LUND UNIVERSITY

Putsens inverkan på fasadens fuktbalans

Sandin, Kenneth

1980

Link to publication

Citation for published version (APA):
Sandin, K. (1980). *Putsens inverkan på fasadens fuktbalans*. [Doktorsavhandling (monografi), Avdelningen för Byggnadsmaterial]. Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

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

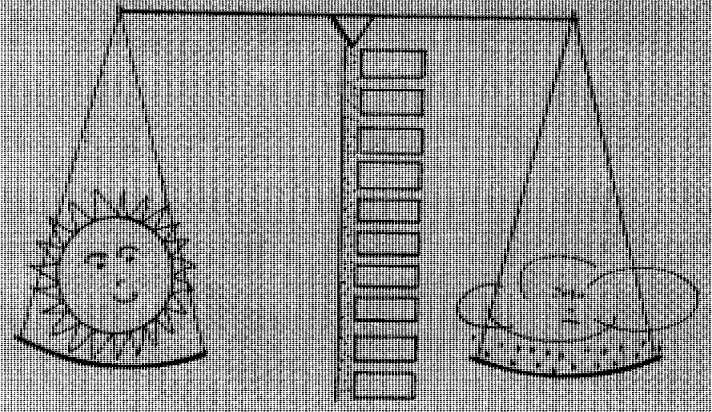
Download date: 18. Dec. 2025

AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSMATERIALLÄRA
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
DIVISON OF BUILDING MATERIALS
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

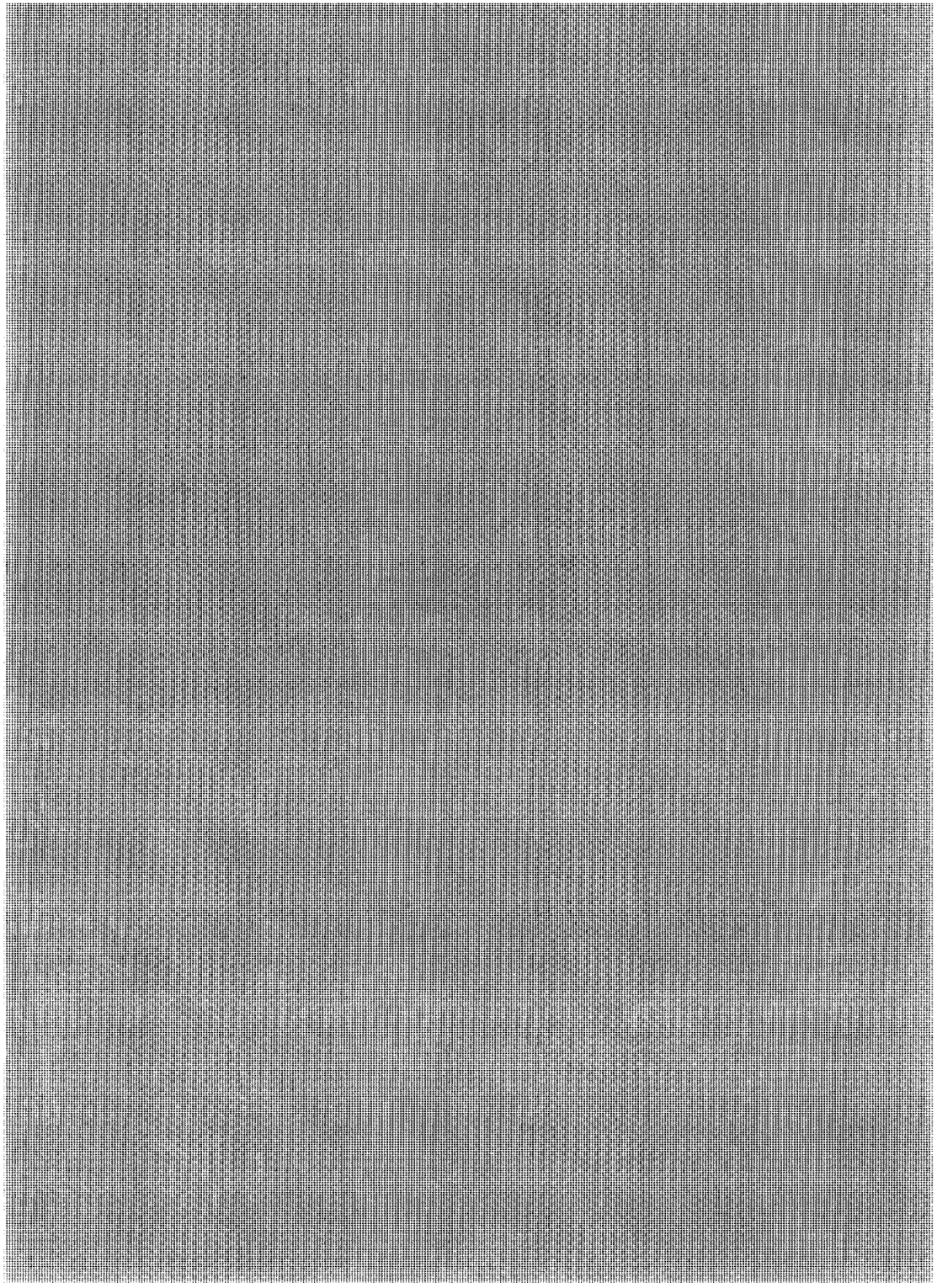
PUTSENS INVERKAN PÅ FASADENS FUKTBALANS – HUVUDRAPPORT

THE EFFECT OF THE RENDERING ON THE MOISTURE BALANCE OF THE FACADE – MAIN REPORT

KENNETH SANDIN



RAPPORT TVBM-1004
LUND SWEDEN 1980



PUTSENS INVERKAN PÅ FASADENS FUKTBALANS

Av Kenneth Sandin, civ ing, Sm.

AKADEMISK AVHANDLING

som för avläggande av teknologie doktorsexamen
vid tekniska fakulteten vid universitetet i Lund
kommer att offentligen försvaras vid sektionen
för Väg och Vatten, John Ericssons väg 1, sal V:A,
fredagen den 23 maj 1980, kl 13.15.

Organization
LUND UNIVERSITY
Division of Building Materials
Lund Institute of Technology
Box 725
S-220 07 LUND, Sweden

Document name
DOCTORAL DISSERTATION

Date of issue
April 1980

CODEN:
LUTVDG/(TVBM-1004)/1-97/(1980)

Author(s)
Sandin, Kenneth

Sponsoring organization
Swedish Council for Building Research

Title and subtitle

The effect of the rendering on the moisture balance of the facade - main report.

Abstract

The report deals with the effect of renderings on the moisture balance in facades. The main theme is the moisture mechanism in connection with different moisture sources.

Different opinions about moisture in facades and consequences of moisture are mentioned as a background.

The work is then concentrated on the moisture conditions in rendered walls. Different moisture sources are discussed separately and in detail.

The effect of the rendering on condensation is shown to be small.

In connection with driving rain the rendering is of very great importance. The relationship between the properties of the rendering and the underlayer is shown to be of vital importance for absorption and drying out. The most important property is the pore structure.

Where construction moisture or rising damp are concerned a rendering always results in a worse moisture condition.

An exact calculation of moisture conditions in rendered walls is not yet possible. On the other hand a qualitative estimate, which in most cases is sufficient, is simple to carry out.

Key words
absorption, diffusion, driving rain, drying, moisture, pore structure, rendering, surface coating

Classification system and/or index terms (if any)

Supplementary bibliographical information

Language
Swedish

ISSN and key title

ISBN

Recipient's notes

Number of pages
474

Price

Security classification

DOKUMENTDATABLAD enl SIS 61 41 21

Distribution by (name and address) Division of Building Materials, Lund Institute of Technology
Box 725, S-220 07 LUND, Sweden

I, the undersigned, being the copyright owner of the abstract of the above-mentioned dissertation, hereby grant to all reference sources permission to publish and disseminate the abstract of the above-mentioned dissertation.

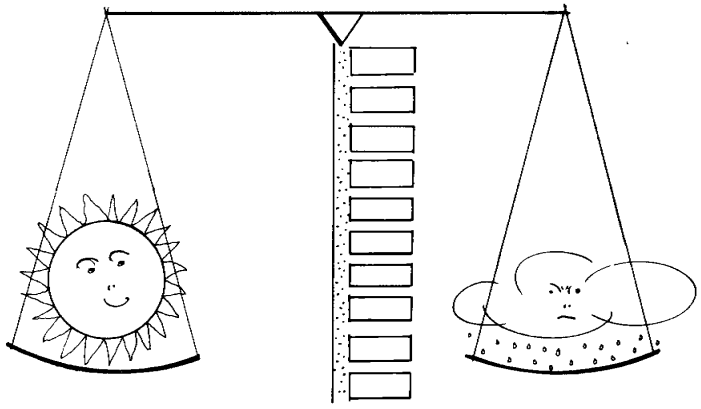
Signature K Sandin Date 1980-04-28

CODEN: LUTVDG/(TVBM-1004)/1-97/1980

PUTSENS INVERKAN PÅ FASADENS FUKTBALANS – HUVUDRAPPORT

THE EFFECT OF THE RENDERING ON THE MOISTURE BALANCE OF THE FACADE – MAIN REPORT

KENNETH SANDIN



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740269-8 från Statens råd för byggnadsforskning till avdelningen för byggnadsmateriallära, Tekniska högskolan i Lund.

I N N E H Å L L

	FÖRORD	3
	SAMMANFATTNING	5
	SUMMARY	7
1	INLEDNING	9
2	ALLMÄNT OM PUTSPROBLEMET	12
2.1	Vetenskap - erfarenhet - känsla	12
2.2	Vanliga fuktttekniska (miss-)uppfattningar	12
2.3	Fuktens betydelse vid skador	15
2.4	Provningsmetoder	16
3	FÖLJDVERKNINGAR AV FUKT	18
3.1	Allmänt	18
3.2	Nedbrytning	18
3.3	Rörelser	20
3.4	Egenskapsförändringar	21
3.5	Utseende	21
3.6	Indirekta följdverkningar	22
4	TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR	23
5	EGNA UNDERSÖKNINGAR	24
5.1	Allmänt	24
5.2	Syfte	24
5.3	Metoder, material och randvillkor	25
5.4	Begränsningar	26
6	FUKTMEKANIK	27
6.1	Allmänt	27
6.2	Fukt i luft	27
6.3	Fukt i porösa material (fuktfixering)	29
6.4	Fukttransport	32
6.4.1	Fukttransport i ångfas	32
6.4.2	Fukttransport i vattenfas	34
6.4.3	Kombinerad ång- och vattentransport	36
7	PUTSENS INVERKAN PÅ VÄGGENS FUKTBALANS	38
7.1	Allmänt	38
7.2	Luftfukt	38

7.2.1	Randvillkor	39
7.2.2	Ångtransport och kondensrisk	41
7.2.3	Beräkningsexempel	43
7.2.4	Kommentarer	48
7.3	Slagregn	48
7.3.1	Randvillkor	48
7.3.2	Vattenabsorption under regn	55
7.3.3	Uttorkning efter regn	62
7.3.4	Totala fuktförloppet vid regn - uttorkning	68
7.3.5	Kommentarer	77
7.4	Byggfukt	79
7.4.1	Allmänt	80
7.4.2	Uttorkningsförloppet	81
7.4.3	Kommentarer	81
7.5	Markfukt	84
7.5.1	Allmänt	84
7.5.2	Uppsugning - uttorkning - balans	84
7.5.3	Kommentarer	88
7.6	Totalbedömning	88
8	AVSLUTANDE DISKUSSION	91
8.1	Oklarheter - framtida forskning	91
8.2	Provningsmetoder	92
8.3	Framtida utveckling inom putsbranschen	93
	LITTERATUR	95

FÖRORD

Föreliggande rapport är en redovisning av ett forskningsprojekt, som bedrivits vid avdelningen för Byggnadsmateriallära vid Lunds Tekniska Högskola under tiden 1975-80. Projektet har i huvudsak finansierats av Statens Råd för Byggnadsforskning genom BFR-anslaget 740269-8 "Putsers samverkan med underlag och ytskikt ur fuktsynpunkt".

Under 1974 genomfördes ett mindre programarbete för att försöka systematisera forskningsbehovet. Härvid framkom att fuktproblemet ansågs vara det helt dominerande i samband med putser och ytskikt. Med utgångspunkt från detta programarbete beslöts att problemet "fukt i samband med putser och ytskikt" skulle studeras.

I ett tidigt skede visade det sig att det skulle vara praktiskt taget omöjligt att studera de direkta följdverkningarna av fukten utan att först i detalj analysera de grundläggande fuktmekaniska sambanden för putsade väggar. Projektet har därför främst inriktats på dessa grundläggande fuktmekaniska samband. Med utgångspunkt från dessa studier blir det sedan förhoppningsvis enklare att i framtiden studera de direkta och ofta skadliga följdverkningarna av fukten, exempelvis frost- och saltvittring.

För att slutredovisningen skall bli så användbar som möjligt för olika läsarkategorier är den uppdelad på två rapporter, dels en huvudrapport (föreliggande publikation) och dels en sammanställning av ett antal delrapporter (Sandin, 1980). Huvudrapporten är en allmän redogörelse för fukt i samband med putsade fasader. Här ges inga detaljbeskrivningar av utförda försök eller teoretiska resonemang. Detta görs i stället i de olika delrapporterna. I huvudrapporten finns däremot ett antal hänvisningar till olika delrapporter, vilka alltså finns publicerade i Sandin (1980).

När nu forskningsprojektet slutredovisas i samlad form vill jag framföra ett varmt tack till ett stort antal personer som deltagit i projektet på olika sätt. Först och främst tackar jag professor Arne Hillerborg, avdelningschef vid Byggnadsmateriallära. Trots att jag ideligen har utvidgat den ursprungliga projektplanen, med tillhörande tidsfördröjning, har han hela tiden bistått med ett mycket aktivt stöd och givande diskussioner.

Under senare delen av projektet har en referensgrupp varit knuten till projektet. Referensgruppen, som bestått av Anders Engwall, Arne Hillerborg, Lars-Erik Nevander, Sven Persson, Vitold Saretok och Lars-Erik Wargsjö, har lagt ned ett

förtjänstfullt arbete vid projektets genomförande, vilket jag är mycket tacksam för. Det är min förhoppning att referensgruppen kvarstår och engagerar sig på samma sätt i den fortsatta putsforskningen.

Hela personalstyrkan vid Byggnadsmateriallära har på ett eller annat sätt deltagit aktivt i forskningsprojektet. Leif Erlandsson och Sture Sahlén har, förutom att de svarat för utveckling och tillverkning av all utrustning, på ett mycket inspirerande sätt deltagit i diskussioner och planläggning av olika försök. De har alltid funnits till hands, oberoende av veckodag och klockslag.

Större delen av de praktiska laboratoriemätningarna har utförts av Lennart Andersson, Ingemar Larsson och Bo Johansson.

Mona Hammar och Britt Andersson, vilka svarat för utskrift av manuskript respektive figurritning till föreliggande rapport, har utfört ett mycket förtjänstfullt arbete. Trots svårläsliga manuskript och figurer samt stor tidspress har de alltid visat en ofattbart positiv och gladlynt inställning.

Till alla ovanstående och till många andra, både medarbetare vid LTH och utomstående, framför jag mitt mycket varma tack.

Lund, mars 1980

Kenneth Sandin

SAMMANFATTNING

Detta arbete behandlar putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Huvudvikten är lagd på det fuktmekaniska händelseförloppet i samband med olika fuktkällor.

Slutredovisningen av arbetet är uppdelad på två publikationer. Föreliggande rapport är en allmän behandling av problemet rörande fukt i samband med putsade fasader. Några detaljerade beskrivningar av olika försök, teoretiska resonemang och härledningar samt resultatredovisningar ges inte i denna rapport. Detta görs i stället i en till denna rapport hörande sammanställning av olika delundersökningar. I föreliggande rapport redovisas enbart slutsatser och enstaka exempel på resultat.

I de inledande avsnitten beskrivs bakgrunden till arbetet. Den stora ovissheten rörande fukt i samband med putsade fasader beskrivs i form av olika motstridiga argument, som förekommer i den svenska putsdebatten. Bland annat diskuteras ER-nämndens provningsmetoder samt begreppen "andning" och "täthet" på ett kritiskt sätt.

Olika möjliga följdverkningar av fukten beskrivs i ett senare avsnitt. Någon djupare diskussion kring problemet görs inte. Vidare följer några små kapitel om utförda undersökningar och grundläggande fuktmekaniska samband. I dessa kapitel hänvisas till andra rapporter med utförliga beskrivningar av olika delproblem.

I kapitel 7, som kan anses vara rapportens huvudavsnitt, behandlas putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Först behandlas de olika fuktkällorna var för sig, varefter en totalbedömning kommenteras kortfattat. Putsens inverkan på eventuell kondens av den inifrån kommande vattenångan konstateras vara försumbar i normala fall. I samband med slagregn har däremot putsen en mycket stor betydelse. *Sambandet mellan egenskaperna hos puts och underlag är avgörande för det fuktmekaniska händelseförloppet.* En viss puts på två olika underlag kan ge helt olika resultat. Den väsentligaste egenskapen är porstrukturen. I samband med bygg- och markfukt konstateras att en puts alltid medför en försämring ut fuktsynpunkt. En exakt beräkning av det totala fuktmekaniska händelseförloppet under praktiska förhållanden är ännu inte möjlig att göra. En kvalitativ totalbedömning, vilket i de flesta fall är tillräckligt, är dock möjlig.

Slutligen diskuteras kvarstående oklarheter och olika sätt att utforma provningsmetoder.

Det övergripande syftet med projektet har varit att studera hur egenskaperna hos puts och underlag påverkar det fuktmekaniska händelseförloppet. Undersökningarna har i huvudsak genomförts med ett fåtal material med olika fuktmeka-

niska egenskaper. Någon generell kartläggning av egenskaper hos olika putser och underlag har däremot inte gjorts. *De i delrapporten redovisade resultaten är inte avsedda att direkt ligga till grund för val av en viss puts i praktiken. Detta val påverkas självklart även av en mängd andra faktorer, som inte behandlats inom aktuellt projekt. Det fuktmekaniska händelseförloppet är bara en av alla dessa faktorer.*

SUMMARY

This work deals with the effect of renderings on the moisture balance in facades. The main theme is the moisture-mechanism in connection with different moisture sources.

The work is published in two reports. This report is a general description of moisture in connection with rendered facades. No detailed descriptions of different tests or theoretical argumentations are given in this report. Instead all details are described in the other report, which contains eight different sub-reports. In this report, only some of the most important conclusions and some examples of the results are described.

In the first two chapters of this report the background of the work is described. Different, and often conflicting, arguments are discussed. Among other things the Swedish testing-method and the conceptions "breathability" and "tightness" are criticized.

Different consequences of moisture are described in the third chapter. The problem is not discussed in detail. Three short chapters follow regarding different investigations and some basic relations in connection with moisture. In these chapters there are references to more detailed descriptions of different problems.

Chapter 7, which is the main chapter in this report, deals with the effect of the rendering on the moisture balance. Different moisture sources are discussed separately and in detail. Combinations of different moisture sources are only mentioned in short.

The effect of the rendering on condensation is small in most cases and may be disregarded.

In connection with driving-rain the rendering is of very great importance. The relationship between properties of rendering and the underlayer is of vital importance for absorption and drying out. A certain rendering, applied to two different underlayers, may produce quite different results. The most important property is the pore-structure, which in turn affect the suction. A material with small pores has a great suction. An underlayer with small pores can absorb water from a rendering with coarse pores. On the other hand an underlayer with coarse pores can not absorb water from a rendering with fine pores. Two different underlayers are discussed in this report, namely aerated concrete with small pores (great suction) and clay brick with coarse pores (small suction). Without any rendering they are similar where

driving rain is concerned. With a rendering, for example a lime-cement rendering, they become quite different. Aerated concrete gets a higher moisture content whereas clay brick gets a lower moisture content, compared with the case without any rendering.

Where construction moisture and rising damp are concerned a rendering always results in a worse moisture condition.

An exact calculation of moisture conditions is not yet possible.
On the other hand a qualitative estimate, which in most cases is sufficient, is simple to carry out.

In the last chapter some remaining uncertainties and different ways of working out testing-methods are discussed.

1 INLEDNING

Putsat väggar har man gjort sedan mycket lång tid tillbaka. Putsningstekniken är således gammal. Kunskaperna om hur putsade väggar fungerar är däremot i vissa avseenden bristfälliga än idag. Olika uppfattningar och principer inom putsbranschen bygger i huvudsak på gammal tradition och mer eller mindre logiska resonemang.

Under 1950-talet började man använda nya organiska ytskikt på sådana fasader där traditionellt oorganiska putser eller färger tidigare använts. Resultatet blev i många fall bedrövligt och de organiska ytskikten fick allmänt ett mycket dåligt rykte. Plastputs och plastfärg användes nästan som skällsord.

Att man i början misslyckades med de nya putstyperna är inte speciellt märkligt. Man visste helt enkelt inte hur en putsad fasad fungerar eller vilka krav man skulle ställa på en puts. Olika uppfattningar om orsakerna till misslyckandena fördes fram. En putsdebatt tog fart som intensifierades efterhand och stundtals användes både känslomässiga och osakliga argument. I kapitel 2 ges några exempel på detta.

I putsdebatten, som fortfarande pågår, fick fuktproblematiken en mycket framträdande roll. De fuktmekaniska resonemangen var emellertid mycket ytliga och inskränkte sig i allmänhet till om putsen skulle vara "öppen" eller "tät". Den dominerande uppfattningen blev att en puts skulle vara "öppen". En mängd mer eller mindre logiska, men i vissa fall helt felaktiga, argument framfördes för att bevisa detta. Någon djupgående analys av det fuktmekaniska händelseförloppet gjordes emellertid inte. Underlagets fuktegenskaper diskuterades endast obetydligt. Än mindre nämndes den fuktmekaniska samverkan mellan puts och underlag. Det väsentliga ansågs vara själva putsens "täthet".

Med ovanstående bakgrund framstod forskning inom putsområdet som mycket angelägen i mitten av 1970-talet. Med hänsyn till problemområdets omfattning gjordes först ett mindre programarbete (Sandin, 1974). Syftet med detta programarbete var främst att försöka systematisera befintliga kunskaper och kunskapsluckor. Arbetet genomfördes i huvudsak genom litteraturstudier och diskussioner med personer, som i någon form var verksamma inom putsbranschen. Resultatet av detta programarbete var inte uppmuntrande. Olika personer hade i allmänhet olika uppfattningar om det mesta. Det enda entydiga resultatet av programarbetet var att fukten ansågs vara det stora problemet.

Med utgångspunkt från programarbetet beslöts att fuktmekaniken i samband med puts och ytskikt skulle studeras. För de praktiskt verksamma är det naturligtvis de direkta följdverkningarna, exempelvis frost- och saltsprängning, som är det mest angelägna att studera. Att direkt angripa dessa i praktiken förekommande skadetyper bedömdes dock vara mycket svårt och osäkert, utan att först studera de fuktmekaniska förloppen i samband med putsade väggar. Ett grundligt studium av de fysikaliska processerna i samband med puts och fukt har även efterlysts i tidskriftsartiklar, bl a Holmström (1975).

Tidigare fuktundersökningar i samband med putser har främst haft som syfte att jämföra och klassificera olika putser. Någon mer djupgående analys av de fysikaliska processer som styr fuktförhållandena har inte gjorts, utan det väsentliga har varit att få en siffra eller rangordning. Detta har i vissa fall medfört att man valt provningsmetoder som inte har något med den praktiska verkligheten att göra. Olika putser har i vissa fall jämförts under felaktiga förutsättningar. Mycket sällan har hela kombinationen puts-underlag studerats som en helhet.

Till skillnad mot dessa undersökningar, som haft ett rent praktiskt syfte, beslöts att syftet med föreliggande undersökning skulle vara "ett förutsättningslöst studium av fuktmekaniken i samband med putser och ytskikt på olika underlag". Huvudvikten har lagts vid samverkan mellan puts/ytskikt och underlag ur fuktmekanisk synvinkel. Klargörandet av fysikaliska processer och materialegenskaper som påverkar dessa processer, både hos puts/ytskikt och underlag, har varit det primära. Följdverkningar av fukt har inte studerats alls, bortsett från en mindre teoretisk analys av fuktens inverkan på energiförlusterna genom en yttervägg.

Utförda laboratorieundersökningar har av praktiska skäl begränsats till ett antal vanliga "standardputser" och underlag enligt delrapport I. Hur olika förändringar inom en putstyp eller ett underlag inverkar, exempelvis varierande bindemedelshalt, ballastgradering eller ålder hos putsen respektive olika densitet eller bränningsgrad hos underlaget, har inte alls studerats. Undersökningen är alltså ingen kartläggning av direkta materialegenskaper. Det hade nämligen varit i högsta grad opraktiskt att samtidigt som de väsentliga egenskaperna kartlägges, även bestämma dessa egenskaper för ett stort antal material.

Av redovisningstekniska skäl detaljspecificeras aktuella material enbart i delrapport I. I huvudrapporten och i övriga delrapporter används ofta enbart en "identifierande" benämning på materialen, exempelvis kalkputs, kalkcementputs, tegel eller gasbetong. Härvid måste man dock ha klart för sig att *angivna resultat och slutsatser enbart gäller för de i delrapport I specificerade materialen*. Andra proportioner och lagringsbetingelser hos putserna respektive

andra densiteter och bränningsgrader hos underlagen kan förändra de siffermässiga resultaten i mycket hög grad. Förhoppningsvis kommer inverkan av dessa faktorer att undersökas i kommande undersökningar.

Föreliggande undersökning behandlar, som tidigare nämnts, enbart den grundläggande fuktmekaniken i samband med putser. För att kunna lösa de fuktberoende problem som uppstår i praktiken, måste ytterligare undersökningar genomföras. Förutom inverkan av olika förändringar hos puts och underlag måste även följdverkningarna av fukten studeras i detalj. Direkta studier av frost- och saltvittring är härvid de mest angelägna.

Föreliggande rapport har, för att ge både en översikt över ämnet "fukt i samband med puts" och detaljanalyser av olika problemområden, utformats som en huvudrapport och ett antal delrapporter. I huvudrapporten ges inga detaljerade metodbeskrivningar, resultat eller dylikt utan enbart sammanfattande resultat och slutsatser. Alla detaljbeskrivningar av olika försök och teorier redovisas i de olika delrapporterna. Vid dispositionen av hela rapporten har syftet varit att huvudrapporten och de olika delrapporterna skall kunna läsas "oberoende" av varandra. Denna disposition har både för- och nackdelar. Bland nackdelarna kan nämnas att vissa upprepningar och hänvisningar till olika delrapporter är oundvikliga. Fördelen med både en översiktlig behandling och avgränsade detaljanalyser, har dock bedömts vara större än ovannämnda nackdelar.

Lämplig omfattning på de olika delrapporterna har bestämts genom en svår balansgång mellan å ena sidan viljan att ge en tillräcklig bakgrund för olika slutsatser och å andra sidan viljan att begränsa antalet sidor i rapporten. Stundtals får vissa delrapporter karaktären av en fuktlärobok. Detta har dock bedömts som nödvändigt för att få förståelse för hela problematiken.

Vid utnyttjandet av resultaten i denna rapport måste man ha klart för sig att *här behandlas enbart den fuktmekaniska delen. Några allmängiltiga slutsatser beträffande olika puteers och ytskikts möjligheter att fungera tillfredsställande i praktiken är sålunda inte möjliga att dra.* Vid bedömningar av hur en viss kombination puts-underlag kommer att fungera i praktiken måste självfallet även andra faktorer analyseras. *Fukten är bara en liten del i det stora sammanhanget.* Rörelser och nedbrytning, som i sig mycket väl kan vara fuktberoende, är exempel på faktorer som måste beaktas. Vid val av lämplig puts skall man framförallt ställa sig frågan "vilken funktion skall putsen ha". Många gånger har den nämligen ingen som helst teknisk betydelse utan är enbart motiverad ur estetisk synpunkt. Dessa och liknande frågeställningar kommer förhoppningsvis att behandlas i ett framtida projekt.

2 ALLMÄNT OM PUTSPROBLEMET

2.1 Vetenskap - erfarenhet - känsla

Puts och putsning omgärdas ofta med en viss mystik, samtidigt som nya produkter och arbetsmetoder möts med stor skepsis. En av anledningarna till detta är att putsningsarbetet är ett mycket gammalt hantverk, som i huvudsak utvecklats genom erfarenheter och förts vidare genom muntlig tradition. De äldre murarnas erfarenheter och hemliga knep fördes vidare till lärlingar, som i sin tur förde traditionen vidare.

Under de senaste decennierna har dock vissa försök gjorts att betrakta putsområdet från en mer vetenskaplig synvinkel. På grund av ämnets stora omfattning befinner sig den vetenskapliga behandlingen ännu i sin vagga. Det som publicerats är främst sammanställningar av praktiska erfarenheter samt laboratorie- och fältundersökningar inom vissa väl avgränsade problemområden. Som exempel på utmärkta sammanställningar av putskunnandet kan nämnas Saretok (1957) och Dührkop et al (1966). Trots dessa publikationer är dock fortfarande okunnigheten stor bland de praktiskt verksamma. En av anledningarna till detta torde vara att putsområdet ofta fått en styvmoderlig behandling i den byggnadstekniska undervisningen. De flesta uppfattningar inom putsbranschen grundar sig emellertid inte på några vetenskapliga undersökningar utan främst på praktiska erfarenheter. Ofta förekommer även påståenden som grundar sig på "känsla" och som i vissa fall "bevisas" genom förvanskningar eller misstolkningar av vetenskapliga undersökningar. Genom att använda känsloladdade ord och uttryck som "en vägg måste andas" eller liknande lägges extra tyngd vid olika argument.

2.2 Vanliga fuktteknikska (miss-)uppfattningar

Ett av de dominerande diskussionsämnena i putsdebatten har varit fuktegenskaperna hos putser och ytskikt. Debatten har ofta ensidigt inriktat sig på om själva putsen skall vara "tät" eller "öppen". I olika debattinlägg framförs en mängd argument för den "öppna" putsen. Dessa argument är i många fall mycket svävande och i vissa fall direkt felaktiga.

