

NORDTEST SYMPOSIUM

Materialers og komponenters bestandighed Vurdering og prøvning

•

København · juni 1988

Redaktion: Erik Brandt

Arrangeret af
Statens Byggeforskningsinstitut
i samarbejde med

nordtest og **NBS-MK**

KOMPONENTERS BESTANDIGHED - vurdering og prøvning

Nordtest symposium i København 1988

Redaktion: Erik Brandt

Konferencerapport, Statens Byggeforskningsinstitut 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

EX. 2
28 SEP. 1992

00206P

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

EX. 2
24 MAJ 1988

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationer findes i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning, Landbrugsbyggeri og Beton. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Instituttets årsberetning og publikationsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement. Instituttets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Information om abonnementernes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0693-8
Pris: 183,00 inkl. 22% moms
Oplag: 250
Tryk: SBI, Hørsholm
Omslag: Walter Rayher

Statens Byggeforskningsinstitut
Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02 86 55 33

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

Nordtest Symposium i København, 1988: Komponenters Bestandighed
- vurdering og prøvning

INDHOLD

FORORD	6

BESTANDIGHEDSFILOSOFI	7
Beständighet - krav och generell metodik	9
C. Sjöström	
Bedömning av nya materials beständighet inget för (gamla) provningsmetoder	17
L-O. Nilsson	

PÅVIRKNINGER	23
Påvirkning fra det ytre miljø	25
J.F. Henriksen	
Surface Moisture Conditions for Building Materials	33
B. Svennerstedt	
Fotokemisk mätmetod för ultraviolet solstrålning	41
D. Lala	
Microclimate - Measurements at a Test House.....	51
J. Nieminen	

ÆLDNING AF MATERIALER	53
Beton	
Alkalikiselreaktioner - krav til betontilslag	55
K. Brandt, C. Munch Petersen og T. Thorsen	
Betons nedbrydningsmekanismer - accelererede prøvningsmetoder	63
H. Krenchel og J. Buch	
Tillståndsbedömning av betongkonstruktioner	65
C. Molin	

Härningens inverkan på betons permeabilitet och beständighet.....	77
C. Ewertson og P.-E. Petersson	
En generell metod för värdering av porösa materials frostbeständighet..	87
G. Fagerlund	
Betons holdbarhed og nedbrydning bedømt ved strukturanalyse	89
A.Damgaard Jensen	
Testing of Concrete Products for Service Life Prediction	95
S.E. Pihlajavaara	
Permeabilitetens betydelse för betongs beständighet	
Praktisk provning och bedömning av permeabilitet	113
L. Johansson	
<u>Tage</u>	
Karakterisering av takfolier etter ulike aldringsmetoder	122
S.B. Berg	
Aging Characteristics for Polymeric Roofing Sheets	133
E.M. Paulsen	
Ældning af isolering til flade tage	138
T. Bunch-Nielsen	
Durability of Roofing Fasteners for Mechanically Attached	
Bituminous or Polymeric Membranes	144
E.M. Paulsen	
Plater av stål og aluminium som takteknig	151
T. Bøhlerengen	
<u>Diverse</u>	
Testmetod för utvärdering av putsbelägnings beständighet	159
D. Karlsson	
Putsets beständighet	169
K. Sandin	
Fasader i pusset og upusset murverk. Levetid	177
A.M. Waldum og A. Nesje	
Radon i bostäder. Exempel på olika typer av byggnadstekniska	
åtgärder	178
I. Nilsson	
Long-term Performance of Cellular Plastics as Building Insulations...	188
E. Kokko og L. Rautiainen	
Provning av beständighet och åldring hos fogmassor	194
P.G. Burström	

Förändring av värmeledningsförmågan hos cellplaster innehållande	
CFC eller andra gaser	198
P.I. Sandberg og J. Isberg	
Livsläng hos förseglade glasrutor	209
H. Brolin og M. Tornevall	
<u>Trä</u>	
En studie av klimatpåverkningar på målad träpanel drabbad av rötskador.	215
S. Hjort og L-O. Nilsson	
Accelererad åldring och objektiv utvärdering av behandlat trä	221
I. Johansson, G. Hägglund og O. Lindgren	
Naturlig beständighet hos trä	222
J.B. Boutelje	
<hr/>	
VURDERING AF KONSTRUKTIONER	231
Accelerated and Natural Weathering of Building Components and	
Elements	233
T. Gjelsvik	
Konstruktioners holdbarhed set i lyset af sikkerhedsnormens krav	236
J. Nielsen og H. Kaaris	
Funktionsprøvning af flade tage	244
F. Dombernowsky	
Vurdering af fugttransport i bygningskomponenter	
Metoder til fugttransportmåling ved LfV og LBM, DTH	253
K. Kielsgaard Hansen og A. Nielsen	
Fuktsakra bygnadsdelar. Dimensionering, provning och utvärdering ...	258
I. Samuelsson	
Byggfukt och beständighet	265
T. Hansson	
Localisation of Moisture and Damages in Facades with IR-Camera	271
H. Kaasinen	
<hr/>	
VEDLIGEHOLD.....	279
Tilstandsvurdering - systematik og metoder	281
E. Brandt	
Metoder för fältbesiktningar i byggnader	291
L. Tobin	
Tillståndsvärdering av utvändiga ytor	301
N. Tolstoy	
Statistiske vurderinger i forbindelse med bestandighed	311
A.F. Nielsen	

 FORORD

I de seneste år er holdbarhed/bestandighed af bygninger blevet genstand for stor interesse såvel i de nordiske lande som i den øvrige del af verden. Dette hænger sammen med, at der er blevet indledt en betydelig teknisk omstilling inden for byggesektoren. Nye materialer er ved at vinde indpas til erstatning for gamle, og både nye og gamle materialer finder anvendelse i nye konstruktioner, der bl.a. er indført af energisparehensyn. Samtidig har vedligehold og renovering fået en fremtrædende rolle i byggesektoren, hvilket øger behovet for metoder til bedømmelse af tilstande og restlevetider.

Prøvningsmetoder og vurderingskriterier for nye såvel som kendte materialer og konstruktioner ser derfor ud til at blive en vigtig baggrund for udviklingen af nye produkter, hvor ikke mindst totaløkonomien kommer til at indtage en mere fremtrædende rolle.

De nordiske lande har været godt med i udviklingen inden for området. Den nordiske arbejdsgruppe NBS-MK (Nordiske Byggeforskningsorganisationers Samarbejdskomité - Materialers og konstruktioners aldring og levetid) har således gennemført flere projekter inden for området, og dens medlemmer har ydet væsentlige bidrag til det internationale samarbejde om "Prediction of Service Life" under CIB/RILEM.

Det er derfor en naturlig fortsættelse af dette arbejde, når der nu gennemføres et nordisk symposium på området. Symposiumet er arrangeret af Statens Byggeforskningsinstitut på initiativ af NORDTEST- BYGG og med NBS-MK som faglig medarrangør.

Hovedformålet med symposiumet har været at give et situationsbillede af den byggetekniske prøvnings formåen inden for bestandighedsområdet. Endvidere skulle symposiumet give information om den udvikling, som kan forventes inden for området.

Hovedvægten har ligget på metodespørgsmål knyttet til prøvning og vurdering af de påvirkninger, vore byggematerialer og -komponenter udsættes for, samt deres holdbarhed/bestandighed.

Vi takker forfatterne for udarbejdelse af manuskripter.

Statens Byggeforskningsinstitut
 Afd. for Bygningsfysik, april 1988
 Erik Brandt

 BESTANDIGHEDSFILOSOFI

Beständighet - krav och generell metodik
 C. Sjöström

Bedömning av nya materials beständighet
 -inget för (gamla) provningsmetoder
 L.O. Nilsson

Beständighet - krav och generell metodik

Avdelningsledare Christer Sjöström, Material och konstruktioner, Statens institut för byggnadsforskning, Box 785, S-801 29 Gävle, Sverige

Inledning

Intresset för byggmaterials och komponenters långtidsegenskaper är idag påfallande stort. En accentuering av resurshushållning både i nybyggandet och vid reparation och underhåll av det redan byggda är en väsentlig förklaring. För den material- och komponenttillverkande industrin är en god beständighet hos produkterna ett argument i marknadsföringen.

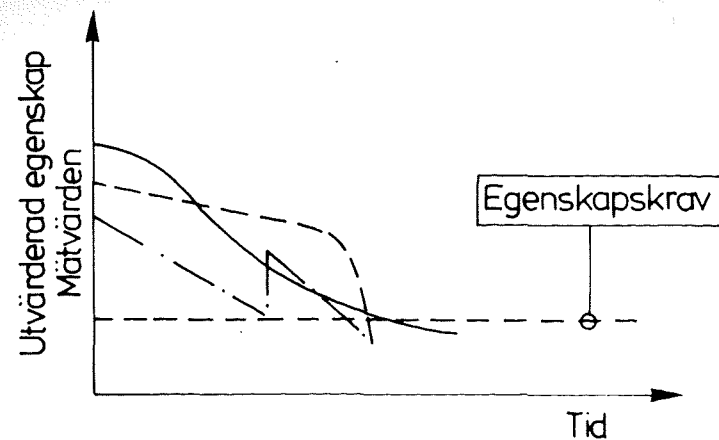
Ökade krav på precision i bedömningen av byggprodukters långtidsuppförande medför i sin tur ökade krav på de metoder som används för provning och utvärdering. I denna artikel ges en målformulering och presenteras uppbyggnaden av ett systematiskt angreppssätt för livslängdsbedömningar, samt utpekas några generella områden med särskilda kunskapsbehov.

Målformulering

Inga material är underhållsfria eller är undantagna från kemiska och fysikaliska nedbrytningsprocesser. Frågan är om det åldrande som sker i den avsedda användningsmiljön hinner påverka materialets eller produktens väsentliga egenskaper i negativ omfattning under byggnadens brukstid. I första hand är detta en fråga om målformulering. Vad skall räknas som husets livslängd eller materialets brukbarhetstid? Skall materialet kunna underhållas eller bytas ut? Vilka egenskaper är väsentliga och hur sätts den lägsta acceptabla nivån, dvs egenskapskravet?

Figur 1 illustrerar tänkbara funktionssamband som beskriver hur någon egenskap hos ett material förändras med tiden. Funktionerna kan på svenska kallas egenskap över tid, på engelska finns begreppet performance over time. Med den här funktionen känd för ett givet material i en viss användning och med ett bestämt egenskapskrav så är alla betydelsefulla fakta kända för en livslängdsbedömning eller en underhållsplanering. Forskning om materials och byggnadsdelars åldrande syftar till att fastställa och ange

värden på de egenskaper som bestämmer och förklarar funktionen egenskap över tid.



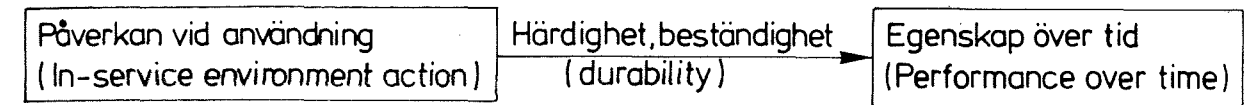
Figur 1. Funktionssambandet Egenskap över tid

Arbetsfältet inrymmer många svåravvägda frågor. Det är inte alltid enkelt att bestämma vilka egenskaper som skall betraktas som väsentliga. Inte sällan måste dessutom en god prestanda i en egenskap köpas till priset av försämringar i andra. Att fastställa egenskapskravet (gränsvärdet där vi inte längre accepterar materialet) blir en särskilt grannliga uppgift när egenskapen inte kan värderas helt objektivt. Detta gäller för de flesta estetiska egenskaper. Även en liten variation i nivån för egenskapskravet kan dessutom medföra en stor förändring i den uppskattade livslängden. Se till exempel den heldragna kurvan i figur 1 som har ett asymptotiskt förlopp i området nära egenskapskravet.

För att kunskap om materials och byggnadsdelars långtidsuppförande skall vara i egentlig mening praktiskt värdefull i bygg- och förvaltningssammanhang, fordras i allmänhet att den kan presenteras som tidsangivelser, dvs som kvantitativa uppgifter om livslängd och underhållsfria perioder när produkten är i en bestämd användning. Detta är ett högt ställt krav, som vi tyvärr alltför ofta misslyckas att uppfylla. De metoder för åldringsprovning som står till buds ger i allmänhet endast en uppfattning om materialets relativa hårdighet i provningssituationen. Det är dock viktigt att hålla fast vid målet - att ange brukbarhetstiden, livslängden eller den underhållsfria perioden (Eng. service life).

När vi talar om beständighet, hårdighet eller, på engelska, durability avses en förmåga hos materialet/produkten att motstå den nedbrytning som brukandet och användningsmiljön ger upphov till. Denna motståndsförmåga karakteriseras genom den eller de egenskaper som utvärderas och den miljö

som materialet är utsatt för. De omgivande materialen utgör därvid en del av miljön och påverkar genom den konstruktiva utformningen hårdigheten.



Figur 2. Hårdighet, eller beständighet, är förmågan att motstå nedbrytning

Vilken kunskap behövs?

En beskrivning användningsmiljön, dvs av de väsentliga nedbrytningsfaktorer som påverkar materialet eller komponenten, är nödvändig för att en bedömning av livslängd och underhållsperioder skall kunna göras. I många fall är just bristfällig kunskap om de påverkande faktorerna den allvarligaste begränsningen för tillförlitliga bedömningar av ett materials långtidsuppförande. Svårigheten att beskriva vilka påfrestningar materialen utsätts för hindrar även utvecklingen av metoder för påskyndad åldring.

Det är i sammanhanget viktigt att minnas att materialhanteringen under byggprocessen och de påkänningar som denna innebär kan ha avgörande betydelse för materialets prestanda under brukstiden. Det finns otaliga exempel på fall där transport, lagring och montering allvarligt har minskat materials eller byggkomponenters funktionsförmåga.

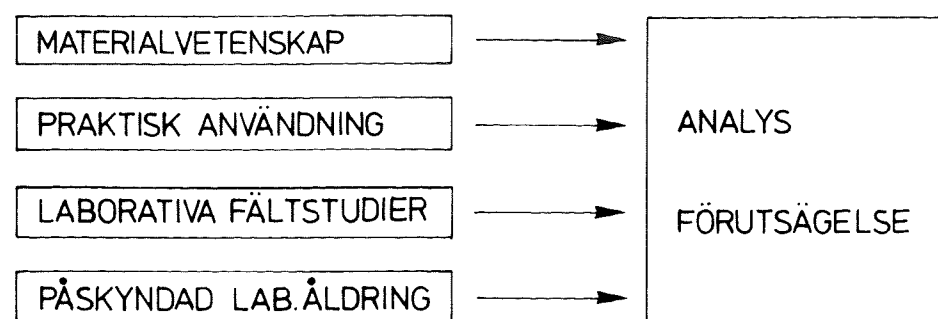
Masters gav 1983 i en lägesbeskrivning av forskningsområdet (1) en översikt över de allvarligaste hindren för tillförlitliga förutsägelser av livslängd och underhållsperioder och för utveckling av förbättrade provningsmetoder. Även om mycket har hänt sedan beskrivningen gjordes finns det anledning att på nytt se på dessa behovsområden. Som de viktigaste forsknings- och utvecklingsbehoven nämndes

- en generell och överenskommen metodik som vägleder utformningen av undersökningar av materials långtidsuppförande
- tillförlitliga metoder för insamling och redovisning av beständighetsdata avseende praktisk användning av material och komponenter
- förbättrad kunskap om nedbrytningsmekanismer
- förbättrade instrument och metoder för att mäta och beskriva nedbrytning
- bättre kunskap om de miljö- och användningsfaktorer som orsakar nedbrytning och förbättrade metoder att mäta deras intensitet

- metoder för att simulera och ta hänsyn till synergism mellan nedbrytningsfaktorer
- förbättrad kunskap om och ett ökat utnyttjande av matematiska modelltekniker.

Vart och ett av de områden som beskrivs ovan har ägnats och ägnas avsevärt intresse i forskningssammanhang. Behovsbeskrivningen äger fortfarande stor giltighet och bör tjäna som underlag vid inriktning av FoU-arbete. I nästa avsnitt behandlas framför allt de två första punkterna utförligare.

Figur 3 visar i grova kategorier varifrån kunskapsunderlaget för en livslängdsanalys måste hämtas.



Figur 3.

Systematiskt angreppssätt

På initiativ av och med starkt stöd från bland andra det nordiska samarbetet NBS-MK startade organisationerna CIB (Conseil International du Batiment pour la Recherche l'Etude et la Documentation) och RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions) 1981 en gemensam kommitté för att behandla förutsägelse av livslängd och underhållsperioder för material och byggnadsdelar. Kommittén som betecknades CIB W80/RILEM 71-PSL, åtog sig uppgiften att genomföra en beskrivning av kunskapsläget inom forskningsområdet samt att utarbeta en generell metodik för utvärdering av brukbarhetstiden.

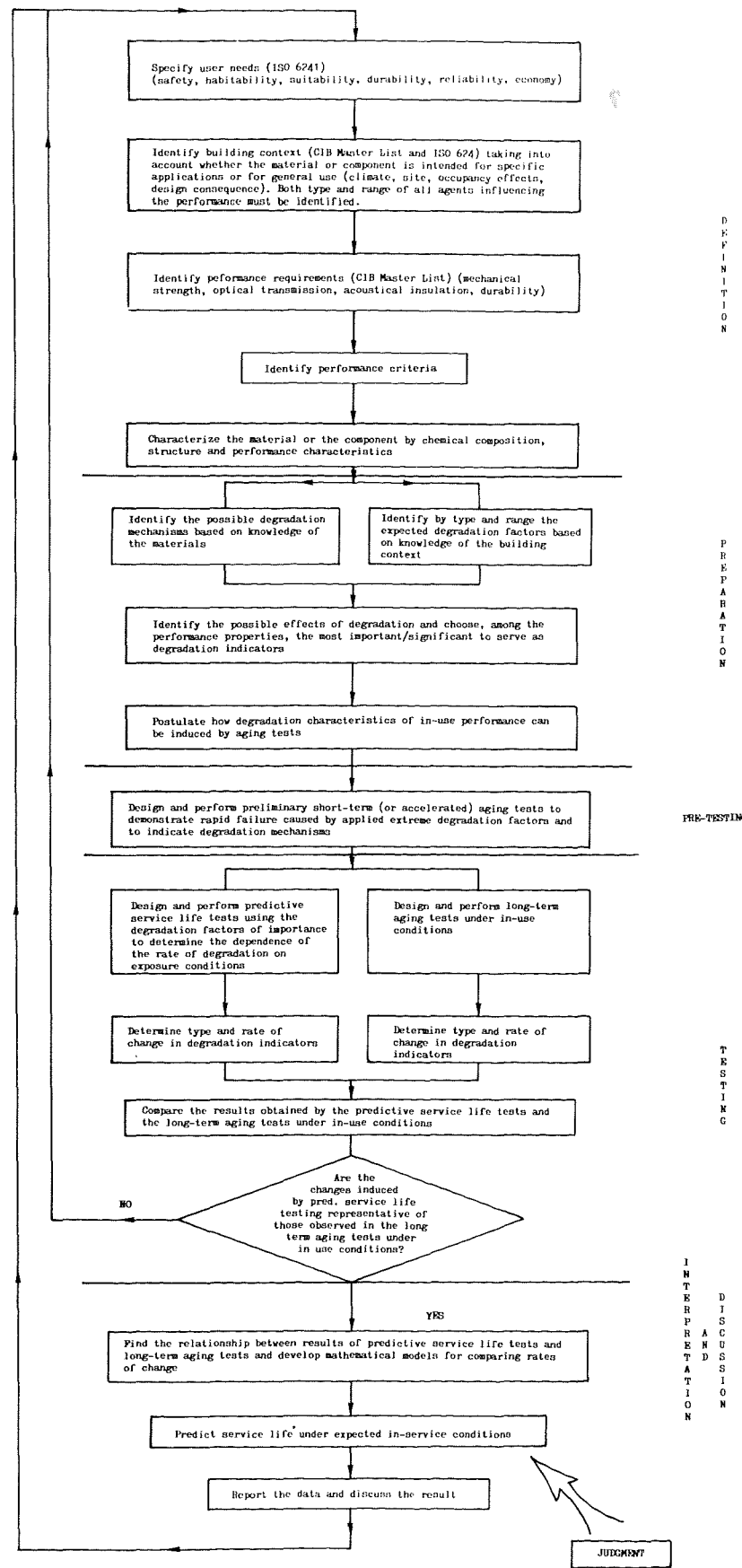
De flesta forskningsenheter och laboratorier som arbetar med sådana här frågor använder sig av någon form av rutin eller övergripande angreppssätt när de genomför sina studier. Dessa rutiner fungerar som checklistor och kan som sådana medverka till att undersökningarna genomförs på ett logiskt,

tekniskt och ekonomiskt sunt sätt. En generell metodik som får internationell spridning och acceptans innebär stora fördelar genom att kommunikationen mellan forskare, tekniker och andra verksamma inom området underlättas.

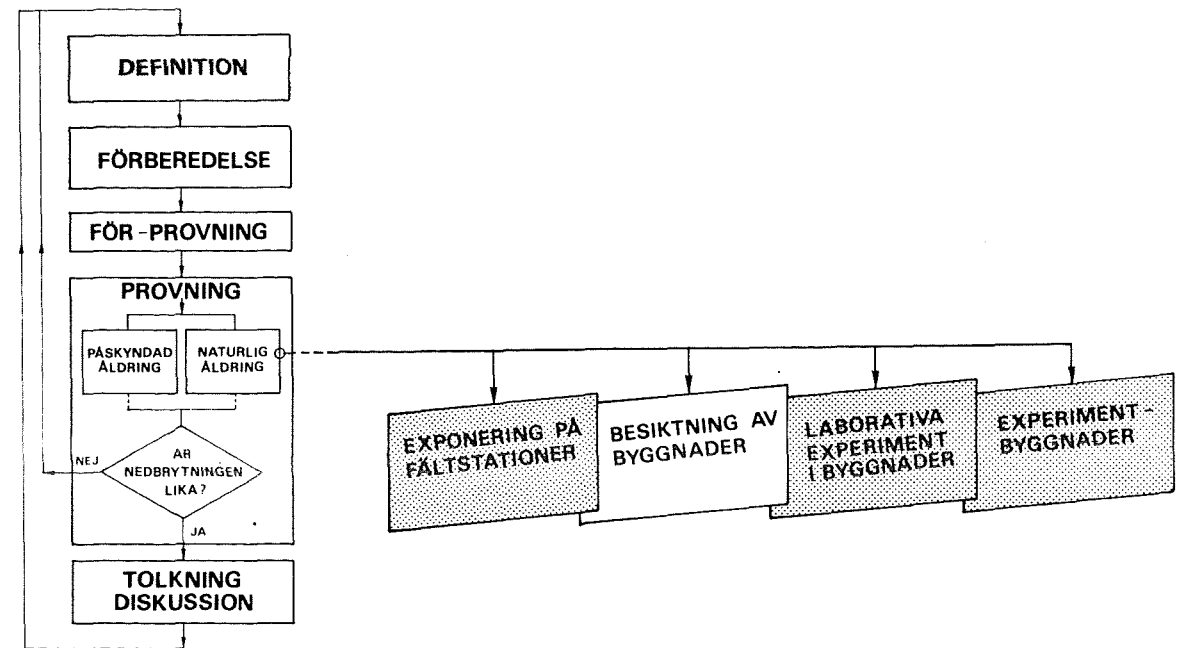
Baserat på en översikt och analys (2) (3) av ett antal metodiker för livslängdsundersökningar sammanställde kommittén ett förslag till ett systematiskt angreppssätt för undersökningar av brukbarhetstider. Den generella metodiken visas i figur 4.

De fem huvuddelarna i metodiken är på engelska Definition, Preparation, Pretesting, Testing och slutligen Interpretation and Discussion. Metodikens avsnitt "Testing" har till syfte att ge det nödvändiga underlaget för en förutsägelse av livslängd och underhållsperioder. Kunskapsunderlaget kan skapas genom påskyndad åldring i laboratorier eller genom olika former av åldringsförsök under naturliga förhållanden. Observera att endast om man har förvissat sig om att nedbrytningsmekanismen vid den påskyndade åldringen överensstämmer med den som råder vid praktisk användning kan resultaten användas för en förutsägelse.

Arbetet med en generell metodikutveckling fortsätter; även nu som ett samarbete mellan organisationerna CIB och RILEM och denna gång med beteckningen CIB W80/RILEM 100-TSL. Det nya arbetsprogrammet är koncentrerat på metoder för insamling och analys av fältdata om långtidsuppförande hos material och konstruktioner. Arbetet kommer att leda till en detaljering och utbyggnad av den generella metodiken så som framgår av figur 5.



Figur 4. Ett stegvis angreppssätt för undersökningar av brukbarhetstider. Metodiken är föreslagen av CIB W80/RILEM 71-PSL



Figur 5. En utveckling och detaljering av metodiken i fig. 4 sker i kommittén W80/100-TSL. Arbetet koncentreras på metodbeskrivningar för besiktning av byggnader

Utvärdering av förändringar i egenskaper

Det generella tillvägagångssättet för undersökning av ett materials långtidsuppförande som beskrivits ovan visar arbetsområdets komplexitet.

Att jämföra den nedbrytning som äger rum i verkligheten med den som erhålls i testsituationen förutsätter att de intressanta egenskaperna kan utvärderas på ett jämförbart sätt. Detta är ofta ett problem. Mätmetodiker som har stor betydelse i laboratoriesammanhang är i många fall inte applicerbara i fält vilket gör att jämförelser försvåras. Det är dessutom ofta önskvärt att mätning och utvärdering av materialegenskaper i fält kan ske med icke förstörande metoder. Behovet av utvecklingsinsatser för att ta fram fältapplicerbara mätmetoder är mycket stort. Utveckling av fältmetodik är generellt ett område som borde röna ett större intresse. Det är trots allt vid praktisk användning av material och komponenter som vi erhåller facit.

Utvecklingen av moderna analysmetoder för avancerade materialstudier går mycket snabbt och erbjuder nya möjligheter även inom detta forskningsområde. Svepelektronmikroskopi (SEM) ofta med vidhängande röntgenanalys har idag en förhållandevis stor användning. Enbart för ett fåtal år sedan betraktades analysmetoder som Auger-spektroskopi och ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) som mycket exklusiva men börjar nu vinna tillämpningar även i kommersiell materialutveckling.

Denna positiva tendens inom analysområdet kan innebära stora förändringar för forskningen om materials långtidsegenskaper. Små och tidiga förändringar kan analyseras på ett mycket exakt sätt. Inom vissa tillämpningsområden ger metodikerna möjlighet att i högre grad än nu utvärdera tidiga materialförändringar efter korta exponeringstider i naturliga miljöer. Detta innebär ett viktigt komplement till materialforskning med utnyttjande av accelererade metoder för korttidsprovning.

Litteratur

1. Masters, L W, Service life prediction: The barriers and opportunities, Proceedings of the 9th CIB Congress, Volume 2, pp 9-19, National Swedish Institute for Building Research, Gävle, 1983.
2. Sjöström, C H, Overview of methodologies for prediction of service life, In: Problems in Service Life Prediction of Building and Construction Materials, Larry W Masters (ed), pp 3-20, NATO Advanced Science Institute Series, Martinus Nijhoff, Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1985.
3. Prediction of Service Life of Building Materials and Components, Final report of CIB W80/RILEM 71 PSL, CIB report, publication 96, Rotterdam, 1986.

BEDÖMNING AV NYA MATERIALS BESTÄNDIGHET

- Inget för (gamla) provningsmetoder

Professor Lars-Olof Nilsson, Avdelningen för Byggnadsmaterial,
Chalmers Tekniska Högskola, S-412 96 GÖTEBORG

Byggbranschen anses vara ytterst konservativ. Trots detta introduceras det ständigt nya material och materialkvaliteter som, om de visar sig vara bra i något avseende, fort får en stor spridning. Det är lätt att få korrekta uppgifter om nya materials korttidsegenskaper, men långtidsegenskaper som beständighet och livslängd är osäkra.

Historien visar tyvärr att ett nytt materials beständighet kan vi tydligen bara skaffa oss kunskap om "den hårda vägen", genom egna misstag, dvs att använda materialet och se hur det går. Först därefter forskas den kunskap fram som visar hur man skulle gjort istället.

Mögel på tryckimpregnerat virke och ammoniakavgång från kaseinbaserade flytspackel är aktuella exempel där material, i samma miljö som material tidigare, plötsligt gett nya typer av problem. Ingenting var väntad och följaktligen hade inte några provningsmetoder kunnat hindra problemen från att uppkomma.

Fuktskador av ny mikromiljö

Många fuktskador under senare år har yttrat sig som bristande beständighet (oväntat kort livslängd) genom att "gamla material" plötsligt brutits ned på grund av en ändrad mikromiljö. Ändringen av miljön (större fuktbelastning på det skadade materialet) har uppkommit genom att ett helt annat, nytt material introducerats eller ett gammalt använts på ett delvis nytt sätt.

Dessa materials egenskaper har normalt provats med tillgängliga (gamla) provningsmetoder och då, felaktigt, befunnits vara tillfyllest. De har medfört att påfrestningen på ett tidigare "beständigt" material blivit större, med nya beständighetsproblem som följd.

Några exempel i samband med fuktskador vid golv på mark är följande. Lättklinkerskikt provades med avseende på kapillär stighöjd i slutet av

1960-talet med samma metod som användes för sand och grus. Provningsstiden var 24 timmar! Idag vet vi att flera månader krävs för en någorlunda korrekt bedömning.

På samma sätt upptäcktes omkring 1980 att kapillära stighöjden hos makadam fordrade en helt ny provningsmetod. Vi vet redan att den metod som nu används inte beskriver en relevant egenskap hos materialet.

Betong bra exempel

Ett annat bra exempel har varit betong. Vi vet idag hur vi skall göra en beständig betong. Man kan påstå att vi idag tror att betong är ett beständigt material, naturligtvis under förutsättning att vi dimensionerat den för den aktuella miljön.

Vi vet också att "gårdagens betong" har fått allvarliga skador i många fall, men att "igår" trodde man att den betongen var beständig.

Idag tror vi att vi vet bättre och vi baserar detta på följande:

1. Vi har en hel del erfarenhet av användning av materialkvaliteter som liknar de vi använder idag och vi har lärt oss hur vi inte skall göra beständig betong.
2. Omfattande forskning har studerat effekten av olika parametrar. Det mesta av denna har dock bara haft en empirisk inriktning.
3. Vi har utvecklat accelererade provningmetoder som har visat sig ge resultat som verkar överensstämma med praktisk erfarenhet.
4. Vi förstår nedbrytningsmekanismerna något bättre än "igår".

Morgondagens material är annorlunda

Om vi skulle fortsätta att använda "gårdagens betong", som vi nu lärt oss hur vi skall göra beständig, och miljön i fortsättningen inte skulle bli annorlunda än hittills, skulle vi kunna ha betong som är beständig även i fortsättningen. Så är emellertid inte fallet. Morgondagens material är något annorlunda än gårdagens. Betong t ex innehåller en mängd tillsatsmedel och tillsatsmaterial som kan ändra beständigheten (och gör det!) /1/.

Vår erfarenhet av och empiriska kunskap om gårdagens materialkvaliteter är inte nödvändigtvis till mycken hjälp när man bedömer nya materialkvaliteter, som har något annorlunda sammansättning, struktur och egenskaper.

Befintliga provningsmetoder är inte alltid tillämpliga för att prova nya material, eftersom de är utvecklade och kontrollerade med avseende på de gamla materialens beteenden /1,2,3,/.

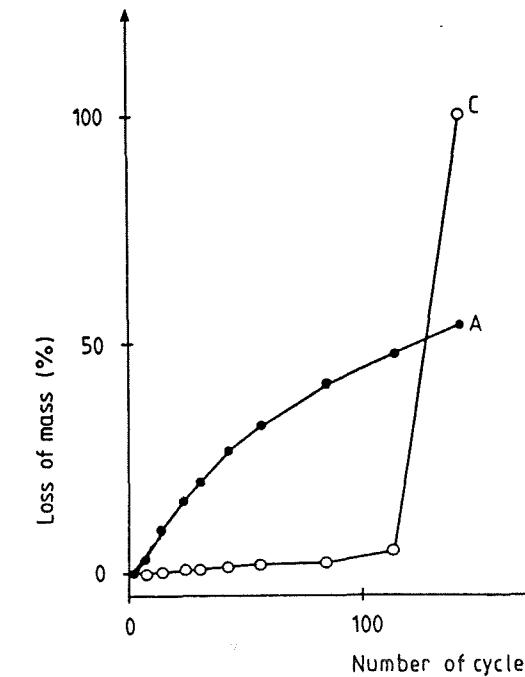


Fig. 1 Frost- och saltprovning av betong utan (A) och med (C) kiselstoff, P-E Petterson i /1/. Ett bra exempel på att befintliga provningsmetoder (maximalt 28 eller 56 fryscyklar) kan fullständigt missbedöma ett nytt material.

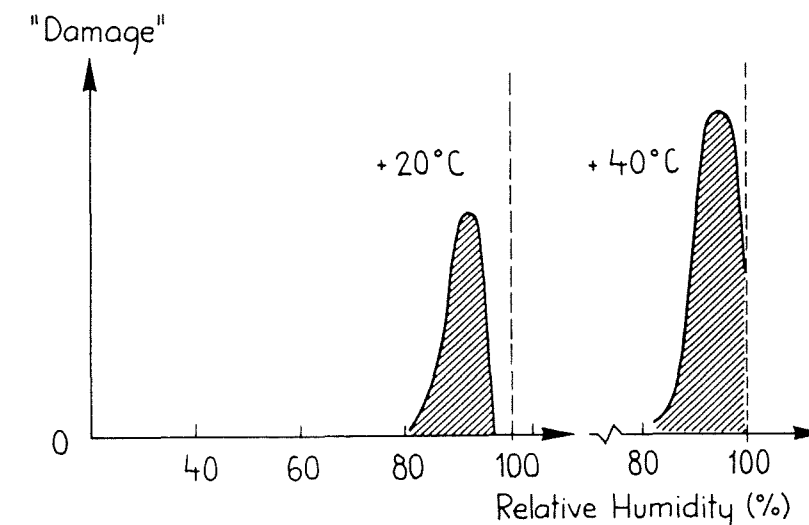


Fig. 2 Inverkan av en miljöparameter på uppkomsten av skada vid alkali-kiselsyrareaktioner i betong /2/. Befintliga provningsmetoder använde så fuktig miljö (100% RF) att inga skador alls uppkom i detta fall.

Accelererade provningsmetoder är ofta olämpliga för livslängdsbedömningar. Det är svårt att översätta provningstid till verklig tid. Nedbrytningen kan ofta ske med en annan mekanism än i den verkliga miljön.

Icke accelererade provningsmetoder är då säkrare. Det kan dock vara svårt att mäta de små förändringar som hinner äga rum under provningstiden. Extrapoleringen från provningstid till verklig livslängd är annars den allvarligaste svårigheten.

Förståelse och kvantifiering krävs

Det är bara där vi faktiskt förstår nedbrytningsmekanismen, och vi kan mäta (eller teoretiskt förutsäga) de avgörande materialegenskaperna, som det är möjligt att förutsäga livslängden hos ett nytt material i en given miljö. Förståelsen måste naturligtvis vara kvantifierad, dvs vi måste veta hastigheten hos reaktions- och transportmekanismerna i nedbrytningsprocessen. Här har vi en bra bit kvar.

För många av gårdagens material (t ex "gammal" betong) finns det så mycket mätningar av olika egenskaper och hur olika parametrar inverkar, att vi i en del fall (t ex beständighet mot armeringskorrosion) kan förutsäga livslängden. Ändrar vi däremot sammansättningen något, t ex använder ett tillsatsmaterial, saknas genast erforderlig kunskap om avgörande egenskaper och en förutsägelse av livslängden blir ytterst osäker.

