



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

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



Rapport

R7:1991

Fukt i byggnader och material

Forskning 1987–1990

Fuktgruppen vid LTH

Byggforskningsrådet

R7:1991

FUKT I BYGGNADER OCH MATERIAL

Forskning 1987-1990

Fuktgruppen vid LTH

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861062-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Lunds
tekniska högskola, Byggnadskonstruktionslära, Lund.

REFERAT

Fuktgruppens syfte är att bedriva forskning kring fukt i byggnader och därmed sammanhängande tekniska problem. Forskningen är av både grundläggande och tillämpad karaktär.

I föreliggande rapport redovisas i sammanfattad form de forskningsprojekt som bedrivits under perioden 1987-1990.

- Fuktsäkerhet i byggnader
- Reparationsmetoder för golv på mark
- Värme- och fukttillstånd i kryprum
- Temperatur- och fukttillstånd i skalmurskonstruktioner
- Bestämning av fukttransport i porösa material med momentmetoden
- Fuktdiffusionskoefficienter för betong, cementbruk och cementpasta
- Utveckling av utrustning för sorptionsmätningar
- PC-modeller för fuktförlopp

Rapporten innehåller också en förteckning över forskningsprojekt och annan verksamhet under perioden 1981-1987 samt en fullständig förteckning över alla forskningsrapporter mm från Fuktgruppen 1982-1989. Slutligen redovisas Fuktgruppens program för 1990-93.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R7:1991

ISBN 91-540-5281-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab Stockholm 1991

Innehållsförteckning

Förord	5
Fuktgruppens målsättning	7
Fuktgruppens verksamhet 1981-90, sammanfattning	9
Redovisning av forskningsprojekt 1987-90	
- Fuktsäkerhet i byggnader P-I Sandberg, Eva Harderup	13
- Reparationsmetoder för golv på mark Lars-Erik Harderup	19
- Uteluftventilerade och oventilerade kryprum Olle Åberg	35
- Temperatur- och fuktillstånd i skalmurskonstruktioner Kenneth Sandin	43
- Bestämning av fukttransport i porösa material med momentmetoden Dan Gaffner, Håkan Håkansson	51
- Fuktdiffusionskoefficienter för betong, cementbruk och cementpasta Göran Hedenblad	63
- Utveckling av utrustning för sorptionsmätningar Lars Wadsö	69
- PC-modeller för fuktförlopp Jesper Arfvidsson	75
Rapporter 1982-89	79
Fuktgruppens forskningsprogram 1990-1993	83
Förteckning över Fuktgruppens medlemmar med adresser och telefonnr	89

FÖRORD

Föreliggande rapport är en sammanfattning av Fuktgruppens verksamhet under anslagsperioden 1987/88 - 1989/90. Samtliga pågående forskningsprojekt redovisas i komprimerad form. En mer utförlig redovisning av forskningsprojekten görs i separata del- eller slutrapporter som utges av de olika institutionerna inom Fuktgruppen.

Projektsammanfattningarna är författade av respektive projektledare. Övriga avsnitt är i huvudsak författade av Dan Gaffner, som också fungerar som Fuktgruppens sekreterare och kontaktperson.

Lund i augusti 1990

Dan Gaffner

FUKTGRUPPENS MÅLSÄTTNING

Fuktgruppen har som målsättning att vara ett centrum för kunskapsuppbyggande och information om fukt i byggnader och material.

Kunskapsuppbyggandet kan delas upp i följande:

- grundläggande och tillämpad forskning kring fuktrörelser och fuktillstånd i material och byggnadsdelar
- utveckling av metodik för fuktdimensionering av byggnader för vilket krävs utveckling av beräkningsprogram samt framtagande av materialdata, randvillkor och fuktkriterier
- fältundersökningar av fuktförhållanden i byggnader för att utreda skadeorsaker och föreslå reparations- och skadeförebyggande åtgärder

Mellan de olika delarna sker ständigt ett samspel. En ökad kunskap om fuktmekaniken, materialens fuktegenskaper, omgivningarnas fuktillstånd mm leder till större möjligheter att analysera fuktproblem i byggnadskonstruktioner samtidigt som erfarenheterna från praktiken ger värdefull information till den grundläggande forskningen.

För att möjliggöra ett sådant samspel och få synergieffekter bör forskningen ha en viss bredd och bedrivs i gruppform med så många forskare att en lämplig täckning av forskningsfältet erhålles både på det grundläggande och det tillämpade området. Genom bildandet av Fuktgruppen med forskare från olika institutioner vid LTH har en bred satsning kunnat ske på båda dessa områden.

Bland fördelarna med att bedriva fuktforskning i grupp kan också följande nämnas

- Medlemmarna i Fuktgruppen har specialkunskaper som kan användas inom flera projekt.
- Kommunikation mellan olika forskningsprojekt och forskare ökar, vilket också möjliggör en kritisk granskning av forskningen, t ex vid regelbundna interna forskarseminarier
- Forskningsresultat från ett projekt kan i ett tidigare skede användas i ett annat, t ex materialdata och datorprogram
- Nya forskare kan läras upp inom gruppen, vilket ger kontinuitet i forskningen och bibehållande av kompetensnivån
- Information och publicering av forskningsresultat och utbildningsinsatser för byggbranschen kan ske i samlad form och ges större spridning

FUKTGRUPPENS VERKSAMHET 1981-90, SAMMANFATTNING

Fuktgruppen bildades 1981 för att intensifiera fuktforskningen vid LTH. Bakgrunden var de stora och ökande kostnader fuktskadorna orsakat under slutet av 70-talet.

Tidigare hade fuktforskningen vid LTH mestadels bedrivits som enstaka projekt förlagda till olika avdelningar. För att möjliggöra en övergripande planering samt öka kontakterna och samarbetet bildade fuktforskarna vid de tre avdelningarna Byggnadskonstruktionslära, Byggnadsmaterial och Husbyggnadsteknik (numera Byggnadsfysik) 1981 Fuktgruppen vid LTH. Ett forskningsprogram utarbetades i samråd med BFR, som därefter finansierat gruppen.

Under perioden 1981-89 har följande delprojekt bedrivits

- "Verifiering och utveckling av fuktberäkningsmetoder".
Avsikten var att kontrollera existerande fuktberäkningsmetoder mot uppmätta förlopp i ett antal byggnadsmaterial. Ett stort antal försök utfördes och jämfördes med datorberäkningar. Slutrapporterades under 1984.
- "Fukttransport i porösa material".
En fungerande mätmetod, den sk momentmetoden, har utvecklats och gett ny värdefull kunskap om fuktförlopp i porösa material. Mätresultat föreligger för tegel, lättbetong, gips mm. Slutrapportering sker under 1990.
- "Fukt- och rötskador i fönster".
Konditionsbesiktning av rötskador har utförts tillsammans med Fönstergruppen för att studera besiktningsmetoder, skadeorsaker och åtgärder. Slutrapporterades under 1984.
- "Fuktkriterier för golvmaterial".
I projektet har undersökts hur stora fuktbelastningar olika byggnadsmaterial tål innan de blir fuktskadade. Studier av skademekanismen och förändringsmätningar vid långtidsförsök för golvmattor och golvlim på betongtytor har utförts. Slutrapporterades 1987.
- "Fukt i flytspackel".
I projektet har studerats kritiska fukttillstånd för ammoniakavgivning, fuktbindning i flytspackel och fukttillskott till underlaget. Projektet kan ses som en komplettering till BFR-projektet "Skador i golv". Rapportering har ingått i projektet "Fuktkriterier för golvmaterial".
- "Fuktmättningsmetoder".
En metod för mätning av kapillär mättnadsgrad har utvecklats och visats vara helt överlägsen tidigare liknande metoder. Slutrapportering skedde 1985.

- "Fuktens inverkan på energiflödet genom ytterväggar".
Fuktens inverkan på energiförlusterna genom lättbetongväggar har uppmätts, och det har visats att uppgifterna i SBN 1980 var på osäkra sidan. Slutrapporterades 1984.
- "Fältmätning av slagregn och fukt i lättbetongväggar".
Omfattande mätningar har visat att ytbehandlingen har en avgörande betydelse för väggarnas fuktillstånd. Slutrapporterades 1987.
- "Luftfuktighet i bostäder".
Fältmätningar har gjorts av fuktillskott till inneluften och fuktbalansen har beräknats med inverkan av fuktbindning av yt- och beklädnadsmaterial. Slutrapporterades 1983.
- Reparationsmetoder för golv på mark".
I skadedrabbade hus med golv på mark har utförts fältmätningar för att studera verkningssätt och effektivitet för olika metoder för eliminering av fukt- och mögelproblem. Bland annat har djupdränering studerats samt ventilation över och under plattan. Beräkningar av effekten av ventilation över och under plattan har gjorts. Slutrapporteras 1990.
- "Bestämning av fuktdiffusionsegenskaper vid höga fuktillstånd".
En metod har utvecklats för att bestämma fuktdiffusionen som en funktion av RF för betong m fl material vid höga fuktillstånd genom att samtidigt mäta ångflödet och RF-fördelningen i materialet. En mindre studie sker vid andra temperaturnivåer samt en begränsad undersökning på temperaturgradientens inverkan. Slutrapporteras 1990.
- "Fukt i krypgrunder".
Fältmätningar av fuktförhållanden i kryprum med fuktproblem pågår. Responsmätningar görs med avseende bl a på olika ventilationsareor och fläktventilation. Beräkningar sker parallellt. Slutrapporteras 1990.
- "Fuktbalans i rum"
Balanskvationer har ställts upp för luftfukten och absorberad fukt i omgivande ytor i en rumsmodell. Beräkningar har gjorts för olika tidsfall. Slutrapporterades 1988.
- "Fukt i högisolerade vindsutrymmen".
Mätningar och beräkningar har gjorts av fukt- och temperaturförhållanden i ett isolerat vindsbjälklag i en 1 1/2-plans villa med oinredd ovanvåning. Slutrapporterad 1986.

- "Fuktbalans i skalmurar"
Ett provhus har uppförts med 16 olika fack i ytterväggarna där skalmurens utförande är olika i varje fack. Ytterväggarna är utsatta för slagregn från SV resp NO. Fuktförhållanden i väggarna studeras under flera år, startade under hösten 1986. Slutrapportering av nuvarande undersökningar sker 1990.
- "Fukttransport hos trä vid höga fuktillstånd".
Mätningar görs av absorption och desorption i trä med den skorpionsmetoden. Teoretiska analyser av mätningarna görs bl a med de fuktberäkningsprogram som utvecklats av Beräkningsgruppen vid LTH. Slutrapportering beräknas ske 1992.
- "Mätning av fuktdiffusionskoefficienter".
Fuktdiffusionskoefficienter som funktion av relativa fuktigheten för vanliga moderna byggnadsmaterial saknas i stor utsträckning. Därför görs nu mätningar med koppmetoden på material där data saknas samt spridningen i data för varje material studeras.
- "Fuktsäkra byggnader - Fuktdimensionering".
Projektets syfte är att utarbeta en fuktdimensioneringsmetodik med regler, anvisningar och hjälpmedel för att kunna projektera byggnader utan fuktproblem. En förstudie har utförts och rapporterats 1989.

I Fuktgruppen informerar 1984:1 "Verksamheten 1981-1984", 1987:1 "Verksamheten 1984-1987" och denna rapport redovisas de flesta projekten i sammanfattad form. I förekommande fall finns också slut- eller delrapporter utgivna.

Utöver forskningen har Fuktgruppen också deltagit i andra aktiviteter. Bland annat har seminarier arrangerats om följande

- Golv på mark
- Flacka tak
- Högisolerade konstruktioner
- Kryprum (ett eget och ett tillsammans med Träteck)
- Reparationsmetoder vid platta på mark
- Modeller och beräkningar av temperatur- och fuktförlopp under platta på mark
- Mätningar av fukt och fukttransport i trä
- Fukt och mögel (samarrangemang med teknologkåren)

Vidare har Fuktgruppen arrangerat "Nordiskt fuktmöte" 1984 och tillsammans med RILEM arrangerat "Workshop 1986 on Prediction methods for moisture conditions in some typical cases". Fuktgruppen deltog också i anordnandet av Nordiskt Byggnadsfysiksymposium 1987. Deltagande har skett i olika konferenser, symposier och seminarier, där resultatet presenterats från Fuktgruppen. Dessutom har forskarna deltagit i kommittéarbete av betydande omfattning, skrivit artiklar, givit remissvar, mottagit studiebesök, givit råd om fuktproblem, hållit kurser mm.

Inom forskningen har samarbete skett med andra forskare forskningsgrupper. Här ska främst nämnas Beräkningsgruppen och Markvärmegruppen vid Byggnadsfysik, LTH under ledning av Johan Claesson, med vilka ett mycket värde fullt samarbete pågår inom framför allt områdena datorberäkningar och fuktteorier för porösa material. Regelbundet utbyte och visst samarbete sker också med fuktforskare vid Danmarks Tekniska Högskola.

Fuktgruppen har sedan starten haft en av BFR utsedd referens- och samordningsgrupp knuten till sig, vanligen kallad styrgruppen. Vid styrgruppens möten har alla forskarna inom Fuktgruppen deltagit, varvid bl a lägesrapporteringar har gjorts. Styrgruppen utgör ett stort stöd för Fuktgruppen.

Det har också varit till stor nytta för Fuktgruppen att Lars-Olof Nilsson fortsatt sitt engagemang i styrgruppen även efter sin utnämning till professor vid CTH, liksom att professorerna Lars Erik Nevander och Arne Hillerborg fortsatt medverka i gruppens arbete efter sina pensioneringar.

FUKTSÄKERHET I BYGGNADER

Eva Harderup, P I Sandberg

1 Bakgrund

Problemen med fukt och mögelskador, sjuka hus, beständighet, med mera är väl kända från tidningsartiklar, debatter etc. En stor del av dessa skadefall på byggnader kan härledas från olika typer av fuktbelastningar som inte beaktas av byggaren, beställaren mfl. Att felaktiga fuktillstånd är en dominerande skadeorsak är känt sedan ganska lång tid tillbaks. Ändå förekommer det fortfarande att "missar" inträffar både under projekterings-, uppförande- och förvaltningskedena. Detta beror på åtminstone tre orsaker

- ingen ställer krav
- okunnighet
- brist på lättillgängliga hjälpmedel

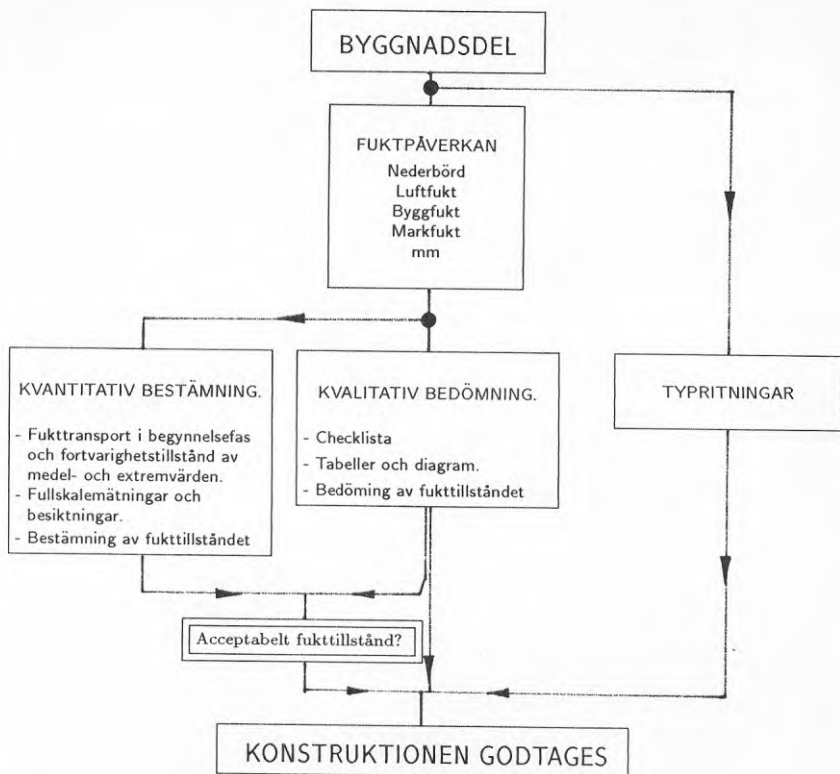
För att åtgärda bristen på lättillgängliga hjälpmedel avses med projektet att sammanställa och bearbeta befintlig kunskap till en skrift för projektörer. Skriften skall innehålla allmän dimensioneringsmetodik, regler och andra hjälpmedel och vara utformad så att projektören med rimlig arbetsinsats kan använda resultatet för en god fuktdimensionering av byggnaden.

Med fuktdimensionering avses de åtgärder i byggprocessen som skall säkerställa att byggnaden inte får skador eller olägenheter som orsakas direkt eller indirekt av fukt. Jämförelse kan ske med den statiska dimensioneringen där t ex byggnaden skall uppfylla vissa krav på bärförmåga vid olika fall av laster.

2 Metodbeskrivning

För att kontrollera att byggnaden inte får skador eller andra olägenheter vid olika fuktpåverkningar har det ansätts lämpligt att separat betrakta varje byggnadsdel och dess speciella fuktproblem. De ingående komponenterna som skall behandlas vid en fuktdimensionering kan schematiskt beskrivas i FIGUR 1.

För varje aktuell byggnadsdel görs en genomgång av hur fuktpåverkan (nederbörd, luftfukt utomhus och inomhus, byggfukt, läckage och eventuell markfukt) inverkar på byggnadsdelen och dess ingående komponenter.



FIGUR 1. Fuktdimensionerings metodik.

Vid dimensionering för respektive fuktpåverkan kan denna göras på olika nivåer beroende av skadepåverkan, byggnadens fuktsäkerhetsnivå mm. De tre olika nivåerna är

1. Kvantitativ bestämning

Innebär att förväntade fuktillstånd bestäms genom noggranna metoder baserade på "avancerad fuktbestämningsmetodik". Alternativen för bestämningen kan göras på två olika sätt, (a och b), beroende på bland annat tillgång till dator, tillgång till klimatdata med mera.

- (a) Beräkning av fuktransport i begynnelsefas och fortvarighetstillstånd utgår ifrån medel- och extremvärden för olika typer av fuktpåverkan, temperaturtillstånd med mera. Vid beräkningen utnyttjas riskanalys och relevanta analytiska metoder för att bestämma fuktillståndet i byggnadsdelen.

Om beräkningarna ger osäkerhet eller ofullständiga resultat angående byggnadens förväntade fuktillstånd görs en uppföljning. Denna kan utföras enligt alternativ b.

- (b) Innerbär att förväntade fuktillstånd bestäms genom noggranna besiktningar eller fullskalemätningar och att konsekvenserna av fukten

och dess påverkningar beaktas.

Dessa besiktningar/mätningar skall pågå tills dess

- att alla olika fukt- och övriga klimatförhållanden samt olika kombinationer av dessa
- att olika långtidspåverkningar av fukt- och övriga klimatvariationers inverkan

har beaktas för byggnadsdelen.

Nyproduktion av den aktuella byggnadsdelen får inte förekomma förrän besiktningarna och/eller mätningarna är klara och utvärderingen visar att byggnadsdelen har ett acceptabelt fuktillstånd.

2. Kvalitativ bedömning

Behandlar i stor utsträckning regler och anvisningar hur en detalj skall eller inte skall utföras. Anvisningarna kan vara att

- ur tabeller och diagram utläsa t ex fuktillstånd eller nödvändiga materialdata för enklare beräkningar mm
- välja material eller andra komponenter som är acceptabla för vissa klimat, långtidsaspekter mm.
- etc

Exempel på typer av regler är "Välj material A" (som är okänsligt för fukt) eller "Välj taklutning 1:X för tätskikt B". Anvisningar och regler leder till en grov bedömning av fuktillståndet och/eller dess konsekvenser.

3. Typritningar

Det är inte rimligt att projektören skall utföra en detaljerad dimensionering för varje byggnadsdel. Projektören behöver därför ha tillgång till färdiga ritningar. Typritningar visar konstruktioner som är acceptabla ur fuktsynpunkt. Lösningarna kan användas direkt för den aktuella byggnadsdelen.

Bestämda eller bedömda fuktillstånd skall jämföras med kritiska gränser (acceptabla fuktillstånd). Jämförelsen sker för att undvika olika typer av skador eller olägenheter, som till exempel korrosion, röta, mögel, frostsador, dimensionsändringar, påverkan på värmekonduktiviteten med mera.

Målsättningen är att projektören skall finna ett underlag i form av anvisningar, regler och hjälpmedel för varje byggnadsdel för alla *tre nivåer*. Under dimensioneringens gång kan det bli nödvändigt att ändra på byggnadsdelen för att uppnå acceptabelt fuktillstånd så att byggnadsdelen kan godtagas från fuktsynpunkt. Om en konstruktion har godtagits genom en detaljerad dimensionering (nivå 1 och 2) kan dessa ritningar även användas för andra byggnader

som är likvärdiga ur fuktsynpunkt.

På sikt bör eftersträvas att kunna ge förutsägelser om fukttillstånd, inte som ett enstaka värde utan som sannolikheter för att olika fukttillstånd inträffar. Häri ingår att ta hänsyn till variationer i klimat, materialegenskaper, brukarvanor med mera. Sannolikheten kan sedan ställas emot risken för att vissa skador inträffar, vilket innebär att riskanalys måste genomföras. I denna bör man dessutom taga hänsyn till risken för grova fel (t ex utelämnad fuktspärr) och för exceptionella händelser (t ex vattenskada). Risken för att skada uppkommer på grund av fuktpåverkan kan antingen bestämmas (nivå 1) eller bedömas (nivå 2). För typritningar (3) kommer denna risk att anges för respektive konstruktion eller detalj. Detta kan återigen jämföras med statiken och dess säkerhetsfaktorer.

