



# LUND UNIVERSITY

## Fukttillstånd i autoklaverade lättbetongväggar : fältmätning av slagregnets och ytskiktets inverkan

Sandin, Kenneth

1987

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Sandin, K. (1987). *Fukttillstånd i autoklaverade lättbetongväggar : fältmätning av slagregnets och ytskiktets inverkan*. (Rapport TVBM; Vol. 3026). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

*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.

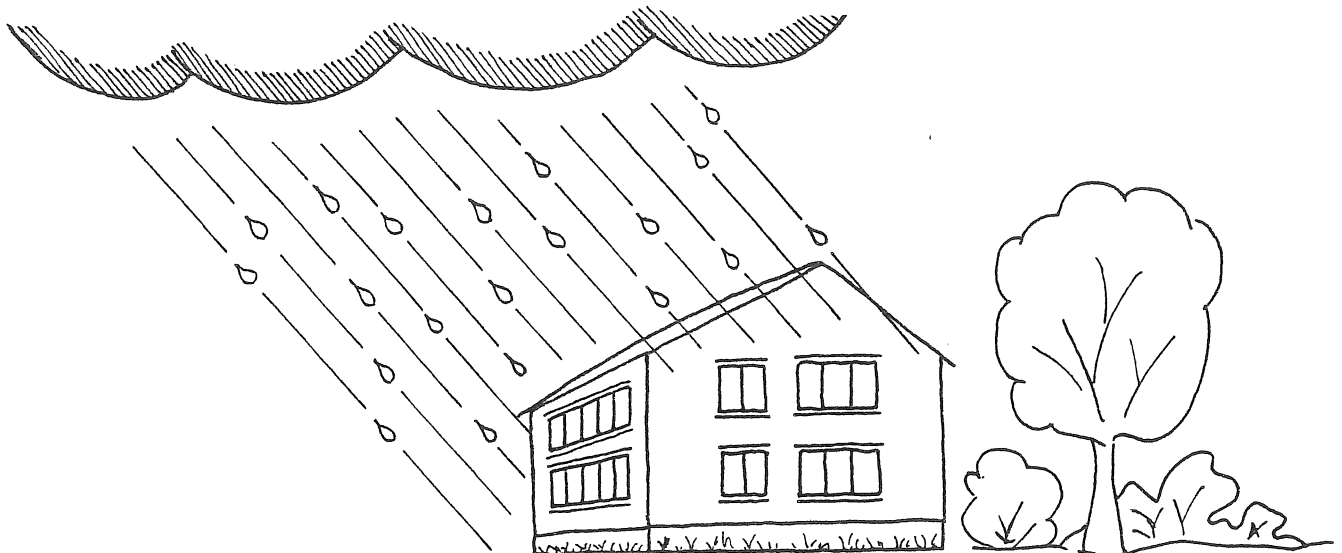
LUND UNIVERSITY

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

## FUKTTILLSTÅND I AUTOKLAVERADE LÄTTBETONGVÄGGAR Fältmätning av slagregnets och ytskiktets inverkan

THE MOISTURE CONDITION IN AERATED LIGHTWEIGHT CONCRETE WALLS  
In situ measurements of the effect of the driving rain and the surface coating

Kenneth Sandin

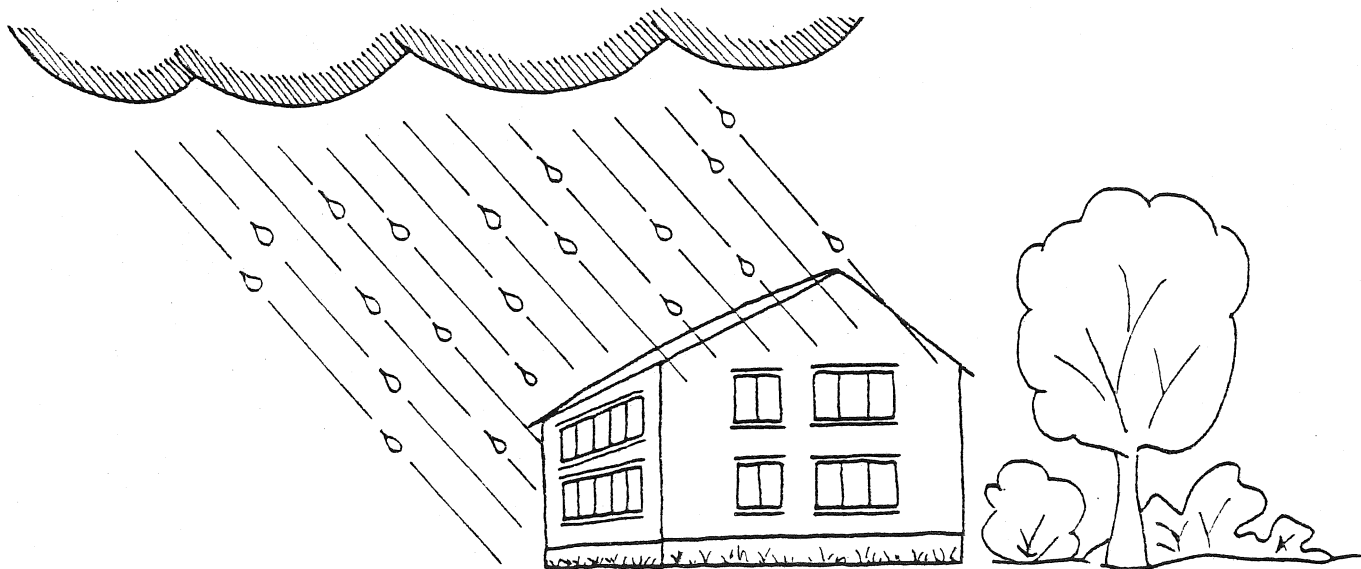


# FUKTTILLSTÅND I AUTOKLAVERADE LÄTTBETONGVÄGGAR

## Fältmätning av slagregnets och ytskiktets inverkan

THE MOISTURE CONDITION IN AERATED LIGHTWEIGHT CONCRETE WALLS  
In situ measurements of the effect of the driving rain and the surface coating

Kenneth Sandin



## I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

	FÖRORD . . . . .	5
	SAMMANFATTNING . . . . .	6
	SUMMARY . . . . .	8
1	INLEDNING . . . . .	10
2	PROVBYGGNAD OCH YTBEHANDLINGAR . . . . .	12
3	SLAGREGNSMÄTNINGAR . . . . .	17
3.1	Allmänt . . . . .	17
3.2	Mätutrustning och registrering . . . . .	17
3.3	Resultat . . . . .	20
3.4	Slagregnsfördelning på fasaderna . . . . .	26
3.5	Slagregnets fördelning på olika riktningar . . . . .	29
3.6	Slagregnsmängder . . . . .	29
3.7	Slagregnets fördelning under året . . . . .	30
3.8	Enskilda slagregn på västfasaden . . . . .	33
4	KLIMATMÄTNINGAR . . . . .	35
4.1	Utomhusklimat . . . . .	35
4.2	Inomhusklimat . . . . .	35
5	MÄTNINGAR AV FUKTTILLSTÅND I VÄGGARNA . . . . .	40
5.1	Allmänt . . . . .	40
5.2	Fuktkvotsmätning . . . . .	40
5.3	Relativ mätning med elektroder . . . . .	58
6	FUKTTILLSTÅNDETS BEROENDE AV YTSKIKT OCH SLAGREGN . . . . .	72
6.1	Allmänt . . . . .	72
6.2	Uttorkning av byggfukt . . . . .	73
6.3	Fortvarighetstillstånd . . . . .	78
7	SAMMANFATTANDE DISKUSSION . . . . .	89
	LITTERATUR . . . . .	92



## FÖRORD

I ett tidigare BFR-finansierat forskningsprojekt har putsens inverkan på fasadens fuktbalans studerats i detalj, Sandin (1980). Härvid framkom bland annat att relevanta uppgifter på de slagregnsmängder som träffar en fasad till stor del saknas. Med anledning härav planerades ett projekt där slagregnsbelastningar på fasader skulle mätas.

Det ovannämnda projektet om fasadens fuktbalans innefattade inga fältmätningar. För att studera fuktförhållandena i praktiken planerades därför ett fältmätningprojekt.

Ovanstående två projekt planerades inom Fuktgruppen vid LTH. Samtidigt planerades på annat håll ett projekt om beständighet hos ytskikt. Med anledning härav ändrades inriktningen av de två projekten som Fuktgruppen planerade. I stället för att göra få mätningar på många byggnader, bestämdes att göra en detaljerad mätning på den byggnad som skulle användas i beständighetsprojektet.

Fuktgruppens undersökningar har helt finansierats av BFR genom forskningsanslaget 810646-3. Föreliggande rapport är en slutredovisning av dessa undersökningar, vilka pågått under tiden 1982 - 86. Resultaten av beständighetsundersökningarna kommer att publiceras av Statens Institut för Byggnadsforskning.

Förutom till personalen vid Byggnadsmateriallära, vilka deltagit vid tillverkning och montering av mätutrustning, vill jag även rikta ett varmt tack till O. Sundström AB. Ägarna till företaget har välvilligt låtit oss montera utrustning och delvis perforera väggarna. Personal från företaget har dessutom skött de löpande mätningarna.

Lund i jan 1987.

Kenneth Sandin

## SAMMANFATTNING

Fukttillståndet i ytterväggar är starkt beroende av slagregnsbelastningen och ytskiktets fukttekniska egenskaper. Detta kan man lätt visa med jämförande teoretiska beräkningar och genom laboratorieförsök. Några säkra kvantitativa beräkningar är däremot omöjliga att utföra.

För att få en säker bedömningsgrund när det gäller inverkan av slagregn och olika ytskikt har direkta fältmätningar utförts under fyra års tid. Provbyggnaden, vars väggar består av 250 mm autoklaverad lättbetong, är belägen i Göteborgstrakten. Fasaden är indelad i 6 m långa fack, vilka behandlats med olika ytskikt. Totalt finns det 14 olika ytbehandlingsarter.

Under hela mätperioden har klimat och fukttillstånd i väggarna registrerats. Slagregnet har mätts på cirka 25 olika platser på fasaderna. Fukttillståndet har mätts på olika djup i väggarna på 21 olika platser.

Mätningarna visar att slagregnet och ytskiktets egenskaper har en avgörande betydelse för fukttillståndet. Under de första åren har även byggfukten en stor betydelse. På fasader med liten slagregnsbelastning är det enbart byggfukten som har betydelse. Uttorkningen av byggfukten påverkas främst av ytskiktets ånggenomsläpplighet och fasadens orientering. Vissa ytskikt medför en snabb uttorkning av byggfukten. I vissa fall var däremot uttorkningstiden mycket lång, och efter fyra år var fortfarande medelfuktinnehållet relativt högt. För att uttorkningen skall ske någorlunda snabbt (3 - 4 år) måste ytskiktets ånggenomsläpplighet vara större än  $0.10 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Väggens fuktinnehåll i fortvarighetstillstånd varierar kraftigt beroende på slagregnsbelastning och ytskiktets fukt-

egenskaper. På fasader med ringa slagregnsbelastning är yt-skiktets fuktegenskaper av mindre betydelse. På fasader med kraftig slagregnsbelastning är däremot ytskiktets fuktegenskaper mycket viktiga. Avgörande för fortvarighetstillståndet är sambandet mellan vattenupptagning under regn och yt-skiktets ånggenomsläpplighet. Ytskikt, som enligt produktbroschyrer kan förefalla likvärdiga, kan ge mycket olika resultat. Vissa ytskikt medförde att fukttillståndet på lång sikt blev mycket högt, 20 - 25 viktsprocent. Andra ytskikt medförde ett mycket lågt fukttillstånd, 4 - 5 viktsprocent.

Något exakt "acceptabelt" samband mellan vattenupptagning och ånggenomsläpplighet, för att få en vägg med ett lågt fukttillstånd, går inte att ge med utgångspunkt från genomförda mätningar. För att kunna göra detta måste fältmätningar genomföras på ett antal olika objekt. Utförda mätningar och teoretiska beräkningar visar att den "acceptabla" kvoten mellan vattenupptagning och ånggenomsläpplighet (definierade enligt mätningarna i rapporten) bör ligga inom intervallet 1 500 - 8 000 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2} / \text{m}^3$ ). I brist på bättre bedömningsunderlag kan en rimlig kompromiss vara att kvoten skall vara mindre än 3 000 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2} / \text{m}^3$ ). Samtidigt bör även ånggenomsläppligheten vara större än  $0.10 \cdot 10^{-3}$  m/s.



## SUMMARY

The moisture condition in outer walls is dependent on the driving rain and the moisture conditions of the surface coating. This can easily be shown by comparative calculations and laboratory tests. However, it is impossible to make any exact calculations.

In order to obtain a more solid basis for forming an estimate a field investigation has been carried out over a period of four years. The test building, consisting of 250 mm aerated lightweight concrete, is situated outside Gothenburg. The facades are divided into 6 m long sections, which were treated with different surface coatings.

Throughout the entire period of measurements the climate and moisture conditions in the walls were measured. The driving rain was measured at 25 different places on the facades. The moisture conditions were measured at different depths in the walls at 21 different places.

The measurements show that the driving rain and the properties of the surface coating have a decisive effect on the moisture condition.

During the first years after construction the initial moisture content has an important effect. In walls exposed to little driving rain, the initial moisture content is the decisive moisture source. The drying out of the initial moisture content depends mainly on the vapour permeability of the surface coating and the orientation of the facade. Certain surface coatings lead to a very short drying out time. Other surface coatings lead to a very long drying out time. To ensure that the drying out takes place rather quickly (3 - 4 years) the vapour permeability of the surface coating must be greater than  $0.10 \cdot 10^{-3}$  m/s.

The moisture content of the wall in long-term varies and is very dependent on the driving rain and the properties of the surface coating. In walls exposed to little driving rain the properties of the surface coating are of minor importance. However, in facades exposed to heavy driving rains, the properties of the surface coating are of great importance. The relationship between water absorption during driving rain and the vapour permeability of the surface coating is decisive for the moisture content. Surface coatings, which according to booklets from the producers are similar to each other, can lead to quite different moisture contents in the wall. Certain surface coatings lead to a very high moisture content, 20 - 25 percent by weight. Other surface coatings lead to a very low moisture content, 4 - 5 percent by weight.

An exact "acceptable" relationship between water absorption and vapour permeability, in order to obtain a dry wall, is not possible to state. To be able to do this, further measurements must be carried out in different buildings. However, the results from this investigation show that an acceptable relationship between water absorption and vapour permeability (measured according to the methods in this report) ought to be between 1 500 and 8 000  $(\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2})/\text{m}^3$ . In the absence of a better basis for forming an estimate, it could be reasonable to use 3 000  $(\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2})/\text{m}^3$  as an upper limit for the relationship between water absorption and vapour permeability. Another reasonable condition is that the vapour permeability should be greater than  $0.10 \cdot 10^{-3}$  m/s. Both these conditions should be fulfilled at the same time.

## 1 INLEDNING

Det finns många anledningar att eftersträva en torr yttervägg. Sämre värmeisolering, frostsador samt angrepp av mögel och röta är några exempel på tänkbara konsekvenser av höga fukttillstånd.

För att uppnå målsättningen att få en torr vägg måste två olika förhållanden uppmärksammas. Dels måste byggfukten torka ut så snabbt som möjligt och dels får inte fukt tillföras i någon större omfattning i efterhand. I båda fallen har fasadens ytskikt en mycket stor betydelse. I det senare fallet har även slagregnsbelastningen stor betydelse. Det idealiska ytskiktet skall tillåta en snabb uttorkning och samtidigt förhindra att slagregn absorberas i väggen.

Vid bedömningar av ytterväggars fukttillstånd bortser man ofta från både slagregnsbelastningen och ytskiktets egenskaper. I SBN förutsätts, vid beräkning av k-värden för ytterväggar, att autoklaverad lättbetong alltid har fuktkvoten 6 viktsprocent, såvida väggen inte bekläds med en "regnkappa". Någon hänsyn till olika ytbehandlings- eller olika slagregnsbelastningar tas inte. Vidare förutsätts i allmänhet att byggfukten är uttorkad efter "ett antal år".

Föreliggande undersökning syftar till att belysa hur fukttillståndet kan bli i praktiken hos en yttervägg av autoklaverad lättbetong. Några exempel på frågeställningar har härvid varit:

Hur lång tid tar det för byggfukten att torka ut?

Vilket fukttillstånd nås i fortvarighetsläget?

Hur mycket varierar fukttillståndet under året?

Hur inverkar slagregnsbelastningen?

Hur inverkar ytskiktets egenskaper?

Finns det någon väsentlig skillnad mellan olika kommersiella ytskikt?

Undersökningen har genomförts genom direkta mätningar på en nyuppförd lagerbyggnad av autoklaverad lättbetong i Göteborgstrakten. Fasaderna delades in i cirka 6 meter långa fack, vilka ytbehandlades med olika ytskikt. Totalt finns det 15 olika ytskikt på fasaderna. Under cirka 3 års tid mättes slagregnsbelastningen och fukttillståndet i cirka 25 olika punkter på fasaderna. Vidare gjordes standardmätningar av ytskiktens fuktegenskaper.

Något slutligt "jämviktsläge" har ännu inte nåtts. Mätningarna kommer därför att fortsätta i begränsad omfattning ytterligare några år. Tendensen i de hittills utförda mätningarna är dock entydig, varför en redovisning är motiverad redan nu. Föreliggande rapport skall ses som en slutrapport för projektet. Framtida mätningar kommer att redovisas som en komplettering till föreliggande redovisning.

## 2 PROVBYGGNAD OCH YTBEHANDLINGAR

Provbyggnaden är belägen i Partille utanför Göteborg och ägs av O. Sundström AB. Byggnaden uppfördes hösten 1981 och används som lagerlokal. Under vintern hålls temperaturen vid +12<sup>o</sup> C.

Terrängen intill byggnaden är helt öppen i alla väderstreck. Ett par hundra meter söder om byggnaden reser sig en större bergskedja. Mot öster finns en liknande byggnad på cirka 20 meters avstånd. Mot väster finns en liknande byggnad på avståndet 15 meter. Mot norr och söder finns ingen byggnation.

Lagerbyggnadens yttermått är 54.8 x 39.3 meter och höjden är 6.6 meter. Stommen består av prefabricerade betongpelare och balkar. Väggarna består av 250 mm liggande autoklaverade lättbetongelement kvalitet 450. Taket avvattnas med invändigt avlopp. Byggnadens utseende framgår av FIG. 2:1-2.

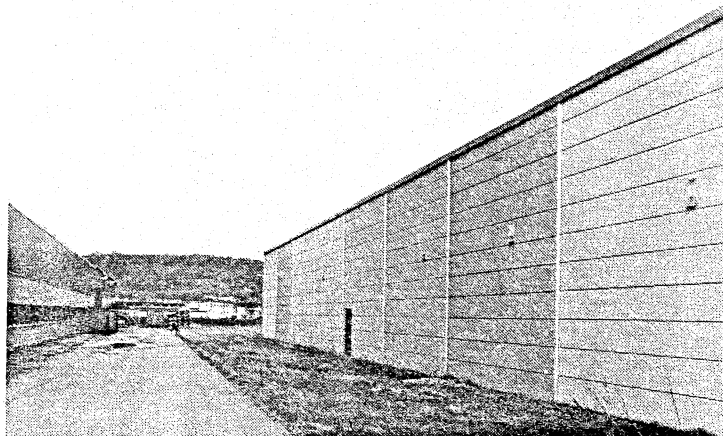


FIG. 2:1. Västfasad.

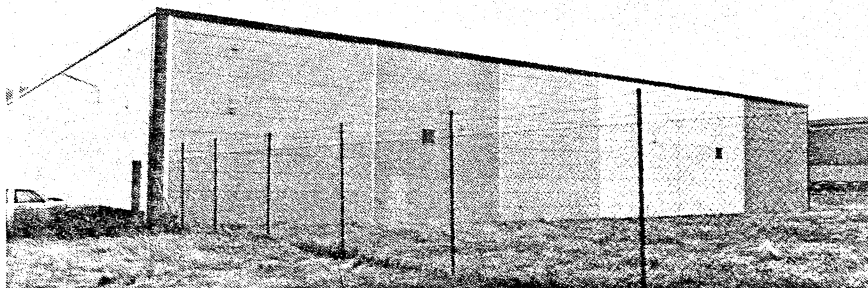


FIG. 2:2. Norrfasad.

Fasaderna är indelade i 6.0 respektive 7.2 m långa fack med olika lättbetong och olika fasadytskikt. Fackindelningen framgår av FIG. 2:3 och TAB. 2:1. Definitionen av de olika ytskikten är mycket svävande. Beteckningarna är hämtade direkt från tillverkarnas broschyrer. Olika beteckningar kan mycket väl avse samma sak. De flesta ytskikten är kommersiella produkter på den svenska marknaden. På väggarnas insidor finns ingen ytbehandling.

I samband med att fasaden ytbehandlades tillverkades även prover för laboratoriemätning av ytskiktens fuktegenskaper.

Ånggenomsläppligheten bestämdes genom diffusionsprov med "skålmotoden". Mätningarna gjordes på prover bestående av 20 mm lättbetong (ej hydrofoberad YTONG) med respektive ytskikt applicerat på ena sidan. Mätningarna gjordes med 100 % RF i skålen och 65 % RF utanför. Temperaturen var +20 °C. Proverna monterades på skålarna med ytskiktet utåt. Ånggenomsläppligheten ( $P_v$  m/s) avser hela provkroppen.

Vatteninträngningstalet bestämdes genom att låta 50 mm tjocka prover kapillärsuga vatten genom ytskiktet. Vatteninträngningstalet bestämdes i allmänhet efter 24 timmars sugning. I de fall proverna vattenmättades innan 24 timmar, bestämdes i stället vatteninträngningstalet efter 6 timmar. Vatteninträngningstalet vid tiden  $t$  definieras genom

$$A_t = \frac{G}{60 \cdot t^{1/2}} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$$

där  $G$  = uppsugen vattenmängd  $\text{kg}/\text{m}^2$   
 $t$  = tiden  $\text{h}$

Ånggenomsläppligheten och vatteninträngningstalet för de olika ytskikten redovisas i TAB. 2:2. Alla värden avser medelvärden av 4 prover. För de vävarmerade ytskikten finns inga mätningar.

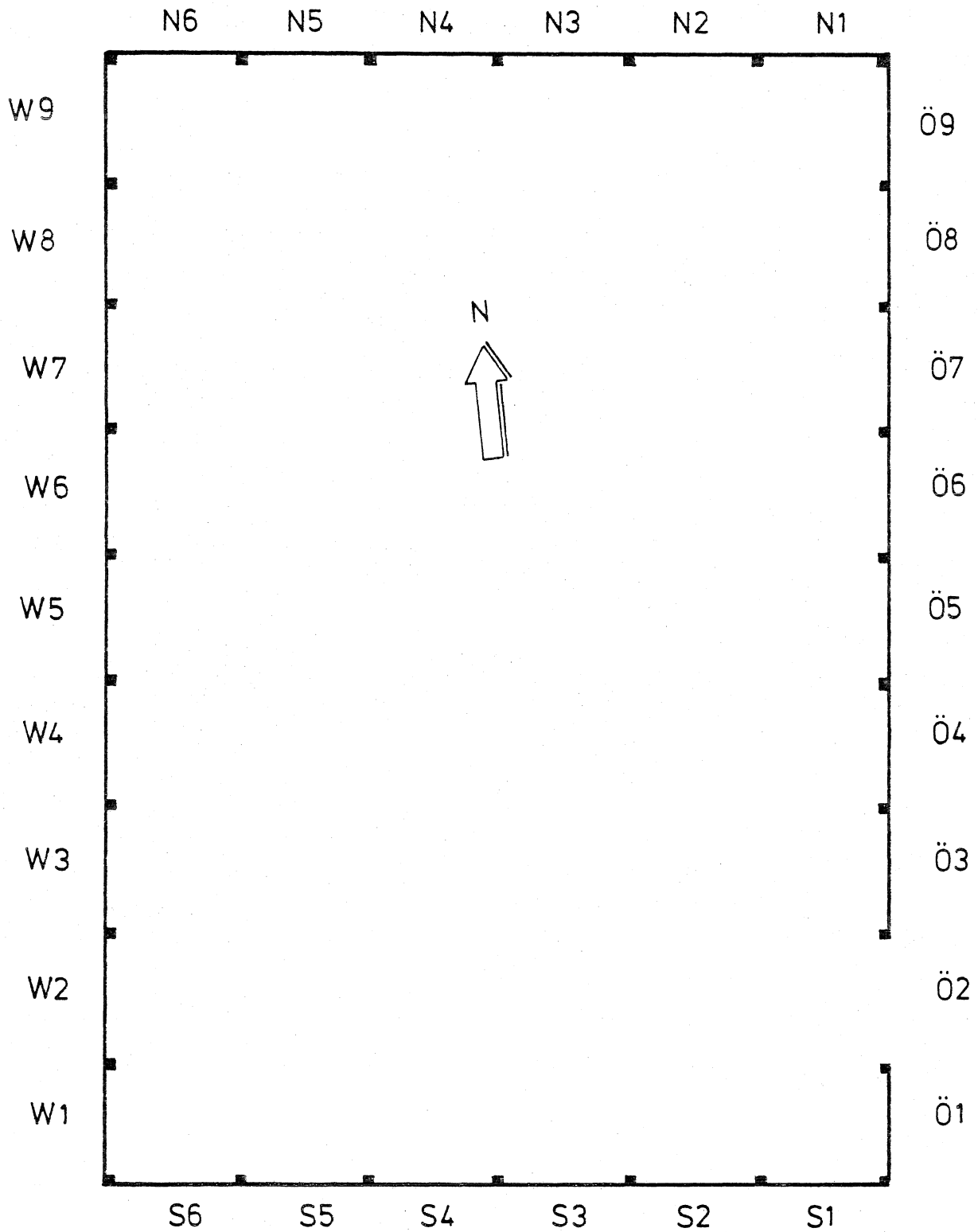


FIG. 2:3. Provbyggnadens fackindelning enligt TAB. 2:1.

TAB. 2:1. Vägghmaterial och ytskikt.

Fack	Vägghmaterial	Ytskiktstyp	Tidpunkt för ytbehandling
S 1-6	Hydrofoberad SIPOREX	Vävarmerad organisk tunnputs	dec 1981
W 1	Hydrofoberad YTONG	Organisk fasadfärg	okt 1982
W 2	Hydrofoberad YTONG	Organisk strukturfärg	okt 1982
W 3	Hydrofoberad YTONG	Organisk dekorputs	okt 1982
W 4	Hydrofoberad YTONG	Organisk fasadfärg	okt 1982
W 5	Hydrofoberad YTONG	Organisk strukturfärg	okt 1982
W 6	Hydrofoberad YTONG	Organisk strukturfärg	okt 1982
W 7	Hydrofoberad YTONG	Organisk strukturfärg	sept 1982
W 8	Hydrofoberad YTONG	Organisk tunnputs	sept 1982
W 9	Hydrofoberad YTONG	Oorganisk tunnputs	sept 1982
N 1	Hydrofoberad SIPOREX	Organisk strukturfärg	nov 1982
N 2	Hydrofoberad YTONG	Oorganisk fasadfärg (silikat)	okt 1982
N 3	Hydrofoberad YTONG	Organisk betongfärg	nov 1982
N 4-5	Hydrofoberad YTONG	Obehandlad	
N 6	Hydrofoberad SIPOREX	Organisk tunnputs	nov 1982
Ö 1	Ej hydrofoberad YTONG	Vävarmerad organisk tunnputs	dec 1981
Ö 3,9	Blandad YTONG	Vävarmerad organisk tunnputs	dec 1981
Ö 4-8	Hydrofoberad YTONG	Vävarmerad organisk tunnputs	dec 1981

Anm. All vävarmerad organisk tunnputs är identisk, bortsett från kulören. Övriga ytbehandlingar är av olika fabrikat.



TAB. 2:2. Ytskiktens fuktegenskaper.

Fack	Vatteninträngningstal ( $10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ )	Ånggenomsläpplighet ( $10^{-3} \text{ m/s}$ )
W 1	7	0.015
W 2	1	0.054
W 3	44	0.29
W 4	12	0.23
W 5	4	0.069
W 6	2	0.16
W 7	2	0.15
W 8	2	0.12
W 9	32	0.30
N 1	32	0.18
N 2	42	0.30
N 3	2	0.25
N 4	(48)	(0.34)
N 5	(48)	(0.34)
N 6	2	0.054

### 3 SLAGREGNSMÄTNINGAR

#### 3.1 Allmänt

Huvudsyftet med hela projektet var att studera sambandet mellan slagregnsbelastning, ytskikt och fukttillstånd i väg-garna. Slagregnsmätningarna har i huvudsak inriktats på detta.

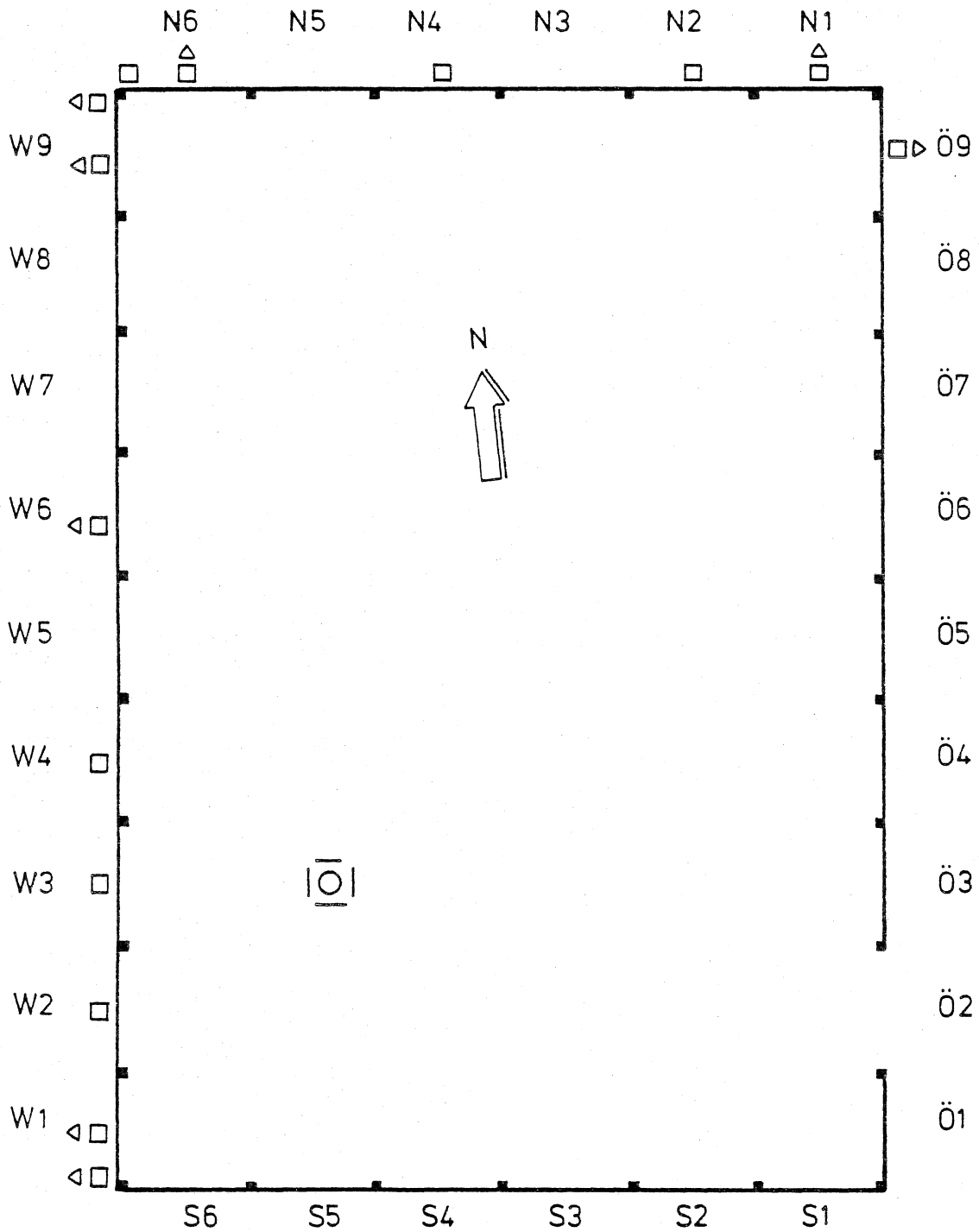
För att i viss utsträckning kunna studera slagregnsbelastningen ur en allmän synvinkel, kompletterades ovanstående mätningar med ytterligare några mätpunkter.

Med hänsyn till mätperiodens korta tid och att mätutrustningen delvis varit ur funktion kan ingen statistisk bearbetning göras. Det kan trots detta vara intressant att se hur de utförda mätningarna "passar in i mönstret" enligt tillgänglig litteratur.

#### 3.2 Mätutrustning och registrering

Slagregnet registrerades med totalt 27 slagregnsmätare placerade enligt FIG. 3.2:1. Slagregnsmätarnas konstruktion framgår av FIG. 3.2:2. Från en cirka  $0.03 \text{ m}^2$  stor uppsamlingsyta leds vattnet till en vippanordning. När vippan är full töms den, varvid en impuls ges till en skrivare. Den härvid uppsamlade vattenmängden motsvarar en slagregnsmängd på  $0.10 \text{ kg/m}^2$ . Noggrannheten hos slagregnsmätarna är cirka  $\pm 5 \%$ .

När slagregnsmätarna är torra krävs en vattenmängd motsvarande  $0.08 \text{ kg/m}^2$  för att väta uppsamlingsytan. Denna mängd kommer inte med vid registreringen.



□ = Slagregnsmätare på fasad 4.2 m över mark  
▷ = Slagregnsmätare på fasad 6.0 m över mark  
|○| = Slagregnsmätare på taket 1.0 m över nock

FIG. 3.2:1. Placering av slagregnsmätare.

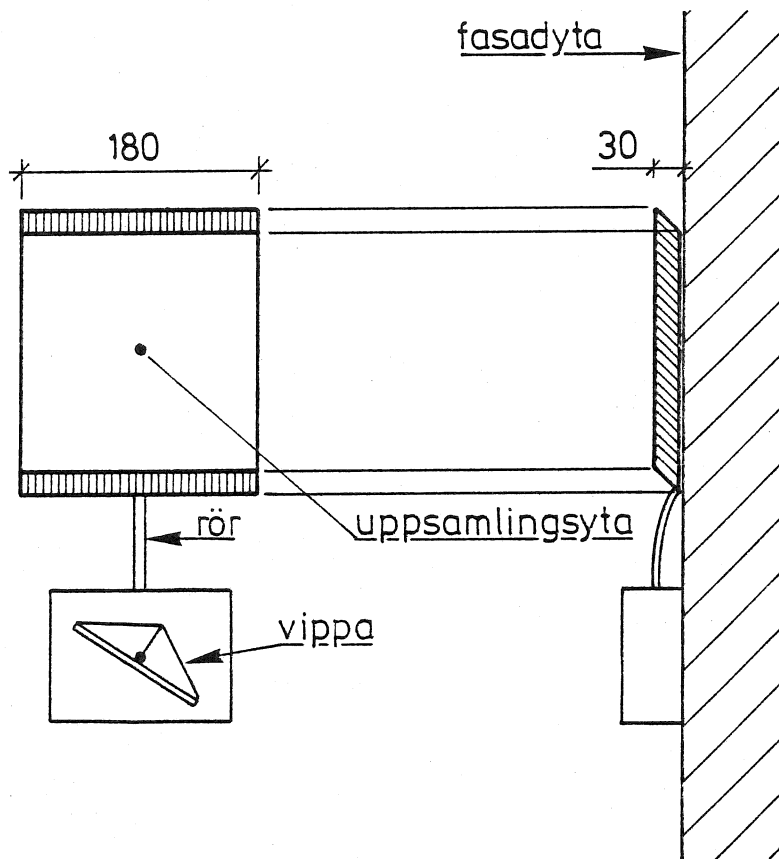


FIG. 3.2:2. Slagregnmätarnas konstruktion.

Skrivarna för registreringen av slagregnet gör en markering för varje vippning. Vid mycket intensiva slagregn kommer markeringarna så tätt att de inte kan åtskiljas. Den maximala intensitet som med säkerhet kan avläsas motsvarar cirka  $6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Detta innebär att de i resultatredovisningen angivna värdena skall uppfattas som "minimivärden". De verkliga slagregnmängderna är i vissa fall större. Antal tillfällena med så kraftiga regn är dock få. De har endast förekommit på enstaka mätare (främst mätarna på taket) under korta tider (1 - 5 minuter). Inverkan av denna begränsning på helhetsbilden är försumbar.