Struktur, egenskaper, livslängd

Vi kan inte i längden fortsätta som hittills, med att (ofta i efterhand) för varje ny materialkvalitet göra alla de mätningar som behövs för att bestämma de egenskaper, som funktion av en mängd parametrar, vilka erfordras för att förutsäga nedbrytningsförloppet i en viss miljö.

Accelererade provningsmetoder ger ofta felaktigt besked och är därför inte heller någon lösning.

Istället måste vi skaffa oss verktyg att, utifrån kunskap om en ny materialkvalitets sammansättning och struktur, förutsäga viktiga egenskaper. Då behöver man bara mäta ett litet antal strukturparametrar och sedan beräkna erforderliga egenskaper ur dessa. Skall vi verkligen kunna förutsäga livslängden hos nya material, måste vi komma dithän. Modern beständighetsforskning bör ges en sådan inriktning.

Litteratur

- /1/ International Seminar on "Some Aspects of Admixtures and Industrial By-products on the Durability of Concrete", April 28-29, 1986, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola. BFR-Dokument D1:1988.
- /2/ Nilsson, L-O & Peterson, O (1983) "Alkali-Silica Reactions in Scania, Sweden", Rapport TVEM-3014, ITH, Lund.
- /3/ Fagerlund, G (1985) "Essential data for service life prediction". Bidrag till workshop on "Problems in Service Life Prediction of Building and Construction Materials". NATO ASI Series E No 95 Nijhoff Publ, Dordrecht 1985.

PÅVIRKNINGER

Påvirkning fra det ytre miljø
J. Henriksen

Surface Moisture Conditions for Building Materials
B. Svennerstedt

Fotokemisk mätmetod för ultraviolet solstrålning
D. Lala

Microclimate - Measurements at a Test House
J. Nieminen

PÅVIRKNING FRA DET YTRE MILJØ

Jan F. Henriksen, Norsk Institut for Luftforskning

Bakgrunns materialet for foredraget finnes dokumentert som egen rapport innen det nordiske prosjektet "Fasadetyper - fornyed ytbehandling". Rapporten er utarbeidet med bidrag fra 10-12 personer og med to redaktører Christer Sjöström, SIB og Jan F. Henriksen, NILU. Rapporten; "Påvirkning på fasadyten från yttre miljø" (ISBN: 91-540-9283-3), og kan bestilles hos Statens institutt for byggnadsforskning, Gävle.

Virkingen fra det ytre miljø kan grupperes på ulike måter. All gruppering vil imidlertid gi en forenkling av de faktiske virkninger da det alltid vil være flere faktorer som påvirker materialet samtidig i praksis. Virkingen vil derfor bli lokalt betinget samtidig som ikke materialer vil bli påvirket ulikt.

En vanlig inndeling av miljøpåvirkninger er å skille mellom

- naturlige effekter/kilder
- antropogene kilder - forurensninger som skyldes menneskelig aktivitet.

De viktigste naturlige effekter skyldes

Fuktighet - regn

Temperatur

UV-stråling

Oksygen

Saltpåvirkning fra sjø og jord

Biologiske angrep

Frostspregning

Erosjon

De vanligste antropogene kilder er

Ozon
Gassforurensninger
Syrer
Baser
Salter
Nedsmussing

En del effekter har både en naturlig og en antropogen kilde. Eksempelvis H_2S , som en finner naturlig i vulkanske områder, som på Island, men som prosessutslipp ved sulfatpapirproduksjon i Finland, Sverige og Norge.

FUKTIGHET

Fuktighet kan bidra til frostsprengning og saltsprenging, kjemisk og biolog nedbrytning, korrosjon, krymping og svelling av materialer dårligere isolasjon og nedsmussing. Fuktighet er spesielt aktuelt for porøse materialer.

FUKTIGHETSKILDER

- Nedbør, regn og snø
- Slagregn
- Fuktighet i luft (se figur 1)
- Kondens

TEMPERATUR

I uteklima er det som regel ikke temperaturens egen effekt som betyr noe men dens evne til å bety noe for andre prosesser. De aller fleste kjemiske reaksjoner er temperaturavhengig og vil derfor både kunne redusere og øke nedbrytningen av materialer.

De viktigste parameterene er

- Overflatetemperatur
- Temperatur-variasjoner

GASSER

Det er først når gasser som SO_2 , NO_x og klorgass når konsentrasjoner som en finner ved menneskelige aktiviteter som industri, biltransport, forbrenning osv. at de får skadelig effekt på materialer. I tabell 1-5 har en gitt en oversikt over dominerende forurensninger fra ulike kilder. Tre gasser, ozon, H_2S og NH_3 adskiller seg fra de andre med også å ha lokale store naturlige kilder.

SYRER OG BASER

De fleste materialer er lite stabile i sterke syrer og baser. De fleste aktuelle kjemikalier kommer fra industrielle utslipp som saltsyre og salpetersyre fra beiseindustrien, flussyre fra aluminiumsindustrien og maursyre og ammoniakk fra landbruket.

SALTER OG AEROSOLER

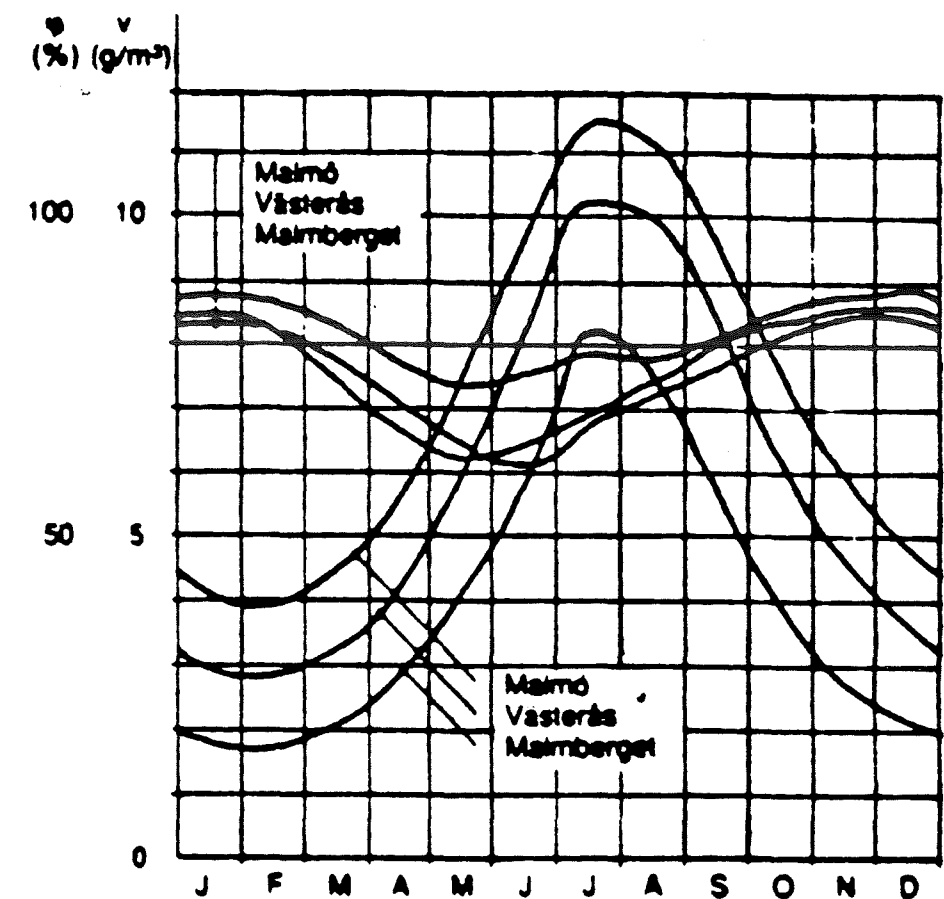
Den største kilden for salter og aerosoler er sjøvann. Virkningen av salter kan være flere, men de er alle koblet til ulike grenser for relativ fuktighet. Saltsprengning skjer gjerne ved at saltet tørker ut ved en termodynamisk beregnbar grense. Korrosjon oppstår over denne grense, når saltene blir elektrolytter.

BIOLOGISKE ANGREP

Biologiske angrep nedbryter organisk materiale. Mugg og sopp angriper materialene når fuktigheten overskrider definerte grenser. Bakterier trenger synlig fuktighet for å reagere. Enkelte bakterier tærer også på metaller som stål men da gjerne i anarobe forhold i jord.

KLASSIFISERING AV MILJØ

Korrosjonsmiljøet kan klassifiseres ut fra internasjonale standarder som ISO/TC/56/WG4. Antall timer med fuktighet (våttid TOW) SO_2 -konsentrasjonen og kloridkonsentrasjoner blir brukt til å beskrive den endelige korrosjonen i området.



Figur 1: Fuktforholdene i tre svenske byer gjennom et år uttrykt som relativ fuktighet og absolutt fuktighet.

Tabell 1 Utslipp från "primärnärings"

	Svavel- fören	Kväve- fören	Halogen- fören	Kol- fören	Partiklar
Jordbruk	H ₂ S Org S	NH ₃ NO ₃	NH ₄ Cl	Myrsyra Luktstoff Insekts- medel	Nedfallande stoft

Tabell 2: Utslipp fra "Energi".

Energi- bærer	Svovel- forb.	Nitrogen- forb.	Halogen- forb.	Karbon- forb.	Metaller	Partikler
Kull	SO ₂	NO _x	HCl	PAH Sot	Hg As Cd Ni m.fl.	Svevestøv Støvfall
Olje	SO ₂	NO _x		PAH Sot	V Ni	Svevestøv
Gass		NO _x		Hydro- karboner	?	
Bio- masse		NO _x		PAH Sot CO Benzen Aldehyder		Svevestøv
Avfall		NO _x	HCl HF Org.Cl	PAH Sot	Cd Pb m.fl.	Svevestøv

Tabell 3: Utslipp fra "Industri".

Produksjon	Svovel- forb.	Nitrogen- forb.	Halogen- forb.	Karbon- forb.	Metaller	Partikler
Utvinning av olje og gass, oljeraffiner- ing, petro- kjemisk industri	SO ₂	NO _x	Org.Cl	Hydro- karboner Aldehyder Etylen		
Fiske- foredling	SO ₂	NO _x Org.N		Lukt- forb.		
Treforedling, treindustri, grafisk industri	SO ₂ Org.S H ₂ S	NO _x		Lukt- forb. Løsnings- midler		Svevestøv
Produksjon av kunstgjødsel	SO ₂	NH ₃ NO _x				Svevestøv
Produksjon og bruk av "kjemisk- tekniske" stoffer, maling, lekk, lim, plast, tjære, og gummiprod., løsnings- og vaskemidler	SO ₂	NO _x	Org.Cl	Løsnings- midler Lukt- forb. Aldehyder		
Produksjon av mineralske produkter, sement, lett- betong, glass	SO ₂	NO _x			As Pb m.fl.	Svevestøv Støvfall
Produksjon av jern, stål, ferro- legeringer, silisium- og kalsiumkarbid m.v.	SO ₂	NO _x				Svevestøv Støvfall
Produksjon av aluminium	SO ₂		Fluorid	PAH		Svevestøv
Produksjon av andre metaller, Ni, Zn, Mg, Ti, etc.			Cl ₂ HCl		Ni Zn m.fl.	Svevestøv

Tabell 4: Utslipp fra "Transport".

Produksjon	Svovel- forb.	Nitrogen- forb.	Halogen- forb.	Karbon- forb.	Metaller	Partikler
På land		NO _x	Klorid Bromid Org.Cl	PAH CO Benzen Sot Aldehyder	Pb	Svevestøv Støvfall
Til sjøs	SO ₂	NO _x		PAH Benzen CO Sot Aldehyder	Pb	Svevestøv
I lufta		NO _x		Sot		Svevestøv
Håndtering og lagring av drivstoffer				Løsnings- midler Benzen		

Tabell 5: Tilførsel fra andre land.

	Svovel- forb.	Nitrogen- forb.	Halogen- forb.	Karbon- forb.	Metaller	Partikler	Oksid- anter
Luft	SO ₂ Sulfat	NO _x Nitrat	Org.Cl	PAH Sot	Pb Ni Cu As m.fl.	Svevestøv	O ₃ PAN
Nedbør	Sulfat	Nitrat Ammonium		PAH Sot	Pb Ni Cu As Cr m.fl.		

 SURFACE MOISTURE CONDITIONS FOR BUILDING MATERIALS

Bengt Svennerstedt, Statens institut för byggnadsforskning, Avd Material och konstruktioner, Box 785, S-801 29 Gävle, Sverige

1 Introduction

When discussing durability of building materials and components the importance of knowing the micro environment must be pointed out. In this context the micro environment is defined as the environment just outside the material surface. Some of the most important weather factors forming the micro environment are the air temperature, the air humidity and precipitation, solar radiation (especially ultra violet radiation) and different kinds of pollutants.

Time of wetness (TOW) data, which quantify the moisture condition of the material surface, play an important role in order to describe the micro environment. Together with knowledge of the other weather factors the time of wetness data give the weather loads affecting materials and components. This knowledge makes it possible to understand and describe degradation processes for different kinds of building materials.

The conception of time of wetness is taken from studies of atmospheric corrosion and is in this connection defined as the time when there is enough moisture on metallic material surfaces for the corrosion rate to be important. For non-metallic material surfaces the definition must be modified.

2 The meaning of time of wetness data

Time of wetness data were originally produced for metallic materials such as steel, copper and zink. Several investigations have shown that these data are very important in promoting atmospheric corrosion of metals. Surface moisture due either to precipitation or condensation serves as an electrolyte of the metals. Studies show that the corrosion process is related to the surface moisture and that prediction of relative corrosivity at a given site can be improved if time of wetness can be predicted.

It is known that surface moisture can affect plastic materials both chemically and physically. For PVC-materials moisture can dissolve stabilizers and cause exudation of plasticizer, Yamasaki (1984). Moisture can also hydrolyze some polyester castings. Therefore time of wetness data are relevant to several plastic materials when estimating their degradation processes.

The surface moisture plays a crucial role in the bio degradation of organic material. Biological attack means that microorganisms attack the material directly or indirectly. For wood surfaces it is mostly the attacks of fungus which depend on surface moisture conditions. Time of wetness data of wood-based materials are therefore of great importance when estimating the possibilities of the fungus growing on the material surface.

3 Time of wetness measurement method

The method for measuring time of wetness is based on an electrochemical measurement technique. The electrochemical equipment consists of an electrolytic cell, a zero resistance ammeter and a voltage source with which the impressed voltage can be varied. A general arrangement of the electrochemical device for measuring time of wetness is shown in fig 1.

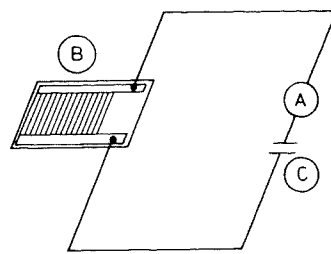


Figure 1. General arrangement of electrochemical device for measuring time of wetness. (A) is an ammeter, (B) is an electrochemical cell and (C) is a DC voltage source.

The current flowing in the cells when they are exposed to moisture can continuously be measured and registered. With the SIB-instrument (fig 2) the cellcurrent can be recorded over long time periods. Using micro-processor technique, the instrument is made automatic with regard to data storage and data processing. The time, when the cellcurrent exceeds a fixed value is defined as the time-of-wetness (fig. 3).



Figure 2a. SIB-instrument

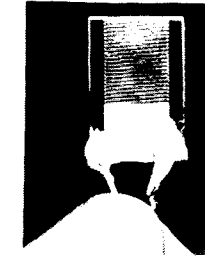


Figure 2b. Copper/Copper-cell

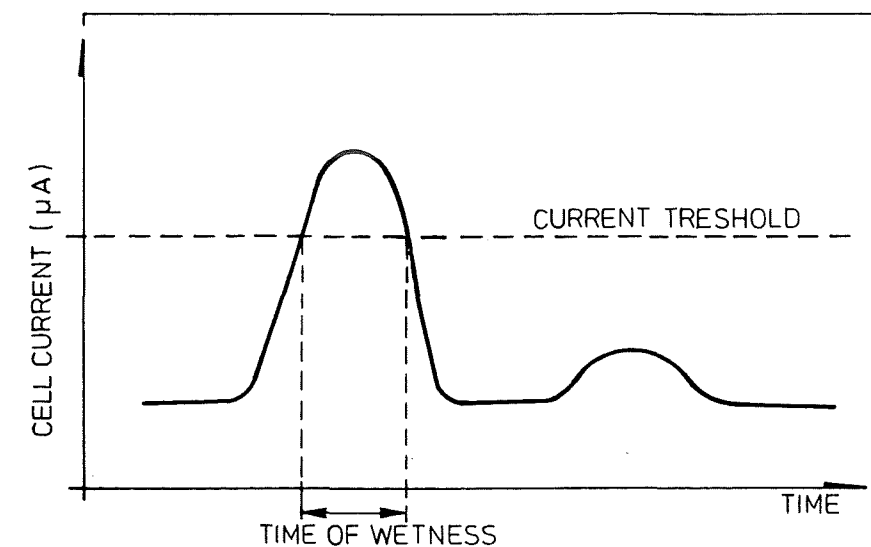


Figure 3. Definition of time of wetness.

4 Measuring time of wetness in Nordic environments

In 1984 a project dealing with time of wetness measurements was started within Nordic research cooperation - ageing, durability and service life prediction for building materials and components (NBS-MK). The project began with initially studies of measurements on porous materials. The studies were performed during 1984 conjointly by the National Swedish Institute for Building Research (SIB) and the Norwegian Institute for Air Reserach (NILU) (Haagenrud, Henriksen, Svennerstedt, 1985). The initially studies were finished in the beginning of 1985. Since 1986 further research of measuring time of wetness has been in progress. The research work is organized as cooperation between several building research institutions in the Nordic countries. The aim is for the research work to be completed in 1988.

5 Examples of Swedish measurements on building materials

Measurements in the north of Sweden

During 1984 field-measurements were performed in Gävle on metallic and non-metallic materials. The metallic test material was coil-coated steel and the non-metallic materials were particle board and fibre board. Specimen were installed vertically on a wall in the direction of north at the exposure station of SIB. During two months in 1984 measurements of the current in copper-copper cells under atmospheric exposure were performed. The time of wetness for the test period has been calculated with a current threshold of 0.1 μ A and the results are given in table 1.

Table 1. TOW data for facade materials in the north of Sweden, 1984

Measuring period	Particle board			Fibre board			Coil coated steel		
	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)
August 1984 (7.8-14.8, 17.8-31.8)	31	486	6.0	65	453	12.5	24	480	4.8
September 1984	212	508	29.4	137	583	19.0	207	513	28.7

The test period between August and September 1984 was a very moist period in Gävle. In August the total precipitation was 51 mm and in September it was extremely wet with a total precipitation of 214 mm. The average relative humidity varied between 50 % RH and 70 % RH in August and 50 % RH and 95 % RH in September. The average air temperature varied between 10°C and 22°C for the whole test period.

During spring, summer and autumn 1987 further TOW-measurements on building materials were carried out in Gävle. The measurements were performed at the north side of SIB. Copper-copper cells were placed vertically on coil coated steel, concrete and wood panel facade materials. The concrete material had no surface coating but the steel and wood facade materials were coated. The measuring time period was going on between the end of March and the end of September. For a part of the measuring period, the months of April and May 1987, time of wetness has been calculated with

the same current threshold as above (0.1 μ A). In table 2 the calculated TOW-results are shown.

Table 2. TOW data for facade materials in the north of Sweden, 1987

Measuring period	Wood panel			Concrete			Coil coated steel		
	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)
April 1987	6	714	0.1	0	720	0.0	49	671	6.8
May 1987	43	701	5.8	48	696	6.5	78	666	10.5

The outdoor climate in Gävle during spring 1987 had some variations concerning precipitation, relative humidity and air temperature. The month of April was very dry. Totally the precipitation that month was only 2 mm. The average relative humidity and the air temperature varied between 30 % RH and 90 % RH respectively -4°C and +16°C.

The month of May was considerably more moisty. The precipitation was 59 mm. The average relative humidity varied between 30 % RH and 90 % RH. The average air temperature varied between 2°C and 17°C.

Measurements in the south of Sweden

In the south of Sweden TOW-measurements have been carried out on both north and east facades of a test house during the winter period 1987/88. The test house has been a new farm-building situated between Lund and Malmö. The facades studied consist of concrete and light concrete. Specimen of coil coated steel and particle board have been fastened vertically on both east and north facade. TOW-measurements have been performed by using copper-copper cells.

The measurement period has been between the end of November 1987 and the end of February 1988. Time of wetness has been calculated with a current threshold of 0.1 μ A. In table 3 results of the measurement during the month of January 1988 for the north facade are shown.

Table 3. TOW data for facade materials in the south of Sweden, 1988

Measuring period	Particle board			Light concrete			Coil coated steel		
	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)	"Wet" period (h)	"Dry" period (h)	TOW (%)
January 1988	607	137	81.6	598	147	80.4	420	326	56.5

The winter period 1987/88 was a mild and wet period in the south of Sweden. During the month of January 1988 the precipitation in Lund was 104 mm. The average air temperature in Lund was 3.2°C with a highest value of 9.2°C and a lowest value of -1.3°C.

6 Discussion

As pointed out in the beginning of this paper the surface moisture conditions for building materials is a factor of great importance when describing the microenvironment. The time of wetness parameter is very closely connected to the surface moisture conditions. The parameter relates how long a material surface has been exposed to a moisture load exceeding a certain level.

Time of wetness data can be measured. The measurement method is based on an electrochemical measurement technique, which uses galvanic cells. When the cells are exposed to moisture, they give a response, which can be continuously measured and registered.

Knowledge today about time of wetness data concerns metallic material as steel, copper and zinc. Time of wetness data have also good relevance for non-metallic materials, when estimating their degradation processes.

In a Nordic research project measurements have been performed in the north and south of Sweden during different time periods of the year. As metallic material coil coated steel and as non-metallic material particle board, fibre board, wood panel, light concrete and concrete have been used for the measurements. The data related in the paper are data for the north facade of the test houses.

Swedish measurements on both metallic and non-metallic facade materials have showed a great difference in time of wetness data. For metallic material (coil coated steel) the time of wetness data vary between 5 % and 57 % in percent of the exposure period. In the north of Sweden (Gävle) during late summer 1984 time of wetness was only 5 %. In the south of Sweden (Alnarp) time of wetness was 57 % during winter 1988.

Time of wetness data for non-metallic materials (porous materials) show a greater variation than the same data for metallic materials. As an example of TOW-results the data for particle board can be considered. During late summer 1984 time of wetness in the north of Sweden (Gävle) was 6 %. In the south of Sweden (Alnarp) time of wetness was 81.6 % during winter 1988.

The main types of moisture load from the outdoor climate, which give a high cell response, are precipitation and surface condensation. A very high relative humidity do affect the cell but not in the same degree as the other types of moisture load. When discussing precipitation driving rain is a most important weather factor.

The TOW-data given above are preliminar data calculated with the same treshold value of 0.1 µA. This treshold value have showed good relevance for the metallic materials. It is uncertain if this value can be used for

all porous materials. For some porous materials the threshold value must be fixed on a higher level. For very porous materials there is probably a porosity boarder over which the conception of time of wetness is not a meaningful parameter to describe the moisture load.

References

- Haagenrud, S, Henriksen, J & Svennerstedt, B, 1985, Våttidsmålningar på treplater - provestudie med NILU-WETCORR-metoden (in Norwegian). (Norsk institutt for luftforskning.) NILU OR 17/85. Lilleström.
- Yamasaki, R S, 1984, Characterization of wet and dry periods of plastic surfaces during outdoor exposure. (Elsevier.) Durability of building materials, No 2, Vol 2.

 Fotokemisk mätmetod för ultraviolet solstrålning

Tekn dr Darwish Lala, Statens institut för byggnadsforskning, Avd Material och konstruktioner, Box 785, S-801 29 Gävle, Sverige

Abstract

Artikeln redovisar resultat från fotokemisk mätning av ultraviolet solstrålning genom användning av UV-känsliga PPO-filmer. Mätningarna genomfördes dels på några exponeringsstationer i Norden, dels på vissa punkter på två byggnader i Gävle och Trondheim.

PPO-filmerna bryts ned och blir mörkare under exponering av UV av kortare våglängd än 400 nm. Nedbrytningen mäts med ändringen i optisk densitet vid 340 nm. Vid låga doser ökar denna ändring autokatalytiskt upp till en viss gränsdos och därefter ökar den linjärt med dosen. Vid användning av PPO-filmerna som UV-dosimetrar skall man kunna undvika det autokatalytiska området genom förexponering för att komma till det linjära området.

Variationer i optisk densitet för de oexponerade filmerna leder till en viss osäkerhet i mätningarna. Detta kan bero på variationer i filmernas kvalitet då det förekommer vissa skillnader i tjocklek, sammansättning och struktur.

Resultat från mätningar av UV-strålning på byggnadskroppar uppvisade en bestämd rangordning av värdena från olika punkter på fasaderna.

En jämförelse av resultat från mätning mot horisontell yta med PPO-filmer mot instrumentella mätningar med Eppley Pyrradiometer visade att överensstämmelsen mellan båda metoderna är bättre än 20 %.

Laboratorieförsök i Atlas Weather-ometer visade att upp till 40°C har temperaturen i praktiken ingen effekt på PPO-filmernas UV-känslighet.

1 Inledning

Merparten av den ultravioletta solstrålningen (UVR) som når jordytan är av våglängdsområden 300-400 nm. Denna strålning är den största åldrandefaktor för nedbrytning av organiska material under utomhusanvändning. Trots att UVR inte är större än 5 % av den totala strålningen är den av avgörande

betydelse för förutsägelse av livslängden hos syntetiska och biopolymerer för utvändiga användningar. Dessutom har UVR mycket viktiga biologiska effekter t ex fotosyntes i gröna växter.

Fotonedbrytning av organiska material genom foto-oxidation orsakas i stort sett av UVR. Denna nedbrytning leder ofta till försämring av materialets mekaniska och estetiska egenskaper som t ex minskning av hållfasthet, missfärgning, sprödhet mm. Dessa negativa effekter framträder hos olika byggnadsmaterial som plaster, färger och trämaterial.

UVR-intensiteten är beroende av latituden, atmosfären, luftföroreningarna, vädret, solhöjden, tid på dagen mm. Kunskap om denna intensitet är nödvändig för att få en klar bild av nedbrytningsprocessen och för att eventuellt kunna förutse livslängden för olika material under utomhusanvändning. Med detta kan man bättre planera, programmera och konstruera olika utrustning för accelererande beständighetsprovning.

Man känner ofta till nedbrytningsmekanismen och de andra faktorer som påverkar denna process. UVR, luftsyre och fotoaktiva ämnen som finns i materialet är de viktigaste faktorerna som bestämmer nedbrytningsförloppet.

Man vet väldigt lite om den viktigaste nedbrytningsfaktorn dvs UVR. Det är ofta globalstrålning och direkt strålning som mäts på de vanliga meteorologiska stationerna i världen (2-4). I Sverige finns 12 stationer där man har sådana mätningar. UVR mäts på SIBs station i Gävle och på SMHIs huvudstation i Norrköping.

Data för UVR-intensitet som funktion av tid, plats och exponeringsriktning förekommer mycket sparsamt på grund av att stora resurser behövs för sådana mätningar. I tre tidigare rapporter (1,14,15) redovisades för mätning av UVR med fysikaliska, biologiska och kemiska metoder samt principen och preliminära resultat för de fotokemiska metoderna. Enligt de sistnämnda metoderna mäts nedbrytningsgraden hos vissa polymerer (PVS och PPO) under utomhusexponering genom vanliga IR- och UV-spektrofotometriska analysmetoder. Resultaten kalibreras mot data från UVR-mätning med instrumentella fysikaliska metoder (5-12).

De fotokemiska metoderna utvecklades av Martin et al (PVC-metoden) (5-8) och Davis et al (PPO-metoden) (9-12). Shiota et al rapporterade om användning av andra filmer (PMMA och PE) för mätning av strålningsintensiteten hos accelererade ljuskällor som "Carbon arc lamp" och "Xenon arc lamp" (13).

Inom det nordiska forskningsprogrammet NBS-MK har genomförts ett större mätprogram som innebär en viss kartläggning av UV-miljö. Detta program omfattar dels mätningar på ett antal exponeringsstationer, dels mätningar

på ett antal punkter på en väl beskriven byggnad. Målsättningen i projektet är att mäta UVR-intensiteten kontinuerligt vid olika platser i Norden med hjälp av periodisk exponering av polymerfilmer i olika riktningar. I denna artikel redovisas för preliminära resultat från följande stationer (Fig 1).

Statens institut för byggnadsforskning (SIB)

Statens provningsanstalt (SP)

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI)

Norges landbrukshögskole (NLH)

Norsk institut for luftforskning (NILU)

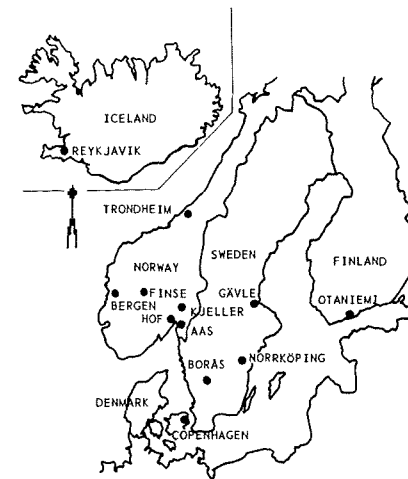
Norges byggforskningsinstitut (NBI)

Statens tekniska forskningscentral (VTT)

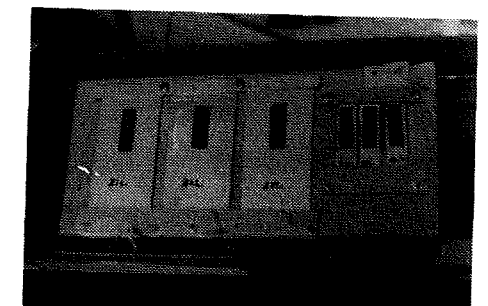
Statens byggforskningsinstitut (SBI)

Islands byggforskningsinstitut (RB)

På tre av dessa stationer (SIB, SMHI och NLH) pågår samtidigt mätning av UVR med instrumentella fysikaliska metoder. Kalibrering av polymerfilmerna mot två av pyranometrarna som finns på dessa stationer samt en del mätresultat redovisas.



Figur 1. Exponeringsstationer •



Figur 2. PVC- och PPO-filmer

2 Experimentell del

Polymerfilmerna (PVC och PPO) bör vara fria från tillsatser och ha en tjocklek av ca 20 μm . För PVC-filmerna används en lösning av suspensionspolymeriserad PVC (typ Pevikon S-689 från Kema Nord) i tetrahydrofuran. Filmerna preparerades genom avdunstning av lösningsmedlet på en plan yta. För PPO-filmerna används en lösning av PPO i kloroform. PPO har levererats

av Mr J Lohmeijer, General Electric Plastics B.V., Nederländerna. Båda filmtyperna har preparerats på SIBs laboratorium i Gävle.

IR- och UV-spektrofotometriska mätningar genomfördes med Perkin-Elmer IR-spektrofotometer 399 respektive UV-spektrofotometer 599. Mätningarna gjordes av Leif Jakobsen, Fysisk institutt, Norges landbrukshögskole, Ås.

Speciella hållare av aluminiumfolie för exponering och mätning av spektra samt exponeringsanordning har tillverkats på SIB-mekaniska verkstaden (Fig 2).

För kalibrering av mätdata från de exponerade filmerna används följande pyranometrar:

NLHs station i Ås:

Eppley TUV Pyrradiometer (295-385)nm

SMHIs station i Norrköping:

Sol UVA Radiometer (315-400)nm

Atlas Xenon Weather-ometer typ 600 DMC-WRC används för mätning av temperaturberoendet hos PPO-filmerna. Mätningarna gjordes på Statens provningsanstalt i Borås.

3 Resultat och diskussion

3.1 Polyvinylklorid PVC-metoden

Resultat från kontinuerliga mätningar av de horisontellt exponerade filmerna under minst ett år behövs för att få noggrann korrelation mellan mätresultat och UVR-intensitet som registrerats av en UV-pyranometer under samma exponeringsperiod. I PVC-fallet är fotonedbrytningen av filmerna för låg i de nordiska länderna speciellt under vintermånaderna. IR-absorptionen vid 1730 cm^{-1} före exponeringen var ofta försumbar. Absorptionen efter exponeringen var även mycket låg. Det relativa felet i den mätta absorptionsändringen var högt. Preliminära resultat från denna metod redovisades i tidigare rapport (14). Dessa resultat är i praktiken inte tillräckliga för att få lämpliga kalibreringskurvor och eventuellt tillförlitliga mätresultat. Denna metod kan vara av betydelse för mätning av UVR i varma länder. I denna artikel redovisas endast resultat från PPO-metoden.

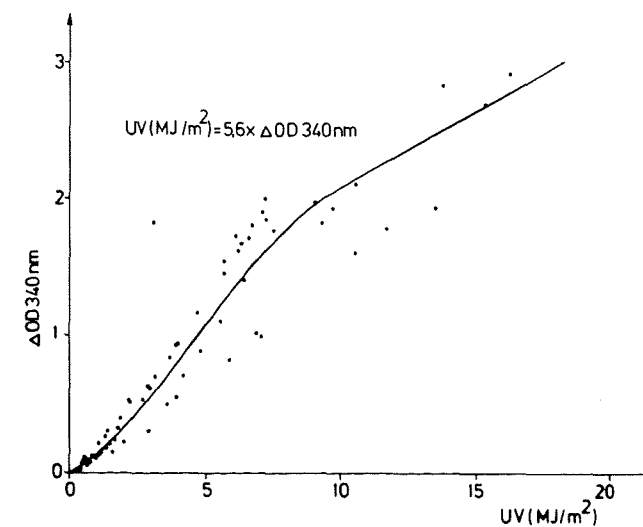
3.2 Polyfenylenoxid (PPO-metoden)

3.2.1 Allmänt

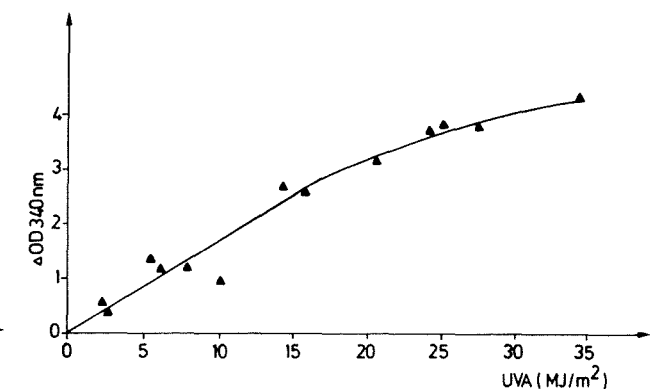
Exponering av ett antal PPO-filmer på de nordiska exponeringsstationerna skedde under 1984/1986. Eftersom utvärdering av de exponerade filmerna gjordes på NLHs station i Ås kunde man genomföra detaljerade körningar för

Ås-filmerna före och efter exponeringen. Medelvärden av absorptionen för de oexponerade filmerna på Ås används som approximativt mått på oexponerad absorption för filmerna från de andra stationerna.

Att absorptionen för de oexponerade inte är känt leder till ett mätfel för absorptionsändringen. Variationen i absorptionen för de oexponerade filmerna innebär samtidigt ett annat bidrag till osäkerheten i mätningarna. Filmernas tjocklek, sammansättning och struktur kan variera. Ändringen i optisk densitet är således icke bara resultat av exponering av UVR. Detta är demonstrerat i fig 3.2.1.1 där alla värdena för ändringen i optisk densitet (OD) och UVR för horisontellt exponerade filmerna på Ås redovisas. Det är en väsentlig variation i mätningarna. Före exponeringen är medelvärden för OD för filmerna som användes på Ås 0.166 ± 0.001 . Standardavvikelse är 0.054. I den grad denna variation representerar skillnaden i filmernas tjocklek och sammansättning kan den ha någon effekt på ändringen av OD för en given UVR-dos som det visas i fig 3.2.1.1.



