



LUND UNIVERSITY

Byggnadsmateriallära LTH 1973-1988 : tillägnad professor Arne Hillerborg vid hans avgång december 1988

Personalen vid avd Byggnadsmateriallära, LTH

1988

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Personalen vid avd Byggnadsmateriallära, LTH. (1988). *Byggnadsmateriallära LTH 1973-1988 : tillägnad professor Arne Hillerborg vid hans avgång december 1988*. (Rapport TVBM; Vol. 3038). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

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

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSMATERIALLÄRA
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

BYGGNADSMATERIALLÄRA LTH
1973—1988

TILLÄGNAD PROFESSOR ARNE HILLERBORG
VID HANS AVGÅNG DECEMBER 1988

RAPPORT TVBM-3038
LUND, SVERIGE 1988

BYGGNADSMATERIALLÄRA LTH

1973-1988



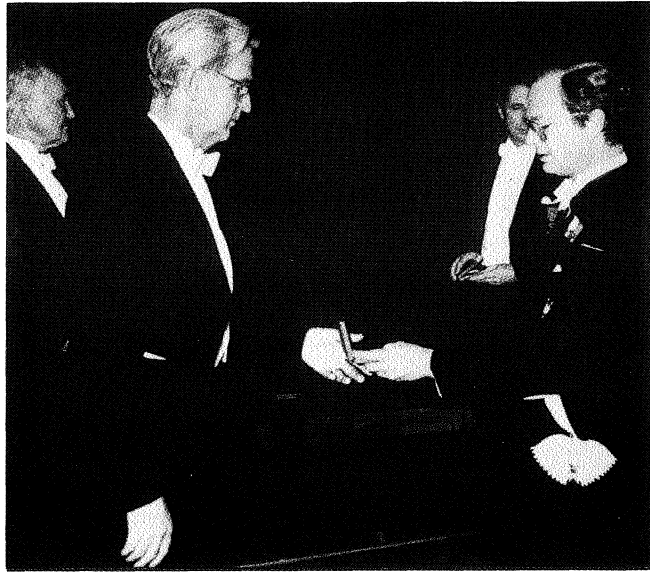
CODEN: LUTVDG/(TVBM-3038)/1-96/(1988)

BYGGNADSMATERIALLÄRA LTH
1973-1988

TILLÄGNAD PROFESSOR ARNE HILLERBORG
VID HANS AVGÅNG DECEMBER 1988

RAPPORT TVBM-3038
LUND, SVERIGE 1988

ISSN 0348-7911
Btj datafilm, Lund 1989



Arne Hillerborg, professor i Byggnadsmateriallära vid Lunds tekniska högskola, då han i oktober 1985 av Hans Majestät Konung Carl XVI Gustaf mottar Ingenjörsvetenskapsakademiens guldmedalj.



<u>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</u>	SID
FÖRORD	9
VERKSAMHETEN PÅ KONTORSSIDAN	11
VERKSAMHETEN I LABORATORIET	13
VERKSAMHETEN BLAND FORSKARNA	17
Allmänt	17
Boström, Lars: Brottmekanik	19
Burström, Per Gunnar: Beständighet hos tätningar mellan fönsterkarm och vägg i byggnader	27
Gustafsson, Per Johan: Lim och fiktiva sprickor. Inverkan av fogtjocklek	31
Hassanzadeh, Manouchehr: Fiktiva sprickmodellen i blandat modus I och II	43
Hedenblad, Göran: Preliminär bestämning av ånggenomsläppligheten för cementbruk vid höga fuktförhållanden	51
Nilsson, Lars-Olof: Fukt- och mögelproblem vid betonggolv på mark - av brist på materialkunskaper	57
Ondrus, Ivan: Kulturen, byggarna och vägen	65
Pettersson, Olle: Ämnet kemi hos Arne Hillerborg	71
Petersson, Per-Erik: Utprovning av betong med god beständighet mot frost och salt	75
Sandin, Kenneth: Beständig puts - finns det?	85
Wadsö, Lars: Vad är det jag gör? En doktorands funderingar	89
Zhou, Fan Ping: Stabilitetsanalys vid direkt dragprov och känslighetsanalys av cementbaserade material	93

FÖRORD

I december 1988 avgår Arne Hillerborg från sin tjänst som professor i Byggnadsmateriallära vid Tekniska högskolan i Lund.

Vi, dvs all den personal som under hans tid som avdelningschef haft förmånen att få arbeta under hans ledning, vill med denna lilla skrift ge en personligt färgad hyllning till Arne.

Arne har haft tid med oss. Han har lyssnat oavsett om det gällt kontors- eller laboratoriepersonal eller forskare. Våra s k "måndagsmöten" då information och diskussion bland hela personalen har skett, har vid det här laget blivit en klassisk företeelse, en institution i sig.

Vi har nu under ca 15 års tid hållit ihop i vått och brott. Vått har då framför allt handlat om Arnes engagemang i den s k "Fuktgruppens" arbete. Fuktforskning har i olika former bedrivits vid vår avdelning under hela Arnes tid.

Brott har handlat om sprickor (fiktiva och verkliga), men också om brott i puts och fogmassor. Om morgnarna har Arne även haft brott. De av personalen, som av misstag eller mot förmodan, har varit på plats klockan 08.00, har kunnat ställa klockan efter Arne då han gått in på sitt rum.

Arne har ett par dagar i veckan haft brott att komma till Gerdahallen för sin regelbundna motion och muskeluppbyggnad. Det är därför inte av en slump som han på sin 65-årsdag (880104) av Gerdahallens idrottslärare utsågs till Lunds universitets spänstigaste 65-åring.

Under senare år har Arnes banbrytande insatser gällande brottmekanik blivit alltmer internationellt uppmärksammas. Som banbrytare har han därför inbjudits att föreläsa på symposier, universitet och högskolor i bl a Europa, Nordamerika och Asien.

Detta är en enastående prestation. Arne har nämligen även tidigare blivit internationellt ryktbar. Då gällde det hans dimensioneringsmetod, den s k "strimlemetoden", som gjorde honom världsberömd.

Vi har, var och en på sitt sätt, bidragit till denna skrift. Dessutom har Birgitta Salmi och Mona Hammar på ett förtjänstfullt sätt hjälpt oss med utskriften. Detta tackar vi speciellt för. Precis som vår verksamhet har blandats med skämt och allvar har även våra bidrag en blandning av humor och torr vetenskap. Ett är dock gemensamt: Tack för 15 år tillsammans!

Lund i december 1988

Personalen vid avd Byggnadsmateriallära, LTH

ARNE...



TÄNK!
FÖREN



ATT
ENDA

DAG
VARA



FÅ
DINA

HEDERS

DOKTORER



VERKSAMHETEN I LABORATORIET 1964 - 1988

(från laboratoriepersonalens horisont)

Bakgrund

Byggnadsmateriallära, ett läroämne som Arne Hillerborg förestått under åren 1973-1988, startades redan år 1964 med Sven G Bergström som Sveriges förste innehavare av denna professur. Ämnet är utpräglat laborativt, så det var inte förvånande att Arne Hillerborg, väl meriterad och tidigare laboratorieförman på Siporex, på hösten 1973 fick överta ansvaret när Sven G Bergström efter nästan 10 års hängivet arbete sökte nya utmaningar.

Under de 15 år som Arne lett avdelningen har utvecklingen varit, om inte dramatisk, så i varje fall förändrande på de två fronter där Byggnadsmateriallärans laborativ verksamhet är: Byggnadsmaterialområdet och mättekniken. Att forskarna kommit med nya tankar, i flertalet fall inspirerade av en entusiasmerande professor, har krävt nya insatser av laboratoriepersonalen och resultatet har dokumenterat influerat på den tekniska utvecklingen i samhället.

Pre-Hillerborgsk tid, 1964-1973

Denna era började i lånade lokaler på Zoologiska institutionen. Efter en kort tid flyttade institutionen till A-husets femte våning, där enkla men mycket ambitiösa laborationer genomfördes för kunskapsförstärkning teknologer. Forskning om gasbetongs krypning påbörjades och embryot till dagens omfattande fuktforskning startades i plastskålar från Mattssons Foto, inköpta för medel ur handkassan.

När V-huset stod färdigt kunde inflyttning ske i BMLs nuvarande lokaler, där de första forskningsarbetena sedan startade med primitiv utrustning. Mycket var hemsnickrat/svetsat, och kärleksfullt målat i institutionens dalablå färg, dock utan kurbits. En välkänd elektronisk PID-reglering, för att erhålla extremt noggrann och konstant temperaturskillnad, gjordes med hjälp av laborantens ögon, öron, fingertopp och erfarenhet. Försöken genomfördes aldrig på måndagar.

På noggrant förutbestämda tider belastades det stora krypförsöket på gasbetong som Anders Nielsen ledde. Allt var beräknat och schemalagt många år framåt så det gällde att inget oförutsett inträffade. Den ryska invasionen i Tjeckoslovakien 1968 medförde emellertid att skyddsrum skulle göras åtkomliga. Valet stod mellan bordtennisbordet i ett skyddsrum och krypförsöket i ett annat. Det blev bordtennisbordet. Som lyftes ut. Tillfälligt.

Snart nog lyfte sig även laboratoriet bildligt talat i håret. Med Lennart Ahlgren som idégivare byggdes institutionens imponator, IMPONATOR, för att framställa exakta relativa fuktigheter vid bestämda och konstanta temperaturer. Trots dolska anslag från intilliggande pyrotekniska försök, har utrustningen överlevt och fungerar fortfarande som en RF-standard för södra Sverige. Andra metoder att framställa exakt relativ fuktighet finns numera utvecklade men ingen slår IMPONATORNs enkla princip:

KVOTEN MELLAN PARTIALTRYCKEN = KVOTEN MELLAN TOTALTRYCKEN

Slutet av denna tid innebar högtidliga disputationer för Lennart Ahlgren, Anders Nielsen och Göran Fagerlund. Egendomliga, konstfärdiga presenter tänktes ut och skapades, utanför protokollet men något inom arbetstid (preskriberat), och förärades doktorerna på uppsluppna, glada fester.

Många hågkomster från Göran Fagerlunds mycket omfattande och synnerligen kreativa laboratoriearbeten, som krävde sina män (och kvinnor), omfattas inte av denna skrift. Dels är han tillträdande chef, dels måste somt gömmas till en eventuell framtida skrift.

Hillerborgsk tid, 1973-1988

Ett moratorium drabbade verksamheten i väntan på Arnes ankomst. När Arne sedan tillträtt professuren och bestämt sig för att skriva om kompendiet, satsa på brottmekanik och faktiskt bibehålla fuktforskningen, ingöts nytt mod i laboratoriets personal. Vi kände att nu var kursen utlagd och det gällde att bara se framåt. Det tidigare här skrivna är således skumögda minnesbilder i strid mot Arnes principer.

För oss i laboratoriet erbjöd satsningen på brottmekanik nya problem. Vi hade lärt oss att se sprickor i material som fel, orsakade av för hög belastning eller för svag konstruktion. Men Arne och hans adepter Matz Modéer och Per-Erik Petersson, började tala om FIKTIVA sprickor! Sådant tal tycktes höra hemma på teologiska fakulteten men Arne och forskarna visade faktiskt att dessa fiktioner kunde utvecklas till verkliga sprickor och då var det farligt, på vanligt sätt.

Att skapa och mäta sprickor i gränslandet mellan fiktion och verklighet blev en utmaning. Tillsammans med Matz, iklädd stövlar och grötrock, göt vi betongprovkroppar, som belastades till brott och ändå höll ihop, sammanhållna, av vad?

För Per-Erik tillverkade vi en numera klassisk dragprovningssmaskin på tre ben, utan rörliga delar! Den drog ofrivilligt sönder betongprovkroppar bara för att en vindil drog genom rummet. Med påmonterad termoststyrning gjordes emellertid, för den tiden epokgörande försök, som numera kan upprepas i en från USA importerad maskin som kostat avdelningen nästan en miljon kronor.

Per-Erik lät tillverka några mycket långa, slanka och oarmerade balkar. Att bära dem från gjutplatsen till provningsmaskinen fordrade silkesvantar och barnmorskehänder. Och man fick inte ha brott (sic)! Ett par balkar bröts ändå vid transporten för att någon gick i otakt. Förlusten av de mödosamt gjutna och härdade balkarna kändes lika intensiv som förmodligen den hos rymdforskarna som förlorar en bärraket. Bordtennisbordet lyftes in igen.

Det var lättare för oss när Per Johan Gustafsson lät testa sina brottmekaniska beräkningar på långa, grova men oarmerade betongrör. Han fick dem tillverkade hos Skanska, som levererade dem på plats, gratis. Det var bara att se på och ge goda råd om placeringen!

Fuktforskningen hade starkt fotfäste på BML redan i början av 70-talet. En ansevärd mängd apparater och redskap fanns tillgängliga för intresserade forskare. Avvaktande iakttog Arne först det hela men blev så småningom även inom detta område så lärd att han numera tveklöst platsar i FUKTGRUPPEN I LUND.

I laboratoriet levde vi med ord som relativa fuktigheter, isotermer och vattenmätt-

nadsgrader. Var de inte i betong så var de i puts eller makadam. Och när man kombinerade detta med trä så gick det vanligtvis illa. Det var en dyrköpt erfarenhet som byggarna gjorde under sjuttioalet. Illaluktande mögel blev vår vardagliga inhalering.

För att kunna utreda orsakerna till allt elände behövdes mätmetoder. Lars-Olof Nilsson skådade genom dimmorna och såg vad som behövdes. Vi utvecklade både metoder och mätutrustning, som sedan blev standard vid fuktundersökningar.

Det var i samband med att kunskapen om fukt ökade, som laboratoriet fick arbetsuppgifter även långt bort. Vadstena Klosterkyrka demolerades bitvis i vårt sökande efter fukt. I en speciell mätbuss, som Statens Institut för Byggnadsforskning ställt upp med, mättes signaler från BMLs speciella fuktgivare. Till en början fick vi bara in utlandsprogrammen från Motalas långvågssändare, vilket förbryllade till och med den annars luttrade Kenneth Sandin. Efter att lämpliga filter monterats in kunde vi slutligen skilja på fukt- och radiovågor. Vis av erfarenheten håller sig Kenneth numera "putslustigt" nog närmare V-huset. I det s k "skalmurshuset" försöker han numera bland annat utröna hela väggars fuktbalans.

Under miljonprogrammets dagar på sextioalet byggdes hus på löpande band. Man tillverkade element som sedan monterades tillsammans på plats. Självfallet blev det skarvar, men de tätades lätt med fogmassor, i massor. Det vanliga syndromet upprepades: Beständigheten var inte tillräcklig och en ny vetenskap såg dagens ljus, läran om fogmassor. Per Gunnar Burström satt snart i klistret, dvs ansågs vara, och blev även snart expert och tøjde och bestrålade alla tänkbara fogmassor. Laboratoriet expanderade därför åt enda möjliga håll, höjden. På V-husets tak riggades upp både väderberoende provningsanordningar och fönster för utprovning av nya material.

Göran Hedenblad fortsatte fuktforskningen när Lars-Olof erhöll professuren på Chalmers. Göran fick hålla sig på mattan i början och mäta skjuvhållfasthet på lim. Ett mycket stort antal provkroppar utsattes för olika fukttillstånd, som framställdes i långa saltkar på hyllor. Att gå bland dessa prover var som att vandra i Roms katakomber och på stället förnimma en vandrande fukt. Med säker hand har sedan Göran undersökt den verkliga fukten i betong och makadam. Praktiskt är det faktiskt inte alls så som man tidigare teoretiserat om. Handfasta råd och hjälpmedel har därmed nått ut till bland andra villrådiga villabyggare.

Under senare år har en internationell sida präglat viss del av Byggnadsmaterialläras laboratorium. Lars Boström har utfört uppmärksammat materialforskning bl a om tätning av tak i Tunisien.

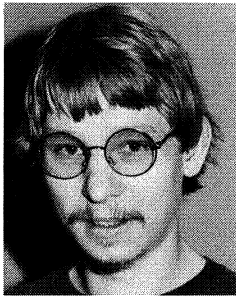
Bland de senast anställda forskarna är Manouchehr Hassanzadeh och Fanping Zhou. Båda har ägnat sig åt brottmekanik, speciellt för betong. Manouchehr är till och med så avancerad att han både drar och skjuvar samtidigt. Vid en jämförelse med vad utländska forskare har tillgång till för samma slags försök är vår utrustning enkel, men resultaten fantastiska!

Lars Wadsös teoretiska modeller om trä och fukt är komplicerade. För verifiering av dem behövs uppenbarligen avancerade försök. Vi vet av erfarenhet att man ibland genom kreativt nytänkande om försöksmetodik kan genomföra svåra saker med enkla medel. Framtiden får utvisa om hittills använda torkskåp, våg, krympslang och fläkt räcker till!

Sammanfattande kan man se att utvecklingen i samhället på byggnadssidan har



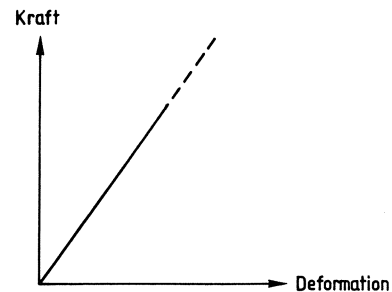
Brottmekanik



Lars Boström
Högskoleadjunkt
Byggnadsmateriallära
Lunds Tekniska Högskola

Under 1900-talet har ett nytt synsätt utvecklats vad det gäller mekaniska beräkningar på olika material. Denna vetenskap har fått namnet brottmekanik, och nämnas bör att det har inget med tjuvar och banditer att göra. Inom brottmekaniken tittar vi på vad som händer när det finns en spricka i ett material. Denna spricka ger upphov till spänningskoncentrationer, vilket i allmänna ordalag kan förklaras med att spänningar samlas kring sprickans spets. Vid en traditionell betraktelse ökar spänningarna kraftigt när vi närmar oss sprickspetsen, och vid själva sprickspetsen är spänningarna oändliga. Med hjälp av brottmekaniken är det nu möjligt att analysera konstruktioner på ett mer fysikaliskt riktigt sätt, än det tidigare varit möjligt.

I den klassiska brottmekaniken antar man att materialet är linjärt elastiskt, vilket betyder att om man belastar en stav med en last kommer den att förlängas eller förkortas i proportion till lasten. Det spelar sedan ingen roll hur liten eller stor denna last är, eller om vi ökar eller minskar lasten, deformationen kommer alltid att vara proportionell med lasten. På samma sätt gäller att om vi deformerar en kropp, kommer lasten att vara i proportion till deformationen. Hur detta förhåller sig visas i Figur 1. Med detta antagande händer det som ovan är nämnt, nämligen att spänningen växer mot oändligheten vid sprickspetsen. Vid en närmare eftertanke kan detta inte vara rimligt, vi kan inte ha oändliga spänningar i ett material. Men även med denna singularitet, vilket betyder att spänningen är odefinierbar, kan man modellera beteendet hos ett flertal material, t.ex. stål.



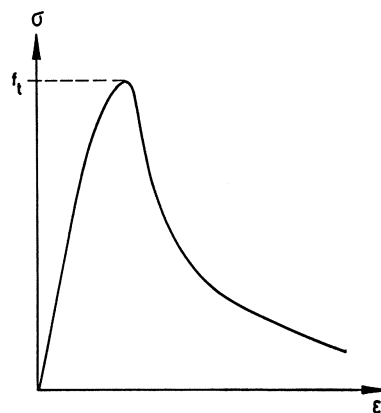
Figur 1. Klassisk relation mellan kraft och deformation.

Det finns emellertid vissa nackdelar med den klassiska brottmekaniken, eller den linjära elastiska brottmekaniken som den också kallas. Den kan inte användas om det inte finns någon spricka i materialet, och för vissa material stämmer den inte alls. På grund av de ovan nämnda problemen har man varit tvungen att utveckla nya

brottmekaniska modeller som bättre överensstämmer med verkligheten och har större användningsområden. Den modell som här kommer att beskrivas är den fiktiva sprickmodellen, vilken har utvecklats av bland andra Arne Hillerborg.

Den fiktiva sprickmodellen utvecklades i första hand för att användas på betong och liknande material. En stor skillnad mellan den linjär elastiska brottmekaniken och den fiktiva sprickmodellen ligger i att vi nu inte använder ett linjärt förhållande mellan last och deformation. I stället tittar vi på hur materialet verkligen beter sig vid en belastning och använder sedan det verkliga last-deformations sambandet som ingångsparameter för modellen.

Om vi ser på material som betong och trä, så uppvisar dessa material en last-deformations relation kallad för töjnings-mjuknande, vilket visas i Figur 2. Och ett töjnings-mjuknande kan förklaras enligt följande. Om vi har en stång som vi utvidgar genom att vi drar i den på något sätt, kommer det att uppstå en spänning i stången, där en spänning definieras som kraft per ytenhet. Den utvidgning som vi ger till stången kommer att sprida sig jämt över hela stångens längd, det blir en jämn töjningsfördelning. Med töjning menas den relativa längdändringen, dvs förlängningen dividerat med den ursprungliga längden. Om vi ökar förlängningen mer och mer, kommer också spänningen att öka, men endast till en viss gräns där vi uppnår den maximala spänningen som materialet klarar av. När vi kommer till den maximala spänningen kommer det att utvecklas ett område i materialet som är delvis förstört, men ändå inte helt förstört. Detta område kallar vi för en brottzon, och denna brottzon kan fortfarande ta upp en spänning och hålla ihop stången.



Figur 2. Verklig relation mellan kraft och deformation för t.ex betong

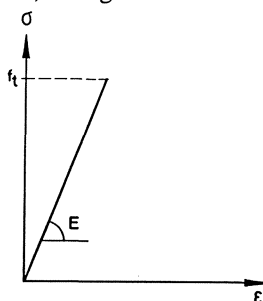
Nu händer däremot något mycket intressant. Om vi fortsätter att utvidga stången kan inte spänningen öka, utan den sjunker och de deformationer som vi gett till stången kommer att tas upp av själva brottzonen. Vi kan förlänga stången ända tills det inte finns någon spänning i den och först då, är stången helt av.

Hela detta förlopp kan också beskrivas av hur två magneter fungerar. Om vi sätter ihop två magneter, dvs vi sätter den ena magnetens nordpol mot den andra magnetens sydpol, kommer dessa att attraheras till varandra och fastna ihop. Vi kan nu dra i de bägge magneterna och försöka få isär dem, och vi märker då att vi måste dra ganska kraftigt för att få dem att dela sig. När de har delat sig en aning känner vi att vi inte behöver dra lika mycket för att hålla dem isär och desto mer vi sårar dem de-

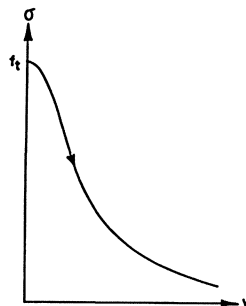
sto mindre är den kraft som behövs för att hålla dem isär. På samma sätt fungerar en brottzon, men med en viss modifikation som vi inte går in på här.

Det finns flera stora fördelar med fiktiva sprickmodellen. Den kan användas på konstruktioner där vi inte har någon spricka. Modellen är lätt att förstå och lätt att arbeta med. Och sist men inte minst, den ger bra resultat och har därmed fört oss ett steg närmare "sanningen".

Hur arbetar man då med fiktiva sprickmodellen? För att förstå det skall vi gå in lite mera i detalj på materialbeteendet. Vi kan för enkelhetens skull säga att materialet har två olika beteenden, ett i brottzonen och ett utanför brottzonen. Om vi först ser på materialet utanför brottzonen, så vet vi sedan länge hur det ser ut för de allra flesta material. Oftast har vi här ett samband mellan kraft och deformation som kan approximeras med en rät linje upp till den maximala kraften som materialet klarar. På denna linje rör vi oss hela tiden så länge vi inte kommer ända upp till maxlasten. Vi kan gå både upp och ner på denna linje och vi kommer aldrig att avvika från den, se Figur 3.



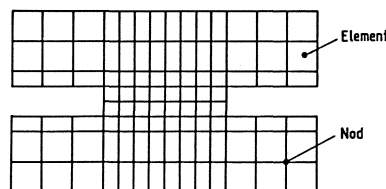
Figur 3. Relation mellan spänning och töjning utanför brottzonen.



Figur 4. Relation mellan spänning och deformation i brottzonen.

När vi sedan skall gå in och titta på egenskaperna av själva brottzonen blir allt lite mer komplicerat. Men även brottzonen kan beskrivas av en kurva och denna kurva beskriver hur kraften eller spänningen minskar i brottzonen när dess bredd ökar. Ett exempel på en sådan kurva finns i Figur 4.

När man gör beräkningar på konstruktioner, behövs något matematiskt instrument. Ett sådant instrument är Finita Element Metoden (FEM). Vid finita elementberäkningar delar man in konstruktionen i ett antal delar eller element, exempelvis enligt Figur 5. Man ger sedan



Figur 5. Exempel på elementindelning för FEM-beräkning.

varje element dess materialegenskaper och genomför sedan en beräkning. Dessa beräkningar utföres oftast på en dator, då det handlar om stora ekvationssystem som skall lösas. Resultatet från en beräkning ges i form av deformationer och krafter i varje nodpunkt, dvs i varje knutpunkt mellan elementen.