Vid användning av nivå 1 och 2 innebär ökade insatser vid fuktdimensioneringen att ekonomiska vinster kan göras genom en optimering av utformningen med hänsyn till ekonomin, produktionsmetoder mm. Då nivå 3 används kan denna ge en sämre totalekonomi då större säkerhetsfaktorer ger grova fukt-känsliga konstruktioner. Vinsten blir minskande projekteringsinsatser ur fuktdimensioneringssynpunkt.

2.1 Uppläggning av skriften

Uppläggningsen skall vara lättfattlig, övergripande och användarvänlig. Följande kapitel kommer att finnas:

A INTRUDUKTION

Kapitlet innehåller bakgrund, syfte och läsanvisningar. Bakgrunden och syftet är redan beskrivet ovan, medan läsanvisningar innehåller "var som finns var" och "hur skriften skall användas".

B BASINFORMATION

Kapitlet skall läsas före användning av skriften för att användaren skall erhålla en del av de termer som ingår, samt principer för hur en fuktdimensionering bör genomföras. Här finns även en beskrivning av hur kapitel C är uppbyggt samt en översikt av alla de hjälpmedel som finns i kapitel D.

C TILLÄMPNING PÅ BYGGNADSDELAR

Kapitlet skall betraktas som en checklista. Där finns all nödvändig information för att bedöma eller bestämma påverkan från en viss fuktkälla på en viss byggnadsdel. Om beräkning eller provning skall utföras, så sker en hänvisning till "D BILAGOR".

D BILAGOR

För att exakt bedöma fuktbelastningarnas påverkan finns gränser (acceptabla fukttillstånd) med tanke på olika typer av skador eller olägenheter. I kapitlet finns allt som behövs som data, hjälpmedel, materialgenskaper med mera för att beräkna eller provning av fukttillståndet under en given fuktpåverkan. Här finns även en litteratursammanställning för fördjupningsstudier.

E EXEMPEL PÅ FUKTDIMENSIONERING

Kapitlet skall ge ett konkret exempel på hur en fuktdimensionering utförs för t ex enfamiljshus eller dylikt.

F KOSTRUKTÖRENS "FUKTDEKLARATION"

Kapitlet är ett förslag till utformning av en blankett som projektören kan "fylla i" för att intyga att anvisningar, regler mm har följts och att byggnaden därmed har genomgått en fuktdimensionering.

Under arbetets gång med förprojektet har det bedömts lämpligt att behandla varje byggnadsdel, mm för sig, i olika separata skrifter, såsom

- TAK INKLUSIVE VINDSUTRYMMEN
- YTTERVÄGGAR
- GRUNDKONSTRUKTIONER
- FÖNSTER, DÖRRAR OCH PORTAR
- VÅTRUM
- ANSLUTNINGAR, GENOMFÖRINGAR MM

I varje skrift finns allt som krävs för att utföra en fuktdimensionering för respektive byggnadsdel (dvs kapitel A, B och D).

Kapitlet som handlar om exempel på fuktdimensionering (E ovan) kommer troligen också att placeras utanför i en separat skrift. Detta medför att hela byggnaden kan direkt exemplifieras med hjälp av hänvisningar till de olika separata skrifterna.

2.2 Fortsättningen av projektet

Under den kommande treårsperioden kommer vi huvudsakligen att arbeta med *principerna för fuktdimensionering* samt *med tillämpning på en av byggnadsdelarna, TAK INKLUSIVE VINDSUTRYMMEN*. Arbetet består i att utveckla och sammanställa nödvändiga dimensioneringsmetoder, regler, anvisningar och hjälpmedel.

3 Konferenser

P I Sandberg : *Förebygga och åtgärda fuktproblem*
Seminarium angående Sjuka hus.
Anordnad av Norrköpings kommuns
Sjuka-hus-grupp.

4 Publikationer

Fuktsäkerhet i byggnader: Förprojekt.
TVBH-7118, december 1989.

REPARATIONSMETODER FÖR GOLV PÅ MARK

Lars-Erik Harderup

1 Bakgrund

Markfukt är en vanlig orsak till de fukt- och mögelskador som drabbat många svenska byggnader under det senaste decenniet. Skadorna har ofta samband med byggnader med platta på mark, uppförda under 1970-talet eller början av 80-talet.

Under denna period utfördes platta på mark ofta med uppreglat golv och en mellanliggande tunn värmeisolering av mineralull. Golvkonstruktionen placerades i många fall direkt mot betongplattan utan mellanliggande ångspärr. Under betongen fanns dränerande och kapillärbrytande material som inte alltid kunde uppfylla sin funktion. Otillräcklig uttorkning av byggfukten, markfukt samt dålig rengöring av betongplattans ovansida har bidragit till fuktskador även i byggnader med sk flytande golv, dvs golv med cellplastisolering ovanpå betongen. I vissa delar av landet var det vanligt att använda lös lättklinker som värmeisolering och kapillärbrytande skikt under betongplattan. Tyvärr var materialet inte alltid kapillärbrytande, vid normala skikt-tjocklekar, vilket innebar att stora mängder markvatten kunde tillföras plattan lokalt. En fuktig värmeisolering får dessutom ett lägre värmemotstånd vilket ökar värmeförlusterna genom grunden.

I många fall har även andra fuktkällor i kombination med olämpliga konstruktioner och material bidragit till fuktskadorna.

På grund av det stora antalet hus som drabbats av denna skadetyp har ett flertal reparationsmetoder utvecklats för att stoppa eller i varje fall reducera den fuktmängd som tillförs byggnaden underifrån.

Inom Fuktgruppen pågår ett projekt med syfte att studera och följa upp effekterna av några reparationsmetoder för golv på mark. Arbetet har genomförts dels i form av *fältmätningar* i fuktskadade hus med platta på mark före och efter åtgärder, dels genom utveckling av numeriska *beräkningsmodeller* för att simulera metodernas effektivitet under olika förhållanden. Beräkningsmodellerna har främst utvecklats för simulering av mekanisk ventilation under eller över betongplattan. Arbetet med beräkningsmodellerna har skett i samarbete med Beräkningsgruppen vid avdelningen för Byggnadsfysik, LTH.

Om markfukten förhindras att komma i kontakt med fuktkänsliga material ovanför betongplattan kommer dessa konstruktionsdelar att torka, varvid ytterligare mögeltillväxt förhindras. Fukttillskottet från marken kan stoppas på olika sätt. Om markfukten förhindras att komma i kontakt med betongplat-

tan kommer denna att torka underifrån. När även betongens ovansida torkat kommer ovanförliggande material att erhålla ett lägre fuktillstånd. Uttorkning av betong är dock en långsam process varför fuktproblemen kvarstår under lång tid, även om åtgärden lyckas.

Fukttillskottet från marken kan även transporteras bort eller stoppas omedelbart ovanför betongplattans ovansida. En kraftig ångspärr som placeras direkt mot betongytan innan en ny golvkonstruktion byggs upp stoppar fukttransporten till ovanförliggande material. Betongen kan däremot bli fuktigare än tidigare. För att åtgärden skall fungera krävs därför en mycket grundlig rengöring av betongplattan innan ångspärren läggs ut.

Genom mekanisk ventilation av grunden är det ibland möjligt att transportera bort den fukt som tillförs byggnaden via marken. Under förutsättning att luften inte är vattenmättad kan fukten transporteras ut ur grundkonstruktionen med hjälp av luftrörelserna. Vissa allmänna villkor måste vara uppfyllda för att en mekanisk ventilation av grunden skall vara meningsfull: Det måste finnas en horisontell luftspalt eller ett luftgenomsläppligt materialskikt i konstruktionen. Luften som trycks in i eller sugts ut ur grunden måste vara relativt torr och varm för att minska kondensrisken. Alla oventilerade anslutningar mellan grunden och andra byggnadsdelar måste vara så lufttäta som möjligt för att förhindra oönskade luftrörelser. På grund av kondensrisken är det också väsentligt att temperaturfördelningen i det ventilerade skiktet är känd, så att ett lämpligt luftflöde kan väljas.

Ofta är det inte enbart själva golvkonstruktionen som har fuktskador. I många byggnader från denna tidsperiod finns enbart en mineralullsremsa under syllarna, vilket inte ger något skydd mot markfukt som diffunderat genom betongplattan eller kantblocken. Vid saneringen av en byggnad med fuktskador i grunden är det därför viktigt att även syllarna under alla väggar som står direkt på betongytan respektive kantblocken fuktskyddas väl. Syllar med allvarliga fukt- och/eller mögelproblem måste ibland bytas ut för att få ett bra inomhusklimat.

2 Fältmätningar

I en sammanställning av denna karaktär är det omöjligt att redovisa alla resultat som erhållits från fältmätningarna. Resultat och slutsatser från en del av de genomförda fältmätningarna redovisades i rapporten 'Fuktgruppens verksamhet 1984-87'. I skriften redovisades mätresultat från försök med djupdränering, ventilation under betongplattan, ventilation av uppreglade golv samt fuktspärr på betongens översida. Resultat och slutsatser från dessa mätningar redovisas därför inte i denna sammanfattning av projektet.

2.1 Fuktskadat småhus med flytande golv

Försäkringsbolaget Folksam löste 1980 in ett småhus, i södra Skåne, med platta på mark och flytande golv, uppfört 1973. Orsaken var de fukt- och mögelproblem som uppmärksammats i fastigheten sedan två år. Från 1978 och fram till och med 1983 genomfördes undersökningar i fastigheten, dels av Lunds Tekniska Högskola (LTH), men huvudsakligen av Riksbyggen, för att klargöra skadeorsakerna samt även för rena försöksändamål.

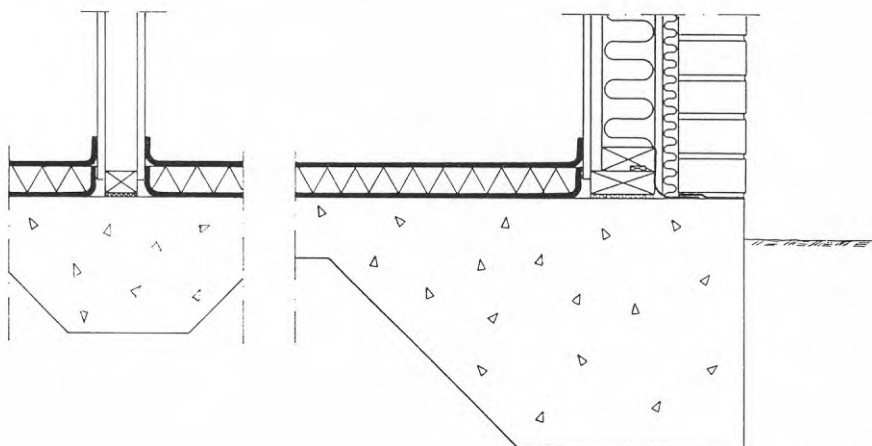
Inom ramen för det här beskrivna projektet genomfördes regelbundna mätningar i fastigheten från mitten av 1985 och två år framåt. Målsättningen med mätningarna var att erhålla mätdata, under en lång tidsperiod, i en byggnad med dokumenterade fukt- och mögelproblem. Långtidsmätningar ger värdefull information om vilka fukt- och temperaturtillstånd som existerar i en byggnad samt hur dessa varierar med årstiden och mellan olika år. Dessutom kunde det förväntade uppfuktningsförloppet för den återställda grundkonstruktionen studeras, liksom effekten av vissa reparationsmetoder.

Mätningar och undersökningar har begränsats till de fuktkällor som kan påverka betongplattan och de anslutande ytter- och innerväggssyllarna.

Under mätperioden studerades fuktillståndet i syllar, betonggolv och inomhusluft. Regelbunda mätningar genomfördes också av markvattenytans läge intill dräneringsledningar och under byggnaden. Information om utomhusklimatet erhöles från SMHI:s klimatstation vid Sturups flygplats. Prover för mykologisk analys skickades till Göteborgs Universitet i början och slutet av den tvååriga mätperioden. Erhållna resultat jämfördes även med tidigare dokumenterade mätvärden.

När Riksbyggen avslutade sina försök 1983 demonterades golvspånskivor och cellplastisolerings varvid betonggolv, mellanväggssyllar och ytterväggssyllarnas insida blev fritt exponerade mot inneluften. I mitten av 1985, då det här beskrivna projektet startade, hade följdaktligen betonggolv och syllar haft goda uttorkningsmöjligheter under cirka två års tid. Efter bestämning av fuktillstånden i grund och ytterväggar täcktes betongytan med plastfolie. Därefter monterades golvkonstruktionen enligt figur 2.1.

Som framgår av figuren är grundkonstruktionen utförd med platta på mark, där hela plattan, inklusive kantförstyvningar är utförda i betong. Under plattan finns ett skikt av sand som skall fungera som dränerande och kapillärbrytande material. Runt hela betongplattan finns dräneringsrör av tegel. Undergrunden består av moränlera.



Figur 2.1 Återställd golvkonstruktion.

Ytterväggssyllarna är utförda av tryckimpregnerat trä. Mellan betongplattan och syllens undersida finns en oskyddad mineralullsremsa. På ytterväggssyllarna har prefabricerade väggelement monterats, med invändig ångspärr. Utanför väggelementen finns asfaboard, 30 mm mineralull samt en fasadmur av kalksandsten. Mellan asfaboard och ytterväggssyll finns en plastfolie som dragits upp cirka 100 mm på träsyllarna. Den vattenavledande plastfolien avslutas några centimeter in under skalmuren, där den överlappas av ytterligare en folie, med samma bredd som skalmuren.

I den aktuella konstruktionen finns en del tveksamt utformade konstruktionslösningar.

- Den undre ytterväggssyllen har ångtäta material på såväl insidan som utsidan vilket försvårar uttorkningen både av byggfukt och fukt från betongplattan som kan tillföras syllarnas underkant i ångfas genom mineralullsremsan, som inte utgör någon ångspärr.
- Det flytande golvet saknar ångspärr som skydd mot markfukt. Cellplast är dock relativt ångtät i sig själv varför detta inte borde ge fuktproblem, om skarvarna mellan isoleringsskivorna är täta. Betongytan måste dock vara väl rengjord för att förhindra mögelväxt och dålig lukt.

Andra fuktkällor som kan tänkas påverka fukttillståndet i syllar och anslutande delar är

- regngenomslag genom fasadmuren av kalksandsten
- läckage från vattenrör som placerats på betongytan under cellplastisoleringen
- kapillärsugning från marken, på grund av felaktigt utförda och/eller felaktigt material till dräneringssystemet under och omkring betongplattan
- fukttillskott från inomhusluften.

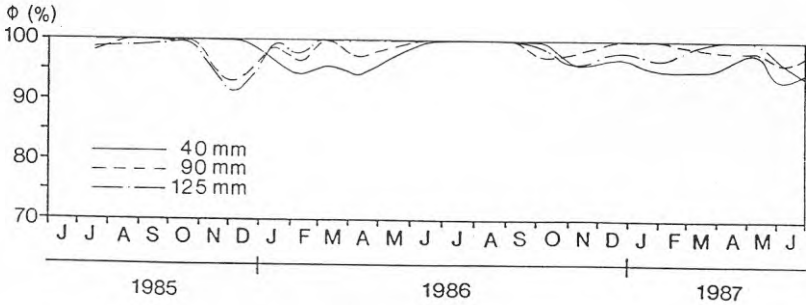
2.1.1 Undersökningar i fastigheten 1978-83

Innan Fuktgruppen fick tillgång till fastigheten genomfördes en hel del mätningar och provtagningar i fastigheten för att dokumentera husets fuktstatus samt för att utreda orsakerna till fukt- och mögelproblemen i bostaden. Undersökningarna visar bland annat att den kapillära mätnadsgraden var nästan 100 % i betongplattans underkant medan den kapillära mätnadsgraden i betongens övre delar var 75-80 %. Fuktfördelningen visar att fukten kommer underifrån. I syllarna konstaterades höga fukttillstånd och mögelförekomst. Kontroll av inomhusluften visade att antalet isolerade luftburna mögelsvampsporor var lågt.

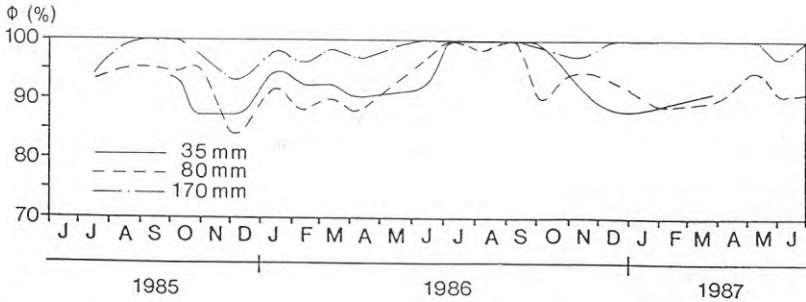
2.1.2 Undersökningar i fastigheten 1985-87

Under perioden maj 1985 till och med juni 1987 genomfördes ett stort antal mätningar i bostaden inom ramen för ifrågavarande projekt. Regelbundet återkommande mätningar utfördes för bestämning av relativ ånghalt och temperatur på olika djup i betongen. Dessa mätningar skedde dels i närheten av kantbalken, dels mitt i byggnaden. Resultat från mätningarna visas i figur 2.2a och b.

Från dessa långtidsmätningar framgår det att den relativa ånghalten i betonggolvet varierar med årstiden. Resultaten i figur 2.2 är de som erhöles efter noggrann kalibrering av givarna, före och efter varje mätning. Även temperaturdifferenser mellan givare och omgivande betong har beaktats. Mätresultaten visar att det kan vara riskabelt att dra generella slutsatser om fukttillståndet i en konstruktion, från mätningar som erhållits vid ett enstaka tillfälle.



Figur 2.2a Relativ ånghalt (%) i betonggolvet. Mitt i byggnaden.

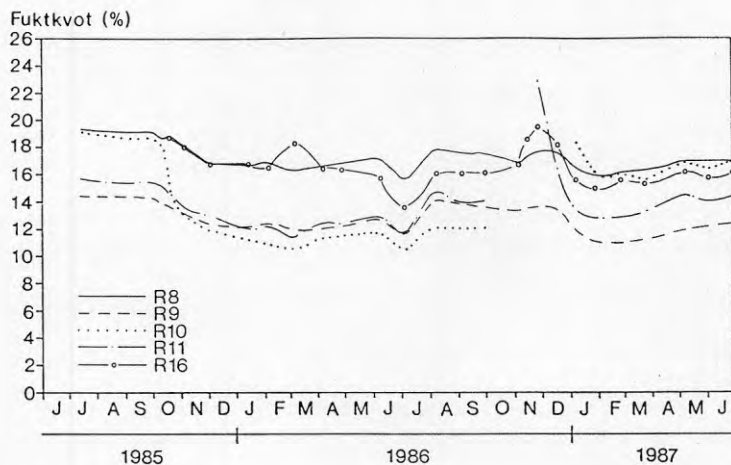


Figur 2.2b Relativ ånghalt (%) i betonggolvet. Intill kantbalken.

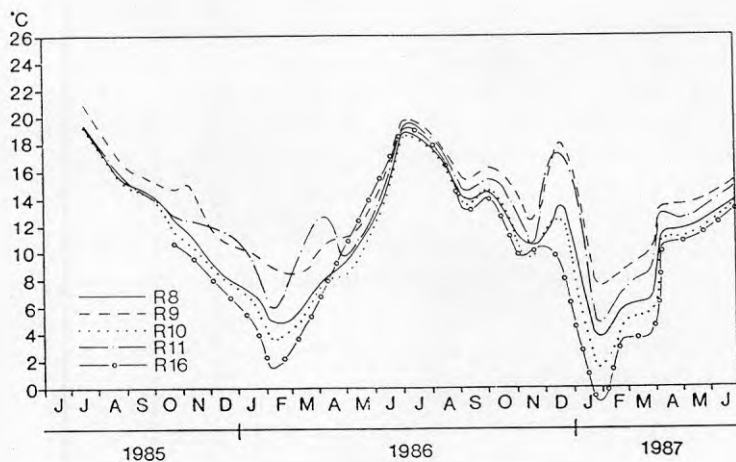
I många lukthus från 1970-talet, orsakas problemen av en olämplig utformning av anslutningen mellan betonggolv och väggar. Inom denna fältstudie har därför syllarnas fuktillstånd undersökts ingående. Huvudsakligen har uppföljningen skett med hjälp av fast monterade träfuktstift som placerats i syllarnas underkant. De 16 par stift som fanns i bostaden placerades cirka 10 mm från den undre syllens underkant och 10 mm respektive 90 mm in i träet från syllens insida. Intill varje par av fuktstift fanns även ett termoelement för registrering av temperaturen.

Exempel på fuktkvoter och temperaturer som mättes upp i syllarna vid respektive mättillfälle visas i figurerna 2.3a och 2.3b. Mätpunkterna R8 och R9 visar fuktkvoterna i en punkt på 90 mm respektive 10 mm djup. På motsvarande sätt visar R10 och R11 fuktillståndet i en annan del av syllen på 90 mm respektive 10 mm djup. Mätpunkt R16 visar fuktillståndet i syllen, 10 mm från dess utsida.

Från figur 2.3a framgår att fuktkvoten vid mätpunkt R10 och R11 stiger mycket kraftigt i slutet av 1986. Detta orsakades av ett läckage från en befuktare som fanns i bostaden under mätperioden, för att simulera det fuktillskott som normalt förekommer i en bostad. På grund av läckaget togs värmeisolering och plastfolie bort i en del av bostaden, varefter en avfuktare installerades i det mest skadedrabbade rummet. För att ytterligare påskynda uttorkningen höjdes även temperaturen i rummet. När ovanstående åtgärder genomförts sjönk fuktkvoterna snabbt, vilket framgår av figur 2.3a. Efter avslutad uttorkning återställdes golvet i samma skick som före läckaget.



Figur 2.3a Fuktkvot (%) i syllar, nordöstra fasaden.



Figur 2.3b Temperatur (°C) i syllar, nordöstra fasaden.

En sammanfattning av mätningarna i syllarna under den aktuella tvåårsperioden visar följande.