Figur 3.2.1.1. Kalibrering av PPO-filmer mot UV (295-385)nm, Ås



Figur 3.2.1.2. Kalibrering av PPO-filmer mot UVA (315-400)nm, Norrköping

Davis et al (9) rapporterade att PPO-filmerna bryts ned och blir mörkare under exponering av UVR av kortare våglängd än 400 nm. Nedbrytningen mäts med ändringen i OD vid 340 nm ($\Delta OD_{340\text{ nm}}$). Vid låga doser ökar $\Delta OD_{340\text{ nm}}$ autokatalytiskt upp till en viss gränsdos och därefter ökar den linjärt med dosen (9). Vid stora doser kan även väntas avvikelse från det linjära sambandet mellan $\Delta OD_{340\text{ nm}}$ och infallande UVR. I nedbruten mörk film blir strålningen icke lika effektiv tvärsigenom. Till exempel vid $OD = 3$ går bara 5 % av den infallande strålningen genom filmen och jämfört med lågt exponerad film blir $\Delta OD_{340\text{ nm}}$ för en liten extra dos mindre. I en tidigare

rapport (18) demonstrerades detta resonemang med resultat från exponering av olika grupper av PPO-filmer under nov och juli 1986. Vid användning av PPO-filmer som dosimetrar för UVR bör man ta hänsyn till denna tendens.

3.2.2 PPO-mätningar på exponeringsstationer mot horisontella ytor

PPO-filmerna exponerades på alla stationer månadsvis horisontellt, S/45 och S/90. Filmerna utvärderades efter varje exponeringsperiod. Resultat från de horisontellt exponerade filmerna på två av stationerna (Ås och Norrköping) kalibrerades mot UV-data från pyranometrar som finns på dessa stationer.

Fig 3.2.1.1 och 3.2.1.2 visar korrelationen mellan ΔOD_{340} nm och den mätta strålningsdosen i de olika våglängdsområdena. På grund av variationen i filmernas kvalitet finns en viss fördelning i mätresultaten. Dessa resultat kan anpassas med en linjär korrelation. Kurvan i fig 3.2.1.1 används som kalibreringskurva för beräkning av strålningsdata mot lutande och vertikala ytor.

Resultaten för UVA är anpassade till en rät linje, men är också förenliga med ett huvudförlopp motsvarande det som visas i fig 3.2.1.1. Detta ger följande kalibreringsekvation:

$$UVA(MJm^{-2}) = 7.2 \times \Delta OD_{340} \text{ nm} \quad (1)$$

En motsvarande ekvation får man från en anpassad rät linje i fig 3.2.1.1

$$UV(MJm^{-2}) = 5.6 \times \Delta OD_{340} \text{ nm} \quad (2)$$

Våglängdsområde för ekvation (2) är (295-385)nm. Ekvationerna (1) och (2) visar att det tar mindre dos UV än UVA för att uppnå samma ΔOD_{340} nm. Detta överensstämmer med mätningarna av Davis et al (9).

I Norrköping mättes strålningen i två band, UVB (290-315)nm, UVA (315-400)nm och DUV "Damaging Ultraviolet". DUV är här definierad som UVB-strålning viktad enligt ACGIHs och SSIs skadeverkanskurva. DUV är en parameter relaterad till solens skadeverkningar på huden och ögonen.

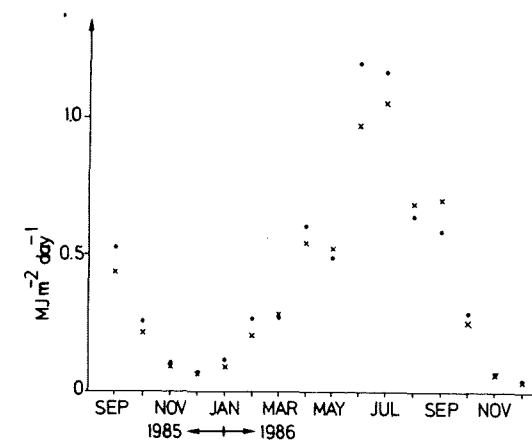
I ref (18) redovisas ΔOD_{340} nm plottad mot månadsvärden UVB och DUV. Resultaten visade icke linjära förhållanden. Detta kan bero på att (i) Filmerna mörknas av strålningen som har kortare våglängd än 400 nm (9). (ii) Andelen DUV och UVB i förhållande till strålningen som mörknar filmerna varierar genom året (18). ΔOD_{340} nm för en given dos UVB eller DUV beror på när på året exponeringen sker.

Vid användning av PPO-filmerna som dosimetrar för UVR skall man kunna undvika det autokatalytiska området genom föreexponering av filmerna för att komma till det linjära området.

Fig 3.2.2.1 visar månatliga dagsmedelvärden av strålning mot horisontell yta. En grupp av mätningarna är gjorda med Eppley TUV Pyrradiometer (295-385)nm på Ås medan de andra är beräknade från ΔOD_{340} nm och kalibreringen enligt fig 3.2.1.1. Överensstämmelsen mellan båda mätningarna är bättre än 20 %. Årsvariationen är tydligt demonstrerad. Från september 1985 till december 1986 visar mätningarna att strålningens månatliga dagsmedelvärde varierar från det ena året till det nästa. Fig 3.2.2.1 visar en jämförelse mellan UVR-värden mätta med Eppley pyrradiometer och med PPO-film.

3.2.3 PPO-mätningar mot lutande och vertikala ytor

UVR (295-385)nm mätt fotokemiskt med PPO-metoden på de olika mätstationerna i olika exponeringsriktningar redovisas i tabellerna 1-3. Filmerna monterades så att exponering skedde på båda sidorna. Under 1986 skärmades filmerna med en skiva på baksidan så att de endast kunde ta emot strålning på framsidan. På Ås exponerades två uppsättningar av filmer med och utan skärm på baksidor.



Figur 3.2.2.1 Månatliga dagsmedelvärden av UV-strålning mot horisontell yta, (x) mätt med Eppley Pyrradiometer, (●) mätt med PPO-film

I en tidigare rapport redovisade Berre och Lala (18) hur man beräknar UVR-data mot lutande ytor från data mot horisontella ytor. Arbetet baserat på ref (17). Från dessa beräkningar får man att den diffusa komponenten utgör mellan 68 % - 88 % av strålningen.

3.2.4 PPO-mätningar på byggnader

Motsvarande PPO-mätningar gjordes på vissa punkter på två byggnader hos SIB i Gävle och NBI i Trondheim. Exponeringen av PPO-filmerna skedde på följande mätpunkter:

- Vertikal exponering på fasader mot syd, nord, öst och väst.
- Vertikal exponering på takfot, skuggat läge, på fasader mot syd och öst.

Från denna exponering kunde UVR-intensitet beräknas för varje mätpunkt enligt fig 3.2.1.1 och ekvation (2). Tabell 4 visar resultaten för de undersökta byggnaderna. Från tabellen observerar man den följande allmänna ordningen för de beräknade UVR-värdena:

Syd > Öst > Väst > Nord > Takfot/syd > Takfot/öst

Skillnaden mellan värdena för syd och nord är liten och visar att den diffusa komponenten av UV-strålningen är hög. Trondheim ligger längre mot nord och mottar mindre UV-strålning.

3.2.5 PPO-mätningars temperaturberoende

Temperatureffekten på PPO-filmernas UV-känslighet har undersökts med några laboratorieförsök. Ett antal PPO-filmer har exponerats i Atlas Xenon Weather-ometer under 65 timmar, 50 % relativ fuktighet för varje temperatur. OD340 nm mättes för varje film före och efter exponeringen. Tabell 5 visar $\Delta OD340$ nm för varje grupp av filmer och temperatur jämfört med effekten under 25°C. Tabellen visar att i praktiken har temperaturintervallet 25-40°C ingen effekt på filmernas fotonedbrytning. Den mätta temperatur-effekten (1-6 %) motsvarar den experimentella osäkerheten.

Tabell 1. Fotokemisk mätning av UVR (295-385nm, månatliga dagsmedelvärde (MJ/m²) på stationerna: SIB/Gävle, SMHI/Norrköping och MLH/Ås i olika exponeringsriktning enligt ekvation 2. H, S/45, S/V betecknar exponering mot horisontella respektive syd/45° och syd/vertikala ytor.

Exponeringsperiod	SIB/Gävle			SMHI/Norrköping			MLH/Ås		
	H	S/45	S/V	H	S/45	S/V	H	S/45	S/V
Sep 1985	-	-	-	-	-	-	0.28	0.35	0.21
Okt *	0.27	0.18	0.22	0.33	0.40	0.38	0.34	0.41	0.40
Nov *	0.17	-	0.16	-	0.19	0.19	0.12	0.13	0.09
Dec *	0.11	0.13	0.16	0.15	0.13	0.11	0.05	0.11	0.08
Jan 1986	0.13	0.14	0.14	0.20	0.18	0.23	0.16	0.17	0.19
Feb *	0.27	0.31	0.29	-	0.43	-	0.43	0.45	0.34
Mar *	0.26	0.26	0.28	-	-	-	0.32	0.47	-
Apr *	-	-	0.53	-	0.28	0.47	0.68	0.51	0.52
Maj *	0.69	-	0.77	-	-	-	0.63	0.66	0.47
Juni *	0.75	0.81	0.84	0.58	-	0.61	1.14	1.16	1.30
Juli *	-	-	0.52	-	-	-	1.08	1.08	1.18
Aug *	0.39	0.40	0.42	-	-	0.43	0.72	0.69	0.53
Sep *	-	-	0.42	-	-	-	0.62	0.94	0.88
Okt *	0.16	0.33	0.20	0.40	0.52	0.54	0.42	0.47	0.34
Nov *	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.05	0.05	0.05
Dec *	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.06	0.04	0.04

Tabell 2. Fotokemisk mätning av UVR (295-385nm, månatliga dagsmedelvärde (MJ/m²) på stationerna: SBI/Hörsholm, VTT/Ötnäs och RB/Reykjavik i olika exponeringsriktning enligt ekvation 2. H, S/45, S/V betecknar exponering mot horisontella respektive syd/45° och syd/vertikala ytor.

Exponeringsperiod	SBI/Hörsholm			VTT/Ötnäs			RB/Reykjavik		
	H	S/45	S/V	H	S/45	S/V	H	S/45	S/V
Sep 1985	0.45	-	0.51	-	-	-	-	-	-
Okt *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov *	-	-	-	0.11	0.11	0.12	0.10	0.10	0.11
Dec *	-	-	-	0.04	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06
Jan 1986	0.20	0.24	0.25	0.12	0.12	0.13	0.10	0.11	0.14
Feb *	0.16	0.15	0.17	0.31	-	0.37	0.26	0.25	0.25
Mars *	0.49	0.58	0.65	0.42	-	0.49	-	-	-
Apr *	-	-	0.52	-	-	-	-	-	-
Maj *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Juni *	1.00	1.18	1.19	-	-	-	-	-	-
Juli *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep *	-	0.63	0.68	0.33	-	0.46	-	-	-
Okt *	-	-	0.34	0.37	-	0.37	-	-	-
Nov *	-	-	-	0.07	0.09	0.08	0.05	0.05	0.05
Dec *	-	-	-	0.04	0.04	0.04	0.03	-	0.03

Tabell 3. Fotokemisk mätning av UVR (295-385nm, månatliga dagsmedelvärde (MJ/m²) på stationerna: SP/Borås, NILU/Bergen och NILU/Kjeller i olika exponeringsriktning enligt ekvation 2. H, S/45, S/V betecknar exponering mot horisontella respektive syd/45° och syd/vertikala ytor.

Exponeringsperiod	SP/Borås			NILU/Bergen			NILU/Kjeller		
	H	S/45	S/V	H	S/45	S/V	H	S/45	S/V
Sep 1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Okt *	-	-	-	-	-	-	0.45	0.48	0.49
Nov *	0.17	0.17	0.18	0.12	0.13	0.11	0.17	0.17	0.21
Dec *	0.09	0.12	0.13	-	0.07	0.09	0.03	0.07	0.09
Jan 1986	-	-	-	0.11	0.14	0.17	0.14	0.15	0.21
Feb *	0.61	-	0.78	0.34	0.37	0.36	0.40	0.47	0.51
Mar *	-	0.52	0.55	-	-	-	0.51	0.52	-
Apr *	-	-	-	-	-	-	-	0.47	0.59
Maj *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Juni *	0.72	0.80	0.88	-	-	-	0.60	-	0.66
Juli *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug *	-	-	-	-	-	0.62	-	-	0.45
Sep *	-	0.53	0.53	-	-	0.47	-	-	0.42
Okt *	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-
Nov *	0.16	0.12	0.12	-	-	0.06	0.04	0.04	0.03
Dec *	0.14	0.13	0.14	0.07	0.06	0.06	0.06	-	0.05

Tabell 4. Fotokemisk mätning av UVR (295-385nm, månatliga dagsmedelvärde (MJ/m²) på vissa punkter på två byggnader i Gävle och Trondheim enligt ekvation 2. S, N, V, O, TS, TO betecknar vertikal exponering på fasader mot syd respektive norr, väst, öst, takfot mot syd och takfot mot öst.

Exponeringsperiod	SIB/Gävle					NBI/Trondheim						
	S	N	V	O	TS	TO	S	N	V	O	TS	TO
Sep 1985	0.52	0.22	-	-	0.08	0.12	0.42	0.22	0.30	-	0.06	0.03
Okt *	0.21	0.12	0.06	0.21	0.06	0.04	0.16	0.09	0.10	0.12	0.03	0.01
Nov *	0.17	0.12	0.14	0.21	0.06	0.09	0.07	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02
Dec *	-	0.11	-	0.13	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	0.03	-	-
Jan 1986	0.16	0.13	0.14	0.15	0.07	0.06	0.07	-	0.05	0.05	0.03	0.03
Feb *	0.36	0.15	0.17	0.27	0.10	0.09	0.24	0.18	0.18	0.23	0.06	0.06
Mar *	0.33	0.15	0.23	0.24	0.06	0.07	0.52	0.29	-	0.39	0.11	0.03
Apr *	-	0.47	0.37	0.30	0.10	0.10	0.51	0.38	0.41	-	0.08	0.03
Maj *	0.77	0.59	0.46	0.71	0.09	0.06	-	0.41	0.34	-	0.08	0.05
Juni *	0.85	0.59	0.71	0.58	0.14	0.15	0.79	0.48	-	0.61	0.16	0.07
Juli *	0.54	0.46	-	0.59	0.09	0.15	-	0.33	-	0.51	0.10	0.05
Aug *	0.42	0.43	0.37	0.41	0.08	0.08	-	0.46	-	0.22	0.14	0.02
Sep *	0.40	0.27	0.23	-	0.04	0.11	-	0.14	0.16	0.21	0.04	0.01
Okt *	0.21	0.16	0.13	0.15	0.05	0.04	0.10	0.06	0.08	0.09	0.03	0.03
Nov *	0.06	0.04	0.03	0.05	0.01	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01
Dec *	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Tabell 5. PPO-filmernas temperaturberoende mätt efter exponering i Atlas Weather-ometer för 65 timmar, 50 % relativ fuktighet och under olika temperaturer.

Temperatur (°C)	$\Delta OD340$ nm	Temperatureffekt (%) jämfört med 25°C
25	1.789	0
30	1.674	-6
35	1.806	+1
40	1.680	-6

Referenser

1. Lala, D, "Monitoring of Ultraviolet Solar Radiation", Nordic Seminar on Durability and Service life of Surface Coatings, Technical Research Centre of Finland, Turku, May 1982.
2. Ashton, H E and Sereda, P J, Durability of Building Materials, 1(1982) 49-65.
3. Yamasaki, R S, Journal of Paint Technology, 43(555), (1971)75-83.
4. Yamasaki, R S, Durability of Building Materials, 2(1983)17-26.
5. Martin, K G, Polym. Journal, 5(1973)443-450.
6. Martin, K G and Tilly, R L, Br. Polym. Journal, 1(1969)213-216.
7. Martin, K G, Br. Polym. Journal, 3(1971)36-40.
8. Martin, K G, CSIRO Aust. Div. Building Res., Techn. Pap., (Second serie) No 18(1977)1-33.
9. Davis, A, Deane, G W, Gordon, D, Howell, G V and Ledbury, K J, Journal Appl. Polym. Sci., 20(1976)169-170.
10. Davis, A, Deane, G W, Nature, 261(1976)169-170.
11. Challoner, A V J, Corbett, M F, Davis, A, Diffy, B L, Leach, J F and Magnus, I A, National Cancer Institute Monograph, 50(1978)97-100.
12. Davis, A, Gordon, D and Howell, G V, Explosives Research and Development Establishment Technical Report No 141, July 1973.
13. Shirota, T, Watanabe, Y and Yoshikawa, K, report on Round Robin Test on PMMA and PE Standard Reference Materials for Testing Light Exposure, 1983.
14. Lala, D, "Photochemical Measurements of Ultraviolet Solar Radiation", Symposium Proceedings, Recent Advances in Pyranometry, IEA Solar R&D, SMHI, Norrköping 1984.
15. Lala, D, "Ultraviolet Radiation Measurements by Photochemical Methods", The National Swedish Institute for Building Research, Bulletin M85:12, Gävle, 1985.
16. Hansen, V, Journal of Climate and Applied Meteorology, 23(1984)772-780.
17. Duffie, J A and Beckman, W A, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, London (1980).
18. Berre, B and Lala, D, "Investigation on Photochemical Dosimeters for Ultraviolet Radiation", Rilem's Materials and Structures (under publishing).

 Microclimate - Measurements at a Test House

Jyri Nieminen
 M.Sc. (Eng.)
 Technical Research Centre of Finland
 Laboratory of Structural Engineering
 Betonimiehenkuja 3
 SF - 02150 Espoo

SUMMARY

Measurements of different climatic factors were carried out at UTT's (Technical Research Centre of Finland) test houses. The test building was a house of one and a half storeys with crawl-space foundation. Founding area of the house was about 64 m².

The research included measurements of temperatures in the air near the envelope as well as on the surfaces of the envelope, air velocities and pressure differences around the building, driving rain on different places of the envelope and also air humidities around the building. Temperatures were measured from altogether 120 points in the air and on the surfaces and 30 points in the crawl-space. Pressure differences were measured with two eight and ten channel measuring systems. Air velocities near the envelope were measured from ten different locations at a time. The measured data was compared to the observations from the weather station at the test houses and also two other stations of Meteorological Institute of Finland.

ÆLDNING AF MATERIALER

Beton

Alkalikiselreaktioner - krav til betontilslag
K. Brandt, C. Munch-Petersen og T. Thorsen

Betons nedbrydningsmekanismer - accelererede prøvningsmetoder
H. Krenchel og J. Buch

Tillstandsbedømming av betongkonstruktioner
C. Molin

Härningens inverkan på betons permeabilitet och beständighet
C. Ewertson og P.-E. Petersson

En generell metod för värdering av porösa materials frostbeständighet
G. Fagerlund

Betons holdbarhed og nedbrydning bedømt ved strukturanalyse
A. Damgaard Jensen

Testing of Concrete Products for Service Life Prediction
S.E. Pihlajavaara

Permeabilitetens betydelse för betongs beständighet
Praktisk provning og bedømming av permeabilitet
L. Johansson

Tage

Karakterisering av takfolier etter ulike aldringsmetoder
S.B. Berg

Aging Characteristics for Polymeric Roofing Sheets
E.M. Paulsen

Ældning af isolering til flade tage
T. Bunch-Nielsen

Durability of Roofing Fasteners for Mechanically Attached
Bituminous or Polymeric Membranes
E.M. Paulsen

Plater av stål og aluminium som takteking
T. Bøhlerengen

Diverse

Testmetod för utvärdering av putsbeläggningars beständighet
D. Karlsson

Putzers beständighet
K. Sandin

Fasader i pusset og upusset murverk. Levetid
A.M. Waldum og A. Nesje

Radon i bostäder. Exempel på olika typer av byggnadstekniska åtgärder
I. Nilsson

Long-term Performance of Cellular Plastics as Building Insulations
E. Kokko og L. Rautiainen

Provning av beständighet och åldring hos fogmassor
P.G. Burström

Förändring av värmeledningsförmågan hos cellplaster innehållande
CFC eller andra gaser
P.I. Sandberg og J. Isberg

Livslängd hos förseglade glasrutor
H. Brolin og M. Tornevall

Trä

En studie av klimatpåverkningar på målad träpanel drabbad av rötskador
S. Hjort og L-O. Nilsson

Accelererad åldring och objektiv utvärdering av behandlet trä
I. Johansson, G. Hägglund og O. Lindgren

Naturlig beständighet hos trä
J.B. Boutelje

Skadelige alkalikiselreaktioner - krav til betontilslag

Civ.ing. Kirsten Brandt, civ.ing. Christian Munch-Petersen og akad.ing.
Torsten Thorsen

B. Højlund Rasmussen

Nørregade 7A

1165 København K

B. Højlund Rasmussen, Rådgivende Ingeniører A/S, har ved civ.ing. Christian Munch-Petersen, akad.ing. Torsten Thorsen og civ.ing. Kirsten Brandt for Skov- og Naturstyrelsen udarbejdet en rapport vedrørende "Dokumentation bag krav til betontilslag i relation til skadelige alkalikiselreaktioner".

I det følgende gengives sammenfattende konklusioner fra den foreløbige rapport.

Skov- og Naturstyrelsen har foranlediget, at en følgegruppe kommenterer rapporten. Følgegruppen har på redaktionstidspunktet 1. april 1988 netop modtaget den foreløbige rapport til udtalelse.

Der må tages forbehold for, i hvilket omfang Skov- og Naturstyrelsen evt. vælger at ændre på den foreløbige rapport efter følgegruppens udtalelser.

Den endelige rapport forventes færdig maj 1988.

Fra den foreløbige rapport refereres følgende:

Forord

I Byggestyrelsens Basisbetonbeskrivelse for Bygningskonstruktioner (BBB) er der fastlagt en række krav til materialer og udførelse af betonkonstruktioner.

Basisbetonbeskrivelsen har direkte og indirekte betydning for hovedparten af alt betonarbejde i Danmark. De krav, der stilles i BBB, har derfor væsentlig betydning for råstofforvaltningen og for de erhverv, der beskæf-

tiger sig med udvinding, oparbejdelse og nyttiggørelse af grusmaterialer til beton.

På denne baggrund har Skov- og Naturstyrelsen ønsket at få vurderet dokumentationen for de stillede krav med tilhørende prøvemethode.

Undersøgelsens udgangspunkt er på baggrund af udvalgt litteratur, prøvemethoder og danske standarder at vurdere de beskrevne metoders usikkerhed ud fra følgende problemstillinger:

- Hvordan undgås skadelige alkalikiselreaktioner i konstruktionsbeton?
- Er Basisbetonbeskrivelsens krav i henseende til ovenstående relevante?

Undersøgelsen omfatter ikke udarbejdelse af forslag til nye prøvningsmetoder og ikke vurdering af kontrolomfang og -hyppighed m.v.

Den udvalgte litteratur er vurderet og rapporteret af B. Højlund Rasmussen, Rådgivende Ingeniører A/S, ved civ.ing. Kirsten Brandt, akad.ing. Torsten Thorsen og civ.ing. Christian Munch-Petersen.

Samlet konklusion for rapportens del I og del II

Del I

I rapportens del I er opremset, hvordan de i alkalikiselreaktioner indgående parametre kan begrænses.

BBB's krav er formuleret således, at flere parametre begrænses på een gang.

For parametrene gælder, at en begrænsning af deres værdi vil nedsætte risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner. Men præcise, dokumenterede talværdier kendes ikke.

BBB's krav er udformet således, at den viden der foreligger bliver anvendt, også selv om denne viden ikke er formuleret med præcise tal.

Bl.a. af hensyn til råstofforvaltningen er det dog ønskeligt at kende kiselparametren ret præcist.

Rapportens del II i (litteraturstudiet) omhandler kiselparametren i aggressiv miljøklase. Derudfra vurderes de to problemstillinger.

Del II

Sand og stens alkalireaktivitet

Alkalireaktiv er kislernerne opal og kalcedon, og det hvad enten de optræder alene, sammen, sammen med kalk, eller om de er tætte eller porøse.

Reaktionsstørrelsen for opal og kalcedon er efter tilstrækkelig lang tid sandsynligvis den samme.

Reaktionshastigheden er forskellig for opal og kalcedon, og forskellig for de tætte og de porøse typer.

Rækkefølgen af reaktionshastigheden er som anført herunder med den flinttype, der først reagerer som den førstnævnte:

- Porøs opalflint og porøs kalkopalflint.
- Porøs kalcedonflint og porøs kalkkalcedonflint.
- Tæt kalcedonflint og tæt kalkkalcedonflint.

Reaktionshastigheden for opal vurderes at være større end for kalcedon, fordi opal er en amorf struktur, og kalcedon er krystallinsk.

Reaktionshastigheden for porøs kalcedon vurderes at være større end for tæt kalcedon, bl.a. fordi den porøse kalcedon har en større specifik overflade end den tætte.

I praksis kan det være vanskeligt at give klare og entydige definitioner på de forskellige flinttyper. Det skyldes bl.a., at et tilslagskorn ofte er sammensat af forskellige mineraler.

I praksis kan det også være vanskeligt at definere, hvilken flinttype, der reagerer hurtigst. Igen skyldes det, at et tilslagsmateriale ofte er sam-

mensat af forskellige mineraler, og at de enkelte mineraler har forskellige reaktionshastigheder.

Sand og stens skadelige alkalireaktivitet

Om sand og stens skadelige alkalireaktivitet i beton, i aggressiv miljøklasse kan konkluderes:

- at opal kan forårsage skadelig ekspansion og revnedannelse,
- at tæt kalcedon ikke forårsager skadelig ekspansion og revnedannelse,
- at porøs kalcedon muligvis kan forårsage skadelig ekspansion og revnedannelse, men at det ikke er klart, om det er en opaldel i den porøse kalcedon, der har reageret, eller om det er selve den porøse kalcedon,
- at grænseværdien på maksimalt 2% porøs flint for sandets vedkommende ikke er blevet anfægtet i den læste litteratur.

Desuden vurderes det, at sand og sten bør vurderes under eet med hensyn til alkalireaktivitet og skadelig ekspansion og revnedannelse. Det skyldes, at det er de enkelte flintmineralers reaktionshastigheder, der vurderes at være afgørende for, om flintkornet er skadeligt eller ej.

Relevansen af BBB's krav til sand og sten udtrykt ved:

Mørtelprismemetoden TI-B51

Mørtelprismemetoden TI-B51 ville være pålidelig som funktionstest:

- hvis f.eks. de enkelte mineralers (opals, porøs og tæt kalcedons) ekspansionskurver var kendte, og det fra praksis (= skadesanalyser) lå fast, hvilke af disse mineraler, der havde forårsaget skadelig ekspansion.

Dette forhold vurderes at ligge til grund for TI-B51's valg af grænseværdier, nemlig at det forudsættes, at man efter 8 ugers ekspansion kan se på kurveforløbet, om sandet indeholder overvejende opal, overvejende porøs kalcedon eller overvejende tæt kalcedon.

Der mangler efter vores vurdering en dokumentation heraf, på baggrund af skadesanalyser, hvis testen skal være pålidelig.

Når og hvis denne dokumentation foreligger, synes det dog ikke mere relevant at bruge så tidskrævende en test som TI-B51.

Det vil sige, at den argumentation, der ligger til grund for grænserne i TI-B51, nemlig at opal er skadelig, at porøs kalcedon eventuelt er skadelig i særlig aggressivt miljø, og at tæt kalcedon ikke er skadelig, godtgør ikke, at mørtelprismemetoden er relevant for BBB's krav. Denne argumentation medfører tværtimod, at hurtigere test, der blot kan skelne mellem opal og porøs og tæt kalcedon, vil være mindst lige så relevante for BBB's krav.

Den petrografiske analyse TI-B52

Princippet i den petrografiske analyse TI-B52 at bestemme mængden af porøs flint ud fra den tolkning at porøs flint er skadelig reaktiv, er relevant for BBB's krav.

Det er næppe korrekt, at opal og porøs kalcedon er lige skadelige. Opalen vil formentlig give anledning til skader før den porøse kalcedon, hvilket kunne godtgøre en vægtning af de to mineraler, således at opal bedømmes som mere skadeligt end den porøse kalcedon.

BBB's grænseværdi på maksimalt 2% reaktivt materiale, er ikke blevet anfægtet i den læste litteratur.

At analysere sand petrografisk, dvs. at bestemme mineralsammensætningen, er særdeles relevant set i relation til alkalikiselreaktioner.

Det forhold, at det endnu ikke er afklaret, om den porøse kalcedon er skadelig eller ej, gør ikke den petrografiske analyse uanvendelig, hvis den anvendes til at afklare, hvad sandet indeholder. Problemet er dog herefter at tolke resultaterne.

De laboratorietekniske problemer knyttet til den petrografiske analyse skal løses.

Især vil det være vigtigt at kunne skelne opal og porøs kalcedon med stor sikkerhed.

Indhold af lette korn DS 405.4 og densitet og absorption DS 405.2

Principperne i BBB's krav til stenene, at udskille den porøse flint, er relevante, så længe det ikke er dokumenteret, at porøs kalcedonflint er uskadelig i aggressivt miljø.

Bliver det dokumenteret, at porøs kalcedon ikke forårsager skadelig ekspansion og revnedannelse, ændrer dette ikke på relevansen af DS 405.4 indhold af lette korn. Derimod ændrer det på relevansen af absorptionskravet DS 405.2.

Det bliver i så fald relevant med en prøvemethode, der kan skelne opalholdige skorper fra skorper af porøs kalcedon.

Det har ikke været muligt, på baggrund af det foreliggende materiale at fastlægge, hvor stor en mængde reaktivt materiale, der skal til i stenfraktionen for at få skadelig ekspansion.

Da der ikke måles, hvor mange vol.% porøs flint, absorptionskravet tillader, vil det blive vanskeligt at drage konklusioner om den tilladelige mængde af porøs flint i stenfraktionen.

Fordelingen af den porøse flint i stenfraktionen spiller givet ind, når risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner skal vurderes.

Betonprismeforsøg vurderes at være relevante til belysning af bl.a. dette forhold.

Del I og del II

Om problemstillingen: "Hvordan undgås skadelige alkalikiselreaktioner i konstruktionsbeton", må på baggrund af litteraturstudiet konkluderes:

- at der er flere muligheder for at mindske risikoen for skader,
- at det kun er muligt at sætte krav, der sandsynligvis er for skrappe set ud fra et råstofforvaltningssynspunkt, hvis skader skal undgås med meget stor sikkerhed.

Om problemstillingen: "Er Basisbetonbeskrivelsens krav i henseende til ovenstående relevante", må på baggrund af litteraturstudiet konkluderes:

- at risikoen for skader er mindsket, fordi der sættes bredt ind over for flere parametre,
- at risikoen for skader specielt er mindsket på grund af krav til det maksimale indhold af kiselholdigt materiale,
- at BBB's krav sandsynligvis er for restriktive hvad angår porøs kalcedon.

Om den læste litteratur skal følgende fremhæves:

- Der er uklarhed og uenighed om, hvordan de enkelte flintminerale skal defineres.
- Der skelnes ikke klart mellem alkalireaktivt og skadeligt alkalireaktivt materiale.
- Der refereres ofte til resultater fra skadesanalyser, men resultater heraf er ikke systematisk bearbejdet.
- Det er svært for brugere - ikke-forskere - at benytte de foreliggende forskningsresultater i praksis.

Om skadesanalyser skal fremhæves:

- at disse må betragtes som facitliste for, hvad der forårsager skadelige alkalikiselreaktioner i beton,
- at disse derfor bør behandles indgående. Der bør gøres en systematisk indsats, og den skal publiceres,
- at resultater fra skadesanalyser formentlig vil justere på grænseværdierne i BBB's krav.

- at resultater fra skadesanalyser muligvis kan fjerne relevansen af de i dag anvendte prøvemethoder til grusmaterialer, da simple metoder kan vise sig at være tilstrækkelige.

 Betons nedbrydningsmekanismer - accelererede prøvningsmetoder

Dr.techn. Herbert Krenchel
 Civilingeniør Jasper R. Buch
 Afdelingen for Bærende Konstruktioner
 Danmarks Tekniske Højskole

Abstract

Betonens nedbrydningsmekanismer er mangeartede: revnedannelse ved kemisk svind og udtørringssvind samt som følge af temperaturgradienter og karbonatisering, almindelige trækrevner forårsaget af tøjninger i armeringen større end betonens brudforlængelse, frostsprængninger, saltsprængninger, alkali-kiselreaktioner, karbonatisering med påfølgende armeringskorrosion og sprængninger herfra, sulfatangreb, kalkudlodning osv.

Ved accelereret prøvning af beton og jernbetonkonstruktioner er det således usandsynligt, at man vil kunne finde een prøvemethode, som skulle kunne forudsige betonens holdbarhed eller levetid under diverse påvirkninger og klimabetingelser.

Betonen er et kompositmateriale bestående af cementpasta og tilslagsmaterialer. Den svageste komponent overfor næsten alle nedbrydningsmekanismer vil her være den afbundne cementpasta, den såkaldte cementsten. Det er dette delmateriale porøsitet og permeabilitet mm., som i de fleste tilfælde er bestemmende for graden af nedbrydning og for det tempo, hvormed de forskellige nedbrydningsmekanismer virker på beton.

Den mest direkte og effektive fremgangsmåde ved fremstilling af beton med bedre bestandighed overfor de meget barske påvirkninger, som dette byggemateriale ofte udsættes for nu om dage, vil således nok være at gøre cementpastaen og dermed betonen systematisk tættere, mindre permeabel og mindre diffusionsåben end normalt. Men dette må naturligvis gøres på en sådan måde, at betonen ikke derved lider skade på anden måde (øget revnedannelse, reduktion af betonens brudenergi og af armeringens korrosionsbeskyttelse, øget risiko for sprængning under brand eller lignende).

En række accelererede prøvningsmetoder anvendt på forskellige typer ekstraordinær tæt cementsten vil blive gennemgået.

Referencer

Maage, M., and Skjøldsvold, O.: "Carbonation in Concrete With and Without Silica Fume", Report No. STF 65A 83090, SINTEF/FCB, Trondheim, Dec. 1983.

Maage, M.: "Effect of Microsilica on the Durability of Concrete Structures", Report No. STF 65 A 84019, SINTEF/FCB, Trondheim, Marts 1984.

Proceedings of the First International RILEM Congress: "From Materials Science to Construction Materials Engineering", Paris Versailles, Sept. 1987. Vol. III: Durability of Construction Materials. Papers by: Sjøstrøm, C. (pp. 915-917), Bier, Kropp and Hilsdorf (pp. 927-937), Masuda, Y. (pp. 935-942) and Grube, H. (1206-1213).

Grube, H. and Rechenberg, W.: "Betonabtrag durch chemisch angreifende saure Wasser", BETON (Düsseldorf) (37), 1987, (pp. 11).

Maage, M. and Sellevold, E.J.: "Effect of Microsilica on the Durability of Concrete Structures". Concrete International (ACI), Design & Construction, Vol. 9, No. 12, Dec. 1987, (pp. 39-43).

 Tillståndsbedömning av betongkonstruktioner

Tekn dr Christer Molin

Chef för Statens provningsanstalts avdelning i Stockholm

Box 5608

S-11486 Stockholm

Inledning

Betong är normalt sett ett beständigt material. Det är emellertid ganska lätt att på ett avgörande sätt minska beständigheten och/eller hållfastheten oavsiktligt. Förr hällde man gärna i extra vatten i betongmassan för att göra gjutningsarbetet lättare, med en drastisk kvalitetssänkning som följd. I dag slarvar vi t ex med vattenhärdning, vilket innebär att tätskiktet blir otätt trots att materialkvaliteten från början är tillfyllest. Variationer i kvaliteten är störst i våra äldsta konstruktioner. Då fabrikstillverkning, särskilt med fungerande extern tillverkningskontroll, började dominera på 60-talet, blev åtminstone materialkvaliteten jämnare och högre. Omsorg vid gjutning, vibrering och efterbehandling samt relevant kravspecifisering vid projektering kan fortfarande bli bättre.