Om vi nu skall använda fiktiva sprickmodellen och göra en beräkning, ger vi hela konstruktionen materialegenskaper enligt Figur 3. Detta är ganska naturligt då det inte existerar någon brottzon i konstruktionen. Vi startar nu vår dator och låter den göra grovjobbet med att räkna ut vad vi får för krafter och förskjutningar i alla våra knutpunkter. Vi kan sedan titta på alla dessa krafter och se vilken av dessa krafter som först når den maximala kraften materialet tål. När vi nu vet vilken punkt i materialet som uppnår den maximala kraften, kan vi här stoppa in ett nytt element som motsvarar egenskaperna i brottzonen, enligt Figur 4. Vi har nu fått en brottzon som börjar utveckla sig i materialet. Därefter fortsätter vi och gör en ny beräkning och kontrollerar sedan krafterna i alla noder på samma sätt som förut, och ändrar egenskaperna i nästa knutpunkt som uppnår den maximalt tillåtna kraften. På detta sätt kan vi följa hur en spricka växer in i konstruktionen.

Tillämpning av brottmekanik på trä

Trä är ett material som har använts till olika typer av konstruktioner och byggnader under århundraden och är fortfarande ett mycket attraktivt byggnadsmaterial. Vi använder idag trä i många olika sammanhang. Men hur kommer framtiden att se ut, kommer vi att i lika stor utsträckning att använda trä, eller skall det få ge vika för andra typer av byggnadsmaterial? Detta är en fråga som ligger i tiden. För att trä skall kunna behålla sin marknad krävs att vi får en bättre förståelse av materialet, att vi vet hur vi skall använda trä. Detta är inte lätt då trä är ett mycket komplicerat material med mycket varierande egenskaper beroende på dess natur och struktur.

Trä skiljer sig mycket från våra andra vanliga byggnadsmaterial som betong, stål etc. Träts egenskaper varierar i hög grad med dess fuktinnehåll och det är dessutom ett, vad vi kallar, ortotrop material vilket innebär att det har olika egenskaper i tre vinkelräta riktningar. Vi kan skilja på en riktning längs med stammen kallad för fiberriktningen, en riktning tangentiell mot årsringarna samt en riktning vilken går vinkelrätt mot årsringarna in mot kärnan i trädstammen. Dessutom finns i trä en hel del defekter såsom kvistar, sprickor och dylikt. Alla dessa faktorer gör att trä blir ett mycket komplicerat material att arbeta med, och speciellt vid fysikalisk modellering.

Idag vet vi en hel del om beteendet hos trä, men det fattas fortfarande många pusselbitar som måste läggas till träets enorma pussel.

Vad det gäller trä har intresset för brottmekanik varit ganska svalt. Visst har det jobbats en del med de brottmekaniska metoderna, men arbetet har inte fått något

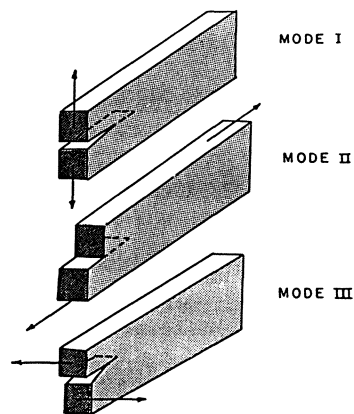
större gensvar. Idag verkar det däremot som intresset börjar vakna igen och forskare världen över har åter igen börjat att dra i dessa trådar.

Den brottmekanik som framför allt tillämpas på trä är den klassiska linjär-elastiska brottmekaniken. Den metoden fungerar hyggligt på de flesta tillämpningar, så länge konstruktionerna är någorlunda stora. Men, skall man undersöka konstruktioner utan några initiella sprickor, eller små konstruktioner där brottzonens längd är stor i relation till konstruktionen, då måste andra modeller användas.

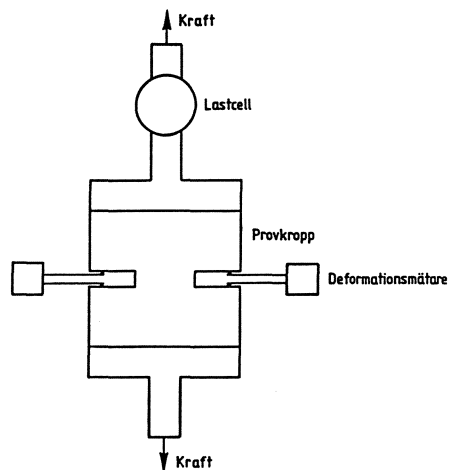
Mitt arbete har som målsättning att finna de nödvändiga materialparametrarna vilka behövs för beräkningar med den fiktiva sprickmodellen. Vidare skall jag tillämpa den fiktiva sprickmodellen på ett antal olika konstruktioner.

De materialparametrar som behövs för den fiktiva sprickmodellen är endast den verkliga relationen mellan kraft och deformation i den modus som man skall arbeta. Med modus menas om det är dragkrafter eller om det är skjuvkrafter, vilket visas i Figur 6. Det hela kan låta enkelt, men som i de flesta fall finns det stora svårigheter att finna detta samband mellan kraft och deformation. Det krävs en mycket avancerad provningsutrustning för att man skall kunna mäta den verkliga kraft-deformation relationen för trä. Det är till och med så svårt att vi ännu inte helt har lyckats, utan vi får lov att arbeta med någon indirekt metod för att bestämma sambandet mellan kraft och deformation i brottzonen.

Vill man mäta sambandet mellan kraft och deformation i en brottzon kan man använda en försöksupställning som visas i Figur 7. Vi har där en provkropp som på något sätt, t.ex. limmas, fästes i provningsmaskinen. Därefter placerar vi någon typ av deformationsmätare i den skåra som sågats, och med dessa deformationsmätare kan vi sedan mäta hur stora deformationerna är i denna skåra. För att mäta kraften finns



Figur 6. De tre modus, modus I, modus II och modus III.



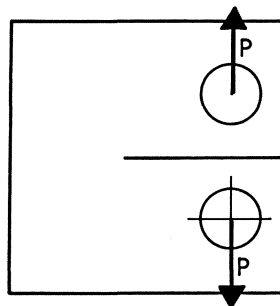
Figur 7. Försöksupställning.

det en kraftmätare monterad i provningsmaskinen direkt ovanför där provkroppen monteras, och med denna kraftmätare kan vi registrera den kraft som läggs på provkroppen.

Vid denna typ av prover talar man om hur styrningen av provet sker. Vid t.ex. laststyrning ökas lasten under hela försöket med en konstant hastighet och vid deformationsstyrning deformerar vi provkroppen med en konstant hastighet. Vilken typ av styrning som används är helt avgörande om ett prov skall lyckas eller ej. Vi kan se att om vi använder laststyrning, dvs att kraften i provbiten hela tiden får öka med en konstant hastighet, kommer konstiga saker att hända när vi når den maximala kraften. Vi kan inte ha en kraft i provbiten större än den maximala kraften och maskinen kommer att försöka finna krafter större än denna vilket medför att maskinen löper amok.

I stället styr vi provningen på deformationen i provkroppens skåra, dvs vi talar om för maskinen att den skall öppna skåran med en konstant hastighet och det är precis det vi vill registrera. För att ett sådant prov skall lyckas krävs att maskinen är mycket snabb och direkt kan reagera på minsta lilla avvikelse från det program den skall följa. Vi talar alltså om för maskinen hur ett prov skall genomföras, och är det så att t.ex. sprickan öppnas lite mer än vad vi sagt till maskinen, skall den snabbt justera provet så att sprickan får rätt öppning.

Med den utrustning vi har, har vi ännu inte lyckats följa hela förloppet fullt ut, vilket innebär att vi ej direkt kan fastställa relationen mellan kraft och deformation i brottnonen. Om man nu i stället utformar provkroppen på ett anorlunda sätt, blir det betydligt mycket enklare för maskinen att klara av registreringen av hela förloppet. Ett exempel på en sådan provkropp finns i Figur 8. Problemet är då att vi inte direkt kan tala om hur relationen mellan kraft och deformation ser ut i brottnonen. Men med hjälp av datorer och matematik kan vi indirekt bestämma våra materialegenskaper. Om vi nu gör en modell av provet och analyserar det matematiskt, med t.ex. FEM. I denna analys måste vi ha egenskaperna för materialet, och de vet vi ej. Men, vi kan gissa hur egenskaperna ser ut och använda dessa gissningar som indata för beräkningen. Vi kan nu utföra en hel massa beräkningar där vi antar olika relationer mellan kraft och deformation i brottnonen, och sedan jämföra resultaten från beräkningarna med resultaten från provet. Då kan vi se vilken av våra gissningar som bäst överensstämmer med resultatet från provet och den gissningen bör då vara någorlunda riktig.



Figur 8. Exempel på provkroppsutformning.

Vi har ännu inte bestämt materialegenskaperna för trä, men vi är en god bit på väg. När väl egenskaperna är bestämda, finns det en hel del intressanta konstruktioner att analysera. Ett exempel är hur trä påverkas när det torkar. Vid torkning krymper nämligen träet, och det krymper olika i dess tre riktningar. Det ger då upphov till stora inre krafter som får träet att spricka. Vi kan då med hjälp av brottmekaniken bestämma hur trä skall torkas, för att förhindra torksprickor.

Ett annat intressant problem är vad vi kallar för infästningar. Det är när vi till exempel borrar ett hål i en balk och här sätter en bult. Om vi nu belastar bulten kommer även träet att belastas och det hål vi har borrar är ett typiskt brottmekaniskt problem.

Som avslutning får vi alla hoppas att trä skall vara ett framtidens material, och då inte enbart på grund av de goda tillgångarna av trä, utan framför allt dess vackra utseende.



BESTÄNDIGHET HOS TÄTNINGAR MELLAN FÖNSTERKARM OCH VÄGG I BYGGNADER

Per Gunnar Burström
Avd Byggnadsmateriallära, LTH
Tekn dr, högskolelektor

1. BAKGRUND

Kraven på värmekomfort och energibalans i våra byggnader har under årens lopp ökat alltmer. Det innebär att det idag ställs krav på byggnaders totala täthet. Detta innebär i sin tur att delkrav beträffande täthet ställs på de olika delarna som ingår i en byggnad, t ex fönster och dörrar inkl karmar.

Av olika skäl måste man acceptera att fogar uppstår mellan byggnadsdelarna. I hus där graden av prefabricering är hög kan mängden och den sammanlagda längden av fogarna bli mycket stor, ibland flera km! Det blir då uppenbart att fogarnas utformning och beständighet blir av synnerligen stor betydelse för byggnadens totala funktion.

2. PROVHUS I YSTAD

Det finns ett stort antal olika material för tätning av fogar mellan karm och vägg. I ett projekt, vars syfte är att följa olika materials (till tak, fasader och fönster) nedbrytning i en klimatutsatt miljö i Ystad, har även olika fogmaterials egenskaper studerats.

I fogarna, nominell bredd 12 mm, har mellan 23 stycken fönsterkarmar och vägg 10 olika material och materialkombinationer använts (inifrån räknat):

1. Polyuretanskum, "Fogskum 1"
2. Polyuretanskum, "Fogskum 2"
3. "Fogskum 1" + drevning med mineralull
4. "Fogskum 2" + drevning med mineralull
5. Plastinklädd mineralull + drevning med mineralull
6. Drevningslist av EPDM-gummi + drevning med mineralull
7. "Fogmassa A" + drevning med mineralull
8. "Fogmassa B" + drevning med mineralull
9. "Fogmassa C" + drevning med mineralull
10. "Fogmassa C" + drevning med mineralull + utvändig "Fogmassa C"

3. MÄTNINGAR

Mätningar har utförts av bl a läckluftflöde för varje fönster i juni 1985 och oktober 1988.

Vid mätningarna har använts en "tratt" med mått 1340 x 1040 mm. Tratten har tejpats över varje fönster från insidan av huset. Mätningarna har utförts med undertryck mellan 50-300 Pa i steg om 50 Pa. För varje undertryck har

ett läckage (m^3/h) bestämts.

En "läckfaktor" har definierats. Denna utgör kvoten mellan läckaget och resp fönsters totala yta. Enheten blir således m/h . För varje fönster har en genomsnittlig läckfaktor beräknats som medelvärdet av de 6 mätningarna per fönster.

Vid mätningarna observerades eventuellt läckage mellan karm och båge med hjälp av rökspridning utifrån.

En utvändig tätning med fogmassa ger ett bra skydd mot vatteninträning på grund av slagregn. Samtidigt minskar emellertid möjligheten till uttorkning utåt av den fukt som av olika anledningar trots allt tar sig in i karmträet. Påstående framförs därför ofta att en utvändig fogtätning absolut ej får ske med ett diffusionstätt material, t ex fogmassa.

Av denna anledning utfördes dessutom regelbundet (ca 4 gånger per år) mätningar av temperatur och fukttinnehållet i fönsterkarmarna av trä. Fuktmätningarna utfördes med resistiv metod på inslagna metallstift. Med hjälp av dessa stift kunde fuktkvoten i träet bestämmas i en punkt ca 5 mm från karmarnas utsida. Mätningar utfördes både i fönstrens ovan- och nederkant.

4. RESULTAT

I tabell 4.1 redovisas genomsnittlig läckfaktor uppmätt 1985 och 1988 för de olika tätningssystemen och fönstertyperna.

TABELL 4.1 Uppmätta läckfaktorer 1985 och 1988

Tätningssystem	Fönstertyp	Väderstreck	Litt nr	Läckfaktor (m/h)	
				juni 1985	okt 1988
1	Träfönster	S	17	2.6	2.8
1	PVC-fönster	N	21	3.0	2.5
2	"	S	1	12.0	12.9
2	Träfönster	N	15	19.6	20.0
3	"	S	2	8.4	9.3
3	"	Ø	8	7.2	6.1
4	"	N	22	2.2	2.2
5	"	S	3	17.5	17.5
5	"	N	12	36.4	16.6
5	Ytterbåge av aluminium	N	23	5.0	4.1
6	Träfönster	S	4	18.0	15.8
6	"	N	10	11.9	11.7
6	"	N	13	18.4	33.3
6	"	V	16	29.1	29.0
6	Ytterbåge av aluminium	S	19	9.4	8.6
7	Träfönster	N	9	3.3	3.3
7	"	S	18	2.8	3.6
8	"	S	5	2.3	2.6
8	"	N	14	19.7	20.0
8	"	Ø	20	20.0	20.8
9	"	S	6	3.7	3.7
10	"	S	7	3.8	4.1
10	"	N	11	3.1	4.8

Av tabellen framgår att läckfaktorns värde har undergått mycket måttliga förändringar under tiden 85-88. De båda största förändringarna gäller litt nr 12 och 13. För nr 12 gäller att faktorn har minskat från 36.4 till 16.6 m/h, dvs fönsterkonstruktionen inkl fog har blivit tätare! En del av läckaget sker via tätningen mellan karm och båge. Denna tätningseffektivitet kan på grund av fuktrörelser i träet variera med årstiden. Det är sannolikt så att tätningen mellan karm och båge har blivit bättre medan fogen mellan karm och vägg fortfarande uppvisar ett stort läckage.

Litt nr 13 uppvisar den största försämringen. Tätningen består här av en drevningslist av EPDM-gummi, som på grund av spänningsrelaxation har förlorat en del av sin tätande förmåga.

I övrigt har inga större förändringar skett hos läckfaktorn under den studerade mätperioden. I huvudsak ger tätning med polyuretanskum eller fogmassa en god tätning med bra beständighet under förutsättning att fogbredden är tillräcklig, minst ca 12 mm.

Mätningarna av fuktkvoter har visat att det inte föreligger någon risk för höga fukttillstånd i karmträet om fogning har skett med fogskum eller fogmassa både in- och utvändigt. Den högsta uppmätta fuktkvoten är 16 %. Detta värde erhöles där fogen tätats med drevningslistan av EPDM-gummi. I övrigt ligger uppmätta värden väsentligt lägre.

5. SAMMANFATTNING

Tätning med hjälp av polyuretanskum eller fogmassa ger i allmänhet ett lågt värde på den uppmätta läckfaktorn både initieilt och efter ca 3.5 år. Detta under förutsättning att fogbredden görs tillräckligt stor, minst ca 12 mm. Andra typer av tätningmaterial som kläms in i fogen, t ex list av EPDM-gummi eller mineralull i plastfolie, ger väsentligt sämre täthet.

Inga skadliga nivåer på fuktkvoter har uppmätts i karmträet, oavsett typ av tätningmaterial i fogarna mellan fönsterkarm och vägg.

LIM OCH FIKTIVA SPRICKOR. INVERKAN AV FOG-TJOCKLEK.



Per Johan Gustafsson, Lunds Tekniska Högskola

1. INLEDNING

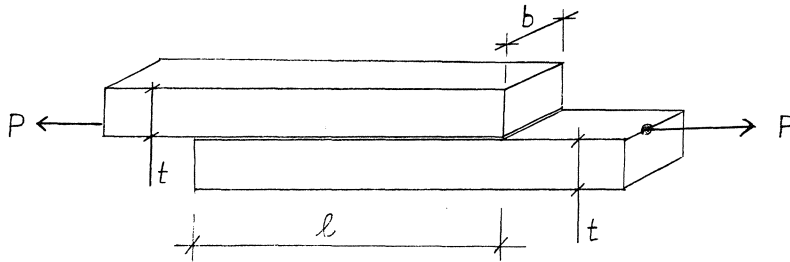
Lim användes bland annat för att injektera sprickor. En "fiktiv spricka" är ett teoretiskt begrepp, men helt omöjligt skulle det väl inte vara att injektera, eller impregnera, även den typ av skadeområde i material som en fiktiv spricka representerar vid teoretisk analys. Åtminstone inte om det gäller ett material som t.ex. fiberarmerad betong. Här skall emellertid något annat diskuteras, nämligen den omvända möjligheten, den att behandla lim med "fiktiva sprickor".

Under nyliga år har vid avdelningen för Byggnadsmekanik, LTH, ett par uppsatser som behandlar beräkning av bärförmåga hos limförband med fogen i renodlad skjuvning presenterats. Av dessa uppsatser, (Ottosen och Olsson, 1988 (manuskript 1986)) och (Gustafsson, 1987), är åtminstone den sistnämnda till stor del inspirerad av tankegångar hämtade från "modellen för fiktiva sprickor", FCM. Emellertid utgör ingen av nämnda studier en konsekvent tillämpning av FCM. Här skall sådan mera konsekvent tillämpning kort diskuteras. Diskussionen ger några kvalitativa slutsatser om hur - enligt en FCM-analys - fogtjocklek påverkar ett limförbands bärförmåga.

2. STUDERAT FÖRBAND

Ett enkelt överlappsförband utsatt för centrisk dragbelastning enligt Figur 1 studeras. Utöver val av belastningstyp göres följande antaganden:

- * Limstyckena antages ha konstant och lika tvärsnitt och de antages vara linjärt elastiska med normalstyvheten E_{bt} , med tvärkontraktionstalet noll och med i princip oändlig böjstyvhet och skjuvstyvhet.



Figur 1. Geometri och belastning.

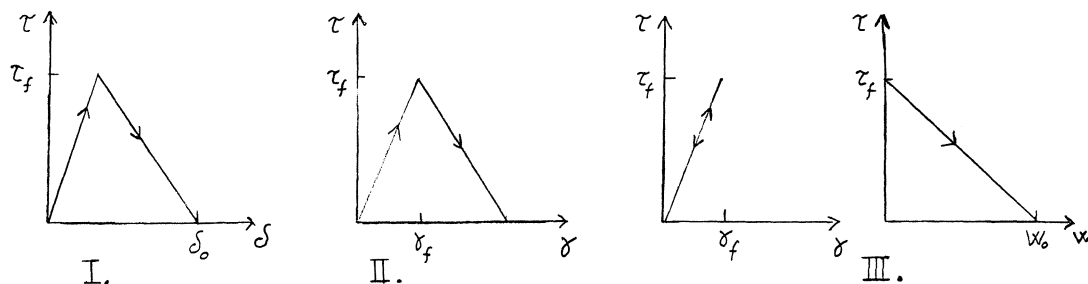
- * Fogens tjocklek antages vara noll vid uppställning av jämviktsekvationer.
- * I fogen antages av möjliga spännings-, töjnings- och deformationskomponenter enbart skjuvning i förbandets plan uppträda.
- * Fogens mekaniska egenskaper beskrives med tre olika metoder enligt nedan.

Krav för att dessa beräkningstekniskt förenklande villkor skall vara approximativt uppfyllda har kort diskuterats i (Gustafsson, 1987). En lång rad förbandstyper är mekaniskt analoga med det enkla överlappsförbandet: enkla och dubbla överlappsförband utsatta för andra belastningstyper (som ger andra randvillkor), överlappande skivor utsatta för skjuvbelastning istället för dragning och överlappande rör i vridning eller dragning. Förband med olika konstanta tvärsnitt hos de två limparterna kan hanteras på i princip samma sätt, dock blir då beräkningsuttrycken längre.

3. FOGENS EGENSKAPER

Tre sätt att beskriva fogens lokala skjuvegenskaper diskuteras: I, II och III. Metod II, som tillämpas i (Ottosen och Olsson, 1988), och metod III, som utgör det aktuella försöket att tillämpa FCM, innehåller antaganden om inverkan av fogens tjocklek på dess lokala belastningsrespons och ger därmed möjlighet till motsvarande förutsägelser om inverkan av fogtjockleken på förbandets bärförmåga.

Metod I, som tillämpas i (Gustafsson, 1987), är mera generell i den bemärkelsen att den inte förutsätter något visst samband mellan fogens tjocklek och dess belastningsrespons, och att den därmed heller inte ger någon viss förutsägelse om hur fogtjockleken påverkar ett förbands bärförmåga.



Figur 2. Tre olika metoder att ange en fogs lokala skjuvegenskaper, här illustrerade med enkla linjäriserade kurvor.

Metod I: $\delta = \delta$, $\tau(\delta)$ enligt provning.

Metod II: $\delta = s\gamma$, $\tau(\gamma)$ enligt provning.

Metod III: $\delta = s\gamma$ före $\delta = s\gamma_f$, $\delta = s\gamma + w$ efter $\delta = s\gamma_f$, $\tau(\gamma)$ och $\tau(w)$ enligt provning.

3.1 Metod I: relativ rörelse över fogen

I denna metod beskrivs fogens lokala skjuvegenskaper genom skjuvspänning vs relativ skjuvrörelse över fogen, $\tau(\delta)$, se Figur 2. Vid beräkning av förband enligt I utgår man således från grundinformation om fogens egenskaper i form av dess $\tau(\delta)$ -kurva. Denna kurva kan bero på en rad parametrar, utöver limtyp och härdningstid etc, även på fogens tjocklek, fogytornas egenskaper och de lokala härdningsbetingelserna för aktuellt lim när det befinner sig i kontakt med aktuellt material i limstyckena.

Vid beräkning av förband enligt metod I - och även inför diskussion av metoderna II och III - är det ändamålsenligt att definiera fogens $\tau(\delta)$ -kurva via två parametrar, brottspänningen τ_f och fogens brottenergi G_f , samt $\tau(\delta)$ -kurvans form angiven dimensionslöst via en formfunktion g :

$$G_f = \int_0^{\delta_0} \tau(\delta) d\delta \quad (1)$$

$$\tau/\tau_f = g(\delta/(G_f/\tau_f)) \quad (2)$$

3.2 Metod II: konstant tøjning

I metod II ges fogens egenskaper via beskrivning av limmets egenskaper, angivna genom skjuvspänning vs skjuvtøjning, $\tau(\gamma)$, se Figur 2. För att få fogens egenskaper antages därutöver att skjuvtøjningen är konstant över fogens tjocklek. Detta betyder att den relativa skjuvrörelsen över fogen, δ , är lika med $s\gamma$, där s betecknar fogens tjocklek. Jämfört med I, se Figur 2 och ekv (1) och (2), antages således att brottenergin, G_f , är proportionell mot fogtjockleken, s , och vidare att fogens styrka, τ_f , är oberoende av s och att även $\tau(\delta)$ -kurvans form, g , är oberoende av s .

3.3 Metod III: FCM

I metod III tänker vi oss att skjuvtøjningen i limmet, γ , är konstant i fogens tjockleksriktning så länge som $\delta < \delta_f$, där $\delta_f = s\gamma_f$ är den skjuvrörelse som svarar mot att $\tau = \tau_f$ och att $\gamma = \gamma_f$, se Figur 2. När $\delta = \delta_f$ antages tøjningslokalisering börja ske till ett i princip oändligt tunnt brottskikt. Vid ökande skjuvrörelse, $\delta > \delta_f$, uppträder ökande koncentrerad skjuvrörelse över detta tunna brottskikt under det att skjuvspänningen, τ , minskar gradvis. Härvid sker avlastning i den del av fogen som ligger utanför det i princip oändligt tunna brottskiktet: såväl spänningen, τ , som tøjningen, γ , minskar. För att med utgångspunkt från denna beskrivning av fogbeteendets kinematik kunna definiera fogens skjuvegenskaper, dvs dess $\tau(\delta)$ -kurva, krävs två materialsamband, dels τ vs γ för limmet vid på- och avlastning inom tøjningsområdet $0 \leq \gamma \leq \gamma_f$, dels skjuvspänningen, τ , vs den koncentrerade skjuvrörelsen, w , i det tunna brottskiktet. Med τ vs γ och τ vs w bestämda genom provning eller på annat sätt fås att den totala skjuvrörelsen över fogen, δ , som funktion av τ är:

$$\delta = \begin{cases} s\gamma_p(\tau) & \text{när } \delta \leq \delta_f = s\gamma_f \\ s\gamma_a(\tau) + w(\tau) & \text{när } \delta \geq \delta_f = s\gamma_f \end{cases} \quad (3)$$

där indexen p och a står för pålastning ($\Delta\tau > 0$) respektive avlastning ($\Delta\tau < 0$).