I det följande analyseras några vanliga uppfattningar (som i de flesta fallen är felaktiga) inom putsbranschen. De motargument som framförs i detta sammanhang grundar sig på teoretiska och laboratoriemässiga undersökningar, som detaljredovisas i Sandin (1980).

Några av de vanligaste påståendena är att en vägg måste kunna andas och att täta putser medför att väggen kvävs! Dessa påståenden är mycket effektfulla och

låter trovärdiga. Vid en närmare betraktelse, utifrån dagens kunskaper, visar det sig emellertid att det inte finns någon som helst grund för dylika påståenden. När och med vilka syften uttrycken andning och kvävning gjorde sitt intåg i den byggnadstekniska debatten är okänt. Bakgrunden torde dock vara vissa undersökningar som utfördes i mitten av 1800-talet av tysken Max von Pettenkofers. (Han använde dock aldrig orden andning eller kvävning.) Med utgångspunkt från mätningar av luftomsättningen i ett rum drog nämligen Pettenkofers den, med dagens kunskaper, felaktiga slutsatsen att det huvudsakliga luftutbytet sker genom väggmaterialet. Genom enkla experiment konstaterade Pettenkofers vidare att luft kunde strömma genom porösa material som var torra. I fuktigt tillstånd strömmade däremot ingen luft genom väggen. En möjlig förklaring till uppkomsten av termen andning är att Pettenkofers gjorde sina experiment genom att helt enkelt blåsa luft genom sina provkroppar med munnen. När väl uttrycket andning accepterats ligger sedan dess motsats, kvävning, nära till hands.

Nära förknippat med föregående uttryck är påståendet att mycket stora mängder vattenånga passerar genom en yttervägg. Detta påstående används ofta i samband med diskussioner om "täta" putser. En beräkning av de fuktmängder som passerar genom en vägg är enkel att göra och visar att det i allmänhet är mycket små mängder. Dessa mängder är dessutom ointressanta. Det avgörande är i stället hur mycket vatten som kondenserar i väggen.

Avgörande för det fuktmekaniska händelseförloppet är egenskaperna hos puts och underlag samt klimatet. Detta diskuteras ytterligare på annan plats i rapporten. Generellt kan man dock säga att i byggnader med murverksytterväggar förekommer sällan problem i samband med den inifrån kommande fukten. I de fall där inomhusklimatet är extremt fuktigt, exempelvis tvätthallar och vissa industrier, kan dock problem uppstå.

Även i fråga om den utifrån kommande fukten, d v s främst slagregn, förekommer en mängd olika uppfattningar som i vissa fall är helt felaktiga. En mycket vanlig uppfattning är att en traditionell tjockputs alltid medför att den bakomliggande väggen hålls torrare. Putsen skulle alltså vara tekniskt motiverad ur fuktbalanssynpunkt. Förklaringen till detta skulle vara att under regnperioder absorberar putsen vatten och när putsen är mättad så rinner vattnet av fasaden. Inget vatten skulle sålunda tränga in i underlaget. Detta är emellertid en sanning med modifikation. I vissa fall är det sant, medan i andra fall underlaget kan suga åt sig vatten från putsen. Uttorkningen härefter kan sedan gå

mycket långsammare än i fallet utan puts. Putsen kan alltså i vissa fall medföra att väggens fuktinnehåll ökar!. Avgörande för vad som händer är egenskaperna hos både puts och underlag samt klimat. En och samma puts på olika underlag kan medföra helt olika resultat. Detta diskuteras i detalj på andra ställen i rapporten.

Vid bedömningar av uttorkningsförlopp efter ett slagregn betonas i flera artiklar (bl a Varnbo, 1972 och Andersson, 1970) att man skall använda siffervärden från ER-nämndens våtmetod. Detta synsätt grundar sig på ett mycket förenklat synsätt och kan ge mycket stora fel. Vidare medför detta förenklande synsätt att olika putser bedöms under helt olika förutsättningar. Om man exempelvis jämför två putser med avseende på "fuktgenomsläpplighet" enligt ER-nämndens våtmetod, kan man få uppfattningen att uttorkningshastigheten är 10 gånger högre med den ena putsen än med den andra. I verkligheten kanske uttorkningshastigheten är densamma!

Anledningen till dessa felbedömningar är att det fuktmekaniska händelseförloppet inte analyserats tillräckligt noga. I verkligheten sker uttorkningen av själva putsen ofta genom kapillärsugning fram till ytan, där vatten fritt kan avdunsta. När putsen torkat kommer härefter uttorkningen av underlaget i huvudsak att ske i ångfas genom putsskiktet. Detta senare förlopp är mycket långsammare än det föregående. Vid provning enligt våtmetoden finns det däremot alltid förutsättningar för kapillärsugning genom putsen. Resultaten från ER-nämndens våtmetod är sålunda inte användbar i samband med fuktbalansbedömningar. Våtmetoden är endast användbar för att avgöra i vilken utsträckning en puts kan suga vatten kapillärt.

Antagandet att vatten sugs fram till putsytan från underlaget har även medfört andra felbedömningar, bland annat vindhastighetens inverkan på uttorkningsförloppet.

I vissa fall användes en "logisk" bevisföring för att bevisa fuktmekaniska fördelar med en viss putstyp. För att "bevisa" kalkputsens fördelar används exempelvis följande bevisföring: "Ett poröst (starkt fuktsugande) material kan suga fukt från ett mindre poröst men inte tvärtom. Med ett poröst ytskikt, t ex kalkputs, kan man alltså åstadkomma en slags "fuktventil med backspärr", som hindrar ny fukt att tränga in men torkar ut befintlig fukt. Ett tätare ytskikt fungerar tvärtom. Tillsats av cement till en kalkputs gör denna inte bara hårdare utan även tätare och mindre sugande" (Holmström, 1972). Den grundläggande principen i detta resonemang, nämligen att studera både puts och underlag samtidigt, är korrekt. Det sakliga innehållet är däremot felaktigt. För att ett material skall kunna suga vatten från ett annat behöver det inte alls vara porösare. Det avgörande är istället

hur stora porerna är. Fina porer kan nämligen suga vatten från grova, men inte tvärtom.

Ett vanligt argument mot organiska tunnputser eller genomhydrofoberade tjockputser är att sprickor kan uppstå, genom vilka vatten tränger in. Att sprickor i sådana putser är ett problem är odiskutabelt. Hur stort problemet är, har dock inte studerats i någon större omfattning. Det har överhuvudtaget inte varit möjligt, eftersom kunskaperna om hur oskadade putser fungerar varit mycket bristfälliga. Fuktförhållandena vid spruckna putser diskuteras (i begränsad omfattning) på andra ställen i rapporten. Någon fullständig behandling av problemet är det dock inte.

2.3 Fuktens betydelse vid skador

I samband med vissa putsskador, främst avflagning av organiska tunnputser, anges mestadels fukten som skadeorsak. Som exempel på argument för att fukten är skadeorsak kan nämnas "för tät", "för lite fuktabsorberande" och "backventileffekt".

Det är ingen tvekan om att fukt ofta bidrar till att skador uppstår eller förvärras. I manga fall är dock "slutsatsen" beträffande fuktens inverkan felaktig eller ofullständig. Att bara skylla vissa skadetyper på fukten är en inställning som försvårar utvecklingen mot nya och bättre material och metoder. Man måste ha klart för sig att fuktproblemen i samband med putser och ytskikt bara är en liten del av ett mycket stort problemkomplex.

Några olika följdverkningar av fukt i ytterväggar diskuteras i kapitel 3. I fortsättningen av detta avsnitt skall i stället fuktens betydelse vid skador diskuteras ur en generell synvinkel.

Vid skadeanalyser är det väsentligt att försöka klarlägga hela skademekanismen. Härvid kan det vara lämpligt att dela upp eventuella skadeorsaker i primära och sekundära orsaker. En sådan uppdelning kan aldrig bli entydig men fyller ändå en stor funktion. Sambandet mellan olika faktorer, varav fukten kan vara en, kan nämligen härigenom studeras på ett bättre sätt.

För att över huvudtaget kunna analysera en putsskada måste hela konstruktionen och klimatfaktorerna studeras. Det är inte tillräckligt att enbart studera själva putsens egenskaper. Sambandet mellan egenskaperna hos puts och underlag är helt avgörande. En viss puts kan fungera utmärkt i ett sammanhang, men inte alls i ett annat! *Att generellt uttala sig om huruvida en puts är bra eller dålig är alltså omöjligt. Det avgörande är hur och var putsen används.*

Tidigare har riskerna med sprickor i "täta" putser nämnts. Förutom att sprickförekomsten är helt beroende av underlaget, så blir även den inträngande vatten-

mängden och skadeverkningarna av detta vatten beroende av underlagets egenskaper. I gamla kalkputsade fasader finns ofta sprickor innan den nya putsen appliceras. Dessa sprickor kan sedan gå igenom den nya putsen, varvid vatten kan tränga in. Gamla kalkputser, som är i behov av en renovering, har även ofta dålig hållfasthet och frostbeständighet. Om det vatten som tränger in i kalkputsen inte kan transporteras vidare in i väggen, kan fuktinnehållet lokalt bli mycket högt. Detta medför i sin tur risk för frostsprängning etc.

Om samma "täta" puts däremot appliceras på en gasbetongvägg, som tidigare putsats med en kalkcementputs, blir förhållandena helt annorlunda. Även om det finns sprickor där vatten kan tränga in, får detta vatten inte samma konsekvenser. Underlaget kan nämligen i detta fall transportera vattnet vidare, så att det fördelas över en större volym. Risken för att fuktinnehållet lokalt skall bli mycket högt, är alltså mindre i detta fall. Samtidigt är även frostbeständigheten hos gasbetong betydligt bättre. Förutsättningarna för att aktuell puts skall fungera i de båda fallen är alltså helt olika.

En inte ovanlig skadetyp är att ett nyapplicerat ytskikt på en gammal kalkputs flagnar. Ibland sker brottet en bit in i kalkputsen. Mycket ofta anges då helt enkelt, i allmänna termer, att ytskiktets dåliga fuktegenskaper är orsak till skadan. Ur juridisk synpunkt kanske detta är tillräckligt. Otvivelaktigt så fungerar ju ytskiktet inte på avsett sätt. Med tanke pa framtida användning av aktuellt ytskikt, är det emellertid inte tillräckligt med konstaterandet att fuktegenskaperna är dåliga. Den primära skadeorsaken kanske inte alls är ytskiktets fuktegenskaper. Sekundärt kan fukt däremot ha förvärrat skadan. En möjlig primär orsak till aktuella skador kan vara stora rörelser i ytskiktet i kombination med ett svagt underlag eller dålig vidhäftning, exempelvis beroende på att gamla löst sittande kalkskikt inte avlägsnats. Härigenom kan sprickor uppstå, som medför att vatten lätt tränger in och snabbt förvärrar skadan.

För att lösa problemet med det flagande ytskiktet på den gamla kalkputsen är det inte tillräckligt att bara ändra fuktegenskaperna hos ytskiktet. Även andra faktorer, exempelvis arbetsutförande och rörelser i ytskiktet, måste analyseras.

2.4 Provningsmetoder

De provningar som förekommer i putssammanhang syftar ofta till att jämföra olika putser och ytskikt. I vissa fall erhålles även siffermässiga resultat. Den fysikaliska bakgrunden analyseras dock sällan. Sådana provningar är ofta tillräckliga för de praktiskt verksamma, eftersom förekommande putser kan rangordnas.

Ur teknisk synvinkel är dock sådana provningsmetoder mindre lyckade. En puts, som med en viss provningsmetod rangordnas som "dålig", kan mycket väl uppfylla de krav som ställs i praktiken. Ett exempel på detta är när risken för att den inifrån kommande vattenångan skall kondensera och spränga bort putsen provas genom att utsätta en provvägg för allt hårdare påfrestningar. Självklart får man här en rangordning mellan putserna, men även den enligt provningen sämsta putsen kanske klarar de påfrestningar den utsätts för i praktiken.

Ett annat exempel på en tveksam provning är när en puts testas på ett visst underlag (eller utan underlag) och resultatet sedan används generellt på alla underlag.

För att en provningsmetod med tillhörande användning av resultaten skall kunna ge en någorlunda riktig bild av verkligheten, måste den fysikaliska bakgrunden först analyseras. Görs inte detta riskerar man att begå allvarliga misstag. I vissa extrema fall kan man till och med begå så stora fel att man mäter något helt annat än det som åsyftades. I detta sammanhang måste även samverkan mellan puts och underlag analyseras.

Vissa vanliga provningsmetoder, med avseende på fuktegenskaper, diskuteras i detalj i de olika delrapporterna. I kapitel 8 diskuteras även några alternativa metoder.

3 FÖLJDVERKNINGAR AV FUKT

3.1 Allmänt

Trots att de direkta följdverkningarna inte studerats, kan det vara motiverat att här delvis behandla problemet. Någon fullständig redogörelse av vad man vet respektive inte vet är det inte fråga om. Syftet är enbart att ge en kort, allmän sammanställning av de vanligaste följdverkningarna.

De olika följdverkningarna av fukt kan indelas på olika sätt. En indelningsgrund fås genom att utgå från det sätt på vilket fukten påverkar förhållandena. I vissa fall medför exempelvis fukten ensam vissa följdverkningar, medan i andra fall det krävs ytterligare faktorer för att någon direkt följdverkan skall uppstå. Förhållandena kan vidare bli helt annorlunda under och efter en uppfuktning, än vid cykliskt återkommande uppfuktningar och uttorkningar. Följdverkningarna kan i vissa fall vara bestående även efter det att fukten försvunnit medan i andra fall förhållandena är reversibla. Följdverkningarnas beroende av fuktinnehållet kan variera kraftigt. I vissa fall sker en plötslig förändring vid ett visst fuktinnehåll, medan det i andra fall sker en gradvis förändring vid ökande fuktinnehåll.

En annan indelningsgrund av fuktens följdverkningar (och med hänsyn till syftet med detta kapitel lämpligare) fås genom att utgå fran de direkta konsekvenserna. En grov sådan indelning kan göras enligt:

förändringar av materialens funktion
förändringar av materialens utseende
indirekta följdverkningar, exempelvis inomhusklimat.

Dessa huvudgrupper är inte entydiga utan sammanfaller delvis. Den allvarligaste följdverkningen är utan tvekan när materialets funktion förändras. Denna grupp kan i sin tur uppdelas exempelvis i

nedbrytning (långsam eller plötslig)
rörelser
egenskapsförändringar (bestående eller återgående)

I det följande behandlas ovanstående typer av följdverkningar var för sig. Man måste dock ha klart för sig att flera typer ofta uppträder samtidigt.

3.2 Nedbrytning

I många nedbrytningsprocesser har fukten en mycket stor betydelse. Själva termen nedbrytning används ofta i en allmän betydelse. Alternativt används även begreppet beständighet, vilket då är "motsatsen" till nedbrytning. I samband med lång-

sam nedbrytning används ibland även termen åldring. Gemensamt för dessa termer är att de ingenting säger om vad det är som förorsakar nedbrytningen eller mot vad ett material är beständigt.

För att ett resonemang om nedbrytning eller beständighet skall bli meningsfullt, måste man specificera vilka former av angrepp som avses. I samband med putser och ytskikt är de främsta fuktberoende nedbrytningsmekanismerna frostsprängning, saltvittring och kemiska/biologiska angrepp. I viss mån kan även elektrokemiska angrepp indirekt medföra nedbrytning av putser, exempelvis rostande armeringsjärn.

För att frostsprängningen skall kunna ske, måste materialet ha ett visst minsta fuktinnehåll samtidigt som materialet utsätts för kyla. Detta minsta fuktinnehåll, det kritiska fuktinnehållet med avseende på frostsprängning, är välkänt för en mängd enskilda material och enkla provningsmetoder finns utvecklade (Fagerlund, 1972). För materialkombinationer eller ytbehandlade material är däremot kunskaperna bristfälliga. De enskilda materialens fuktinnehåll måste självklart vara lägre än de kritiska för att frostskador ej skall ske. Enligt vissa teorier kan dock frostskador uppstå i gränszonen mellan två material även vid lägre fuktinnehåll. Ett exempel på detta kan vara tegel, som obehandlat kan vara "frostbeständigt", men med ett ytskikt ibland får frostangrepp. I detta sammanhang skall dock påpekas att ett ytskikt även påverkar fuktinnehållet, varför det kan vara svårt att särskilja olika faktorer. En möjlig förklaring till att det kritiska fuktinnehållet med avseende på frostsprängning kan bli lägre för ett ytbehandlat material är att ytbehandlingen täpper vissa porer i underlagets yta, med följd att porstorleksfördelningen förändras.

Saltvittring kan ske vid ett betydligt lägre fuktinnehåll än frostsprängning. Självklart krävs även närvaro av salter. Härutöver krävs emellertid även att det sker en viss avdunstning. Detta är nämligen en förutsättning för att salter skall kunna anrikas och kristallisera. Sambandet mellan avdunstningsmöjligheter, salt- och vattentillgång bestämmer risken för saltvittring. Är fuktinnehållet så lågt att ingen fukt transporteras i vattenfas, sker ingen saltvittring, eftersom salter inte kan transporteras i vattenånga. Är fuktinnehållet å andra sidan mycket högt och avdunstningshastigheten mindre än kapillärsugningshastigheten till ytan, kommer salterna att fällas ut på ytan. Om däremot förhållandena är sådana att avdunstningszonen ligger inne i ett material, eller i gränsen mellan två material, kommer salterna att kristallisera inne i konstruktionen, vilket medför stor risk för saltvittring. Även i fallet med utfällning på ytan kan en viss vittring ske. Denna går dock betydligt långsammare och blir mindre dramatisk, än när

sprängningen sker inne i materialet. Risken för saltvittring påverkas i mycket hög grad av sambandet mellan egenskaperna hos puts och underlag. Förutom de rent fuktmekaniska egenskaperna har även hållfastheten en stor betydelse. Ett material med hög hållfasthet har självklart större möjligheter att motstå de eventuella tryck, som salterna åstadkommer.

Som exempel på kemisk nedbrytning kan nämnas luftens innehåll av svaveldioxid, som kraftigt angriper kalk- och cementbaserade produkter. Under nedbrytningen omvandlas putsens karbonat till gips. Denna process medför en viss volymökning, vilket kan ge en sprängverkan. Organiska tunnputser (även vissa oorganiska) angrips inte av luftens svaveldioxid. Däremot kan den underliggande putsen lokalt angripas, exempelvis vid sprickor.

Biologiskt angrepp förekommer främst i den underliggande konstruktionen. Ogynnsamma fuktförhållanden kan exempelvis medföra rötangrepp i träreglar.

3.3 Rörelser

De flesta byggnadsmaterial uppvisar fuktberoende rörelser. Vid ökat fuktinnehåll sker en svällning och vid en sänkning av fuktinnehållet sker en krympning.

Storleken på de fuktberoende rörelserna är högst varierande för olika material. Vidare kan rörelserna vara olika i olika riktningar. Trä har exempelvis extremt stor rörelse tangentiellt med fibrerna, upp till 15%. Tegel har däremot mycket små rörelser, maximalt ca 0.001%. För gasbetong och normalt förekommande oorganiska tjockputser är den maximala rörelsen, inom det praktiskt intressanta området, ca 0.05%. Vanligen förekommande organiska tunnputser har ofta väsentligt större rörelser än oorganiska putser och underlag. Storleken varierar dock kraftigt, upp till 5% är dock inte ovanligt.

Ovanstående avser enbart de reversibla rörelserna som uppstår då materialet uppfuktas eller torkar. Förutom dessa rörelser finns det ofta en irreversibel initialkrympning, som sker under den första uttorkningen efter tillverkning eller applicering av en puts. Denna initialkrympning är ofta betydligt större än den reversibla rörelsen.

För att rörelserna enligt ovan skall kunna utvecklas får några mothållande krafter inte förekomma, utan materialen måste "ligga helt fritt". I praktisk användning är däremot materialen fastsatta på något sätt, vilket hindrar rörelsen. Detta medför att det i stället uppstår spänningar i materialet. Överstiger dessa spänningar materialets brottspänning sker brott, exempelvis en spricka. I samband med putser och underlag som har olika stora rörelser blir spänningsbilden

mycket komplicerad. Vidhäftningszonen kan utsättas för betydande påfrestningar. Storleken på dessa påfrestningar bestäms bland annat av fuktrörelsens storlek, elasticitetsmodul och konstruktiv utformning.

De olika stora rörelserna hos organiska tunnputser och underlag har troligen en mycket stor betydelse vid skador i form av spjälkningar och avflagningar. Är underlaget i bra kondition, dvs god hållfasthet, uppstår i allmänhet inga problem. Både puts och underlag tål de påfrestningar de utsätts för. Är däremot underlaget eller vidhäftningen dålig, blir spänningarna för stora i förhållande till brottspänningarna, varför brott sker i den svagaste zonen.

3.4 Egenskapsförändringar

Fuktens inverkan på materialens egenskaper är i allmänhet negativ. Hållfasthet och resistens mot nötning minskar med ökande fuktinnehåll. I putssammanhang kan även nämnas att vidhäftningen mellan puts och underlag minskar vid ökande fuktinnehåll. Detta ökar risken för skador beroende på de fuktbetingade rörelserna enligt föregående avsnitt.

En annan, med hänsyn till dagens energidebatt, mycket viktig egenskapsförändring är värmeledningsförmågan. Ett ökande fuktinnehåll medför alltid en högre värmeledningsförmåga och därmed större energiförluster genom en yttervägg. Genom en blöt gasbetongvägg kan exempelvis energiförlusterna bli dubbelt så stora som genom en torr. Fuktens inverkan på energiförlusterna genom en yttervägg behandlas utförligt i delrapport VIII.

3.5 Utseende

Förutom att de tidigare behandlade följdverkningarna kan ge synliga skadeverkningar förekommer det en mängd andra fuktberoende utseendeförändringar. Dessa utseendeförändringar är ofta av estetisk natur och är inte allvarliga med hänsyn till materialens funktion. I vissa fall kan dock små, till synes ofarliga, förändringar indikera att förutsättningarna för allvarligare angrepp finns.

Fuktfläckar på insidan av väggar är ett exempel på en utseendeförändring som indikerar att något allvarligt fel kan föreligga. En annan utseendeförändring som indikerar att risk för allvarliga angrepp föreligger är saltutfällningar. Uppstigande markfukt kan exempelvis ge saltutfällningar nedtill på fasaden. Olämplig behandling av fasaden kan medföra allvarligare skadeverkningar.

Ojämn nedsmutsning och färgförändring hos putsade fasader är ett relativt vanligt estetiskt problem. Dessa problem beror oftast på att fasaden utsätts för en ojämn

fuktbelastning. Vissa partier utsätts för mycket slagregn varvid dessa ytor tvättas rena. Andra partier ligger däremot i "regnskugga" varför smutsen ej tvättas bort. Putsens färg, ytstruktur och vattenabsorptionsförmåga samt fasadens konstruktiva utformning har stor betydelse i detta sammanhang.

Förutom att ojämn tvättning kan ge färgförändringar på en fasad kan självklart även färgförändringen bero på att fasaden utsätts för olika nedsmutsning. Rostfläckar och dylikt är exempel på detta. Olika fuktinnehåll ger även olika nedsmutsningstendens. Smutsen avsätts nämligen lättare på en fuktig yta. "Rutmönster" i ett murverk kan vara exempel på detta.

3.6 Indirekta följdverkningar

Fukt i ytterväggar kan i mycket hög grad påverka inomhusklimat och energiförbrukning. Fukten medför enligt tidigare avsnitt att väggens värmeisoleringsförmåga försämras. Detta beaktas i viss utsträckning vid dimensionering av ytterväggar. Förutom denna ökning av energiflödet tillkommer ett visst energibehov för att torka väggen efter slagregn. Detta energibehov beaktas inte vid beräkningar av väggars isoleringsförmåga. Enligt den teoretiska analysen i delrapport VIII kan denna "uttorkningsenergi" i vissa fall vara av samma storleksordning som det ökade energiflödet på grund av större värmeledningsförmåga i ett fuktigt material.

Fuktens inverkan på de totala energiförlusterna blir i verkligheten större än summan av ökad värmeledningsförmåga och "uttorkningsenergi". Det ökade energiflödet medför nämligen att yttemperaturen på insidan sänks, vilket i sin tur medför att inomhusklimatet upplevs som kyligare. För att kompensera för detta måste inomhustemperaturen höjas, vilket ger ett ännu större energiflöde.

Den sänkta yttemperaturen på insidan kan även ge risk för ytkondens på vissa ställen.

Förutom att inomhustemperaturen påverkas av väggens fuktinnehåll så kan även luftfuktigheten förändras genom att en viss uttorkning sker inåt. Den ökade luftfuktigheten inomhus ökar exempelvis risken för lokal kondens på kalla ytor. I vissa fall kan även mögel- och svampangrepp uppstå. Dålig lukt kan vara en följd av detta.

4 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Tidigare svenska undersökningar av problemområdet "fukt i samband med puts" har ofta varit praktiskt inriktade. Bengtsson (1963) samt Högberg & Hedelin (1964) redovisar exempelvis jämförande frostprovningar av olika putser på tegel.

Bland de mer rent fuktteknikska undersökningar som gjorts i Sverige kan nämnas Tell (1965), Saretok (1967) och Fyrhake (1968). Tell respektive Fyrhake redovisar fältmätningar av fuktinnehållet i ett antal väggar medan Saretok redovisar en metodstudie beträffande mätning av fuktdiffusion genom putser.

Förutom dessa undersökningar, som har ett direkt samband med putser och ytskikt, finns ett antal svenska undersökningar av rent fuktteknikska förhållanden. En stor sådan allmän undersökning redovisas av Sandberg (1973). I Adamson, Ahlgren, Bergström & Nevander (1970) ges vidare en fyllig sammanställning av ämnesområdet "fukt och fuktproblem".

De flesta undersökningar av problemet fukt-puts har under de senaste 10-20 åren genomförts i Tyskland, främst av Künzel och Schwarz. Dessa undersökningar är relativt omfattande och behandlar teoretiska synpunkter, laboratoriemätningar av olika egenskaper samt fältmätningar.

Ovanstående axplock ur tidigare undersökningar är inte på något sätt fullständig. Dessutom tillkommer ett antal sammanställningar av olika författare. Med hänsyn till ämnets omfattning är det inte meningsfullt att här redogöra för alla "delundersökningar" som gjorts inom problemområdet puts-fukt. Dessa redovisas i stället i samband med att respektive "delområde" behandlas i delrapporterna.

5 EGNA UNDERSÖKNINGAR

5.1 Allmänt

I inledningsskedet av aktuellt projekt analyserades kunskapsnivåerna med avseende på olika fuktbelastningar i samband med putsade fasader. Härvid framkom att kunskaperna varierade kraftigt för de olika fuktbelastningarna. Teorier och beräkningsmetoder för den inifrån kommande fukten var väl kända hos fuktforskare. Problemet i detta sammanhang var att kunskaperna inte nått ut till alla personer som var verksamma inom putsbranschen. Även beträffande byggfukt var kunskaperna relativt stora. Frågetecknen rörande uppstigande markfukt var betydande. Kunskaperna rörande slagregnets inverkan var dock de klart sämsta.

Med hänsyn till ovanstående har huvudvikten i de egna undersökningarna lagts vid slagregnsproblematiken. De flesta laboratorieundersökningarna avser just slagregnets inverkan på fuktförhållandena. Resultaten från dessa laboratorieundersökningar används sedan, tillsammans med tidigare välkända teorier inom fuktområdet, för att analysera hur putser och ytskikt inverkar på hela väggens fuktförhållande.

I detta kapitel görs ingen fullständig redovisning av de egna undersökningarna, utan enbart en kort allmän beskrivning av hela projektets syfte och uppläggning. Alla detaljredovisningar görs i de olika delrapporterna. I delrapport I finns även en sammanställning av de olika putser och underlag som använts vid laboratorieundersökningarna.

5.2 Syfte

Enligt den ursprungliga projektbeskrivningen är projektets målsättning "att klargöra hur puts och ytskikt påverkar väggens fukttillstånd". Mycket stor vikt har därvid lagts vid den fuktmekaniska bakgrunden till olika händelseförlopp. En betydelsefull frågeställning i detta sammanhang har varit hur olika yttre faktorer och materialegenskaper hos puts och underlag påverkar förhållandena. Sambandet mellan egenskaperna hos putsen respektive underlaget har givits stort utrymme. Något egentligt studium av hur de yttre faktorerna varierar, har däremot inte ingått i undersökningen.

Förutom ovanstående målsättning skulle även befintliga provningsmetoder analyseras och, om så var behövligt, vidareutvecklas eller förändras.

Syftet med hela projektet kan alltså kort sägas vara "klargöra fuktmekaniken samt med utgångspunkt härifrån föreslå lämpliga provningsmetoder för putsade konstruktioner".

5.3 Metoder, material och randvillkor

De fuktmekaniska studierna har utförts med hjälp av teoretiska resonemang, beräkningar och laboratoriemätningar. I de teoretiska resonemangen appliceras befintligt fuktkunnande på specialfallet puts-underlag. Beräkningarna utgår från de teoretiska resonemangen och från resultaten från laboratoriemätningarna.

För att kunna genomföra kontinuerliga mätningar av fuktinnehållets förändringar utvecklades en specialanpassad fuktmätningsmetod. Metodens grundprincip är att mäta resistansen mellan ingjutna stålelektroder. Eftersom resistansen är beroende av fuktinnehållet kan härigenom ändringar i fuktinnehållet mätas utan att provkropparna förstörs. Med denna fuktmätningsmetod har sedan fuktförhållandena registrerats under och efter slagregn med olika intensitet och varaktighet. Exempel på andra mätningar är jämviktsfuktkurvor, ånggenomsläpplighet, kapillärsugning och uttorkning. Under uttorkningen har även inverkan av solstrålning och vind studerats.

Vid valet av ingående material uppställdes kravet att materialen skulle ha (med utgångspunkt från de kunskaper som då fanns) olika fuktmekaniska egenskaper. Vidare skulle materialen vara sådana som användes i praktiken. Med tanke på att ett stort antal mätningar skulle genomföras skulle även antalet materialkombinationer vara så litet som möjligt. Med utgångspunkt från dessa krav valdes gasbetong och tegel som underlag. Som putser valdes två typer av organiska tunnputser, traditionell 3-skiktsputs, 10 mm KC-bruk på tunngrundning samt enbart 10 mm utstockning av K-, KC-, C- och M-bruk. Brukens sammansättning valdes så att putserna skulle motsvara vanligen förekommande standardputser.