Allmänt om nedbrytning

Fukt är armerade betongens och även många andra materials värsta fiende. I en torr miljö sker ingen korrosion, frostsprängning eller annan farlig nedbrytning. Ovanliga undantag finns dock! Paradoxalt nog är fukt mycket gynnsamt för betongen under själva härdningen.

Salt i form av klorider, är en annan vedersakare för betong. Betong tål mycket låga halter, en grov tumregel torde vara 0,2 % klorid (CaCl₂) räknat på cementvikten. Salt befrämjar armeringskorrosion och frostsprängning i hög grad.

Värme leder oftast till snabbare nedbrytning, eftersom kemiska reaktionerna i hög grad underlättas. Värmens betydelse belyses tydligt av de snabba korrosionsangreppen på unga betongkonstruktioner i exempelvis Mellersta Östern. Den olämpligaste omgivningen för armerad betong är alltså varm och fuktig på somrarna, men tillräckligt kall för att ha upprepade nedfrysningar på vintern.

Det torde vara vanligt med synergieffekter av olika nedbrytningsmekanismer, som ger ökad grad av nedbrytning. Kunskaper om dessa effekter är för närvarande mycket begränsad.

De flesta utomhuskonstruktioner utsätts för hög fukthalt. Även de som inte direkt utsätts för regn. Mest kända av skadade konstruktioner är balkonger och kantbalkar på broar. Parkeringsdäck, trappor, siloanläggningar och fasadelement är också utsatta för skador. Inom industrin förekommer våta tillverkningsprocesser, t ex vid tillverkning av pappersmassa. Medeltemperaturen är oftast högre än utomhus. Dessutom kan aggresiva kemikalier förekomma i industrimiljön. Vatten- och avloppsanläggningar uppvisar också en svår betongmiljö.

Betong har god beständighet mot brand. Mycket höga och långvariga temperaturpåfrestningar orsakar dock avskalningar, sprickor och sänkt hållfasthet. Slakarmeringen förlorar hållfasthet under branden. Efter avsvälning återfår armeringen sin ursprungliga styrka. Armeringens förankring kan emellertid ha försämrats.

Diagnos och besiktning - skall det verkligen vara nödvändigt?

Betongkonstruktionen har ofta en avgörande betydelse för en byggnads eller konstruktions bärförmåga och stabilitet. Konstruktionsdelar utsatta för böjning och/eller stor skjuvning är mycket beroende av armeringens kraftupptagande förmåga och vidhäftning till betongen. Nedbrytning av brand, korrosion m m kan på kort tid reducera tillgängliga säkerhetsmarginaler och i allvarliga fall orsaka kollaps eller fortskridande ras. Risken är störst vid statiskt bestämda system och konstruktionsdelar utsatta för stora skjuvkrafter. Skador kan också orsaka nedfall från hög höjd av betongstycken från fasadelement eller andra ytskikt.

Nedbrytning av materialet eller ökade laster förorsakar nedböjningar, sättningar i materialskikt och sprödhet. Funktionskraven kan bli svåra att uppfylla på ett tillfredsställande sätt. Exempelvis kan vissa tunga och vibrerande tillverkningsmaskiner ha stora krav på fasta upplag utan någon sättning.

Estetiska krav är oftast ej avgörande för betongkonstruktioner. Fasadelement och en del utsmyckningar utgör dock undantag för vilka sprickbildningar, kalkurlakningar och rostutfällningar är allvarliga. Många bostadsområden byggda under miljonprogrammet har fasadelement av betong. En del av dessa har utförts i för låg kvalitet.

Ändrad verksamhet och nya funktionskrav kan innebära ökade laster och/eller ingrepp i stommen. Vissa konstruktionsdelar kommer att utsättas för högre påkänningar eller ändrade statiska förutsättningar. I samband med att andra byggnadstekniska åtgärder vidtages bör en översiktlig kontroll göras av anslutande betongkonstruktioner. Det är t ex lämpligt vid fasadrenovering att se över äldre balkonger.

Procedur och metodtablå

Det är väsentligt att omfattning och noggrannhet anpassas till aktuella säkerhetsaspekter och den nytta man kan ha av undersökningen. Allkontroll görs för konstruktionsdelar som har stor betydelse för säkerheten. Övrig kontroll utförs normalt stickprovsmässigt. Antal mätningar eller prov på varje mätställe bestäms även med hänsyn till förväntade variationer hos metoden.

Många olika provningar kan utföras. Det är väsentligt att inriktning sker mot för problemet relevanta provningar. Val av provningar och mätningar samt efterföljande utvärdering måste grunda sig på materialtekniska, byggnadsfysikaliska och statistiska kunskaper.

Ritningar, beräkningar och beskrivningar av byggnaden är det fördelaktigaste underlaget. Man bör skaffa detta material tidigt, gärna kompletterat med intervjuuppgifter. Ofta kan fastställandet av byggnadens ålder ge möjlighet att utnyttja då aktuella bestämmelser, normer och tekniska anvisningar.

Oftast utförs besiktningsarbetet i flera etapper. Inledningsvis görs en översiktlig inspektion av de områden som överhuvud taget kan tänkas vara skadade eller intressanta av annan orsak. Den okulära besiktningen kompletteras med en generös fotografering av skador och konstruktionsdetaljer. Stickprovskontroll av kloridhalten kan och bör utföras på platsen, se fig. 1.



Fig 1. Den för korrosionsdelen så väsentliga kloridhalten kan numera bestämmas med fältprovningstrustning.

Provstycken tas om så erfordras till laboratoriet. Enkla kontroller av täckskikt, karbonatiseringsdjup, korrosionssymptom m m görs. Ras- eller kollapsrisk preliminärkontrolleras. I enkla fall räcker den översiktliga inspektion som underlag för en bedömning. I övriga fall utnyttjas den första etappen för programskrivning till en detaljerad besiktning.

Det främsta hjälpmedlet är utborrade cylindrar oftast med 100 mm diameter, se fig 2. Provtryckningen ger besked om konstruktionens verkliga hållfasthet, grovt räknat 80 % av kubhållfastheten.

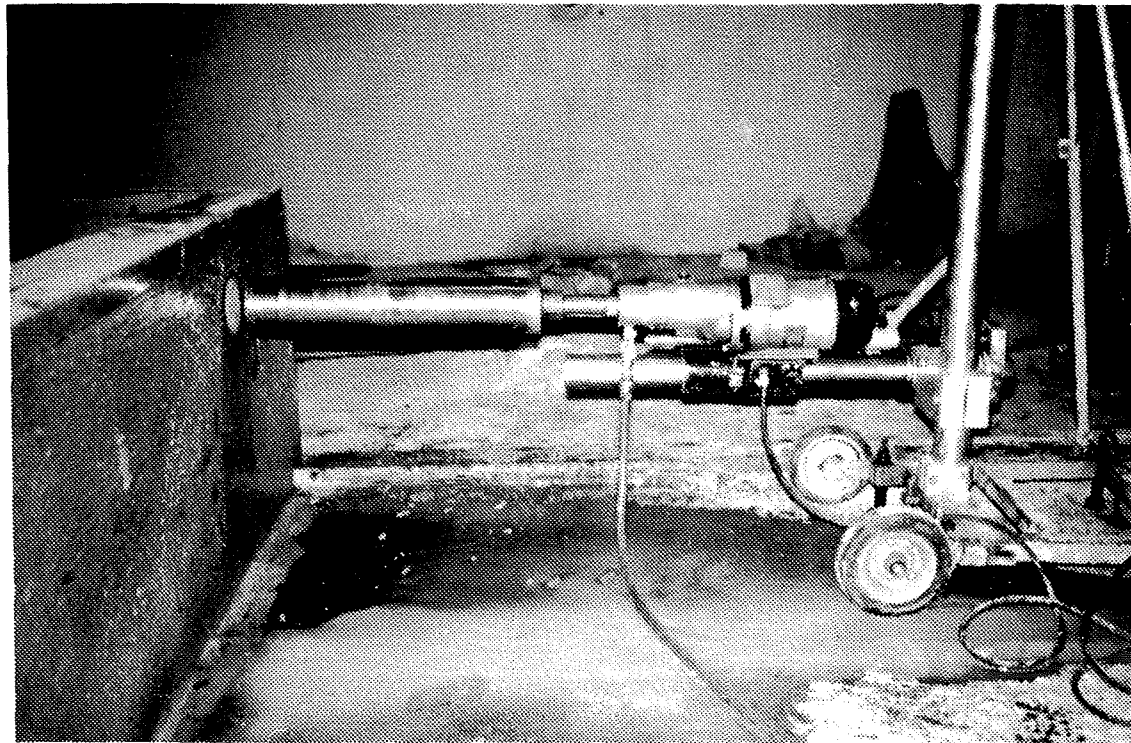


Fig 2. Utborrning av 100 mm provcylindrar ger oftast det bästa underlaget för kvalitetsbedömning.

Cylindrarna kan också med fördel utnyttjas för annan kvalitetskontroll t ex frostbeständighet, kloridhalt, petrografi, porisitet och permeabilitet. Nackdelen med utborrade cylindrar är att de är förstörande och ganska dyrbara. Därför kompletteras ofta dessa med icke förstörande provning. För hållfasthet är Capoutrustning vanligast, se fig 3. Studshammare kombinerad med ultraljud förekommer. Karbonatiseringsdjup undersöks enkelt med fenolftalein utan att förorsaka större skada, bör dock ej utföras i våt betong. Karbonatiserad betong är betydligt hårdare än normal betong, vilket innebär att studshammare är olämpligt för hållfasthetsuppskattning på sådan förhårdnad yta, se fig 4.



Fig. 3 Med hjälp av Capo-utrustning kan hållfastheten uppskattas på ett enkelt sätt på platsen.

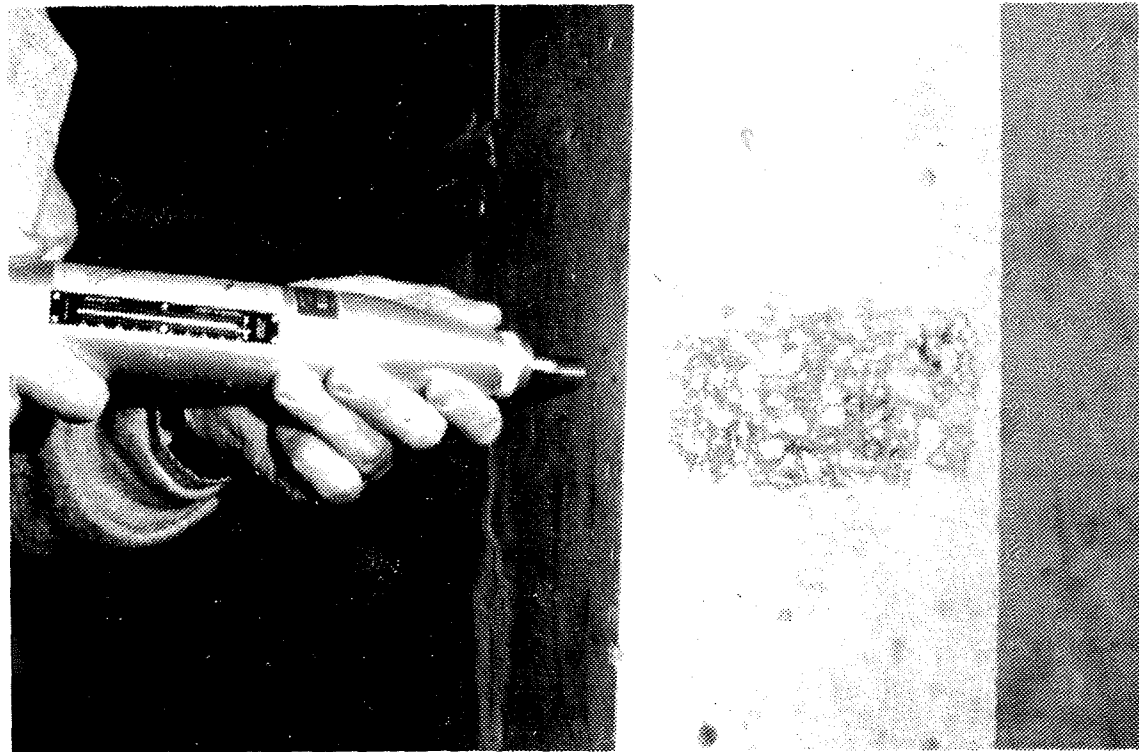


Fig. 4 Studshammare kan ej användas för uppskattning av tryckhållfasthet på karbonatiserad betong. "Frisk" betong rödfärgas av fenolftalien.

Täckskikt mäts också enkelt elektromagnetiskt. Större djup än 100 mm är dock svårt att klara. Om armeringen ligger i flera skikt uppstår också problem. Permeabilitet i täckskiktet kan numera uppskattas med fältmetoder, t ex Figgs utrustning. Endast ett litet hål \varnothing 10 mm med djup 40 mm behöver borraras, se fig 5. Relativa fuktigheten i porsystemet måste också mätas eftersom denna påverkar permeabiliteten, se fig 6. Här redovisas också härdningens och vatten-cementtalets betydelse. Av diagrammet framgår härdningens stora betydelse. En betong av hög kvalitet kan med utebliven vattenhärdning bli sämre ur täthetssynpunkt än en låg kvalitet.

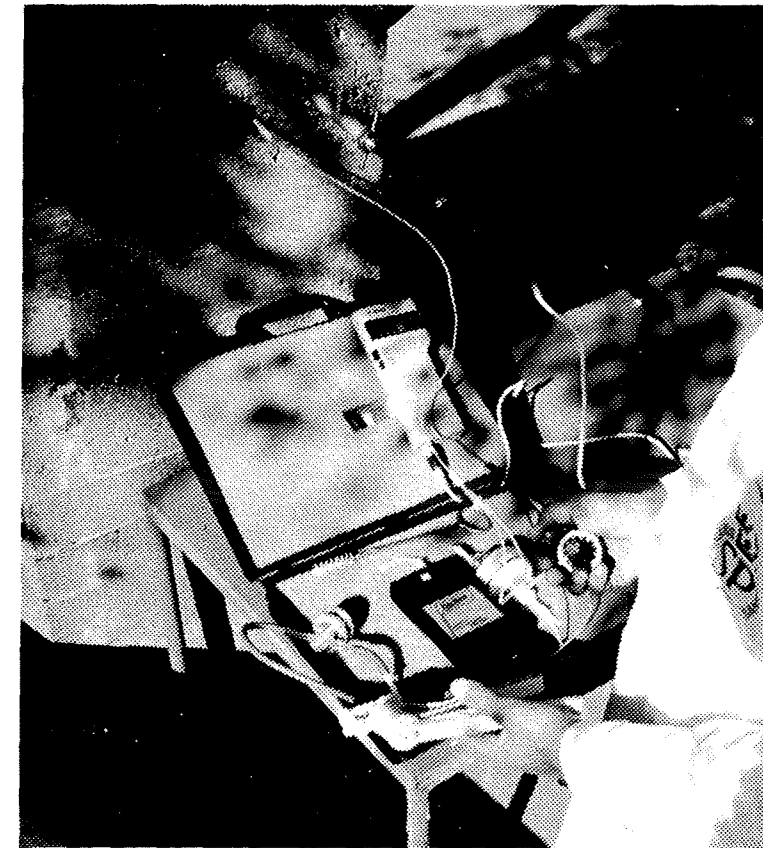


Fig 5. Uppskattning av betongens luftpermeabilitet kan göras med Figgs utrustning. Relativa fuktigheten mäts samtidigt.

REFERENSER

ANDERSSON, Cathrine och PETERSSON, Per-Erik. Härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet. Borås: Statens provningsanstalt, Byggnadsteknik 1987. 99 s. Teknisk Rapport SP-RAPP 1987-07. ISBN 91-7848-050-7.

ERIKSEN, Kirsten, HANSEN, N. Damsager och GUDMUNSSON, Halldor. Udsatte betonkonstruktioners holdbarhed. Tåstrup: Teknologisk Institut, Byggeteknik, 1981. 68 s. ISBN 87-7511-146-2.

INGVARSSON, Hans. Non-Destructive Condition Assessment of Concrete. Zurich: IABSE colloquium, Bergamo, 1987. Monitoring of Large Structures and Assessment of their Safety. s 65-81.

LERCHEN, Frank H. PIELERT, James H. and FAISON, Thomas K. Selected Methods for Condition Assessment of Structural, HVAC, Plumbing and Electrical Systems in Existing Buildings. Washington: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1980. 100 s.

MALHOTRA, V. M. In situ/Non destructive Testing of Concrete. Detroit: American Concrete Institute, 1984. 831 s. Publication SP-82.

REWERTS, Thomas L. Safety requirements and the evaluation of existing concrete buildings. Concrete International/ April 1985.

ROMBEN, Lars. Beständighet och permeabilitet. En litteraturstudie. Stockholm: Cement- och Betonginstitutet, Uppdragsfunktionen, 1985. 28 s. Rapport nr 8532.

SUNDBOM, Sven, OLSSON, Kerstin och JOHANSSON, Lars. Betongs beständighet. Stockholm: Cement- och Betonginstitutet, Uppdragsfunktionen, 1987. 50 s. Rapport nr 87053.

THE CONCRETE SOCIETY. Permeability of concrete and its control. Papers for a one day conference, London, 12 december 1985. London: The Concrete Society, 1985. 130 s. ISBN 0 946691 13 4.

THE INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS. Appraisal of existing structures. London. 1980. 54 s.

WARNER, R. F. Strengthening, Stiffening and Repair of Concrete Structures. IABSE SURVEYS S-17/81. IABSE PERIODICA 2/1981. ISSN 0377-7251.

Härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet

Cathrine Ewertson, Per-Erik Petersson
Statens Provningsanstalt, Byggnadsteknik
Box 857, 501 15 BORÅS

Sammanfattning

I denna undersökning har härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet undersökts. Fyra betongkvaliteter har efter gjutningen härdats på olika sätt. Härdningssättets inverkan på kvaliteten hos betongskiktet närmast gjutytan har sedan studerats genom parametrar såsom vattentäthet, luftpermeabilitet, karbonatiseringshastighet, kloridinträngning, saltfrostbeständighet och ythållfasthet.

Provningsresultaten visar att fullgod fukthärdning (vattenlagring) är klart bättre än de övriga härdningssätt som ingick i undersökningen. Till och med en så kort vattenlagring som 2 dygn ger klart bättre resultat än intäckning med plastfolie under 5 dygn eller efterbehandling med hjälp av membranhärdare. Ett annat intressant resultat är att en utelbliven efterbehandling under de första dyggen till stor del tycks kunna kompenseras genom en förnyad våtlagring.

Inledning

Det arbete som presenteras i detta inlägg har utförts vid Statens provningsanstalt i Borås, vilket även återfinns i en SP-rapport (1). Arbetet utgör en del av ett större projekt som behandlar betongs beständighet. Inom huvudprojektet har också två andra delprojekt utförts, dels vid FCB i Trondheim och dels vid CBI i Stockholm.

Betongkvaliteten i en färdig konstruktion beror förutom på materialsammansättning och bearbetning också på härdningsbetingelserna efter gjutningen.

En riktigt utförd efterbehandling är förmodligen nödvändig för att erhålla en betong med tillfredsställande egenskaper, särskilt med avseende på beständighet.

Syftet med denna undersökning har varit att öka kunskaperna rörande härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet. Vi har därmed valt att göra en "bred" undersökning. Detta innebär att effekten av ett stort antal härdningssätt har studerats för ett stort antal parametrar på ett flertal betongkvaliteter. Denna breda satsning har valts för att kartlägga området och avsikten har bl a varit att man med hjälp av resultaten från detta arbete ska kunna välja ut några intressanta och väsentliga delområden för en mer omfattande och ingående undersökning.

Provningsprogram

Provningsprogrammet är uppbyggt på tre olika parametrar; betongkvalitet, härdningssätt och provningsmetod.

Betongkvalitet

Fyra olika betongkvaliteter har använts varav de tre första har det gemensamma att $v_{ct, ekv}$ är ungefär lika med 0,5 och att de har en lufthalt på cirka 5,5 %. Till den första kvaliteten användes ren portlandcement (A), till den andra tillsattes 30 % flygaska av cementmängden (B) och till den tredje tillsattes 10 % silikastoft av cementmängden (C). Den fjärde kvaliteten har ett vattencementtal lika med 0,7 och en lufthalt på cirka 2,5 % (D).

Härdningssätt

I projektet provades 9 olika härdningssätt för att se vilken inverkan härdningen har. De tre första härdningssätten utgör tre nivåer på efterbehandling, från fullgod fukthärdning (härdningssätt 1) till utebliven fukthärdning (härdningssätt 2). Med hjälp av härdningssätt 4 studerades om utebliven fukthärdning under de första dyggen kan kompenseras genom en fukthärdning i efterhand. Härdningssätt 5 utfördes för att se hur effektiv en intäckning med plastfolie är jämfört med fullgod efterbehandling.

Inverkan av en membranhärdare undersöktes med härdningssätt 6. För en av betongkvaliteterna har 14 dygns vattenlagring (härdningssätt 7) studerats. Slutligen har inverkan av intäckning med plastfolie kontra utebliven fukthärdning studerats vid +5 °C (härdningssätt 8 och 9).

Provningsmetoder

Alla provningar var inriktade på gjutytan och skiktet närmast under för att se vilken inverkan härdningen har. Efter 28 dygns härdning startade provningsprogrammet, vilket omfattade följande nio olika mätningar på betongen

- vattentäthet
- luftpermeabilitet
- karbonatisering
- kapillärsugning
- kloridinträngning
- saltfrostbeständighet
- frostbeständighet i rent vatten
- tunnslipsanalys
- ythållfasthet

Med utgångspunkt från 4 olika betongkvaliteter, 9 olika härdningssätt och 9 olika provningsmetoder gjordes ett provningsprogram. I inlägget här kommer tre olika provningsmetoder att beskrivas tillsammans med en del av de resultat som har erhållits.

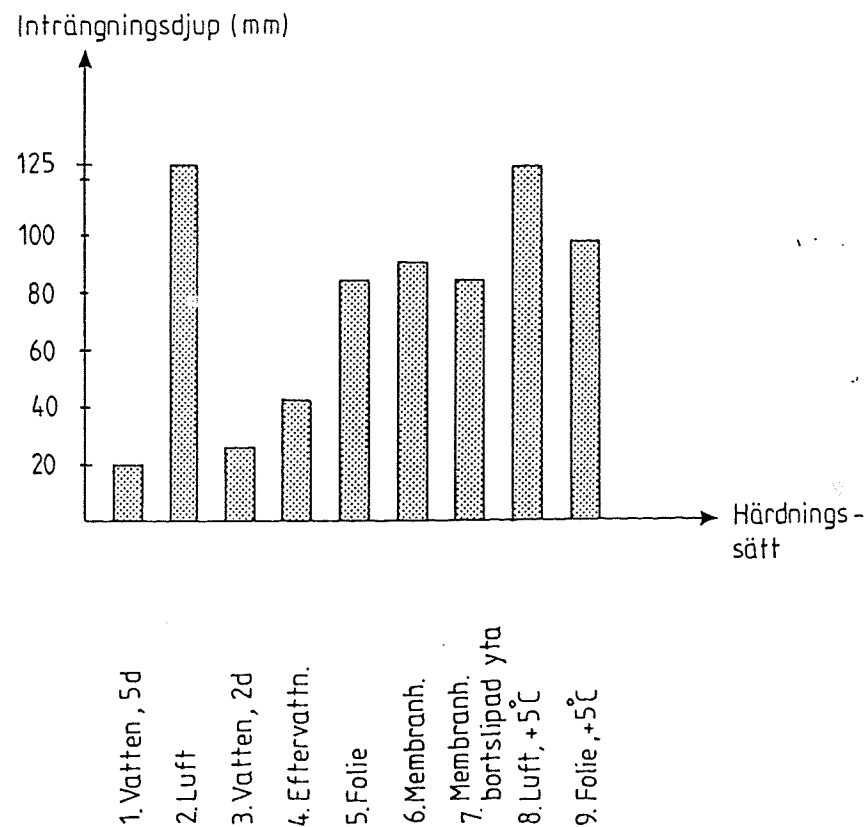
Vattentäthet

För varje aktuell kombination betongkvalitet - härdningssätt provades två vattentäthetsprismor enligt SS 13 72 14, med den skillnaden att gjutytan provades istället för bottenytan. Gjutytan utsattes för ett vattentryck på $0,8 \pm 0,03$ MPa under 24 ± 2 h inom en cirkulär yta med diametern 170 mm. Provkroppen spräcktes upp efter 24 ± 2 h och inträngningsdjupet mättes. Provningsresultatet, medelvärdet av två provkroppar, redovisas i mm. Resultaten för kvalitet A visas i figur 1. Som framgår av figuren har härdningen stor betydelse för betongens vattentäthet.

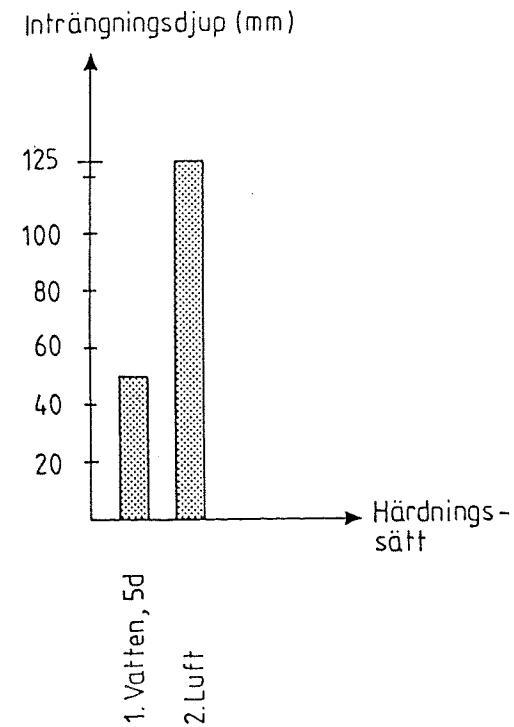
Följande intressanta iakttagelser kan göras

- En fullgod vattenhärdning, 5 dygn, ger ett inträngningsdjup på 20 mm medan en utebliven fukthärdning ger ett inträngningsdjup som är större än 125 mm, dvs vatten har helt trängt igenom provkroppen.
- Även om efterbehandlingen med vatten är så kort som 2 dygn erhålls ett gott resultat som inte är mycket sämre än för en fullgod fukthärdning under 5 dygn.
- Om fukthärdningen påbörjas först 2 dygn efter gjutningen blir inträngningen ca 42 mm. Detta är mycket bättre än om fukthärdningen utelämnas helt. Eftervattnings tycks således kunna användas för att "rädda" en betongyta som efter gjutningen fått en bristfällig fukthärdning.

En fullgod fukthärdning för kvalitet D (vct = 0,7) ger enligt figur 2 ett inträngningsdjup på 50 mm. Detta är ett betydligt bättre resultat än för kvalitet A (vct 0,5) vid utebliven fukthärdning och t o m bättre än resultaten för kvalitet A då härdningen utförts genom intäckning med plastfolie.



Figur 1 Vattentäthet för kvalitet A



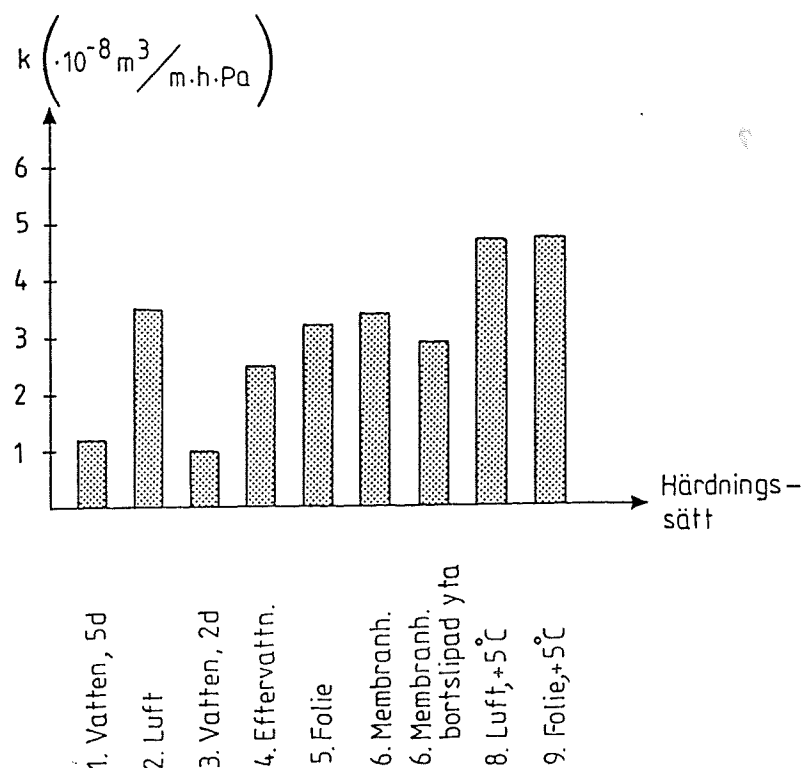
Figur 2 Vattentäthet för kvalitet D

Luftpermeabilitet

Luftpermeabiliteten karakteriseras oftast med hjälp av den specifika luftgenomsläppligheten k , $m^3/mhPa$. Denna har bestämts för en cirkulär ca 3 cm tjock skiva, mätt från gjutytan. Provkropparna konditionerades före provning i 20 ± 1 °C och 50 ± 2 % RF under ca 11 månader. Provningsutrustning och provningsmetod beskrivs utförligt i (1).

I figur 3 visas resultaten för kvalitet A och följande slutsatser kan dras

- Vattenhärdning i 2 och 5 dygn ger bäst resultat.
- En utebliven härdning, användning av folieintäckning eller membranhärdare ger en betydligt genomsläppligare betong än vid fullgod härdning.
- De lagringssätt som har givit sämst resultat är de vid +5 °C. I detta fall tycks intäckning med plastfolie inte förbättra betongens täthet jämfört med utebliven härdning.



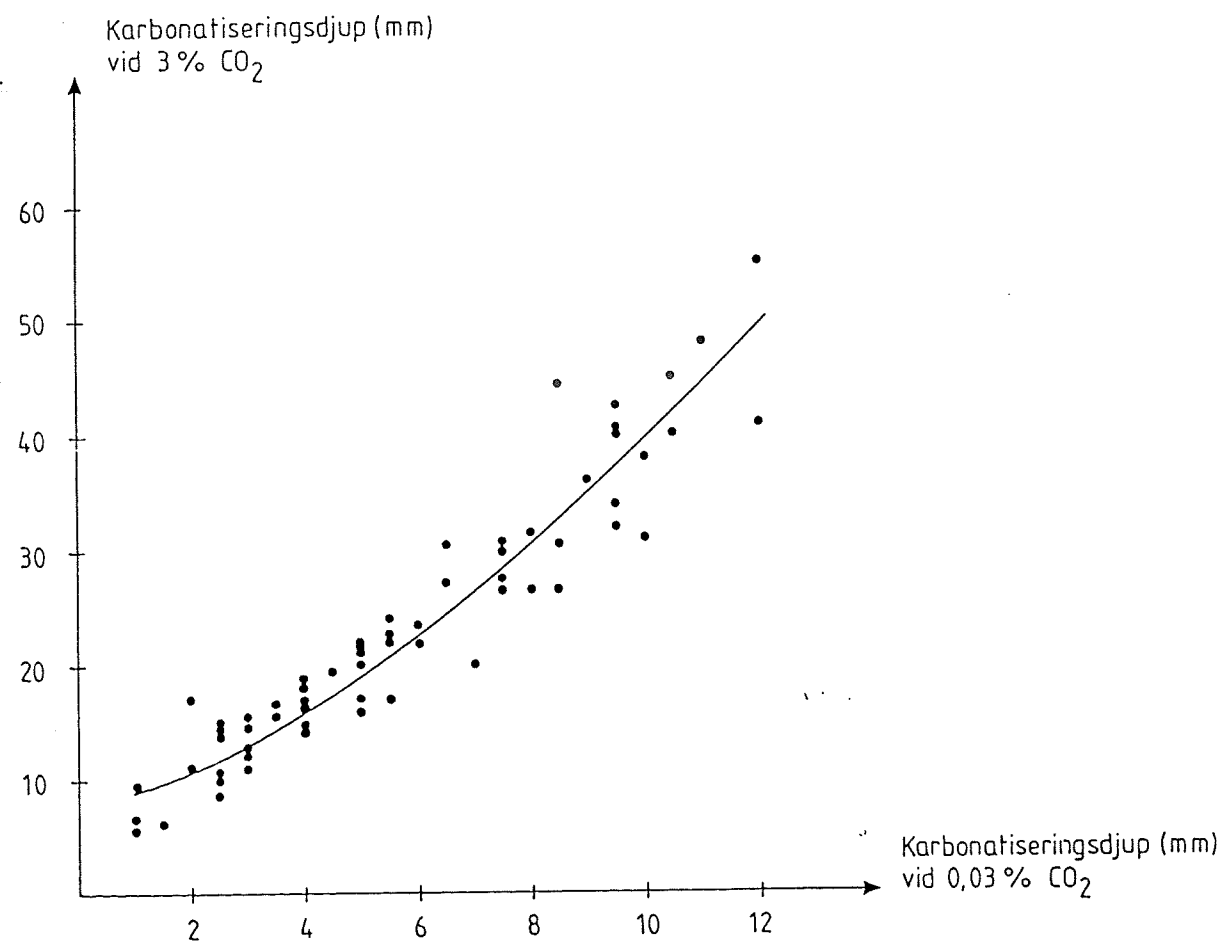
Figur 3 Luftgenomsläpplighet, k, kvalitet A

Karbonatisering

Den hastighet varmed karbonatiseringen sker beror bl a på betongens täthet och cementinnehåll, koldioxidens koncentration och fuktillståndet i cementpastans porssystem. I denna undersökning har vi valt att utföra försök vid 65±2 % RF. Luftens koldioxidhalt är normalt ca 0,03 %. Försöken har skett dels vid denna koncentration och dels vid en förhöjd koldioxidhalt på 3±0,5 %. Genom denna höjning av koldioxidhalten erhålls en kraftig acceleration av förloppet. Karbonatiseringsdjupet mättes med hjälp av 3 % fenolftaleinlösning på nyspräckta ytor efter 4, 16, 31 och 52 veckors lagring i respektive klimat.

I figur 4 har resultaten vid förhöjd koldioxidhalt plottats som funktion av resultaten vid naturlig koldioxidhalt. Punkterna i figuren representerar två olika ekvivalenta vattencementtal, tre olika bindemedel, sex olika härdnings-sätt och fyra olika åldrar på betongen.