## 3.3 Resultat

En fullständig redovisning av alla data är inte meningsfull. Här väljs att enbart redovisa vissa sammanställningar och exempel. I redovisningen användes en numrering av slagregns-mätarna enligt FIG. 3.3:1.

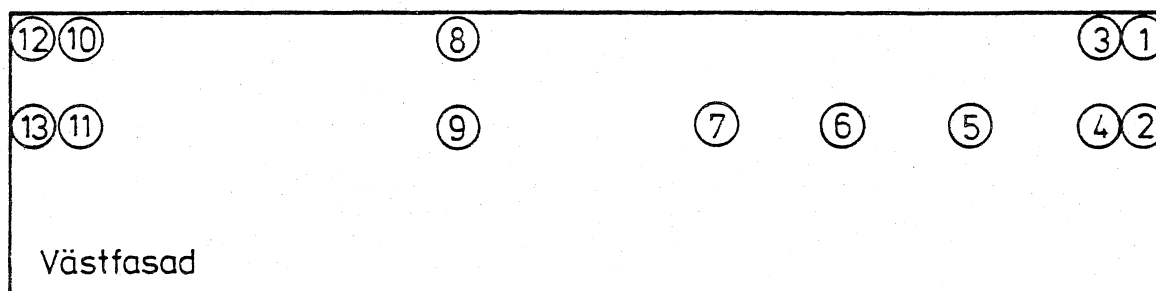
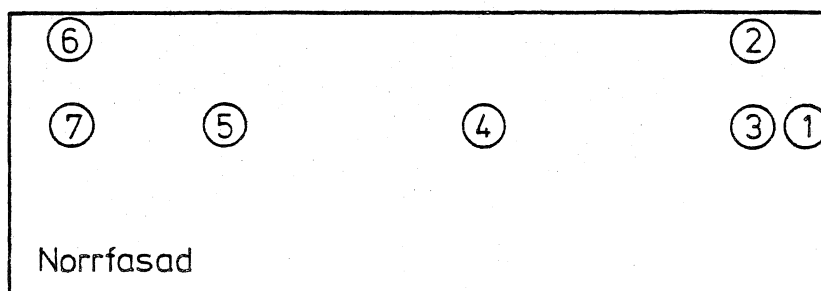


FIG. 3.3:1. Numrering av mätpunkter för slagregn.

De totala slagregnsmängderna per månad för varje mätpunkt redovisas i TAB. 3.3:1-3 för större delen av mätperioden. Tider då enstaka mätare ej fungerat är markerade med - .

Förutom de totala slagregnsmängderna är även antalet dygn med slagregn av intresse. En sådan sammanställning redovisas för hela mätperioden i TAB. 3.3:4 för mätpunkten 12 på västfasaden. För de tider då denna slagregnsmätare varit ur funktion har antalet dygn med slagregn uppskattats med utgångspunkt från övriga slagregnsmätare och SMHI:s klimat-

TAB. 3.3:1. Uppmätta slagregnsmängder (kg/m<sup>2</sup>) på taket.

Tid	Väderstreck			
	S	V	N	Ö
10-31 mars83	18.4	10.9	1.5	24.3
April	4.7	10.1	4.5	12.1
Maj-Aug	U R F U N K T I O N			
Sept	28.7	35.6	-	16.8
Okt	53.5	68.6	-	1.8
Nov83 - Apr84	M Ä T A R N A		F R U S N A	
Maj	4.6	1.9	0.3	5.0
Juni	4.8	4.1	1.5	0.9
Juli	4.7	15.8	6.6	1.7
Aug	2.3	6.2	0.0	0.0
Sept	7.0	9.0	2.5	3.7
1-22 okt	34.0	34.7	1.4	12.8
23-31 okt	U R F U N K T I O N			
Nov	11.4	10.0	0.1	8.6
Dec	15.9	6.9	0.0	0.8
SUMMA	200	210	18	88

TAB. 3.3:2. Uppmätta slagregnsmängder (kg/m<sup>2</sup>) på västfasad.

T i d	M ä t a r e												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1-19/11 -82	19.6	14.3	20.6	12.0	10.8	8.1	9.6	18.1	10.5	24.8	-	18.4	-
20-30/11	U R F U N K T I O N												
1-22/12	-	11.5	18.0	9.2	9.2	7.8	8.1	12.8	8.1	20.5	-	17.3	-
23-31/12	U R F U N K T I O N												
Jan -83	-	27.0	34.7	19.7	15.6	11.6	12.0	29.1	17.5	46.5	-	52.4	-
Feb-9/3	U R F U N K T I O N												
10-31/3	5.8	2.8	5.0	2.3	2.0	1.4	1.8	3.5	1.4	5.2	1.1	4.4	0.9
April	2.9	0.9	2.2	0.7	0.5	0.5	0.5	1.7	0.7	4.9	1.3	4.6	-
Maj	12.8	7.9	11.1	-	6.0	4.7	5.6	11.0	-	-	-	-	4.5
Juni	7.2	4.1	-	-	2.8	2.3	2.8	-	-	-	-	-	-
Juli	4.5	3.0	-	-	2.0	1.6	1.8	-	-	-	-	-	-
Aug	-	2.3	-	-	1.4	1.2	1.4	-	-	-	-	-	-
Sept	-	14.6	-	-	11.6	8.5	11.1	-	12.3	27.4	-	25.7	15.7
Okt	-	17.8	-	-	11.6	9.7	10.8	-	-	65.0	11.8	49.8	8.7
Nov-Dec	U R F U N K T I O N												
Jan -84	-	28.9	-	-	9.0	9.9	10.3	-	-	29.9	-	24.8	8.7
Feb-Apr	U R F U N K T I O N												
Maj	3.7	2.0	3.6	1.9	1.5	1.6	1.7	2.8	0.8	1.8	0.9	1.4	2.3
Juni	3.5	1.9	2.8	1.5	1.1	0.9	1.3	2.8	0.8	2.6	1.4	2.3	0.3
Juli	16.3	10.3	16.0	9.7	8.3	6.5	7.5	13.3	8.4	17.5	11.1	16.3	6.6
Aug	5.1	2.3	4.2	2.7	1.6	1.5	2.0	3.7	2.2	5.4	2.8	4.5	1.2
Sept	7.7	3.9	6.4	4.1	2.6	2.7	3.0	6.6	2.8	7.8	4.7	7.6	5.1
1-22/10	30.9	16.6	25.5	15.6	10.3	10.0	10.3	20.2	11.5	26.0	14.8	27.1	13.7
23-31/10	U R F U N K T I O N												
Nov	9.7	4.2	7.3	5.0	-	3.0	-	7.7	2.8	7.5	3.4	7.0	5.0
Dec	4.2	1.8	3.4	2.1	-	1.7	-	3.0	1.3	3.5	1.6	3.5	4.2

TAB. 3.3:3. Uppmätta slagregnmängder (kg/m<sup>2</sup>) på norrfasad.

Tid	M ä t a r e						
	1	2	3	4	5	6	7
10-31 mars83	0.2	0.7	0.1	0.3	0.2	0.7	0.2
April	1.0	1.6	0.8	1.0	1.1	2.2	1.4
Maj	-	2.5	0.9	1.0	2.0	2.0	0.9
Juni-Aug		U R F U N K T I O N					
Sept	-	-	0.2	0.2	0.3	0.8	0.3
Okt	-	-	0.3	0.2	0.2	-	0.3
Nov83-Apr84		U R F U N K T I O N E L L E R F R U S N A					
Maj	-	0.4	-	0.1	-	0.4	0.2
Juni	-	1.4	0.7	0.6	0.6	1.3	1.0
Juli	2.8	6.5	3.8	3.3	2.5	4.6	4.0
Aug		U R F U N K T I O N					
Sept	-	2.2	0.6	0.8	-	1.6	1.3
1-22 okt	-	1.1	0.7	0.5	-	1.2	0.8

TAB. 3.3:4. Antal dygn med fasadslagregn.

	1982	1983	1984	1985
Jan		22	9	0
Feb		5	2	0
Mar		9	0	3
Apr		6	5	2
Maj		8	2	
Jun		4	3	
Jul		3	7	
Aug		3	2	
Sept		12	5	
Okt		21	16	
Nov	15	2	4	
Dec	16	7	3	

data. Dagn med mindre slagregn än cirka  $0.1 \text{ kg/m}^2$  är ej medtagna i redovisningen.

De enskilda slagregnens relativa fördelning med avseende på slagregnsmängd och varaktighet redovisas i FIG. 3.3:2-3.

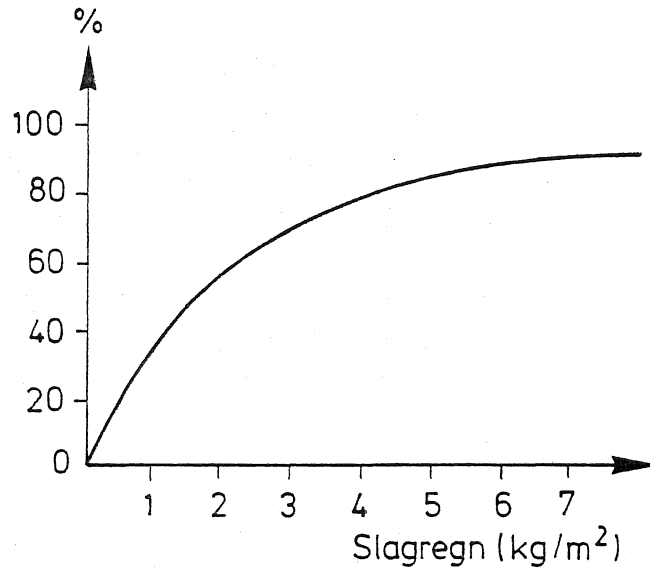


FIG. 3.3:2. Frekvensdiagram för slagregnsmängd per slagregnstillfälle.

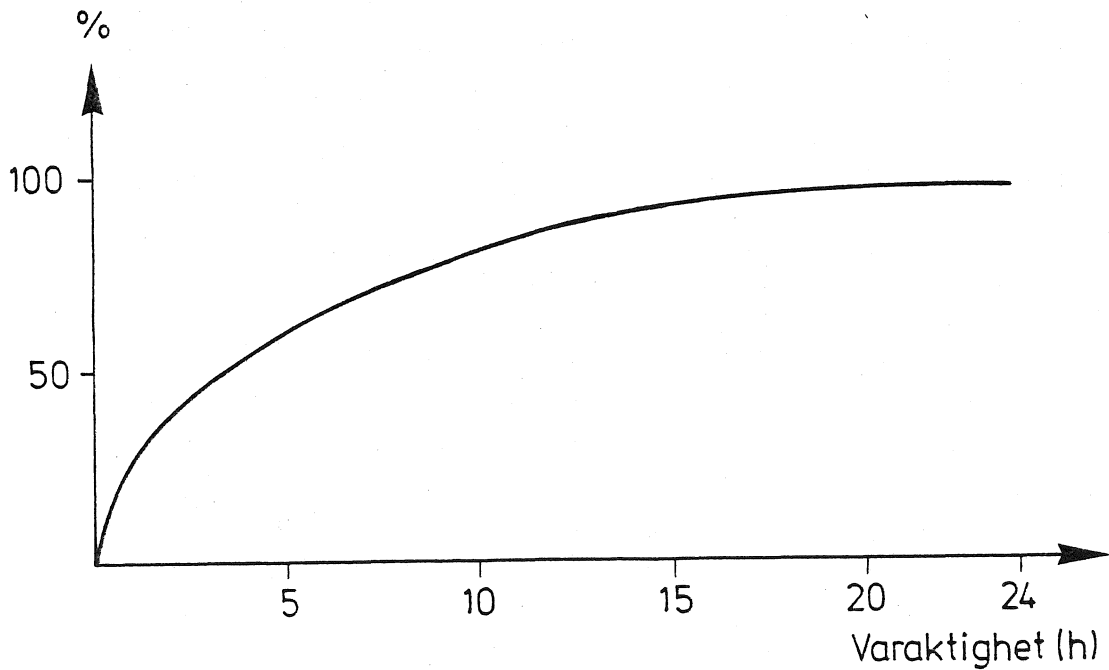


FIG. 3.3:3. Frekvensdiagram för varaktigheten hos enskilda slagregn.



Kurvorna anger hur många procent av alla slagregn som har en totalmängd respektive varaktighet som är mindre än ett visst värde. FIG. 3.3:2-3 gäller för mätpunkt 12 på västfasaden. Som ett regn betraktas även flera regnperioder, med maximalt 6 timmars uppehåll mellan regnperioderna.

Sambandet mellan maximal slagregnsintensitet och varaktighet för mätpunkt 12 på västfasaden redovisas i FIG. 3.3:4. Intensiteten är beräknad som totalmängd dividerad med varaktighet för respektive regn. På grund av begränsningen i registreringsutrustningen är de angivna värdena på maxintensiteterna något för låga. Detta gäller främst vid de högsta intensiteterna.

I FIG. 3.3:5-7 redovisas slutligen några exempel på detaljförlopp hos enstaka slagregn. Även dessa exempel gäller mätpunkt 12 på västfasaden.

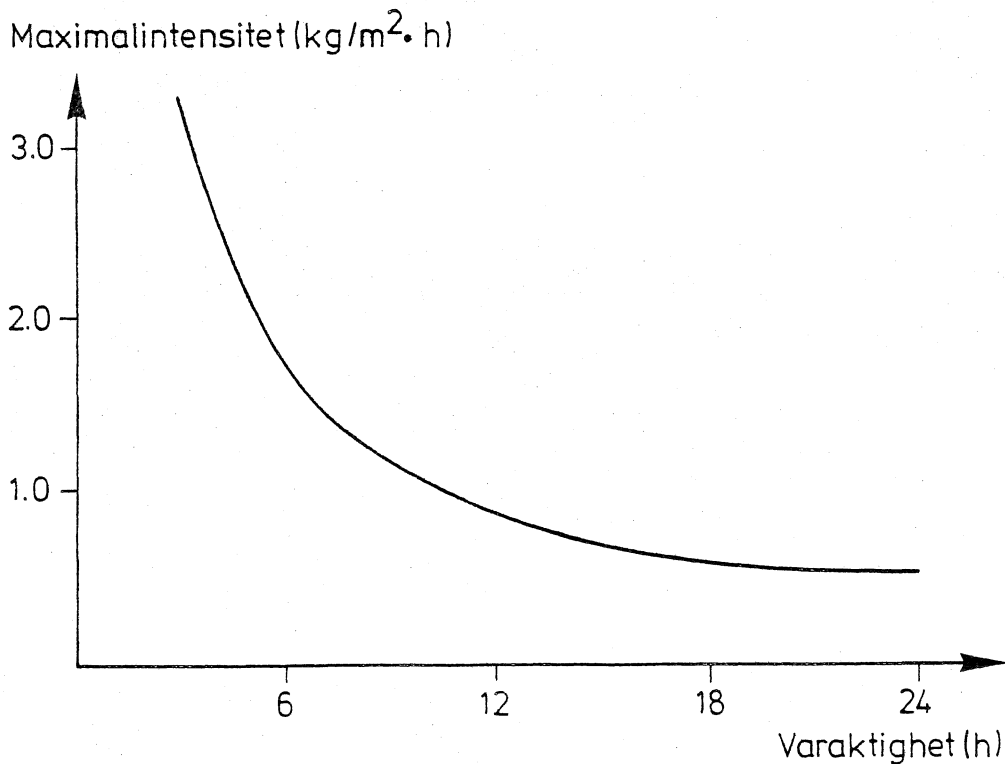


FIG 3.3:4. Samband mellan maximal slagregnsintensitet och varaktighet.

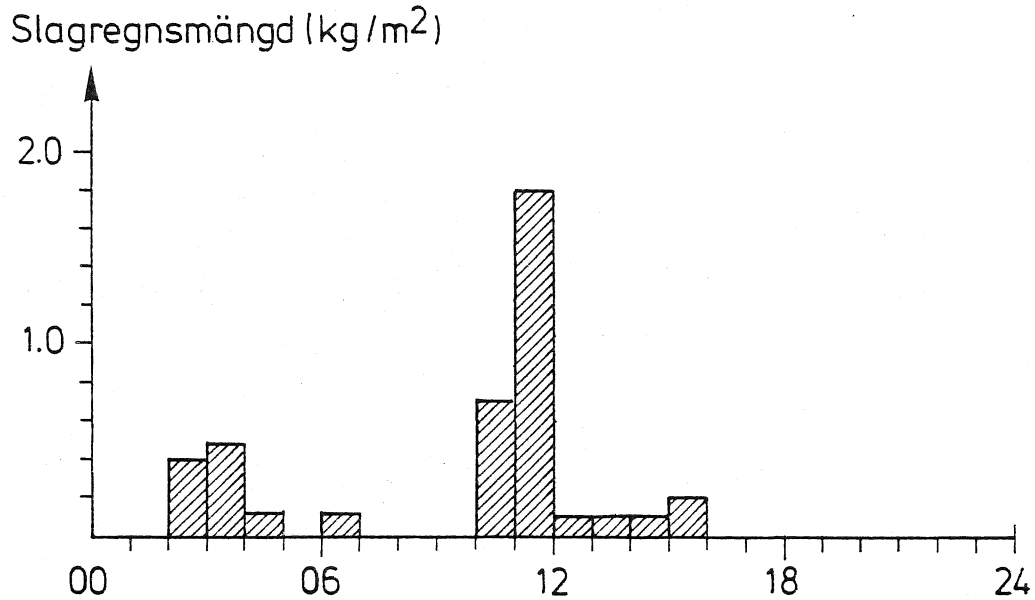


FIG. 3.3:5. Exempel på "normalt" slagregn på västfasaden, mätpunkt 12, 841125.

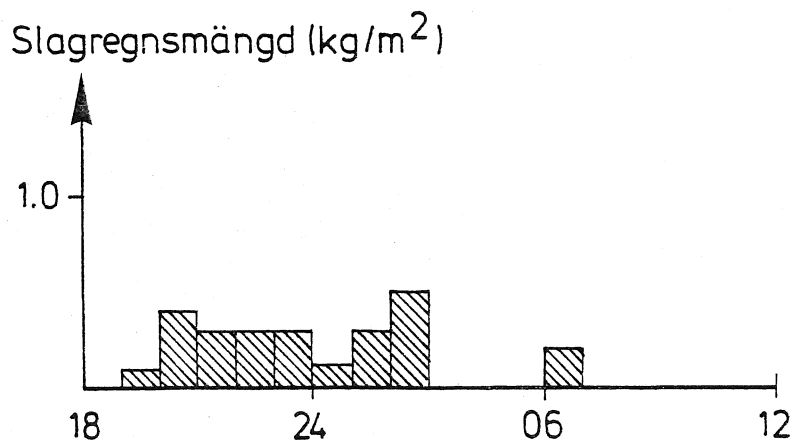


FIG. 3.3:6. Exempel på "normalt" slagregn på västfasaden, mätpunkt 12, 830101 - 830102.

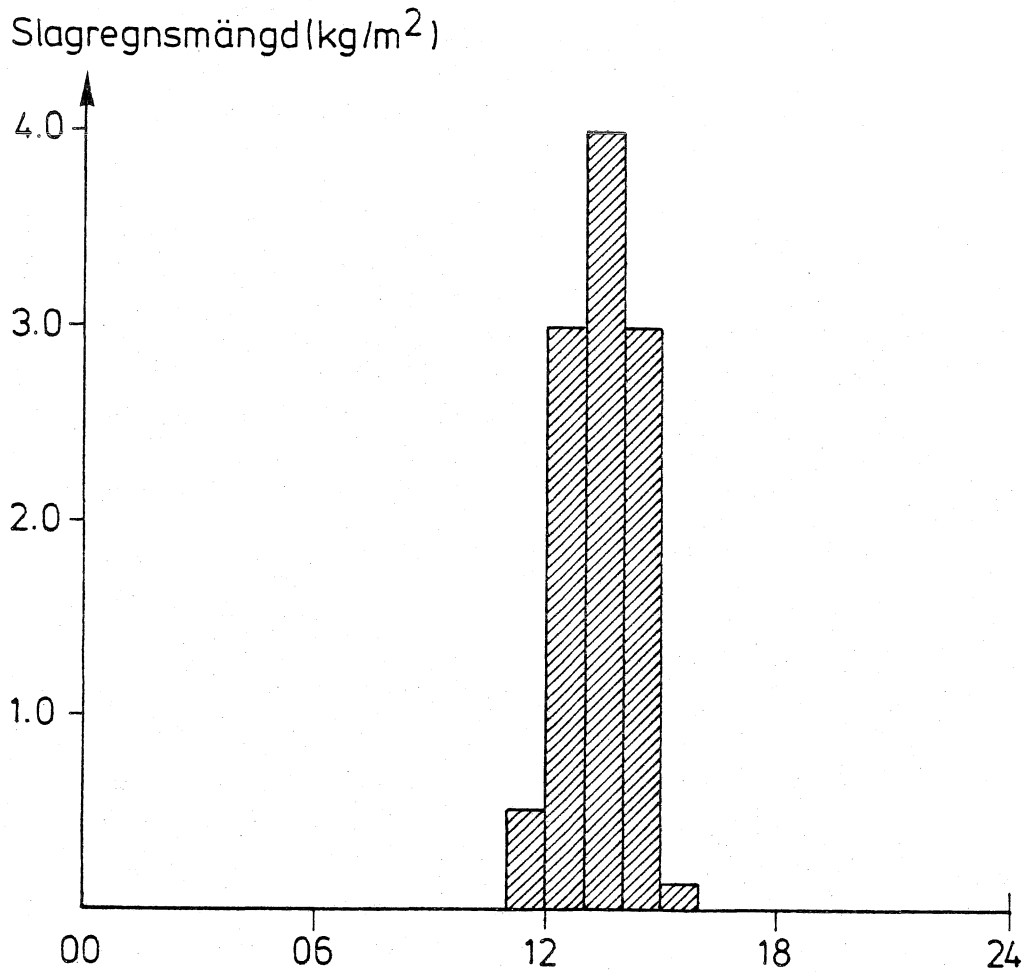


FIG. 3.3:7. Exempel på "extremt" slagregn på västfasaden, mätpunkt 12, 840712.

#### 3.4 Slagregnsfördelning på fasaderna

Slagregnets fördelning på en fasad har studerats i ett antal tidigare undersökningar, bland annat av Schwarz & Frank (1973), Isaksen (1975), C.S.T.C-SECO (1977) och Lyberg (1979).

I alla dessa undersökningar anges att slagregnsbelastningen på hörn och upptill är väsentligt större än mitt på fasaden. De siffermässiga relationerna varierar kraftigt, främst

beroende på fasadens storlek, byggnadskroppens utseende samt lokalklimat.

En mycket grov sammanfattning av undersökningarna, vilka är gjorda på relativt stora fasader, redovisas i FIG. 3.4:1. I denna figur har det fria slagregnet mot fasadens orientering satts till 1.0. De angivna relationstalen avser medelvärden under långa tider, flera månader. För kortare tider kan skillnaden mellan randpartier och mitt på fasaden bli väsentligt större.

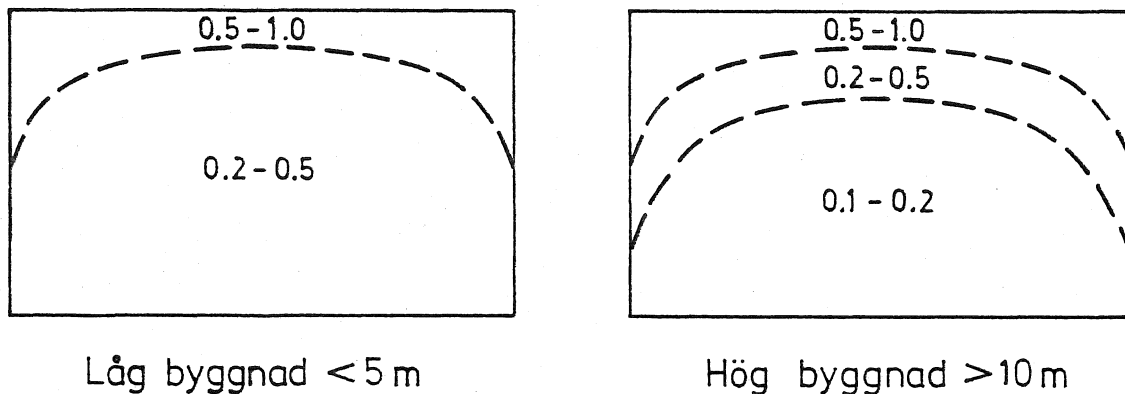


FIG. 3.4:1. Relativ slagregnsfördelning på fasader enligt litteraturuppgifter. Det fria slagregnet, mätt i samma riktning, har satts till 1.0.

FIG. 3.4:1 visar att en låg fasad kan betraktas som överdelen på en hög fasad. Vid dimensioneringar och fukttekniska bedömningar måste man använda de högre värdena på slagregnsbelastning, det vill säga de värden som gäller högt upp.

Enligt avsnitt 3.2 har inte alla slagregnsmätare fungerat hela mätperioden. Den relativa fördelningen kan dock beräknas för ganska långa tidsperioder. Dessa tidsperioder är dock inte exakt samma för alla mätare. En sådan relativ fördelning på väst- och norrfasaden redovisas i FIG. 3.4:2.

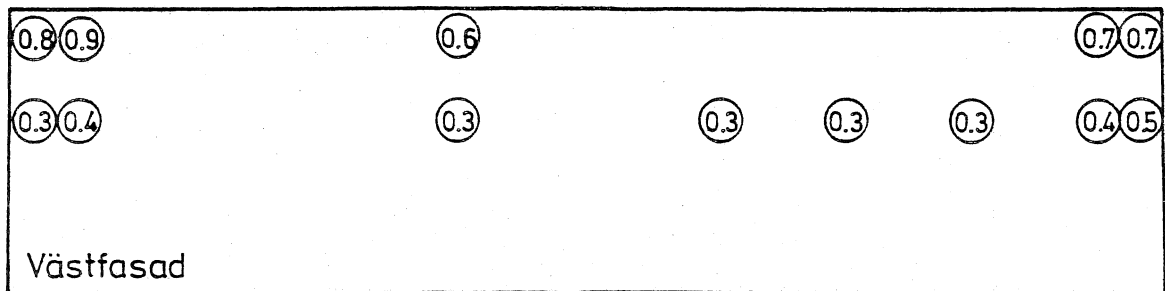
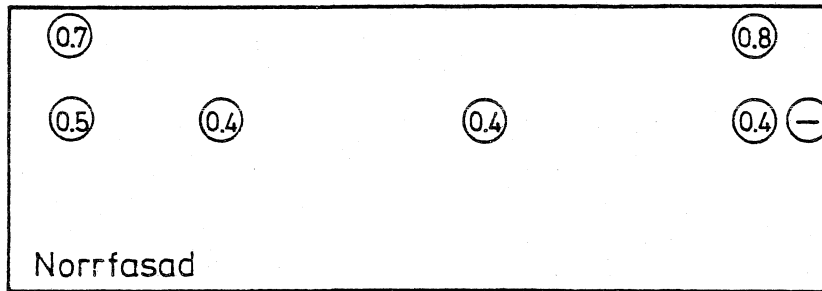


FIG. 3.4:2. Relativt fasadslagregn enligt egna mätningar jämfört med fritt slagregn på takmätarna.

Som synes stämmer denna fördelning väl med uppskattningen enligt FIG. 3.4:1. För kortare perioder blir dock avvikelserna stor. Ju kortare period, desto större avvikelse. Studeras månadsvärdena enligt TAB. 3.3:2 framgår att dessa kan ligga både på den övre och den undre gränsen.

För en fritt utsatt fasad torde det enligt ovan vara rimligt att räkna med att hörn och överdel utsätts för 50 - 100 % av det fria slagregnet i aktuell riktning. Mitt på fasaden torde 20 - 50 % vara en rimlig siffra. Värden på det fria slagregnet i olika riktningar redovisas i Varnbo (1966).

### 3.5 Slagregnets fördelning på olika riktningar

Slagregnets fördelning på olika riktningar i Göteborgstrakten har tidigare studerats av Varnbo (1966) och Järnmark (1968). Den relativa fördelningen enligt dessa och enligt de nu gjorda mätningarna (på taket) kan sammanfattas

	N	Ö	S	V	Mätperiod
Varnbo	1	3	9	5	10 år
Järnmark	1	4	10	3	5 år
Egen mätning	1	5	10	10	<2 år

Mätningarna är inte gjorda på samma plats. Någon mil skiljer i avstånd. Järnmarks mätning gjordes på Torslanda, Varnbos värden gäller vid Göta älvs mynning och de egna mätningarna är gjorda i Partille.

Skillnaderna i relationstal är små när det gäller norr, öster och söder. För väster är däremot skillnaden stor. En möjlig orsak till detta är den korta varaktigheten i de egna mätningarna. En annan trolig orsak är lokala variationer. Några hundra meter söder om byggnaden reser sig en mäktig bergskedja i öst - västlig riktning. Denna bergskedja kan medföra en kraftig inverkan på vindriktningen i Partille. En ökning av andelen öst- och västliga vindriktningar jämfört med syd- och nordliga är sannolik.

### 3.6 Slagregnsmängder

På grund av den korta och delvis osammanhängande mätperioden går det inte att ge några generella slagregnsmängder för aktuell byggnad. Det kan dock vara intressant att jämföra aktuella mätningar med Varnbos och Järnmarks resultat.

Både Varnbo och Järnmark anger att det fria slagregnet som<sup>2</sup> träffar en fiktiv yta mot väster uppgår till cirka 150 kg/m<sup>2</sup>

per år. Om de egna mätningarna korrigeras till att gälla hela årscyklar erhålles följande värden:

nov-82	-	okt-83	275 kg/m <sup>2</sup>
jan-84	-	dec-85	115 kg/m <sup>2</sup>

Vid uppskattningen av slagregnsmängderna i de egna mätningarna har i första hand de direkta mätningarna enligt TAB. 3.3:1 använts. När värden saknats i denna tabell har värden beräknats med utgångspunkt från TAB. 3.3:2 och FIG 3.4:2.

Resultatet visar att det första året hade väsentligt större slagregnsmängder än normalt, medan det under 1984 var mindre mängder än normalt. Skillnaden mellan de två mätperioderna är mycket stor.

SBN-kommentaren 1975:3 anger för aktuellt läge en dimensionerande årlig slagregnsmängd (fasadslagregn i skyddat läge) på 200 kg/m<sup>2</sup>. Enligt FIG. 3.4:2 träffar 70 - 90 % av det fria slagregnet fasadens mest utsatta partier. Detta motsvarar 200 - 250 kg/m<sup>2</sup> under tiden nov -82 - okt -83. Mitt på fasaden blir motsvarande siffra 100 kg/m<sup>2</sup>. De uppmätta värdena på västfasaden (upptill) stämmer väl med värdena enligt SBN-kommentaren. Mitt på fasaden är däremot SBN-kommentarens värden för höga.

### 3.7 Slagregnets fördelning under året

För Göteborg anger Varnbo (1966) att det totala slagregnet fördelar sig över året enligt FIG. 3.7:1. Motsvarande fördelning, mitt på fasaden, enligt de egna mätningarna redovisas i FIG. 3.7:2.

De egna mätningarna uppvisar en mer "sned" fördelning av slagregnet. Under hösten - vintern träffas fasaden av en större relativ mängd än enligt Varnbo. Under tiden sept-jan träffas aktuell fasad av 80 respektive 70 % av den totala

slagregnsmängden under de två mätsäsongerna. Motsvarande siffra enligt Varnbo är cirka 50 %. Som extremvärde kan nämnas okt 1984, då 30 % av hela årsmängden uppmättes på en enda månad. Som extremvärde i absoluta tal kan nämnas okt 1983, då en punkt på västfasaden träffades av 65 kg/m<sup>2</sup>.

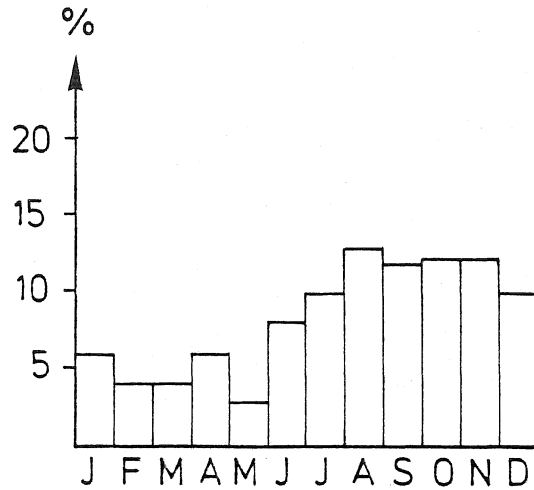


FIG 3.7:1. Slagregnets relativa fördelning under året enligt Varnbo (1966).

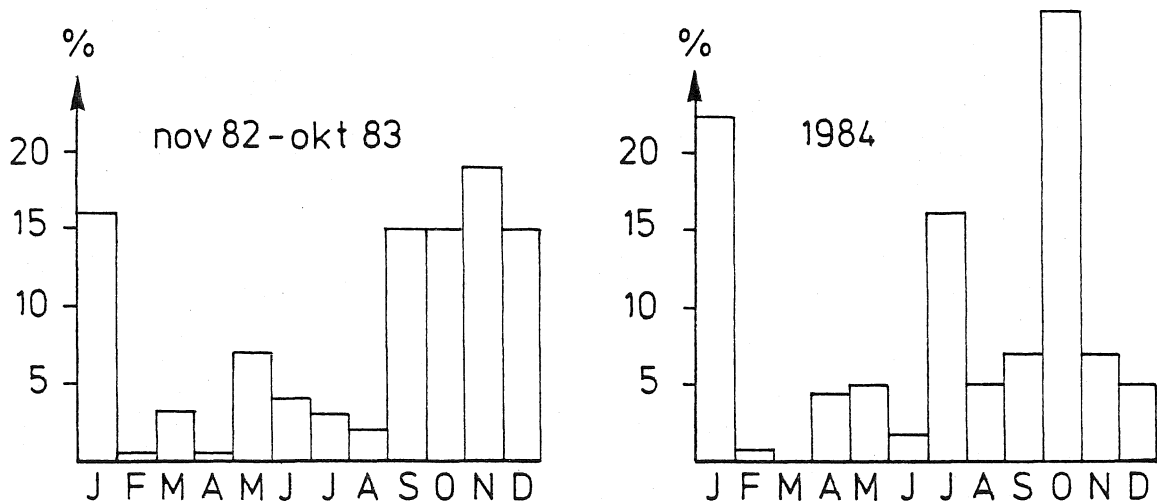


FIG. 3.7:2. Slagregnets relativa fördelning under året enligt egna mätningar.



Med hänsyn till ökade energiförluster och risk för frostska-  
dor har slagregnets fördelning över året stor betydelse. Med  
hänsyn till ovanstående kan det vara rimligt att räkna med  
en större relativ mängd under hösten än enligt Varnbo. En  
rimlig "medelfördelning" skissas i FIG. 3.7:3.

I FIG. 3.7:4 redovisas antalet slagregnsdygn per månad under  
tiden nov 1982 - okt 1983 och för hela 1984. Som synes lik-  
nar dessa fördelningar den totala slagregnsmängdens fördel-  
ning enligt FIG. 3.7:3.

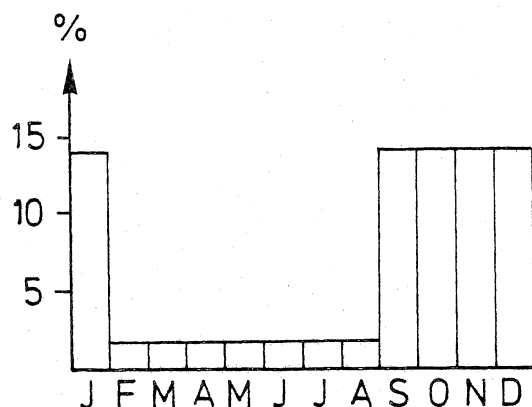


FIG. 3.7:3. Uppskattad relativ "normalfördelning" av  
slagregnet under året.

