



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R11:1973

Fukt i golv och väggar

Bo Adamson

Lennart Ahlgren

Sven G. Bergström

Per-Göran Larsson

Per-Olof Mattsson

Byggforskningen

Fukt i golv och väggar

Undersökningar utförda 1967–1970

**Bo Adamson, Lennart Ahlgren,
Sven G. Bergström, Per-Göran Larsson &
Per-Olof Mattsson**

Skadefall som noga undersökts är ofta till stor hjälp vid utveckling av nya konstruktioner eller förbättring av mera traditionella konstruktioner. I rapporten redovisas nio fall varav sju avser golv och två väggar.

I ett inledande kapitel behandlas först i mera allmän form fukt och fukttransport i golv.

Mätning av fuktillstånd i ett undergolv av t.ex. betong är nödvändig, innan man applicerar en golvkonstruktion eller golvbeläggning. En metod där man direkt registrerar detta fuktillstånd visas i rapporten. En tät kupa har satts på betongytan, och ytan runt kupan har även varit tätad. Inne i kupan har placerats ett instrument för registrering av relativ fuktighet och temperatur. Man mäter härvid den relativa fuktighet som uppstår, när överytan tillsluts. Om den relativa fuktigheten vid förutsedd lägsta temperatur understiger den för lim och spackelmassa högsta tillåtna kan läggningen utföras.

I det inledande kapitlet redogörs allmänt för sambandet mellan fuktkvoter hos material och den omgivande luftens relativa fuktighet, den s.k. sorptionsisotermen eller jämviktsfuktkurvan introduceras. Beroende på om jämvikten nås under uttorkning eller uppfuktning fås olika kurvor, desorptions- respektive adsorptionsisoterm, se FIG. 1.

Även kapillär fukt bindes i ett material, t.ex. jord, och man har jämviktsfuktkvoter som bestäms av avståndet över den vattenyta med vilken materialet har kontakt. Höjden h över vattenytan representerar då ett nedåtriktat sug h i m vattenpelare på den vid höjden h befintliga kapillära fukten. Ju större h är desto mindre vatten förmår materialet hålla kvar. På samma sätt som för de hygroskopiska jämviktsfuktkurvorna har man även här stark hysteresis mellan uttorkning och uppfuktning, FIG. 2. I rapporten redogörs för hur man kan bestämma dessa kurvor. Vidare behandlas begreppet kapillaritet. Det visas att ett kornformigt lager som har tjockleken lika med dubbla kapillariteten i praktiken kan betraktas som kapillärbrytande om det läggs under en betongplatta.

Fall 1

Den första undersökningen behandlar uttorkning av ett betonggolv på vilket man skulle lägga en plastmatta. Under-

sökningen utfördes under byggnadstiden med provtagning och mätning på platsen samt försök i laboratoriet. En uppföljning av uttorkningsförloppet har gjorts samtidigt som relativ fuktighet och temperatur har registrerats i lokalerna. Uttorkningsförloppet har även följts i laboratoriet vid olika relativa fuktigheter. Man kan härvid konstatera en starkt ökad uttorkningshastighet med avtagande relativ fuktighet, se FIG. 3. I avsnittet

Jämviktsfuktkvot (viktprocent)

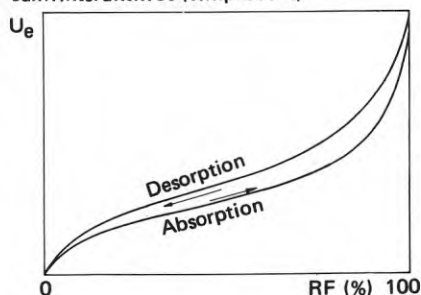


FIG. 1. Hysteresis mellan absorptions- och desorptionskurvan.

Fuktkvot (viktprocent)

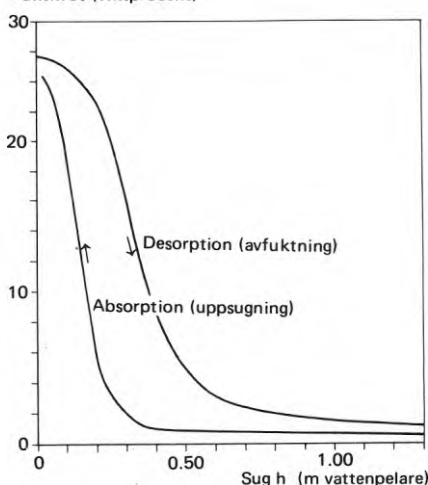


FIG. 2. Kapillärjämviktskurvor för Fylesand nr 3 (medelkorndiameter = 0,3 mm).

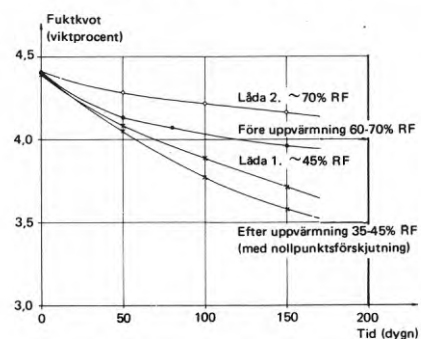


FIG. 3. Uttorkningskurvor vid olika relativ fuktighet.

Bygghforskningen Sammanfattningar

R11:1973

Nyckelord:

fukt, golv på mark (skadefall), bjälklag, ytterväggar (skadefall), fukttransport

Föreliggande rapport är ett samarbete mellan ämnena byggnadsmateriallära och byggnadskonstruktionslära vid Lunds tekniska högskola, Lund.

Rapport R11:1973 har publicerats med informationsanslag från Statens råd för byggnadsforskning.

UDK 69.059.2

69.022

69.025

699.82

SfB (21)

(23)

ISBN 91-540-2111-1

Sammanfattning av:

Adamson, B, Ahlgren, L, Bergström, S G, Larsson, P-G & Mattsson, P-O, 1973, *Fukt i golv och väggar*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R11:1973, 118 s., ill. 22 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Grupp: konstruktion

diskuteras även fuktens bindning i betongen och det visas hur man med tillfredsställande noggrannhet kan beräkna uttorkningsförloppet. Till sist betonas att uttorkningstider på månader—år är aktuella i de flesta fall för att man skall komma till sådana fuktillstånd, att man med lyckat resultat kan lägga en plastmatta.

Fall 2

Här behandlas en undersökning där man ville lägga en golvbeläggning på ett gammalt betonggolv på jord. Ingenting var känt om fuktförhållandena i jorden. Golvkonstruktionen framgår av FIG. 4. För att undersöka om man skulle våga utföra detta övergolv användes den tidigare omtalade kupan. En traditionell provtagning hade inte givit någon upplysning om det fuktillstånd som skulle inställa sig under den relativt täta plastmattan. Mätningarna visade att mycket höga relativa fuktigheter kunde erhållas. Trots avrådan lades övergolvet med ett så småningom misslyckat resultat. Övergolvet deformerades starkt till följd av svällning hos träfiberskivan.

Fall 3

Här behandlas ett skadefall rörande fukt känsliga material under tät golvbeläggning. Golvkonstruktionen framgår av FIG. 5. Korksmulepapp och träfiberskiva hade utsatts för rötangrepp och träfiberskivan hade svällt. Vid upprivning av golvet konstaterades att plastfolien var starkt punkterad och den fungerade inte på avsett sätt. Mycket stor mängd byggfukt, som hade ansamlats i mineralullsskiktet, i kombination med ogynnsamma temperaturförhållanden, hade orsakat fuktanrikning i de känsliga materialen under den relativt täta plastmattan.

Fall 4

I detta fall behandlas en undersökning av en golvkonstruktion enligt FIG. 6. På denna konstruktion skulle limmas en plastmatta. Beroende på olika omständigheter visade sig den cementbundna lättklinkern innehålla stora mängder fukt. Genom laborieförsök och beräkningar kunde den kritiska gränsen för skadligt fuktinnehåll i lättklinkern bestämmas till 10–11 viktprocent.

Fall 5

Här redogörs för ett skadefall med kondensation under tätt övergolv. Undergolvet utgjordes av betong dels på källare dels på jord enligt FIG. 7. På den

spacklade betongen hade limmats mycket täta gummiplattor. Under plattorna, som uppvisade små och stora bubblor eller helt hade lossnat, kunde man vid golv på jord finna fritt vatten. Genom mycket omfattande mätningar på golvkonstruktionen konstaterades att byggfuktkvoten varit hög vid läggningstillfället, att förbandet mellan gummiplattor och underlag varit svagt samt att fuktansamlingen under plattorna på jord berodde på en uppåtriktad värmeström.

Fall 6

Här behandlas en undersökning av fuktillståndet i betongbjälklag på lera. En 1 m bred yttre randzon under betongplattan hade isolerats med en 50 mm tjock värmeisolering enligt FIG. 8. Plattan och isoleringen hade lagts på ett makadam- eller singellager, som vid sockeln står i förbindelse med uteluften. Provtagning på olika djup i konstruktionen och därunder utfördes i tre olika hus. Höga fuktkvoter uppmättes i betongen. I ett hus hade den befintliga plastfiltmattan lossnat. Någon nämnvärd uttorkning nedåt p.g.a. ventilation hade ej kunnat påvisas.

Fall 7

Detta fall avser en skadeundersökning beträffande fukt i källare. I ett område med källarförsedda villor hade under första sommaren uppträtt fritt vatten på källargolvet. Den kapillärbrytande förmågan hos jorden under golven bestämdes. Man fann troligen ej att fukten på golvet härrörde från markfukt. Den sannolikaste orsaken ansågs i stället vara kondensation på det kalla källargolvet under sommarmånaderna.

Fall 8

Här behandlas en skadeundersökning där en utvändig träpanel i en vägg hade erhållit stora fuktskador, därför att man hade placerat den diffusionstäta pappen ytterst och vintätningsspappen på insidan av väggen.

Fall 9

Rapportens sista kapitel behandlar ett skadefall med väggplattor av PVC. Plattorna var avsedda att användas i bad- och duschrum. Plattorna som var satta i ett mycket stort antal duschrum lossnade helt från väggen. Laborieundersökningar visade att plattorna hade stora temperatur- och fuktbetingade rörelser, att de blev mycket mjuka vid normal varmdushtemperatur och mycket hårda och spröda vid normal kallvat-

temperatur. Vidare var limförbandet ytterst svagt redan vid +30°C. Provduschningar gjordes i laboriet och redan efter en duschning sprack fogarna mellan plattorna. Efter fem duschningar lossnade ett stort antal plattor.

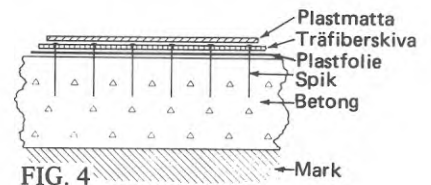


FIG. 4

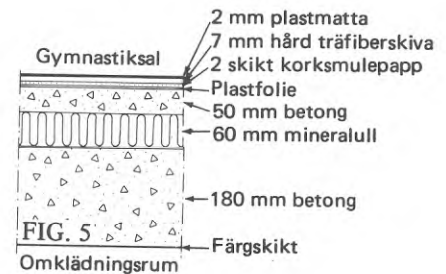


FIG. 5

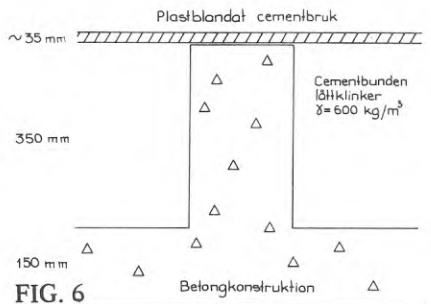


FIG. 6



FIG. 7

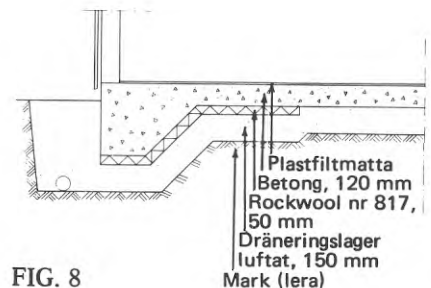


FIG. 8

Moisture in floors and walls

Studies conducted 1967–1970

Bo Adamson, Lennart Ahlgren,
Sven G. Bergström, Per-Göran Larsson &
Per-Olof Mattsson

Cases of damage which have been subjected to careful examination are often a great help in developing new designs or improving traditional ones. The report deals with nine cases of damage, seven of which are concerned with floors and two with walls.

An introductory chapter discusses moisture conditions and the migration moisture in floors in more general terms.

Measurement of the moisture conditions of, for instance, a concrete sub-floor is necessary before adding floorboards or floor covering. The report describes one method for direct registration of moisture conditions. An airtight dome is placed on a concrete surface and the area surrounding the dome is also proofed. Inside the dome is an instrument which registers the relative humidity and temperature. This permits measurement of the level of relative humidity attained when the upper surface is sealed off. If the relative humidity at the lowest anticipated temperature is lower than the highest permissible temperature of glue or putty, the flooring can be laid.

The introductory chapter gives a general idea of the correlation between the moisture content of materials and the relative humidity of the surrounding air and introduces the concept of the sorption isotherm or equilibrium moisture content curve. Different curves are obtained, desorption and adsorption isotherms (cf. FIG. 1), depending upon whether an equilibrium is attained during the drying process or during the dampening process.

Even capillary moisture will be retained by a material such as soil, the ratios of equilibrium moisture then being determined by the distance above the surface of the water with which the material is in contact. The height h above the surface of the water represents a downward suction h in $m H_2O$ on capillary moisture present at a height of h . The greater h , the smaller is the amount of water which the material is able to retain. Just as in the case of the hygroscopic equilibrium moisture content curves there is here a considerable hysteresis between drying and wetting processes. The report describes how these curves can be plotted and also deals with the concept of capillarity. It is demonstrated that a granular layer having a thickness double to that of the capillary layer can be regarded as anti-capillary if laid under a concrete slab.

Case study 1

The first study deals with drying out of a

concrete floor in which a plastic flooring material is to be laid. This study was conducted during the construction period; measurements and samples were taken on the site, while tests were conducted in a laboratory. A follow-up study of the drying process was conducted while recording temperatures and relative humidity levels on the premises. The drying out process was also followed in the laboratory at different levels of relative humidity. It was there noted that the rate of drying accelerates considerably with falling relative humidity (cf. FIG. 3). This section also discusses the retention of moisture by concrete and shows how the process of drying out can be calculated with an acceptable degree of accuracy. Finally it is emphasized that drying out periods stretching into months and years are necessary in the majority of cases in order to reduce the moisture content to a level which will ensure success in laying plastic floor coverings.

Equilibrium moisture content ratio (per cent by weight)

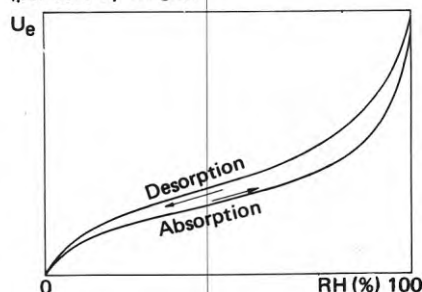


FIG. 1. Hysteresis between the absorption and desorption curves.

Moisture ratio (per cent by weight)

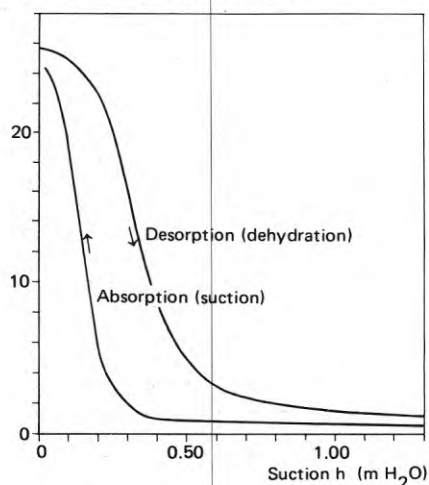


FIG. 2. Capillary equilibrium curves for Fylesand No. 3 (medium grain diameter = 0.3 mm).

National Swedish Building Research Summaries

R11:1973

Key words:

moisture, floor, concrete slabs on ground (case of damage), floor slab, external walls (case of damage), moisture migration

This report is a co-operative work between the Department of Building Materials and the Department of Building Science of the Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.

Report R11:1973 has been made possible through financial support from the Swedish Council for Building Research.

UDC 69.059.2
69.022
69.025
699.82

SfB (21)
(23)

ISBN 91-540-2111-1

Summary of:

Adamson, B, Ahlgren, L, Bergström, S G, Larsson, P-G & Mattsson, P-O, 1973, *Fukt i golv och väggar*. Moisture in floors and walls. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R11:1973, 118 p., ill. Sw. Kr. 22.

The report is in Swedish with summaries in Swedish and English.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

Case study 2

This deals with a study involving the laying of a flooring material on an old, oversite concrete floor. Nothing was known of the moisture conditions in the underlying soil. The floor structure in question is illustrated in FIG. 4. The dome test described earlier was applied in order to find out whether it would be worthwhile laying a covering. A traditional method of testing had not provided information on the moisture conditions likely to occur under the reasonably airtight plastic flooring. Measurements showed that very high levels of relative humidity were possible. Despite warnings, the flooring was laid, with subsequently poor results. Serious deflections occurred in the flooring due to warping of the chipboard layer underneath.

Case study 3

This deals with a case of damage where material which was sensitive to moisture was laid over an airtight floor structure. The details of the floor structure are shown in FIG. 5. Compressed cork and chipboard had rotted and the chipboard had also become warped. On taking up the floor it was found that the plastic sheeting was seriously punctured and was therefore not filling the function intended. A very large quantity of moisture which had collected in the mineral wool insulation combined with unfavourable temperatures had caused the concentration of quantities of moisture in the sensitive materials under the relatively airtight plastic floor covering.

Case study 4

This case deals with a floor structure which is illustrated in FIG. 6 and on to which a plastic floor covering was to be glued. It was found however that due to a variety of circumstances the cement-bound lightweight clinker contained large quantities of moisture. Laboratory tests and calculations made it possible to establish the critical level at which the moisture content in the lightweight clinker became harmful, i.e. 10–11 per cent by weight.

Case study 5

This describes a case of damage with condensation occurring under an airtight floor covering. The sub-floor consisted of a concrete slab cast partly over a basement and partly directly on the ground as shown in FIG. 7. The surface of this concrete was levelled off and covered with extremely airtight rubber tiles which were glued into place. Water was to be found under the tiles in the case of the concrete cast directly on the ground; the tiles either exhibited bubbles of varying sizes or had come completely unstuck. With the aid of a comprehensive series of measurements conducted on this floor it was established that the moisture ratio in the building had been high at the time of laying,

that the adhesion between the rubber tiles and the underlay had been poor and that the moisture which had collected under the tiles on the concrete cast directly on the ground was due to an upward flow of heat.

Case study 6

This deals with a study of moisture content in a concrete floor slab cast on clay. A 1 m wide peripheral edge zone under the concrete slab was insulated with a 50 mm thick layer of thermal insulation as shown in FIG. 8. The slab and the insulation rested on a layer of crushed stone and coarse gravel exposed to the outdoor air at the lower edge. Tests were carried out in different parts of the slab and in the underlying layer in three separate buildings and high levels of moisture content were recorded in the concrete. In one of the buildings the existing layer of plastic floor covering had already come unstuck. No notable degree of drying in a downward direction due to ventilation could be found.

Case study 7

This case study deals with the investigation of damage caused by damp in a basement. Water was found to have collected on the basement floors of a group of detached houses during their first summer. The moisture content in and the capillary suction of the soil under the floors was determined and it was found that the moisture in the floors did probably not derive from the ground. The most likely explanation was felt to be that condensation had occurred during the summer months on the cold basement floor.

Case study 8

This deals with the investigation of damage to weatherboarding caused by placing the vapour barrier outermost and the windproof layer innermost in the wall structure.

Case study 9

The last chapter of the report deals with a case of damage to PVC wall tiles. These tiles were designed for use in bathrooms and showers and had in fact been used in a very large number of shower compartments where they had subsequently become completely detached from the wall. Laboratory tests showed that the tiles had been subject to considerable movement due to temperature and moisture conditions. It was found that they became extremely soft when the shower was used at normal temperature and extremely hard and brittle at normal cold-water temperature. It was also noted that the degree of adhesion was extremely poor even at a temperature of only +30°C. Tests conducted in the laboratory revealed that the joints between the tiles cracked after only one shower and after five a large number of tiles came away from the wall.

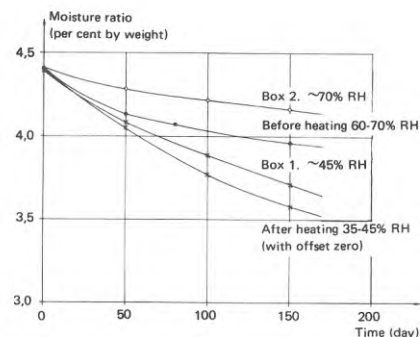
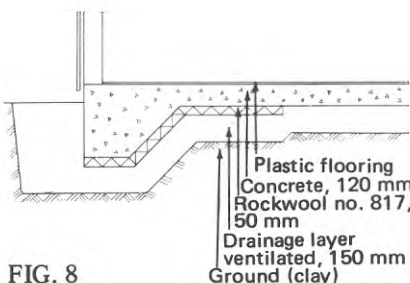
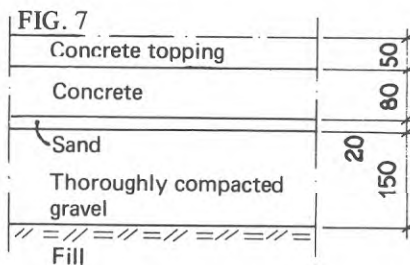
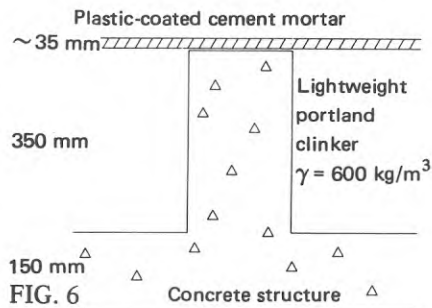
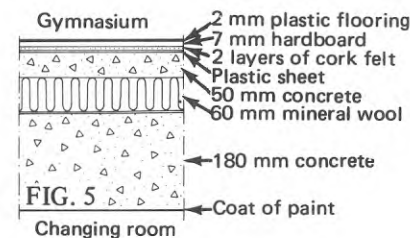
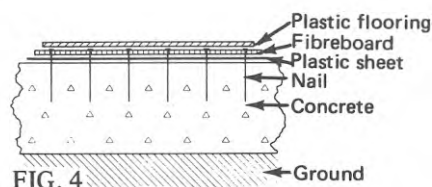


FIG. 3. Curves illustrating drying process at different levels of relative humidity.



Rapport R11:1973

FUKT I GOLV OCH VÄGGAR

Undersökningar utförda 1967 - 1970

MOISTURE IN FLOORS AND WALLS

Studies conducted 1967 - 1970

Bo Adamson

Lennart Ahlgren

Sven G Bergström

Per-Göran Larsson

Per-Olof Mattsson

Denna rapport avser anslag C 356 från Statens Råd för Byggnadsforskning till institutionen för Byggnadsmateriallära, LTH, Lund

Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2111-1

Rotobekman AB, Stockholm 1973

INNEHÅLL

FÖRORD	6
1 FUKT I MATERIAL	9
1.1 Inledning	9
1.2 Hygroskopisk fukt	10
1.3 Kapillär fukt	18
2 UTTORKNING AV BETONGGOLV	27
2.1 Inledning	27
2.2 Betonggolvet utförande	27
2.3 Uppläggning av undersökningen	28
2.4 Resultat	28
2.5 Uttorkning av betong	31
2.5.1 Allmänt	31
2.5.2 Beräkning av uttorkningsförloppet	31
2.6 Slutsatser	36
3 GOLVBELÄGGNING PÅ GAMMALT BETONGGOLV PÅ JORD	39
3.1 Inledning	39
3.2 Golvkonstruktionen	39
3.3 Undersökningens utförande	39
3.4 Resultat	41
3.5 Diskussion och slutsatser	41
3.6 Epilog	43
4 FUKTKÄNSLIGA MATERIAL UNDER TÄT GOLVBELÄGGNING	45
4.1 Inledning	45
4.2 Konstruktionen	45
4.3 Skadebeskrivning	45
4.4 Besiktning och provtagning	46
4.5 Diskussion av skadeorsaken	48
4.6 Slutsatser	50
5 FUKT I UNDERGOLV AV CEMENTBUNDEN LÄTTKLINKER	51
5.1 Inledning	51
5.2 Golvkonstruktionen	51

5.3	Klimatförhållanden	53
5.4	Bestämning av fukttillståndet	54
5.4.1	Fuktkvotsbestämning	54
5.4.2	Bestämning av jämviktsfuktkvoter	54
5.4.3	Mätning av relativa fuktigheten i kupor på golvytan ..	54
5.5	Bedömning av uttorkningsmöjligheten	57
5.6	Provning av olika övergolvalternativ	60
5.7	Sammanfattning	62
6	KONDENSATION UNDER TÄTT ÖVERGOLV	65
6.1	Inledning	65
6.2	Konstruktionen	65
6.3	Skadorna	67
6.4	Klimatdata	67
6.5	Temperatur- och fuktförhållanden i golvkonstruktionen	69
6.6	Golvplattornas täthet och fuktbetingade rörelser	69
6.7	Analys av fukttillstånd i golven	72
6.7.1	Fukttillstånd i golv på mark	72
6.7.2	Fukttillståndet i golv över källare	76
6.8	Skadeorsaker	78
7	FUKT I BETONGBJÄLKLAG PÅ JORD	81
7.1	Inledning	81
7.2	Bjälklagskonstruktionen	81
7.3	Undersökningens utförande	81
7.4	Fuktkvoter i bjälklag utan golvbeläggning	82
7.5	Fuktkvoter i bjälklag med plastfiltmatta	82
7.6	Fuktkvoter i jord	87
7.7	Diskussion och slutsatser	87
8	FUKT I KÄLLARE	89
8.1	Inledning	89
8.2	Konstruktion	89
8.3	Provtagning	89
8.4	Dräneringslagrets kapillära egenskaper	91
8.5	Fuktkvoter i bjälklaget	91
8.6	Diskussion	95
8.7	Resultat och rekommendationer	101

9	KONDENS SKADOR I YTTERVÄGG	103
9.1	Inledning	103
9.2	Konstruktionen	103
9.3	Klimatförhållanden	103
9.4	Undersökning av skador	104
9.5	Beräkning av partialtrycksfördelningen i väggen	104
9.6	Slutsats	105
10	ETT SKADEFALL MED VÄGGPLATTOR AV PVC	107
10.1	Inledning	107
10.2	Materialiet	107
10.3	Skadebeskrivning	107
10.4	Laboratorieprovning	108
10.4.1	PVC-plattor	108
10.4.2	Lim	109
10.4.3	Färdig väggbeklädnad	109
10.5	Slutsatser	111
	REFERENSER	112
	CAPTIONS	115

FÖRORD

I samband med den fuktforskning som bedrivs vid olika avdelningar vid LTH blir vi ofta ombudda att göra utredningar om skadefall eller att göra prognoser om olika konstruktioners sätt att fungera ur fuktsynpunkt. Vi har funnit att sådana utredningar är mycket nyttiga för vår forskning, dels därför att vi får insyn i de reella problemställningarna och därigenom en bättre möjlighet att välja detaljinriktning hos fuktforskningen, och dels därför att vi får tillfälle att pröva bärkraften hos våra forskningsresultat. Å andra sidan tror vi att flera av dessa utredningar kan vara av så stort intresse att de förtjänar publicering. Motiveringen kan vara att fallet ofta förekommer, varför det är angeläget att undvika en felupprepning eller att det ger möjlighet att visa en intressant analys eller tillämpning av forskningsresultat. Varnande exempel kan också förekomma.

I föreliggande skrift har vi sammanställt några golv- och väggfall, utredda under åren 1967-1970. Vi har i ett inledande kapitel redovisat några grundläggande begrepp och resonemang, utan vilka den oinvigde skulle få svårt att tillgodogöra sig skriftens innehåll. Samtliga fall har anonymiserats. Vi har inte givit ut denna skrift för att pricka företag, institutioner eller enskilda, utan endast haft en önskan att sprida information om byggnadstekniska fuktproblem. Av anonymitetsskäl kan vi inte namnge de företag, som finansierat utredningarna, men till dem som känner igen sig vill vi framföra vårt tack för att vi fick vara med i ett intressant arbete.

De fem författarnas ansvar för olika delar av skriften är som följer:

Kapitel 1: Bo Adamson och Sven G. Bergström

Kapitel 2: Lennart Ahlgren

Kapitel 3: Lennart Ahlgren och Per-Olof Mattsson

Kapitel 4: Lennart Ahlgren och Per-Olof Mattsson

Kapitel 5: Lennart Ahlgren

Kapitel 6: Lennart Ahlgren, Sven G. Bergström och
Per-Olof Mattsson

Kapitel 7: Bo Adamson och Per-Göran Larsson

Kapitel 8: Bo Adamson och Per-Göran Larsson

Kapitel 9: Lennart Ahlgren och Per-Olof Mattsson

Kapitel 10: Sven G. Bergström och Per-Olof Mattsson

Tack riktas till frk. Dagmar Måhlén för renskrivning av manuskript.

Lund i december 1971

Bo Adamson

Lennart Ahlgren

Sven G. Bergström

Per-Göran Larsson

Per-Olof Mattsson

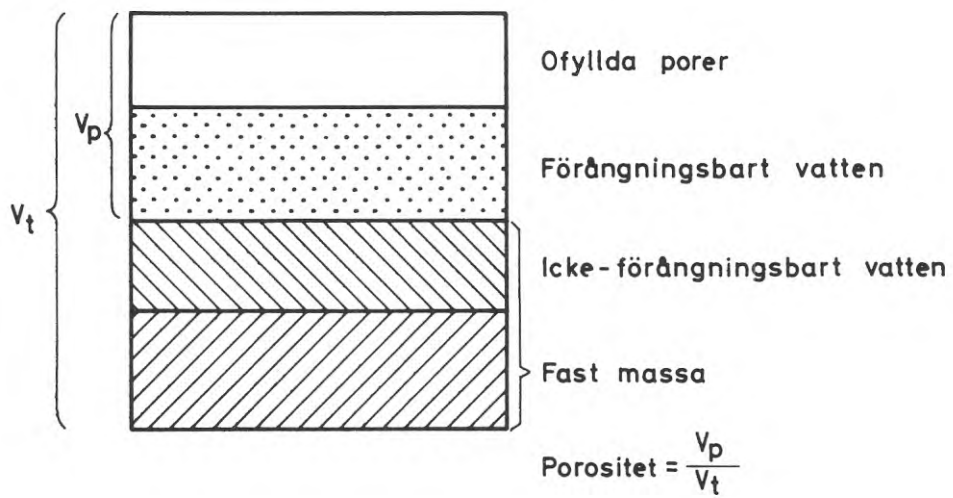


FIG. 1 Volymandelar i ett poröst material.

1 FUKT I MATERIAL

1.1 Inledning

Den röda tråden i redogörelserna i denna skrift är fukt i material. Vissa begrepp återkommer ofta, t.ex. isotermer eller jämviktsfuktkurvor, och vissa återkommande betraktelsesätt anläggs på t.ex. golvproblemen. Vi har därför ansett det vara motiverat att i ett inledande kapitel kortfattat redovisa sådana begrepp och metoder som ofta återkommer i utredningarna. Framställningen följer i huvudsak undervisningslitteraturen vid LTH (Bergström et al, 1970 och Nevander et al, 1968) samt BFR:s programskrift om fukt (Adamson et al, 1970).

Med fukt avses i denna skrift liksom i nästan all annan byggnadsteknisk litteratur bara det s.k. förångningsbara vattnet i materialet. Schablonmässigt indelas nämligen det i material bundna vattnet i de två huvudkategorierna, förångningsbart vatten, betecknat w_e och icke-förångningsbart vatten, betecknat w_n . En vanlig definition på det förångningsbara vattnet är att det kan avdunstras fullständigt vid 105°C . Detta vatten avgår alltså vid uttorkning och upptas i materialet vid avfuktning.

De porer som fyllts av det förångningsbara vattnet - fukten - kommer efter uttorkning till 105°C att innehålla luft. När samma uttorkningstemperatur (105°C) används vid bestämning av ett materials porvolym blir porvolymen lika med summan av de luftfyllda porernas och det förångningsbara vattnets volymer, se FIG. 1.

Det icke-förångningsbara vattnet är strukturellt fixerat i materialet i hydroxid eller som kristallvatten. Det förångningsbara vattnet är absorberat vid den fasta massans inre och yttre ytor, är kapillärt bundet i porsystemet eller förekommer som fritt vatten i grövre porer och håligheter.

Ett materials fukttinnehåll anges i allmänhet med fuktkvoten u , som kan definieras på två olika sätt, nämligen

$$u_1 = \frac{\text{det förångningsbara vattnets vikt}}{\text{provets torra vikt}} \quad (\text{viktprocent})$$

$$u_2 = \frac{\text{det förångningsbara vattnets volym}}{\text{provets torra volym med porer}} \quad (\text{volymprocent})$$

I denna skrift används genomgående definitionen u_1 dvs. viktprocent. Denna definition har vissa fördelar som emellertid inte skall behandlas här.

1.2 Hygroskopisk fukt

När ett material befinner sig i jämvikt med omgivande luft är materialets och luftens temperaturer lika och vattenångans partialtryck i materialet är detsamma som i omgivande luft. Ändras relativa fuktigheten så inställer sig materialet på en ändrad fuktkvot. För varje värde på RF finns vid jämvikt en jämviktsfuktkvot hos materialet. Den betecknas i fortsättningen u_e . För varje material kan man därför bestämma ett samband mellan luftens RF och jämviktsfuktkvoten, en s.k. sorptionsisoterm eller jämviktsfuktkurva. Kurvans principiella utseende visas i FIG. 2, där också vattenfixeringen schematiskt antytts. Isotermen gäller bara inom det hygroskopiska området, dvs. från 0 till något mindre än 100 % RF. Betydligt högre fuktkvoter kan uppnås genom kapillärsugning, vattentryck, kondensation och byggfukt, vilket också antytts i FIG. 2. Hur mycket högre den sålunda uppnådda fuktkvoten ligger i relation till det hygroskopiska området bestäms av materialets porstruktur och porvolym.

Att skarpt markera en punkt motsvarande 100 % RF är ur teoretisk synpunkt ytterst diskutabelt. Emellertid kan man hos vissa material klart urskilja en sådan punkt. Det gäller t.ex. för trä ("fibermättnadspunkten") och i viss mån för betong.

Isotermen är inte entydig. Av olika anledningar finns sorptionshysteresis, varvid kurvan vid desorption (fuktavgång) ligger högre än kurvan vid absorption (fuktupptagning), se FIG. 3.

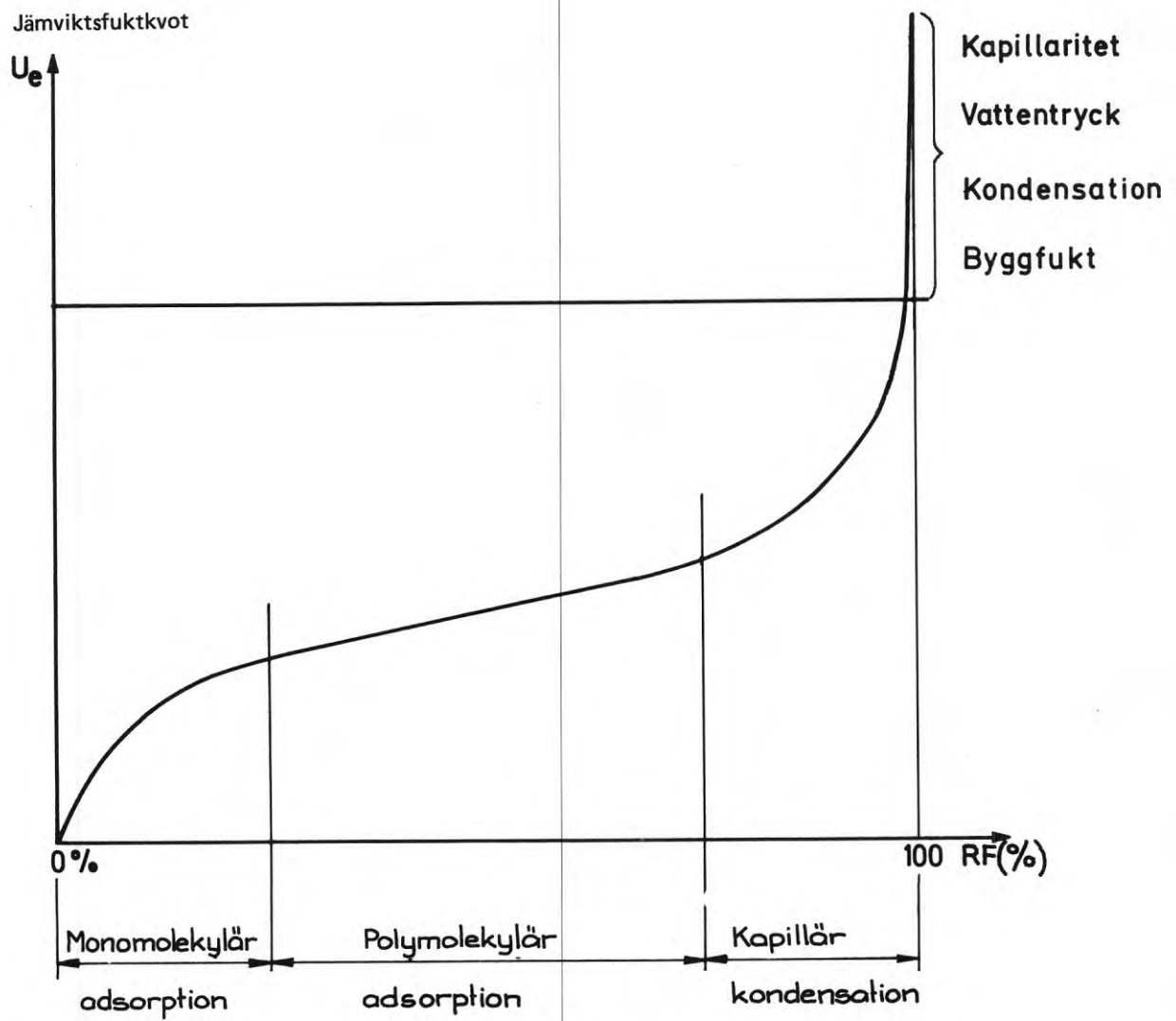


FIG. 2 Bindningen av fukt till ett material.