På randvillkoren (klimatförhållandena) vid laboratoriemätningarna ställdes kravet att i Sverige vanliga förhållanden skulle efterliknas. Samtidigt skulle försöken inte bli alltför "långvariga". En kompromiss mellan dessa krav gav slagregnsintensiteter i intervallet 0.2-1.5 kg/m^2·h och slagregnsvaraktighet 1-24 timmar. Uttorkningsklimatet valdes till i huvudsak 20 ^{o}C och 65% RF. Solstrålningen valdes så att ytan fick en övertemperatur på ca 15-20 ^{o}C och vindhastigheten valdes i intervallet 0.5-6 m/s. I enstaka försök har även andra klimatdata förekommit.

5.4 Begränsningar

För att kunna uppfylla målsättningen med projektet enligt avsnitt 5.2 framstod det som nödvändigt att göra många olika slags mätningar. För att begränsa det totala antalet mätningar måste antalet materialkombinationer begränsas. Att göra tvärtom (ett litet antal mätningar på många olika material) ansågs olämpligt, eftersom man inte visste vad som skulle mätas. Ett sådant tillvägagångssätt hade givit en mängd materialdata, som man inte visste hur man skulle använda. Grundtanken har alltså varit att först analysera vad som skall mätas, varefter en provningsmetod kan utvecklas. När detta är gjort kan man sedan göra "standardmätningar" på ett stort antal material.

Föreliggande rapport innehåller inte någon "materialegenskapskatalog" utan redovisar främst de principiella sambanden. Angivna sifferresultat gäller endast för de i delrapport I beskrivna "typmaterialen". Andra sammansättningar eller lagringsförhållanden hos en viss puts eller underlag kan ge helt andra sifferresultat. Som exempel kan nämnas att vissa prov har gjorts med andra gasbetongkvaliteter som underlag. De principiella sambanden är oförändrade, medan däremot absolutbeloppen varierar kraftigt. Vid kapillärsugningsförsök på provkroppar bestående av gasbetong och traditionell 3-skiktsputs blev i vissa fall uppsugningshastigheten endast ca en tredjedel av den som redovisas i denna rapport.

Förutom att underlagets egenskaper varierar kraftigt inom en viss materialtyp, så varierar även putsens exakta egenskaper i praktisk användning. Medveten eller omedveten ändring i sammansättningen, exempelvis olika bindemedelshalt eller ballastgradering, medför troligen stora förändringar av putsens fuktmekaniska egenskaper. Även åldringen av putsen torde ha mycket stor betydelse. Detta gäller i hög grad även organiska tunnputser och har inte alls studerats i aktuellt projekt.

För att kunna göra generella bedömningar av olika putsers "lämplighet" ur fuktsynpunkt måste inverkan av ovanstående faktorer studeras, samtidigt som följdverkningarna av fukten analyseras. Vid sådana undersökningar bör även inverkan av sprickor i putsen och fogar i underlaget studeras i detalj. Det sistnämnda har inte alls beaktats i de utförda undersökningarna utan underlaget har hela tiden betraktats som homogent.

6 FUKTMEKANIK

6.1 Allmänt

De fuktmekaniska händelseförloppen i specialfallet puts-underlag styrs naturligtvis av generella fuktmekaniska samband. För att diskussionen i de följande kapitlen skall kunna bli direkt inriktad på putsens inverkan, behandlas i detta kapitel vissa grundläggande definitioner och samband.

Syftet med detta kapitel är att ge en kortfattad, allmän beskrivning av olika fuktfysikaliska processer. Ekvationer, som matematiskt beskriver olika mekanismer, redovisas endast i undantagsfall. Några härledningar och liknande redovisas inte alls. En utförlig behandling av de olika mekanismerna finns i delrapporterna III-V.

6.2 Fukt i luft

I luft finns alltid en viss mängd vattenånga. Denna mängd kan kvantifieras på flera olika sätt. Inom byggnadstekniken är ett vanligt sätt att helt enkelt ange vikten av vattenångan per volymsenhet luft. Man talar härvid om ånghalt eller absolut luftfuktighet och i SI-enheter blir sorten kg/m^3. I vissa fall används även vattenångans partialtryck (dvs trycket av enbart den vattenånga som finns i luften) som ett mått på mängden vattenånga i luften.

Vid en given temperatur kan luft inte innehålla mer än en viss given mängd vattenånga, mättnadsånghalten respektive mättnadstrycket. Sambandet mellan dessa värden och temperaturen framgår av TAB 6:1.

Luftens fuktinnehåll kan även karakteriseras med den relativa luftfuktigheten, RF (ϕ), som uttrycker luftens aktuella ånghalt (v) i förhållande till mättnadsvärdet (v_s). Alternativt används även motsvarande tryck. Den relativa luftfuktigheten anges ofta i procent och kan då skrivas

$$\phi = \frac{v}{v_s} \cdot 100 \qquad (6:1)$$

Enbart RF ger inte något direkt mått på luftens fuktinnehåll. För att få ett mått på fuktinnehållet måste även temperaturen vara känd. Ett högt värde på RF behöver inte innebära ett högt fuktinnehåll i luften. Luft med 40% RF kan mycket väl innehålla mer vattenånga än luft med 90% RF. Luftfuktigheten kan aldrig överstiga 100%. Om man beräkningsmässigt får ett värde större än 100% inträffar kondens så att RF blir 100%. Den temperatur då kondens inträffar kallas daggpunkten.

TAB. 6:1 Vattenångans mättnadstryck respektive mättnadsånghalt vid olika temperaturer.

Temperatur °C	Vattenångans mättnadstryck N/m^2	Vattenånghalt g/m^3	Temperatur °C	Vattenångans mättnadstryck N/m^2	Vattenånghalt g/m^3
-20	102.6	0.89	16	1817	13.66
-18	124.0	1.06	17	1937	14.49
-16	150.6	1.27	18	2063	15.36
-14	181.3	1.52	19	2197	16.29
-12	217.3	1.81	20	2338	17.3
-10	259.9	2.15	21	2486	18.3
- 8	309.3	2.54	22	2643	19.4
- 6	367.9	3.00	23	2809	20.6
- 4	437.2	3.53	24	2983	21.8
- 2	517.2	4.15	25	3167	23.0
0	610.5	4.86	26	3360	24.4
+ 1	657.2	5.18	27	3564	25.8
2	705.2	5.57	28	3779	27.2
3	758.5	5.96	29	4004	28.7
4	813.1	6.37	30	4242	30.4
5	871.8	6.79	31	4492	32.1
6	934.4	7.26	32	4753	33.8
7	1001.0	7.74	33	5029	35.7
8	1073	8.27	34	5319	37.6
9	1148	8.83	35	5623	39.6
10	1228	9.40	36	5940	41.7
11	1312	10.03	37	6274	43.9
12	1402	10.67	38	6624	46.2
13	1494	11.38	39	6975	48.6
14	1598	12.05	40	7414	51.1
15	1705	12.83			

Sambanden mellan temperatur, ånghalt och relativ luftfuktighet framgår tydligt om man studerar luftens tillstånd då temperaturen ändras i en given luftvolym med viss ånghalt. (Betraktelsesättet i det följande är dock en förenkling.) Utgå exempelvis från luft med temperaturen 20 °C och ånghalten 10.0 g/m^3. Mättnadsånghalten vid 20 °C är enligt TAB 6:1 17.3 g/m^3, vilket ger att RF är 58%. När temperaturen sänks sjunker även mättnadsånghalten medan däremot den verkliga ånghalten är konstant, så länge ingen kondens sker. Vid temperaturen 15 °C är RF 78%. När temperaturen sänks så mycket att mättnadsånghalten är densamma som den verkliga ånghalten blir RF 100%. Detta inträffar vid 11 °C, som då är daggpunkten. Sänkes temperaturen nu ytterligare kommer RF att förbli 100% samtidigt som ånghalten sjunker. Ånghalten kommer att vara densamma som mättnadsånghalten vid motsvarande temperatur. Överskottsångan kommer att kondensera, varvid ångan övergår i vattendroppar.

6.3 Fukt i porösa material (fuktfixering)

Med ett poröst material avses i denna rapport ett material som innehåller fuktmekaniskt aktiva porer. Dessa porer är i allmänhet mycket små och för blotta ögat osynliga. I vissa material finns även större och för ögat synliga håligheter, exempelvis luftblåsor med storleken 0.1-1 mm i gasbetong. Dessa saknar dock i allmänhet betydelse för det fuktmekaniska händelseförloppet. I denna rapport används även begreppen fin- och grovporösa material. Denna indelning grundar sig på de för ögat osynliga men ur fuktsynpunkt aktiva porerna. Ett till synes icke poröst material (tegel) kan alltså vara mer grovporöst än ett till synes mycket poröst material (gasbetong). Vid alla jämförelser mellan grov- och finporösa material förutsätts att den totala porvolymen är konstant.

Om ett helt torrt material placeras i luft med en viss relativ luftfuktighet, kommer vattenånga från luften att tränga in i materialets porer. En del av denna vattenånga absorberas på porväggar eller kondenserar i små porer, med följd att ytterligare vattenånga tränger in i porerna. Slutligen nås jämvikt så att luften i porerna har samma ånghalt som luften utanför materialet. I detta skede finns alltså en viss mängd vatten som är bundet till materialet på något sätt. Bindningssätt och den mängd vatten som binds varierar med RF-nivån.

Sambandet mellan fuktinnehåll och relativ luftfuktighet kallas (hygroskopisk) jämviktsfuktkurva. Denna kurva varierar kraftigt för olika material och varierar även för ett visst material beroende på hur jämviktsfuktkurvan bestämts. Om materialet från början är torrt och genomgår uppfuktning för att nå jämvikt, kallas kurvan för absorptionskurva. Om materialet från början är blött och genomgår uttorkning för att nå jämvikt erhålles desorptionskurvan. Desorptionskurvan ligger i allmänhet över absorptionskurvan enligt FIG 6:1. Detta fenomen kallas hysteresis och kan i vissa fall ha mycket stor betydelse. Temperaturens inverkan på jämviktsfuktkurvan är för oorganiska material obetydlig. Exempel på jämviktsfuktkurvor finns i FIG 6:2. Ytterligare kurvor redovisas i Ahlgren (1972).

Av praktiska skäl utgör 97-98% RF den praktiska gränsen för det hygroskopiska området. Vid fuktkvoter som ligger över jämviktsfuktkvoten vid 97-98% RF använder man i stället kapillära jämviktsfuktkurvor. Dessa högre fuktinnehåll nås genom att vatten tillförs materialet exempelvis genom kapillärsugning eller kondensation vid en temperaturgradient. Vanligen anges i detta fall fuktinnehållet i relation till det porvattenundertryck (suction) som råder i det bundna vattnet enligt FIG. 6:3. Exempel på kapillära jämviktskurvor redovisas i FIG. 6:4.

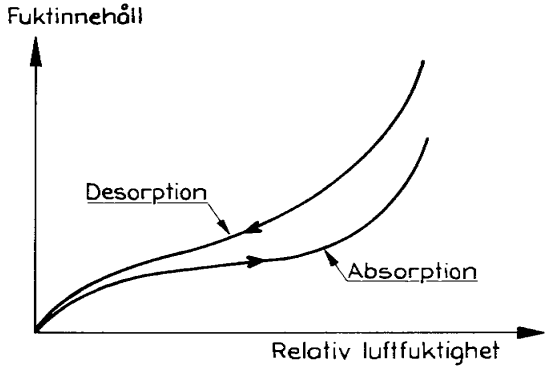


FIG. 6:1. Principiell hygroskopisk jämviktsfuktkurva.
Hygroscopic moisture equilibrium curve.

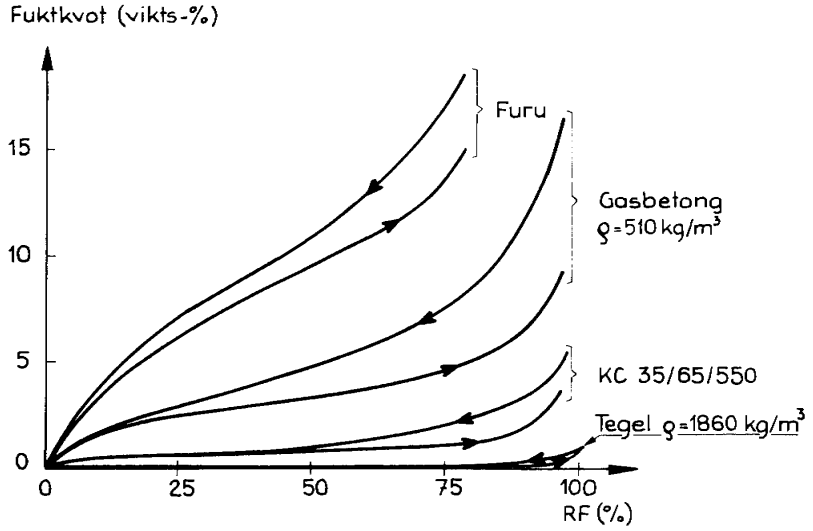


FIG. 6:2. Exempel på hygroskopiska jämviktsfuktkurvor. (Ahlgren, 1972).
Examples of hygroscopic moisture equilibrium curves.

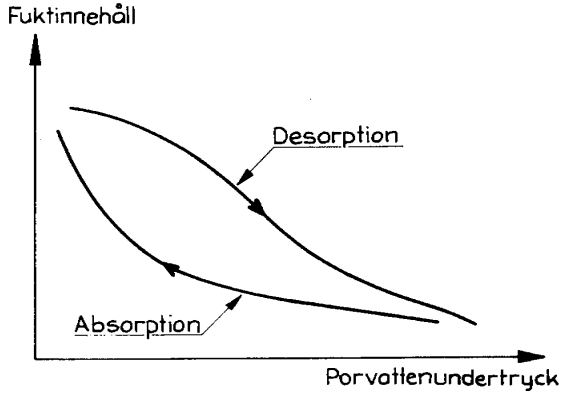


FIG. 6:3. Principiell kapillär jämviktsfuktkurva.
Capillary moisture equilibrium curve.

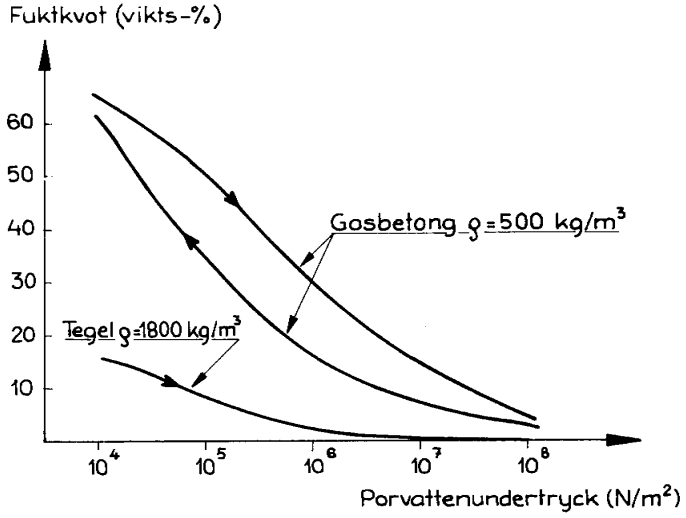


FIG. 6:4. Exempel på kapillära jämviktsfuktkurvor. (Bomberg, 1974).
Examples of capillary moisture equilibrium curves.

Uppdelningen i hygroskopisk och kapillär jämviktsfuktkurva är helt betingad av sättet att bestämma kurvorna. De båda kurvorna kan teoretiskt överföras i varandra. Som exempel kan nämnas att 93% RF är identiskt med att porvattenundertrycket är $9.8 \cdot 10^6$ N/m^2. En direkt jämförelse mellan FIG. 6:1 och 6:3 är dock något förvirrande eftersom ökande RF medför minskande porvattenundertryck.

Jämviktsfuktkurvornas utseende är helt avgörande för det fuktinnehåll som kommer att råda vid jämvikt. Om två material, med olika fuktinnehåll och olika jämviktsfuktkurvor, placeras i ett slutet utrymme kan det från början "våtaste" materialet mycket väl absorbera ännu mer vatten medan det från början "torrare" materialet torkar ut.

6.4 Fukttransport

Fukttransportmekanismerna är ofta mycket komplicerade under praktiska förhållanden. För att beskriva det totala förloppet används i allmänhet förenklade modeller, som anpassas efter tillgängliga materialdata, syfte med beräkningen etc. I det följande beskrivs först olika transportmekanismer för sig. Därefter görs en förenklad beskrivning av det totala förloppet.

6.4.1 Fukttransport i ångfas

Fukttransport i ångfas sker i huvudsak genom diffusion eller konvektion. Ångtransporten sker alltid i luft. För att ångtransport skall kunna ske i ett material måste det alltså finnas luftfyllda porer eller sprickor. Detta förutsätter i sin tur att fuktinnehållet ligger i det hygroskopiska området. Vid högre fuktinnehåll "täpps" fler och fler porer med följd att fukttransporten måste ske i vätskefas.

Ångtransport genom konvektion sker under inverkan av en totaltryckskillnad. Denna tryckskillnad medför att luft strömmar från ett utrymme med högt tryck till ett utrymme med lågt tryck. Den transporterade luften innehåller vattenånga, vilket medför att även en fukttransport sker. I normala väggkonstruktioner är luftgenomsläppligheten liten genom själva materialet. Den transporterade fuktmängden blir då liten och några problem är inte aktuella. Genom sprickor eller liknande kan däremot den konvektivt transporterade fuktmängden bli stor, med åtföljande risk för problem. Dessa problem ligger dock utanför ramen för denna rapport och diskuteras inte mer.

Ångtransport genom diffusion sker under inverkan av en ånghaltsskillnad. Vid praktiska beräkningar beskrivs ofta fuktflödet genom ett material av

$$g = \frac{\delta_v}{d}(v_1 - v_2) = \frac{1}{Z_v}(v_1 - v_2) \qquad (6:2)$$

där

g	= fuktflödestäthet	$kg/m^2.s$
δ_v	= ånggenomsläpplighetskoefficient	m^2/s
d	= materialets tjocklek	m
v_1-v_2	= ånghaltsskillnad	kg/m^3
Z_v	= ånggenomgångsmotstånd	s/m

I ekvation (6:2) används en ånghaltsskillnad som potential. Härmed är dock inte sagt att fukttransporten alltid sker genom diffusion i ångfas. Andra mekanismer bidrar ofta till fuktflödet. Vid höga RF-nivåer inträder exempelvis lokal transport i vätskefas. Vid användandet av ekvation (6:2) bortser man från detta och bestämmer i stället δ_v vid olika fuktinnehåll i materialet. I FIG. 6:5 redovisas ett exempel på hur δ_v varierar med RF-nivån. Som synes så förändras δ_v mycket dramatiskt vid 90-95% RF. Detta medför vissa praktiska svårigheter att välja ett lämpligt värde vid höga RF-nivåer. Vid RF understigande 90% är det däremot inga problem. Anledningen till den kraftiga ökningen vid 90-95% RF är att alltfler porer vattenfylls, vilket medför att fukttransport i vattenfas möjliggörs mer och mer. Vid RF-nivåer under 90% dominerar däremot den renodlade ångtransporten genom diffusion.

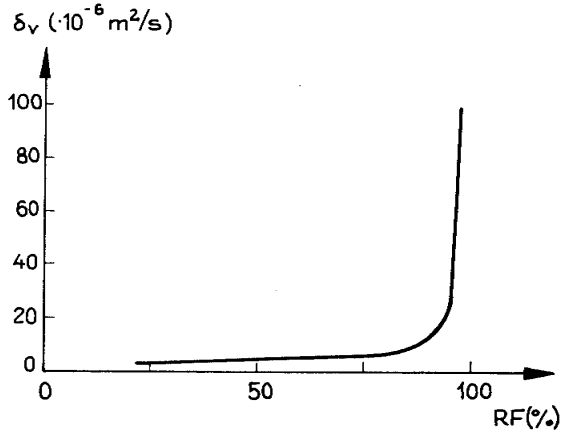


FIG. 6:5. Ånggenomsläpplighetskoefficienten som funktion av RF för gasbetong enligt delrapport IV.

Relationship between coefficient of vapour conductivity and relative humidity, aerated concrete.

6.4.2 Fukttransport i vattenfas

Om ett smalt glasrör (kapillärrör) placeras vertikalt med ena änden i vatten så kommer vattnet att sugas upp i röret. Drivkraften är det undertryck som uppstår i vattnet vid menisken (gränsen mellan vatten och luft) i röret. Detta undertryck ges av

$$P_c = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{r} \qquad (6:3)$$

där

P_c	= undertryck vid menisken	N/m^2
σ	= vattnets ytspänning	N/m
θ	= randvinkel	
r	= rörets radie	m

Randvinkeln beror på vattnets förmåga att "väta" rörväggen. För vanliga byggnadsmaterial sätts ofta θ till 0, vilket innebär fullständig vätning.

Randvinkeln kan dock påverkas i mycket hög grad. Vid hydrofobering, med exempelvis silikoner eller dylikt, ändras randvinkeln till 100-130^0. Ytspänningen varierar med temperaturen. Vid 18 ^{0}C är $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ N/m.

Den kapillära uppsugningen i kapillärröret pågår så länge som det kapillära undertrycket är större än gravitationens motriktade inverkan. Enligt ekvation (6:3) ökar undertrycket med minskande rörradie. Detta medför att även den maximala sughöjden ökar med minskande rörradie, vilket illustreras i FIG. 6:6.

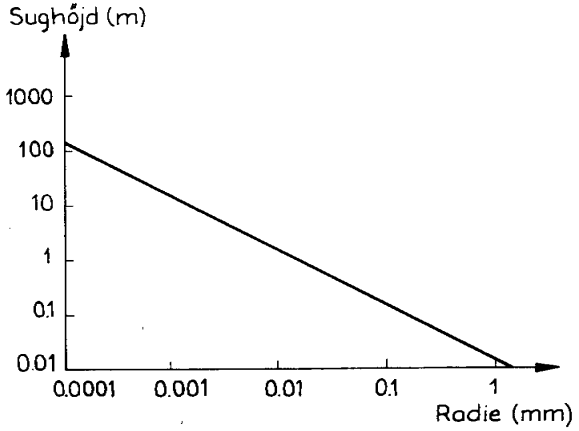


FIG. 6:6. Samband mellan maximal kapillär sughöjd och kapillärrörets radie.
Relationship between maximum capillary rise and capillary radius.

Den hastighet varmed vattnet sugs upp i röret ges, om man bortser från gravitationens inverkan, av

$$v = \frac{r \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{4 \cdot \eta \cdot z} \qquad (6:4)$$

där

v	= stighastighet	m/s
η	= dynamisk viskositet	Ns/m^2
z	= aktuellt inträngningsdjup	m

Enligt ekvation (6:4) avtar inträngningshastigheten med minskande rörradie och ökande inträngningsdjup. Sugkraften, vilken bestämmer den maximala sughöjden, och inträngningshastigheten är alltså beroende av radien på helt motsatta sätt. Detta, som är mycket väsentligt i senare resonemang, illustreras i FIG. 6:7.

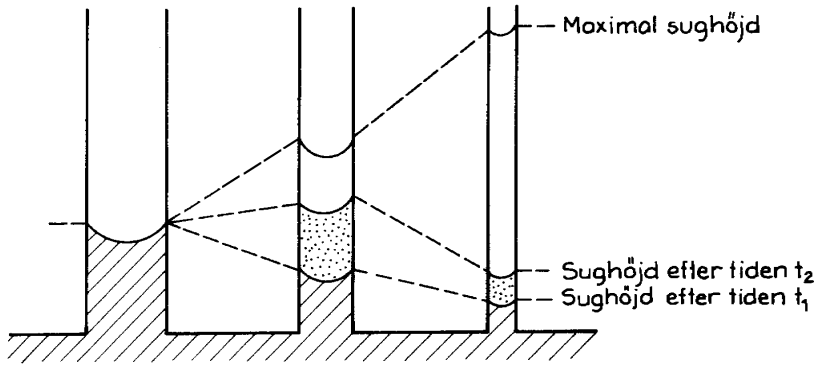


FIG. 6:7. Kapillärsugning i rör med olika radie.
Capillary rise in tubes with different radii.

I verkliga material består porsystemet inte av några enkla kapillärrör utan är mycket komplicerat. De principiella sambanden är dock direkt överförbara på porösa material även om någon direkt matematisk behandling inte är möjlig. Material med fina porer har alltså stor sugkraft och stor maximal sughöjd men liten sughastighet. För grovporösa material gäller motsatsen.

För sughastigheten måste man i stället för porradien använda någon annan koefficient, som bestämmes i laboratorieförsök. Allmänt brukar flödet beskrivas genom

$$g = -K \cdot \frac{d\psi}{dz} \qquad (6:5)$$

där

g = fuktflöde

K = transportkoefficient

ψ = potential

z = längdkoordinat

Ekvation (6:5) och (6:4) uttrycker exakt samma sak. K och ψ kan direkt uttryckas i de parametrar som ingår i ekvation (6:4).

Ekvation (6:5) kan även användas vid andra potentialer än porvattenundertryck. Exempel på andra potentialer är temperatur och ånghalt (jfr ekvation (6:2)).

På grund av att verkliga materials porsystem består av en mängd porer med varierande radier blir den maximala sughöjden inte entydigt definierad. Olika resultat erhålles beroende på hur jämvikten nås. Om ett från början torrt material får suga vatten erhålles en viss stighöjd. Om samma material är vattenmättat från början kommer dock vattnet inte att sjunka till samma nivå. Slutnivån i detta fall blir något högre, beroende på hysteresiseffekten.

6.4.3 Kombinerad ång- och vattentransport

I praktiken sker nästan alltid fukttransporten i vatten- och ångfas samtidigt enligt principskissen i FIG. 6:8. Vid låga fuktinnehåll är de flesta porerna

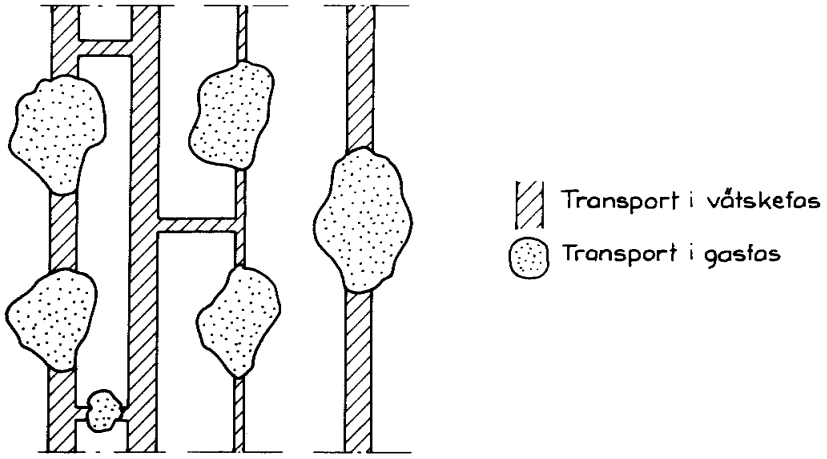


FIG. 6:8. Fukttransport i ett poröst material.
Moisture transport in a porous material.

luftfyllda, varför transporten i huvudsak sker i ångfas. Vid höga fuktinnehåll är däremot de flesta porerna vattenfyllda, varför transporten i vattenfas dominerar. Övergången mellan dessa två områden är succesiv. Teoretiskt skulle det vara möjligt att använda en enda ekvation att beskriva hela förloppet. Detta medför dock beräkningsmässiga svårigheter, eftersom transporthastigheten (transportkoefficienten) i övergångszonen ändras mycket kraftigt, flera 10-potenser. Med hänsyn härtill brukar man vanligen beräkningsmässigt betrakta förloppet som ångtransport upp till ett visst fuktinnehåll. Över detta fuktinnehåll behandlas sedan problemet som transport i vätskefas. Fuktinnehållet vid denna beräkningsmässiga övergång kallas det kritiska fuktinnehållet med avseende på kapillärtransport. Som exempel kan nämnas att den kritiska fuktkvoten för tegel och gasbetong är 3-4 respektive 30-40 vikt%, vilket motsvarar fuktinnehållet 60-80 respektive 120-200 kg/m^3.

De transportkoefficienter som används inom de olika områdena är inte konstanta, utan kan variera kraftigt med fuktinnehållet. Detta medför att bestämningen av koefficienterna blir besvärlig, eftersom mätningar måste göras vid olika fuktinnehåll. Även beräkningar av praktiska fuktförlopp blir besvärliga och kräver tillgång till dator.

7 PUTSENS INVERKAN PÅ VÄGGENS FUKTBALANS

7.1 Allmänt

Ytterväggar påverkas av ett flertal olika fuktkällor. Vanligen indelas fuktkällorna i luftfukt, slagregn, byggfukt, markfukt samt övriga. Dessa fuktkällor samt övriga randvillkor, exempelvis temperatur, solstrålning och vindhastighet, är ofta givna på förhand och kan inte påverkas. Förutom av dessa givna faktorer påverkas fukttillståndet i en yttervägg även i mycket hög grad av ingående material och konstruktiv utformning. I detta sammanhang är utvändig puts och ytbehandling av mycket stor betydelse.

I detta avsnitt diskuteras hur utvändig puts eller ytbehandling påverkar fuktbalansen. För att renodla framställningen behandlas de olika fuktkällorna var för sig. Huvudvikten läggs vid slagregnets och luftfuktens inverkan. Förhållandena vid bygg- och markfukt är snarlika fallet med uttorkning efter slagregn och behandlas endast kortfattat.

Vid en bedömning av praktiska förhållanden måste naturligtvis inverkan av alla fuktkällor studeras samtidigt.

En stor del av den fortsatta behandlingen är enbart kvalitativa resonemang. En kvantitativ beräkning av olika förlopp är ofta omöjlig av flera skäl. Randvillkor och materialdata är bara delvis kända. Som exempel på osäkra eller okända data kan nämnas slagregnsegenskaper och fukttransportkoefficienter.