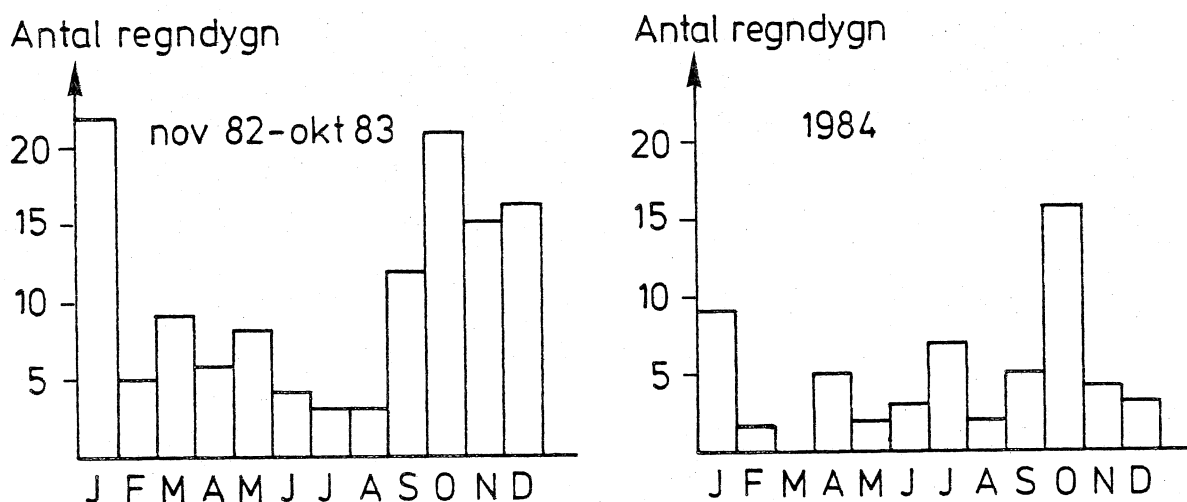


FIG. 3.7:4. Antal dygn med fasadslagregn på västfasaden.

För olika mätperioder kan följande medelvärden bildas med avseende på hur ofta det förekommer slagregn:

Hela perioden	1 regndygn under 5 dygn	
nov-82 - okt-83	1	3
jan-83	2	3
nov-83 - okt-84	1	6
maj-84 - apr-85	1	8

Spridningen är enligt ovanstående mycket stor. Varnbo uppger som medelvärde 1 regndygn under 3 dygn. Denna siffra gäller dock oberoende av riktning. Överensstämmelsen med hela mätperioden kan därför anses vara mycket god. Som medelvärde torde det vara rimligt att räkna med 3 - 5 regndygn per månad under februari - augusti och med 10 - 15 under resten av året.

### 3.8 Enskilda slagregn på västfasaden

Att ange ett typiskt "normalregn" är omöjligt. Genom att "bolla med siffrorna" kan dock vissa medelvärden uppskattas. Genom att dividera total slagregnsmängd med antalet regndygn erhålles att slagregnsmängden per regntillfälle i genomsnitt blir  $2 \text{ kg/m}^2$  för mätpunkt 10 på västfasaden. Oberoende av vilken tidsperiod (dock mer än en månad) som studeras erhålles detta värde. Det maximala värdet blir  $2.5 \text{ kg/m}^2$  och gäller för jan -83. Trots att slagregnen är mycket ojämnt fördelade i tiden och varje enskilt slagregn uppvisar stora olikheter, så blir alltså "medelregnet" detsamma.

De enskilda slagregnets "utseende" framgår av tidigare redovisade figurer. Ur dessa kan man bland annat konstatera att 80 % av alla slagregn ger en fasadslagregnsmängd som är mindre än  $4 \text{ kg/m}^2$  och att 40 % av alla slagregn ger mindre än  $1 \text{ kg/m}^2$ .

Motsvarande konstaterande för slagregnens varaktighet visar att 80 % av alla slagregn har en varaktighet som är mindre än 10 timmar medan 40 % varar mindre än 2 timmar. Som en medelvaraktighet torde 5 timmar vara rimligt.

## 4 KLIMATMÄTNINGAR

### 4.1 Utomhusklimat

Klimatdata har insamlats från SMHI:s klimatstation i Säve. Denna station ligger cirka 2 mil nordväst om Partille.

I FIG. 4.1:1 och 4.1:2 redovisas månadsmedeltemperatur respektive nederbörd för hela mätperioden. Av figurerna framgår att hösten -82 och förvintern 82/83 hade en högre medeltemperatur och mera nederbörd än normalt. Vintern 84/85 var däremot torrare och kallare än normalt.

### 4.2 Inomhusklimat

Inomhusklimatet har registrerats med en termohygrograf. Under vissa perioder har instrumentet varit ur funktion. För de perioder då mätning skett under minst en sammanhängande månad redovisas temperatur och relativ fuktighet (RF) i FIG. 4.2:1 respektive 4.2:2.

I FIG. 4.2:3 redovisas skillnaden mellan inom- och utomhusluftens ånghalt (fukttillskottet).

Vid ett studium av mätvärdena i FIG. 4.2:2 verkar det som om inomhusluftens relativa fuktighet visar en avtagande tendens. Detta vore även naturligt, eftersom väggarnas byggfuktinnehåll minskar med tiden. Studeras även FIG. 4.2:1-2 så blir förhållandet ett annat. Att RF under vintern 82/83 är väsentligt högre än under vintern 84/85 beror helt enkelt på utomhusklimatet. Vintern 82/83 var utomhusklimatet varmare och fuktigare än normalt. Vintern 84/85 var det kallare och torrare än normalt. De stora variationerna i RF under sommartid beror främst på varierande ventilation. En kraftig vädring, vilket stundtals sker på sommaren, medför en sänkning av RF inomhus. Vädringens stora betydelse framgår klart av FIG. 4.2:3. I augusti, både 1982 och 1983, är utom- och

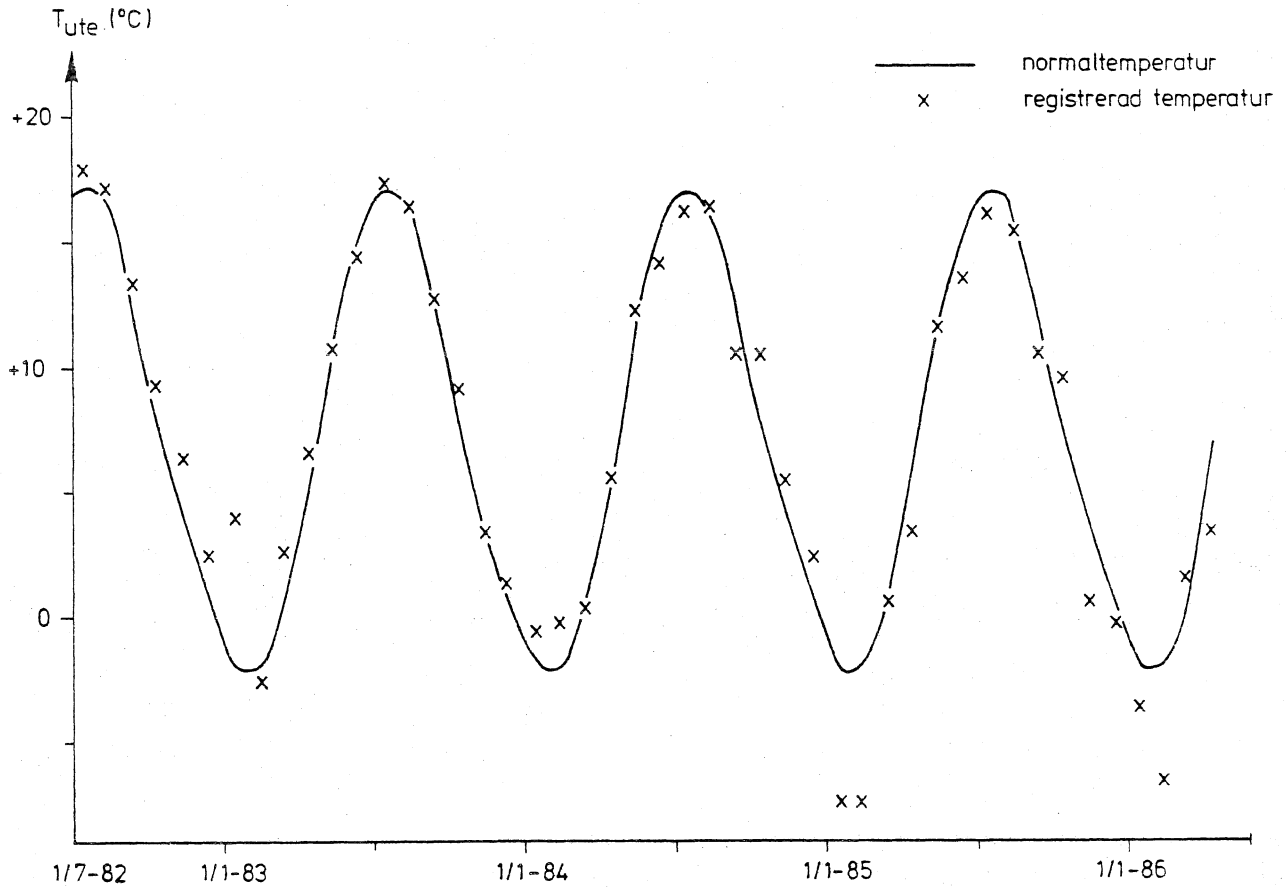


FIG. 4.1:1. Månadsmedeltemperatur under hela mätperioden enligt SMHI.

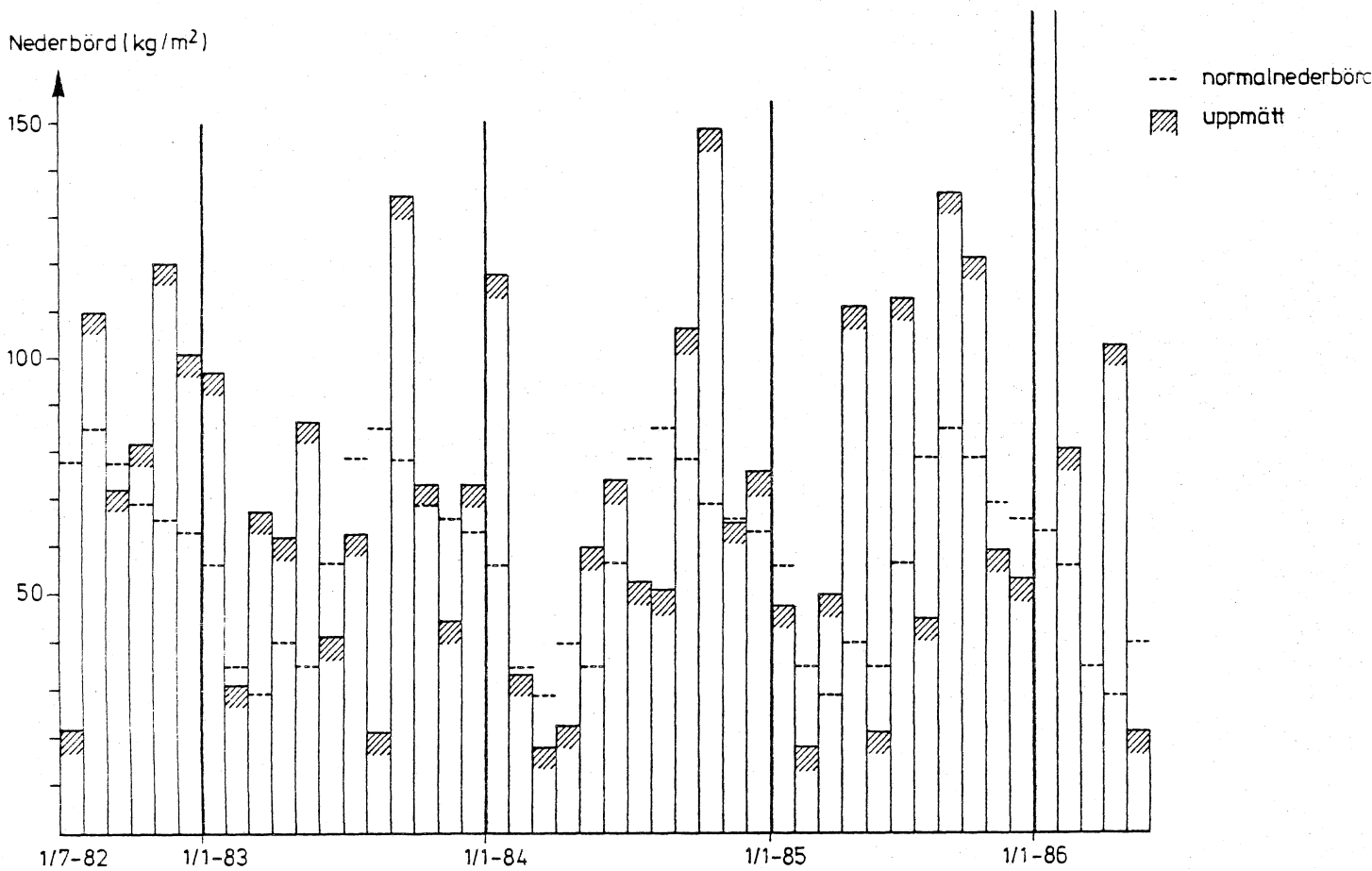


FIG. 4.1:2. Nederbörd under hela mätperioden enligt SMHI.

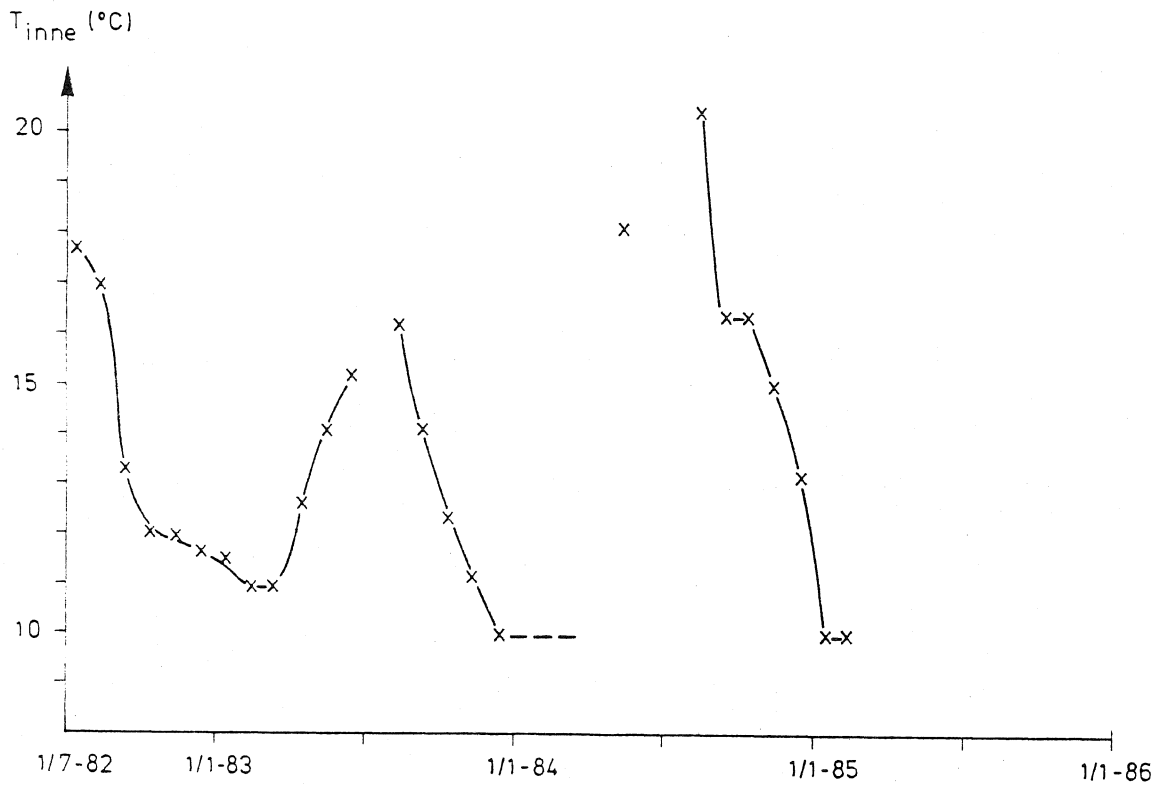


FIG. 4.2:1. Inomhustemperatur, månadsmedelvärden.

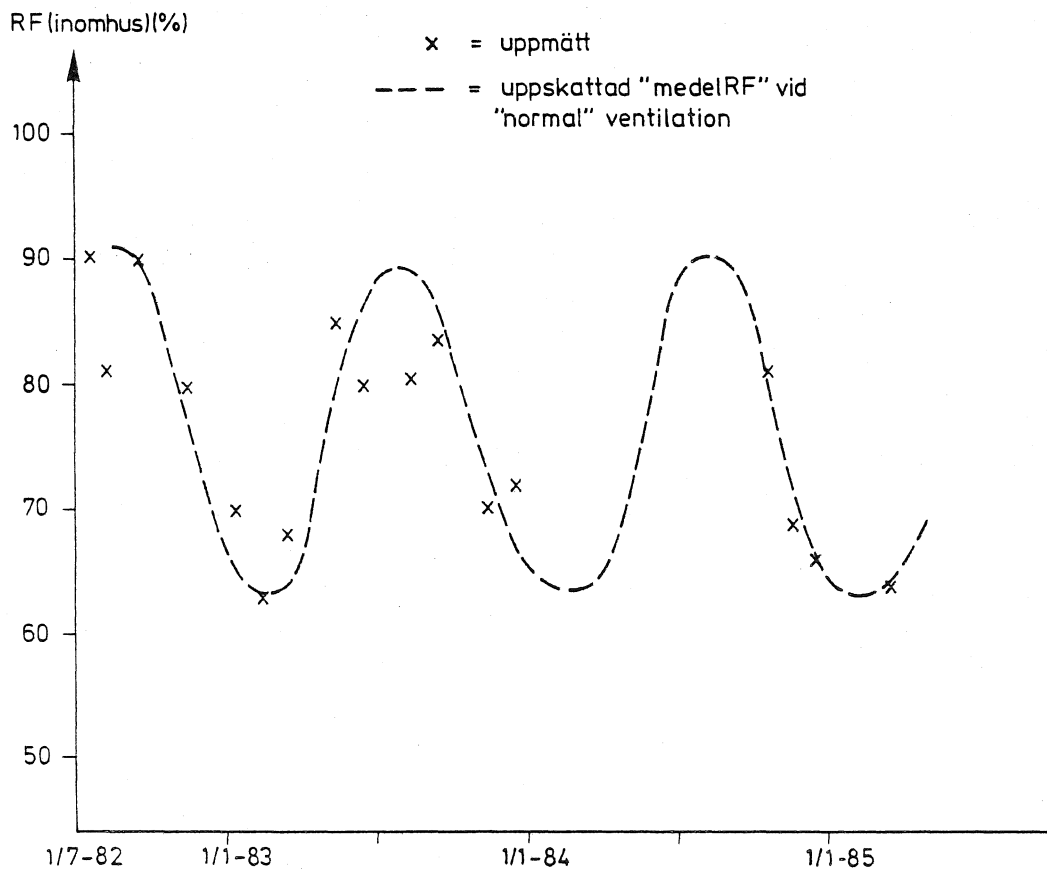


FIG. 4.2:2. Relativa fuktigheten inomhus, månadsmedelvärden.

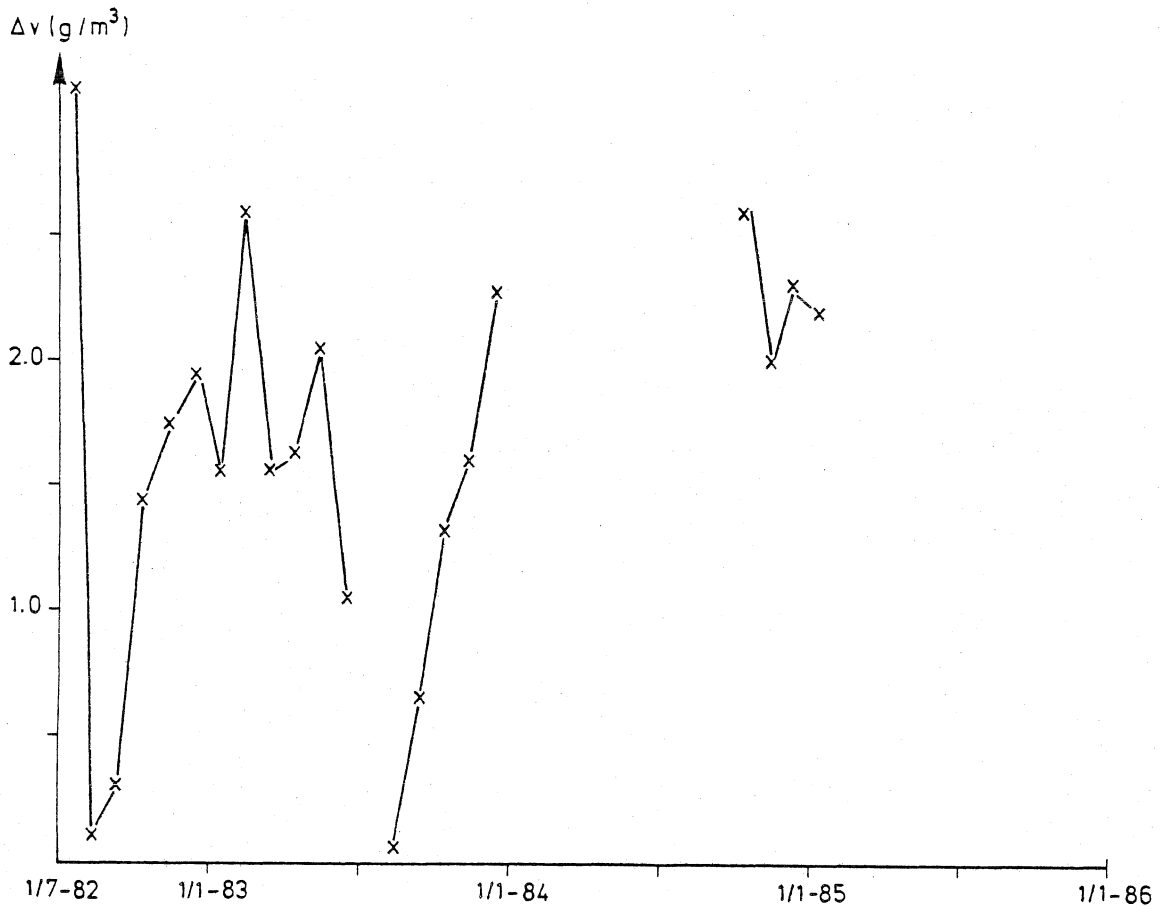


FIG. 4.2:3. Skillnad mellan inom- och utomhusluftens ånghalt.

inomhusånghalterna lika stora. Detta beror på en mycket kraftig vädring. Att vädringen varit speciellt kraftig under dessa tider framgår av att temperaturerna ute och inne är lika. Under sommarmånaderna vore det naturligt (vid normal ventilation) med en inomhustemperatur som ligger någon eller några grader högre än uteluftens temperatur. I augusti 1984 är däremot fuktöverskottet inomhus extremt stort. Samtidigt är även inomhustemperaturen 4 - 5 grader högre än utomhustemperaturen. Denna stora skillnad beror dels på en extremt solig månad och dels på liten ventilation.

FIG. 4.2:3 visar ingen tendens till ett minskande fukttillskott inomhus. Någon fuktalstrande verksamhet förekommer inte i lokalen, varför all fukt måste komma från golv, väggar och tak. De under sommaren stundtals mycket höga värdena

på luftens fukttillstånd beror till stor del på ökande avdunstning från väggar och tak, då dessa under inverkan av solen får en väsentligt högre temperatur än normalt.

Sammanfattningsvis visar mätningarna att den relativa luftfuktigheten inomhus normalt ligger i intervallet 60 - 90 %. Det högre värdet gäller under sommaren. Detta är cirka 20 procentenheter högre än för en byggnad med "torra" väggar. Under kortare tidsperioder kan den relativa luftfuktigheten bli både lägre och högre.

Fukttillskottet inomhus är i medeltal cirka  $2 \text{ g/m}^3$ , och visar ingen tendens att minska. Avvikelserna från detta medelvärde är periodvis mycket stora, främst under sommaren. Vidare sker dessa ändringar i fukttillståndet i vissa fall mycket snabbt. En kraftig vädring medför att fukttillskottet blir obetydligt (aug -82 och -84). Kraftigt solsken och liten vädring medför ett mycket stort fukttillskott, upp till  $5 \text{ g/m}^3$  (aug -84).



## 5 MÄTNINGAR AV FUKTTILLSTÅND I VÄGGARNA

### 5.1 Allmänt

Fukttillståndet i väggarna mättes på två olika sätt. Genom uttagning av materialprover bestämdes det absoluta fukttinnehållet vid vissa diskreta tidpunkter. Med en elektrisk mätmetod registrerades även fukttillståndet kontinuerligt i vissa diskreta punkter. Den senare metoden ger inga absolutbelopp på fukttillståndet utan är enbart relativ.

Dessa båda mätningar kompletterar varandra på ett utmärkt sätt. Uttagningen av prover ger ett exakt fukttinnehåll vid vissa tider och platser. Provtagning vid olika tider kan dock inte göras på exakt samma plats. Vidare är det orimligt att ta ut så många prover att årsvariationer kan studeras i detalj. Med den relativa mätningen är det däremot enkelt att registrera årsvariationer. Denna mätning görs dessutom i exakt samma punkt varje gång. Genom att kombinera de båda mätningarna kan den relativa metoden kalibreras i viss utsträckning. De båda mätningarna av fukttillståndet redovisas i det följande var för sig.

### 5.2 Fuktkvotsmätning

Fuktkvoten bestämdes genom att torka uttagna prover vid 105 °C. Proverna uttogs genom att "borra" in ett stålrör med diametern 25 mm. För att inte riskera att det skulle bli ett genomgående hål i väggen, togs prover endast till ett djup 200 mm inifrån. Den uttagna kärnan delades i 50 mm långa bitar, vilka placerades i glasburkar för transport till laboratorium. Fuktkvoterna har sålunda bestämts på djupen 0-50, 50-100, 100-150 och 150-200 mm inifrån. Alla prover har tagits på höjden 3.8 m över golvet. Provtagningsplatserna framgår av FIG 5.2:1.

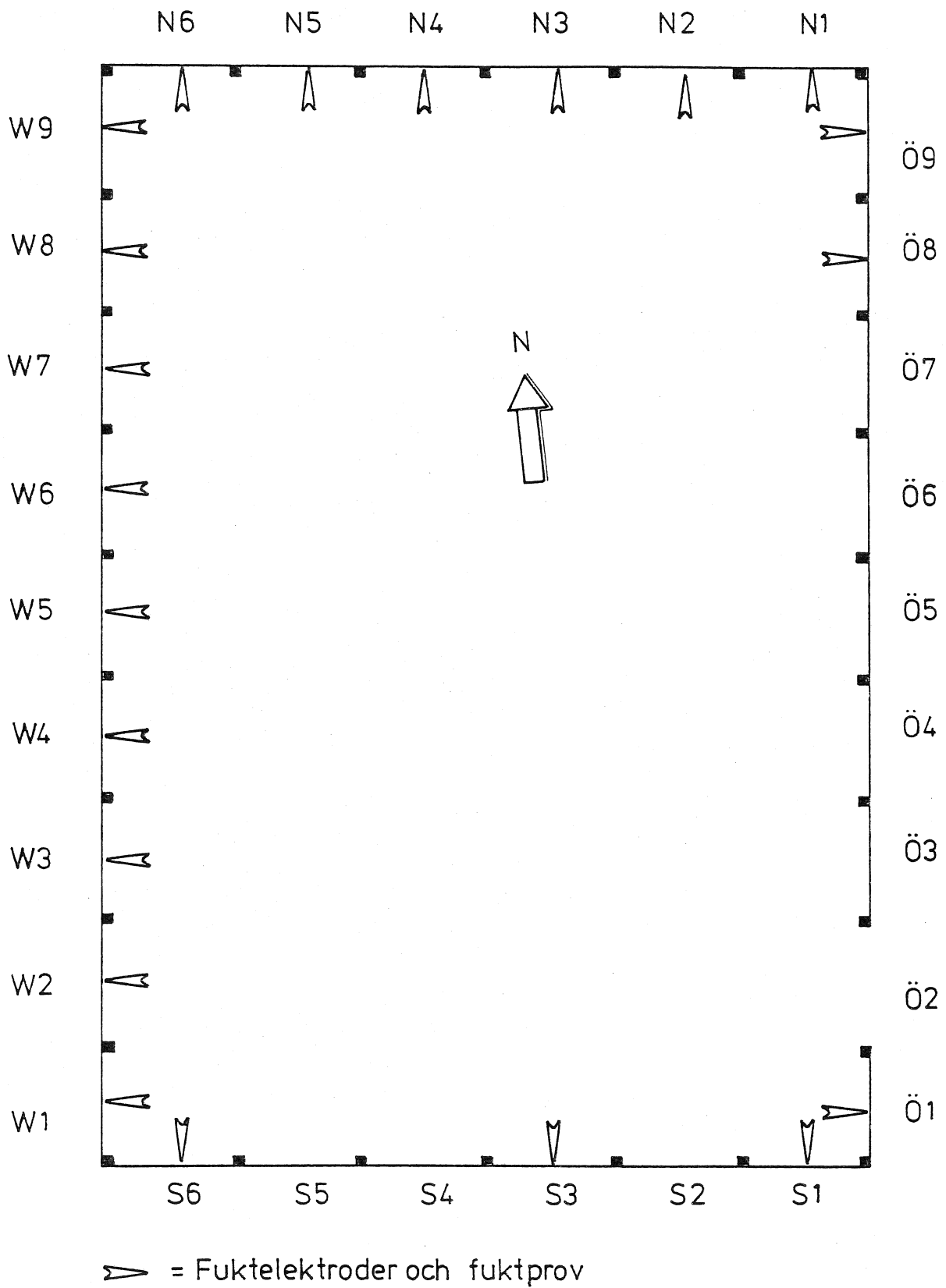


FIG. 5.2:1. Placering av fuktelektrodgrupper och uttagning av fuktprover.

Fuktprofilerna vid de olika tidpunkterna redovisas i FIG. 5.2:2a-u och medelfuktkvoterna som funktion av tiden i FIG. 5.2:3a-d. I figurerna anges även vilken lättbetongkvalitet väggen består av. Vid det första mättillfället (oktober -82) togs inte prover i alla redovisade fack. Fuktkvoterna i sådana fack har då uppskattats med utgångspunkt från andra närliggande och liknande fack.

De redovisade fuktkvoterna kan naturligtvis innehålla enskilda fel. Olika provtagningsplatser kan ge en viss spridning. Vidare föreligger en viss osäkerhet i bestämning av djupet i väggen. Även direkta felmätningar kan föreligga. Som helhet är dock erhållna värden mycket säkra.

Alla tendenser är odiskutabla. Vissa ytskikt medför en snabb uttorkning av byggfukt, samtidigt som de hindrar uppfuktning från slagregn. Detta gäller till exempel facken W4 och W7. Andra ytskikt medför däremot ett mycket högt fukttillstånd i väggen, till exempel facken W1 och W3. Vid dessa jämförelser skall man dock observera att även slagregnsbelastningen har varierat. Detta diskuteras ytterligare i kapitel 6.

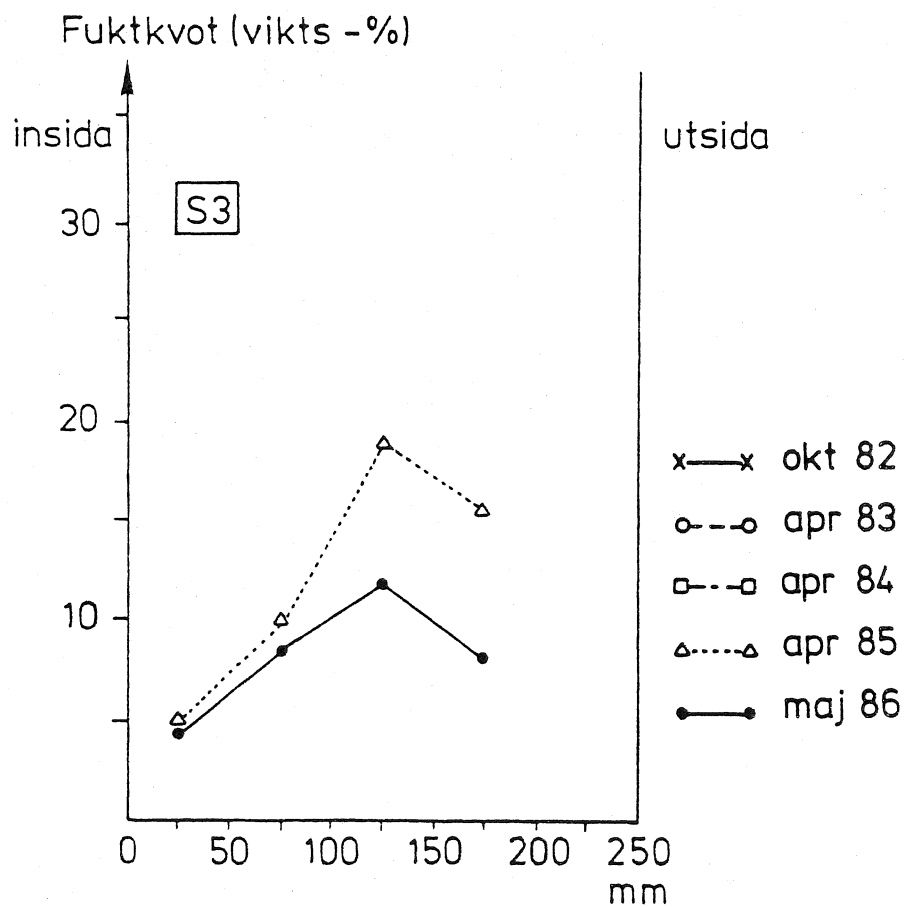
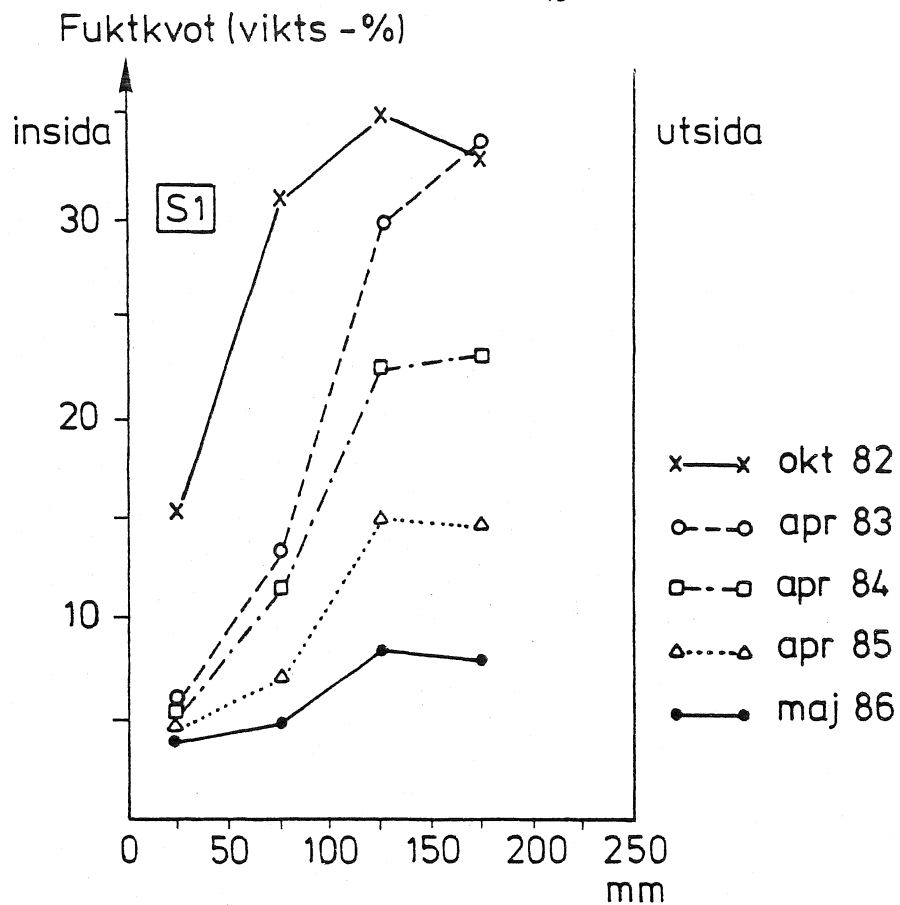


FIG. 5.2:2 a-b. Fuktfördelning i fack S1 och S3.  
(Hydrofoberad SIPOREX).