Jämviktsfuktkvot (viktprocent)

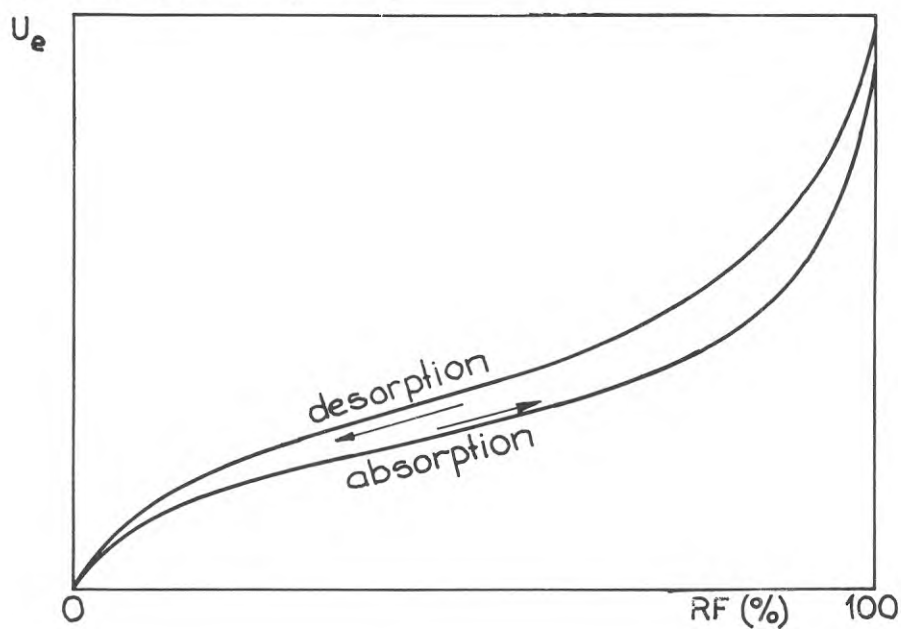


FIG. 3 Hysteresis mellan absorption och desorption.

Fuktkvot
(viktprocent)

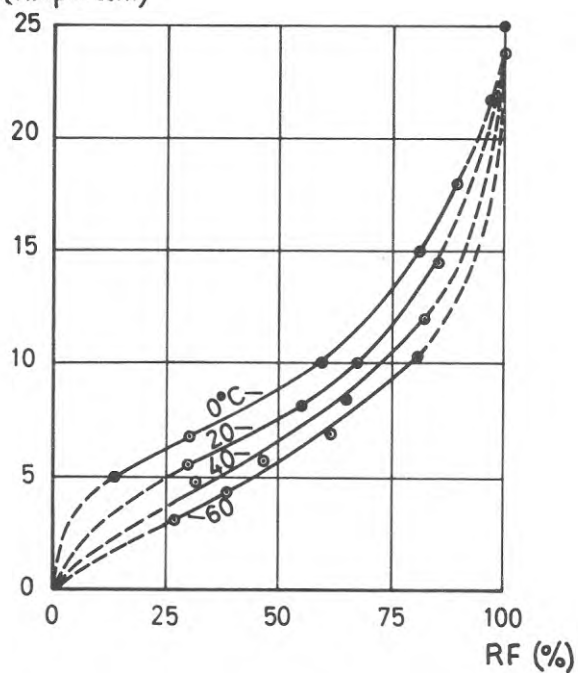


FIG. 4 Temperaturnivåns inverkan på jämviktsfuktkurvan för trä.

Hos vissa material, t.ex. trä, är isotermer påtagligt temperaturberoende (FIG. 4). För olika träslag gäller nästan samma isotherm när fuktkvoten anges i viktprocent, se FIG. 5.

Isotermerna spelar en mycket stor roll i utredningar av den typ som redovisas här och i fuktmekaniska beräkningar över huvud taget. Isotermer anger ju vilket sluttillstånd materialet eftersträvar i en given miljö. Omvänt kan en enkel fuktkvotsbestämning via isotermer ge upplysningar om miljön.

Av det ovan sagda framgår bl.a. att man vid analys av fukttillstånd noggrant måste beakta om fuktkvoten uppnåtts under fuktavgång eller under fuktupptagning. Olika isotermer gäller för de två fallen på grund av hysteresiseffekten.

Det är också självklart att olika material i en och samma miljö normalt inställer sig på olika fuktkvoter. FIG. 6 visar ett exempel. Tre material med isotermer enligt FIG. 6 a är sammanlagda i en skiktad konstruktion. Vid jämvikt måste fuktkvotsfördelningen bli enligt FIG. 6 b. Detta självklara förhållande synes inte alltid ha beaktats i praktiken.

I de flesta av våra utredningsfall ingår betong på ett avgörande sätt, vanligen som underlag för golvbeläggning. Betongs isotherm är därför av stort intresse. Samtidigt vet vi att variablerna i betongsammansättningen är många, vilket rimligtvis måste avspeglas i isotermerna. Vid avd. för byggnadsmateriallära LTH har vi utvecklat en enkel metod med vars hjälp man med stor träffsäkerhet kan beräkna betongs isotermer när betongsammansättning och härdningsförhållanden (normala, ej autoklavering) är kända (Bergström och Ahlgren, 1969). Metoden har publicerats. Inverkan av de fundamentala variablerna vct, cementhalt vid konstant vct och hydratationsgrad belyses av FIG. 7, 8 och 9, som hämtats ur originalpublikationen. Man ser att variationerna i sammansättning och härdning har stor inverkan på isotermer, speciellt kanske cementhalten. Detta har i sin tur stor betydelse vid bedömning av fukttillstånd i golv. Undergolvet består ofta av en konstruktionsbetong med cementhalt 250-300 kg/m³ och ovan-

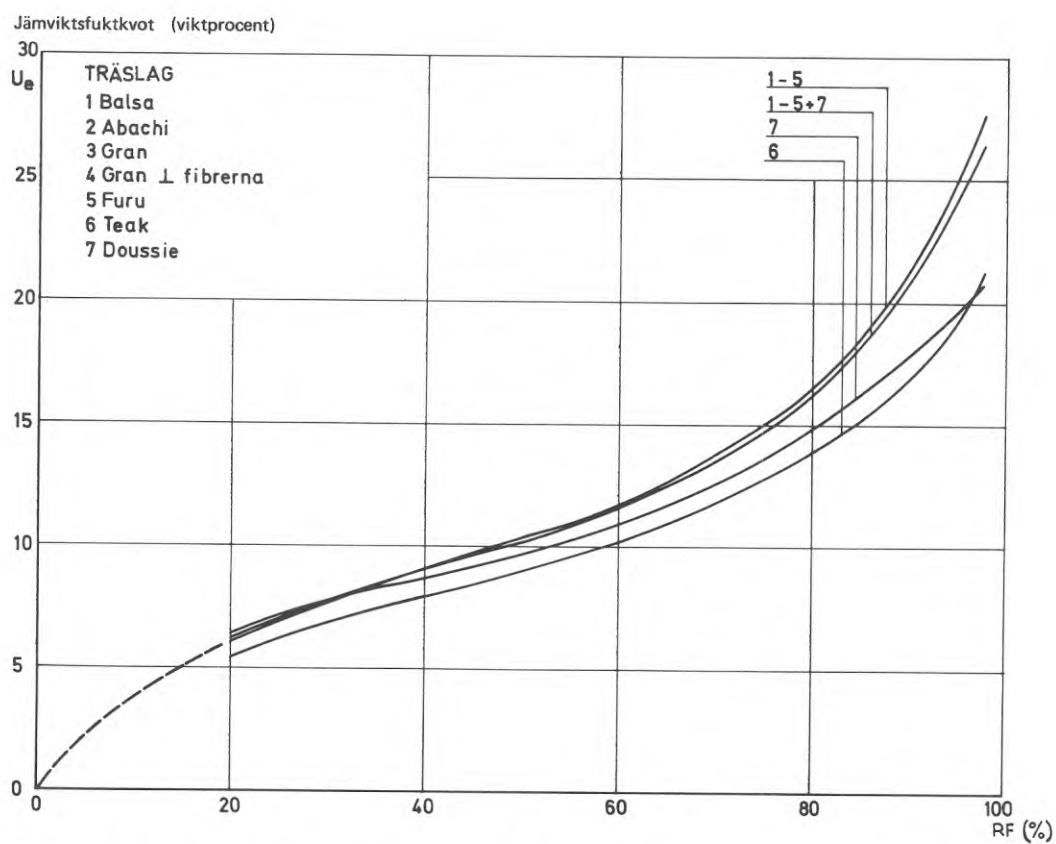


FIG. 5 Jämviktsfuktkurvor för olika träslag. Tveit (1966).

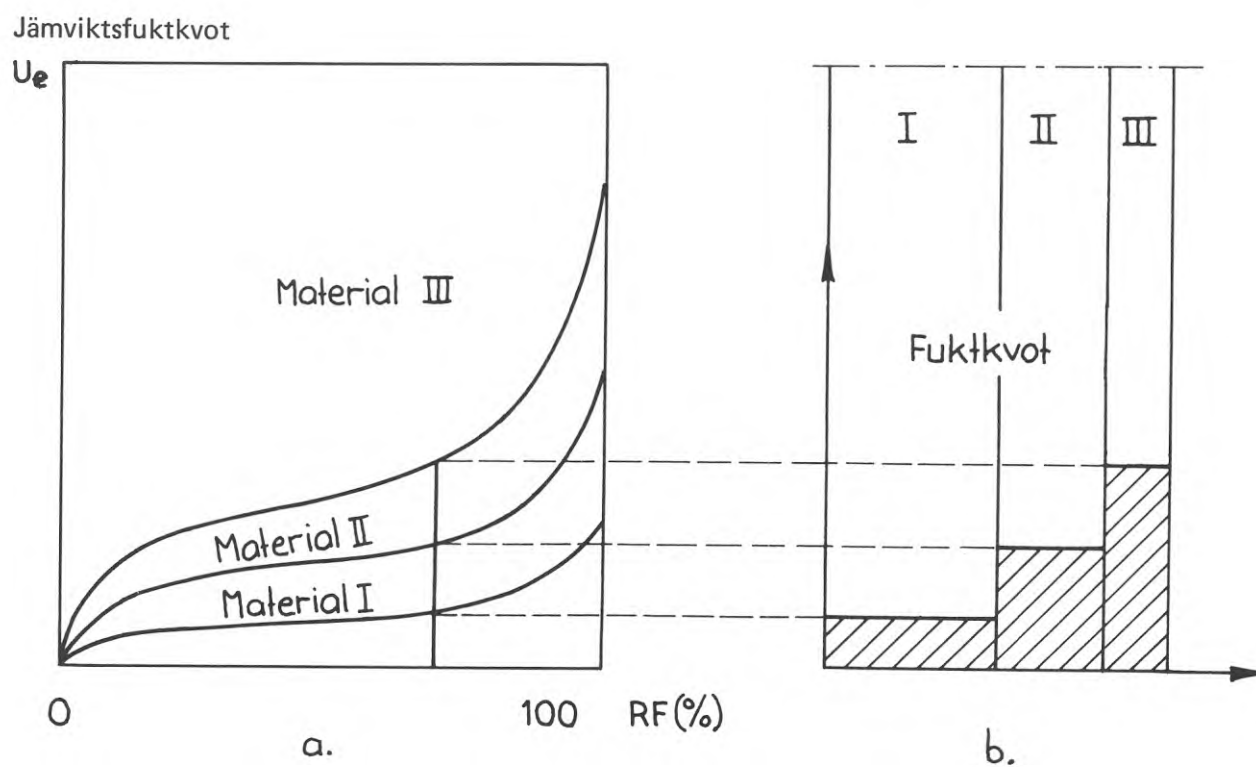


FIG. 6 Fuktkvoter i en skiktad konstruktion vid jämvikt med en viss relativ fuktighet.

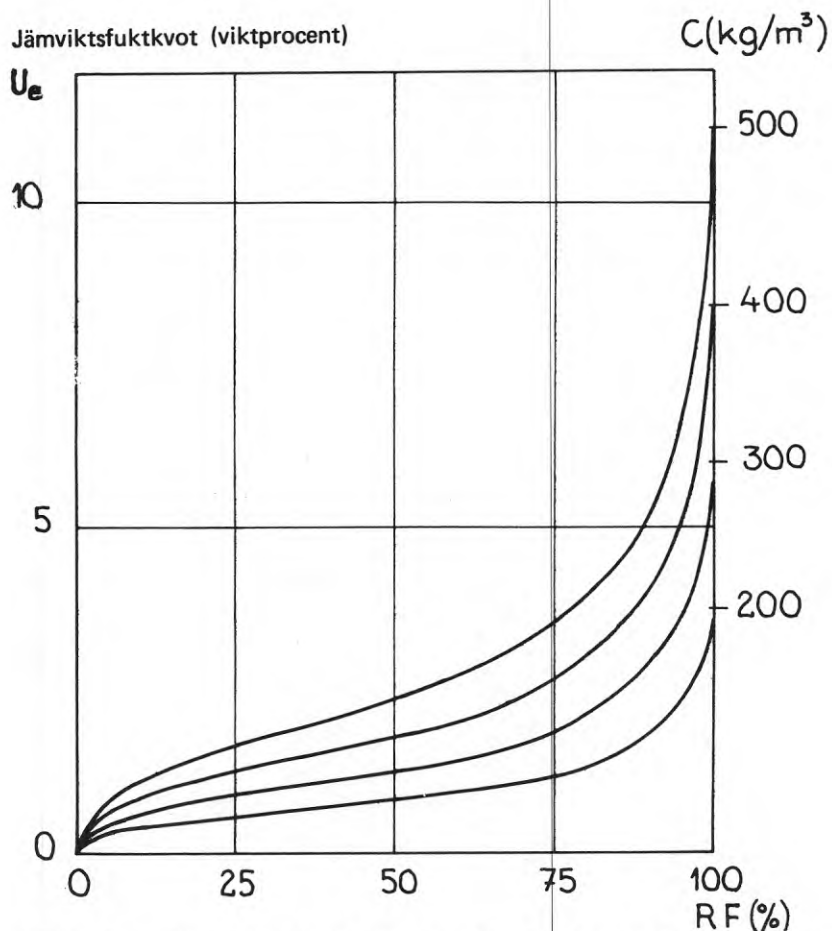


FIG. 7 Jämviktsfuktkvoten (U_e) som funktion av relativa fuktigheten (RF) vid varierande cementhalt och konst vct = 0,60 och $W_n/C = 0,20$.

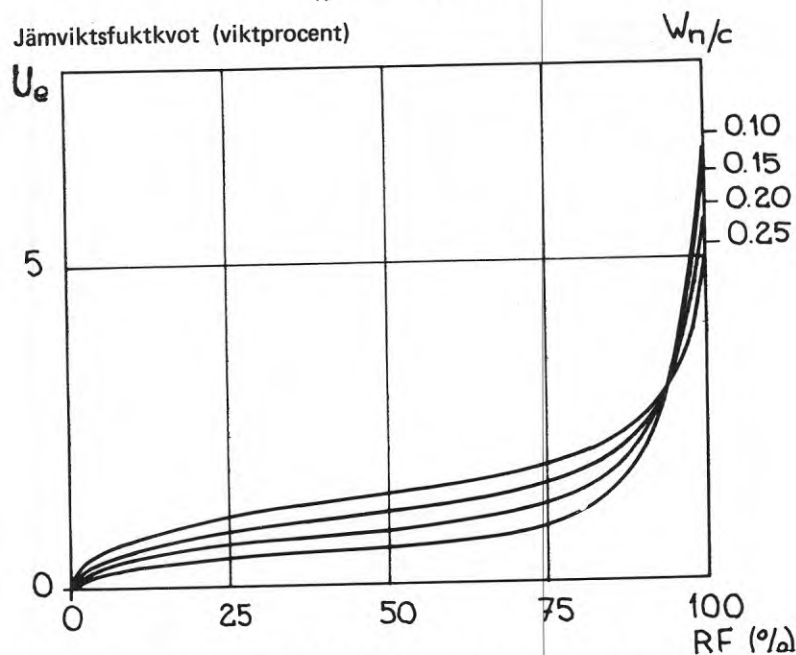


FIG. 8 Jämviktsfuktkvoten (U_e) som funktion av relativa fuktigheten (RF) vid varierande hydratationsgrad och konst vct = 0,60 och $C = 300 \text{ kg/m}^3$.

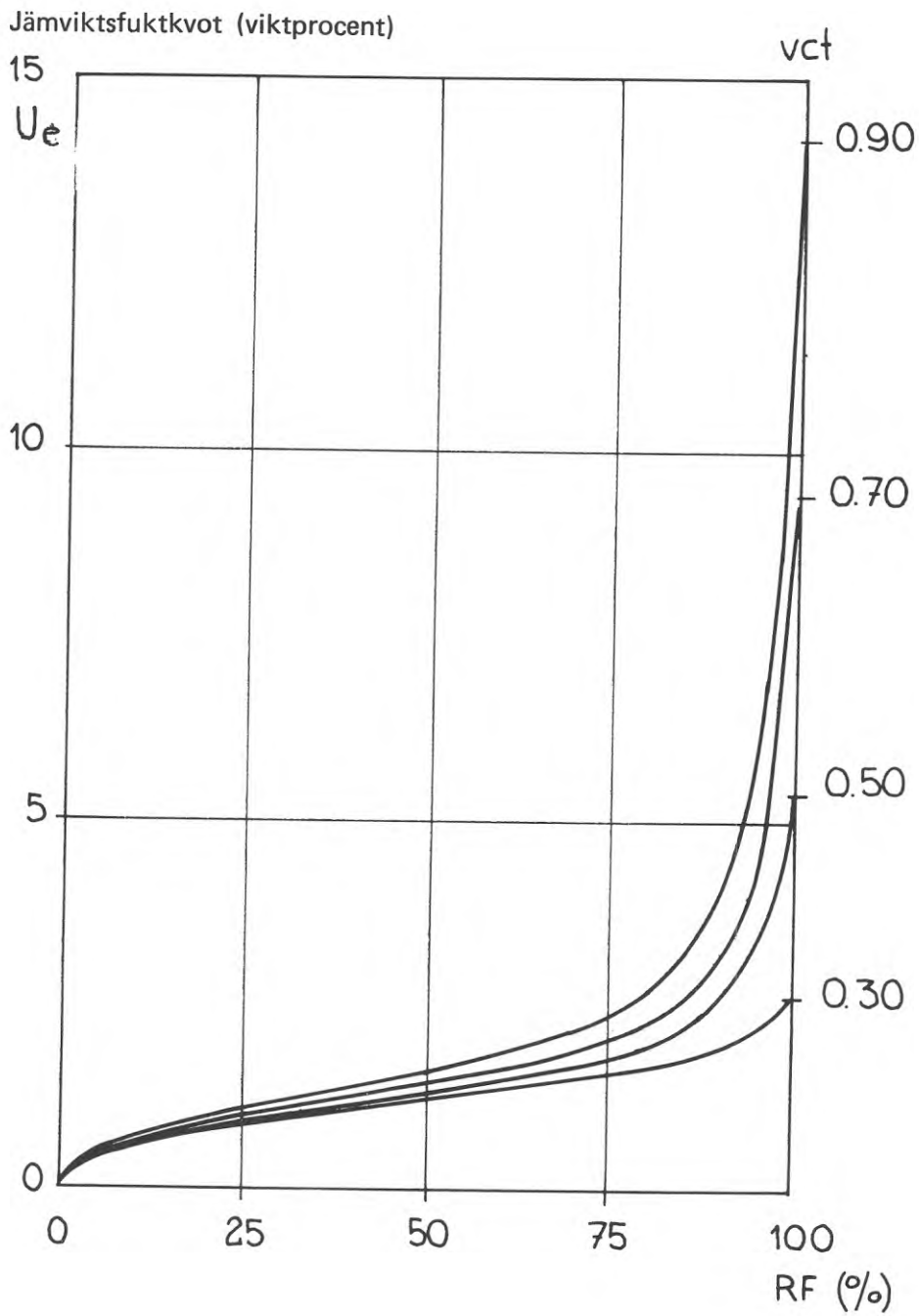


FIG. 9 Jämviktsfuktkvoten (U_e) som funktion av relativa fuktigheten (RF) vid varierande vct och konst $C = 350 \text{ kg/m}^3$ och $W_n/C = 0,18$.

på denna ett skikt överbetong med finkornigare ballast och därför väsentligt högre cementhalt. De två betongskikten kommer därför att få helt olika fuktkvot i samma miljö. Fallet illustreras av exemplet i FIG. 6.

En mycket vanlig golvkonstruktion består av ett undergolv av betong, på vilket man lägger en utjämnande spackelmassa. Ovanpå spackelmassan limmas en plastmatta. Man vet av erfarenhet att om undergolvet är alltför fuktigt så lossnar mattan från underlaget och blåsor uppstår. Mekanismen i denna skadetyper torde vara följande. I mycket fuktig miljö försvagas lim och möjligen även spackelmassan, så att vidhäftningen mellan matta och underlag upphävs. Mattan ligger alltså fläckvis helt lös. Under inverkan av fukt sväller mattan och av geometriska skäl uppstår då blåsor på fläckar utan vidhäftning. Troligen bidrar den alkaliska miljön till limmets nedbrytning. Ofta är vidhäftningen dålig från början på grund av dålig rengöring av underlaget, där kanske betongens laitance-hud fått sitta kvar. Den utlösande faktorn är emellertid fukt och därför måste man på något sätt indikera om undergolvet är tillräckligt torrt för läggning av mattan.

En vanlig metod är då att man bestämmer fuktkvoten hos en flisa ur betongens överyta.

Denna indikeringsmetod är otillfredsställande. Man kan för det första konstatera att metoden ger fuktkvoten i underbetongens överyta och ingenting mer. Den ger ingen upplysning om det totala fukttillståndet i underbetongen, inte heller om det fukttillstånd som efter någon tid kommer att inställa sig i gränzonen mellan plastmatta och underlag, när mattan lagts på. Vid provtagningen i fråga råder med största sannolikhet en ojämn fuktfördelning i underbetongen, t.ex. enligt FIG. 10.

Fördelningen är symmetrisk eller osymmetrisk beroende på likheter eller olikheter mellan uttorkningsförhållandena vid de två ytorna. Skillnaden mellan fuktkvot vid yta och inre delar varierar med konstruktionens dimensioner, luftens relativa fuktighet,

betongens kvalitet m.m. Ett prov taget vid ytan ger en missvisande bild av underbetongens fukttillstånd: detta är den första invändningen mot indikeringsmetoden. När överytan tillslutits kommer en utjämning att ske och fuktkvoten i överytan att stiga. Efter ytterligare troligtvis lång tid kommer fuktkvoten åter att minska om avdunstning kan ske genom underbetongens underyta. Denna effekt har gissningsvis liten betydelse vid sidan om effekten vid mattans påläggning.

Man kan bemöta invändningen genom provtagning på olika djup så att underbetongens genomsnittliga fuktkvot bestäms. Detta ger en bättre uppfattning om underbetongens fukttillstånd, men ger ändå inte tillräcklig upplysning om vad som kommer att hända, när plastmattan läggs på.

Det är nämligen inte fuktkvoten hos betongen som primärt intresserar utan den mot fuktkvoten svarande relativa fuktigheten. Som ovan visats, kan ett och samma värde på betongens fuktkvot betyda helt olika värden på RF beroende på cementhalt, vct och hydratationsgrad hos betongen. För att få den önskade upplysningen måste man genom isotermen översätta fuktkvoten till RF.

I våra utredningar har vi använt en mer direkt mätmetod, illustrerad av FIG. 24 och FIG. 25.

Man mäter härmed den relativa fuktighet som uppstår när överytan tillsluts. Om den relativa fuktighet vid förutsedd lägsta temperatur understiger den för lim och spackelmasa högsta tillåtna (som skall deklarerars av fabrikanten !) kan läggning göras. Metoden finns angiven av Waters (1960).

1.3 Kapillär fukt

Vid grundläggning i kontakt med jord har man ofta ett lager av grus eller sand under betongplattan. Detta lager kallas ibland dränerande lager, ibland kapillärbrytande lager och ibland dränerande och kapillärbrytande lager. Den senare beteckningen står i Byggnormen SBN 67. Där står vidare att skiktets tjocklek skall

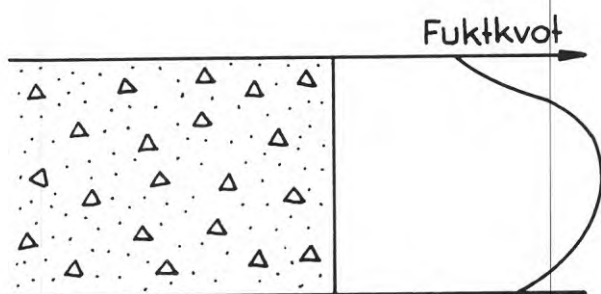


FIG. 10 Exempel på fuktfördelning i underbetong.

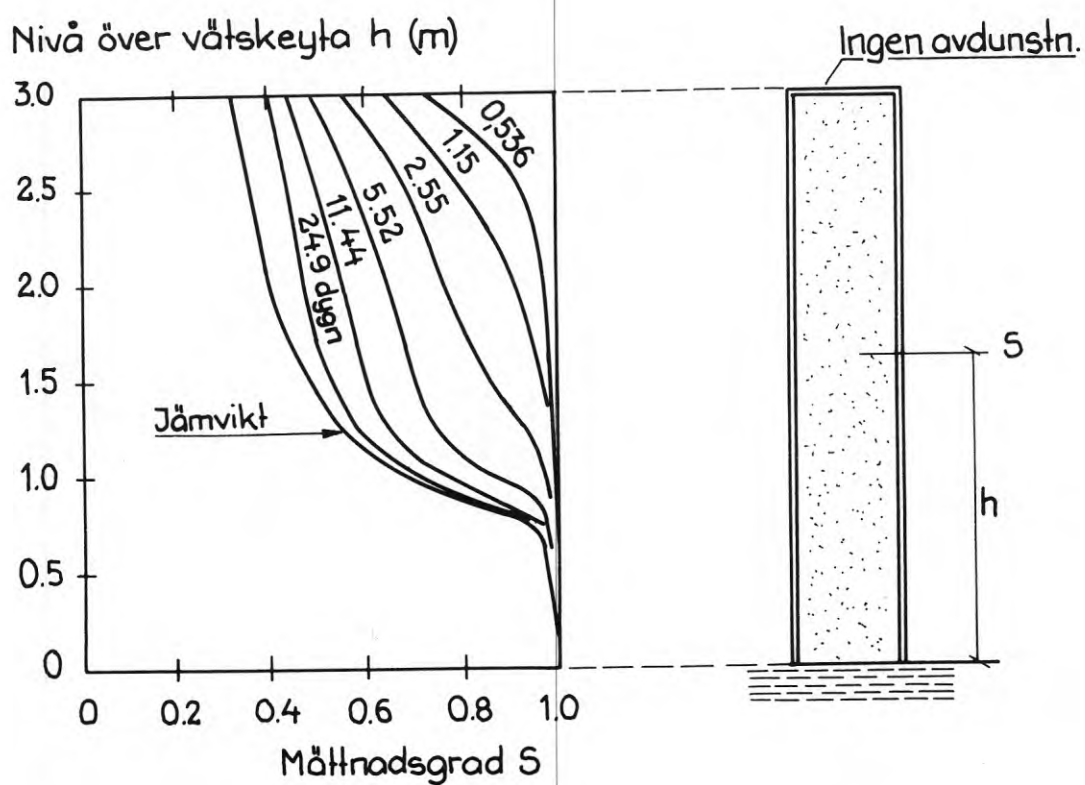


FIG. 11 Fuktfördelning vid dränering av en pelare av mjäla enligt Jensen & Hanks (1967).

vara större än kapillära stighöjden.

Vid byggnadskonstruktionslära studeras kapillär fuktjämvikt och kapillär fukttransport i kornformiga material. Med kapillär fukt menas fukt i vätskefas som i materialet bildar en sammanhängande vattenfilm, vilken kan transportera vatten genom materialet om någon del uppfuktas eller uttorkas. I FIG. 11 visas ett försök av Jensen och Hanks (1967). Man hade ett tre meter högt rör fyllt med mjöla, som helt mättats med en petroleumprodukt "Soltrol C" - petroleum ger vid vätsketransportförsök fördelar framför vatten. Vid tiden $t = 0$ öppnades rörets nedre del och vätskan i röret sattes i förbindelse med en vätskeyta utanför röret. Vid rörets övre yta förhindras avdunstning. Efterhand kommer vätska att sjunka ned mot botten i röret och man närmar sig jämviktskurvan med mätnadsgraden som funktion av nivån h över vätskeytan. Man ser att efter så lång tid som en månad så har jämvikten ännu ej inställt sig. På nivån h står vätskan i materialet under ett sug som är h meter vätskepelare. Ju större h är desto mindre vätska förmår materialet att hålla kvar och på stor höjd skulle man kunna tänka sig att vätskehinnan i materialet sprack sönder så att man ej längre fick kapillärkontakt genom materialet. I det aktuella fallet har man emellertid som FIG. 11 visar fortfarande god kapillärkontakt på höjden h .

Det är opraktiskt att göra försök med rör eftersom inställningstiden blir så lång. Därför har man inom jordfysiken utvecklat en metod med filterskivor som står under sug. I FIG. 12 visas principen. En filterskiva 2 står under ett sug h . På filterskivan har lagts ett prov 1 och avdunstningen från detta hindras genom en gummipropp 3. För att man skall få tryckutjämnning mellan utrymmet ovanför provet och utanför "tratten", så har i proppen satts ett kapillärrör. Ovanför provet har man i det närmaste 100 % RF och avdunstningen genom kapillärröret kan minskas, genom att luften utanför tratten har hög RF. Om provet är 5-10 mm tjockt och uppfuktat, så tar det något dygn tills fuktjämvikt erhålles. Pordiametern på filterplattan är ca 1/1000 mm, vilket medger sug på 10 m vattenpelare, utan att luft sugas genom filter-skivan - jfr definitionen nedan på kapillaritet.

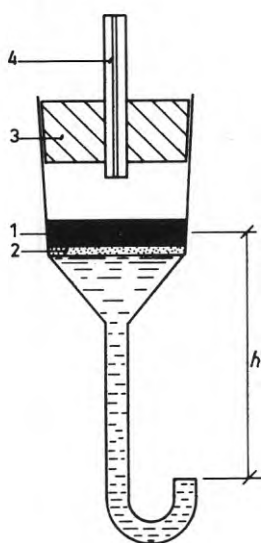


FIG. 12 Principen för en apparat för bestämning av kapillärjämviktskurvor.

1 = materialet

2 = porös platta

3 = gummipropp

4 = kapillärrör för lufttrycksutjämning

Fuktkvot (viktprocent)

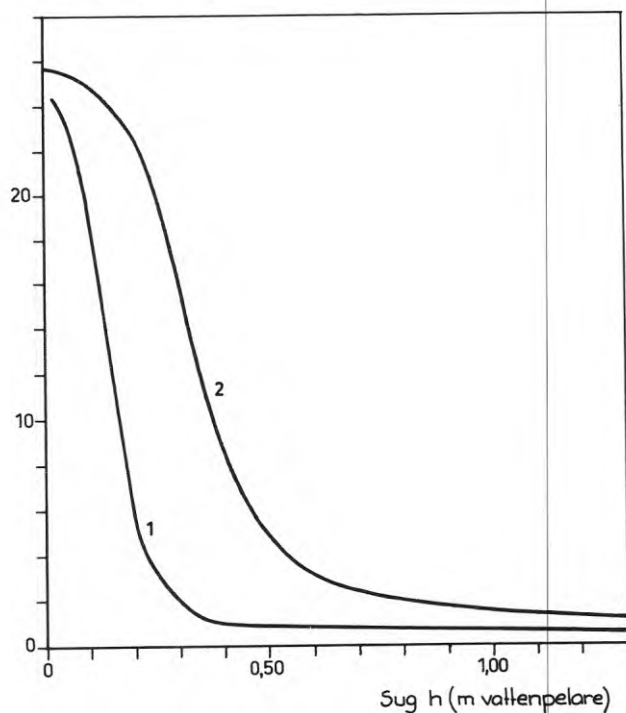


FIG. 13 Kapillärjämviktskurvor vid absorption (uppsugning), kurva 1 och desorption (avfuktning), kurva 2 för Fylesand nr 3 (medelkorndiameter = 0,3 mm).

I FIG. 13 visas jämviktsufktkurvor, som erhållits under absorption (uppsugning)-kurva 1 och desorption (avfuktning) - kurva 2. På samma sätt som vid hygroskopisk jämviktsfukt har man även vid kapillär jämviktsfukt hysteresiseffekter. Man kan få åtskillig information av ett kapillärt jämviktsförsök. Det är framför allt forskning i USA som visat vägen. Brooks och Corey (1964) har visat att man i stället för fuktkvot lämpligen använder mätnadsgrad

$$S = \frac{U_h}{U_0}$$

där U_h är fuktkvoten vid suget h och U_0 är fuktkvoten, när suget h är nära lika med noll. Som tidigare nämnts så kan h bli så stort att kapillärkontakten i materialet bryts. Man har då en kvarstående mätnadsgrad S_r

$$S_r = \frac{U_r}{U_0}$$

där U_r är fuktkvoten när kapillärkontakten bryts. Vi har nu liksom Brooks och Corey (1964) möjlighet att införa begreppet kapillär mätnadsgrad S_e

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r}$$

som har egenskapen att vid $h = 0$, dvs. $S = 1$ vara $S_e = 1$ samt vid $S = S_r$ vara $S_e = 0$, dvs. kapillärkontakten är bruten. Om vi tar de direkta mätvärdena (medeltal av 3 prov för varje h) ur FIG. 14 och beräknar S_e under antagande av att $S_r = 0.018$ (mot-svarar fuktkvoten $U = 0.45$ viktprocent), så kan vi rita upp S_e som funktion av suget h (mellan vattenpelare) i ett dubbellogaritmiskt diagram, FIG. 15. Då faller punkterna längs två rätta linjer

$$S_e = 1 \quad h \leq h_k$$

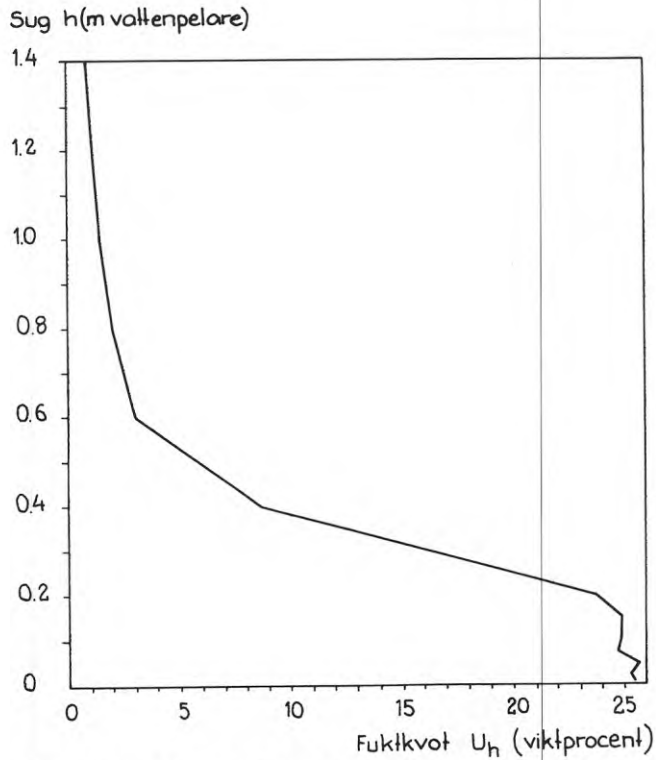


FIG. 14 Jämviktsfuktkvot U_h som funktion av sug h (nivå över vätskeyta) för Fylesand nr 3.

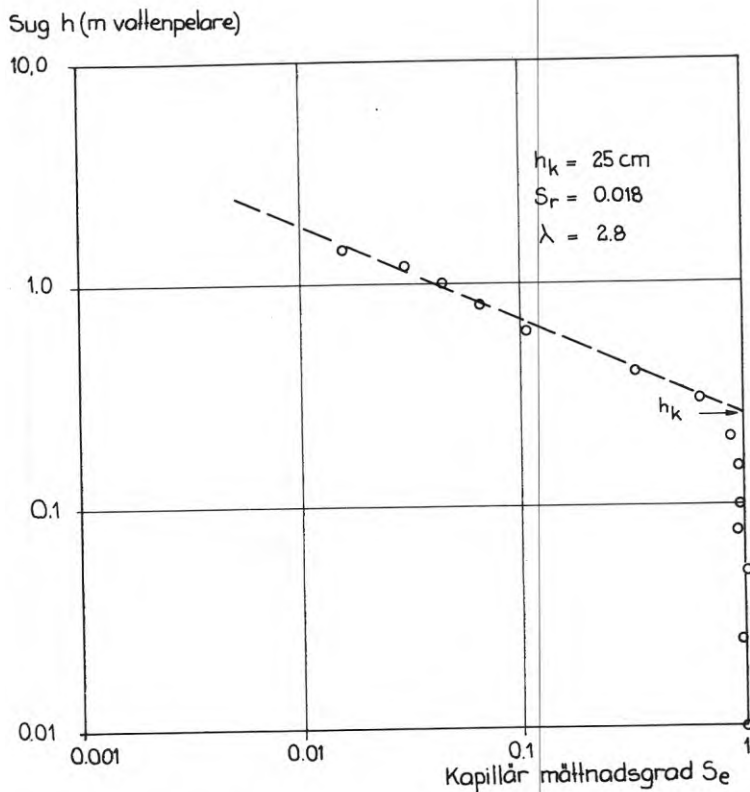


FIG. 15 Dubbellogaritmisk representation av kapillär mättnadsgrad S_e och sug h för värdena i FIG. 14.

S_e bestämd för $S_r = 0,018$

$$S_e = \left[\frac{h_k}{h} \right]^\lambda \quad \text{för } h \geq h_k$$

Normalt känner man ej S_r , men man kan först gissa ett värde och avsätta punkterna på S_e i det dubbellogaritmiska diagrammet. Om S_r är felvald faller punkterna för små värden på S_e , ej på den lutande linjen. S_r kan då korrigeras.

Brooks och Corey (1964) har också diskuterat den fysikaliska bakgrunden till knycken vid h_k . Vid sug som är lägre än h_k så har man en vattenhinna genom hela materialet, så att man inte kan få luft att passera genom materialet vid små lufttrycksskillnader. Vid $h=h_k$ bryter emellertid luften igenom och uppenbarligen är detta samma kapillaritet som man mäter med Beskows kapillarmeter, Beskow (1930). Genom den här beskrivna metoden får man dock mer information, ty förutom om kapillaritet h_k får man dessutom värde på S_r och lutningen λ .

