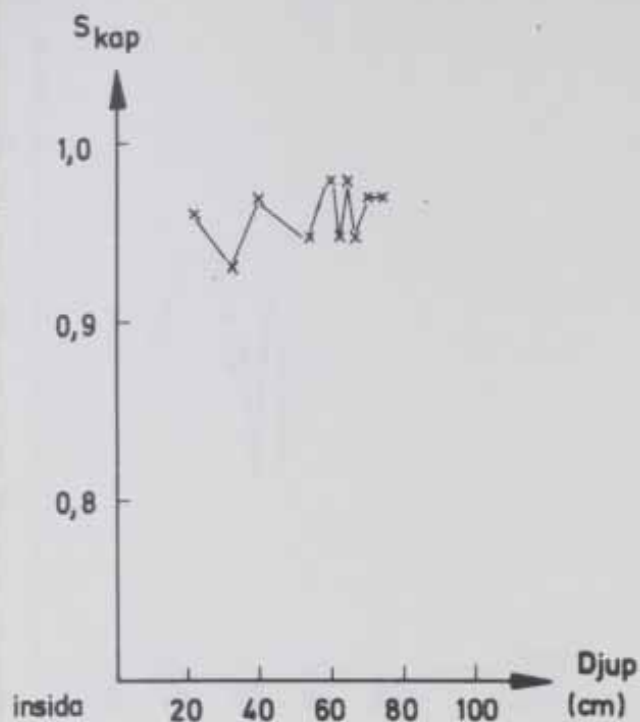
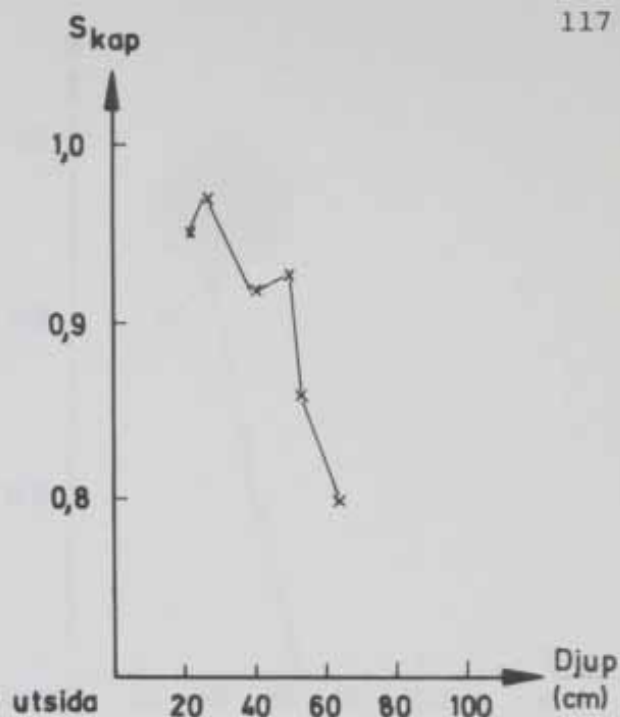


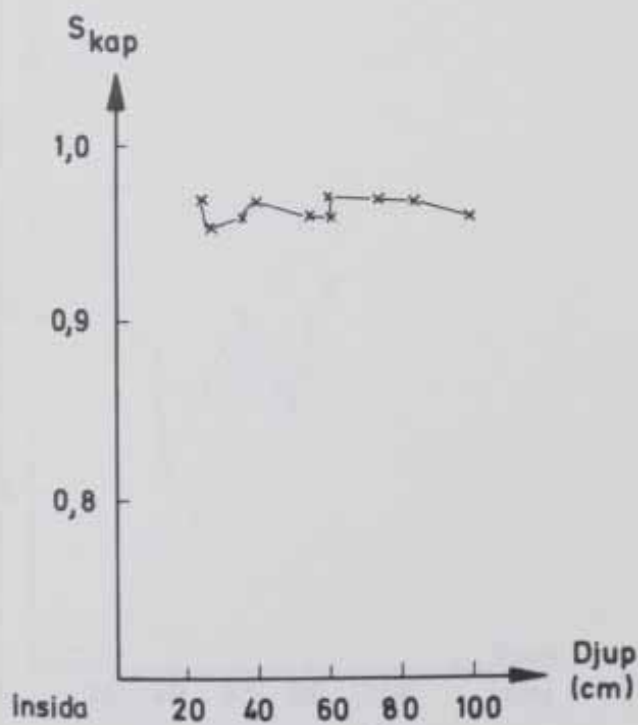
FIG. 32. Principutförandet vid kapillärsugning.



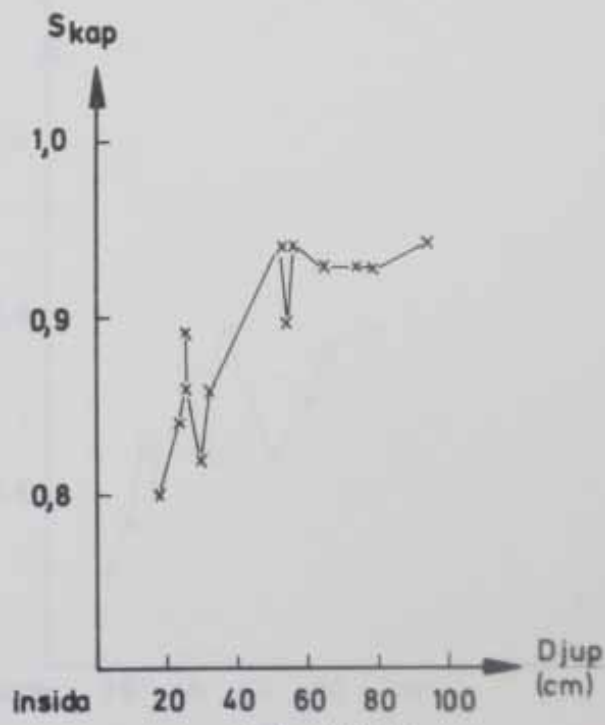
a) Provhål IV



b) Provhål V

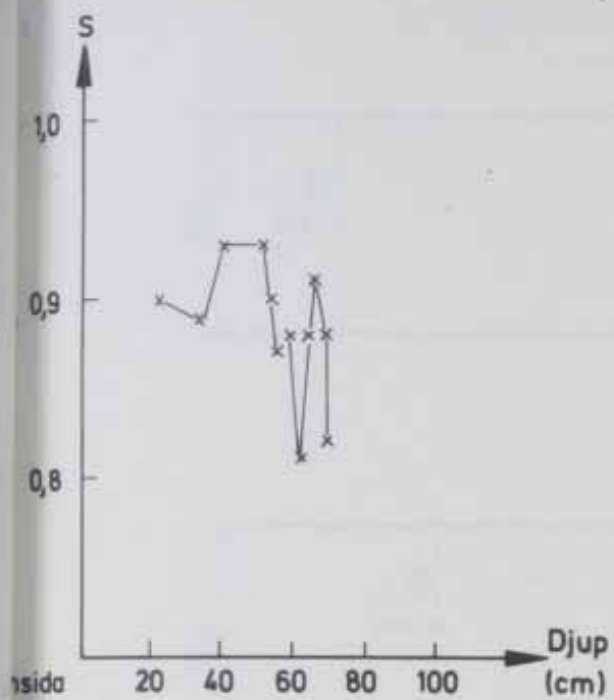


c) Provhål VI

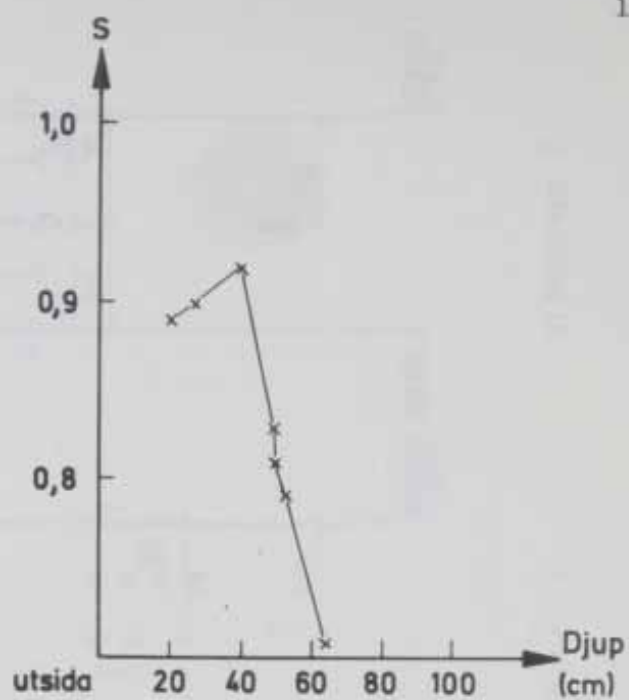


d) Provhål VII

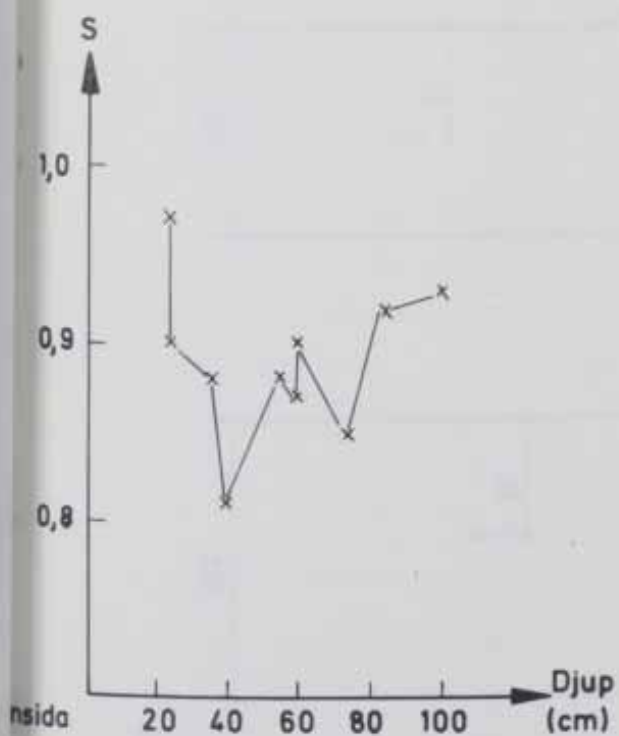
FIG. 33a-d. Kapillära vattenmättnadsgrader  $s_{kap}$ . Placering enligt fig 9.



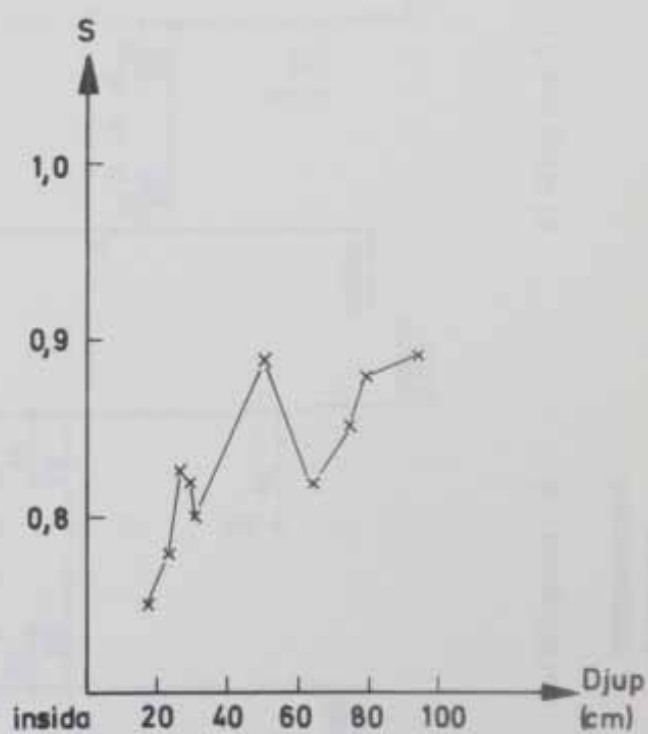
a) Provhål IV



b) Provhål V

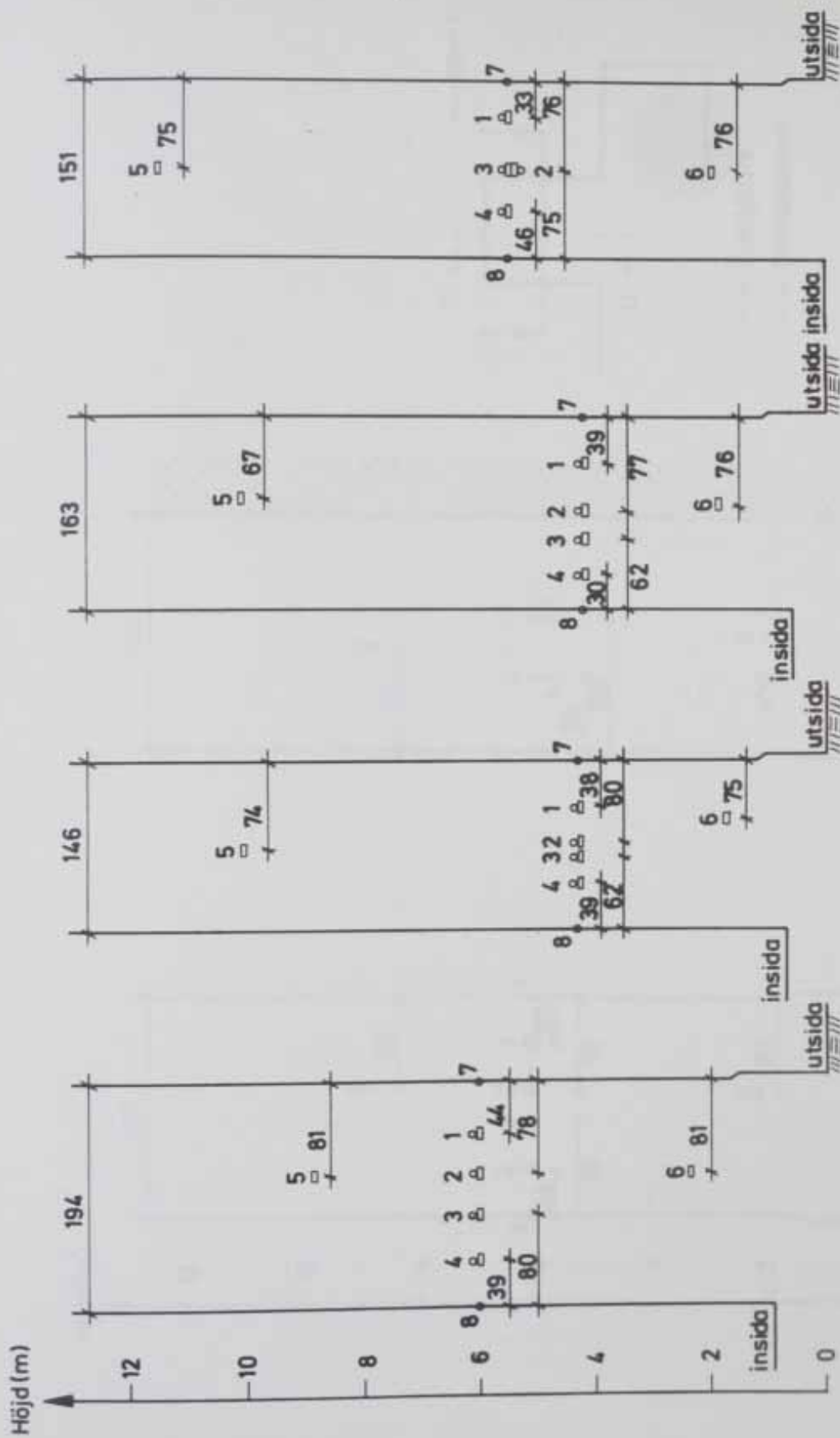


c) Provhål V



d) Provhål VII

FIG. 34a-d. Vattenmättnadsgrader, s.  
Placering enligt fig 9.



d) Mätgrupp E

c) Mätgrupp D

b) Mätgrupp C

a) Mätgrupp A

○ termoelement  
 □ fuktgivare

FIG. 35a-d. Fuktgivarens och termoelementens placering i mätgrupp A, C, D, E. Vertikala snitt.

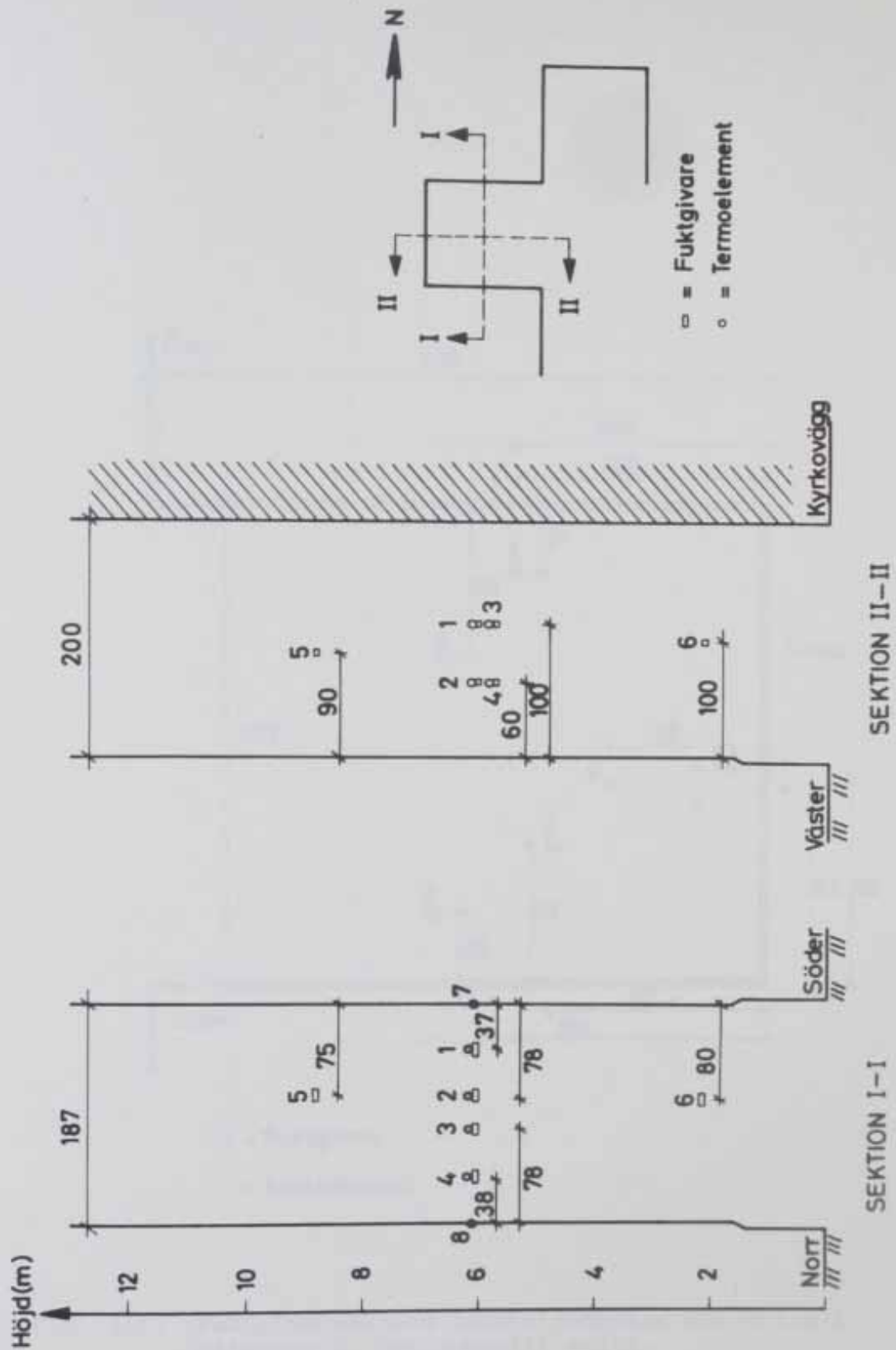


FIG. 35e. Fuktgivarnas och termoelementens placering i mätgrupp B.