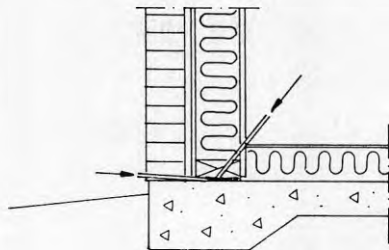
- Fuktkvoten i de syllar som inte påverkades av läckaget och som inte varit föremål för andra åtgärder har sjunkit något, trots att randvillkoren för uttorkning försämrats i samband med att plastfolie och cellplastgolv placerades intill syllarna vid mätperiodens början.
- De delar av syllarna som endast drabbades av läckaget i mindre omfattning torkade relativt snabbt, utan att några åtgärder vidtogs för att påskynda uttorkningsförloppet.
- Insidan av ytterväggssyllarna är generellt torrare än utsidan.
- De fuktigaste ytterväggssyllarna finns i den sydvästra fasaden. Huvuddelen av slagregnen i Skåne kommer från syd eller sydväst vilket tyder på att slagregnen inverkar på syllarnas fuktbalans.
- Det finns en signifikant skillnad i fuktkvot mellan olika mätpunkter vid ett och samma mättillfälle, speciellt i syllarnas yttre delar.
- Mellanväggssyllarna är i allmänhet torrare än ytterväggssyllarna.
- Fuktkvoten i vissa mätpunkter är hela tiden så hög att mögel kan utvecklas.
- Säsongsvariationerna i syllarnas fuktkvot är små men fullt märkbara.
- Resultaten från de fyra mykologiska undersökningar som genomförts på syllarna samt de genomförda fuktmätningarna tyder på att syllarna var mycket fuktiga då huset byggdes.

Temperaturerna i syllarna varierar avsevärt med årstiden, speciellt i ytterväggssyllarna. Under vintern är temperaturen tidvis så låg att mögeltillväxten sannolikt avtar. Med cellplastisolering på golvet blir sylltemperaturerna lägre vintertid, jämfört med en likvärdig byggnad med underliggande golvisolering. För de mögelsvamparter som har tillväxtmaximum vid rumstemperatur borde följdaktligen golvisoleringens placering verka hämmande på tillväxten, under vinterhalvåret.

Vissa delar av ytterväggssyllarna epoxiinjekterades under försöksperioden. Syftet med en sådan injektering är att skapa en heltäckande fuktspärr mellan betongplatta och syll, för att hindra fukttransporten från betongen till syllens undersida.

Resultaten från dessa försök visar att epoxibehandling från insidan gav ett bra skydd mot underifrån kommande vatten. När åtgärden utfördes från utsidan blev resultatet däremot sämre. Ett allmänt problem vid injektering

är att få epoxi att tränga in under de delar av syllen som ligger direkt mot betongen, där det förmodligen behövs bäst.



Figur 2.4 Epoxiinjektering mellan betongkantbalk och ytterväggsyll.

Intill och under byggnaden fanns totalt sex observationsrör monterade för att studera markvattenytans läge. En jämförelse med SMHI:s klimatobservationer visar att markvattenytan intill och under byggnaden stiger efter exceptionell nederbörd och i samband med omfattande snösmältning. Vattennivån har dock alltid varit minst en halv meter under betongkantbalkarnas undersida, vilket innebär att vattennivån aldrig stigit så högt som till dräneringslagrets underkant vid något mättillfälle. Den vattennivå som har noterats under byggnaden vid enstaka mättillfällen ligger djupare än vattennivån intill dräneringsrören, vid samma tidpunkt. Det finns ingenting som tyder på att husets grund eller dess vägganslutningar påverkats av fluktuationerna i markvattenytans nivå.

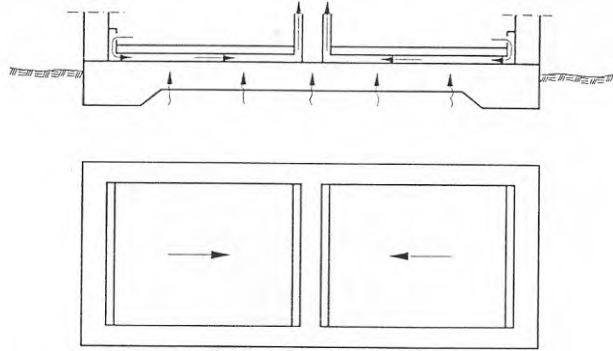
2.2 Golv med luftspaltbildande ångspärr

Om ett golv har allvarliga fuktskador måste det skadade materialet avlägsnas. Innan en ny golvkonstruktion byggs upp måste betongytan rengöras noggrant och täckas med ett ångtätt material. Genom att välja en luftspaltbildande ångspärr är det möjligt att ventilerar bort den markfukt som tränger genom betongplattan. Ett sådant system visas i figur 2.5.

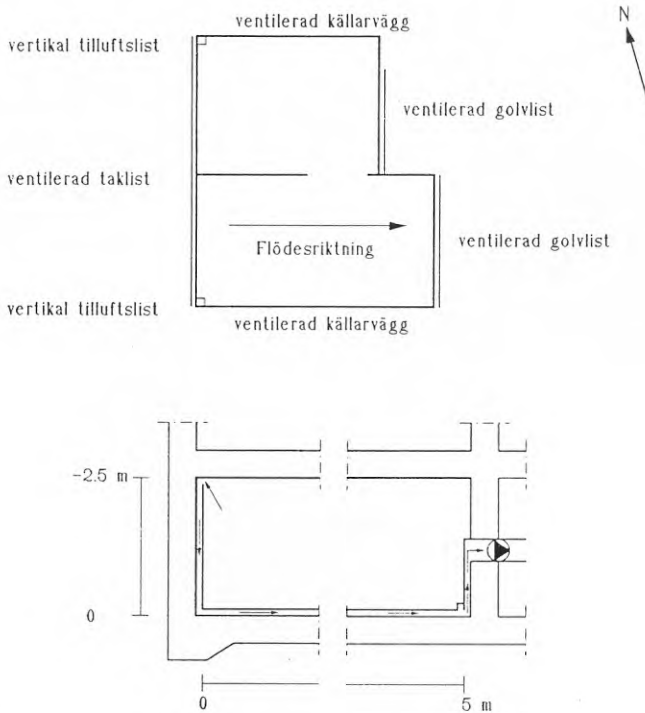
Inneluft sugas in i golvet genom ventilerade golvlistor som ansluts till den ventilerade ångspärren, vid två motstående ytterväggar. Luften som passerar betongytan kan uppta fukt, under förutsättning att den inte är vattenmättad. Efter passagen av golvet samlas luften i speciellt utformade golvsocklar för att därefter transporteras ut ur byggnaden genom en frånluftsfläkt. Med lämpligt utformade golvlistor och lufttäta anslutningar till icke ventilerade byggnadsdelar kan flödet bli endimensionellt.

Luftläckage från utsidan kan förekomma om det finns otäta anslutningar

mellan betongytan och ytterväggssyllarnas undersida. Ett sådant luftläckage stör den endimensionella luftrörelsen i golvet samtidigt som betongens yttemperatur sjunker, varvid kondensrisken ökar vid låga utomhustemperaturer. Samtidigt ger dock luftrörelsen ett visst fuktskydd åt syllarna genom att transportera bort uppstigande markfukt.



Figur 2.5 Ventilerad ångspärr ovanpå en betongplatta.

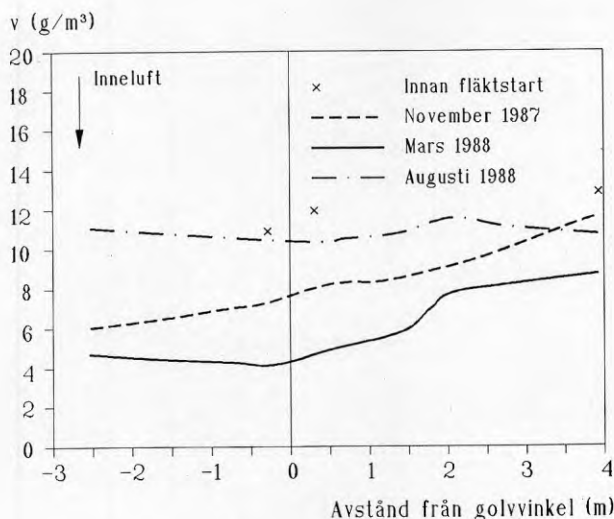


Figur 2.6 Källarplan med mekaniskt ventilerad ångspärr.

Under ett år har ett ventilerat golv av denna typ undersökts i ett enfamiljs-hus. I den aktuella byggnaden var systemet installerat i två källarrum. För att förhindra fuktproblem i källarväggarna var även tre av dessa ventilerade, enligt figur 2.6.

Relativa ånghalter och temperaturer mättes på två djup i betonggolvet, i den ventilerade luftspalten mellan betong och ångspärr, i inomhusluften samt omedelbart innan frånluftsfläkten. De första mätningarna genomfördes efter att golvet var färdigställt, men innan fläkten startades. Efter att systemet tagits i drift genomfördes ytterligare fyra mätperioder, vid olika årstider.

I figur 2.7 visas exempel på ånghalter i det ventilerade utrymmet mellan betong och ångspärr, parallellt med flödesriktningen. Mätningarna har utförts under fyra olika perioder, från mars 1987 till och med augusti 1988. Nollmarkeringen på x-axeln visar läget av anslutningen mellan golv och källarvägg på tilluftssidan. Se även figur 2.6.



Figur 2.7 Ånghalt (g/m^3) mellan betongyta och ångspärr vid olika årstider. Parallellt med flödesriktningen.

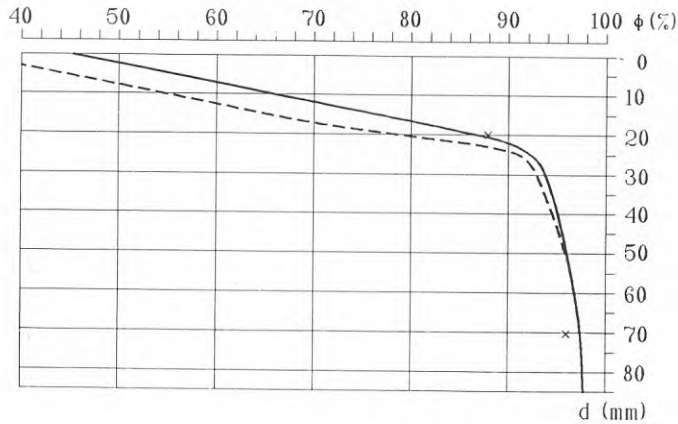
Teoretiskt skall ånghalten (g/m^3) i luften öka oavbrutet vid passagen av den ventilerade konstruktionen. Vid de redovisade mätningarna i mars och augusti är dock ånghalten högre i inomhusluften än i ventilationsluften, då denna kommer in i golvet efter passagen av den ventilerade källarväggen. Resultaten visar att det förekommer luftläckage genom den ventilerade källarväggen, från uteluften till luftspalten. Från mars till augusti minskar

fukttillskottet till ventilationsluften. Minskat fukttillskott kan orsakas av minskad fukttransport från marken, ökad ventilationsintensitet, eller en kombination av båda.

Medelvärden av de relativa ånghalterna i betongen på 20 mm respektive 70 mm djup visas i figur 2.8. Resultaten avser fukttillståndet i betongen i mars 1988.

Vid flera tidpunkter har jämförelser mellan uppmätta och stationärt beräknade fuktprofiler genomförts. En sådan jämförelse visas i figur 2.8. Uppmätta fukttillstånd skall härvid jämföras med den heldragna linjen i figuren. Överensstämmelsen mellan beräknade och mätta värden är tillfredsställande.

Streckad linje i figur 2.8 visar den beräknade fuktprofilen genom betongen om randvillkoret vid den övre betongytan sänks från 45 % till 33 %.



Figur 2.8 Fuktprofil genom betongplattan. Kryssen i figuren visar uppmätta medelvärden i mars 1988.

Beräkningarna är genomförda med ett datorprogram som utvecklats av Arvidsson vid avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola. Transportkoefficienter samt fördelning av den relativa ånghalten genom betong av olika kvalitet och med olika randvillkor, studeras vid stationära förhållanden av Hedenblad vid avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Hedenblads preliminära resultat har utnyttjats vid beräkningarna.

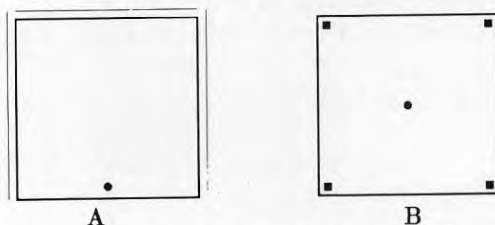
Resultaten från samtliga beräkningar och mätningar visar följande.

- För att systemet skall fungera som planerat måste alla icke ventilerade anslutningar vara så lufttäta som möjligt.
- Praktiskt är det mycket svårt att erhålla ett helt endimensionellt flöde med samma luftintensitet i alla ventilerade delar.
- Mekaniskt ventilerade golvkonstruktioner kräver ett kontinuerligt underhåll.
- Om betongens undersida har kapillär kontakt med markvattnet är det endast betongens yta samt dess övre delar som påverkas av förändringar i den relativa ånghalten ovanför betongen.

3 Beräkningar

Beräkningsmodeller för simulering av temperatur- och fuktillstånd i olika typer av mekaniskt ventilerade grundkonstruktioner har tagits fram i samarbete med Beräkningsgruppen vid avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. En modell med endimensionellt luftflöde kopplat till ett två dimensionellt temperaturfält beskrivs i Fuktgruppens verksamhet 1984-87. I denna sammanfattning visas resultat från en beräkningsmodell som kan användas då luftflödet i grunden är tvådimensionellt.

Med beräkningsmetoden är det möjligt att studera grunder med två dimensionellt luftflöde kopplat till ett tredimensionellt temperaturfält under och runt omkring byggnaden. Luftflödet beskrivs med elliptiska, komplexa, dubbelperiodiska funktioner. Det tredimensionella temperaturfältet och energibalansen för luftkanalerna löses med hjälp av ett transient datorprogram baserat på en framåt-differensmetod. Genom att ta hänsyn till luftflödets inverkan på temperaturfältet går det att beräkna temperaturfördelningen under en rektangulär byggnad vid varje tidssteg. Modellen kan användas för att studera hur bla isoleringstjocklek, luftflödesintensitet, klimat och byggnadens storlek påverkar temperaturfördelningen i grunden och under byggnaden. Det är också möjligt att studera hur olika utformning och placering av luftintag och utsug påverkar temperaturfördelningen i grunden.



Figur 3.1 Två olika strategier för ventilering av en grund med platta på mark.

I figur 3.1 visas två olika sätt att ventilera en rektangulär byggnad. I den vänstra figuren (A) är tre anslutningar mellan grund och ytterväggar ventilerade. Mitt på den fjärde ytterväggen, som är oventilerad, finns ett punktutsug från grunden. I den högra figuren (B) finns ett centralt placerat punktutsug medan luftintagen placerats intill de fyra ytterväggshörnen.

Som tidigare nämnts kan datorprogrammet användas för att lösa tredimensionella temperaturproblem med tidsberoende randtemperaturer och luftflöden. För att förenkla framställningen visas endast resultat från stationära beräkningar. Beräkningarna har utförts på en IBM PS/2 386/25 med flyttalsprocessor. Marken under och runt omkring byggnaden har delats in i 9240 celler med en minsta sidlängd på 0.2 m. Vid beräkningarna har följande data använts:

$$\begin{array}{lll} T_+ = 20 \text{ }^\circ\text{C} & L = 10.4 \text{ m} & U_+ = 0.6 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \\ T_a(0,t) = 20 \text{ }^\circ\text{C} & B = 10.4 \text{ m} & U_- = 4.6 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \\ T_o = 6.7 \text{ }^\circ\text{C} & Q_a = 100.0 \text{ m}^3/\text{h} & U_g = 0.5 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \\ \lambda = 1.5 \text{ W/m}^\circ\text{C} & & \end{array}$$

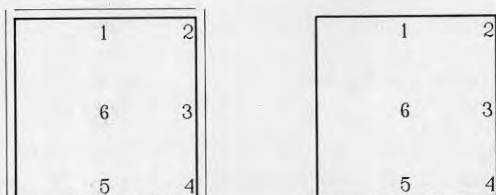
Vid beräkningarna antages en konstant inomhustemperatur T_+ . Inloppstemperaturen till grunden, $T_a(0,t)$, är densamma som inomhustemperaturen. Utanför byggnaden är temperaturen T_o , vilket motsvarar årsmedeltemperaturen i Stockholm. Byggnadens längd respektive bredd är $L \times B$, medan det totala luftflödet som sugts ut från grunden är Q_a . Under ytterväggarna finns värmeisolerade grundmurar med höjden 0.6 m och värmeomgångskoefficienten U_g . Värmeomgångskoefficienten mellan inneluft och luftkanal samt mellan luftkanal och mark är U_+ respektive U_- . Jordens värmeledningsförmåga är λ .

Luftflödets inverkan på de stationära yttemperaturerna under luftspalten redovisas i tabell 3.1, för sex diskreta punkter.

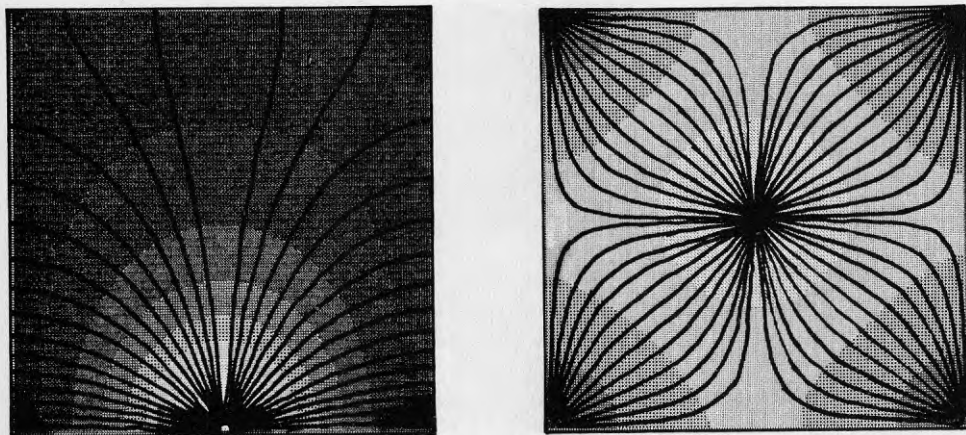
Tabell 3.1 Stationära yttemperaturer i sex punkter.

Punkt	Yttemperaturer $^\circ\text{C}$		
	Beräkningsfall		
	A	B	C
1	11.9	11.7	11.5
2	10.5	18.1	10.1
3	16.0	11.7	11.5
4	16.9	18.1	10.1
5	13.0	11.7	11.5
6	14.4	14.1	14.2

Punkternas läge framgår av figur 3.2. I tabell 3.1 redovisas även ett beräkningsfall C, vilket motsvarar temperaturerna i de aktuella punkterna utan mekanisk ventilation.



Figur 3.2 Placering av punkter för beräkning av yttemperaturer enligt tabell 3.1.



Figur 3.3 Tryckfördelning och luftflödeslinjer för en rektangulär byggnad med olika placering av ventilationsöppningarna till grunden. I den vänstra figuren är tre anslutningar mellan grund och ytterväggar ventilerade. I den högra figuren finns ett centralt placerat punkt-sug samt luftintag vid ytterväggshörnen.

I figur 3.3 redovisas beräknade tryckfördelningar och flödeslinjer för de placeringar av ventilationsöppningarna som visades i figur 3.1. Med ventilations-systemet utformat enligt alternativ A, dvs med tre "öppna" ytterväggar, blir ytterväggshörnen mitt emot den slutna ytterväggen dåligt ventilerade. Om det endast finns luftintag intill ytterväggshörnen, (alternativ B), blir områden intill ytterväggarnas mitt dåligt ventilerade.

Från tabell 3.1, figur 3.2 och 3.3 kan man bland annat utläsa att en dålig ventilationsintensitet också ger en obetydlig temperaturhöjning jämfört med den oventilerade byggnaden. Beräkningarna visar också att systemets utformning i hög grad påverkar yttemperaturerna närmast ytterväggarna medan temperaturen mitt i byggnaden är opåverkad av ventilationssystemets utformning.

För en given byggnad med känd luftflödesfördelning kan yttemperaturerna höjas, t ex genom ett ökat luftflöde, varmare inblåsningsslut eller genom extra värmeisolering utanför grunden.

Slutligen bör det påpekas att det är mycket viktigt att känna temperaturfördelningen i grunden för att undvika kondensproblem och andra fuktproblem.

Konferenser

Building Physics in the Nordic Countries. Symposium and day of Building Physics in Lund, Sweden, 24-27 August 1987.

Ventilation Technology Research and Application, 8th AIVC Conference, Überlingen, Federal Republic of Germany, 21-24 September 1987.

Publikationer

Repairing methods for concrete slabs on the ground damaged by moisture. Uppsats till Nordiskt symposium i byggnadsfysik i Lund, 24-27 augusti 1987.

Prevention of moisture damage by ventilation of the foundation. Uppsats till CIB-W40 konferensen i Borås 1-3 september 1987 samt till AIVC konferensen i Überlingen, Västtyskland, 21-24 september 1987.

Funktionskontroll av ett Jape Ventilagegolv. Lägesrapport. TVBH-7105, Lund, 1987.

Coupled air flow and heat conduction model for mechanically ventilated foundations. Uppsats till AIVC konferensen i Dipoli, Finland, 25-28 september 1989. TVBH-7115, Lund, 1989.

Fuktproblem i en byggnad med flytande golv. Fältmätningar och åtgärdsförslag. Publiceras hösten 1990.

UTELUFTVENTILERADE OCH OVENTILERADE KRYPRUM

Olle Åberg

Inledning

Kryprumsgrundläggning har en lång tradition och ett gott rykte och den finns i många äldre byggnader. I hus byggda under de senaste 30 åren förekommer det problem med mögel och röta på organiskt material och i lättbetong- bjälklag har armering rostat. De fuktskador som har uppstått har medfört en hel del forskning om kryprumsgrundläggning med resultat att röta och korrosion ej ska behöva uppstå nuförtiden.