Lutlinjen λ kan användas för studium om permeabiliteten vid kapillär fukttransport $S_e \leq 1$. Laliberte, Corey och Brooke (1966) har visat att den kapillära permeabiliteten (kapillära vätske-transportförmågan) är

$$\frac{K}{K_0} = 1 \quad \text{för } h \leq h_k$$

$$\frac{K}{K_0} = \left[\frac{h_k}{h} \right]^\eta \quad \text{för } h \geq h_k$$

där K_0 är permeabiliteten vid kapillär mättnad ($S_e = 1$) och

$$\eta = 2 + 3 \lambda$$

I FIG. 14 har λ bestämts till 2.8, vilket ger η värdet 10.4. För suget $h = 2 h_k$, dvs. dubbla kapillariteten blir

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{1350}$$

Permeabiliteten för $h = 2 h_k$ blir således bara en tusendel av permeabiliteten för $h \leq h_k$. Om $h = 3 h_{kap}$ blir

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{90000}$$

Om man gör ett kornformigt lager under en betongplatta med en tjocklek $h = 2 h_k$, dvs. dubbel kapillaritet, så kan lagret i praktiken betraktas som kapillärbrytande, eftersom den kapillära permeabiliteten är endast ca 1^o/100 av den kapillära permeabiliteten vid kapillär mättnad.

Dräneringseffekten beror på kornstorleken och bestäms med utgångspunkt från mängden vatten som skall transporteras.

Kapillär jämviktsfukt ger således goda informationer om det kornformiga materialet. I detta sammanhang bör det emellertid observeras att vi hela tiden talat om material av massiva korn. Om kornen är porösa och i sig själv kapillärsugande blir förhållandena annorlunda. Försök med lättklinker visar att kulorna med tiden kan suga upp betydande mängder vatten. Som framhållits i Adamson (1970) krävs ett temperaturfall över ett sådant skikt för att den resterande fuktvandringen skall bli = 0.

En kapillär jämviktsfukt i kombination med aktuella fuktkvoter i materialet ger en uppfattning om suget h . Man kan då tala om en temporär grundvattenyta på djupet h under materialet.

2 UTTORKNING AV BETONGGOLV

2.1 Inledning

Den största anledningen till att man så ofta har fuktproblem i samband med golvkonstruktioner, står att finna i det faktum att övergolvet oftast läggs på ett undergolv av betong. Betong innehåller ungefär 150-200 l vatten per m^3 i färskt tillstånd varav 50-100 l utgör s.k. byggfukt, dvs. vatten som skall avges till omgivningen för att ett jämviktstillstånd skall råda mellan betongen och den omgivande luftens relativa fuktighet. Beroende på konstruktionens utseende och de däri ingående delmaterialens egenskaper, måste en stor del av detta vatten få torka ut före läggning av övergolvet. Den primära fuktkällan är alltså det vatten som medvetet tillföres under byggnadstiden. Härtill kommer alltför ofta ytterligare vatten på grund av slarv eller svåra yttre förhållanden under byggnadstiden.

För ett lyckat utförande av ett övergolv är det således av stort värde att känna till hur ett betonggolv torkar samt vilka tidsrymder man har att räkna med. Detta i synnerhet som byggnadstakten stegras, varvid en ökad planering och ett ökat hänsynstagande till fuktproblemen måste göras. Nedan kommer några av dessa problem att behandlas med utgångspunkt från en undersökning, som har gjorts på betonggolvet vid en byggnadsplats.

2.2 Betonggolvets utförande

Betonggolvet utgörs av ett bjälklag, som består av färdiga 7 cm tjocka kassetter på vilka ca 5 cm betong har gjutits.

Sammansättningen hos den platsgjutna betongen är:

Cementmängd	325 kg/m^3
Vatten ca	150 "
Ballast	1910 "
Luft	4-5 %

Vattenreducerande tillsats användes.

Den färska betongen innehåller alltså relativt litet vatten (vct = 0.46). Tiden från det att kasetterna kom på plats till dess att betongen göts på var ungefär fyra månader. Undergolvsbetongen förseglades under minst fem dagar med Oceanpapp, som hölls väl fuktad.

2.3 Uppläggnings av undersökningen

För att man skulle kunna studera uttorkningsförloppet utborrades omkring 14 dagar efter gjutningen genomgående cylindrar ur betonggolvet. Cylindrarna, vars diameter uppgick till 7 cm ströks med epoxi på mantelytorna, för att uttorkningsförloppet skulle bli endimensionellt.

Några provkroppar förvarades i det aktuella klimatet på byggnadsplatsen, medan andra förvarades dels i en klimatlåda med ca 70 % relativ fuktighet och temperaturen +17°C samt dels i en låda med ca 45 % relativ fuktighet och temperaturen +20°C. Uttorkning av provkropparna följdes genom vägning. Med hjälp av termohygrograf registrerades samtidigt temperatur och relativ fuktighet på byggnadsplatsen.

2.4 Resultat

Under de 3 första månaderna av undergolvs torkning rådde sommarklimat med en relativ fuktighet på 60 à 70 %. Därefter igångsattes uppvärmningen av bygget, varvid relativa fuktigheten sänktes till 35 à 46 % under resterande 4.5 månader fram till läggningen av övergolvet. Uttorkningen av de provkroppar, som förvarades på byggnadsplatsen i detta klimat framgår av FIG. 16. FIG. 17 och FIG. 18 visar uttorkningen av provkropparna i de båda klimatlådorna. Observationerna startade ca 1 månad efter gjutningen.

En meningsfull överläggning om uttorkningen av golvsbetongen kräver även kännedom om betongens jämviktsfuktkvot i olika klimat. Jämviktsfuktkvoterna för såväl undergolvsbetongen som bjälklagsbetongen bestämdes därför vid 95 % RF under desorption (uttork-

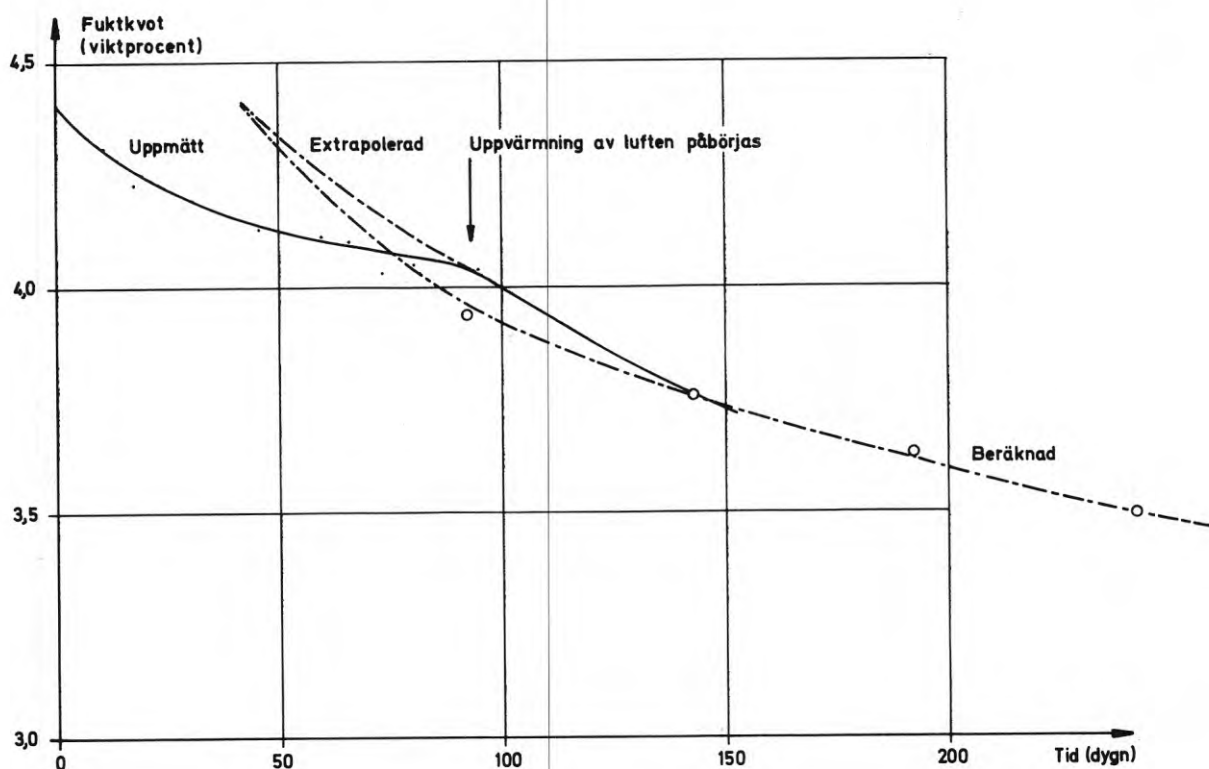


FIG. 16 Uttorkningskurvor vid uttorkning av provkroppar på byggnadsplatsen.

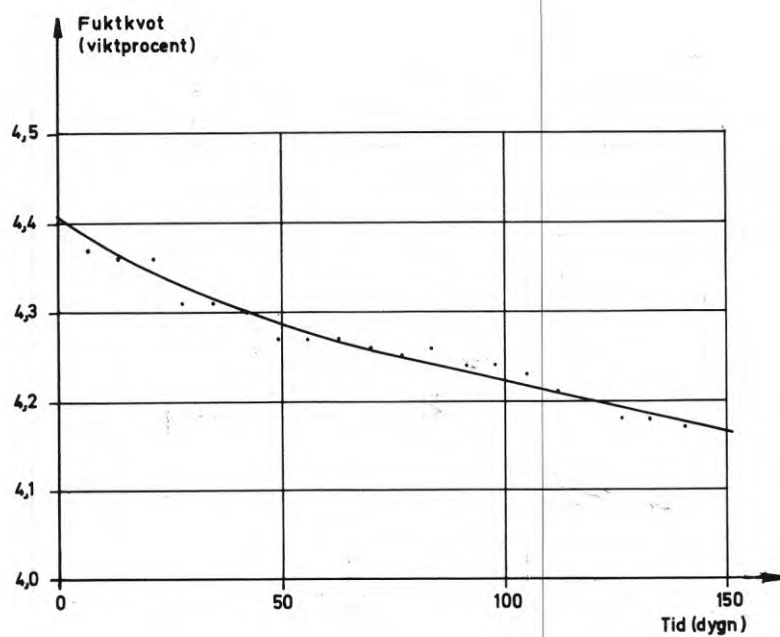


FIG. 17 Uttorkningskurva vid uttorkning av provkroppar i låda med 70 % RF.

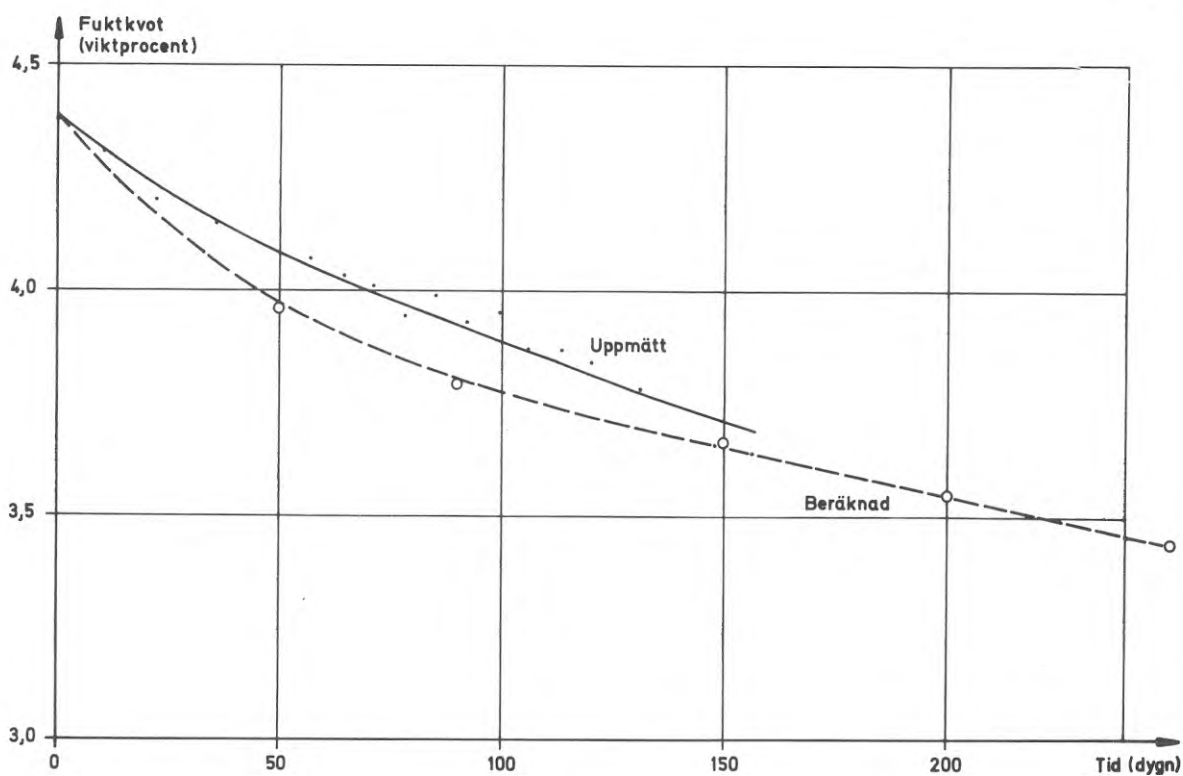


FIG. 18 Uttorkningskurvor vid uttorkning av provkroppar i låda med 45 % RF.

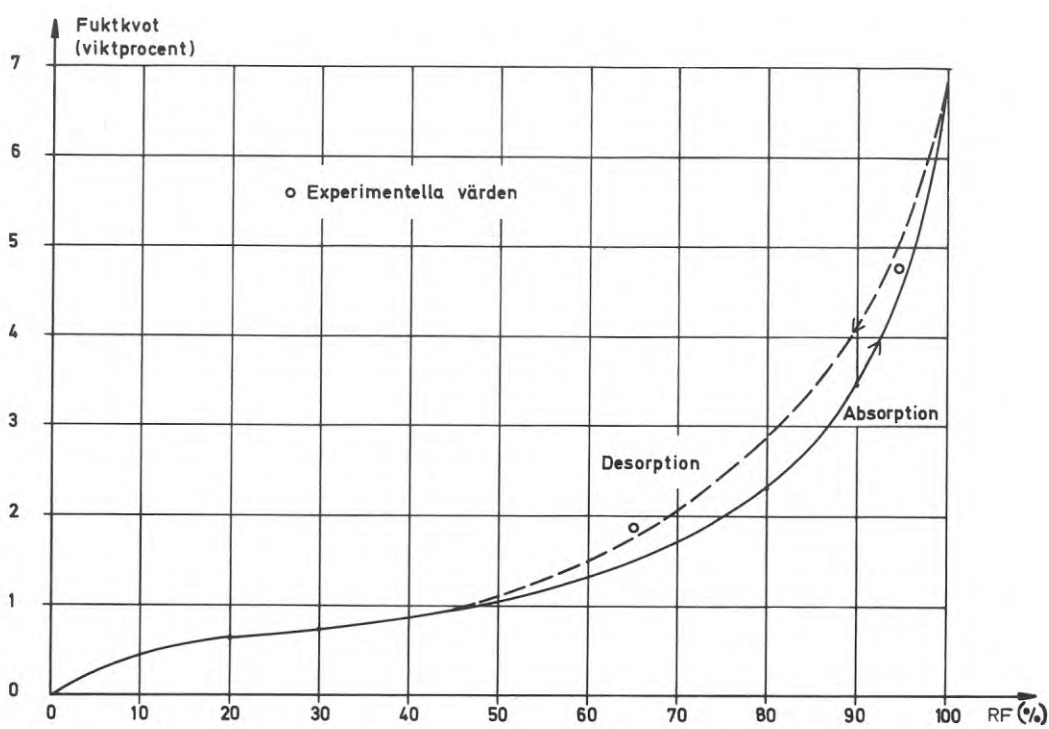


FIG. 19 Absorptions- och desorptionsisotermen för undergolvbetong.

ning). Härvid erhöjls fuktkvoterna 4.7 resp. 4.0 viktprocent. Dessutom bestämdes jämviktsfuktkvoten vid 65 % RF och desorption för den förra, varvid 1.9 % erhöjls. FIG. 19 visar den ungefärliga absorptions- resp. desorptionsisotermen för övergolvbetongen.

2.5 Uttorkning av betong

2.5.1 Allmänt

Följande två mekanismer är verksamma vid torkningen av betong:

1. Kemisk bindning av vatten vid reaktion med cement.
2. Avdunstning av vatten till den omgivande luften.

Till det kemiskt bundna, eller som det även kallas, det icke-förångningsbara vattnet (w_n), räknas oftast det vatten som inte avgår vid uttorkning.

2.5.2 Beräkning av uttorkningsförloppet

Uttorkningsförloppet för betong kan beräknas med relativt god noggrannhet med hjälp av diffusionsekvationen, Pihlajavaara (1963). I en dimension (se FIG. 20) har ekvationen utseendet:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = k_f \cdot \frac{\delta^2 C}{\delta x^2}$$

där

$$C(x, t) = \frac{u - u_e}{u_0 - u_e} \quad 0 \leq C \leq 1$$

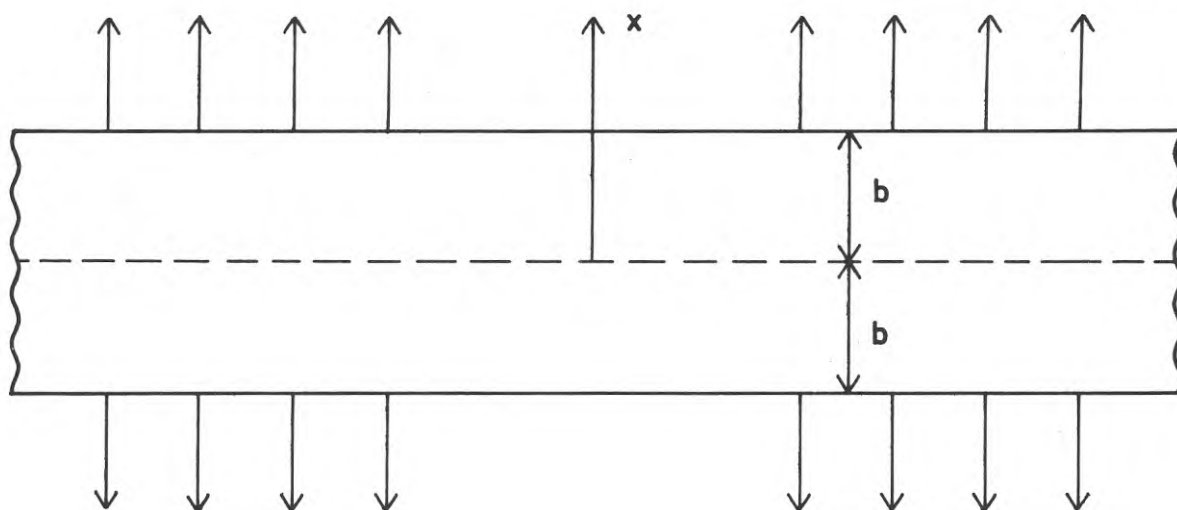
x = längdkoordinat

k_f = konstant

t = tiden

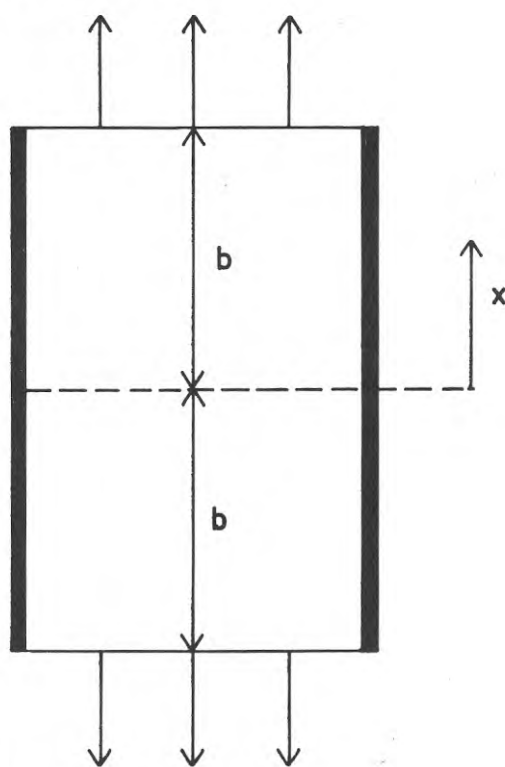
u = variabel fuktkvoten

u_0 = fuktkvoten vid $t = 0$



Vattenavgång
a. Golv

Vattenavgång



b. Provkropp

FIG. 20 En-dimensionell uttorkning.

u_e = fuktkvoten då $t \rightarrow \infty$ (vid jämvikt med omgivningen)

Med lämpliga begynnelse- och randvillkor kan medelfuktkvoten i plattan (C_m) vid olika tidpunkter erhållas med hjälp av FIG. 21.

Absskissan utgörs av den dimensionslösa parametern

$$Fo = \frac{k_f \cdot t}{b^2}$$

där

b = halva plattjockleken

Då man känner jämviktsfuktkvoten u_e , kan man med anpassning till ett känt uttorkningsförlopp bestämma k_f . Detta kan man t.ex. göra för provkropparna i låda 2 (se FIG. 18), om man anser att provkroppen är gjord av endast en betongkvalitet.

FIG. 18 ger

$$\begin{cases} t = 0 \\ u_0 = 4.4 \% \end{cases} \quad \begin{cases} t = 150 \text{ dygn} \\ u_m^{150} = 3.7 \% \end{cases}$$

FIG. 19 ger vid 45 % RF:

$$u_e = 1.0 \%$$

Då fås

$$C_m^{150} = \frac{u_m^{150} - u_e}{u_0 - u_e} = \frac{2.7}{3.4} = 0.79$$

Med detta värde avläses i FIG. 21

$$Fo = 0.039 \rightarrow k_f = \frac{150 \cdot b^2}{t} = \frac{0.039 \cdot 36}{150} = 0.95 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{dygn}}$$

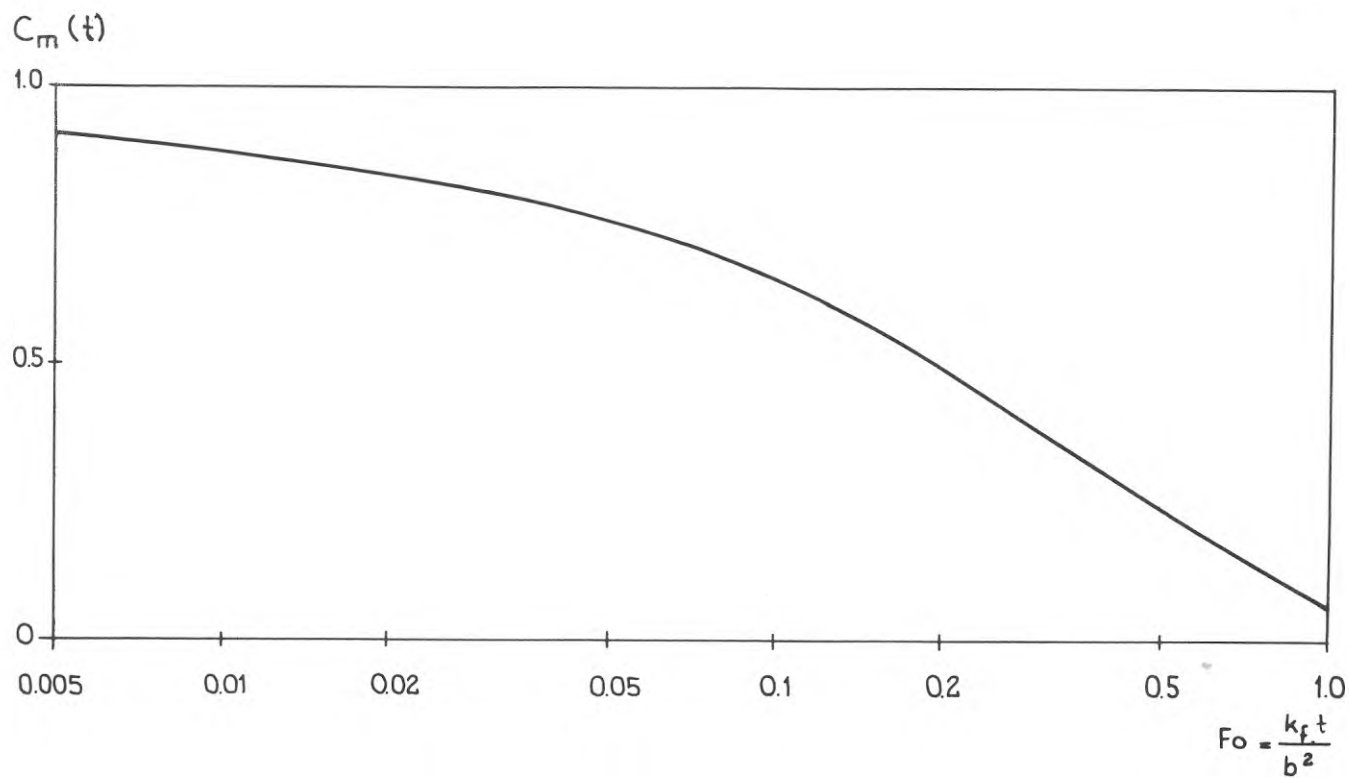


FIG. 21 Lösning till diffusionsekvationen.

ty golvtjockleken är $2b = 12$ cm vid $+105^{\circ}\text{C}$. Det förångningsbara vattnet (w_e) definierar materialets fuktkvot.

Då försöken med provkropparna avbröts efter ca 5 månader kan w_n/C ($C =$ cementmängden i kg/m^3) sättas till ungefär 0.17 för undergolvsbetongen. Till de ca $150 \text{ l}/\text{m}^3$ vatten, som fanns i den färska betongen, tillfördes en viss mängd under de första dyggen efter gjutningen. Copeland och Hayes (1956) anser t.ex. uppskattningsvis, att $0.25 \cdot w_n$ tillföres i de s.k. kontraktionsporerna. Den ursprungliga vattenmängden blir då ca $160 \text{ l}/\text{m}^3$. Under uttorkningstiden binds kemiskt ca $55 \text{ l}/\text{m}^3$.

Det förångningsbara vattnet (w_e) uppgår alltså till ca $105 \text{ l}/\text{m}^3$. Då betongens densitet är $2390 \text{ kg}/\text{m}^3$, erhålls en begynnelsefuktkvot på omkring 4.4 viktprocent. Detta värde stämmer tämligen väl med vad som kan utläsas ur diagrammen med provkropparnas uttorkningsförlopp. Av ovanstående får man inte tro, att fuktkvoten omedelbart efter gjutningen av undergolvet var 4.4 %. Då hydratiseringen var ringa, var en förhållandevis större andel av vattenhalten förångningsbar, varför fuktkvoten då var ca 6.5 %. Eftersom bjälklagskasetterna under vintern förmodligen hade förvarats i en mycket fuktig miljö och ytterligare fuktades i samband med intvålningen, kan man anse, att några större vattenmängder inte transporterades från undergolvsbetongen till kasetterna. En uppklyvning av provkropparna efter uttorkningsundersökningen visade, att fuktkvoten hos kasettbetongen var något lägre än hos undergolvsbetongen. Detta sammanhänger med att kasettbetongens jämviktsfuktkvot är lägre än undergolvsbetongens vid samma relativa fuktighet. Härtill kommer även, att kasetternas fuktkvot är uppnådd under absorption, medan undergolvsbetongens fuktkvot erhållits under desorption.

Uttorkningshastigheten eller med andra ord antalet gram som avdunstar från en yta per tidsenhet är förhållandevis stor så länge betongytan är våt. Stor betydelse för uttorkningen har då luftens hastighet, relativa fuktighet och temperatur. Uttorkningshastigheten minskar emellertid efter hand avsevärt. Betongytan intar härvid ett jämviktstillstånd med den omgivande luf-

tens relativa fuktighet, och uttorkningen bestäms av hur snabbt fukten kan transporteras till materialytan. Denna transport är emellertid beroende av ytans fukttillstånd. Ju lägre omgivningens relativa fuktighet är, desto snabbare går uttorkningen. Detta framgår vid en jämförelse mellan FIG. 17 och 18 samt i FIG. 16, där man ser effekten av uppvärmning, varvid luftens relativa fuktighet sänks.

Med hjälp av detta k_f -värde, kan sedan det fortsatta uttorkningsförloppet beräknas. Nedanstående tabell ger några värden, vilka även inprickats i FIG. 18.

t dygn	50	100	200	500	1000
u_m %	4.0	3.8	3.6	3.0	2.4

På samma sätt kan det fortsatta förloppet beräknas i FIG. 16, varvid man erhåller

t dygn	92	192	542	1042
u_m %	3.9	3.6	2.9	2.3

2.6 Slutsatser

Uttorkningshastighetens beroende av relativa fuktigheten framgår klart om man studerar FIG. 22, där de olika uttorkningsförloppen sammanställts. FIG. 16 understryker detta ytterligare. Då uppvärmningen påbörjas, sänks relativa fuktigheten och uttorkningen accelereras åtskilligt.

Med hjälp av diffusionsekvationen har uttorkningsförloppet beräknats. Känner man materialkonstanten k_f kan hela förloppet beräknas genom att endast använda diagrammet i FIG. 22. Överensstämmelsen mellan de uppmätta och de beräknade värdena är efter omständigheterna tillfredsställande, åtminstone tillräckligt

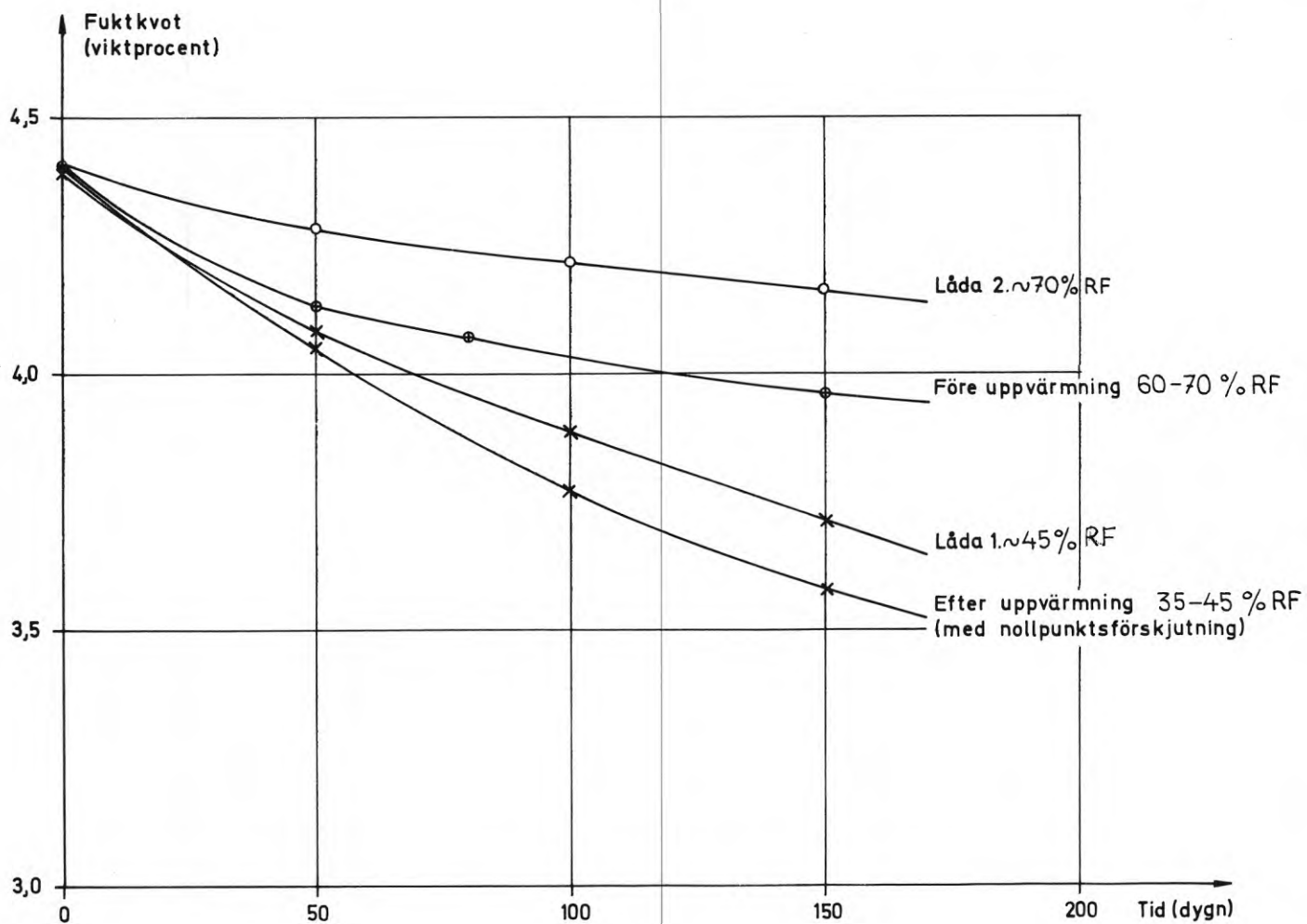


FIG. 22 Uttorkningskurvor vid uttorkning i olika relativa fuktigheter.

överensstämmande för att man skall kunna göra en god bedömning av fukttillståndet vid en viss tidpunkt.

Den stora frågan är: Till vilken nivå måste betongundergolvet torka för att ett övergolv kan läggas med helt lyckat resultat? Svaret på denna fråga bestäms i stor utsträckning av vilket slags övergolv som skall läggas.

Övergolvetts beständighet mot fukt, ångpermeabilitet och dess fuktbetingade rörelser samt limmets och avjämningsmassans beständighet mot alkalisk fukt är faktorer, som kan vara avgörande för hur mycket betongen måste torka före läggningen. Det är emellertid felaktigt att generellt ange kriteriet som en fuktkvot. En och samma fuktkvot kan för olika betongkvaliteter, under en tät eller nästan tät beläggning ge högst varierande fukttillstånd. Bättre är då att ange en relativ fuktighet ned till vilken betongens genomsnittsinnehåll måste torka. Denna relativa fuktighet ligger förmodligen i området 80-95 %, beroende på typ av golvbeläggning. Man finner då att de uttorkningstider, som det rör sig om inte är av storleksordningen veckor, utan snarast månader - år.

I det ovan relaterade fallet var fuktkvoten vid läggningstillfället ca 3.4 viktprocent i genomsnitt hos betongkonstruktionen. Enligt FIG. 19 motsvarar detta en relativ fuktighet på 80 - 85 %, varför golvbeläggningen utfördes vid en sådan tidpunkt, att även hårt ställda krav på uttorkningsgrad uppfyllts.

3 GOLVBELÄGGNING PÅ GAMMALT BETONGGOLV PÅ JORD

3.1 Inledning

Undvikande av fuktskador på övergolv kräver inte bara hänsynstagande till den fukt, som i överskott kan finnas i undergolvet. Fukt kan p.g.a. olika omständigheter transporteras genom undergolvet och ge upphov till ett för stort fukttinnehåll under en mer eller mindre tät golvbeläggning. Ett sådant förhållande kan uppstå i samband med golv på mark. Nedan skall redogöras för en undersökning av ett gammalt betonggolv på jord, som skulle beläggas med ett fuktkänsligt övergolv.

3.2 Golvkonstruktionen

Den gamla konstruktionen består av en betongplatta på jord. Inget är känt om den underliggande markens beskaffenhet, förekomsten av kapillärbrytande material, grundvattennivåns läge eller betongens tjocklek och kvalitet. Byggnaden har tidigare tjänstgjort som industrilokal, varvid vissa delar av golvet bestod av obehandlad betong, medan andra bestod av på betongen i asfalt lagd parkettstav. På vissa ställen finns ett asfaltskikt kvar i betongen, sedan parketten brutits upp och fördjupningen fyllts med betong. Stora delar av detta golv är indränkt med maskinolja. På detta industrigolv ligger en sisalmatta direkt limmad.

Denna matta skulle bytas mot ett övergolv, som framgår av FIG. 23. Plastmattan är 2 mm tjock. Träfiberskivan består av oljehärdad board 1/8" tjock. Träfiberskivan är maskinspikad. Plastfolien är av etenplast och löst lagd på betonggolvet.

3.3 Undersökningens utförande

Risken för uppkomst av en eventuell skada ansågs ligga däri, att från jorden kommande fukt tränger upp genom betongen och de hål som spikarna åstadkommer i plastfolien och härvid ger ett alltför stort fukttinnehåll i den av plastmattan innestängda träfiber-

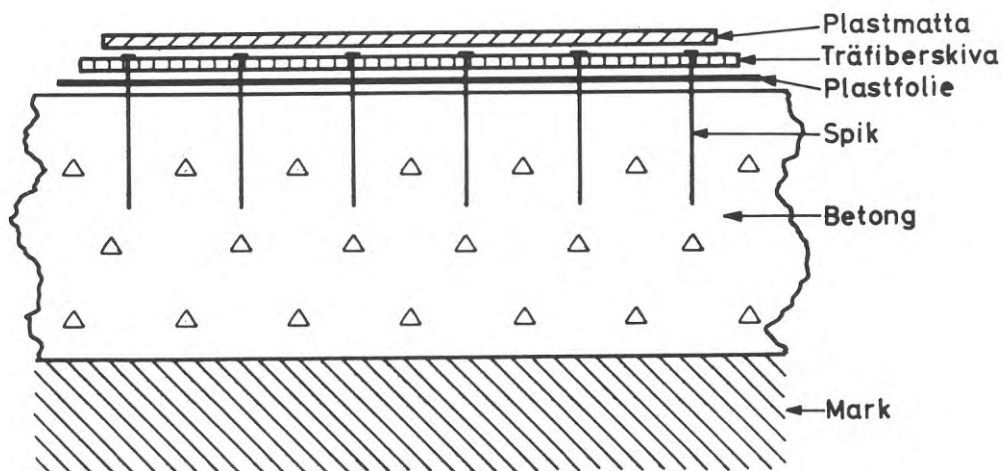


FIG. 23 Den nya golvkonstruktionen.