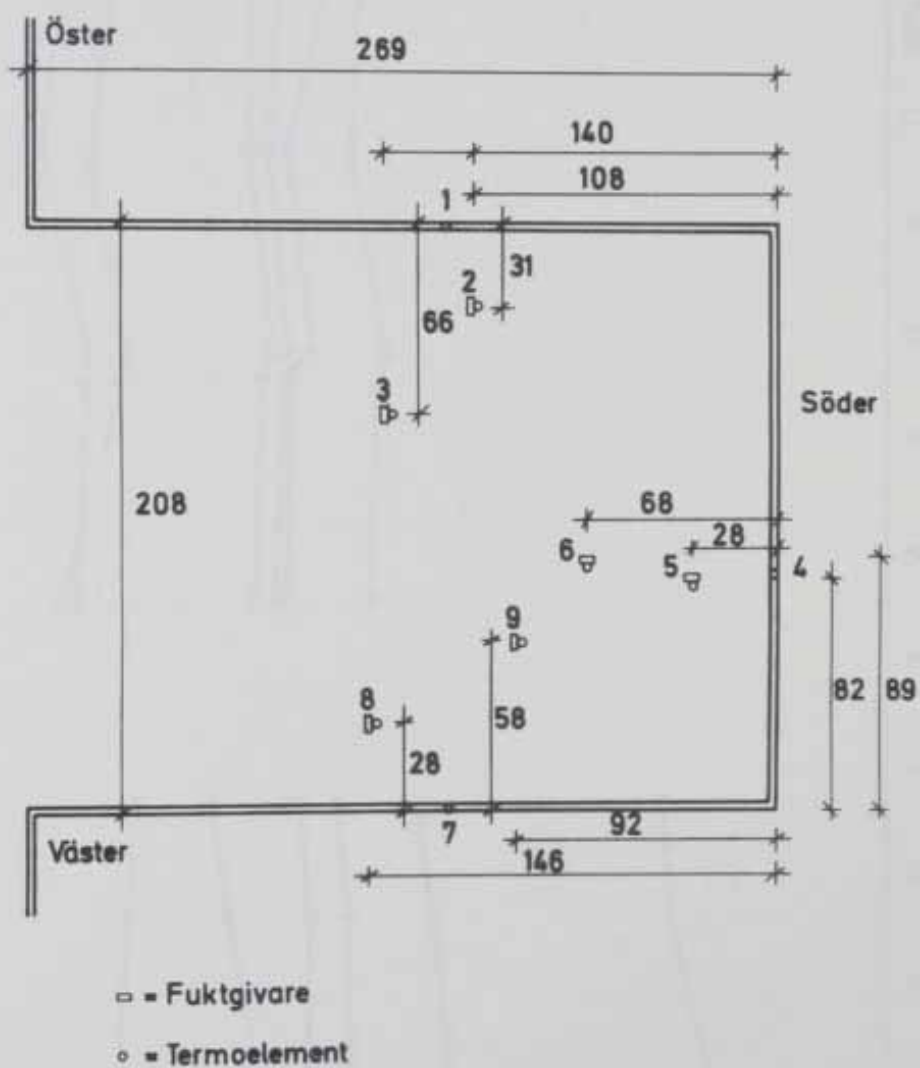


FIG. 35f. Fuktgivarnas och termoelementens placering i mätgrupp H. Horisontellt snitt. Samtliga givare sitter ca 3,70 m högt.



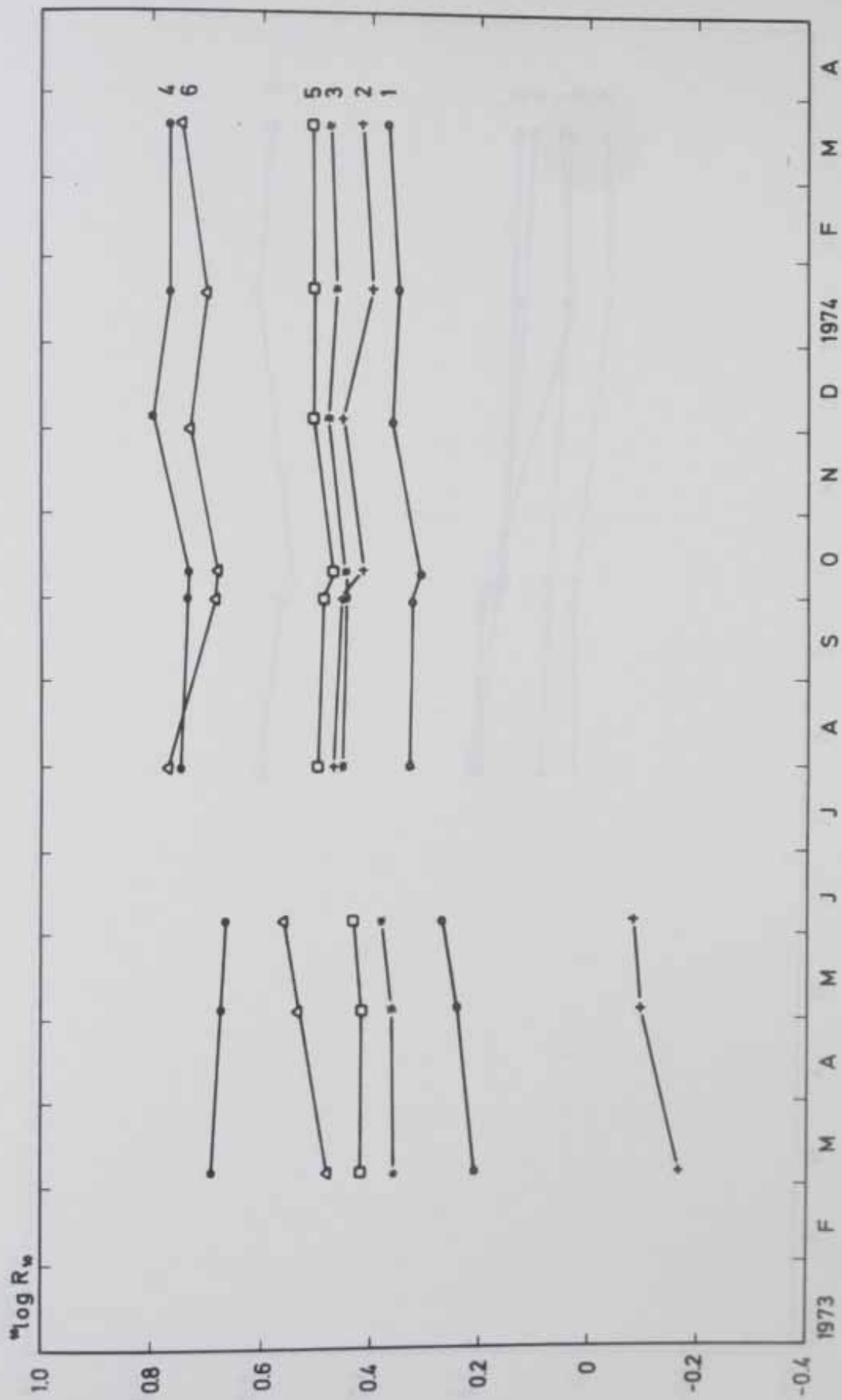


FIG. 36a. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp A.

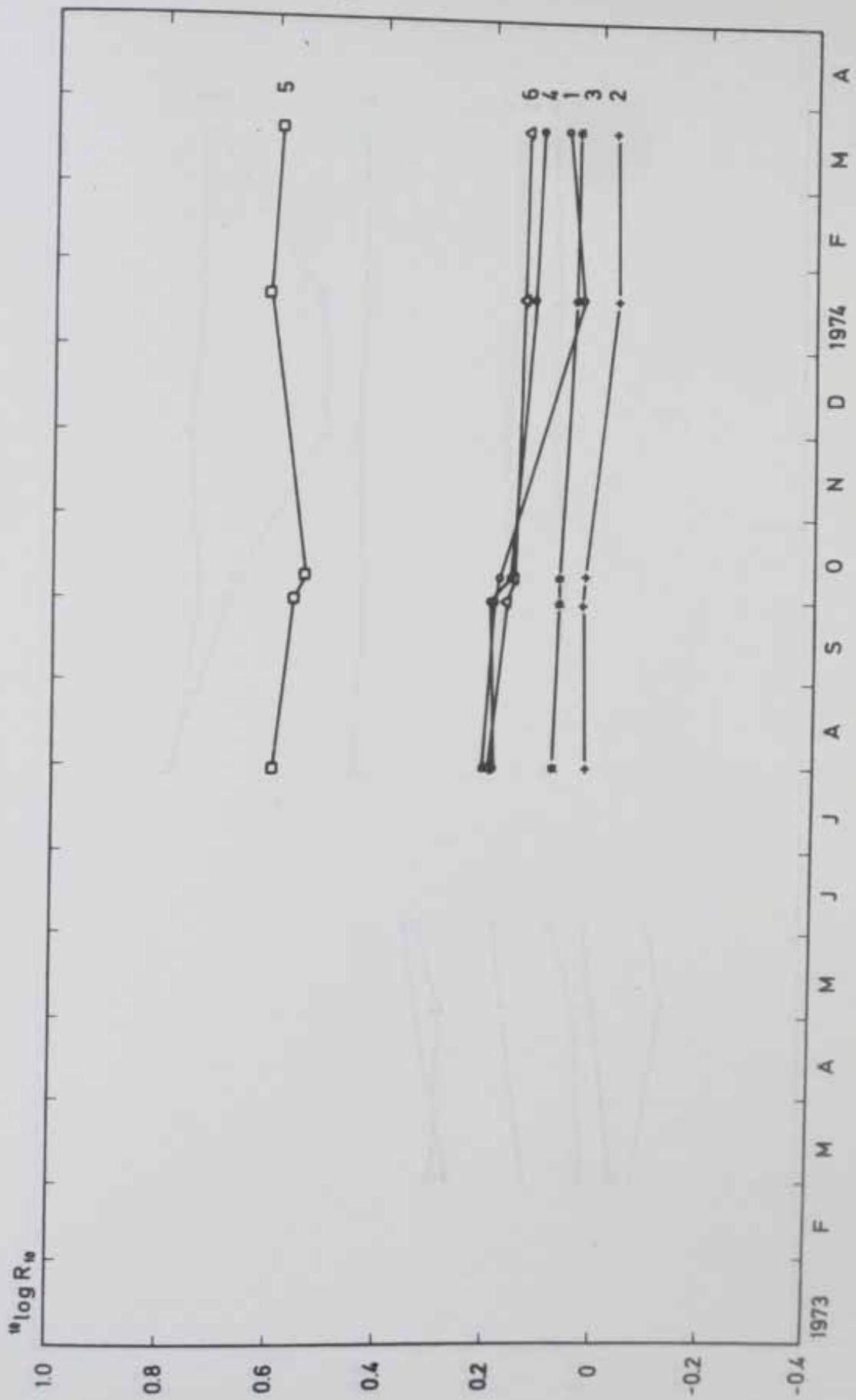


FIG. 36b. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp B.

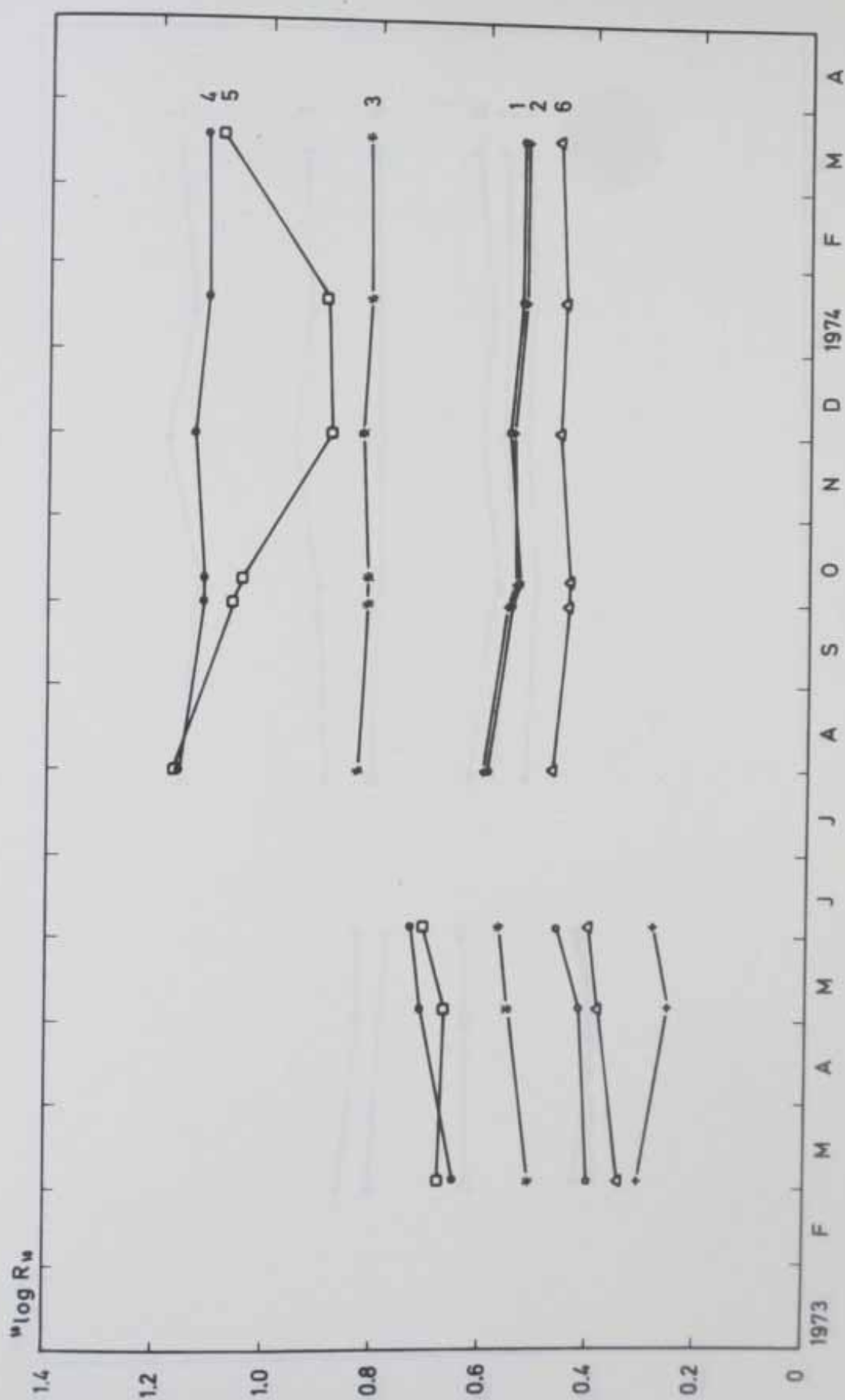


FIG. 36c. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp C.

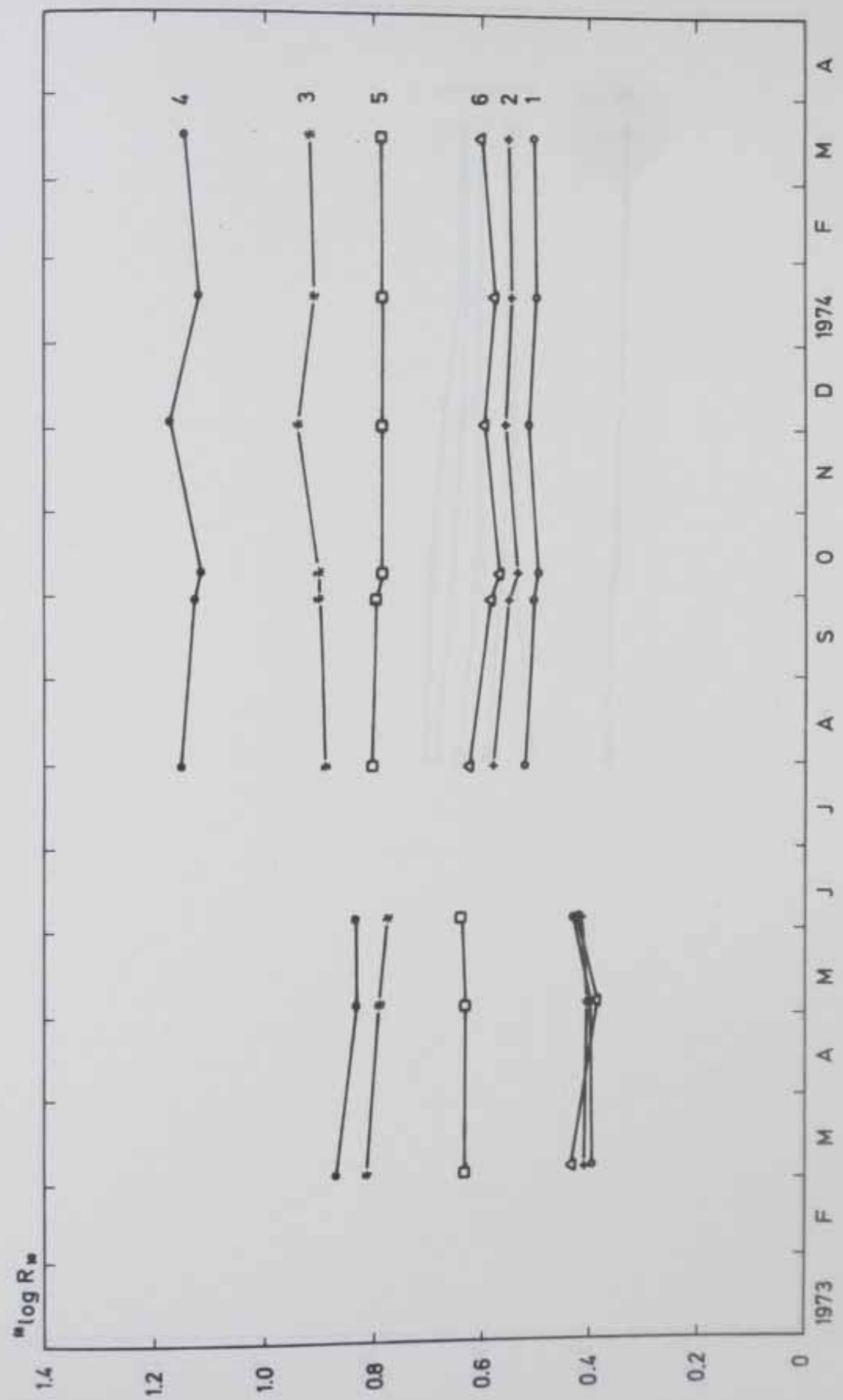


FIG. 36d. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp D.