Men fortfarande uppstår problem med mögel i en del kryprum till stor förtret för de boende.

Detta projekt avser dels att skapa ytterligare kunskap om de fuktförhållanden som råder i uteluftventilerade kryprum, dels till att studera temperatur och fuktförhållanden i en annorlunda utformad krypgrund.

Metodiken baseras på fältmätningar av ventilationsgrad, samt temperaturer och fuktillstånd i olika delar av grunderna. Resultaten har sedan jämförts med beräkningar.

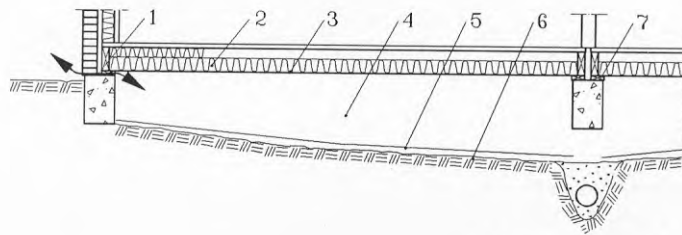
Målsättningen är dels att få ökad kunskap om orsakerna till att en del uteluftventilerade grunder drabbas av fukt- och mögelproblem, dels att få underlag till en fuktdimensioneringsmetod för kryprum och dels att studera om en annorlunda konstruktionslösning kan ge en grund med mindre risk för fuktproblem.

Uteluftventilerade kryprum

Inom projektet är det uteluftventilerade krypgrunder med bottenbjälklag av trä som har studerats. Fältmätningar har genomförts på tre olika utformade typer av grunder med mycket skilda utformningar avseende, storlek och ventilationsgrad.

I det följande visas några exempel på mätresultat och beräkningar för en av grunderna i undersökningen.

I ett radhusområde i södra Sverige har fuktförhållandena studerats i två av grunderna, **A** och **B**. Speciellt har ventilationsgradens inverkan på fuktnivån i bjälklaget studerats. Båda grunderna har naturlig ventilation genom gallerförsedda ventiler och **B** har kompletterats med frånluftsfläktar i gavlarna. Kryprumskonstruktionen visas i figur 1.



Ventilationsgrad

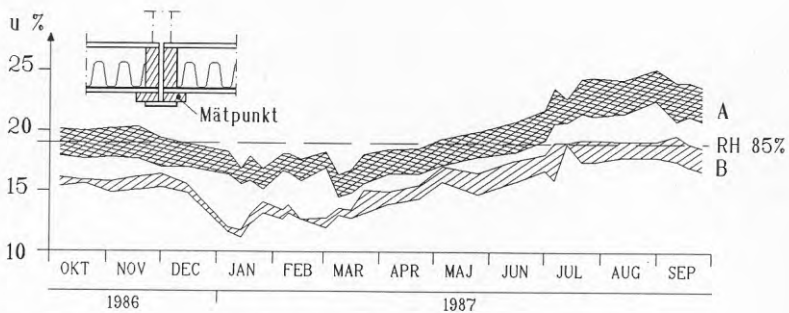
Längd = 40.0 m
 Bredd h = 8.0 m
 Höjd = 0.5 m

A = 1 oms/h
 B = 2-3 oms/h

1 gallerventil 2 bjälklag 3 blindbotten 4 kryprum 5 fuktspärr
 6 grundbotten 7 syll

Figur 1. Uteluftventilerat kryprum.

Ånghalten i kryprummen bestäms dels av uteluftens ånghalt och dels av fuktillskottet, som i dessa grunder främst utgörs av avdunstningen från marken och ventilationsgraden. Grundbotten är till 90 - 95 % täckt med plastfolie som förhindrar avdunstning. Grundbotten består av moränlera. I A är ventilationsgraden ca 1 omsättning per timme och den otäckta grundbottenytan är ständigt våt. Fukttillskottet har uppmätts till mellan 1 - 2 g/m³. I B är ventilationsgraden 2 - 3 omsättningar per timme. Den otäckta grundbottenytan blir ibland torr och fuktillskottet har uppmätts till mellan 0 - 1.5 g/m³. Fukttighetsvariationen i blindbottenupplagen i A och B visas i figur 2. I diagrammet visas också den kritiska nivån för den relativa ånghalten (RH) över vilken risken för mögelväxt anses vara stor. Denna gränsvärde är dock mycket ungefärlig.



Figur 2. Fuktkvotens variation under ett år i blindbottenupplagen i A och B.

Relativa ånghaltens miniminivå i ett kryprum bestäms av uteluftens ånghalt och kryprummets temperatur. Uteluftens ånghalt kan erhållas från de klimatmätningar som SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) sammanställer.

Kryprummets temperatur har beräknats med datorprogrammet **Crawl**, som är avsedd för persondatorer, ref(1). Kryprumstemperaturen under ett normalår beräknas ur energibalanser för luften och ytorna inuti kryprummet. Värmeförlusten till grundbotten beräknas med en ny metod. Den baserar sig på numeriska beräkningar och analytiska lösningar som tar hänsyn till tredimensionella effekter och en tidsvariabel utetemperatur. Den resulterande kryprumstemperaturen ($T_k(t)$) beräknas ur den stationära temperaturnivån ($T_{k,s}$), den första harmoniska komponenten ($T_{k,1}(t)$) med tidsperioden 1 år och den andra harmoniska komponenten ($T_{k,2}(t)$) med tidsperioden 1/2 år. Tidskoordinaten (t , dagar) är 0 vid årets början. Konstanterna 113.5 och 129.5 anpassar utetemperaturens årssvängning till klimatet i Sverige, ref 2. Fasförskjutningen mellan utetemperatur och kryprumstemperatur beräknas och anges av $t_{k,p,1}$ och $t_{k,p,2}$. Amplituden beräknas och anges av $T_{k,p,1}$ och $T_{k,p,2}$.

$$T_k(t) = T_{k,s} + T_{k,1}(t) + T_{k,2}(t) \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{k,1}(t) = T_{k,p,1} \cdot \sin\left(\left(t - (113.5 + t_{k,p,1})\right) \frac{2\pi}{365}\right) \quad (^\circ\text{C})$$

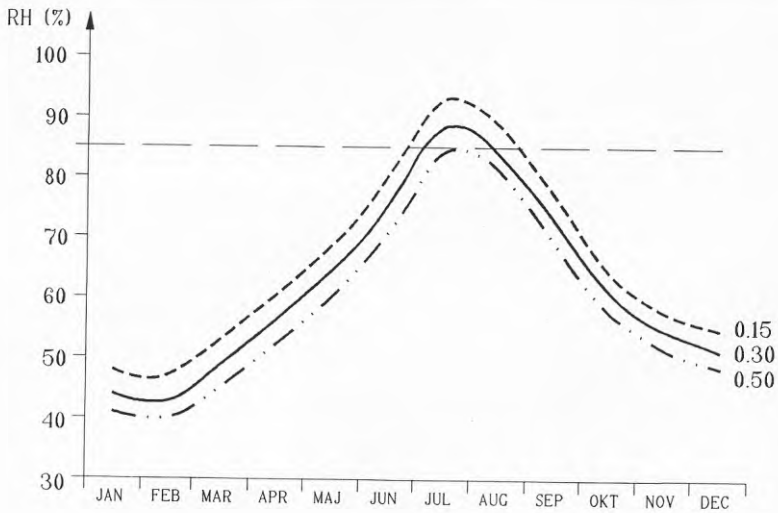
$$T_{k,2}(t) = T_{k,p,2} \cdot \sin\left(\left(t - (129.5 + t_{k,p,2})\right) \frac{2\pi}{0.5 \cdot 365}\right) \quad (^\circ\text{C})$$

Relativa ånghaltens miniminivå beräknas från uteluftens ånghalt för normalår och den beräknade kryprumstemperaturen ($T_k(t)$).

I följande exempel visas vilken beräknad inverkan värmeisoleringen i bottenbjälklaget har på relativa ånghaltens miniminivå i kryprummet, figur 3.

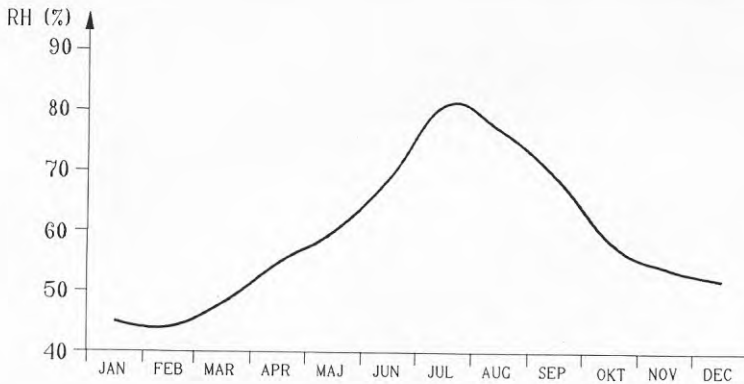
För grunden i figur 1 är värmegenomgångstalet (U-värdet) genom bjälklaget $0.30 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Det höga U-värdet gäller för ett motsvarande hus som är byggt under 1960-talet och det låga U-värdet gäller för om huset varit en ny högisolerad konstruktion.

Ventilationsgraden har valts till 2 luftomsättningar per timme.



Figur 3. Beräknad miniminivå på den relativa ånghalten i uteluftventilerade kryprum med olika U-värde i bottenbjälklaget.

I det följande beräkningsexemplet visas ett sätt att höja temperaturen och därmed sänka relativa ånghaltens miniminivå under sommaren i kryprummet i figur 1. Med 50 mm värmeisolering på grundbotten minskar värmeförlusten till grundbotten.

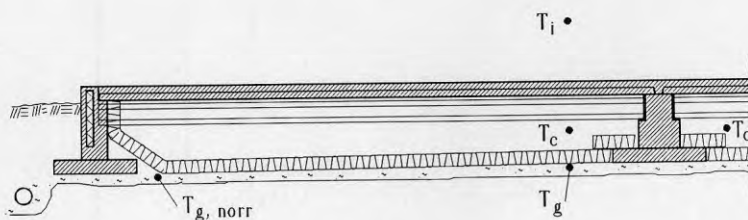


Figur 4. Beräknad miniminivå på den relativa ånghalten i det uteluftventilerade kryprummet om grundbotten kompletterats med 50 mm värmeisolering.

Oventilerat kryprum

Det oventilerade kryprummet för bostadshus har all värmeisolering placerad på grundbotten och grundmurarna. Det finns ingen plastfolie på grundbotten utan den relativa ånghalten i kryprummet bestäms av temperaturgradienten över värmeisoleringen.

Mätningar av temperaturer och relativ ånghalt i kryprummet har gjorts på en grund med murar och bjälklag av betong (ERGE-grund). Huset är ett enplans tvåfamiljshus som byggdes under 1988. Huset finns i södra Sverige.



$T_{g,söder}$ motsvarar $T_{g,norr}$, fast på södersidan.

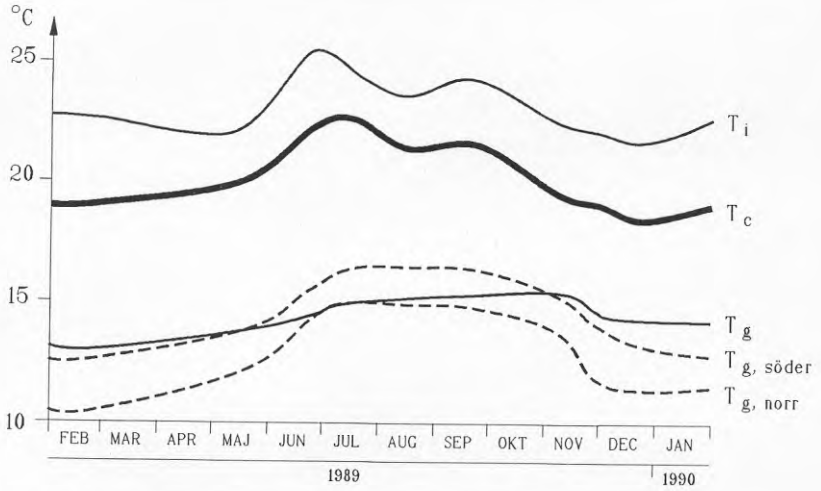
Längd = 22.0 m

Bredd = 9.0 m

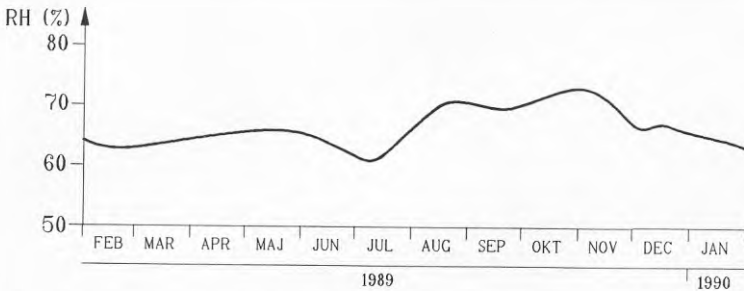
Höjd = 0.5 m

Figur 5. Oventilerad krypgrund.

Resultat av mätningarna visas i figur 6 och 7. Både vintern 1989 och 1990 var extremt varma. Månadsmedeltemperaturen under Februari 1988 var $+4.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, medan den under ett normalår är $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 6. Uppmätta temperaturer i det oventilerade kryprum.



Figur 7. Uppmätt relativ ånghalt i det oventilerade kryprummet.

Slutsatser

Kryprumsgrundläggning är en omtyckt konstruktion, men ventileras kryprummet med uteluft finns det risk för mögelproblem, speciellt om det också avdunstar fukt i kryprummet.

De viktigaste åtgärderna för att minska risken för mögelproblem är att försöka eliminera avdunstningen samt därefter höja temperaturen i kryprummet under sommarhalvåret och hösten. Ett sätt att öka temperaturen i kryprummet under sommaren är att placera värmeisolering på grundbotten.

Det finns alternativa konstruktionslösningar med mindre risk för fuktproblem och den oventilerade grunden är ett exempel på en sådan enkelt utformad kryprund för bostadshus.

Referenser

1. Hagentoft C-E. An analytical model for crawl-space temperatures and heat flows. Inst för Byggnadsteknik. Lunds Tekniska Högskola, Sverige . Rapport:TVBH-3012,1986
2. Anderlind G. Approximation of Monthly Mean Temperatures by using Fourier series. Inst för Byggnadskonstruktionslära. Lunds Tekniska Högskola, Sverige. Rapport:BKL 1984:1(E).

TEMPERATUR- OCH FUKTTILLSTÅND I SKALMURSKONSTRUKTIONER

Kenneth Sandin

1 Inledning

På senare tid har det rapporterats ett ökande antal fuktskador i ytterväggar bestående av regelstomme med ett utvändigt tegelskal. Skadorna visar sig främst genom mögel och röta i regler och det utvändiga vindskyddet samt genom frostsador i tegelmurverket.

Skadorna visar ett klart samband med slagregnsbelastningen. Det torde alltså vara klart att det är fråga om regnvatten som tränger igenom tegelskalet och transporteras vidare in i de fuktkänsliga materialen längre in i väggen.

För att undvika denna intransport av regnvatten konstrueras skalmurar med en luftspalt, som skall bryta kapillärtransporten och samtidigt ventilerar bort den fukt som eventuellt kommer in.

Uppfattningarna om denna luftspalt varierar kraftigt. Å ena sidan hävdas att den är nödvändig för att väggen skall fungera. Å andra sidan hävdas att den är skadlig för väggen.

För att i detalj studera de byggnadsfysikaliska förhållandena i skalmurskonstruktionen har omfattande mätningar genomförts i ett nybyggt provhus.

Exempel på frågeställningar som mätningarna skall ge svar på är

- Vilken betydelse har luftspalt med olika ventilationsgrad?
- Vad händer när luftspalten ersätts med mineralull eller skum?
- Hur farligt är sommarfallet?
- Hur snabbt torkar skalmuren?
- Finns någon kritisk gräns på slagregnsbelastningen?
- Hur inverkar en kraftigare isolering?
- Hur inverkar brukstuggor och bruksspill?

2 Provhus

Provhuset (figur 1) är beläget på ett öppet fält intill Lunds Tekniska Högskola. Fasaderna mot sydväst (SV) och nordost (NO) är helt utbytbara. Inomhus-temperaturen är normalt +20°C. Under sommaren kan temperaturen under varma och soliga dagar bli något högre.

Sydvästfasaden har inget taksprång och utsätts för mycket slagregn och sol-sken. Nordostfasaden har taksprång och har en liten slagregns- och solbelast-

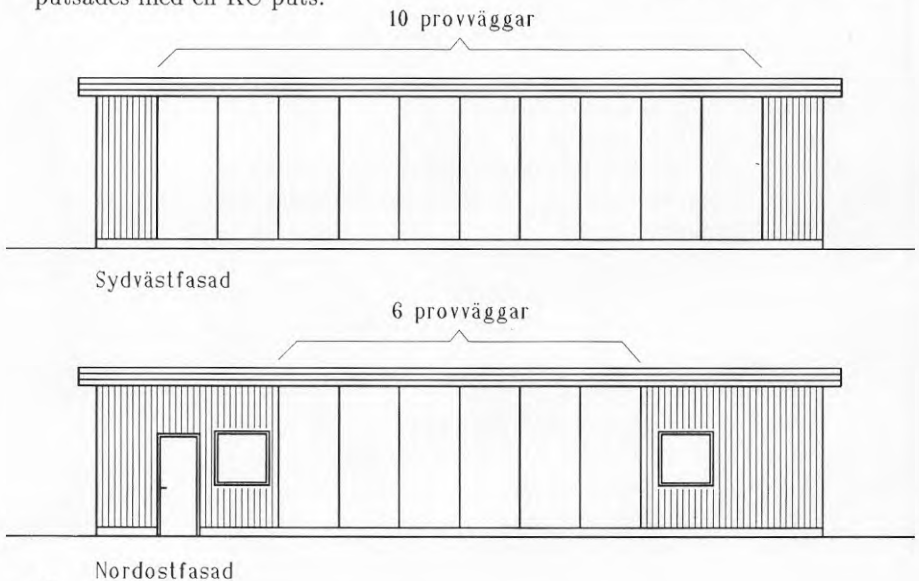
ning.

Provfasaderna är indelade i totalt 16 olika sektioner, 1,2 m långa och 2,6 m höga. Samtliga provfack är olika typer skalmurskonstruktion med en inre träregelstomme (FIGUR 2).

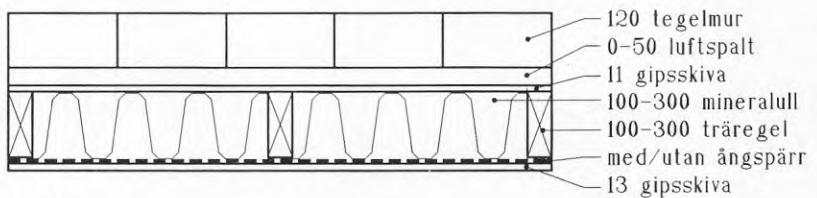
De olika provfacken har

- olika isolertjocklek, 100-300 mm
- olika bredd på luftspalten, 0-50 mm
- olika ventilationsöppningar
- ren luftspalt/brukstuggor i luftspalt
- ångspärr/ingen ångspärr

De flesta facken har ingen ytbehandling på tegelfasaden. I slutet av mätperioden behandlades dock ett fack med ett vattenavvisande preparat och ett fack putsades med en KC-puts.



Nordostfasad
Figur 1. Provhush



Figur 2. Provvägg

3 Mätningar

3.1 Allmänt

Syftet med undersökningen är främst att klargöra fukt- och temperaturförhållandena i skalmurskonstruktionen. För att uppnå detta syfte har följande mätningar gjorts:

- Utomhusklimat (solstrålning, temperatur, vindriktning, vindhastighet, luftfuktighet, regn och slagregn)
- Luftspaltens ventilation
- Fukttillstånd i tegel, i luftspalt, i isolering och i träreglar
- Temperatur i tegel, i luftspalt och i isolering

Mätningarna startade vintern 1986/87 och pågick till vintern 1989/90. I föreliggande redovisning ges endast ett fåtal exempel på resultat. En fullständig rapport kommer att publiceras under 1990.

3.2 Luftspaltens ventilation

Luftomsättningen i luftspalten har mätts med spårgasmetoden, avtagande gas-koncentration. Mätningar har gjorts vid olika klimat för att om möjligt täcka in så många klimatsituationer som möjligt. I tabell 1 redovisas några ytterligheter.

Enligt tabell 1 är luftomsättningen i mycket hög grad beroende av klimatet. Vid samtidig solstrålning och blåsigt kan man få en relativt kraftig luftomsättning. En förutsättning för detta är då att luftspalten är bred och att man har stora ventilationsöppningar. Vid mer "normala" klimat är däremot luftomsättningen alltid relativt liten.