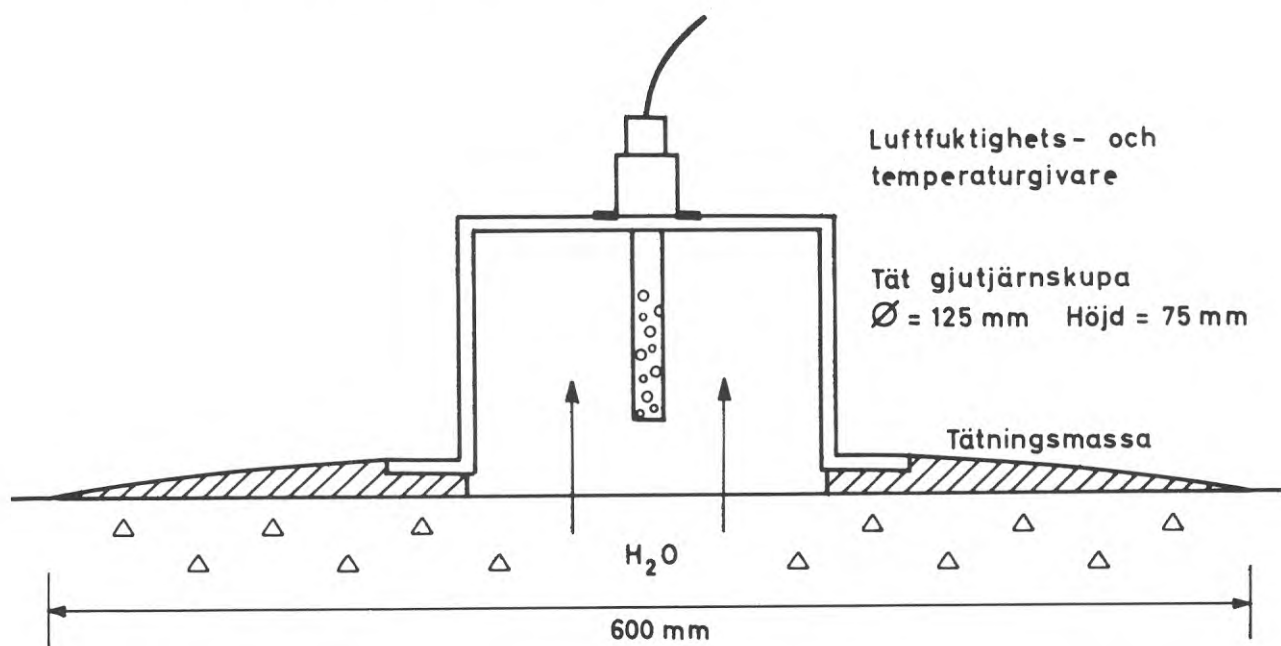


FIG. 24 Mätutrustning i punkterna 1 och 2.

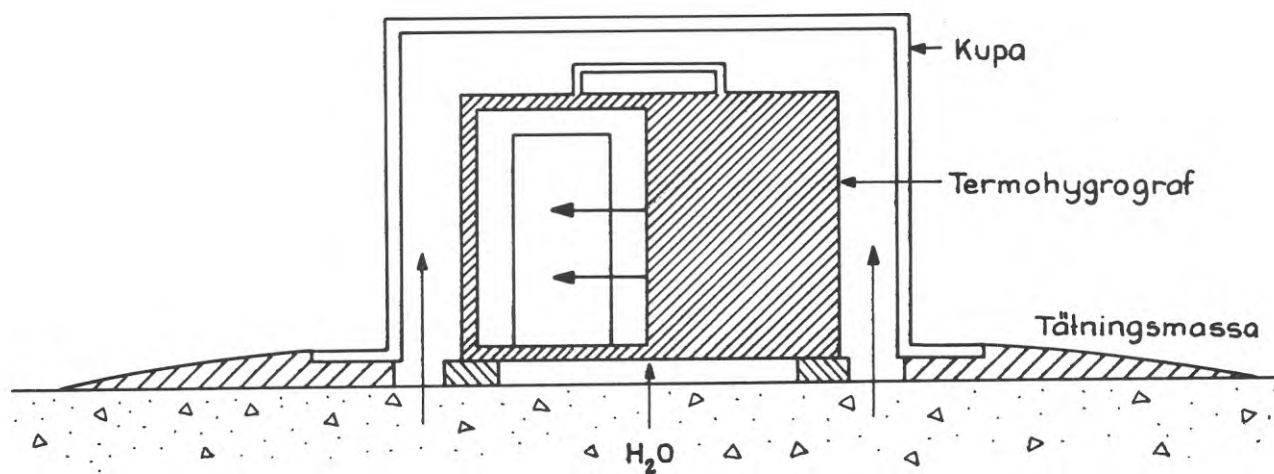


FIG. 25 Mätutrustning i punkterna 3 och 4.

skivan.

Undersökningen utformades därför så, att detta täta skikt över betongen efterliknades. Under denna tätning, som till en viss del utgjordes av en kupa ställd på betongytan, placerades utrustning för mätning av relativ fuktighet och temperatur. I två av de fyra mätpunkterna (punkt 1 och 2) utgjordes utrustningen av elektriska givare (se FIG. 24), medan termohygrografer användes i de andra två (punkt 3 och 4; se FIG. 25).

Vid alla fyra mätpunkterna hade den befintliga mattan avlägsnats. Den första kupan ställdes ovanpå ett stycke parkettgolv, medan de tre andra ställdes på betongunderlag. Betongen skrapades med mejsel och borstades med stålborste för att avlägsna asfalt och klister, så att fukttransporten i någon mån underlättades.

3.4 Resultat

De relativa fuktigheter och temperaturer, som kunde avläsas i kuporna vid olika tillfällen, framgår av TAB. 1. Eftersom relativa fuktigheten är beroende av temperaturen har en omräkning gjorts till partialtryck. Härvid erhålles ett mått på ändringen av mängden vattenånga i kuporna. De erhållna värdena har i FIG. 26 avsatts som funktion av tiden.

3.5 Diskussion och slutsatser

Mycket litet är känt om markförhållanden, grundvattennivå, förekomst av kapillärbrytande lager och undergolv. Byggnaden har tidigare använts som industrilokal, och golvkonstruktionen är härigenom av skiftande utseende. Vissa partier är belagda med parkett, medan andra består av enbart betong. Vidare finns i golvet en mängd kabelrännor. Av ovanstående kan man dra den slutsatsen, att mycket varierande fukttillstånd kan uppstå på olika ställen i det nya övergolvet.

Ovanstående styrks även av de resultat, som framkommit vid mätningarna. Vid punkterna 1 och 4 har ingen ökning skett av mängd-

TABELL 1 Relativ fuktighet och temperatur i kuporna vid olika tidpunkter.

Punkt	Tid efter tätning		3 tim	3 dygn	6 dygn	11 dygn	14 dygn	19 dygn
1	Relativ fuktighet	%	52	50	52	53	54	55
	Temperatur	°C	23.0	24.8	23.0	23.8	22.2	21.5
2	Relativ fuktighet	%	57	85	90.5	92.5	93.5	93.5
	Temperatur	°C	24.0	23.9	22.5	22.8	22.0	21.8
3	Relativ fuktighet	%	64	75	79	80	82	84
	Temperatur	°C	21.0	22.0	21.0	21.0	20.0	20.0
4	Relativ fuktighet	%	54	56	57	57.5	58	60
	Temperatur	°C	23.5	23.5	22.1	21.2	21.0	19.8

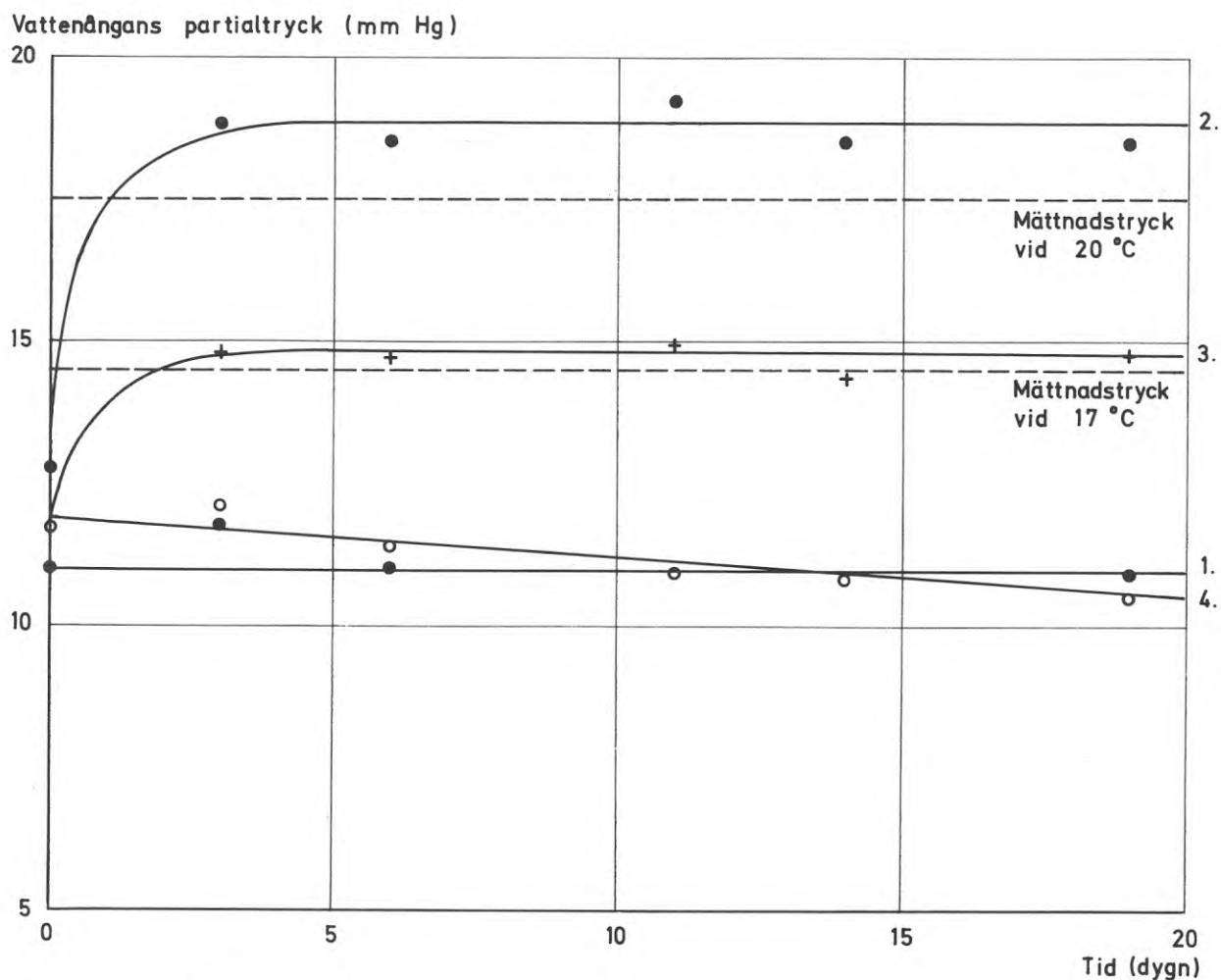


FIG. 26 Diagram över ändringen av vattenångans partialtryck i de fyra kuporna.

den fukt i kuporna. Vid punkten 1 har utrustningen stått på parkett, som är lagd i asfalt, vilket kan vara en orsak till att fukttillståndet förblir konstant. Kuporna 2 och 3 visar kraftiga öknings, i synnerhet kupa 2.

Risk för kondens och därmed förekomst av fritt vatten finns (se FIG. 26). Redan vid måttliga temperatursänkningar kan kondens uppkomma. Sådana temperatursänkningar kan eventuellt uppstå i lokalen på natten under vintern.

Den utlagda plastfolien, som punkteras av spikarna, kommer att släppa igenom mera fukt än plastmattan, som är förhållandevis tät. Härigenom kommer ett organiskt material, träfiberskivan, som är innesluten under plastmattan, att utsättas för stora påfrestningar. Stor risk för skada föreligger på den tilltänkta golvkonstruktionen, i det klimat som erhållits under kupa 2, medan det i kupa 3 utgör ett gränsfall. I den mycket fuktiga miljön äventyras allvarligt träfiberskivans beständighet. Vidare blir fuktrörelserna så stora, att övergolvet mycket väl kan komma att deformeras.

3.6 Epilog

Två år efter undersökningen har golvet, som trots varningar lades på det sätt som framgår av FIG. 23, besiktigats. Övergolvet har inte brutits upp, men fuktskadorna är trots detta klart synliga. Vissa golvavsnitt uppvisar ca 20 cm breda och ca 10 cm höga åsar. Dessa "böljor" har uppkommit på grund av svällning hos träfiberskivan.

Kommentar: Det kan förefalla vara en anmärkningsvärd brist på noggrannhet att man i detta fall ej närmare undersökte vad det gamla golvet bestod av. Emellertid är en sådan studie inte erforderlig ur fuktsynpunkt, när ovan redovisade indikationsmetod används. Dessutom skulle denna mätning ha blivit nödvändig även om man fått kännedom om det gamla golvets sammansättning och egenskaper.

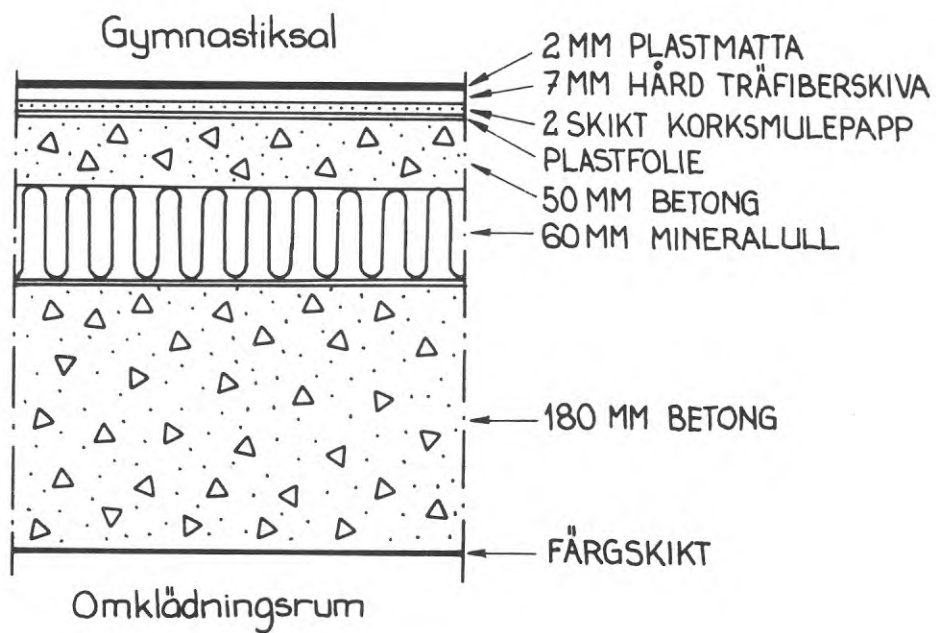


FIG. 27 Bjälklagskonstruktion.

4 FUKTKÄNSLIGA MATERIAL UNDER TÄT GOLVBELÄGGNING

4.1 Inledning

Då fuktkänsliga material tillsammans med betong stängs in av täta ytskikt, måste noggranna prognoser utföras över det fuktillstånd som kommer att råda i konstruktionen. Därvid måste tillses att tillräcklig säkerhetsmarginal finns så att toleranser ges för uppkommande avvikelser från beräkningsförutsättningarna. En undersökning har utförts av ett bjälklag som i princip var riktigt konstruerat men där en rad faktorer orsakade att stora skador uppstod på övergolvet som därför måste läggas om.

4.2 Konstruktionen

Det aktuella bjälklaget var golv i en gymnastiksal på andra våningen i en skolbyggnad. I våningen under fanns omklädnings- och duschrum. Bjälklagskonstruktionen framgår av FIG. 27. Det fuktkänsliga materialen i konstruktionen är korksmulepappen och framförallt träfiberskivan. Konstruktören har insett faran och lagt in plastfolien för att skydda dem mot byggfukt i betongen.

4.3 Skadebeskrivning

Två år efter inflyttning observerades skador som visade sig som buckling av träfiberskivan och den påklistrade plastmattan. Dessutom hade skarvarna mellan träfiberskivorna rest sig och avtecknade sig som mönster i golvet. På det mest skadade stället bröts plastmattan och träfiberskivan upp. Korksmulepappen under var fläckad av fukt och luktade mögel. Under plastfolien fanns fritt vatten i form av droppar. På fuktmärkena i det undre laget korksmulepapp kunde man se att vatten trängt upp i samband med skarvar i plastfolien, som var omlottlagd ca 15 cm. Dessutom fanns punktformade fuktfläckar på de ställen där plastfolien hade punkterats genom t.ex. gruskorn. Korksmulorna hade tryckt märken och möjligen punkterat denna. Vid skadan fanns en gjutskarv i överbetongen.

4.4 Besiktning och provtagning

Vid undersökning av golvet och materialen, samt av förhållanden under byggnads- och användningstid framkom följande:

1. Gjutning av bjälklaget skedde under vintern. Överbetongen göts i januari, en vecka innan fönster sattes in på golvet. Övergolvet lades ca 5 veckor efter sista gjutningen.
2. Gymnastiksalen var svår att få varm på vintern, varför temperaturen där uppskattades ligga 6-7^o lägre än temperaturen i lokalerna under.
3. Vid gjutning av överbetongen hade man arbetat med två längsgående gjutfogar. Betongen var armerad med rutnätsarmering, men i gjutfogarna hade armeringen av formbräderna tvingats ner under betongen och var där nästan verkningslös.
4. Golvskadornas läge stämde ganska väl överens med gjutfogarnas läge.
5. Vid bestämning av de ingående materialens fuktdiffusionstal erhöles följande värden:

Material	K_d (g/m ² , h och mmHg)
Plastgolv (PVC)	0.016
Träfiberskiva	0.343
Korksmulepapp	0.023
Plastfolie (polyeten)	0.0053

Observera att felfri plastfolie är betydligt tätare än plastgolvet.

6. Fuktkvoterna hos materialen uppmättes i ett antal provhål. Ett exempel på fukttinnehåll vid ett skadat område ges av FIG. 28, där fuktkvoterna är insatta i rätt läge

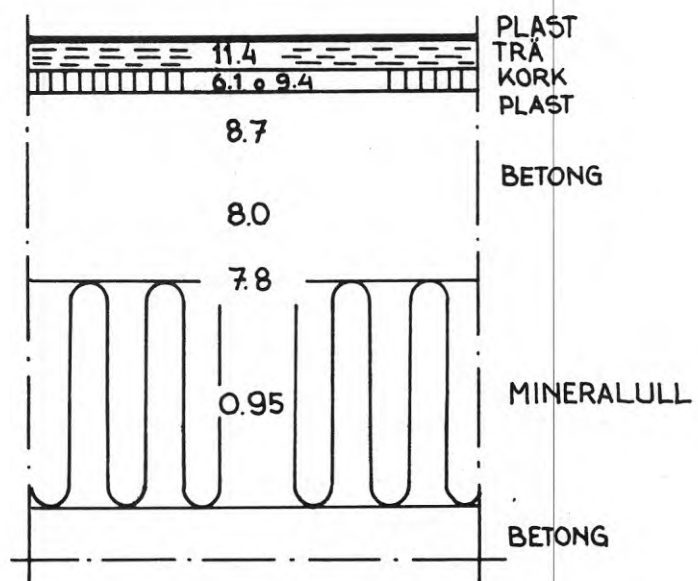


FIG. 28 Fuktkvoter i viktprocent som uppmätts i konstruktionen.

i konstruktionen. Fuktkvoterna i överbetongen visar mycket höga värden, och alla ligger över betongens hygroskopiska område, dvs. RF är ca 100 % i alla skikt. Fuktkvoterna vid överytan är störst och här syntes också fritt vatten. Även mineralullen har hög fuktkvot.

4.5 Diskussion av skadeorsaken

Två teorier uppställdes om hur skadan uppkommit. Vid den ena antogs att fukten diffunderat från utrymmena i bjälklaget. Med hjälp av kända värmeledningstal för de i konstruktionen ingående materialen kan en temperaturfördelningsberäkning göras. Härvid har antagits en skillnad på 7°C mellan omklädningsrum och gymnastiksal.

Temperaturen i omklädningsrummet har satts till 24°C. Temperaturfördelningen och det härur erhållna mättnadstrycket för vattenånga i olika delar av konstruktionen framgår av FIG. 29. I denna figur har även inritats teoretiska partialtrycksfördelningar för vattenångan under antagande att RF är 70 % resp. 90 % i omklädningsrummet och 45 % i gymnastiksalen. Med 90 % RF i omklädningsrummet erhålles kondens i isolering och överbetong. Kondens kan uppstå vid 80 % RF och däröver.

Att så hög luftfuktighet varaktigt skulle råda i omklädningsutrymmena är knappast troligt, varför denna skadeteori avvisas som föga rimlig.

I andra skadeteorin antogs att vattnet tillförts konstruktionen under byggnadstiden.

Data från byggnadstiden är ganska osäkra och baserar sig på muntliga utsagor och gissningar. Det är dock tänkbart, att överbetongen och mineralullen kan ha haft mycket hög fuktkvot, när plastfolien och gymnastikgolvet lades. En stor mängd vatten kan ha runnit ner i mineralullen genom gjutskarvarna vid regn och snö, vattnings av betongen och vid själva gjutningen. Vid läggningen av golvet provades visserligen fukthalten i betongen, och be-

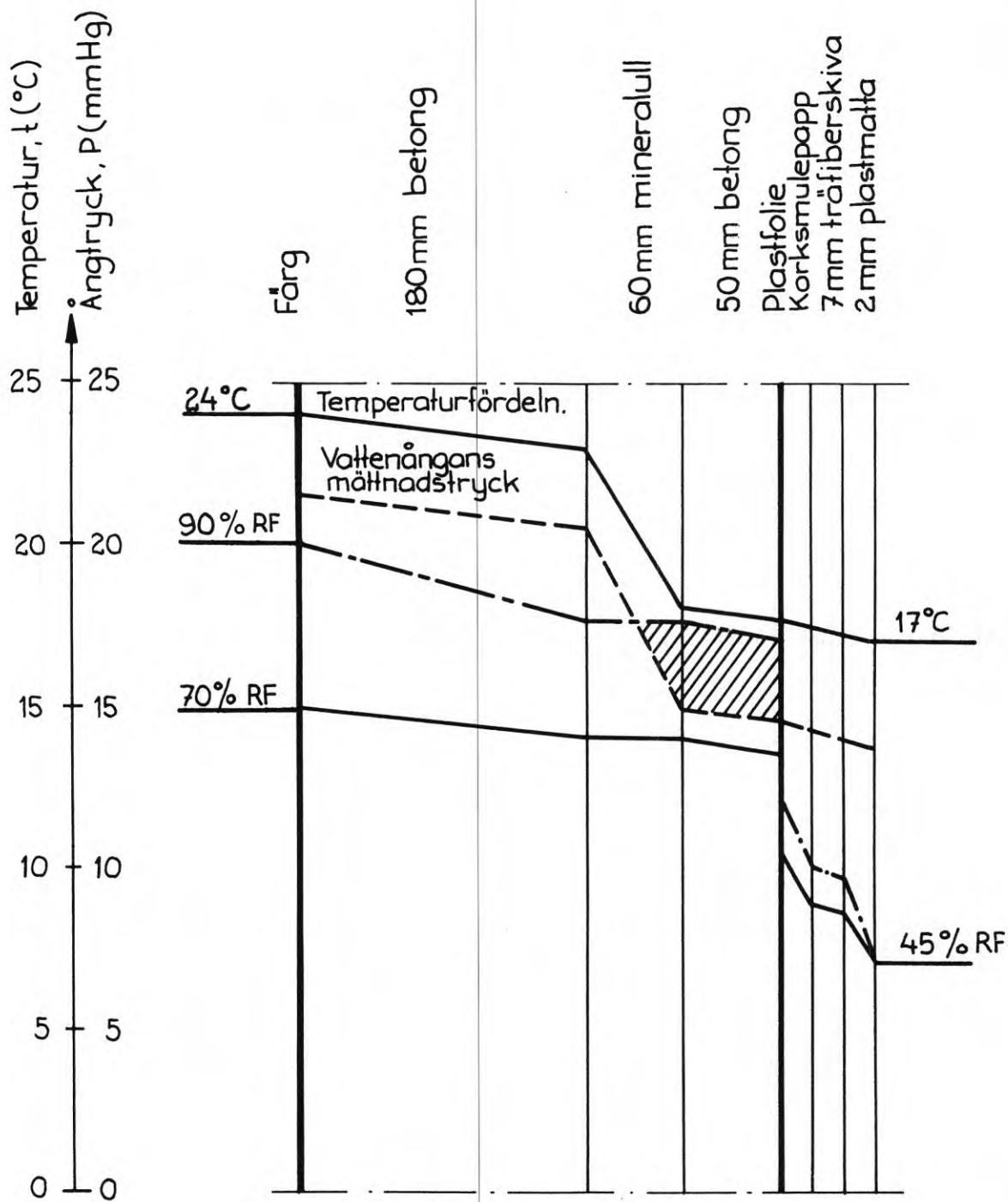


FIG. 29 Temperatur- och ångtrycksfördelningen i konstruktionen.

fanns vara tillfredsställande låg, men mätningen utfördes med en metod, som bara mäter ytans fukthalt.

Det framkom vid undersökningen att skadorna är lokaliserade till gjutfogarna i överbetongen. Armeringen, som i fogen ligger under betongen, är där helt verkningslös och har alltså inte kunnat förhindra rörelser i fogen, vilka har luckrat upp denna. Betongen i fogen var mycket mjölig och lätt att skrapa bort.

Plastfolien på överbetongen är i sig själv mycket diffusionstät, men punkteringar och framförallt den enkla skarvmetoden med omlottläggning har minskat skiktets betydelse som fuktspärr.

4.6 Slutsatser

Vi fann alltså ingen annan skademekanism som stämde med mönstret än följande:

Byggfukt i konstruktionsbetongen och framförallt stora mängder vatten i mineralull och överbetong har stängts in av övergolvet.

Huvudsakligen genom gjutfogarna i överbetongen har vattenånga nått plastskiktet, där den kondenserat. Plastskiktet har fördröjt men genom den olämpliga skarvningen inte förhindrat fortsatt vandring av fukten, som nått träfiberskivan och där slutligen ansamlats i så stor mängd, att skadan uppkommit.

Temperaturgradienten med åtföljande partialtrycksgradient i materialet har försvårat uttorkning av konstruktionen nedåt.

5 FUKT I UNDERGOLV AV CEMENTBUNDEN LÄTTKLINKER

5.1 Inledning

I över ett års tid har vid ett större bygge fukttillståndet hos en något annorlunda undergolvkonstruktion studerats. En uppföljning av fukttillståndet har skett i stort sett från gjutningstillfället fram till läggningen av övergolvet.

Då det snart stod klart att undergolvets fukttinnehåll var för stort, har även aktiv del tagits i diskussioner för att lösa de uppkomna problemen. I samband härmed har olika möjligheter att lägga övergolvet testats. Byggnaden utgörs av fyra huskroppar, som uppfördes parallellt med start under 1969. Varje hus inrymmer sex våningsplan.

5.2 Golvkonstruktionen

Undergolvkonstruktionen framgår av FIG. 30. Betongkvaliteten är K300P. Den cementbundna lättklinkern har densiteten 600 kg/m^3 med följande sammansättning:

1	volymdel cement
8	" lättklinker
1/2	" finsand
100 l	vatten per m^3

Härtill kommer en okontrollerad mängd vatten hos lättklinker och finsand. Lättklinkern förvaras utomhus och om den är torr förvattnas den. Prov tagna på byggnadsplatsen gav en vattenhalt på ca 140 kg/m^3 . Det plastbehandlade bruket är sammansatt av en volymdel cement och två delar sand. I vattnet är blandat tio volymprocent plast (PVA).

Det plastblandade bruket vattnades under några dagar efter gjutning. Därefter täcktes det med diffusionstät papp till skydd mot för snabb uttorkning av bruket med åtföljande sprickbildning. Man fann emellertid att stora mängder vatten kondenserade på un-

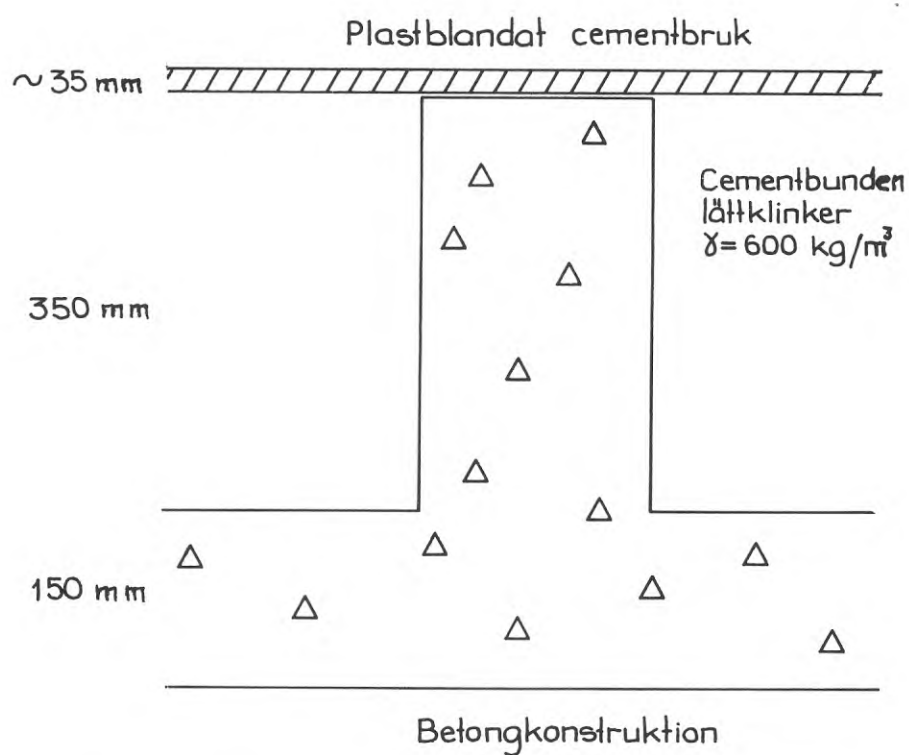


FIG. 30 Undergolvetts konstruktion.

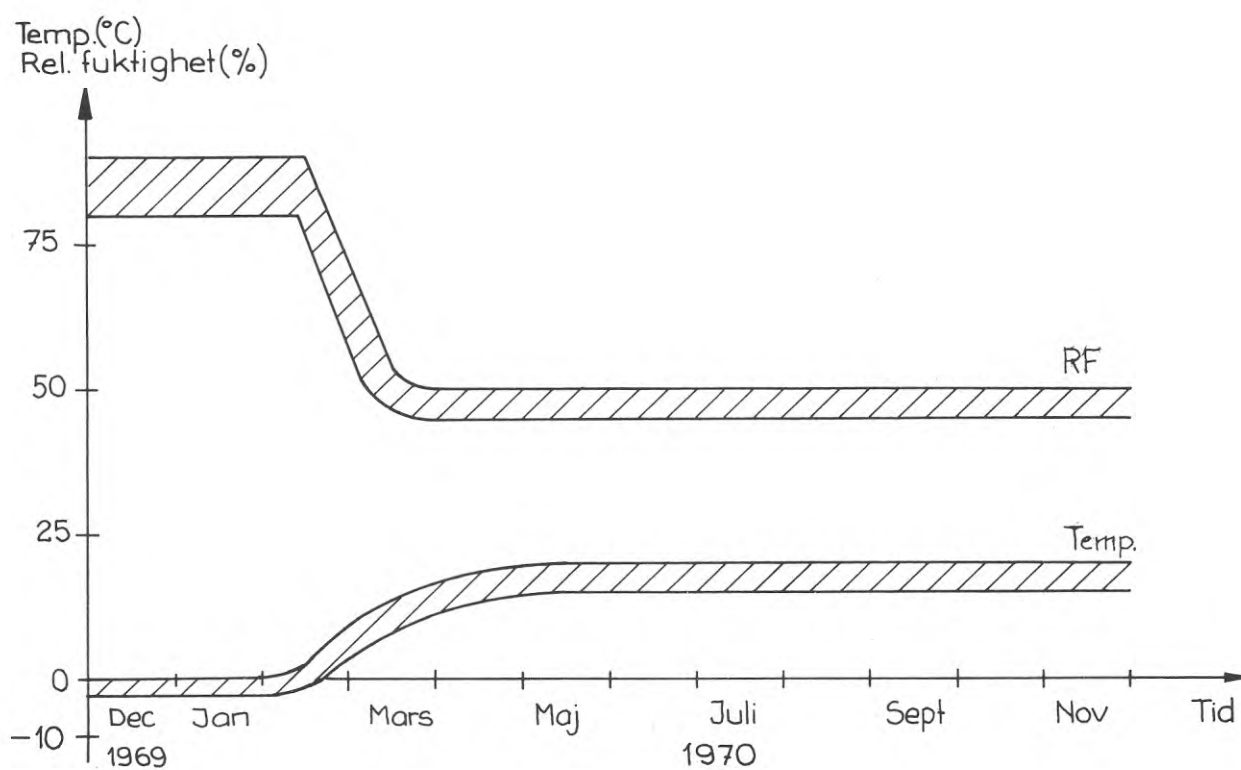


FIG. 31 Temperatur och relativ fuktighet uppmätta med termohygrograf.

dersidan av pappen, varvid man kom fram till, att konstruktionen innehöll mycket vatten. Av denna anledning slutade man upp med att täcka golvet. Ursprungligen var det avsett att snarast stryka golvet två gånger med neoprenprimer för att bevara golvets fuktighet och därigenom undvika sprickor samt för att åstadkomma förbättrad vidhäftning mellan övergolv och undergolv. Denna åtgärd vidtogs emellertid ej, utan undergolvet ströks istället omedelbart före mattläggningen med en tvåkomponents tjärepoxi utan lösningsmedel. Dessutom var det från början meningen att limma med kontaklim, vilket måste ersättas med ett lim utan lösningsmedel, varvid ett häftlim valdes. Övergolvet utgjordes dels av en plastmatta och dels av en plastskummatta.

5.3 Klimatförhållanden

Sedan starten av undersökningen i december 1969 har två termohydrografer varit uppställda i olika hus. Fram till slutet av februari 1970 var relativa fuktigheten i medeltal 80 ä 90 % och temperaturen ett par grader under noll. Därefter påbörjades uppvärmningen, varvid temperaturen höjdes till +5-10°C och relativa fuktigheten sänktes till ca 60 %. Uppvärmning av byggnaderna sker genom inblåsning av varmluft genom rör i den cementbundna lättklinkern. Temperaturen på luften i rören och även i byggnaderna ville man höja ytterligare för att påskynda uttorkningen av golven. Det plastblandade bruket fick emellertid ej torka för häftigt, då man ville undvika sprickbildning. Temperaturen höjdes så småningom i byggnaderna med början i mitten av mars till knappt +15°C. Relativa fuktigheten hölls samtidigt konstant vid 40 ä 50 % genom tillförsel av ånga till den luft som värmdes byggnaderna. Under försommaren var temperaturen 15 ä 20°C. Periodvis under sommaren var uppvärmningen avbruten, men under hösten 1970 har byggnaderna varit kontinuerligt uppvärmda till en temperatur strax under 20°C. Relativa fuktigheten har härvid varit ca 40 %. De uppmätta temperaturerna och relativa fuktigheterna framgår av FIG. 31.

Vid regn och snösmältning har genom de många rörschakten i varje byggnad stora mängder vatten runnit ned. Detta vatten har flutit

ut över golvytan runt om schakten på alla plan. Fritt vatten har alltså på sina ställen stått på golvet under långa tider och så småningom till och med penetrerat hela golvkonstruktionen, så att droppstensbildningar kunnat iakttagas på undersidan av konstruktionen.

5.4 Bestämning av fukttillståndet

5.4.1 Fuktkvotsbestämning

Provtagningen, som påbörjades i december 1969, koncentrerades till en uppföljning av plan 1 i hus 2 och 4. Senare visade det sig att övergolvet först skulle läggas i hus 3, varför en omfattande provtagning även här utförts på de olika planen. FIG. 32 visar tidpunkterna för gjutning av den cementbundna lättklinkern samt läggningen av det plastblandade bruket på de aktuella planen.

TAB. 2 visar fuktkvoterna, som har bestämts genom uttorkning vid 105°C , i hus 2 plan 1, medan TAB. 3 ger värdena i hus 4 plan 1.

TAB. 4 redovisar bestämningar gjorda på planen 2 t.o.m. 6 i hus 3. Några kontrollmätningar har även gjorts i hus 1 samt på några andra plan i hus 2 och 4.

5.4.2 Bestämning av jämviktsfuktkvoter

I en vid Byggnadsmateriallära konstruerad apparat har övre delen av desorptionsisotermen (jämviktsfuktkvoter under torkning i olika relativa fuktigheter) bestämts för det plastblandade bruket och den cementbundna lättklinkern. Resultaten framgår av FIG. 33. Med hjälp av ett rikhaltigt jämförelsematerial har isotermernas fortsatta förlopp kunnat inprickas i denna figur.

5.4.3 Mätning av relativa fuktigheten i kupor på golvytan

En kupa har enligt FIG. 24 vid några tillfällen placerats tätt intill undergolvet.

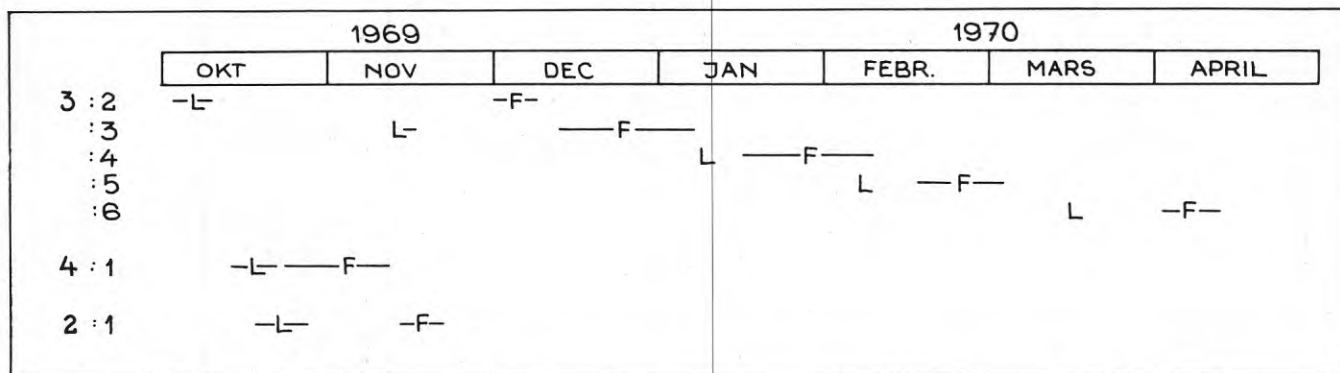


FIG. 32 Tidpunkter för gjutning av lättklinker (L) och läggning av bruk (F).