De data som bestämts i genomförda laboratorieförsök avser enbart ett fåtal material under vissa givna betingelser. Några generella absolutvärden för olika material finns inte.

Många gånger är dock en kvalitativ bedömning av fuktförhållandena tillräcklig. Frågan om en viss puts medför ett lägre eller högre fuktinnehåll är exempelvis en angelägen kvalitativ bedömning. Under alla omständigheter torde det vara bättre att göra en teoretiskt riktig kvalitativ bedömning än att bara gissa eller sväva i total ovisshet.

7.2 Luftfukt

Luftfukten kan påverka en fasads fuktbalans på flera sätt. Det vanligaste är ångtransport genom väggen med tillhörande kondensrisk. I detta avsnitt kommer enbart dessa frågeställningar att studeras. Den teoretiska bakgrunden beskrivs i delrapport IV. Här beskrivs enbart randvillkor, beräkningsprincip samt några beräkningsexempel.

7.2.1 Randvillkor

Ånghalt, relativ luftfuktighet och temperatur hos utomhusluft är väl dokumenterad för Sverige. Årsvariationerna för några svenska orter redovisas i FIG. 7:1-3.

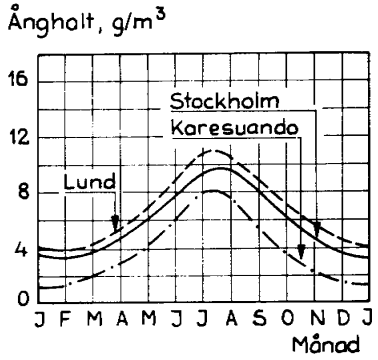


FIG. 7:1. Vattenanghaltens årsvariation i några svenska städer.
Annual variation of vapour concentration in some Swedish places.

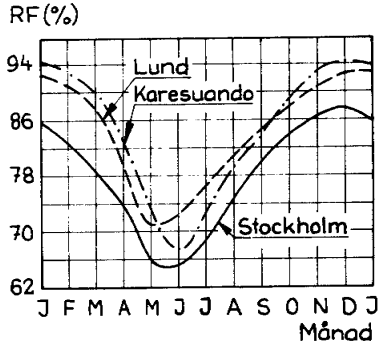


FIG. 7:2. Relativa fuktighetens årsvariation i några svenska städer.
Annual variation of relative humidity in some Swedish places.

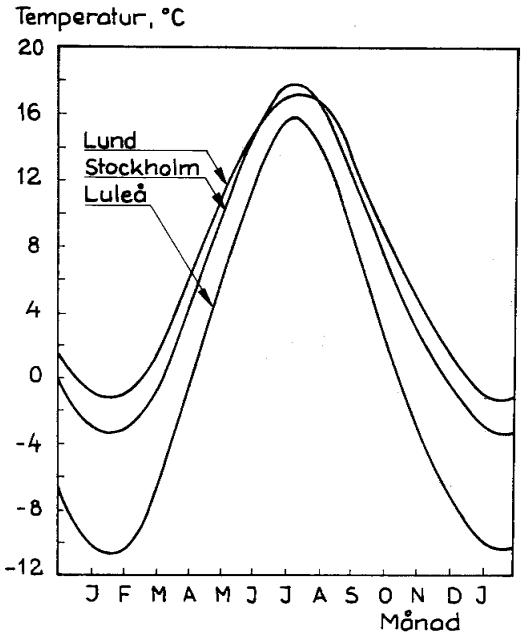


FIG. 7:3. Dygnsmedeltemperaturens årsvariation för Lund, Stockholm och Luleå baserad på månadsmedeltemperaturer. 1931-1960. (Sandberg, 1973).

Annual variation of daily mean temperature in some Swedish places.

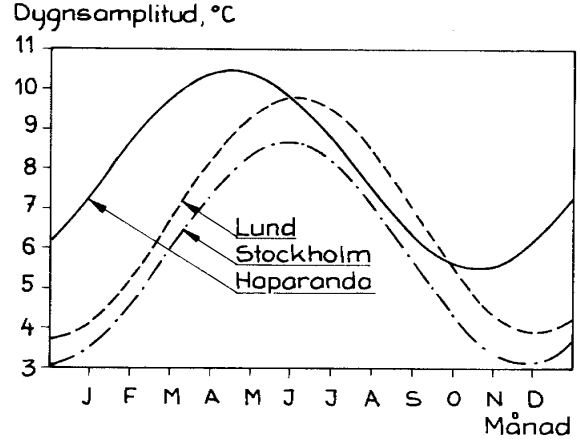


FIG. 7:4. Skillnad mellan max- och mintemperatur under året. (Sandberg, 1973).

Annual variation of difference between daily maximum and minimum temperature.

Ånghalten är ganska konstant under dygnet. Temperaturen och relativa luftfuktigheten har däremot en stor dygnsvariation, som dessutom är årstidsberoende. I FIG. 7:4 redovisas skillnaden mellan dygnets max- och mintemperatur under året.

Inomhusånghalten bestäms av utomhusånghalten, fuktproduktionen inomhus och ventilationen. Vid stationärt tillstånd ges inomhusånghalten av

$$v_i = v_u + \frac{G}{n \cdot V} \qquad (7:1)$$

där v_i = inomhusånghalt kg/m^3
v_u = utomhusånghalt kg/m^3
G = fuktproduktion inomhus kg/s
n = ventilationsintensitet s^{-1}
V = rumsvolym m^3

Fuktproduktion och ventilationsintensitet kan variera inom vida gränser. Som riktvärden på kvoten (G/n·V) kan följande värden användas

Kontor, "torra" bostadsrum, torr industri	0.002 kg/m^3
"Fuktiga" bostadsrum (kök och badrum)	0.004 kg/m^3
Fuktig industri	0.006 kg/m^3

I rum med luftkonditionering får överskottsfuktinnehållet beräknas från fall till fall.

Ovanstående värden avser medelvärden under lång tid. Temporärt kan väsentligt högre värden gälla. Plötsliga förändringar i fuktproduktionen medför emellertid inte samma förändring i ånghalten. Väggar, tak, golv och inredning medför en kraftig dämpning av ånghaltsvariationerna.

Vid beräkning av temperaturfördelningen genom väggen antas i följande beräkningsexempel att värmemotståndet på ut- och insidan är 0.05 respektive 0.20 $m^2 \cdot {}^oC/W$.

7.2.2 Ångtransport och kondensrisk

Här behandlas enbart ångtransport på grund av en ånghaltsskillnad mellan ut- och insidan, d v s det som i allmänhet benämnes diffusion.

Enligt föregående avsnitt är i normala fall ånghalten högre inomhus än utomhus. Detta förorsakar en ångtransport genom väggen och i vissa fall kan kondensation inträffa. Denna ångtransport och kondensation kan beräkningsmässigt analyseras enligt delrapport IV. Vid en sådan analys bestäms först en ånghaltskurva genom väggen, varefter denna kurva jämförs med mättnadsånghaltskurvan. Om den beräknade ånghaltskurvan alltid ligger under mättnadsånghaltskurvan sker ingen kondens. Om den beräknade ånghaltskurvan däremot tangerar eller ligger högre

TABELL 7:2. Klimatdata vid kondensberäkningar.

Beräkningsfall	Inomhus		Utomhus	
	Temperatur (^oC)	Ånghalt (kg/m^3)	Temperatur (^oC)	Ånghalt (kg/m^3)
Fall I	+20	$5 \cdot 10^{-3}$	-10	$2 \cdot 10^{-3}$
Fall II	+20	$8 \cdot 10^{-3}$	-10	$2 \cdot 10^{-3}$

TABELL 7:3. Materialdata vid kondensberäkningar.

Material	Värmeledningsförmåga (W/mK)	Ånggenomsläpplighets-koefficient (m^2/s)
Gasbetong	0.15	$10 \cdot 10^{-6}$
Tegelmurverk	0.60	$3 \cdot 10^{-6}$
Trä	0.14	$0{,}2 \cdot 10^{-6}$
Fiberskiva	0.05	$6 \cdot 10^{-6}$
Cellplast	0.04	$1 \cdot 10^{-6}$
Mineralull	0.04	$20 \cdot 10^{-6}$
Kutterspån	0.08	$14 \cdot 10^{-6}$

storleksordningar. I verkligheten påverkar materialens hygroskopicitet och varierande utomhusklimat förhållandena i mycket hög grad. Solstrålning mot fasaden medför exempelvis att eventuell kondensmängd kan "drivas" in i väggen igen. Stor hygroskopicitet medför även att jämviktsläget kanske inte hinner inställa sig.

För en noggrannare analys krävs datorberäkningar. Sådana har utförts för ett antal väggtyper av bl a Sandberg (1973), Anderlind (1974) och Andersson (1979).

Gasbetongvägg

Väggen består av 300 mm gasbetong K500. Förhållandena studeras både med och utan utvändig puts samt med och utan tilläggsisolering mellan gasbetong och puts enligt FIG. 7:6. Ingen hänsyn tas till fogarnas inverkan. Resultatet redovisas i TAB. 7:4. Kondensen sker i allmänhet i gränsen mellan puts och underlag.

TABELL 7:1. Ånggenomsläpplighet (m/s) för putser och ytskikt erhållna vid mätning med "skålmetoden" vid olika fukttillstånd. (Enligt delrapport IV)

Puts/ytskikt	RF i respektive utanför skålen		
	0-40 %	93-65 %	100-65 %
10 mm K 100/800	0.15	0.10	0.15
10 mm KC-C 100/650	0.10	0.13	0.18
10 mm M-A 100/600	0.07	0.17	0.13
10 mm C 100/425	0.02	0.03	0.07
3-skikts tjockputs	0.08	0.05	0.09
Alkydtunnputs	0.01	0.02	0.02
Vinylacetat/vinylkaprat-tunnputs	0.01	0.07	0.13

Anm: De i vissa fall högre värdena vid lägre RF-nivåer beror troligen på att provkropparna vid de högre RF-nivåerna hade härdat väsentligt längre tid. (Se vidare delrapport IV).

Vid beräkningar av kondensrisk i samband med putser finner man att den relativa luftfuktigheten ofta ligger i nivån 90-100%. Ånggenomsläpplighetskoefficienten för putser bestäms dock enligt ER-nämndens torrmetod vid 0-50% RF, vilket ger ett för lågt värde. En beräkning med dessa värden ger alltså ett alltför pessimistiskt resultat. En användning av ER-nämndens våtmetod ger å andra sidan ett alltför optimistiskt resultat för vissa putser. För att få ett riktigt värde på ånggenomsläppligheten skall mätningen göras så att den relativa luftfuktigheten i provet blir 90-98% RF. Detta diskuteras ytterligare i delrapport IV.

7.2.3 Beräkningsexempel

I det följande redovisas resultat från beräkningar av kondensrisk och i förekommande fall även kondensmängder för några olika väggtyper. För att visa hur olika faktorer inverkar på resultatet, varieras förutsättningarna något i vissa fall. De väggtyper som studeras är homogen gasbetongvägg, 1-stens tegelvägg samt "plankvägg".

Faktorer som varieras är putsens ånggenomsläpplighet, värmeisoleringens tjocklek, isoleringens placering samt inomhusklimat.

Klimat- och materialdata är i samtliga beräkningsfall valda enligt TAB. 7:2-3. Kondensmängderna är beräknade för en 2-månadsperiod. De angivna kondensmängderna skall inte betraktas som några exakta mängder utan är enbart

Tegelvägg

Väggen består av 1-stens tegelmurverk med 10 cm tilläggsisolering av mineralull. Förhållandena studeras med isoleringen placerad ut- respektive invändigt enligt FIG. 7:7.

Resultatet redovisas i TAB. 7:5. Vid utvändig isolering sker all kondens mot putsen och vid invändig isolering mot tegelmurverket.

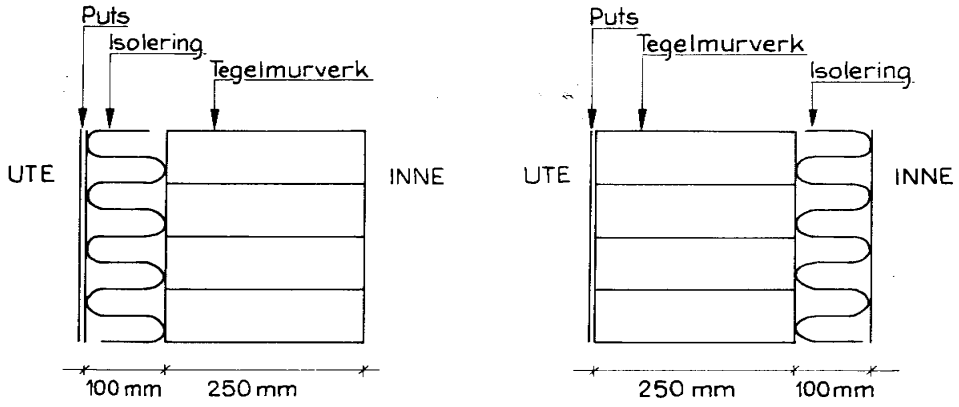


FIG. 7:7. Tegelvägg vid kondensberäkning.
Clay brick wall used at calculation of condensation.

TABELL 7:5. Beräkningsmässiga kondensmängder (kg/m^2) under en 60-dygnsperiod för tegelvägg. Klimat- och materialdata enligt TAB 7:2-3 respektive FIG 7:7.

Väggkonstruktion	Fall I			Fall II		
	Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)			Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)		
	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$
250 mm tegel + 100 mm mineralull (utv)	0	0.07	0.16	0	0.25	0.34
100 mm mineralull (inv) + 250 mm tegel	1.91	1.92	1.97	5.02	5.03	5.08

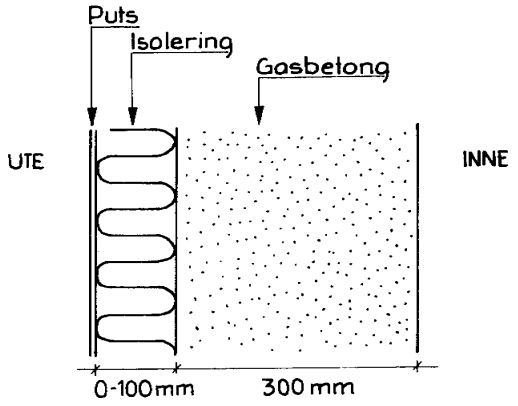


FIG. 7:6. Gasbetongvägg vid kondensberäkning.
Aerated concrete wall used at calculation of condensation.

TABELL 7:4. Beräkningsmässiga kondensmängder (kg/m^2) under en 60-dygnsperiod för gasbetongsvägg. Klimat- och materialdata enligt TAB 7:2-3 respektive FIG 7:6.

Väggkonstruktion	Fall I			Fall II		
	Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)			Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)		
	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$
300 mm gasbetong	0	0.37	0.47	0	0.89	0.99
300 mm gasbetong + 50 mm cellplast (utv)	0	0.09	0.18	0.14	0.39	0.47
300 mm gasbetong + 100 mm cellplast (utv)	0	0.03	0.11	0	0.15	0.23
300 mm gasbetong + 50 mm mineralull (utv)	0	0.35	0.44	0	0.83	0.92
300 mm gasbetong + 100 mm mineralull (utv)	0	0.33	0.41	0	0.78	0.86

Tegelvägg

Väggen består av 1-stens tegelmurverk med 10 cm tilläggsisolering av mineralull. Förhållandena studeras med isoleringen placerad ut- respektive invändigt enligt FIG. 7:7.

Resultatet redovisas i TAB. 7:5. Vid utvändig isolering sker all kondens mot putsen och vid invändig isolering mot tegelmurverket.

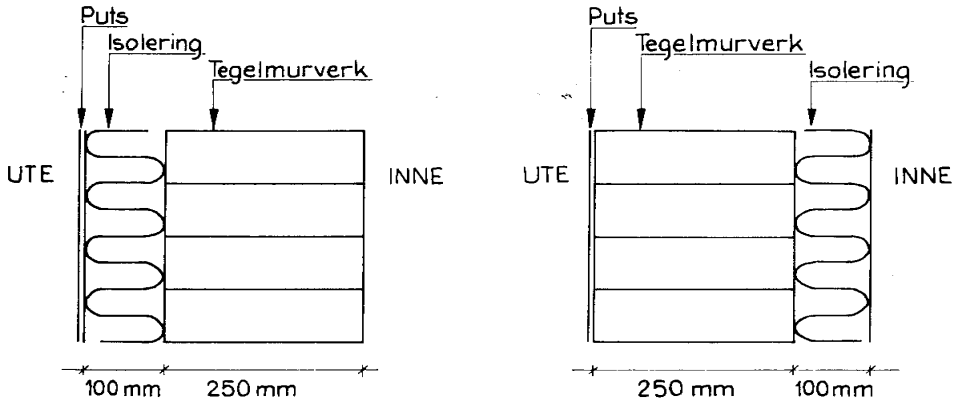


FIG. 7:7. Tegelvägg vid kondensberäkning.
Clay brick wall used at calculation of condensation.

TABELL 7:5. Beräkningsmässiga kondensmängder (kg/m^2) under en 60-dygnsperiod för tegelvägg. Klimat- och materialdata enligt TAB 7:2-3 respektive FIG 7:7.

Väggkonstruktion	Fall I			Fall II		
	Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)			Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)		
	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$
250 mm tegel + 100 mm mineralull (utv)	0	0.07	0.16	0	0.25	0.34
100 mm mineralull (inv) + 250 mm tegel	1.91	1.92	1.97	5.02	5.03	5.08

Plankvägg

Väggkonstruktionen framgår av FIG. 7:8. I beräkningarna antas att den yttre plankdelen har mycket stora sprickor och att den i praktiken är overksam med hänsyn till fukt- och värmetransport. Å andra sidan antas den utvändiga panelen osprucken. Som en approximation antas i beräkningarna att yttre plank och panel består av 25 mm trä. Beräkningarna genomförs dels med de inre planken ospruckna och dels innehållande sprickor. Dessa sprickor antas jämnt fördelade och uppgående till 3% av totala ytan.

Resultatet redovisas i TAB. 7:6. I de fall kondens inträffar sker denna mellan cellplastisolering och puts.

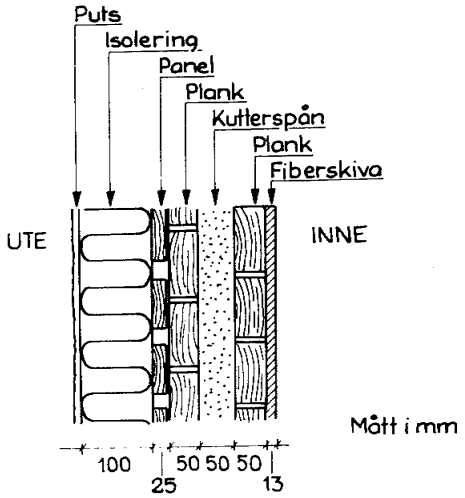


FIG. 7:8. Plankvägg vid kondensberäkning.
Timber wall used at calculation of condensation.

TABELL 7:6. Beräkningsmässiga kondensmängder (kg/m^2) under en 60-dygnsperiod för plankvägg. Klimat- och materialdata enligt TAB 7:2-3 respektive FIG 7:8.

Väggkonstruktion	Fall I			Fall II		
	Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)			Putsens ånggenomgångsmotstånd (s/m)		
	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	0	$12 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$
Plankvägg utan sprickor +100 mm cellplast (utv)	0	0	0.03	0	0	0.06
Plankvägg med sprickor +100 mm cellplast (utv)	0	0	0.05	0	0.02	0.10

7.2.4 Kommentarer

Den ångtransport som sker genom en yttervägg på grund av ånghaltsskillnaden mellan in- och utsida är av liten omfattning. De kondensmängder som i vissa fall bildas under vintern är i allmänhet helt ofarliga vid normalt förekommande klimat. Jämfört med inverkan av andra fuktkällor är kondensmängderna ofta försumbara.

En utvändig puts påverkar inte kondensmängderna i någon större utsträckning. De genomförda beräkningarna, som gjorts med putser motsvarande de mest respektive minst ånggenomsläppliga, uppvisar ingen större skillnad.

Värmeisoleringens placering har däremot stor betydelse för kondensmängderna. Vid invändig tilläggsisolering med ett ånggenomsläppligt material kan kondensmängderna bli stora.

7.3 Slagregn

En ytterväggs fuktbalans påverkas i mycket hög grad av de slagregnsmängder som träffar väggen. För att kunna göra en bedömning av de fuktförhållanden som kommer att råda i en yttervägg, måste både slagregnsegenskaper och väggens egenskaper vara kända.

I det följande diskuteras först olika klimatologiska randvillkor, som har betydelse i samband med slagregnets inverkan på fuktbalansen. I därpå följande avsnitt diskuteras hur olika egenskaper hos väggen påverkar förhållandena.

7.3.1 Randvillkor

Allmänt

De uppskattningar av randvillkoren som gjorts i detta avsnitt är mycket grova och kan i vissa fall diskuteras. Siffrorna skall därför inte tas som något definitivt. Förhoppningsvis kommer framtida undersökningar att ge bättre och säkrare bedömningsunderlag. I brist på sådana kan dock angivna uppskattningar fungera som riktvärden i samband med grova bedömningar.

Slagregn

Med slagregn avses allt regn som träffar en tänkt vertikal yta. Slagregn uppstår vid samtidig vind och nederbörd. Vid höga vindhastigheter kan slagregnsmängden bli större än den vertikala nederbörden. Slagregnsmängden varierar mycket kraftigt mellan olika orter. Även inom en viss ort kan variationerna vara mycket stora, beroende på topografin.

Det slagregn som träffar en fasad, fasadslagregn, kan avvika mycket kraftigt från slagregnet på ett öppet fält, s k fritt slagregn. Även på en viss fasad kan stora variationer förekomma.

I samband med slagregn är det inte tillräckligt att känna till årsmedelvärde eller liknande. Exempel på andra väsentliga faktorer är:

slagregnsintensitet
slagregnets varaktighet
antal slagregn per år
fördelning på olika årstider

Fritt slagregn

Fritt slagregn har studerats, både genom mätningar och teoretiska analyser, främst i England, Norge och Sverige. I Lacy (1965) används begreppet slagregnsindex för att beskriva graden av slagregnspåfrestning i England. Slagregnsindex definieras som produkten av årsmedelvärdet av vindhastighet och nederbörd. Detta betraktelsesätt är användbart vid jämförelser mellan olika delar i ett land. Slagregnsindex säger dock ingenting om hur stora slagregnsmängder som förekommer.

I Hoppestad (1955) redovisas ett antal norska mätningar av slagregn samt teoretiska beräkningar av slagregnsmängder med utgångspunkt från klimatologiska data. Med utgångspunkt från dessa beräkningsmetoder har Varnbo (1966) gjort motsvarande beräkningar för ett antal svenska orter. Varnbo redovisar bl a

årlig slagregnsmängd utan hänsyn till riktning
årlig slagregnsmängd i "farligaste" riktning
antal dygn med viss slagregnsmängd
slagregnsfördelning på olika månader.

De av Varnbo beräknade årliga slagregnsmängderna i "farligaste" riktningen redovisas i FIG. 7:9. För de flesta orter gäller vidare att minst 70% av alla slagregn är mindre än 2 kg/m^2, och att endast 5-10% av alla slagregn är större än 8 kg/m^2.

Antal slagregnsdygn per år ligger i allmänhet i intervallet 50-150. Både antal slagsregnsdygn och slagregnsmängd är störst på sensommaren - hösten.

Varnbos undersökning anger inga slagregnsintensiteter. Med utgångspunkt från hans uppgifter på övriga faktorer kan dock slagregnsintensiteterna bedömas någorlunda. En rimlig sådan bedömning är att de flesta slagregn, 80-90%, har en medelintensitet som är mindre än 1 kg/m^2·h. Intensiteter överstigande 3 kg/m^2·h

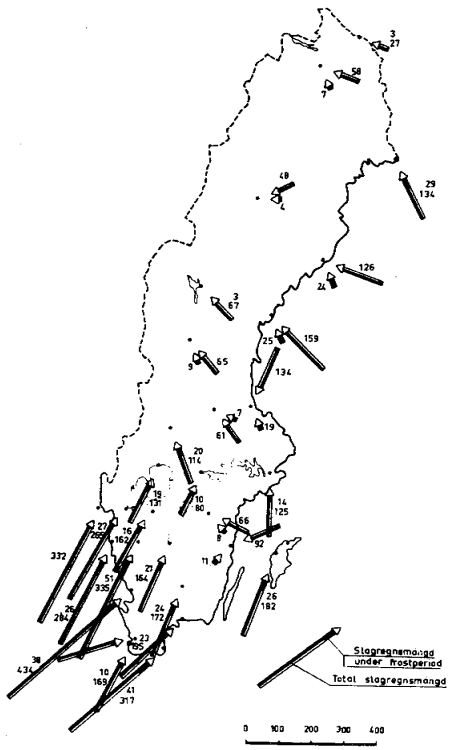


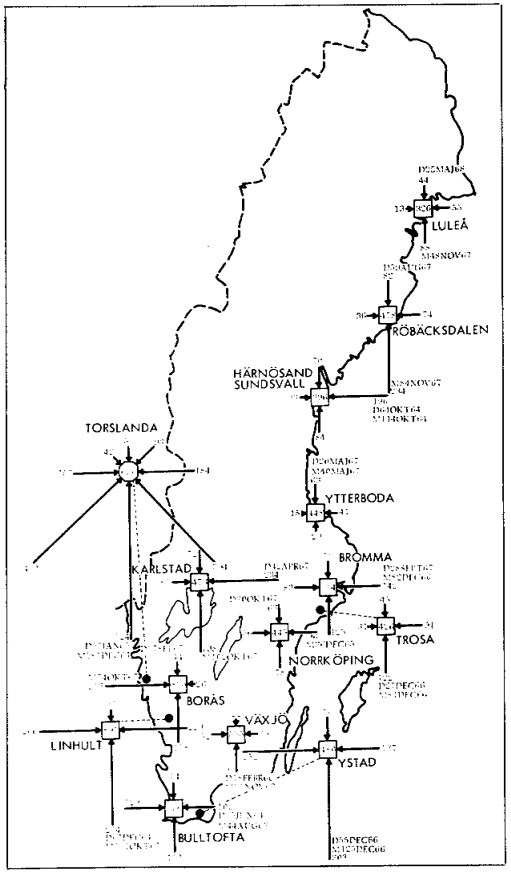
FIG. 7:9. Årlig slagregnsmängd (kg/m^2) som träffar fasader vända mot den för slagregn farligaste riktningen för respektive ord. (Varnbo, 1966).

Annual amount of driving rain (kg/m^2) against facades in "the most dangerous" direction.

torde tillhöra undantagen utom i mycket utsatta lägen. Under korta tidsperioder, 10-20 min, kan dock högre intensiteter förekomma.

I Järnmark (1968) redovisas uppmätta slagregnsmängder från ett antal svenska orter. Resultaten, som baseras på mätningar under en 5-årsperiod, återges i FIG. 7:10. Förutom slagregnets årsmedelvärde i olika riktningar anges här även maximalvärden under en månad respektive ett dygn.

I Jacobson (1976) redovisas mätningar av både fritt slagregn och fasadslagregn vid ett provhus i Fiskebäck, Göteborg. Provhuset har ett mycket utsatt läge, varför slagregnsmängderna blivit stora. Slagregnens varaktighet har i allmänhet varit 1-10 timmar med medelintensiteten 0.1-1 kg/m^2·h. Lång varaktighet



Slagregnskarta (fritt slagregn). Kartan är baserad på uppmätta slagregnsvärden 1.7.1963–1.7.1968. På kartan redovisas årsmedelvärdet, de maximalt uppmätta månads- och dygnsvärdena med riktning för varje ort. Månaderna då max.värdena inträffat har också angivits. Alla siffror för nederbörd och slagregn är angivna i mm. Ex. Trosas norrpil motsvarar 45 mm årsmedelslagregn. Uppmätt årsmedelnederbörd anges i kvadraten. Största dygns- och månadsmängd anges vid den riktning värdet avser. Dygnsmängd föregås av D och månadsmängd av M. Efter siffrorna anges månad och år då dessa max. mängder inträffade.

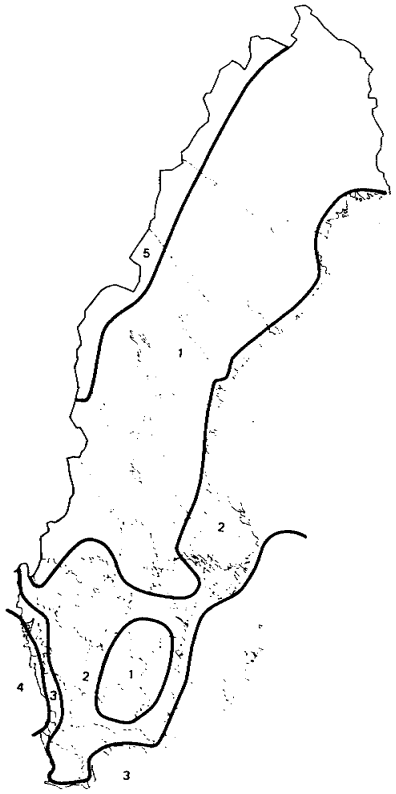
Ex. Trosas söderpil
122
D27DEC66
M81DEC66

innebär ett årsmedelvärde på 122 mm fritt slagregn i söderöppningen. Maximalt uppmätta dygns- och månadsvärden är 27 resp. 81 mm, vilka bägge inträffade i dec. 1966 i söderöppningen. Källa: Byggforskningens informationsblad 40:1968, Slagregn I, (Statens institut för byggnadsforskning).

FIG. 7:10. Slagregnskarta. (Järnmark, 1968).
Map of free driving rain in Sweden.

sammanfaller i allmänhet med låg intensitet. Den maximala intensiteten, mätt för hel timme, under regnperioden har varit ungefär dubbelt så stor som medelintensiteten. Självfallet har det även förekommit extrema regn. Under en 12-timmarsperiod registrerades exempelvis 56 kg/m^2 med en maximalintensitet uppgående till 10 kg/m^2·h.