Om vi kan förutsätta att fogen inte har samma egenskaper som en evighetsmaskin innebär III vid jämförelse med I att G_f är konstant eller ökar vid ökad fogtjocklek, s , och att τ_f är oberoende av s . Om av- och pålastningskurvorna, $\gamma_p(\tau)$ och $\gamma_a(\tau)$, sammanfaller, vilket de gör om limmet är linjärt eller olinjärt elastiskt, fås att G_f är konstant, dvs oberoende av s , och lika med ytan under $\tau(\delta)$ -kurvan. Denna yta blir då också lika stor som ytan under $\tau(w)$ -kurvan. Metod II gav att G_f är proportionell mot fogtjockleken, s .

Med hjälp av ekv (3) kan också konstateras att ökad fogtjocklek innebär minskad lutning hos $\tau(\delta)$ -kurvans uppåtgående del och ökad lutning hos samma kurvas nedåtgående del. III förutsäger således, till skillnad mot II, att $\tau(\delta)$ -kurvans form, g , ändras vid ändrad fogtjocklek.

3.4 Lokal instabilitet

I den förda diskussionen har det genomgående antagits att skjuvspänningen, τ , varierar kontinuerligt med skjuvrörelsen, δ , och att det således inte uppstår någon plötslig lokal kollaps inom fogen vid ökande δ , t.ex när $\tau = \tau_f$. Att limfogar kan uppvisa ett gradvis minskande τ när $\delta > \delta_f$ framgår av resultat erhållna vid provning av några olika fogar, se (Wernersson och Gustafsson, 1987). Emellertid har det inte undersökts experimentellt hur fogtjockleken påverkar möjligheten att registrera ett gradvis brottmjuknande.

Enligt metod II påverkas inte $\tau(\delta)$ -kurvans form av fogens tjocklek. Enligt denna metod förändras därför inte risken för lokal instabilitet inom fogen vid förändring av fogtjocklek.

Av större intresse kan det vara att något diskutera vad metod III och ekv (3) förutsäger. Om, för förenklingens skull, antages att $\tau(\gamma)$ - och $\tau(w)$ -kurvorna består av räta linjer fås att om $s\gamma_f > w_0$ - för beteckningen w_0 , se Figur 2 - kommer τ att sjunka momentant till noll när $\tau = \tau_f$ och $\gamma = \gamma_f$. Detta betyder att instabilitet kommer att uppstå inom fogskiktet när $\tau = \tau_f$ om $s > w_0/\gamma_f$, dvs om $s > 2G_f/(\tau_f\gamma_f)$. För studerad förbandstyp och om räta $\tau(\gamma)$ - och $\tau(w)$ -kurvor inne-

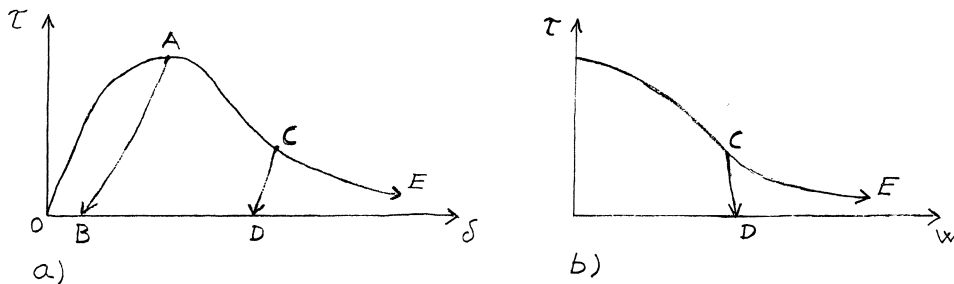
bär sådan fogtjocklek att förbandets bärförmåga är uttömd när $\tau = \tau_f$ vid förbandets ändar, där spänningen är störst. Räkna enbart till tillfället när $\tau = \tau_f$ har emellertid fogen tillförts mer energi än motsvarande G_f . Vid beräkning av ett förbands bärförmåga kan det därför vara befogat att utgå från en effektiv brottenergi enligt:

$$G_{f,eff} = \begin{cases} G_f & \text{för } s \leq 2G_f/(\tau_f \gamma_f) \\ (1/2)s\tau_f \gamma_f & \text{för } s \geq 2G_f/(\tau_f \gamma_f) \end{cases} \quad (4)$$

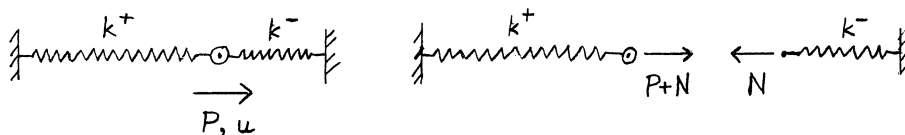
För olinjära $\tau(\gamma)$ och $\tau(w)$ och för $\tau_p(\gamma) \neq \tau_a(\gamma)$ ser motsvarigheten till ekv (4) annorlunda ut än i ekv (4) och det är då heller inte säkert att lokal instabilitet i en del av fogen innebär att hela förbandet kollapsar.

3.5 Ett särskilt förlopp vid avlastning

Den förda diskussionen har avsett fogens respons vid monotont ökande δ , dvs $\Delta\delta > 0$. För fallet avlastning av typen $\Delta\delta < 0$ visas i Figur 3 a) ett par exempel på möjliga (?) förlopp. Kurvan OACE avser monotont ökande δ medan kurvorna OAB och OACD avser pålastning följt av avlastning. Man kan i Figur 3 a) observera att kurvan CD är något brantare än kurvan AB. Ett material för vilket kurvan CD är något brantare än kurvan AB är väl inte helt orimligt? Kanske kan man tänka sig något polymermaterial i vilket molekylerna under förloppet från A till C på något sätt sträcker ut sig och därmed ändrar sina egenskaper.



Figur 3. Avlastning av typen $\Delta\delta < 0$.



Figur 4. Fjädermodell.

Med beskrivning enligt metod III är w lika med skillnaden i δ mellan kurva AB och total relativ förskjutning, δ . Om då, som i Figur 3 a), avlastningskurvan CD är brantare än avlastningskurvan AB blir $\Delta w > 0$ även när $\Delta \delta < 0$, se Figur 3 b). För att undersöka följd av detta tänker vi oss att tangentstyvheten hos fogdelen utanför brottskiktet kan beskrivas med en fjäder vars styvhet är k^+ , motsvarande kurvan AB, och att en fjäder med styvheten k^- beskriver tangentstyvheten i brottskiktet, motsvarande kurvan CD. Vi har då att

$$\begin{cases} k^+ > 0 \\ k^- < 0 \\ |k^-| > |k^+| \end{cases} \quad (5)$$

och i Figur 4 visas fjädermodellen av fogen. För att studera stabilitet inom fogen placeras en yttre störfkraft, P , i kontaktskiktet, eller noden, mellan de två fogdelarna. Med N lika med den tilläggsnormalkraft som uppkommer mellan nodpunkten och k^- -fjädern på grund av kraften P , fås att nodförskjutningen, u , som P ger upphov till blir:

$$\begin{cases} u = (P+N)/k^+ \\ u = (-N)/k^- \end{cases} \quad (6)$$

som efter hyfsning ger

$$Pu = (N/k^-)^2 (k^- + k^+) \quad (7)$$

Pu är ett mått på den energi som krävs för att rubba tillståndet i fogen och om $Pu < 0$ är fogen i ett instabilt tillstånd som genom ett dynamiskt förlopp omedelbart kommer att ändras utan att någon yttre påverkan krävs. För aktuellt fall framgår av ekv (5) och (7) att $Pu < 0$. Detta betyder att avlastningen, $\Delta \delta < 0$, ger upphov till

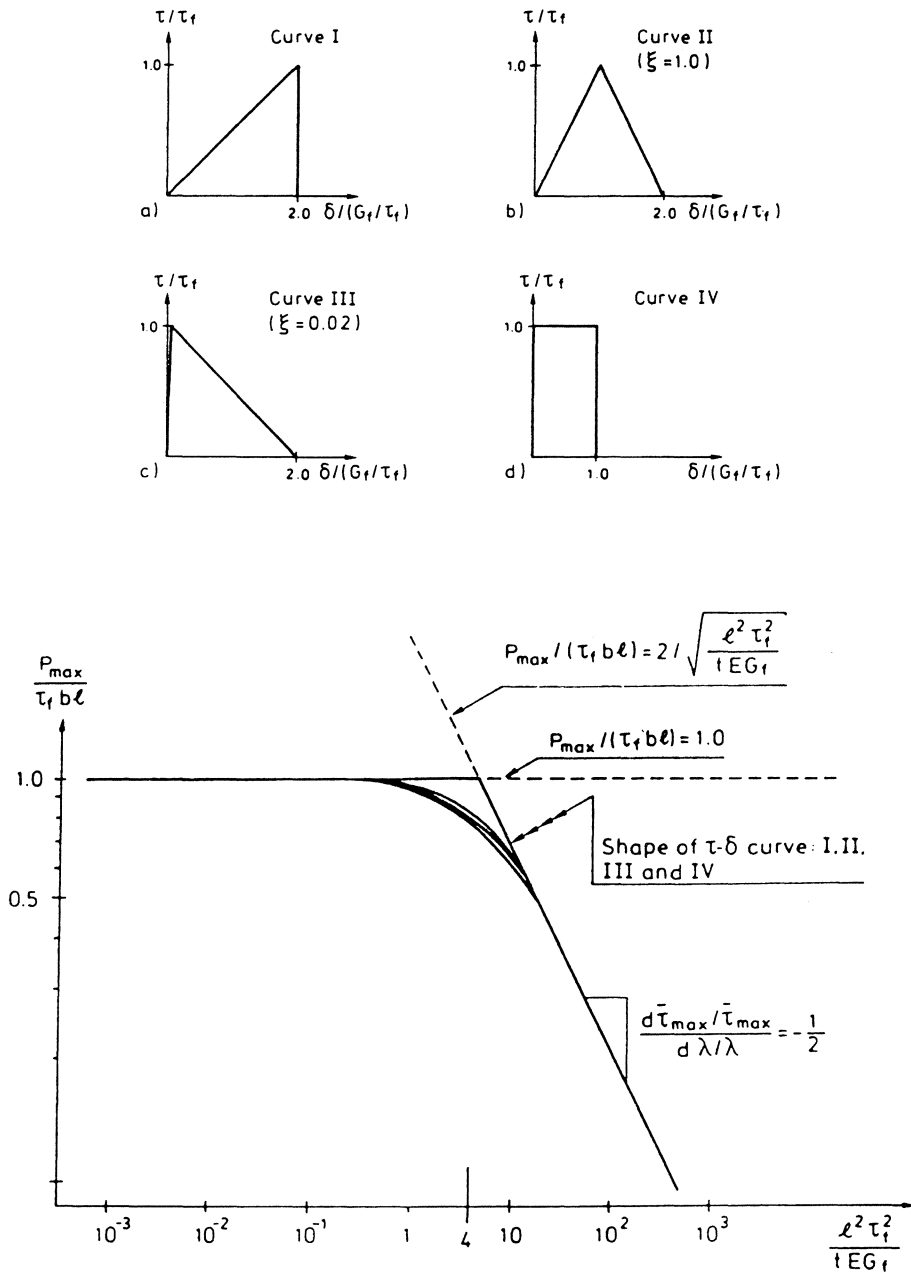
momentan inre kollaps i fogen.

Inte helt osökt ger detta tillfälle att något berätta om ett provningsresultat som författaren erfor vid ett tillfälle under sin anställningstid på avdelningen för Byggnadsmateriallära, LTH. En preliminärprovning av ett nytt material, en "plastbetong", skulle göras inför en eventuell och något större uppdragsprovning. Materialet påminde till sitt yttre om porslin eller kakel. Några små balkar försedda med en brottanvisning, en skåra, böjprovades. Den första provkroppen klarade något högre belastning än förväntat, varför det blev aktuellt att koppla om kraftgivarens mätområde. Detta påkallade avlastning av provkroppen: provningsmaskinen stannades och fick väl stå still under en halv minut eller så under det att skrivaren registrerade stillastående belastningskolv och sakta sjunkande last, det senare med all sannolikhet orsakat av relaxation/krypning i materialet. Praktiskt taget omedelbart efter påföljande backkörning av kolven brast balken, till synes helt sprött! Var det en slump att den brast just när avlastning påbörjades? Nästa balk belastades upp till samma lastnivå varefter kolvrörelsen snabbt kopplades om till backkörning. Balken brast omedelbart! Ett antal förklaringar kan tänkas, men ingen av tillgängliga är självklart riktig. Den tredje av böjprovkroppar som stod till förfogande kunde inte användas för "lek". Den provades därför under monotont ökande nedböjning och uppvisade därvid inte något oväntat eller anmärkningsvärt beteende. Kan kanske det "misslyckade" (=oväntade=lyckade!?) provningsresultatet som erhöles vid avlastning återspegla vad som ovan diskuterats teoretiskt i samband med limfogar?

4. FÖRBANDETS BÄRFÖRMÅGA

Med utgångspunkt från beskrivningsmetod I visas i Figur 5 normaliserad brottlast, $P_{\max}/(bl\tau_f)$, som funktion av en dimensionslös kvot, $(l^2\tau_f^2)/(tEG_f)$, som kan betraktas som ett slags sprödhetstal för förbandet. I diagrammet i Figur 5 kan tre områden urskiljas: vid låga sprödhetstal är $P_{\max} \sim \tau_f$, svarande mot plastiskt beteende, vid höga sprödhetstal är $P_{\max} \sim \sqrt{G_f}$, svarande mot sprött beteende, och i mellanområdet beror P_{\max} av både τ_f och G_f och även av $\tau(\delta)$ -kurvans form, g .

För metod II, enligt vilken G_f blir proportionell mot fogtjockleken,



Figur 5. Teoretisk bärförmåga $P_{\max}/(\tau_f b l)$ hos ett överlapps-förband i renodlad skjuvning vid olika form, g , på normaliserad $\tau(\delta)$ -kurva och som funktion av $\ell^2 \tau_f^2 / (t E G_f)$. Från (Gustafsson, 1987).

fås att för spröda förband ökar bärförmågan väsentligt med ökad fogtjocklek. Även i mellanområdet fås någon positiv inverkan av ökad fogtjocklek, medan de sega förbanden inte påverkas av ändring i fogtjocklek.

För metod III fås - om inte fogen är så tjock att inre instabilitet enligt diskussionen i avsnitt 3.4 gör sig gällande - att fogtjockleken inte påverkar de mycket spröda och de mycket sega förbandens bärförmåga. I mellanområdet fås, åtminstone vid bi-linjär form hos $\tau(\delta)$ -kurvan och genom fogtjocklekens inverkan på $\tau(\delta)$ -kurvans form, att ökad fogtjocklek ger något minskad bärförmåga hos förbandet. Om fogen, förutsatt bi-linjär form hos $\tau(\delta)$ -kurvan, är tjockare än $2G_f/(\tau_f \gamma_f)$ kommer för de spröda förbanden ökad fogtjocklek att innebära väsentligt ökad bärförmåga: $P_{\max} \sim \sqrt{s}$, se ekv (4).

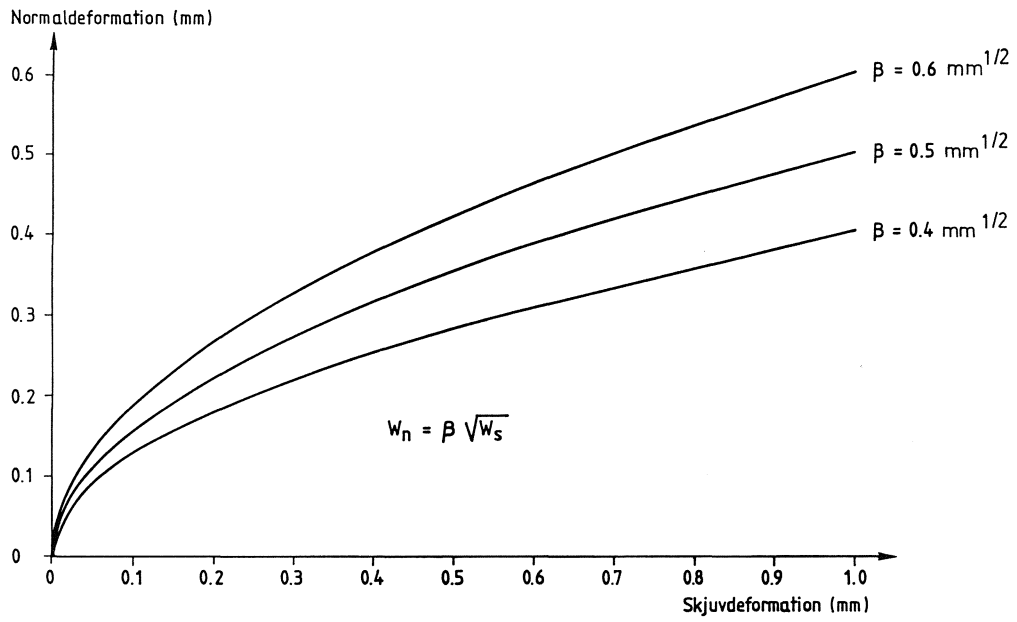
5. AVSLUTANDE KOMMENTAR

Ger metod III, den aktuella tolkningen av FCM för analys av renodlad skjuvning i limfogar, en riktig beskrivning av inverkan av fogtjocklek? Ja, det måste nog betraktas som osäkert. En spridd uppfattning, baserad på provningar, är att τ_f oftast, i väsentlig grad och i negativ riktning, påverkas av ökad fogtjocklek. Detta står i strid med vad som i den aktuella diskussionen antagits för metoderna II och III. Trots detta kan nog både metoden II och III vara av betydande värde i en del situationer. Metoden III är okonventionell och ger en intressant och kanske ny tankemodell för fogbeteendets kinematik.

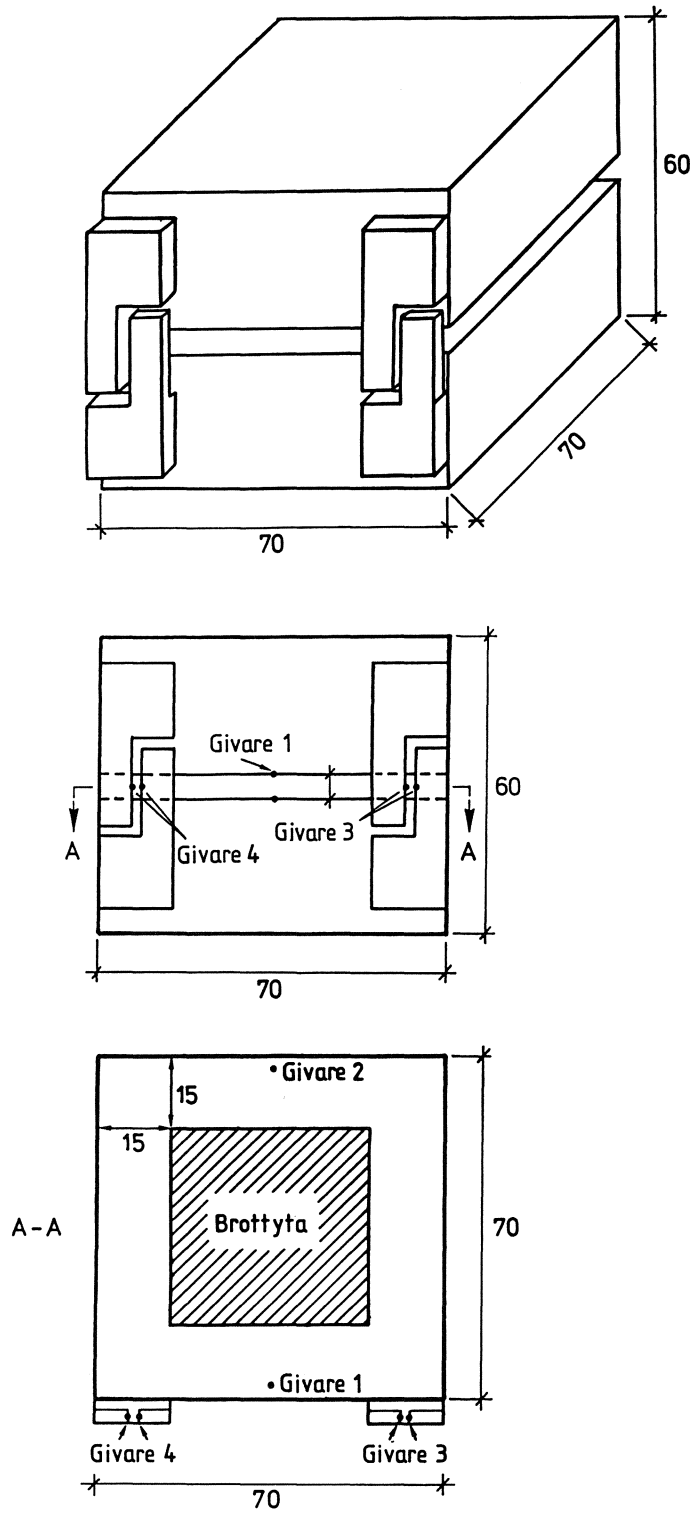
6. LITTERATURHÄNVISNINGAR

Gustafsson, P.J. (1987) Analysis of Generalized Volkersen-Joints in Terms of Non-linear Fracture Mechanics, sid 323-338 i "Mechanical Behaviour of Adhesive Joints", Proc. of the European Mechanics Colloquium 227, France 1987, ed. av G. Verchery och A.H. Cardon.

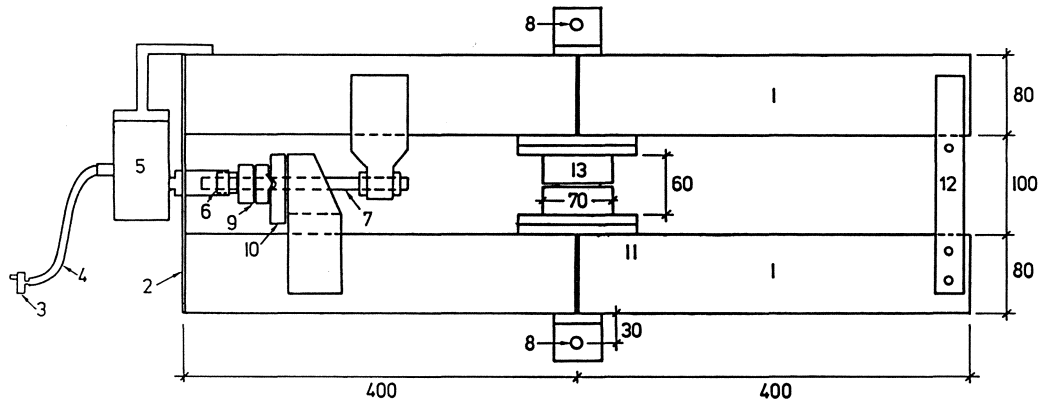
Ottosen, N.S., och Olsson, K.-G. (1988) Hardening/Softening Plastic Analysis of Adhesive Joint, J. of Engineering Mechanics, Vol. 114, No. 1, sid 97-116.



Figur 4a. Olika deformationsvägar

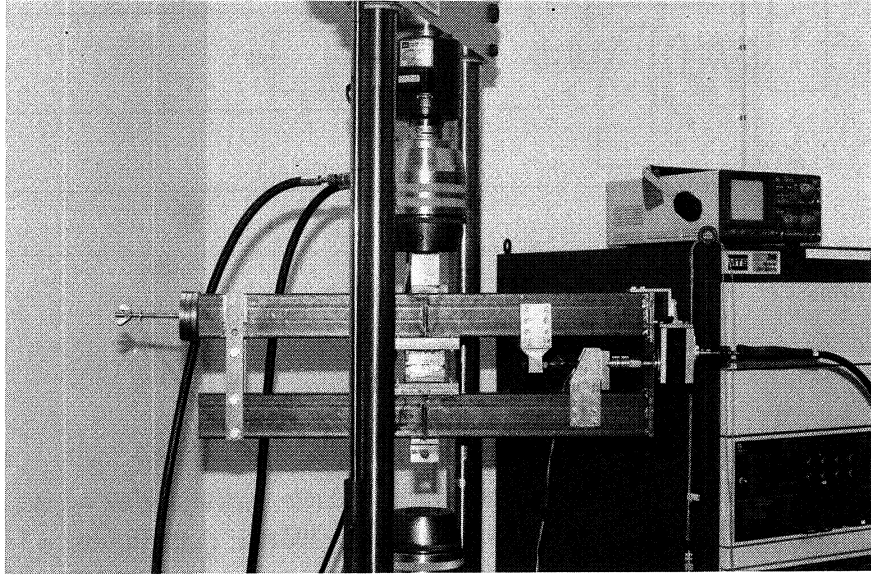


Figur 3. Provkropsgeometri och mätningspunkter, i mm.



- 1 – Lådbalk (höjd = 80 mm, bredd = 40 mm, godstjocklek = 3 mm)
- 2 – Stålblåt (höjd = 260 mm, bredd = 100 mm, godstjocklek = 1 mm)
- 3 – Vev
- 4 – Böjlig axel
- 5 – Växellåda
- 6 – Mutter
- 7 – Stång
- 8 – Infästning till provningsmaskin
- 9 – Rullupplag
- 10 – Friktionsfritt upplag
- 11 – Stålblattor
- 12 – Lås
- 13 – Provkropp

Figur 2. Provningsutrustning.



Figur 1. Provningsanordning.

Proven utförs i deformationskontroll. Normaldeformationerna styrs av provningsmaskinen och skjuvdeformationerna styrs manuellt genom att vrida veven. Här finns möjlighet att anpassa skjuvdeformationerna så att man erhåller ett bestämd relation mellan normal- och skjuvdeformationerna.