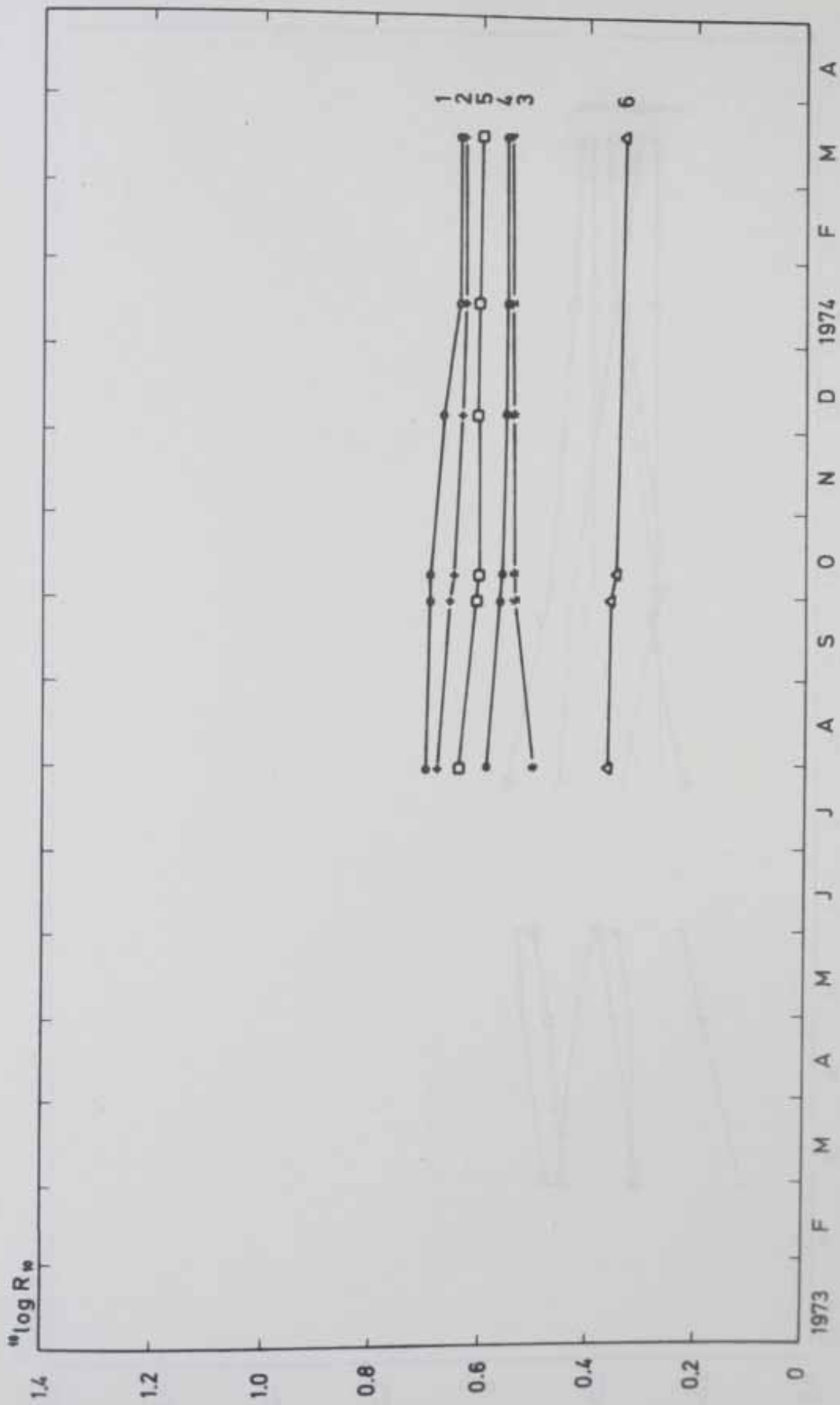


FIG. 36e. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp E.

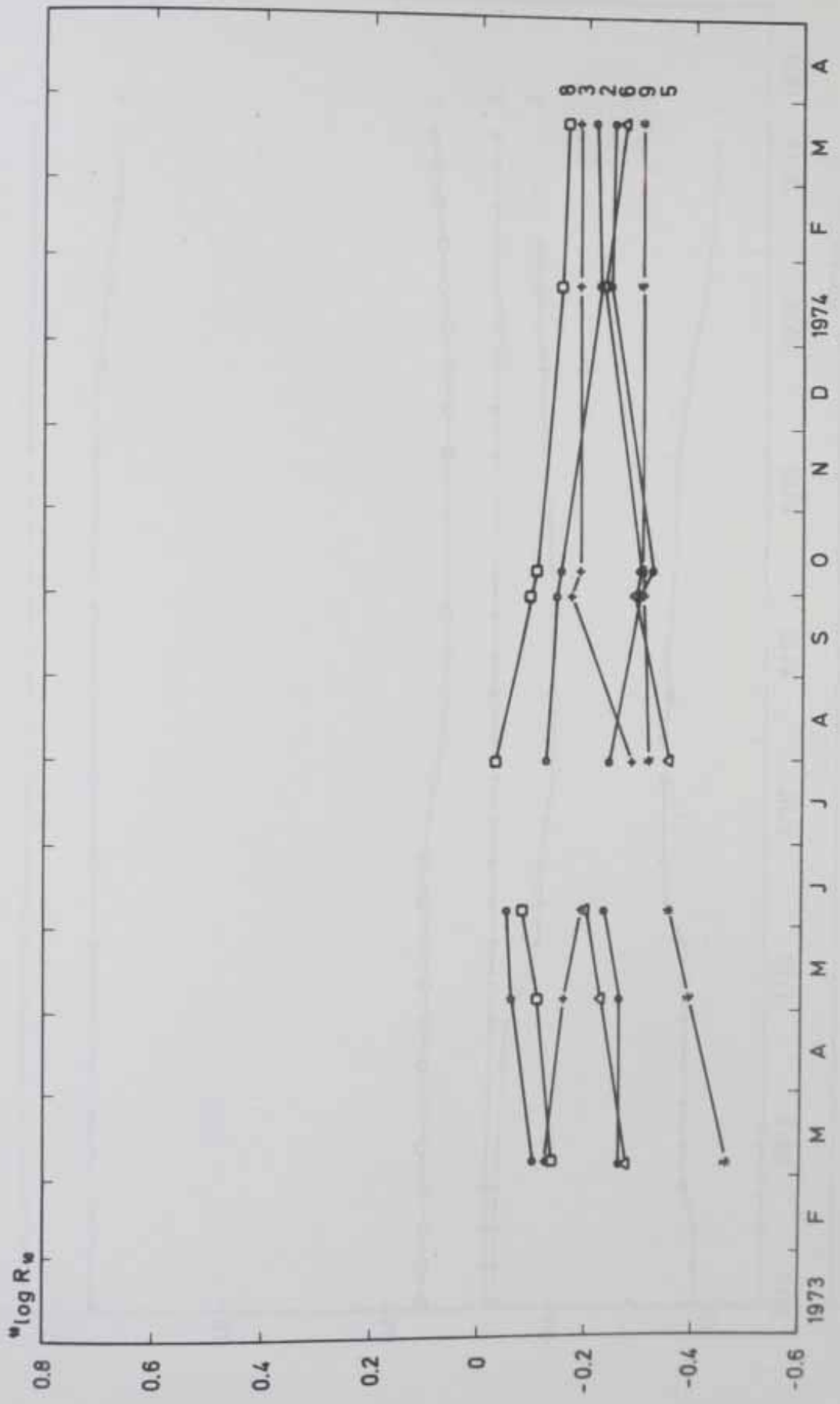


FIG. 36f. Fuktgivarmätningarna i mätgrupp H.

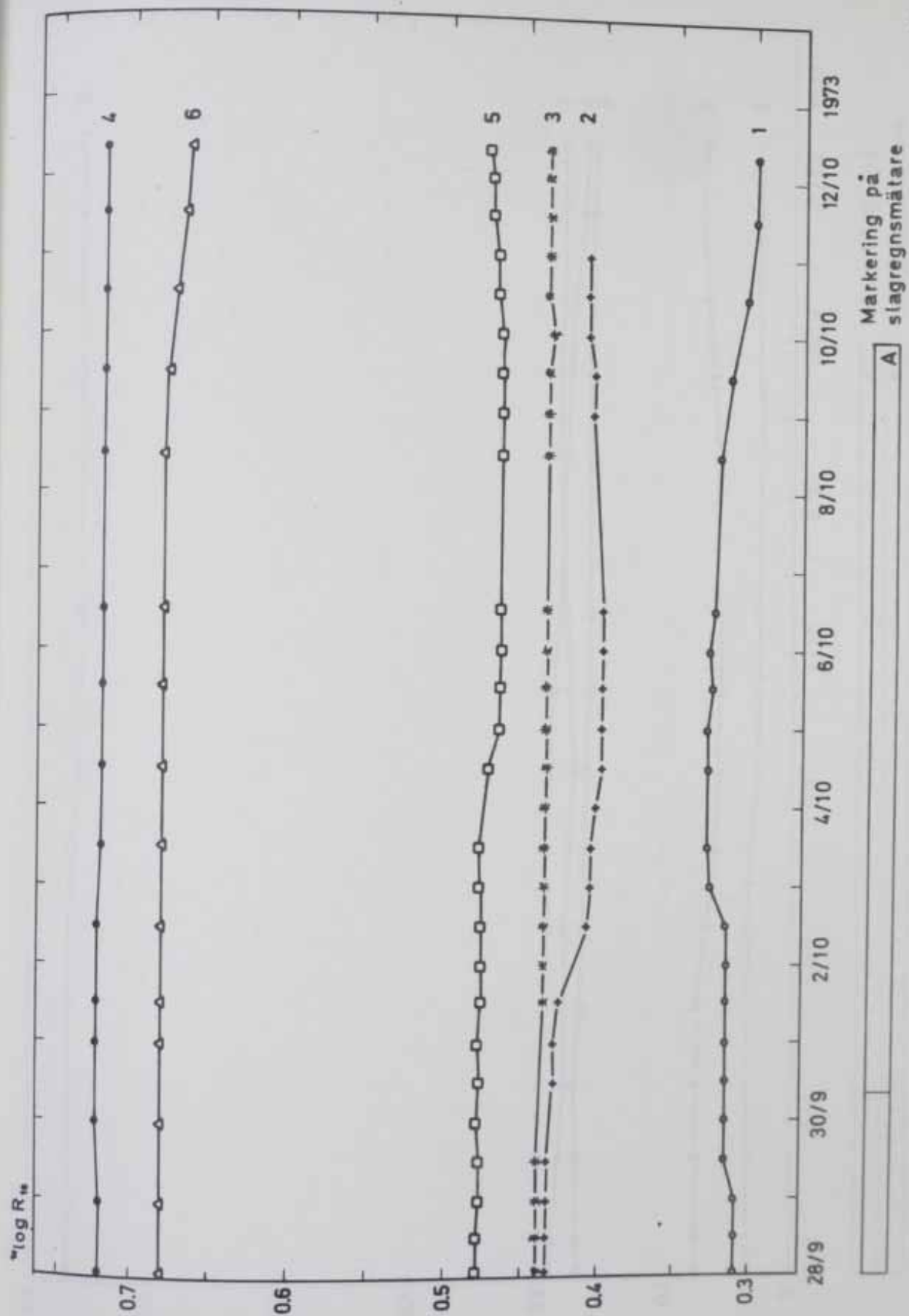


FIG. 37a. Fuktgivarmätningar i mätgrupp A 28/9-12/10 1973.

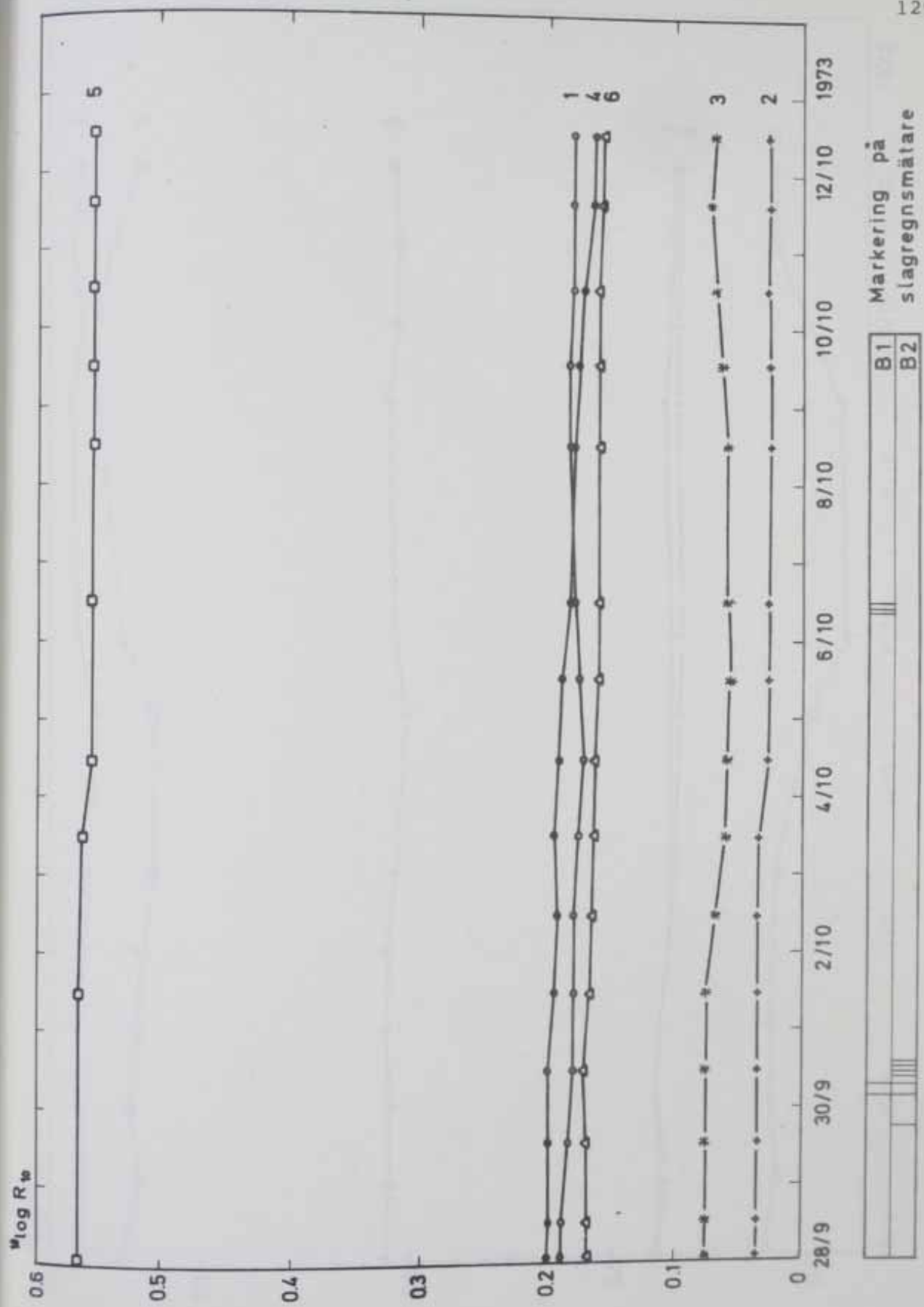


FIG. 37b. Fuktgivarmätningar i mätgrupp B 28/9-12/10 1973.



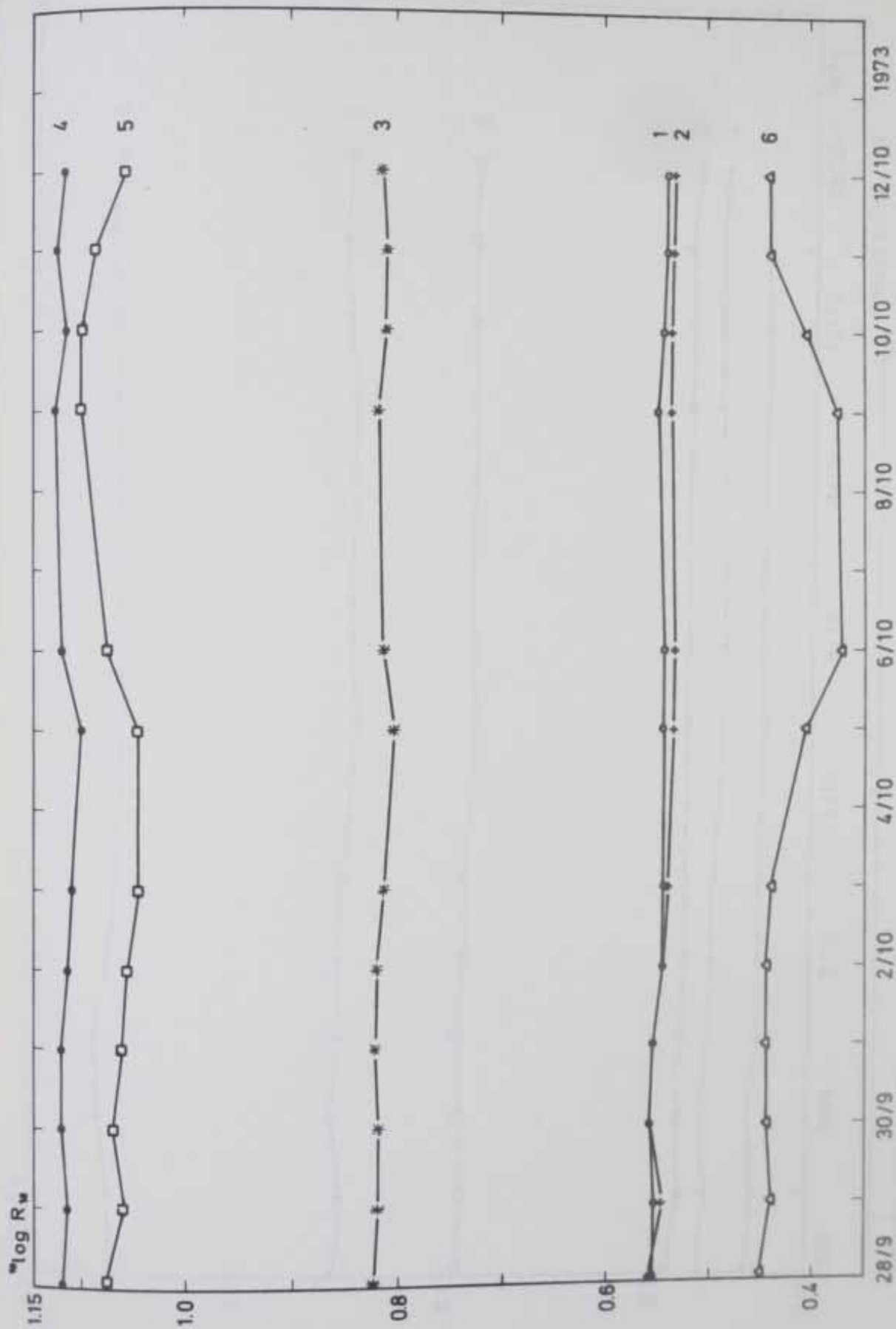


FIG. 37c. Fuktgivarmätningar i mätgrupp C 28/9-12/10 1973.

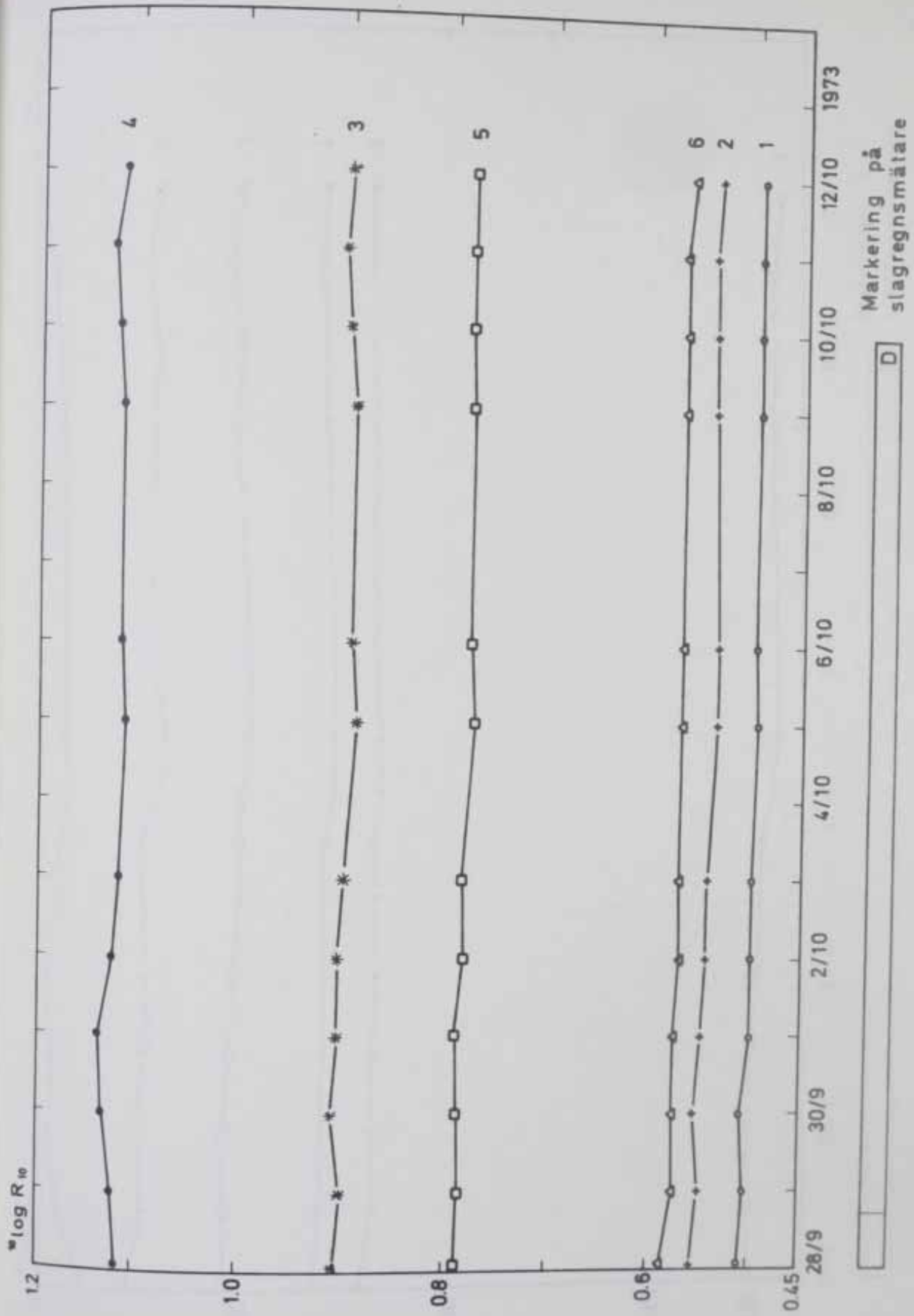


FIG. 37d. Fuktgivarmätningar i mätgrupp D 28/9-12/10 1973.