I "Kommentarer till svensk byggnorm 1975:3" indelas Sverige i 5 olika områden med avseende på fritt slagregn enligt FIG. 7:11. Dessa värden gäller för utsatt läge. För icke utsatt läge skall värdena reduceras med 30%. Det enskilda regnets egenskaper nämns inte alls.



Zon	Regnmängd (kg/m²)	
	Årsmedel-värde	Max dygns-värde
1	150	30
2	300	45
3	450	55
4	550	70
5	100-400	–

FIG. 7:11. Zonindelning för fritt slagregn.
Driving rain zones in Sweden.

Fasadslagregn

Den slagregnsmängd som träffar en fasad kan avvika mycket kraftigt från den fria slagregnsmängden. När vinden, som för med sig regnet, närmar sig en byggnad, måste luftströmmen böja av runt och över byggnaden. Härigenom kommer vindhastighet och vindriktning att variera kraftigt. En del regndroppar kommer att följa med luftströmmen, medan andra fortsätter framåt-nedåt. De största slagregnsmängderna kommer att träffa hörn, taksprång och andra utstående partier. Mitt på fasaden blir slagregnsmängden mindre. Skillnaden blir större vid större byggnader. På en stor byggnad, fasadyta 30 x 15 m, har förhållandet mellan maximal och minimal slagregnsmängd uppmätts till i medeltal 12:1 enligt Künzel, Frank & Schwarz (1971). För små byggnader, vanliga villor, blir enligt egna mätningar och Jacob-

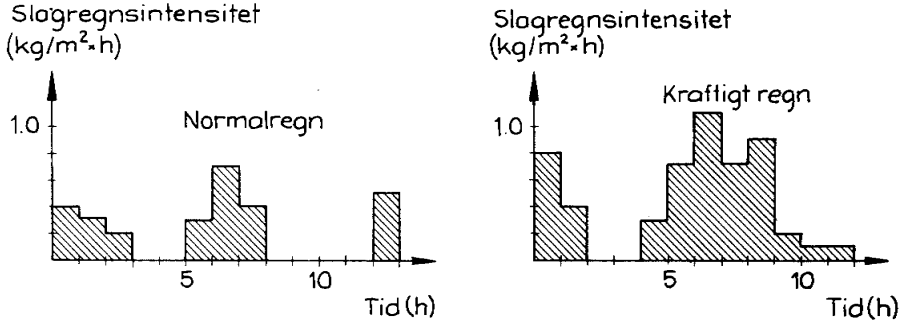
son (1976) motsvarande förhållande väsentligt mindre, 3:1 - 1:1 torde vara en rimlig siffra.

Att ange en generell siffra för hur mycket av det fria slagregnet som träffar en fasad är omöjligt. Med utgångspunkt från tillgängliga litteraturuppgifter och i viss mån egna mätningar kan dock vissa riktvärden uppskattas.

Enligt Jacobsons mätningar (liten byggnad i utsatt läge) träffas vid "normala" slagregn den mest utsatta fasaden av ungefär samma slagregnsmängd som det fria slagregnet. Vid "kraftiga" regn blir fasadslagregnet mindre, ca hälften av det fria.

Enligt Frank (1973) träffas fasaden mitt på en 4 m hög byggnad av 30-80% av det fria slagregnet (i samma riktning) 10 m framför byggnaden. Den lägre siffran gäller vid låga vindhastigheter (<5 m/s) och den högre siffran vid höga vindhastigheter. Vid taksprånget var motsvarande siffra 50-90%.

Egna mätningar på en villa i utsatt läge i Skåne har visat att fasaderna träffas av 50-100% av det fria slagregnet i samma riktning. Medelintensiteten hos fasadslagregn som var långvariga (>24 h) var 0.1 - 0.2 kg/m^2·h. Regn med kortare varaktighet, några timmar, hade en medelintensitet ca 1 kg/m^2·h. Under enstaka timmar kunde intensiteten vara 2-3 kg/m^2·h. I FIG. 7:12 visas några exempel på typiska slagregn enligt de egna mätningarna.



Total regnmängd:	2.8 kg/m^2	5.3 kg/m^2
Medelintensitet:	0.2-0.3 kg/m^2·h	0.4-0.5 kg/m^2·h
Max intensitet:	0.7 kg/m^2·h	1.1 kg/m^2

FIG. 7:12. Fasadslagregn på västgavel, liten villa i Skåne i ej skyddat läge.

Examples of driving rain intensity against the west facade of a small house in Skåne, Sweden.

Enligt mätningar på en stor byggnad i Östergötland, med relativt skyddat läge, (Sandin, 1973) blev medelintensiteten för ett "normalregn" 0.1 - 0.2 kg/m^2·h. För det kraftigaste regnet under en tvåårsperiod, blev medelintensiteten 0.6 - 0.7 kg/m^2·h. Varaktigheten hos detta regn var ca 10 timmar.

Med utgångspunkt från ovan redovisade undersökningar kan vissa riktvärden med avseende på fasadslagregn uppskattas. För små byggnader (normala villor) i utsatt läge träffar 50-100% av det fria slagregnet den fasad som är orienterad mot regnet. I skyddade lägen blir motsvarande värde 25-50%. Utgår man i stället från det totala fria slagregnet bör 25-75% träffa de fasader i utsatt läge som är orienterade mot den dominerande slagregnsriktningen. Övriga fasader bör träffas av 10-30%. De lägre siffrorna gäller mitt på fasaderna medan de större gäller randpartierna.

För stora byggnader blir slagregnsbelastningen på randpartierna ungefär densamma som för små byggnader. Slagregnsbelastningen på mittpartierna blir emellertid avsevärt mindre. En rimlig uppskattning är 10-20% av motsvarande värde för småbyggnader.

Som jämförelse kan nämnas att i kommentaren till svensk byggnorm anges att dimensionerande fasadslagregn i utsatt läge skall anses uppgå till 50% av det totala fria slagregnet. I skyddat läge används i stället 35%. Dessa siffror stämmer väl med den hårdaste belastningen enligt ovan. Att alltid använda denna belastning vid fuktbalansberäkningar är dock orimligt. Stora delar av en byggnad har ju en väsentligt lägre slagregnsbelastning.

Enligt Varnbo är det totala antalet regntillfällen per år 50-150. Antalet regntillfällen med regn mot viss fasad bör stå i relation till slagregnsmängdens årsmedelvärde mot denna fasad. Det totala antalet regntillfällen bör alltså kunna proportioneras på olika riktningar med hänsyn till respektive slagregnsmängder. En rimlig uppskattning blir då att 50-90% av alla regntillfällen medför fasadslagregn på den mest utsatta sidan. Motsvarande siffra för den minst utsatta sidan blir 10-30%.

Uttorkningsbetingelser

Avgörande klimatbetingelser under uttorkningsperioden är luftfuktighet, temperatur, vindhastighet, kortvågig strålning och uttorkningstid mellan regnperioder.

Luftfuktighet och temperatur redovisas i FIG. 7:1-4.

Vindhastighet och vindriktning varierar kraftigt mellan olika årstider och olika riktningar. Taesler (1972) redovisar vindhastigheter och vindriktningar för ett antal svenska orter. De kumulerade procentuella frekvenserna av olika vindhastigheter för några svenska orters årsmedelvärde redovisas i FIG. 7:13. Taes-

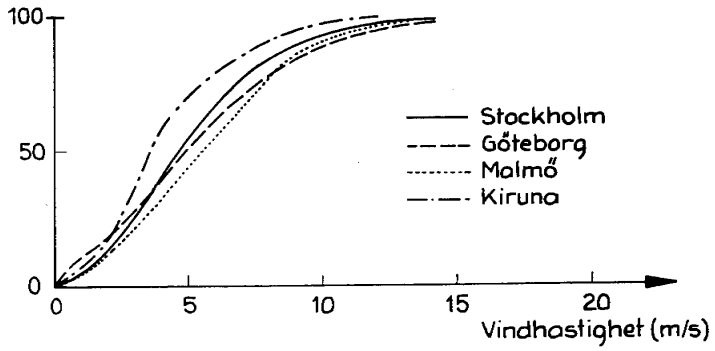


FIG. 7:13. Procentuell frekvens av olika vindhastighet (procent av totaltiden då vindhastighet är mindre visst värde).

Frequency of different wind velocities.

lers värden gäller i oskyddad terräng, d v s utan störande byggnader eller liknande. Vindhastigheter och vindriktningar inom ett bebyggt område kan bli helt annorlunda. Detta s k lokalklimat är till stora delar okänt. Undersökningar av detta pågår genom byggforskningsinstitutets försorg. I brist på bättre data kan man använda värden enligt FIG. 7:13 som riktvärden.

Den kortvågiga strålningen varierar med årstid, latitud och fasadens orientering. I Höglund & Stephenson (1968) redovisas fullständiga tabeller för strålning under klara dagar. I delrapport VIII diskuteras förhållandena under mulna dagar. Som exempel på den kortvågiga strålningen redovisas i FIG. 7:14 den totala strålningen mot en fasad orienterad mot söder respektive norr under en höst- och en sommardag.

Tiden mellan de olika regnperioderna kan uppskattas med hjälp av antal nederbördstillfällen och regnens varaktighet. Antas varje regn pågå 5 timmar blir "medeltiden" mellan regn 4-10 dygn i dominerande slagregnsriktning. I motsatt riktning blir tiden 10-30 dygn. Under hösten torde intervallen mellan slagregnen vara mindre, 3-7 dygn respektive 5-20 dygn. De lägre siffrorna gäller i slagregnsrik zon och de större i slagregnsfattig zon.

7.3.2 Vattenabsorption under regn

Allmänt

Vid slagregn mot en fasad kan man skilja mellan några principiellt olika fall. De två grundfallen är kapillärsugande respektive icke kapillärsugande fasadmaterial. I fallet med kapillärsugande fasadmaterial kan man vidare skilja på två

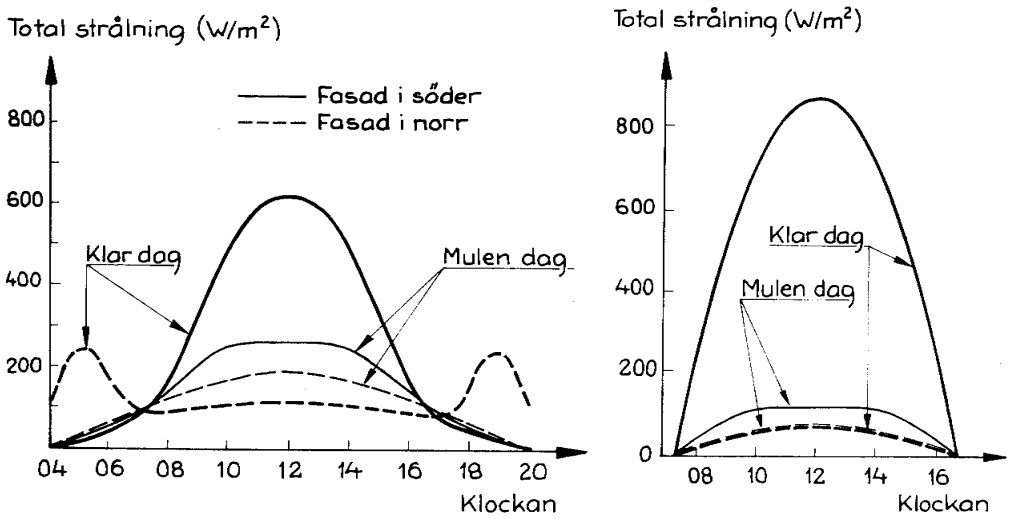


FIG. 7:14. Totalstrålning mot fasad på latitud 56°N,21/6 (till vänster) och 21/10 (till höger).

Total heat radiation against a facade on latitude 56°N, 21/6 (left) and 21/10 (right).

olika faser under regnet, nämligen då kapillärsugningsförmågan är större respektive mindre än slagregnsintensiteten. Detta är avgörande för om det bildas en vattenfilm på ytan, vilket i sin tur har stor betydelse vid sprickor och andra defekter.

Vid icke kapillärsugande fasadmaterial, främst olika typer av fasadskivor, bildas vid slagregn en vattenfilm på ytan mycket snabbt. En detaljerad behandling av förhållandena vid detta fall ligger dock utanför ramen för denna redovisning. I fortsättningen behandlas därför enbart fallet med mer eller mindre kapillärsugande fasader.

För att bedöma putsens inverkan på vattenabsorptionen förekommer några olika metoder, som dock i vissa fall utnyttjas på ett felaktigt sätt. I Sverige används främst ER-nämndens s k trattmetod, CP-BM-2/67-2. Metoden, som diskuteras i delrapport V, innebär att vattenupptagningen mäts i en provkropp, bestående av 10 mm gasbetong med aktuell puts, som står under ett vattentryck på 1000 N/m^2. Som exempel på brister hos metoden kan nämnas att provkroppen är för tunn och att resultaten från provningen även används på andra underlag än gasbetong.

I Tyskland förekommer begreppet reducerat kapillaritetstal (Künzel & Schwarz, 1968). Detta bestämmes genom att låta en provkropp suga vatten kapillärt genom putsen. Detta sätt att ange putsens inverkan på fuktupptagningen gäller en-

bart för just den provade kombinationen. Det erhållna resultatet är dock inte någon generell egenskap hos putsen och kan således inte användas på andra underlag. Att en viss puts reducerar vattenupptagningen till 10% i ett fall, betyder alltså inte att denna puts alltid reducerar vattenupptagningen till 10%. Samma puts på ett annat underlag kanske inte medför någon reduktion alls.

I det följande analyseras först förhållandena vid oskadad puts på kapillärsugande underlag. Därefter behandlas fallet med sprickor eller andra skador i ett relativt tätt ytskikt.

Puts på kapillärsugande underlag

Vattenabsorptionen vid slagregn mot en putsad fasad kan indelas i olika faser. Den första fasen består i att putsen absorberar allt regn utan att någon vattenfilm hinner bildas. Under den sista fasen absorberar underlaget vatten samtidigt som det finns en vattenfilm på ytan. Däremellan kan det finnas ytterligare två faser. Antingen kan det finnas en vattenfilm på ytan samtidigt som en vattenfront förflyttar sig inåt i putsen eller kan en vattenfront förflytta sig inåt i underlaget utan att det finns någon vattenfilm på ytan.

Alla dessa faser behöver inte uppträda under ett regn. Vid små regn på porösa putser kanske bara den första fasen hinner inträffa. Vid kraftiga regn på vattengenomsläppliga tunna ytbehandlingar kan å andra sidan den sista fasen gälla fran början.

Avgörande för förloppet är sambandet mellan slagregnsintensitet och egenskaper hos puts-underlag. De egenskaper som har betydelse i detta sammanhang, både hos puts och underlag, är kapillär sugkraft (suction), motstånd mot vattenflöde och den porvolym som vattenfylls. Samtliga dessa egenskaper är i sin tur beroende av porsystemets utseende.

Både den kapillära sugkraften och flödesmotståndet ökar med minskande porradie. Detta innebär bl a att ett finporöst material suger kraftigare än ett grovporöst.

Flödet genom ett finporöst material, vid en given yttre tryckskillnad, blir däremot mindre än i ett grovporöst material. En viktig konsekvens av detta är att ett finporöst material kan suga vatten från ett grovporöst. Motsatsen är däremot omöjlig.

Ovanstående egenskaper är helt avgörande för det fuktmekaniska händelseförloppet i samband med slagregn mot putsade fasader. I fallet med en grovporös puts på ett finporöst underlag absorberas först allt regn i putsen, varvid en vattenfront förflyttar sig inåt. Drivkraften inåt är putsens sugkraft medan motståndet mot frontens förflyttning bestäms av putsens flödesmotstånd. När fronten når underlaget kommer i stället underlagets sugkraft att bli drivkraft medan motståndet

bestäms av flödesmotståndet i puts och underlag. (Härvid bortses från att även putsens ytteryta har en "motverkande" kraft så länge någon vattenfilm ej finns på ytan.) När fronten når underlaget kommer alltså sugkraften att öka om underlaget är mer finporöst än putsen, vilket medför att en del av det vatten som finns i putsen direkt sugs in i underlaget. Det regn som sedan träffar väggen sugs till en början lätt in i underlaget, eftersom putsen har litet motstånd och underlaget stor sugkraft. Efterhand som regnet fortgår och fronten når längre in i underlaget ökar det totala motståndet mot vatteninsugningen medan sugkraften är konstant. Resultatet blir att frontens möjliga inträngningshastighet avtar och vid en viss tidpunkt bildas en vattenfilm på ytan.

Tiden för detta bestäms av sambandet mellan slagregnsintensitet, sugkraft hos underlaget samt kapillär porvolym och flödesmotstånd hos puts och underlag.

I fallet med en finporös puts på ett grovporöst underlag blir händelseförloppet ett helt annat. När vattenfronten når underlaget minskar plötsligt sugkraften. Frontens inträngningshastighet kommer således att avta plötsligt, vilket medför att vattenabsorptionskapaciteten minskar. I detta fall kommer alltså vattenupptagningen att bli mindre än vid grovporös puts på finporöst underlag.

De principiella förhållandena är desamma vid kapillärsugning från en fri vattenyta och i FIG. 7:15 redovisas några resultat från kapillärsugningsförsök, som illustrerar ovanstående. Putsen, som består av 10 mm murcementbruk, har ett relativt stort flödesmotstånd. Gasbetong, som är ett finporöst mate-

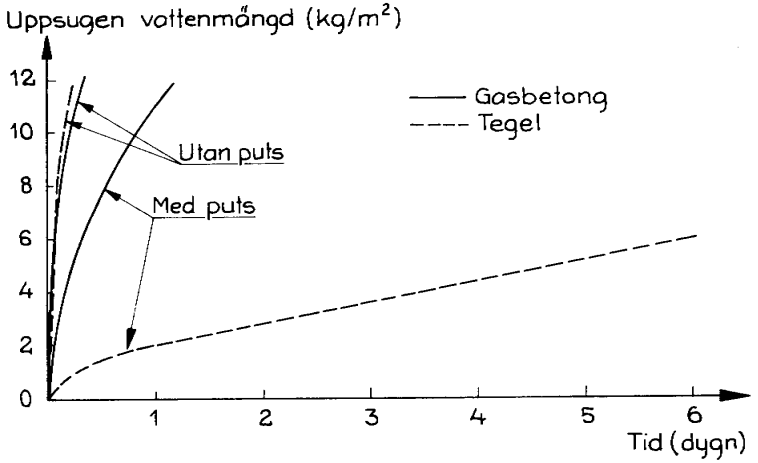


FIG. 7:15. Uppsugen vattenmängd som funktion av tiden hos tegel respektive gasbetong med och utan puts.

Absorbed amount of water at capillary tests with clay brick and aerated concrete with and without rendering.

rial, har stor sugkraft och stort flödesmotstånd, medan tegel, som är grovporöst, har liten sugkraft och litet flödesmotstånd. Utan puts är kapillärsugningen ungefär densamma för tegel och gasbetong. Med puts reduceras däremot vattenuppsugningen mycket kraftigt i fallet med tegel, eftersom underlagets sugkraft är liten, samtidigt som putsens flödesmotstånd är stort. Med gasbetong som underlag är däremot underlagets sugkraft stor, vilket medför att vattenupptagningen inte reduceras lika mycket.

I FIG. 7:16 redovisas resultatet från en annan provning som visar fuktförhållandena i putsen under ett slagregn. När fuktfronten når underlaget, efter ca 2 h, sjunker plötsligt putsens fuktinnehåll i fallet med gasbetongunderlag. Detta beror på att underlaget har stor sugkraft och kan suga vatten från putsen snabbare än vad som motsvarar slagregnsintensiteten. Efterhand som vattenfronten tränger in i underlaget ökar dock motståndet varvid insugningshastigheten minskar och fuktinnehållet i putsen kan åter öka. Slutligen nås kapillärmättnad och en vattenfilm bildas. Detta inträffar dock inte förrän efter ca 1 dygn. I fallet med tegelunderlag minskar däremot sugkraften när fronten når underlaget. Någon insugning av putsens fuktinnehåll sker alltså inte.

Ovanstående resonemang och resultat gäller för material som från början är torra och vars porsystem inte är behandlade på något sätt. Är materialen våta från början kan siffervärdena korrigeras med hänsyn härtill. Är porsystemet däremot behandlat, med exempelvis något vattenavvisande medel, förändras förhållandena totalt. Ett yttre vindtryck påverkar dock inte förhållandena i praktiken. Vindtrycket är nämligen mycket mindre än de kapillära sugkrafterna.

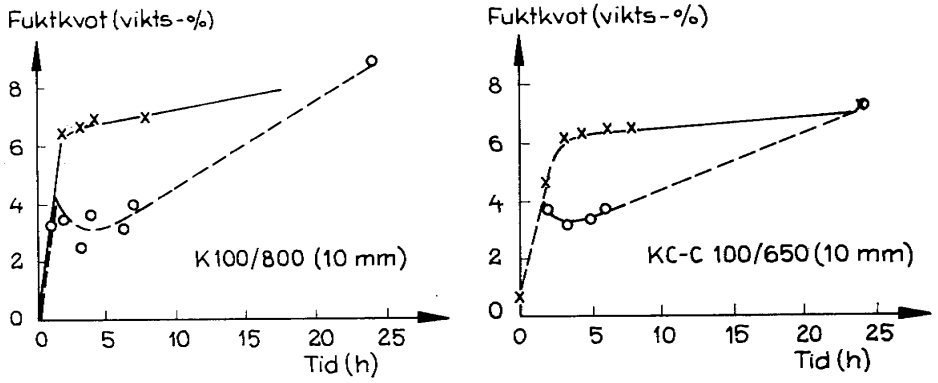


FIG. 7:16. Medelfuktkvot i putsen som funktion av tiden under slagregn med intensiteten 0.45 kg/m^2·h.
x ———— x = tegelunderlag, o– – – o = gasbetongunderlag.

Mean moisture content in the rendering as function of time during a driving rain with intensity 0.45 kg/m^2·h.

Sprickor i "tätt" ytskikt på kapillärsugande underlag

Vid slagregn mot en fasad med ett helt tätt ytskikt bildas en vattenfilm mycket snabbt. En eventuell spricka kommer då att överbryggas av denna vattenfilm. Detta medför då att vatten kan sugas in i sprickan på samma sätt som vid sugning från en fri vattenyta. Förhållandena blir olika beroende på sprickans djup och bredd. I FIG. 7:17 redovisas några beräkningar av uppsugen vattenmängd för olika sprickor. Beräkningen är gjord för ett 30 mm tjockt material med kapillaritetstalet 0.07 kg/m$^2 \cdot \sqrt{s}$, vilket motsvarar oimpregnerad gasbetong.

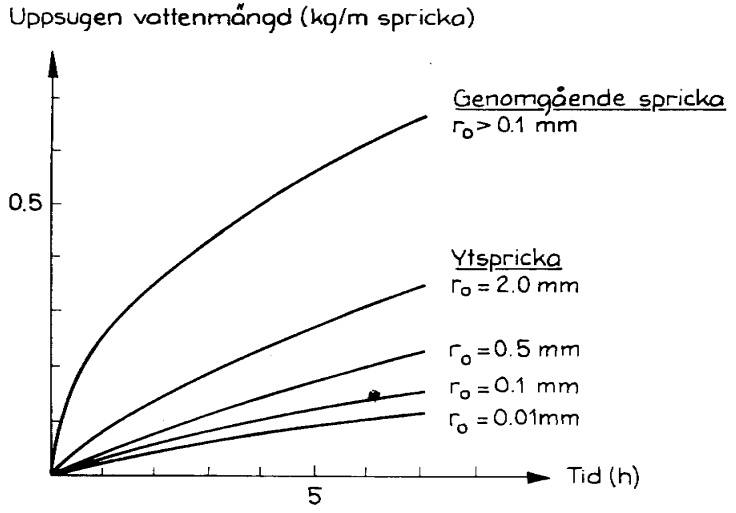


FIG. 7:17. Beräknad uppsugen vattenmängd i gasbetong med tätt ytskikt och olika sprickor med bredden $2r_o$.

Calculated amount of absorbed water in aerated concrete with a "tight" surface coating containing cracks with different widths($2r_o$).

I FIG. 7:18 redovisas resultatet från två sugförsök med olika sprickutseende i en 30 mm tjock gasbetongprovkropp med helt tätt ytskikt. Exakt sprickutseende och fuktfrontens läge efter 1 h framgår av figuren. I FIG. 7:19 redovisas några sugförsök med enbart ytsprickor.

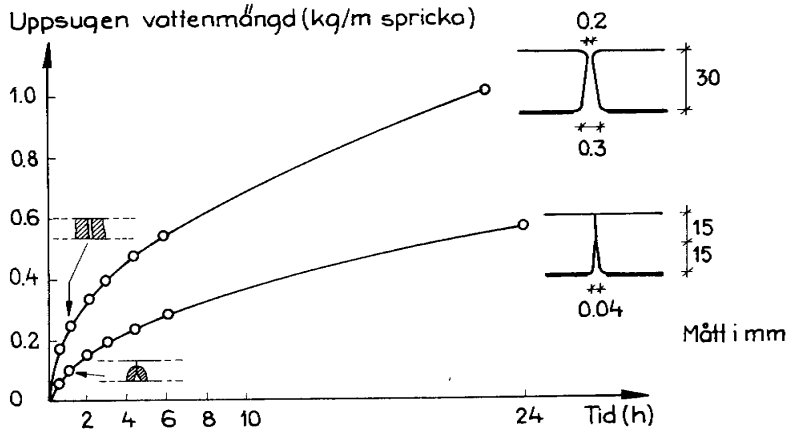


FIG. 7:18. Kapillärsugning vid helt respektive delvis genomgående spricka i 30 mm tjock gasbetong med tätt ytskikt.

Capillary water intake(measured) in aerated concrete with a "tight" surface coating containing a crack through the whole specimen.

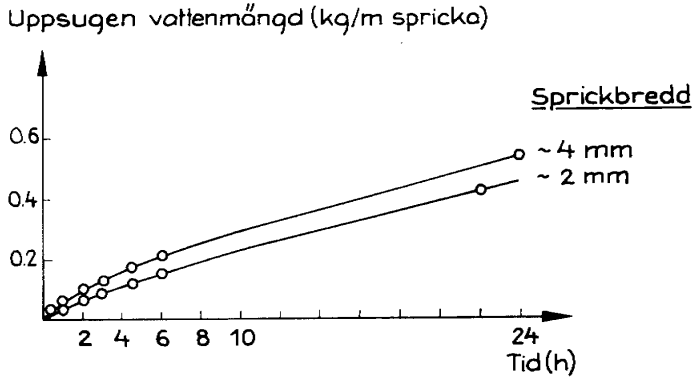


FIG. 7:19. Kapillärsugning vid ytspricka i 30 mm gasbetong med i övrigt tätt ytskikt.

Capillary water intake (measured) in aerated concrete with a "tight" surface coating containing a surface crack.

Som framgår av FIG. 7:17-19 så har sprickans utseende mycket stor betydelse. Skillnaden mellan genomgående och icke genomgående sprickor är markant. Sprickbredden har däremot mindre betydelse. En genomgående spricka med bredden 0.2 mm har exempelvis efter 1 h sugit upp tre gånger så mycket vatten som en ytspricka med bredden 4 mm.

7.3.3 Uttorkning efter regn

Allmänt

I olika svenska tidskriftsartiklar påpekas ibland att uttorkningsförloppet efter ett slagregn kan bedömas med hjälp av ER-nämndens våtmetod. Detta är emellertid helt felaktigt när det gäller den fukt som finns i underlaget. Som exempel på hur stort felet blir redovisas i FIG. 7:20 uttorkningsförloppet för gasbetong med 10 mm KC-puts dels beräknat med utgångspunkt från våtmetoden och dels enligt laboratoriemätningar.

Anledningen till den stora skillnaden i FIG. 7:20 är att fukttransportmekanismen vid provning enligt ER-nämndens våtmetod inte överensstämmer med den i praktiken förekommande. Vid ER-nämndens våtmetod transporteras vattnet kapillärt fram till ytan där det snabbt avdunstar. I praktiken sker däremot fukttransporten genom putsen i allmänhet i ångfas, vilket är väsentligt långsammare än kapillärtransport i vattenfas.

Vid en beräkning av uttorkningsförloppet måste man skilja mellan olika faser, som har helt olika mekanismer. Under första fasen sker uttorkningen från den blöta putsytan, samtidigt som en del av vattnet i putsen kan sugas in i underlaget. Senare börjar underlaget att torka ut genom putsen. Skillnaden mellan dessa faser kan vara mycket stor. Även inverkan av yttre faktorer är olika under de bägge faserna.

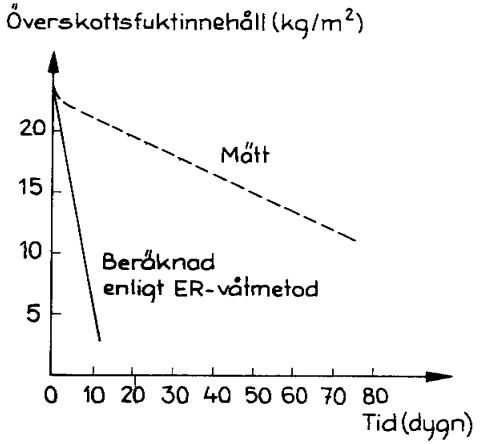


FIG. 7:20 Beräknad och mätt uttorkning efter ett mycket kraftigt slagregn. KC-puts och grundning på gasbetong.

Drying out (calculated according to the ER-wet method and measured) after a very heavy driving rain. Aerated concrete with a LC-rendering.

Uttorkning av porös puts

Omedelbart efter regnet börjar putsen att torka. Så länge som putsen är blöt sker avdunstningen från ytan och uttorkningshastigheten ges av

$$g = \beta(v_s - v_\ell) \qquad (7:2)$$

där g = fuktflöde $kg/m^2 \cdot s$
β = ångövergångskoefficient m/s
v_s = mättnadsånghalt i ytan kg/m^3
v_ℓ = ånghalt i luften kg/m^3

Ångövergångskoefficienten är beroende av vindhastigheten enligt FIG. 7:21. Mättnadsånghalten i ytan är beroende av temperaturen enligt TAB. 6:1. Temperaturen är i sin tur beroende av bl a väggens konstruktion och utomhusklimatet. Solstralningen har härvid en mycket stor betydelse. En yttemperatur som är 10-20 ^oC högre än utomhustemperaturen är inte ovanlig under soliga dagar.