TAB. 2 Fuktkvoter i viktprocent på olika djup i hus 2, plan 1 vid olika tidpunkter. Nedersta raden ger fuktkvotsändring i medeltal hos den cementbundna lättklinkern i förhållande till värdet den 4/12 1969.

Djup (enl. skiss)	Provställe					
	2:12		2:12			
	4/12 1969	16/6 1969	4/12 1969	5/3 1970	16/6 1970	2/10 1970
1	10.5	4.5	11.0	6.8	5.2	3.5
2	9.9	12.7	12.4	10.8	10.9	7.9
3	12.1	12.5	12.3	-	13.1	9.6
4	16.5	12.2	13.3	11.4	11.8	11.1
Δu_{med}		-0.4			0.7	-3.1

1 Plastblandat cementbruk
 2
 3 Cementbunden lättklinker
 4
 △ △ △
 Betongkonstruktion
 △ △ △

TAB. 3 Fuktkvoter i viktprocent på olika djup i hus 4, plan 1 vid olika tidpunkter. Nedersta raden ger fuktkvotsändringen i medeltal hos den cementbundna lättklinkern i förhållande till värdet den 4/12 1969.

Djup (enl. skiss)	Provställe						
	4:11				4:12		
	4/12 1969	5/3 1970	16/6 1970	2/10 1970	4/12 1969	5/3 1970	16/6 1970
1	8.9	5.1	3.3	2.3	9.8	7.5	5.6
2	13.1	11.2	11.4	8.1	16.5	14.6	15.2
3	13.7	-	10.4	11.0	18.6	17.5	16.8
4	17.5	14.9	14.5	16.1	17.9	16.1	18.3
Δu_{med}			-2.7	-3.0		-3.2	-2.6

TABELL 4 Fuktkvoter i hus 3 den 16/6 1970 och den 2/10 1970.

Djup (enl. skiss)	Provställe								Provställe											
	2:1		2:2		3:1		3:2		4:1		4:2		5:1		5:2		6:1		6:2	
	16/6 1970	16/6 1970	2/10 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	2/10 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	16/6 1970	2/10 1970				
1	4.5	2.9	2.2	5.0	4.3	4.6	4.5	2.7	5.6	6.7	8.3	5.7	3.0							
2	14.0	13.1	11.5	16.1	12.8	14.6	14.3	10.8	15.7	13.2	12.5	12.9	9.0							
3	18.1	20.5	19.3	20.6	-	16.8	16.4	15.4	16.0	15.2	13.5	14.0	16.2							
	18.8	18.6	17.8	18.2	-		16.0	16.5	14.1	16.4	14.0	13.6	15.1							

Fuktkvot (viktprocent)

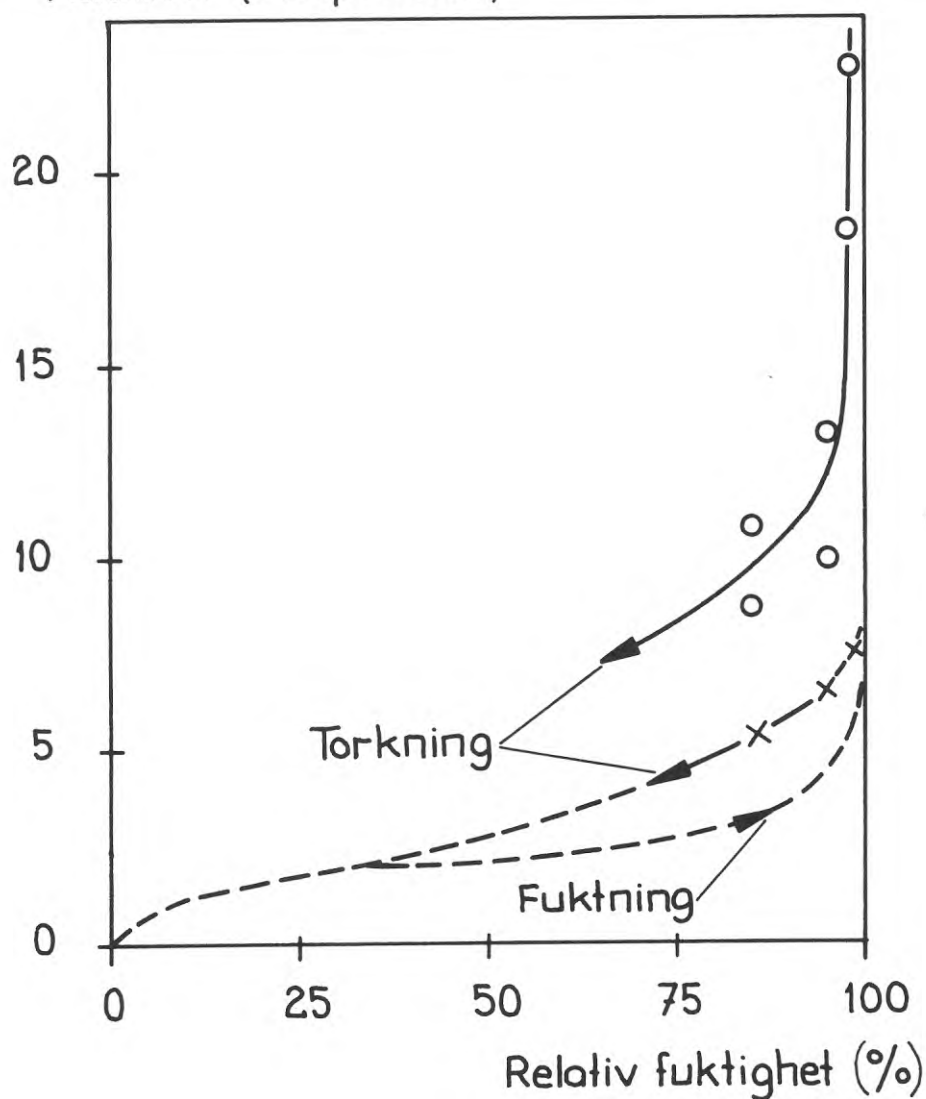


FIG. 33 Jämviktsfuktkvoter hos
 O cementbunden lättklinker
 X plastblandat cementbruk

Vid fem olika tillfällen gjordes mätningar under december 1969 och januari 1970 på två olika ställen i hus 4 plan 1. Vid samtliga tillfällen erhöles kondensation i kuporna efter en vecka, naturligtvis till följd av stort fukttinnehåll, men även därför att temperaturen varierade kraftigt, då någon uppvärmning ej förekom. Under juni 1970 har registreringar gjorts på samma platser, varvid resultaten i FIG. 34 har erhållits.

5.5 Bedömning av uttorkningsmöjligheten

Erfarenhetsmässigt vet man, att fukttinnehållet i undergolvet ej bör överstiga ett jämviktstillstånd som motsvarar 90 % relativ fuktighet i medeltal vid läggning av den typ övergolv som det här är frågan om.

Enligt FIG. 33 skulle detta innebära, att den cementbundna lättklinkern ej bör ha högre fuktkvot än 10.5 viktprocent i genomsnitt.

TAB. 2 och TAB. 3 visar hur golvkonstruktionen har torkat under ca ett års tid räknat från läggningen av bruket. Detta är helt uttorkat och har kommit i jämvikt med luftens relativa fuktighet. Den cementbundna lättklinkern har i huvudsak torkat uppåt men även nedåt genom konstruktionsbetongen.

Under perioden från december 1969 till oktober 1970 har relativa fuktigheten och temperaturen hos luften i byggnaderna varit ca 60 %, resp. 15°C i medeltal (se KAP. 5.3). Brukets ångpermeabilitet har bestämts. Man kan därför beräkna den vattenmängd som har möjlighet att avgå från den cementbundna lättklinkern genom bruket. Genom att anta att betongens permeabilitet är $3 \cdot 10^{-3}$ g/h·m·mmHg (enligt Bygg del 2, $(1-5)10^{-3}$) kan även den mängd vatten som avgår nedåt uppskattas. Den vattenmängd som avdunstar per m² under 10 månader kan då beräknas på följande sätt:

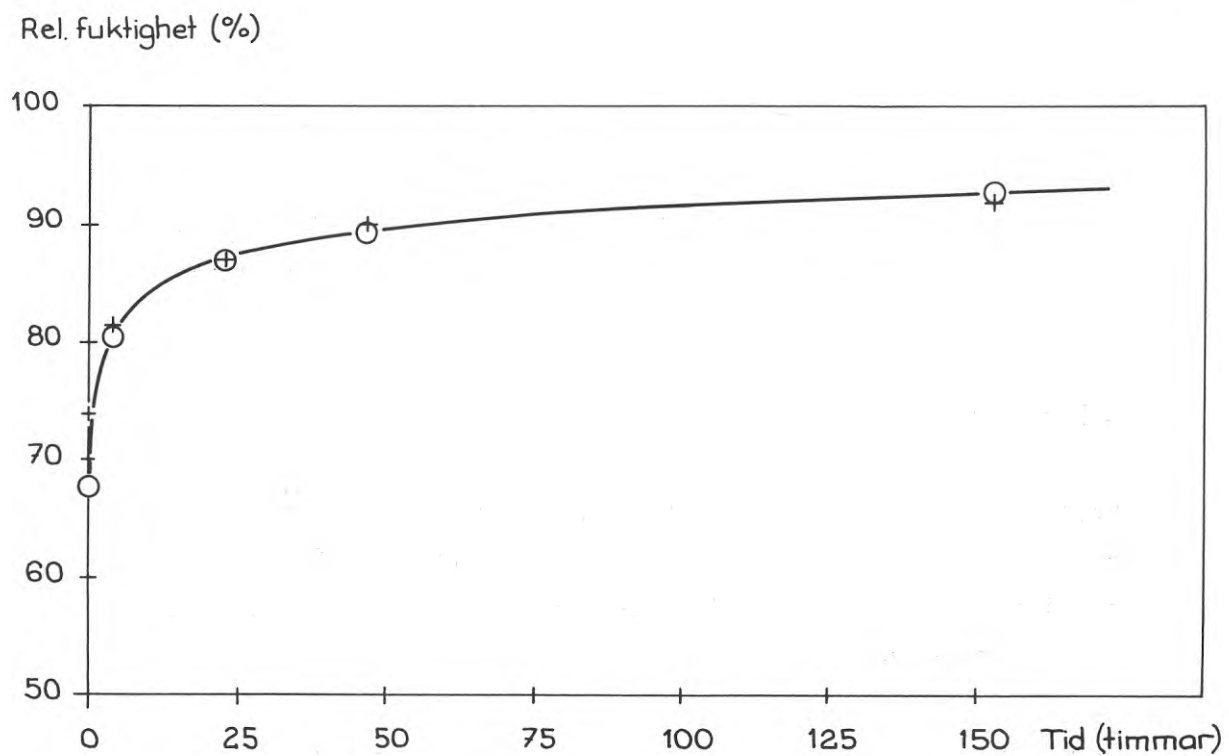


FIG. 34 Relativa fuktigheter i kupor i hus 4, plan 1, punkt 1 och 2 under juni 1970. (Temp. ung. konstant).

$$G = \left(\frac{K_{d1}}{d_1} + \frac{K_{d2}}{d_2} \right) \cdot A \cdot t \cdot (p_1 - p_2) =$$

$$= \left(\frac{4 \cdot 10^{-3}}{35 \cdot 10^{-3}} + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{150 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 1 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 0.4 \cdot 12.8 \approx 5000 \text{ g vatten}$$

K_{d1} = ångpermeabiliteten för bruket

d_1 = tjockleken hos bruket

K_{d2} = ångpermeabiliteten för betongen

d_2 = tjockleken hos betongen

A = golvytan

t = tiden

$(p_1 - p_2)$ = partialtrycksskillnaden mellan cementbunden lättklinker och luften

Luften i den cementbundna lättklinkern har ansetts vara mättad med vattenånga. Eftersom den cementbundna lättklinkern har en densitet på ca 600 kg/m^3 och är 35 cm tjock, motsvarar den ovan uträknade vattenmängden en genomsnittlig fuktkvotsändring med

$$\frac{5}{1 \cdot 0.35 \cdot 600} = 2.4 \text{ viktprocent}$$

hos den cementbundna lättklinkern. Värdena i TAB. 2 och TAB. 3 visar att denna beräkning ger en god bedömningsgrund för vad som sker.

De fuktkvoter som bestämdes den 2.10.70 (se TAB. 4) visar att fukttinnehållet i golvet är för stort. I bästa fall måste man vänta ca 4-6 månader till dess övergolvet skall läggas. Kan relativa fuktigheten hållas vid ca 40 % under denna tid, finner man på samma sätt som ovan att fukttinnehållet hos den cementbundna lättklinkern kan sänkas med ca 2 viktprocent.

Eftersom bruket är uttorkat kan detta uppta en del vatten efter tillslutningen med det täta övergolvmaterialet. Ur FIG. 33 fin-

ner man, att bruket har en kapacitet på ca 1.5 viktprocent, tills jämvikt är nådd med ca 90 % relativ fuktighet. Denna fuktkvot motsvarar

$$1.5 \cdot 10^{-2} \cdot \rho \cdot d_1 = 1.5 \cdot 10^{-2} \cdot 2000 \cdot 0.035 = 1 \text{ kg vatten per m}^2$$

ρ = densiteten hos bruket

Ett kg vatten motsvarar fuktkvoten ca 0.5 viktprocent hos den cementbundna lättklinkern. Man finner alltså, att en fuktkvot i medeltal hos den cementbundna lättklinkern, som med mer än 2.5 viktprocent överstiger 10.5 måste betraktas som för hög.

5.6 Provning av olika övergolvalternativ

Som framgår av ovanstående skulle fukttinnehållet vara för stort, då läggningen av övergolvet var tänkt att ske. Man bestämde sig då för att med hjälp av någon typ av fuktspärr i största möjliga utsträckning hindra fukten att vandra uppåt och skada övergolvet. Användning av neoprenprimer ansågs vid denna tidpunkt vara olämpligt, varför ångpermeabiliteten hos några olika typer av epoxi-behandlingar av bruket testades.

Några provytor har vidare lagts där olika kombinationer av fuktspärr och lim har testats. Av intresse var att studera hur vidhäftningshållfasthet och fukttillstånd ändrade sig efter tillslutning med en relativt tät beläggning. Bland annat lades i ett rum i hus 3 plan 2 med intilliggande korridor del fyra provytor.

Ur FIG. 35 framgår när provytorna lades samt när provtagning har skett. Under veckorna 33-39 var rummet omedelbart under försett med extra uppvärmning. Temperaturen var i detta rum 24-24.5°C, medan den i plan 2 var 18.5-19.5°C. En viss accelerering av fukttransporten uppåt åstadkoms härigenom.

Fukttillståndet hos golvkonstruktionen under provytorna har bestämts vid tre olika tillfällen. Resultaten framgår av TAB. 5.

TABELL 5 Fuktkvoter vid olika tidpunkter hos provgolv i hus 3.

Djup (enl. skiss)	Provställe					
	3:2			3:2 korridor		
	Vecka 26	Vecka 35	Vecka 40	Vecka 26	Vecka 35	Vecka 40
1	3.4	3.7	4.2	4.5	5.0	5.4
2	15.0	14.0	17.2	14.3	16.4	12.7
3	17.3	20.1	16.9	18.5	20.0	23.1
4	15.3	17.2	17.2	25.8	25.2	31.1

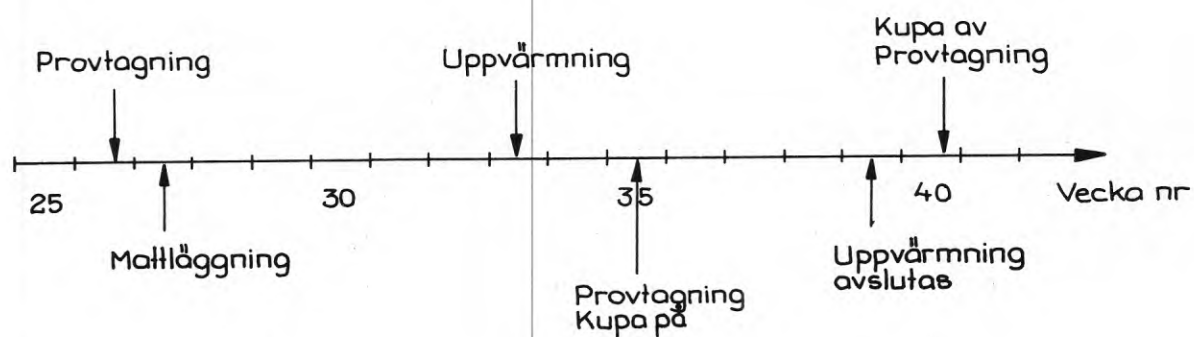


FIG. 35 Tidpunkter för olika åtgärder i samband med provgolv i hus 3.

Man ser här att fukttransport uppåt har skett med en successivt ökande fuktkvot i bruket.

Omedelbart intill rummet placerades på bruket en kupa med givare för bestämning av relativa fuktigheten (se FIG. 24). En uppfattning om det fukttillstånd som uppstår under plastmattan kunde härigenom erhållas. FIG. 36 visar hur relativa fuktigheten ökade i kupan. Fuktkvoten hos bruket under kupan var, när denna togs bort 4.8 viktprocent.

5.7 Sammanfattning

Åtskilliga fuktkvotsbestämningar har visat, att fukttinnehållet hos undergolvkonstruktionen är stort. Med all sannolikhet är det alltför stort för att erhålla ett fullgott resultat vid läggning av övergolvet direkt på det plastblandade bruket.

Vid läggning av ett övergolv av den typ som det här är fråga om, bör undergolvets fukttinnehåll i medeltal inte överstiga en jämviktsfuktkvot som motsvarar ca 90 % relativ fuktighet. Detta innebär, att fukttillståndet hos den cementbundna lättklinkern ej bör överstiga 10-11 viktprocent i medeltal. I flera fall har fuktkvoter på mellan 20 och 30 viktprocent uppmätts. Vattenhalten 140 kg/m^3 hos den cementbundna lättklinkern ger med 75 %-ig hydratationsgrad en begynnelsefuktkvot på ca 15 viktprocent. Extra vatten måste alltså i flera fall ha tillförts golvkonstruktionen. De provtagningar och beräkningar som utförts ger, att tillräckligt mycket vatten ej hinner avgå från undergolvet fram till dess att det är aktuellt med läggning av övergolvet. Man kan tycka att en viss tids dröjsmål med att lägga bruket skulle ha givit den porösa lättklinkern möjlighet att torka. Klimatförhållandena i byggnaderna, framförallt under vintern 69-70, var emellertid sådana, att långt uppehåll snarare hade negativ effekt (se TAB. 4 och FIG. 31). Man finner här även att fukttillstånden bestäms mer av tidpunkten för gjutning än av uttorkningstidens längd.

För att klara övergolvet bestämde man sig för att i görligaste

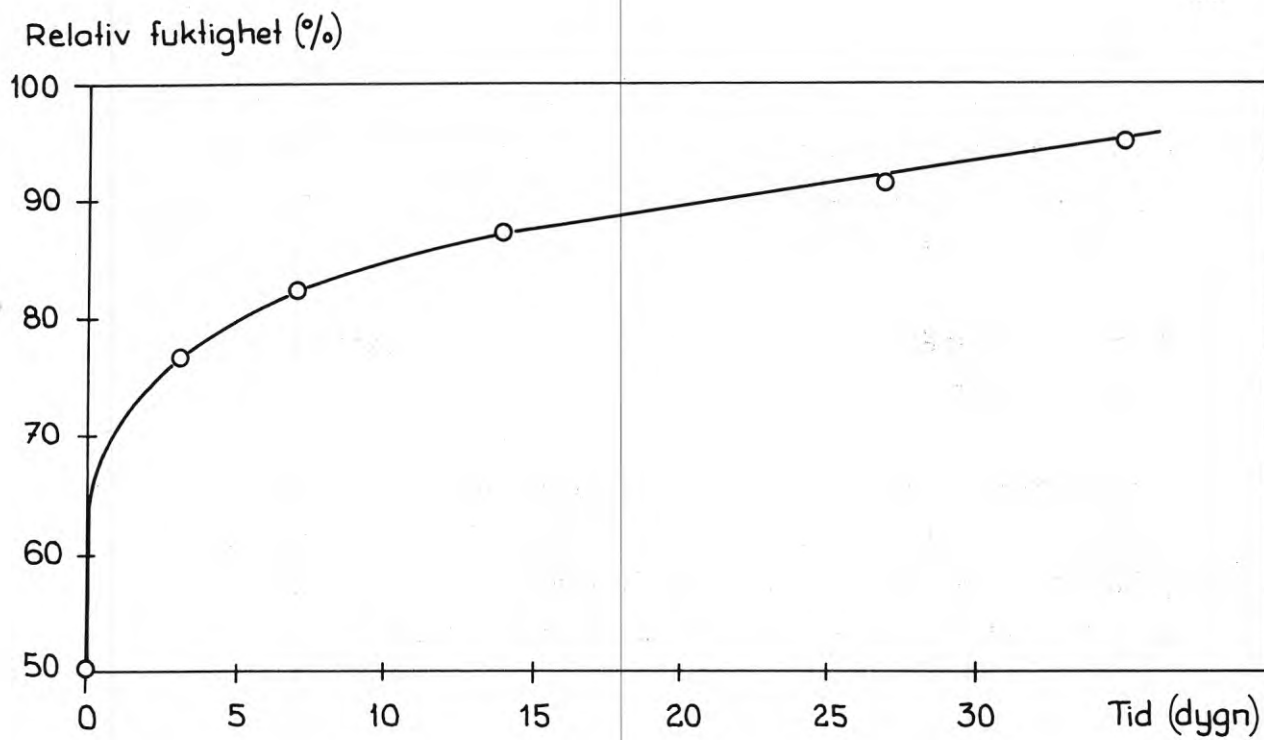


FIG. 36 Relativ fuktighet i kupa i hus 3, plan 2.
Temperatur: 18,5 - 19,5°C.

mån förhindra uttorkning uppåt samt genom lämpligt val av behandling av innertaken underlätta uttorkning nedåt. Härigenom anses limförbandet mellan plastmatta och bruk skyddas mot nedbrytning samt plastmattan mot svällningsrörelser till följd av för hög fuktighet.

Permeabilitetsmätningar har utförts på flera produkter som strukturs på bruket.

För att jämföra olika typer av fuktspärrar och olika typer av lim samt för att studera ändringar i fukttillståndet hos undergolvet belades några provytor med övergolv. Försöken var inte så systematiska att de bör medtagas i denna rapport.

6 KONDENSATION UNDER TÄTT ÖVERGOLV

6.1 Inledning

Den långsamma uttorkningshastigheten hos betongkonstruktioner gör att man vid tiden för läggning av övergolv på betongbjälklag ofta har betydande mängder vatten i betongen, även om yt-skiktet är tillfredsställande torrt. I många fall klarar sig dock övergolvet bra på grund av att uttorkning av betongen kan ske dels nedåt och dels uppåt genom övergolvet. I fallet bjälklag på jord finns som regel en temperaturgradient med värmeströmmen riktad nedåt som gynnar uttorkningen.

I detta skadefall belyses inverkan av uppåtriktad värmeström i kombination med extremt tät överyta.

6.2 Konstruktionen

Varuhuset som huvudsakligen är byggt i tre plan, har försäljningsytorna på bottenplanet och parkering på plan 1 och 2. Under en del av huset finns källare, som används som lagerutrymme. Ritning över bottenplan och källarplan finns i FIG. 37.

Som golvbeläggning i varuhuset förekommer bl.a. 4000 m² gummiplattor, tillverkade av syntetiskt gummi i två skikt. Slitskiktet är porfritt och genomfärgat och är fastvulkaniserat vid det undre skiktet som är poröst och mjukt. Plattorna har formatet 50 x 50 cm och tjockleken 2.5 mm.

Bottenbjälklaget är utfört dels som bjälklag på jord och dels som fribärande bjälklag över källare. Konstruktionen för de båda bjälklagstyperna framgår av FIG. 38 och 39. Bjälklaget över källare är ett platsgjutet balkbjälklag med T-sektion enligt system "Kaiser-bjälklag". Överbetongen har spacklats med cementbaserad avjämningsmassa och på detta underlag har plattorna limmats med kontaktlim av neoprengummityp.

Betonggjutningarna utfördes en höst och golvläggningsarbetena i

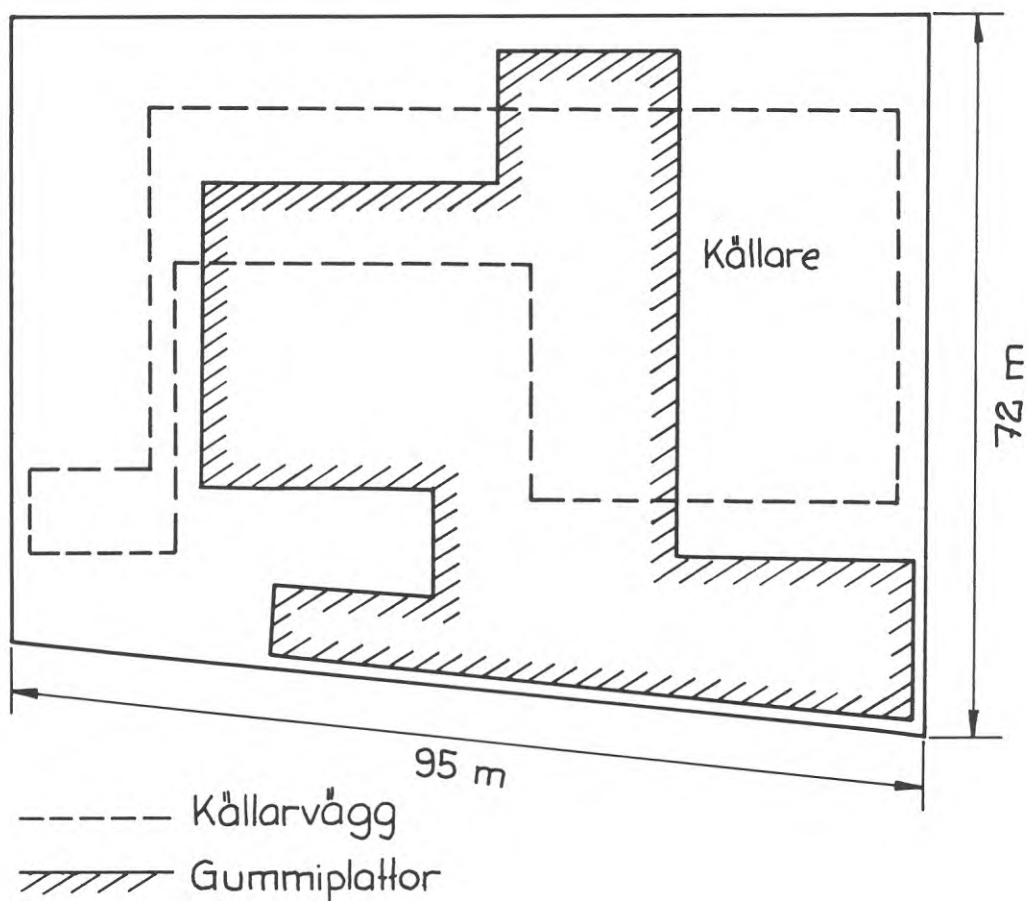


FIG. 37 Schematisk ritning över varuhuset med läge för källare samt gummiplattor lagda i försäljningslokalerna på bottenvåningen.

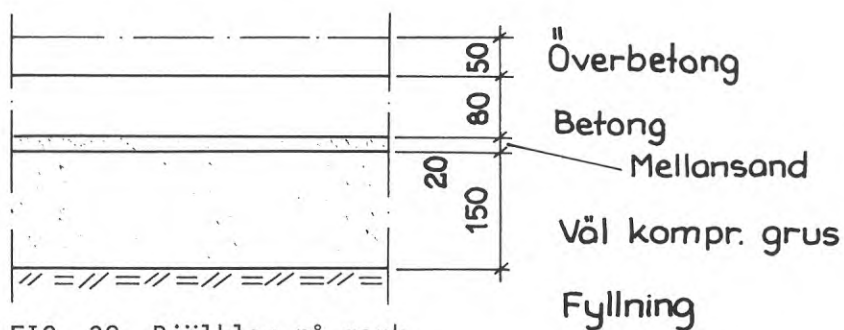


FIG. 38 Bjälklag på mark.

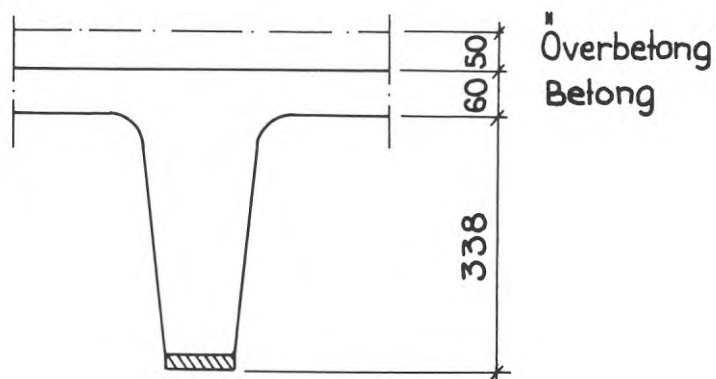


FIG. 39 Bjälklag över källare.

maj följande år, vilket innebär att uttorkningstiden för betongen varierade mellan 5 och 8 månader.

6.3 Skadorna

Endast några månader efter golvläggningen uppstod problem med att golvplattorna lossnade från underlaget och ett kontinuerligt reparationsarbete har måst utföras under de tre år varuhuset varit i bruk.

Skadorna var av två slag. Den ena typen orsakades av vidhäftningsbrott mellan platta och underlag, vilket först visade sig som bubblor eller kantresningar och som så småningom ledde till att hela plattan lossnade. Fritt vatten kunde förekomma under plattorna.

Den andra skadetypen visade sig som vattenfyllda blåsor mellan plattans båda skikt och observerades som blåsbildning på överytan.

Eftersom lösa och lossnande plattor kontinuerligt bytts ut kunde en noggrann bild av skadorna ej erhållas vad gäller den första typen skada. Delamineringsskadorna däremot ledde endast till små blåsor i ytan och hade inte orsakat reparationer. Denna skadetyper kartlades varvid skadebilden enligt FIG. 40 erhöles. Skadorna är alltså enbart lokaliserade till bjälklag på jord och samma tendens kunde iaktas beträffande skadetyper med brott i vidhäftningsskiktet.

6.4 Klimatdata

Temperaturen i försäljningslokalen hölls vid 20°C under affärstid och sänktes därefter till 17°C. I källaren hölls temperaturen 1 à 2°C högre.

Luftens relativa fuktighet varierade med årstiden ca 30 och 80 % RF och var genomgående några procent lägre i källarvåningen.

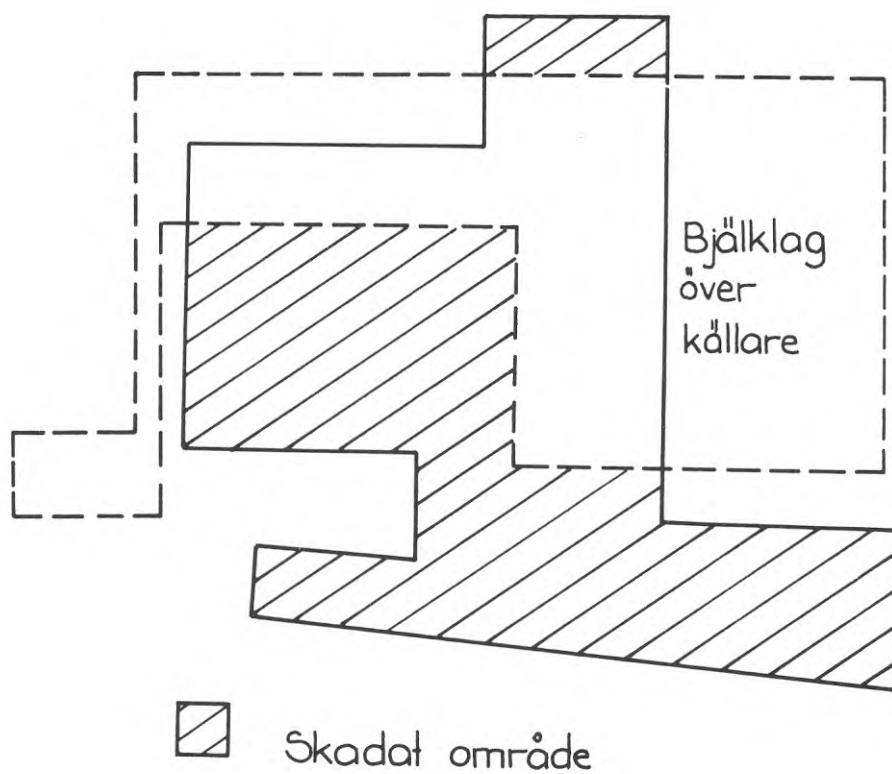


FIG. 40 Delamineringskadornas läge.

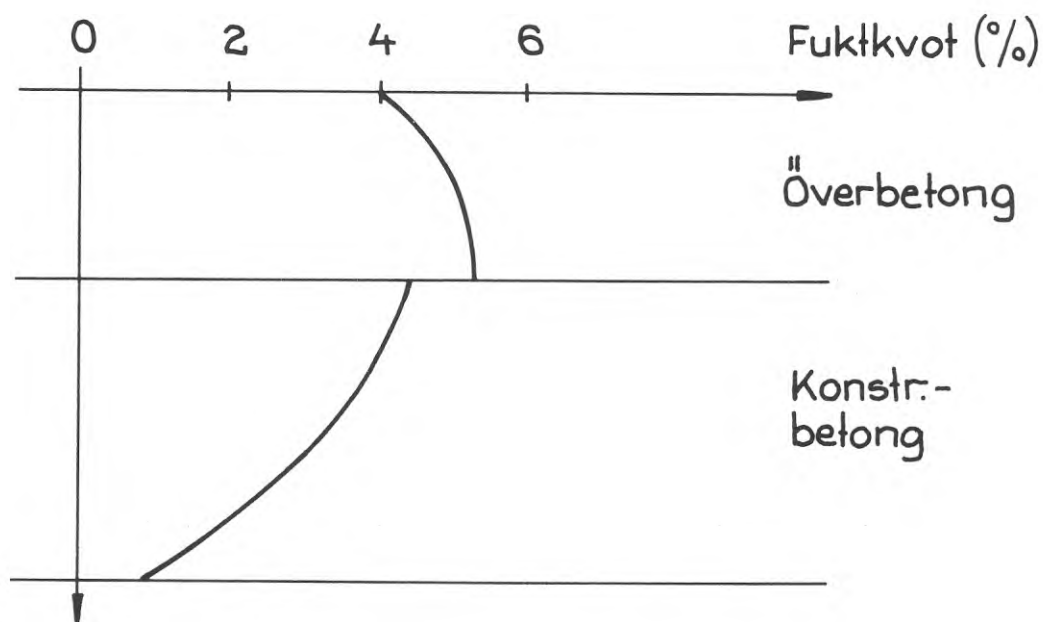


FIG. 41 Uppmätt fukttillstånd i bjälklag över källare 3 år efter golvläggning.

6.5 Temperatur- och fuktförhållanden i golvkonstruktionen

För hela det aktuella bjälklaget, såväl över källare som på mark, uppmättes i genomsnitt högre temperaturer på betongens undersida än på översidan. Detta är ett något ovanligt fall vad gäller bjälklag på jord, där man har en temperaturgradient med avtagande temperatur nedåt. I detta fall beror den omvända temperaturgradienten på värmeläckage från källaren ut i jorden.

I bjälklagen uttogs borrkärnor och fukttinnehållet mättes i betong och vid golv på jord även i underliggande sandmaterial. Ett genomsnitt av betongens fukttinnehåll för olika nivåer i bjälklag över källare resp. på mark redovisas i FIG. 41 och 42 och som referensvärde för bedömning av fukthalterna redovisas de båda betongkvaliteternas jämviktsisotermer i FIG. 43 och 44.

Sandmaterialalets kapilläregenskaper bestämdes genom kapillär jämviktsförsök enligt metod beskriven i avsnitt 1.3 och 8.4.

I FIG. 45 visas ett exempel på jämviktsfuktkurva, uppritad i ett dubbellogaritmiskt diagram. Kapillariteten hos materialet är $h_k = 17$ cm och $S_r = 0.10$, vilket motsvarar fuktkvoten $u_r = 2.3$ viktprocent. Vid uppmätning av hygroskopisk jämviktsfuktkvot vid 99 % RF erhöles fuktkvoten 2.9 viktprocent, dvs. praktiskt taget lika med u_r .

Eftersom kapillariteten $h_k = 17$ cm och skiktjockleken $h = 15$ cm har man ingen kapillärbrytande effekt hos sandlagret.

6.6 Golvplattornas täthet och fuktbetingade rörelser

Vid mätningar av gummiplattornas diffusionstäthet kunde ingen fuktgenomgång uppmätas, varför plattorna kan anses vara fullständigt täta.

Plattornas fuktbetingade rörelser uppmättes enligt av Christer Bring (1968) anvisade provningsmetoder. Härvid erhöles vid mätning av rörelser på grund av varierande luftfuktighet resultat

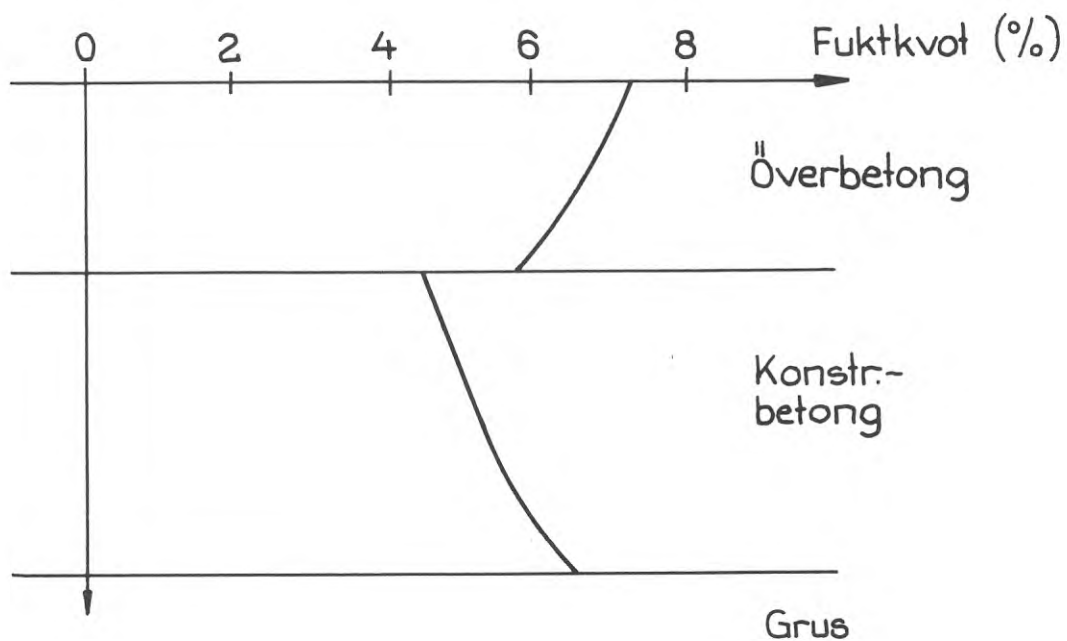


FIG. 42 Uppmätt fukttillstånd i bjälklag över mark 3 år efter golvläggning.