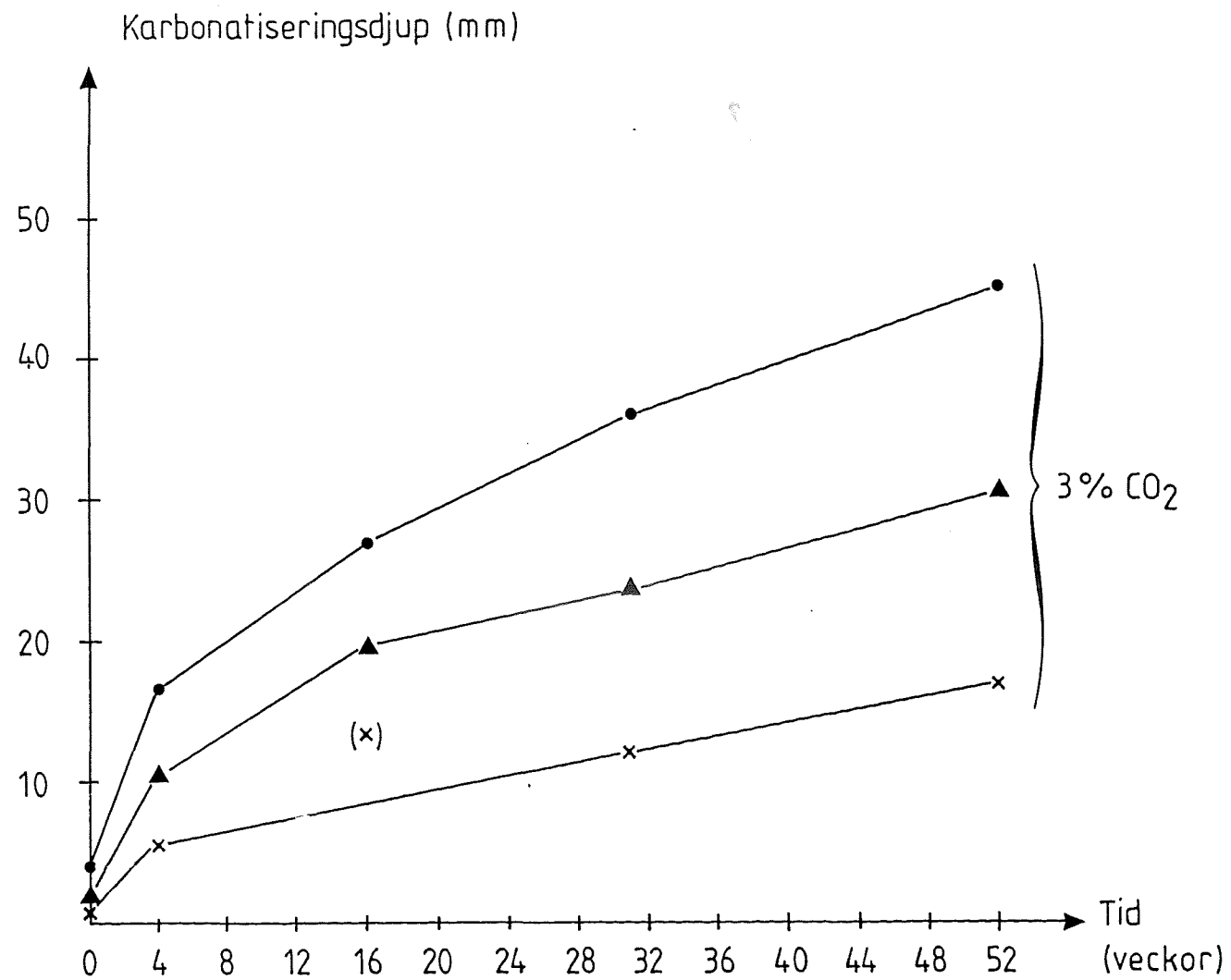
Trots dessa olika förutsättningar ligger resultaten tämligen väl samlade kring en linje. Från detta kan man dra slutsatsen att accelererad provning genom förhöjd koldioxidhalt är en användbar metod för att bestämma betongs förmåga att motstå karbonatisering.



Figur 4 Samband mellan förhöjd och naturlig koldioxidhalt

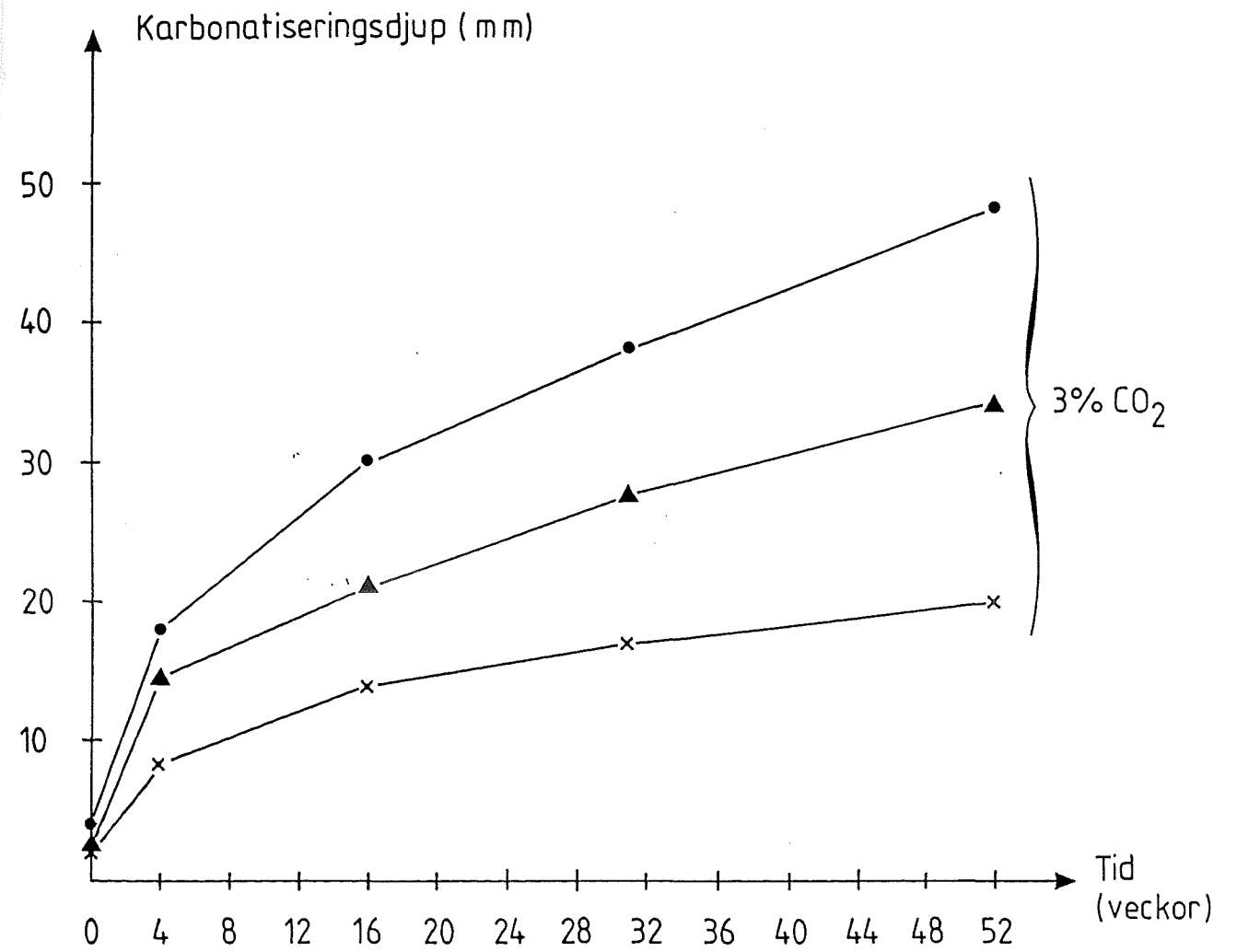
Resultaten för kvalitet A visas i figur 5. De provkroppar som har förvarats i förhöjd CO₂-halt 3 % visar stora skillnader i karbonatiseringsdjup. De vattenlagrade provkropparna var betydligt tätare än de folielagrade och luftlagrade provkropparna.

I figur 6 visas kvalitet Bs resultat, vilka överensstämmer väl med kvalitet A. Resultaten visar att karbonatiseringsdjupet är obetydligt större för kvalitet B än A vid 52 veckors lagring.



Teckenförklaring: x 1 vatten, 5 dygn
 • 2 luft
 ▲ 5 folie, 5 dygn

Figur 5 Karbonatisering, kvalitet A



Teckenförklaring: x 1 vatten, 5 dygn
 • 2 luft
 ▲ 5 folie, 5 dygn

Figur 6 Karbonatisering, kvalitet B

Sammanfattande slutsatser

Resultatet av detta projekt kan sammanfattas med några slutsatser

- Efterbehandling genom vattenlagring ger klart bättre resultat än övriga härdningssätt. Resultatet blir bättre ju längre vattenbegjutningen pågår men redan 2 dygns vattenlagring ger betydligt tätare betong än då andra härdningssätt används, såsom intäckning med plastfolie eller besprutning med membranhärdarpreparat.
- Enligt resultaten i denna undersökning tycks effekterna av en utebliven fukthärdning under de första dyggen till stor del kunna avhjälpas genom en fukthärdning i efterhand. Detta är en intressant iakttagelse och denna möjlighet att avhjälpa en bristfälligt utförd efterbehandling borde utredas ytterligare.
- Resultaten av denna undersökning påvisar tydligt betydelsen av en fullgod efterbehandling. Så blir t ex en vattenlagrad betongyta med ett vct på 0,7 tätare mot vatten och luft än en betongyta med ett vct på 0,5 där fukthärdningen utelämnats helt och till och med då den utförts genom intäckning med plastfolie.
- Provning av vattentäthet med tryck enligt SS 13 72 14 ger stora utslag för en bristfälligt utförd efterbehandling. Metoden är snabb och enkel och borde lätt kunna modifieras så att den blir lämplig för provning av vattentäthet också på utborrade cylindrar eller för fältmässig provning.

Litteratur

- (1) Andersson, C, Petersson, P-E: Härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet, Statens Provningsanstalt, Byggnadsteknik, SP-RAPP 1987:07, Borås 1987

EN GENERELL METOD FÖR VÄRDERING AV PORÖSA MATERIALS FROSTBESTÄNDIGHET

Göran Fagerlund

Cemeta AB, Box 144, 182 12 Danderyd

Av alla de faktorer som avgör den rena frostbeständigheten hos porösa material, dvs frostbeständigheten i en helt saltfri miljö, är materialets vattenhalt i samband med frysningen den i särklass mest betydelsefulla. Alla andra faktorer såsom antalet fryspunktpassager, fryshastigheten etc är av mycket liten betydelse jämfört med vattenhalten. Detta faktum utgör basen för "den kritiska vattenmättnadsgradsmetoden" -Skrit-metoden- vilken utvecklades redan i början av 1970-talet (1,2), och som sedan använts med framgång vid testning av ett mycket stort antal material. Metoden har även testats med framgång i en internationell jämförande undersökning (3). I något modifierad form har Skrit-metoden blivit normerad i Schweiz och den förekommer även som ett utkast till en RILEM-metod för frystestning av betong (4). Skrit-metoden har emellertid inte blivit mera allmänt använd i de nordiska länderna och har inte heller blivit normerad där.

Metoden består av två parallella tester:

- 1: Bestämning av Skrit, dvs den högsta acceptabla vattenmättnadsgraden. Detta sker med en frystest.
- 2: Bestämning av Saktuell, dvs den "potentiella" vattenabsorptionsförmågan. Detta sker med en kapillärsugningstest.

Bestämningen av Skrit är tämligen omständlig men kräver mycket få fryscyklar varför man får ett snabbt svar. Bestämningen av Saktuell är enkel men kräver rätt lång tid om man vill ha en "fullständig" information. För en total kontroll av frostbeständigheten måste såväl Skrit som Saktuell bestämmas. För övervakande kontroll, tex kontroll av jämnheten i produktionen av ett givet material, räcker det ofta att enbart bestämma Saktuell. Så länge värdet på Saktuell är under kontroll torde nämligen även värdet på Skrit och därmed även frostbeständigheten vara under kontroll. Metoden torde vara särskilt väl lämpad i samband med produktutveckling eller vid modifieringar av ett givet material.

REFERENSER

- (1) G.Fagerlund: Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av spröda porösa material. Byggnadsteknik, LTH, Rapport 34, 1972.
- (2) G.Fagerlund: Kritiska vattenmättnadsgradsmetoden. CBI Research 12:76, 1976.
- (3) G.Fagerlund: The international cooperative test of the critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete. Materials & Structures Nr 58, vol 10, 1977, sid 231-253.
- (4) G.Fagerlund: The critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete. *ibid.*, sid 217-229.

 Betons holdbarhed og nedbrydning bedømt ved strukturanalyse

Civilingeniør

Arne Damgård Jensen

Teknologisk Institut, Byggeteknik

Gregersenvej, DK-2630 Taastrup

En hærnet beton indeholder i sig vidnesbyrd om de anvendte delmaterialer, de anvendte arbejdsmetoder, betonens påvirkninger i såvel hærdefasen som senere, kemiske omdannelser og eventuelle skader.

Ved visuel struktur- og bestanddelsanalyse (strukturanalyse) anvendes øjnene som måleinstrument til at bestemme/fastlægge strukturfænomener og bestanddele i en given beton. Strukturanalyse opdeles normalt i makroanalyse (direkte visuel observation) og mikroanalyse (polarisations- og fluorescensmikroskopi af tyndslib (1)).

Anvendelse

Anvendelsesområdet for strukturanalyse spænder vidt og er ikke begrænset til beton, men kan desuden anvendes til analyse af bl.a. tegl, reparations- og muremørtel, natursten til bygninger, kunstværker mv., og borekerner fra olieeftersforskning for strukturanalyse er:

- Skadesanalyse af beton
- Vurdering af nye betontyper
- Petrografi af sand

De to første områder skal behandles nærmere ud fra holdbarhedssynspunktet.

Kvalitetskontrol af beton

På baggrund af erfaringsmateriale kan der opstilles følgende idealmødel for sammensætningen af en beton med god holdbarhed:

- En holdbar beton består af et velfordelt system af gode tilslagsmaterialer i en tæt, velhydratiseret cementpasta. Betonen skal i alle niveauer vær homogen. Den skal normalt indeholde et indblandet homogent system af små luftporer, og skal efter indbygningen i konstruktionen være uden revner og tegn på unormale kemiske omdannelser. Betonens skal være velkomprimeret.

Anvendelsen af fluorescensimpregnerede tyndslib til vurdering og analyse af betonstrukturer, især revner og porøsiteter, muliggør registrering af en række strukturdetaljer, herunder diverse strukturfejl af betydning for betonens holdbarhed.

Ud fra mængden af revner, fejl mv. kan betonen godkendes/ikke godkendes i holdbarhedsmæssig henseende.

Indeholder en beton for mange revner, fejl mv., kan der gives retningslinier for ændringer i betonproduktionen for fremover at få en mere fejl-fri beton.

Det kan fx være bedre blanding, bedre bearbejdning, bedre afdækning eller ændringer i betonsammensætningen med henblik på at få en mere stabil beton (2), (3), (4) og (5).

Betons nedbrydning

Ved undersøgelser af skadede betonkonstruktioner anvendes strukturanalyse rutinemæssigt, idet især mikroanalysen giver en række nyttige oplysninger om betonsammensætningen, betonarbejdets udførelse og nedbrydningsmekanismernes virkning. Det kan afgøres, om alkalikiselreaktioner er en væsentlig skadesårsag, om sulfatangreb (surt miljø) har haft betydning, og om betonen har haft væsentlige initialdefekter, herunder bl.a. for højt vandcementtal, inhomogen kapillarporøsitet, dårlig luftporefordeling, tidlig frysning osv. (6) og (7).

Ved denne bestemmelse af en betons manglende holdbarhed udtages betonprøver målrettet på baggrund af en bygværksinspektion, medens prøverne til kvalitetskontrollen af nyudstøbt beton udtages tilfældigt.

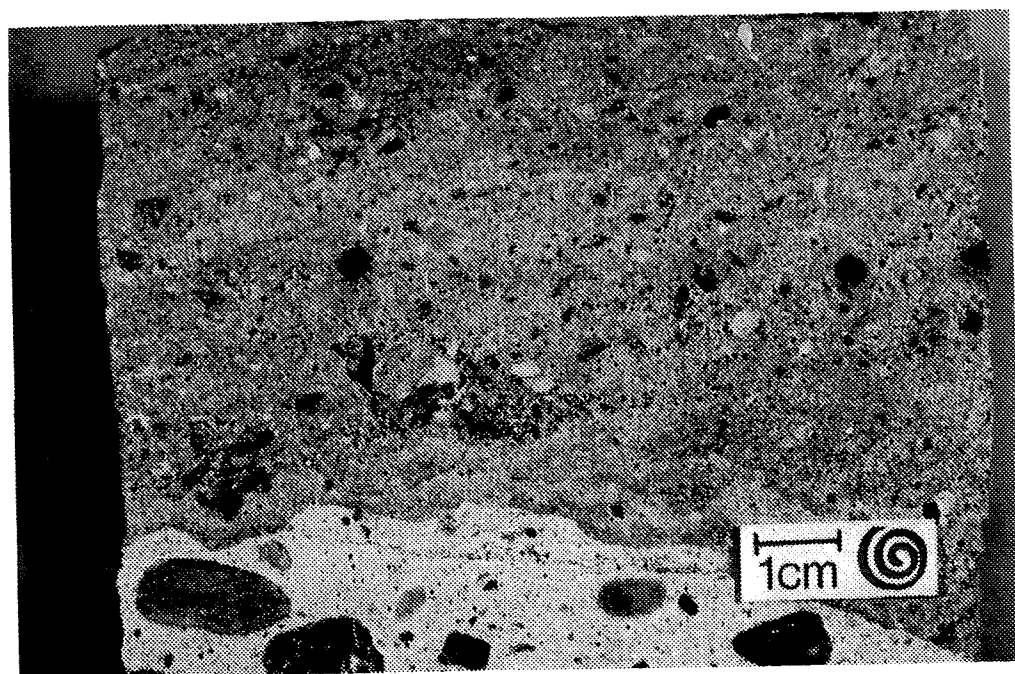
Afslutning

I Danmark findes prøvningsmetoder for kvalitetskontrol af beton (5), som nu søges standardiseret, og der udarbejdes nordiske retningslinier for strukturanalyse.

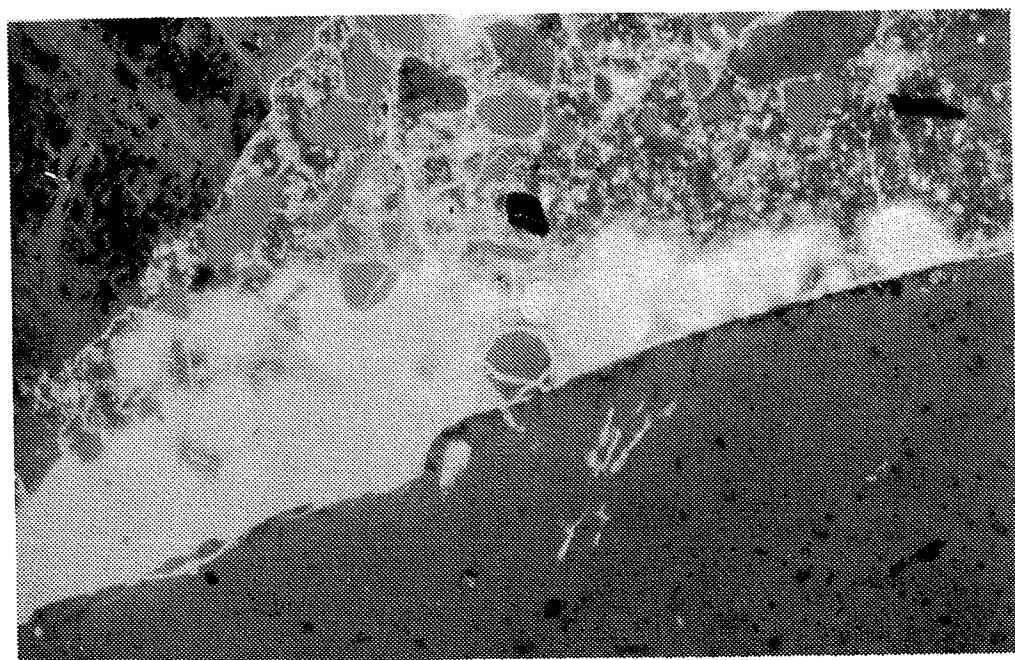
Strukturanalyse udføres i Norden af ca. 18 laboratorier, deraf halvdelen i Danmark. Byggeteknik, Teknologisk Institut startede det hele på basis af schweitziske erfaringer i 1977.

Referencer

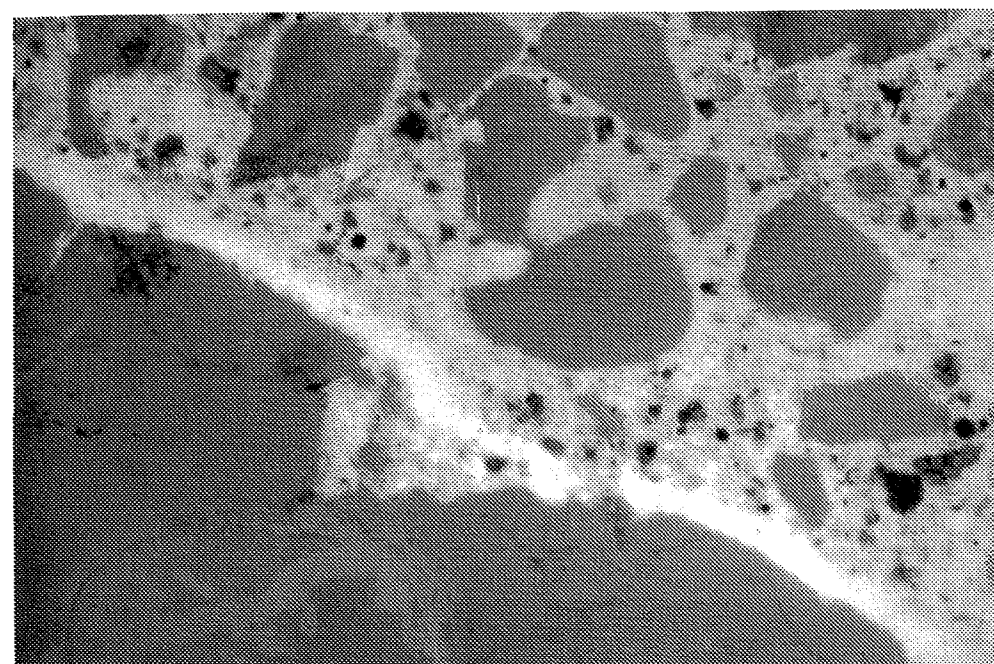
1. A. Damgård Jensen m.fl.:
Strukturanalyse af beton.
Beton-Teknik 4/07/1985.
2. P. Christensen m.fl.:
Måling og vurdering af hærdnet betons holdbarhed.
Dansk Betonforening. Publikation 10: 1981.
3. P. Christensen m.fl.:
Struktur- og bestanddelsanalyse af beton.
Nordisk Betong, nr. 3, side 4 - 10, 1979.
4. J.A. Kristensen m.fl.:
Betons Mikrostruktur. Projektrapport.
Byggeteknik, 1987.
5. Prøvningsmetode TI-B5 (87):
Strukturanalyse i forb. med kvalitetskontrol.
6. Betons holdbarhed. Rapport nr. 2,
Undersøgelse af udvalgte betonbroer.
Vejdirektoratet 1980.
7. P. Christensen m.fl.:
Filling up of Pores and Fractures in Weathered
Concrete Structures. 3th Int. Conf. on Cement
Microscopy, Houston, 1981.



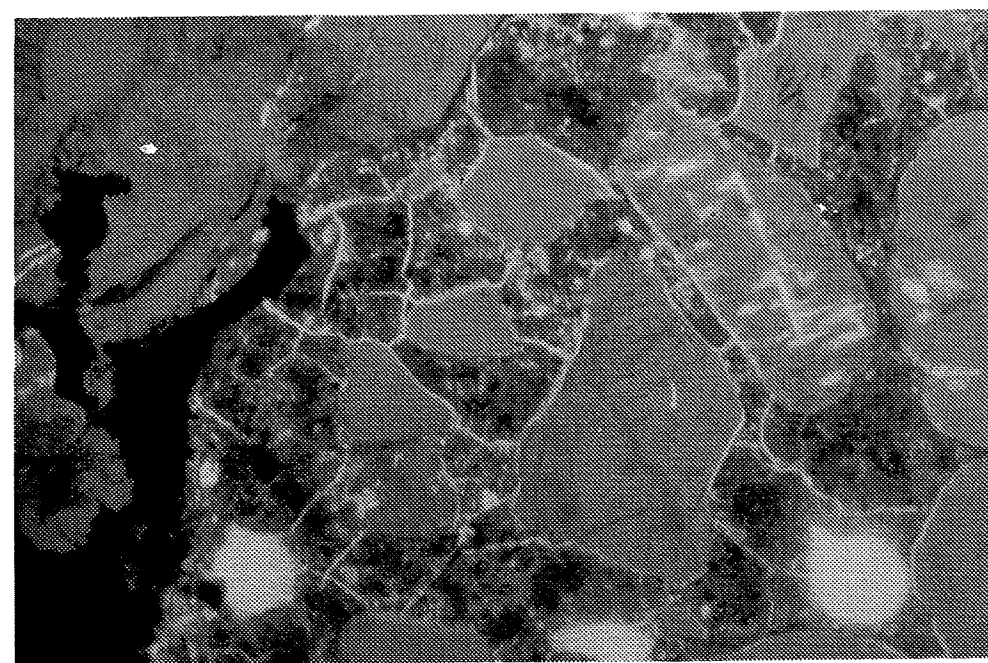
Figur 1. Makrobillede af planslib. Væsentlige detaljer vedrørende betonsammensætning og udstøbning kan ses med det blotte øje.



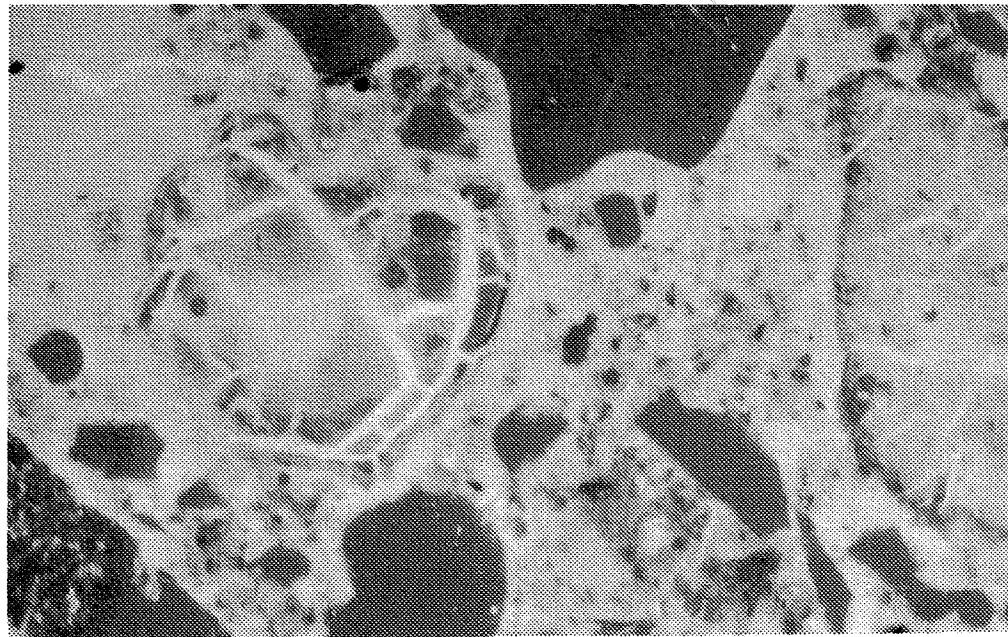
Figur 2. Mikrobillede af tyndslib (fluorescensmikroskopi). Der ses en meget inhomogen luftporefordeling.



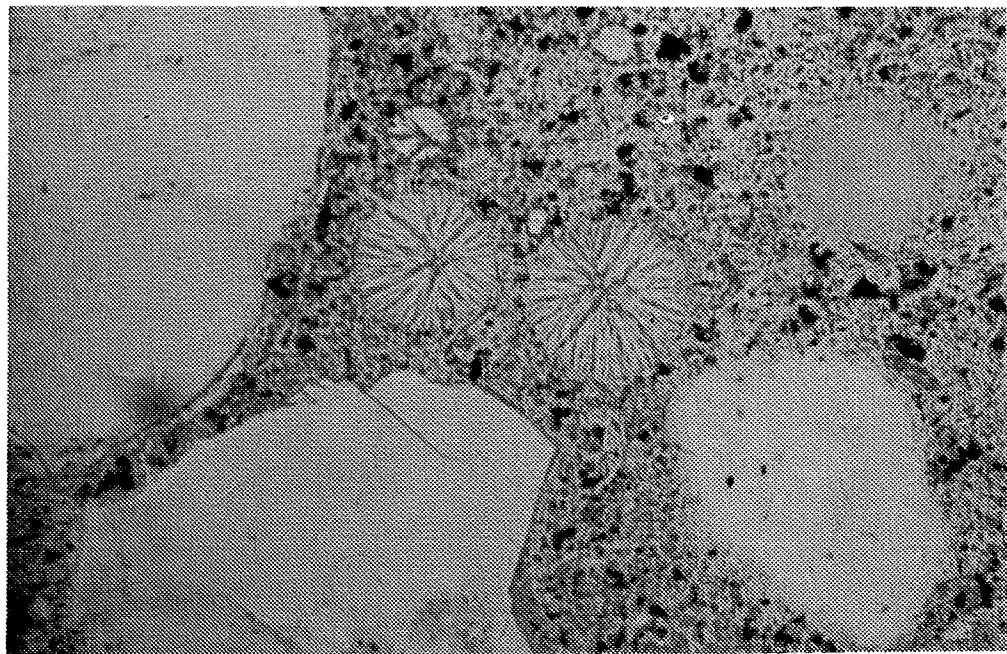
Figur 3. Mikrobillede, der viser porøst bånd (revne?) langs et groft tilslag. Pastaen er i øvrigt homogen. Vandcementforhold ca. 0,45.



Figur 4. Mikrobillede af beton med meget tæt pasta. I pastaen ses mange mikrorevner. Vandcementforhold ca. 0,35.



Figur 5. Mikrobillede af beton med 2 alkalireaktive sandskorn. Reaktionen har ikke givet skader (revner) i betonen.



Figur 6. Mikrobillede (polarisationsmikroskopi) visende 2 små luftporer udfyldt med nåleformet ettringit, hvilket viser, at betonen er under nedbrydning.

Testing of Concrete Products for Service Life Prediction

S. E. Pihlajavaara, Prof. Dr., Technical Research Centre of Finland,
Concrete and Silicate Laboratory, Betongblandargränden 5,
02150 ESBO, Finland

1. Introduction

At the present time the standard basic reading for the prediction of service life of building materials and components is presented in (1). Durability and service life estimation of building materials and structures have been of growing concern in building industry, especially during last decade, due to the demands for more reliable and longer service life, and the development of insurance systems. Nowadays the marketing information of a new product should contain a clear message of its service life under various or specified ambient conditions. Many outdoor concrete products have a service life of the order of 50 or 100 years or more. Therefore guarantees expressed in years have also climbed up. This development towards the usage of service life must be taken seriously by testing authorities. When testing institutes will face more and more the commissions in which the industry wants to know the service life of its products, the testing personnel must start really to think the realistic value of their testing results obtained. Further, this will lead to the revision of the existing testing methods and standards and to the creation of new ones.

In the 80's the author has made several service life predictions for outdoor concrete products based on accelerated testing and the simultaneous usage of similar reference materials. General description of the subject matter has been presented by the author in (2) (3) (4), and will be attempted to present briefly also in this article.

It seems that service life prediction or estimation of concrete products has practically one realistic approach at the present stage of development:

- accelerated multiple-test testing procedure based on careful analysis of the ambient conditions of the material proper anticipated in the future plus 1) fortified with the utilisation of reference materials having a

known or reliably fixed past service life and 2) fortified with careful many - sided analysis of test results with at least two assessing experts.

NORDTEST should consider the development of certified reference materials, at least for service life testing in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden (Appendix 1) (7). Perhaps a sort of NORDTEST general document on the service life prediction and "databank" for anticipated or acceptable service lives could be a good approach in clarification of the present state-of-the-art.

In Appendix 2 and 3 brief descriptions of the definitions of service life etc. are presented.

2. Weaknesses in testing of concrete

2.1 Lack of long-term tests

Generally speaking, even during last decade - in spite of the continuous development in building materials science - the standing weakness in concrete testing has been the omission of the clarification of the long-term behaviour of concrete, the service life of which is of the order of 100 years or more. At the same time the gap between materials science and structural application seems to have even widened. This is easy to notice when one reads "Cement and Concrete Research - An International Journal" published by Pergamon press, for example.

2.2 Instability of the microstructure including the porosity entities has not been realized enough

Although concrete materials research has continuously indicated that concrete, especially its cement paste part, is a history-dependent, irreversible and continuously changing material (5) (6), too little has been done to develop the testing methods capable of yielding information of the properties of concrete during its whole life time. A good example is the often misleading air-void test of young concrete, used to escape from real responsibility of later freeze-thaw effects, although it has been indicated that in wetting-drying conditions in which durability against freeze-thaw damage is really dominant, the "all-mighty" air-void system will be filled with minerals. Of course, good air void system will usually postpone the damage beyond builders financial responsibility. Further, in our tests high-strength concrete roofing slates, having so-called protective air-void ratio of zero, have performed very well in an "ordinary" freeze-thaw test (water 20 °C \rightleftharpoons air -20 °C).

In addition, the great effect of carbonation on the properties of concrete materials is neglected or not realized.

2.3 Limited number of different tests in durability testing may give misleading results

Although the freeze-thaw effect e.g. in northern climate is a dominant damage factor, several other test are usually needed for a reliable estimation of the durability of a material. At least a drying-wetting-temperature variation test is necessary even in a preliminary testing. The climate data show that the number of significant freeze-thaw cycles are around 50 cycles/ year. However, usually only some hundreds of cycles, or even less, are used in freeze-thaw testing. These results usually indicate only a service life of the order of some years. These tests should be continued to final destruction. It seems that we have surprisingly little information about the number of cycles needed to the destruction of materials in an ordinary freeze-thaw test. In our freeze-thaw tests in an automatic test chamber (water 20 °C \rightleftharpoons air -20 °C), ordinary concrete roofing tiles have survived 3000 cycles!

Wetting and drying effects, or in the other words, swelling and shrinkage effects, are tested too seldom (for example, test: 10 °C 100 % RH \rightleftharpoons 50 °C 10 % should be made). In addition, tests in which the specimens are restrained (limited deformation as usual in structural applications) are rarely used: mainly or only freely deformable, and too small and thin, specimens are in use.

2.4 The prediction of service life is not even attempted as a final result in durability testing

If, in durability testing, the service life estimation is demanded, the level of testing as well as the applicability of the result will usually be greatly improved. Those cases in which the customer cannot use, or put into practice the durability results given by a testing institute - if service life is not given - have not been rare. A good testing policy involves the real assessment of the needs of customers, not only more or less blind testing!

2.5 Incorporation of the real knowledge of climate and use factors in durability testing specification are too rare

Before writing a good durability testing specification or standard, the goal and the background including evaluation of the ranges and cycles of natural climate factors and other conditions must be carefully clarified.

2.6 The marked effect of the size of the test specimens used on test results is not taken into account

It is relatively well known that the size of the product or of the specimen may vitally affect its behaviour during testing. This effect should be clearly realized.

2.7 The significant effect of the variable properties of the testing devices are usually omitted

For example, the cycling rates (e.g. rates of changes in temperature and humidity etc.) can be entirely different in different testing chambers. Practical experience indicates that the position of a specimen in a testing cabinet may vitally change the result obtained.

2.8 Are the tests suitable for field testing scarce and not documented well enough?

As to the testing of concrete products the situation or possibilities of the on-site testing should be clarified. Maybe this type of weakness is not vital because in many cases specimens can be brought to the testing laboratory relatively easily.

2.9 The possible unreliability of accelerating testing

The main drawback of accelerated ageing chambers is their inability to provide full assurance that they accurately reflect the proper balance and interaction of natural weathering agents. Nor can there be a very reliable indication of the "acceleration factor". In other words, at the end of a test, one is obliged to ask, "So what? Does the test really show what would happen to the specimens after n years of natural weathering? And how large is n?"

Accelerated ageing chambers must certainly not be seen as all-sufficient. Instead, they should be seen as one element of the series of tests, prop-

erty determinations, value-analysis, and expert judgement. Experience-based reference materials running together with the actual materials to be tested may open new sights in the evaluation of the results. In this wider context such chambers are very useful and handy, particularly when used to simulate just one set of environmental conditions, and particularly due to their automatic function.