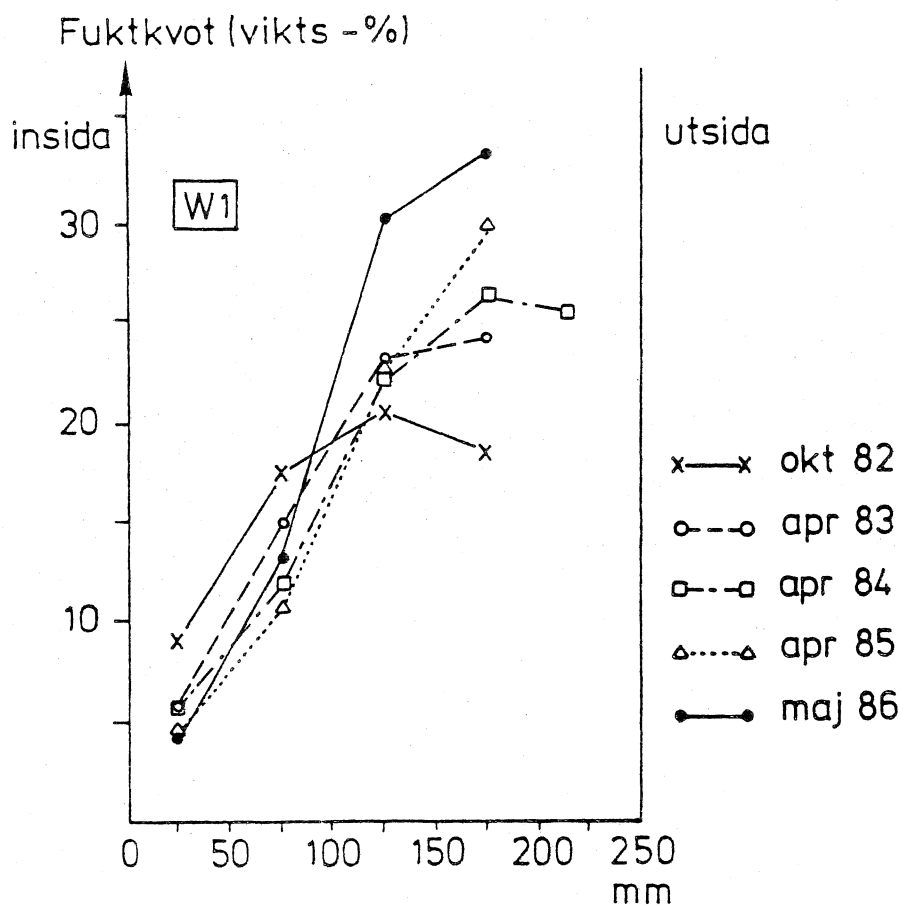
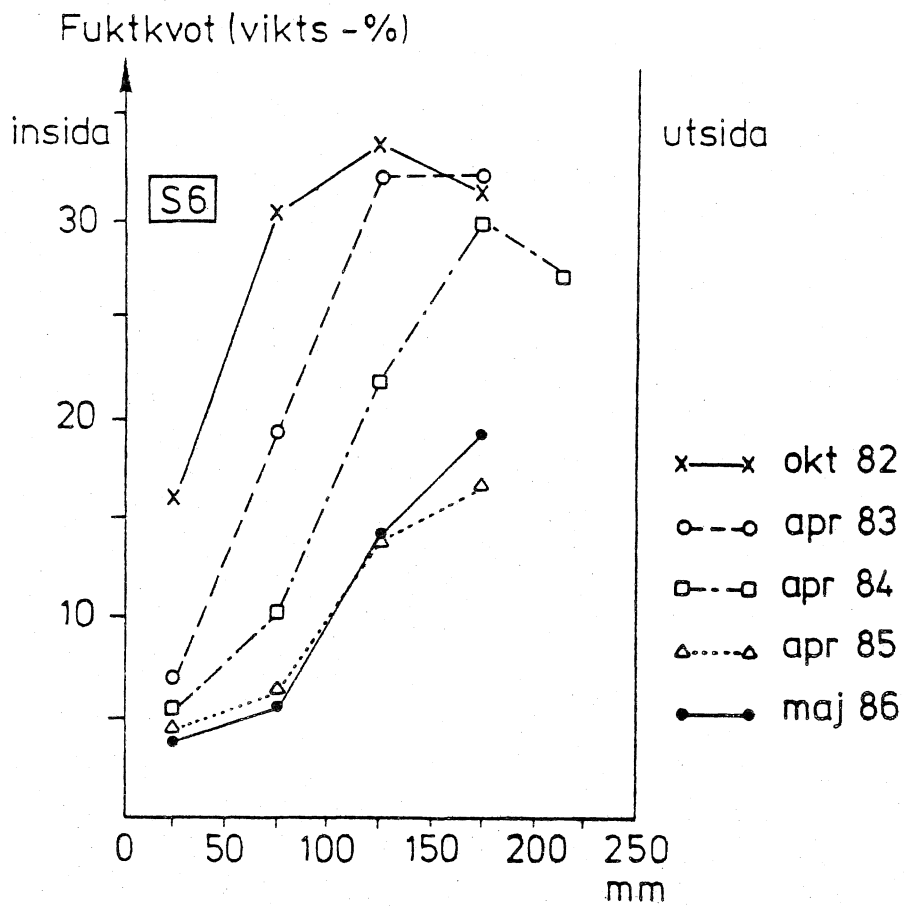


FIG. 5.2:2 c-d. Fuktfördelning i fack S6 (Hydrofoberad SIPOREX) och W1 (Hydrofoberad YTONG).

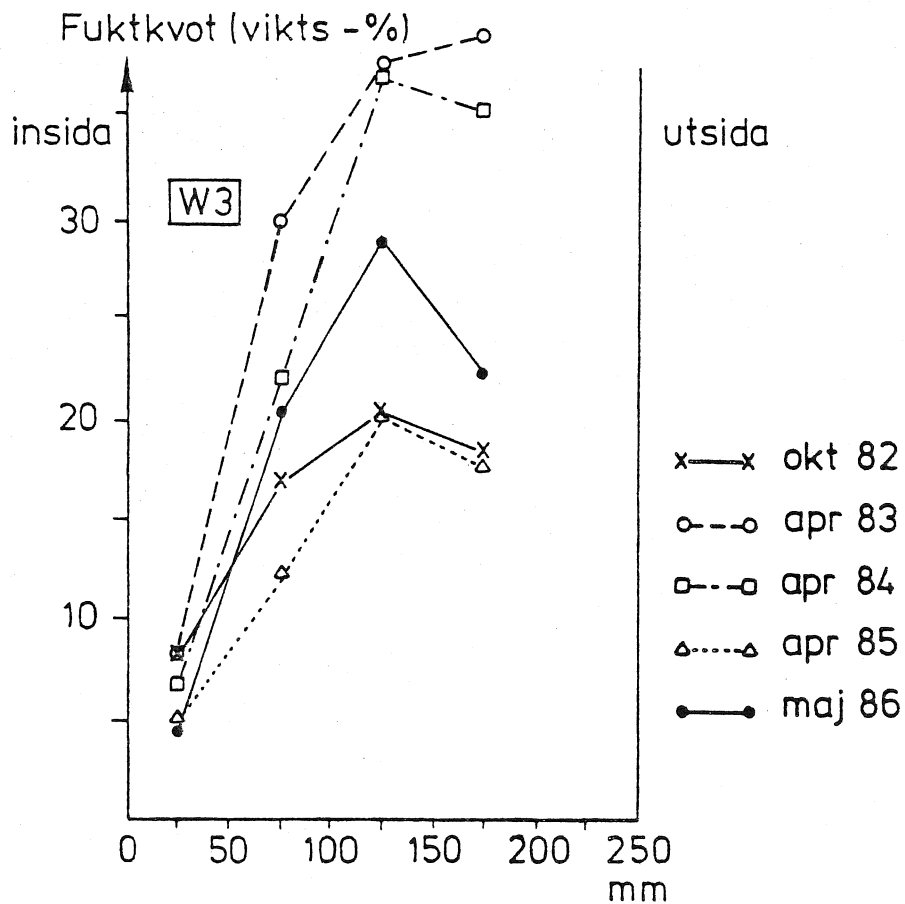
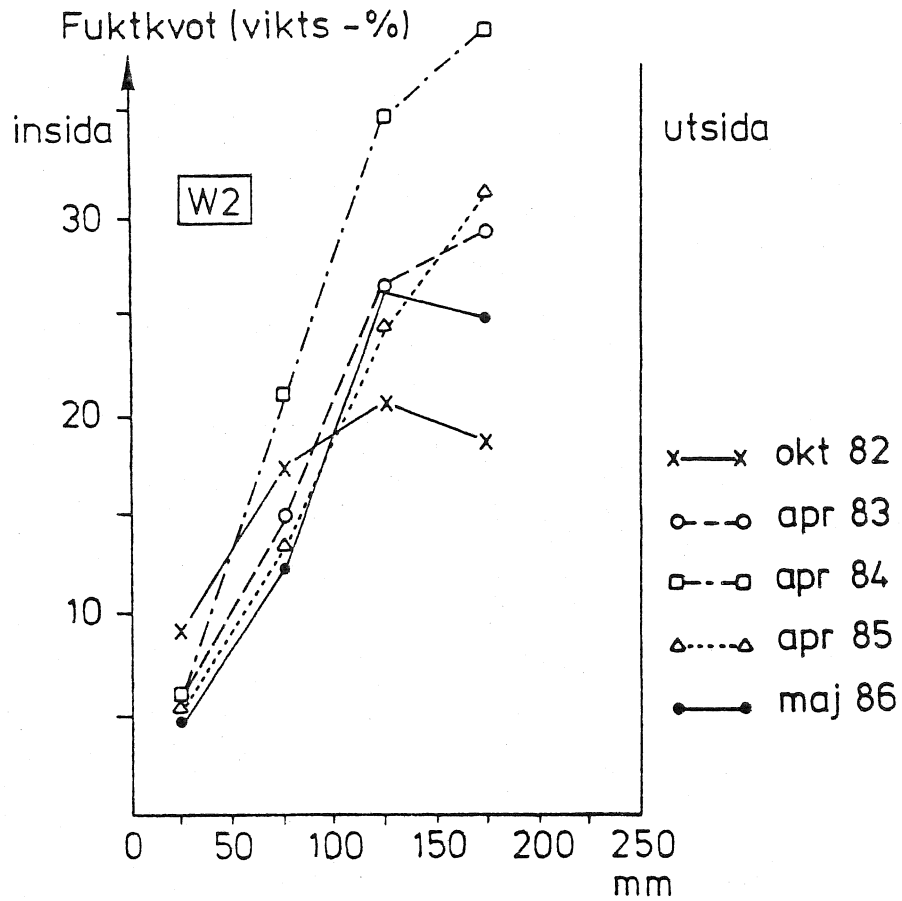


FIG. 5.2:2 e-f. Fuktfördelning i fack W2 och W3.  
(Hydrofoberad YTONG).

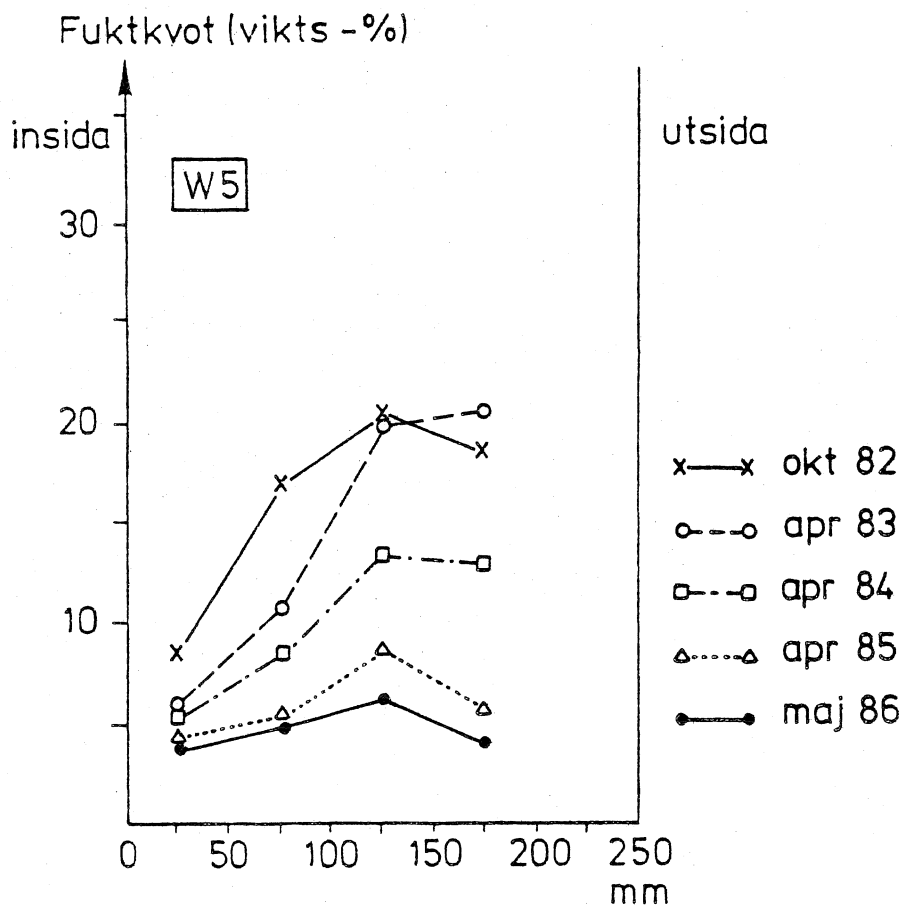
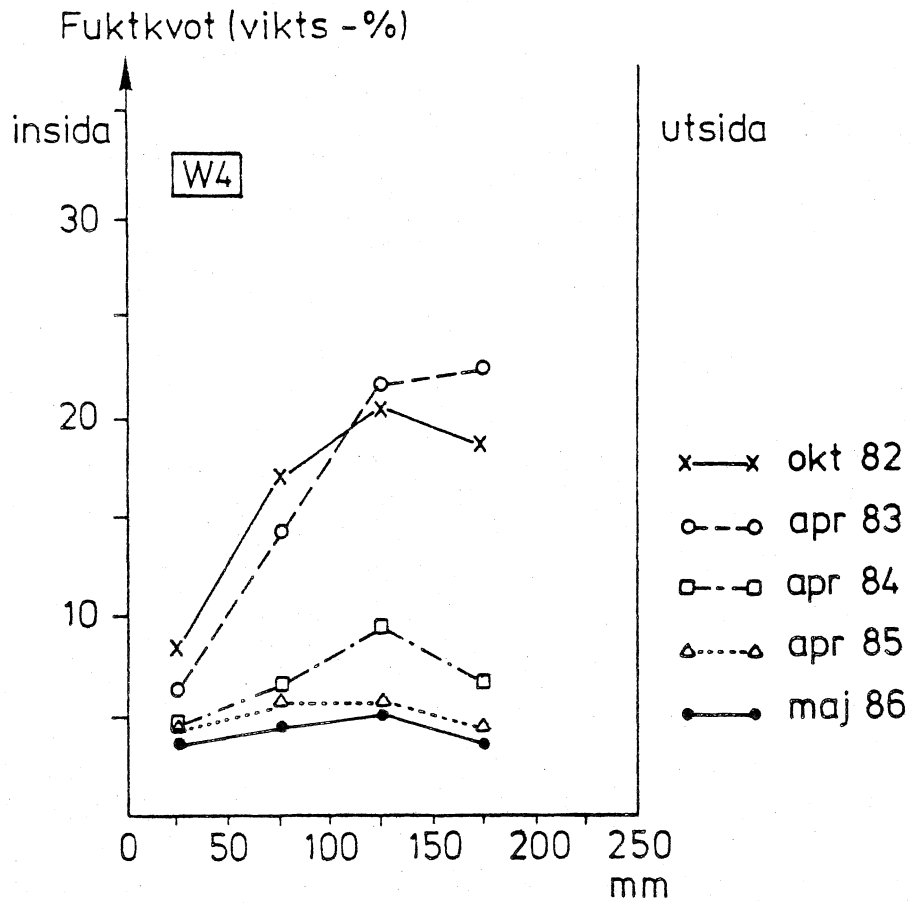


FIG. 5.2:2 g-h. Fuktfördelning i fack W4 och W5.  
(Hydrofoberad YTONG).

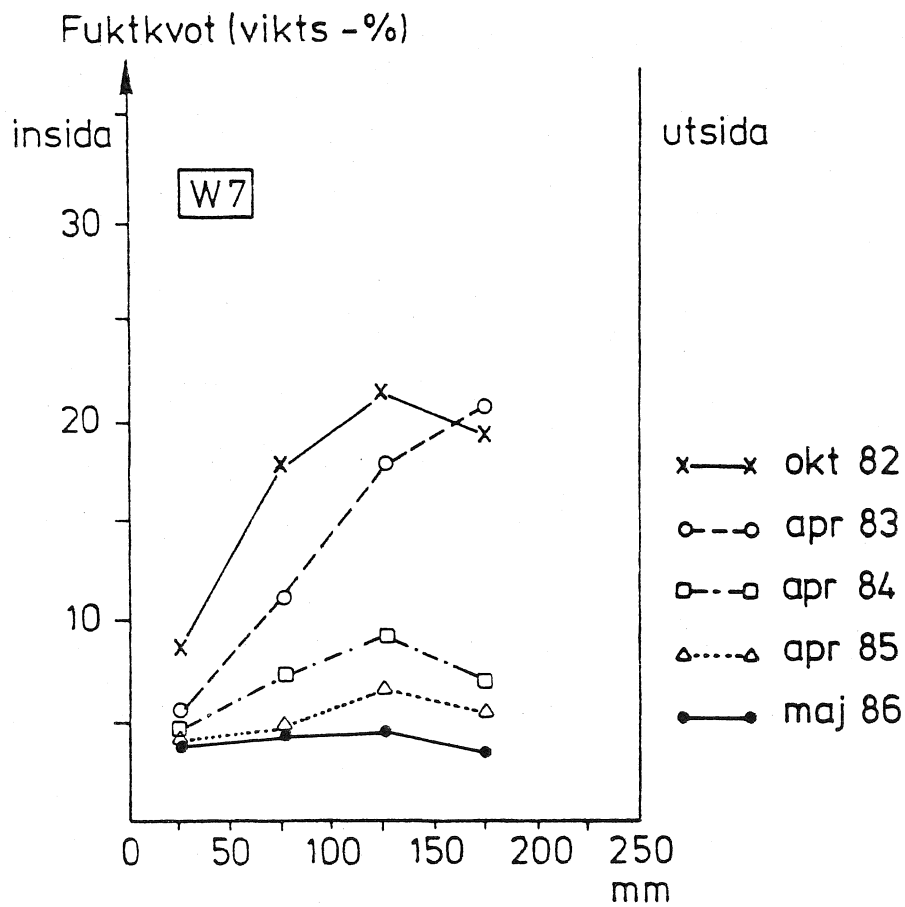
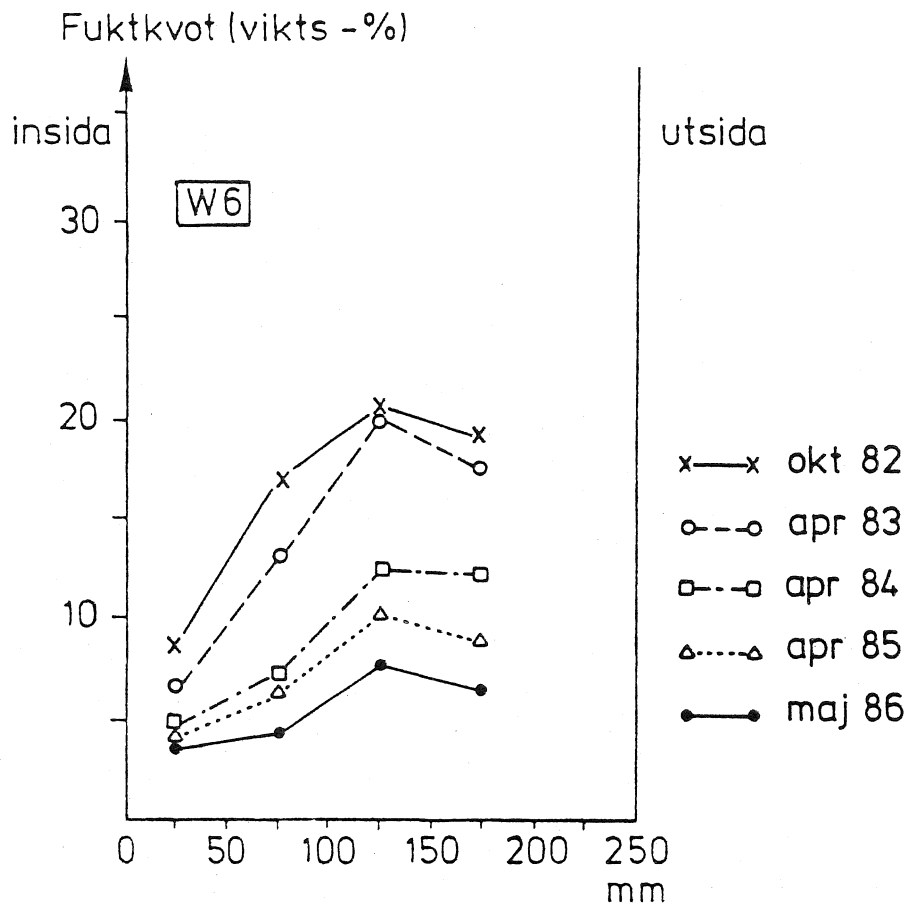


FIG. 5.2:2 i-j. Fuktfördelning i fack W6 och W7.  
(Hydrofoberad YTONG).



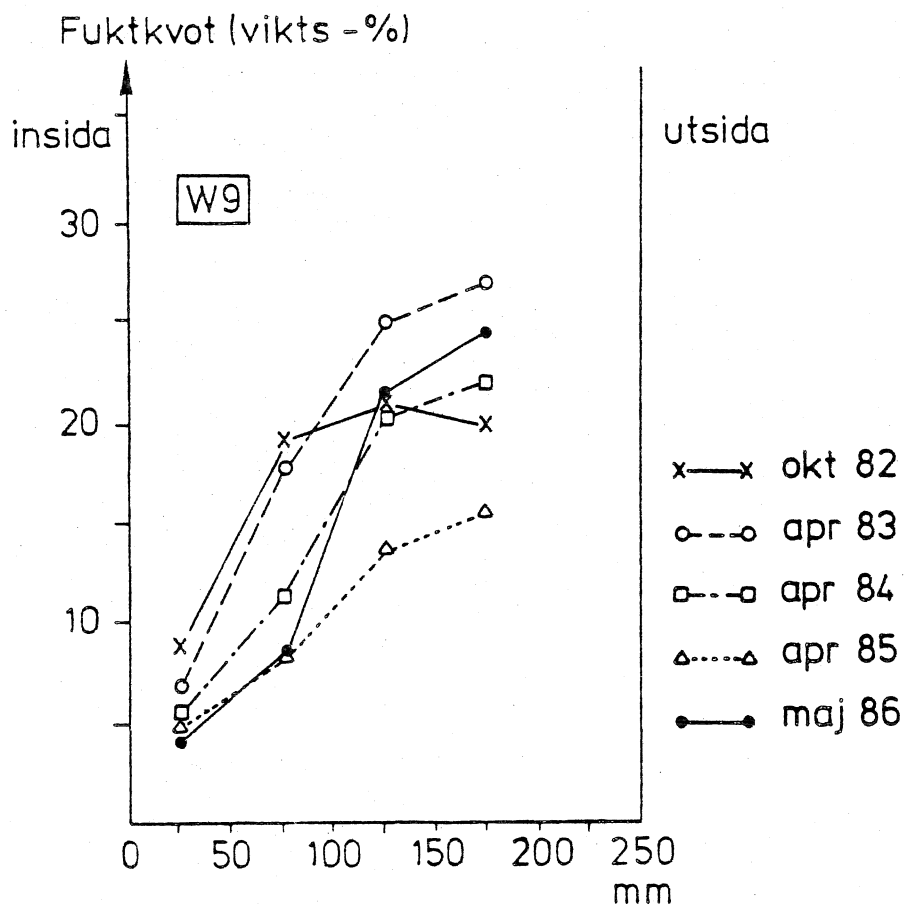
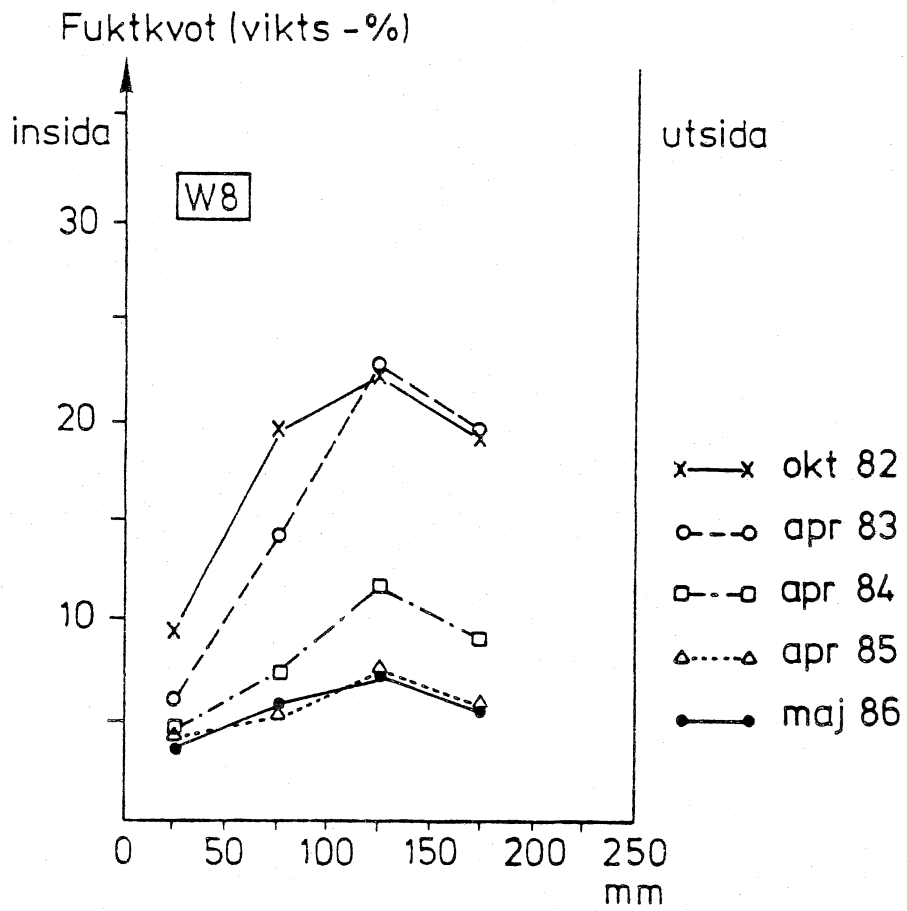


FIG. 5.2:2 k-1. Fuktfördelning i fack W8 och W9.  
(Hydrofoberad YTONG).

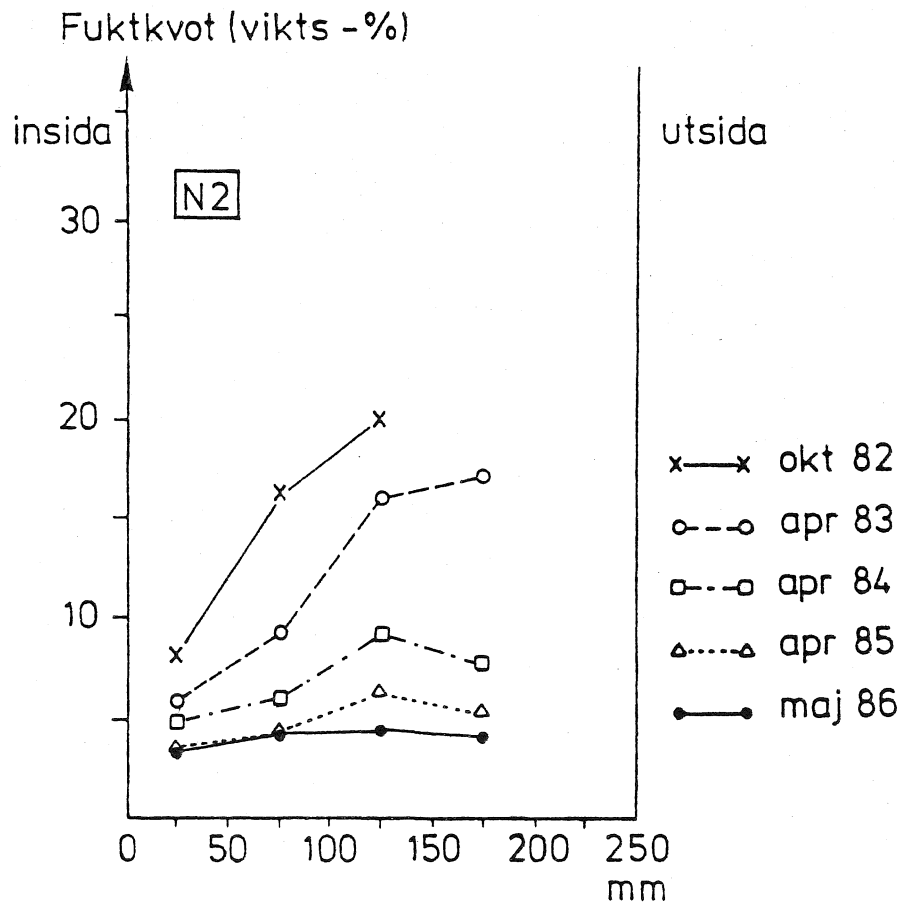
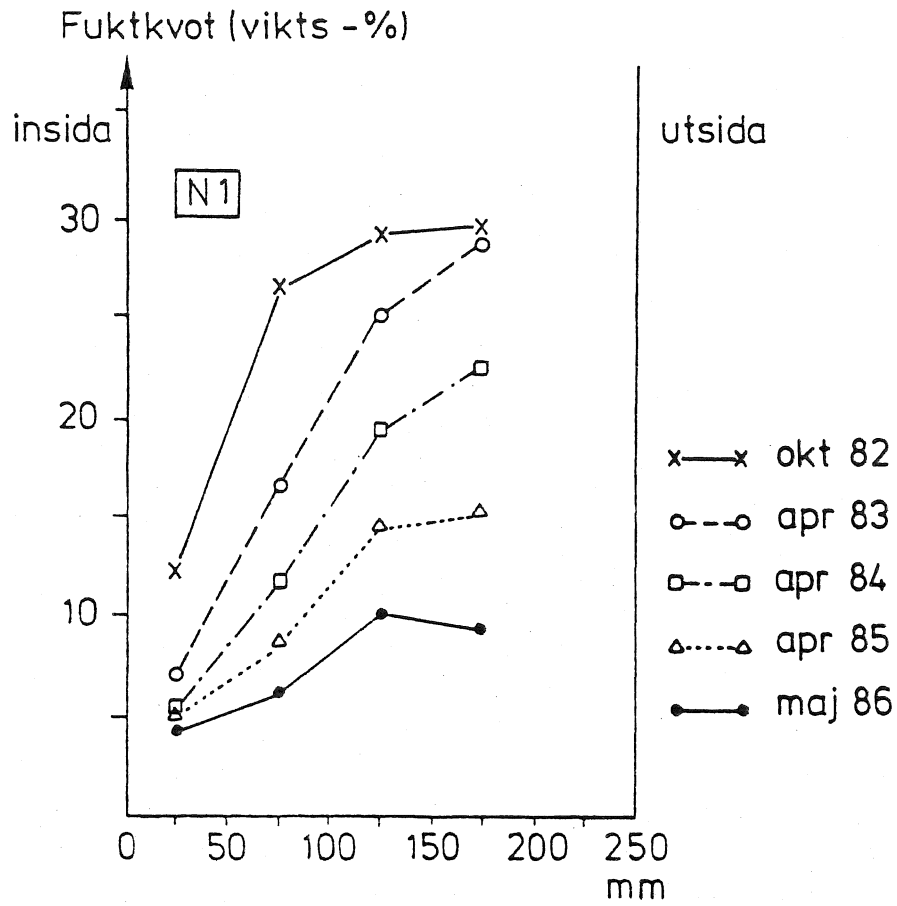


FIG. 5.2:2 m-n. Fuktfördelning i fack N1 (Hydrofoberad SIPOREX) och N2 (Hydrofoberad YTONG).

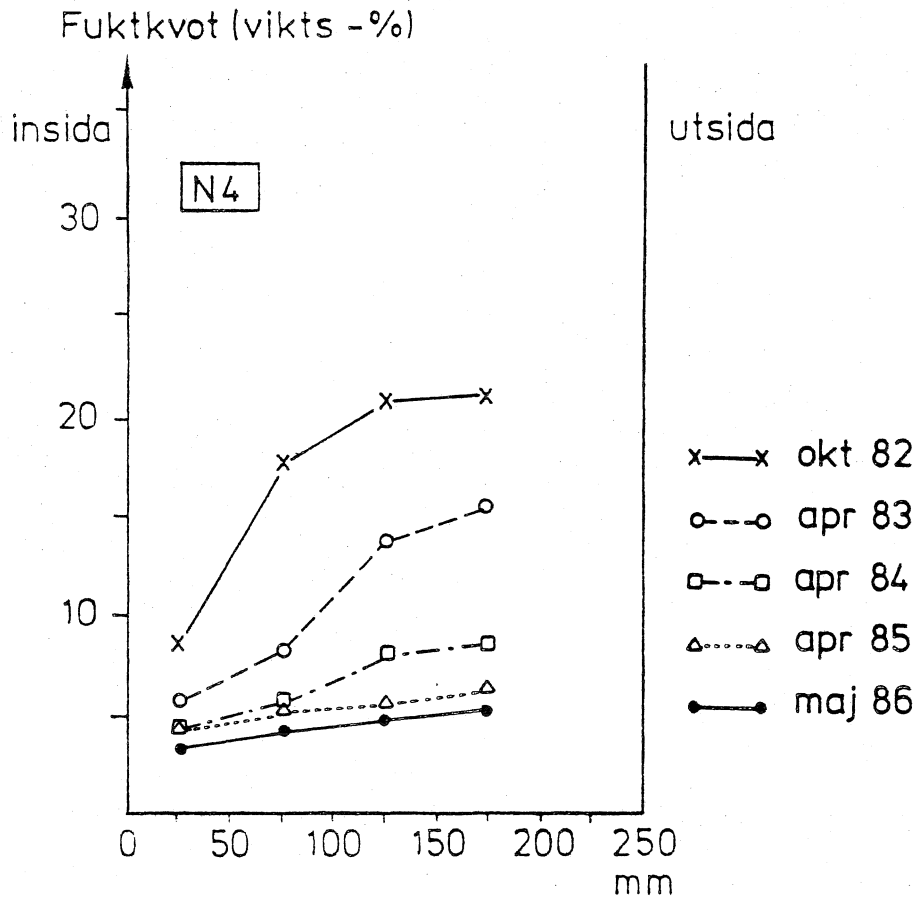
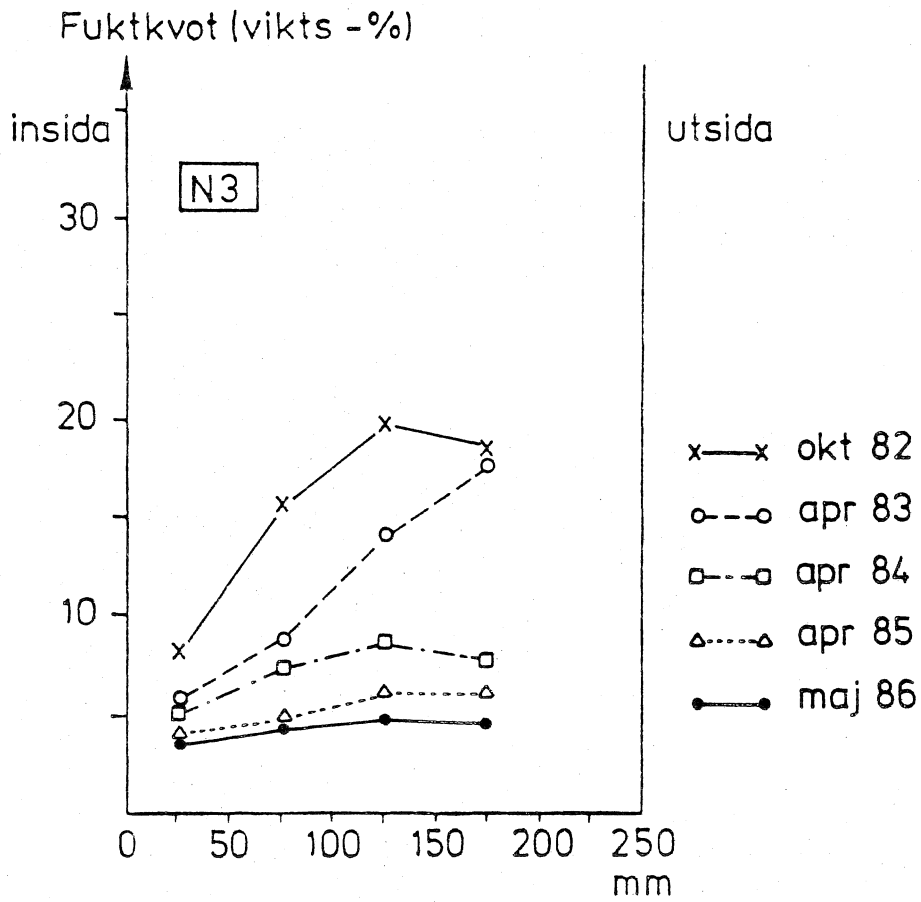


FIG. 5.2:2 o-p. Fuktfördelning i fack N3 och N4.  
(Hydrofoberad YTONG).