Jämviktsfuktkvot (viktprocent)

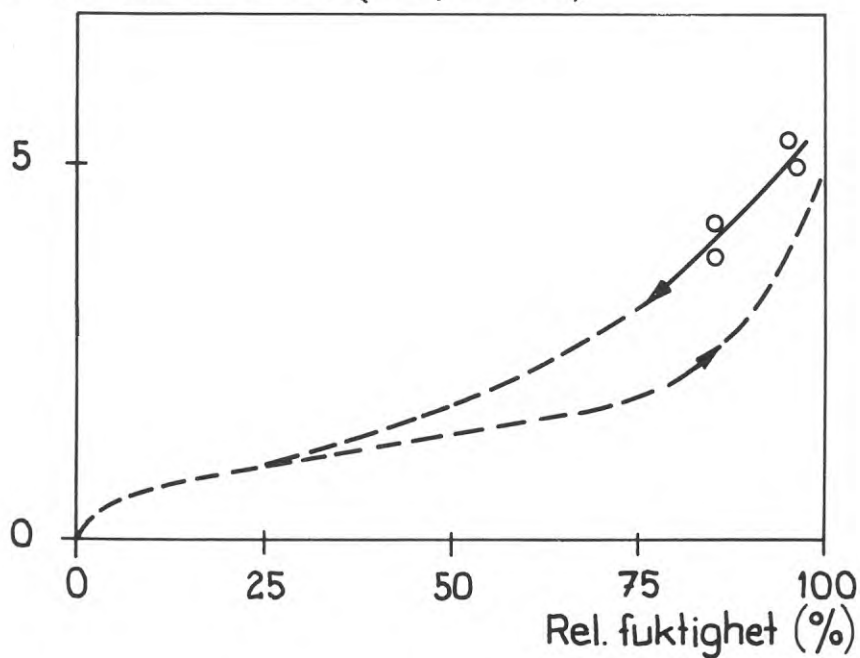


FIG. 43 Fuktisoterm för konstruktionsbetong.

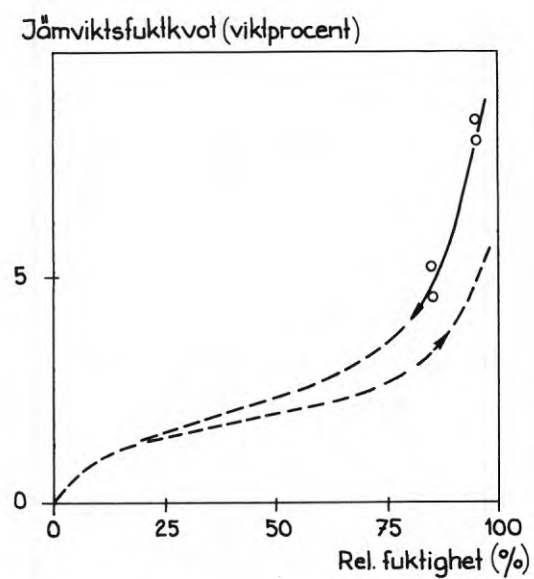


FIG. 44 Fuktisoterm för överbetong.

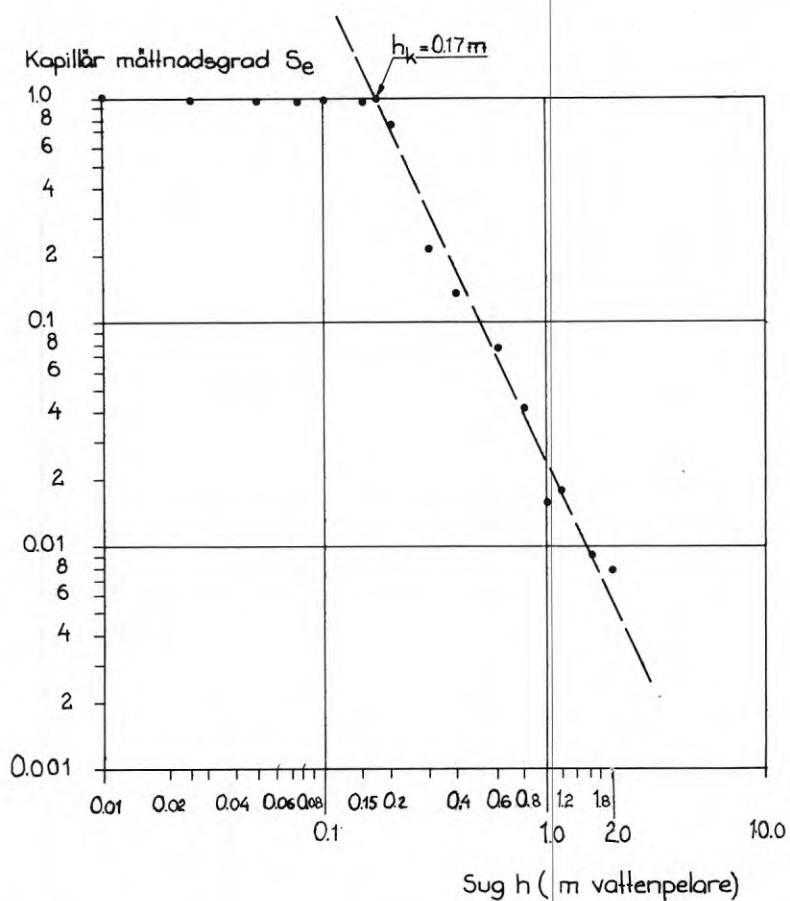


FIG. 45 Kapillär mättnadsgrad S_e som funktion av sug h för sand under bjälklag på jord.

enligt FIG. 46 och vid mätning av rörelser i samband med vattenlagring resultat enligt FIG. 47.

6.7 Analys av fukttillstånd i golven

6.7.1 Fukttillstånd i golv på mark

Golvplattorna lades ca 5-8 mån. efter gjutningen av betonggolven och eftersom ingen speciell uppvärmning anordnats har luftfuktigheten varit omkring 80-90 % RF under denna tid. Uttorkningen hos betongen har alltså med all säkerhet varit ringa och huvudsakligen orienterad till ytskiktet. Vid läggningen av plattorna har fuktfördelningen i undergolvet enligt våra överväganden troligen varit enligt FIG. 48. Dessa fuktkvoter är uppskattade med utgångspunkt från att överbetongen är en K 250 och konstruktionsbetongen en K 200 med ca 80 % hydratationsgrad. Denna uppfattning baserar sig framförallt på de resultat som erhållits vid jämviktsfuktkvotbestämningarna på betongen.

I FIG. 48 är även inlagda de uppmätta fuktkvotsvärdena tre år efter plattläggningen enligt FIG. 42.

När de helt täta golvplattorna limmas på undergolvet avbryts uttorkningen. Någon uttorkning nedåt kan ej ske, då relativa fuktigheten är ca 100 % i den underliggande sanden. En utjämning av fukttillståndet kommer efter hand att ske i betongen. Fuktkvoten omedelbart under plattorna kommer återigen att stiga, dock ej till lika höga värden som ett stycke in i överbetongen, eftersom jämviktsfuktkvoterna vid absorption är lägre än vid desorption (se FIG. 43). Mätningarna visar emellertid inte bara en ökad fuktkvot i det översta skiktet utan även en höjning av fuktinnehållet i hela undergolvkonstruktionen. Fukt måste alltså ha tillförts betongen.

De gjorda observationerna ger två troliga orsaker, som tillsammans med den höga fukthalten vid golvläggningen båda är verk samma vid uppkomsten av det aktuella tillståndet, nämligen:

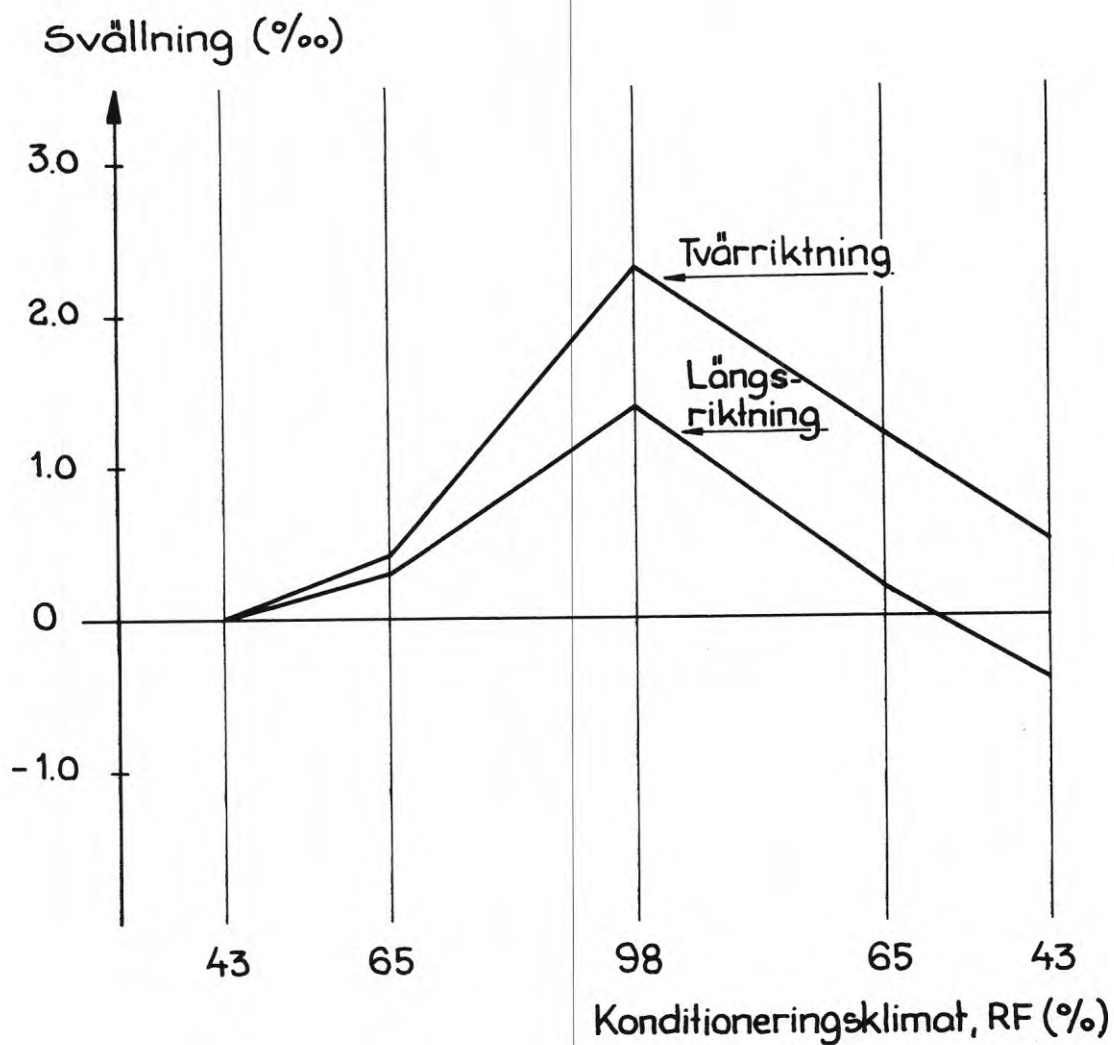


FIG. 46 Gummiplattornas rörelse vid varierande luftfuktighet.

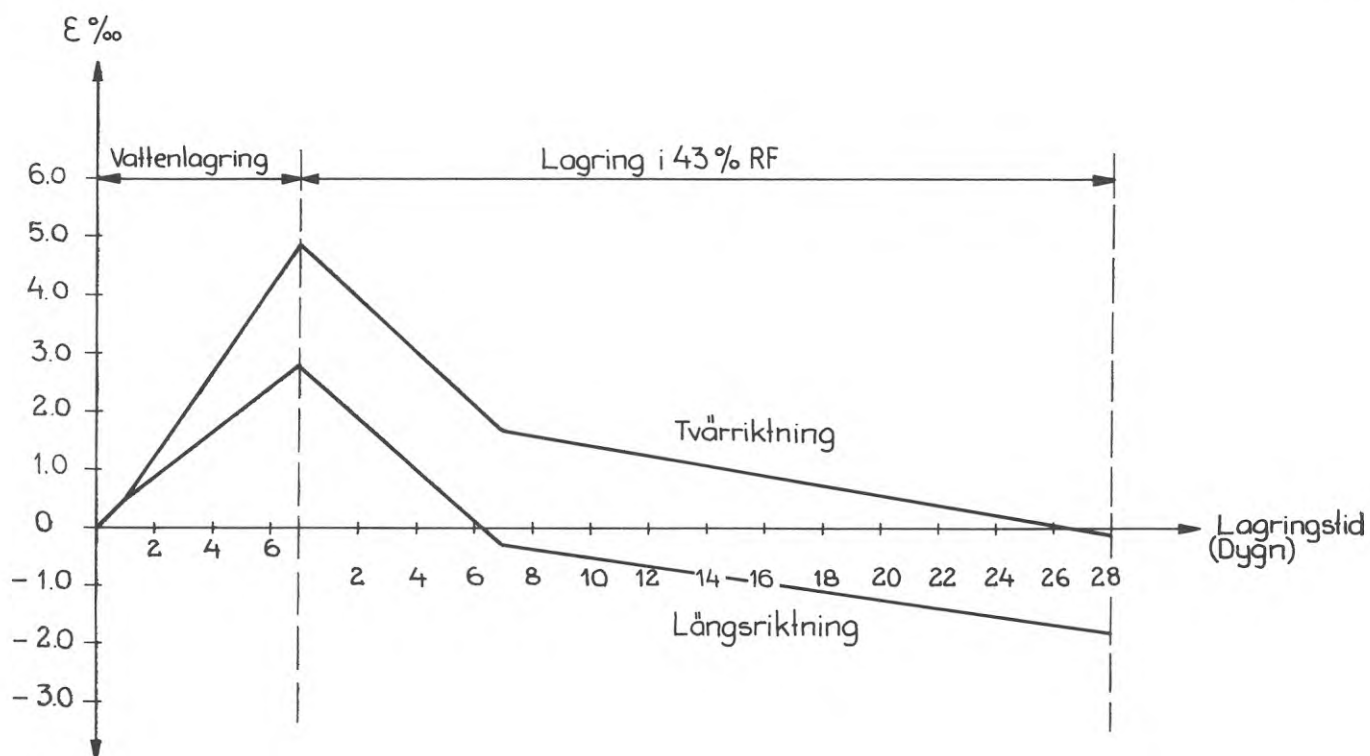


FIG. 47 Gummiplattornas rörelse vid vattenlagring och efterföljande uttorkning.

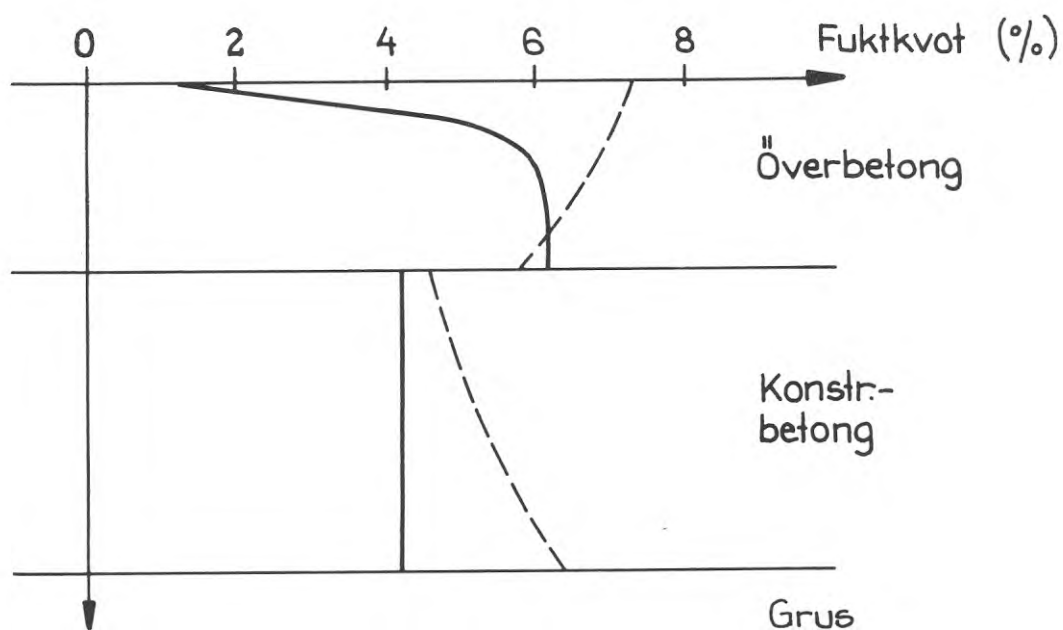


FIG. 48 Fukttillstånd vid läggning av övergolv på bjälklag på mark. (Fuktkvoter enligt FIG. 42 inlagda).

- a. Beskaffenheten av materialet under betongen.
- b. Temperaturfördelningen i konstruktionen.

Enligt SBN 67, 32:2331 godtas som kapillärbrytande skikt ett 15 cm tjockt skikt av grus, om gruset inte innehåller fraktioner som vid siktning i naturfuktigt tillstånd passerar maskvidden 2 mm. Siktkurvorna på de upptagna proverna visar emellertid, att den övervägande delen av materialet har en kornstorlek som understiger 0.5 mm. Kapillaritetsbestämningarna visar även att den uppgrävda sanden har dålig kapillärbrytande förmåga. Det ökade fukttinnehållet, hos främst konstruktionsbetongens underdel, beror troligen på en kapillär uppsugning i sanden till betongens undersida.

Mätningarna visar att på vissa golvavsnitt under vissa tidsperioder temperaturen kan vara upp emot 1°C högre på undersidan än på översidan av betongen. Detta förhållande är något ovanligt, men eftersom källaren har en temperatur som med 2-3 grader överstiger den i varuhuset är det möjligt. Framförallt marken intill källaren kommer att tillföras värme från källaren. Även sänkningen av temperaturen i varuhuset med ett par grader under natten innebär, i synnerhet under vinterhalvåret, att ett omvänt temperaturförhållande kan uppkomma.

Detta temperaturförhållande ger upphov till en fukttransport uppåt med åtföljande kondensation under de täta golvplattorna. Med en halv grads temperaturdifferens, verkande under tre års tid erhålls följande vattenmängd upptransporterad under golvplattorna:

$$G = \frac{k_d \cdot t \cdot (p_1 - p_2)}{d} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 0.5}{0.1} \approx 1 \text{ kg/m}^2$$

k_d = permeabiliteten för vattenånga (se Bygg II, tab. 2:2)
g/h·m·mmHg

t = tiden i timmar

$(p_1 - p_2)$ = partialtrycksskillnaden, mmHg beräknad med 100 %
RF under konstruktionsbetongen

d = tjockleken i m

Om denna vattenmängd tillförs den 5 cm tjocka överbetongen innebär det en fuktkvotshöjning i medeltal med

$$\frac{1}{2300 \cdot 1 \cdot 0.05} \approx 0.9 \text{ viktprocent}$$

Detta överensstämmer med FIG. 41.

De rådande temperaturförhållandena ger alltså en fuktanrikning under golvbeläggningen. Denna fuktanrikning hade skett oberoende av beskaffenheten hos materialet under betongen. Om övergolvet hade bestått av ett material med viss permeabilitet, t.ex. en ordinär plastmatta med $k_d = \text{ca } 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ g/h, m}^2 \text{ mmHg}$, hade inte någon ansamling av fukt skett i överbetongen. Med 90 % relativ fuktighet i betongen och 50 % i varuhuset hade följande vattenmängd transporterats genom golvbeläggningen under 3 år:

$$G = 0.01 \cdot 3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 0.4 \cdot 17.5 \approx 1.8 \text{ kg/m}^2$$

En viss uttorkning av betongen uppåt hade alltså även kunnat ske.

6.7.2 Fukttillståndet i golv över källare

På samma sätt som ovan hade undergolvet torkat något vid tidpunkten för golvläggning, här dock från två ytor. Fuktfördelningen har troligen sett ut som i FIG. 49, vilket skall jämföras med de uppmätta värdena enligt FIG. 42. En utjämnning av fukttinnehållet i överbetongen, samt en viss uttorkning framförallt av konstruktionsbetongen har skett. Trots detta är fukttinnehållet i överbetongen fortfarande högt. De uppmätta fuktkvoterna motsvarar jämvikt med ungefär 90 % relativ fuktighet, alltså på gränsen till vad som kan tillåtas.

Enligt mätningarna är temperaturen 20-21°C och relativa fuktigheten 50-60 % i medeltal under året i källaren. Med en golvtemperatur på ungefär 18°C erhålls då en relativ fuktighet på 70-80 % under den täta beläggningen. Med de rådande temperaturförhållandena kommer fukttinnehållet hos överbetongen inte att kunna

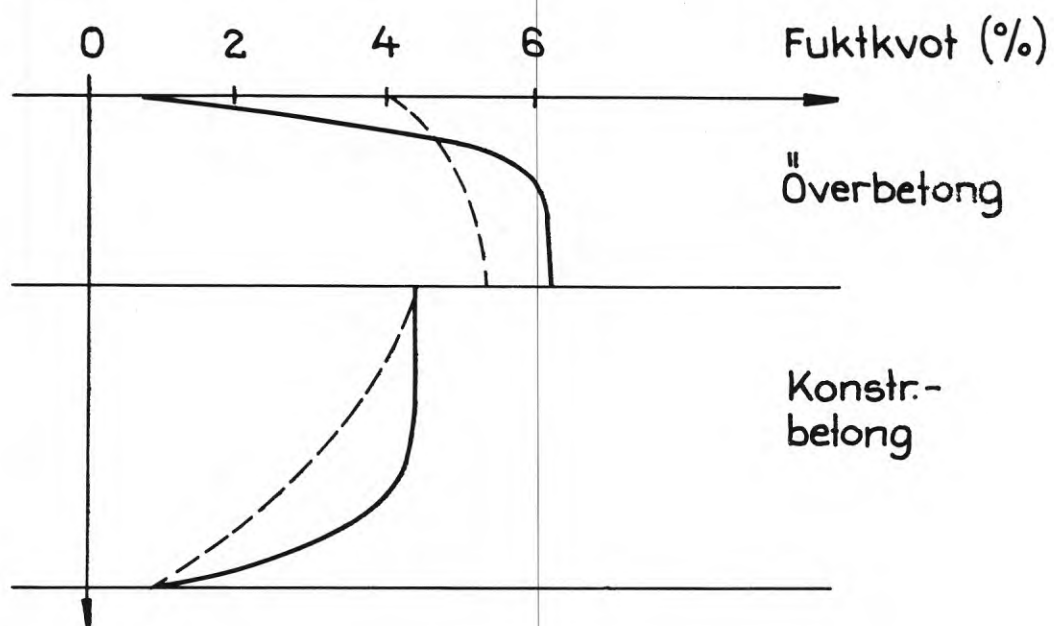


FIG. 49 Fukttillstånd vid läggning av övergolv på bjälklag över källare (Fuktkvoter enligt FIG. 41 inlagda).

komma under denna nivå. Detta förhållande gör att överbetongen torkar mycket sakta. Temperaturgradienten motverkar alltså uttorkningen i viss utsträckning.

6.8 Skadeorsaker

De två skadetyperna bubblor, som leder till lossning av plattor, och delamineringsskador, har något olika fördelning över de båda golvtyperna. Delamineringsskadorna är helt lokaliserade till golv på mark, medan den första typen av skada även i någon utsträckning förekommer på golv över källare. Båda typerna av skador har med all säkerhet orsakats av den mycket fuktiga miljön som vid golv på mark karakteriseras av fukthalten ovanför det hygroskopiska området dvs. med förekomst av fritt vatten, medan golv över källare befinner sig under uttorkning och är inom det hygroskopiska området. Skillnaderna i skadefrekvens för de båda golvtyperna måste hänföras till skillnaderna i fuktillstånd.

Hög fukthalt i miljön kan orsaka vidhäftningsbrott av två skäl, nämligen

förbandet (limmet) försvagas av hög fukthalt och alkalisk omgivning

plattan har stark tendens att svälla, vilket ger påfrestningar på förbandet

Om förbandet brister så uppstår en bubbla på grund av att plattan har svällt. Påfrestningen på förbandet uppstår av att plattan vill svälla av trafik på golvet och av skjuvspänningskoncentrationer vid fogar och sprickor i underlaget.

Golv över källare har kunnat torka nedåt och befinner sig alltså jämt under uttorkning. I golv på mark har ingen möjlighet till uttorkning förelegat från det att golvet täcktes med de täta plattorna. Golvet var redan då mycket fuktigt. Gynnsamma temperaturförhållanden har fört upp vatten mot övre ytan där kondensation skett. Man kan beräkna en möjlig fuktkvotstegring med 3

viktprocentenheter under de tre år golvet varit i bruk, och detta är ungefär differensen mellan de två golvtypernas fukttillstånd. Därvid har sanden under golvet antagits vara i jämvikt med 100 % RF. I verkligheten har sanden varit fuktigare, enär den ej är tillräckligt kapillärbrytande.

För andra delen av konstruktionsbetongen har uppmätts synnerligen varierande och ofta hög fuktkvot, troligen beroende på kapillärtransport från sanden. Om fukttillförseln skulle ha hejats måste en fuktspärr ha inlagts ovanpå överbetongen. Att anordna fuktspärr mellan konstruktionsbetong och sand skulle troligen inte ha varit tillräckligt för att eliminera skaderisken. Skador skulle ha inträffat även om sanden hade varit tillräckligt kapillärbrytande. Det förtjänar påpekas att en plastmatta normalt har en sådan permeabilitet att den troligen inte skulle ha givit upphov till här konstaterad fuktanrikning.

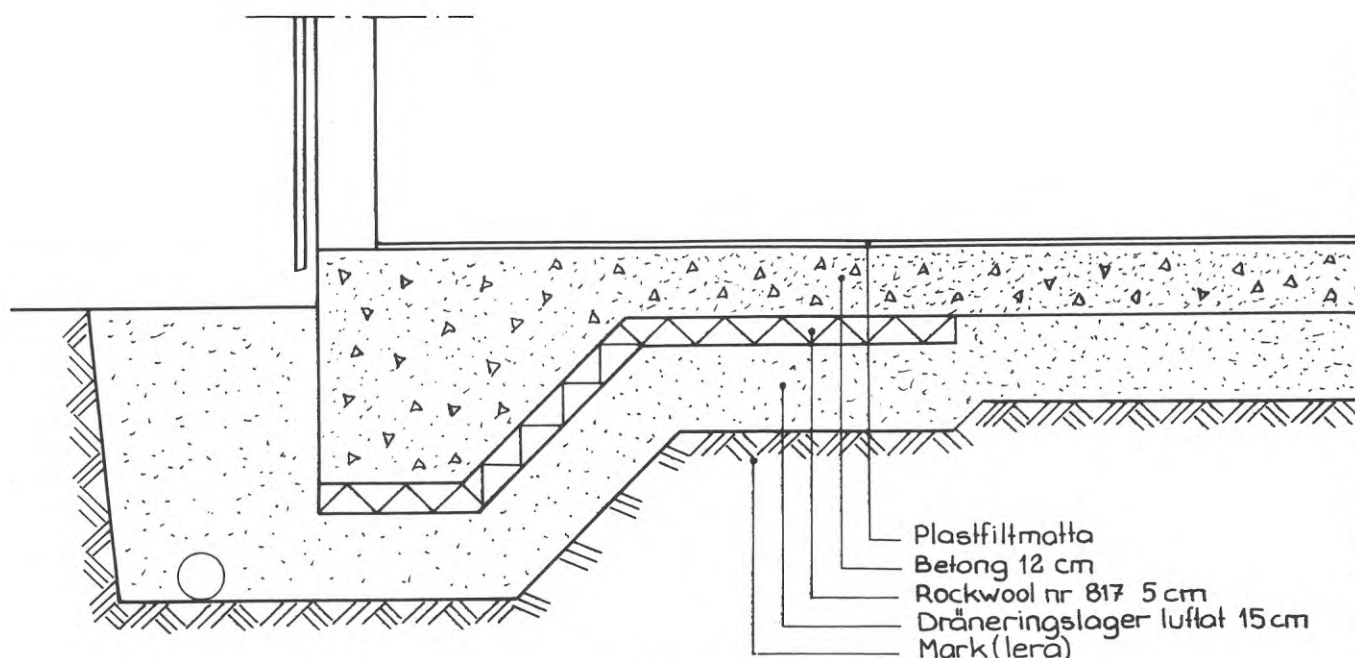


FIG. 50 Principritning på bjälklagets utformning.

TABELL 6 Data för de tre husen.

	Hus		
	A	B	C
Tidpunkter:			
Bjälklagsgjutning	02.07.68	12.09.68	28.10.68
Stommontage	13.08.68	26.09.68	04.11.68
Golvbeläggning	02.10.68	06.11.68	15.01.69
Inflyttning	18.10.68	22.11.68	28.02.69
Fuktprov	18.09.69	18.09.69	19.09.69
Fuktkvot vid golvläggning uppmätt enl. CM-metod	2.4 %	2.2 %	3.2 %
Betongkvalitet	K250 fin T	K250 ärt T	K300 ärt T 1.5 % CaCl ₂
Golvbeläggning:			
I sovrum	Plastfilt- matta	Plastfilt- matta	Plastfilt- matta ¹⁾
I förråd	Betong	Betongfärg	Betong + plastbruk- skikt

1) Betongplattan struken två gånger med neoprenprimer

7 FUKT I BETONGBJÄLKLAG PÅ JORD

7.1 Inledning

Grundläggning med betongplatta i kontakt med jord är ganska vanlig i Sverige. Tidigare har man i regel värmeisolerat på ovansidan, men av produktionstekniska skäl vill man numera ofta värmeisolera under plattan. Om jorden består av lera så är det enligt Svensk Byggnorm 67 (SBN 67) tillräckligt att värmeisolera en yttre randzon på 1 m bredd medan plattans inre delar kan lämnas oisolerade.

I det aktuella fallet hade plattan (och isoleringen) lagts på ett makadam - eller singellager som vid sockeln står i förbindelse med uteluften. Man ville ett år efter byggandet få en bild av fuktförhållandena i konstruktionen, delvis för att uppfylla ett löfte till byggnadsnämnden.

7.2 Bjälklagskonstruktionen

Bjälklaget består enligt ritningarna av en ca 120 mm tjock betongplatta som kantförstyvats vid sockeln - se FIG. 50. Inom en zon med bredden 1100 mm från sockeln har man under betongen anbringat en 50 mm tjock värmeisolering, Rockwoolskiva nr. 817. Dräneringslagret skall ha en minimitjocklek = 150 mm. På betongplattan har man i sovrumsrum lagt en plastfiltmatta. I ett uppvärmt förrådsutrymme inom bostadsdelen har inte lagts någon golvbeläggning. Denna del har använts som t.ex. hobbyrum och man har uppgivit att detta rum i regel inte varit mer än några grader kallare än bostadsutrymmena.

7.3 Undersökningens utförande

I tre villor bestämdes fuktkvoter dels i sovrumsrum dels i uppvärmt förråd. På båda ställena togs prov dels 800 mm från sockeln dvs. inom den värmeisolerade zonen dels 2100 - 2400 mm från sockeln dvs. inom den oisolerade delen av bjälklaget. Gjutdata, golvbeläggning samt fuktkvoten före golvbeläggningen redovisas för de undersökta husen (A,B,C) i TAB. 6.

Vid provtagningen avlägsnades eventuell golvbeläggning och betongen bilades upp så att fuktprov erhöles på olika djup i betongplattan. Vidare togs fuktprov i ev. värmeisolering, i dräneringslagret och i jordens övre del.

7.4 Fuktkvoter i bjälklag utan golvbeläggning

De uppvärmda förråden i hus A - C har som nämnts ingen golvbeläggning. I huset B har golvet dock målats med betongfärg. Fuktkvotsfördelningen visas i FIG. 51 för den yttre, värmeisolerade delen av bjälklaget och i FIG. 52 för den inre, oisolerade delen. Man ser att fuktkvoten i golvytan är 1.5 - 3 viktprocent. Detta motsvarar jämviktsfuktkvoten vid ca 40 - 75 % relativ fuktighet i omgivande luft vilket är en trolig relativ fuktighet inomhus i september månad, då fuktproven togs.

Man ser vidare av FIG. 51 att fuktkvoterna längre ner i plattan är upp till 7 viktprocent med tydlig tendens till uttorkning i betongplattans underkant. Fuktkvoterna i betongplattans inre oisolerade del visar (FIG. 52) högst fuktkvot längst ned i plattan i två fall.

Dräneringslagret har låga fuktkvoter i de fall man har makadam men förhållandevis höga fuktkvoter vid inblandning av grus (hus A). Lagrets kapillärbrytande effekt kan i det senare fallet ifrågasättas.

7.5 Fuktkvoter i bjälklag med plastfiltmatta

För sovrummen med plastfiltmatta visas fuktkvoterna i FIG. 53 och FIG. 54. Fuktkvoterna under golvbeläggningen är 3 - 6 viktprocent för hus A och B. Den genomsnittliga fuktkvoten (medelvärde över hela plattans tjocklek) ligger på ca 4 %, medan hus C visar en högre fuktkvot ca 6 %. Detta kan vara förvånande men är sannolikt att hänföra bl.a. till den högre cementhalten i betongen. Bergström & Ahlgren (1969) har visat att en mera cementrik betong har högre jämviktsfuktkvot när omgivande luftens relativa fuktighet är 90 - 100 % än en cementfattigare betong. Det är dock

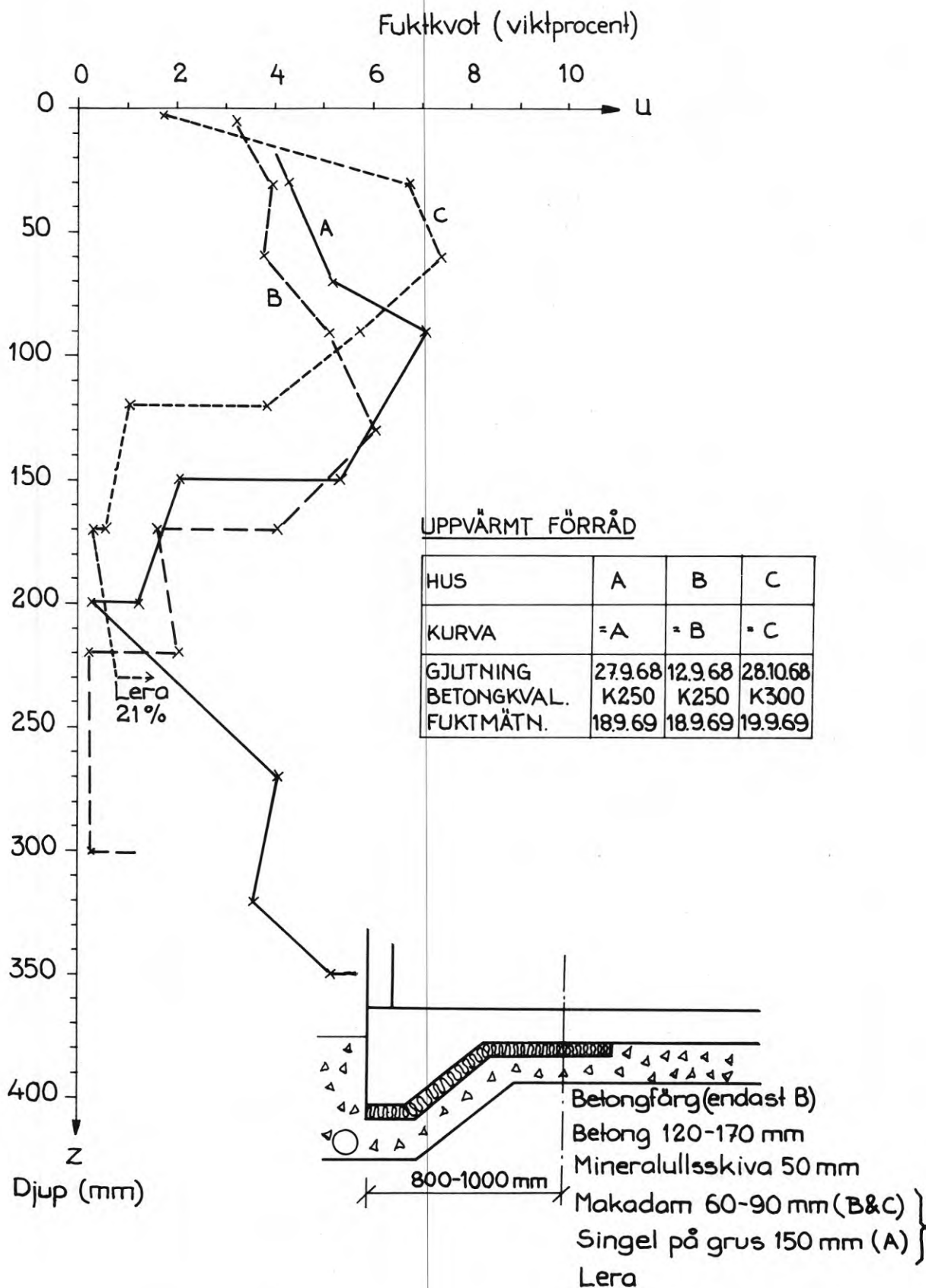


FIG. 51 Uppmätta fuktkvoter i uppvärmt förråd utan golvbeläggning, ca 0,8 - 1 m från sockels utsida.