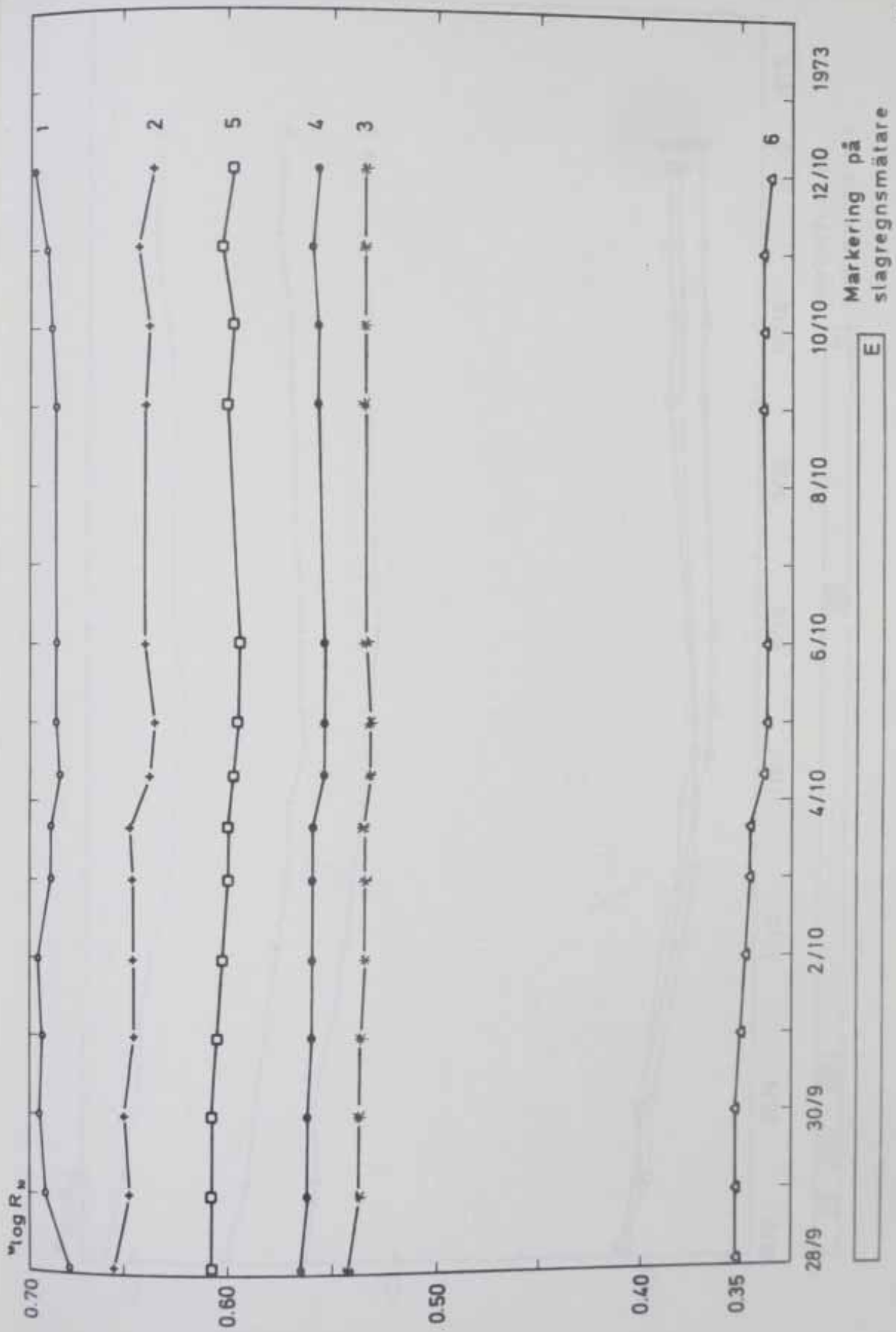


FIG. 37e. Fuktgivarmätningar i mätgrupp E 28/9-12/10 1973.

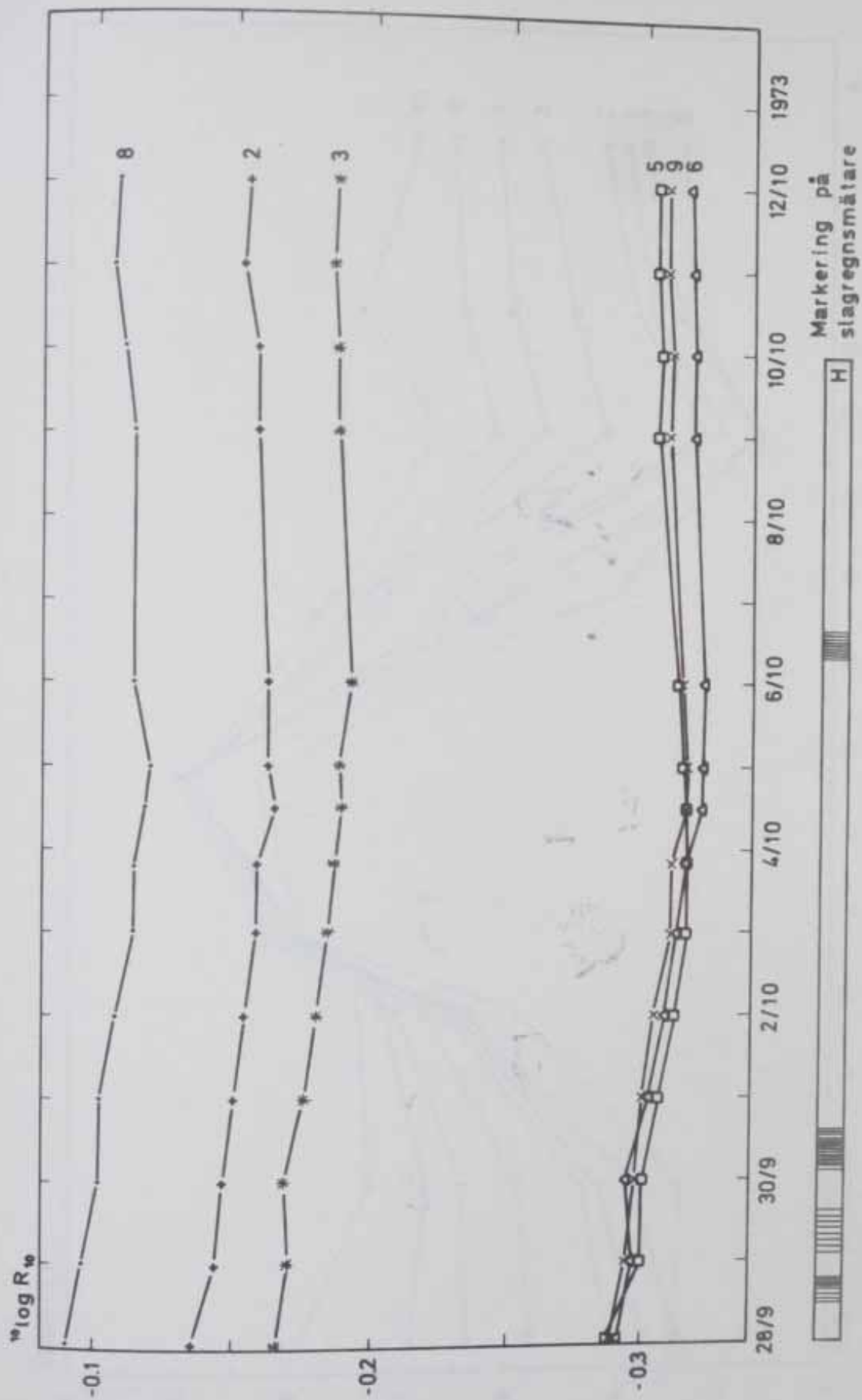


FIG. 37f. Fuktgivarmätningar i mätgrupp H 28/9-12/10 1973.

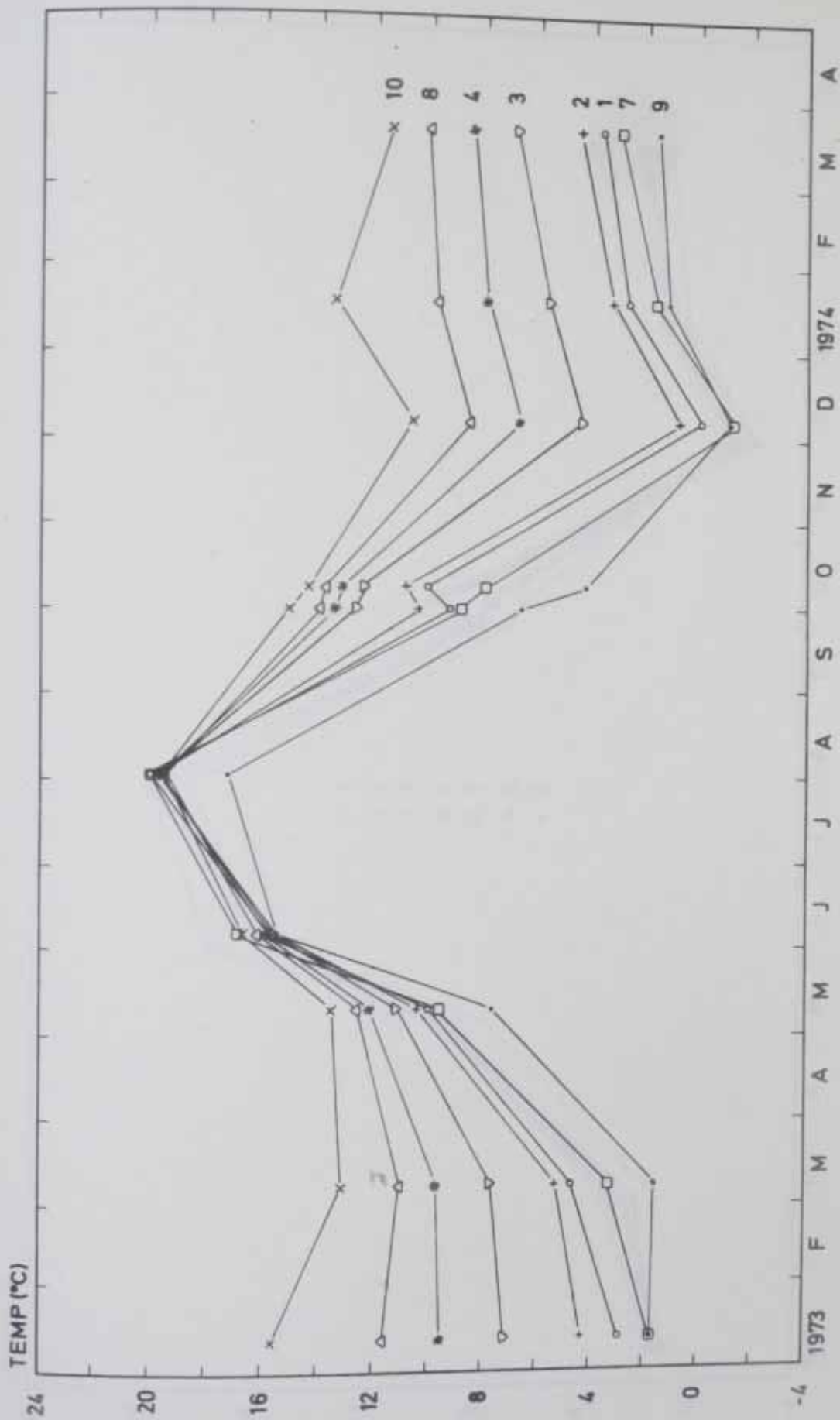


FIG. 38a. Temperaturmätningarna i mätgrupp A.

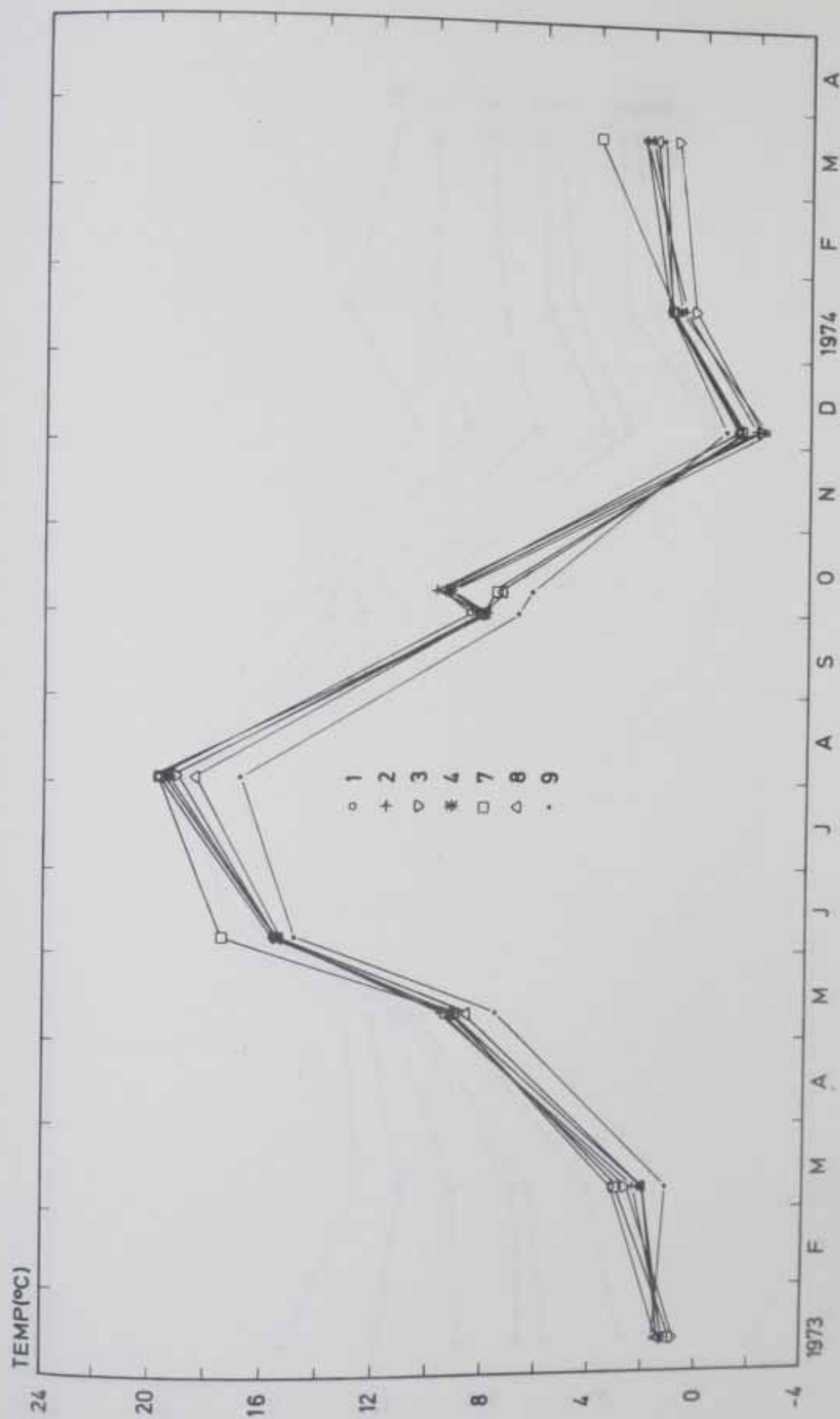


FIG. 38b. Temperaturmätningarna i mätgrupp B.

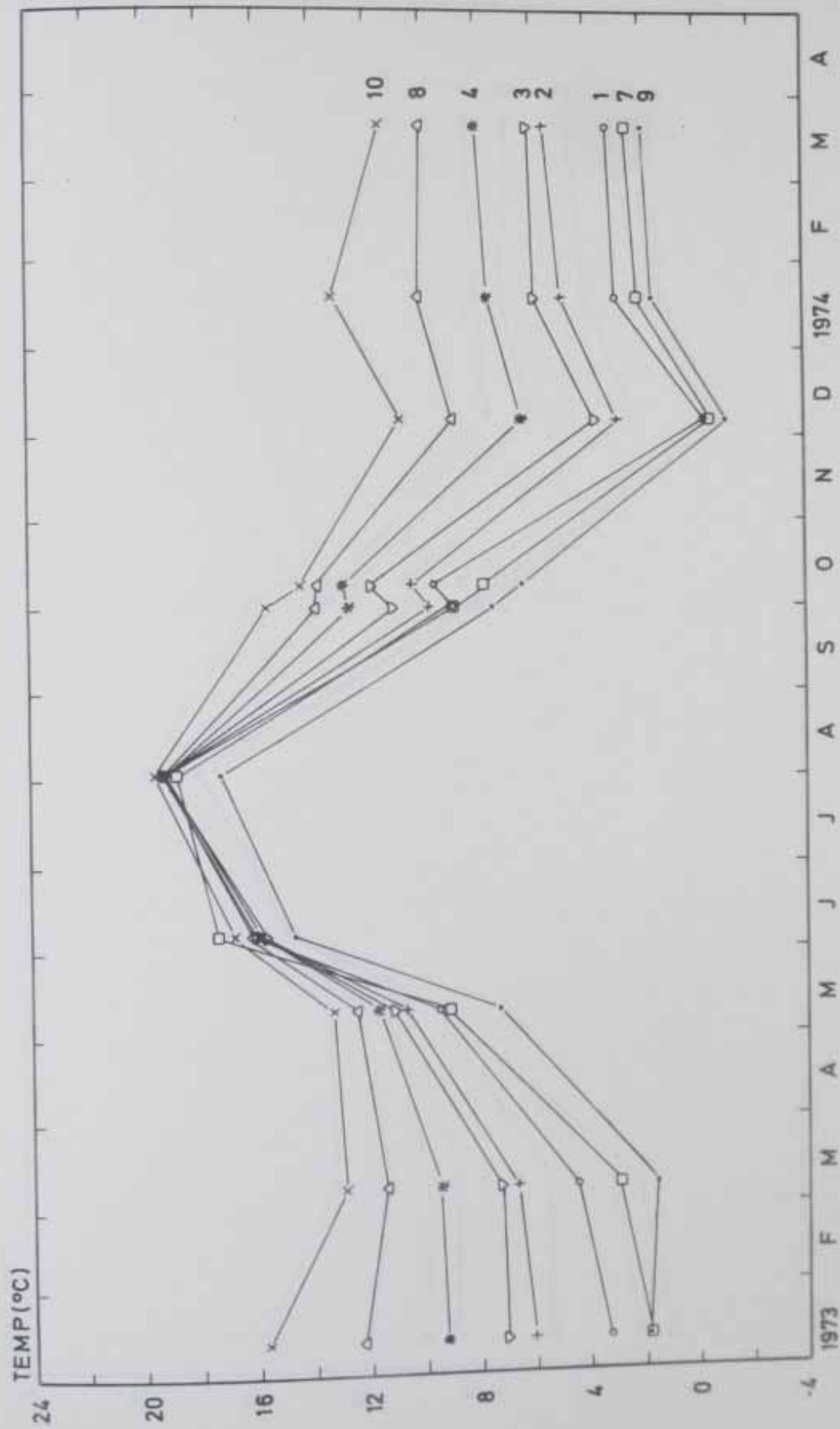


FIG. 38c. Temperaturmätningarna i mätgrupp C.