2.10 The reference materials having a known service life are not easy to find and incorporate into testing as additional specimens

This subject matter will be dealt briefly in Appendices 1, 2 and 3.

3. Introduction to main methods of service life prediction

3.1 Direct method of service life estimation based on the change (decrease) in strength or on the alteration of other entities under test, and/or on the general condition and appearance of specimens at the different stages of testing

The direct method of service life estimation is usually based on 1) materials science 2) knowledge of weather component cycles in nature 3) knowledge of test results obtained from accelerated or other tests 4) actual weather testing 5) assessment (requirements) or scale of significance of the alteration of the properties (e.g. excellent - good - satisfactory - useless) and 6) mathematical modelling e.g. for extrapolation and statistical methods for reliability analysis.

Most simple service life equation is:

$$L(\text{life in years}) = \frac{M (\text{number of cycles tolerated})}{M_0 (\text{cycles in nature per year})} \quad (1)$$

3.2 Relative method of service life estimation based on the comparison of performance with reference materials in various tests

3.2.1 A simple accelerated testing principle based on simulated weather cycling and reference materials

As a testing principle, three reasonable assumptions are made: (1) that the natural conditions can be well simulated, if the test conditions are especially planned in accordance with weather and climatic data, and (2) that the frequency or cycles of the weather or climatic change can be estimated reliably enough, and (3) that the shortening of the time between the cycles, or acceleration, does not affect the deterioration pattern signifi-

cantly. For example, if we estimate that in some part of the world significant freeze-thaw cycles occur at a rate of 20 cycles/year, and an automatic frost chamber can perform 4 freeze-thaw cycles a day, or about 1400 cycles/year, then the time shortening ratio is $20/1400 = 1/70$. In other words, a half-year of testing corresponds to 35 years in nature.

However, the test is usually more accelerated, since strains on the material are added in the form of: greater-than-in-nature temperature, moisture degrees, and their differences (gradients) or variations. Reasonably applied, this approach can give reasonable results, but in some cases a strain factor (or acceleration factor) must be added in the final analysis. Consequently, the service life equation for a material to be tested is:

$$L(\text{life in years}) = \frac{N(\text{number of cycles}) \cdot k(\text{strain factor})}{M_0(\text{cycles in nature per year})} \quad (2)$$

Accordingly, the estimation equation of strain factor k on the basis of the behaviour of a reference material with known service life L_0 is:

$$k(\text{strain factor}) = \frac{L_0(\text{known service life}) \cdot M_0}{N_d(\text{number of cycles for deterioration})} \quad (3)$$

Case 1: to indicate the utilization of equations (2) and (3). The specimens are subjected to a freeze-thaw test (alternating between 20°C water and -20°C air): $M_0 = 30$ (1/year), number of significant freeze-thaw cycles per year in nature in accordance with climatic data.

$N_d = 1000$ (1) number of cycles of the reference material needed to end its service life.

$L_0 = 50$ (year) the service life of the reference material (freeze-thaw effects are estimated to be the main reason for deterioration).

$N = 600$ (1) number of cycles in the test (specimens not indicating vital deterioration signs, necessarily).

$$k = 50 \cdot 30/1000 = 1.5 \quad (3')$$

$$L = 600 \cdot 1.5/30 \geq 30 \text{ years} \quad (2')$$

Case 2: Specimens subjected to a wetting-drying test (water 20°C , air 50°C):

$$M_0 = 100 \text{ (1/year)}$$

$$N_d = 1500 \text{ (1)}$$

$$L_0 = 30 \text{ (year)}$$

$$N = 1000 \text{ (1) (vitaly deteriorated)}$$

$$k = 30 \cdot 100 / 1500 = 2 \quad (3')$$

$$L = 1000 \cdot 2 / 100 = 20 \text{ years} \quad (2')$$

If the two tests described above are used simultaneously in sequence (let's say, first 300 freeze-thaw cycles and then 400 wetting-drying cycles without marked damage) the service life calculations may be performed as follows (for example):

$$L = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot \Sigma N}{M_{01} + M_{02}} = \frac{1.5 \cdot 2 \cdot 700}{30 + 100} \geq 16 \text{ years} \quad (4)$$

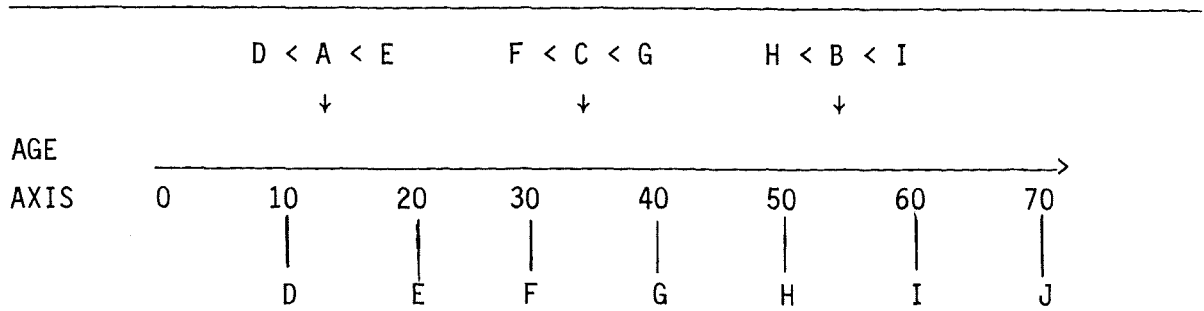
Of course, the method presented above has its weaknesses, but it does show, however, a principle of thinking which may be improved later. It is relatively safe to say that at this moment in the development of service life testing the utilisation of reference materials is often a necessity, and that more complicated mathematical models seem to be very difficult to apply reliably enough.

3.2.2 Comprehensive total system with multiple testing and reference materials: Trivial comparison method

The background of the testing procedure is presented in Appendix 4. The most simple introduction to the principle of the comparison method is presented in TABLE 1.

TABLE 1

Test results of property X_1 of materials A, B, C to be tested, and of reference materials D, E, F, G, H, I, J



Ideal reference materials, and their service lives in years at conditions Y_1

Conclusion: 1) A < C < B Order of superiority
 2) A C B Estimated
 15±5 35±5 55±5 service life, years

The difficulties in the practical application of a reference material system may be listed as follows:

- a) The service lives of the reference materials either do not cover the entire range of the prediction or they cover the range more or less at random.
- b) The selective ability of the tests is not good, the comparison criteria are poor, and the tests give contradictory results.

The procedure for obtaining satisfactory service lives using the reference materials system goes as follows:

Classify the field conditions to be expected and the relevant tests accordingly: use several different tests (e.g. ten tests); use all experience data and materials science data available, use methods of value analysis and joint expert judgement (e.g. two experts).

A practical example of an individual comparison is (for cement based roof plates) presented in Table 2. Examination of Tables 2 and 3 gives evidence of the need for expert judgement. Prior to analysis the agreement of the various criteria must preferably be in written form (Chapter 4). In other words, the actual comparison of the filling-in of the lower part of the Value Analysis 1 sheet (Table 2) requires sound background based on all

TABLE 2

VALUE ANALYSIS 1: General symbolism

For long-term durability and service life expectation is

- Material X much better than Material Y
MAT X >> MAT Y
- or Material X better than Material Y
MAT X > MAT Y
- or Material X approx. as good as Material Y
MAT X ≈ MAT Y
- or Material X is worse than Material Y
MAT X < MAT Y
- Material X is much worse than Material Y
MAT X << MAT Y

(Symbol - means that comparison has no sense)

at test TR_2 or of its property MP_2 compared.

VALUE ANALYSIS 1: Actual practice

Material compared	Material of reference	Datum service life based on service experience	Remarks
B	> A	40 50 5 50 >> 100	probably poor
	- B		promising mat.
	≈ C		"
	≈ D		good outdoor m.
	< E		"
	>> F		exceptionally poor
	≈ G		good outdoor m.
	<< H		exceptionally good

Test or property tested + Factor of significance + $\frac{P_i}{x}$

Automatic freeze-thaw test
Comparison at 300 cycles

Time period of test:
 month year
 June-Sept. 1982

CONCLUSION: Service life estimate $K_i = 40$ years

Weighted average service life estimate

$$K_{total} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i} \sum_{i=1}^n (p_i \cdot K_i)$$






TABLE 3

EXPERIMENTS UPON MODIFIED CONCRETE MATERIALS

DISTRIBUTION OF SERVICE LIFE ESTIMATES

Estimates of service lives are based on value analysis in which materials I and II to be tested are compared with reference materials.

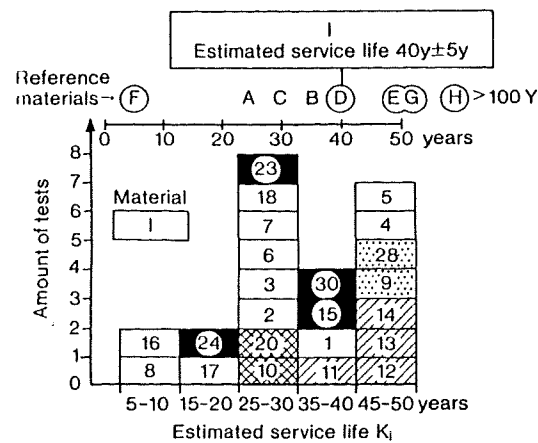
TEST GROUP

-  Frost tests, crystallization tests: factors of significance $p_i = 0,6; 1$
No 13 (water +20°, air -20°), 12 (water +20°, water -20°),
No 11 (water +20°, air -30°), 14 (Na₂SO₄-crystallization)
-  Hot-water tests: factors of significance $p_i = 0,6; 1$
No 10 (water +20°, water +90°), 20 (water +50°C 5 months)
-  Drying-wetting tests: factors of significance $p_i = 1$
No 9 (water +20°, air +80°), 28 (water + 20°, air +80°, long-term periods)
-  Basic-property tests: factors of significance $p_i = 0,3; 0,6; 1$
No 1 (tensile strength), 2 (perforation strength), 3 (compressive strength)
No 4 (impact strength), 15 (wet strength-dry strength ratio)
No 6 (porosity), 7 (protective porosity at freeze), 8 (density),
No 16 (sorption isotherms), 17 (pore surface area), 18 (mercury porosimetry)
-  Tests on general behaviour: factors of significance $p_i = 0,3; 0,6$
No 23 (termogravimetry), 24 (dilatometry), 15 (HCl-test),
No 30 (comparative perforation tests)

Service life estimate
of test group
Arithm. mean

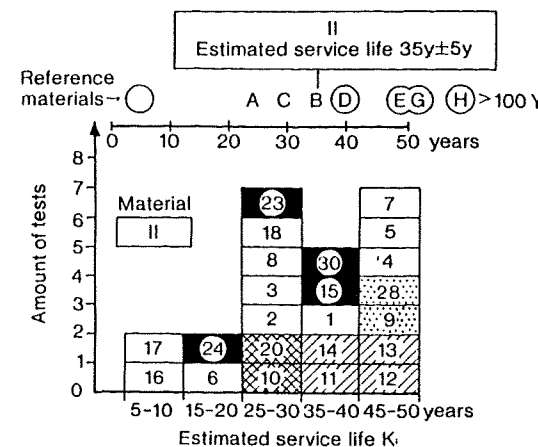
I	II
45	40
30	30
45	45
30	30
30	25

Total 23 tests



$$K_{total} = \frac{1}{\sum p_i} \sum (p_i \cdot K_i)$$

I	
Calculated weighted mean K_{total}	35 years
Arithmetic mean	33 years
Standard deviation	13 years
Arithm. mean with 80 % confidence	33 ± 4 years



II	
Calculated weighted mean K_{total}	34 years
Arithmetic mean	32 years
Standard deviation	14 years
Arithm. mean with 80 % confidence	32 ± 4 years

existing information. However, it is possible to make a relatively blind comparison: we had a case where a material to be tested was very superior to all other materials previously tested. In this case all we needed to do, after scanning through all the test results, was to show that the service life of the material was greater than most of the materials on the market (e.g. higher than X years). It is evident that the Factor of Significance is one of the most difficult parameters to select. For more information on the method read (2).

In Table 3 a final stage of an overview of the service life estimation of two materials for severe northern outdoor conditions is presented: finally, expert judgement reached the conclusion that their service lives, as estimated on the basis of the fixed service lives of reference materials, were $40 y \pm 5 y$ and $35 y \pm 5 y$ with 80 % confidence. The biases of the service lives estimated within different test groups partly indicate the difficulties in assessment: insufficient knowledge, caution, etc. Hopefully, with increasing knowledge the next service life estimation will be better!

4. Remarks on acceptable levels of property indicators of specimen in testing, and on acceptable damage level of specimen population for service life prediction

Definitions of acceptable damage levels of property indicators, or, in other words, the acceptable reduction of the property values used as damage indicators during testing procedure (strength..., disintegration, cracking..., sound velocity...), should be carefully evaluated and fixed before the testing (and rechecked during the testing), preferably in the form of the type: insignificant reduction... allowable reduction... not allowable reduction... completely damaged (2).

From the testing and evaluation point of view the service life must also be defined statistically or in terms of the permissible amount of inferior material quantity or specimens. The author has used, for example, the following definition: The service life of a material is its age in years under specified conditions at which maximum of one tenth (1/10) or 1/6 of the material entities or specimens will be inferior at the accepted permissible damage level. This type of statistically-defined service life should be individually selected for every material type, unit dimensions, usage requirements, and, also for anticipated reclamations.

The concepts mentioned above, as well as applications of statistical methods, should be also discussed or introduced in testing specifications.

References

1. Masters, L. W. et al., Prediction of service life of building materials and components. CIB W80/RILEM 71-PSL Final Report. Materials and Structures 20(1987)115, pp. 55 - 77.
2. Pihlajavaara, S. E. Prediction of service life with the aid of multiple testing, reference materials, experience data, and value analysis. In: Proceedings of third international conference on the durability of building materials and components. (Edited by T. Sneek and A. Kaarresalo). Espoo, Finland, August 12 - 15, 1984. VTT Symposium 48, pp. 37 - 64.
3. Pihlajavaara, S. E. Multiple testing and value analysis for the estimation of service life of fibre reinforced concrete. In: Proceedings of international symposium on the durability of glass fibre reinforced concrete. (Edited by S. Diamond). Chicago, USA, Nov 12 - 15, 1985. Prestressed Concrete Institute, pp. 239 - 250.
4. Pihlajavaara, S. E. Service life prediction of concrete. In: Proceedings of international symposium on quality and performance of cement and concrete produced in the Arab World. Baghdad, Iraq, Nov 2 - 5, 1987. Building Research Centre, pp. 1 - 29.
5. Pihlajavaara, S. E. History-dependence, ageing, and irreversibility of properties of concrete. In: Proceedings of international conference of structure, solid mechanics and engineering design in civil engineering materials, Part 1) Southampton University 1969. London 1971. Wiley-Interscience.
6. Pihlajavaara, S. E. Estimation of drying of concrete at different relative humidities and temperatures of ambient air with special discussion about fundamental features of drying and shrinkage. In Book: Creep and shrinkage in concrete structures. (Ed. by Z. P. Bazant & F. H. Wittmann). Chichester 1982, John Wiley & Sons Ltd, 1982. pp. 87 - 108.
7. Directives for the technical work of ISO, 14th edition 1985, Annex 2C: Mention of reference materials in International Standards, p. 83 - 84.

Appendix 1. Definitions of reference materials (An extract from ISO directives 1985 - part 2, Annex 2 (7))

- Reference material (RM): Material or substance that has one or more properties sufficiently well established to be used for the calibration of an apparatus, the assessment of a method of measurement, or for assigning values to materials.

NOTE - An RM may be in the form of a pure or mixed gas, liquid or solid, or even a simple manufactured object. Some RMs are certified in a batch any reasonably small part of which should exhibit the property value(s) established for the whole batch within stated uncertainty limits. Other RMs exist in individually manufactured objects which are also certified individually. Numerous RMs have properties which, because they cannot be correlated with an established chemical structure or for other reasons, cannot be measured in mass or amount of substance units or determined by exactly defined physical or chemical methods of measurement. Such RMs include certain biological RMs (for example a vaccine to which an international unit has been assigned by the World Health Organization (WHO) and certain technological RMs (for example rubber blocks for the determination of abrasiveness of steel plates for the determination of hardness). It is recognized that the definition of "reference material" given above could involve an overlap with the term "material measure" as defined in 4.02 of the International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM) prepared jointly by the International Bureau of Weights and Measures (BIPM), IEC, ISO and the International Organization of Legal Metrology (OIML); consequently, some materials may be characterized as either reference materials or material measures.

- Certified reference material (CRM): Reference material that has one or more property values certified by a technically valid procedure, accompanied by or traceable to a certificate or other documentation which is issued by a certifying body (see ISO Guide 30, definition 5.4).

NOTE - An RM may be certified individually or by examination of representative samples from a batch.

NOTE by the author of this paper:

In this paper a reference material is especially defined as a material that has sufficiently well established or otherwise rationally fixed service life under well specified conditions. In addition, the reference material may have a known property change-time curve, which can be utilized in the assessment of the type and rate of deterioration under specified conditions in a test. The reference material is tested along with the material proper, if its behaviour in the test is not known beforehand (e.g. the reference material has not already been used earlier in an identical test)(look at Appendix 3).

Appendix 2. On the definitions of service life and durability of building materials

1) In materials technology, service life means satisfactory performance over time of the material without unacceptable degradation of the material itself. However, it should be borne in mind that the service life may be shorter owing to social, esthetical, and functional reasons. ASTM 632-78 defines: "3.17 Service life (of a building component or material) - the period of time after installation during which all properties exceed the minimum acceptable values when routinely maintained".

2) General:

Service life = minimum $\left\{ \begin{array}{l} \text{Target service life} \\ \text{Functional service life} \\ \text{Economical service life} \end{array} \right.$

Target in design:

Target service life: $> \left\{ \begin{array}{l} \text{Estimated functional service life} \\ \text{Estimated economical service life} \end{array} \right.$

3) In the basic sciences the durability definition may be as follows: Durability of a material is its ability to resist changes of its state or, in other words, of its properties.

4) Basic service life requirements for concrete products (a proposal):

I 40 - 50 years

II 100 years

III 500 - 1000 years

IV 5000 years

I - II Attainable outdoors in severe and variable conditions, freeze-thaw effect included

III Attainable even outdoors in variable conditions, freeze-thaw effect and severe moisture-temperature variations excluded

IV Attainable in stable conditions.

Appendix 3. Introduction to the selection of reference materials

1. Make a field survey.

- I - Find the time of the erection of the building or the time at which the usage of the material or the component was started. Time scale for example: 50, 100, 150, 200...years.
- II - Specify the climatic conditions of the materials selected, during the life-time, using climate and weather data and possibly other sources of information.

- Assess the condition of the material or materials selected.
- Take the samples of the reference materials from inert places.
- You may often find materials stored in the attic or in the cellar.
 - They were put aside for possible repair work.

2. Contact the manufacturers who have long-term experiences of making long-lasting materials.

- Your customer who is interested in the service life estimation of their new product, may even be able to furnish you with a set of reference materials, the service life of which can be fixed reasonably by them for their particular purposes.

3. Select finally materials which have a known field performance or known service life - or make the specimens from the same rawmaterials as materials were originally made.

4. Create your own set of storage of reference materials with various known service lives by making fundamental studies, possible long-term testing included.

5. Remark: Especially in the countries of long-term building history the collection of applicable reference materials and the making of basic investigations or documentation on long-term behaviour of materials are very appealing.

Appendix 4. Introduction to the durability testing procedure

1) Simplification of the testing procedure

The analysis of the numerous degradation factors affecting the service life of building materials and components indicate that

- the central factors of degradation are moisture and temperature and their variations, which means that in the ageing and deterioration processes:
- moisture and temperature levels, and their gradients of variations, bring about moisture transfer causing leaching and crystallisation effects, or generally physico-chemical ageing;
- moisture gradients and temperature gradients cause mechanical stresses;
- the presence of moisture (water) is necessary or central to chemical and biological processes;
- critical moisture contents and temperatures (and their variations exists, and are or should be specified.

The notion presented above indicates that in actual durability testing one should concentrate mainly on finding the effects of moisture and temperature changes, and of leaching and crystallisation. The crystallisation in this case is the crystallisation of minerals or ice in the pores. (Consider also the significance of pollution, biocorrosion, and carbonation.)

2) Multiple testing

The tests used selectively in our testing of outdoor materials and their reference materials for service life prediction are now roughly as follows:

- Basic material strengths as a function of moisture content, wet-dry strength ratio
- Impact strength
- Perforation load (thin specimens, fibre reinforcement)
- Porosity, density
- Protective pore ratio (space for water dilatation at freezing)
- Strain-stress curve (deformation modulus, strain at failure)
- Dilatometry at wetting-freezing-thawing
- Thermogravimetry
- Sorption isotherm and pore surface area
- Mercury porosimetry
- Optical and electron microscopy; texture determination

- Crystallisation tests, temperature variation tests
 - Frost test 1 (freezing in air, thawing in water)
 - Frost test 2 (freezing in water, thawing in water)
 - Na₂SO₄ test
- Leaching, temperature and moisture variation tests
 - moistening and drying (cold, moist air - hot, dry air)
 - Wetting and drying (cold water - hot air)
 - Cold - hot water test
 - Long-term ageing in water at elevated temperature
 - HCl test (possibly other tests on chemical resistance)
 - Moisture and temperature deformations
- Permeability
 - water
 - water suction or capillarity
 - gas (N₂)
- Biological, radiation, carbonation, and pollution tests, where especially needed.

Automatic testing cabinets are preferred; tests in other countries are possible. In every case some tests may be neglected and some added in accordance with the use of material to be tested. Indicators are mostly strength (tensile strength for fibre reinforced materials and plates) reductions, cracks, disintegration, but methods like ultrasonic pulse relacity may be applied. The general appearance and solidity of the material when wet (squeezing with fingers may press out water!) are also signals of damage.

The test results are collected together and examined for example in a simple way systematically as presented in paragraph 3.2.2 complex systematical methods may be used.

Permeabilitetens betydelse för betongs beständighet
Praktisk provning och bedömning av permeabilitet

Civ ing Lars Johansson
 Cement och Betong Institutet
 Fack, 100 44 STOCKHOLM

Inledning

"Betongs beständighet" är namnet på ett svenskt-norskt Fou-projekt, som be-
 kostats av ett tiotal olika intressenter från de båda länderna. Vid Cement
 och Betong Institutet har som en del i detta projekt, permeabilitetens in-
 verkan på hastigheten för karbonatisering och kloridinträngning samt
 laboratorie- och fältmetoder för permeabilitetsbestämningar undersökts.

Som en inledning till undersökningarna gjordes en litteraturgenomgång,
 Rombén, 1985: "Beständighet och permeabilitet. En litteraturstudie".
 Rapport nr 8532, Cement och Betong Institutet.

Provkroppar

Undersökningen har utförts på laborietillverkade provkroppar med
 varierat vattencementtal, utan och med lufttillsatsmedel för frostbe-
 ständighet samt med och utan tillsats av silika och flygaska. Dessa för-
 söksvariabler har motsvarat i praktiken förekommande variationsområden.

I samtliga blandningar har använts cementet Slite std P.

Ballasten har bestått av naturgrus 0-8 mm samt delvis krossat stenmaterial
 8-16 mm. Tillsatsmedel har varit "Micropoz" (silikastoft) och "Puzzolan"
 (flygaska), båda från Cementa i Skövde.

Som tillsatsmedel har använts en vinsolhartsbaserad luftporbildare och en
 melanminhartsbaserad vattenreducerare.

Undersökta blandningar framgår av TABELL 1.

TABELL 1. Sammanställning av undersökta betongkvaliteter.

vct/vbt	grundserie	luft	silika + vattenreduc	flygaska + luft
0,40	D	F		
0,50	C	E		H
0,60	B			
0,70	A		G	

Vid beräkning av blandningsrecept med utgångspunkt från de parametrar som redovisas i tabellen eftersträvades konsistensen 100 mm sättmått. Vid beräkning av vattenbindemedelstalet, vbt, för betongblandning G och H, har mängden silikastoft, SiO_2 , multiplicerats med faktorn 1,0 (blandning G) och mängden flygaska med faktorn 0,3 (blandning H).

Av varje blandningstyp enligt TABELL 1 tillverkades ett 30-tal provkroppar av varierande utseende.

Samtliga provkroppar göts och vibrerades på vibratorbord i överensstämmelse med tillämplig Svensk standard.

Efter normenlig härdning fram till 28 dygns ålder påbörjades provningar på vissa provkroppar. Övriga provkroppar lagrades resterande tid fram till provning i rumsluft dvs vid ca 20°C och ca 50 % RF.

Utförda försök

Beständighetsförsöken omfattade karbonatisering, FIG 1, samt kloridinträngning, FIG 2. I båda fallen har förloppen accelererats i förhållande till naturliga miljöer.

Undersökta metoder för permeabilitetsmätning har varit följande:

Mätning av	Metoden avsedd för
gasdiffusion (syrgas)	laboratorium
gaspermeabilitet vid lufttrycksskillnad	fält
Figgmetoden	

kombinerad kapillärsugning/
vätskepermeabilitet (vatten-
täthetsprov enl Svensk standard)

laboratorium

kapillärsugning på
provkroppar

laboratorium

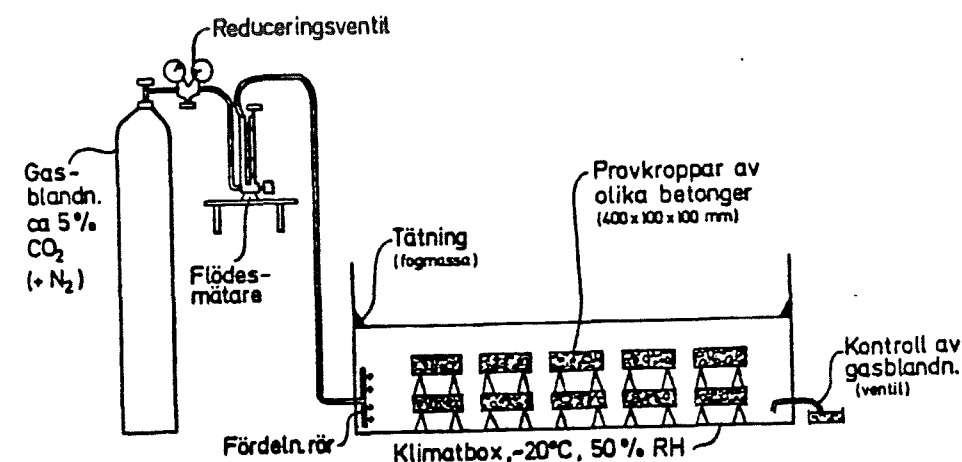
kapillärsugning (trattmetoden)

fält

wätskepermeabilitet (vid högt
ensidigt övertryck)

laboratorium

Vid såväl beständighetsförsök som metodförsök har samtliga betongblandningar undersökts med undantag för mätning av vätskepermeabilitet vid högt övertryck, där endast vissa blandningar medtagits.

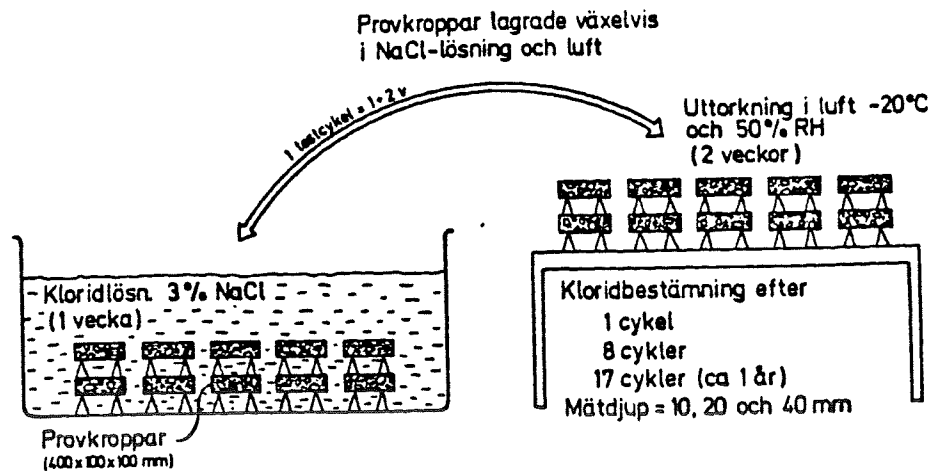


FIGUR 1. Principskiss på metod för accelererad provning av karbonatiserings hastighet.

Karbonatiseringsfrontens inträngning i provkropparna mättes med fenolftaleinlösning. Mätningarna skedde efter 3, 6 och 11 månaders exponering genom att med huggmejsel ta sig in till okarbonatiserad betong. Vid den sista mätningen spräcktes provkropparna och mätning gjordes över hela tvärsnittet.

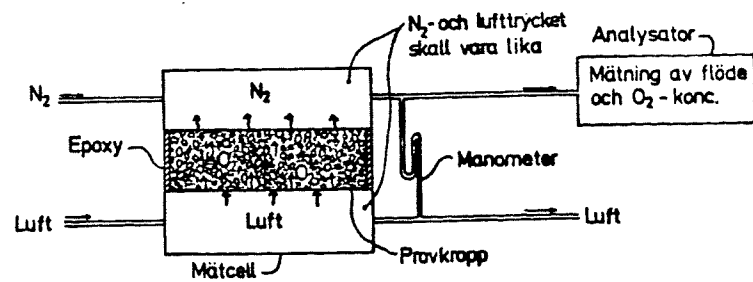
Kloridinträngningen åstadkoms genom att provkropparna lagrades en vecka i 3%-ig natriumkloridlösning åtföljd av två veckors uttorkning i 50 % relativ fuktighet vid ca +20°C. Dessa tre veckor bildade en cykel som upprepades 17 gånger, vilket innebar att försöket pågick ca ett år. Mätning av kloridhalt i proverna skedde efter 1, 8 och 17 cykler. Proven togs ut på tre olika djup: 10, 20 och 40 mm, från provets översida.

Proverna analyserades sedan med EDTA-titrering för cementmängden och jonselektiv elektrod för kloridmängden, varpå kloridhalten beräknades som mängden klorid per cement eller per cement + puzzolan.

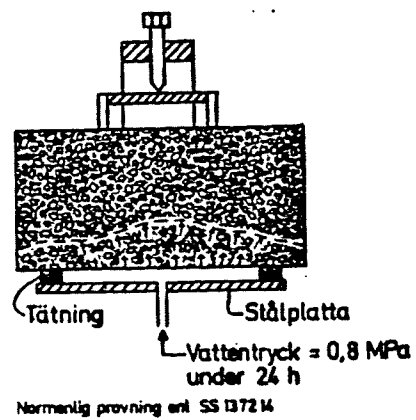


FIGUR 2. Principskiss på metod för provning av kloridinträngning.

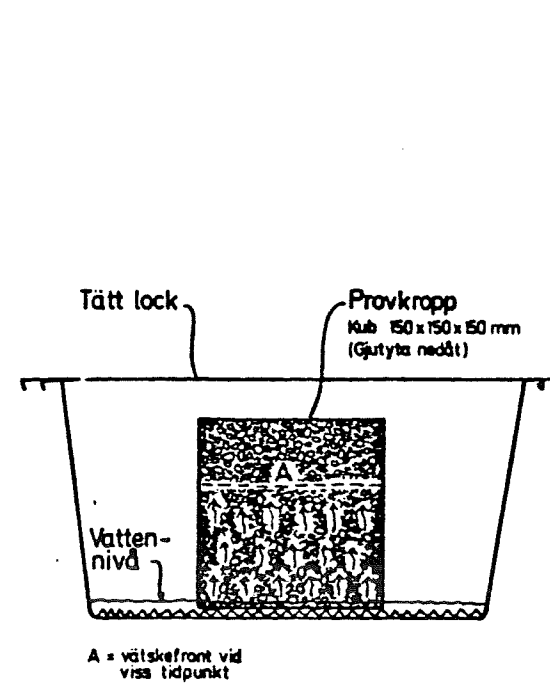
Mätmetodernas principiella utseende framgår av FIG 3-8.



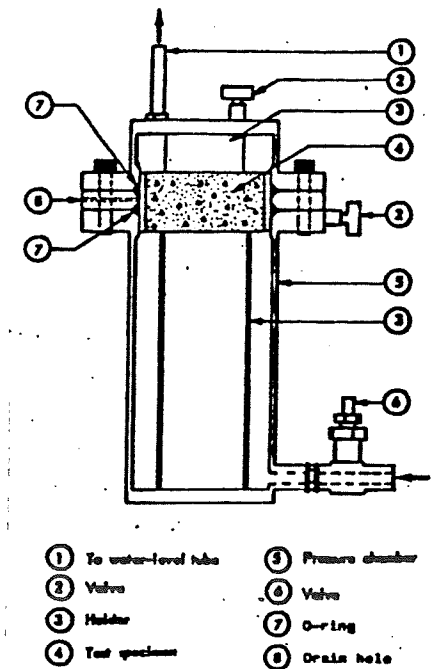
FIGUR 3. Principskiss på metod för provning av syrgasdiffusion.



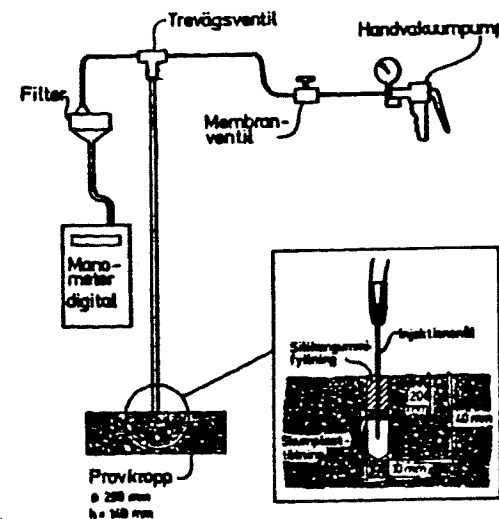
FIGUR 4. Vattentäthetsprov, metod för provning av vatteninträngning, enligt SS 13 72 14.



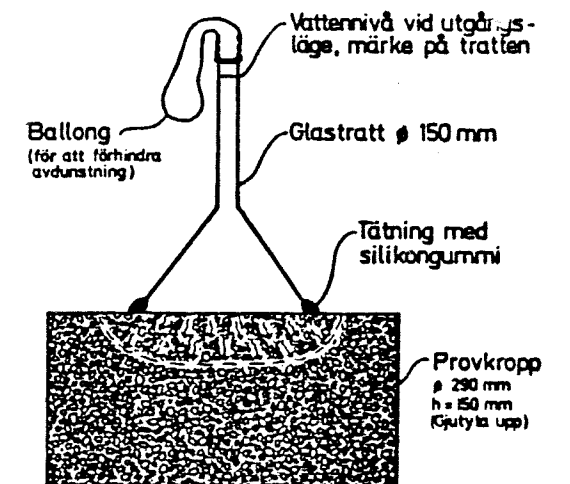
FIGUR 5. Kapillärsugning, metod för provning av vattenupptagning.



FIGUR 6. Mätcell för mätning av stationärt flöde (vatten).