Belastningen i normalriktningen bestäms med hjälp provningsmaskinens lastcell och skjuvlasten bestäms med hjälp av trådtöjningsgivare monterade på stängen.

III- PROVNINGAR

Den presenterade utrustningen är utvecklad för att bestämma egenskaperna hos en brottzon under påverkan av kombinerad normal och skjuvspänning. I ett isotropt material som betong utvecklas, enligt den fiktiva sprickmodellen, en brottzon vinkelrätt mot huvud dragspänningsriktningen när denna spänning uppnår materialets draghållfasthet. Därefter uppkommer skjuvspänningar under förutsättning att riktningen hos huvuddragspänningen förändras. D provningar som har utförts uppfyller de ovannämnda förutsättningarna. Proven har utförts på följande sätt:

Provkroppen deformerades först i normalriktningen för att uppnå dess draghållfasthet. Därefter infördes skjuvdeformationer på sådant sätt att relationen mellan deformationerna uppfyllde en förutbestämd funktion eller deformationsväg.

Svårigheten vid dessa försök har varit att ta fram sådana deformationsvägar som beskriver brottet hos en verklig konstruktion. Dessa deformationsvägar är för närvarande okända, men enligt vår bedömning tycks en parabel vara en rimlig deformationsväg.

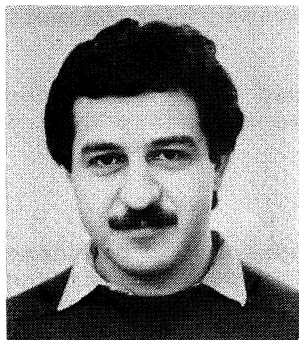
I figur 4 redovisas resultatet från några försök som är utförda med parabelformade deformationsvägar. Olika typer av parablar har använts, se figur 4a.

IV- FRAMTIDA ARBETEN

Utvecklingen av utrustningen är en del av det pågående projektet. De arbete som i fortsättningen kommer att utföras sammanfattas enligt nedan:

- framtagning av lämpligt sätt att uttrycka normal- och skjuvspänningar i en brottzon som funktion av deformationerna, med utgångspunkt från utförda försök
- bestämning av lämpliga deformationsvägar
- tillämpningsberäkningar med hjälp av erhållna resultat

FIKTIVA SPRICKMODELLEN I
BLANDAT MODUS I OCH II



Manouchehr Hassanzadeh

I-INLEDNING

Första gången som den fiktiva sprickmodellen publicerades i en internationell tidsskrift var 1976 i Magazine of Cement and Concrete Research. Redan då tog man upp tanken om att analysera skjuvbrottets mekanik med hjälp av den fiktiva sprickmodellen. 1979 studerade Matz Modeer genomstansningsbrottet av en betongplatta med hjälp av den fiktiva sprickmodellen. Per Johan Gustafsson presenterade 1985 brottmekaniska studier rörande skjuvbrottet hos enkelt armerade balkar. I dessa studier utgick man väsentligen från att skjuvbrott i plattor och balkar orsakas av dragbrott i betongen. Resultaten från dessa studier visar att den fiktiva sprickmodellen även är tillämpbar när det gäller modellering av skjuvbrott i balkar och plattor.

I 1984 startades projektet "Tillämpning av brottmekanik på betong". I projektet ingick bland annat utveckling av en provningsmetod med vars hjälp man skulle kunna bestämma egenskaperna hos en brottzon under påverkan av kombinerad normal- och skjuvspänning. Detta spänningstillstånd kan uppstå om en delvis utvecklade dragbrottszon utsättes för skjuvning. Den inom projektet utvecklade provningsmetoden kommer att kort beskrivas nedan. Även en del provningsresultat visas.

II- PROVNINGSANORDNING

Provningsanordningen består av två enheter, se figur 1. Enheterna utgörs av en "Closed loop" provningsmaskin och en tilläggsutrustning som fästs in i provningsmaskinen. Detaljerna hos tilläggsutrustningen framgår av figur 2.

Provkroppen utgörs av skårade prismor som limmas fast i utrustningen, se figur 2. Två par givare (clip gauge) monteras på provkroppen för att bestämma normal- respektive skjuvdeformationerna, se figur 3. Normaldeformationen är medelvärdet av givarna 1 och 2, samt skjuvdeformationen är medelvärdet av givarna 3 och 4.

Closed loop maskinen inför normaldeformationerna genom att dra den nedre balken. Däremot åstadkoms skjuvdeformationerna manuellt genom att vrida en vev. Vevens rotation överförs via en böjlig axel och en växellåda till en mutter som är monterad på en gängad stång. Muttern trycker den nedre balken framåt samtidigt som stången blir dragen och drar den övre balken. På grund av att balkarna är ledat infästade i closed loop maskinen kommer de att rotera kring deras infästningspunkter. Detta medför att provkroppens övre och nedre delar förskjuts i förhållande till varandra och detta ger upphov till skjuvdeformationer.



Wernersson, H., och Gustafsson, P.J. (1987) The Complete Stress-Slip Curve of Wood-Adhesives in Pure Shear, sid 139-150 i "Mechanical Behaviour of Adhesive Joints", Proc. of the European Mechanics Colloquium 227, France 1987, ed. av G. Verchery och A.H. Cardon.

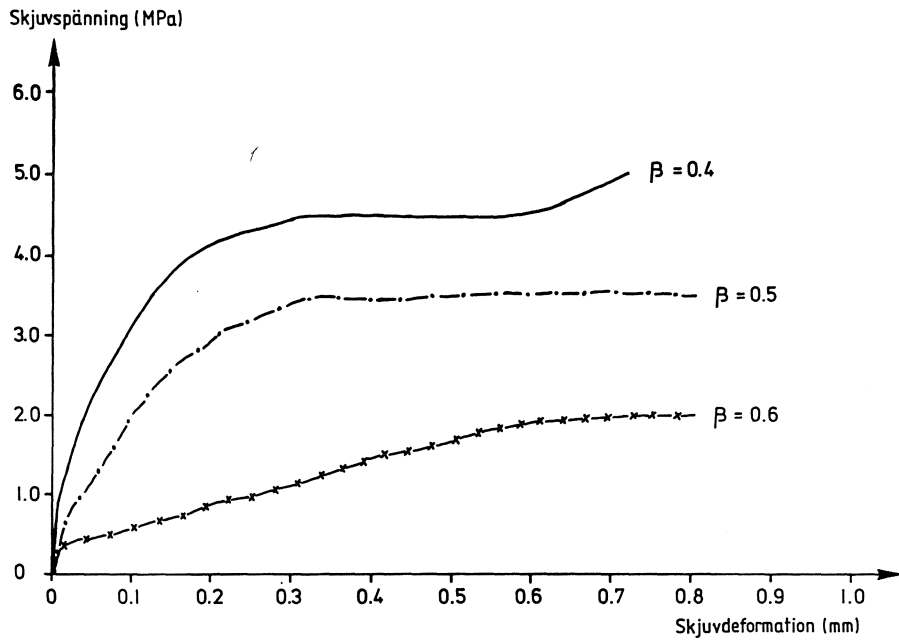
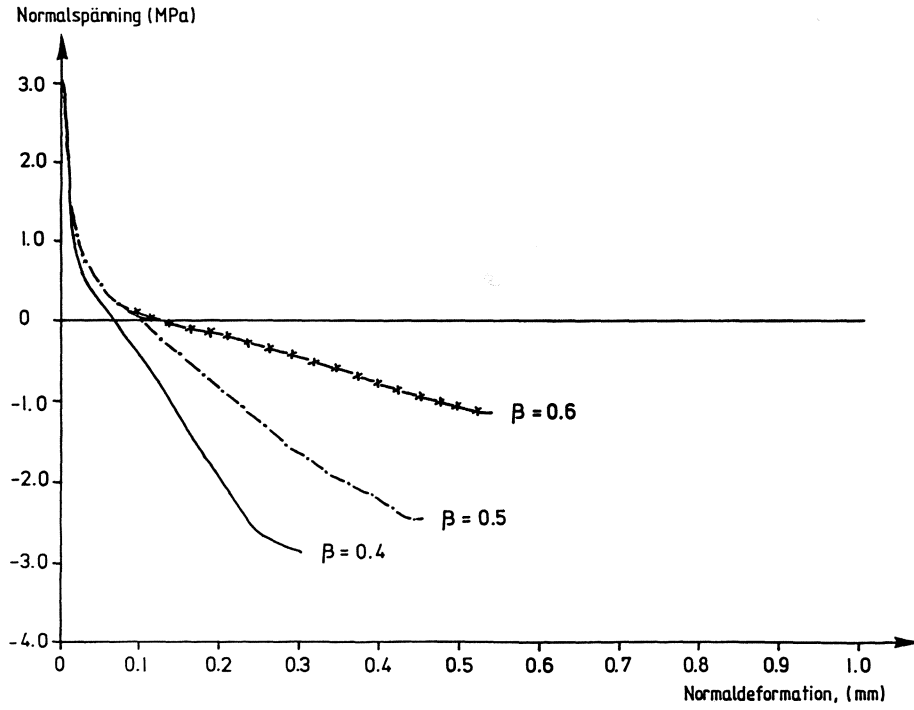
7. TILLÄGNAN

Denna uppsats tillägnas professor Arne Hillerborg, som pensioneras 1988.12.31 från sin tjänst som avdelningschef vid Avdelningen för Byggnadsmateriallära vid Lunds Tekniska Högskola.

Lund, 1988.12.19,

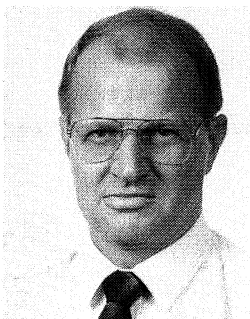
Per Johan Gustafsson

Per Johan Gustafsson



Figur 4b. Provningsresultat

PRELIMINÄR BESTÄMNING AV ÅNGGENOMSLÄPPLIGHETEN FÖR CEMENTBRUK VID HÖGA FUKTFÖRHÅLLANDEN



Göran Hedenblad
Forskningsassistent

SAMMANFATTNING

Med en metod som bygger på att man mäter ångflödet från en provkropp och samtidigt mäter relativa fuktighetens fördelning i provkroppen vid stationära förhållanden är det möjligt att beräkna ånggenomsläppligheten och att bestämma dess beroende av relativa fuktigheten.

1. FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING

Försöksuppställningen är visad i princip i FIG. 1. Ångflödet är endimensionellt och går från undersida till översida på provkroppen.

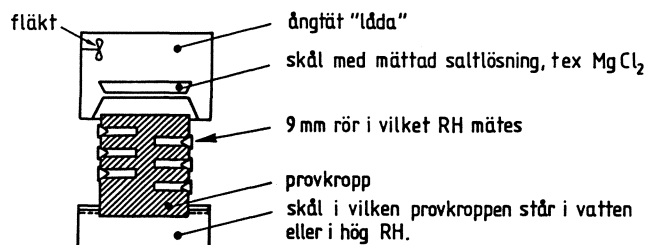


FIG. 1. Försöksuppställning

Den övre delen består av en ångtät låda i vilken relativa fuktigheten (ϕ) hålls konstant med hjälp av en mättad saltlösning i en skål. I vårt fall använder vi magnesiumklorid som har $\phi = 33\%$. Skålen med saltlösning väges regelbundet, varje vecka, för att erhålla fuktflödet från provkroppen. En fläkt cirkulerar luften inne i lådan. Provkroppens överyta exponeras mot luften inne i lådan.

Provkroppens sidoytor som exponeras mot luften i omgivande rum är täckta med 2 mm nästan ångtät epoxiplast. Provkroppens bottenyta står i vatten eller i luft med hög relativ fuktighet som åstadkommes med en vattenyta vilken är några centimeter under provkroppens bottenyta.

Rör med en diameter på ca 9 mm är ingjutna i sidorna på provkroppen. Rörens inre ändyta är öppen mot cementbruket så att ϕ i rören ställer sig i jämvikt med ϕ i cementbruket. Med början i det översta röret mätes ϕ successivt nedåt med en liten kapacitiv ϕ -givare. Givaren är på så sätt hela tiden på sin absorptionsisoterm och hysteresis undviks. ϕ -givaren kalibreras med mättade saltlösningar före och efter mätningen.

Provkropparnas bottenyta är 0.2x0.2 m. Provkropparnas höjder är 0.063, 0.100 och 0.150 m.

Resultaten som presenteras här är från provkroppar med 0.1 m höjd. Provkropparna är membranhärdade under minst en månad före provningen.

2. PROVADE MATERIAL

Cementbruk med vct 0.5, 0.6, 0.7 och 0.8 undersökes. Sammansättningen av cementbruken framgår i TABELL 1.

TABELL 1. Sammansättning av cementbruk

vct	Cement, C kg/m ³	Vatten, W _o kg/m ³	Sand/grus kg/m ³
0.5	421	210.5	1600
0.6	375	225.2	1600
0.7	339	237.0	1600
0.8	308	246.7	1600

Siktcurvan för ballasten visas i FIG. 2.

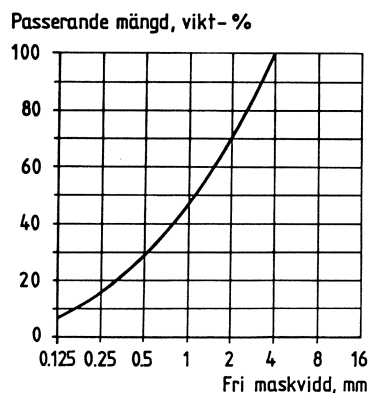


FIG. 2. Siktcurva för ballast

3. UTVÄRDERING AV ÅNGGENOMSLÄPPLIGHETEN

Enligt Fick's första lag kan vi skriva

$$g = -\delta_v \cdot \text{grad}v \quad (1)$$

g är fuktflödestätheten ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

δ_v är ånggenomsläpplighetskoefficienten ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

v är vattenånghalten i provkroppens porluft (kg m^{-3})

Då man inte har någon temperaturskillnad kan (1) skrivas

$$\delta_v = g/v_s/\text{grad}\phi \quad (2)$$

v_s är v vid vattenmättnad i porluften.

Under stationära förhållanden kan g och $\text{grad}\phi$ beräknas och δ_v kan mätas som funktion av ϕ .

Fuktködet från provkroppens överyta sker enligt FIG. 3. Fuktködet i FIG. 3 är inte korrigerat för inverkan av rören i provkroppen, tätningen mellan den övre lådan och provkroppen samt fuktködet genom epoxiplasten på provkroppens sidoytor.

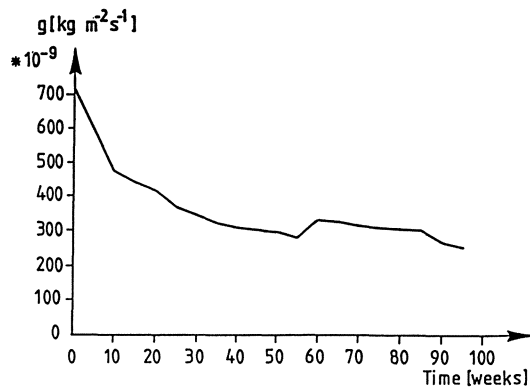


FIG. 3. Fuktködestäthet från en provkropp

Den principiella ϕ -fördelningen i en provkropp visas i FIG. 4. Grad ϕ tas fram grafiskt som lutningen hos ϕ -fördelningskurvan.

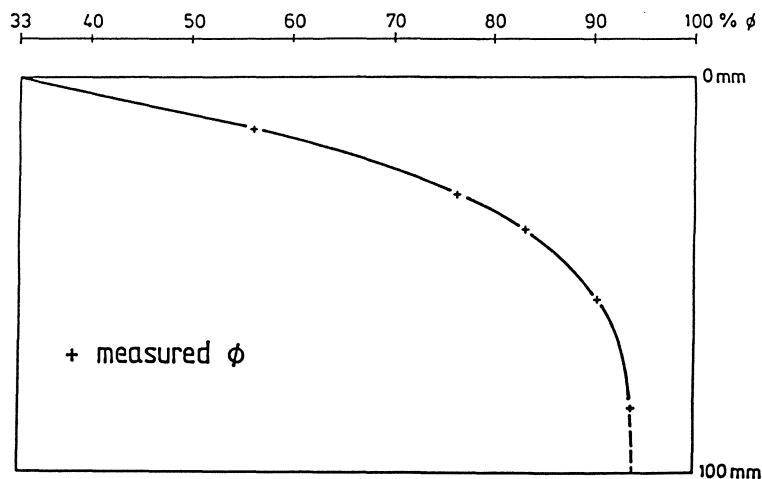


FIG. 4. Den principiella ϕ -fördelningen i en provkropp med 0.1 m höjd

4. NÅGRA RESULTAT

4.1. Flöden och ϕ -fördelningar

Flöden och ϕ -fördelningen från provkroppen med olika vct visas i FIG. 5. Provkroppens överyta har samma ϕ som det är i den övre lådan (33%).

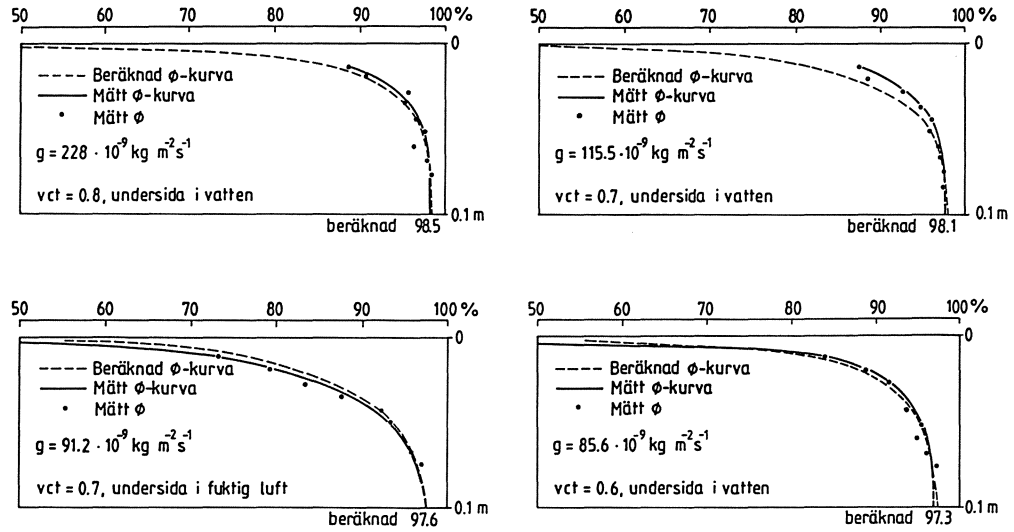


FIG. 5. Fördelningen av relativa fuktigheten i några provkroppar med 0.1 m höjd

4.2. Utvärderad ånggenomsläpplighet

Ånggenomsläppligheten utvärderas enligt ekvation (2) och redovisas i FIG. 6.

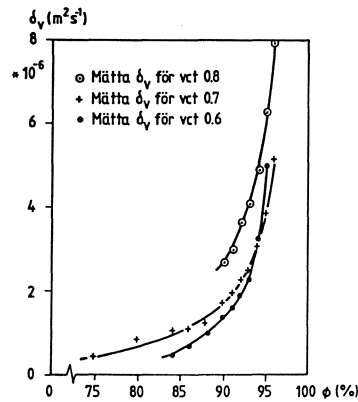


FIG. 6. Utvärderad ånggenomsläpplighet för cementbruk med olika vct

Till skillnad från betong verkar det som om cementbrukets vct har inverkan på ånggenomsläppligheten.

4.3. Ånggenomsläpplighet använd vid beräknade ϕ -fördelningen

De ånggenomsläppligheter som används vid de beräknade ϕ -fördelningarna i FIG. 5 redovisas i TABELL 2.

TABELL 2. δ_v som funktion av vct och ϕ .

ϕ	$\delta_v \cdot 10^6 \text{ (m}^2/\text{s)}$		
	vct 0.6	vct 0.7	vct 0.8
33-50	0.045	0.045	0.09
50-70	0.09	0.09	0.18
70	0.22	0.35	0.30
75	0.34	0.43	0.50
80	0.38	0.84	0.80
84	0.47	1.00	1.20
86	0.71	1.10	1.55
88	1.00	1.20	2.0
90	1.38	1.60	2.68
91	1.62	1.80	3.0
92	1.87	2.05	3.61
93	2.30	2.3	4.1
94	1.18	3.0	4.88
95	5.1	3.8	6.3
96	8	5.3	9.0
96.5	11	7.5	10
97.0	20	10.5	12
97.5	36	18.5	20
98.0	-	42	61
98.2	-	63	90
98.5	-	-	150

5. SLUTSATSER

De ovan redovisade resultaten är enbart preliminära, men det synes som om cementbrukets vct har inverkan på ånggenomsläppligheten. Det framgår klart att ånggenomsläppligheten beror på relativa fuktigheten i cementpastans porluft.

FUKT OCH MÖGELPROBLEM VID BETONGGOLV PÅ MARK - AV BRIST PÅ MATERIALKUNSKAPER



Lars-Olof Nilsson, professor
Avdelningen för byggnadsmaterial
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Synopsis

Problemkonstruktionen betongplatta på mark har, ibland med rätta, fått bära skulden för många av 1970- och 1980-talets "fukt- och mögelproblem". I artikeln göres en historieskrivning där de egentliga orsakerna identifieras. Ofta är det brist på kunskap om byggnadsmaterialens egenskaper som har utlöst nya typer av skador. Bristerna gäller dels fukttransportegenskaper och dels materialens kritiska fukt-tillstånd samt identifiering av egenskapsförändringarnas konsekvenser.

1. BAKGRUND

Artikelförfattaren har under perioden 1972-1985 arbetat på avdelningen för byggnadsmateriallära vid Lunds Tekniska Högskola under Arne Hillerborgs ledning. Ett flertal forskningsprojekt och en mängd utredningar under denna tid har, i större eller mindre omfattning, haft anknytning till betong och betonggolv på mark. De nya kunskaper och erfarenheter som successivt kommit fram, har så småningom gett en historisk överblick ur vilken man kan identifiera enskilda händelser som egentliga orsaker till den följd av "fukt- och mögelproblem" som drabbat konstruktionstypen "platta på mark". En sådan historieskrivning ger bland annat en bild av hur byggbranschen hanterar introduktionen av nya material och ny teknik. Gamla problem ersättes hela tiden med nya, mer moderna problem!

2. HISTORIESKRIVNING

Försöket till historieskrivning är baserat på den kunskap som successivt växt fram och de erfarenheter av skador och tvister som författaren fått genom kontakt med problematiken från 1973 till dags dato. Historieskrivningen är säkert inte helt korrekt och definitivt inte fullständig. Så till exempel har inte medtagits betydelsen av att pentaklorfenol slutade användas mot mögelväxt på trä i slutet av 1960-talet. Kunskap om dettas eventuella betydelse finns nämligen inte tillgänglig. Det som är medtaget är desto bättre underbyggt.

2.1 Täta golvbeläggningar - var mycket täta!

På 1960-talet ersattes relativt ånggenomsläppliga golvbeläggningar som linoleummattor av PVC-beläggningar i stor utsträckning.

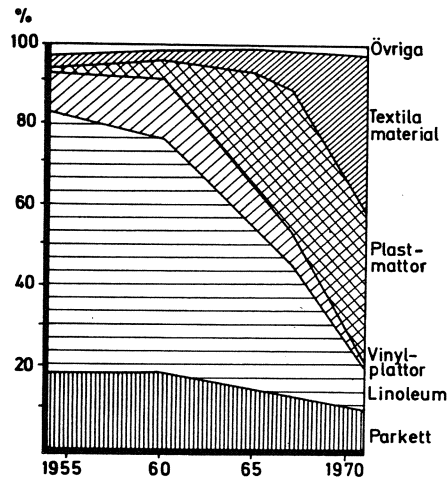


Fig. 2.1 Uppskattad förbrukning i Sverige 1954-1971 av olika golvbeläggningar; Golv 73 (1973), GEBO

Konstruktioner som tidigare fungerat utan fuktproblem började nu få fukt-skador utan annan förändring än andra mattor. Effekten av ett flerdubblat ångmotstånd förutsågs inte.

Typiska ångmotstånd Z för linoleummattor var, och är, $400-500 \cdot 10^3$ s/m. Ångmotståndet hos en 100 mm tjock betongplatta, om den t o m står i vatten, är enligt Hedenblad (1988) $50-100 \cdot 10^3$ s/m. Skulle Hedenblads mätningar vara riktiga innebär detta att maximal fuktbelastning på en linoleummatta skulle bli, Nilsson (1977), omkring

$$RF = \frac{40 + 100 \cdot x}{1 + x} = \frac{40 + 100 \cdot 6}{1 + 6} = 91\%$$

där x är kvoten mellan ångmotstånden hos golvbeläggningen och betongplattan. 91% RF ligger precis på gränsen för att man skall få fuktskador och oftast uteblev de.

Med PVC-mattor flerdubblades ångmotstånden. Typiska värden under 60- och 70-talen var $500-2000 \cdot 10^3$ s/m. Med $1000 \cdot 10^3$ s/m blir $x = 13$ och fuktbelastningen på limmet under en PVC-matta 96% RF; med $2000 \cdot 10^3$ s/m 98% RF. Risken för fuktskador är följaktligen mångfalt större med PVC-mattor än med linoleummattor.

Under 1980-talet har det kommit en del mattor som har extremt stort ångmotstånd; upp mot $6-7000 \cdot 10^3$ s/m. Här finns nu möjlighet att göra om samma misstag som på 1960-talet om den ökade tätheten inte beaktas.