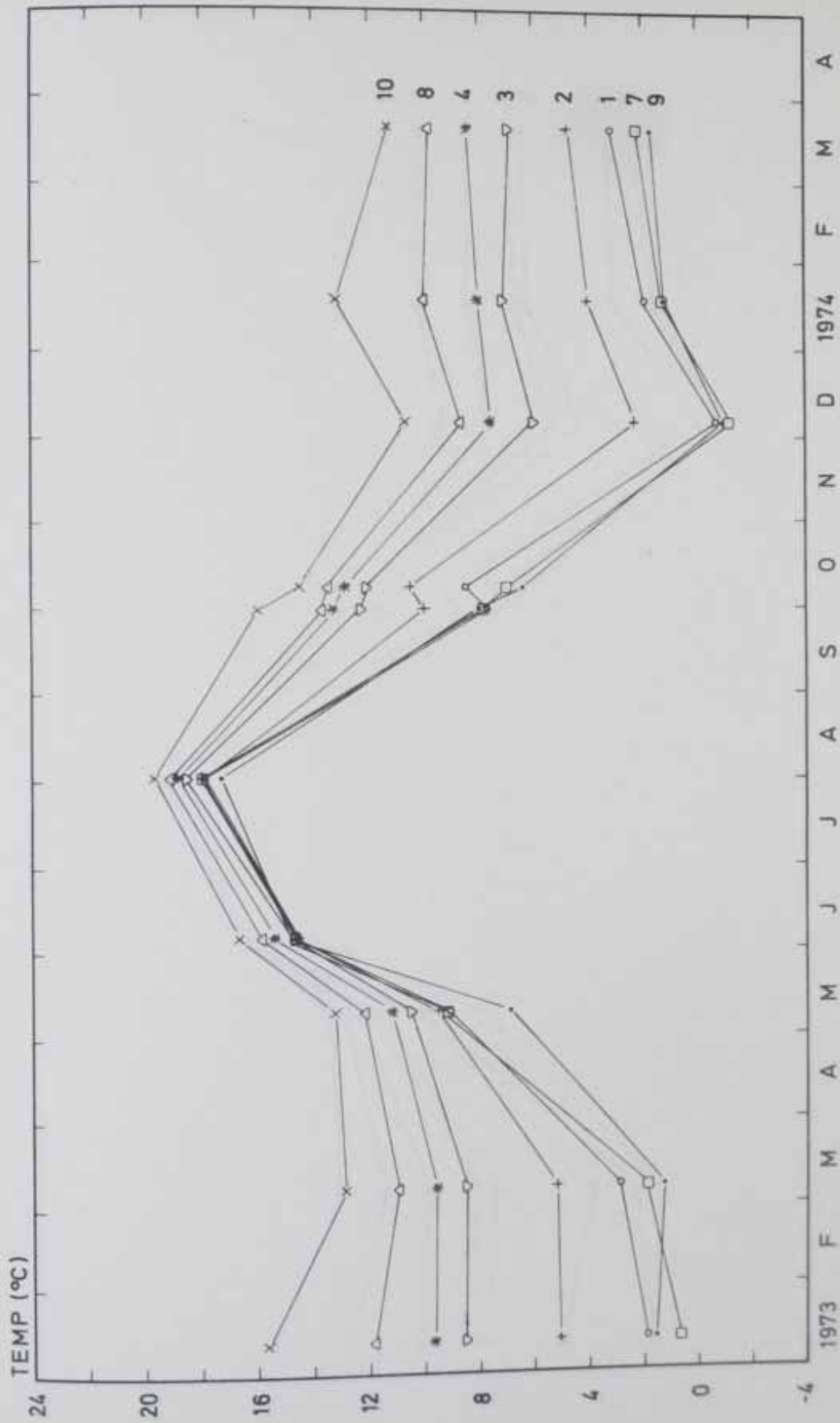


FIG. 38d. Temperaturmätningarna i mätgrupp D.



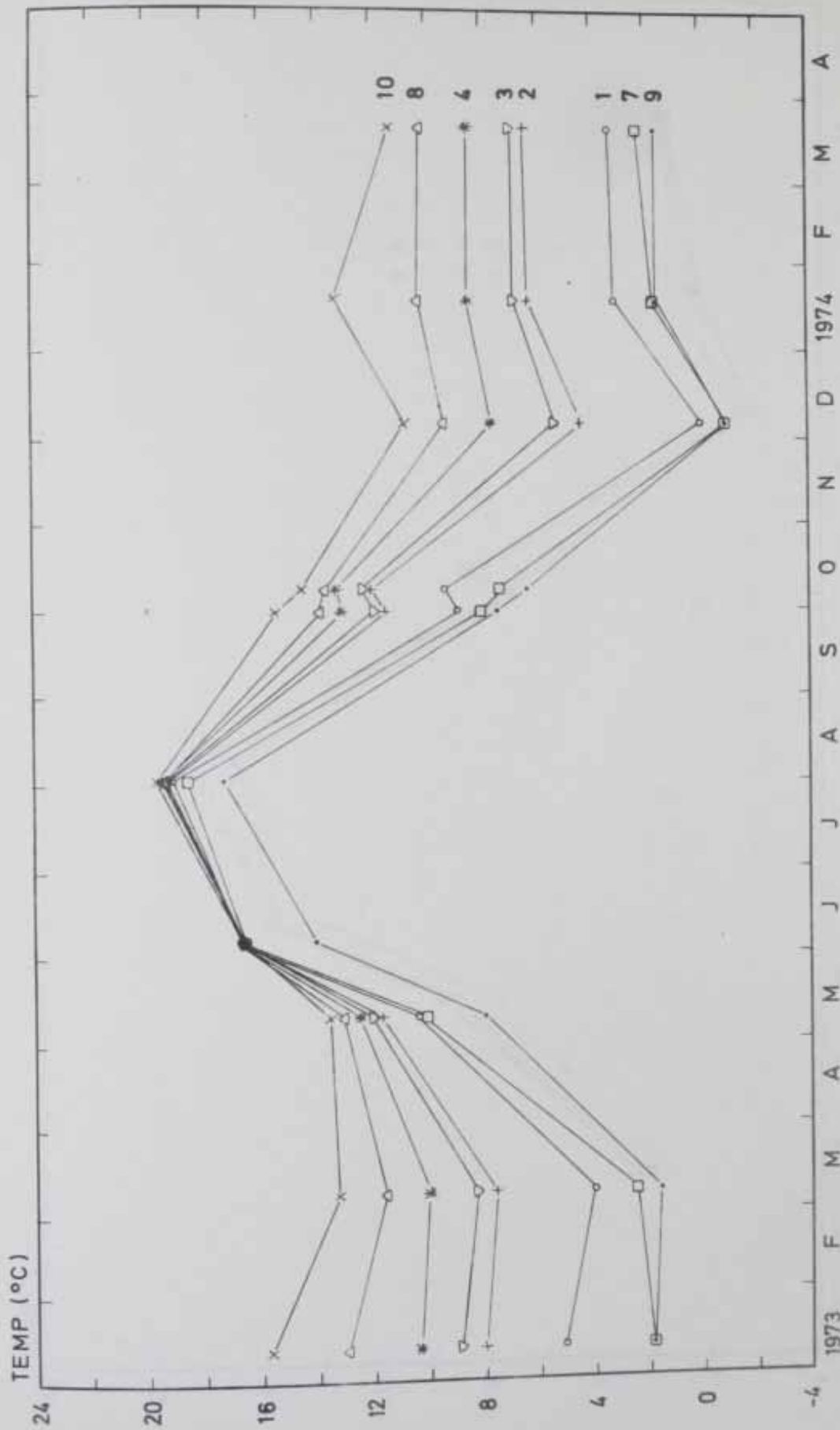


FIG. 38e. Temperaturmätningarna i mätgrupp E.

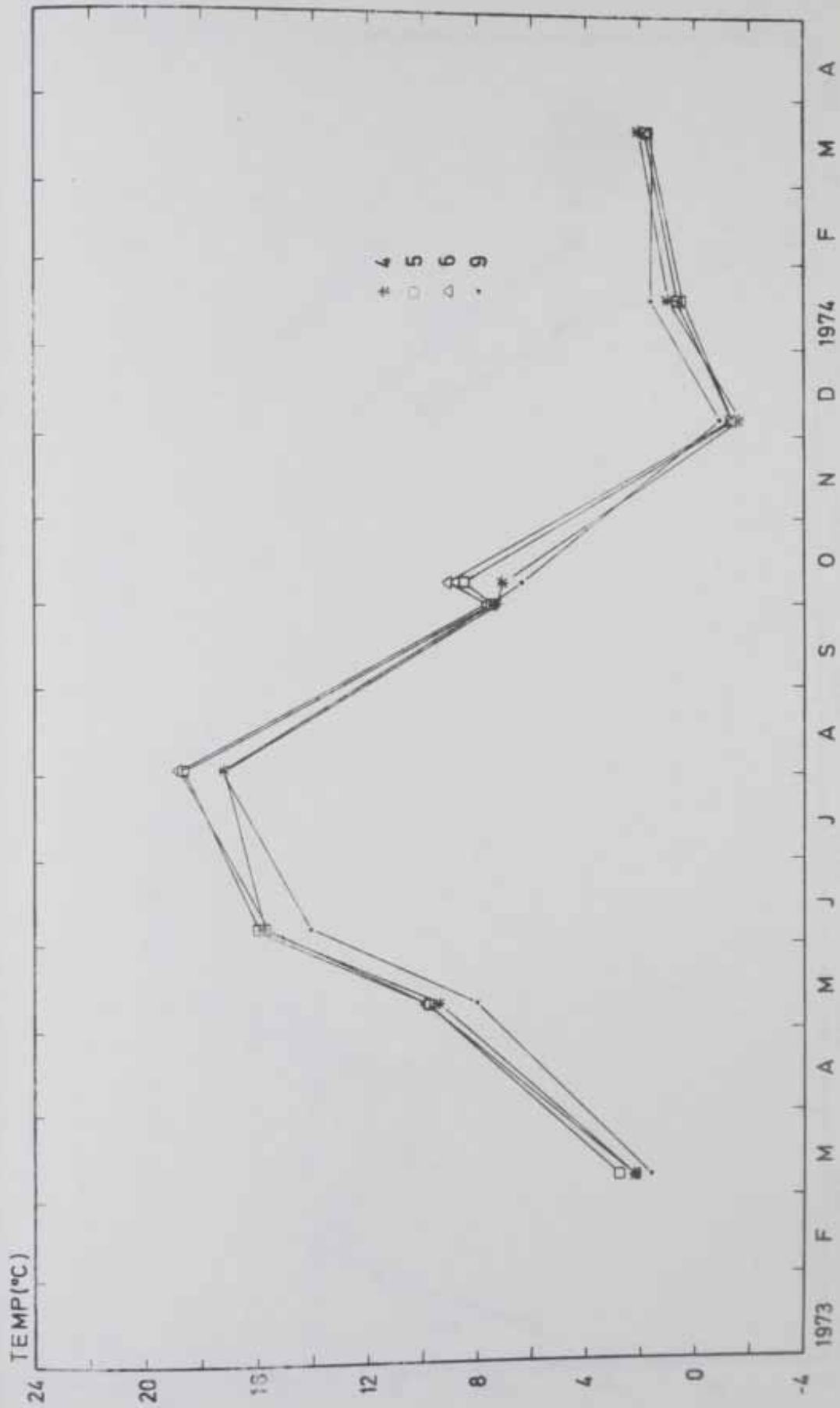


FIG. 38f. Temperaturmätningarna i mätgrupp H.

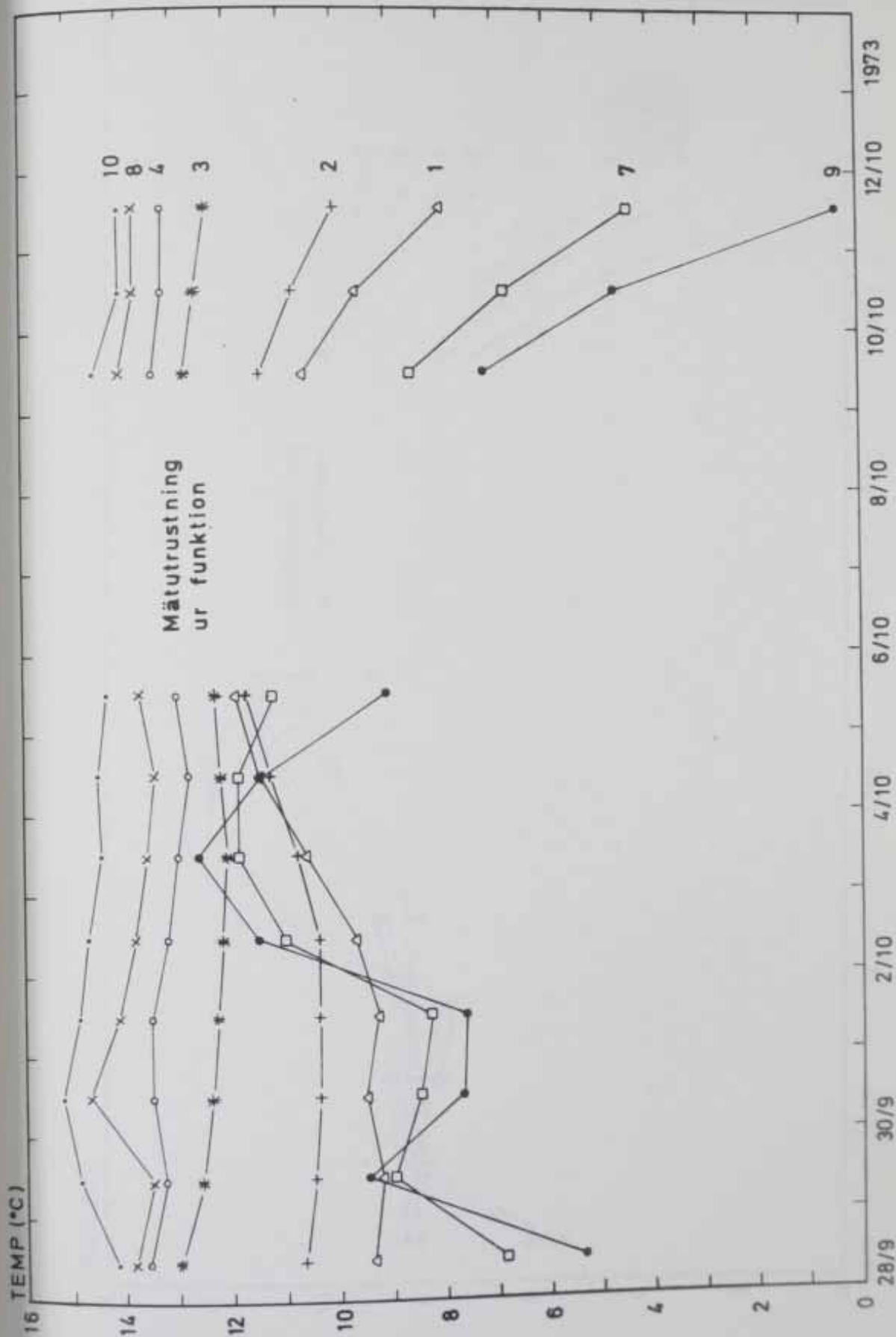


FIG. 39a. Temperaturmätningar i mätgrupp A 28/9-12/10 1973.

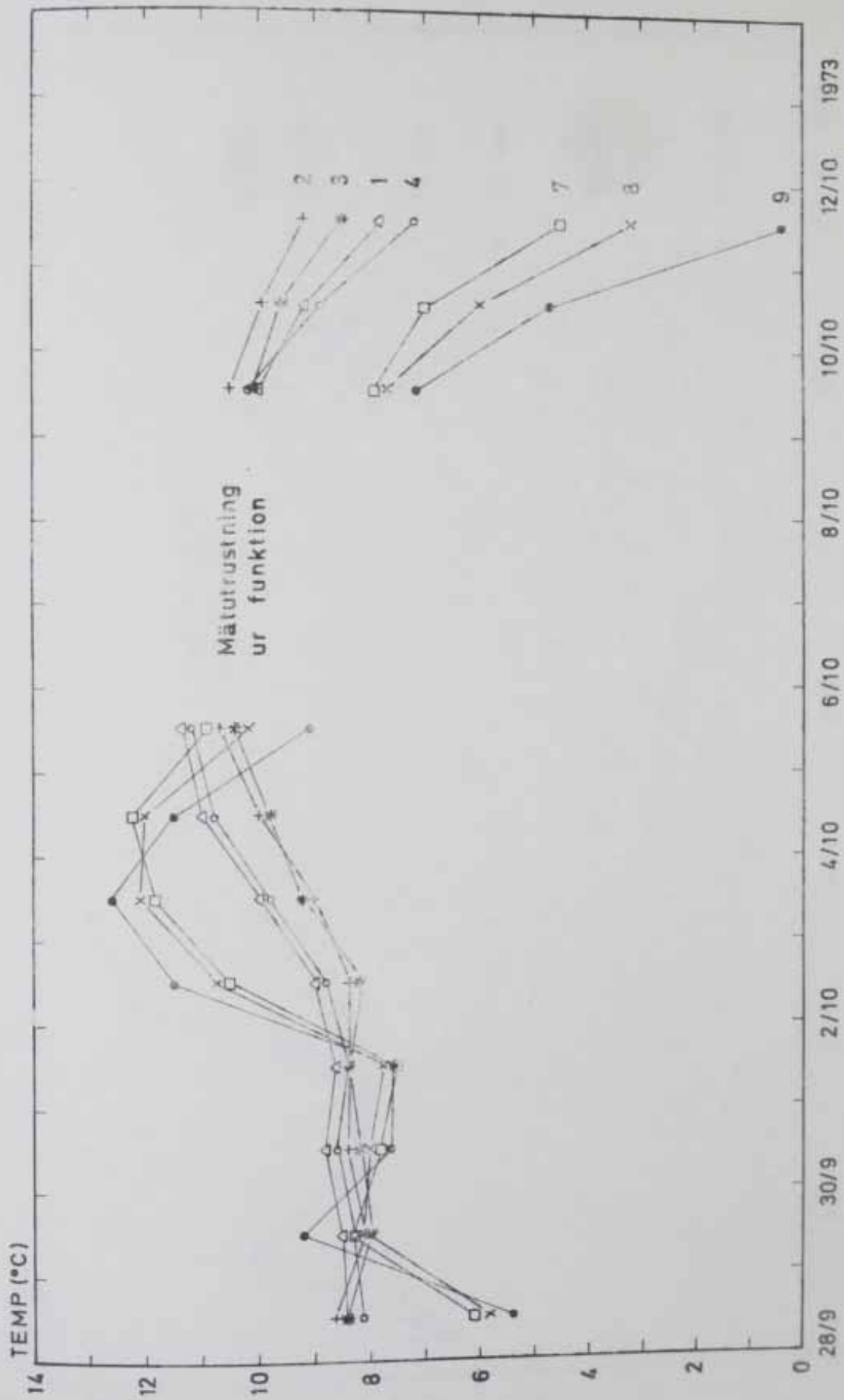


FIG. 39b. Temperaturmätningar i mätgrupp B 28/9-12/10 1973.