För att illustrera inverkan av de olika faktorerna redovisas i FIG. 7:22 den beräknade uttorkningshastigheten för några olika fall.

Samtidigt med uttorkningen kan en fukttransport från putsen och in i underlaget förekomma. Avgörande för detta är främst relationen mellan den kapillära sugkraften i puts respektive underlag. Om putsen har en mindre kapillär sug-

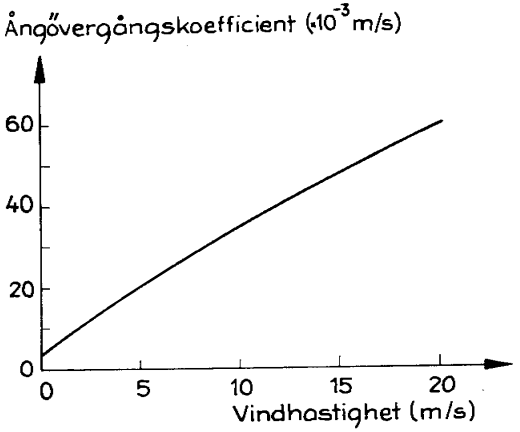


FIG. 7:21. Samband mellan ångövergångskoefficient och vindhastighet enligt van der Held (1941).

Relationship between surface coefficient of mass transfer and wind velocity.

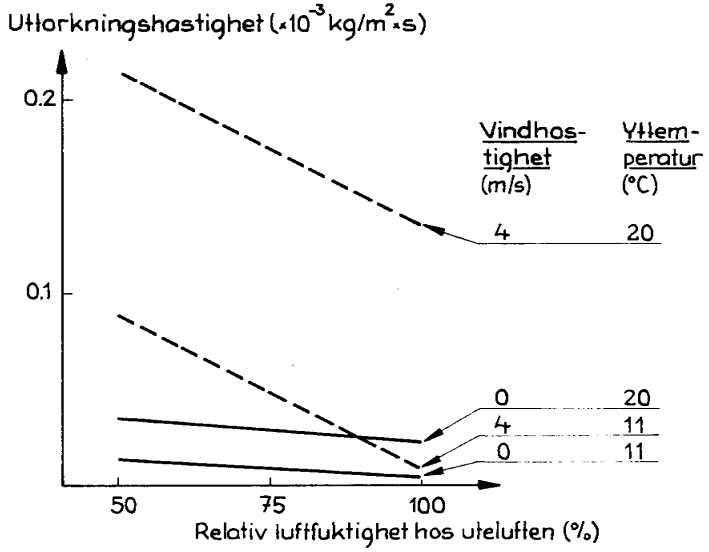


FIG. 7:22. Uttorkningshastighetens beroende av lufthastighet och yttemperatur vid avdunstning från ytan. Lufttemperatur 10°C.

Drying out velocity at different windvelocities, surface temperatures and relative humidities when the surface is wet. Outdoor temperature is 10°C.

kraft än underlaget (är mer grovporös) kommer underlaget att suga åt sig vatten.

Är å andra sidan putsen mer finporös än underlaget så kommer inget vatten att sugas in i underlaget. Genom diffusion i ångfas kan dock en mindre mängd transporteras in i underlaget.

I FIG. 7:23 redovisas erhållna mätresultat av putsens fuktinnehåll som funktion av tiden för några olika fall. Som jämförelse är även det, med utgångspunkt från en uttorkningshastighet enligt ekvation (7:2), beräknade fuktinnehållet markerat. Med tegel som underlag stämmer den mätta och beräknade uttorkningskurvan. Någon insugning i underlaget sker alltså inte. För gasbetongfallet (grovporös puts på finporöst underlag) är däremot den uppmätta fuktkvotsminskningen väsentligt större än den beräknade, vilket visar att en insugning i underlaget sker.

För att bedöma om insugning i underlaget är möjlig, kan man utnyttja kapillära jämviktsfuktkurvor för puts och underlag. Principen för detta diskuteras i delrapport III. För de provade materialen kan man grovt säga att oimpregnerad gasbetong kan suga vatten från de traditionella tjockputserna. Den provade tegelsorten kan däremot inte suga vatten från putsen.

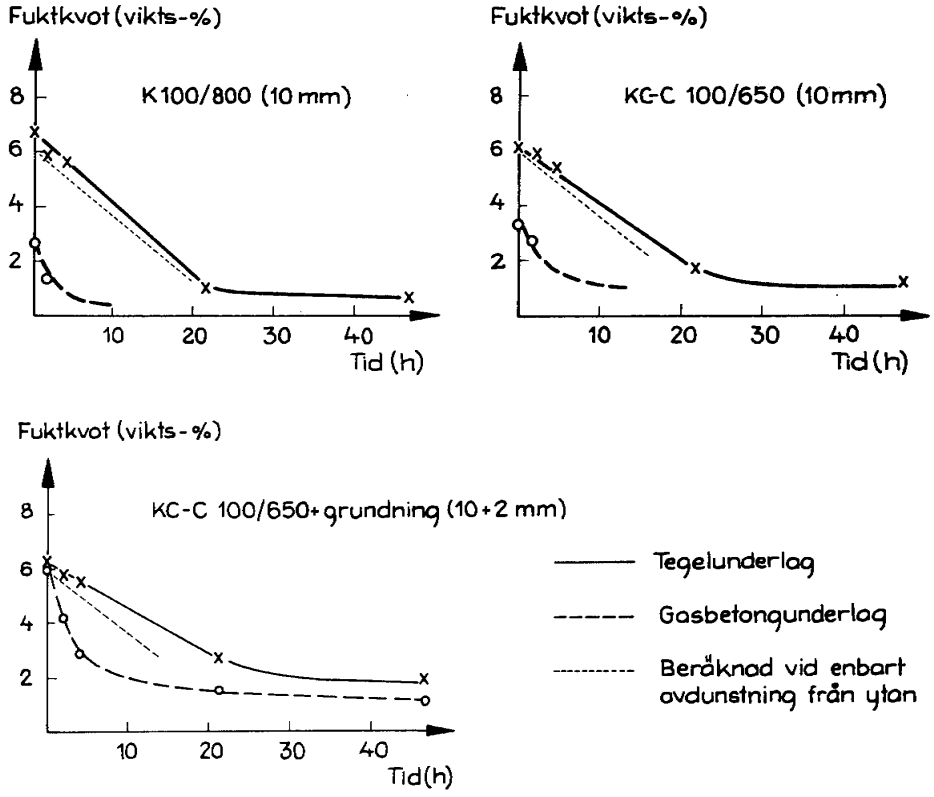


FIG. 7:23. Medelfuktkvot i putsen som funktion av tiden under uttorkning efter slagregn med intensiteten 0.45 kg/m^2·h och varaktigheten 3 1/4 h.

Mean moisture content in the rendering as function of time during drying out after a driving rain with intensity 0.45 kg/m^2·h and duration 3 1/4 h.

Uttorkning av underlaget

Underlaget kan torka på två principiellt olika sätt. Har putsen en stor kapillär sugkraft kan putsen suga vatten från underlaget och transportera fram det till ytan där det avdunstar. Är den kapillära sugkraften i putsen mindre än i underlaget måste däremot all uttorkning av underlaget ske i ångfas. som diffusion genom putsen. I praktiken förekommer naturligtvis mellanformer av de två ytterligheterna. I det förstnämnda fallet, större kapillär sugförmåga i putsen än i underlaget, kan exempelvis den möjliga uttorkningshastigheten enligt ekvation

(7:2) vara större än kapillärsugningshastigheten fram till ytan. Vattenfronten hinner då inte nå fram till ytan, utan avdunstningszonen kommer att finnas inne i putsen. Vid en mycket liten kapillärsugningskapacitet närmar sig fallet då den andra ytterligheten med diffusion genom hela putsen.

Utförda mätningar, med de vanligast förekommande putserna på gasbetong och tegel, har visat att ur praktisk synpunkt kan hela uttorkningsförloppet av underlaget betraktas som ångtransport enligt

$$g = \frac{\delta_v}{d}(v_1 - v_l) = \frac{1}{Z_v}(v_1 - v_l) \qquad (7:3)$$

där g	= fuktflöde	$kg/m^2.s$
δ_v	= ånggenomsläpplighetskoefficient	m^2/s
d	= putstjocklek	m
v_1	= ånghalt under putsen	kg/m^3
v_l	= ånghalt i luften	kg/m^3
Z_v	= ånggenomgångsmotstånd	s/m

Denna ekvation gäller i stort sett oberoende av fuktinnehållet i underlaget. Enligt tidigare avsnitt är dock δ_v resp Z_v beroende av den relativa fuktigheten, vilket medför att dessa måste bestämmas vid aktuella relativa luftfuktigheter. I samband med uttorkningsförloppet utomhus är den relativa luftfuktigheten ofta hög. Mätningar av δ_v resp Z_v skall alltså göras vid höga RF-nivåer, 90-100 resp 60--70% RF på ömse sidor om putsen torde vara en rimlig niva. Detta diskuteras ytterligare i delrapport IV och VI.

Samtidigt med att underlaget torkar sker även en omfördelning av fukten. Till en början sugs vattnet kapillärt inåt i underlaget. Detta pågår till fuktkvoten i den blötaste zonen sjunkit till den kritiska med avseende på kapillärtransport. Samtidigt, och även efter det att kapillärtransporten upphört, sker en utjämning genom fukttransport i ångfas.

Eftersom uttorkningen i huvudsak sker i ångfas genom putsen, kommer vindhastigheten inte att ha någon större betydelse. Solstrålningen påverkar däremot ånghalten under putsen och får därmed stor betydelse.

Vid en bedömning av uttorkningsförloppet sätts i början av uttorkningen RF till 100% under putsen. Efterhand som uttorkningen fortgår kommer RF att sjunka i gränsen mellan puts och underlag. Det exakta förloppet blir beroende av underlagets jämviktsfuktkurva, slagregnets storlek etc och kräver tillgång till datamaskin för att kunna behandlas. Överslagsmässigt kan man dock approximera RF till 100% under hela uttorkningstiden. I början av uttorkningen gör man då en underskattning av uttorkningshastigheten. Anledningen till detta är att lokal kapillär-

sugning kan förekomma i putsen, vilket medför att den verkliga "ånggenomsläpp-ligheten" i ekvation (7:3) är större än den som erhålles vid provningen. I slutet av uttorkningen gör man å andra sidan en överskattning av uttorkningshastigheten.

Vid små regn blir osäkerheten relativt stor. Vid stora regn blir däremot uppskattningen mycket god. I FIG. 7:24 redovisas verkligt uttorkningsförlopp (A), beräknat med utgångspunkt från ER-nämndens våtmetod (B) samt med antagandet om ångtransport genom putsen och 100% RF under putsen (C).

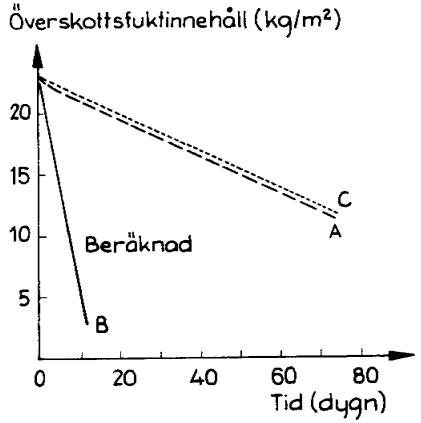


FIG. 7:24. Beräknad och mätt uttorkning efter ett mycket kraftigt slagregn. KC-puts och grundning på gasbetong.

Calculated and measured drying out after a very heavy driving rain. Aerated concrete with a LC-rendering.

Den främsta anledningen till att osäkerheten ökar vid små regn är att insugningen i underlaget är svår att kvantifiera exakt. Ett fel i denna insugning på 0.5 kg/m^2 ger ett mycket stort relativt fel om exempelvis den totala slagregnsmängden är 1.0 kg/m^2. Vid stora regnmängder blir det relativa felet mindre. Vid en slagregnsmängd på 10 kg/m^2 spelar $\pm$ 0.5 kg/m^2 ingen roll. Vid små slagregnsmängder blir även fuktnivån i underlaget lägre, vilket kan medföra att antagandet om 100% RF blir för grovt. En överskattning av uttorkningshastigheten kan alltså göras vid låga fuktinnehåll . Väggens verkliga fuktinnehåll blir då högre än det beräknade. Det högre fuktinnehållet medför å andra sidan att RF-nivån höjs varför beräkningen blir mer tillförlitlig igen. Eftersom beräkningen främst är intressant vid höga RF-nivåer, 95-100%, så har den tidigare överskattningen liten praktisk betydelse.

7.3.4 Totala fuktförloppet vid regn-uttorkning

Principiellt

Hela fuktförloppet under och efter regn kan studeras genom att kombinera de tidigare förloppen. Vid enstaka regn tar man helt enkelt varje del för sig. Vid flera regn med en viss uttorkning mellan regnen blir förhållandena mer komplicerade. Fallet kan dock studeras genom att överlagra de nya regnen på det då aktuella fuktförhållandet.

Händelseförloppet kommer i hög grad att påverkas av sambandet mellan putsens och underlagets egenskaper, enligt tidigare avsnitt främst porstrukturen.

Det principiella förloppet under och efter ett enstaka regn redovisas i FIG. 7:25-26 för ett litet respektive kraftigt slagregn.

Det lilla slagregnet i FIG. 7:25 har samma totala slagregnsmängd som putsen kan absorbera. Under regnet förflyttar sig en vattenfront in i putsen (a) och når slutligen underlaget (b), varvid regnet upphör. När fronten når underlaget kommer det finporösa underlaget att suga åt sig vatten från den grovporösa putsen (c). Fuktinnehållet i underlaget kan härvid lokalt stiga till det kapillära mättnadsfuktinnehållet medan putsens fuktinnehåll sjunker till det kritiska med avseende på kapillärtransport. Det grovporösa underlaget kan däremot inte suga åt sig något vatten. En liten mängd kan dock transporteras in i underlaget i ångfas. Huvuddelen av putsens fuktinnehåll torkar dock utåt genom avdunstning från ytan.

När fuktinnehållet i den porösa putsen sjunkit till det kritiska upphör all kapillärtransport in i underlaget. Den vattenmängd som nu finns här fortsätter dock att omfördelas både i ång- och vätskefas (d) samtidigt som putsen torkar. När fuktinnehållet i putsen sjunkit tillräckligt mycket börjar även en uttorkning av underlaget. Denna uttorkning sker i ångfas genom putsen. Eftersom det totala fuktinnehållet i det grovporösa underlaget är mindre än i det finporösa kommer det grovporösa underlaget att bli torrt tidigare än det finporösa (e).

Det kraftiga slagregnet i FIG. 7:26 har en väsentligt större total slagregnsmängd än vad som motsvarar kapillärmättnad i putsen. Fuktfronten vandrar först genom putsen (a) och når vid en viss tidpunkt underlaget (b). Om underlaget är finporöst kommer då en insugning av en del av putsens fuktinnehåll att ske (c). Putsen kan härefter absorbera ytterligare slagregn, vilket transporteras vidare in i underlaget (d). Samtidigt ökar även fuktinnehållet i putsen och slutligen nås kapillärmättnad i putsen. Ytterligare slagregn som träffar putsen kan dock fortfarande sugas in i underlaget utan att någon vattenfilm bildas på ytan. I fallet med ett grovporöst underlag kommer däremot ingen momentaninsugning av putsens

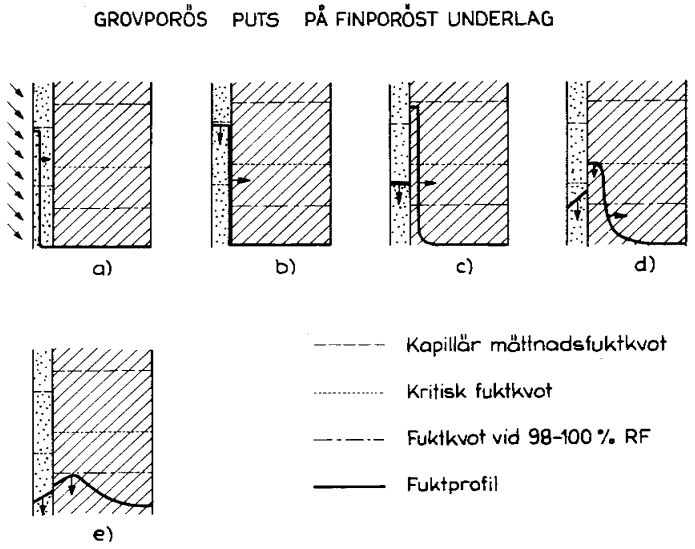


FIG. 7:25. Fuktförlopp under och efter ett litet slagregn.
Moisture condition during and after a small driving rain.

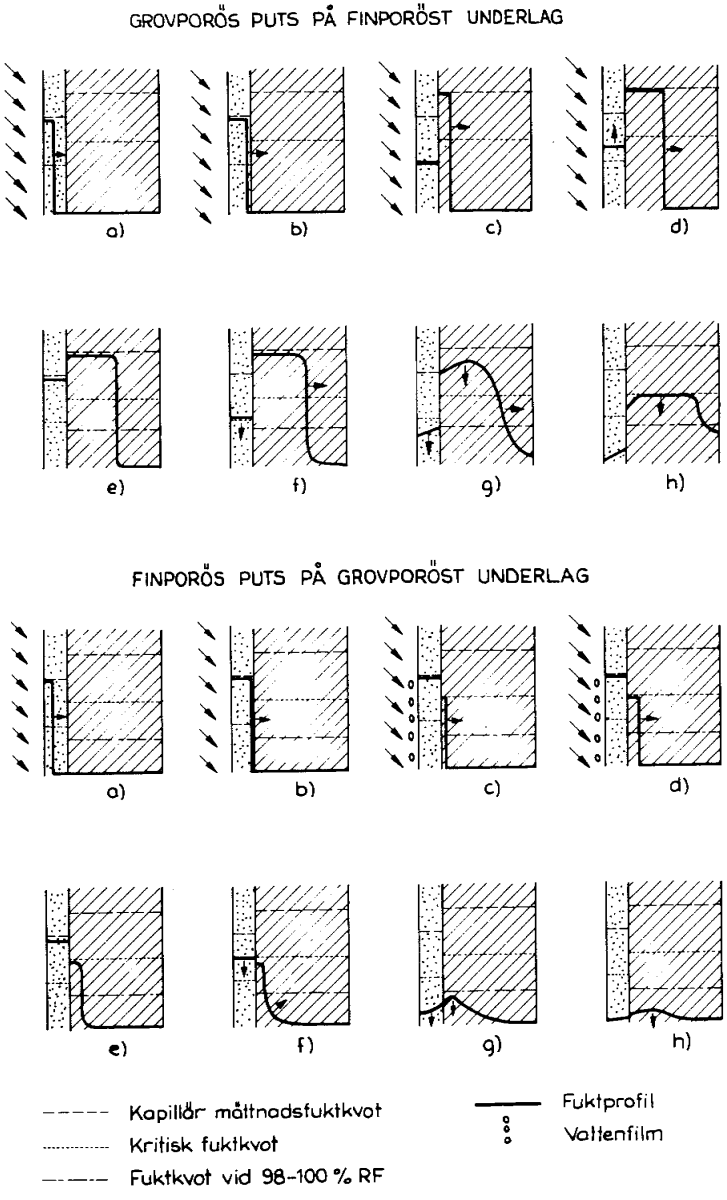


FIG. 7:26. Fuktförlopp under och efter ett kraftigt slagregn.
Moisture condition during and after a heavy driving rain.

fuktinnehåll att ske när fuktfronten når underlaget. I stället kommer absorptionskapaciteten att minska kraftigt, vilket får till följd att en vattenfilm bildas på ytan och att en stor del av det fortsatta slagregnet rinner av (c). En viss del av regnet kan dock sugas in i underlaget (d).

När regnet upphör kommer sålunda fuktprofilerna att vara helt annorlunda i de båda fallen (e). Det finporösa underlaget kan även fortsätta att suga vatten från putsen efter det att regnet upphört, vilket däremot inte det grovporösa underlaget kan. Detta innebär att putsen på det finporösa underlaget snabbt torkar så att fuktkvoten i putsen når den kritiska (f). I den finporösa putsen på det grovporösa underlaget måste däremot all uttorkning av putsen ske utåt, vilket tar längre tid. Hela kombinationens uttorkning blir å andra sidan snabbare, eftersom putsen är våt längre. Samtidigt med uttorkning och eventuell insugning i underlaget pågår även en omfördelning av underlagets fuktinnehåll, både i vätske- och ångfas. Under denna tid kan den finporösa putsen även suga vatten från det grovporösa underlaget.

När putsens fuktinnehåll sjunkit under det kritiska sker all uttorkning i ångfas (g).

Ovanstående mekanismer medför att kombinationen med en finporös puts på ett grovporöst underlag kommer att vara torr långt före en grovporös puts på ett finporöst underlag (h).

I FIG. 7:27 redovisas det principiella förloppet vid flera små slagregn med en viss uttorkning mellan regnen. Slagregnsmängden är så stor att den lagom förmår att kapillärmätta putsen. Omedelbart efter första regnet kommer sålunda putsen att vara kapillärmättad medan underlaget inte har något vattenöverskott (a). Härefter sker enligt tidigare angivna principer en omfördelning och uttorkning (b). Efter en viss tid har kombinationen med finporös puts på grovporöst underlag torkat helt, medan kombinationen med grovporös puts på finporöst underlag fortfarande har ett visst fuktöverskott i underlaget (c). Om nu ett nytt slagregn träffar putsen så att denna kapillärmättas (d) upprepas samma procedur som tidigare i fallet med en finporös puts på ett grovporöst underlag (e, f). I det andra fallet kommer däremot det nya slagregnet att sugas in och överlagras på det gamla (e). När uttorkningen pågått så länge att det grovporösa underlaget är torrt kommer det finporösa underlaget att ha ett högre fuktinnehåll än efter den första torkperioden (f). Vid ytterligare regn kommer detta att upprepas och fuktinnehållet kommer ständigt att öka ända till kapillärmättnad i underlaget. I fallet med den finporösa putsen på det grovporösa underlaget kommer däremot fuktinnehållet inte att öka (g).

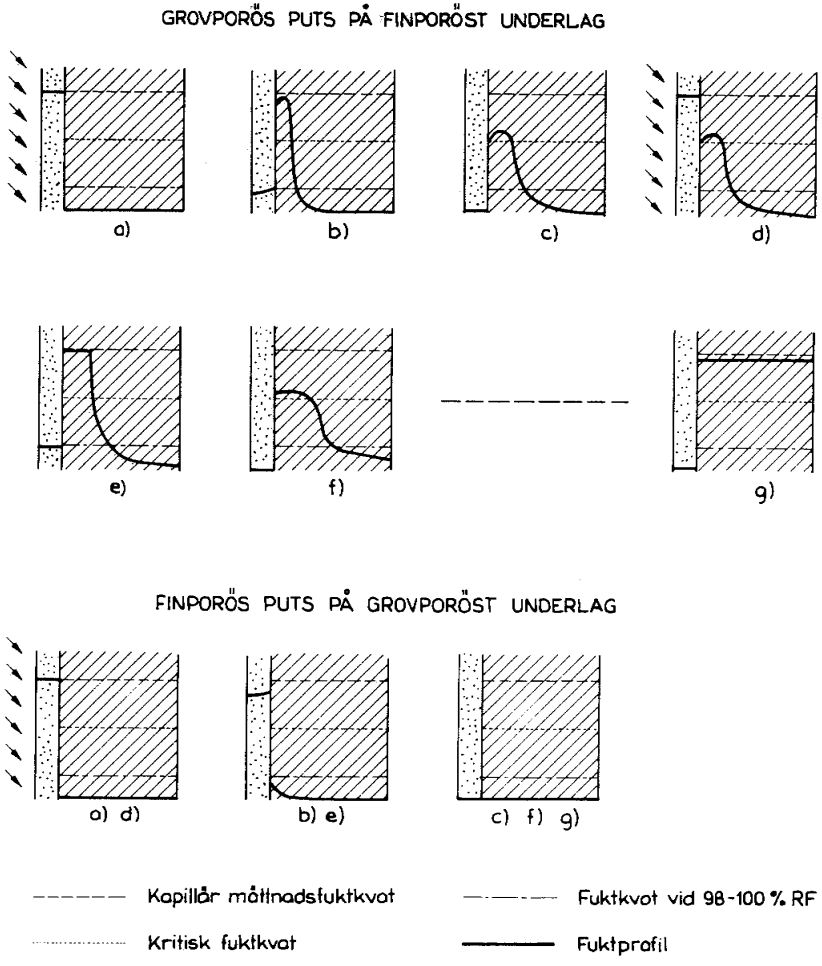


FIG. 7:27. Fuktförhållande vid flera "små" slagregn med viss uttorkning mellan regnen.

Moisture condition at cyclic driving rains.

Praktiska material

Ovanstående resonemang gäller för idealiserade material. I praktiska material är porstrukturen mycket komplicerad med olika typer av porer och varierande porstorlekar. Olika porstorlekar överlappar i allmänhet varandra så att de största porerna i ett finporöst material är större än de minsta i ett grovporöst material. Även för ett visst material kan porstorlekarna variera kraftigt. Olika brännings-förhållanden för tegel ger exempelvis helt olika porstorleksfördelning.

Mycket grovt kan man emellertid säga att vanligt förekommande tjockputser (kalk, kalkcement, cement och murcement) är mer finporösa än tegel men mer grovporösa än gasbetong. Olika faktorer kan dock medverka till att tveksamheter kan uppstå i vissa fall. För putserna kan man vidare säga att kalkputs ofta är mer grovporös än cementputs medan kalkcementputs ligger mellan dessa två. De mest extrema kombinationerna är sålunda kalkputs på gasbetong (grovporös puts på finporöst underlag) och cementputs på tegel (finporös puts på grovporöst underlag).

Det måste poängteras att hela begreppet porstorleksfördelning inte får uppfattas som något geometriskt verkligt utan att det enbart är ett sätt att uttrycka exempelvis fuktegenskaperna. Några verkliga porer är det sålunda inte fråga om. För kvalitativa resonemang och bedömningar är dock porstorleksfördelningen ett utmärkt hjälpmedel.

Några exakta beräkningar av fuktförloppen går inte att göra med utgångspunkt från enbart kända porstorleksfördelningar. Det f n enda sättet är att göra mätningar i varje enskilt fall. I delrapport VII redovisas ett antal sådana mätningar. I FIG. 7:28 redovisas några exempel på hur medelfuktinnehållet förändras med tiden vid cykliskt återkommande slagregn, med viss uttorkning mellan regnen. Alla provningar med ett visst underlag är gjorda vid exakt samma betingelser. Provningarna med olika underlag är dock gjorda vid något varierande betingelser, vilket framgår av figurerna. All uttorkning har skett i 65% RF och 20 ^{o}C. FIG. 7:28 visar klart betydelsen av både puts och underlag. En grovporös puts på gasbetong, exempelvis K-puts, medför att underlaget får ett succesivt ökande fuktinnehåll och slutligen nås ett jämviktsläge nära kapillärmättnad. Utan puts är däremot fuktackumulationen obetydlig. Med kalkputs på tegel blir däremot förhållandena helt annorlunda. Fuktinnehållet blir lägre med putsen. Denna väsentliga skillnad beror på tidigare diskuterad skillnad i det fuktmekaniska händelseförloppet. I fallet med kalkputs på gasbetong suger gasbetongen snabbt åt sig en stor del av putsens överskottsfuktinnehåll, vilket sedan måste torka i ångfas genom putsen. I fallet med kalkputs på tegel kommer däremot endast en obetydlig vattenmängd att absorberas av underlaget. Putsens överskottsfuktinnehåll torkar i huvudsak genom avdunstning från putsytan, vilket går mycket snabbare än vid diffusion från underlaget och genom putsen.

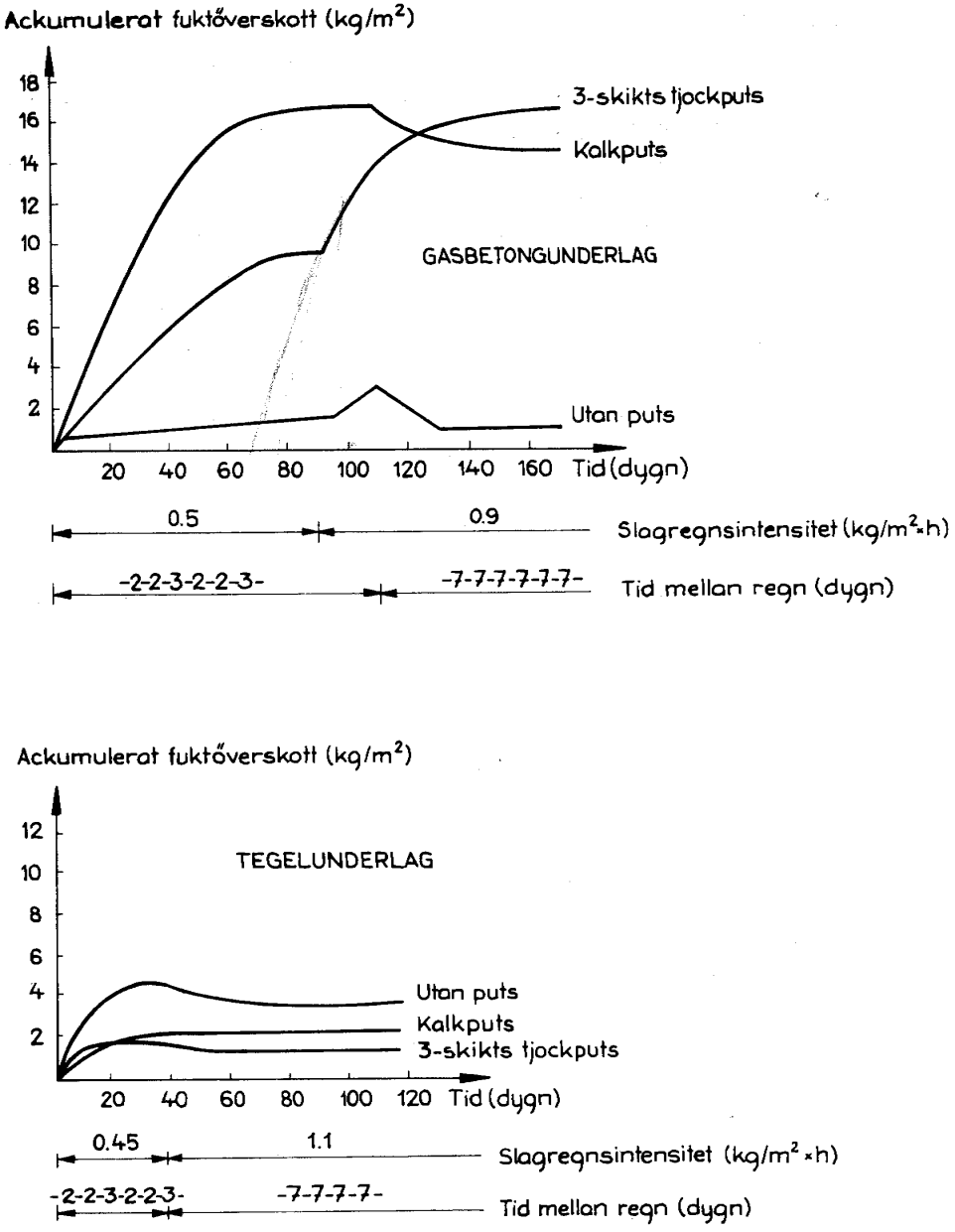


FIG. 7:28. Medelfuktinnehållets förändring vid cykliskt återkommande slagregn. Regnens varaktighet har alltid varit 3 1/4 h.