Tabell 1. Luftomsättning per timma i luftspalten

Luftspaltens bredd (mm)	20	20	50
Ventilationsöppning nedtill	ingen	en stötfog	en sten utbytt mot ventilgaller
soligt och blåsigt	3	4	12
molnigt och lugnt	1	2	2

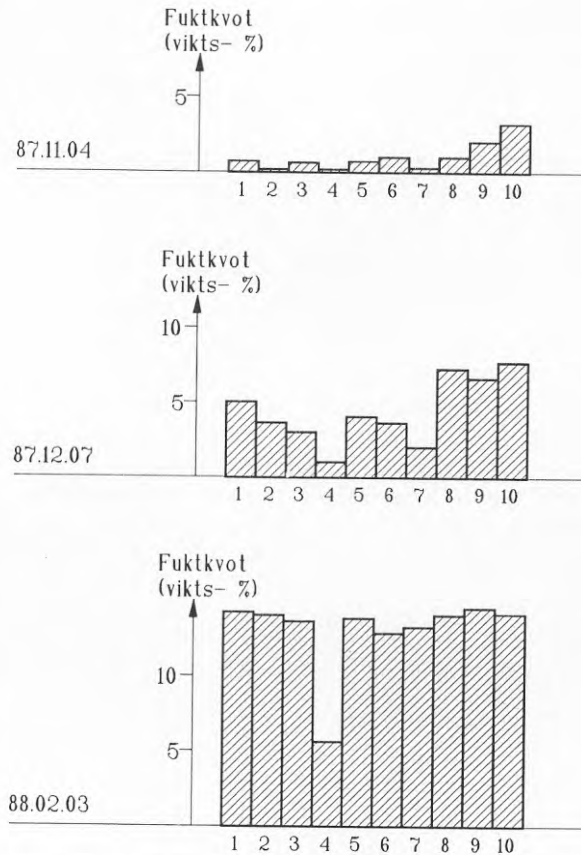
3.3 Fukttillstånd i tegelmuren

Fuktinnehållet har bestämts gravimetriskt på hela stenar. Några resultat från SV-fasaden redovisas i figur 3.

Fuktinnehållet är alltid lågt på sommaren och ökar på hösten. Under vintern

är teglet ofta kapillärmättat. De olika stolparna i figur 3 representerar olika väggkonstruktioner. Enligt figuren finns det ingen skillnad mellan de olika väggarna, bortsett från vägg nummer 4. Denna vägg saknar helt isolering.

Mätningar har även gjorts på väggarna med vattenavvisande behandling respektive puts. Dessa väggar var nästan helt torra när de övriga var vattenmätande!



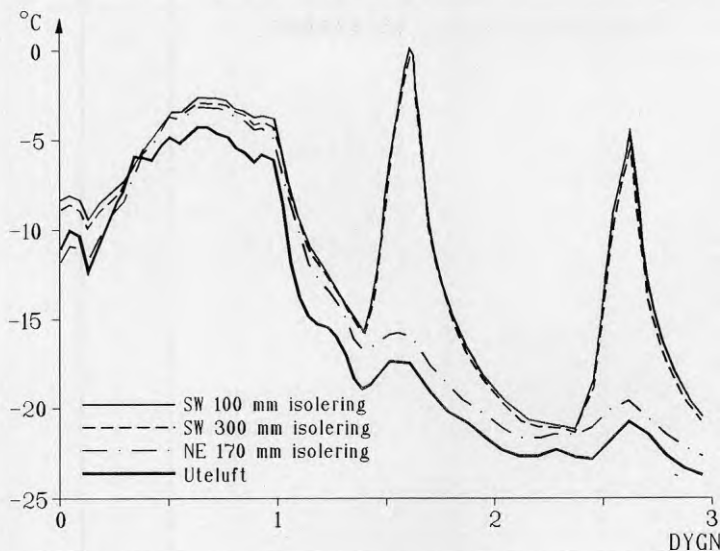
Figur 3. Fuktkvot i teglet

3.4 Temperaturtillstånd i tegelmuren

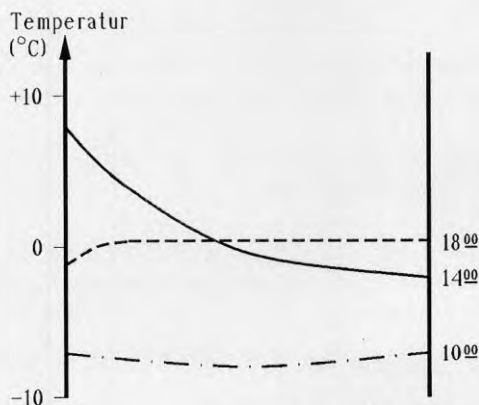
Temperaturen har mätts med termoelement som monterats på olika djup i muren. Dessa mätningar har enbart gjorts på väggar med olika isolertjocklek och fasadorientering.

I figur 4 redovisas yttemperaturerna under den kallaste mätperioden. Som framgår av figuren är det ingen väsentlig skillnad mellan sydvästfacken. Iso-

lertjockleken har sålunda ingen avgörande betydels för temperaturtillståndet i tegelmuren. Fasadorienteringen har däremot en mycket stor betydelse, beroende på olika solbestrålning. Solstrålningens inverkan framgår tydligt av figur 5. Vid en utetemperatur omkring -10°C medför en kraftig solbestrålning att väggens temperatur stiger till cirka $+10^{\circ}\text{C}$.



Figur 4. Yttertemperaturer på tegelskalet med olika isolering och olika orientering.



Figur 5. Temperaturtillstånd i murverket mot SV under en kall och solig dag. Utetemperaturen är cirka -10°C .

3.5 Antal frostcykler

Antalet nollpunktspassager har mätts på olika djup i murverket. I tabell 2 redovisas antalet nollpunktspassager i uteluften och på fasadytan.

Enligt tabell 2 är det ingen skillnad mellan väggarna med olika isolertjocklek. Fasadorienteringen har däremot mycket stor betydelse. SV-fasaden har ett väsentligt större antal nollpunktspassager än NO-fasaden. Detta beror uteslutande på solstrålningen. (Jfr figur 5)

Tabell 2 visar också att antalet nollpunktspassager är mycket större i teglet än i uteluften när medeltemperaturen utomhus är låg. Vid mildare klimat gäller däremot motsatsen.

Tabell 2. Nollpunktspassager i ytan och i luften.

Tid	Månads- medel- temperatur		Antal nollpunktspassager			
			Luft	SV med 100 mm isolering	SV med 300 mm isolering	NO med 170 mm isolering
Jan	-87	-7.0°C	3	16	15	4
Feb	-87	-2.2°C	5	19	19	7
Mar	-87	-4.2°C	10	17	17	10
Nov	-87	+4.9°C	5	2	2	2
Dec	-87			inga mätningar		
Jan	-88			inga mätningar		
Feb	-88	+1.4°C	17	9	12	10
Mar	-88	-0.1°C	14	11	11	11
Apr	-88	+3.9°C	9	6	6	8

4. Kommentarer

De resultat som redovisats i föreliggande översikt är endast några utvalda exempel. Några preliminära slutsatser är dock möjligt att dra.

Tegelskalet är i stort sett opåverkat av den bakomliggande konstruktionen, inom rimliga gränser. Tegelskalet bör betraktas som en kallmur.

Tegelskalet absorberar stora mängder slagregn under hösten och vintern. Total kapillärmättnad är inte ovanlig under vintern. Ventilationen i luftspalten är så pass liten att den inte inverkar på tegelskalets fuktillstånd i någon större omfattning.

Med utgångspunkt från tabell 1 kan luftspaltens maximala uttorkningskapacitet uppskattas till 0-0.1 kg/m²-dygn. Denna siffra skall jämföras med den mängd slagregn som kan absorberas. Det är inte ovanligt med en slagregns-mängd 20-50 kg/m² under en månad!

När tegelskalet är kapillärmättat kommer det att utsättas för åtskilliga nollpunktspassager. Murverket måste alltså ha en mycket god frostbeständighet. Man kan inte lösa problemen med frostskaador genom att ta upp ytterligare

ventilationsöppningar!

Det enda sätt att sänka fukttillståndet är att applicera någon form av ytbehandling.

Symposier/Konferenser/Seminarier

NORDISK MURVERKSSYMPOSIUM 1987, Köpenhamn. Ordförande för sessionen "Ny byggnad".

Nordiskt symposium i BYGGNADSFYSIK, 1987, Lund. Bidrag: "Moisture conditions in aerated light-weight concrete walls" och "Moisture conditions in cavity walls".

Miniseminarium - MUR, PUSS OCH BETONG, 1988, Jotun, Norge. Endagsföreläsning om fukt i fasader.

Nordtestsymposium "Materialers og komponenters bestandighet", 1988, Köpenhamn. Bidrag: "Putsens beständighet".

Nordiskt frostbeständighetsseminarium, 1988, Stockholm.

Seminarium om ytbehandling av fasader, 1989, Euroc, Lund. Föredrag: "Synliga och osynliga aspekter på ytbehandlingar".

Fukt- och mögelseminarium, 1989, Lund. Bidrag: "Fukt i skalmurar".

Nordiskt seminarium "Puts- och murverksfrågor", 1989, Helsingfors. Ordförande.

Seminarium på NORDBYGG 90, Älvsjö. Föredrag: "Skalmurar som klimatskärm".

Norsk puss- og mørtelförenings generalförsamling 1990, Oslo. Föredrag: "Puts- och murverksforskning i Sverige".

Malermestrenes vårmesse 1990, Oslo. Föredrag: "Malingsystemenes funksjon og hensikt".

Seminarium "Hus och Hälsa", 1990, Lund. Föredrag: "Puts- och murverksfasader".

Kommittéarbete, referensgrupper etc

- Referensgrupp för murverkshandboken MUR 90.
- Referensgrupp för projektet "murblocks yta".

- Referensgrupp för projektet "betong i lantbruket".
- Svensk ledamot i Nordiska putskommittén.

Tidskriftsartiklar

"Problem och forskning kring skalmurar. Bygg & Teknik 6/87.

"Fukttillstånd och frostpåverkan i skalmurar". Bygg & Teknik 4/89.

"Murverksforskning vid Lunds Tekniska Högskola och Murforum". Tegel & Murverk 1/1989.

Publikationer

Sandin, K, 1987, The moisture conditions in aerated light-weight concrete walls. Symposium and day of building physics, Lund. Proceedings, Statens Råd för Byggnadsforskning. D13:1988. Stockholm.

Sandin, K, 1987, The moisture conditions in cavity walls. Symposium and day of building physics, Lund. Proceedings, Statens Råd för Byggnadsforskning. D13:1988. Stockholm.

Sandin, K, 1988, Putsens beständighet. Nordtest symposium Materialers og komponenters beständighet, Köpenhamn. Statens Byggnadsforskningsinstitut. Hörsholm.

SABO, 1988, Fukt och mögel, Stockholm.

- Häfte 2:2 Fuktskador i skalmurar
- 2:3 Missfärgning på putsade fasader
- 2:4 Putsade lättbetongväggar
- 2:5 Renoverade putsfasader

Sandin, K, 1989, Fukt och värme. Esselte Studium AB. Stockholm.

Carlsson, T, 1989, Frostskadade skalmurar. En fältmätning av fuktstatus och skadeutveckling hos skalmurar. Avd. för Byggnadsfysik, LTH. Rapport TVBH-3015, Lund.

Carlsson, T, 1989, Frostprovning av tegel, BM-metoden. Lägesrapport. Avd. för Byggnadsfysik, LTH. Rapport TVBH-7116. Lund.

Carlsson, T, 1989, Kalkutfällning på putsade fasader. Lägesrapport. Avd. för Byggnadsmaterial, LTH. Lund.

BESTÄMNING AV FUKTTRANSPORT I PORÖSA MATERIAL MED MOMENTMETODEN

Dan Gaffner, Håkan Håkansson

1 Bakgrund

Brist på materialdata och mätmetoder för olika fukttegenskaper utgör ett stort hinder för att kunna göra meningsfulla beräkningar av olika fuktproblem. Sådana beräkningar är av stor betydelse dels för att kunna göra en säker fuktteknisk dimensionering av nya konstruktioner och dels för fuktskadeanalyser.

Mot bakgrund av ovanstående har utveckling av mätmetoder för materialdata tagits upp i programmet för Fuktgruppen vid LTH och resulterat i flera forskningsprojekt. Detta projekt innehåller bland annat utveckling av en momentmetod för mätning av fukttransportkoefficienter i porösa byggnadsmaterial.

2 Teori

Med momentmetoden kan fukttransporten för ett poröst material mätas vid en fuktgradient i materialet under isoterma förhållanden. En stav av det porösa materialet innesluts i en metallbehållare som läggs upp på två stöd, varav det ena är placerat på en våg, FIG.1.

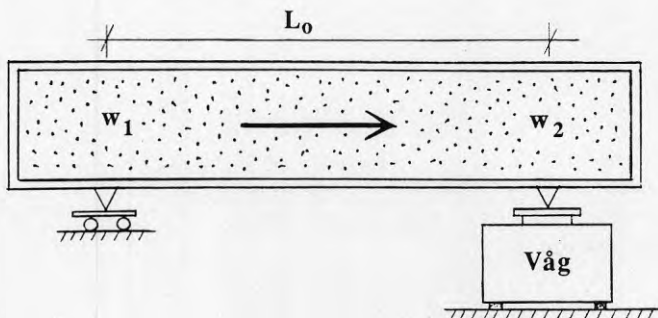


FIG.1 Provstavens placering på stöd och våg

Staven har i förväg befuktats så att fukthalten i stavens ena halva är w_1 och i den andra w_2 ($w_1 > w_2$). En utjämnande fuktvandring kommer att äga rum och registreras av vågen som en viktändring per tidsenhet, dm/dt (kg/s), FIG.2.

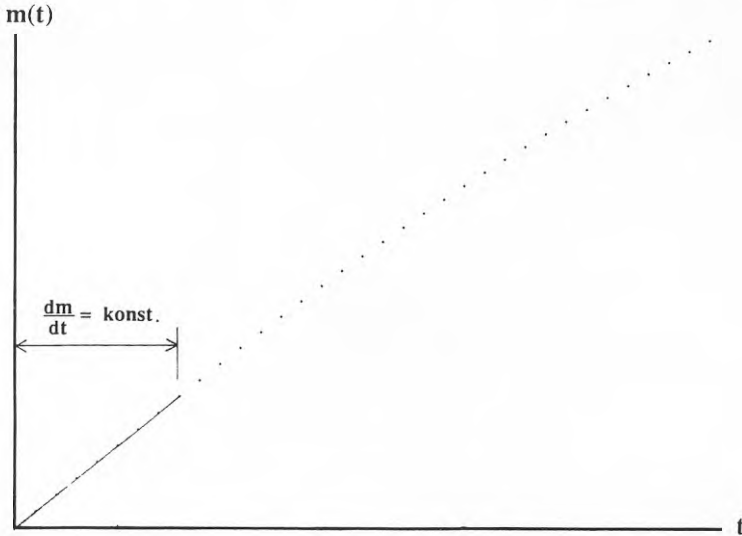


FIG.2 Viktändringen (kg) per tidsenhet (s) ger dm/dt

Under en viss tid blir viktändringen konstant, och ur denna kan beräknas

$$D_w = \frac{L_0}{A(w_1 - w_2)} \cdot \frac{dm}{dt}$$

där

- D_w = fuktdiffusiviteten (m^2/s)
- w = fukthalten (kg/m^3)
- L_0 = avståndet mellan stöden (m)
- A = tvärsnittsarean för staven (m^2)
- dm/dt = viktändringen (kg/s)

D_w blir här ett medelvärde av $D_w(w)$ i intervallet w_1 till w_2 . För att få användbara värden på D_w bör dessa intervall göras små. Efter hand kommer dm/dt att minska när fukthalten i stavens ändrar ändras, och blir 0 när utjämning mellan fukthalterna har skett längs hela staven. Med D_w kan fukttransporten g beräknas enligt

$$g = -D_w \frac{\partial w}{\partial x} \quad (kg/m^2s)$$

Fukttransporten kan också beskrivas med gradienter i ånghalten v (kg/m^3) eller porvattenundertrycket P_l (Pa). Följande samband råder

$$D_v = D_w \frac{dw}{d\phi} \cdot \frac{1}{v_s} \quad D_l = D_w \frac{dw}{dP_l}$$

$dw/d\phi$ och dw/dP_l erhålles ur den hygroskopiska jämviktsfuktkurvan $w=w(\phi)$ resp den kapillära jämviktsfuktkurvan $w=w(P_l)$, och utgör ett mått på fuktkapaciteten vid fukthalten w . Jämviktsfuktkurvor mäts i precisionsfuktkammare inom det hygroskopiska området och med suctionapparat i det kapillära området. Olika kurvor fås vid absorptions- och desorptionsförlopp.

Fukttransporten kan också beskrivas med den sk fundamentalpotentialen ψ härledd av Johan Claesson. Fuktflödet g mellan två punkter på avståndet L ger

$$\Delta\psi = g \cdot L$$

Mellan $\Delta\psi$ och D_w råder följande samband inom intervallet w_1 till w_2

$$\Delta\psi = D_w(w_1 - w_2)$$

3 Mätningar

Mätutrustning

Mätutrustningen för momentmätning framgår principiellt av FIG.1. Uppläggningsen av metallbehållaren på en egg och en rulle visade sig emellertid ge upphov till så stor friktion att mätningarna stördes. Därför har en ny konstruktion utvecklats för det vänstra stödet, det som ej vilar på vågen. Stödet utgörs av en trycklåda med mindre hål i ovansidan genom vilka luft strömmar ut. Ovanpå trycklådan placeras en cirkulär platta fastsatt i metallbehållarens ena ände. Plattan kommer då att sväva ovanpå luftströmmen. Genom att göra det andra stödet enligt principen egg-skåra blir konstruktionen stabil. Någon friktion kan inte uppstå och inte heller några rörelser vid stödet på vågen. Viktändringen per tidsenhet som registreras av vågen blir därför mycket jämnare och stabilare och beräkningen av D_w säkrare.

En alternativ konstruktion av det vänstra stödet har också använts med gott resultat. Via två eggar, en på varje sida av behållaren, är denna upphängd i två ca 1.2 m långa pendlar fastsatta i taket. Också denna konstruktion blir friktionsfri.

Metallbehållaren som innehåller provet kan öppnas i ena änden och rymmer ett prov med måtten ca 60 x 60 x 240 mm. För att förbättra konditioneringen är provet skiktat i 4 delar enligt FIG.3. De använda vågarna har en upplösning på 0.1 mg. Torrvikterna för hela provet är för tegel ca 1400 g och för lättbetong ca 500 g.

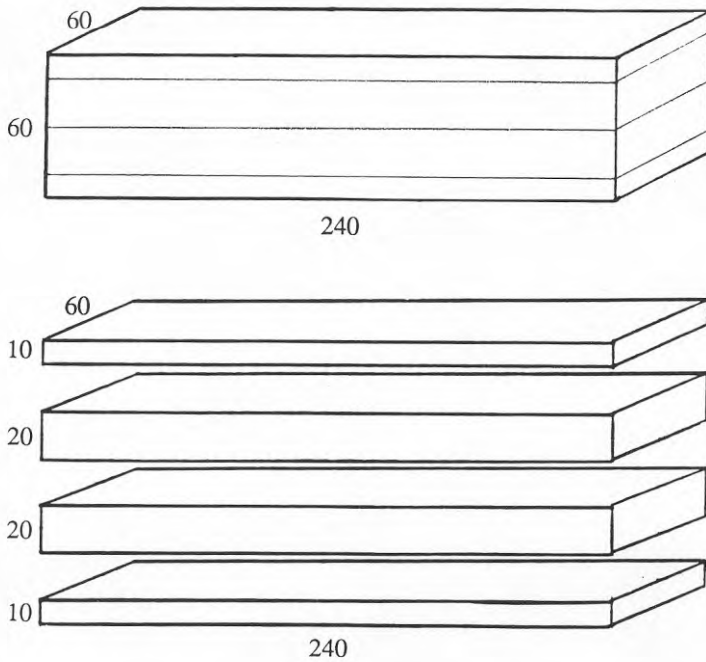


FIG.3 Provstavarnas dimensioner och skiktning

Konditionering av proven

Ett av de svåraste momenten i projektet har varit att utveckla en tillräckligt bra konditioneringsmetod. Ett krav man måste ställa på konditioneringen är att den i ett första steg ger en jämnt fördelad fukthalt w_1 över hela provet, såväl i längsled som i tvärlid. I andra steget tillförs sedan ytterligare fukt i den ena halvan som får fukthalten w_2 , varvid fukttransporten börjar. Till en början sprutades vatten på provet i både första och andra steget. Ytan ges härvid en mycket hög fukthalt, vilken sedan sjunker efterhand som fukten vandrar in mot mitten av provstycket. Denna fuktvandring försvåras dock av instängd luft och hydrofoba egenskaper i materialet. Dessutom kommer fukthalten nära ytan att kvarstå på en högre nivå på grund av hysteres effekter. Dessa problem gäller då provet undergår ett absorptionsförlopp. Vid desorptionsförlopp från kapillärmättat tillstånd kan problem med hysteres uppstå om ytan torkas för snabbt. Följden av den ofullständiga fuktutjämningen blir att diffusiviteten varierar i radiell led i materialet. $m(t)$ -kurvan kommer då att stiga brantare i början än den teoretiskt förväntade kurvan, och blir också svagt krökt.

Efterhand innebär krökningen att kurvan korsar den teoretiska och får en mycket långsammare avklingning (FIG.4).

För att undvika ovanstående problem har följande metodik utvecklats. Uppfuktningen av hela provet görs genom att ett fuktmättat material placeras mycket nära provstycket med en ca 1 mm luftspalt emellan (FIG.5). Spaltens tjocklek styr hastigheten på fuktdiffusionen till provet och väljs så att fukthalten i provets yta så lite som möjligt överstiger önskad fukthalt under uppfuktningen. En beräkning av w -fördelningen vid konditionering av tegel med luftspalt visas i FIG.6. Sker konditioneringen via luftspalt fås $m(t)$ -kurvor som mycket väl överensstämmer med den teoretiska kurvan vid desorptionsförlopp (FIG.7) medan de hydrofoba effekterna fortfarande försvarar fuktinträngningen vid absorptionsförlopp, varför den senare delen av avklingningen av $m(t)$ ej följer den teoretiska kurvan.