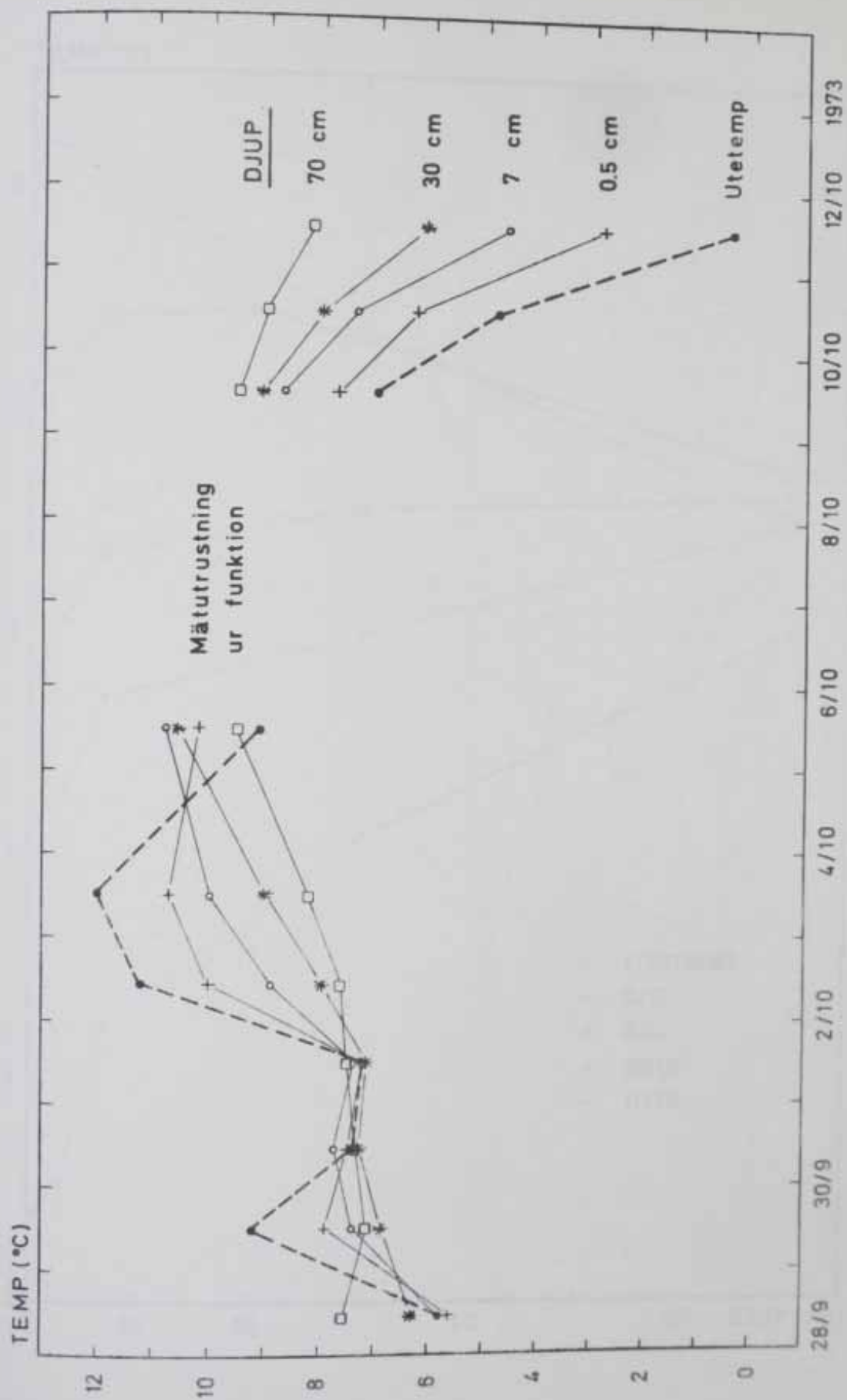


FIG. 40. Temperaturmätningar i strävpelare på sydsidan 28/9-12/10 1973.

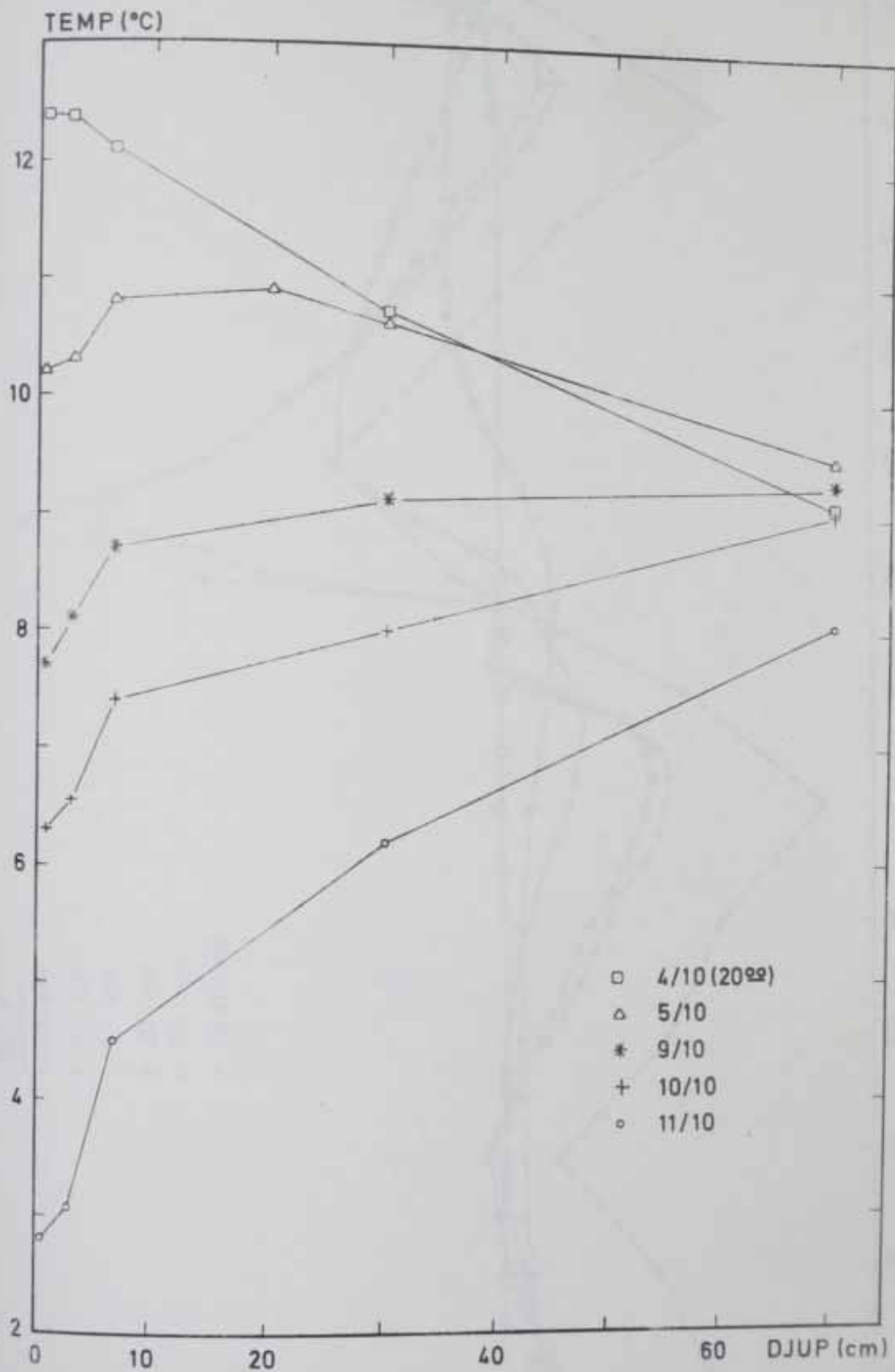


FIG. 41. Temperaturgradienter i strävpelare på sydsidan 4/10-11/10 1973.

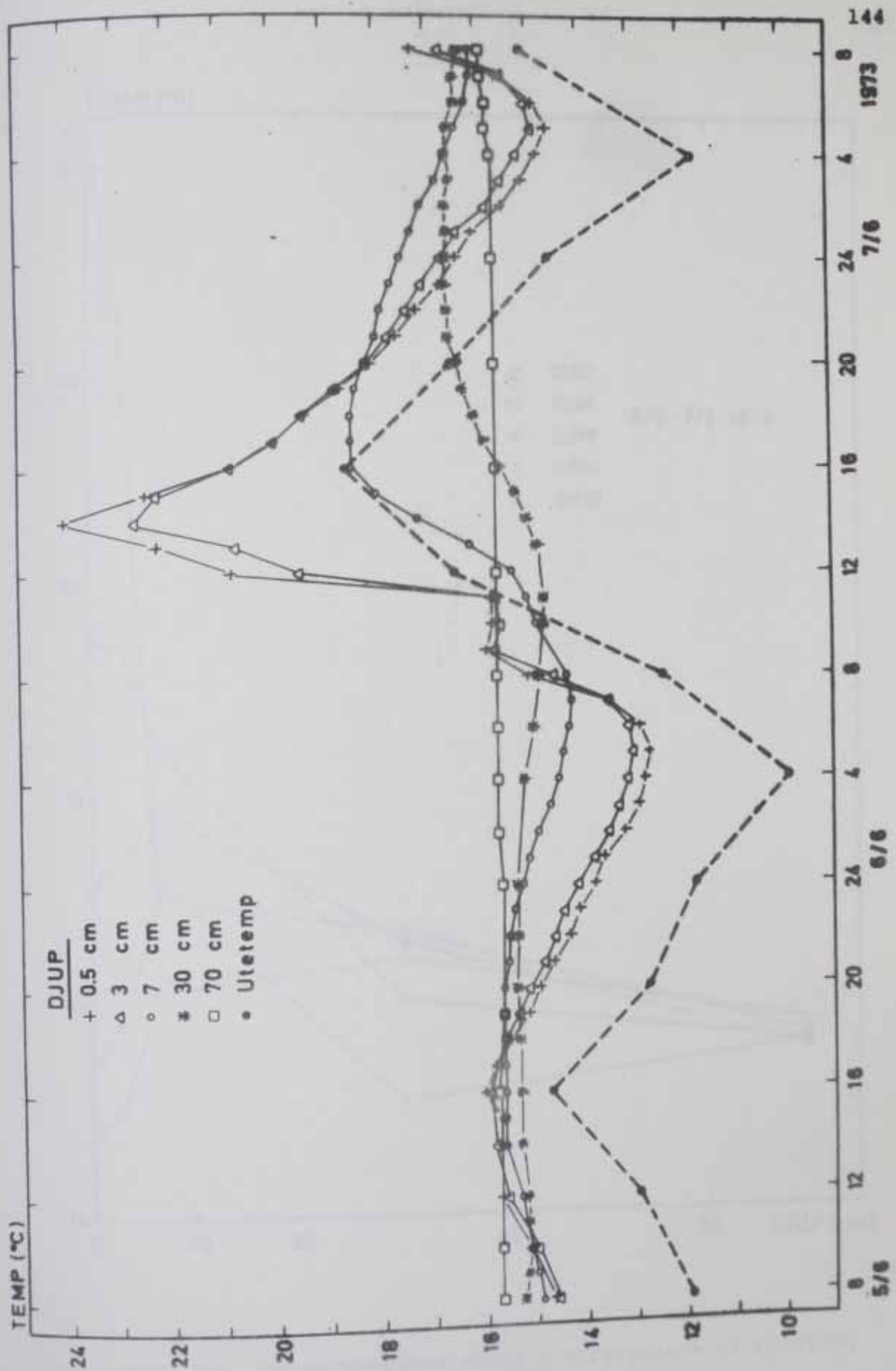


FIG. 42. Temperaturmätningar i strävpelare på sydsidan  
5/6 0800-7/6 0800 1973.

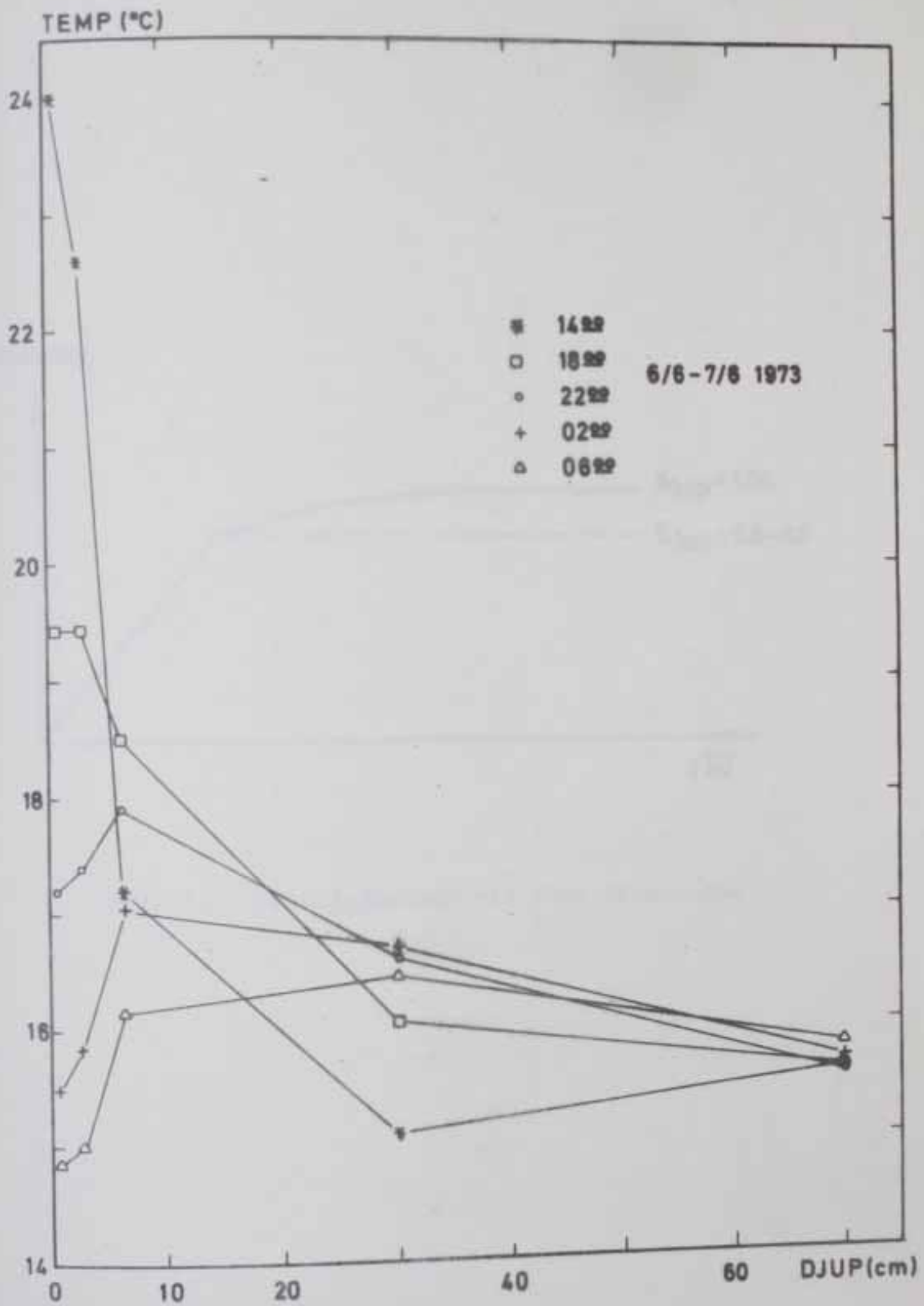


FIG. 43. Temperaturgradienter i strävpelare på sydsidan  
6/6 1400-7/6 0600 1973.



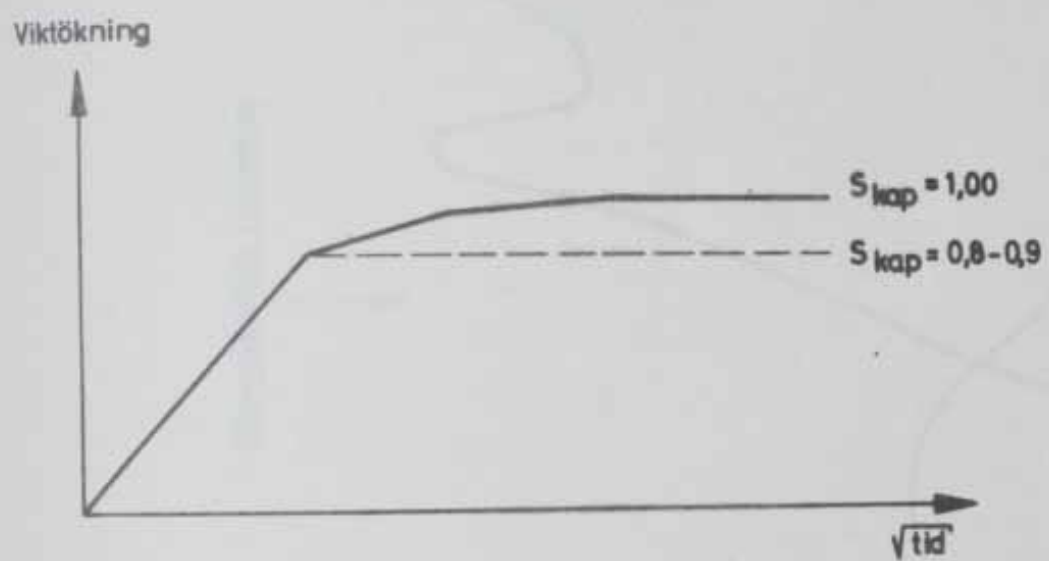


FIG. 44. Principförlopp vid kapillärsugning.