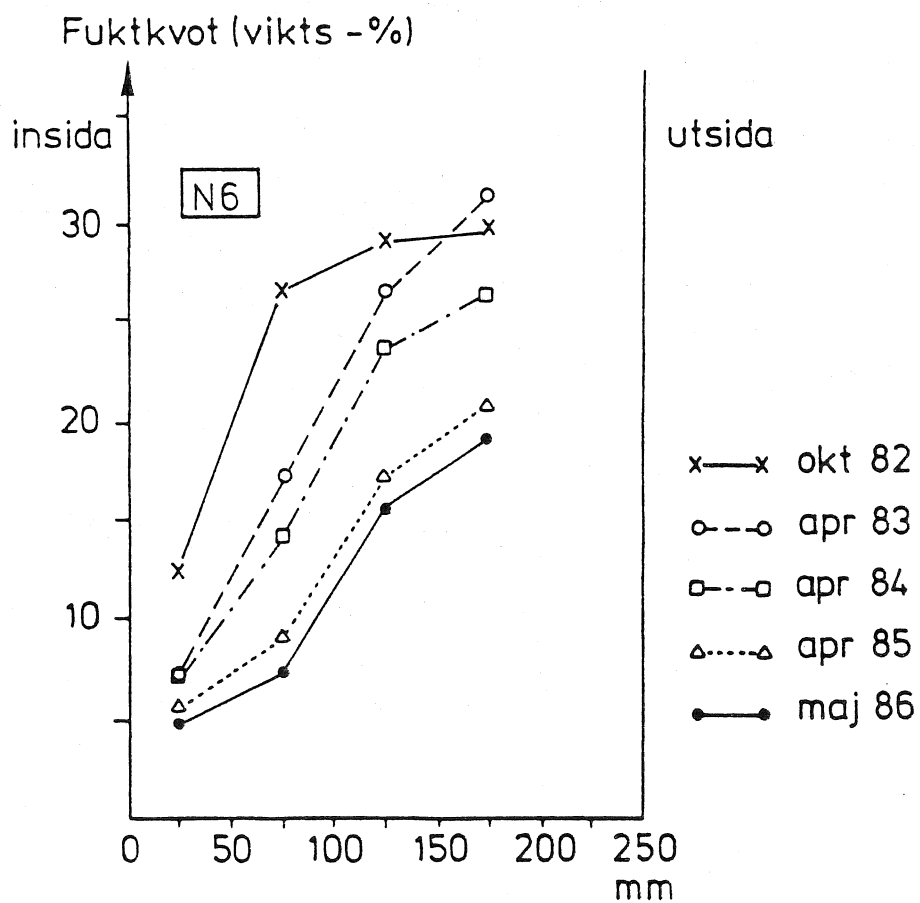
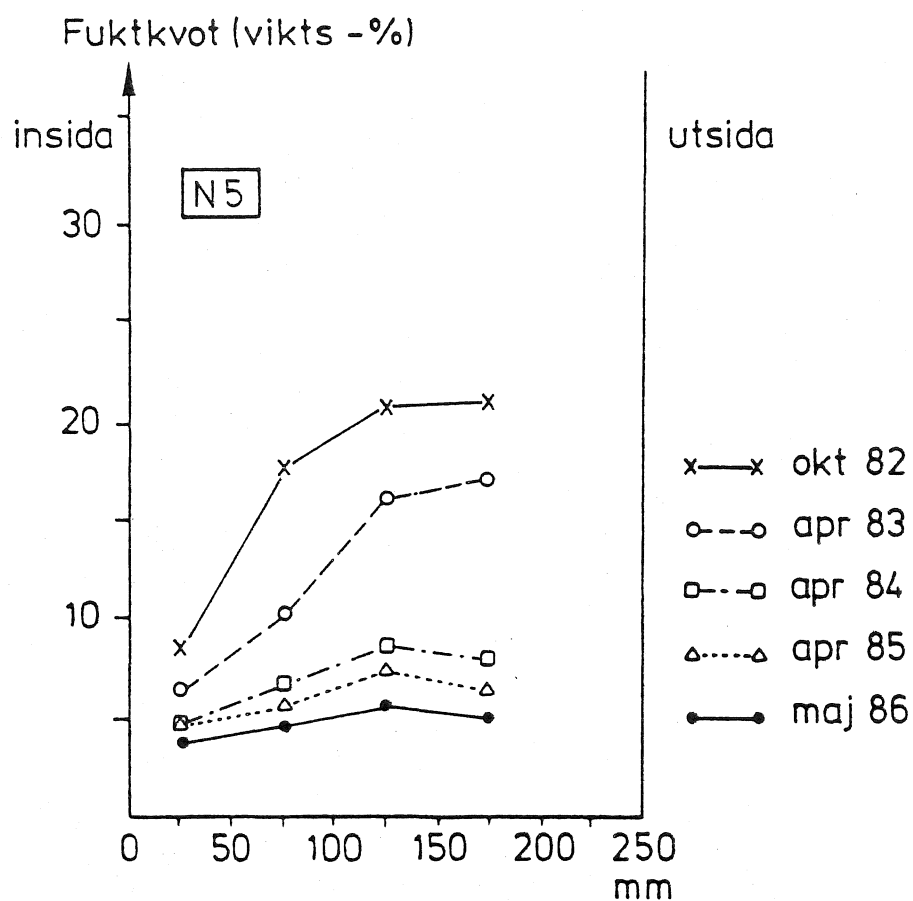


FIG. 5.2:2 q-r. Fuktfördelning i fack N5 (Hydrofoberad YTONG) och N6 (Hydrofoberad SIPOREX).

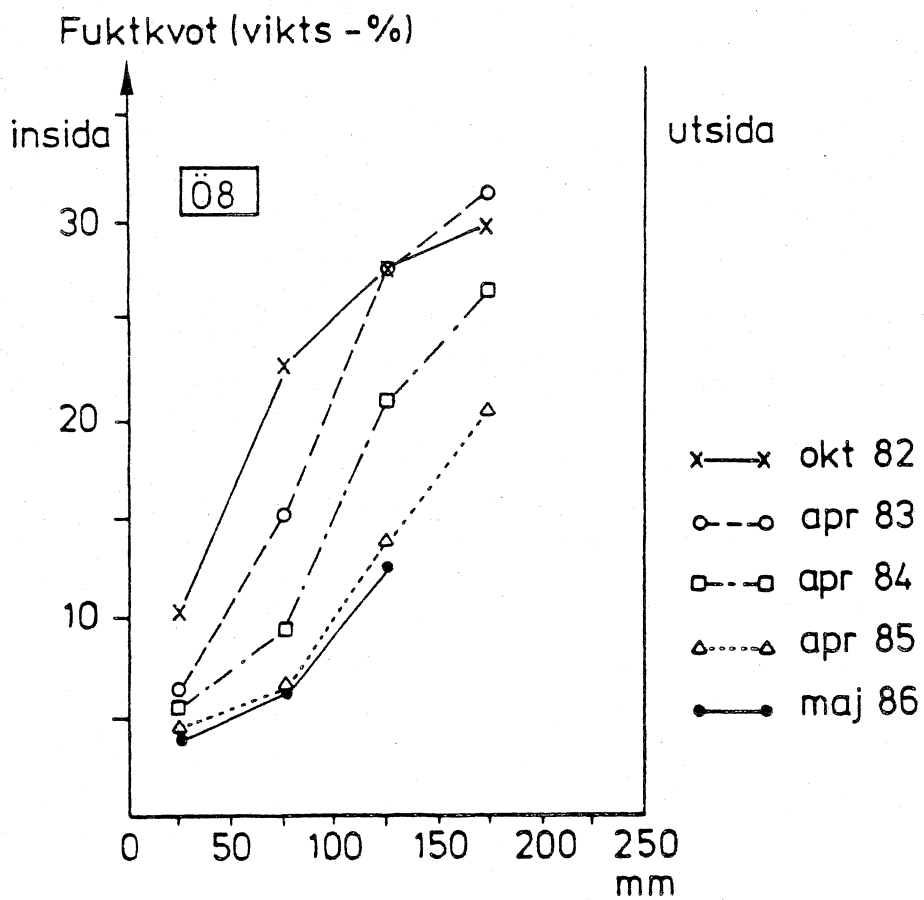
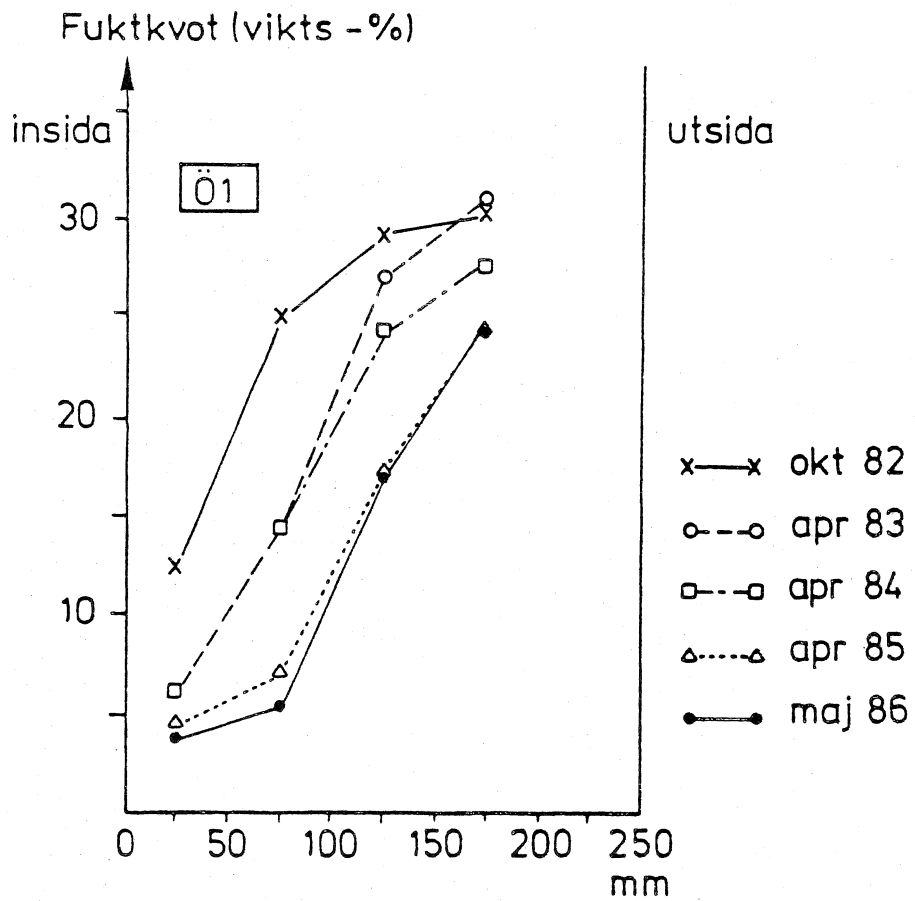


FIG. 5.2:2 s-t. Fuktfördelning i fack Ö1 (Ej hydrofoberad YTONG) och Ö8 (Hydrofoberad YTONG).

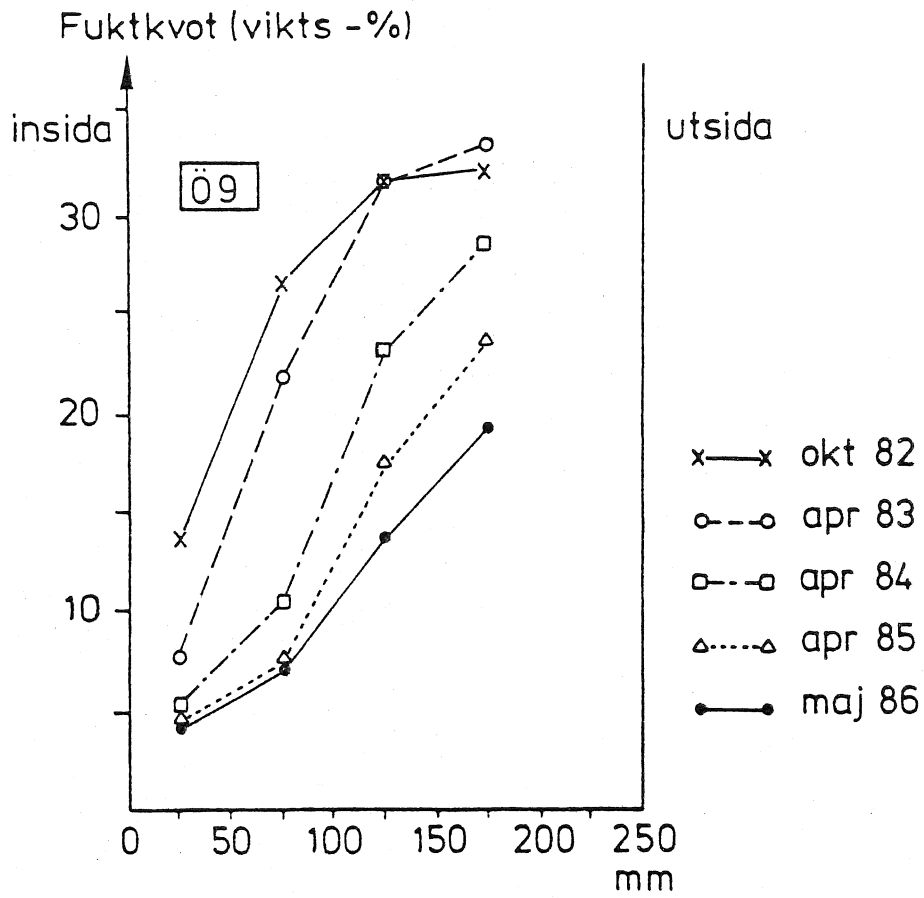


FIG. 5.2:2 u. Fuktfördelning i fack Ö9. (Ej hydrofoberad YTONG).

Medelfuktkvot (vikts-%)

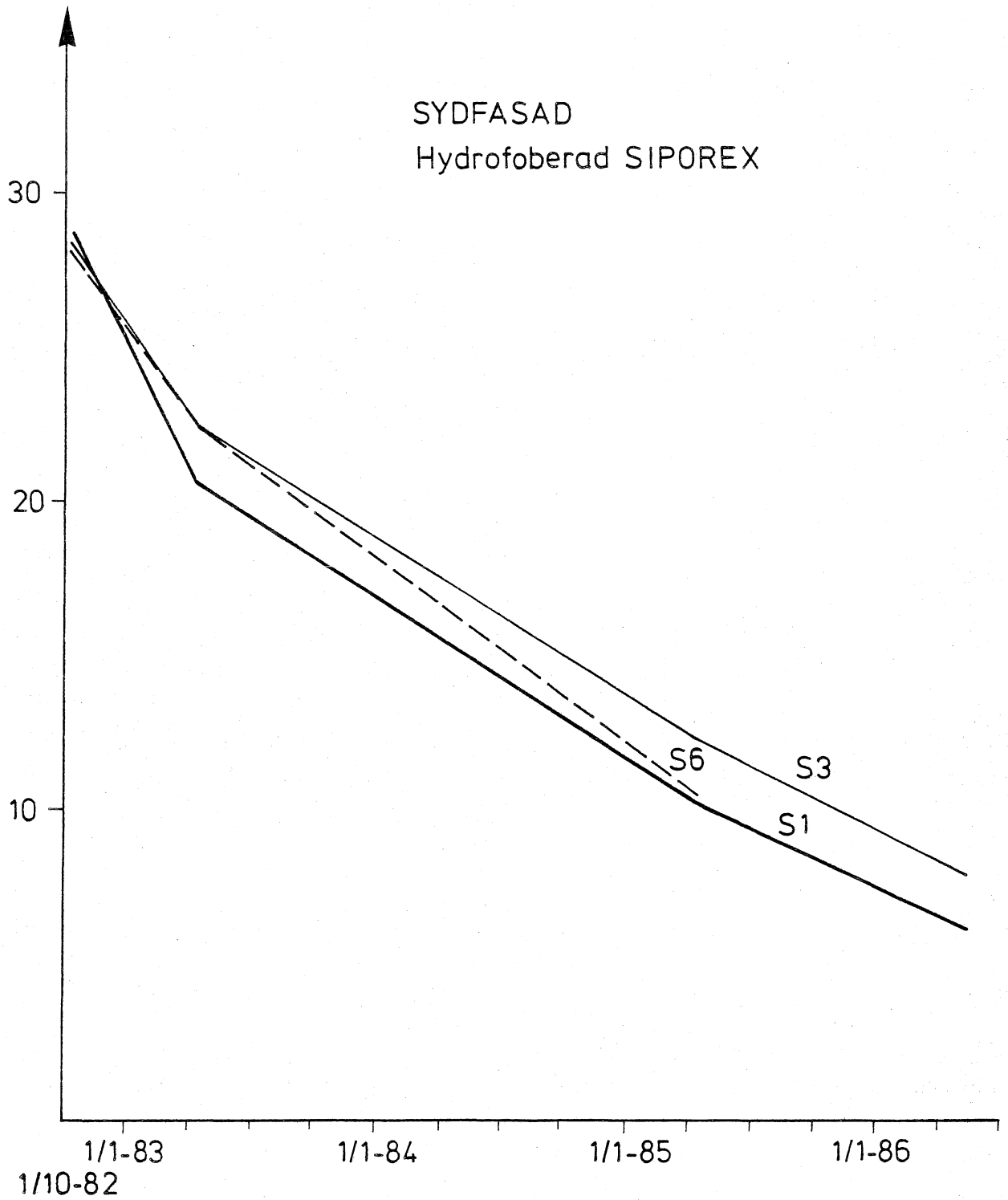


FIG. 5.2:3 a. Medelfuktkvoter, sydfasaden.

Medelfuktkvot (vikts-%)

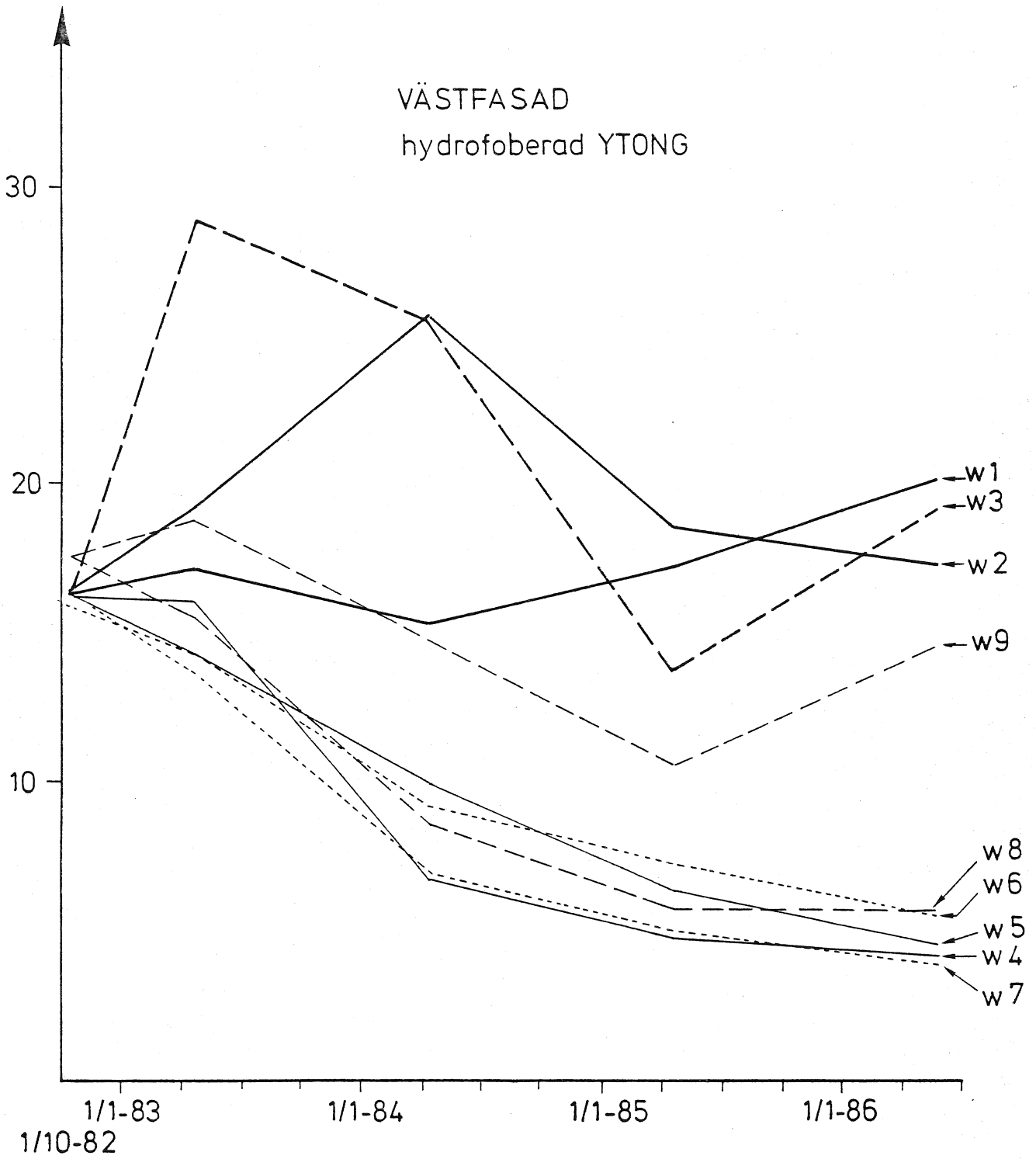


FIG. 5.2:3 b. Medelfuktkvoter, västfasaden.



Medelfuktkvot (vikts-%)

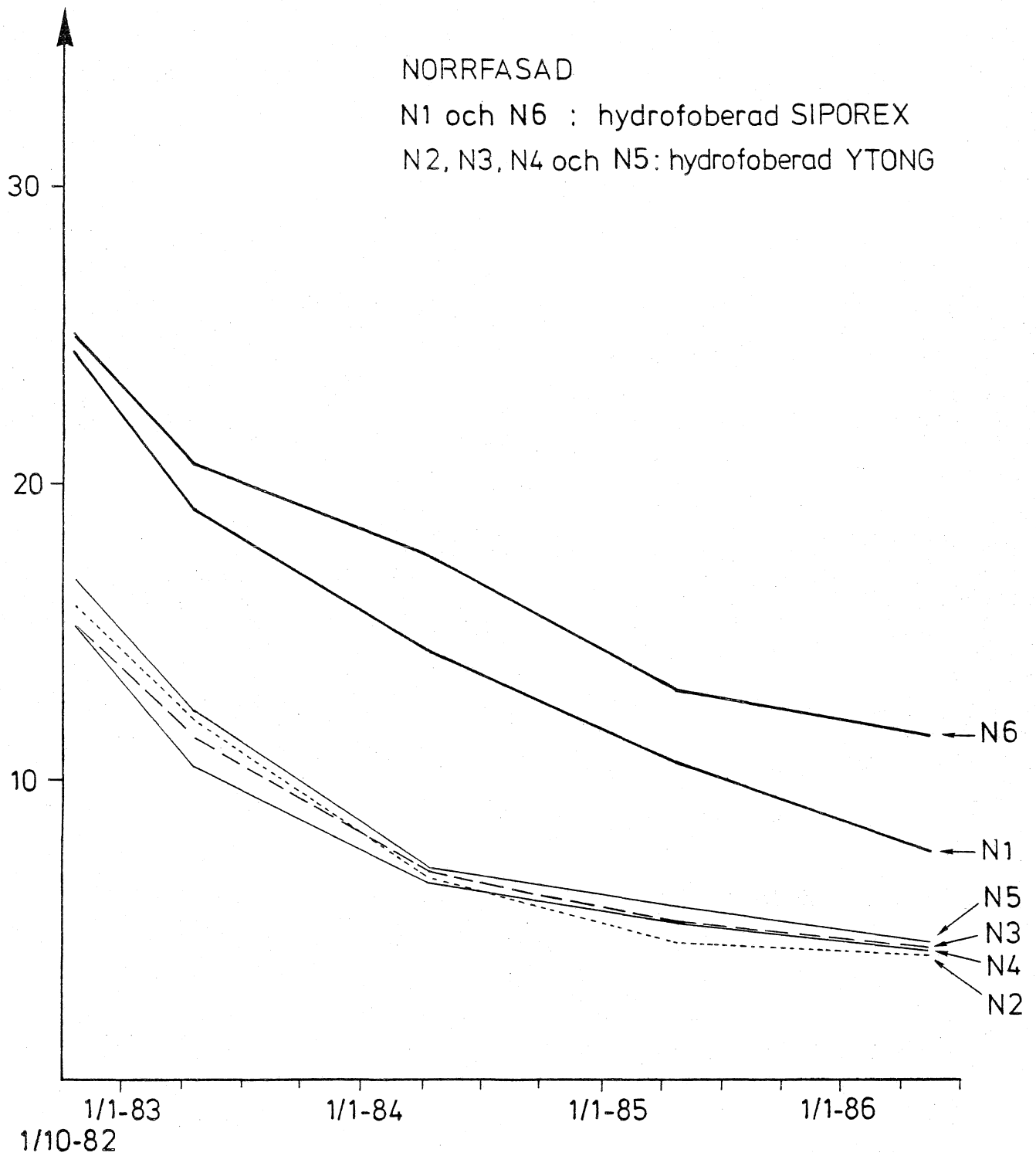


FIG. 5.2:3 c. Medelfuktkvoter, norrfasaden.

Medelfuktkvot (vikts-%)

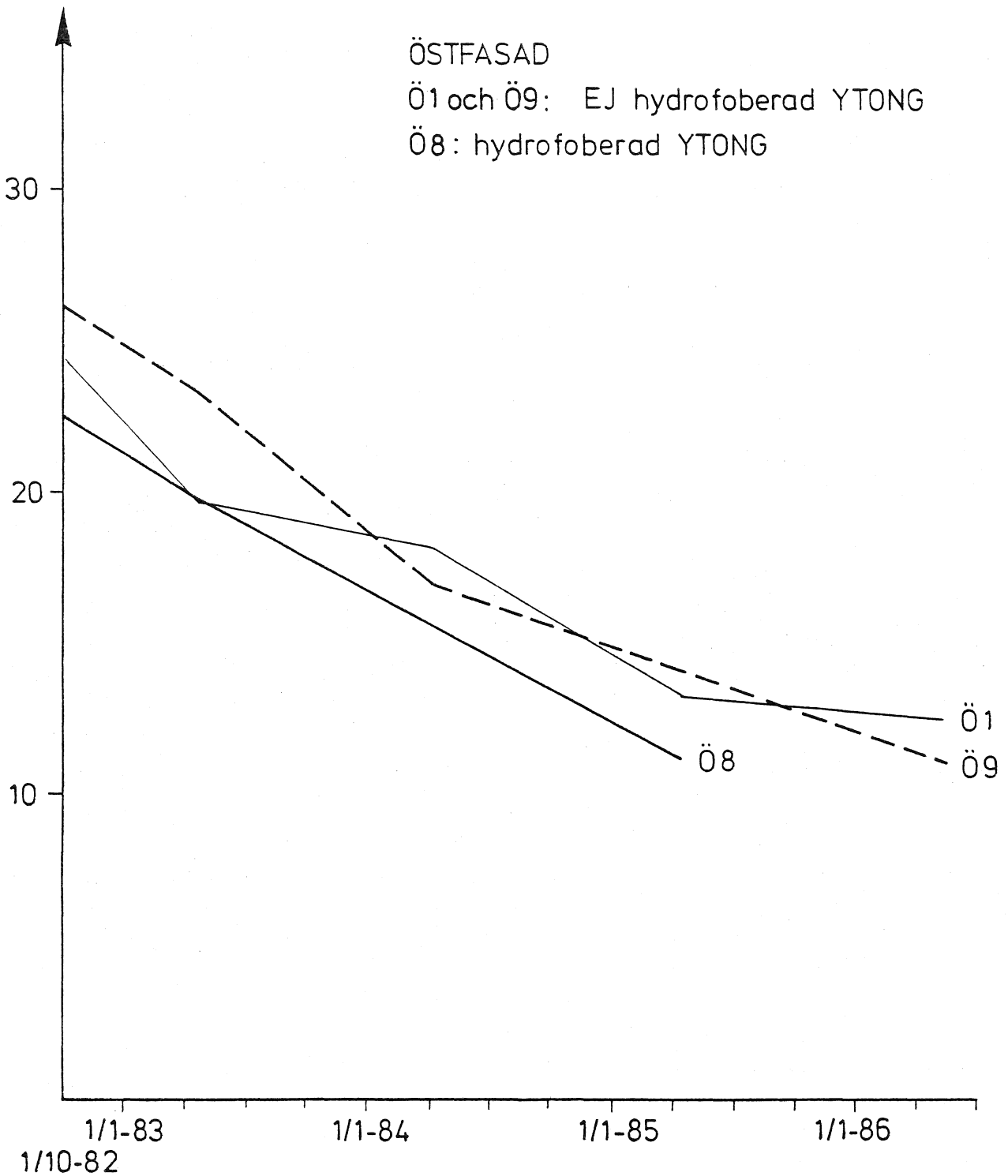


FIG. 5.2:3 d. Medelfuktkvoter, östfasaden.

### 5.3 Relativ mätning med elektroder

Grundprincipen för denna mätning är att den elektriska ledningsförmågan i ett poröst material är beroende av fuktinnehållet. Genom att mäta resistansen mellan två elektroder i materialet erhålles sålunda ett indirekt mått på fuktinnehållet. Det erhållna mätvärdet ger inget absolutbelopp på fuktinnehållet utan är enbart relativt. Genom kalibrering kan detta mätvärde översättas till fuktkvot. I Sandin (1980) diskuteras metoden i detalj. Där redovisas även ett stort antal mätningar och kalibreringar. Denna kalibrering är dock beroende av både väggmaterialet och elektrodens utformning.

Vid aktuella mätningar i Partille är varken väggmaterial eller elektrodutformning identiska med de som användes i Sandin (1980). Någon direkt kalibrering av mätvärdena har inte gjorts i Partille. Några absolutbelopp på fuktinnehållet går alltså inte att få. Mätningarnas största värde ligger i att man mäter fuktvariationerna på exakt samma ställe i väggen vid olika tidpunkter. Denna variation kan mätas med stor noggrannhet. Härvid måste man dock korrigera erhållna mätvärden med hänsyn till temperaturvariationer. För att kunna göra detta har även temperaturen mätts vid de flesta elektroderna.

När vattnet i väggen fryser sker en "språngvis" ändring av mätvärdet. De mätvärden som erhållits när det varit minusgrader vid mätstället har därför inte beaktats.

Elektrodmätningarna har gjorts vid samma platser som fuktkvotsmätningarna enligt FIG. 5.2:1. Vid varje mätplats har tre elektrodpar monterats på olika djup enligt FIG. 5.3:1. Elektrodutformningen framgår av FIG. 5.3:2. Genom att endast spetsen är i elektrisk kontakt med lättbetongen, mäts fuktillståndet lokalt mellan spetsarna. Vid monteringen förborrades ett hål, som är lika stort som spetsen, till ett djup 20 mm mindre än aktuellt mätdjup. De sista 20 mm slås elektroderna in för att få god kontakt.

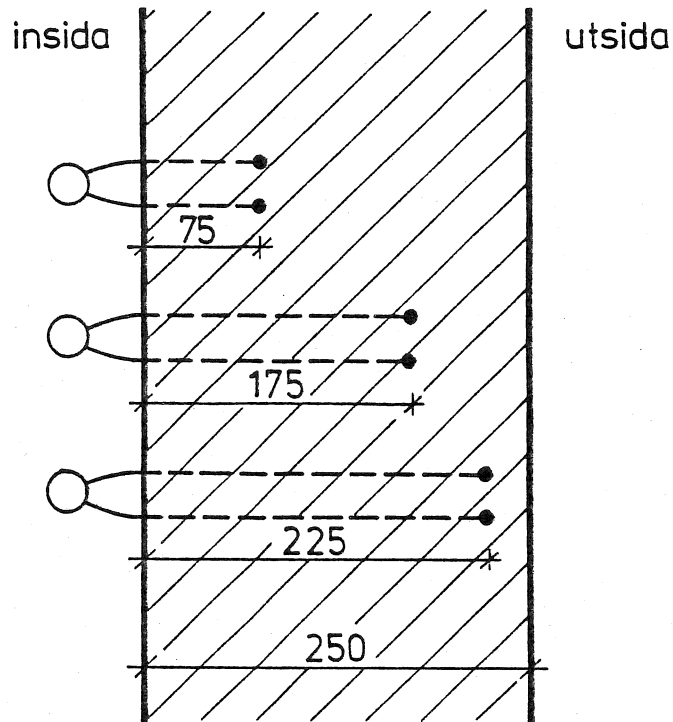


FIG. 5.3:1. Elektrodplacering i djupled.

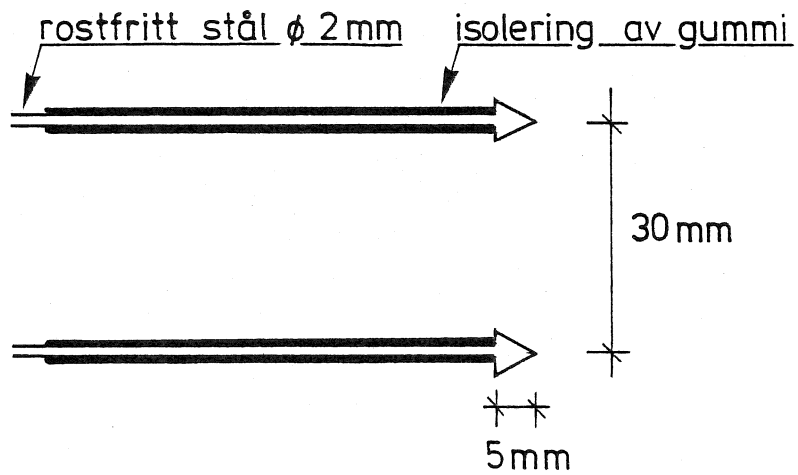


FIG. 5.3:2. Elektrodutformning.

I väggarna finns 3 olika lättbetongkvaliteter. Mätresultaten i olika material är inte jämförbara. Vidare kan det förekomma avvikelser i enstaka elektrodpar. En orsak till detta kan vara att den elektriska kontakten mellan elektrod och väggmaterial inte är perfekt vid alla elektrodspetsar. Resultaten måste sålunda tolkas med "sunt förnuft". Man får inte dra några slutsatser av enstaka mätningar. Med utgångspunkt från många mätpunkter och mättillfällena kan dock tillförlitliga tendenser fastställas.

Resultaten av elektrod-mätningarna redovisas i FIG. 5.3:3a-u. Den vertikala axelns skala är enbart relativ. För att få en viss uppfattning om absolutbeloppen har erhållna värden jämförts med fuktkvotsmätningarna. För YTONG gäller ungefär följande relationer:

skaldelar	fuktkvot (viktsprocent)
0.05	5 - 10
0.2	20
0.3	20 - 30

För SIPOREX är fuktkvoten högre vid visst antal skaldelar.

Överensstämmelsen mellan elektrod-mätningarna och fuktkvotsmätningarna är mycket god. Tendensen är i stort densamma i båda mätningarna.