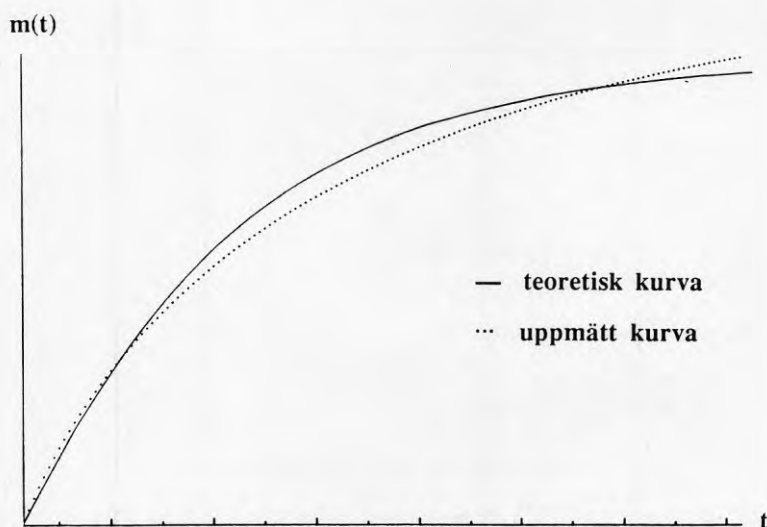


FIG.4 Jämförelse mellan teoretisk $m(t)$ -kurva och uppmätt kurva vid ofullständig utjämning vid konditioneringen.

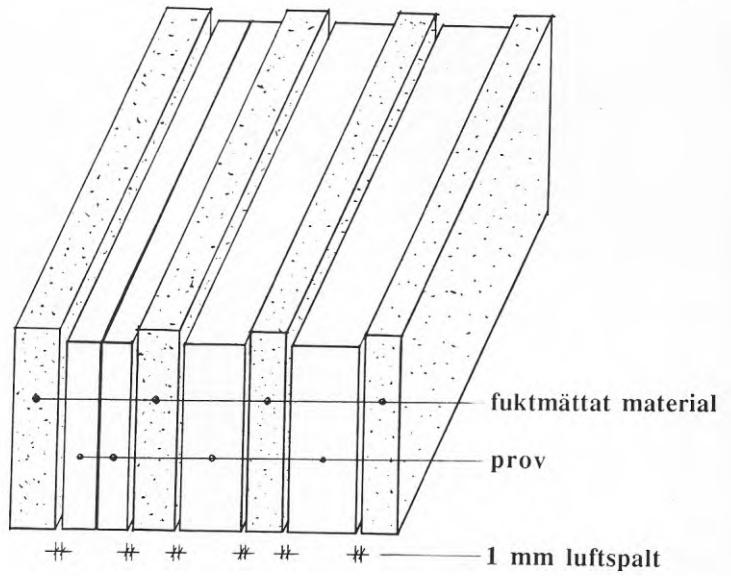


FIG.5 Befuktning av prov via luftspalt

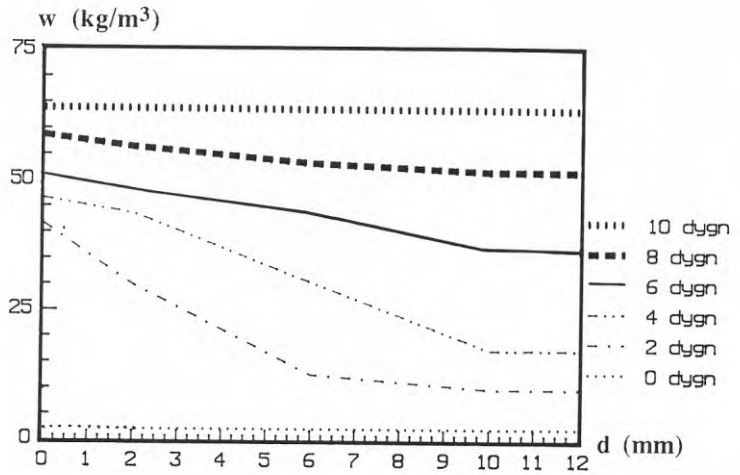


FIG.6 Beräknad fukthaltsfördelning w mellan provets yta och dess mitt vid befuktning via 1 mm luftspalt. Tegel.

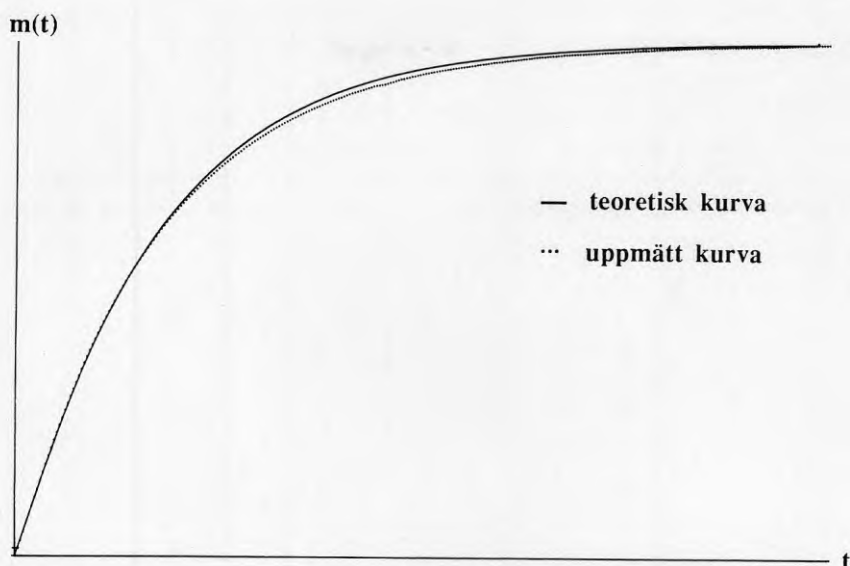


FIG. 7 Uppmätt $m(t)$ -kurva för tegel jämfört med teoretisk kurva vid desorptionsförlopp

Vid desorptionsförlopp används en sugande duk (typ Wettex) som trycks mot provets yta och suger ut fukt tills önskad fukthalt erhålls i provet.

Den mindre mängd fukt som skall tillföras provets ena halva för att ge en fukthaltsgradient måste sprutas på av tidsskäl, men eftersom den är liten i förhållande till w_2 uppstår inte ovanstående problem. En alternativ metod att erhålla en fukthaltsgradient vid högre fukthalter är att ställa provet på högkant och låta tyngdkraften ge en gradient. $m(t)$ -kurvan får då ingen rak linje men kan utvärderas efter en exponentialfunktion.

Då fukthaltsgradienten skapats läggs de olika provskikten ihop och slås om med folie. Därefter läggs de in i behållaren som placeras på vågen och momentvägningen börjar. Momentmätningar har utförts på tegel, lättbetong, gips, glasfilter och sand med lyckade resultat, medan mätningar på trä och cementpasta ej fungerar tillfredsställande på grund av dessa materials speciella mekaniska egenskaper.

Utvärdering

Utvärderingen av mätningarna görs i första hand genom att bestämma dm/dt för den raka delen av kurvan. Man kan givetvis också utvärdera den krökta delen med en exponentialfunktion som ger D_w .

Om man beräknar vilken mängd fukt som vandrat över från den fuktiga till den torrare halvan så finner man att den i regel är mindre än halva den tillförda mängden (FIG.8). Detta är särskilt märkbart vid absorptionsförlopp. En orsak till att inte all fukt vandrar över är den hysteres som erhålles då den fuktiga halvan torkar ut (se vidare nästa avsnitt).

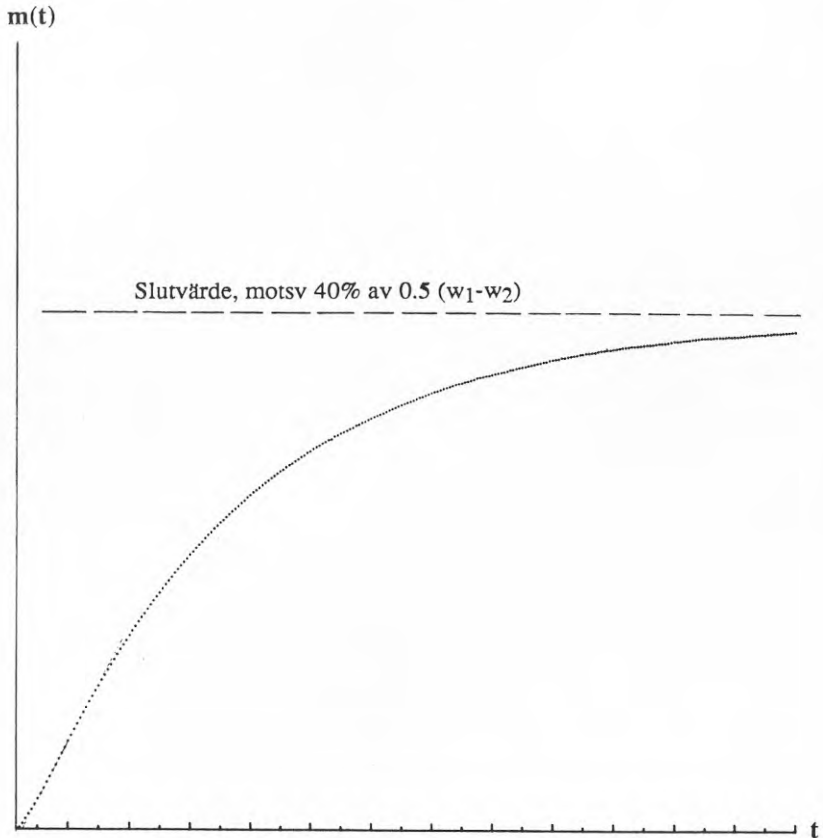


FIG.8 Uppmätt $m(t)$ -kurva för tegel vid absorptionsförlopp. Slutvärdet för $m(t)$ motsvarar 40% av halva den tillsatta fukt mängden w_1-w_2 .

4 Fuktransportkoefficienter

Fuktdiffusiviteten D_w kan beräknas enligt kapitel 2 då dm/dt bestämts från momentmätningarna. Exempel på D_w för olika fukthalter visas i FIG.9. Den stora minskningen i D_w vid vissa fukthalter beror på att materialet där har stor fuktkapacitet. Om man ur jämviktskurvan bestämmer $dw/d\phi$ för samma fukthalter får man höga värden på $dw/d\phi$. Räknas D_w om till D_v enligt kapitel 2 erhålles en D_v -kurva med en kontinuerlig ökning.

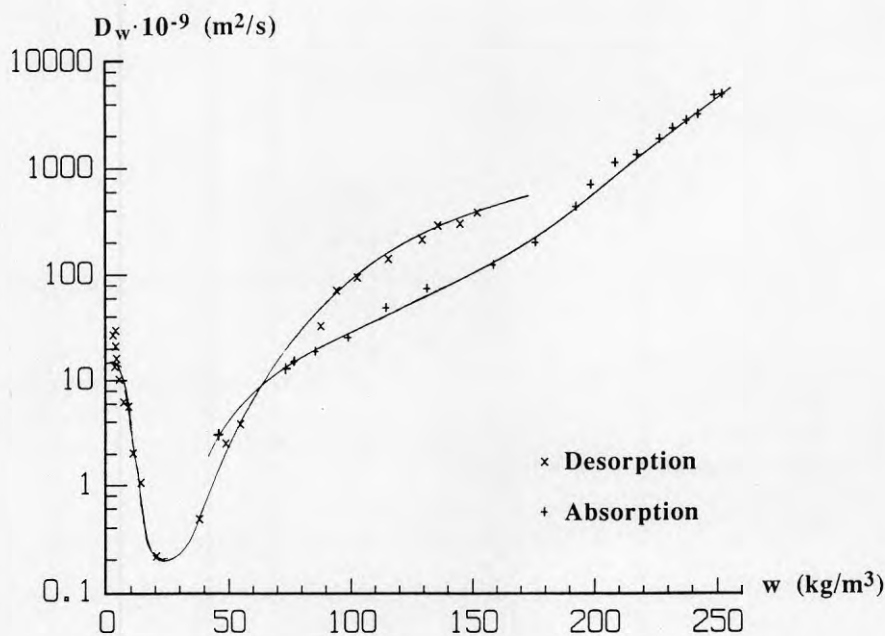


FIG.9 Fuktdiffusiviteten D_w för tegel ($\gamma = 1780 \text{ kg}/\text{m}^3$) beräknad från momentmätningar.

D_w för gips visar stora skillnader mellan absorptions- och desorptionsförlopp inom intervallet $w = 200\text{-}400 \text{ kg}/\text{m}^3$. För gips har också suctionmätningar gjorts för att få den kapillära jämviktsfuktkurvan. Dessa mätningar har också skett både vid absorption och desorption. I FIG.10 visas samtidigt D_w och suction. Man kan då se att inom intervallet $w = 200\text{-}400 \text{ kg}/\text{m}^3$ motsvaras de högre D_w -värdena vid desorption av lägre värden på dw/dP_1 vid desorption medan de lägre D_w -värdena vid absorption motsvaras av högre värden på dw/dP_1 vid absorption. En omräkning av D_w till D_l vid $w = 300 \text{ kg}/\text{m}^3$ ger en obetydlig skillnad på D_l mellan absorption och desorption medan D_w vid desorption blir ca 6 ggr större än vid absorption.

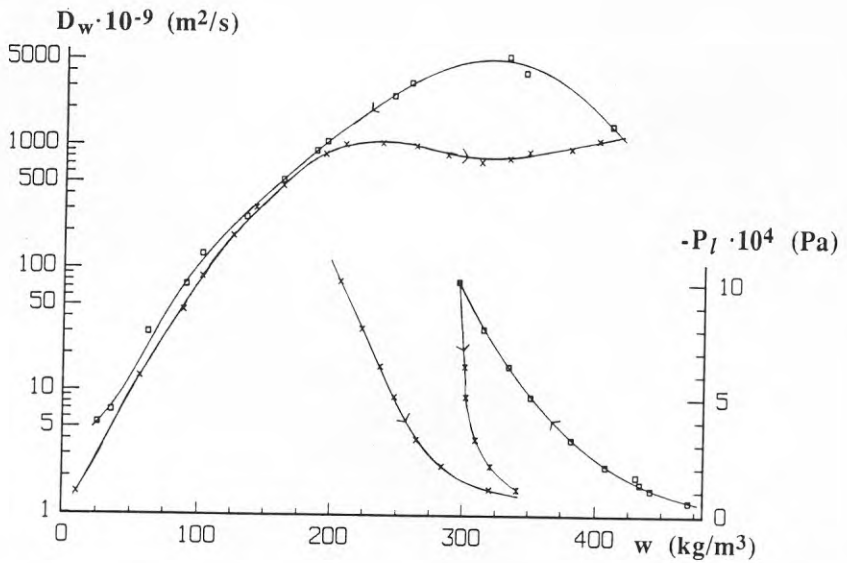


FIG.10 Fuktdiffusiviteten D_w och kapillära jämviktsfukturvan $w(P_l)$ för gips

Då mätningar av dm/dt görs i områden med stor hysteres kommer en större mängd av den tillsatta fukten $w_1 - w_2$ att kvarstå i den fuktiga halvan. En del av den tillsatta fukten kommer att bindas irreversibelt i porer och medverkar alltså inte i fuktutjämnningen mellan de två halvorna.

Om D_w omräknas till fundamentalpotentialen ψ erhålles en kurva enligt FIG.11 för tegel.

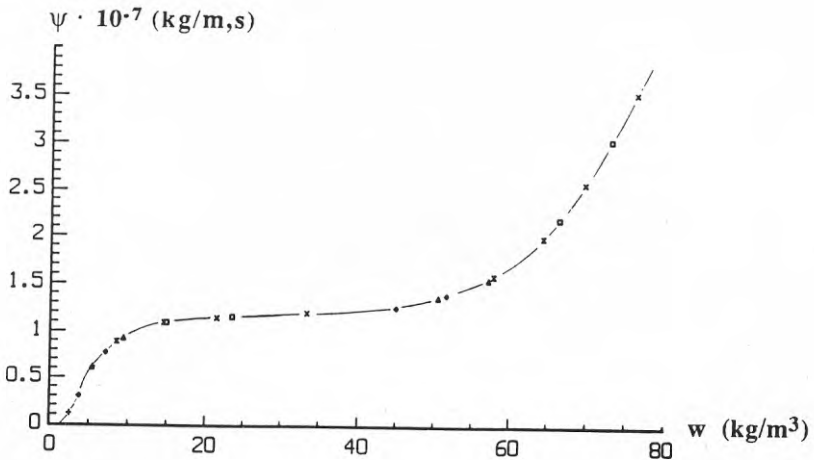


FIG.11 Fundamentalpotentialen ψ för tegel

5 Slutsatser om momentmetodens användning

Mätning av fuktrtransport med momentmetoden

är lämplig för

- mätning av transportkoefficienter för användning i beräkningsprogram
- studier av olika fuktrtransportfenomen

kan användas

- inom hela fukthaltområdet, särskilt vid höga fukthalter
- på tegel, lättbetong, gips, trä (längs fibrerna)

ger

- diffusivitet D_w vid känd w -gradient
- diffusionskoefficient D_v vid känd ånghaltsgradient
- permeabilitet D_l vid känd suctiongradient
- fundamentalpotentialen ψ
- ovanstående transportkoefficienter i små intervall i w , RF eller P_l för transienta, isoterma förlopp

Följande krav skall uppfyllas

- stor precision i vågutrustningen och friktionsfri upphängning
- noggrann konditionering av proverna med beaktande av att tidigare fuktförlopp skall vara utjämnade innan nya försök påbörjas
- provets dimensioner måste väljas så att utjämnings- och provtiderna blir rimliga
- vid w -gradient i helt prov måste vattentillförseln (sättet och hastigheten) väljas med hänsyn till diffusiviteten i aktuellt intervall, så att stora fukthaltsskillnader inte uppstår
- stabila material

6 Konferenser

Determination of moisture flow coefficient for porous materials by using the "Moment method" (Lägesrapport 1987). Bidrag till Nordiskt symposium i Byggnadsfysik i Lund, augusti 1987.

FUKTDIFFUSIONSKOEFFICIENTER FÖR BETONG, CEMENTBRUK OCH CEMENTPASTA

Göran Hedenblad

1 Inledning

Med en metod som bygger på att mäta ångflödet från en provkropp samt att mäta relativa fuktighetens (ϕ) fördelning i provkroppen vid stationära förhållanden kan fuktdiffusionskoefficienten (D_v) beräknas samt dess variation med ϕ fastställas.

2 Försökupställning

Försökupställningen ser principiellt ut enligt FIG.1. Fuktfödet är endimensionellt och går från provkroppens undersida till dess översida.



FIG.1 Principskiss av mätupställning

Den övre delen består av en "tät" låda i vilken konstant ϕ hålles med hjälp av en skål med mättad saltlösning. I vårt fall användes magnesiumklorid som ger att ϕ är 33%. Skålen väges regelbundet, varje vecka, för att erhålla flödet ut från provkroppen. En fläkt cirkulerar luften inne i lådan. Provkroppens överyta exponeras mot luften inne i lådan. Provkroppens ytor som är exponerade mot omgivande rumsluft är förseglade med 2 mm "diffusionstät" epoxiplast. I provkroppens sidoytor är ingjutna rör, i vilka ϕ mätes. Rörens inre ändtytor är öppna mot provkroppen och ϕ i rören ställer sig i jämvikt med ϕ i provkroppen. Provkroppens bottenyta står i vatten eller i luft med högt ϕ som åstadkommes med en vattenyta någon cm under provkroppen.

Med den redovisade metoden tar det något år innan stationärt tillstånd har erhållits.

3 Provade material

Följande provningsprogram beträffande olika sammansättningar hos betong, cementbruk och cementpasta genomföres

- 1) Betong och cementbruk med vattencementtal (vct) 0.5, 0.6, 0.7 och 0.8
- 2) Betong med vct 0.7 och med olika mängd ballast
- 3) Betong med vct 0.7 med olika lufthalt
- 4) Cementpasta med vct 0.4, 0.5 och 0.6

Samtliga provkroppar är välhärdade innan mätningarna påbörjas.

Sammansättningen hos betongen med olika vct visas i TAB.1. Makadam, 8-18 mm, är av kvartsit.

TAB.1 Sammansättning hos betong med olika vct

Vct	Cement kg/m ³	Vatten	Sand/Grus	Makadam
0.5	368	184.0	990	810
0.6	328	196.8	990	810
0.7	296	207.2	990	810
0.8	270	216.0	990	810

Sammansättningen hos cementbruk med olika vct visas i TAB.2.

TAB.2 Sammansättning hos cementbruk med olika vct

Vct	Cement kg/m ³	Vatten	Sand/Grus
0.5	421	210.5	1600
0.6	375	225.2	1600
0.7	339	237.0	1600
0.8	308	246.7	1600

4 Transportekvationen

Fukttransport i material tecknas normalt vid endimensionellt fall som

$$g = - D_v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = - D_v \cdot v_s \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

där

- g betecknar fuktflödet ($\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$)
- D_v betecknar fuktdiffusionskoefficient (m^2/s)
- $\partial v/\partial x$ betecknar skillnad i ånghalt (kg/m^3) mellan två punkter och denna skillnad driver fuktflödet
- $\partial \phi/\partial x$ betecknar skillnad i relativ fuktighet mellan två punkter och denna skillnad driver fuktflödet
- v_s betecknar mättnadsånghalten för fuktig luft

Som exempel på ekvationen ovan visas sambanden i figurform (FIG.2) vid stationära förhållanden, dvs ingenting ändras med tiden. I den övre figuren visas en provkropp där fuktflödet in i, genom och ut från provkroppen är konstant och lika med g . Kurvan i den övre figuren visar relativa fuktigheten i omgivande luft och inne i betongens porer. $\partial \phi/\partial x$ är då kurvans lutning i olika punkter. Ju närmare vi kommer den fuktiga sidan desto brantare lutning får kurvan, dvs $\partial \phi/\partial x$ minskar.

För att få samma flöde i hela provkroppen måste fuktdiffusionskoefficienten D_v öka då $\partial \phi/\partial x$ minskar. I den undre figuren visas hur D_v ändras med ändrad relativ fuktighet (ϕ).