2.2 "Grovt grus" - fanns ej!

På många ritningar under 1960- och 1970-talen angavs att det kapillär-brytande skiktet under golv på mark skulle utgöras av "grovt grus". I byggnormerna SBN67, SBN75 och SBN80 godtogos ett grus med korn större än 2 mm som kapillärbrytande material. I SBN67 fick inga korn mindre än 2 mm ingå; i de senare byggnormerna accepterades 5% mindre än 2 mm.

Grus, med korn huvudsakligen större än 2 mm, är sällsynt i naturen. Däremot är sådant som i dagligt tal ofta kallas för "grus" vanligen förekommande, men "grus" är definitionsmässigt sand och har stor andel korn mindre än 2 mm. "Grovt grus" var följaktligen svårt att anskaffa till en byggplats; uppsiktning av naturgrus vore nödvändig. Istället blev det "grus", dvs sand, och kapillär uppsugning med skador som följd.

2.3 Tryckimpregnerat virke - möglar och luktar!

Långt fram på 1970-talet användes tryckimpregnerat virke, i golvkonstruktioner och i anslutningen mellan bärande väggar och grund, som skydd mot rötskador. Virket användes som ingjutna spikbrädor och avdragsbanor för betonggjutning som om det vore helt fuktökänsligt, vilket var den allmänna uppfattningen då när mögelproblematiken ännu var i sin linda. När det senare visade sig att mögel kunde växa på tryckimpregnerat virke, och att det då ofta avgav en elak lukt, fick vi tusentals "mögelhus" där luktkällan var svåråtkomlig och svårutbyt.

Planverket godtog i sina Kommentarer 1970 till byggnormen att det kapillärbrytande skiktet under en ytterväggssyll kunde slopas om man bara använde tryckimpregnerat virke till syllen.

Den konstruktion som gett upphov till flest mögelluktande hus, Samuelsson (1985), är det uppreglade golvet, se figur 2.3. Här användes tryckimpregnerat virke till spikbrädor, ofta ingjutna, och kilar under reglarna. Att så var fallet berodde naturligtvis på att man befarade att dessa virkesdelar någon gång kunde bli fuktiga. Impregneringen skulle då skydda mot röta. Mögelproblemen var inte "uppfunna än".

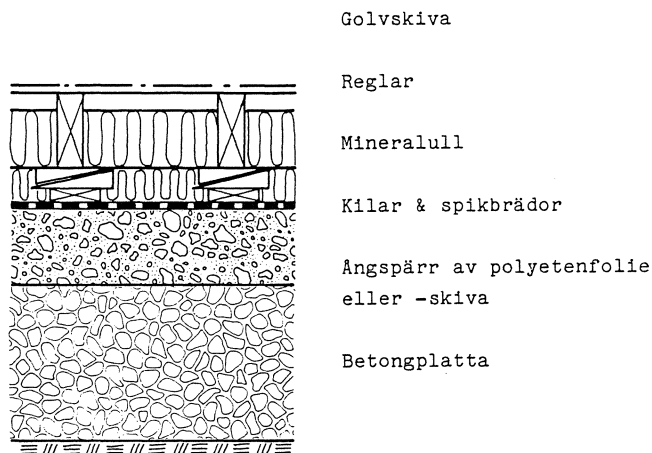


Fig. 2.3 Ett korrekt utförande av problemkonstruktionen med "uppreglat golv", Nilsson (1983). Ångspärren fanns sällan, helt enligt instruktioner i SBN75

Fortfarande så sent som i SBN75 godtogs konstruktionen med uppreglat golv under förutsättning att ångspärr inte lades in i konstruktionen, vilket var precis vad som behövdes.

Att mögel kan växa även på tryckimpregnerat virke är numera väl känt. Senare års forskningsresultat och erfarenheter indikerar emellertid att det inte växer lika lätt som på obehandlat virke samt att den kraftiga elaka lukten som avges från fuktigt, tryckimpregnerat virke kanske inte härrör från mögelväxten. Detta är ännu outklarat.

2.4 Lättklinker - sög vatten!

Lättklinkerisolering godkändes av Statens Planverk som dränerande och kapillärbrytande skikt efter en provning 1968 av den kapillära stighöjden. Under första hälften av 1970-talet befanns emellertid alltför många fuktskador ha orsakats av kapillär uppsugning i lättklinkermaterialet.

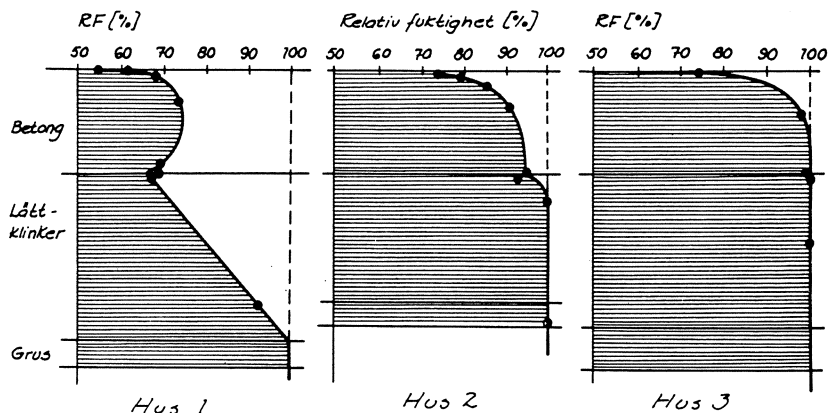


Fig. 2.4 Fuktfordelning i olika hus med underliggande värmeisolering av olika kvalitet men samma fabrikat, Nilsson (1977).

Lättklinkergrunden hade fått en stor marknadsandel och godtogs som en lösning i SEN75. 1976 meddelade planverket att man inte längre godkände materialet som kapillärbrytande. Tusentals hus hade då försetts med lättklinker som fuktskydd.

Provningen 1968 genomfördes under 24 timmar (!) som då var den normala provningstiden för grusmaterial. Idag har vi lärt oss att provningstider på flera månader (!) är nödvändiga om den kapillära stighöjden inte skall underskattas. Att ett nytt material inte kan provas med gamla provningsmetoder utan vidare analys, är detta ett uppenbart exempel på.

2.5 Energikriserna

1970-talets energikriser medförde vissa förändringar som ökade risken för fuktskador. Konstruktioner lufttätades utan tanke på annat än att spara energi. Tveksamma konstruktioner med liten säkerhetsmarginal hade säkert ofta fungerat ändå därför att det blåste torr uteluft genom dem.

Lufttätning under ytterväggssyllar var svår att utföra med grundmurspapp. Den ur fuktsynpunkt självklara grundmurspappen försvann och ersattes med en mineralullstättning som inte hindrade fuktvandring.

2.6 Singel och makadam - suger vatten!

Omkring 1980 identifierades i några skadefall att orsaken till mycket höga fukttillstånd i betonggolv på mark hade varit uppsugning av vatten i makadamlagret. Makadam, som tidigare betraktats som ett utmärkt kapillär-brytande material kunde suga vatten på kornytorna, i ytsprickor och rester av krossmjöl.

Denna långsamma uppsugning hade tidigare inte spelat någon större roll, men med täta golvbeläggningar och polyetenfolier i konstruktionerna blev även denna lilla fukttillförsel väsentlig. Numera tvättas (!) makadam som skall vara kapillärbrytande och kraven på hantering av sådant material är stora.

2.7 Flytspackel med kasein - missfärgar!

Kasein har länge varit ett tillsatsmedel i cementbaserade spackel. I många flytspackel som användes några år före och efter 1980 var kasein flytmedlet.

Cementbaserade spackel trodde man tålde hur mycket fukt som helst. Det visade sig emellertid att vissa kaseinhaltiga flytspackel var extremt fuktkänsliga. Det kritiska fukttillståndet för ammoniakavgång bestämdes vid avdelningen för byggnadsmateriallära vid ITH till att ligga mellan 75 och 85% RF. Så låga fukttillstånd har vi inte ens på mellanbjälklag förrän efter flera år. Ammoniakavgången gav upphov till missfärgning av kork- och parkettgolv och misstänks bidra till sjuka hus-problematiken.

2.8 Skräp och byggrester - möglar!

På 1980-talet har golv på mark som regel utförts med en cellplastisolering ovanpå betongplattan för att få ett värmebehagligt och mjukt golv.

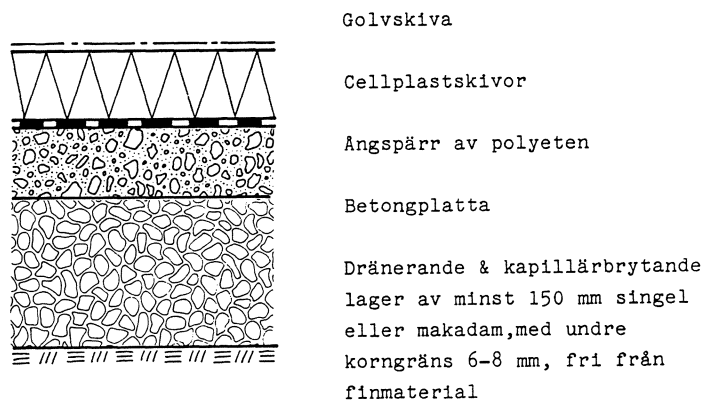


Fig. 2.8 Golv på mark med överliggande värmeisolering; teoretiskt möjlig, men osäker ur fuktskydd och med höga krav på arbetsutförande.

Konstruktionen utformas med ångspärr som fuktskydd för golvspånskivorna. Under bärande mellanväggar läggs en fuktspärr och betongplattan sockel-isolerar för att höja temperaturen och därmed minska drivkraften för fuktvandring inifrån rumsluften ner i golvkonstruktionen. På ritbordet kan konstruktionen fås att fungera teoretiskt.

I praktiken får man inte sällan mögelluktproblem i hus byggda med denna konstruktion, Samuelsson (1985), därför att det ligger skräp och byggrester (sågspån etc) kvar på betongplattan. Där skall det vara fuktigt i denna konstruktionstyp och mögel kan etablera sig på denna kvarglömda näring. En betongyta av detta slag är följaktligen mycket fukt känslig, har ett lågt kritiskt fukttillstånd. En industridammsugare (!) är ett nödvändigt verktyg för att utföra golvkonstruktionen.

2.9 Mjukgörare - avgår!

1980-talets stora orsak till fukt- och luktproblem har varit dåliga PVC-mattor som vid påverkan av fukt och alkali avgett mjukgörare. Mjukgöraren har vandrat ner i betongundergolvet och brutits ned till oktanoler som ger en karakteristisk "förtvålningsslukt".

Sådana problem har vi haft länge; det var den vanliga fuktskadan på 1970-talet, men då var det vissa mattor och många golvlim som "förtvålades". På 1980-talet gav nya mattor med stor marknadsandel dessa problem med sjuka hus, tvister, omfattande reparationer etc. Materialen hade uppenbarligen inte kontrollerats ordentligt med avseende på sina kritiska fukttillstånd och vilka konsekvenserna blev om dessa överskreds.

2.10 Materialet X - fuktskadeutlösande!

Vi vet ännu inte vilket material som ger upphov till avsnittet 2.10. Av historien att döma blir det dock ett nytt material eller ny materialkvalitet som redan fått stor spridning därför att det visat sig vara bra i något avseende. Eventuella negativa konsekvenser har inte utretts före marknadsintroduktion. Det enda vi vet är att, när problemen väl uppkommer, blir det ett omfattande problem därför att spridningen redan hunnit bli stor.

3. SLUTSATS

Majoriteten av de enskilda punkter som ovan identifierats som utlösande för uppkomsten av fukt och mögelproblem kan rubriceras som brist på materialkunskaper. Byggbranschen baserar sig ofta på gamla erfarenheter - "så har vi alltid gjort, och det har gått bra" - samtidigt som man lättvindigt och okritiskt använder nya material och ny teknik som är bristfälligt dokumenterade.

För att undvika fukt- och mögelproblem krävs en fuktdimensionering, dvs att man prognosticerar vilka fukttillstånd man kan förvänta sig i en nya konstruktion, eller en gammal där något nytt material ingår och jämför dessa med vad valda material tål. I en fuktdimensionering krävs tillgång till väsentliga materialegenskaper, som fuktbindningsförmåga, fukttransportförmåga och kritiska fukttillstånd. Utan denna kunskap om nya, och gamla, material och materialkvaliteter och utan att analysera konsekvenserna i form av en fuktdimensionering och riskanalys, får vi ställa in oss på att historien enligt ovan fortsätter med nya, moderna fukt- och mögelproblem.

Grus, med korn huvudsakligen större än 2 mm, är sällsynt i naturen. Däremot är sådant som i dagligt tal ofta kallas för "grus" vanligen förekommande, men "grus" är definitionsmässigt sand och har stor andel korn mindre än 2 mm. "Grovt grus" var följaktligen svårt att anskaffa till en byggsplats; uppsiktning av naturgrus vore nödvändig. Istället blev det "grus", dvs sand, och kapillär uppsugning med skador som följd.

2.3 Tryckimpregnerat virke - möglar och luktar!

Långt fram på 1970-talet användes tryckimpregnerat virke, i golvkonstruktioner och i anslutningen mellan bärande väggar och grund, som skydd mot rötskador. Virket användes som ingjutna spikbrädor och avdragsbanor för betonggjutning som om det vore helt fuktökänsligt, vilket var den allmänna uppfattningen då när mögelproblematiken ännu var i sin linda. När det senare visade sig att mögel kunde växa på tryckimpregnerat virke, och att det då ofta avgav en elak lukt, fick vi tusentals "mögelhus" där luktkällan var svåråtkomlig och svårutbytt.

Planverket godtog i sina Kommentarer 1970 till byggnormen att det kapillärbrytande skiktet under en ytterväggssyll kunde slopas om man bara använde tryckimpregnerat virke till syllen.

Den konstruktion som gett upphov till flest mögelluktande hus, Samuelsson (1985), är det uppreglade golvet, se figur 2.3. Här användes tryckimpregnerat virke till spikbrädor, ofta ingjutna, och kilar under reglarna. Att så var fallet berodde naturligtvis på att man befarade att dessa virkesdelar någon gång kunde bli fuktiga. Impregneringen skulle då skydda mot röta. Mögelproblemen var inte "uppfunna än".

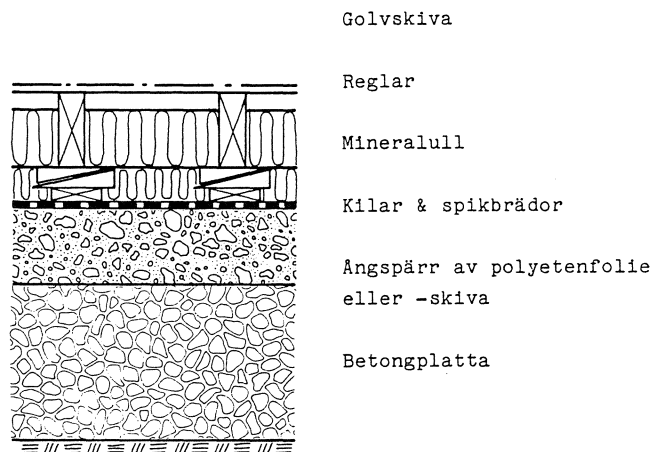


Fig. 2.3 Ett korrekt utförande av problemkonstruktionen med "uppreglat golv", Nilsson (1983). Ångspärren fanns sällan, helt enligt instruktioner i SBN75

Fortfarande så sent som i SBN75 godtogs konstruktionen med uppreglat golv under förutsättning att ångspärr inte lades in i konstruktionen, vilket var precis vad som behövdes.

2.6 Singel och makadam - suger vatten!

Omkring 1980 identifierades i några skadefall att orsaken till mycket höga fukttillstånd i betonggolv på mark hade varit uppsugning av vatten i makadamlagret. Makadam, som tidigare betraktats som ett utmärkt kapillär-brytande material kunde suga vatten på kornytorna, i ytsprickor och rester av krossmjöl.

Denna långsamma uppsugning hade tidigare inte spelat någon större roll, men med täta golvbeläggningar och polyetenfolier i konstruktionerna blev även denna lilla fukttillförsel väsentlig. Numera tvättas (!) makadam som skall vara kapillärbrytande och kraven på hantering av sådant material är stora.

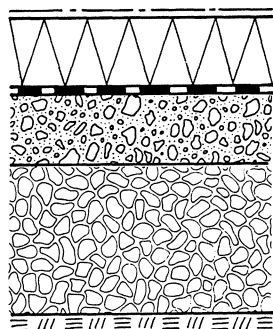
2.7 Flytspackel med kasein - missfärgar!

Kasein har länge varit ett tillsatsmedel i cementbaserade spackel. I många flytspackel som användes några år före och efter 1980 var kasein flytmedlet.

Cementbaserade spackel trodde man tålde hur mycket fukt som helst. Det visade sig emellertid att vissa kaseinhaltiga flytspackel var extremt fuktkänsliga. Det kritiska fukttillståndet för ammoniakavgång bestämdes vid avdelningen för byggnadsmateriallära vid LTH till att ligga mellan 75 och 85% RF. Så låga fukttillstånd har vi inte ens på mellanbjälklag förrän efter flera år. Ammoniakavgången gav upphov till missfärgning av kork- och parkettgolv och misstänks bidra till sjuka hus-problematiken.

2.8 Skräp och byggrester - möglar!

På 1980-talet har golv på mark som regel utförts med en cellplastisolering ovanpå betongplattan för att få ett värmebehagligt och mjukt golv.



Golvskena

Cellplastskivor

Ångspärr av polyeten

Betongplatta

Dränerande & kapillärbrytande
lager av minst 150 mm singel
eller makadam, med undre
korngräns 6-8 mm, fri från
finmaterial

Fig. 2.8 Golv på mark med överliggande värmeisolering; teoretiskt möjlig, men osäker ur fuktsynpunkt och med höga krav på arbetsutförande.

Konstruktionen utformas med ångspärr som fuktskydd för golvspånskivorna. Under bärande mellanväggar läggs en fuktspärr och betongplattan sockel-isoleras för att höja temperaturen och därmed minska drivkraften för fuktvandring inifrån rumsluften ner i golvkonstruktionen. På ritbordet kan konstruktionen fås att fungera teoretiskt.

I praktiken får man inte sällan mögelluktproblem i hus byggda med denna konstruktion, Samuelsson (1985), därför att det ligger skräp och byggrester (sågspån etc) kvar på betongplattan. Där skall det vara fuktigt i denna konstruktionstyp och mögel kan etablera sig på denna kvarglömda näring. En betongyta av detta slag är följaktligen mycket fuktkänslig, har ett lågt kritiskt fukttillstånd. En industridammsugare (!) är ett nödvändigt verktyg för att utföra golvkonstruktionen.

2.9 Mjukgörare - avgår!

1980-talets stora orsak till fukt- och luktproblem har varit dåliga PVC-mattor som vid påverkan av fukt och alkali avgett mjukgörare. Mjukgöraren har vandrat ner i betongundergolvet och brutits ned till oktanoler som ger en karakteristisk "förtvålningsslukt".

Sådana problem har vi haft länge; det var den vanliga fuktskadan på 1970-talet, men då var det vissa mattor och många golvlim som "förtvålades". På 1980-talet gav nya mattor med stor marknadsandel dessa problem med sjuka hus, tvister, omfattande reparationer etc. Materialen hade uppenbarligen inte kontrollerats ordentligt med avseende på sina kritiska fukttillstånd och vilka konsekvenserna blev om dessa överskreds.

2.10 Materialet X - fuktskadeutlösande!

Vi vet ännu inte vilket material som ger upphov till avsnittet 2.10. Av historien att döma blir det dock ett nytt material eller ny materialkvalitet som redan fått stor spridning därför att det visat sig vara bra i något avseende. Eventuella negativa konsekvenser har inte utretts före marknadsintroduktion. Det enda vi vet är att, när problemen väl uppkommer, blir det ett omfattande problem därför att spridningen redan hunnit bli stor.

3. SLUTSATS

Majoriteten av de enskilda punkter som ovan identifierats som utlösande för uppkomsten av fukt och mögelproblem kan rubriceras som brist på materialkunskaper. Byggbranschen baserar sig ofta på gamla erfarenheter - "så har vi alltid gjort, och det har gått bra" - samtidigt som man lättvindigt och okritiskt använder nya material och ny teknik som är bristfälligt dokumenterade.

För att undvika fukt- och mögelproblem krävs en fuktdimensionering, dvs att man prognosticerar vilka fukttillstånd man kan förvänta sig i en nya konstruktion, eller en gammal där något nytt material ingår och jämför dessa med vad valda material tål. I en fuktdimensionering krävs tillgång till väsentliga materialegenskaper, som fuktbindningsförmåga, fukttransportförmåga och kritiska fukttillstånd. Utan denna kunskap om nya, och gamla, material och materialkvaliteter och utan att analysera konsekvenserna i form av en fuktdimensionering och riskanalys, får vi ställa in oss på att historien enligt ovan fortsätter med nya, moderna fukt- och mögelproblem.

4. REFERENSER

Fuktgruppen informerar. Verksamhetsberättelser och lägesrapporter 1981-1988. Fuktgruppen vid LTH.

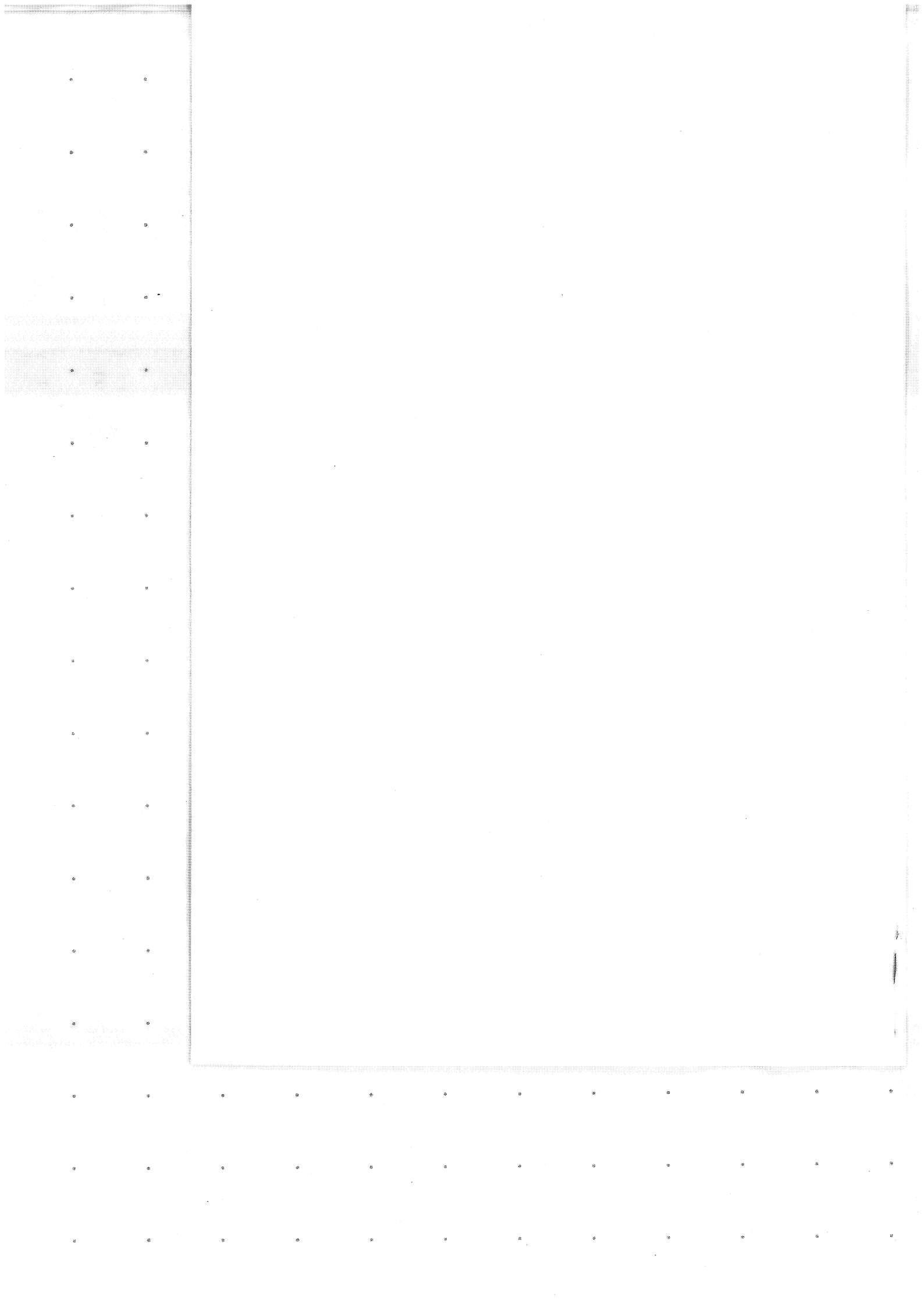
Hedenblad, G (1988) "Determination of moisture permeability in concrete under high moisture conditions". Bidrag till Nordic Concrete Research 1988.

Nilsson, L-O (1976) "Fuktproblem vid betonggolv", TVEM-3002, Byggnads-materiallära, LTH.

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

Samuelsson, I (1985) "Mögel i hus - orsaker och åtgärder." Rapport 85:16, SP, Borås.

B-FUKIMÖGE.LON



KULTUREN, BYGGARNA OCH VÄGEN



I.A. Ondrus
Lund, Sverige
Tekn lic, lärare

...nog finns det mål och
mening i vår färd -
men det är vägen, som
är mödan värd.