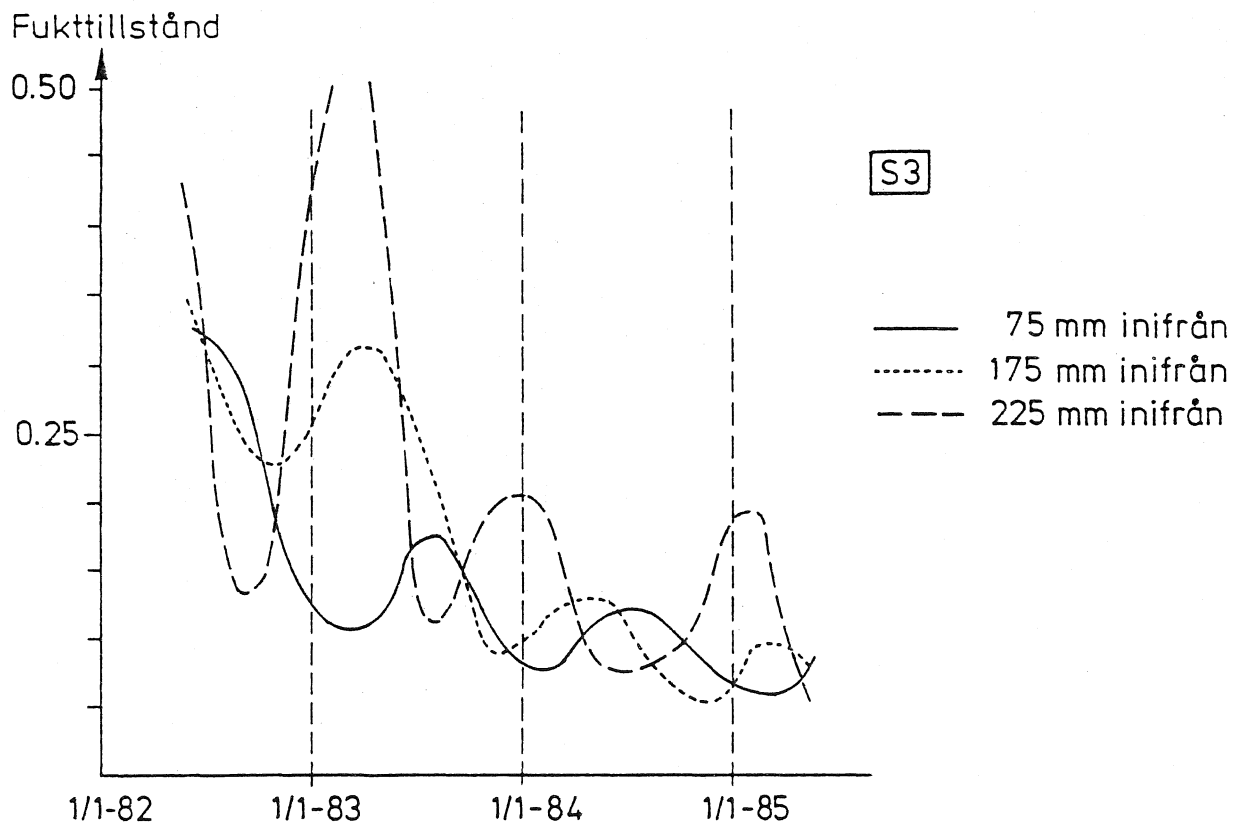
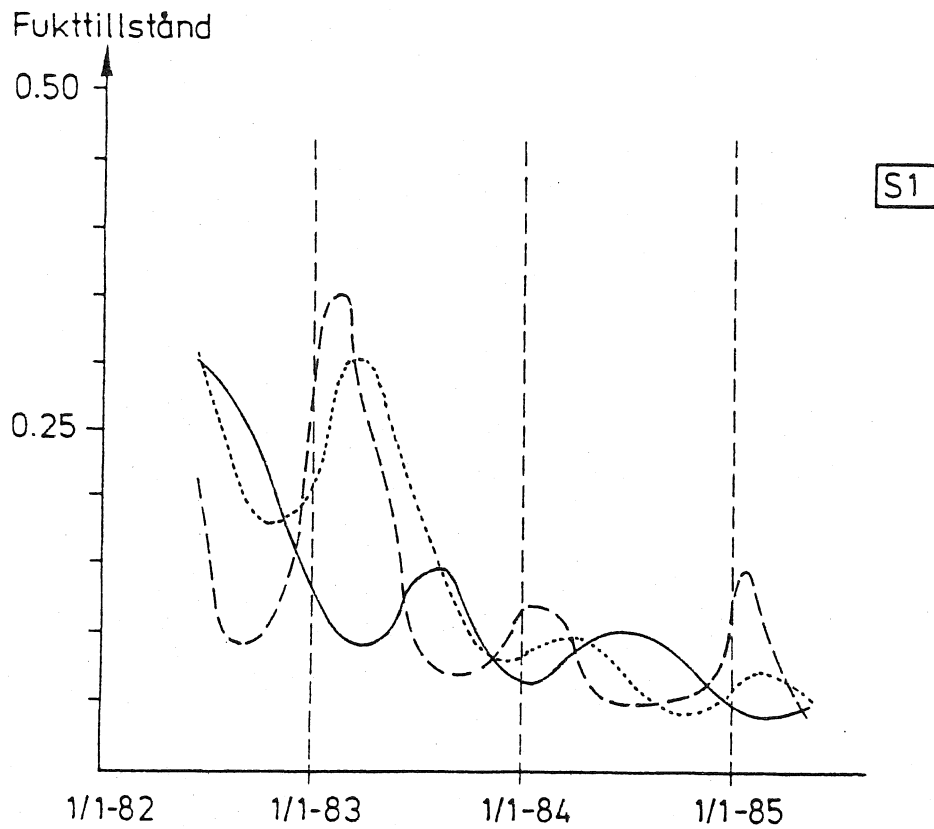


FIG. 5.3:3 a-b. Fukttillståndets variation i fack S1 och S3.  
(Hydrofoberad SIPOREX).

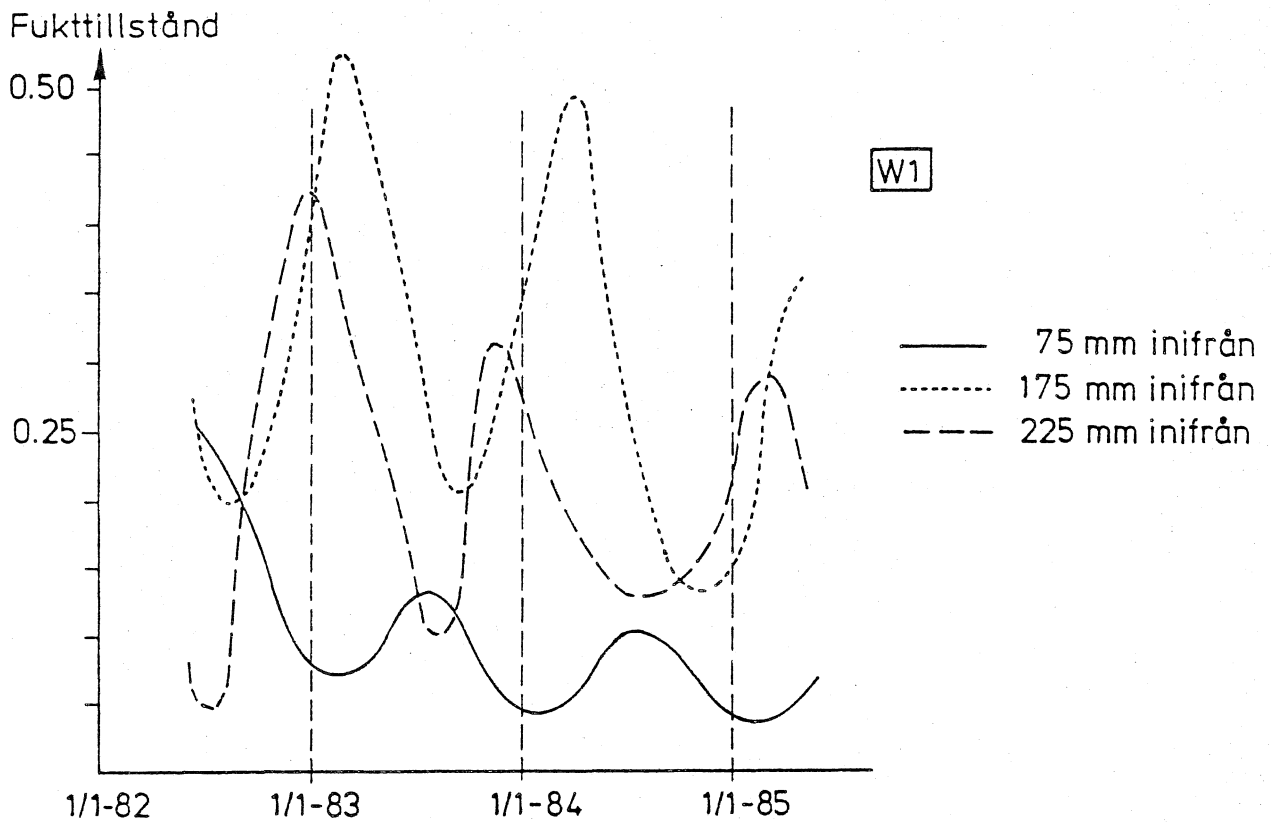
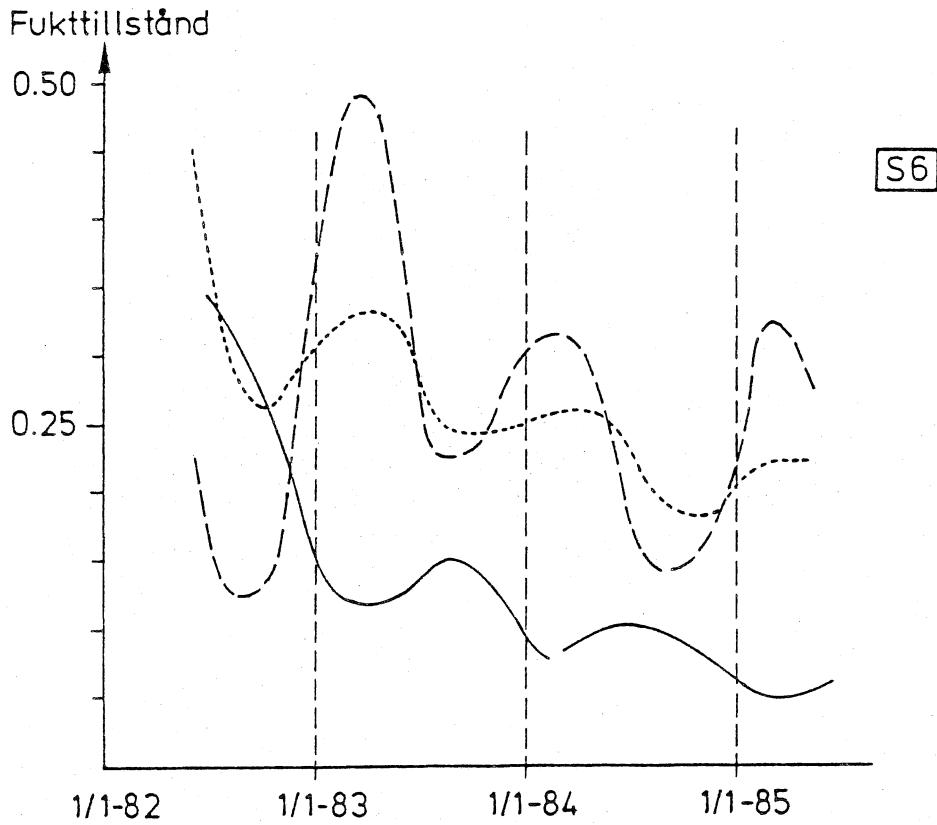


FIG. 5.3:3 c-d. Fukttillståndets variation i fack S6 (Hydrofoberad SIPOREX) och W1 (Hydrofoberad YTONG)

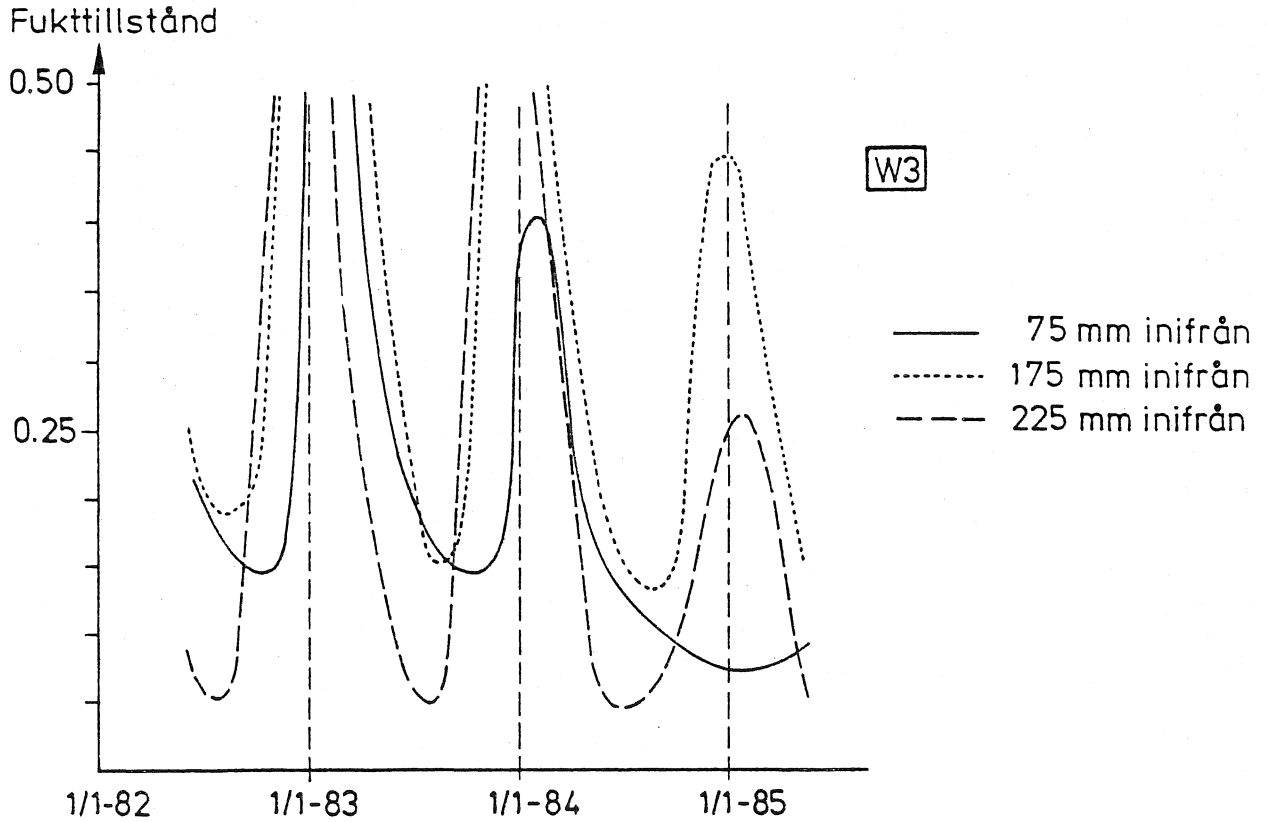
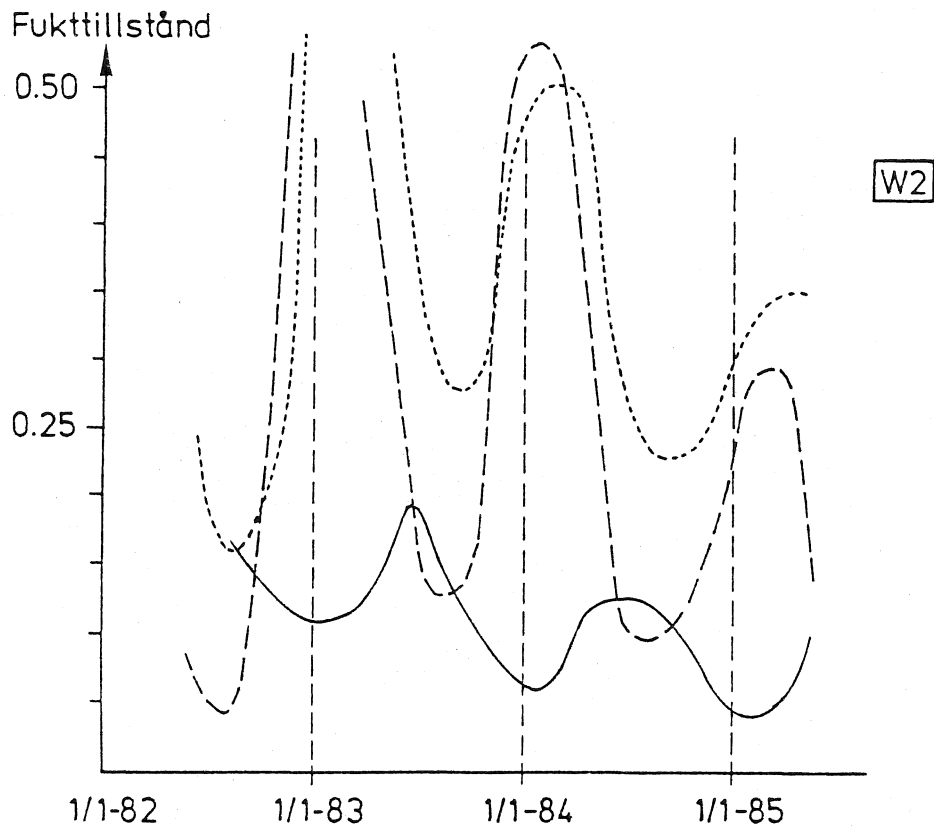


FIG. 5.3:3 e-f. Fukttillståndets variation i fack W2 och W3.  
(Hydrofoberad YTONG).



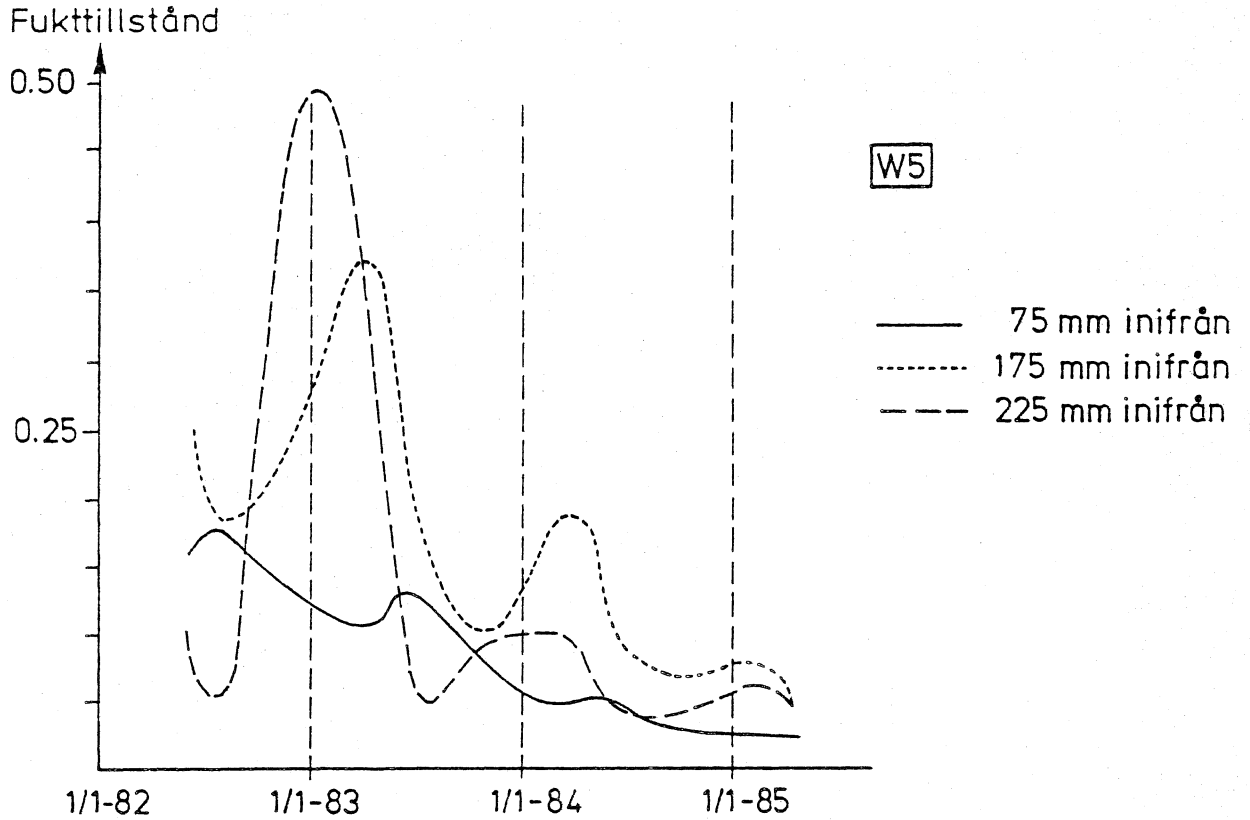
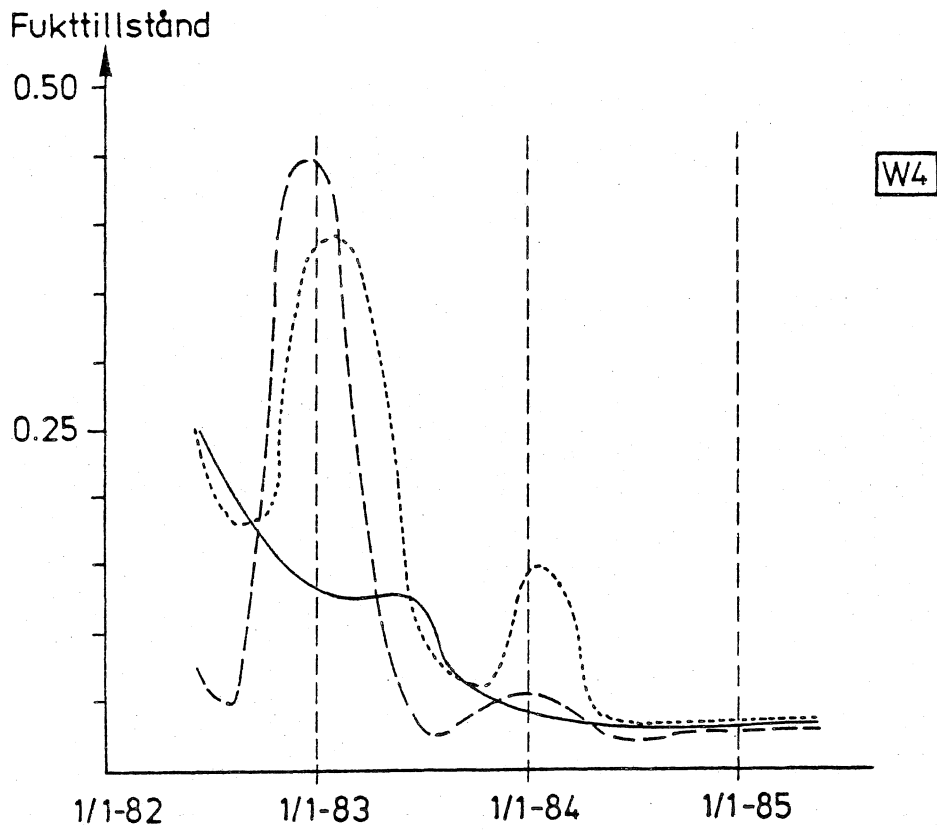


FIG. 5.3:3 g-h. Fukttillståndets variation i fack W4 och W5. (Hydrofoberad YTONG).

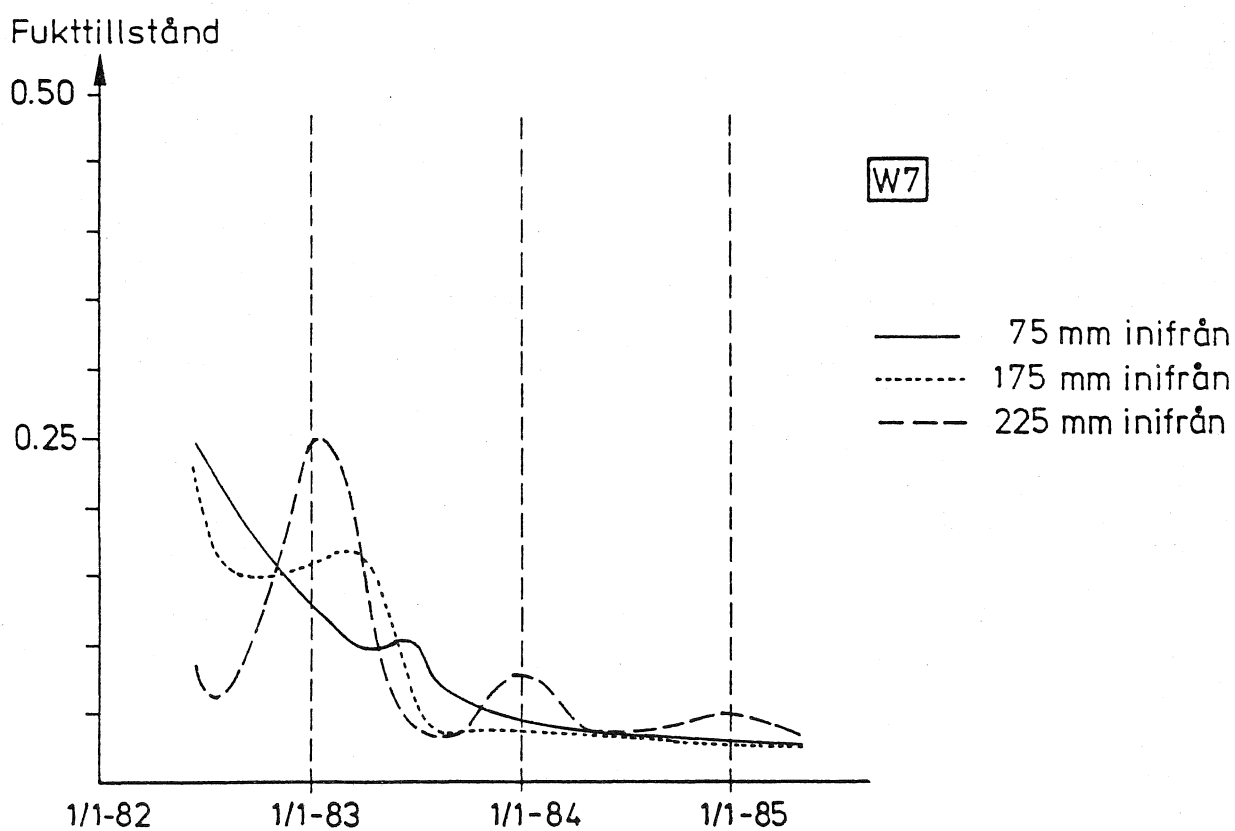
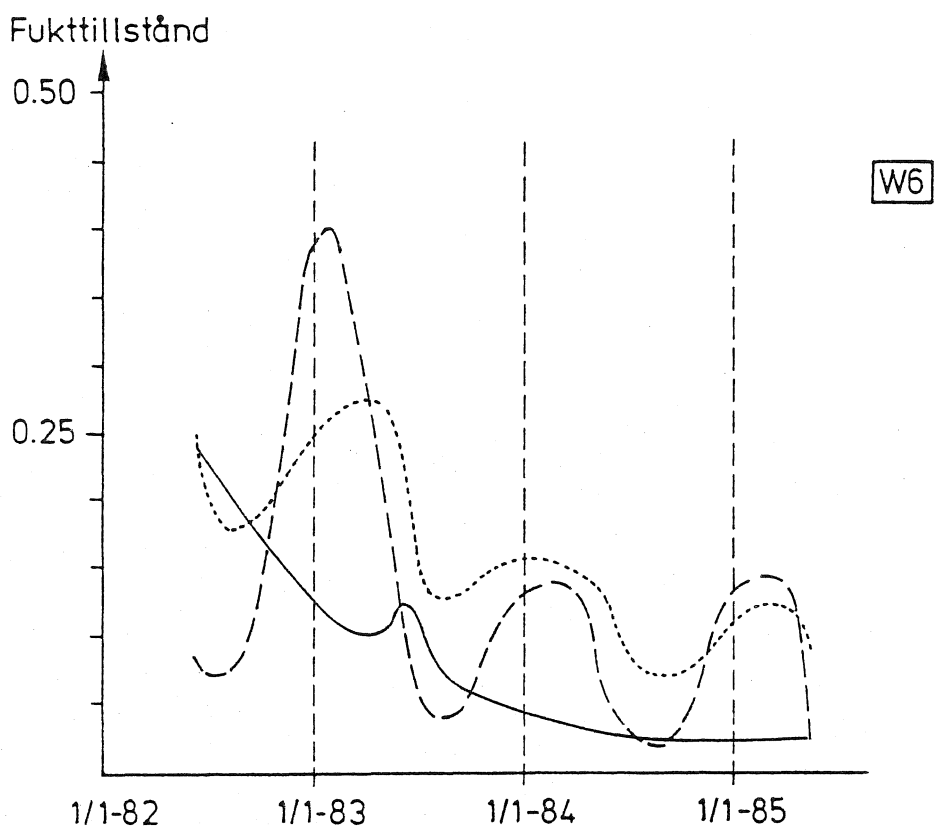


FIG. 5.3:3 i-j. Fukttillståndets variation i fack W6 och W7.  
 (Hydrofoberad YTONG).

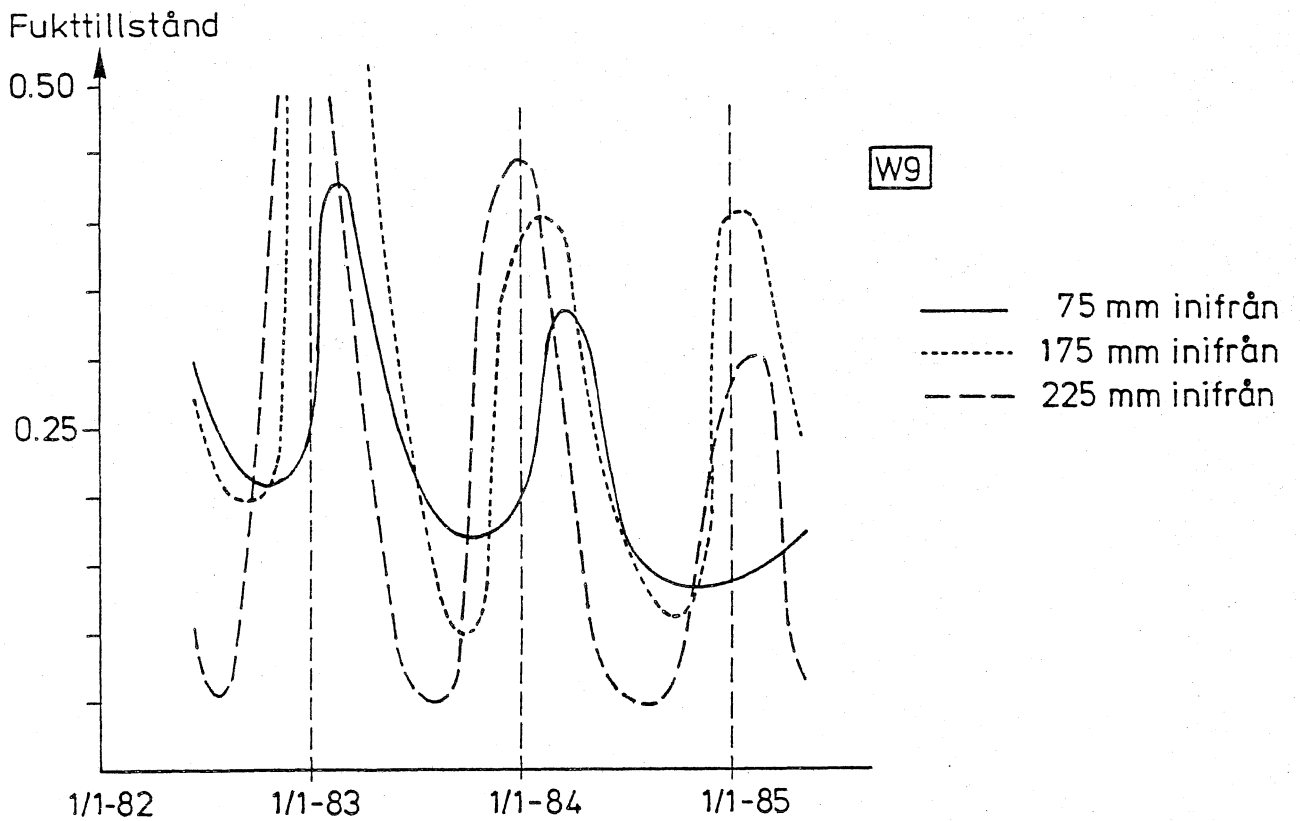
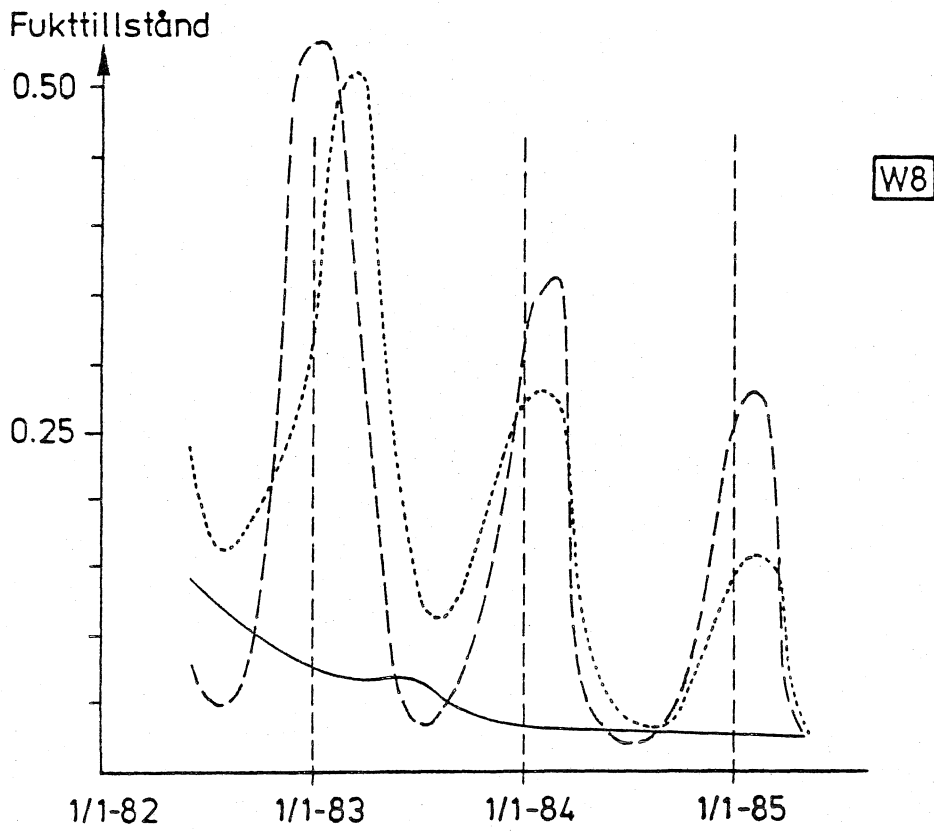


FIG. 5.3:3 k-1. Fukttillståndets variation i fack W8 och W9.  
(Hydrofoberad YTONG).