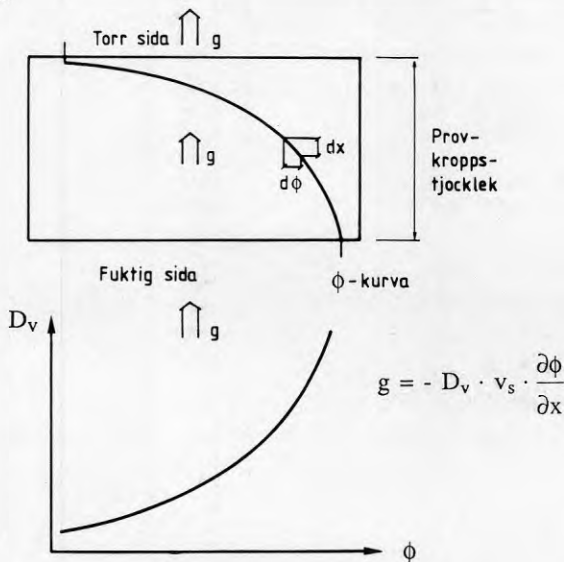


FIG.2 Exempel på transportekvationen

5 Några resultat

En första utvärdering för ett mindre antal betongprovkroppar redovisas i Hedenblad (1988). I FIG.3 redovisas D_v som funktion av ϕ för betong med olika vct. Max D_v för olika vct visas.

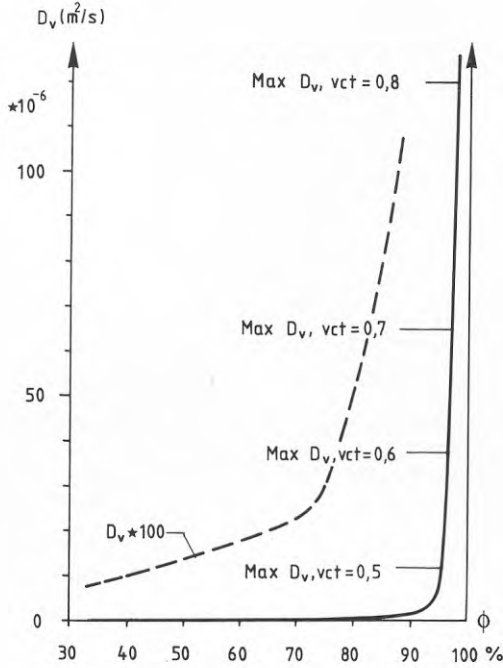


FIG.3 Fuktdiffusionskoefficienter för betong med olika vct

Den streckade kurvan i FIG.3 är fuktdiffusionskoefficienten multiplicerad med 100 (för att få bättre tydlighet vid lägre ϕ).

I Hedenblad (1989) redovisas preliminära resultat för cementbruk med vct 0.6, 0.7 och 0.8 samt för cementpasta med vct 0.5 och 0.6. De preliminära resultaten framgår av FIG.4 och FIG.5.

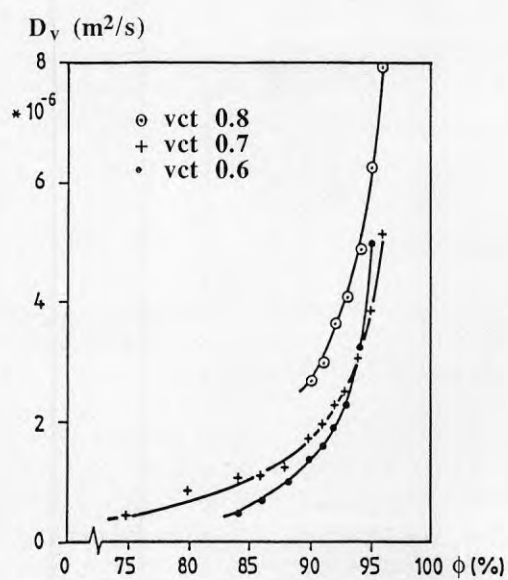


FIG.4 Preliminära fuktdiffusionskoefficienter för cementbruk med olika vct

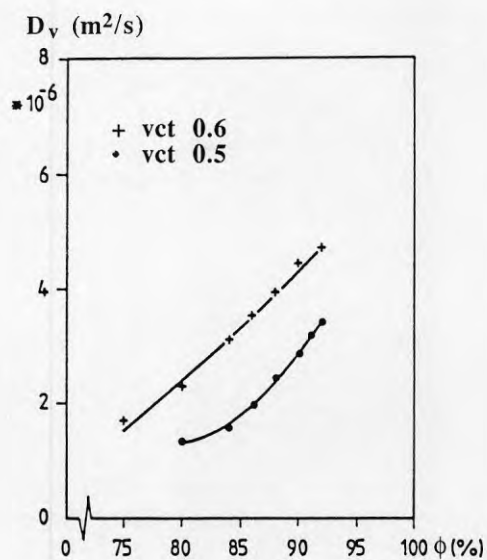


FIG.5 Preliminära fuktdiffusionskoefficienter för cementpasta med olika vct

6 Sammanfattning

Mätdata visar entydigt att för betong, cementbruk och cementpasta, som är välhärdad, beror fuktdiffusionskoefficienten vid uttorkning på relativa fuktigheten i porluften i provkroppen.

7 Referenser och publikationer

Hedenblad, G, 1988, Determination of Moisture Permeability in Concrete under High Moisture Conditions, Nordic Concrete Research, Publication No 7; Utgivare Norske Betongforening, Kronprinsengate 17, 0251 Oslo 2, Norge.

Hedenblad, G, 1989, Determination of Water Vapour Permeability in Concrete, Cement Mortar and Cement Paste. Paper till symposium om värme och fukttransport i byggnadsmaterial och konstruktioner anordnat av International Centre for Heat and Mass Transfer, 4-8 september 1989, Dubrovnik, Jugoslavien. Avses att publiceras i november 1990 i Proceedings of the XXI ICHMT, symposium, Heat and Mass Transfer in Building Materials and Structure.

Paper till symposium om porstruktur och permeabilitet hos Cementmaterial anordnat av Materials Research Society, 28-30 november 1989, Boston, USA. Publicerat av MRS i symposium proceedings, volume 137, Pore Structure and Permeability of Cementitious Materials, Pittsburg, Pennsylvania, USA.

Artikel i tidskriften Bygg & Teknik nr 6/89. Fukttransport i välhärdad betong.

Tillsammans med Bertil Persson är publicerat "Ett mögelsäkrare kryprum med konventionell teknik", seminarierapport i forskarkursen "Byggnadsteknik för energisåla hus" vid LTH, avd för Byggnadsfysik.

UTVECKLING AV UTRUSTNING FÖR SORPTIONSMÄTNINGAR

Lars Wadsö

1 Inledning

Sorptionsmetoden används för att mäta fukttransport i trä och andra material som kan ta upp och avge mycket fukt. Kortfattat går metoden ut på att man väger en provkropp efter det att den utsatts för en plötslig ändring av den relativa fuktigheten. Eftersom mätningen skall vara så renodlad som möjligt så skall

- provkroppen vara fullständigt klimatiserad innan ändringen av RF, dvs den skall vara i jämvikt med omgivande atmosfär
- ändringen av RF vara ett steg, dvs plötsligt ändra sig från en RF till en annan
- RF hållas konstant efter steget tills en ny jämvikt har ställt in sig.

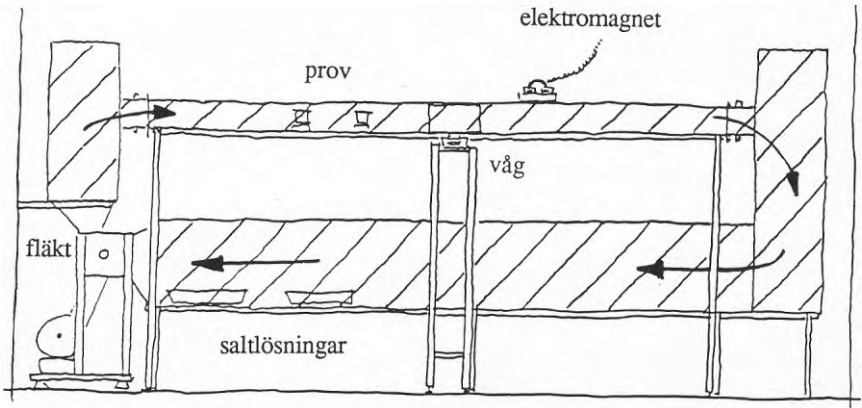
Om dessa förutsättningar är uppfyllda så har man (i alla fall i teorin) en bra metod för att mäta fukttransport.

Vid avdelningen för Byggnadsmaterial vid LTH har jag byggt en utrustning för sorptionsmätningar. Den huvudsakliga uppgiften för denna är att testa sorptionsmetoden, även om jag samtidigt kommer att ta fram en del materialdata. Metoden är välkänd framförallt bland träforskare, men man använder den utan att noga ha studerat alla möjliga felkällor. Detta beror delvis på att metoden är ganska komplicerad eftersom man mäter under uppfuktning eller uttorkning, dvs under icke-stationära förhållanden.

I detta projekt skall jag som sagt studera metoden noga. Jag har därför byggt en utrustning som skall kunna uppfylla de högsta krav man kan ha vad gäller jämn luftströmning, konstant temperatur och RF etc.

2 Utrustningen

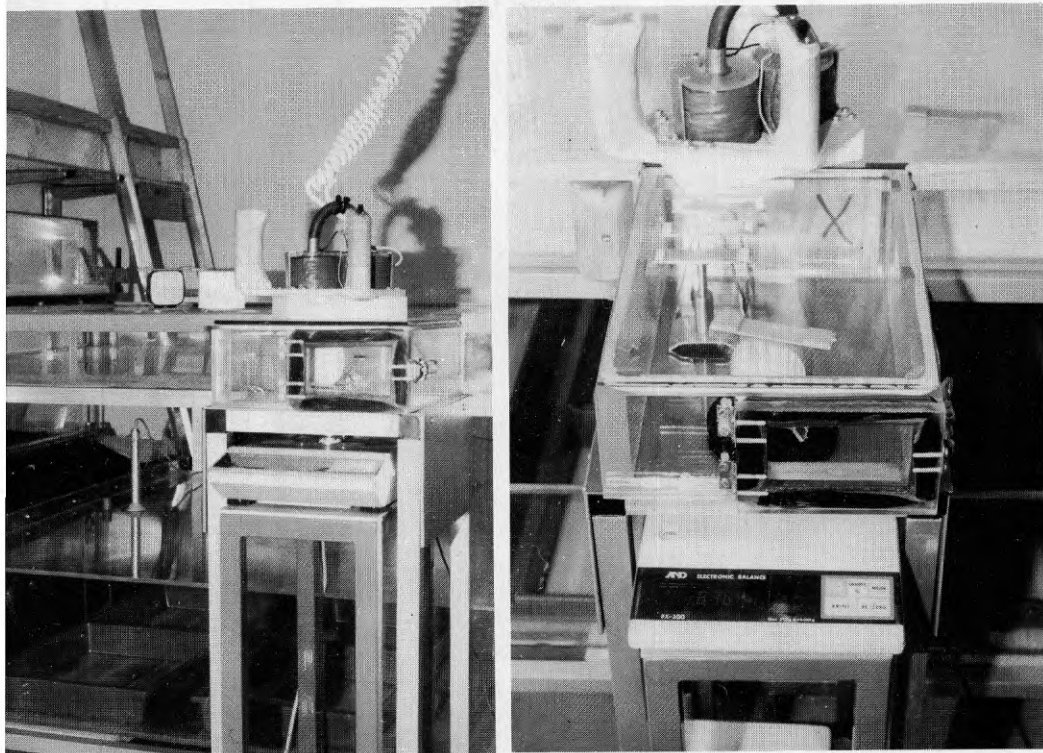
Apparaten är byggd för att innehålla nära 120 provkroppar som samtidigt följer samma RF-steg. I figuren nedan visas de viktigaste delarna.



Några fakta om utrustningen

- Den är så gott som helt lufttät så att luften cirkulerar runt inuti utrustningen.
- Provkropparna är placerade på en yta som är $1 \times 2 \text{ m}^2$.
- Relativa fuktigheten kan hållas på en rad olika nivåer mellan 33 och 94% RF med hjälp av mättade saltlösningar.
- Temperaturen i rummet hålls vid $22.7 \text{ }^\circ\text{C}$ så att den blir $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$ inne i utrustningen (fläkten som driver runt luften avger en del värme).
- Fläkten kan styras så att jag får olika lufthastigheter upp till över 5 m/s vid provkropparna.
- Provkropparna flyttas med hjälp av en elektromagnet (de har en metallbit fastsatt på sin ovansida).
- Vägningarna görs med en digitalvåg som är placerad utanför utrustningen (provkropparna tas dock aldrig ut eftersom själva vågskålen är inne i utrustningen) och vikterna tas om hand av en dator.

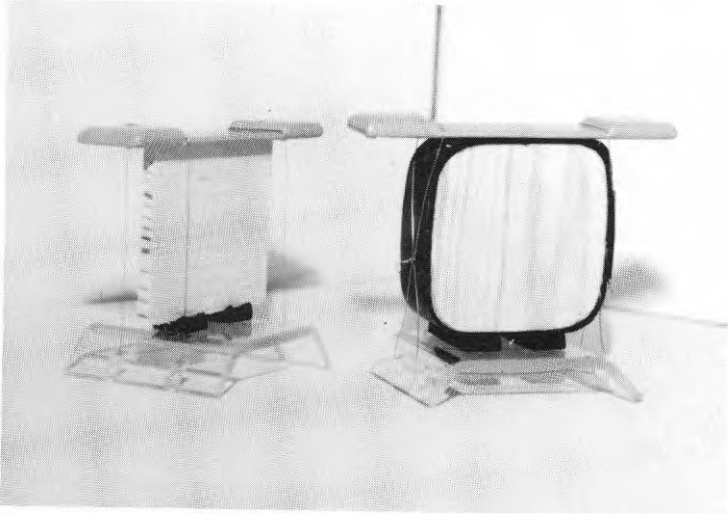
Nedan visas två fotografier. Det vänstra visar en del av utrustningen med saltskålar längst ned, fläkten nere till vänster (syns inte), och vågen (med en provkropp på vågskålen inne i våglådan) och magneten.



Provkropparna i sorptionsmetoden förseglas vanligtvis på fyra sidor, så att fukttransporten bara kan gå genom de två återstående. På detta sätt blir fuktupptagningen endimensionell. Jag förseglar mina provkroppar med en polyetentejp som sätts fast på träet med kontaktlim. Tejpen har mycket högt motstånd mot fukttransport.

Provkropparna spänns sedan fast med en rostfri tråd mellan en fot och en övre del. Den övre delen består av en fuktskyddad bit järn, och är den del som gör att jag kan lyfta och flytta provkropparna inne i apparaten med hjälp av en elektromagnet. En liten bit elastisk tätningslist är placerad mellan provkroppen och foten för att ta upp svällningen hos provkropparna när de fuktas.

Nedan visas ett fotografi på två provkroppar (den vänstra har ingen tätning).



När detta skrivs har apparaten startats med 119 provkroppar av olika sorter. Alla problem som jag haft hittills har jag klarat av på ett eller annat sätt. Det har gällt temperaturstabilitet, läckage, magnetiska störningar, statisk uppladdning, haverade provkroppar mm. Nu kör apparaten med en första inledande RF på 33%.

3 Mätningarna

Den huvudsakliga anledningen för mig att göra sorptionsmätningar är att jag vill studera sorptionsmetoden, dvs enkla uppfuktningar och uttorkningar. Jag har därför valt att mäta på ett antal olika material som jag tror kan vara intressanta. De 119 första provkropparna är av följande material

- furusplint i tre riktningar
- vattenlagrad furusplint i tre riktningar
- impregnerad furusplint i tangentiell riktning
- gransplint och grankärna i tangentiell riktning
- hård fiberskiva
- två kvaliteter av spånskiva
- tre typer av fibercementskivor
- glasull och isolermaterial av träfibrer

Alla furuproverna är från samma fura som jag själv har fällt och sågat upp. Granvirket och fiberskivan är från Annika Mårtenssons försök på Byggnadsmekanik, LTH. Jag har även gjort prover av mitt furuvirke som man har lovat att mäta på med koppmetoden på Byggningsmaterialer på Danmarks Tekniska Högskola.

4 Felkällor

Sorptionsmetoden ser enkel ut, men är i själva verket mycket komplicerad. Det finns ett stort antal felkällor som man måste ha kontroll över för att få rätt resultat från sina mätningar. Jag har tänkt att undersöka dessa med mina mätningar som grund. Några av de mesta intressanta felkällorna är

- ytmotståndet (eller det som ser ut som ett ytmotstånd)
- diffusivitetens fuktberoende
- temperatur och RF-fluktuationer
- mikrosprickor
- provkroppens mått
- tätningens ånggenomgångsmotstånd

Det teoretiska arbetet att titta på alla dessa felkällor har jag bara börjat, men det kommer att ta en stor del av min tid när mätningarna kommer igång. För att studera olika felkällor kommer jag att använda de datorprogram som har utvecklats av Jesper Arfvidsson, LTH.

5 Arbetets mål

Målet med detta arbete är att öka förståelsen av uppfuktning och uttorkning av framförallt trämaterial. Detta kommer att leda till att man kan använda sorptionsmetoden på ett bättre sätt. Ökad kunskap om icke-stationär fukttransport överhuvudtaget är ju också mycket intressant.

Arbetet skall leda fram till en doktorsavhandling 1992.

6 Utåtriktad verksamhet

- Möte om fukt och fukttransport i trä i juni 1988 med ett 20-tal deltagare (se nedan TVBM-3036), arrangerat av mig
- Föredrag om fuktskador vid Öppet Hus på LTH 1988
- Föredrag om trä vid seminarium på LTH 1989
- Föredrag om att måla utvändig träpanel vid seminarium på LTH 1990
- Föreläsning om trä för V-teknologerna 1990

Under projektiden har jag besökt alla institutioner i Sverige som arbetar med trä och fukt (de flesta flera gånger), samt VTT och Tekniska Högskolan i Helsingfors, och Danmarks Tekniska Högskola.

7 Rapporter

- "Diffusion in the cellwalls of softwoods", TVBM-3033, 1988
- "Bordered pit diffusion", TVBM-3034, 1988
- "Mätning av fukt och fukttransport i trä", TVBM-3036, 1988
- "The sorption method - old and new ideas", TVBM-3040, 1989

PC-MODELLER FÖR FUKTTRANSPORT

Jesper Arfvidsson

1 Bakgrund

Mögelproblem och andra fuktskador har ökat behovet av att kunna förutsäga fuktförlopp och fuktförhållanden i byggnadsdelar och speciellt i trädetaljer. Ett viktigt slutmål för detta projekt är att få fram förenklade, praktiskt användbara analysmetoder, modeller och i synnerhet väldokumenterade persondatormodeller för beräkning av fukttransport i olika byggnadsmaterial.

En viktig målsättning är att i slutändan få fram analysmetoder och beräkningsmodeller av sådan typ och med sådan dokumentation att de lätt och direkt kan användas av konsulter och andra. En komplett uppsättning standardiserade PC-modeller med tillhörande materialdatamoduler är under utveckling. Ett antal PC-modeller som behandlar isoterm fukttransport finns i dag tillgängliga. Dessa används redan relativt mycket. Detta projekt är finansierat av BFR och utföres inom byggnadsfysikgruppen i Lund med docent Johan Claesson som projektledare. Arbetet sker i nära samarbete med andra forskare och forskargrupper, främst med fuktgruppen i Lund. Vi har också goda kontakter med Lars-Olof Nilsson och hans fuktforskning vid CTH, med Sven Thelander-ssons forskargrupp rörande trä och fukt, samt med Kurt Kielsgaard Hansen som bl.a. arbetar med att ta fram materialdata.

2 PC-modeller

De PC-modeller som hittills finns tillgängliga är:

- JAM-1 (endimensionell grundmodell för isoterm transient fukttransport)
- JAM-1R (cirkelsymmetrisk modell för isoterm transient fukttransport)
- JAM-1H (endimensionell modell som tar hänsyn till sorptionshysteresis)
- JAM-2 (tvådimensionell grundmodell för isoterm fukttransport)
- JAM-2H (tvådimensionell modell som tar hänsyn till sorptionshysteresis)

Dessa modeller fungerar enligt likartade koncept. Konstruktionens geometri och dess ingående material matas in. Begynnelsevillkor för konstruktionens olika delar anges. Randvillkor, som kan väljas streckvis konstanta, streckvis linjära eller sinusformade, anges. Slutligen anges beräkningstid samt utskriftstider.

Den stora mängd materialparametrar som krävs för att genomföra beräkningen hämtas automatiskt från en materialdatabank som är ansluten till programmen. Indata till denna materialdatabank är primära mätdata för jämviktssamband och fuktflödeskoefficienter. Med hjälp av precist dokumenterade formler räknar man sig fram till de representationer av fukttransport som förekommer.

En viktig nyhet, som är ett resultat av våra mera grundläggande studier, är att en vad vi kallar fundamentalpotential för fuktflödena introducerats. Internt i beräkningarna användes alltid denna för beräkning av fuktflöden, medan man i in- och utmatning kan ha vilken typ av representation man vill. Poängen med denna potential är att fukttransportkoefficienten blir identiskt lika med 1. Problemet med interpolation, då fukttransportkoefficienten varierar kraftigt med fuktillståndet, försvinner. Det visar sig också då vi analyserar olika mätmetoder (cup-metoden, momentmetoden osv.) att man faktiskt alltid mäter fundamentalpotentialen, varefter fukttransportkoefficienten erhålles sekundärt genom en numerisk derivation. En detaljerad beskrivning av fundamentalpotentialen finns i [3].

Det arbete som hittills utförts gör att vi i dag klarar av att beräkna fukttransport under isoterma förhållanden på ett riktigt sätt. Generellt kan man säga att vi kan räkna på de material det finns kompletta mätningar för och att felet i det beräknade resultatet blir lika stort som felet i mätningarna.