Karin Boye

Uppmanad av kollegorna fattar jag tangentbordet framför en ordbehandlingsprogramstyrd dator för att på skärmen och sedan på pappret lägga ett litet kåseri - några förhållandevis personliga reflexioner över den tid och det arbete jag slutfört på avdelningen för byggnadsmateriallära under ledning av Arne Hillerborg.

Reflexionerna skulle kunna hänföras till två plan, den ena då jag var den brottkunskapsinsupande och imponerade eleven på byggnadsmaterialområdet och det andra då jag var den ifrågasättande, undrande, filosoferande och snabbt engagerade invandraren. Eftersom jag fortfarande är och förblir den sistnämnde, eftersom jag precis som alla andra söker - och inte hittar någon entydig - mening i allt jag gör, eftersom jag genommin grundutbildning i Tjeckoslovakien är speciellt tränad i att läsa mellan raderna, eftersom jag är född i stjärntecknet Tvillingen och därför alltid försöker sitta på minst två stolar samtidigt... vill jag - och förväntas nog - bidra till den här skriftsamlingen med ett något annorlunda resonemang.

Den positiva lärarförebild jag mötte på BML i Arne Hillerborg och även i Olle Petterson präglades främst av tillgänglighet och krav på kvalitet och bevis. Därmed menar jag att det både krävdes och gavs en gedigen, kontrollerbar produkt. Det centrala var det svärdefinierbara ordet kvalitet och många gånger under mina nu aktuella irrfärder har jag lust att skicka folk till BML på en kurs i kvalitet.

De ord som definitivt påverkade min världsuppfattning och vilka jag kommer att minnas längst - hur paradoxalt det än kommer att låta - går kanske enklast att exemplifiera så här:

- * "Lär dig att skilja mellan fantasi och verklighet."
- * "Det är inget fel på spekulationer."
- * "En byggnadsmaterialexpert kan diskutera historia med en historieexpert, men inte vice versa."
- * "Vår Herre vet bättre än våra läroböcker."
- * "Det är möjligt att det är så, men jag känner inte till det."

De orden och några till har jag vridit och vänt på många gånger. De allmänt gällande, värderande kunskaper jag fick med mig från licentiatutbildningstiden - det kallas för oavsiktlig inlärning - håller måttet även utanför byggnadsmaterialområdet. Jag försöker f n utveckla de kunskaperna inom områden där de och jag hör mera hemma. Jag studerar öststatkunskap och pedagogik just nu.

Undervisa började jag redan som trettonåring - privatlektioner i matte, piano mm som hjälp till behövande klasskamrater eller barn till ambitiösa föräldrar - och fick redan då hyfsat betalt. Den för min del vettigaste, nyss i den vetenskapliga litteraturen åter hittade definitionen på en lärare är: specialist på elevernas missuppfattningar och felaktiga tolkningar. Äntligen en definition som stämmer med mina erfarenheter.

Jag skulle blygsamt vilja föreslå att alla tekn lic mm skulle följa mitt exempel och läsa pedagogik. Om jag förstår rätt så är det ett ämne på antågande. Det finns 75 forskarstuderande registrerade på pedagogiska institutionen.

Jag skulle vilja påstå att tekniker ändå hör till samhällsvetarna - jag ber om ursäkt - i stället för till naturvetarna. Om jag nu den här gången är rätt informerad, sysslar de flesta tekniker som blev meriterade forskare - i alla fall de jag känner - med administrativ verksamhet eller med undervisning dvs med samhällsvetenskap. Allt har ju blivit administration och blankettifyllande. Om man skulle lyckas frigöra experter från chefsplikter - det tycks vara på gång inom industri-administrationen - då kan det kanske bli andra bullar.

Varför är jag personligen intresserad av pedagogik? För det första så gör jag ändå inget annat än tjafsar och predikar och för det andra gör även andra det - fast inom pedagogiken helt öppet. Den pedagogiska utbildningen präglas av öppenhet i mellannänskliga relationer - respekt för individen och hennes värderingar. Inget "fylla i uppgifter" inte. Ett exempel: För närvarande läser, redovisar och diskuterar vi ett antal, mest efter smak, mode och tycke valda godkända pedagogiska avhandlingar. Jag valde som tekniker bl a Bosse Tale-rud: - Kulturpedagogik i tekniksamhälle. Om möjligheter till kulturell utveckling genom pedagogisk verksamhet; Pedagogiska institutionen, Stockholms Universitet; 1985 - som jag grubblat över i flera veckor och som jag fullständigt vårdslöst citerar från. Jag menar inte att folk nödvändigtvis skall läsa den. Julia och jag brukar nuförtiden mäta värdet på en verksamhet med orden "det var/var inte värt den tiden". Nu säger jag "avhandlingen är lång".

Dispositionen av avhandlingsredovisningarna är ett bra exempel på en "antites" dvs kritisk granskning med respekt för både den kritiserade och den kritiserande. En subjekt - subjekt relation. Man blir uppmuntrad att värdera. Jag citerar handledaren:

... Försök att besvara frågorna så kortfattat och klart som möjligt. Syfte och problem. Varför görs undersökningen och vad är det egentligen som undersöks? Genomförande - metod. Hur insamlas och bearbetas det material som resultaten bygger på? Resultat. Vilka är huvudresultaten? Karakterisering. Vad är mest utmärkande för avhandlingen i sin helhet? Under samtliga punkter skall anges dels vad författaren/författarna säger i frågan, dels vad ni själva har för synpunkter.

Och visst hade jag - som vanligt - synpunkter. Visst finns det mycket och bra som belystes där och dessutom bra mycket! Avhandlingen är som en postmodern abstrakt tavla. Den är partiellt historiskt förankrad. Den inspirerar nog många men var och en får tolka den på sitt eget sätt...

Jag tolkar den på mitt sätt - det väsentliga är valet mellan utvecklingen eller en fortsatt tradition. Möjlighet till val av förhållningssätt är gemensam för konst, vetenskap och pedagogik. Valet kan åstadkommas genom värdering och kritisk granskning, inte så som den unge Karl Marx sade (författaren hänvisar till honom som sin vetenskapligt filosofiska förebild): "Frihet är en erkänd nödvändighet". Bara människor får utbildning och möjlighet till skapande,

börjar alla delta i styrningen av samhället och samhället blir mänskligt och demokratiskt! Jag skulle vilja rekommendera honom ett studiebesök i Tjeckoslovakien. Humaniora (språk, filosofi, historia) ingår i civilingenjörsutbildningen, så även obligatorisk gymna. Både traditionell folkkultur och borgerlig finkultur får starkt statligt stöd. Böcker, även kvalitetsböcker, är mycket billiga. Framtiden ter sig dock inte mindre hotfull resp mera löftesrik för det! Jag tycker att denna filosofie doktorn hade fel. Men han har dessutom jädrans rätt i att det är just utebliven kritisk granskning och utebliven kreativitet som kan krossa drömmen om ett mänskligare samhälle. Det var opposition som förbjöds då försöket till utveckling mot ett samhälle med mänskligare ansikte krossades i Tjeckoslovakien 1968.

Eller som man säger på ren svenska: Det är inte ens fel att två träta. Det är inte ens fel. Annars blir det som Stefan Hedlund skriver i Sydsvenskan från den 27 november i år: "Osökt minns jag här den gamla anekdoten om mannen som uppsöker ett sjukhus och begär att få träffa en ögon-öron specialist. Informerad om att en sådan specialist inte finns, upprepar han envetet sin begäran och på en direkt fråga om vad som felas honom svarar han:
- Jag hör hela tiden en sak, men jag ser något helt annat!

En pedagog är en kulturbärare och en kulturbyggare. Äntligen några bärare och byggande ord. Vad är då kultur och pedagogik och hur hänger det ihop med byggandet och bärandet?

Jo: Kultur kan beskrivas som ett beteendemönster inom en grupp, eller som s k kollektivt medvetande. Den deskriptiva definitionen användes inom etnografi, antropologi och f n även inom vissa delar av sociologi. Enligt den deskriptiva definitionen är kultur... både vetenskap och fördomar, både konst och "porr", både prästers och tjuvars moraluppfattning... På det sättet kan man tala om vetenskaplig kultur, teknikerkultur, o s v... Begreppet kvalitet blir omöjligt att definiera och hamnar i värderelativismen eller i traditionalismen.

Kultur kan värderas och därför kan den inte vara vetenskaplig, anser en del. Kultur värderas inom moralfilosofi, humaniora, vid folkbildning - sk normativ definition av kvalitet - och en värdering görs medvetet eller omedvetet vid all verksamhet, särskilt pedagogisk. De nödvändiga val alla måste göra, görs omedvetet, individuellt, ovetenskapligt, per definition irrationellt, slumpmässigt.

Därför tycker jag - fast jag vet att Bodström tycker annat - att filosoferande borde ingå i bl a teknisk utbildning. M a o: Folk bör lära att värdera. Det kan knappast åstadkommas på annat sätt än genom öppna diskussioner. Det är nyttigt att öppna, värderande diskussioner, för att bli medvetna om vad och varför vi väljer. Varken marknadskrafter eller politiska val räcker så långt.

Kultur kan skapas. Det kan visserligen betyda att man målar och gör tavlor eller sysslar med annan estetisk verksamhet, men det kan även betyda ett medvetet och aktivt förhållningssätt mellan trading, kritik och förnyelse av kulturella mönster och värden. Ett personligt ansvarstagande - det är etik.

Pedagogik är en tillämpad och tillämpbar vetenskap, jämförbar med t ex medicin. Pedagogik är ett program. Medicin kan inmundigas och vara besk. Även om det inte vore vetenskapligt belagt så: En pedagog både beskriver, värderar (avsiktligt/oavsiktligt, medvetet/omedvetet), väljer och deltar i, främjar/bromsar en skapande process. En pedagog är en kulturbärare och en kulturbyggare.

Svaret på läsarens befogade fråga varför jag - en filosoferande och värderande från öst invandrad tekniker - valde just Taleruds avhandling finns i den: ...den västerländska industrikluturens drag framträder så tydliga i Sverige att vi ibland talar om dem som nationella särdrag; nationalstatens aktiva roll i samhällsbygget, vår långa ämbetsmannatradition, vår speciella tilltro till "det starka samhället", en disciplinerad "saklig" livshållning färgad av villkoren för industriell produktion ... de kulturella aspekterna riskerar att undervärderas och ibland t o m osynliggöras.

Jag citerar vidare Taleruds avhandling, trots att han lider av substantiv-sjuka. Jag har ändå blivit smittad.

...de senaste tvåhundra årens utveckling i Västerlandet har givit oss en materiell och politisk grund för en humanistisk utveckling av "det goda livet" för fler än ett fåtal. Alltmer omfattande och verkningsfulla redskap för industriell produktion, marknadsekonomi och storskalig administration medförde samtidigt med "det goda" även att faran med ett aningslöst eller icke-insiktsfullt handlande blivit större. Framtiden kan ses som både ett stort hot och ett stort löfte...

Liksom vid tidigare förändringar av teknologi och levnadsmönster i historien kan detta medföra en renässans för humanistiska frågeställningar. Från "närande" jordbrukssamhälle, genom "tärande" industrisamhälle går utvecklingen mot "lärande" informationssamhälle. Ändå är i förhållande till satsningarna på ekonomisk och industriell utveckling satsningarna på kulturell utveckling marginella...

Formen och innehållet tyder på att författaren (nu menar jag både Talerud och mig) är ute efter att starta spontana förändringsprocesser (vars resultat a priori inte kan förutsägas). Så mycket litar vi väl på folk omkring oss att de medvetet bör välja och värdera. Medborgaren betyder ju just - antingen man vill eller inte - ett personligt ansvar för just det samhälle hon eller han är med i. Intresse? Inter esse betyder att vara inne i, mitt i. Läsaren får börja tänka själv och dra egna slutsatser.

Vad är meningen? Vad ville jag säga med det? Den pedagogiska meningen var: Läsaren får börja tänka själv och dra egna slutsatser. Då jag läste på pedagogiska institutionen i Göteborg gick där en pedagogisk historia:

Studenten frågar: Var ligger toaletterna?

Pedagogen svarar: Vad tycker du?

* * *

Alla har vi inte möjlighet att nå lika långt inom vetenskap som Arne Hillerborg och erhålla guldmedalj. Alla kan vi inte röra oss lika högt och fritt mellan statik och materialets funktion i olika sammanhang. Alla har vi inte heller uppbackning av hypersnäll Ingegerd. Men rent mänskligt kan alla "forska", om de tillåter sig ... använda tiden på ett sätt som är värd tiden.

Kunskap - även vetenskaplig - får vi genom reflexion och tolkning utifrån våra handlingar och sinnesintryck samt utifrån budskap från andra. Positivismen är antihumanistisk i den exakta innebörden, att människors intressen, behov och värderingar mycket väl kan göras till föremål för vetenskapliga

studier, men de kan inte ingå som element i vetenskapens egen självinsikt. Kvalitativ metod eftersträvas. Målet är att blottlägga en mängd kvaliteter som relativt väl fångar in det centrala i en viss företeelse. Forskarens mål blir att skaffa (sig) begrepp om företeelsen ifråga genom en sorts subjekt - subjekt relation.

Forskning blir då ett systematiskt kunskapssökande i förening med en nyfiken, omprövande och undrande inställning samt en etisk medvetenhet ... Målet blir att förbättra världsbilden och reflektionen över existentiella teman ... liksom under skolrasterna, liksom under de nattlånga samtalen på studenthemmet, samtalen om livets mening då vi var unga.

... nog finns det mål och mening i vår färd - men det är vägen, som är mödan värd.

ÄMNET KEMI HOS ARNE HILLERBORG

Olle Peterson



Kemi är en alldeles speciell form av fysik, d v s naturkunnighet. För att kunna fungera som kemist måste man enligt min uppfattning vara något orienterad inom fysiken. Däremot kan man mycket väl vara en skicklig fysiker, eller varför inte brottmekanist, utan att man för den skull behöver kunna kemi.

Det är på ett sätt synd. En välutbildad byggare kan konstruera en bro eller en balkong som med stor säkerhet kommer att bära den last den är avsedd för.

Tyvärr händer det att samma byggare har svårt att förutse att hans konstruktion kan komma att bli utsatt för kemisk inverkan, t ex korrosion, som gör att den på överraskande kort tid kan förlora sin förmåga att bära last.

Trots att Arne Hillerborg själv aldrig haft kemi som huvudämne har han under sin tid som professor haft en god känsla för ämnets stora betydelse, t ex för byggnadsmaterialens beständighet. Det framgår av kurskompendierna, i de allmänna kurserna och framförallt i fortsättningskursen, som faktiskt innehåller ett avsnitt som ger en god orientering om kemiämnet.

För att de färdigutbildade byggarna verkligen skall få en spontan känsla för de kemiska processernas möjligheter och risker skulle en betydligt mer omfattande utbildning vara nödvändig. Arne Hillerborg har syftat mot det begränsade målet att kursdeltagarna skall bli medvetna om att man i vissa sammanhang måste övertyga sig om att kemiska förlopp inte innebär risk för att konstruktionen i förtid upphör att fungera. När byggaren är tveksam måste han sätta sig i förbindelse med en specialist.

Under mina år vid Avdelningen för byggnadsmateriallära kommer jag särskilt ihåg när Arne Hillerborg bad mig samla vad man då visste om kloridhaltiga lösningars inverkan på betong.

Särskilt överraskande var att så många angreppsmöjligheter fanns som jag inte lagt märke till under åren. Att magnesiumklorid löser upp betong visste jag, men det var nytt för mig att mer koncentrerad lösning dessutom kan spränga betong.

Jag hade trott att kalciumklorid och natriumklorid (vanligt salt) var ungefär lika farliga (eller ofarliga) för betong. Det var nytt för mig att också en någorlunda koncentrerad lösning av kalciumklorid kan spränga betong.

Arne Hillerborg läste den lilla skriften och drog genast slutsatsen att detta borde intressera Vägverket, inte så mycket för vägbanornas skull som för de utsatta brokonstruktionernas. Några exemplar sändes till berörda personer, och de reagerade synnerligen snabbt.

Man höll just på att pröva ersättningsmedel för det vanliga saltet för avisning. Ett av dem var en blandning av kalciumacetat och magnesiumacetat, som man kallade kalciummagnesiumacetat, förkortat CMA. Kanske var det inte så bra att utsätta betongen för magnesiumjoner?

Arne Hillerborg fick hand om en ganska stor undersökning. Naturligtvis ville Vägverket jämföra med vanlig natriumklorid. Tursamt nog ville man också ha ett, som man hoppades, ofarligt acetat. Det innehöll enbart kalciumacetat och saknade magnesium.

Misstanken att magnesium kan skada betong visade sig stämma. Skadeverknigen blev snabb vid rumstemperatur, men långsam vid temperatur nära fryspunkten.

Man brukar säga att betong kan skyddas mot angrepp av denna typ genom att man använder lågt vattencementtal och packar betongen väl. Denna skyddsåtgärd är otillräcklig för att skydda mot rumsvarm koncentrerad lösning av CMA. Åtgärden har emellertid den gynnsamma verknigen att betongen endast löses från ytan. Om vattencementtalet är högre, utsättes ytskiktet dessutom för avsprängning, som inom något år omvandlar provkropparna till grus.

Att Vägverket ville prova kalciumacetat var tursamt. Det visade sig att det provbruk som användes visserligen inte löses av en mättad lösning av saltet, men att bruk med lågt vattencementtal kan svälla, och egendomligt nog så mycket som 15 millimeter per meter utan att provkropparna spruckit nämnvärt.

Vilka nybildade ämnen som förorsakat svällningen vet vi inte, men karaktären är "smetig", vilket kan förklara att provkropparna var så föga benägna att spricka.

Vid ett senare tillfälle utökade Vägverket sin beställning hos Arne Hillerborg till att omfatta även kalciumkloridlösning. Olyckligtvis höll vi fast vid att arbeta med mättade lösningar även i detta fall, och den mycket snabba nedbrytningen som vi väntat uteblev.

Eftersom provkropparna med lågt vattencementtal, som lagrats vid 20°C, minskade tydligt i vikt under lagringen utan att detta åtföljdes av någon synlig materialförlust, misstänkte vi att mättad lösning av kalciumklorid har för lågt ångtryck jämfört med vattenlagrat cementbruk, så att provkropparna så småningom blev uttorkade. En av de tre provkropparna överfördes i 3,0 molar lösning och en annan i 4,5 molar, vilket är nära den mättade lösningens koncentration.

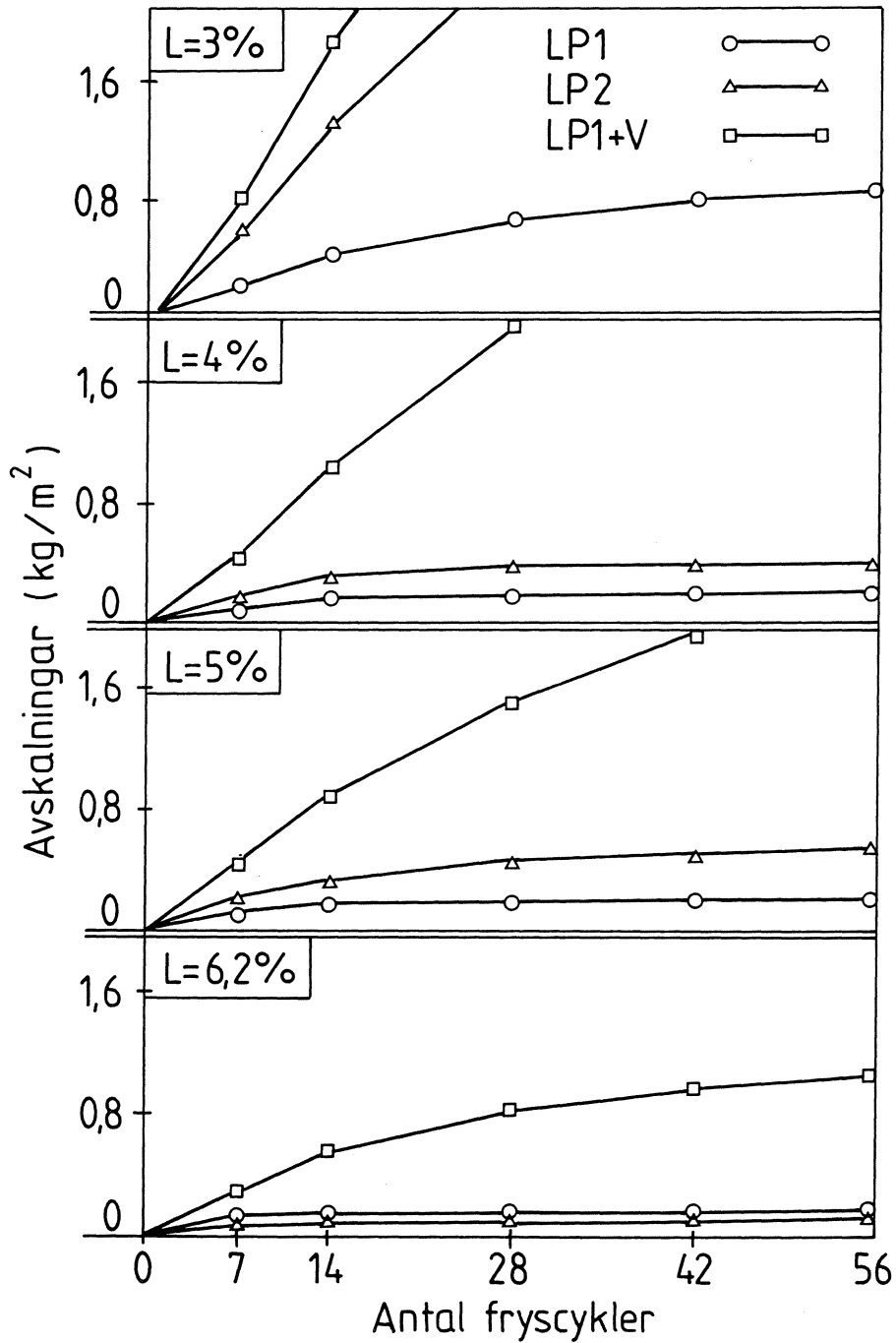
De mikroskopiska analysresultaten är behäftade med en viss osäkerhet, bl a på grund av att den analyserade arean är liten. Detta gör resultaten känsliga för lokala variationer inom betongen. Det har emellertid visat sig att det finns en tendens att lokala variationer av L_{pasta} kompenseras genom motsvarande variationer av medelpordiametern (\bar{d}). Därigenom blir avståndsfaktorn (\bar{L}) tämligen konstant inom en betongvolym och kan därför anses vara den mest representativa av de tre studerade parametrarna [5].

Tabell 1 Resultat från den mikroskopiska analysen

	Uppmätt i färsk betong		Mikroskopisk analys		
	Lbtg (%)	Lpasta (%)	Lpasta (%)	\bar{d} (mm)	\bar{L} (mm)
LP1	3,0	8,5	10,5	0,24	0,23
	4,2	11,8	13,6	0,19	0,17
	4,8	13,3	12,5	0,14	0,12
	6,2	16,8	17,8	0,14	0,10
LP2	3,0	8,3	8,8	0,26	0,28
	4,1	11,1	-	-	-
	5,0	13,4	12,3	0,20	0,18
	6,1	16,5	15,1	0,16	0,13
LP1+V	3,2	9,9	7,4	0,21	0,24
	4,0	12,5	-	-	-
	5,0	14,9	13,2	0,29	0,25
	6,0	18,3	18,2	0,29	0,21

Trots allt visar det sig att skillnaderna mellan uppmätta lufthalter och lufthalter bestämda med hjälp av mikroskopisk analys är små, jfr tabell 1. Skillnaderna är i genomsnitt mindre än 10 % av uppmätt värde, vilket motsvarar 0,3-0,6 % luft i betongen.

För betong med vattenreducerare blir luftporstrukturen betydligt sämre än för betong med luftporbildare som enda tillsatsmedel. Den dåliga luftporstrukturen för betong med vattenreducerare förklarar till fullo motsvarande dåliga frysprovingsresultat enligt figur 3.



Figur 3 Avskalningen som funktion av antalet fryscyklar för olika lufthalter

5 SALTFRÖSTBESTÄNDIGHET

Alla betongkvaliteterna härdades och testades med avseende på saltfrostbeständighet enligt SS 13 72 44 [3] förfarande Ib. Detta innebär att en sågad betongyta täcks med 3 % NaCl-lösning varefter provkroppen utsätts för upprepad nedfrysning och upptining. Efter 7, 14, 28, 42 och 56 cykler bestäms den mängd material som skalats av från ytan. Normalt bedöms betongen ha en acceptabel saltfrostbeständighet om avskalningarna efter 56 cykler understiger 1,0 kg/m².

Resultaten av provningarna redovisas i figur 3. Varje värde utgör ett medelvärde för 4 provkroppar.

För betong med LP1 som luftporbildare är avskalningarna små för lufthalter ned till ca 5 % och t o m vid en så låg lufthalt som 3,0 % klarar betongen kraven för acceptabel saltfrostbeständighet enligt SS 13 72 44. Också för betong med LP2 som luftporbildare är avskalningarna tämligen små för lufthalter ned till 4 % medan avskalningarna kraftigt överstiger kraven för acceptabel frostresistens vid en lufthalt på 4 %.

Den använda kombinationen av luftporbildare och vattenreducerare har givit höga avskalningar. Ingen av de testade blandningarna klarar kravet för acceptabel frostbeständighet, inte ens vid en så hög lufthalt som 6 %.

Resultaten i figur 3 indikerar att rena luftporbildare ger betydligt högre frostresistens än då luftporbildare kombineras med vattenreducerare. Vid användning av bra luftporbildare borde det vara möjligt att ha en lufthalt som är 2-3 % lägre än om en kombination av tillsatsmedel används och ändå uppnå samma säkerhet mot sönderfrysning i salthaltig miljö.