Mean moisture content at cyclic driving rains with duration 3 1/4 h.

Praktiska förhållanden

Fuktförhållandena i praktiken påverkas förutom av slagregnsegenskaper och egenskaperna hos puts och underlag även av en mängd andra faktorer. De principiella sambanden och olika fukttransportmekanismer är naturligtvis oförändrade. Absolutbeloppen kommer däremot att förändras. En exakt kvantifiering av de praktiska förloppen är svår att göra. En kvalitativ uppskattning går dock att göra. Som exempel på inverkande faktorer kan nämnas solstrålning, vindstyrka, temperatur, luftfuktighet och konstruktiv utformning.

Solstrålningen medför exempelvis att väggytans temperatur stiger, vilket i sin tur medför att uttorkningen går snabbare. Under soliga dagar kan uttorkningen mycket väl bli 5-10 gånger snabbare än under mulna dagar.

En annan faktor som medför snabbare uttorkning i praktiken, jämfört med utförda laboratorieförsök, är inverkan av temperaturgradienter genom väggen under uppvärmningssäsongen.

Vindens inverkan är mer komplicerad. I vissa fall medför en ökad vindhastighet en ökad uttorkningshastighet. I andra fall kan en ökad vindhastighet medföra en minskad uttorkningshastighet.

Inverkan av klimatbetingelserna kan studeras med hjälp av ekvationer givna i delrapport VIII. I FIG. 7:29 redovisas några exempel på uttorkningshastigheter vid uttorkning av putsen respektive underlaget. I det första fallet sker avdunstningen från putsytan och i det andra fallet antas diffusion i ångfas genom putsen. I beräkningarna har inomhustemperaturen satts till +20 ^{o}C, utomhusklimatet är +7 ^{o}C och ånghalten $6.4 \cdot 10^{-3}$ kg/m^3. Väggen består av 25 cm gasbetong med $\lambda = 0.15$ W/m·^{o}C. Putsen har ånggenomsläppligheten $0.1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Som synes av FIG. 7:29 så är uttorkningshastigheten vid diffusion genom putsen i storleksordningen 1/100 av uttorkningshastigheten vid avdunstning från ytan. Vidare framgår tydligt vindens olika inverkan på de båda fallen. Vid avdunstning från ytan medför en ökande vindhastighet även en ökande uttorkningshastighet. Vid diffusion genom en puts medför däremot en ökande vindhastighet en minskande uttorkningshastighet. I båda fallen medför en ökande vindhastighet att temperaturen i avdunstningszonen sjunker, eftersom en ökande vindhastighet ger en större värmeövergångskoefficient. Resultatet av detta blir en mindre ånghaltsskillnad och därmed en mindre uttorkningshastighet. I fallet med avdunstning från ytan kompenseras dock detta gott och väl av den ökade uttorkningshastigheten beroende på att även ångövergångskoefficienten ökar med en ökande vindhastighet. I fallet med ångtransport genom putsen saknar denna ångövergångskoefficient betydelse.

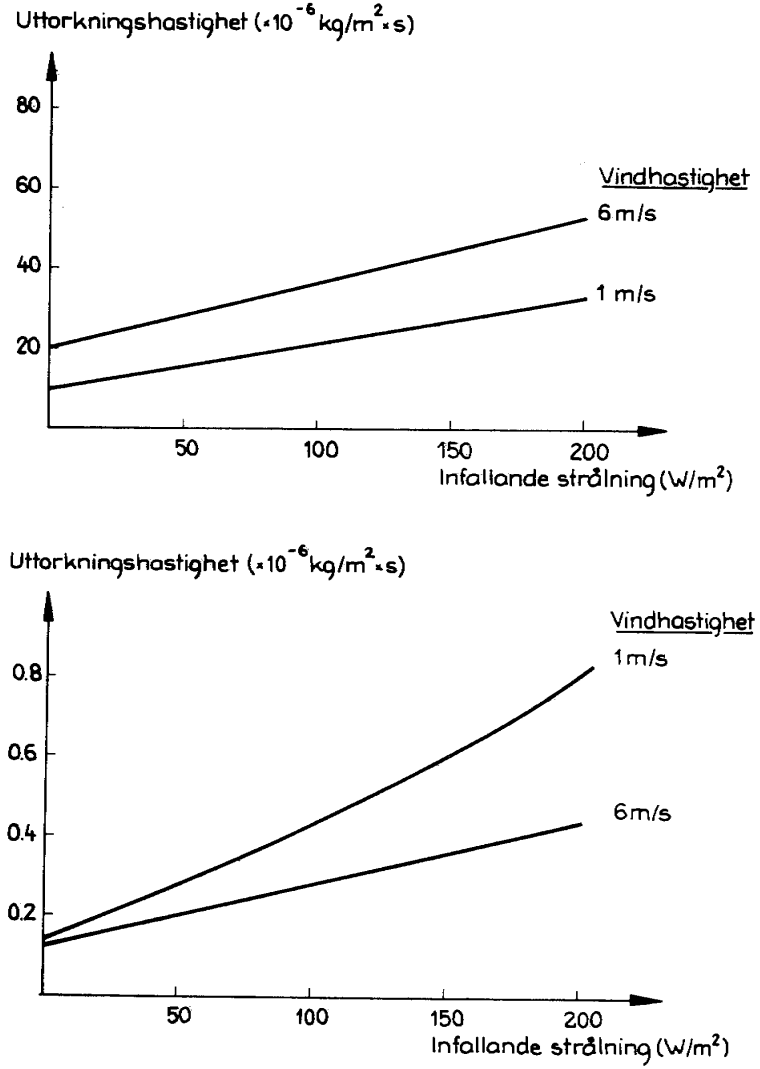


FIG. 7:29. Uttorkningshastighet vid avdunstning från ytan (överst) respektive uttorkning genom en puts med $\delta_v = 0.1 \cdot 10^{-3}$ m/s. Randvillkor enligt texten. Observera att skalorna är olika!

Drying out velocity at different heat radiations and wind velocities with (bottom) and without (upper) rendering.

Den konstruktiva utformningen kan påverka förhållandena radikalt. Olika materialkombinationer, luftspalter och värmeisoleringens placering är några exempel. Ett annat sätt att påverka förhållandena är användandet av vattenavvisande preparat. Den mesta gasbetong som tillverkas idag är för övrigt impregnerad med vattenavvisande medel.

7.3.5 Kommentarer

En exakt kvantitativ beräkning av fuktförhållandena i samband med slagregn är f n omöjlig att göra. Teoretiska modeller och tillhörande materialdata är inte tillräckligt kända. En relativt tillförlitlig kvalitativ bedömning är dock fullt möjlig att göra med utgångspunkt från vissa enkla provningar. Tillförligligheten i bedömningen kommer naturligtvis att stå i relation till provningens omfattning.

I tidigare avsnitt har betonats att sambandet mellan egenskaperna hos puts respektive underlag har en avgörande betydelse samt att de fuktmekaniska sambanden måste analyseras på ett teoretiskt riktigt sätt. Dessa två grundläggande fakta har inte beaktats vid fastställandet av ER-nämndens provningsmetoder, vilket har medfört att resultaten från dessa provningar inte är användbara för att bedöma hur olika putser påverkar fasadens fuktbalans i samband med slagregn.

Betydelsen av underlaget framgår entydigt av bl a FIG. 7:28, som grundar sig på laboratoriemätningar. Även tyska mätningar utomhus har visat samma sak. I FIG. 7:30 redovisas några sådana mätningar med KC-puts på olika underlag.

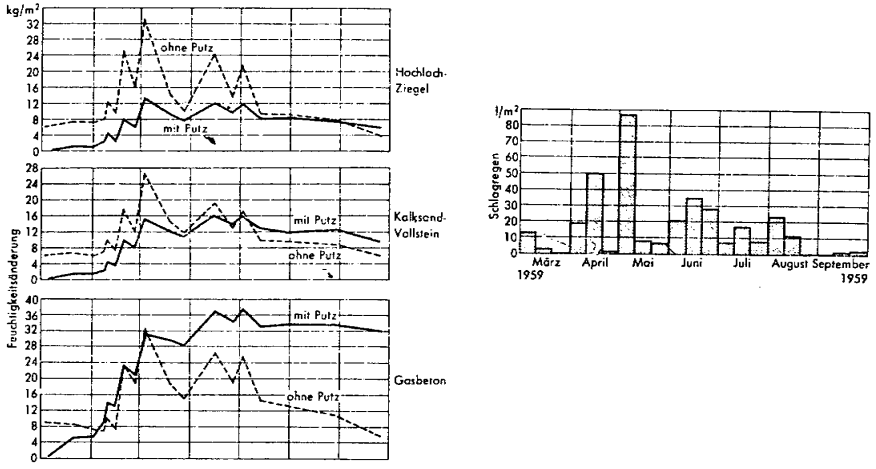


FIG. 7:30. Ändring i fuktinnehåll under utomhusexponering av prover med KC-puts. (Künzel, 1964).

Variation of mean moisture content during outdoor exposure in different underlayers with a LC-rendering.

Betydelsen av att det fuktmekaniska händelseförloppet analyseras på ett riktigt sätt illustreras bl a av FIG. 7:24, där utnyttjandet av resultatet från ER-nämndens våtmetod gav ett mycket stort fel. Vid en bedömning av uttorkningen efter ett slagregn i praktiken måste hänsyn även tas till solstrålning, vindhastighet, väggens konstruktion, ånghalt och temperaturer både utom- och inomhus. Inverkan av en del faktorer framgår av FIG. 7:22 och 7:29.

De provningar som skall ligga till grund för en bedömning kan göras på principiellt olika sätt. Mätningen kan antingen vara direkt eller indirekt. Vid en indirekt provning fastställes de fuktmekaniska egenskaperna hos puts och underlag var för sig, varefter det fuktmekaniska händelseförloppet för kombinationen puts-underlag beräknas med hjälp av teoretiska modeller. I detta sammanhang väsentliga egenskaper är kapillär sugkraft, kapillärt flödesmotstånd och kapillär jämviktsfuktkurva. Dessa egenskaper och teoretiska modeller för beräkningar diskuteras i delrapporterna III-VII. En exakt beräkning av det totala förloppet är dock av praktiska skäl inte möjlig för närvarande. Dels är modellerna otympliga ur datorteknisk synpunkt och dels saknas generella materialegenskaper och randvillkor.

Med hjälp av de ovan angivna egenskaperna går det däremot att göra kvalitativa bedömningar. De kapillära jämviktsfuktkurvorna visar exempelvis vilka förlopp som är möjliga. Vidare är liten kapillär sugkraft i underlaget och stort kapillärt flödesmotstånd i putsen gynnsamt med hänsyn till strävan att få ett lågt fuktinnehåll. Putsen skall däremot ha en stor kapillär sugkraft.

Med hänsyn till ovanstående problem blir den mest tillförlitliga metoden att göra direkta mätningar av fuktförhållandena med olika putser och underlag. Flera slagregn med uttorkning mellan regnen är det mest korrekta sättet. Klimatet, både under och mellan regnen, skall då väljas med hänsyn till det i praktiken förväntade.

Denna typ av provning är av praktiska skäl inte möjlig som standardprovning. Antalet kombinationer skulle bli orimligt stort. Kraftiga inskränkningar är nödvändiga. Vid provning av olika putser kan exempelvis underlagen inskränkas till 2-3 olika standardmaterial med olika sugkrafter. Tegel med låg kapillär sugkraft och ej vattenavvisande gasbetong med stor kapillär sugkraft kan vara de två ytterligheterna.

Vid utvecklandet av nya eller modifiering av befintliga underlag bör även dessa testas med hänsyn till de fuktmekaniska egenskaperna. Detta kan då göras med samma metod som provningen av olika putser. Här väljer man då istället 2-3 olika putser som standardmaterial. Genom denna provning kan sedan de olika underlagen klassificeras i relation till "standardunderlagen".

En förenkling av själva provningen kan exempelvis göras genom att ersätta de cykliska slagregnen med ett kapillärsugningsförsök följt av uttorkning. Härigenom kan både vattenupptagning och uttorkning bestämmas vid samma provning. Genom att bestämma uttorkningshastigheten efter en viss tid (när RF i underlaget är 100% utan att kapillärsugning föreligger i putsen) kan även putsens ånggenomsläpplighet bestämmas. För kombinationer som endast absorberar "obetydligt" med vatten är detta dock inte möjligt eftersom 100% RF kanske inte nås i underlaget. Denna typ av försök skulle sålunda kunna ersätta ER-nämndens 3 olika fuktprovningar.

Kapillärsugningsförsöket bör pågå under ganska lång tid. Val av lämplig tid skall ses mot bakgrunden av varaktighet hos i praktiken förekommande slagregn. Eventuellt kan två tider, en kort och en lång, användas. 6 timmar respektive 3 dygn kan vara rimliga alternativ. Den långa sugtiden är rimlig för kombinationer som absorberar lite vatten. För kombinationer som absorberar mycket vatten blir däremot resultatet för pessimistiskt. Som komplement bör därför en gräns sättas, uttryckt i absorberad vattenmängd, då kapillärsugningen skall avbrytas. Denna gräns skall då relateras till maximal slagregnsmängd under exempelvis en 3-dygnsperiod.

Direkt efter kapillärsugningen, eller efter en tids utjämning, påbörjas uttorkningen. Det enklaste sättet är att helt enkelt låta proverna, som skall vara fukttätt isolerade på alla ytor utom på putsytorna, torka i klimatrum, med ett klimat som ger en rimlig uttorkningshastighet, exempelvis 65% RF och 20 ^{o}C. En omräkning till praktiskt förekommande klimat, där hänsyn då tas till vindhastighet, solstrålning, temperatur, ånghalt etc, kan sedan göras relativt enkelt.

Skall metoderna användas i normsammanhang måste även vissa, i olika klimatzoner "acceptabla" gränsvärden fastställas. Ett sätt att göra detta är att ange det antal dygn då den under kapillärsugningen absorberade vattenmängden skall ha reducerats till ett visst värde.

En vidare diskussion av detaljer i provningsmetoden är för närvarande inte meningsfull. En sådan diskussion måste grunda sig på ett antal pilotförsök.

7.4 Byggfukt

Byggfukten påverkar fasadens fuktbalans i mycket hög grad under den första tiden efter färdigställandet. Efterhand som byggfukten torkar ut övertar de andra fuktkällorna den dominerande rollen. En bedömning av byggfuktens inverkan består sålunda av ett studium av uttorkningen efter det att fasaden är färdigställd.

I det följande diskuteras först byggfukten allmänt. Därefter analyseras och kommenteras själva uttorkningsförloppet.

7.4.1 Allmänt

Med byggfukt avses allt överskottsvatten som tillförs fasaden i samband med byggnadens uppförande och som skall torka ut innan jämvikt råder mellan fasad och omgivning. En viss del av det ursprungliga vatteninnehållet kommer att bindas kemiskt och/eller vara fixerat på annat sätt vid jämvikt. Denna vattenmängd räknas inte till byggfukten.

Den största delen av byggfukten tillförs vid gjutning, murning och putsning. Vattnet kan finnas i materialen vid leveransen (exempelvis gasbetong) eller tillföras på platsen i samband med byggnadsarbetet (exempelvis betong och murbruk). Stora mängder byggfukt kan även absorberas vid regn, både innan och under byggnadsarbetet. I samband med putsning tillförs även väggen betydande mängder fukt genom för- och eftervattning.

I TAB. 7:7 ges exempel på byggfukt i några material och konstruktioner. Dessa fuktmängder inkluderar inte vattentillskott från regn eller dylikt.

TABELL 7:7. Exempel på byggfukt.

Material	Fukthalt (kg/m^3)			
	Vid inbyggnad	Binds kemiskt	Jämvikt vid 60-80 % RF	Byggfukt att torka ut
Betong K 300	170-200	70	50-80	20-80
Gasbetong	100-200	0	20-40	60-180
KC-bruk	250-350	20	40-60	170-290
Tegelmurverk	60-80	5	5-15	40-70

Uttorkningsförloppet påverkas av samma randvillkor och faktorer som vid uttorkning efter slagregn. Inomhusänghalten och inomhustemperaturen har dock väsentligt större betydelse, eftersom i vissa fall en stor del av uttorkningen sker inåt. En ouppvärmd och dåligt ventilerad byggnad torkar mycket långsammare än en uppvärmd och väl ventilerad byggnad.

7.4.2 Uttorkningsförloppet

De olika uttorkningsmekanismerna diskuterades i avsnitt 7.3.3. Härvid framkom att uttorkningen av ett putsat underlag i huvudsak sker i ångfas. Fukten från underlaget skall alltså transporteras i ångfas genom putsen. Teoretiskt kan en finporös puts suga fram vatten till ytan, där avdunstning sker. För de i praktiken vanligen förekommande putserna och underlagen är detta dock inte möjligt i någon större utsträckning.

Vid praktiska bedömningar är det rimligt att betrakta hela uttorkningsförloppet, bortsett från första tiden då själva putsen torkar, som ett diffusionsförlopp. Putsens ånggenomsläpplighet skall då vara bestämd vid höga relativa fuktigheter, exempelvis mellan 65 och 100% RF. I FIG. 7:24 jämfördes uttorkningsförloppet beräknat på detta sätt med det verkliga uttorkningsförloppet enligt ett laboratorieförsök. Exemplet visar visserligen förhållandena efter ett slagregn, men principen är densamma vid uttorkning av byggfukt.

I FIG. 7:24 var överensstämmelsen mellan beräknat och uppmätt uttorkningsförlopp fullständig. Andra mätningar har givit större avvikelser. Med tanke på den normala spridningen hos putsens ånggenomsläpplighet är dock överensstämmelsen i de flesta fall god. I vissa fall blir dock den verkliga uttorkningshastigheten väsentligt större, dubbelt så stor. Detta beror troligen på att fuktnivån i putsen blir högre i verkligheten än vid diffusionsprovningen. Detta diskuteras ytterligare i delrapporterna IV och VI.

7.4.3 Kommentarer

Uttorkningen av byggfukten kan enligt ovan betraktas som ett diffusionsförlopp genom putsen. Putsens ånggenomsläpplighet måste härvid vara bestämd vid höga fuktnivåer. En mätning med skålmetoden mellan 65 och 100% RF ger i de flesta fall ett riktigt värde på ånggenomsläppligheten om hela uttorkningsperioden studeras. Den verkliga uttorkningshastigheten är dock större i början. Detta kompenseras dock av att uttorkningshastigheten efter längre tid blir mindre.

För vissa putser, främst organiska tunnputser, blir den verkliga uttorkningshastigheten i allmänhet större än den beräknade. Detta beror främst på att fuktinnehållet i putsen blir större i verkligheten än vid diffusionsprovningen. Med hänsyn härtill vore det bättre att bestämma putsernas ånggenomsläpplighet vid höga fukttillstånd genom direkta uttorkningsförsök. En sådan mätning utförs i princip genom att en provkropp, som innehåller en rimlig mängd byggfukt, putsas och får torka. Uttorkningshastigheten bestäms, varefter putsens ånggenomsläpplighet beräknas med antagandet att RF under putsen är 100%. Om underlaget från

början har ett mycket högt fuktinnehåll kan uttorkningshastigheten i början bli för stor. Mätningen måste sålunda göras vid en lämplig tidpunkt så att ett medelvärde för hela förloppet erhålles.

I FIG. 7:31 redovisas några exempel på uppmätta uttorkningskurvor för 70 mm tjocka gasbetongblock, som putsats i leveransfuktigt tillstånd. Medelfuktkvoten i gasbetongen var vid putsningen 25 vikt-%. Att kurvorna börjar vid olika fuktinnehåll beror på att olika mycket vatten tillförts vid putsningen. Denna inverkan har vid aktuellt försök blivit oproportionerligt stor, beroende på att provkroppstjockleken var liten. Observera även att vattenöverskottet uttrycks i kg per m^2 väggyta. Som synes så blir uttorkningskurvorna rätlinjiga efter ca 5 dygn, då putsen torkat färdigt. En bestämning av putsens ånggenomsläpplighet är alltså möjlig att göra mellan exempelvis 20 och 30 dygn. Resultatet från en sådan beräkning redovisas i TAB. 7:8.

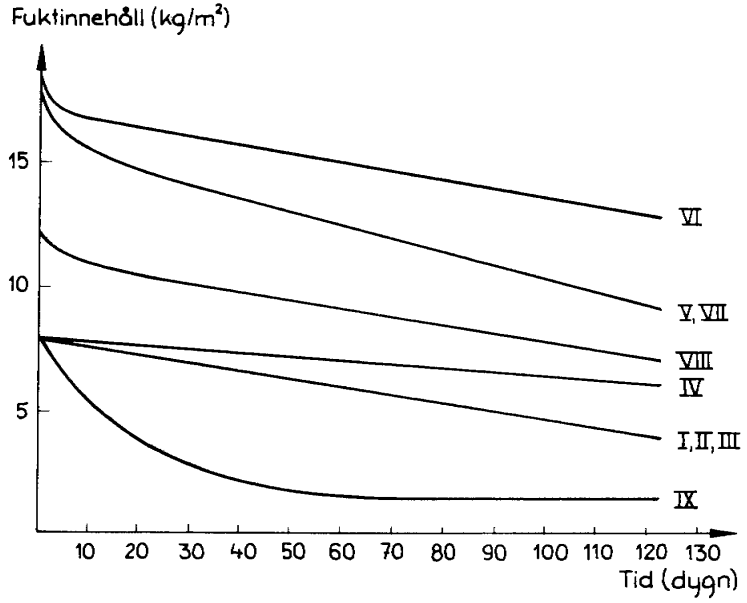


FIG. 7:31. Uttorkning av byggfukt hos gasbetong med olika putser. Putserna beskrivs i TAB. 7:8.

Drying out of construction moisture. Aerated concrete with different renderings according to TAB. 7:8.

TABELL 7:8. Beräknad ånggenomsläpplighet vid uttorkning av byggfukt hos gasbetong.

	Putsbeskrivning	Ånggenomsläpplighet m/s
I	Akryltunnputs utan vävarmering	$0.06 \cdot 10^{-3}$
II	Akryltunnputs med vävarmering	$0.06 \cdot 10^{-3}$
III	Alkydtunnputs utan vävarmering	$0.06 \cdot 10^{-3}$
IV	Alkydtunnputs med vävarmering	$0.03 \cdot 10^{-3}$
V	Lättputs (tjockputs)	$0.10 \cdot 10^{-3}$
VI	Isolerputs (tjockputs)	$0.06 \cdot 10^{-3}$
VII	Traditionell 3-skiktsputs	$0.10 \cdot 10^{-3}$
VIII	Gipsputs	$0.06 \cdot 10^{-3}$
IX	Utan puts	-

FIG. 7:31 visar även att vanligt förekommande putser alltid medför en kraftig reduktion av uttorkningshastigheten för gasbetong. Detta gäller även med tegel som underlag.

Resonemangen ovan har grundat sig på att RF under putsen är 100%, vilket innebär att fukttransporten fram till putsen är lika stor som fukttransporten genom putsen. För vanliga putsunderlag, exempelvis tegel och gasbetong, gäller detta vid höga fuktinnehåll. Vid lägre fuktinnehåll och vid andra material, exempelvis betong, kan däremot ånggenomsläppligheten i själva underlaget bli så liten att fukttransporten fram till putsen blir mindre än vad som krävs för att upprätthålla 100% under putsen. I sådana fall måste hänsyn även tagas till motståndet i underlaget, varvid putsens ånggenomsläpplighet minskar i betydelse för uttorkningen.

Genom att alltid anta 100% under putsen erhålles den maximalt möjliga uttorkningshastigheten. Den verkliga uttorkningshastigheten kan sedan bli mindre, men detta beror då inte på putsen utan på andra faktorer.

Att fixera något generellt krav på uttorkningshastighet i samband med byggfukt, och därmed på putsens ånggenomsläpplighet, är omöjligt. I vissa fall är det önskvärt med en snabb uttorkning, exempelvis för att förbättra värmeisoleringen i gasbetong, medan i andra fall uttorkningshastigheten har mindre betydelse. Av större vikt är att fuktinnehållet på lång sikt hålls på en låg nivå. Självfallet måste byggfukten snabbt minskas till en nivå så att skadlig inverkan av fukten undviks.

7.5 Markfukt

I nya hus är uppstigande markfukt i väggar sällsynt förekommande. I äldre byggnader är det däremot ett relativt vanligt problem. Ofta visar sig uppstigande markfukt genom salt- och frostsprängning. Putser medför i detta sammanhang i allmänhet att skadeutvecklingen förvärras. Många byggnader har, trots uppstigande markfukt, klarat sig utan skador så länge som de varit oputsade. När de efter 50-100 år putsats, har däremot allvarliga skador börjat visa sig efter något år.

Uppstigande markfukt i samband med puts är ett mycket stort praktiskt problem. I det följande diskuteras först markfuktproblemet allmänt. Därefter behandlas olika faktorer som påverkar förhållandena.

7.5.1 Allmänt

Med markfukt avses allt vatten som finns i marken. Denna markfukt kan mycket väl finnas över grundvattenytan. Kapillärkrafterna i jorden kan suga upp grundvattnet till betydande höjder över grundvattenytan. Markfukten kan även härstamma från nederbörd. Täta jordlager kan nämligen fördröja vattnets transport till grundvattnet i mycket hög grad. Stundtals kan lokala vattensamlingar förekomma i jorden. Dessa kan även stå under ett visst övertryck.

Väggens möjligheter att suga upp markfukten beror på ingående material och konstruktiv utformning och diskuteras i nästa avsnitt. Den höjd till vilken vattnet kan stiga i väggen bestäms av uppsugningshastighet och uttorkningshastighet. Uttorkningshastigheten är starkt beroende av både ingående material och av klimatbetingelserna. De randvillkor som har betydelse härvid är desamma som tidigare.

7.5.2 Uppsugning - uttorkning - balans

Uppsugningshastigheten påverkas normalt inte av ytputsens egenskaper. Avgörande för uppsugningen är i stället enbart sugkraft och flödesmotstånd i själva väggen. I en homogen vägg av ett enda material är förhållandena enkla. Det verkliga fallet kan liknas vid ett enkelt kapillärsugningsförsök. Stighöjder och sughastigheter kan då beräknas enligt delrapport V.

De väggar där uppstigande markfukt är vanligt förekommande består dock inte av ett enda material, utan är murverk där mursten och fogbruk ofta har helt olika egenskaper. I sådana väggar kan man skilja på två ytterlighetsfall. Om fogbruket inte kan suga vatten sker ingen kapillärsugning uppåt i väggen, eftersom murstenarna blir isolerade från varandra av det icke sugande bruket. Det andra ytterlighetsfallet är då stenarna inte är kapillärsugande, medan däremot bruket kan suga vatten. Naturstensmurverk är ett exempel på detta. All fukttransport kommer nu att ske i fogarna enligt FIG. 7:32. Den maximala stighöjden erhålles

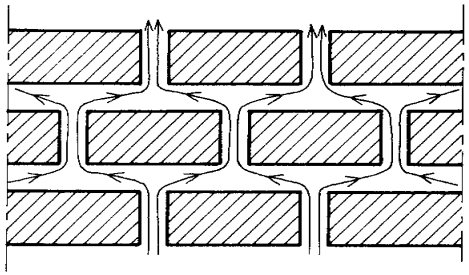


FIG. 7:32. Kapillärsugning i fogar till ett murverk med stenar som ej suger vatten.
Capillary rise in the joints of a brickwork with bricks that doesn't absorb any water.

med hjälp av den kapillära jämviktsfuktkurvans absorptionsdel. Ett visst suctionsvärde ger direkt en viss höjd. Teoretiskt är det alltså möjligt att bestämma vilka fuktinnehåll som kan uppnås på olika höjder i väggen. Detta förutsätter dock att ingen avdunstning sker. Vidare är tidsförloppet okänt. En viss uppfattning om tidsförloppet kan erhållas genom att "räta ut" alla fogar och betrakta förloppet som ren kapillärsugning på samma sätt som för en homogen vägg.

I allmänhet kan även murstenarna suga eller absorbera vatten. Om all avdunstning förhindras så kommer stenarna att inställa sig i fuktjämvikt med fogarna. Stenarnas egenskaper har dock ingen betydelse för den slutliga sughöjden. All fukt måste ju passera genom fogarna. Stighastigheten kan däremot påverkas i hög grad, främst genom att stenarna absorberar mer eller mindre av vattnet.