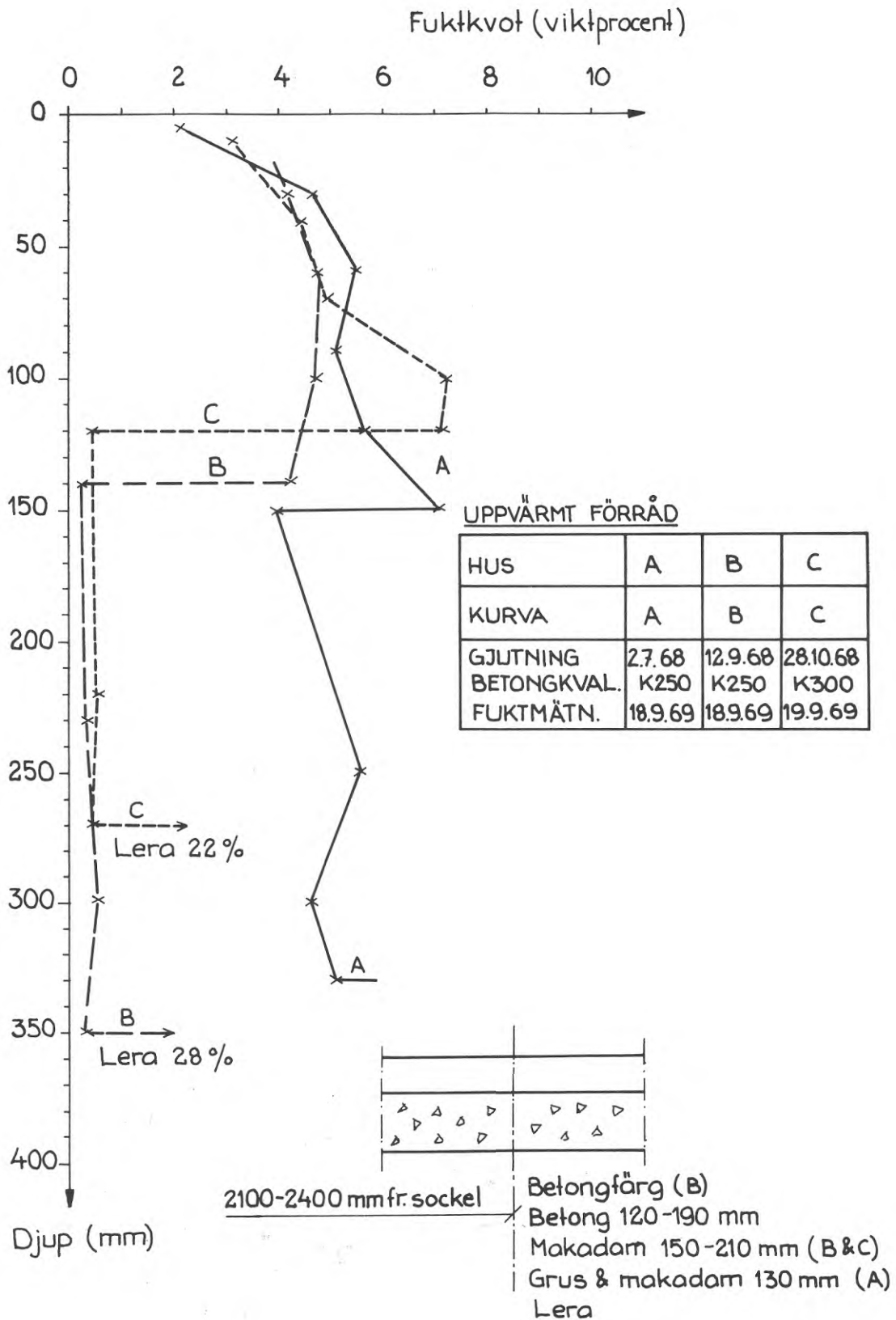


FIG. 52 Uppmätta fuktkvoter i uppvärmt förråd utan golvbeläggning, ca 2,1 - 2,4 m från sockels utsida.

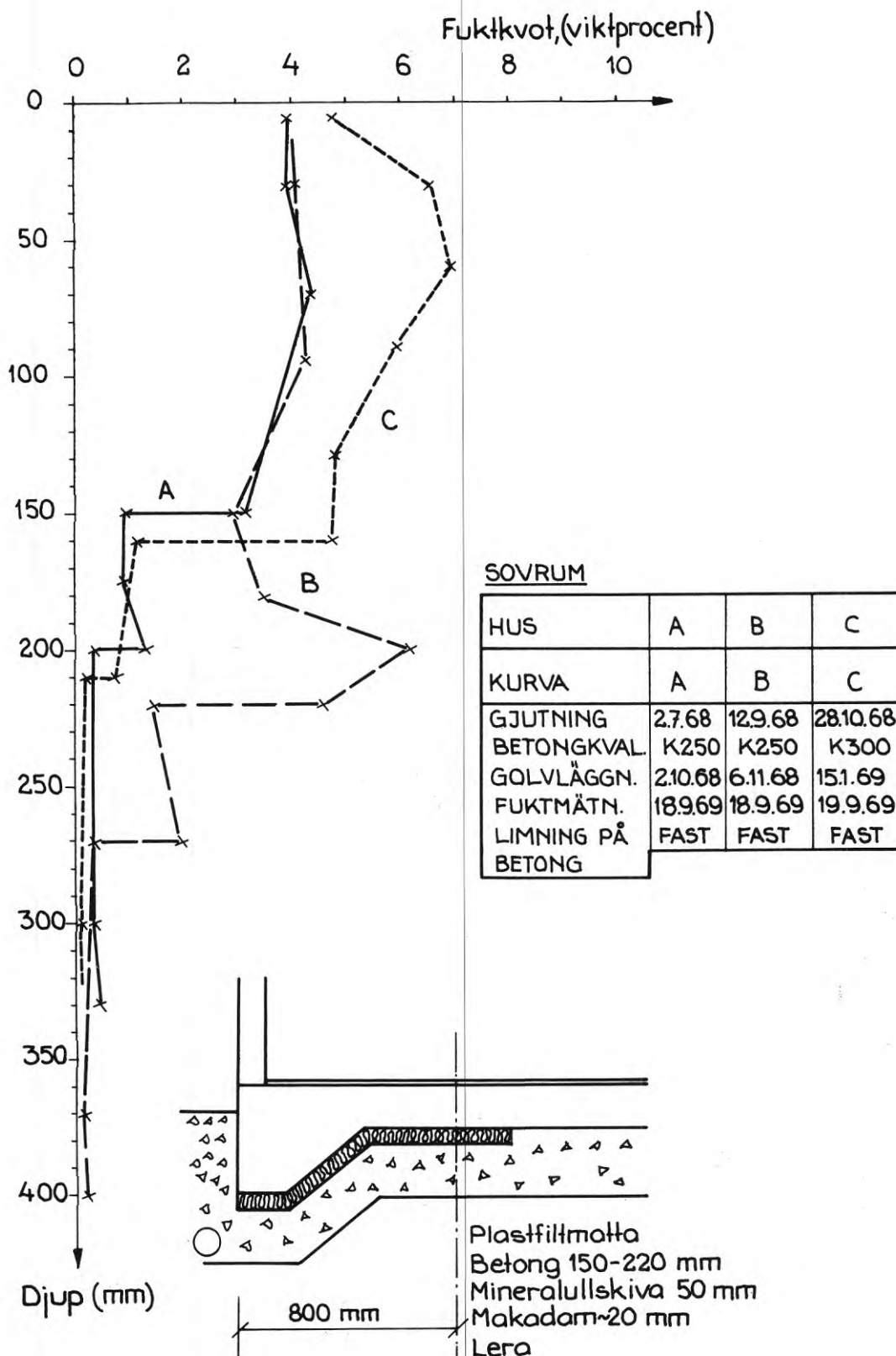


FIG. 53 Uppmätta fuktkvoter i sovrums med plastfiltmatta, ca 0,8 m från sockels utsida.

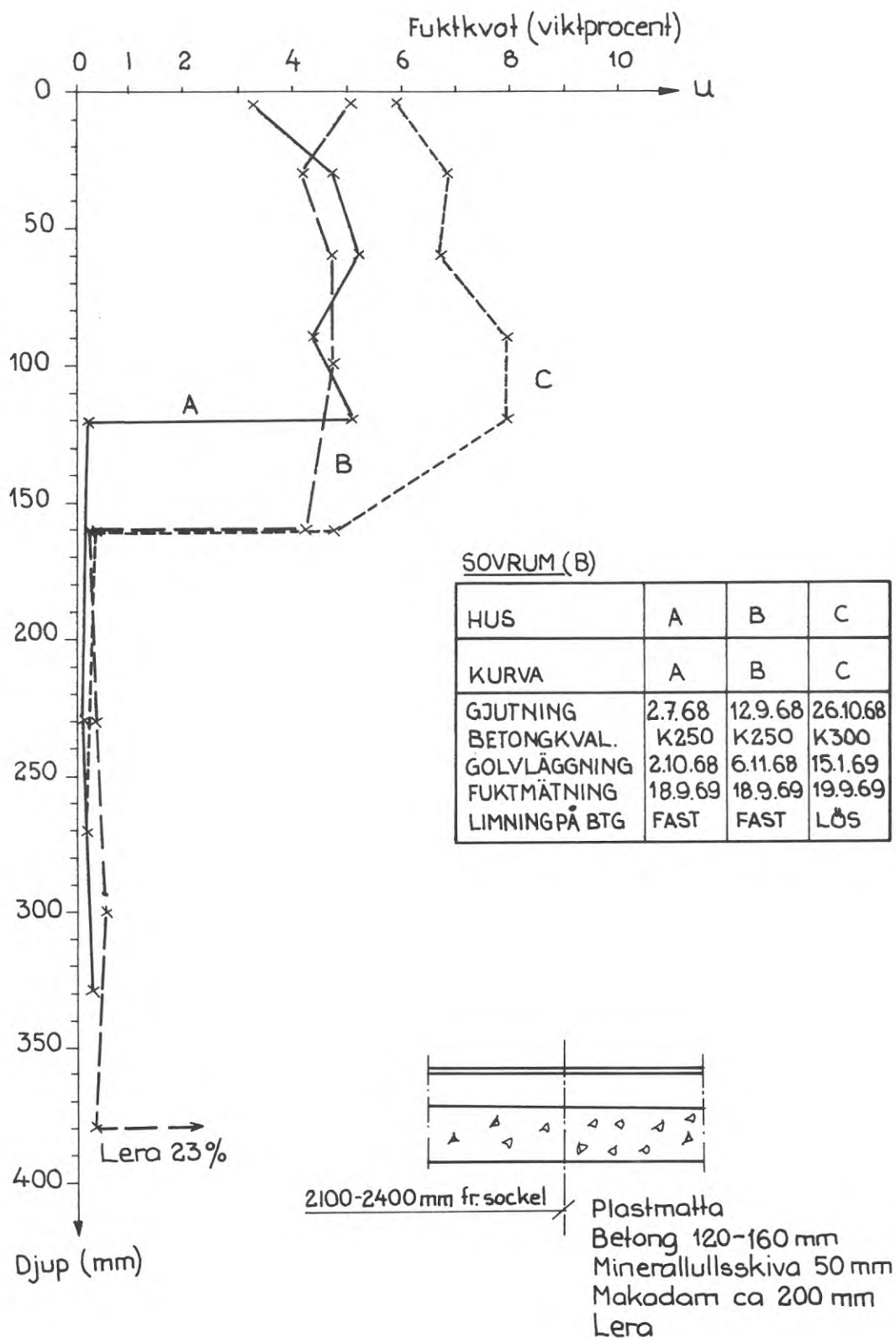


FIG. 54 Uppmätta fuktkvoter i sovrums med plastfiltmatta, ca 2,1 - 2,4 m från sockels utsida.

tveksamt om detta är hela förklaringen.

Någon tendens till uttorkning nedåt kan knappast skönjas av FIG. 53 och FIG. 54. Dräneringslagret har låga fuktkvoter.

I ett fall - hus C - har golvbeläggningen lossnat från betongen mitt i sovrummet. I detta fall har också den högsta fuktkvoten i betongytan uppmätts (ca 6 %).

7.6 Fuktkvoter i jord

Fuktkvoterna i leran har varierat mellan 21 och 28 viktprocent, vilket antyder att jorden är nära nog kapillärt mättad med vatten.

7.7 Diskussion och slutsatser

- a) Betongplattorna utan golvbeläggning har fuktkvoter som i golvytan väl motsvarar jämvikt med luftens relativa fuktighet. Vid golv med plastfiltmatta är fuktkvoterna ungefär samma som plattans genomsnittliga fuktkvot. Den sänkning i fuktkvoten som erhöles före golvbeläggningen har återgått. Någon skillnad i genomsnittlig fuktkvot mellan bjälklag med och utan golvbeläggning kan ej visas trots att den vore väntad på grund av uttorkning uppåt. Det står vidare helt klart att fuktkvotsbestämningen med CM-metoden, som den tillämpats uppenbarligen inte givit någon anvisning om de fuktkvoter som erhålles under golvbeläggningen.
- b) Någon nämnvärd uttorkning nedåt kan heller ej visas. Man skulle vänta sig att det större värmeflödet under vintern vid plattans yttre delar skulle gett så stor temperaturdifferens över värmeisoleringen att den relativa fuktigheten i isoleringens övre del blev låg - se Adamson (1970), vilket skulle ge möjlighet till uttorkning. Samma möjlighet finnes inte för plattans oisolerade del. Någon sådan tendens till skillnad i uttorkning kan ej visas.

Eftersom någon nämnvärd uttorkning nedåt ej kunnat påvisas efter ett år, så får man ställa sig tveksam till betydelsen att ventilera dräneringslagret vid sockelns utsida.

- c) Lim och golvbeläggning tål tydligvis fuktklimat motsvarande 5 viktprocent i betongen. Jämviktfuktkvoten 5 % motsvarar en relativ fuktighet av 95 - 98 %. När fuktkvoten blev 6 % så lossnade dock golvbeläggningen. Säkerhetsmarginalen var således liten.
- d) Mått på ritningar har sällan sin motsvarighet i verkligheten. Betongplattans 120 mm blev i verkligheten 120 - 220 mm och dräneringslagrets 150 mm blev 60 - 200 mm.

8 FUKT I KÄLLARE

8.1 Inledning

I ett område med källareförsedda villor hade enligt uppgift fritt vatten under första sommaren uppträtt på källargolvet. Vid undersökningstillfället - september 1970 - fanns det inget fritt vatten på golvet men det fanns mörkare fuktiga partier på betonggolvet och källarväggarnas nedre del. Fuktbläckarna förekom i huvudsak i den del av källaren som hade kontakt med den utvändiga källartrappan. I vissa fall kunde även mögel observeras.

Det befarades att markfukt trängt upp genom betonggolvet och bildat en fri vattenyta på golvet.

8.2 Konstruktion

Källargolvet består enligt ritningar av 120 mm betong på ett dräneringslager av grus med nominell tjocklek = 150 mm. I verkligheten varierade vid de sex provgroparna betongplattans tjocklek mellan ca 90 mm och ca 160 mm medan dräneringslagrets tjocklek varierade mellan ca 150 mm och ca 250 mm.

Källarväggarna består av 200 mm betong.

8.3 Provtagning

I tre av villorna som haft fuktproblem bilades betonggolvet upp och prov på betongen togs på olika djup. Vidare togs prov på dräneringslagret på olika djup liksom även på jorden under dräneringslagret. Dessa prov inneslöts lufttätt och deras fuktkvoter bestämdes. I hus K togs i månadsskiftet september-oktober tre "provgropar" enligt FIG. 55, i hus J två gropar enligt FIG. 56 och i hus R två gropar enligt FIG. 57. I hus K togs i början av november i samband med ett kraftigt regn ytterligare en grop, märkt D i FIG. 55.

För att närmare undersöka dräneringslagrets kapillära egenskaper

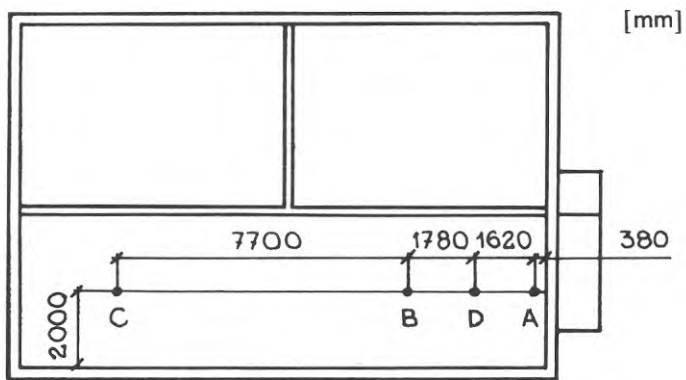


FIG. 55 Punkter för provtagning i hus K.

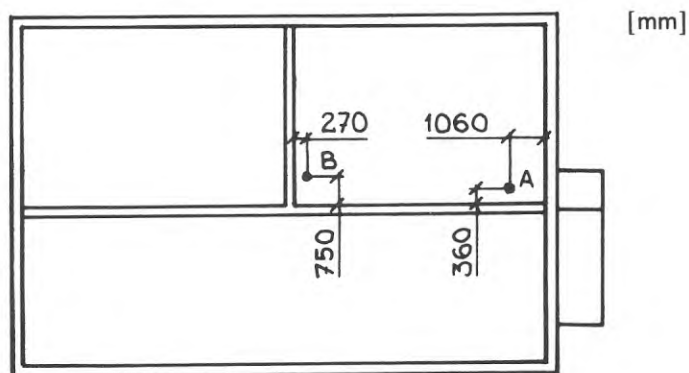


FIG. 56 Punkter för provtagning i hus J.

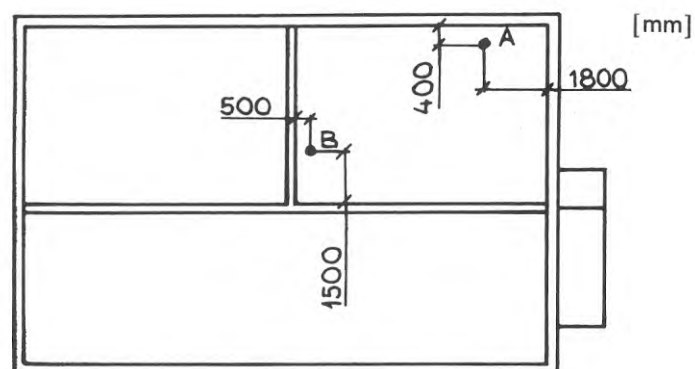


FIG. 57 Punkter för provtagning i hus R.

togs ca 2 kg grus från varje hus.

Vid upptagning av provgroparna har temperaturen mätts i luften i underkant av betongplattan och i underkant av dräneringslagret.

8.4 Dräneringslagrets kapillära egenskaper

Dräneringsgrusets jämviktsfuktkvoter har bestämts vid olika sug. Proven har vid små sug lagts på en porös platta i botten av en tratt som visats i FIG. 12. Vid större sug (större värde på h) har sugapparaten av en annan typ använts. I FIG. 58 visas ett "batteri" av sugapparater. Där har en del av suget åstadkommit genom en kvicksilvertrycksskillnad som verkar på en flaska med vatten i botten. Trattens porösa skiva står i vattenförbindelse med vattnet i flaskans botten. Det sug som åstadkommes blir då

$$h = h_0 + 13.6 h_1 \quad (\text{m vattenpelare})$$

där h_0 är höjdskillnaden mellan provets mitt och vattenytan i flaskan och h_1 är tryckskillnaden i m kvicksilverpelare.

Proven utsättes för sug under 3 - 4 dygn, varefter jämviktsfuktkvoten bestäms. I TAB. 7 visas uppmätta jämviktsfuktkvoter vid olika sug. Jämviktsfuktkurvorna kan användas för bestämning av kapillariteten hos materialet i enlighet med de teorier som presenterats i KAP. 1.3.

I FIG. 59 är $S_r = 0.10$ vilket motsvarar en fuktkvot = 2.1 viktprocent. Vid denna fuktkvot bör således kapillärförbindelsen vara bruten. I detta fall är kapillariteten $h_k = 10$ cm.

För dräneringsmaterialet i de tre husen erhöles kapillariteten $h_k = 6 - 10$ m.

8.5 Fuktkvoter i bjälklaget

Fuktkvoterna för betong, grus och jord visas i FIG. 60 - 62 för de tre husen.



FIG. 58 Bild av ett "batteri" med sugapparater för bestämning av kapillär jämviktsfukt.

TABELL 7 Jämviktsfuktkvoter vid desorption av grus som funktion av sug i m vattenpelare.

Sug i meter vattenpelare	Uppmätt jämviktsfuktkvot (viktprocent)								
	hus K			hus J			hus R		
	prov 1	prov 2	medelv	prov 1	prov 2	medelv	prov 1	prov 2	medelv
0.010	20.92	20.58	20.75	21.10	20.46	20.78	19.72	20.10	19.91
0.025	19.73	20.84	20.29	22.41	21.66	22.03	20.30	18.13	19.22
0.050	22.11	20.25	21.18	21.82	21.55	21.67	19.07	18.11	18.59
0.075	19.39	20.66	20.03	20.66	22.43	21.55	16.70	17.38	17.04
0.100	21.74	17.96	19.85	19.58	17.65	18.62	14.18	12.92	13.55
0.150	15.40	11.37	13.39	11.54	10.20	10.87	9.39	8.11	8.75
0.200	11.18	9.52	10.35	8.66	9.69	9.18	8.03	6.55	7.29
0.300	7.11	4.60	5.86	5.82	4.14	4.98	4.88	4.11	4.50
0.400	5.83	3.98	4.91	4.08	3.98	4.03	3.41	3.80	3.61
0.600	4.19	3.44	3.82	4.39	3.79	4.09	3.39	3.14	3.27
0.800	3.67	3.24	3.46	3.12	2.49	2.81	3.90	2.02	2.96
1.00	3.21	2.64	2.93	2.55	2.80	2.68	2.60	2.74	2.67
1.20	3.41	2.77	3.09	2.94	2.74	2.84	2.54	2.48	2.51
1.60	3.42	3.21	3.32	2.70	2.76	2.73	2.40	2.35	2.38
2.00	3.21	2.95	3.08	2.66	2.90	2.78	2.02	1.96	1.99

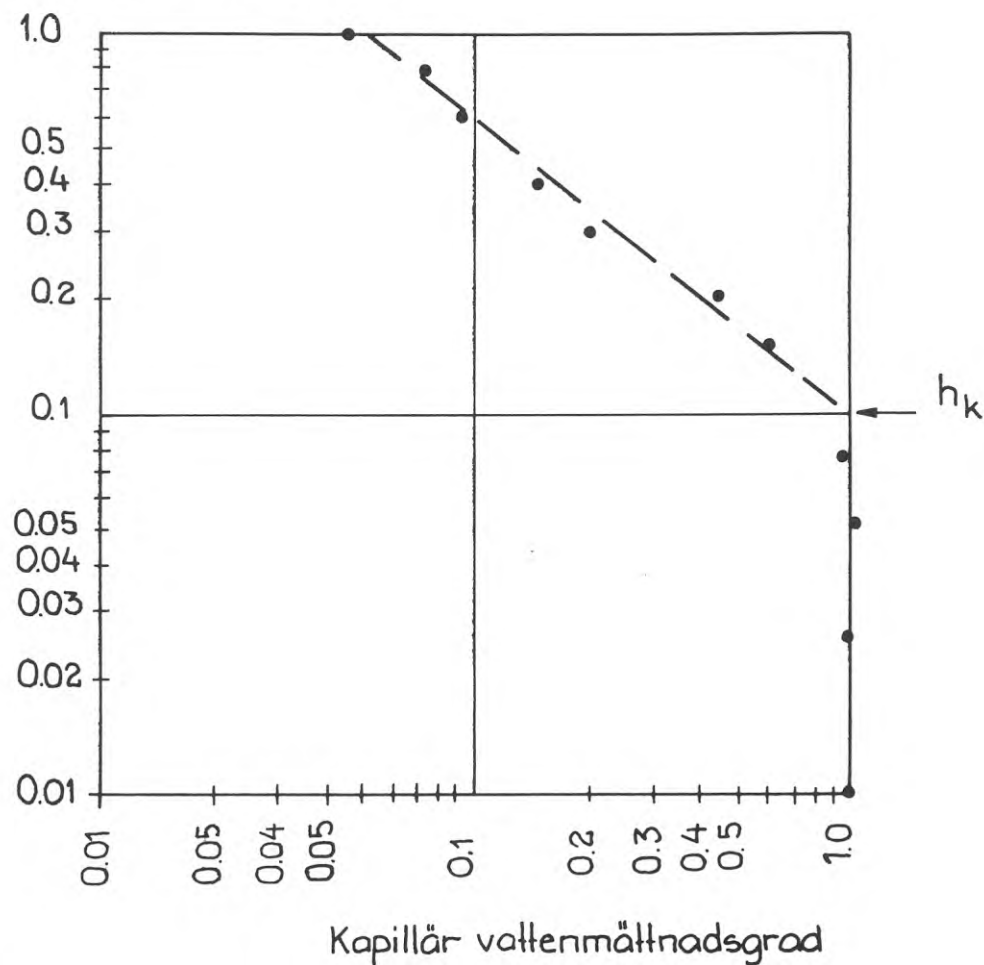
Sug h (m vattenpelare)

FIG. 59 Kapillär mättnadsgrad S_e som funktion av sug h gällande medelvärden för hus K.

TABELL 8 Uppmätta temperaturer i källare och bjälklag den 30/9 1970.

	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)						
	hus K			hus J		hus R	
	A	B	C	A	B	A	B
Rumsluften	14.8	14.9	15.2	14.9	15.7	14.2	14.3
Underkant betong	13.9	14.1	14.2	14.4	16.0	14.4	15.0
Underkant grus	13.5	14.0	13.8	13.9	15.4	13.8	14.6

Man ser av FIG. 60 att hus K har fuktkvoter i golvytan som är 5 - 7 viktprocent och att det inte är någon större skillnad i fuktkvot om golvet är till synes fuktigt (A och B) eller torrt (C). Längre ner i betongen är fuktkvoten 8 - 10 viktprocent. Gruset under betongplattan har fuktkvoter mellan 7 och 11 viktprocent. Detta motsvarar enligt TAB. 8 ett sug av $h = 0.2 - 0.3$ m vattenpelare och man har således en tänkt grundvattenyta endast någon dm ned i jorden.

Av FIG. 61 och 62 framgår att golvytans fuktkvot i tre fall är 5 - 6 viktprocent och i ett fall 3.5 %. I plattan är fuktkvoten 6 - 8 viktprocent och i gruset ca 3 viktprocent. Grusets fuktkvot motsvarar enligt TAB. 7 ett sug av ca 1 m, vilket således skulle vara en tänkt grundvattenytas nivå under dräneringslagret.

I samtliga fall har man en fuktkvot som ökar nedåt och man kan alltså förmoda att man har en uttorkning vid golvytan.

Den höga fuktkvoten i hus K ingav misstanke att vatten tillfördes dräneringslagret vid regn. Därför togs ett prov D efter ett kraftigt regn. Fuktkvoterna visas i FIG. 63. Man hade då en fri vattenyta 220 mm under betongplattan. De uppmätta fuktkvoterna jämförda med TAB. 7 verifierar också denna "grundvattenyta". Uppenbarligen tillfördes dräneringslagret regnvatten.

8.6 Diskussion

Den framförda tanken att fukten på golvet skulle härröra från markfukt motsäges av följande fakta:

- a) En vattentransport genom en homogen betongplatta så att en fri vattenyta bildas är inte möjlig vid normal betong. Om betongen innehåller sprickor skulle vatten under tryck kunna tillföras golvytan. Några sådana sprickor har ej observerats.
- b) De mot golvytan sjunkande fuktkvoterna tyder på en fort-

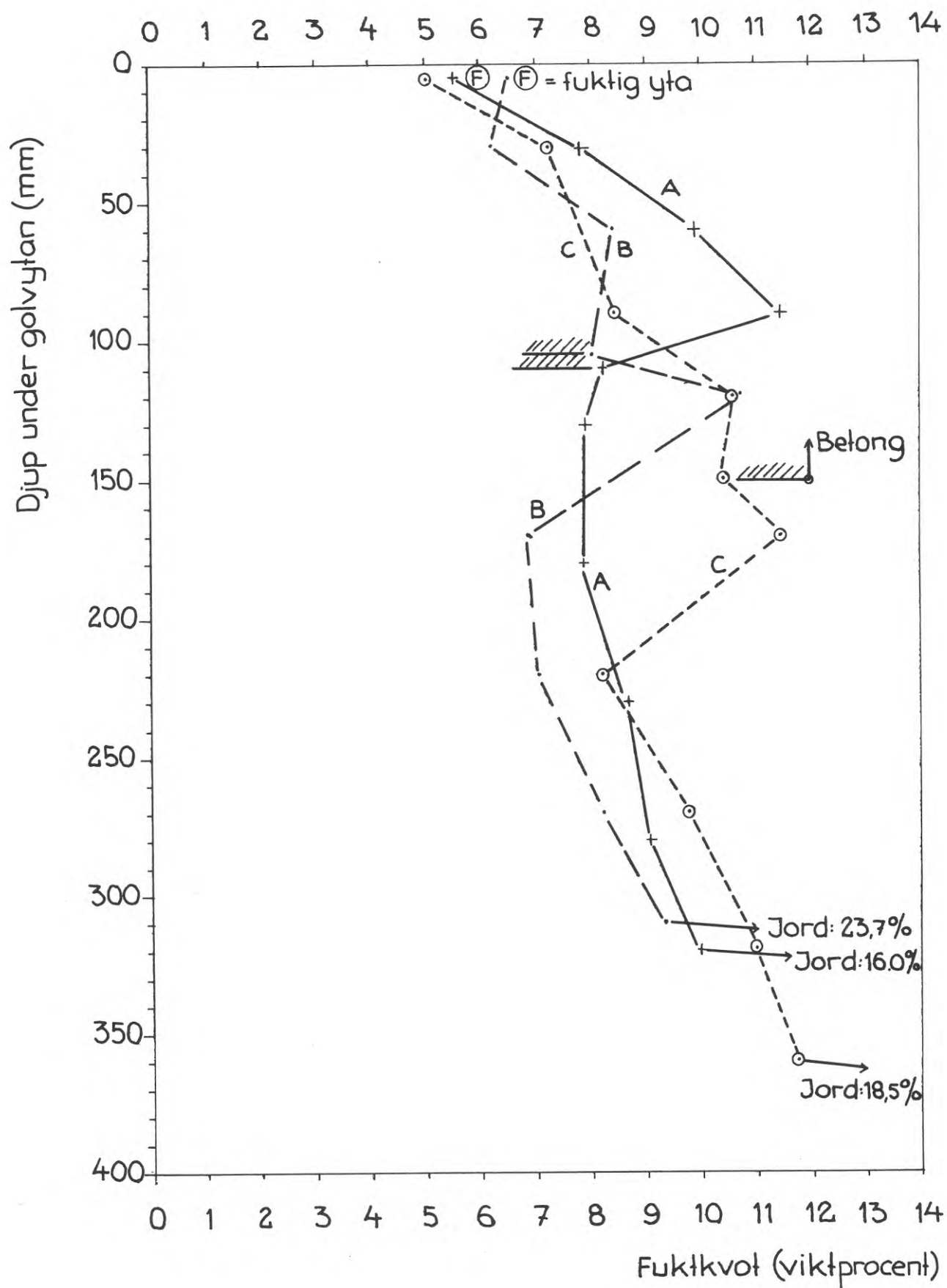


FIG. 60 Fuktkvotsfördelning för provställen A - C i hus K vid prov 30/9 1970.

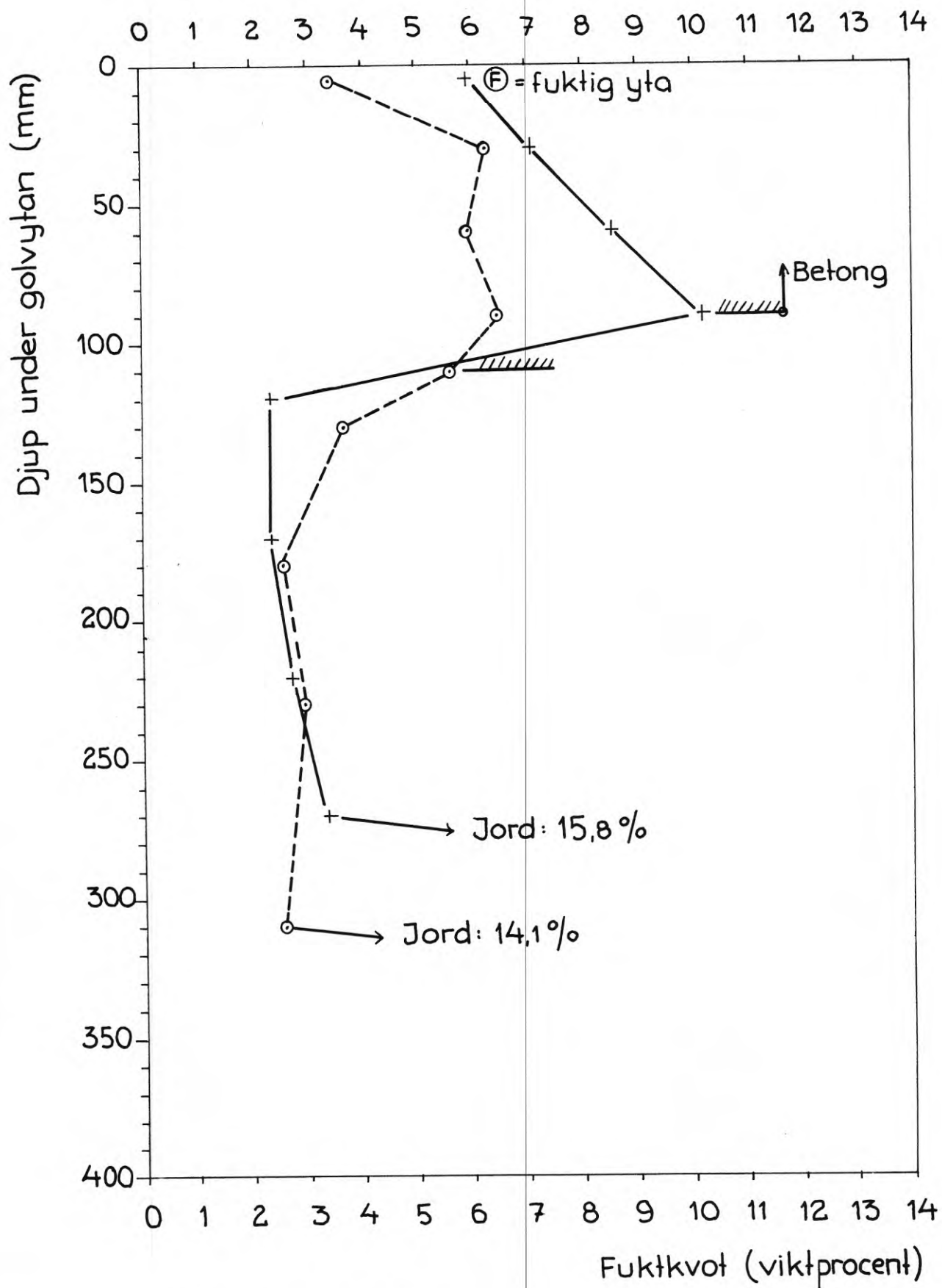


FIG. 61 Fuktkvotsfördelning för provställen A och B i hus J vid prov 30/9 1970.

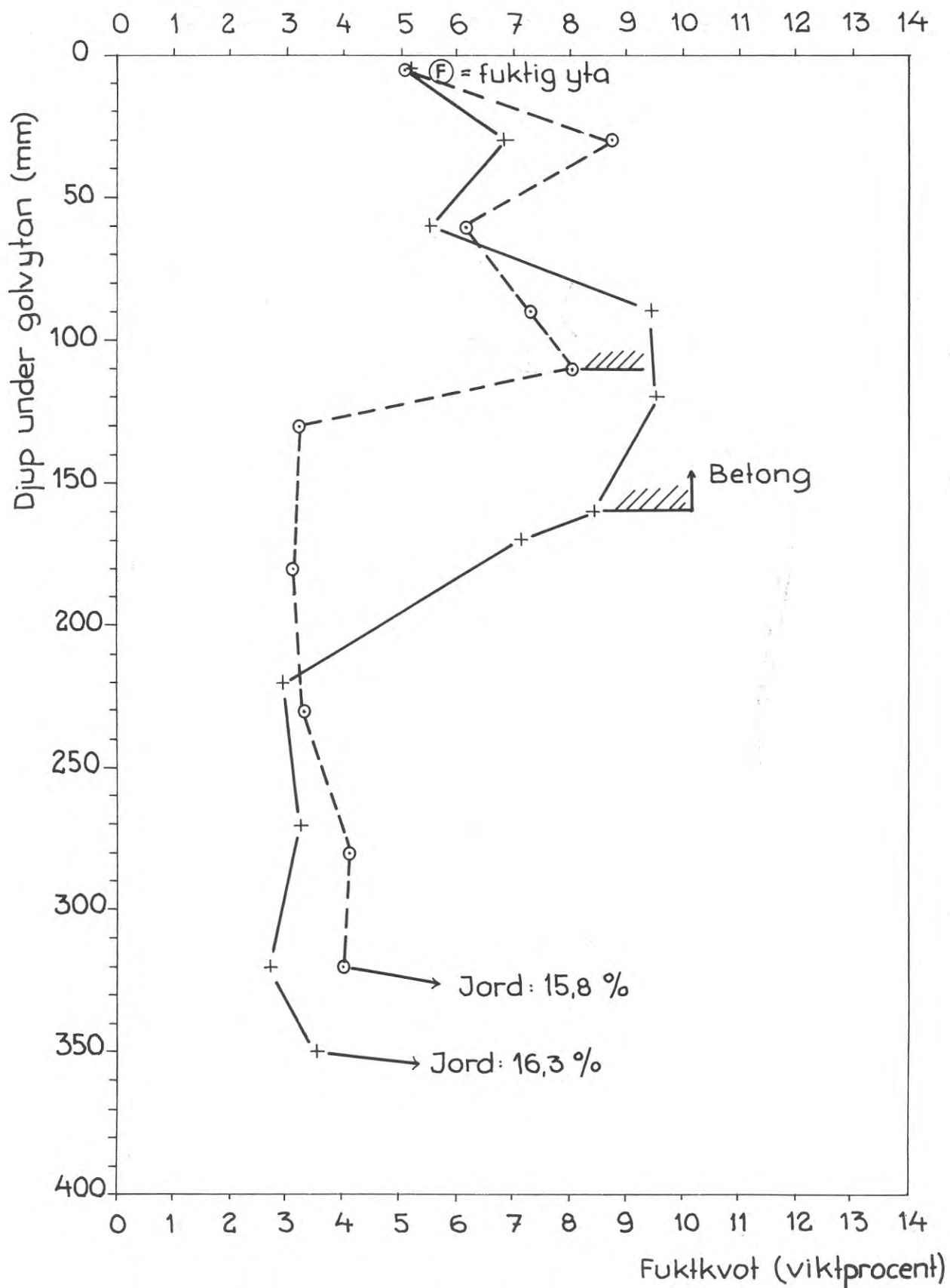


FIG. 62 Fuktkvotsfördelning för provställen A och B i hus R vid prov 30/9 1970.