6 LUFTPORSTRUKTUR

I projektet har betongens luftporstruktur bestämts på 10 av de 12 blandningarna med hjälp av mikroskopisk analys på tunnslip. Vid analysen bestämdes lufthalten i pastan (L_{pasta}). Vidare bestämdes luftporernas medeldiameter (\bar{d}). För ett bra luftpor-system bör \bar{d} understiga 0,20-0,25 mm.

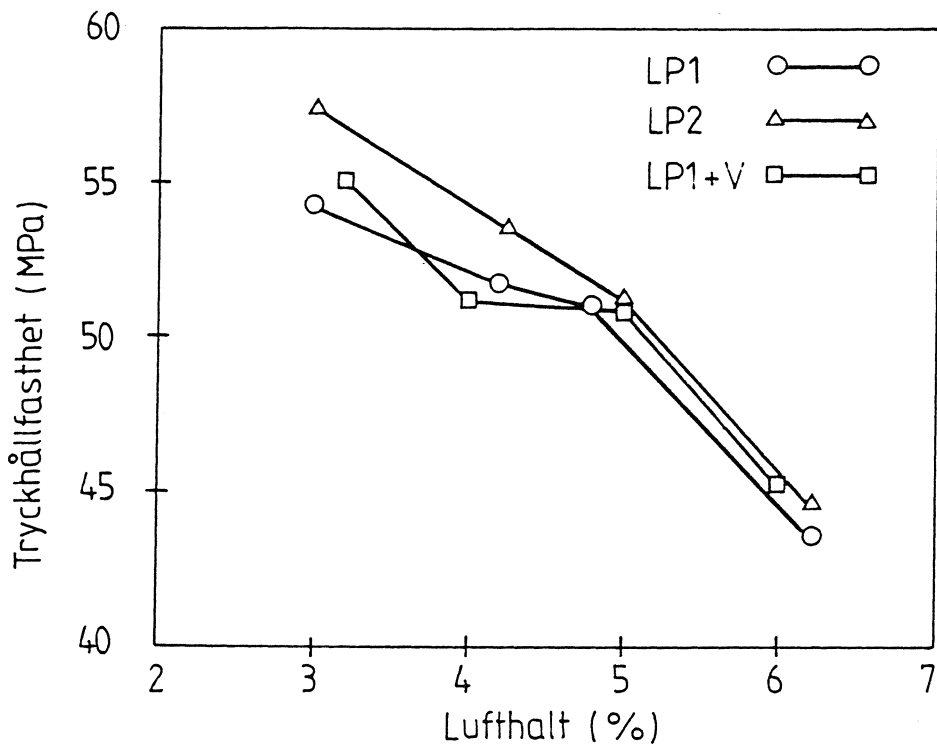
Med hjälp av L_{pasta} och \bar{d} beräknades porsystemets avståndsfaktor (\bar{L}) som anger halva genomsnittliga avståndet mellan två intilliggande luftporer. För att ge ett bra skydd mot frysning i salthaltig miljö brukar det anges att \bar{L} inte bör överstiga 0,18-0,20 mm [4].

Resultaten av den mikroskopiska analysen redovisas i tabell 1 tillsammans med värden på L_{btg} och L_{pasta} som uppmätts i den färskta betongen. Det uppmätta värdet på L_{pasta} har därvid erhållits med hjälp av L_{btg} och den proportionerade ballastmängden.

4 TRYCKHÅLLFASTHET

I figur 2 har tryckhållfastheten plottats mot lufthalten för de olika blandningarna. De angivna värdena är korrigerade till att gälla för $v_{ct} = 0,45$. Därvid har det antagits att hållfastheten förändras med 1,2 MPa vid en förändring av v_{ct} på 0,01 inom intervallet $v_{ct} = 0,4-0,5$ [1].

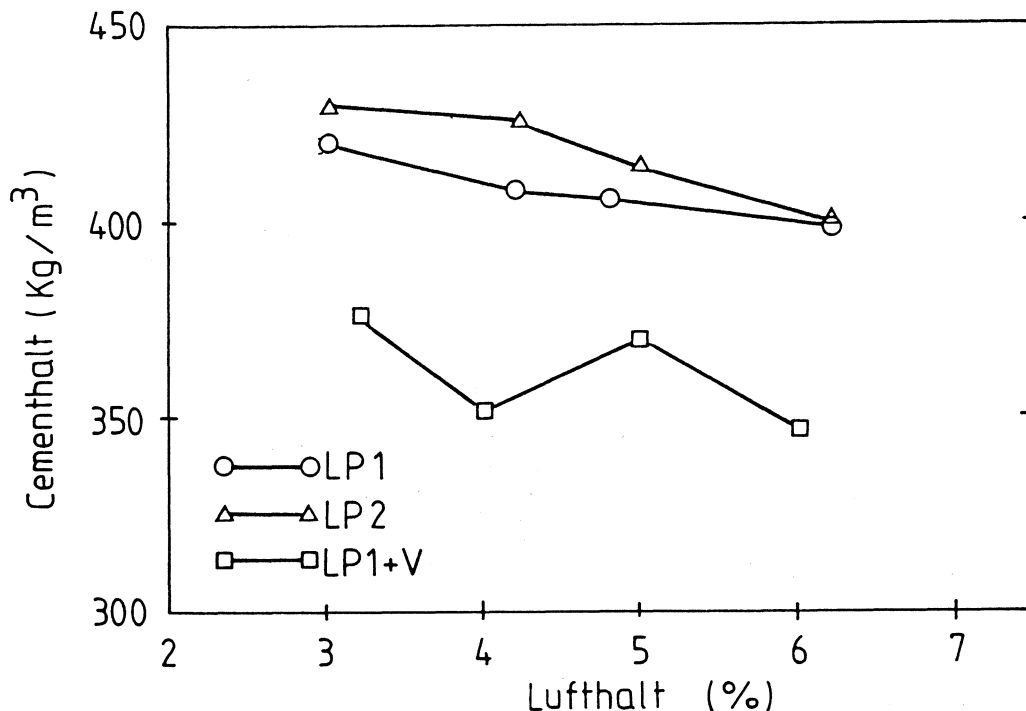
Enligt [2] är den rekommenderade medelkubhållfastheten vid 28 dygn 46 MPa för hållfasthetsklass K40. För att erhålla detta medelvärde med det aktuella cementet och $v_{ct} = 0,45$ får medel-lufthalten i betongen enligt figur 2 inte överstiga 5,5-6,0 %. För högre lufthalter är det nödvändigt att sänka v_{ct} , vilket innebär att cementhalten måste ökas. Detta är normalt inte lämp- ligt, åtminstone inte för betong utan vattenreducerande till- satser. En alltför hög cementhalt kan innebära försämrade gjut- egenskaper och risk för sprickbildning på grund av för hög temperaturstegring och därmed följande temperaturgradienter.



Figur 2 Tryckhållfastheten vid 28 dygn som funktion av luft- halten. Värdena är korrigerade till att gälla för $v_{ct} = 0,45$

3 CEMENTHALT

De uppmätta cementhalterna för de olika blandningarna kan inte jämföras direkt eftersom vct varierar något. Därför har cementhalten korrigerats till att gälla för vct = 0,45, varvid det har förutsatts att denna korrektion kan göras utan att vattenhalten förändras. De korrigerade värdena har plottats mot lufthalten i figur 1.



Figur 1 Cementhalten som funktion av lufthalten för de olika blandningarna. Värdena är korrigerade till att gälla för vct = 0,45

För betong med rena luftporbildare avtar cementhalten vid den aktuella konsistensen från ca 425 kg/m³ vid 3 % lufthalt till ca 400 kg/m³ vid 6,2 % lufthalt. Vid vald dosering (normaldosering) av vattenreducerarna kan cementhalten reduceras med ca 50 kg/m³. Dessa cementhalter gäller för det ballastmaterial som använts i denna undersökning. Andra ballastmaterial kan ge andra värden. Genom att t ex öka den största kornstorleken från 16 till 32 mm bör cementhalten kunna sänkas med 20-30 kg/m³.

Genom val av en lämplig ballastammansättning tycks det således vara möjligt att begränsa cementinnehållet till ca 400 kg/m³ vid vct = 0,45, även om inget vattenreducerande medel använts.

UTPROVNING AV BETONG MED GOD BESTÄNDIGHET MOT FROST OCH SALT



Per-Erik Petersson
Statens provningsanstalt, Borås
Tekn. Dr.

SAMMANFATTNING

I denna artikel beskrivs ett arbete som utförts för att studera möjligheten att producera betong med säker beständighet mot salt och frost. I undersökningen har endast ett fåtal av på marknaden förekommande tillsatsmedel studerats. Resultaten ger dock en klar indikation på att betong med enbart luftporbildare som tillsatsmedel ger betydligt säkrare saltfrostbeständighet än om luftporbildare kombineras med ett vattenreducerande tillsatsmedel.

1 UNDERSÖKNINGENS OMFATTNING

I denna artikel presenteras resultat från en undersökning där olika betongrecept studerats med avseende på lämplighet för frostbeständig betong. Syftet var att finna en blandning som uppfyller krav på god saltfrostbeständighet, ett stabilt luftporsystem, en acceptabel cementhalt ($< ca 400 \text{ kg/m}^3$) och en tillräckligt hög hållfasthet (K40).

2 MATERIALSAMMANSÄTTNING OCH TILLVERKNING

Två rena luftporbildare, LP1 och LP2, användes i undersökningen liksom en kombination av luftporbildare och vattenreducerare, LP1 + V. LP1 är baserad på en blandning av tensid och Vinsol Resin, LP2 är ett Vinsol Resin-preparat medan V är en melamin. Vid användning av rena luftporbildare tillsattes medlet tillsammans med blandningsvattnet varefter betongen blandades i 3 minuter. Vid användning av vattenreducerande medel tillsattes detta tillsammans med blandningsvattnet. Efter 2 minuters blandning tillsattes luftporbildaren och betongen blandades därefter i ytterligare 3 minuter. Alla blandningar utfördes i en 350 liters tvångsblandare.

Ett lågalkaliskt lågvärmeceMENT (Degerhamn std P, s k anläggningscement) användes till alla blandningarna och vct var genomgående $0,45 \pm 0,02$. Ballasten bestod av naturmaterial (huvudsakligen gnejs) med en största kornstorlek på 16 mm. Sättnmättet var genomgående 80 mm.

Blandningar med lufthalterna 3, 4, 5 och 6,2 % eftersträvades varvid en avvikelse på 0,2 % från avsedd lufthalt accepterades.

Kompletterar man pH-mätningen genom att undersöka hur mycket syra man behöver sätta till saltlösningen för att det höjda pH-värdet skall återgå till neutralt värde, finner man att avsevärt mycket mer basiskt material förs över till saltlösningen, om ammoniak finns i eller frigörs från flytspacklet, än om flyktiga basiska föreningar saknas. Detta kan förklara att skadeverkan på limämnen och mjukgjord pvc-plast kan bli större i närvaro av ammoniak eller aminer, trots att pH-värdet inte blir mycket högre av dessa ämnen.

Avslutningsvis vill jag nämna att jag finner alla de nämnda arbetena och många andra vara lovande tecken på att många väg- och vattenbyggare förvärvat en känsla för när man måste se upp för möjligheten av oväntade kemiska inflytanden, trots att utbildningen i sig ger ganska begränsat utrymme för ämnet kemi.

Provkropparna i 3,0 molar lösning sprängdes sönder till platta skivor efter ett fåtal dagar oavsett vattencementtal. Vid temperatur nära fryspunkten behövdes längre tid.

Provkropparna i mättad lösning och i 4,5 molar lösning uthärdade utan synliga skador tills vi efter sammanlagt 977 dygn avbröt lagringen och böjprovade prismorna.

Brottytorna bekräftade misstanken att brukets inre "torkat ut" genom lagring i lösning med så hög koncentration av kalciumklorid. Materialet var nästan vitt. Närmast ytan hade lösning trängt in. I provkroppar med lågt vattencementtal var denna inträngning obetydlig, vilket förklarar att provkropparna totalt sett minskat i vikt.

Om man saltar en betongyta med kalciumklorid i fast form kommer till en början en mättad lösning att bildas kring saltkristallerna. Så snart saltet blivit helt löst kommer lösningen i jämvikt med luft att få väsentligt lägre koncentration än mättad lösning. Att försöket blev genomfört med mättade lösningar är med andra ord ett exempel på "accelererad provning" som kom att ha betydligt mildare verkan än provningen kanske skulle ha fått om koncentrationen stått i jämvikt med utomhusluft.

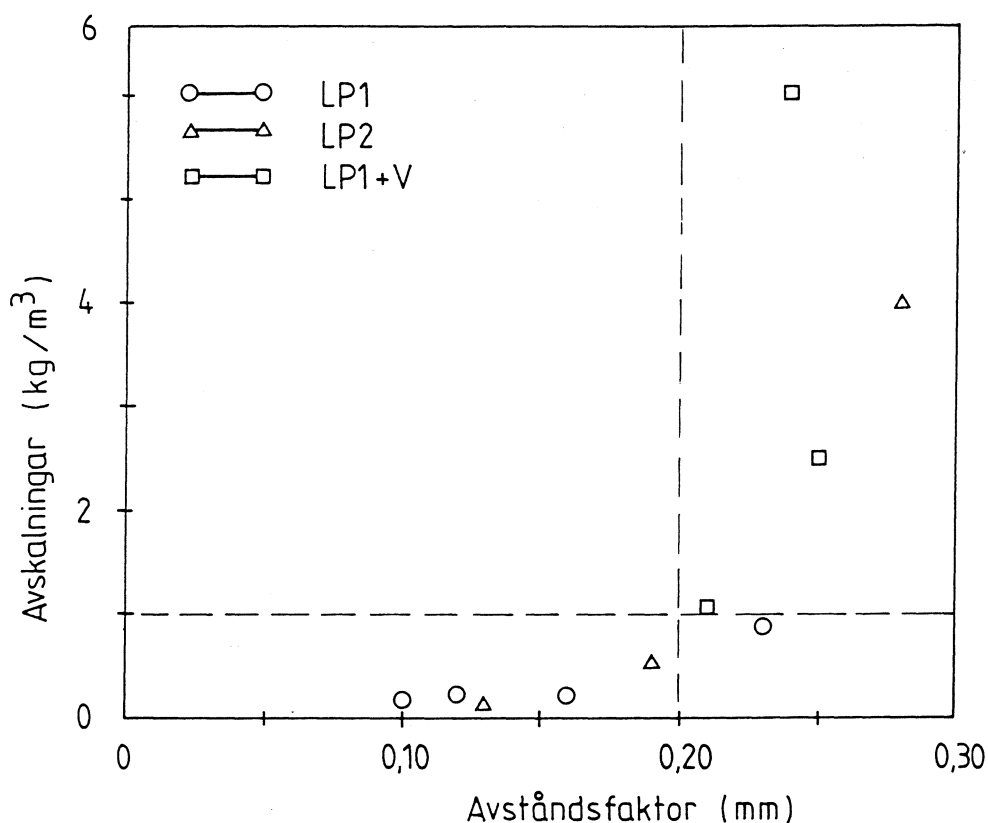
Kanske skriver jag, därför att lösningen skulle ha varit ofarlig för betong om den stått i jämvikt med **mycket** fuktig luft, men farlig för betongen om luften varit relativt torr.

Jag vill avsluta med några exempel på arbeten med kemiska inslag som en medarbetare till Arne Hillerborg, Lars-Olof Nilsson, hållit i. Tidsmässigt har arbetena med alkalikiselsyrareaktion hos skånska ballastmaterial haft den största omfattningen.

Av stort intresse har emellertid varit ett uppdrag som i omfattning varit mer begränsat, nämligen frågan om i vad mån och på vad sätt basiska ämnen kan sprida sig i ångfasen från cementbaserat flytspackel till närliggande material.

Det är lätt att förstå att en sådan spridning kan ske om flytspacklet innehåller ammoniumsalter eller proteinämnen som i basisk miljö kan avspalta ammoniak eller flyktiga aminer.

Det överraskande är att pH-värdet hos den mottagande saltlösningen stiger nästan lika mycket om cementpastan helt saknar sådana flyktiga beståndsdelar, och t o m om man dessutom byter ut cementet mot lösning av natriumhydroxid. Detta kan möjligen förklara varför nyblandad betong och även nyligen avformade betongbyggnader har en karakteristisk lukt. Det förefaller som om hydroxidjonen är flyktig. Kanske kan detta förklara att viss känslig japansk konst inte får förvaras i museibygnader av betong, förrän dessa hunnit karbonatiseras under några månader.



Figur 4 Frysprovningresultat efter 56 cykler som funktion av avståndsfaktorn

I figur 4 har frysprovningresultaten efter 56 cykler plottats mot avståndsfaktorn. För att erhålla acceptabel saltfrostbeständighet ska avskalningarna enligt SS 13 72 44 vara mindre än 1,0 kg/m² efter 56 cykler. För att uppnå detta bör avståndsfaktorn enligt figur 4 understiga ca 0,20 mm. Med en bra luftporbildare som enda tillsatsmedel kan detta värde uppnås vid en så låg lufthalt som 3-4 % medan lufthalten för den undersökta kombinationen av luftporbildare och vattenreducerare måste överstiga 6 % för att ge samma låga värde på avståndsfaktorn.

7 LUFTPORSTABILITET

För att utreda luftporstabiliteten bestämdes lufthalten i de olika betongblandningarna efter olika kraftig vibrering på ett Vebe-bord. Därvid fylldes lufthaltsmätaren i två skikt och vardera skiktet vibrerades 15 eller 90 sekunder. Resultaten presenteras i tabell 2.

För de rena luftporbildarna finns det en tendens att en ökad lufthalt ger en ökad luftporstabilitet. Speciellt LP1 tycks vara mycket stabil vid 6 %.

Av de undersökta tillsatsmedlen tycks betong med enbart luftporbildare som tillsatsmedel ha ett betydligt stabilare luftporsystem än betong som innehåller både luftporbildare och vattenreducerare. För betong med LP1 som enda tillsatsmedel blir lufthaltsförlusterna ca 0,5-1,0 % då vibreringsinsatsen ökar från 2x15 till 2x90 sekunder. Motsvarande siffror är ca 1,0-1,5 % för LP2 och ca 1,5-2,0 % för kombinationen LP1+V.

Tabell 2 Luftporstabilitet för de undersökta betongblandningarna. ΔL_{btg} utgör skillnad i lufthalt efter 2x15 respektive 2x90 sekunders vibrering

	L_{btg} vibrering 2x15 s (%)	2x90 s (%)	ΔL_{btg} 15-90 s (%)	ΔL_{btg} medel (%)
LP1	3,0	2,0	-1,0	-0,8
	4,2	3,2	-1,0	
	4,8	4,0	-0,8	
	6,2	6,0	-0,2	
LP2	3,0	1,6	-1,4	-1,3
	4,1	2,5	-1,6	
	5,0	3,9	-1,1	
	6,1	5,1	-1,0	
LP1+V	3,2	1,8	-1,4	-1,7
	4,0	2,4	-1,6	
	5,0	3,1	-1,9	
	6,0	4,2	-1,8	

8 SLUTSATSER

I denna undersökning har endast ett fåtal av på marknaden förekommande tillsatsmedel studerats. Resultaten ger dock en klar indikation på att betong med enbart luftporbildare som tillsatsmedel ger betydligt säkrare beständighet mot salt och frost än om luftporbildarna kombineras med ett vattenreducerande tillsatsmedel.

Problemet med att använda rena luftporbildare är bl a att cementhalten kan tendera att bli hög och att det kan vara svårt att uppnå tillräckligt hög hållfasthet. Med lämpliga ballastmaterial tycks dock cementhalten normalt kunna hållas under 400-425 kg/m³ vid vct = 0,45, vilket bör vara acceptabelt i de flesta fall.

För att uppnå tillräckligt hög hållfasthet (K40) vid ett vct på 0,45 får lufthalten inte överstiga ca 5,5 %. Detta är emellertid en tillräckligt hög lufthalt för att erhålla frost-

beständighet om rena luftporbildare av bra kvalitet använts. För bra luftporbildare kan saltfrostbeständighet uppnås vid lufthalter på 3-4 % men om luftporbildaren kombineras med en vattenreducerare blir motsvarande siffra över 6 %.

9 REFERENSER

- [1] Hillerborg, A. m fl: Kompendium i Byggnadsmateriallära AK, Byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund, 1983
- [2] FAB 85, Tillämpningsbestämmelser för tillverkning och kontroll av fabriksbetong, Kontrollnämnden för fabriksbetong, Stockholm 1985.
- [3] SS 13 72 44 utgåva 2. Betongprovning - Hårdnad betong - Frostresistens. Svensk Standard, BST, 1988.
- [4] Betonghandboken, Materialdelen. Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1980.
- [5] Andersson, C. och Petersson, P-E.: Hårdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet, SP-RAPP 1987:07, Statens provningsanstalt, Borås 1987.



BESTÄNDIG PUTS - FINNS DET?

Kenneth Sandin
Högskolelektor

På 1960-talet var filmen "Änglar - finns dom?" en stor succé. Trots att jag sett filmen ett flertal gånger fick jag inget svar på frågeställningen. Filmens titel stämde helt enkelt inte med innehållet. Läsaren av detta inlägg i den akademiska debatten kommer sannolikt att säga detsamma. Jag har dock ambitionen att försöka återge problemställningen i stort, vilket man inte kan påstå om filmen.

Putts är en ytbehandling med obegränsade möjligheter ur estetisk synvinkel. Man kan till exempel variera strukturen praktiskt taget hur mycket som helst, både i stor och i liten skala. I stor skala kan man låta underlaget framträda, eller göra ytan helt jämn. Vidare kan man "mönstra" ytan på en mängd olika sätt. I liten skala kan man variera ytstrukturen från en grov spritputs till en helt slät yta.

Vad gäller materialvalet finns en mängd olika varianter, från den gamla kalkputsen till moderna organiska ytskikt. Kulören kan variera helt fritt.

Från en rent teknisk synvinkel framförs ofta att puts är ett tveksamt alternativ. Som exempel anförs ett antal misslyckade putsfasader. Förespråkarna för puts pekar å sin sida på gamla putser som fortfarande är intakta efter flera tusen år. De senare hävdar att problemen med dagens putser uppstår på grund av att man idag inte gör på samma sätt som för 3000 år sedan.

Om problemet vore så enkelt torde putsforskningen vid Byggnadsmateriallära vara helt överflödigt. Det faktum att vi idag forskar inom putsområdet, och dessutom har ett massivt stöd från myndigheter och näringsliv, är ett tillräckligt bevis för att sanningen inte är så enkel.

Det finns utan tvekan putser som är tusentals år gamla och fortfarande fungerar. En sådan puts anses av alla som beständig. Å andra sidan finns det putser som totalförstörts efter ett år. En sådan puts anser ingen beständig. Det kan dock vara intressant att fundera över vad som hade hänt om de två putserna hade bytt plats! Möjligen är det så att putsen som fungerat utmärkt i tusentals år hade förstörts efter ett år om den placerats i en annan miljö. Å andra sidan kanske putsen som totalförstördes inom ett år kunde fungera i tusentals år om den placerats i en annan miljö.

Fakta är dyrbara,
men åsikter är gratis.

VAD ÄR PUTS?

Innan vi fortsätter resonemanget kring rubrikens frågeställning kan det vara på sin plats att definiera olika begrepp inom putsbranschen. Begreppen kan ibland vara mycket förvirrande. En skånska har till exempel ingenting med kvinnor från Skåne att göra utan är en speciell putsbräda. Definitionerna av olika putser görs här med utgångspunkt från vissa karaktäristiska, som man lätt kan iaktta vid en besiktning.

<u>Egenskap</u>	<u>Puts</u>
Stänker vid appliceringen	All puts
Rostar	Armerad puts
Rostar inte	Oarmerad puts
Obehaglig vid en organoleptisk mätning	Plastputs
Behaglig vid en organoleptisk mätning	Make-up
Ger stora sår vid beröring	Spritputs
Ger små sår vid beröring	Slätputs
Ger en blank yta	Häxan kopparputs
Uppvisar ingen blank yta	Vittrad puts
Ramlar ner	Kalkputs
Ramlar inte ner	Kalkcementputs
Fräter på händerna	Kalk- och cementputs
Innehåller $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Spritputs

VAD ÄR BESTÄNDIGHET?

Begreppet beständighet upplevs mycket olika av olika personer. Vissa anser att en beständig ytbehandling skall vara för evig tid. Med hänvisning till gamla putser från Fenicien påstås att putser kan (och skall) hålla i tusentals år. Vid ett sådant resonemang tar man ingen hänsyn till skillnader i utom- och inomhusklimat eller till olika yttre påfrestningar i Fenicien och Sverige.

En annan ytterlighet i beständighetsfrågan i samband med fasadbehandling är kvinnornas make-up. En make-up som ser någorlunda fräsch ut efter ett antal timmar upplevs som beständig.

Beständighetsbegreppet måste alltid sättas i relation till situationen och förväntningarna på något sätt. För en invändig puts är ett rimligt krav att den skall hålla hela byggnadens livslängd. En utvändiga puts skall däremot ses som en "förbrukningsvara". För målat trä räknar man med underhållsperioder om cirka 7 år. Varför skall man inte räkna med underhållsperioder på puts? Om en puts, i dagens aggressiva luft, kräver vissa reparationer efter 50 år finns ingen anledning att måla fan på väggen. En riktigt utförd puts klarar sig ofta mycket längre innan något reparationsbehov uppstår. I en mycket aggressiv miljö kan man dock få räkna med kortare livslängd.