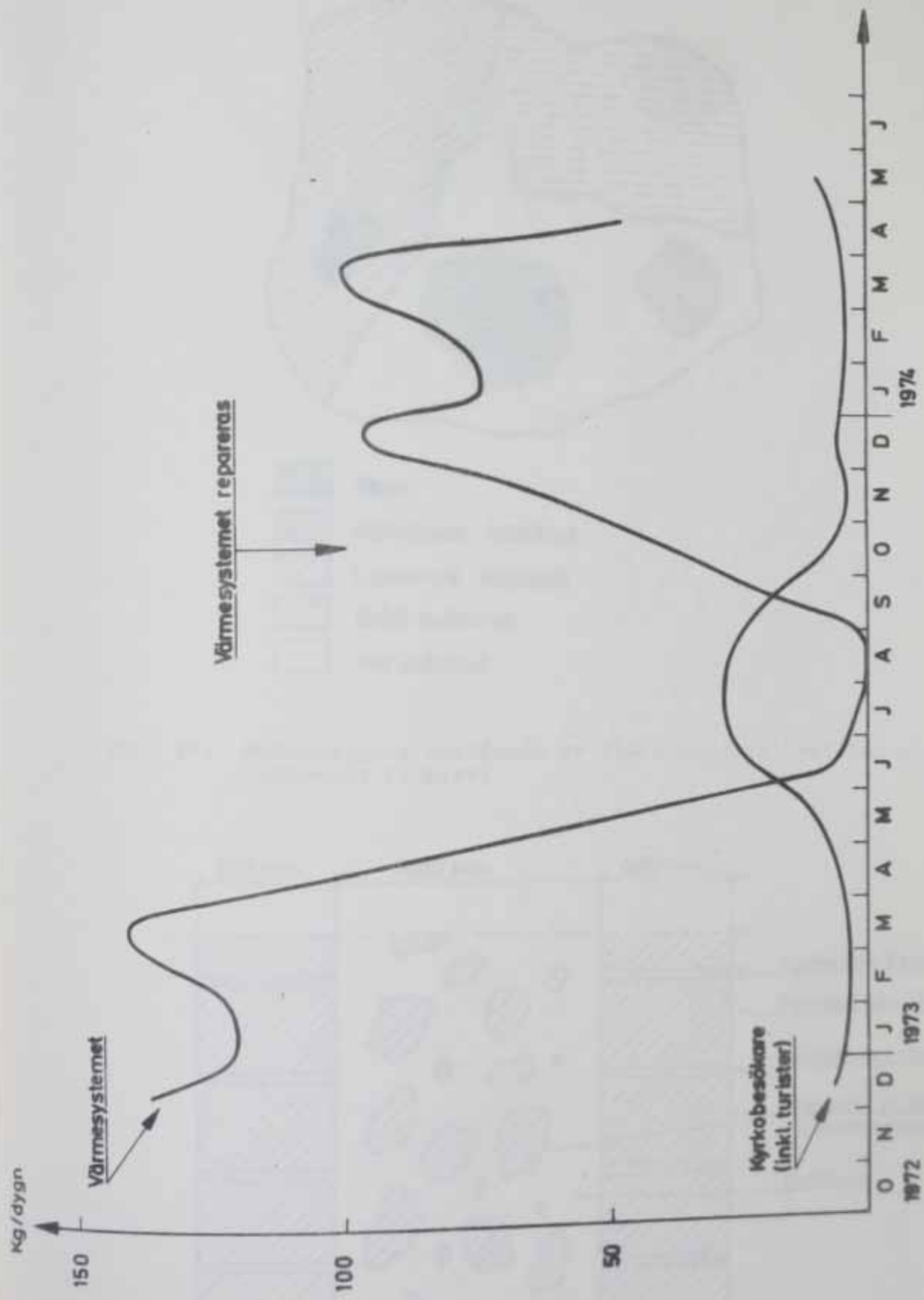


FIG. 45. Fuktproduktion från kyrkobesökare och läckage i värmesystemet.

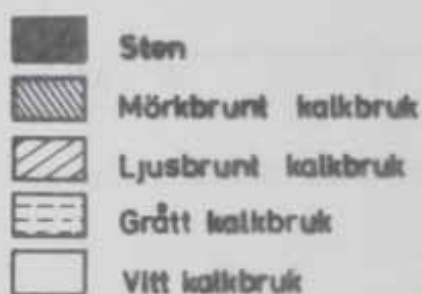
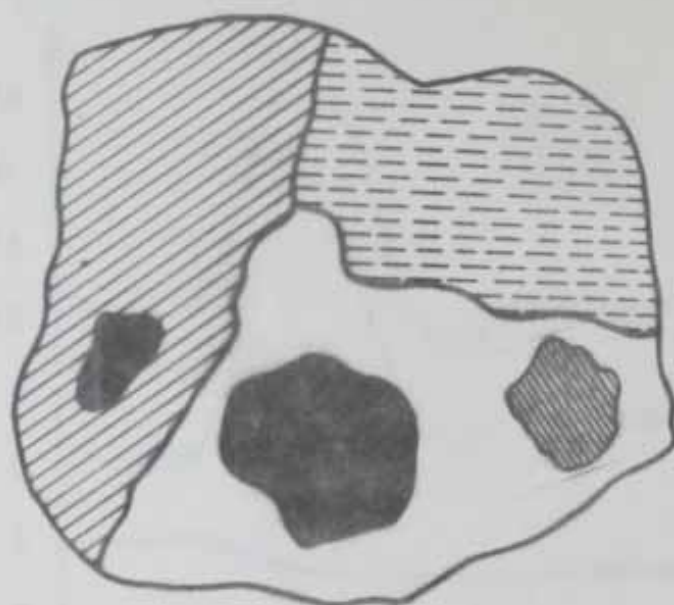


FIG. 46. Materialprov bestående av flera materialkvaliteter (naturlig storlek).

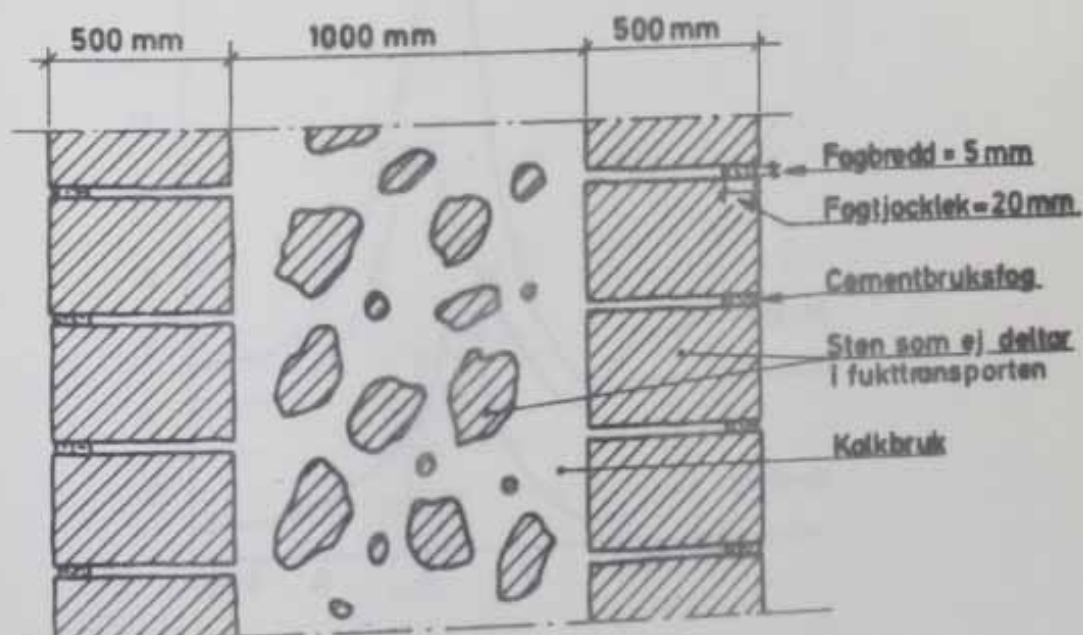


FIG. 47. Antagen konstruktion vid beräkningarna.

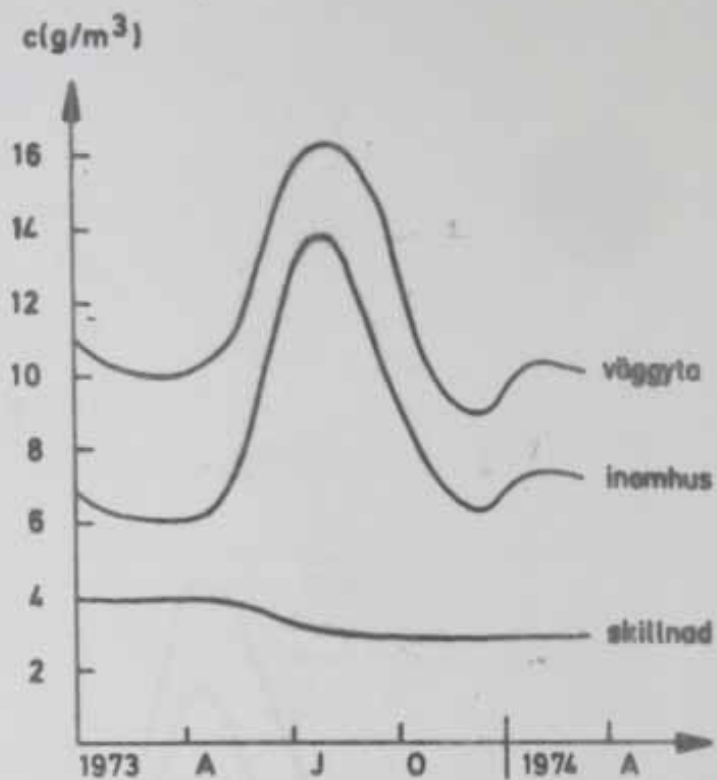


FIG. 48a. Vattenånghalter inomhus och i väggytan på insidan.

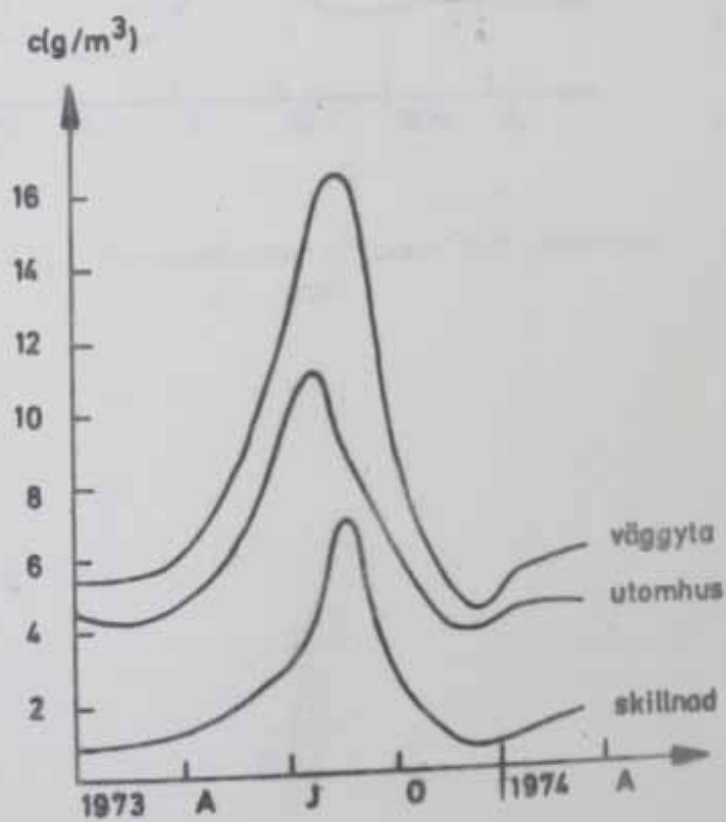


FIG. 48b. Vattenånghalter utomhus och i väggytan på utsidan.

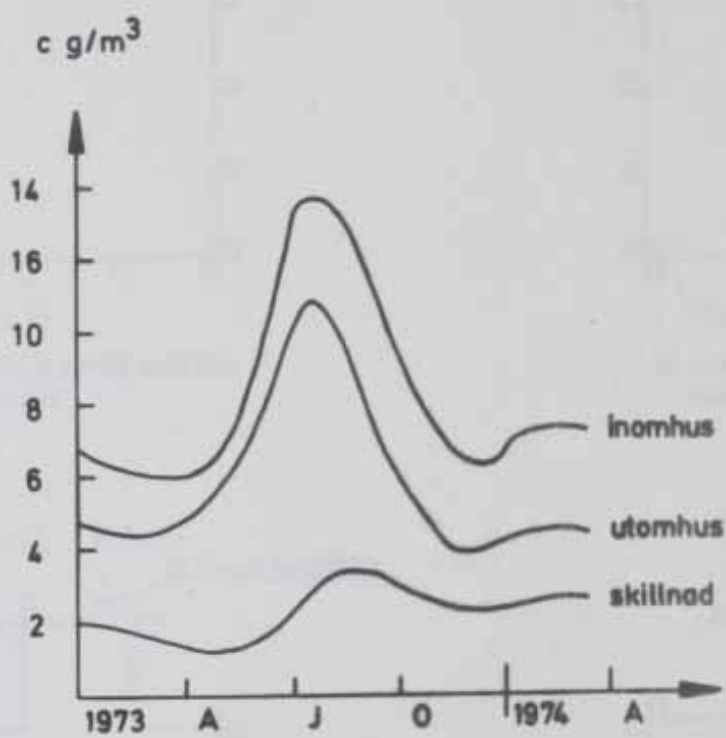
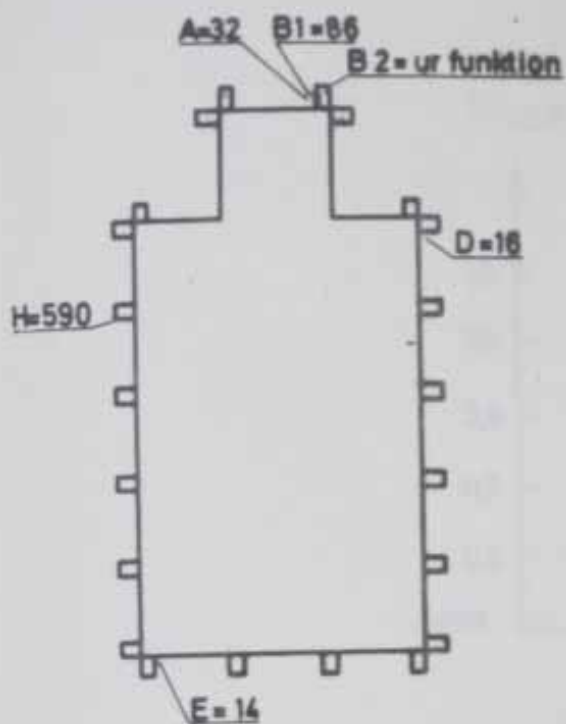
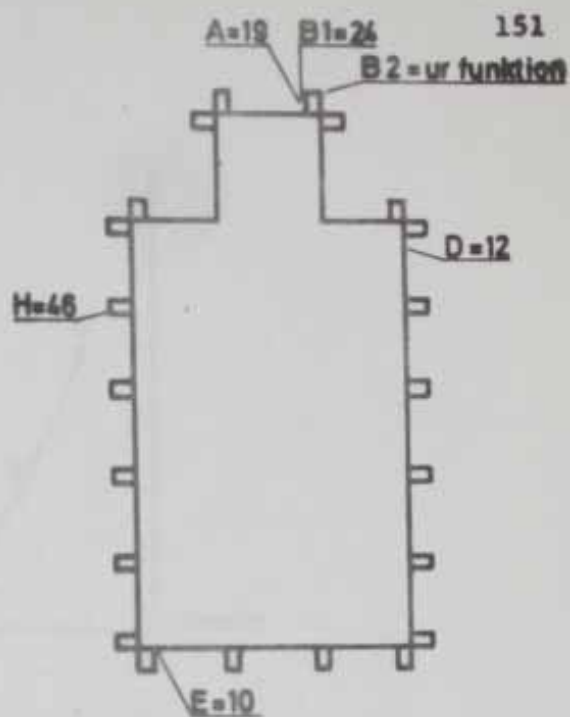


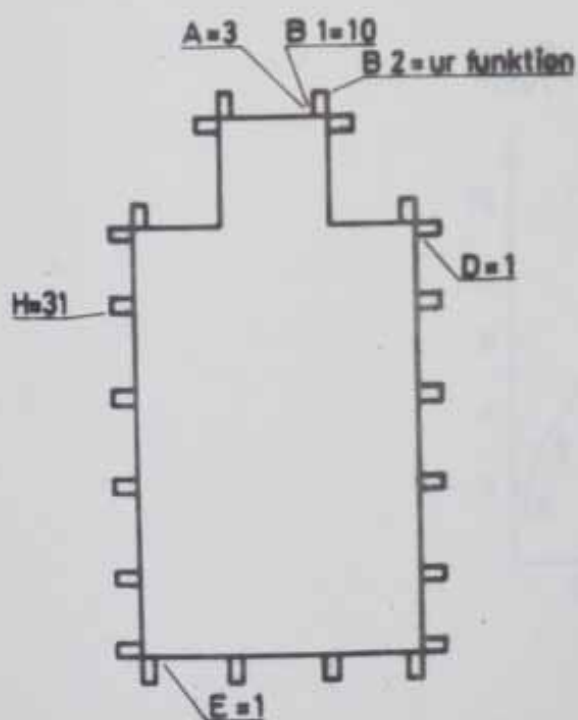
FIG. 49. Vattenånghalt inom- och utomhus.



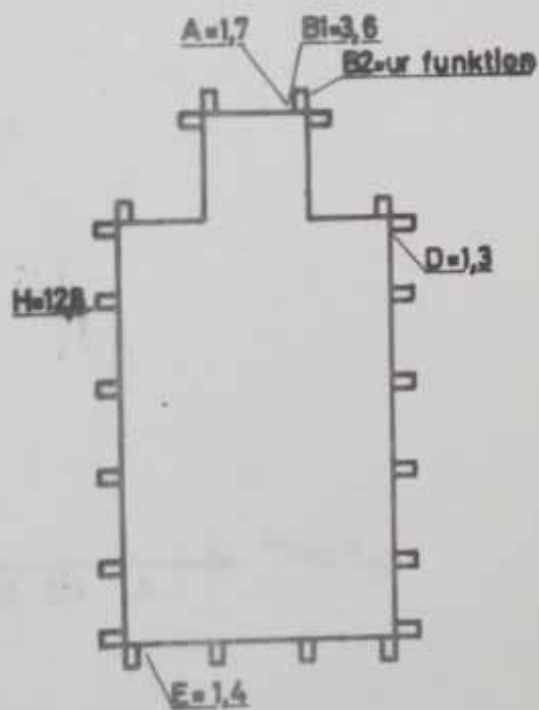
a) Totalt antal markeringar



b) Antal dygn med markeringar



c) Antal dygn med 3 eller flera markeringar



d) Medelantal markeringar under ett slagregn

FIG. 50a-d. Resultat av slagregnsmätningarna 7/5 1973 - 21/3 1974.

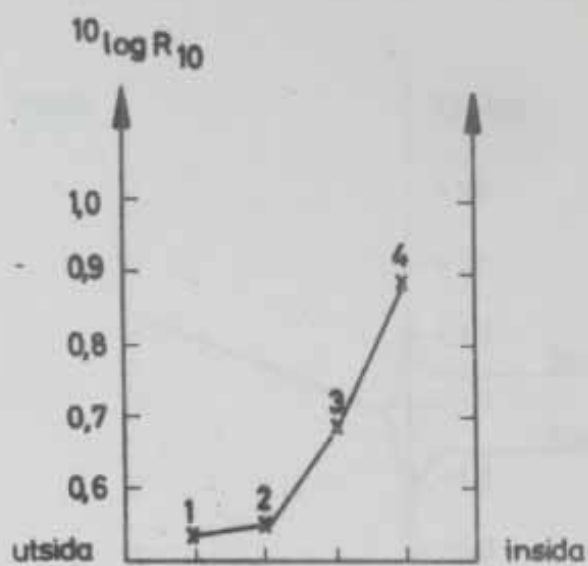


FIG. 51a. Fuktgivarutslag på olika djup.