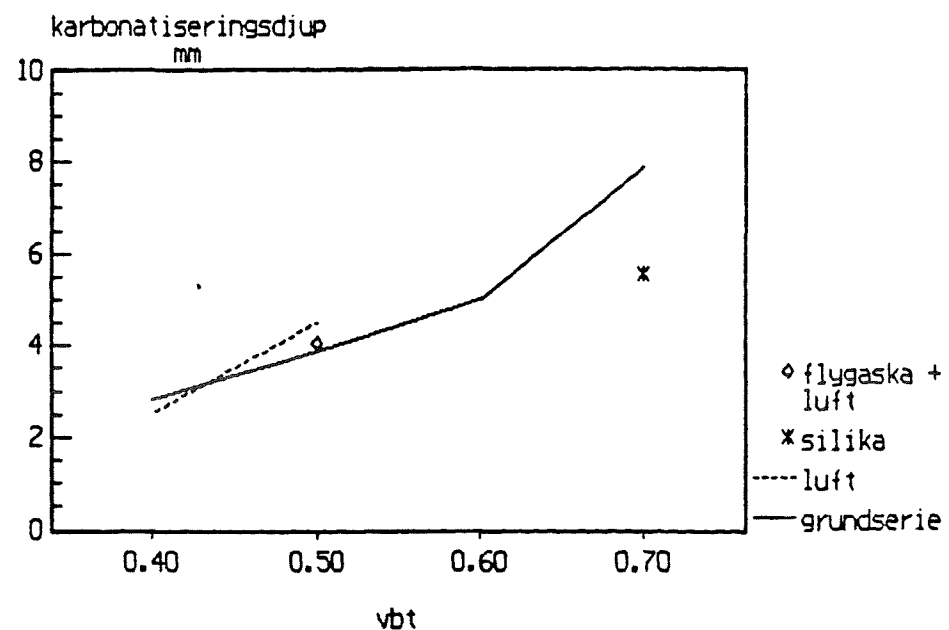
FIGUR 7. Figg-metoden, provning av luftpermeabilitet.



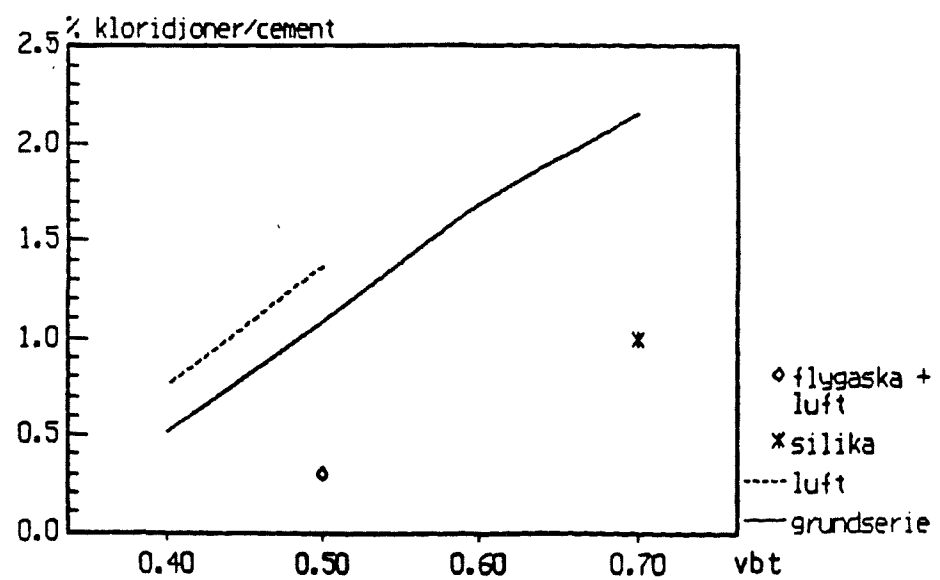
FIGUR 8. Trattmetoden, provning av vattenupptagning.

Resultat

Karbonatiseringsdjup och kloridinträngning för blandningarna framgår av FIG 9 resp 10.

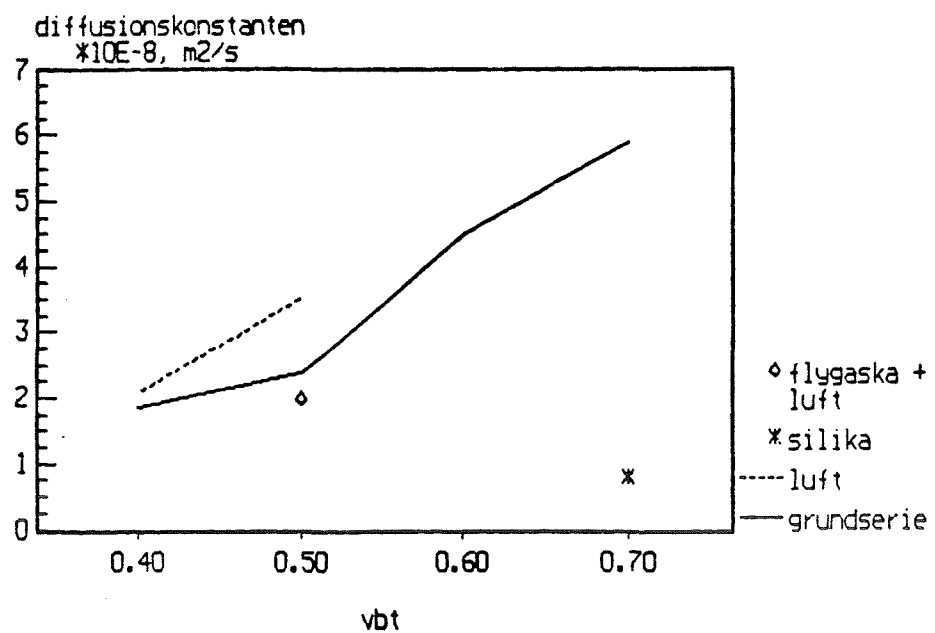


FIGUR 9. Karbonatiseringsdjup vid 11 månader.

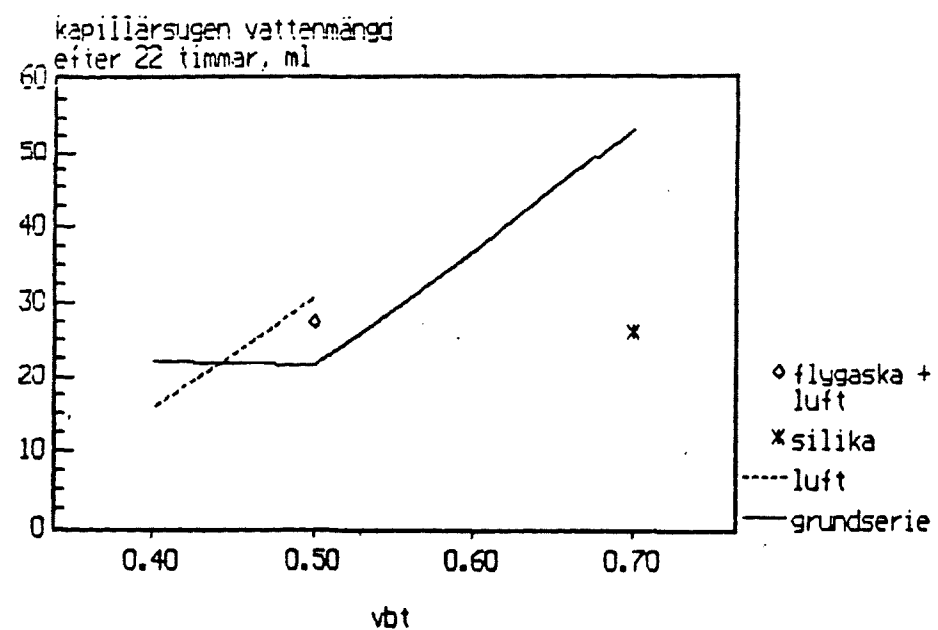


FIGUR 10. Kloridhalt på 20 mm djup efter 17 cykler.

FIG 11 och 12 visar exempel på uppmätta "permeabilitetsegenskaper".



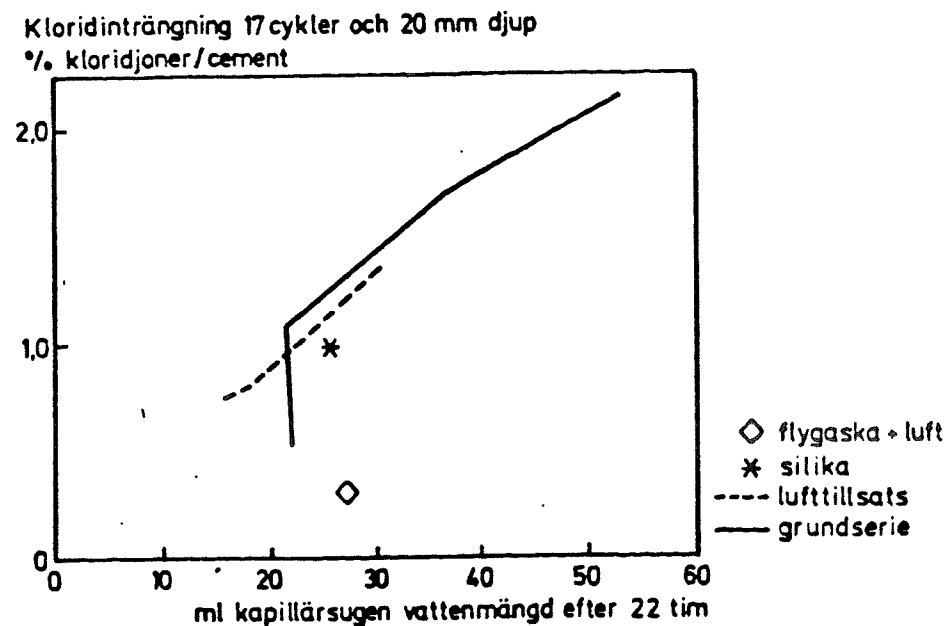
FIGUR 11. Diffusionskonstant vid syrgasdiffusion.



FIGUR 12. Kapillärsugen vattenmängd vid 1 dygn.

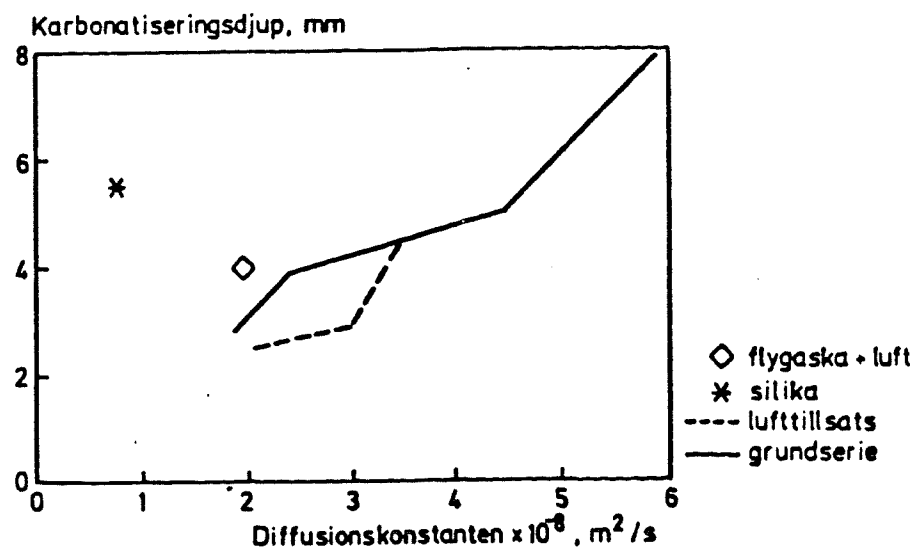
Den mest intressanta frågan är givetvis vilka eventuella samband som råder mellan beständighet och de provade mätmetoderna.

FIG 13 visar som exempel erhållet samband mellan kloridinträngning och kapillärt uppsugen vattenmängd.

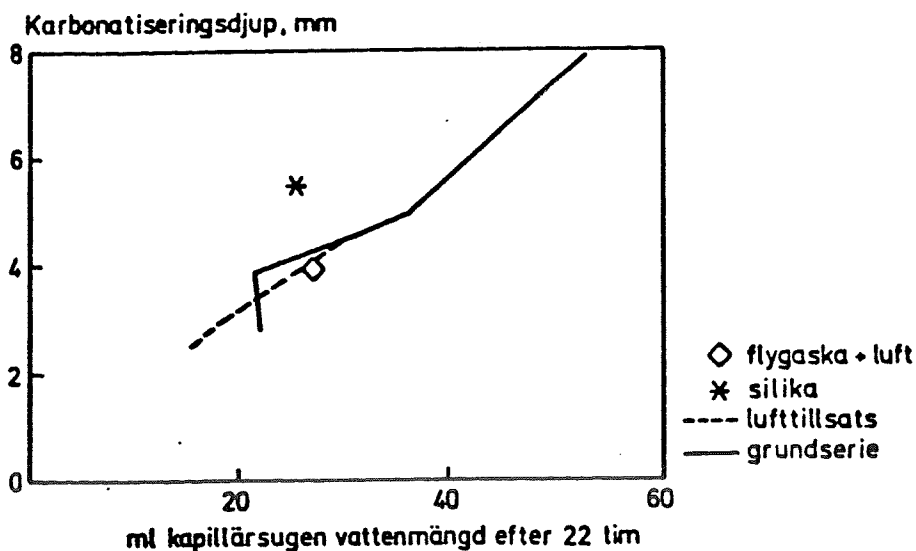


FIGUR 13. Kloridhalten på 20 mm djup efter 17 cykler som funktion av kapillärsugningen.

FIG 14 och 15 visar exempel på samband mellan olika mätmetoder och karbonatiseringsdjup.



FIGUR 14. Karbonatiseringsdjup efter 11 månader som funktion av diffusionskonstanten.



FIGUR 15. Karbonatiseringsdjup efter 11 månader som funktion av kapillärsugningen.

Försöken visar att betongens beständighet är starkt beroende av dess permeabilitet, när det gäller karbonatisering och kloridinträngning, men att också bindemedlets kemiska sammansättning är av stor betydelse. Flygaska har t ex en mycket starkt bromsande inverkan på kloridinträngningen medan inverkan på permeabiliteten är relativt måttlig.

Mätning av kapillärt uppsugen vattenmängd antingen i laboratorium på provkroppar eller i fält med trattmetoden är de metoder som givit de tydligaste sambanden med både karbonatisering och kloridinträngning. Dessa resultat är i överensstämmelse med internationella erfarenheter.

Undersökningarna är utförda på välhårdade laboratorietillverkade provkroppar. Huruvida även betong tillverkad under praktiska förhållanden kan bedömas med dessa metoder bör kontrolleras genom fortsatta undersökningar.

 KARAKTERISERING AV TAKFOLIER ETTER ULIKE ALDRINGSMETODER

Sivilingeniør Siri B. Berg
 Norges byggforskingsinstitutt, Trondheimsavdelingen
 7034 Trondheim NTH

1. Innledning

Norges byggforskingsinstitutts avdeling i Trondheim har i flere år drevet med akselerert aldring av bygningsmaterialer og komponenter. NBIs klimakarusell (NBI Metode 83/83) (3) er ofte blitt benyttet for å undersøke bestandigheten av ulike materialer og komponenter. Xenotest og Suntest er annen apparatur som også benyttes for å akselerere nedbrytingen i materialer som finner sted utendørs.

Mange ønsker å sette et definert mål på akselerasjonsgraden som de ulike aldringsmetodene gir. Dette har i praksis vist seg å være svært vanskelig. Ulike materialer reagerer forskjellig på ulike aldringsfaktorer, og enkelte aldrings-faktorer virker sammen slik at den samlede virkningen blir forsterket. Naturlig aldring kan også være så mangt. Klimatiske forhold som materialer og komponenter utsettes for, er alltid varierende.

Mange materialer og komponenter er i årenes løp blitt aldret i NBIs klimakarusell (NBI Metode 83/83). NBI har erfaring fra aldring av blant annet homogene takfolier i denne apparaturen. Denne erfaringen er blitt brukt til å sammenligne nedbrytingen av to homogene takfolier etter aldring etter de tre metodene Suntest, Xenotest og NBIs klimakarusell. Prøvestykkenes dimensjoner i Suntest og Xenotest aldringsapparat er for små til at mange av de mest benyttede vurderingsmetoder kan benyttes. Det er derfor ønskelig å karakterisere foliene på andre måter med metoder som ikke krever så store prøvestykker.

2. Aldringsmetoder

2.1 Metode I - NBIs Klimakarusell

Kort beskrivelse

NBIs klimakarusell, prøvemethode NBI 83/83, er en apparatur for akselerert aldring av materialer og komponenter. Apparaturen består av et sirkulært sentralkammer og tre faste klimakammer. Sentralkammeret har fire prøvefelter på ca. 1 m x 1 m hver. I prøvefeltene kan de enkelte materialprøver og komponenter monteres ved bøylere, klemmer e.l. Sentralkammeret står normalt i ro, men dreier seg på visse tidspunkter en kvart omdreining fram. Prøvene blir derved i tur og orden utsatt for følgende påkjenninger:

- Bestråling med sollyslamper og samtidig oppvarming.
(Svartplatetemp: 343K (+ 70 °C))
- Befuktning
- Nedkjøling og nedfrysing til ca. 253 K (- 20 °C)
- Opptining ved romtemperatur.

Normalt er tiden i hver posisjon 1 time, og samlet tid for en syklus er 4 timer. Prøvene ble aldret i 16 uker og i 48 uker i denne apparaturen.

2.2 Metode II - Xenotest 150 S, akselerert aldringsapparat

Xenotest 150 S er en akselerert aldringsapparat med følgende væringsmekanismer:

- Solstråling
- Høye temperaturer
- Høy relativ fuktighet
- Regn

Strålingskilde i denne apparaturen er en Xenonbrenner som gir samlet bestråling av prøven på 1154 W/m² i bølgelengdeområdet fra 300 til 830 nm. (Med filter-system 6 IR og 1 UV).

Ulike filter foran strålingskilden kan kombineres for å oppnå et noe annet strålingsspektrum. Aktuelle filter er da IR-filter som gir solstråling tilnærmet stråling gjennom et vindu, og UV-filter som simulerer utendørs solstråling. For å oppnå høyere svartplatetemperatur kan ett av IR-filtrene erstattes med et vindusglassfilter.

Svartplatetemperaturen ved prøven kan være 45 °C ved 60 % RF, eller den kan økes til 50 °C.

Relativ fuktighet i prøvekammeret kan reguleres fra laboratoriets relative fuktighet opp til 95 %, noe som vil redusere temperaturen noe.

Prøvens dimensjoner kan maksimalt være 130 x 45 mm. Apparaturen er forsynt med 10 prøveholdere som kan ha to prøver, én på hver side, dersom apparaturen kjøres med vending av prøvene (180° vending 5 ganger/min), eller bare en prøve som vender mot strålingskilden hele tida.

Xenotest kan programmeres for følgende syklus av tørr og våt prøveeksponering:

Regn (min)	Tørke (min)
1	29
3	17
5	25
18	102

De aktuelle foliene av PVC-plast og Butylgummi ble eksponert under følgende forhold:

40 - 45 °C svartplatetemperatur, 60 % RH, 18/102 regn/tørke, med vending av prøvene.

Uttak av prøver for vurdering av nedbrytning ble gjort etter 500 timer, 1000 timer, 1500 timer, 3000 timer og 4300 timer.

2.3 Metode III - Suntest, akselerert aldringsapparat

Suntest er en akselerert aldringsapparat med Xenonbrenner som strålingskilde, som gir strålingsspektrum som ligger svært nær spekteret fra sola. Ulike filter kan plasseres foran strålingskilden for å regulere strålingsspekteret noe. Uten ekstra filter vil prøvene eksponeres for ultrafiolette stråler fra 270 nm og oppover. Med et spesielt UV-glassfilter kan UV-strålingen opp til 290 nm filtreres bort, og med et vindusglassfilter kan strålingen opp til 320 nm filtreres bort.

Prøvestykkene til testing plasseres på prøvebordet som har dimensjoner 200 x 278 mm.

Lysintensitet mot prøvene er 150 klx.

Strålingsintensiteten mellom 300 og 830 nm er 830 W/m².

Svartplatetemperaturen er 45 °C. (Kan økes til 50 °C).

I tillegg til strålingskilde er apparaturen forsynt med et spesielt prøvebord for bestråling av prøvestykker under vann. En kan dermed kombinere solstråling og vann som er regnet som avgjørende faktorer for nedbrytning av mange polymere materialer.

Suntest kan programmeres til følgende sykluser av tørr og våt prøveeksponering:

Vann (min)	Tørr (min)
3	27
3	17
5	25
18	102
120	0

De aktuelle prøvene av PVC-plast og Butylgummi ble eksponert under følgende forhold:

Svartplatetemperatur 45 °C, uten ekstra filter og med 18/102 våt/tørr prøveeksponering.

Uttak av prøver for vurdering av nedbrytning ble gjort etter 168 timer, 500 timer, 1000 timer og 1500 timer.

2.4 Sammenligning mellom de tre metodene

Suntest og Xenotest gir nokså lik eksponering av prøvene. Strålingskildene har tilnærmet det samme strålingsspekteret, men intensiteten av strålingen i Xenotest er noe større enn intensiteten av strålingen i Suntest. Når det gjelder strålingsspekteret fra lampene i NBIs klimakarusell, så har dette en litt større intensitet ved enkelte bølgelengder i det ultrafiolette bølgelengdeområdet, og også en betydelig større intensitet i det infrarøde bølgelengdeområdet. Dette medfører at maksimal svartplatetemperatur i NBIs klimakarusell er ca. 70 °C, mens den for Xenotest og Suntest bare er ca. 45 - 50 °C. I Suntest blir prøvene kontinuerlig eksponert for stråling, i Xenotest blir prøvene eksponert for stråling halvparten av tida, mens i NBIs klimakarusell blir prøvene eksponert for stråling en fjerdedel av tida. Dette må også tas med i vurderingen av akselerasjonsgraden de ulike metodene gir.

3. Materialer til undersøkelse

Takfolier

Takfolie er en etlags taktekking av høypolymer materiale som er tett for oppdemt vann. Hovedfunksjonen er å beskytte underliggende konstruksjoner mot inntrengning av vann og fuktighet (6).

Polymere materialer deles gjerne inn i tre grupper: Plast, naturfibre og gummi. De fleste materialtypene innenfor polymere materialer er kunststoffer, men det finnes også naturlig forekommende som f. eks. naturgummi. Polyvinylklorid (PVC) er et hyppig anvendt plastmateriale i mange takfolier. Foruten PVC inneholder takfoliene mykner og forskjellige stabilisatorer og pigmenter. PVC nedbrytes termisk ved temperaturer over 120 °C og fotokjemisk allerede ved romtemperatur til hydrogenklorid, HCl, og konjugerte polyene strukturer som er sterkt farget og kryssbundet. Denne prosessen akselereres av hydrogenklorid og oksygen, og det er vist at den kan produsere kjedebrudd (1,2).

Aldring av PVC er stort sett begrenset til overflata, noe som blant annet skyldes tilgangen på oksygen som er noe redusert i dybden på materialene. Konsentrasjonen av karbonyl (C = O) i overflata kan være et mål på hvor langt nedbrytningsprosessen er kommet. Ved hjelp av IR-spektroskopi kan karbonyldannelsen i PVC registreres.

Gummi er en betegnelse som omfatter både naturgummi, som kan utvinnes fra visse trær og vekster, og syntetisk gummi. Gummiprodukter kan deles inn i tre grupper - umettede, mettede og spesialgummi. Butyl hører inn under gruppen mettede gummier. Butyl er et sampolymerisat av isobutylene og små mengder isopren. Isopren gjør materialet vulkaniserbart.

Sorte gummier har vist seg å være mer stabile enn hvite gummier. Dette kan forklares med et større innhold av karbon som absorberer UV-strålingen. Sorte gummier er ikke så utsatt for UV-nedbrytning, noe som tyder på at termisk nedbrytning kan være hovedmekanismen her.

4. Vurderingsmetoder

For å observere endringer i materialene under aldringen, ble følgende prøver gjennomført:

4.1 Strekkstyrke/bruddforlengelse

Denne prøven ble utført etter DIN 53455 med prøvefasong 5 og strekkhastighet VIII. Lengden som ble målt under strekkingen, var 20 mm i starten.

4.2 Vektendringer

Vektendringer ble registrert ved at prøvene ble veid før og etter eksponeringen.

4.3 Kuldemykhet

Kuldemykhet ble utført etter DIN 53361, men med noe reduserte dimensjoner på prøvestykkene. Prøvestykkenes dimensjoner var 45 mm x 67,5 mm.

4.4 Mykneravgivelse

Mykneravgivelse er en prøve som ble utført for å bestemme innholdet av mykner i materialet før og etter aldring. Myknerinnholdet har stor betydning for materialets mekaniske egenskaper. DIN 53738 beskriver hvordan en slik bestemmelse kan gjennomføres. Denne standarden benytter en varmeextraktor, og prøvingen tar da fra 6 til 8 timer. Her ble testen gjennomført på en litt enklere måte, men tok litt lengre tid.

To prøvestykker med dimensjoner 38 mm x 45 mm ble skåret ut og lagt til kondisjonering i 24 timer ved 23 °C og 50 % RF. Deretter ble prøvene veid og lagt i 200 ml White Spirit. Etter 2 døgn ble prøvene tatt opp av væsken og tørket ved 140 °C i 2 timer.

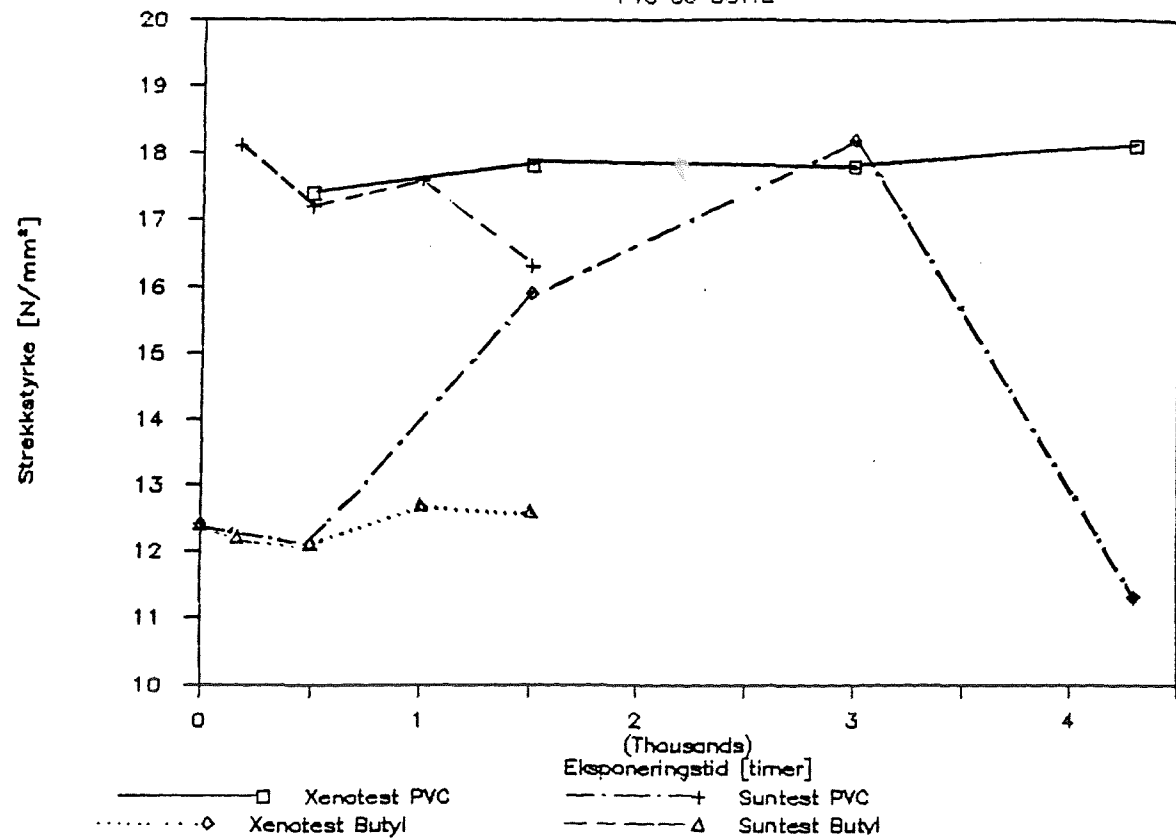
Etter kondisjonering i 1 døgn ble prøvene veid på nytt og mykneravgivelsen ble bestemt som relativt vekttap etter 2 døgn i White Spirit.

4.5 Visuelle observasjoner

Prøvene ble jevnlig visuelt observert.

5. Resultater

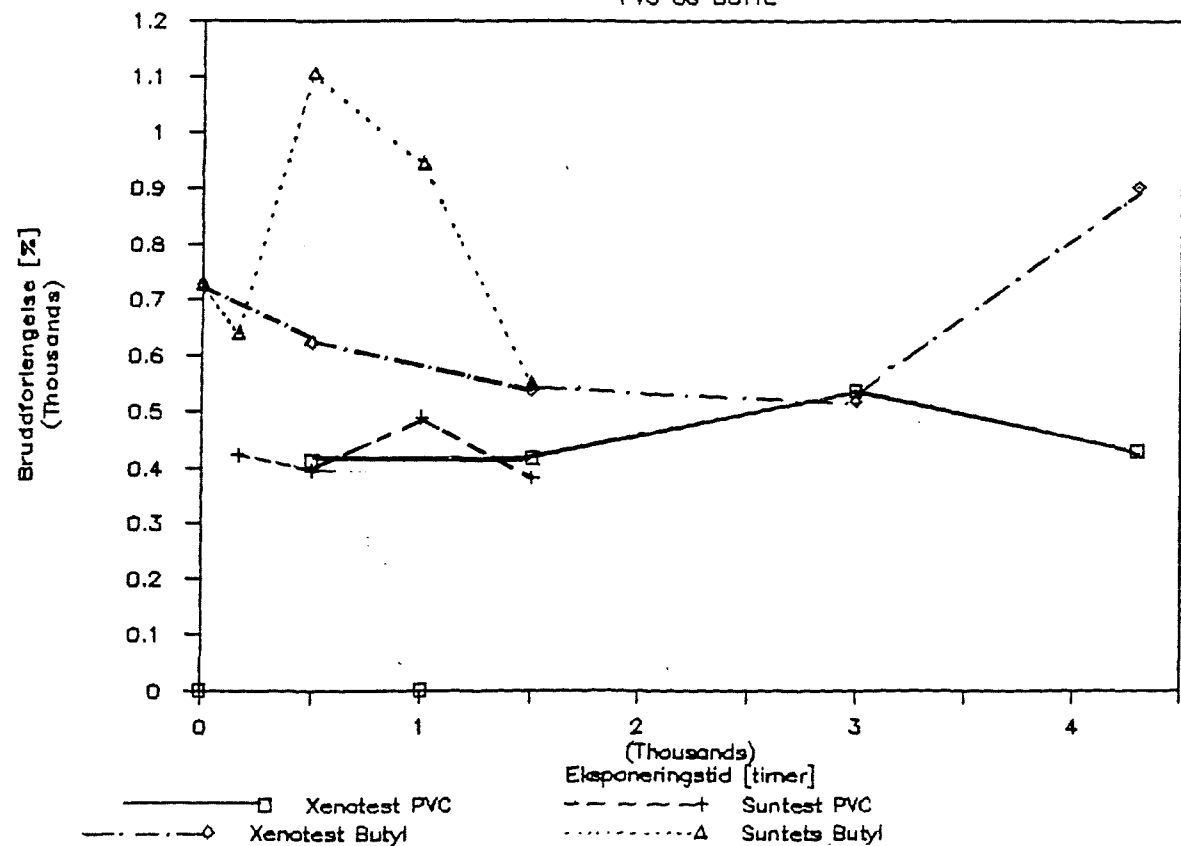
Figur 1 og figur 2 viser endringen i strekkstyrke og bruddforlengelse grafisk for de to homogene takfoliene etter ulike aldringsmetoder. For PVC aldret i Xenotest kan det virke som om både strekkstyrke og bruddforlengelse øker med eksponeringstida. Men resultatene er varierende.



Figur 1. Strekkstyrke for takfolier av PVC og Butyl som funksjon av eksponeringstid i ulike aldringsapparaturer.

BRUDDFORLENGELSE FOR TAKFOLIER AV

PVC OG BUTYL



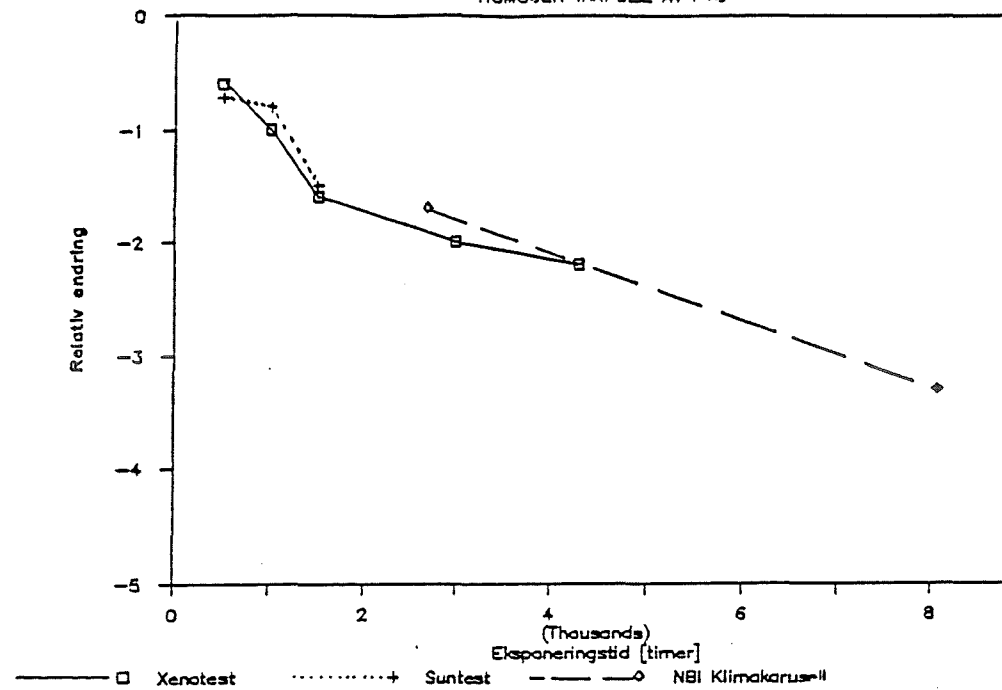
Figur 2. Bruddforlengelse for takfolier av PVC og Butyl som funksjon av eksponeringstid i ulike aldringsapparaturer.

5.2 Vektendring

Figur 3 og figur 4 viser hvordan materialene taper vekt som funksjon av tida i aldringsapparaturen. For begge materialene kan det virke som om de største endringene skjer i begynnelsen av aldringsprosessen.

VEKTENDRINGER ETTER ULIKE ALDRINGSMET.

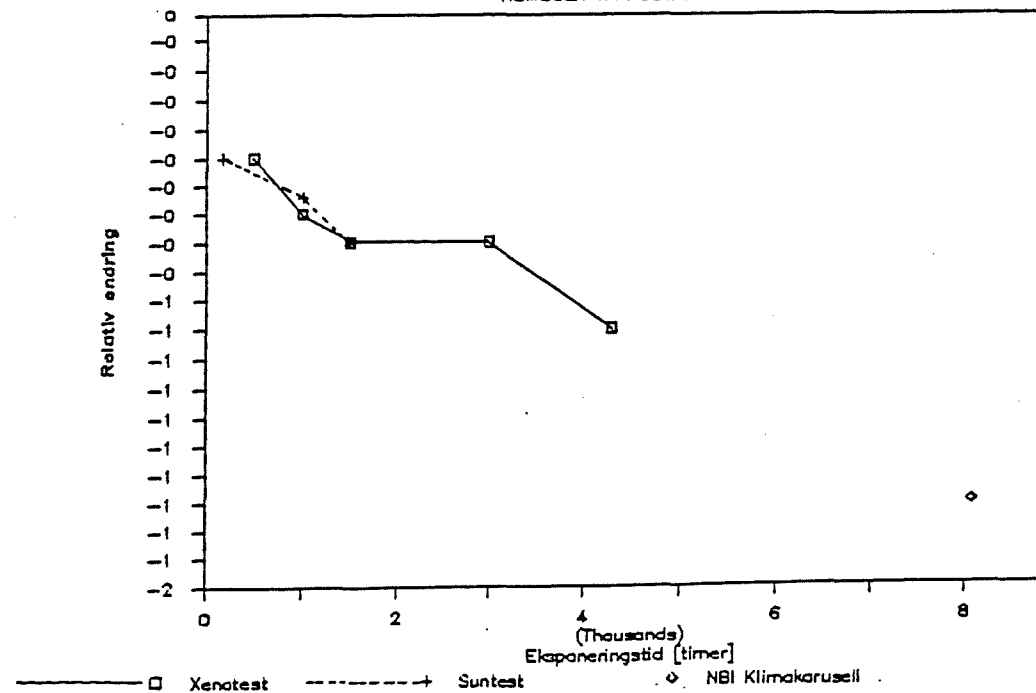
HOMOGEN TAKFOLIE AV PVC



Figur 3. Relativ endring i vekt for takfolie av PVC som funksjon av eksponeringstid i ulike aldringsapparaturer.