Resonemanget om livslängd och beständighet är inte unikt för putsade fasader. Det finns inga underhållsfria fasader. Stenfasader anses ofta underhållsfria, vilket de inte är. Gipsbildning på kalkstensfasader är ett exempel som medfört mycket stora problem, främst i Sydeuropa.

En entydig definition av begreppet beständighet är sannolikt omöjlig att fastställa.

HUR GÖR MAN EN BESTÄNDIG PUTS?

Av det föregående framgick att bedömningen av putsens beständighet ofta blir individuell. En följd härav blir att många personer anser sig kunna göra en beständig puts, under förutsättning att de själva får bedöma beständigheten? I det följande redovisas några vanliga sätt att göra en beständig puts.

Gör som man gjorde förr i tiden

Enligt denna metod analyserar man gamla bruk, gärna sådana som är totalt söndervittrade, och framställer ett likadant. Motivet för detta är att allt var bättre förr i tiden. Att putsen man analyserar inte varit beständig bryr man sig inte om.

Använd kalkputs

Metoden används främst inom kulturminnesvården. Det främsta argumentet för metoden är att kalkputsen är lätt att avlägsna, om det plötsligt skulle uppstå ett sådant behov i framtiden. Att argumentet är riktigt framgår klart vid en snabb blick på de kyrkor som renoverats med rent kalkbruk. Man har inte ens behövt hjälpa till att avlägsna putsen. Den har ofta kommit ner av sig själv!

Använd cementputs

Metoden är idag ganska ovanlig. Motivet för metoden är att cementputs är starkt och tål klimatpåfrestningar bra. Dessa påståenden är helt riktiga när det gäller själva putsen. Det är sällsynt med skador på putsen i sig. Problemet är i stället att putsen kan bli så stark att den förstör underlaget.

Använd plastfärg

Metoden är relativt vanlig och innebär att man försöker dölja olika skavanker med en illaluktande organisk substans med okänt innehåll. Resultatet av behandlingen blir i allmänhet högst varierande. I vissa fall misslyckas man totalt. I andra fall blir framgången fullständig, även då det enligt all tillgänglig expertis inte borde fungera. Det senare gäller framförallt när ytbehandlingen utförs av glada amatörer, i synnerhet professorer med sommarstuga i Brantevik.

Övriga metoder

Under min tid som putsforskare har jag naturligtvis funnit många metoder att åstadkomma en beständig puts. Stundtals har jag funderat på att söka patent. Efter att dragit saken i långbänk har jag dock avstått från detta och kan därför publicera metoderna. De mest intressanta torde vara:

- Flytta in fasadputs inomhus
- Sätt ett paraply över huset
- Flytta Sverige till en plats med gynnsammare klimat
- Håll fasaden uppvärmd under vintern
- Håll fasaden djupfryst året runt

VILKEN NIVÅ HAR DAGENS PUTSKUNNANDE?

Av det föregående kan man förledas till tanken att puts-kunskan- det i Sverige är dåligt. Så är dock inte fallet. Vi svenskar är ett folk med stora kunskaper när det gäller puts. Uppskattningsvis finns det 5 miljoner putsexperter i landet. Det är inte bara antalet experter som är stort. Även antalet uppfattningar är stort. Här skall bara en av alla "grundläggande tumregler" kommenteras, nämligen påståendet att putsens styrka skall avta utåt. Ur teoretisk synvinkel kan det låta trovärdigt. Praktiken har dock visat att puts kan fungera utmärkt även om styrkan inte avtar utåt. Det kanske vanligaste puts- underlaget, autoklaverad lättbetong (innan radondebatten började kallades materialet gasbetong), är nämligen svagare än den puts som i allmänhet används. Varför fungerar denna kombination? Möjligen beror det på att putsen inte vet om att den är starkare än underlaget. (Det är ju ett välkänt fenomen att det i allmänhet är den part som tror sig vara starkast som startar ett bråk.)

Charles de Gaulle lär en gång ha sagt att "fan skall vara ledare för ett folk med 250 sorters ost". Vad skall man då säga om att vara forskare inom ett område med 5 000 000 experter?

HAR PUTSEN EN FRAMTID?

I början av denna betraktelse nämndes putsens många möjligheter. Om man utnyttjar det kunnande som finns idag har putsen utan tvekan en lysande framtid. Det finns dock en stor risk i sammanhanget, nämligen att man inte inser de begränsningar som finns. Vi får inte begå samma misstag som under 1960-talet då man använde "plastfärg" överallt. Plastfärgen har utan tvekan en plats som fasadbehandling men den löser inte alla problem. Samma sak gäller kalkputs. Den är berättigad ur kulturhistorisk synvinkel. Man måste dock samtidigt inse de tekniska begränsningarna.

Med den inställning till putsforskning och information som visas, både från myndigheter och näringsliv, finns all anledning att se ljus på framtiden. Det finns många problemställningar att studera. Problemen är dock inte oöverstigliga. Finns bara viljan så är allt möjligt!

Människor kan delas i två
grupper: en som går före och
uträttar något och en som
kommer efter och kritiserar.
(Seneca)

Kan man vara glad åt lite,
har man mycket att glädjas åt.
(Gunnar Sträng)

VAD ÄR DET JAG GÖR?
-En doktorands funderingar



Lars Wadsö
Doktorand vid avd Byggnads-
materiallära, Lund

Vad är det egentligen som jag arbetar med? Den frågan ställer jag mig ofta. Svaret är inte så enkelt. Frågar du en busschaufför vad han gör, så svarar han "kör buss". Då vet du vad han gör, och är nöjd med svaret även om det finns mycket mer att säga; det finns ju en mängd olika sorters bussar och bussföretag.

Frågar du mig vad jag arbetar med, så blir jag lite villrådig. Jag kan svara att jag är doktorand eller forskarstuderande, eller säga att jag forskar, men det blir du nog inte mycket klokare av. Jag måste beskriva vad det är jag gör hela dagarna, och det tar tid. Eftersom folk ofta inte har så mycket tid, så har jag kommit på några andra varianter:

- jag jobbar på högskolan
- jag är lärare
- jag arbetar med skadade hus.

Det första är sant, det andra är delvis sant, men det tredje är bara mycket lite sant.

Kära läsare! Eftersom du har läst så här långt, så har du vad som fattas de flesta; tid. Därför kan jag berätta för dig vad jag egentligen gör.

Trä är ett vanligt byggnadsmaterial, och har varit det sedan människan började bygga hus. Idag har dock trä hård konkurrens från betong, lättbetong, stål, plast och andra material. Dessa material har det gemensamt att man har studerat dem noga ur olika aspekter, till skillnad från trä som mest bara har använts och använts.

När vi idag vill bygga energisnålare, underhållsfriare, billigare, bekvämare och fuksäkrare, hittar vi på nya huskonstruktioner. Dessa blir oftast mer avancerade och komplicerade än de äldre husen, och kräver då också mer kunskap om materialen. Det går t ex inte att slentrianmässigt använda trä på samma sätt som man alltid gjort i fönster, väggar och bjälklag, när resten av huset konstrueras med helt nya metoder och nya material. Det är inte självklart att träet i en vägg håller lika länge om isoleringen ökas. Allting måste gås igenom och studeras eftersom den gamla erfarenheten inte räcker till längre. Detta inte sagt för att jag ser ner på tradition och erfarenhet. Kanske framförallt på träsidan har det tyvärr glömts bort mycken värdefull kunskap. Det är snarare så att det som vi vet nu måste kompletteras med nytt vetande; och kanske en del gammalt också.

Att trä kan medföra problem vet vi alla efter att ha läst om mögelhus nästan dagligen det senaste året. Det finns alltså anledning att studera träet närmare ur många olika aspekter. En intressant fråga är om träet var bättre förr. En annan är hur mycket fukt det behövs för att trä skall mögla. En tredje fråga är hur snabbt trä fuktas upp och torkar ut. Det är denna sista fråga som jag studerar en liten del av.

Tyvärr blir det så att man måste specialisera sig för att kunna gå på djupet och lösa problemen. Det går inte att studera alla träs olika egenskaper samtidigt. Det är i alla fall alldeles för mycket för en enskild forskare, som aldrig kommer att komma någon vart om han eller hon inte specialiserar sig.

Det låter kanske kusligt att specialisera sig, att gräva ner sig. Tänk då på Tage Danielssons lilla dikt:

Synen är noll
på de långa
distanserna!
På nära håll
finns de nya
nyanserna!

Nedåt strävar jag och verksamhetsområdet blir mindre och mindre. Det är viktigt att komma upp ur sitt mullvadshål och överblicka, se helheter. En forskare som bara håller sig på sitt lilla specialområde riskerar att bli en farlig forskare.

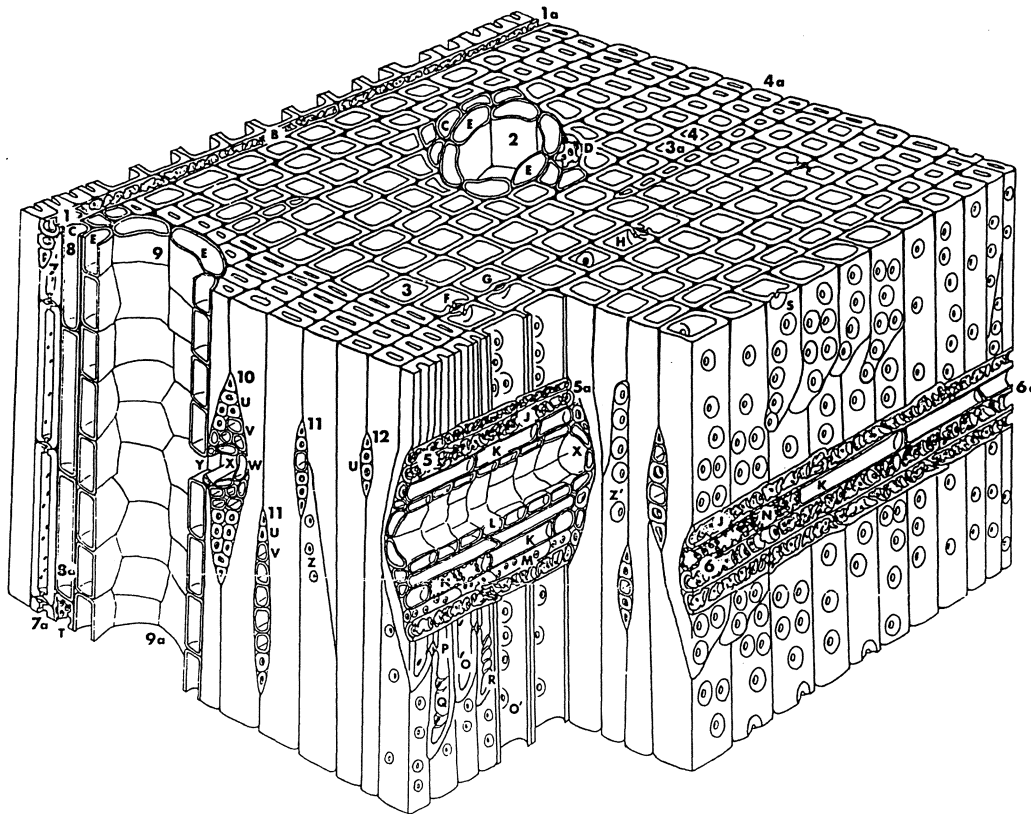
Detta kanske låter märkligt; både det ena och det andra är bra samtidigt. Ja, sådan är världen. Både en sak och dess motsats kan i vissa fall vara sanna. Här är det bara frågan om att närsyn och långsyn kompletterar varandra.

Låt oss göra en nedstigning till det lilla rike jag bebor en stor del av min tid på jobbet!

Trä kan bli fuktigt och skadas. För att vi skall undvika det krävs att vi kan mycket om trä. En sak som är viktig är att veta hur snabbt trä tar upp fukt och hur snabbt det torkar ut igen. Detta finns det gjort en hel del mätningar på.

Ett nästa steg är ofta att konstruera en modell som kan förklara och förutsäga. Modeller är mycket vanliga inom vetenskapen; de kan se ut på olika sätt, men har alla det gemensamt att de är vetenskapliga beskrivningar av verkligheten. Vissa modeller är enkla, andra mer komplicerade. En del modeller är mycket noggranna och kan förutsäga händelser med stor noggrannhet. Andra kan bara efterlikna de största dragen hos verkligheten.

Jag skall bygga en modell för fukt i trä som skall hjälpa till att förklara de mätningar som är gjorda. Riktigt hur den skall se ut vet jag inte ännu, men en uppfattning om vad det är som behöver vara med får vi om vi ser på en tecknad bild av trä:



Sidan i det förstörade trästycket i bilden är mindre än 1 mm. Trä har en komplicerad struktur när vi förstörar det. De olika delar vi ser är olika sorters celler och porer i dessa.

I en modell måste jag beskriva strukturen. Jag kan göra detta genom att ange hur stora cellerna är, hur många de är och hur de är placerade. Detta är inte svårt eftersom många har studerat detta före mig. Svårare är att beskriva porerna som går mellan de olika cellerna. Även detta verkar dock möjligt eftersom det finns en del skrivet om dessa porer.

När jag känner strukturen måste jag veta vilka egenskaper de olika delarna har. Jag måste kunna säga att cellväggen leder fukt på ett visst sätt, och att porerna släpper igenom si eller så mycket vattenånga. Detta är den svåraste delen av mitt arbete eftersom man inte vet så mycket om dessa saker. Här får jag göra en del extra arbete för att kunna plocka ihop min modell: jag måste göra mätningar.

Ett problem med trä är att egenskaperna skiljer sig från träbit till träbit, eftersom det är ett naturligt material. Det är alltså svårt att hitta två träbitar som är lika, eller olika på ett bestämt sätt.

Jag har därför tänkt att jag skall mäta fukttransporten genom komprimerat trä. Detta är trä som jag har tryckt ihop i en press så att det blir mer kompakt än det var från början. Genom att göra det olika mycket kompakt får jag träbitar med olika egenskaper. För att kunna trycka ihop trä utan att det spricker är jag tvungen att blöta det och värma upp det först. Då blir det mjukt och kan tryckas ihop. Detta har utnyttjats tidigare när man ville ha extra

hårt trä till t ex skyttlar i maskinvävstolar. Nu använder jag det när jag skall göra försök.

Nu är vi nästan nere på botten. Vi började med trä, fortsatte med fuktigt och skadat trä, och över till att det fanns mätningar på hur snabbt fukt transporterades i trä. Sedan skrev jag om att göra en modell och att jag behövde mäta vissa egenskaper. För att göra detta vill jag använda komprimerat trä. Jag skall nu avsluta med att jag också behöver en metod att mäta med.

För att mäta fukttransporten i trä tänkte jag använda en metod som verkar mycket enkel, men som i själva verket är ganska så komplicerad. Den går helt enkelt till så att jag tar en torr träbit och sätter den i ett fuktigt rum. Jag mäter sedan hur snabbt biten tar upp fukt genom att mäta vikten på den; biten blir tyngre och tyngre när den tar upp fukt. Ur sådana mätningar kan jag sedan räkna ut hur hög fukttransporten är.

Detta låter inte så svårt, men är tyvärr ganska så komplicerat. Jag är tvungen att lägga ner mycket tid på att analysera alla möjliga felkällor och förklara hur dessa påverkar mina mätningar.

Nu tar vi och går upp igen. Jag hoppas att du har förstått vad jag arbetar med. Det som jag kommer fram till kan vara en av många små pusselbitar som hjälper oss att bygga bättre hus i framtiden.

När vi är uppe igen, så vill jag ta hjälp av en dikt av Harry Martinsson för att visa på en koppling; trä är inte bara trä, utan också träd; dessa fantastiska växter som på ett eller annat sätt påverkar alla människor. Det kan vara en tanke att de flesta andra byggnadsmaterial bryts ur marken och efterlämnar hål, medan trä växer och är delar av ett förhoppningsfullt evigt kretslopp.

GRANSKOGARNA

Susande tornvärld utan slut.

Tungsinta skog vår skärm, vårt beskydd,
svordomsupptagande, vinterhärdad.

Vårt hjärtas grovhjälp,
våra gravars ris.

STABILITETSANALYS VID DIREKT DRAGPROV OCH
KÄNSLIGHETSANALYS AV CEMENTBASERADE MATERIAL

Fanping Zhou



Sammanfattning

Stabilitetsproblem vid dragprov analyseras med hjälp av den fiktiva sprickmodellen. Inverkan på σ - w -sambandet av osymmetrisk deformation i skadezonen och rotationsstyvhet hos provningsanordningen studeras.

För ett antal material har brottbeteende hos en balk- och ramprovkropp undersökts. I princip erhöles överstämmelse mellan de teoretiska beräkningarna och de experimentella resultaten.

1. Stabilitetsanalys

Utvecklingen inom betongs brottmekanik har visat att konstruktioners beteende vid brott styrs av betongens mjuknande egenskaper (σ - w -sambandet). Baserad på betongs mjuknande, har den fiktiva sprickmodellen utvecklats vid avdelningen. Den modellen har tillämpats med framgång på analys av konstruktioners beteende vid dragbrott. σ - w -sambandet är grundläggande materialsindata för modellen och kan fastställas med hjälp av ett dragprov.

Stabiliteten vid dragproven är väsentligt och har stor inverkan på resultaten. Det finns två typer av instabilitetsproblem.

Den ena typen avser instabil deformationsökning i skadezonen. Med hjälp av en modern closed-loop-maskin kan detta problem kringgås genom att styra deformationen på lämpligt sätt.

Den andra typen avser rotationsinstabilitet vilket medför att rotation inträffar i skadezonen och deformationen blir ojämnt fördelad. För att undvika denna instabilitet bör rotationsstyvheten hos provningsanordningen vara tillräckligt stor så att rotation i skadezonen kan motverkas.

Teoretisk analys har utförts för att klargöra inverkan på σ - w -kurvan av rotation i skadezonen och rotationsstyvheten. Beräkningarna är utförda enligt den fiktiva sprickmodellen.

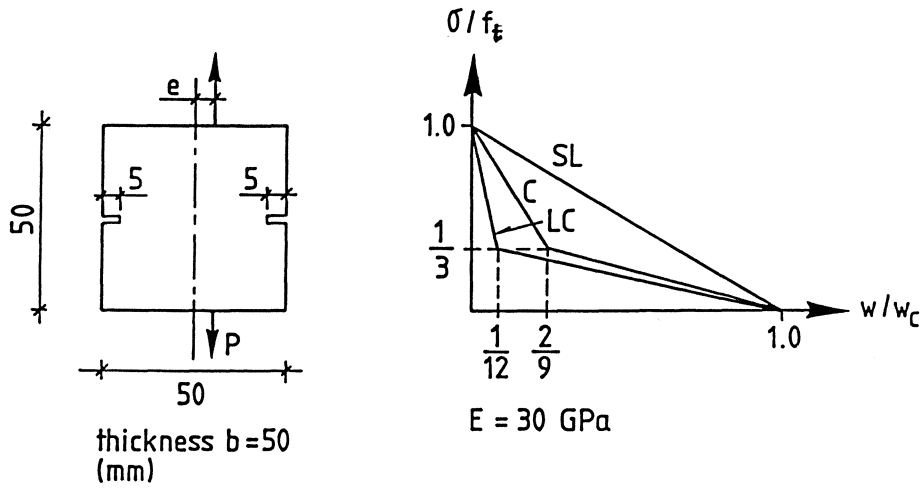


Fig 1 Provkropp och materialegenskaper

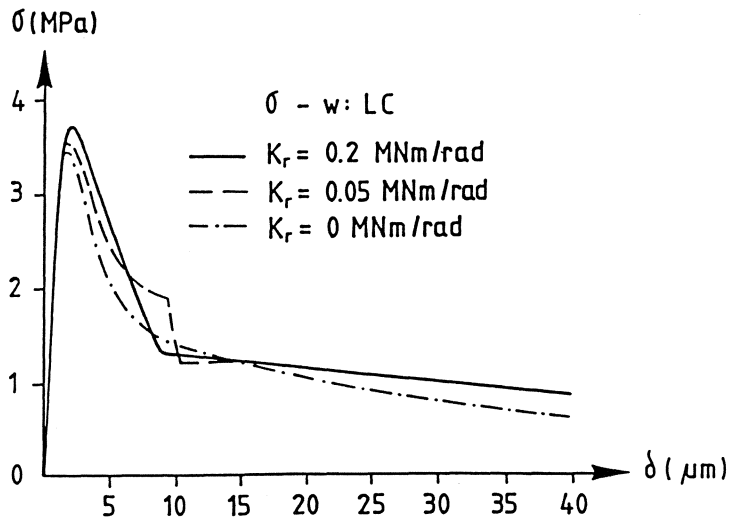


Fig 2 Instabilitet och rotationsstyvhet.
 δ är medelvärden av deformationer uppmätta emellan skärorna i båda sidorna

Provkroppen och σ -w-kurvan LC framgår av fig 1. För brottenergin G_F och draghållfastheten f_t väljes 80 Nm/m^2 och 4 MPa . Rotationen är simulerad med initial lastexcentriciteten ($e=1 \text{ mm}$).

Av figur 2 framgår beräkningsresultaten. När rotation inträffar i skadezonen och styvheten K_R är lika med noll, avviker σ -w-kurvan från riktiga materialskurvan. Om styvheten blir tillräckligt stor ($K_R=0.2$) finns det nästan ingen skillnad mellan den beräknade och antagna kurvan. Det verkar lite överraskande att ett plötslig spänningsfall, observerad ofta vid dragprovet, blir märkligt för styvheten $K_R=0.05$, men för styvheten $K_R=0$.

2. Känslighetsanalys

Brottbeteendet hos en struktur är beroende generellt på kvoten d/l_{ch} . Där är d den karakteristiska dimensionen (höjden hos en balk) och l_{ch} är den karakteristiska längden hos materialet vilken är materialparameter och kan beräknas från $l_{ch} = EG_F/f_t^2$.

Vid denna studie har ett antal provningar utförts för att studera inverkan av kvoten d/l_{ch} på brottbeteende hos en balk- och ramprovkropp av varierande material. Dessa provningar har sedan jämförts med teoretiska beräkningar enligt den fiktiva sprickmodellen. Två antagna σ -w-kurvor SL och C framgår av figur 1.

Fig 3 visar inverkan av kvoten d/l_{ch} på formell böjhållfastheten hos en balk och ram. Resultaten visar att bärförmågan hos en ram (statiskt obestämd konstruktion) är känsligare än en balk (statisk bestämd konstruktion).

I fig 4 jämförs den experimentella last-nerböjningskurvan med de beräknade kurvorna. Den beräknade kurvan med σ -w-kurvan SL följer i princip den experimentella kurvan.

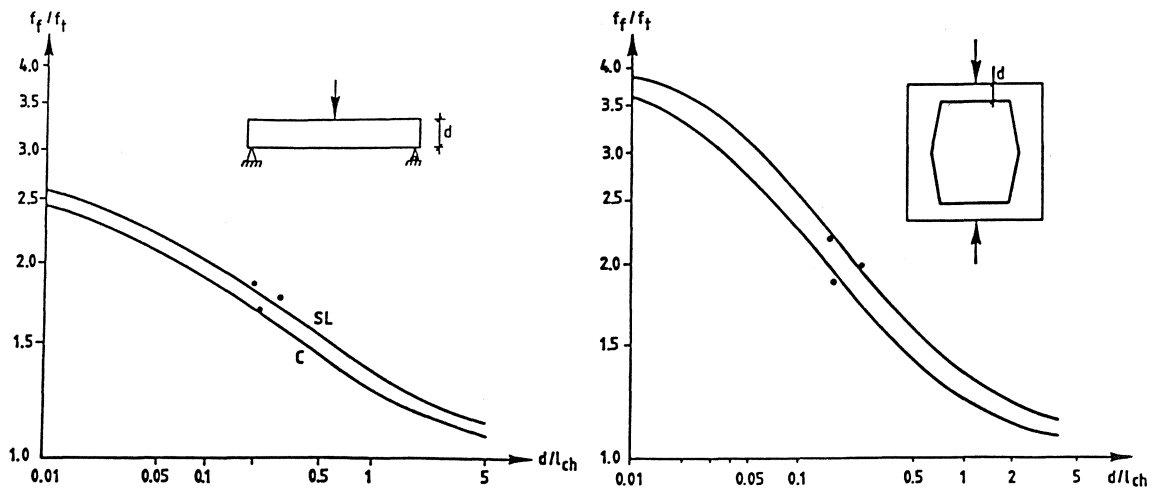


Fig 3 Teoretisk och experimentell variation av formell böjhållfasthet av balken and ramen

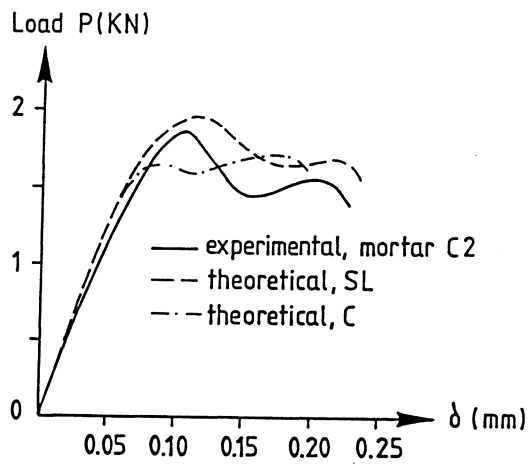


Fig 4 Teoretiska och experimentella lastnerböjningskurvor.
 $f_t=3.3$ MPa, $G_F=59$ Nm/m².