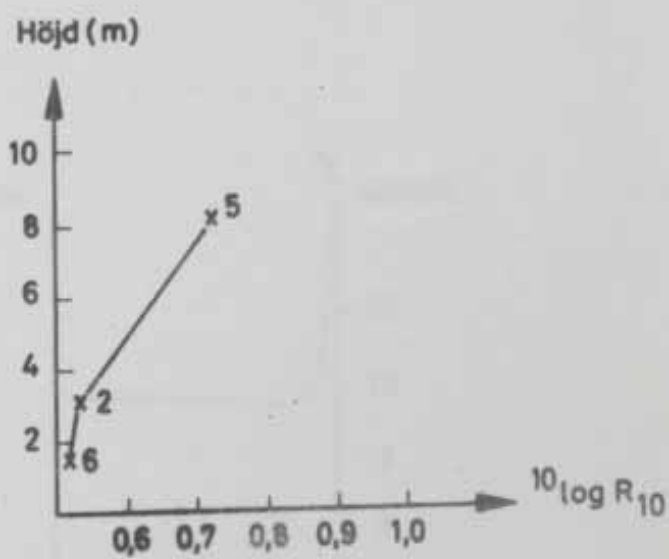
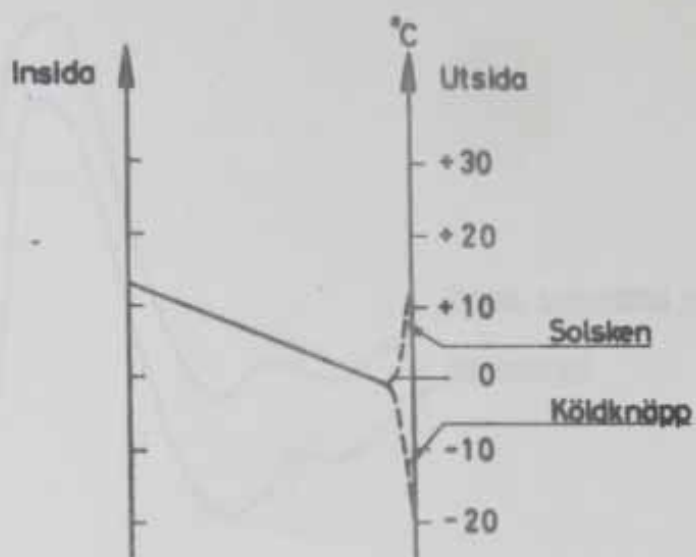
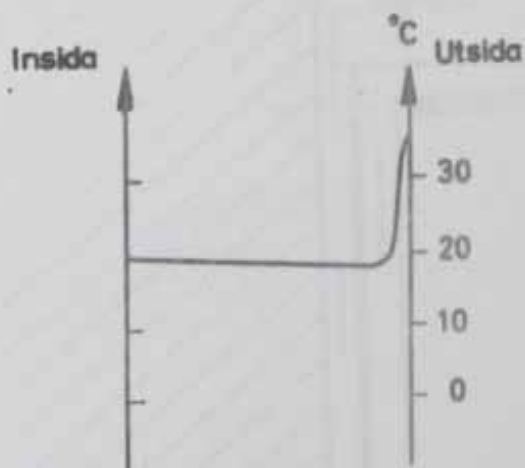


FIG. 51b. Fuktgivarutslag på olika höjd.



a) På vintern vid solsken  
resp. köldknäpp



b) På sommaren vid  
starkt solsken

FIG. 52a-b. Uppskattade extremiteter i väggarna.



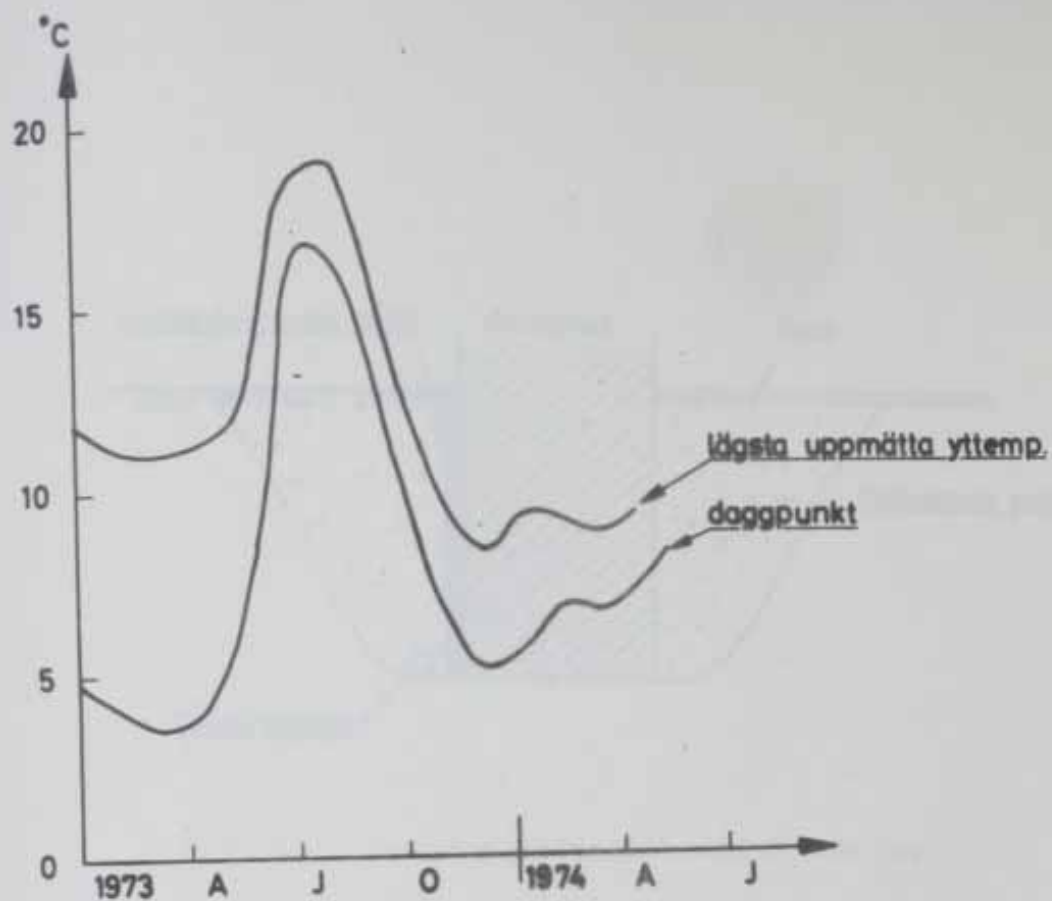


FIG. 53. Daggpunkt och lägsta uppmätta yttemperatur.

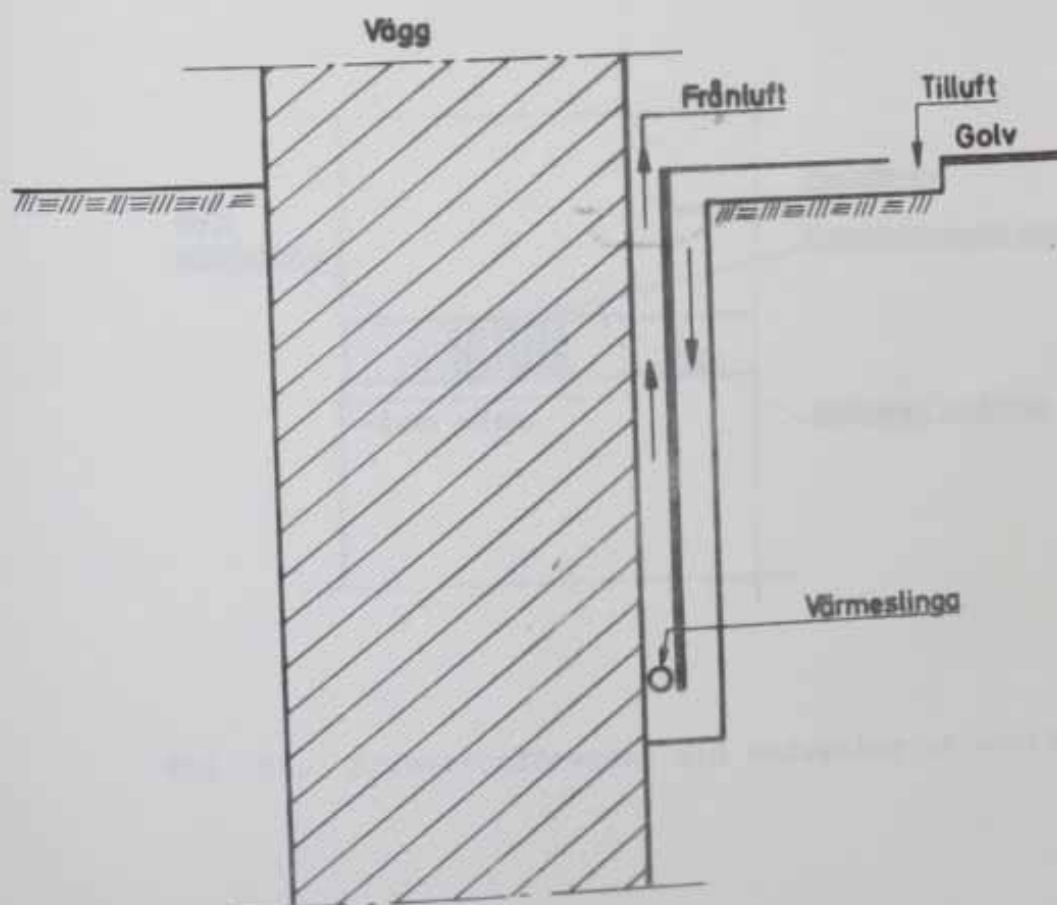


FIG. 54. Ventileralad och uppvärmd luftspalt.

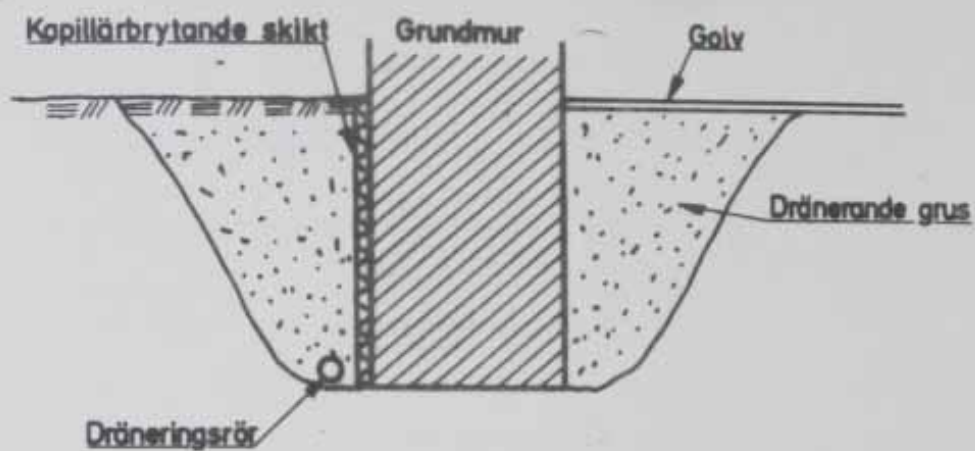


FIG. 55. Principutförandet vid dränering.

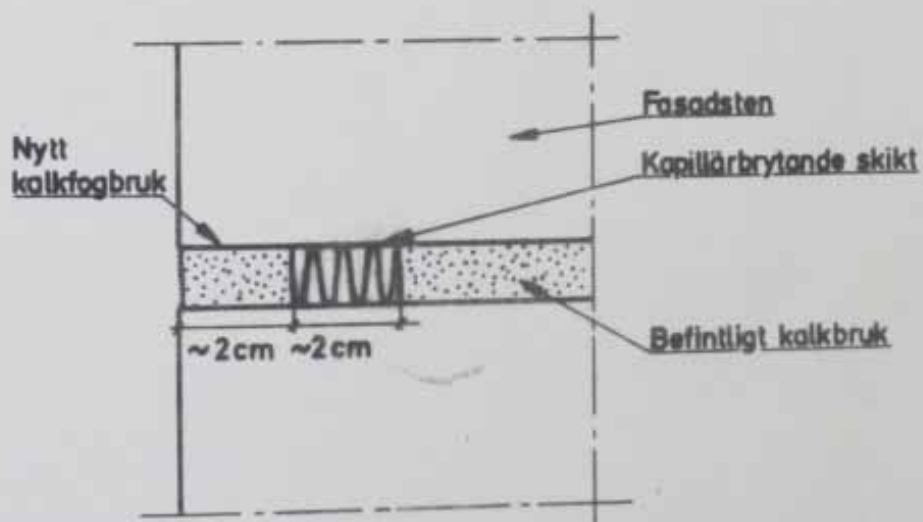


FIG. 56. Principutförandet vid omfogning på utsidan.

B I L A G A

Journal nr 74/73  
Inkom den 73-01-29

## Provningsprotokoll

Uppdragsgivare: Inst. för byggnadsmateriallära, LTH, Lund

Föremål: 9 st prov av bruk från Vadstena klosterkyrka

Undersökningen avsåg att bestämma halten i saltsyra löslig CaO.

Utförande

CaO har bestämts genom titrering med EDTA efter upplösning i saltsyra.

Resultat

<u>Prov märkt</u>	<u>I saltsyra löslig CaO</u>
K 2	20,2 %
" 3	18,1 "
" 4	26,9 "
" 6	11,4 "
" 7	20,3 "
" 8	39,6 "
" 9	33,2 "
" 11	18,8 "
" 12	34,9 "

Malmö den 27 februari 1973

Ingvar Olsson

Journal nr 74/73  
Inkom den 73-01-29

## Provningsprotokoll

Uppdragsgivare: Inst. för byggnadsmateriallära, LTH, Lund

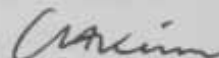
Föremål: 5 st prov av bruk från Vadstena klosterkyrka.

Undersökningen avsåg kemisk analys.

Resultat räknat på prov torkat vid 105°C

Prov märkt:	<u>F 1</u>	<u>F 5</u>	<u>F 10</u>	<u>F 15</u>	<u>F 16</u>
I saltsyra olösligt	34,4 %	56,6 %	47,0 %	68,3 %	21,7 %
I saltsyra lös					
CaO	33,8 "	20,4 "	21,8 "	14,4 "	42,2 "
SiO <sub>2</sub>	2,5 "	1,0 "	7,2 "	2,1 "	8,1 "
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6 "	1,3 "	2,9 "	1,3 "	2,2 "
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4 "	0,4 "	1,5 "	0,5 "	0,8 "
Glödförlust 950°C	23,8 "	18,1 "	16,0 "	12,2 "	23,4 "

Malmö den 15 mars 1973



Publikationer från Institutionen för Byggnadsteknik vid  
Tekniska Högskolan i Lund

Bulletiner

1. Halvorsen, Ulf A. Korrosion och kalkurlakning vid sprickor i betongkonstruktioner. Lund 1966.
2. Lindblad, Sven. Impact sound characteristics of resilient floor coverings. A study on linear and nonlinear dissipative compliance. Lund 1968.
3. Nielsen, Anders. Byggnadsmaterials reologi. Problemställningar och litteratur. Lund 1968.
4. Nielsen, Anders. Krypning hos högtrycksånghärdad gasbetong. Lund 1968.

Interna rapporter

1. Bankvall, Claes G. Principer för teoretisk behandling av konvektionsförloppet i en sluten värmeisolerad konstruktion. Lund 1966.
2. Ahlgren, Lennart. Grundläggande lagar för fuktvandring i porösa byggnadsmaterial. Lund 1966.
3. Ahlgren, Lennart. Uppföljning av uttorkningsförloppet hos golvbetong. Lund 1967.
4. Nielsen, Anders. Orienterande undersökning av krypning hos högtrycksånghärdad gasbetong. Lund 1967.
5. Nielsen, Anders. Orienterande undersökning av krypning under uttorkning hos högtrycksånghärdad gasbetong. Lund 1968.
6. Nielsen, Anders. Lättbetong internationellt sett. Engelska forskningsinstitut. Intryck från London 27-30 maj 1968. Lund 1968.
7. Cronström, Örjan & Forssander, Tom. Undersökning av polyetylenglykolstabiliserat trä. Lund 1968.
8. Akerlund, Sture. Egentyngdens inverkan på brottrisken - några räkneexempel. Lund 1968.
9. Grönqvist, Nils-Ove. Utmattningshållfasthet hos armeringsstänger. Lund 1968.
10. Grönqvist, Nils-Ove. Statisk hållfasthet hos armeringsstänger tidigare utsatta för pulserande last. Lund 1969.

Rapporter

11. Bankvall, Claes G. Temperaturbestämning och värmeisole-

- ringsundersökning genom strålningsmätning. Byggnads-  
tekniska tillämpningar av IR-kameran. Lund 1969.
12. Bankvall, Claes G. Research in heat transfer. Lund 1969.
  13. Bankvall, Claes G. Porositet och porstorleksfördelning. Metoder att studera och kvantifiera porositet och porstorleksfördelning. Lund 1969.
  14. Bankvall, Claes G. Ensidig, evakuerbar och roterbar plattapparat för värmeisoleringsundersökningar. Lund 1970.
  15. Bankvall, Claes G. Värmetransport i fibrösa material. Lund 1970.
  16. Sandberg, Per Ingvar. Icke stationär fukttransport. Beräkningar med dator. Lund 1970.
  17. Åkerlund, Sture. Säkerhetsproblem vid takkonstruktioner av trä. Textdel och figurdel. Lund 1970.
  18. Jonasson, Hans. The propagation of sound over ground with and without acoustic barriers. Lund 1971.
  19. Bomberg, Mark. Water flow through porous materials. Part I: Methods of water transport measurements. Lund 1971.
  20. Bomberg, Mark. Water flow through porous materials. Part II: Relative suction model. Lund 1971.
  21. Bomberg, Mark. Water flow through porous materials. Part III: Applications of the relative suction model. Lund 1972.
  22. Beständighet, reologi, fukt. En redovisning till Statens Råd för Byggnadsforskning över forskningen vid avd. byggnadsmateriallära, LTH åren 1968-1971. Lund 1971.
  23. Hellsten, Mikael & Toolanen, Bengt. Trä impregnerat med polyetylenglykol och melaminharts. Lund 1971.
  24. Snödjup och vattenvärde. Lund 1971.
  25. Bankvall, Claes G. Värmetransport i fiberisolerade konstruktioner. Den naturliga konvektionens betydelse. Lund 1971.
  26. Fagerlund, Göran. Samband mellan porositet och materials mekaniska egenskaper. Lund 1972.
  27. Sandberg, Per Ingvar. Samtidig ångdiffusion och luftströmning genom ett poröst material. Lund 1971.
  28. Nilsson, Leif. Utredning och förslag till provningsmetoder för korrugerade takplattor av asbestcement. Lund 1971.
  29. Samband mellan struktur och egenskaper hos byggnadsmaterial. Lund 1972.

30. Fagerlund, Göran. Spröda porösa byggnadsmaterials forstbeständighet i relation till deras struktur - teori och experiment. Lund 1972. Under publicering.
31. Degerman, Tryggve. Gipsregelväggars funktion som vindstabiliserande element. Krafter och deformationer vid lastupptagning genom skivverkan i gipsplattor. Lund 1972.
32. Boija, Jan, Larsson, Per-Robert & Sandberg, Bengt. Egenskapernas variation med djupet hos ensidigt vakuumbehandlade plattor av stor tjocklek. Lund 1972.
33. Examensarbeten 1966-71. Sammanställning av examensarbeten utförda vid byggnadsmateriallära, LTH. Lund 1972.
34. Fagerlund, Göran. Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa spröda material. Lund 1973.
35. Bodlund, Kaj. Punkt-till-punkt korrelation i efterklangsrum och i väggar monterade i reduktionslaboratorium. Lund 1972.
36. Ahlgren, Lennart. Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. Lund 1972.
37. Cederfeldt, Leif. Ljudisolering för profilerad stålplåt samt en dubbelkonstruktion utformad med profilerad stålplåt. Lund 1973.
38. Bankvall, Claes G. Natural convective heat transfer in insulated structures. Lund 1972.
39. Bankvall, Claes G. Heat transfer in insulation and insulated structure. Lund 1972.
40. Fagerlund, Göran. Significance of critical degrees of saturation at freezing of porous and brittle materials. Lund 1973.
41. Fagerlund, Göran. Methods of characterization of pore structure. Lund 1973.
42. Fagerlund, Göran. Nonfreezable water content of porous building materials. Lund 1973. Under publicering.
43. Sandberg, P I. Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. Lund 1973.
44. Fagerlund, Göran. Influence of pore structure on shrinkage, strength and elastic moduli.



45. Säkerhet hos betongkonstruktioner. Reseberättelse från kongress i Berlin, maj 1973.
46. Per Christiansson. Spector of loads and load effects for bridges. Applications to prefabricated bridge slabs with estimation of dynamic effects. A literature survey, July 1973.
47. Sentler, Lars. A live load survey in domestic houses 1974.
48. Sandberg, P I. Tätskikt och tak. Litteraturlista. Roofing systems. List of literature. 1974.
49. Lindberg, Christer. Dragprovning av spik, 1974.
50. Sandin, Kenneth. Fukt- och temperaturundersökning i Vadstena Klosterkyrka.