3 Pågående arbete

Sedan början av 1990 har stora ansträngningar gjorts för att på ett riktigt sätt också klara av beräkning av fukttransport under icke isoterma förhållanden. Ett PC-program som skall kunna hantera denna komplicerade process håller på att utvecklas. En grundversion beräknas vara klar under 1990. De koefficienter som krävs för beräkning av ett icke isotermt fuktflöde är inte bara beroende av fuktillståndet utan också av temperaturen. Ett stort antal mätningar, både isoterma vid olika temperaturnivåer samt icke isoterma, är nödvändiga för att kartlägga varje materials fuktegenskaper.

Konferenser

CIB Conference
Healthy Buildings '88
Stockholm, Sverige September 5-8 1988.

Nordisk Forskarsymposium
Numeriske metoder til beskrivelse af koblet fugt- og varme-transport i bygningsmaterialer og i konstruktionselementer
Lyngby, Danmark Januari 23-24 1989.

6th International Conference on
Numerical Methods for Thermal Problems.
Swansea, United Kingdom Juli 3-7 1989.

ICHMT International Symposium.
Heat and Mass Transfer in Building Material and Structure. Dubrovnik, Yugoslavia September 4-8 1989.

Publikationer

[1] *Datormodeller för fukttransport i porösa material. Manual för endimensionellt fall; JAM-1.*

J.Arvidsson. (1988)

[2] *Computer Model for Two-dimensional Moisture Transport, Manual for JAM-2.*

J.Arvidsson. (1989)

[3] *A PC-based method to calculate moisture transport.*
ICHMT International Symposium. Heat and Mass Transfer in Building Material and Structure. Dubrovnik, Yugoslavia 1989.

J.Claesson, J.Arvidsson. (1989)

RAPPORTER 1982-1989

Rapporter utgivna av avd/inst vid LTH eller av BFR.
LTH-rapporter kan beställas från respektive avd/inst.

BF = avd för Byggnadsfysik (f d Husbyggnadsteknik)
BKL = inst för Byggnadskonstruktionslära
BM = avd för Byggnadsmaterial
LTH = Lunds Tekniska Högskola

Verifiering av fuktberäkningsmetoder. Några känslighetsanalyser av försök med mineralull och spånskiva, A-C Andersson. Rapport TVBH-7068, BF, LTH. 1982.

Fuktfördelningens inverkan på mätning av D_w med momentmetoden. Några beräkningar, A-C Andersson. Rapport TVBH-7065, BF, LTH. 1982.

Fuktgruppen informerar 1983:1. BKL, LTH. 1983.

Utformning av fuktskydd vid golv på mark. Nuvarande kunskaper och exempel på lösningar, L-O Nilsson. BFR-rapport R90:1983.

Rapport från besiktningar av fönster med limskador, D Gaffner. Intern rapport, BKL, LTH. 1982.

Anordning för fuktbekämpning och ventilation i suterränghus och källare, H Larsson, I Wilhelmsson, S Sahlén. Lägesrapport, BKL, LTH. 1983.

Fuktens inverkan på energiflödet genom ytterväggar, K Sandin. Rapport TVBM-3019, BM, LTH. 1984.

Fältmätning av slagregnsbelastning och fukttillstånd i en lättbetongbyggnad, K Sandin. Lägesrapport 1984, BM, LTH. 1984.

Verksamheten 1981-84. Fuktgruppen informerar 1984:1, BKL, LTH. 1984.

Konditionsbesiktningar av rötskadade fönster samt uppföljning av skadeavhjälpande åtgärder - 4 experimentprojekt i Sydsverige, D Gaffner. Rapport BKL 1984:3, BKL, LTH. 1984.

Fuktproblem i Kanada och U S A. Studieresa hösten 1984, L-E Nevander. Rapport TVBM-7079, BF, LTH. 1984.

Nordiskt fuktforskarmöte i Lund 20-21 nov 1984, D Gaffner, L-O Nilsson. Fukgruppen informerar 1985:1, BKL, LTH. 1985.

Treatment of wooden windows damages by decay (avsnitt 310 i 'Windows in Building Design and Maintenance), G Billgren, S Bjerking, D Gaffner. BFR-Dokument D13:1984.

Verification of calculation methods for moisture transport in porous building materials, A-C Andersson. BFR-Dokument D6:85.

Fuktkriterier för golvmaterial. Lägesrapport och frågeställningar, januari 1985, L-O Nilsson, G Hedenblad. Intern rapport, BM, LTH. 1985

Resultat av temperatur- och ånghaltsberäkningar vid syllar, B Golrang. Rapport TVBH-7084, BF, LTH. 1985.

Ytterväggssyllar - resultat och beräkningar, B Golrang. Rapport TVBH-7088, BF, LTH. 1985.

The moisture balance in a building depends on more than just the house, L-E Harderup. Rapport TVBH-7082, BF, LTH. 1985.

Kapillär mätnadsgrad - ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehållet i betong, G Hedenblad, L-O Nilsson. Rapport TVBM-3022, (även på engelska TVBM-7005), BM, LTH. 1986.

Mögel - uppkomst, problem, åtgärder, L-E Harderup. Seminarierapport TVBH-7087, BF, LTH. 1986.

Internt seminarium om reparationsmetoder vid platta på mark, L-E Harderup. Rapport TVBH-7089, BF, LTH. 1986.

Fukttillstånd i autoklaverade lättbetongväggar, K Sandin. Rapport TVBM-3026, BM, LTH. 1987.

Kritiska fukttillstånd för några byggnadsmaterial. Preliminär undersökning, L-O Nilsson, G Hedenblad. Intern rapport BM, LTH. 1987.

Funktionskontroll av ett Jape Ventilagegolv. Lägesrapport, L-E Harderup. Rapport TVBH-7105, BF, LTH. 1987.

Symposium and Day of Building Physics in Lund, August 24-27 1987,
J Kronvall. BFR-Dokument D13:1988. Följande avsnitt från Fuktgruppen ingår

- *Repairing methods for concrete slabs on ground damaged by moisture,*
L-E Harderup
- *The moisture conditions in aerated light-weight concrete walls,* K Sandin
- *The moisture conditions in cavity walls,* K Sandin
- *Prediction of the heat and moisture balances of a building,* B Adamson
- *Determination of moisture flow coefficients for porous materials by using
'the moment method',* D Gaffner
- *Determination of water vapour permeability in concrete, cement mortar and
paste under high moisture conditions,* G Hedenblad

Fuktbalans i byggnader, I Cullin. Intern rapport, BKL, LTH. 1988.

Beräkning av fuktillstånd. En enkel metod för praktiker, G Hedenblad. Rapport
TVBM-3032, BM, LTH. 1988.

*Datormodeller för fukttransport i porösa material. Manual för endimensionellt fall;
JAM-1,* J Arfvidsson. Internrapport, BF, LTH. 1988.

Diffusion in the cellwalls of softwoods, L Wadsö. Rapport TVBM-3033, BM,
LTH. 1988.

Bordered pit diffusion, L Wadsö. Rapport TVBM-3034, BM, LTH. 1988.

*Mätning av fukt och fukttransport i trä. Sammanfattning av ett möte 14-15 juni
1988,* L Wadsö. Rapport TVBM-3036, BM, LTH. 1988.

The sorption method - old and new ideas, L Wadsö. Rapport TVBM-3040, BM,
LTH. 1989.

Moisture and Mould in Dwellings in a Tropical Coastal Climate, O Åberg. Building
Issues 1989:1, Lund Centre for Habitat Studies, LTH. 1989.

Temperaturer i kryprum, O Åberg. Preliminär rapport, BF, LTH. 1989.

*Frostskadade skalmurar, en fältmätning av fuktstatus och skadeutveckling hos
skalmurar,* T Carlsson. Rapport TVBH-3015, BF, LTH. 1989.

Frostprovning av tegel, BM-metoden, lägesrapport, T Carlsson. Rapport TVBH-
7116, BF, LTH. 1989.

Kalkutfällning på putsade fasader, lägesrapport, T Carlsson. BM, LTH. 1989.

Computer Model for Two-dimensional Moisture Transport, Manual for JAM-2, J Arfvidsson. Internrapport, BF, LTH. 1989.

Fuktsäkerhet i byggnader - Förprojekt, E Harderup, P I Sandberg. Rapport TVBH-7118, BF, LTH. 1989.

FUKTGRUPPENS FORSKNINGSPROGRAM 1990-93

Under den kommande treårsperioden 1990-93 föreslås en projektorganisation bestående av dels ett stort huvudprojekt av informationskaraktär "Fuktdimensionering" dels 9 renodlade forskningsprojekt vilka utgör stöd till huvudprojektet.

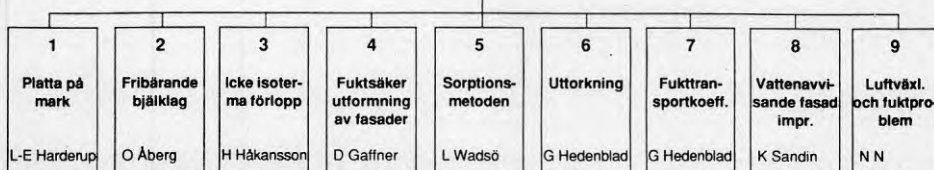
Huvudprojektet innebär en samling av hela fuktgruppen kring ett gemensamt mål; att ge byggbranschen praktisk information om hur en fuktdimensionering skall gå till. Såväl allmänna principer för fuktdimensionering som praktisk tillämpning på ett antal väsentliga konstruktionstyper ingår i huvudprojektet. Informationen kan t ex presenteras i en serie skrifter utgivna av BFR av samma typ som Småskriften under 1950-talet.

I huvudprojektet deltar främst de 5 seniorforskarna vilka får ansvar för var sin del av projektet. Övriga forskningsresurser - 3 yngre forskare, handledarna (ordinarie och adjungerade professorer) samt Beräkningsgruppen - bidrar också i huvudprojektet. Det är med stor säkerhet så att arbetet i huvudprojektet kommer att påvisa behovet av ny forskning inom områden där kunskaperna är bristfälliga. Det blir därför nödvändigt för huvudprojektet att också speciella forskningsprojekt bedrivs och de nedan angivna forskningsområdena är sådana där det redan idag framkommit behov av ny eller kompletterande forskning. De flesta forskarna, såväl seniorforskarna som de yngre forskarna, kommer att vara projektledare för var sitt forskningsprojekt som bedrivs parallellt med arbetet i huvudprojektet. Forskningsprojekten kan vara av olika längd och storlek. Seniorforskarnas erfarenheter utnyttjas dels till att lösa mindre omfattande men intensiva projekt, dels till att handleda yngre forskare. De senare kommer att arbeta med mer omfattande projekt som kan leda till doktorsavhandlingar.

Huvudprojekt:



Forskningsprojekt:



Huvudprojekt "Fuktdimensionering"

Med fuktdimensionering avses de åtgärder i byggprocessen som skall säkerställa att byggnaden inte får skador eller olägenheter som direkt eller indirekt orsakas av fukt. Huvudprincipen är att man för olika byggnadsdelar gör en förutsägelse av de fukttillstånd som kan förväntas uppkomma i byggnaden. Sannolikheten för ett visst fukttillstånd kan sedan ställas mot risken för de skador som kan inträffa.

Att utveckla metoder för fuktdimensionering är en fortlöpande process. Genom forskning och utveckling kan kunskap byggas upp om de nödvändiga hjälpmedel som behövs för en fuktdimensionering såsom materialdata, beräkningsmetoder, randvillkor och fuktkriterier. Vi avser att omsätta denna kunskap hos byggbranschen genom bl a utbildning, information och handböcker. Kunskapen kan vidare omsättas i nya normer och standarder.

Fuktdimensionering skall alltså vara huvudprojekt för Fuktgruppen den kommande treårsperioden och utgöra en samlande struktur. Huvudprojektet uppdelas i ett antal uppgifter som var och en har sin ansvarige ledare bland seniorforskarna. Avsikten är att varje huvuduppgift skall avslutas med en informationsskrift som innehåller all den information som erfordras för att man skall kunna göra en fuktdimensionering på basis av dagens kunskapsnivå. Såväl information som tagits fram vid LTH som annan tillgänglig information skall inkorporeras i arbetet. Informationen i skrifterna kan bestå av bl a följande:

- nomogram och formler
- PC-program
- princip- och typlösningar med angivande av randvillkor

Nedan ges exempel på uppgifter som skall slutföras under 3-årsperioden.

Uppgift 1: Allmänna principer för fuktdimensionering

Ansvar: P I Sandberg
Eva Harderup

- * Allmän metodik för fuktdimensionering
- * Allmänna formler för fukt- och värmeberäkningar, generella nomogram, datorprogram
- * Randvillkor (ytter- och innerklimat etc)
- * Materialdata (medelvärde, spridningar)
- * Säkerhetsfilosofi: vad gör man när randvillkor och/eller materialdata är mycket osäkra
etc?

Uppgift 2: Fuktdimensionering av platta på mark

Ansvar: L-E Harderup

B Adamson

G Fagerlund

Beräkningsgruppen m fl

- * Temperaturförhållanden - värmeflöden (olika stora golv)
- * Grundläggningsdjup - tjälproblem
- * Fuktfördelningar vid jämvikt
- * Uttorkning
- * Inverkan av olika detaljlösningar
- * Delvis eller intermittent uppvärmda byggnader
- * Effekt av ventilation
- * Dräneringsfrågor
- * Etc

Uppgift 3: Fuktdimensionering av grunder med fribärande bjälklag

Ansvar: O Åberg

A Elmroth

B Adamson

Beräkningsgruppen m fl

Betr frågeställningar, se uppgift 2.

Uppgift 4: Fuktdimensionering av murade väggar

Ansvar: K Sandin

D Gaffner

- * Fuktbalans genom väggar
- * Effekt av luftspalt
- * Ytbehandlingar
- * Beständighet
- * Etc

Uppgift 5: Fuktsäker utformning av fasader

Ansvar: D Gaffner

K Sandin

Uppgift 6: Uttorkning

Ansvar: G Hedenblad
 L E Harderup
 G Fagerlund
 Beräkningsgruppen m fl

- * Byggfukt
- * Fukt från vattenskada
- * Ständigt tillkommande fukt (markfukt)
- * Torkmetoder

Det föreslagna programmet innebär att ca hälften av de aktiva forskarnas insats läggs på huvudprojektet. Dessutom tillkommer insatser från övriga forskare, handledare och Beräkningsgrupp.

Forskningsprojekt

De nio forskningsprojekten är:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Platta på mark, detaljutformning | L-E Harderup |
| 2. Grunder med fribärande bjälklag | O Åberg |
| 3. Mätning och beräkning av icke isoterma förlopp | H Håkansson |
| 4. Fuksäker utformning av fasader | D Gaffner |
| 5. Sorptionsmetoden; metodutveckling samt tillämpning på trämaterial mm | L Wadsö |
| 6. Uttorkning av cementbaserade material | G Hedenblad |
| 7. Kartering av fukttransportkoefficienter | G Hedenblad |
| 8. Vattenavvisande fasadimpregnering | K Sandin |
| 9. Luftväxlingens betydelse för fuktproblem | NN |

Beskrivning av projekten finns i bilagorna.

Information

Utöver sedvanliga informationsaktiviteter såsom artiklar i fackpress, föredrag, papers till seminarier och symposier etc kommer Fuktgruppens informationsaktiviteter under 3-årsperioden att koncentreras på insatser inom huvudprojektet, dvs framtagande av informationsskrifter och dylikt om fuktdimensionering av byggnader.

Vissa informationsinsatser kommer också att utföras av forskarna utanför Fuktgruppens ram t ex som uppdrag direkt till forskarna eller via Fuktkonsultgruppen.

Annan verksamhet

Utöver forskning och information enligt ovan planerar gruppen att medverka i följande

- referensgruppsarbeten, t ex i andra BFR-projekt
- kommittéarbeten, t ex inom CIB, RILEM, Boverket mm
- pilotprojekt och s k brandkårsutryckningar, i regel genom en anmodan från BFR
- nationella och internationella konferenser, symposier och liknande

Inom aktuella problemområden kan seminarier anordnas i Fuktgruppens regi.

Fuktgruppen skall också kunna vara en för landet (kanske Norden) samlande kraft för den grundläggande allmänt inriktade fuktforskningen. Detta kan ske bl a genom arrangering av återkommande fuktmöten.

FÖRTECKNING ÖVER FUKTGRUPPENS MEDLEMMAR

Avd för Byggnadsfysik (sektion V)

Arne Elmroth, professor, 046 - 10 46 45
Per-Ingvar Sandberg, adj professor, 046 - 10 73 86
Eva Harderup, forskare, 046 - 10 73 86
Lars-Erik Harderup, forskare, 046 - 10 73 83
Lars Ohlsson, ingenjör, 046 - 10 73 91
Lars-Erik Nevander, professor em, 046 - 10 73 81

Inst för Byggnadskonstruktionslära (sektion A)

Bo Adamson, professor em, 046 - 10 73 48
Johnny Kronvall, t f professor, 046 - 10 72 73
Dan Gaffner, forskare, sekr, 046 - 10 95 01
Håkan Håkansson, forskare, ingenjör, 046 - 10 73 46
Olle Åberg, forskare, 046 - 10 94 51

Avd för Byggnadsmaterial (sektion V)

Göran Fagerlund, professor, 046 - 10 45 14
Thomas Carlsson, ingenjör, 046 - 10 74 09
Göran Hedenblad, forskare, 046 - 10 77 86
Bengt Linné, ingenjör, 046 - 10 74 16
Kenneth Sandin, forskare, 046 - 10 74 09
Lars Wadsö, forskare, 046 - 10 95 92
Arne Hillerborg, professor em, 046 - 10 74 12

I Beräkningsgruppen vid avd för Byggnadsfysik
som nära samarbetar med Fuktgruppen ingår

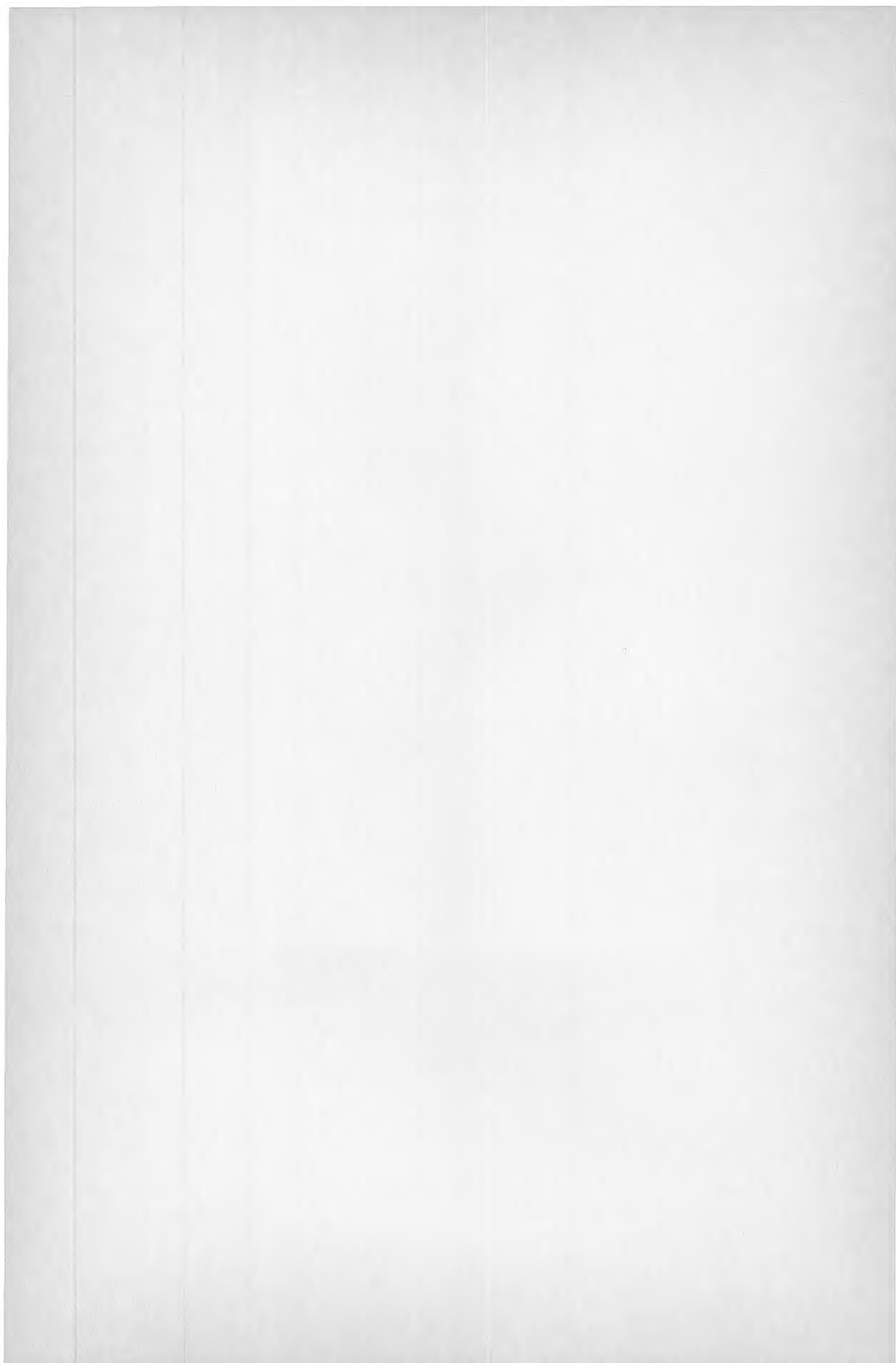
Johan Claesson, docent, 046 - 10 73 82
Jesper Arfvidsson, forskn ass, 046 - 10 73 87
Carl-Eric Hagentoft, forskn ass, 046 - 10 73 88

Postadress till samtliga:

Lunds Tekniska Högskola
Avd / inst - namn
Box 118
221 00 LUND







Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861062-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Lunds
tekniska högskola, Byggnadskonstruktionslära, Lund.

R7: 1991

ISBN 91-540-5281-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811007

Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirka pris: 56 kr exkl moms