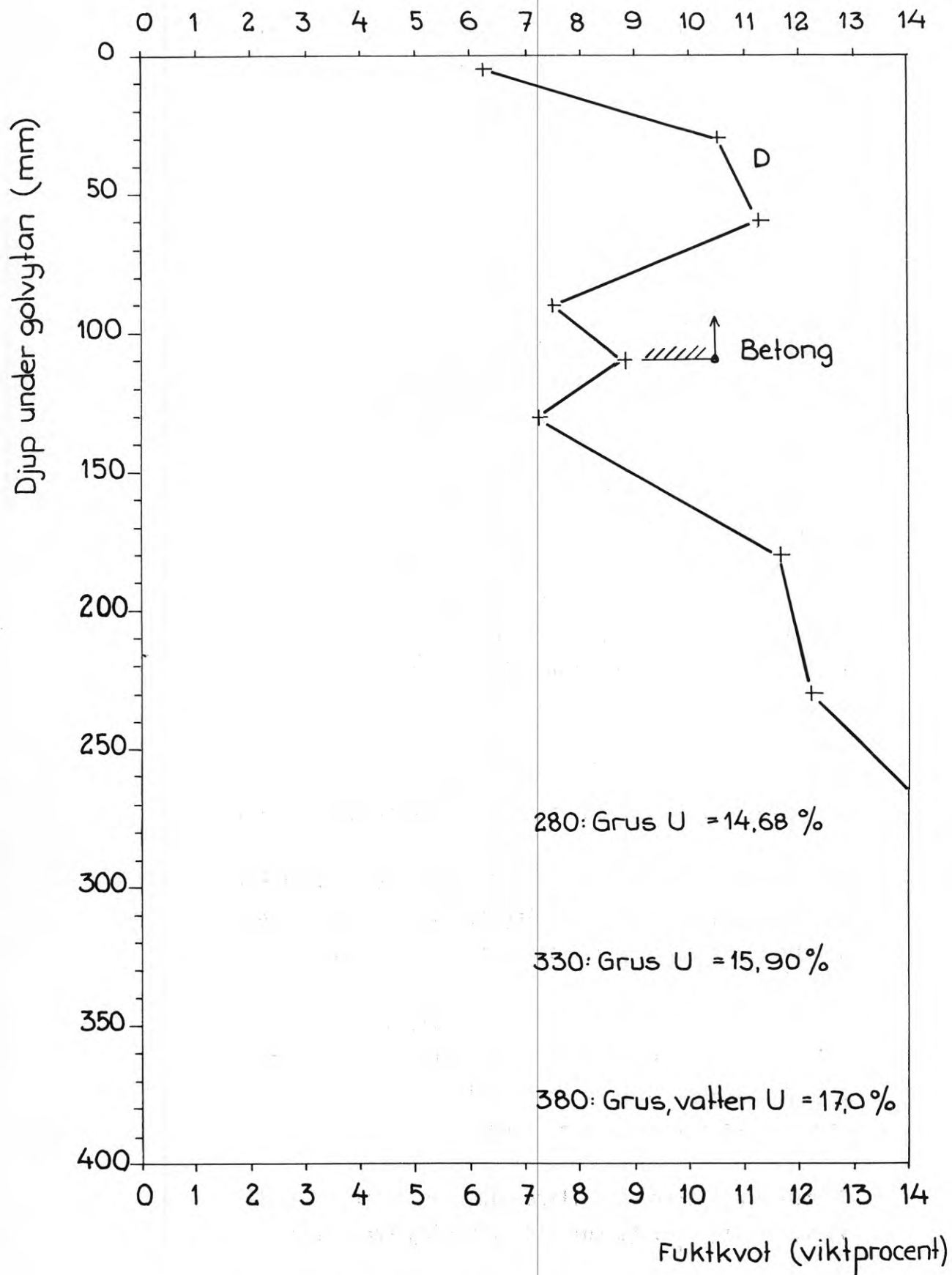


FIG. 63 Fuktkvotsfördelning för provställe D i hus K vid prov 4/11 1970.

gående uttorkning uppåt. Fuktkvoterna i betongplattorna är höga vilket skulle kunna tyda på en uppfuktning underifrån. Vid hus K är detta sannolikt. Denna fukt transporteras emellertid mycket sakta genom betongen och en tillfällig uppfuktning av betongens undersida torde ej ge nämnvärda fukttillskott till betongen.

Den sannolikaste orsaken till fukten på källargolvet är kondens, vilket får stöd av följande:

- a) Husen byggdes under hösten 1969 och togs i bruk under vintern. De var elvärmda och en naturlig sparsamhet har resulterat i liten värmeförlust i källaren. Därför har golvtemperaturerna varit låga när sommaren började. De bör ha varit lägre än de temperaturer som uppmättes i september 1970 (TAB. 8). Vid en källare med konstant temperatur får man enligt beräkningar den lägsta golvtemperaturen 3 - 5 månader efter lägsta utetemperatur, dvs. i juni månad. Det förefaller inte otroligt att golvtemperaturen i juni 1970 var ca 12°C . Om uteluft med vatteninnehåll ca 12 g/m^3 torr luft (normalt på sommaren) tillföres källaren så får man kondens redan vid yttemperatur = 14°C . Kondens är således i högsta grad trolig.
- b) Den största fukten erhålles under juni och juli månad då golvtemperaturen är som lägst. Längre fram stiger golvtemperaturen vilket förklarar uttorkningen.
- c) Vid fukt inomhus rekommenderas normalt att man ökar ventilationen. Detta råd härrör från vinterförhållanden då uteluften har litet vatteninnehåll och därför vid uppvärmning en fuktupptagande förmåga.

Om man ventilerar en källare under sommaren så tillföres varm, fuktig uteluft som vid avkyllning kondenserar.

8.7 Resultat och rekommendationer

Den sannolika orsaken till fukt på golvet är kondensation. Därför rekommenderas att källaren hålles uppvärmd under vintern. Skulle kondens uppträda på sommaren rekommenderas en tillfällig uppvärmning.

En temporär uppfuktning av plattan underifrån är möjlig. Under alla förhållanden är fuktkvoterna i betongen så höga att man vid golvbeläggning direkt på betongen bör införa en fuktspärr på betongytan, epoxi eller epoxi-tjära.

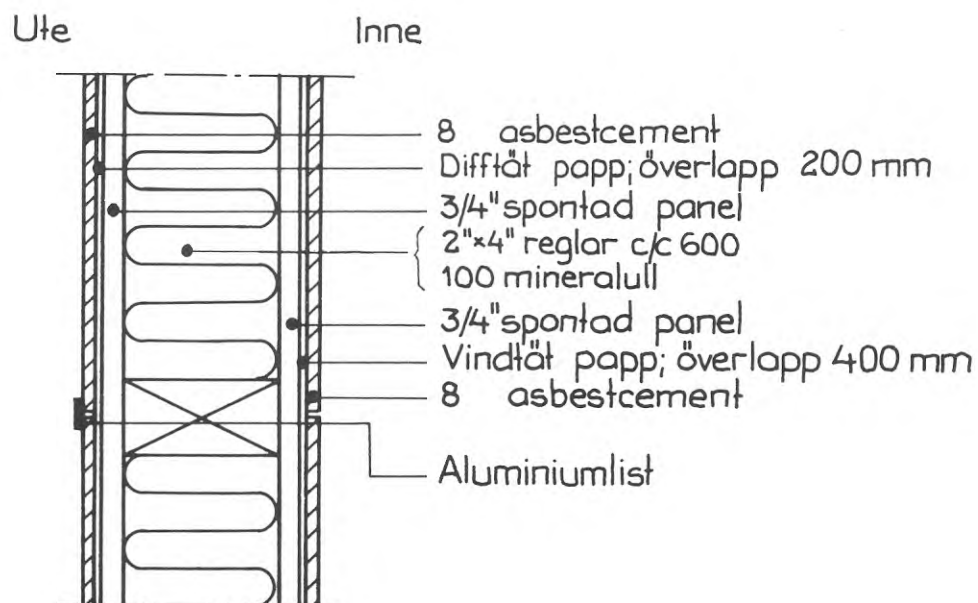


FIG. 64 V ä g g k o n s t r u k t i o n .

9 KONDESSKADOR I YTTERVÄGG

9.1 Inledning

Vikten av att anbringa en väl genomtänkt fuktdiffusionsspärr i samband med isolering av ytterväggar är väl känd. För att undvika kondens i isoleringen skall en diffusionsspärr anordnas vid den sida av isoleringen där vattenångans partialtryck är högst, dvs. insidan för vanliga bostäder men utsidan för t.ex. kylhus. Konstruktionen som tidigare fungerat väl kan bli oacceptabel i samband med övertrycksventilation och befuktad luft. Felaktigt utförda konstruktioner kan ge upphov till allvarliga byggsador. Nedan ges ett exempel på en konstruktion där man oavsiktligt åstadkommit ett utmärkt åskådningsobjekt, som visar fuktvandringens omfattning och skadeverkan.

9.2 Konstruktionen

Allvarliga fuktsador hade upptäckts i väggarna på en fem år gammal tvätthall. Eftersom samma konstruktion hade använts vid ett stort antal liknande byggen över hela landet fruktade byggherren att alla byggnaderna så småningom skulle få liknande skador.

Väggens uppbyggnad framgår av FIG. 64. Observera pappskiktens läge i konstruktionen.

9.3 Klimatförhållanden

Några mätningar av temperatur och luftfuktighet gjordes ej. Tvätthallen är försedd med varmluftsaggregat, varför en temperatur på omkring $+15^{\circ}\text{C}$ under vinterhalvåret kan anses vara rimlig att antaga. Under resten av året följer hallen i stort sett utomhustemperaturen.

Den stora förekomsten av vatten i tvätthallen gör att relativa fuktigheten uppgår till ca 90 % under hela året. Väsentligt för klimatförhållandena i lokalen är att ventilationens frånlufts-

ventil förmodligen varit stängd.

9.4 Undersökning av skador

Kraftig avflagning av målarfärg på grund av hög fukthalt i ett fönsterparti i väggen ledde till att denna undersöktes närmare. Då asbestcementskivorna monterades bort upptäcktes att ytterpanel och reglar hade allvarliga rötskador och stort fuktinnehåll. Virket i innerpanelen var däremot i stort sett oangripet.

Materialens fuktkvoter bestämdes på olika platser på väggen och i ett representativt tvärsnitt uppmättes följande värden:

Material	Fuktkvot (viktprocent)
Ytterpanel	216
Mineralull yttre del	6.9
inre del	3.0
Innerpanel	14.2

Ytterpanel och mineralull innehåller alltså stora mängder vatten.

9.5 Beräkning av partialtrycksfördelningen i väggen

Förhållandena i väggen under vinterhalvåret är av största intresse. En beräkning för att bedöma risken för kondensation av vatten i väggen har gjorts med följande antaganden:

Klimat:

Ute relativ fuktighet	90 %
temperatur	0°C
Inne relativ fuktighet	85 %
temperatur	+15°C

Värmeledningstal:

	(kcal/m ² ·h·°C)	(W/m ² ·K)
Asbestcement	0.50	0.58
Trä	0.12	0.14
Mineralull	0.045	0.052

Fuktdiffusionstal:

Asbestcement	0.06	$\text{g/m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$
Trä	0.001	"
Mineralull	0.075	"
Innerpapp	0.02	$\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$
Ytterpapp	0.005	"

Fuktdiffusionstalen för de båda papptyperna mättes i laboratorium.

Resultaten av beräkningarna framgår av FIG. 65, där man ser att vattenångans partialtryck överstiger mättnadstrycket i en mycket bred zon bakom ytterpappen. Kondensation av vatten sker alltså i yttre träpanel och mineralull.

9.6 Slutsats

Det är uppenbart att man under byggnadstiden genom okunnighet eller slarv förväxlat de båda pappskikten. Man har haft som riktmärke att få utsidan så tät som möjligt vilket den väl tilltagna överlappningen indikerar. Följden har blivit att fukt tillförts väggen genom kondensation under vinterhalvåret av inifrån kommande vattenånga. Fuktkvoterna i väggen är så höga att vattenånga förmodligen inte bara tillförts väggen genom diffusion utan även genom konvektion. Om övertryck har rått inomhus har varm fuktig luft kunnat pressas ut genom springor i väggen. Under transporten har luften kylts ned och vattenånga kondenserat i väggens kallare del.

Under sommarhalvåret råder samma temperatur på båda sidor om väggen, varför risk för kondensation då ej föreligger. Konstruktionen skulle då ha viss möjlighet att torka. Den mycket täta pappen på utsidan möjliggör emellertid endast en mycket långsam uttorkning. Totalt sett erhålles således en starkt ökande fuktkvot under varje årscykel.

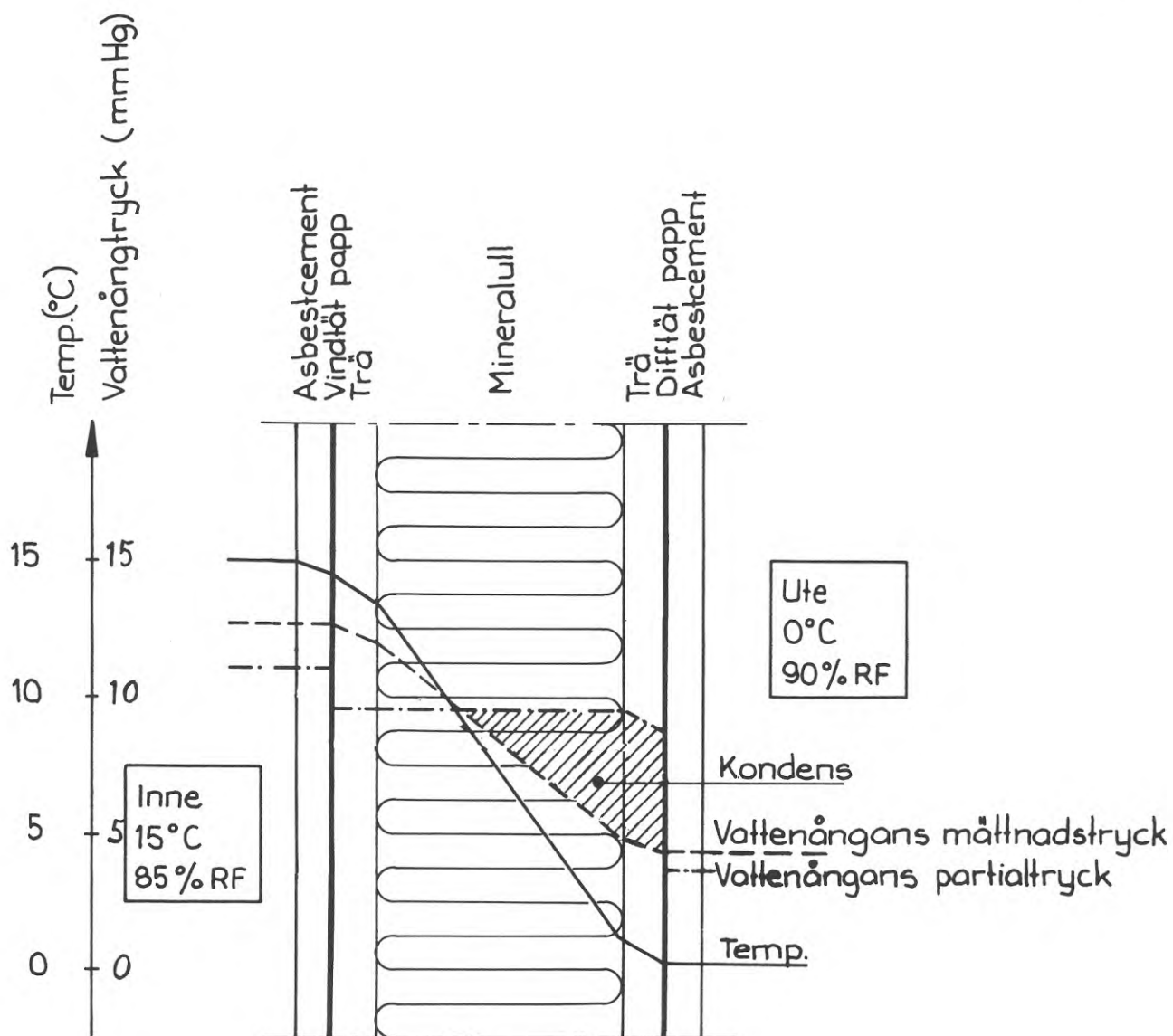


FIG. 65 Resultat av kondensriskberäkning för väggen.

10 ETT SKADEFALL MED VÄGGPLATTOR AV PVC

10.1 Inledning

Plast har fått stor användning som byggnadsmaterial och då framförallt som beklädnadsmaterial. Nya plastprodukter för byggmarknaden dyker ständigt upp. Denna utveckling leder till krav på att plastfabrikanterna måste skaffa sig kunskaper om byggnadsindustrin och de påkänningar som materialen utsätts för i byggnader. Det krävs också att byggfackfolk ökar sitt kunnande om plastmaterialens egenskaper.

Nedan redogöres för en undersökning av en omfattande byggnadsskada som kunnat undvikas om ovannämnda kunskaper hade funnits.

10.2 Material

Material, som enligt fabrikanterna var lämpligt att använda som väggbeklädnadsmaterial i bl.a. bad- och duschrum, bestod av plattor av mjukgjord PVC i formatet 125 x 250 mm och tjocklek 1.3 mm. Plattorna limmas på ett jämnt underlag med 1.5 mm fog mellan plattorna. Fogen fylls med speciell fogmassa, vilken liksom limmet levereras av plastfabrikanterna. Den färdiga väggen får ett utseende som påminner om beklädnad med kakelplattor.

10.3 Skadebeskrivning

Den byggherre åt vilken skadeutredningen utfördes hade under åren 1965 - 1967 låtit utföra ca 2.500 bad- och duschrum med de aktuella väggplattorna. På grund av senare inträffade skador måste nu väggbeklädnaden bytas ut i samtliga rum för en total kostnad av ca 2.5 miljoner kronor.

Skadorna visar sig som uppsprickning av fogarna och resningar av plattkanterna från väggen. I svåra fall deformeras plattorna så mycket att de lossnar. Skadorna visar sig framförallt på de väggdelar där vatten från duschen rinner utefter väggen. Väggmaterial har alltså helt förlorat sin väsentligaste egenskap, nämligen

att hindra vatten att tränga in i underlaget.

Golvbeklädnaden består i samtliga rum av helsvetsad PVC-plastmatta som vikts upp längs väggarna och anslutits antingen kant i kant med väggbeklädnaden eller så att golvet fortsatt en bit upp bakom väggplattorna. Vid båda anslutningstyperna förekommer det allvarliga sekundärskador genom att vatten kunnat rinna bakom och under golvmattan, och stängas in där utan möjlighet att rinna ner i golvbrunnen. Undergolvsstruktionen har i vissa fall gjort det möjligt för vattnet att sprida sig och underifrån skada golven i övriga delar av lägenheten.

10.4 Laboratorieprovning

Egenskaperna hos PVC-plattor och lim har undersökts och dessutom har accelererat nedbrytningsprov utförts på väggbeklädnaden.

10.4.1 PVC-plattor

Plattornas fukt- och temperaturlbetingade rörelser har undersökts och därvid framkom att materialet har tämligen normala, dvs. ganska stora sådana rörelser. På grund av framställningsmetoden uppvisade plattorna anisotropi för rörelser i plattans plan med huvudriktningar parallellt med och vinkelrätt mot plattans längdriktning. Vid samtliga prov erhöles ungefär hälften så stor töjning i plattans längdriktning som vinkelrätt däremot. Eftersom plattans längd är lika med 2 x bredden kommer de absoluta längdändringarna i plattans båda riktningar att bli lika dvs. man får samma rörelser vid såväl horisontella som vertikala fogar.

Vid ändring av fuktillståndet i plattorna från jämvikt med 43 % RF till jämvikt med 90 % RF erhöles längdändringar av storleksordningen 0.6 mm i plattorna, medan vid 7 dygns vattenlagring längdändringen uppgick till 2.0 mm.

Längdändring på grund av temperaturändring mättes mellan temperaturerna 10°C och 40°C dvs. en temperaturändring av 30°. Vid mätningarna erhöles längdändringar som uppgick till minst 0.2 mm i

varje riktning, dvs. materialets temperaturutvidgningskoefficient (α) är $(25 - 50) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} (1/\text{grad})$.

10.4.2 Lim

Limmets hållfasthet provades genom att vidhäftningshållfastheten mättes mellan PVC-plattan och ett underlag av asbestcement. Provningsen gjordes vid temperaturerna 10° , 20° och 30°C . Vidhäftningen som funktion av temperaturen framgår av FIG. 66. Ur figuren framgår, att då limmet uppvärms till temperaturer som motsvarar realistiska vattentemperaturer vid duschning, förlorar det nästan all hållfasthet. Detta är givetvis en stor nackdel och en bidragande orsak till skadorna på väggmaterialet, men fabrikanterna utnyttjar det i reklamen genom att påpeka att: "Om en platta behöver bytas ut kan detta lätt ske genom att man värmer upp den, tar bort den och ersätter den med en ny".

10.4.3 Färdig väggbeklädnad

En provvägg tillverkades genom att PVC-plattorna limmades på en 8 mm asbestcementskiva. Plattsättning och fogning utfördes enligt fabrikantens anvisningar. Några veckor efter tillverkningen startades ett nedbrytningsprov av väggen genom att den utsattes för vattenduschning en gång i timmen på följande sätt:

Spolning med ljummet vatten	30°C	10 min.
Spolning med kallt vatten	10°C	10 min.
Torkning med fläkt		<u>40 min.</u>
Cykeltid		60 min.

Nedbrytningen gick mycket fort. Redan under första cykeln erhöles sprickor i ett antal fogar, efter fem cykler började bubblor synas i plattorna och de ökade snabbt i antal och storlek för varje cykel.

Provningsen avbröts efter tre dygn (ca 70 cykler) då väggen hade kraftiga skador med bubblor och kantresningar där vatten trängde in under plattorna. Skadebilden var identisk med den i verklig-

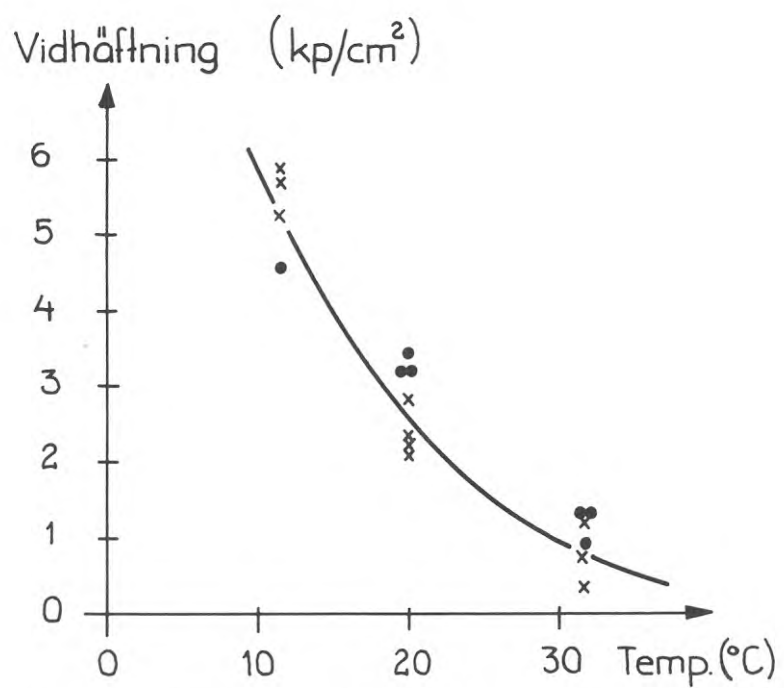


FIG. 66 Limmets vidhäftning som funktion av temperaturen.



FIG. 67 Vägglattor av PVC efter 48 duschcykler.

heten observerade (FIG. 67).

10.5 Slutsatser

Följande skademekanism är trolig:

Vid uppvärmning under duschning med varmt vatten strävar plattorna att utvidga sig. Detta förhindras dels av fogmassan, dels av limningen mot underlaget. Några större krafter behöver inte mobiliseras för att hindra denna svällning. Plattorna är mycket mjuka vid aktuell temperatur. Vid spolning med kallare vatten styvnar plattorna momentant och förkortas. Nu bjuder fogmassan inget motstånd och limmet som fortfarande är mjukt av den förhöjda temperaturen, bjuder endast ringa motstånd. Den omedelbara effekten blir sprickbildning mellan plattorna och den tämligen styva fogmassan. Dessutom riskerar man att det ytterst svaga limförbandet bryts och att alltså plattorna lokalt lossnar från underlaget. Konstruktionen är alltså olämplig. Det är synnerligen olyckligt att med ett så fukt- och temperaturrörligt material åstadkomma ett stort antal fogar. Fogarna är nämligen alltid svaghetszoner där vidhäftningsbrott lätt inledes. Långt bättre är att täcka väggarna med helt sammanhängande plastmatta.

REFERENSER

- Adamson, B., 1970: Fuktproblem vid bjälklag i kontakt med jord. Byggmästaren, 3, p. 22-27. Stockholm.
- Adamson, B., Ahlgren, L., Bergström, S G., Nevander, L.E., 1970: Fukt. Programskrift 12, Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm.
- Bergström, S G., och Ahlgren, L., 1969: Beräkning av absorptionsisotermer för betong. Nordisk Betong nr. 2, Stockholm.
- Bergström, S G., Nielsen, A., Ahlgren, L., Fagerlund, G., 1970: Allmän kurs i Byggnadsmateriallära. Kompendium, Lund.
- Beskow, G., 1930: Om jordarternas kapillaritet (Statens Väginsti- tut), Meddelande 25, Stockholm.
- Bring, C., 1968: Provningsmetoder för golvmaterial och golvkon- struktioner. Byggforskningen, Rap. 20, Stockholm.
- Brooks, R.H. och Corey, A.T., 1964: Hydraulic properties of po- rous media (Colorado State University) Hydrology Papers No 3, Fort Collins, Colorado, USA.
- Copeland, L.E. and Hayes, J.C., 1956: Porosity of hardened Portland Cement Pastes. J of the Amer. Concrete Institute, No 6.
- Jensen, M.E. och Hanks, R.J., 1967: Nonsteady state drainage from porous media (American Society of civil engineers), Proc J of the Irrigation and Drainage Div., 93, No 1R3, p. 209-231, Ann Arbor, Mich., USA.
- Laliberte, G.E., Corey, A.T. and Brooks, R.H., 1966: Properties of unsaturated porous media (Colorado State Univ.) Hydrology Pa- pers, No 17, Fort Collins, Colorado, USA.
- Nevander, L.E., Bankvall, C., Sandberg, P., 1968: Fukt. Kompen-

dium i Byggnadsteknik I ak I, Lund.

Pihlajavaara, S.E., 1963: Notes on the drying of concrete. The State Inst for Techn Res, Helsinki.

Tveit, A., 1966: Measurement of moisture sorption and moisture permeability of porous materials (Statens Inst för Byggnadsforskning), Rap. 8, Stockholm.

Waters, E.H., 1960: Failures of Floor-surfacing Materials on Concrete Slabs. Div of Building Res. Study No 2, Australia.

CAPTIONS

- FIG. 1 Proportions by volume in a porous material.
- FIG. 2 Fixation of moisture in a material.
- FIG. 3 Hysteresis loop between absorption and desorption.
- FIG. 4 Influence of the temperature level on the equilibrium moisture curve for timber.
- FIG. 5 Equilibrium moisture content curves for different kinds of timber. Tveit (1966).
- FIG. 6 Moisture ratios in a multilayer construction at equilibrium at a certain relative humidity.
- FIG. 7 Variable cement content and constant water/cement ratio = 0.60 and $W_h/C = 0.20$.
- FIG. 8 Variable degree of hydration and constant water/cement ratio = 0.60 and $C = 300 \text{ kg/m}^3$.
- FIG. 9 Variable water/cement ratio and constant $C = 350 \text{ kg/m}^3$ and $W_h/C = 0.18$.
- FIG. 10 Example of moisture distribution in the underfloor concrete.
- FIG. 11 Liquid content distribution during drainage of a column of silt, according to Jensen & Hanks (1967).
- FIG. 12 Layout of apparatus for determination of capillary equilibrium curves.
- 1 = material
- 2 = porous disc
- 3 = rubber stopper
- 4 = capillary tube for equalisation of air pressure
- FIG. 13 Capillary equilibrium curves during absorption, Curve 1, and during desorption, Curve 2, for Fylesand No 3 (mean grain dia = 0.3 mm).
- FIG. 14 Equilibrium moisture ratio U_h as a function of the capillary suction head h (level above surface of liquid) for Fylesand No 3.
- FIG. 15 Representation, with the variables plotted on a logarithmic scale, of the degree of effective capillary saturation S_e and the capillary suction head h for the values in FIG. 1.14. S_e determined for $S_r = 0.018$.
- FIG. 16 Drying of test cubes on the building site.

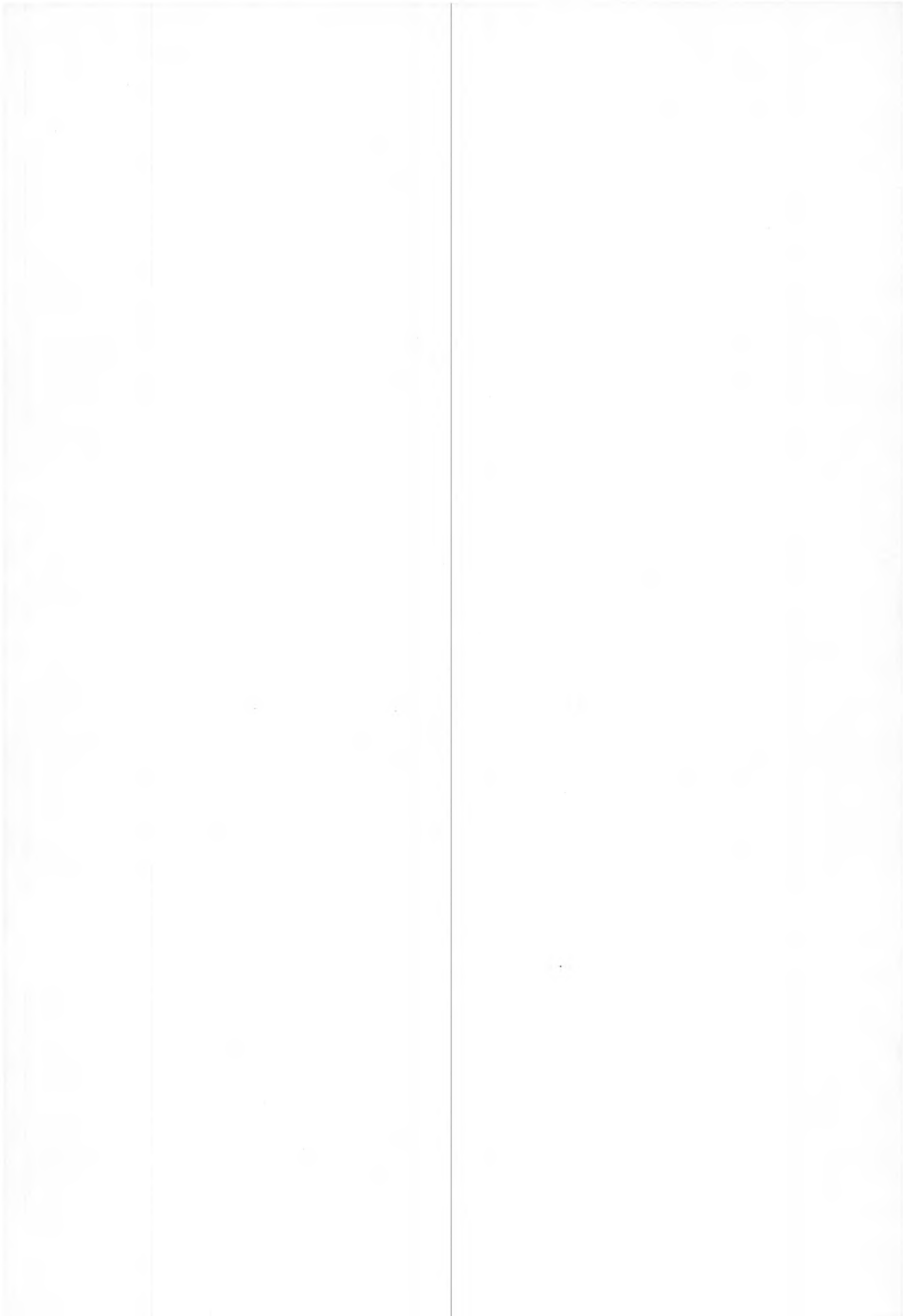
- FIG. 17 Drying of test cubes in a box at a relative humidity of 70 %.
- FIG. 18 Drying of test cubes in a box at a relative humidity of 45 %.
- FIG. 19 Absorption and desorption isotherms for the underfloor concrete.
- FIG. 20 Single-dimensional drying.
- FIG. 21 Solution of the diffusion equation.
- FIG. 22 Drying at different relative humidities.
- FIG. 23 The new floor structure.
- FIG. 24 Measuring equipment at points 1 and 2.
- FIG. 25 Measuring equipment at points 3 and 4.
- FIG. 26 Partial pressures of water vapour in the four domes.
- FIG. 27 Floor slab construction.
- FIG. 28 Moisture ratios (W/o) measured in the structure.
- FIG. 29 Temperature and vapour pressure distribution in the structure.
- FIG. 30 Construction of the underfloor.
- FIG. 31 Temperature and relative humidity as measured with a thermohygrograph.
- FIG. 32 Dates of casting lightweight clinker (L) and application of plaster (F).
- FIG. 33 Equilibrium moisture ratios in
O cement-bound lightweight clinker
X cement mortar with admixture of plastic
- FIG. 34 Relative humidities in domes in 4:11 and 12 during June 1970. (Temperature approximately constant).
- FIG. 35 Dates of various measures taken in conjunction with the test floor in building 3.
- FIG. 36 Relative humidity in dome in 3:2. (Temperature: 18.5 - 19.5°C).
- FIG. 37 Diagrammatic drawing of the department store showing position of basement and rubber tiles laid in the sales premises on the ground floor.
- FIG. 38 Floor slab laid on the ground.
- FIG. 39 Floor slab above basement.
- FIG. 40 Position of delamination damage.
- FIG. 41 Moisture condition measured in floor slab over basement

3 years after laying of the floor.

- FIG. 42 Moisture condition measured in floor slab on the ground 3 years after laying of the floor.
- FIG. 43 Sorption isotherm for structural concrete.
- FIG. 44 Sorption isotherm for concrete topping.
- FIG. 45 Degree of effective capillary saturation S_e as a function of the capillary suction head h for sand underneath the floor slab laid on the ground.
- FIG. 46 Movements of the rubber tiles at different relative humidities.
- FIG. 47 Movements of the rubber tiles during storage of water and subsequent drying.
- FIG. 48 Moisture condition at time of laying concrete topping on-to floor slab laid on the ground. (Moisture ratios according to FIG. 42 plotted on).
- FIG. 49 Moisture condition at time of laying concrete topping on-to floor slab laid over the basement. (Moisture ratios according to FIG. 41 plotted on).
- FIG. 50 Typical drawing showing design of floor slab.
- FIG. 51 Moisture ratios in heated store room without a floor covering approx. 0.8 - 1 m from the outside of the bottom wall unit.
- FIG. 52 Moisture ratios in heated store room without a floor covering approx. 2.1 - 2.4 m from the outside of the bottom wall unit.
- FIG. 53 Moisture ratios in bedroom with plastic floor covering approx. 0.8 m from the outside of the bottom wall unit.
- FIG. 54 Moisture ratios in bedroom with plastic floor covering approx 2.1 - 2.4 m from the outside of the bottom wall unit.
- FIG. 55 Sampling in Building K.
- FIG. 56 Sampling in Building J.
- FIG. 57 Sampling in Building R.
- FIG. 58 Photograph of a battery of suction appliances for determination of the capillary equilibrium moisture content.
- FIG. 59 Degree of effective capillary saturation S_e as a function of the capillary suction head h , applicable to mean values for Building K.

- FIG. 60 Distribution of moisture ratios for sample points A - C in Building K during tests on 30.9.1970.
- FIG. 61 Distribution of moisture ratios for sample points A and B in Building J during tests on 30.9.1970.
- FIG. 62 Distribution of moisture ratios for sample points A and B in Building R during tests on 30.9.1970.
- FIG. 63 Distribution of moisture ratios for sample point D in Building K during tests on 4.11.1970.
- FIG. 64 Construction of wall.
- FIG. 65 Results of estimation of condensation hazard for the wall.
- FIG. 66 Adhesion of the glue as a function of the temperature.
- FIG. 67 PVC wall tiles after 48 shower cycles.

- TABLE 1 Relative humidities and temperatures in the domes at different times.
- TABLE 2 Moisture ratios (W/o) at different depths and different times according to the sketch for floor 1 of Building 2. The bottom line shows mean changes in moisture ratio in the cement-bound lightweight clinker in relation to the value on 4.12.1969.
- TABLE 3 Moisture ratios (W/o) at different depths and different times according to the sketch for floor 1 in Building A. The bottom line shows the mean changes in moisture ratio in the cement-bound lightweight clinker in relation to the value on 4.12.1969.
- TABLE 4 Moisture ratios in Building 3 on 16.6.1970 and 2.10.1970.
- TABLE 5 Moisture ratios in test floor in Building 3 at different times.
- TABLE 6 Data relating to the three buildings.
- TABLE 7 Equilibrium moisture ratios during desorption of gravel as a function of the capillary suction head in metres WG.
- TABLE 8 Temperatures in basement and floor slab on 30.9.1970.



R11:1973

Denna rapport har publicerats med informationsanslag från Statens råd för byggnadsforskning.

Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: konstruktion

Pris: 22 kronor