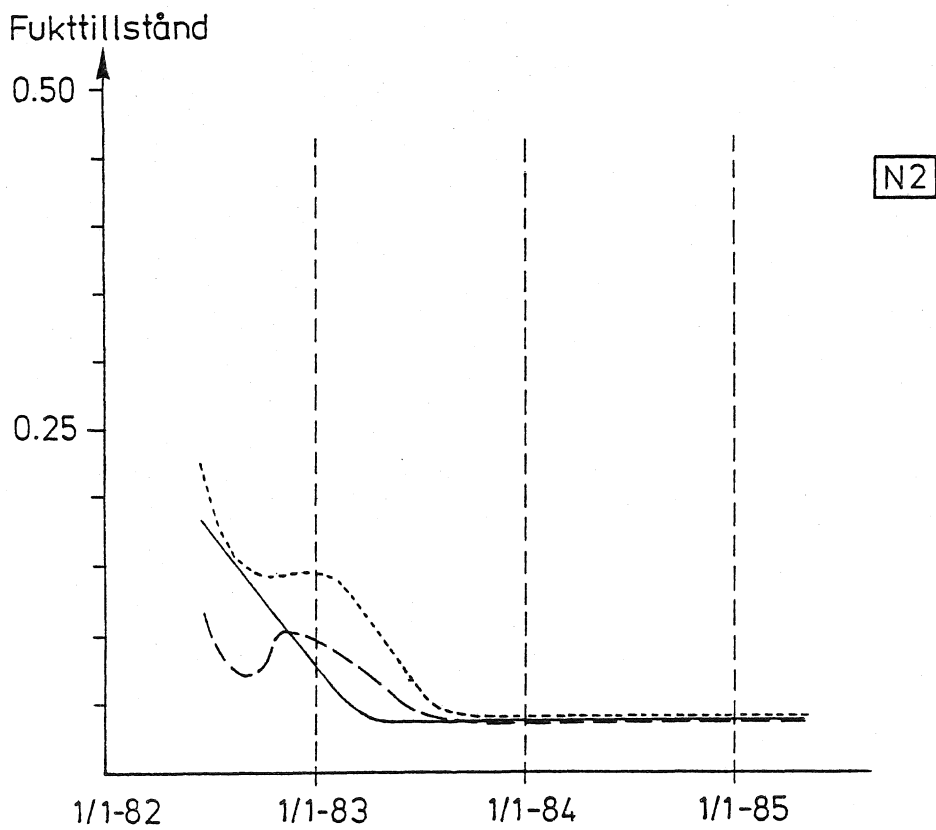
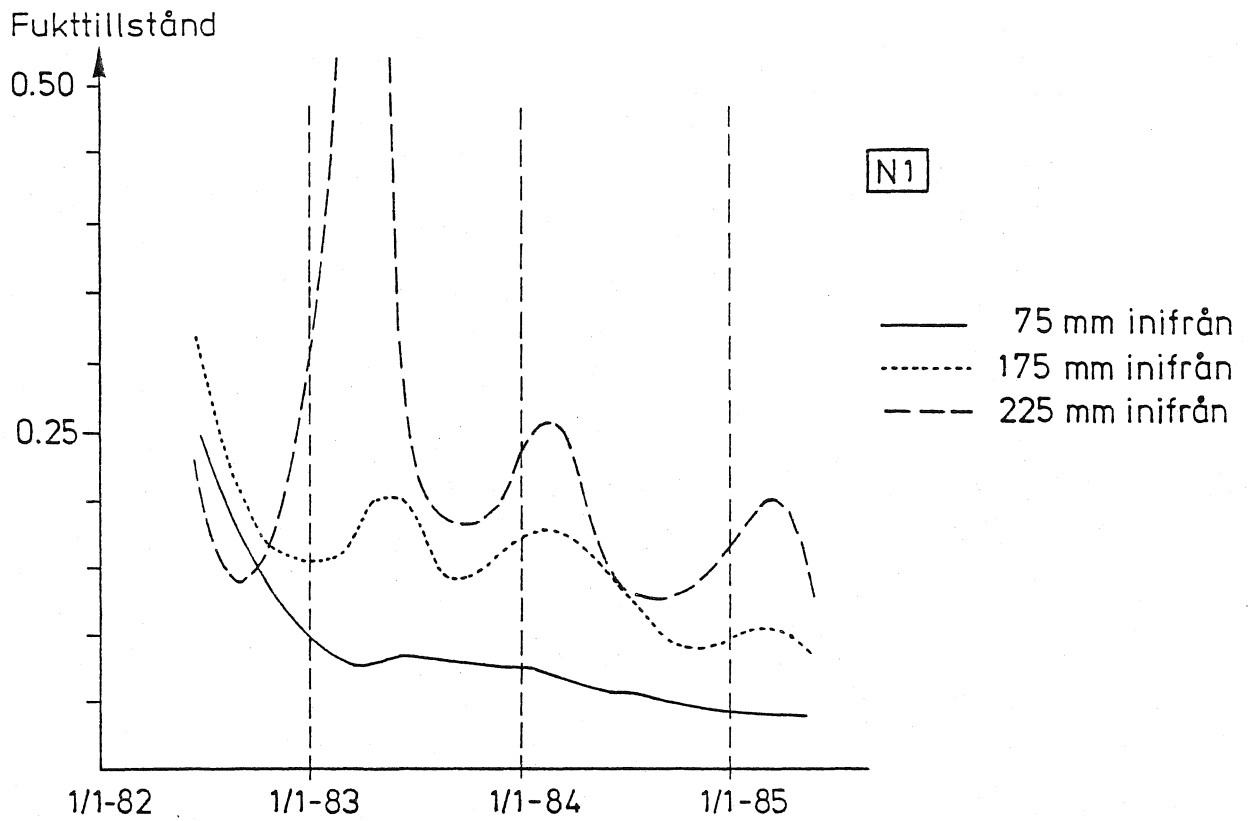


FIG. 5.3:3 m-n. Fukttillståndets variation i fack N1 (Hydrofoberad SIPOREX) och N2 (Hydrofoberad YTONG)

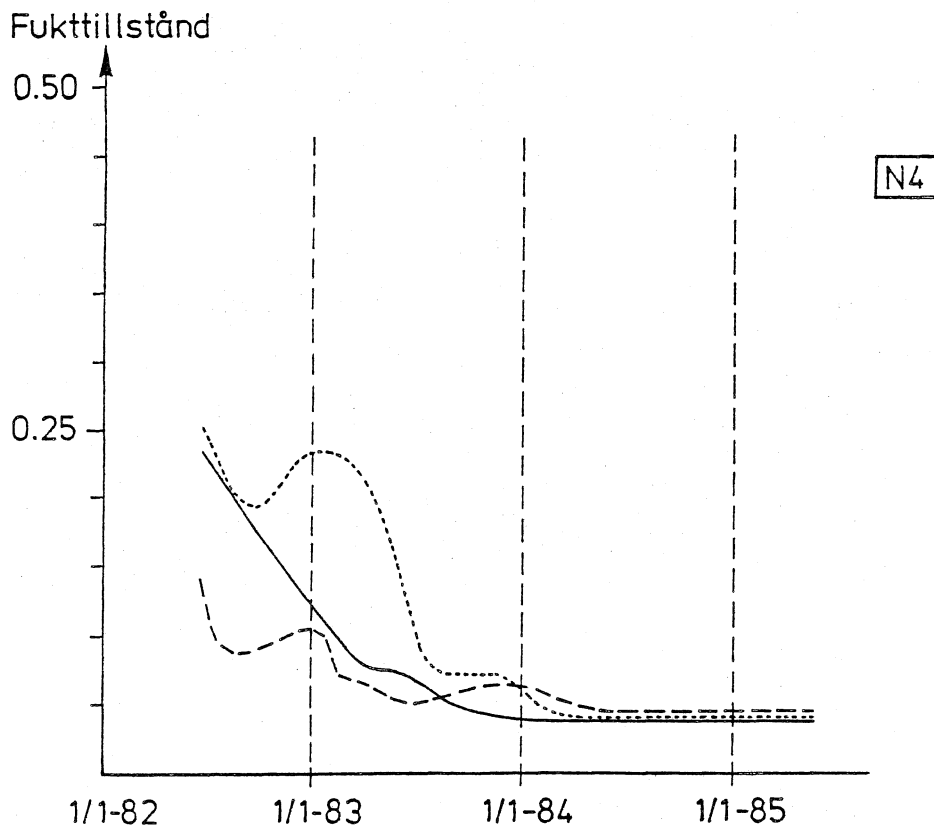
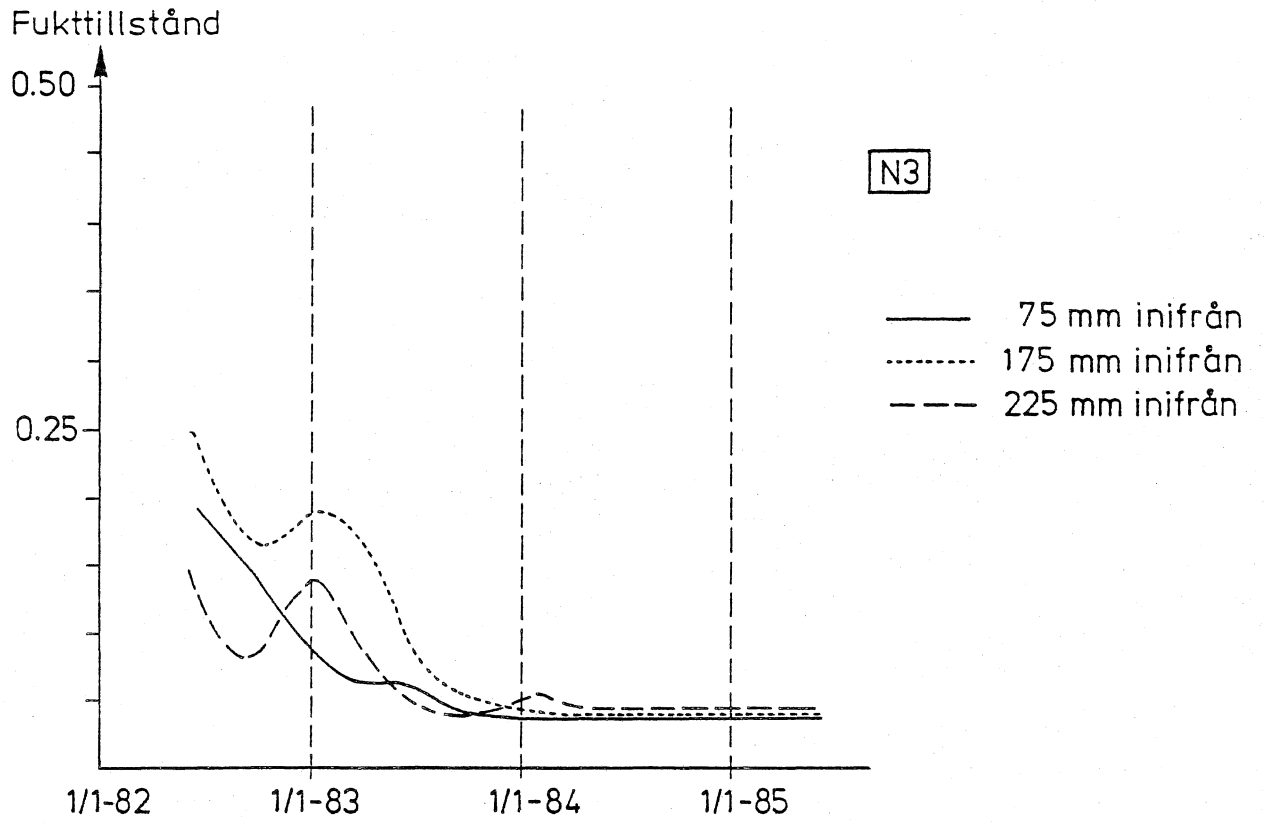
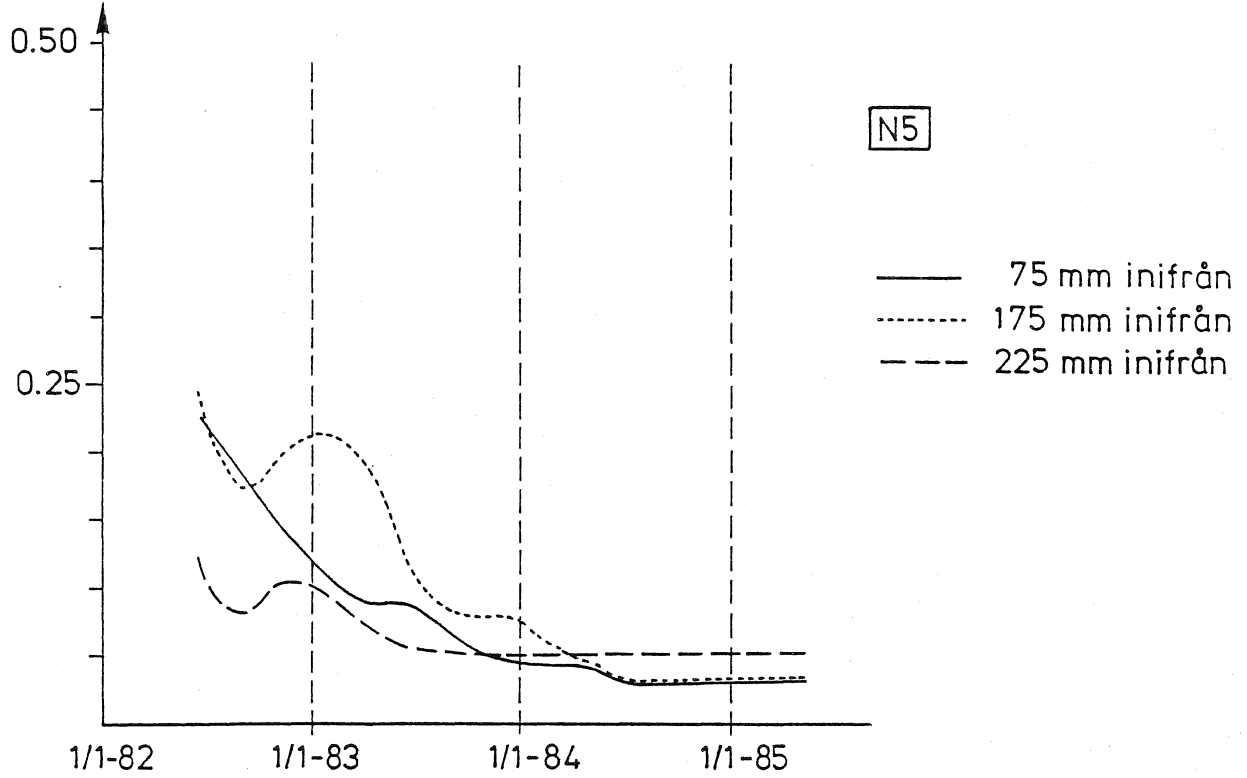


FIG. 5.3:3 o-p. Fukttillståndets variation i fack N3 och N4.  
 (Hydrofoberad YTONG).

Fukttillstånd



Fukttillstånd

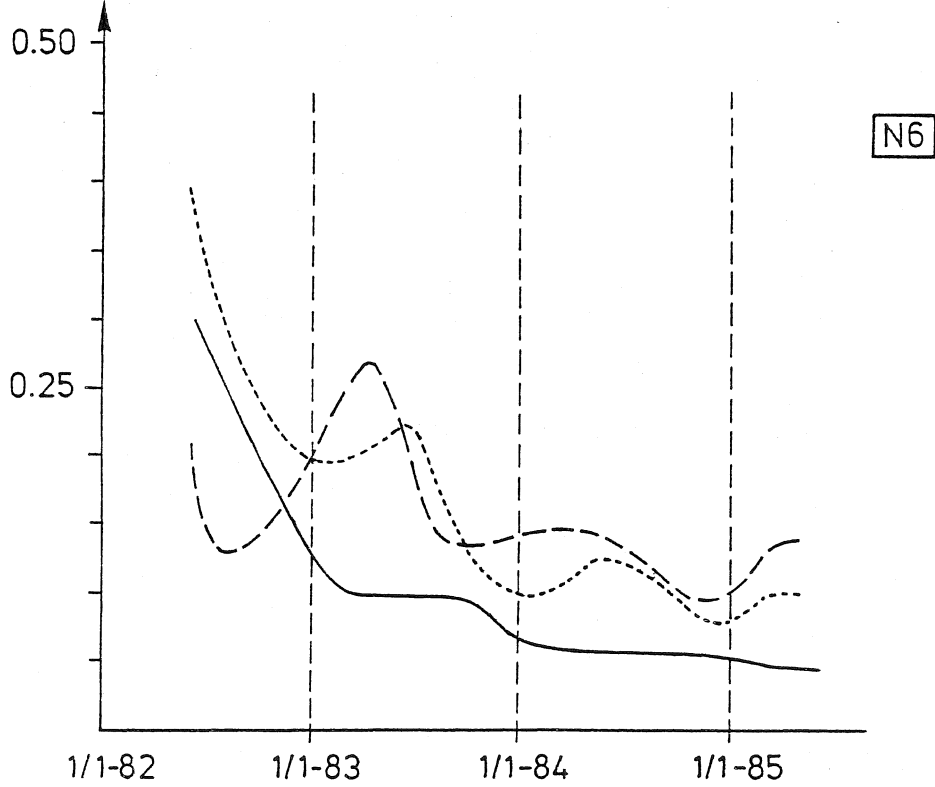


FIG. 5.3:3 q-r. Fukttillståndets variation i fack N5 (Hydrofoberad YTONG) och N6 (Hydrofoberad SIPOREX)

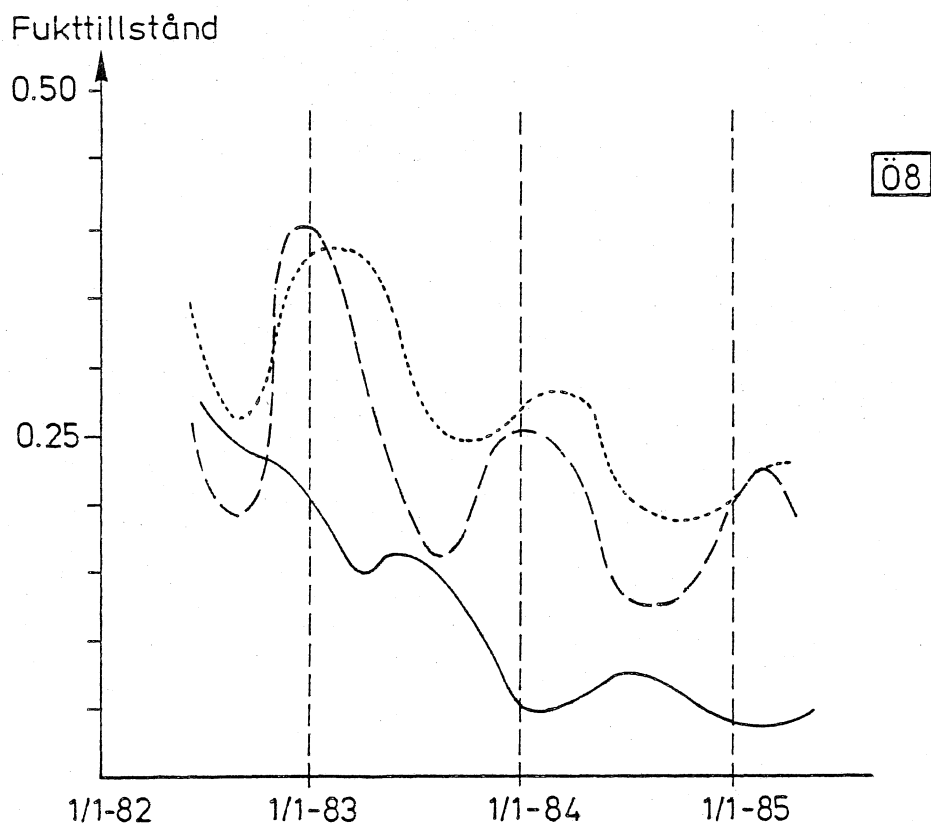
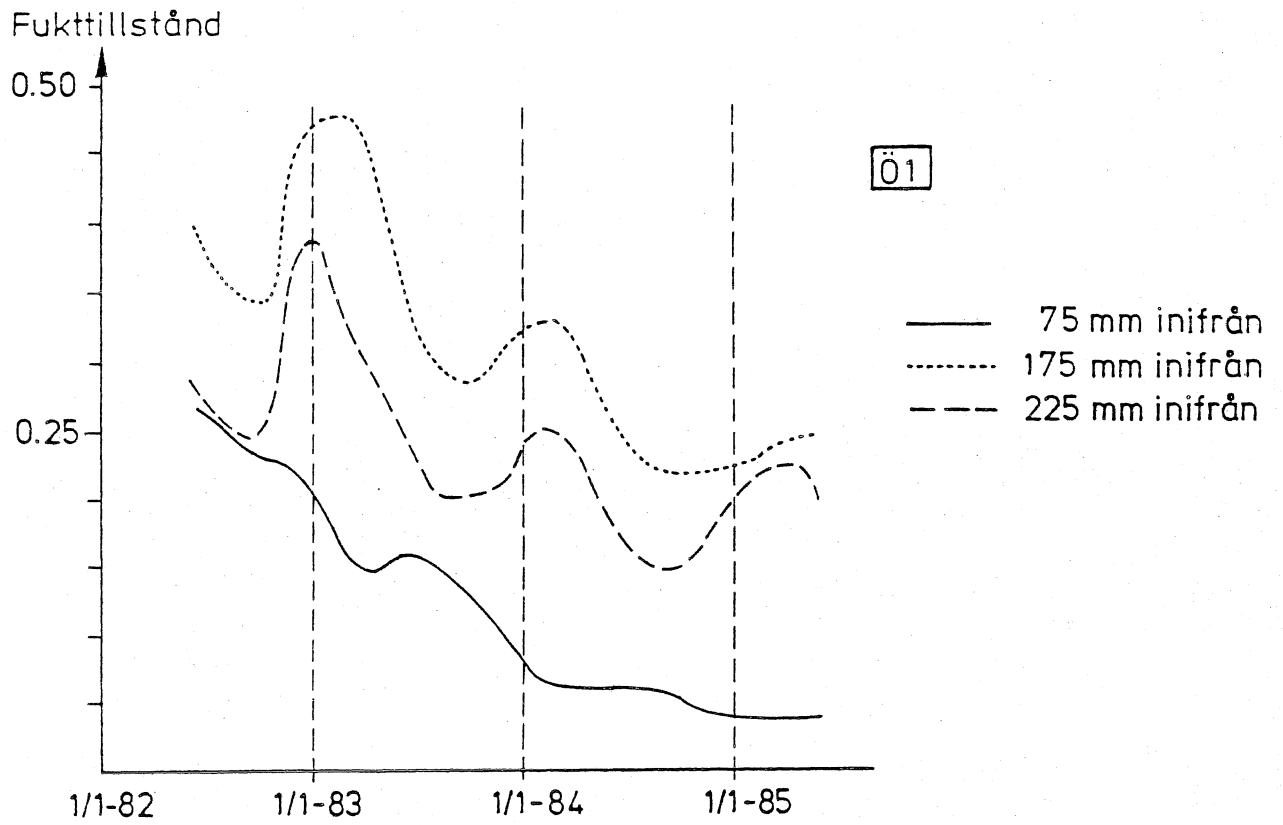


FIG. 5.3:3 s-t. Fukttillståndets variation i fack Ö1 (Ej hydrofoberad YTONG) och Ö8 (Hydrofoberad YTONG).

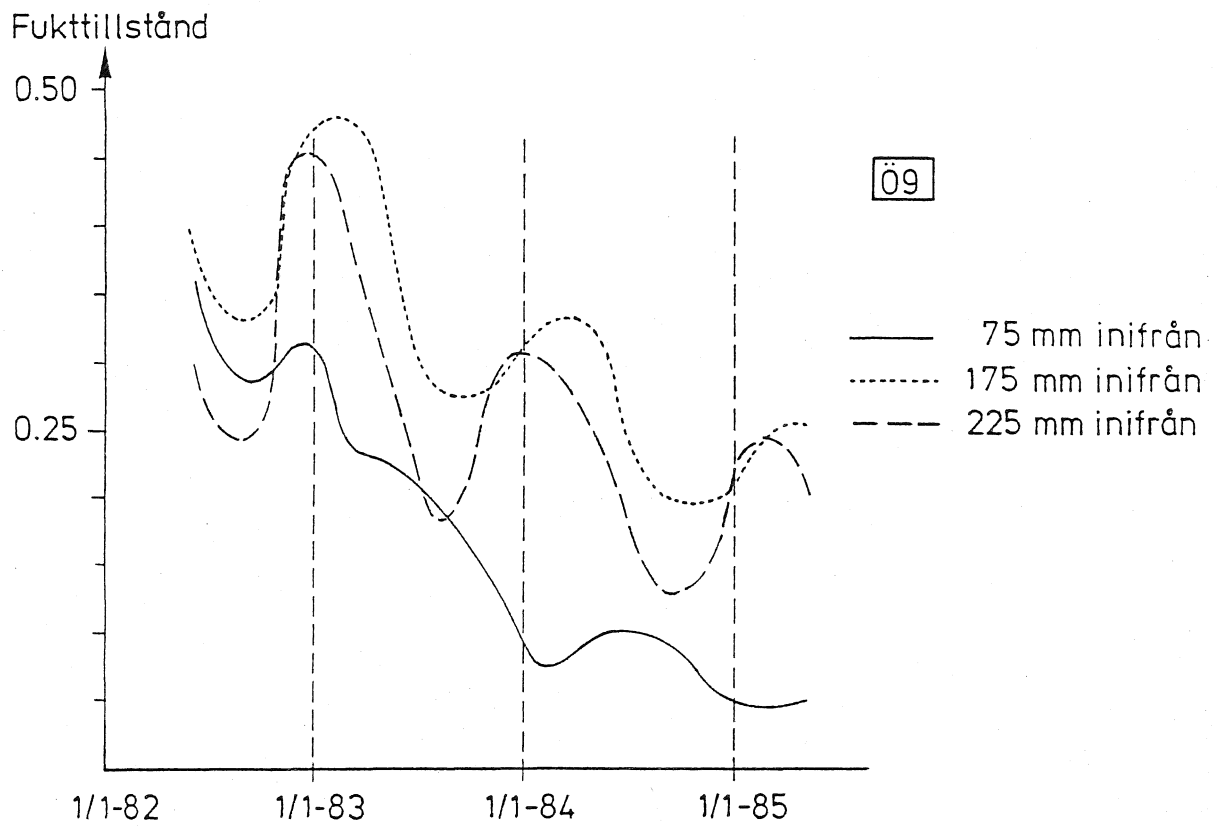


FIG. 5.3:3 u. Fukttillståndets variation i fack Ö9.  
(Ej hydrofoberad YTONG).



## 6 FUKTTILLSTÅNDETS BEROENDE AV YTSKIKT OCH SLAGREGN

## 6.1 Allmänt

I inledningen nämndes några frågeställningar som undersökningen skulle ge svar på. Bland annat nämndes uttorkning av byggfukt och inverkan av slagregn. Dessa två fuktkällor överlagras på varandra i praktiken. Vissa ytskikt medför en snabb uttorkning av byggfukten, men kan även medföra en stor vattenupptagning under regn. Är slagregnsbelastningen kraftig, kan väggens fukttinnehåll i fortvarighetstillstånd bli högt. Andra ytskikt medför en långsam uttorkning av byggfukten, men hindrar samtidigt vattenupptagning under regn. Fukttinnehållet i fortvarighetstillståndet blir då lågt, men det tar lång tid innan detta nås. Ytterligheterna illustreras i FIG. 6.1:1.

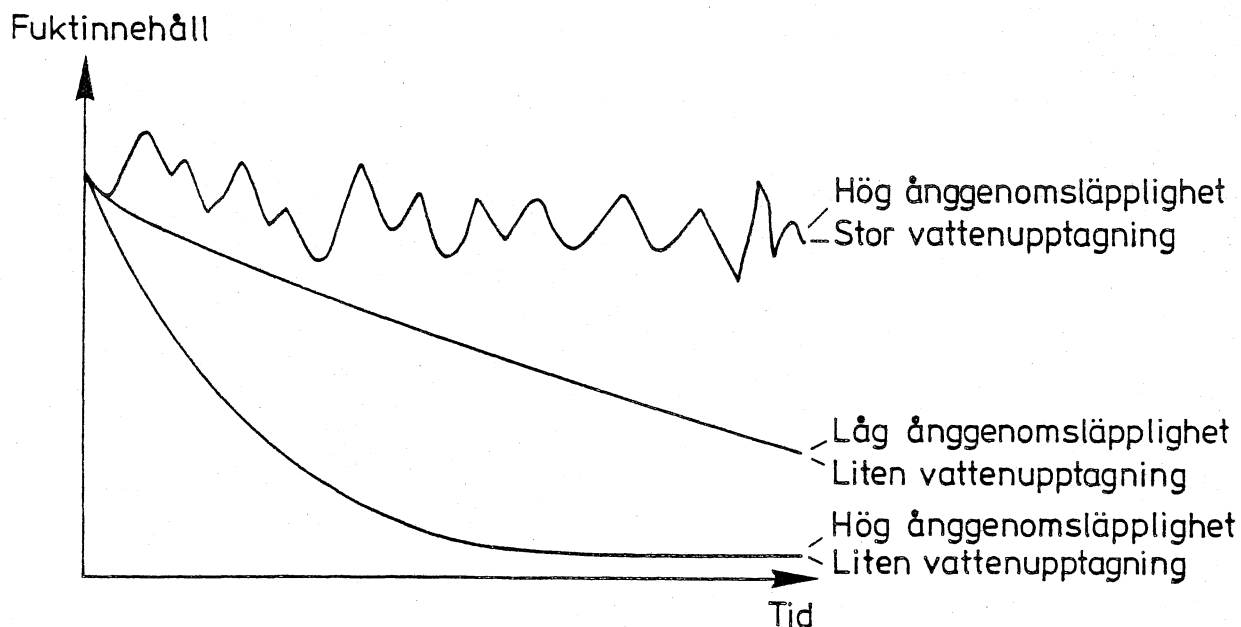


FIG. 6.1:1. Principiella fuktförlopp i vägg med olika ytbehandlingar.

Uttorkningen av byggfukten är enbart beroende av ytskiktets ånggenomsläpplighet ( $P_v$  m/s). Fortvarighetstillståndet är beroende av både vattenupptagning under regn och ytskiktets ånggenomsläpplighet. Vattenupptagningen under regn är i sin tur beroende av både slagregnsbelastning och ytskiktets "vatteninträngningstal" ( $A$  kg/(m<sup>2</sup> · s<sup>1/2</sup>)).

Innan de olika fallen diskuteras i detalj kan det vara på sin plats att nämna vad som idag anses " normalt " för aktuella väggar. Enligt kommentarer till Svensk byggnorm kan man (med hänsyn till värmeledningsförmågan) räkna med att autoklaverade lättbetongelement med aktuella ytskikt har fuktkvoten 6 viktsprocent i fortvarighetstillstånd. För lättbetongelement "med regnkappa" är motsvarande siffra 4 viktsprocent. Det nämns dock ingenting om hur lång tid det får ta innan byggfukten torkat ut till dessa nivåer. Inom branschen anses "ett par år" vara normalt.

Det finns flera skäl till en kort uttorkningstid samt att fukttillståndet i fortvarighetstillståndet skall vara lågt. Som exempel kan nämnas väggens värmeisoleringsförmåga. Lättbetong med fuktkvoten 20 viktsprocent har cirka 50 % större värmeledningsförmåga än lättbetong med fuktkvoten 4 viktsprocent.

## 6.2 Uttorkning av byggfukt

Om man bortser från vattenupptagning vid slagregn kan uttorkningen av byggfukten uppskattas relativt enkelt. Den mängd som skall torka ut beror på fukttillståndet i början och på slutläget. Ett rimligt antagande för autoklaverad lättbetong är att fuktkvoten skall sänkas från 25-30 till 5 viktsprocent. Detta innebär för en 250 mm tjock vägg att cirka 25 kg vatten per m<sup>2</sup> skall torka ut.

Uttorkningen sker både utåt och inåt. Uttorkningshastigheten beror på ånghaltsskillnaden mellan avdunstningszonen och luften. Ånghalten ute erhålles från klimatdata. Ånghalten inne beror av utomhusånghalt och fukttillskott inomhus. Fukttillskottet inne är i aktuellt fall enligt FIG. 4.2:3 cirka  $2 \text{ g/m}^3$ .

Ånghalten i avdunstningszonen beror på väggens fukttillstånd och temperatur. I början kan man anta att RF är 100 % i ytan, vilket ger en mycket snabb uttorkning. Efterhand sjunker RF i ytan och avdunstningszonen förflyttas in i väggen. Som slutläge kan det vara rimligt att räkna med att RF är 80 % på djupet 100 mm utifrån. Ett rimligt medelvärde under hela tiden blir då 90 % på djupet 50 mm. Denna approximation ger en underskattning av uttorkningen i början och en över-skattning på slutet.

Temperaturen på djupet 50 mm kan uppskattas med utgångspunkt från utförda mätningar och tillgängliga klimatdata, med hänsyn tagen till solstrålningen.

Ovanstående ger att man på västfasaden kan räkna med en ånghaltsskillnad som är 1.5 respektive  $3.0 \text{ g/m}^3$  vid uttorkning inåt respektive utåt. För norrfasaden kan man grovt anta halva denna differens. Den tid då uttorkning sker kan grovt uppskattas till 300 dygn per år.

Uttorkningshastigheten ges av

$$g = \Delta v \cdot P_v \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

där  $\Delta v =$  ånghaltsskillnad  $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $P_v =$  ånggenomsläpplighet  $\text{m}/\text{s}$

Vid uttorkning inåt skall  $P_v$  gälla för 50 mm lättbetong, eftersom det inte finns något ytskikt. Enligt tillgängliga data är  $P_v = 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ m}/\text{s}$  en rimlig uppskattning för 50 mm

lättbetong. Vid uttorkning utåt skall  $P_V$  gälla för 50 mm lättbetong och ytskiktet. En omräkning från de uppmätta värdena för ytskiktet till den totala ånggenomsläppligheten ger ett samband enligt FIG. 6.2:1.

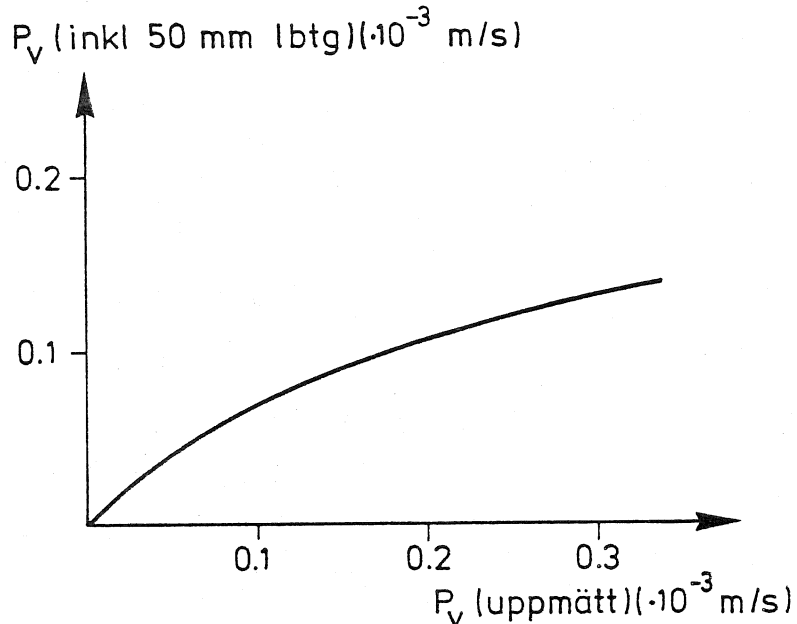


FIG. 6.2:1. Samband mellan ånggenomsläpplighet för ytskikt inklusive 50 mm lättbetong och uppmätt ånggenomsläpplighet för ytskikt.

Med ovanstående förutsättningar blir den uttorkade fuktmängden per år från västfasaden enligt TAB. 6.2:1. Norrfasadens värden blir hälften av västfasadens.

I de fall då uttorkningshastigheten åt en sida är väsentligt större än åt den andra, ger tabellen en överskattning av uttorkningshastigheten. Orsaken till detta är att avdunstningszonen på den sida som har störst avdunstning, kommer att i genomsnitt ligga längre in i väggen.

När medelfuktinnehållet i väggen sjunkit ned till de antagna 5 viktsprocent är förutsättningarna för beräkningen inte uppfylld. Ned till 7-8 viktsprocent torde dock antagandena vara någorlunda rimliga.

Beräkningarna visar att erforderlig uttorkningstid för att nå ett rimligt fukttillstånd för aktuell vägg blir enligt TAB. 6.2:2. Denna tabell förutsätter att fuktkvoten från början är 25-30 viktsprocent. Många av väggfacken har en lägre startfuktkvot, eftersom de monterades ett år innan ytskikten applicerades.

TAB. 6.2:1. Uttorkningshastighet för västfasaden.

$P_v$ ( $10^{-3}$ m/s)	Uttorkning utåt (kg/(m <sup>2</sup> ·år))	Uttorkning inåt (kg/(m <sup>2</sup> ·år))	Total uttorkning (kg/(m <sup>2</sup> ·år))
0.01	1	5	6
0.05	3	5	8
0.10	5	5	10
0.20	8	5	13
0.30	10	5	15

TAB. 6.2:2. Uppskattad uttorkningstid från 25-30 till 7-8 viktsprocent.

$P_v$ ( $10^{-3}$ m/s)	Västfasad (år)	Norrfasad (år)
0.01	4	8
0.05	3	6
0.10	2-3	5
0.20	2	4
0.30	2	4

Av TAB. 6.2:2 framgår att västfasaden torkar relativt snabbt, även om ytskikten har liten ånggenomsläpplighet. Detta beror på att solstrålningen höjer väggtemperaturen, vilket ökar ånghaltsskillnaden, samt på att en stor del av uttorkningen sker inåt. För en norrfasad med ett mycket tätt ytskikt på utsidan ( $P = 0.01 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$ ) blir uttorkningstiden cirka 10 år, vilket är i längsta laget. Sätter man kravet att byggfukten skall vara uttorkad efter 4-5 år, medför detta att ånggenomsläppligheten skall vara större än  $0.10 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$  (mätt enligt samma metod som i detta projekt). Att ytterligare öka ånggenomsläppligheten medför inte någon väsentlig minskning av uttorkningstiden, eftersom lättbetongens eget ångmotstånd då tar överhanden. Det man vinner är att uttorkningen i början (ned till 10-15 viktsprocent) går snabbare.