Om ingen avdunstning förekommer saknar alltså stenars egenskaper betydelse för det principiella händelseförloppet vid uppsugningen, såvida stenarna inte har samma egenskaper som fogbruket. Har stenarna större sugkraft än fogbruket kommer stenarna att absorbera vatten från bruket. Någon större transport genom stenarna sker däremot inte, eftersom en större sugkraft i allmänhet även medför ett större flödesmotstånd. Har stenarna mindre sugkraft kommer å andra sidan stenarna inte att suga åt sig något vatten förrän fogen är mättad. Resonemanget ovan får inte tas helt bokstavligt, eftersom begreppet sugkraft alltid måste relateras till en viss fuktkvot.

I praktiken förekommer alltid en viss avdunstning av det uppsugna vattnet. Jämviktsläget, när uppsugningen är densamma som avdunstningen, blir beroende av många faktorer och är omöjligt att exakt bestämma. En kvalitativ bedömning av olika faktorers inverkan är dock enkel och många gånger tillräcklig. I viss utsträckning är det även möjligt att göra vissa kvantitativa uppskattningar.

I ett tegelmurverk utan puts kan uttorkningen ske genom avdunstning från ytan när fuktkvoten når den kritiska med avseende på kapillärtransport, vilket motsvarar 3-4 viktprocent för både tegel och bruk. Avdunstningsmöjligheterna är alltså goda i detta fall och stighöjden blir ganska liten. Om däremot ytan putsas så kommer enligt tidigare avsnitt uttorkningen att ske i ångfas genom putsen, även vid väsentligt högre fuktkvoter. Den kapillära mättnadsfuktkvoten kan nu nås snabbt. Även här finns en gräns då vissa putser kan börja suga vatten kapillärt. Denna fuktnivå är dock väsentligt högre än den kritiska med avseende på kapillärtransport. Putsen medför alltså att uttorkningshastigheten reduceras kraftigt, kanske till någon procent av den ursprungliga. Även omfördelningen mellan fogbruk och mursten påverkas av putsen. Utan puts kan uttorkningshastigheten vara större än den hastighet varmed stenen absorberar fukt från bruket, med resultatet att stenen blir torr.

En viss uppfattning om vad som händer kan man få genom att på olika höjder jämföra möjlig vattensugning med maximal uttorkning. Olika approximationer kan göras för att erhålla ytterlighetsfallen. Jämförs exempelvis den på viss höjd möjliga kapillärsugningen med all avdunstning på hela höjden erhålles vid likhet mellan dessa den "minimala" sughöjden. I verkligheten blir sughöjden större, eftersom sugningen sker lättare i de lägst liggande delarna. Ett mått på den maximala sughöjden fås genom att anta att allt vatten som sugs upp till miniminivån skall avdunsta över denna nivå. Den maximala nivån blir således dubbelt så hög som den minimala. Som ett mått på medelhöjd kan exempelvis det aritmeriska medelvärdet användas. De två ytterlighetsfallen illustreras i FIG. 7:33.

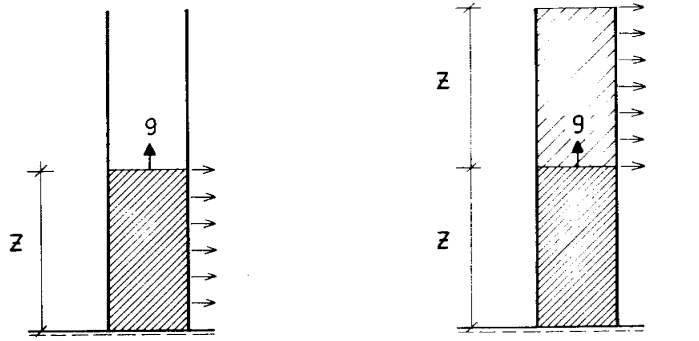


FIG. 7:33. Princip vid beräkning av minimal respektive maximal sughöjd vid uppstigande markfukt.

Principle when calculating minimum (left) and maximum (right) capillary rise in connection with rising damp.

Vid en beräkning måste naturligtvis hänsyn tas till effektiva sug- respektive avdunstningsytor.

Uppsugningshastigheten ges enligt ekvation (V:25) och (V:32) i delrapport V av

$$g = \frac{B^2}{2 \cdot z \cdot p \cdot \rho_w} \qquad (7:4)$$

där

B	= kapillaritetstal	$kg/m^2 \cdot \sqrt{s}$
z	= stighöjd	m
p	= vattenfylld porandel	-
ρ_w	= vattnets densitet	kg/m^3

I TAB. 7:9 redovisas ett exempel på beräkning för ett 1-stens tegelmurverk. Den effektiva sugytan (fogarna) per löpmeter vägg antas till 0.03 m^2. Ingen hänsyn tas till att vattnet i vissa fall måste gå "runt stenarna". Stighöjden sätts alltså lika med sugsträckan. All avdunstning antas vidare ske utåt från hela murverksytan. Teglet antas alltså absorbera vatten från fogen och kapillärt transportera det fram till ytan. Om så icke är fallet kommer ju teglets fuktinnehåll att bli mindre än det kritiska, d v s 3-4 vikt-%, varvid markfuktproblemet inte är aktuellt längre. Den vattenfyllda porositeten i bruket antas till 20% och kapillaritetstalet sätts till 0.05 respektive 0.10 $kg/m^2 \cdot \sqrt{s}$, vilket motsvarar KC- respektive K-bruk. Avdunstningen väljes enligt FIG. 7:29 till $0.3 \cdot 10^{-6}$ respektive $30 \cdot 10^{-6}$ $kg/m^2 \cdot s$ för fallen med och utan puts.

Beräkningen, som inte gör några anspråk på att vara exakt, visar klart putsens stora betydelse. Om stighöjden utan puts är några decimeter kan stighöjden med puts bli någon meter. Fuktkvoten är inte konstant på hela höjden. Nedtill är fuktkvoten högre. På hela höjden är dock fuktkvoten större än den kritiska med avseende på kapillärtransport. Förhållandena påverkas även i hög grad av randvillkoren. Inomhustemperaturen har stor betydelse. En radiator på insidan av en yttervägg kan exempelvis medföra att väggen här är helt torr, medan vid sidan om radiatorn väggen är helt vattenmättad.

TABELL 7:9. Beräknade stighöjder vid kapillärsugning i 1-stens tegelmurverk.

Fogbrukets kapillaritetstal ($kg/m^2 \sqrt{s}$)	Minsta stighöjd (m)		Största stighöjd (m)		"Medel"-stighöjd (m)	
	utan puts	med puts	utan puts	med puts	utan puts	med puts
0.05	0.1	0.8	0.2	1.6	0.1-0.2	1.0-1.5
0.10	0.2	1.6	0.4	3.2	0.2-0.4	2.0-2.5

7.5.3 Kommentarer

Alla i marknaden förekommande putser medför att eventuell markfukt stiger väsentligt högre upp i väggen jämfört med fallet utan puts. Även fuktinnehållet i de lägst liggande partierna kommer att öka om ytan putsas. En puts kan mycket väl ge en stighöjd som är 10 gånger större än för en oputsad vägg.

Det ökande fuktinnehållet och den ökande stighöjden medför naturligtvis ökade skaderisker. Denna risk understryks också av det faktum att man tillför väggen ytterligare en komponent, som i vissa fall är känslig, nämligen putsen. Om fuktinnehållet utan puts är lika med det kritiska med avseende på kapillärtransport finns ingen risk för frostsprängning. Saltutfällning och saltsprängning kan däremot förekomma. Om väggen sedan putsas kan fuktinnehållet snabbt öka till kapillärmättnad, vilket medför risk för frostsprängning i underlaget. Även själva putsen och vidhäftningszonen kan naturligtvis skadas.

En vägg med uppstigande markfukt bör, med hänsyn till ovanstående, inte putsas utan en föregående analys av eventuella risker.

7.6 Totalbedömning

Vid en bedömning av fuktttekniska förhållanden i praktiken måste alla fuktkällor studeras samtidigt. Samverkan mellan flera olika källor kan ge det "farligaste" tillståndet. Teoretiskt är det möjligt att göra avancerade datorberäkningar av det totala förloppet. Den praktiska användbarheten av dessa beräkningar är dock inte stor. I vissa situationer finns goda beräkningsmodeller. I andra situationer är däremot beräkningsmodellerna mindre utvecklade. Vidare är materialdata och randvillkor till stor del okända. Små variationer hos dessa kan ge mycket stora variationer i slutresultatet. En tillsynes noggrann teoretisk beräkning av praktiska fukttillstånd är således för närvarande meningslös.

Det mest meningsfulla man kan göra i en praktisk situation är att bedöma de olika fuktkällorna för sig. Härefter kan kombinationer av de olika källorna studeras. I de flesta situationer kan då någon eller några källor helt försummas. Det farligaste tillståndet fås vid en direkt överlagring av olika delresultat. I verkligheten blir förhållandena gynnsammare.

Som exempel på ovanstående kan nämnas att vid en analys av fuktförhållandena i en gammal kyrka kan i allmänhet den inifrån kommande fukten direkt försummas. Är väggen torr kan även byggfukten försummas. Återstår alltså slagregn och markfukt. Eventuellt kan även den senare försummas efter en mindre undersökning.

Vid renovering av en gammal byggnad med tegelmurverk kan exempelvis markfukt och slagregn vara avgörande för vissa partier nedtill. I anslutning till

speciellt fuktig verksamhet kan även den inifrån kommande fukten bli nödvändig att beakta.

När olika putser bedöms inför en viss situation måste hela konstruktionen studeras som en helhet i det aktuella klimatet. Den väsentligaste frågan i detta sammanhang är: "Vilken funktion skall putsen ha och vilka fuktkrav finns?". Naturligtvis skall fuktinnehållet bli så lågt att några direkta skadeverkningar inte uppstår. I vissa fall skall fuktinnehållet vara så lågt som möjligt av andra orsaker, exempelvis ur värmeisoleringssynpunkt.

Vid den praktiska bedömningen kan man utgå antingen från en viss puts och analysera olika fuktkällors inverkan eller från en viss fuktkälla och jämföra olika putser. I det förra fallet kan troligen vissa fuktkällor efterhand försummas. I det senare fallet kan å andra sidan en del putser troligen förkastas efterhand.

Att ge nagra generella regler för den fuktmekaniska analysen är svårt. Olika putser och fuktkällor far helt enkelt studeras för sig. Även vad beträffar tolkningen av olika resultat uppstår svarigheter. Tillåtna fukttillstånd med avseende pa olika skademekanismer är i vissa fall okända. Den enda riktlinjen härvidlag är att ett lagt fuktinnehall bör eftersträvas. Vidare bör variationerna i fuktinnehall minimeras.

I den svenska putsdebatten förekommer en mängd olika argument (jfr kap. 2.2) i samband med bedömningen av olika putser. Vid de teoretiska analyser och laboratorieundersökningar som genomförts enligt delrapporterna I - VII har det framkommit att manga av dessa argument är tveksamma eller direkt felaktiga. För att i möjligaste mån underlätta en korrekt bedömning av olika putser görs i det följande en kortfattad sammanfattning av nägra undersökningsresultat. I många fall strider dessa (enligt författarens uppfattning) riktiga påståenden mot vanligt förekommande uppfattningar. De olika påståendena motiveras i ovan nämnda delrapporter.

- Slagregn och markfukt är de dominerande fuktkällorna.
- Putsens inverkan på eventuell kondensmängd är obetydlig i normala konstruktioner och klimat.
- Siffervärden från ER-nämndens vätmetod är inte användbara vid uttorkningsberäkningar.
- Uttorkningen av underlaget sker i ångfas genom putsen. Detta gäller även oorganiska tjockputser.

- Samverkan mellan puts och underlag har en avgörande betydelse. Olika underlag ger olika resultat med samma puts.
- Den fukt som finns i väggen kan inte förorsaka några väsentliga tryck, med åtföljande spjälkningsrisk.
- Om en puts görs vattenavvisande försämras inte uttorkningsmöjligheterna för underlaget i någon större utsträckning.
- Om risk finns för uppstigande markfukt bör fasaden inte putsas.
- Vid en bedömning av viss puts skall alla fuktkällor analyseras. Att välja en puts enbart med utgångspunkt från exempelvis god ånggenomsläpplighet är inte riktigt. Hela fuktbalansen skall studeras. Härvid måste naturligtvis risk för eventuella sprickor och andra defekter beaktas. I detta sammanhang har underlaget en mycket stor betydelse. En viss puts kan vara lämplig på ett visst underlag men helt olämplig på ett annat.

Det slutliga valet av puts i ett visst sammanhang får inte grunda sig på enbart de fuktttekniska analyserna. Fukten är enbart en liten del av problemet. Andra aspekter kan vara mer betydelsefulla. Som exempel kan nämnas den mekaniska samverkan mellan puts och underlag.

Även vid den fuktttekniska bedömningen av olika putser måste en mängd andra faktorer, som inte behandlats i denna rapport, beaktas. Som exempel kan nämnas sambandet mellan ojämn nedsmutsning och väggens vattenabsorptionsförmåga. Om väggen inte absorberar allt slagregn, kommer en rentvättning att ske där vatten rinner utmed fasaden. Partier som ligger skyddade mot slagregn tvättas däremot inte rena. Om fasaden däremot absorberar allt vatten, blir nedsmutsningen jämnare över hela fasaden. Vilket som är bäst är en avvägningsfråga, där bland annat slagregnsmängden för orten har stor betydelse.

I denna rapport har slagregnet ägnats stor uppmärksamhet, samtidigt som samverkan mellan underlag och puts betonats. Det måste dock poängteras att de siffermässiga resultaten i vissa fall inte får betraktas som i praktiken förekommande. Som exempel kan nämnas FIG. 7:28, som visar fuktackumulering vid cykliskt återkommande slagregn. Enligt figuren kapillärmättas den tjockputsade gasbetongen. Så är dock icke fallet i praktiken. Den praktiska erfarenheten av denna väggtyp är enbart god. Anledningen till detta är att det i praktiken förekommande klimatet är gynnsammare än vid provningen. Vid den praktiska bedömningen måste således stor vikt läggas vid det aktuella klimatet och den praktiska erfarenheten. Med utgångspunkt från denna erfarenhet kan sedan kvalitativa bedömningar av olika åtgärder eller ändringar göras med hjälp av de principiella samband som redovisas i rapporten.

8 AVSLUTANDE DISKUSSION

8.1 Oklarheter - framtida forskning

Den i denna rapport redovisade undersökningen har givit svar på ett antal olika frågeställningar. Fortfarande kvarstår dock ett antal delproblem. En av målsättningarna var exempelvis att utveckla en fullständig beräkningsmodell för det fuktttekniska förloppet. Tanken härvid var att utnyttja kunskapen om de olika fuktmekaniska förloppen enligt delrapporterna. Under arbetets gång framkom emellertid ett antal mer eller mindre svårlösliga problem. Ett av dessa problem är att fukttransport i vätske- respektive ångfas har så stor skillnad i hastighet, vilket medför datortekniska problem. Detta problem går dock att lösa men ger orimligt långa körningar i datamaskiner. För att bli praktiskt användbar måste beräkningsmodellen förenklas (Olanders & Sandin, 1980).

Ett annat problem, med tanke på en praktisk användning av beräkningsmodellen, är att materialegenskaperna varierar kraftigt hos de i putssammanhang vanligen förekommande materialen. Små variationer i bränningsgrad hos tegel kan exempelvis ge helt avgörande egenskapsförändringar. Olika blandningsförhållanden, härdning och åldring hos puts är andra exempel på variationer som kan ha stor betydelse. En annan osäkerhet i beräkningssammanhang är randvillkoren, som bara delvis är kända.

Att ovanstående inte studerats i detalj inom aktuellt projekt kan synas märkligt. Förklaringen är dock enkel. När projektet startades var nämligen uppfattningarna om fuktmekanik i samband med puts mycket skiljaktiga. Man visste helt enkelt inte vad som skulle mätas. Undersökningen fick därför inriktas på att studera olika mekanismer i fuktsammanhang. För att kunna göra detta på ett tillförlitligt sätt bedömdes det därför nödvändigt att göra ett stort antal mätningar, som skulle belysa olika aspekter. Antal material som skulle ingå fick därför begränsas till ett minimum. En fortsatt utveckling av beräkningsmodeller har vidare bedömts ligga inom den rent fuktttekniska forskningen. (Fuktforskningsgruppen i Lund diskuterar för närvarande ett sådant projekt.)

En fullständig fuktberäkning i en praktisk situation är alltså inte möjlig att göra för närvarande. Tills vidare får man därför inrikta sig på att studera varje fuktkälla för sig samt göra en kvalitativ totalbedömning. I putssammanhang är detta i de flesta sammanhang helt tillräckligt, eftersom kunskaperna beträffande följdverkningarna av fukten är bristfälliga. Varför skall man veta det exakta fuktinnehållet när man ändå inte vet konsekvenserna av detta?

Den för närvarande mest angelägna forskningen inom problemområdet puts - fukt torde vara följdverkningarna av fukten. Hur högt får fuktinnehållet vara för att

inga frost- eller saltsprängningar skall ske? Hur stor inverkan har fukten på energiförlusterna genom en yttervägg?

8.2 Provningsmetoder

Vid utveckling av lämpliga provningsmetoder måste hänsyn tas till en mängd olika faktorer. Metoden skall vara så korrekt som möjligt med hänsyn till i praktiken förekommande påfrestningar, enkel, entydig samt ge användbara sifferresultat. Det slutliga valet blir en kompromiss mellan de olika kraven. Något definitivt förslag till provningsmetod lämnas därför inte i denna rapport. Däremot anges vissa principiella riktlinjer.

Provningar kan göras med olika syften. I huvudsak kan man skilja mellan officiell och intern provning. Den officiella provningen, standardprovningen, skall ligga till grund för bedömningar av olika putsers förmåga att uppfylla vissa givna krav. Här ställs alltså stora krav på provningsmetoden. Syftet med den interna metoden kan däremot vara att utveckla nya eller förbättra befintliga material, både putser och underlag. Här ställs då inte samma krav på exakthet utan provningen kan vara enklare och kan inskränka sig till att enbart vara av jämförande natur. Provningen kan i vissa fall betraktas som en förprovning till den officiella.

Vid utveckling av nya underlag kan exempelvis relativa kapillära jämviktsfuktkurvor, uttorkning av byggfukt samt kapillärsugning vara intressant att studera med några olika vanliga typer av putser. Vid utveckling av nya putser kan motsvarande provningar göras med några olika underlag. Dessutom bör i detta fall även inverkan av sprickor och olika appliceringsförhållanden studeras. Självfallet bör provningarna göras vid olika grad av nedbrytning.

Olika tänkbara standardprovningar har behandlats i kap. 7. I huvudsak går dessa ut på att bestämma ånggenomsläppligheten vid en hög relativ luftfuktighet samt kapillärsugning följt av uttorkning. Ånggenomsläppligheten kan bestämmas antingen genom ett renodlat diffusionsprov eller genom uttorkning av ett fuktigt underlag. Resultatet blir användbart vid bedömning av kondensrisk, uttorkning av byggfukt och risker med uppstigande markfukt. Resultatet från kapillärsugning följt av uttorkning kan användas för att bedöma förhållandena vid slagregn.

Dessa två provningar ger en någorlunda god bild av putsens fuktmekaniska egenskaper om de utföres på ett par olika underlag med olika egenskaper. För att resultatet skall vara användbart i praktisk tillämpning bör provningen göras efter det att provkropparna utsatts för viss artificiell nedbrytning.

8.3 Framtida utveckling inom putsbranschen

För att putsbranschen skall kunna utvecklas i framtiden krävs att olika problemområden analyseras på ett förutsättningslöst sätt. Förutfattade meningar, som det finns gott om, är ett mycket stort hinder. Självfallet skall man vara kritisk, men därför inte negativ utan i stället försöka lösa problemen.

Som ett exempel på ovanstående skall här i korthet beskrivas ett sätt, som i vissa fall systematiskt motarbetats, att påverka och styra det fuktmekaniska händelseförloppet hos fasader, nämligen vattenavvisande preparat.

När dessa preparat introducerades blev resultatet inte helt lyckat i olika sammanhang. En kletig yta och snabb nedbrytning kan nämnas som exempel. Dessa problem löstes emellertid av fabrikanterna. Trots detta kvarstår ryktet om dessa dåliga egenskaper fortfarande, efter 10-20 år. Efterhand har även andra argument mot vattenavvisande preparat framkommit. Som exempel kan nämnas påståendet att en yta som gjorts vattenavvisande inte kan målas eller putsas i efterhand. Man skulle alltså undanröja valfriheten i framtiden om man gjorde ytan vattenavvisande. Dessa argument har framkastats och förfäktats utan att några undersökningar utförts.

I samarbete med lättbetongindustrin har författaren genomfört ett antal provningar av de vattenavvisande preparatens effekter. Gasbetong av olika kvalitet har gjorts mer eller mindre vattenavvisande, varefter olika putser applicerats. Som exempel på använda putser kan nämnas traditionell oorganisk 3-skiktsputs, oorganisk tunnputs och organiska tunnputser, både vatten- och lösningsmedelsbaserade. I samtliga fall har de fuktttekniska egenskaperna förbättrats och inte i något fall har några negativa effekter iakttagits. Det gamla argumentet att man inte kan putsa på en vattenavvisande yta visade sig helt felaktigt. Vidhäftningen studerades speciellt vid den traditionella 3-skiktsputsen. Resultatet blev att den yta som var vattenavvisande hade bättre vidhäftning! Anledningen till detta är sannolikt att problemet med för snabbt sugande underlag elimineras.

Framtiden torde gå emot en strävan att hålla väggar så torra som möjligt, bland annat ur värmeisoleringssynpunkt. I detta sammanhang är utan tvekan de vattenavvisande preparaten ett utmärkt hjälpmedel. Den svenska lättbetongindustrin har exempelvis redan i stor utsträckning börjat använda vattenavvisande tillsatser till sina produkter.

Självfallet finns fortfarande ett antal frågetecken, exempelvis inverkan av sprickor eller icke vattenavvisande fogar. En annan intressant frågeställning är om ett vattenavvisande medel helt kan ersätta den traditionella grundningen i en 3-skiktsputs. I samband med vissa organiska tunnputser används exempelvis en silikonbehandling som primer. Några negativa inverkningar av detta torde inte gå att finna. De positiva effekterna är däremot uppenbara i form av en extra säkerhet mot vatteninträngning.

LITTERATUR

Här redovisas i huvudsak den litteratur som använts som referens i rapporten samt vissa större andra publikationer.

Ytterligare litteratur redovisas i Sandin (1980).

Adamson, B, Ahlgren, L, Bergström, SG & Nevander, LE, 1970, Byggnadstekniska fuktproblem. (Statens Råd för Byggnadsforskning). Programskrift 12. Stockholm.

Anderlind, G, 1974, Instationär endimensionell värme- och fukttransport inom byggnadstekniken. (Inst f Byggnadsteknik. Chalmers Tekniska Högskola). Rapport 74:6. Göteborg.

Andersson, AC, 1979, Invändig tilläggsisolering. (Inst f Byggnadsteknik. Tekniska Högskolan i Lund). Rapport TVBH-1001. Lund.

Andersson, O, 1970, Treskiktsbehandling ger säkrare fasadskydd. Lättbetong 1/72. Stockholm.

Bengtsson, H, 1963, Puts på hålmur. (Svenska Riksbyggen). Meddelande 4/63. Stockholm.

Dührkop, H, Saretok, V, Sneck, T & Svendsen, SD, 1966, Bruk-murning-putsning. (Statens Råd för Byggnadsforskning). Stockholm.

ER-nämnden, 1968, Provningsmetoder för ytskiktsmaterial för putsat och oputsat murverk, likvärdiga underlag samt betong. ER-nämndens rapport nr 3:68. Stockholm.

Fagerlund, G, 1972, Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material. (Inst f Byggnadsteknik. Tekniska Högskolan i Lund). Rapport 34. Lund.

Frank, W, 1973, Einwirkung von Regen und Wind auf Gebäudefassaden. (Verlag Wilhelm Ernst & Sohn). Berichte aus der Bauforschung, Heft 86. Berlin.

Fyrhake, L, 1968, Inklädning av fuktskadade ytterväggar av lättbetong. (Statens Institut för Byggnadsforskning). Byggforskningens informationsblad 22/68. Stockholm.

Granholm, H, 1956, Puts och lättbetong. (Chalmers Tekniska Högskola. Avd Väg- och vattenbyggnad). Handling 177. Göteborg.

Holmström, I, 1972, Konserveringstekniska frågor i italiensk monumentrestaurering. (Konsthögskolans arkitekturskola och Statens institut för byggnadsforskning.) Teori och praktik i italiensk byggnadsvård, p. 109-129. Stockholm.

Holmström, I, 1975, Erfarenheter av putsrenoveringar. Väg- och vattenbyggaren 1975:3. Stockholm.

Holmström, I, & Sandström, C, 1972, Underhåll av gamla hus. (Statens Institut för Byggnadsforskning). Informationsblad B10:1972. Stockholm.

Hoppestad, S, 1955, Slagregn i Norge. (Norges Byggforskningsinstitutt). Oslo.

Hus AMA 72, 1972. (Byggandets Samordning). Stockholm.

Högberg, E & Hedelin, J, 1964, Slammade tegelfasader. Byggmästaren 1964:9. Stockholm.

Höglund, I & Stephenson, DG, 1968, Tabeller för beräkning av solinstrålning mot byggnader. (Statens Institut för Byggnadsforskning). Rapport 49:1968. Stockholm.

Jacobson, L, 1976, Mätning av fasadslagregn vid CTH Fältstation för byggnadsteknisk forskning och provning, Fiskebäck. (Husbyggnad. Sektionen för Arkitektur. Chalmers Tekniska Högskola). Arbetshandling 1 och 2. Göteborg.

Järnmark, T, 1968, Slagregn. (Statens Institut för Byggnadsforskning). Informationsblad 39:1968 och 40:1968. Stockholm.

Klopfer, H, 1976, Anstrichschäden. (Bauverlag GMBH). Wiesbaden-Berlin.

Künzel, H, 1964, Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in häufig beregneten Aussenwänden. (R Oldenbourg Verlag). Gesundheits-Ingenieur. Heft 9, 85. Jahrgang. München.

Künzel, H, 1966, Untersuchungen über das feuchtigkeits-technische Verhalten von Aussenanstrichen und -beschichtungen auf Gasbeton bei natürlicher Bewitterung. Betonstein-Zeitung, Heft 1/1966.

Künzel, H, 1966, Feuchtigkeitstechnische Untersuchungen im Zusammenhang mit Anstrichen auf Aussenputzen. (Bauverlag GMBH). Zement-Kalk-Gips, Nr 1/1966. Wiesbaden.

Künzel, H, 1970, Kritische Betrachtungen zur Frage des Feuchtigkeitshaushaltes von Aussenwänden. (R Oldenbourg Verlag). Gesundheits-Ingenieur, Heft 1, 91. Jahrgang. München.

Künzel, H, 1977, Evaluation of renderings and paintings with respect to the rain protection. (RILEM/ASTM/CIB symposium on evaluation of the performance of external vertical surfaces of buildings). Proceedings, vol 2. Otaniemi.

Künzel, H, 1978, Die "atmende" Aussenwand. (R Oldenbourg Verlag). Gesundheits-Ingenieur, Heft 1/2, 99. Jahrgang. München.

Künzel, H, Frank, W & Schwarz, B, 1971, Schlagregen-Wandfeuchtigkeit-Wärmeverbrauch. Bericht an das Bundesministerium für Städtebau und Wohnungswesen. B Ho 10/71.

Künzel, H, & Schwarz, B, 1968, Die Feuchtigkeitsaufnahme von Baustoffen bei Beregnung. (Verlag Wilhelm Ernst & Sohn). Berichte aus der Bauforschung, Heft 51. Berlin.

Lacy, RE, 1965, Driving-rain maps and the onslaugt of rain on buildings. (RILEM/CIB symposium on moisture problems in buildings). Otaniemi.

Lawson, EM, 1976, External renderings - Scottish experience. (Building Research Establishment.) Current Paper 29/76. Watford.

Nevander, LE, 1972, Slagregn på fasadtegelväggar. (Nordiskt Symposium om murverkskonstruktioner.) Stockholm.

Olanders, P, & Sandin, K, 1980, Datorberäkning av fuktförlopp i fasader vid slagregn. (Ej publicerad ännu.)

Sandberg, PI, 1973, Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. (Inst f byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund.) Report 43. Lund.

Sandin, K, 1973, Fukt- och temperaturundersökning i Vadstena Klosterkyrka. (Inst f byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund.) Rapport 50. Lund.

Sandin, K, 1974, Programarbete rörande putsproblem. (Avd Byggnadsmaterial-lära, Tekniska Högskolan i Lund.) Stencil.

Sandin, K, 1977, The influence of renderings and surface coatings on moisture in the underlayer during onslaught of driving rain. (RILEM/ASTM/CIB symposium on evaluation of the performance of external vertical surfaces of buildings.) Proceedings, vol 2. Otaniemi.

Sandin, K, 1980, Putsens inverkan på fasadens fuktbalans - Delrapport I-VIII. (Avd f Byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund.) Rapport TVBM-1005. Lund.

Saretok, V, 1957, Puts och putsning - ett kritiskt litteraturstudium. (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Handlingar nr 29. Stockholm.

Saretok, V, 1967, Bestämning av fuktdiffusion genom ytskikt på murade fasader. Stencil.

Saretok, V, 1976, Underhåll och reparation av putsade och oputsade murverksfasader. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 14:1976. Stockholm.

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

Svendsen, S, 1954, Puss i norsk klima. (Norges byggforskningsinstitutt.) Anvisning nr 3. Oslo.

Svendsen, S, 1955, Driving rain. (Norwegian Building Research Institute.) Report no 20. Oslo.

Taesler, R, 1972, Klimatdata. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm

Tell, W, 1965, Fuktkvot i ytterväggar. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 1965:3. Stockholm.

van der Held, 1941, Diffusionserscheinungen in Verbindung mit der Trocknung von Werkstoffen. (R. Oldenbourg Verlag.) Gesundheits-Ingenieur, Heft 15, 64. Jahrgang. München.

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

Varnbo, B, 1972, Utvecklingstendenser på fasadputsområdet. Lättbetong 1/72. Stockholm.

Varnbo, B, & Malmquist, S, 1974, Fasadytskikt. (Svenska Riksbyggen - BPA Byggnadsproduktion AB.) Meddelande nr 3/74. Stockholm.