Att direkt från mätningarna få ett rimligt gränsvärde på tillåten ånggenomsläpplighet går inte, eftersom slagregnet överlagras på uttorkningen av byggfukten. På norrfasaden är dock slagregnmängderna små, varför storleksordningen kan uppskattas där. Ytskiktet på fack N6 har ånggenomsläppligheten  $P = 0.05 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$ . Detta fack torkar ganska långsamt. Genom extrapolering kan erforderlig uttorkningstid, för att nå 5-6 viktsprocent, uppskattas till 6-8 år. Facket N1, vars ytskikt har ånggenomsläppligheten  $P = 0.18 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$ , får en uttorkningstid på cirka 4 år. Dessa värden, som är de enda som är direkt jämförbara med beräkningarna, stämmer mycket bra. Minimikravet  $P = 0.10 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$  verkar att vara rimligt. Skall även insidan behandlas med ett relativt tätt ytskikt kan kravet  $P = 0.15 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$  vara rimligare.

För fasader mot öster, väster och söder kan lägre ånggenomsläpplighet accepteras. Av praktiska skäl bör man dock ha samma värde.

Det måste betonas att ovanstående krav på ånggenomsläpplighet gäller för lättbetongbyggnader med angiven byggfukt-mängd. För väggar utan byggfukt bortfaller kravet helt. För

andra fall kan man lätt beräkna acceptabla värden på ånggenomsläppligheten. Beräkningsprincipen enligt detta avsnitt kan lätt anpassas till andra konstruktioner. För mer "exakta" beräkningar finns färdiga datorprogram. Med hänsyn till att randvillkor och materialdata endast delvis är kända, är dock "en mer exakt" beräkning knappast mer tillförlitlig. En enkel beräkning är väl så god!

### 6.3 Fortvarighetstillstånd

Enligt tidigare är fortvarighetstillståndet i huvudsak beroende av ytskiktets egenskaper och slagregnsbelastningen. Några möjliga fall på hur fukttillståndet kan utvecklas med tiden, om man utgår från ett "önskvärt" fukttillstånd, illustreras i FIG. 6.3:1a-c.

Ett visst ytskikt kan vid en viss slagregnsbelastning ge ett fukttillstånd enligt FIG. 6.3:1a, det vill säga fungera mycket bra. Samma ytskikt kan vid en större slagregnsbelastning ge ett fukttillstånd enligt FIG. 6.3:1c, det vill säga vara oacceptabelt. Samma sak kan också gälla vid en viss slagregnsbelastning men med olika ytskikt.

För att få ett acceptabelt fortvarighetstillstånd måste vissa fukttekniska krav ställas på ytskiktet. Dessa krav kommer att variera med slagregnsbelastningen. (Även underlaget har härvid stor betydelse. Resonemanget i fortsättningen gäller enbart för dagens kvalitet av autoklaverad lättbetong.)

I Sverige finns det idag inga krav på fuktegenskaperna hos fasadytskikt. Tidigare fanns i HusAMA vissa krav. Grundtanken härvid var att ange "tillåtna" kombinationer på vattenupptagning under regn och uttorkningsmöjligheterna efter regn. Provningsmetoderna för denna standardtest överensstämmer inte med de metoder som använts vid bestämning av fuktegenskaperna i föreliggande rapport. Med utgångspunkt från en mängd olika mätningar kan man dock göra en uppskattning

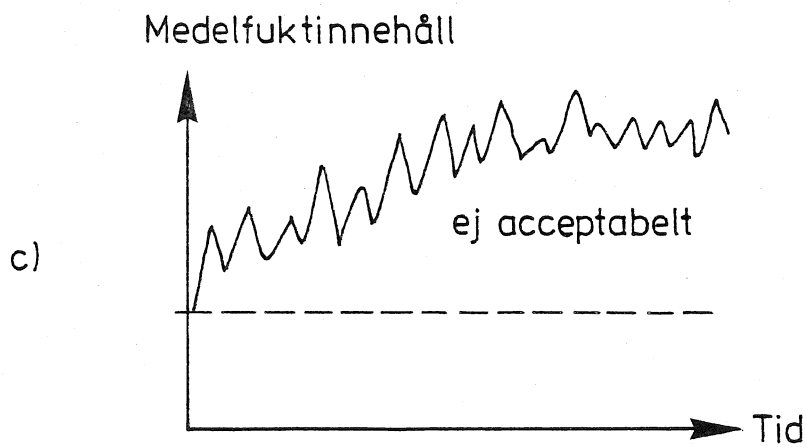
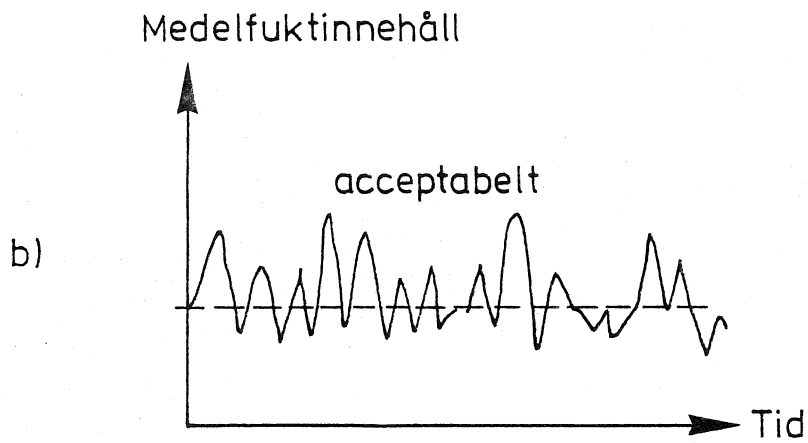
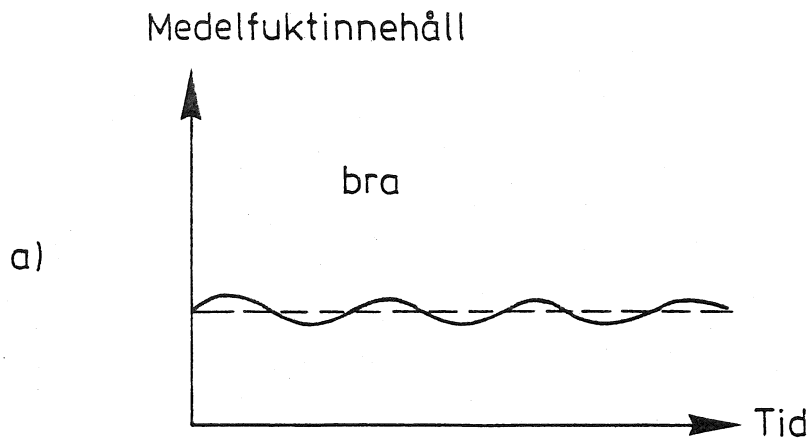


FIG. 6.3:1. Tänkbara möjligheter för fukttillståndets utveckling med tiden, från ett i början önskvärt tillstånd.



av vilka värden som skulle ha erhållits med den nu använda metoden. En sådan omräkning redovisas i TAB. 6.3:1 för en slagregnsrik klimatzon. I moderat klimatzon föreskrevs enbart att ånggenomsläppligheten skulle vara större än  $0.05 \cdot 10^{-3}$  m/s.

TAB. 6.3:1. Tillåten "täthet" enligt de gamla kraven för slagregnsrik zon i Sverige.

Alt	Högsta vattenin- trängningstal ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ )	Lägsta ånggenom- släpplighet ( $10^{-3}$ m/s)
1	0.047	0.10
2	0.007	0.05
3	0.005	0.10

För tyska förhållanden föreslog Künzel (1977) följande krav i slagregnsrik zon: (mätmetoden för  $P_v$  är inte helt identisk med den metod som använts i föreliggande undersökning)

$$A/P_v < 67 \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2})/\text{m}^3$$

$$A < 0.008 \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$$

$$P_v > 0.012 \cdot 10^{-3} \quad \text{m/s}$$

I en senare DIN-norm har kravet på maxvärdet  $A/P_v$  ändrats till 133.

För moderat slagregnszon anges

$$A < 2.0 \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$$

$$P_v > 0.012 \cdot 10^{-3} \quad \text{m/s}$$

Künzels och DIN:s samband för slagregnsrik zon återges i FIG. 6.3:2. I denna figur är även de på provhuset använda

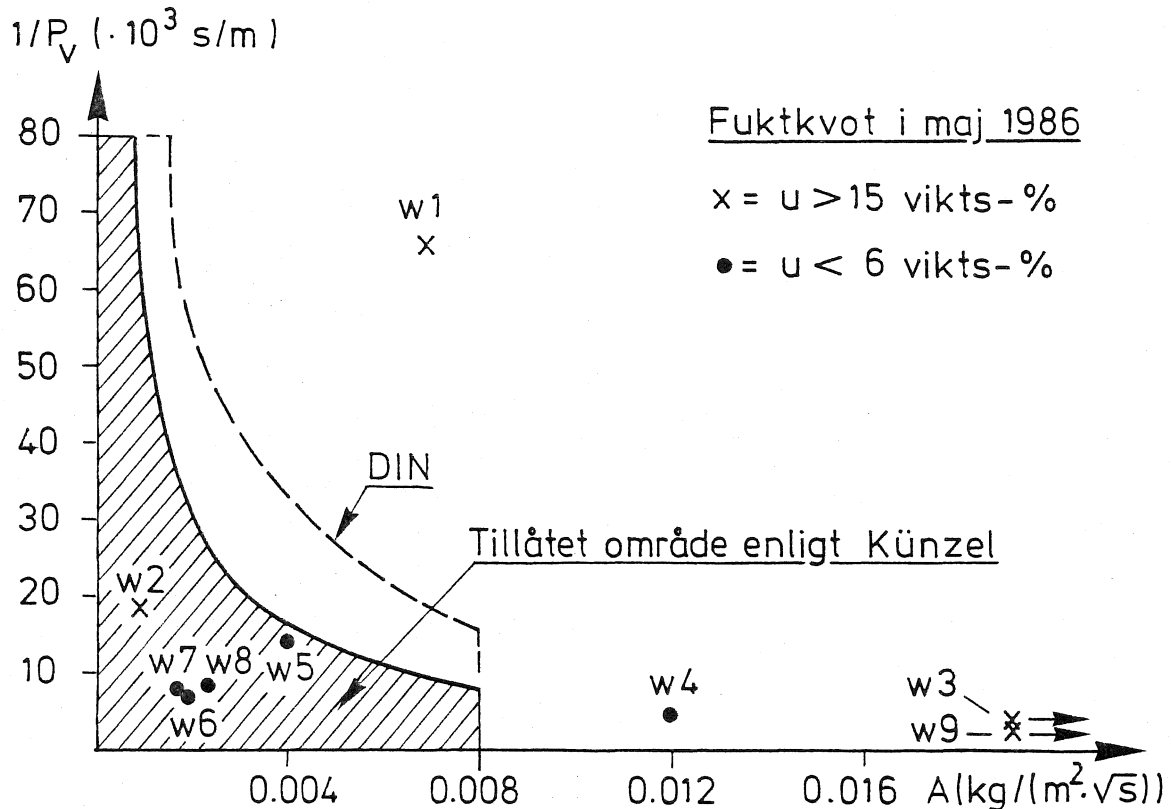


FIG. 6.3:2. Tillåtna värden på  $P_v$  respektive  $A$  enligt Künzel och DIN. I diagrammet är även samhörande värden på  $P_v$  och  $A$  hos ytskikten i provhuset angivna.

ytskikten på västfasaden angivna tillsammans med medelfuktkvoten i maj 1986. Ytskikt som ligger inom Künzels område ger enligt FIG. 6.3:2 ett lågt fuktinnehåll, bortsett från facket W2. Ytskikt som ligger utanför Künzels område ger ett högt fuktinnehåll, bortsett från facket W4. Överensstämmelsen mellan mätningarna och Künzels samband måste anses vara mycket god.

En trolig orsak till att facken W2 och W4 avviker är att ytskiktens egenskaper på väggen och vid provningen inte är desamma. Ytskikten har nämligen applicerats under helt olika betingelser. Vidare kan ytskiktens egenskaper ha förändrats efterhand. Laboratorieprovningen gjordes på ytskikt som lagrats inomhus under en månad. Ytskikten på väggen har däremot utsatts för naturlig vittring under ett antal år.

Enligt föregående avsnitt kunde uttorkningen av byggfukten uppskattas med relativt enkla överslagsberäkningar. Att beräkna fortvarighetstillståndet är väsentligt svårare. Antalet variabler som måste beaktas är flera, vilket ökar osäkerheten kraftigt. Som exempel på faktorer som tillkommer, kan nämnas varierande slagregnsbelastning på olika fack och att ytskiktens egenskaper ändras kraftigt med varierande fuktstillstånd. Det senare innebär att man direkt efter ett regn skall räkna med en större ånggenomsläpplighet för vissa ytskikt. För andra ytskikt kan däremot ånggenomsläppligheten vara oförändrad. Vidare vet man inte hur länge man skall räkna med det högre värdet på ånggenomsläppligheten. Tillförlitligheten i beräkningarnas absolutbelopp är sålunda inte speciellt god. Däremot kan man göra vissa känslighetsanalyser för att se hur olika faktorer påverkar fuktstillståndet. Dessa gäller dock endast med gjorda antaganden.

Som utgångspunkt för en sådan analys används ett "medelvärde" på den uppmätta slagregnsbelastningen enligt kapitel 4. Härefter görs en analys av hur variationer i slagregnsbelastningen påverkar resultatet.

Enligt kapitel 4 är den årliga slagregnsbelastningen på västfasaden  $100-200 \text{ kg/m}^2$ . För varje enskilt regn gäller att 90 % av alla slagregn ger en total slagregns mängd som är mindre än  $6 \text{ kg/m}^2$  och har en varaktighet som är mindre än 15 timmar. För 40 %-nivån är motsvarande siffror  $1 \text{ kg/m}^2$  respektive 2 timmar. Vidare varierar antalet regndygn per år inom intervallet 50-100.

Som "medelregn" väljs i grundfallet att det regnar i 5 timmar med intensiteten  $0.4 \text{ kg/m}^2$  var 5:e dygn. Detta motsvarar en total slagregns mängd på  $150 \text{ kg/m}^2$  per år. Som uttorkningsförhållande räknas enbart med uttorkning utåt under de klimatbetingelser som användes i avsnitt 6.2, det vill säga årsmedelvärdet med hänsyn tagen till solsken. Under hela uttorkningen antas RF till 100 % under ytskiktet. Detta innebär att man vid beräkningen inte kan använda de uppmätta

värdena på ånggenomsläppligheten, eftersom dessa inkluderar 20 mm lättbetong. I resultatredovisningen används dock de uppmätta värdena, för att förenkla jämförelsen med fuktmätningarna i provhuset. Beräkningarna är däremot gjorda med "justerade" värden på ånggenomsläppligheten.

Första dygnet efter varje regn antas att ånggenomsläppligheten för ytskikten är 3 gånger större än "normalt". Härefter används de normala värdena. Antagandet att ånggenomsläppligheten är större direkt efter ett regn är rimlig för de flesta ytskikt. För vissa ytskikt kan det dock medföra stora fel. Som jämförelse räknas även med en obehandlad yta. I detta fall antas avdunstningen ske 5 mm in i lättbetongen hela tiden, vilket ger ett fiktivt  $P_v = 2 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Vid beräkning av vattenupptagningen måste man skilja mellan två olika fall. Innan vattenfilm har bildats på fasadytan absorberas allt regnvatten. Ytskiktets egenskaper saknar sålunda betydelse under denna tid. Efter det att vattenfilm har bildats, bestäms däremot vattenupptagningen helt av ytskiktets egenskaper. Den tid det tar tills vattenfilm bildas bestäms av slagregnsintensiteten och ytskiktets egenskaper. I praktiken innebär detta att för ytskikt med små A-värden bestäms vattenupptagningen enbart av A-värdet och av slagregnets varaktighet. För ytskikt med stora A-värden har däremot både slagregnets intensitet och varaktighet (total slagregns mängd) stor betydelse.

Med hänsyn till att ytskiktet i sig själv kan innehålla en viss mängd vatten, som sedan kan torka ut snabbt, har den beräkningsmässigt erhållna vattenupptagningen i väggen reducerats med  $0.15 \text{ kg/m}^2$ . Som begränsning har dessutom gällt att reduktionen inte varit större än hälften av den beräknade absorptionen.

Med ovan angivna förutsättningar har absorberad vattenmängd under ett regn respektive uttorkad fuktmängd mellan två regn

beräknats. I TAB. 6.3:2 redovisas kvoten mellan absorberad och uttorkad fuktmängd. För att fukttillståndet i väggen skall bli lågt måste kvoten vara mindre än ett.

TAB. 6.3:2. Vattenupptagning/uttorkning av enstaka "medelregn".

	A=0.0008	0.0017	0.004	0.008	0.017	0.033
$P_v = 0.01 \cdot 10^{-3}$	2.7	5.5	>10	>10	>10	>10
0.03	0.8	1.6	5.6	>10	>10	>10
0.05	0.4	0.7	2.7	6.1	>10	>10
0.10	0.2	0.3	1.3	2.9	5.3	5.8
0.20	<0.1	0.1	0.3	0.8	1.4	1.5
0.30	<0.1	<0.1	0.1	0.3	0.5	0.5

För ett antal olika klimatbetingelser enligt TAB. 6.3:3 har samhörande värden på  $P_v$  och A beräknats för att vattenupptagningen skall vara lika med uttorkningen. Resultatet redovisas i FIG. 6.3:3. I denna figur finns även tillåtna värden enligt Künzels (1977) och DIN-normen inritade.

Om man använder de teoretiska beräkningarna för att fastställa tillåtna värden på A och  $P_v$  vore  $A/P_v < 25$  ett rimligt värde för det värsta fallet. För det mest gynnsamma fallet skulle  $A/P_v < 67$  vara rimligt.

En jämförelse med de tyska kraven visar att ovanstående krav är väsentligt hårdare. Det mest gynnsamma fallet överensstämmer med Künzels krav för slagregnsrik zon.

En jämförelse mellan de egna mätningarna och kurvan för "medelregnet" respektive DIN-kurvan redovisas i FIG. 6.3:4.

TAB. 6.3:3. Olika klimatbelastningar vid beräkning av samhörande värde på  $A$  och  $P_v$  för att väggen inte skall få ett ökande fuktinnehåll.

Beräkningsfall	Slagregnsintensitet ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )	Slagregnsvaraktighet (h)	Antal dygn mellan regn (dygn)	Ånghalts- skillnad ( $10^{-3} \text{kg}/\text{m}^3$ )
1	0.4	5	5	4
2	0.4	5	5	8
3	0.4	5	5	2
4	0.8	5	5	4
5	0.4	5	2.5	4
6	0.2	5	5	4
7	0.4	5	10	4
8	0.2	10	5	4
9	0.8	2.5	5	4
10	0.8	5	10	4
11	0.2	5	2.5	4

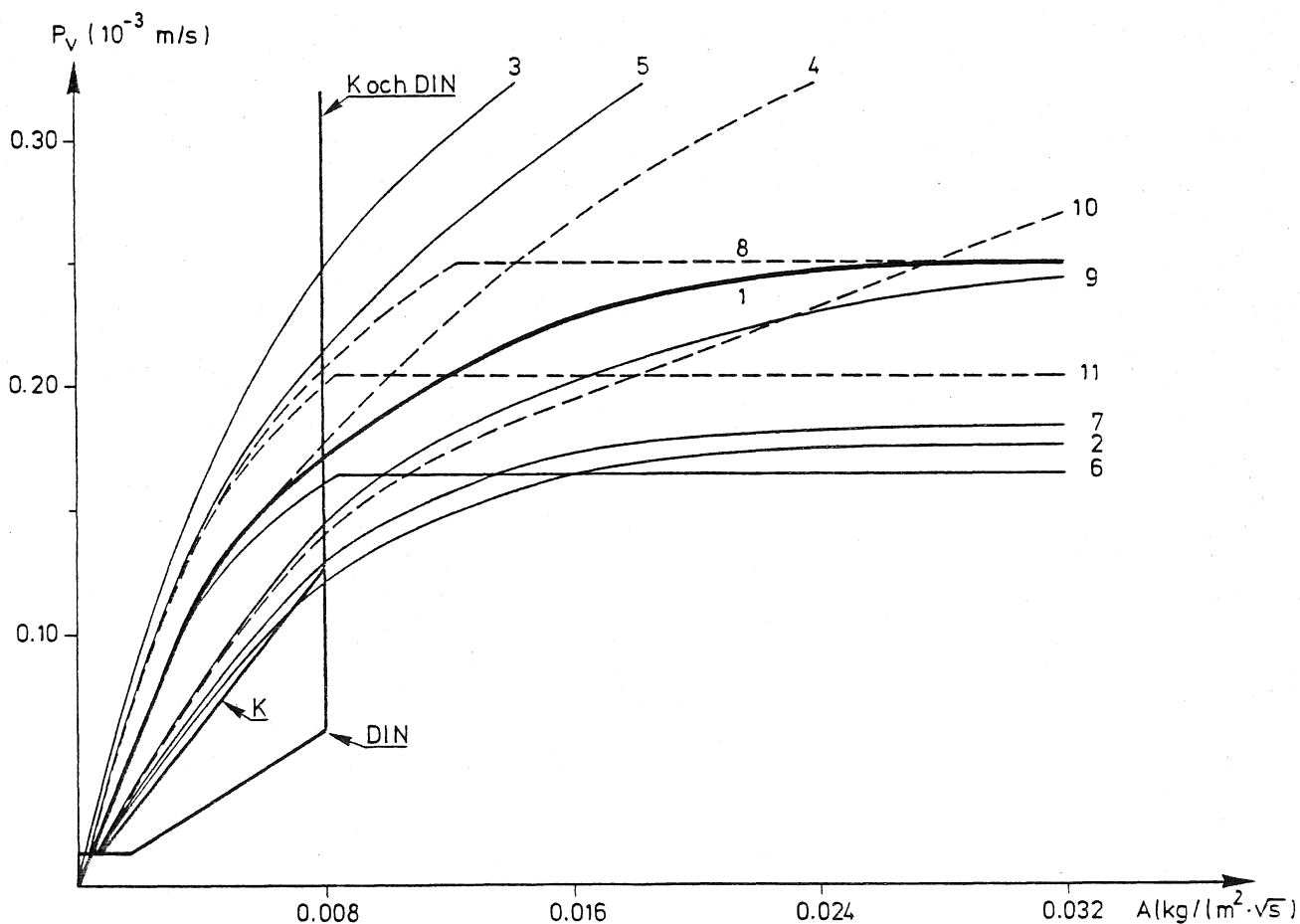


FIG. 6.3:3. Beräknade samband mellan  $P_v$  och  $A$  för att uttorkning och vattenupptagning skall bli lika.

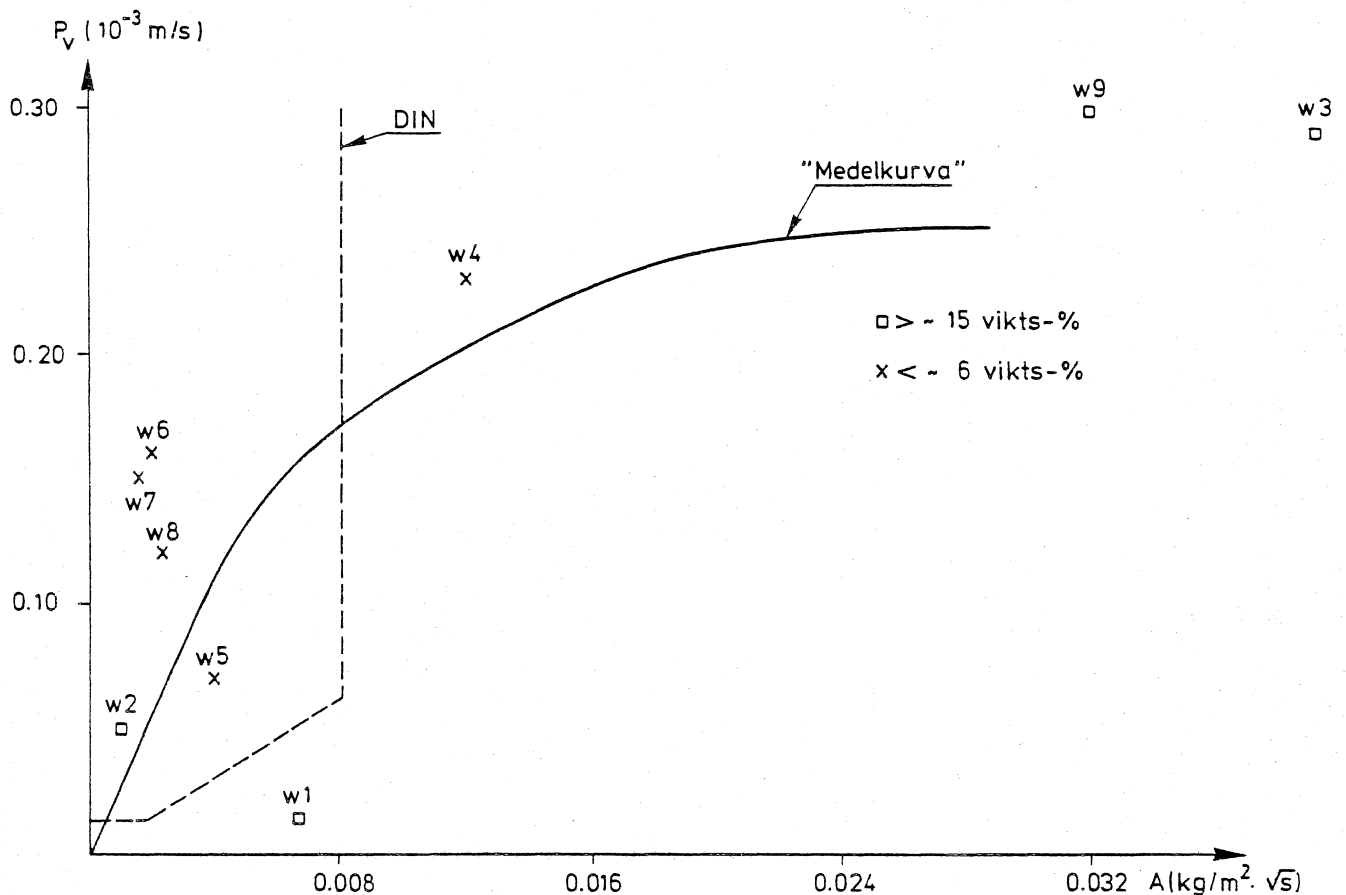


FIG. 6.3:4. Jämförelse mellan mätningar och olika gränskurvor.

De flesta mätpunkterna stämmer med båda gränskurvorna. Mät-punkterna W3 och W9, vilka båda har ett mycket högt fuktinnehåll, ligger dock i det tillåtna området enligt kurvan för medelregnet. En liten ökning av slagregnsbelastningen medför att de hamnar utanför. Den enda punkt som avviker väsentligt vid en jämförelse med båda kurvorna är W2. Ytskiktets egenskaper uppfyller kraven enligt båda kurvorna, men fuktinnehållet är för högt. Detta beror sannolikt på att de uppmätta värdena på  $A$  och  $P_v$  inte överensstämmer med motsvarande värden på väggen. Enligt tyska mätningar kan vatteninträngningstalet förändras mycket snabbt. Det finns mätningar som visar en ökning till det 10-dubbla efter något år! En annan orsak till avvikelsen kan vara lokala sprickor.

Facken W4 och W5 har båda ett lågt fuktinnehåll, men uppfyller inte kraven enligt båda gränskurvorna. W5 klarar den tyska DIN-kurvan men inte den teoretiskt beräknade. För W4 gäller det omvända. Små variationer hos egenskaperna medför att båda ytskikten skulle "hamna på rätt sida" enligt båda kurvorna.

Ovanstående visar att principen för att fastställa krav på fasadytskiktets fuktegenskaper bör vara att ange ett maxvärde på  $A/P_v$ . Eventuellt skall detta kombineras med ett maxvärde på A och ett minvärde på  $P_v$ . Väljer man ett relativt lågt värde på  $A/P_v$  bortfaller kravet på ett maximalt A.

När det gäller att välja maxvärde på  $A/P_v$  är bilden splitt-rad. De främsta orsakerna till detta torde vara

- varierande slagregnsbelastning
- olika egenskaper hos ytskikten på väggen och vid laboratorieprovning
- förändring av egenskaperna med tiden

Skall man ha ett gränsvärde på säkra sidan blir detta orealistiskt hårt. Man bör till exempel inte räkna med att ytskiktets A-värde ökar väsentligt. Det bör i stället vara respektive tillverkares uppgift att beakta detta. Att man kan få olika egenskaper på väggen och vid laboratorieprovning samt att egenskaperna på väggen varierar måste man däremot räkna med.

Med utgångspunkt från de olika gränskurvorna bör det maximala värdet på  $A/P_v$  ligga i intervallet 25-125 i ett slagregnsrikt läge. Värdet 125 måste betraktas som ett absolut maximivärde och kombineras med ett maximivärde på A enligt DIN-normen. Med hänsyn till osäkerheterna enligt ovan kan ett lägre värde vara motiverat.



Det lägsta värdet 25 måste anses vara ett mycket säkert värde. Ytskikt som uppfyller detta värde ger med säkerhet en torr vägg. Kravet kan dock vara i hårdaste laget. Många ytskikt som fungerar bra skulle inte uppfylla detta krav. Ett rimligt värde, då hänsyn tas till både de teoretiska beräkningarna och mätningarna, är att  $A/P_v$  skall vara mindre än 50 i ett mycket slagregnsrikt område.

I område med ringa slagregn behövs inga krav på  $A/P_v$ .

I område med måttliga slagregn kan  $A/P_v < 150$  vara rimligt.

Som jämförelse kan nämnas att kravet  $A/P_v < 50$  innebär att alternativ 1 och 3 enligt TAB. 6.3:1 faller utanför tillåtet område.  $A/P_v < 125$  medför att alternativ 2 och 3 klarar sig medan alternativ 1 faller utanför.

För att få ett säkrare gränsvärde på  $A/P_v$  måste ytterligare fältmätningar göras på ett större antal byggnader.

Resonemangen ovan baserar sig på hur medelfuktkvoten i hela väggen utvecklar sig på lång sikt. Studeras fukttillståndets variation på kort sikt, till exempel under hösten med mycket regn, är det i huvudsak A-värdet som är intressant. Ett lågt A-värde medför liten fuktupptagning. Att jämföra fuktvariationer i enstaka väggfack enligt FIG. 5.3:2 med uppmätta A-värden kan vara missvisande, eftersom A-värdena på väggen enligt tidigare är osäkra. Studeras samtliga fasader på västsidan fås däremot en bra bild. Ett högt A-värde medför mycket stora fuktvariationer (fack W3). Ett lågt A-värde ger däremot i fortvarighetstillståndet inga väsentliga fuktvariationer, utan väggen är torr hela året (fack W7). Dessa fack är helt likvärdiga med avseende på slagregnsbelastningen.

## 7 SAMMANFATTANDE DISKUSSION

Slagregnsbelastningen på byggnaden varierar mycket kraftigt, både i tid och rum. Den totala mängden som träffar ett visst fasadparti kan skilja med en faktor 3 mellan två olika år. Skillnaden mellan olika fasader är väsentligt större. En faktor 10 är rimlig med hänsyn till likvärdiga partier på olika fasader. Jämförs det mest utsatta partiet med det minst utsatta fås en faktor 100.

SBN-kommentarens dimensionerande slagregnsbelastning stämmer väl med de uppmätta värdena på de mest utsatta partierna.

Slagregnets fördelning under året är mycket sned. Under hösten utsätts fasaderna normalt för mycket stora slagregnsbelastningar. 70-80 % av allt slagregn inträffar under hösten och förvintern. I ett extremt fall träffades västfasaden i oktober av  $65 \text{ kg/m}^2$ , vilket motsvarar cirka 1/3 av det totala årsmedelvärdet.

Den kraftiga variationen i slagregnsbelastning påverkar självfallet resultaten av fuktmätningarna i mycket hög grad. Under år med mycket slagregn ökar fukttinnehållet i vissa fack. Under år med ringa slagregn minskar fukttinnehållet i samtliga fack. De stora variationerna i slagregnsbelastning medför även att årsvariationerna i vissa fall blir mycket stora.

Ett av syftena med att ytbehandla lättbetong är att få en torr vägg. Detta gäller både på kort och på lång sikt, vilket innebär att medelfuktkvoten skall vara låg på lång sikt, samtidigt som fuktvariationerna under året är små. Som framgått av mätningarna uppfyller vissa ytskikt de fukttekniska kraven mycket bra. Andra ytskikt medför däremot stora fuktvariationer och ett högt medelfukttinnehåll.

En viktig konsekvens av ett högt fuktinnehåll är att väggens värmeisolering försämras kraftigt. Det torraste facket på västsidan har ett k-värde cirka  $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , medan det fuktigaste facket har ett k-värde cirka  $0.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  enligt mätningarna under våren 1986. Ett fukttekniskt dåligt yt-skikt kan alltså medföra att värmeflödet genom väggen ökar med 50 %. De torra väggarna uppfyller lagom SBN:s krav för lokal uppvärmd till  $10-18^\circ\text{C}$ . De våta väggarna uppfyller däremot inte kraven.

Det finns all anledning att ställa generella fukttekniska krav på fasadytskikt. Att med utgångspunkt från utförda mätningar ge dessa generella krav är inte möjligt. Kräver man att byggfukten skall torka ut snabbt, samtidigt som man med "stor säkerhet" skall få ett lågt fuktinnehåll i fortvarighetstillståndet och att fuktvariationerna under året skall vara små, blir kraven mycket hårda. Enligt tidigare avsnitt uppfyller kraven

$$A/P_v < 25 \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2})/\text{m}^3$$

och  $P_v > 0.10 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

dessa hårda förutsättningar, även i mycket slagregnsrikt läge. Av de 9 provade ytskikten på västfasaden uppfyllde 3 ytskikt dessa mycket hårda krav. Fukttillståndet i dessa fack visade också en gynnsam utveckling enligt mätningarna.

I tidigare avsnitt angavs som minimikrav på ytskiktens egenskaper

$$A/P_v < 125 \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2})/\text{m}^3$$

$$P_v > 0.012 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$A < 1.0 \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$$

Av de 9 provade ytskikten på västfasaden uppfylldes dessa krav inte av 3 ytskikt. Dessa väggar uppvisade också enligt mätningarna ett högt medelfukttinnehåll och stora fuktvariationer.

I brist på bättre bedömningsunderlag torde kraven

$$A/P_v < 50 \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{1/2})/\text{m}^3$$

$$P_v > 0.10 \cdot 10^{-3} \quad \text{m/s}$$

vara en rimlig kompromiss. Dessa krav uppfylls av flertalet i Sverige förekommande organiska ytskikt.

I mindre slagregnsrika områden blir kraven väsentligt lindrigare. Sannolikt är det tillräckligt med kravet

$$P_v > 0.10 \cdot 10^{-3} \quad \text{m/s}$$

För att kunna precisera ovanstående krav ytterligare krävs relativt omfattande fältmätningar på ett stort antal objekt. Härvid skall man då mäta både ytskiktens egenskaper och väggens fukttillstånd. Härigenom skulle man komma ifrån problemet med att egenskaperna på väggen och vid laboratorieprovet inte är desamma.

Vid fastställandet av kraven skall man sedan ta hänsyn till "normala spridningar" och ytskiktens förändring med tiden. Det senare får dock inte överdrivas i samband med fastställandet av kravnivån. Det måste åligga tillverkaren att se till så att några dramatiska förändringar inte uppstår. Alternativt kan man kräva att provningarna skall göras efter viss nedbrytning.

En god början på ovanstående vore att bestämma de verkliga fukttekniska egenskaperna på de ytskikt som finns på provhuset, samt att fortsätta fuktmätningarna några år till. Om möjligt skall detta göras.

## LITTERATUR

C.S.T.C. - SECO, 1977, Dichtheid van gevels en daken. (Okänd utgivning.)

DIN 18 550, 1985.

Isaksen, T, 1975, Driving rain in Bergen. Norwegian building research institute. Trondheim.

Järnmark, T, 1968, Slagregn 2. Byggforskningens informationsblad 40/68. Stockholm.

Künzel, H, 1977, Evaluation of renderings and paintings with respect to the rain protection. RILEM/ASTM/CIB symposium on evaluation of the performance of external vertical surfaces of buildings. Otaniemi, Espoo, Finland.

Lyberg, M D, 1979, Preliminary summary of results from driving rain measurements on a tall apartment building. National Swedish Institute for Building Research. Gävle.

Sandin, K, 1984, Fuktens inverkan på energiflödet genom ytterväggar. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-3019. Lund.

Schwarz, B & Frank, W, 1973, Schlagregen. Berichte aus der Bauforschung. Heft 86. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. Berlin.

Statens Planverk, 1975, Kommentarer till svensk byggnorm 1975:3. Stockholm.

Statens Planverk, 1980, Svensk byggnorm. Stockholm.

Varnbo, B, 1966, Slagregn. Svenska Riksbyggen. Handling nr 14. Stockholm.