VEKTENDRINGER ETTER ULIKE ALDRINGSMET.

HOMOGEN TAKFOLIE AV BUTYL



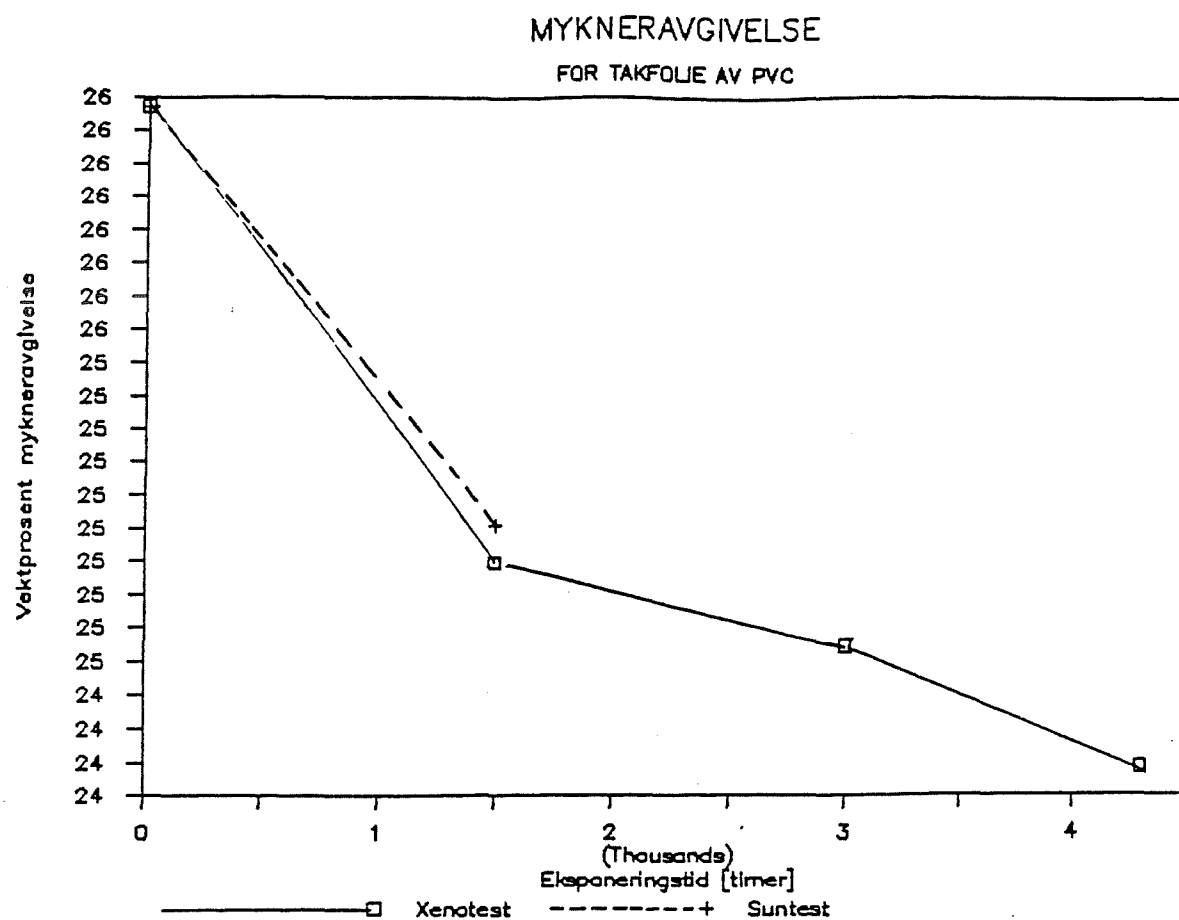
Figur 4. Relativ endring i vekt for takfolie av Butyl som funksjon av eksponeringstid i ulike aldringsapparaturer.

5.3 Kuldemykhet

Prøvene ble brettet i kulde ved 243 K (-30 °C) og det ble ikke observert riss eller sprekker i noen av prøvestykkene.

5.4 Mykneravgivelse

Figur 5 viser mykneravgivelse for takfolie av PVC som funksjon av eksponeringstid i Suntest og Xenotest aldringsapparat.



Figur 5. Mykneravgivelse etter eksponering i Xenotest og Suntest aldringsapparat.

5.5 Visuelle observasjoner

Det kunne ikke observeres vesentlige visuelle endringer i prøvene. Allerede etter 500 timers eksponering var det skjedd en svak fargeendring, prøvene var blitt mere matt, både PVC og butyl, men det var ingen antydning til krakeleringer eller andre endringer i overflata.

6. Diskusjon

Resultatene fra bestemmelsen av strekkstyrke og bruddforlengelse for de to homogene foliene kan ikke brukes til å trekke noen konklusjon om hvordan aldringsprosessen har forløpt. Det var ikke mulig å utføre disse prøvene helt etter standarden DIN 53455 da de prøvestykkene som var tilgjengelig etter aldring, var for små. For PVC var tre prøvestykker tilgjengelig etter hver aldringstype, mens for butyl var bare to prøvestykker tilgjengelig for prøving av strekkstyrke og bruddforlengelse. Variasjonen i resultatene for prøver etter hver aldringstype var for stor, og antallet prøver var for lite til at resultatene fra denne prøvemethoden kan brukes videre. Resultatene får derfor bare stå som en indikasjon på at denne prøvemethoden er lite egnet til å karakterisere materialer etter aldring i Xenotest og Suntest aldringsapparat.

Figur 3 og figur 4 viser at materialene taper vekt ved eksponering i Xenotest og Suntest aldringsapparat. Resultatene så langt tyder på at de største endringene skjer i starten av aldringsprosessen. Dette blir også bekreftet av prøvemethoden nr. 4, mykneravgivelse. Figur 5 viser at det største tapet av mykner har skjedd allerede etter 1500 timers eksponering.

Det var planlagt å få til en sammenlikning mellom aldring av folier i NBIs klimakarussell og i Suntest og Xenotest aldringsapparat. Nå viser det seg at det er en nyere versjon av takfolien i PVC som er aldret i Suntest og Xenotest aldringsapparat enn den som tidligere ble aldret i NBIs klimakarussell. Denne nye versjonen har bedre mekaniske egenskaper ved lave temperaturer enn den opprinnelige.

Prøvemethoden nr. 3, kuldemykhet, kan derfor ikke brukes til å sammenlikne aldringen de ulike metodene gir.

7. Konklusjon

Aldring av to takfolier av PVC og butyl i Suntest og Xenotest aldringsapparat viser at tradisjonelle prøvemethoder som strekkstyrke og bruddforlengelse setter krav til dimensjoner på eksponerte materialer som vanskelig kan anvendes ved aldring i disse apparaturene.

Visuelle observasjoner, mykneravgivelse og vektendring er imidlertid prøvemethoder som er relativt uavhengig av størrelsen på prøvestykkene, og disse metodene er derfor anvendbare for å karakterisere materialer etter aldring i Xenotest og Suntest aldringsapparat.

Sammenlikning mellom vektendringer etter eksponering i Suntest/Xenotest og vektendringer etter eksponering i NBIs klimakarusell viser at NBIs klimakarusell gir en litt hardere eksponering enn Suntest/Xenotest.

Tidligere erfaringer har vist at kuldemykhet er en prøvemetode som kan gi god informasjon om endring i materialers mekaniske egenskaper.

Referanser

- (1) Menzel, G. "Licht und Wetterbeständigkeit von Polyvinylchlorid", Plast Verarbeiter, 1974, Nr. 25, S. 137.
- (2) Davis, A., Sims, D., "Weathering of polymers", Applied Science Publish, Ltd, Essex, England, 1983, 244 p.
- (3) Gjelsvik, T., Rapport 97, "Large scale test facilities for durability studies in Scandinavia". NBI, Oslo/Trondheim, 1985.
- (4) Gjelsvik, T., Paulsen, E.M., Arbeidsrapport 20. "Takfolier av PVC", NBI, Oslo 1978.
- (5) Paulsen, E.M., Breder, K., Gjelsvik, T., Project report 13, "Aging characteristics for polymeric roofing sheets", NBI, Oslo/Trondheim 1986.
- (6) Paulsen, E.M., Breder, K., TPF informerer nr. 4, "Takfolier. Prøving, kvalitetskrav og byggetekniske forhold".

Aging Characteristics for Polymeric Roofing Sheets

by Einar M. Paulsen Norwegian Building Research Institute (NBI) Trondheim – Norway

Introduction

The Norwegian Roofing Research Group (TPF) started a project in 1980 aiming at developing design recommendations for roofs using polymeric sheets as water barrier. The Norwegian Building Research Institute (NBI) was asked to carry out a test and evaluation program including a field survey, to establish the state of the art and suggest quality requirements for membrane properties and guidelines for design.

This report presents the overall scope of the project with particular reference to aspects of aging, either by accelerated laboratory tests or by identification of factors which excessively reduce the service life of a polymeric roofing system.

Laboratory testing

Accelerated aging

The following four methods of aging the membrane was used:

- Method I: 48 weeks according to NBI Method 83/83
Test samples of 450 mm x 450 mm were mounted vertically in the apparatus and rotated between four positions, resting one hour in each.
 - A. Radiation from sun light lamps of the type Osram Ultra Vitalux GUR 53 300 W and simultaneous heating to an elevated temperature. Radiation intensity 1900 W/m² (input)
 - B. Wetting with a spray of demineralized water, 15 ± 2 l/m²h at a temperature of 291 ± 5 K (18 ± 5 °C)
 - C. Cooling and freezing to a temperature of 253 ± 5 K (-20 ± 5 °C)
 - D. Thawing at room temperature 296 ± 2 K (23 ± 2 °C) and 40 ± 10 % RH, with possibilities for inspecting and changing the samples without stopping the test apparatus.

- Method II: 4 weeks in air at 353 K (80 °C)

Test samples of 400 mm x 400 mm were placed horizontally in a ventilated oven.

- Method III: 8 weeks in water at 333 K (60 °C).

Test samples of 400 mm x 400 mm were laid in water which was renewed at regular intervals.

After aging, the samples were allowed to rest for four weeks in standard climate (293 K and 50 % RH) before final measurements and testing of properties.

- Method IV: Six hours in air at 353 K (80 °C)
Test for Thermal stability with sample size 100 mm x 100 mm.

Methods of evaluation

In order to observe the changes in the material as a result of the various modes of aging, the following attributes were checked before and after aging:

- Tensile strength/elongation at break

Tensile strength is the maximum force required to elongate a test piece until breakage in the reinforcement or the membrane itself.

The strength is given in N/mm² for homogeneous membranes and N/50 mm for reinforced materials.

Elongation at break is the extension of the test piece when the maximum force occurs in reinforcement or membrane. Elongation is given as per cent of original length.

Details regarding sample size, form and test rate are given in Table 1.

Table 1.
Test conditions for strength/elongation

Type of membrane	Test specimen			Test rate mm/min
	width mm	length mm	form	
Homogeneous plastic material (DIN 53455)	15	170	straight edges	200
Homogeneous elastomeric materials (DIN 53504)	6	115	dogbone	200
Membranes with reinforcements (DIN 53354)	50	300	straight edges	40

- Puncture resistance (NBI/81)

One conical and one chisel shaped test body are moved against the membrane with constant speed of 50 mm minute. The membrane is fixed between two metal rings with internal diameter 65 mm. The force at the moment of puncture is recorded.

- Folding at low temperature (DIN 53361)

The test specimen of 10 mm x 50 mm is folded between two plates at a distance of three times the thickness of the membrane. The temperature is lowered in intervals of 5 °C from 0 °C to - 30 °C or to breakage or cracks in the membrane occur.

• Dimensions

The membrane is measured in both directions before and after aging. Changes in dimensions are expressed in % of original size.

• Weight

The membrane is weighed before and after aging. Change in weight is expressed in per cent of original weight.

• Visual inspection of surface

The test samples are inspected visually before and after aging. Specific aging phenomena are registered.

Membranes tested

All testing was made on commercially available products sent to NBI by the manufacturers. The list in Table 2 gives the individual membranes in the same order as they appear in Tables 4 and 5.

Changes recorded in membrane

The actual test results have been released for publication by the manufacturers and can be found in reference (1).

The changes recorded in the membrane attributes are given in Tables 4a, b and c. The changes are given as per cent deviation from figures obtained for fresh material regarding strength, elongation, demension, weight and puncture resistance. Degree Celcius is used for folding at low temperature. For visual inspection, the code as given in Table 3 was used.

Table 3.
Codes for visual changes in membrane after aging

Code Nos.	Appearance of membrane surface
1	No significant change
2	Slightly dull surface
3	Slightly dull surface, droplet marks
4	Dull surface, seems greasy
5	Slightly yellow
6	Marked yellow, spotted
7	Dull surface, black stain on finger when touched
8	Dull surface, spotted brown

In Table 5 is given a summary of all the changes recorded.

+ indicates increase in figures after aging

- indicates decrease in figures after aging

± indicates that the figures alternate between increase and decrease.

0 means no significant change registered.

In the case of folding at low temperature, an increase in temperature means that the membrane cracks at a higher temperature after aging.

Discussion of results

• Tensile strength

It is difficult to find any reliable trend. For homogeneous PVC there is an increase for method I as expected, due to the UV light, while for method II and III there is a decrease.

Table 2.
Membranes tested

Type of membrane	Name	Thick-ness mm	Method of ageing				
			I	II	III	IV	
PVC	Homogeneous	Trocals	x			x	
		Icopal H		x	x	x	
		Product X	x	x	x	x	
	Core of fibre glass	Icopal G	1.2		x	x	x
		Sarnafil G	1.2		x	x	x
		Product Y	1.2	x	x	x	x
	Core of polyester fabric	Alkorplan (35076)	1.2	x			x
		Rhenofol CV	1.2	x			x
		Sarnafil SE	1.2	x			x
		Delifol P	1.2		x	x	x
	Product Z	1.2	x	x	x	x	
	PEC	Core of polyester fabric	Alkorflex (35096)	1.2	x		
PIB	Polyester felt on underside	Rhepanol fk	1.5	x			
ECB	Polyester fibres on underside	Carbofol C 2 K	2.0	x			x
IIR	Homogeneous	Värnamo Butyl	1.5	x			x
		" " NF	1.5	x			x
EPDM	Homogeneous	Värnamo EPDM	1.0	x			x

Table 4 a.
Changes in membrane after aging

Type of membrane	Tensile strength (% change)						Elongation at break (% change)						
	I		II		III		I		II		III		
	l	t	l	t	l	t	l	t	l	t	l	t	
PVC	Homogeneous	+ 15	+ 4	- 11	- 8	- 6	- 7	+ 7	- 4	- 10	+ 5	- 6	+ 1
		+ 1	+ 3	0	+ 1	- 2	- 2	- 2	- 3	- 3	- 5	- 4	- 8
	Core of fibre glass			- 6	- 8	- 4	- 4			- 10	- 14	- 18	- 17
		+ 11	+ 8	- 2	0	+ 2	- 4	- 7	- 3	- 5	- 3	+ 2	+ 6
	Core of polyester fabric	+ 2	- 8					- 2	- 15				
		- 11	+ 23					+ 8	+ 15				
		- 17	- 16	0	- 10	+ 5	- 8	- 1	+ 4	+ 11	- 14	+ 11	- 5
		+ 3	+ 8	- 12	- 5	- 13	- 4	+ 22	+ 13	+ 19	+ 17	+ 13	+ 7
PEC	Core of polyester fabric	- 5	+ 9					- 19	- 5				
PIB	Polyester felt on underside	+ 1	- 10					- 13	- 14				
ECB	Polyester fibres on underside	- 8	- 14					- 56	- 45				
IIR EPDM	Homogeneous							- 4	- 3				
								- 9	- 11				
								- 5	- 17				

Table 4 b.
Changes in membrane after aging

Type of membrane	Dimension (% change)								Weight (% change)				
	I		II		III		IV		I	II	III		
	l	t	l	t	l	t	l	t			After test	After cond.	
PVC	Homogeneous									- 3.7			
											- 0.2	+ 3.7	- 0.9
	Core of fibre glass	- 4.5	- 2.9	- 2.9	- 2.2	- 1.6	- 0.5	- 1.3	- 0.3	- 6.9	- 4.0	+ 4.0	- 1.3
										- 6.5	- 3.3	+ 6.6	- 1.5
	Core of polyester fabric												
		- 0.1	- 0.1							- 0.1	- 0.1	- 3.7	
		- 0.3	- 0.1							- 0.1	- 0.1	- 4.2	
		- 0.4	- 0.2							- 0.2	- 0.1	- 3.6	
				- 0.9	- 0.1	- 1.7	- 0.1	- 0.5	0.0				
		- 0.8	- 0.1	- 1.2	- 0.0	- 2.2	- 0.1	- 0.6		- 3.8	- 1.7	+ 4.5	- 0.4
PEC	Core of polyester fabric	- 0.2	- 0.1							- 0.1	0.0	- 1.2	
PIB	Polyester felt on underside	- 2.8	- 2.1										
ECB	Polyester fibres on underside	- 2.1	- 0.3							- 2.2	+ 0.3	- 0.5	
IIR EPDM	Homogenous												
		- 0.6	- 0.4							- 0.2		- 0.8	
		- 0.5	- 0.5							- 0.2		- 1.7	
		- 0.4	- 0.6							- 0.2		- 1.8	

Table 4 c.
Changes in membrane after aging

Type of membrane	Puncture resistance (% change)						Folding at low temp. (°C change)			Visual inspection (Code Table 3)			
	Cone			Chisel			I	II	III	I	II	III	
	I	II	III	I	II	III							
PVC	Homogeneous	+ 142	+ 4 + 21	+ 4 + 4	+ 51	- 1 + 17	- 1 + 1	0 + 5	0 0	0 0	6 3	1 1	1 1
	Core of fibre glass	+ 4	0 + 20 - 20	+ 6 + 27 - 20	+ 12	0 + 24 - 5	+ 3 + 39 - 4		0 0 0	0 0 0		2 1 1	1 1 1
	Core of polyester fabric	+ 79 + 15 + 52 + 47	0 + 13	- 24 0	+ 5 + 5	+ 19 + 2 + 2 + 4 + 1	+ 5 + 6		0 0 0 + 15	0 0 0 + 5		3 1 5 2	2 2
PEC	Core of polyester fabric	+ 13			- 7				0		3		
PIB	Polyester felt on underside	+ 11			- 15				0		2		
ECB	Polyester fibres on underside					- 15				0		7	
IIR EPDM	Homogeneous	- 3 - 7 - 8			+ 3 + 10 + 11				0 0 0		8 2 2		

Table 5.
Summary of changes after aging

Type of membrane	Aging methode	Tensile strength	Elongation at break	Dimensions	Weight		Puncture resistance		Folding at low temp.	
					After test	After conditioning	Cone	Chisel		
PVC	Homogeneous	I	+	-	-	-	-	+	+	+
		II	-	-	-	-	-	+	+	0
		III	-	-	-	+	-	+	±	0
	Core of fibre glass	I	+	-	0	-	-	+	+	+
		II	±	-	0	-	-	±	±	+
		III	±	±	0	+	-	±	±	+
	Core of polyester fabric	I	±	±	-	-	-	+	+	+
		II	-	±	-	-	-	+	+	0
		III	±	±	-	+	-	-	+	+
PEC	Core of polyester fabr.	I	±	-	-	-	+	-	0	
PIB	Polyester felt on underside	I	±	-	-	-	+	-	0	
ECB	Polyester fibres on underside	I	-	-	-	-	-	0		
IIR EPDM	Homogeneous	I	-	-	-	-	-	+	0	

The results of membranes with strong core materials vary. Homogeneous membranes or membranes with relatively weak reinforcement may use tensile strength as an indication of aging.

- Elongation at break

In most cases there is a decrease in the elongation. But again, when the elongation is related to a strong core material, the results are variable.

- Dimensions

With the exception of membranes with core of fibre glass, all the others have shrinkage after aging. Thermal stability test may, however, show an expansion in the cross machine direction if there is shortening in the machine direction.

- Weight

All membranes have a loss of mass after aging. There is a pick up of water with method III, but after drying out, there is reduced weight. Aging according to method I always gives the greatest loss of weight.

- Puncture resistance

There is no clear and overall simple conclusion for the puncture test as an indicator for aging. But there is ± only for membranes with core of fibre glass and methods II and III.

All PVC membranes tested with method I have increased puncture resistance with cone and chisel.

ECB have reduced resistance against chisel. The elastomers have reduced resistance against cone and increased resistance against chisel while in the case of PIB it is opposite.

- Folding at low temperature

Only the products x, y and z cracked at higher temperatures after aging. These products are manufactured today with new formulas.

We have found that folding at low temperature is a good indicator on the aging stability of the composition in the membrane material.

Field survey

The survey was carried out in the summer of 1983. Forty roofs from all regions of Norway and some from mid Sweden were inspected. From the project report (2) the following points can be noted.

- Uneven membrane was more common than expected.
- Sharp exposed folds had cracked on two roofs with IIR 7 and nine years old.
- Large shrinkage was observed in homogeneous PVC membranes on several roofs.
- Gravel ballasted roofs had very often areas with exposed membrane.

- Pieces of glass from broken bottles were very often found on low rise gravel ballasted roofs.

- The stem of the mechanical fixing device had a tendency to puncture the membrane if the insulation was too soft.

Design recommendation

It would be outside the scope of this report to give all the details of our recommendation given in (1). But here are some of the points of more general interest.

- Membranes under gravel must have good weather resistance because exposed areas are very often found in practice.
- Folds in the membranes are potentially weak points and thus bad practice.
- Membranes must be fixed at parapets and penetrations if the shrinkage is greater than 0,5 % tested for thermal stability or greater than 1,0 % when tested with 48 weeks according to NBI 83/83.

Loose-laid mechanically spot fixed membrane systems should be secured against wind loads on the following premises:

- Wind load requirements must be met. The vacuum effect can be taken into account during reroofing where there is an airtight existing roofing. The minimum capacity of any system should not be less than 1000 Pa.
- The more weather independent installation, the better.
- Even (smooth) membrane without folds and ridges are preferable and required if the fresh membrane does not pass folding at - 30 °C.
- Bulging up or fluttering of the membrane under windloads must be limited.

References

- (1) PAULSEN, E. M., BREDER, K. TPF informer No. 4. "Polymeric roofing sheets". NBI 1984.
- (2) ISAKSEN, T., JUUL, H., PAULSEN, E. M. Roofs with polymeric sheet membrane. Project report from field survey (07032), NBI 1984.
- (3) BREDER, K., GJELSVIK, T., PAULSEN, E. M. Accelerated and natural weathering of single layer PVC roofing materials. Third international conference on the durability of building materials and components, ESPOO, Finland 1984.
- (4) GJELSVIK, T., PAULSEN, E. M. PVC roofing membranes. Report No. 20. NBI 1978.

 Ældning af isolering til flade tage

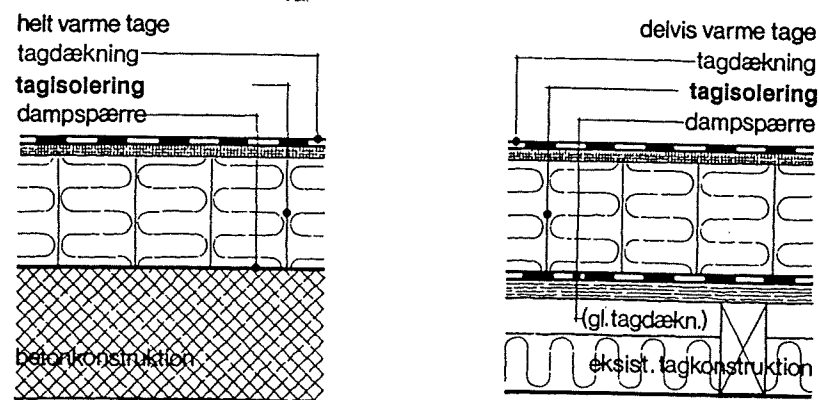
Civilingeniør Tommy Bunch-Nielsen, Bygge- og Miljøteknik a/s, Birkehavvej 3, DK-3460 Birkerød

1. Indledning

1.1 Retvendte tage

I Danmark forankres udvendig tagisolering på flade tage ofte ved klæbning, og tagdækningens fastholdelse er i de fleste tilfælde også baseret på klæbning til isoleringen.

Det betyder, at der må stilles krav til tagisoleringens delamineringsstyrke og til bestandigheden over for bl.a. fugtpåvirkninger.



Figur 1: Typisk opbygning af varme tagkonstruktioner

Statens Byggeforskningsinstitut, Tagpapbranchens Oplysningsråd og isoleeringsproducenterne har i en årrække arbejdet på at opstille vejledende krav til tagisolering som underlag for tagpap.

Projektet er baseret på en rekommendation fra UEAtc M.O.A.T. No. 28, 1983: "General Directive for the Assessment of Roof Insulation for Flat and Sloping Roofs", som ønskes tilpasset danske forhold.

Et af de vigtigste krav gælder delamineringsstyrken efter fugtældning. I den til kravet hørende prøvningsmetode foreslås i Danmark anvendt en accelereret ældning i et fugtkammer ved 70°C og 100% RF i 7 døgn.

Dette giver en ældning, der nedsætter delamineringsstyrken markant for bl.a. mineraluld, som er det hyppigst anvendte tagisoleringsmateriale i Danmark.

For at få belyst, om den anvendte ældning er relevant, blev der som led i arbejdet med at opstille krav til tagisoleringen udført en tilstandsundersøgelse af 21 tage, der har ligget i 3-5 år. Resultatet af undersøgelsen er refereret nedenfor.

1.2 Omvendte tage

Det omvendte tag har haft en meget beskeden udbredelse i Danmark, og anvendelsen har hovedsagelig været baseret på norske og svenske erfaringer.

På Statens Byggeforskningsinstitut er der over en periode på 4 år målt varmeisoleringssevnen på 4 typer omvendte tage. Resultaterne af disse målinger viser, at det omvendte tag fungerer godt også under danske klimaforhold.

Dow Chemical A/S, der har leveret ekstruderet polystyrén til det danske marked i mange år, har for at få en vurdering af Roofmate's langtidsegenskaber ladet Bygge- og Miljøteknik a/s gennemføre en tilstandsundersøgelse af 11 omvendte tage i Danmark. Resultatet af disse undersøgelser er ligeledes beskrevet nedenfor.

2. Tilstandsundersøgelse af 21 retvendte, varme tage

2.1 Undersøgelsen

Kriteriet for valg af tage har været, at underlaget for tagpapdækningen skulle være et isoleringsprodukt, som nu anerkendes som underlag i Danmark, d.v.s.

- Mineraluld A-tagplader
- Mineraluld Lameltagplader
- PIR

De udvalgte tage er 2-5 år gamle men er i øvrigt tilfældigt udvalgt.

På hvert af de udvalgte tage er der udtaget 2-3 prøver af hele isoleeringsopbygningen i dimension 600 x 600 mm. Samtidig med prøveudtagningen blev der målt relativ fugtighed i isoleringen.

Prøverne, emballeret i lukkede plastposer, er bragt til laboratoriet til bestemmelse af fugtindhold og delamineringsstyrke.

Fugtindholdet er bestemt ved tørre/veje-metoden, og samtidig er isoleringens densitet bestemt.

Delamineringsstyrken er bestemt efter DIN 18.165 på 180 x 180 mm prøver renskåret af de 600 x 600 mm udtagne prøvelegemer.

I forbindelse med prøveudtagningen er der gennemført en generel tilstandsundersøgelse af tagene for at få et indtryk af de betingelser, hvorunder isoleringen har befundet sig.

2.2 Resultater

De målte fugtindhold i isoleringen fremgår af tabel 1:

Materiale	Densitet	Fugtindhold	Fugtindhold	Relativ
Antal objekter	kg/m ³	Vægt%	Vol%	Fugtighed%
Mineraluld A-tagplade	123-170	0,0-0,9	0,00-0,126	45-100
8	142	0,30	0,046	76
Mineraluld Lameltagplade	53-107	0,1-39,1	0,006-2,08	86-100
5	70 1)	4,12 2)	0,250 2)	85
PIR	22,2-35,6	0,6-46,2	0,018-1,46	40-98
8	30,3	4,0	0,120	62

Tabel 1. Fugtindhold i tagisolering. Alle værdier angivet som interval øverst og middelværdi nederst.

Noter: 1) Rockwool og Glasuld Lameltagplader er slået sammen i een gruppe, selv om der er forskelle i densitet. Den angivne densitet er en gennemsnitsværdi for lameller og trykfordelende overplade.

2) Der er kun tre værdier over henholdsvis 1 vægt% og 0,1 vol%.

3) Der er kun een værdi over henholdsvis 4 vægt% og 0,15 vol%.

De målte delamineringsstyrker fremgår af tabel 2:

Materiale	Tykkelse mm	Delamineringsstyrke kN/m ²
Rockwool A-tagplade	45	1,2 - 10,4
Rockwool og Glasuld Lameltagplade	120-197	2,3 - 20,4 11,9
PIR	65	14,4 - 201 62,8

Tabel 2: Delamineringsstyrker på udtagne isoleringsprøver

2.3 Vurdering

Det må konstateres, at der overalt er fugt til stede i tagisoleringen. Fugten vil vandre op og ned gennem isoleringen, afhængig af udeklimaet, og da fugten normalt er lukket inde mellem to tætte membraner -dampspærren og tagdækningen - vil den forblive i tagisoleringen.

I et normalt tag er der således typisk 50 g/m², hvilket er tilstrækkeligt til, at luften i isoleringen ved normale temperaturer og tykkelser kan være mættet med fugt.

Tagisoleringen udsættes således for en fugt- og temperaturældning, som det er nødvendigt at tage hensyn til ved vurdering af isoleringens langtidsegenskaber.

Når tagdækningens forankring til tagisoleringen er baseret på klæbning, er det væsentligt, at isoleringen er bestandig overfor fugt og bevarer en vis delamineringsstyrke.

De maksimale vindsug på et fladt tag er normalt mindre end 3-4 kN/m². På enkelte af de udtagne prøver er der konstateret delamineringsstyrker på under 3 kN/m², og der er risiko for afblæsning, hvis svækkelsen dækker større arealer.

Det er vanskeligt at konstatere, om den nedsatte delamineringsstyrke alene skyldes fugt. Da der på nogle tage også kan konstateres bløde punkter, hvor trædefastheden er utilstrækkelig, må det antages, at mekaniske påvirkninger under udlægning af taget og den senere brug har været medvirkende til at nedsætte delamineringsstyrken.

Sammenfattende må det konkluderes, at en accelereret fugtældning ved 70°C og 100%RF i 7 døgn ser ud til at være en relevant prøvningsmetode for tagisolering som underlag for klæbet tagdækning.

Endvidere bør det pointeres, at det er vigtigt at beskytte isoleringen mod mekanisk overlast under udlægning og ved senere gangtrafik.

3. Tilstandsundersøgelse af 11 omvendte tage

3.1 Undersøgelsen

De 11 omvendte tage er alle isoleret med ekstruderet polystyrén af fabrikat Roofmate fra Dow Chemical, som har ladet Bygge- og Miljøteknik a/s udføre tilstandsundersøgelsen. Tagene er udført i perioden 1974-84 og deler sig i to grupper:

1: Omvendte tage med singels (5 stk)

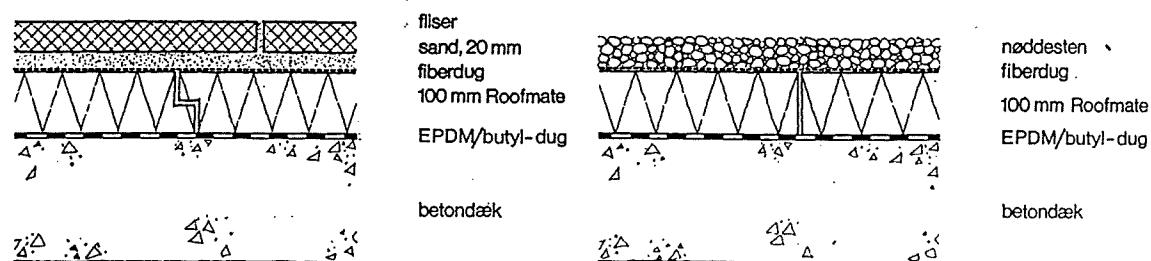
2: Omvendte tage med fliser (6 stk)

På hvert af de undersøgte tage er der udtaget 2 prøver af isoleringen, og fugtindholdet er blevet bestemt på Laboratoriet for Varmeisolering på Dan-

marks tekniske Højskole. De to prøver er udtaget ved henholdsvis et tag-nedløb og et højdepunkt på taget.

I forbindelse med udtagning af isoleringsprøver er der udført en generel tilstandsundersøgelse af de omvendte tage.

Den typiske opbygning af de to grupper af omvendte tage fremgår af figur 2:



Figur 2. Omvendte tage med henholdsvis singels og fliser.

I en del af tagene med fliser har disse været udlagt i sand, i andre tilfælde direkte på fiberdugen.

3.2 Resultaterne

Fugtindholdet i isoleringen i tage med singels fremgår af nedenstående tabel 3:

Objekt nr.	Opført år	Afdækning	Fugtindhold vol%
1	1974	singels + fiberdug	0,0 - 0,2
2	1974	singels + fiberdug	0,3 - 0,5
3	1975	singels + fiberdug	0,0 - 0,2
4	1978	singels + fiberdug	0,2 - 0,5
5	1984	singels + fiberdug	0,5 - 1,1

Fugtindhold i isolering i tage med fliser:

Objekt nr.	Opført år	Afdækning	Fugtindhold vol%
6	1975	fliser fiberdug	0,5 - 3,5
7	1976	fliser fiberdug	3,8 - 5,2
8	1978	fliser, sand fiberdug	4,5 - 6,4
9	1978	fliser fiberdug	1,7 - 4,5
10	1978	fliser fiberdug	0,9 - 2,5
11	1981	fliser, sand fiberdug	0,8 - 5,1

For objekt nr. 5 og objekt nr. 8, hvor de højeste fugtindhold måles, er der tale om meget dårlige afvandingsforhold, idet der står 2-4 cm permanent vand omkring isoleringen.

3.3 Vurdering

Resultaterne af undersøgelsen bekræfter tilsvarende norske og svenske undersøgelser.

Fugtindholdet i isoleringen er helt afhængig af isoleringens udtørningsforhold. For tage med åben ballast ligger fugtindholdet generelt under 1 vol%. For tage med tæt ballast når fugtindholdet op på ca. 5 vol%.

Der kan ikke registreres forøgede fugtindhold med større alder, men til gengæld er afvandingsforholdene af stor betydning. På de dårligt afvandede steder ses en klar tendens til forøget fugtindhold.

Sammenfattende må det konkluderes, at isoleringens fugtindhold primært er bestemt af tagets udformning, d.v.s. udtørningsmulighederne og afvandingen.

Ovenstående gælder kun for en ekstruderet polystyrén af fabrikat Roofmate med en rumvægt på ca. 32 kg/m³. Hvordan andre ekstruderede polystyréncelleplader med andre cellestrukturer og eventuelt mindre rumvægt opfører sig på langt sigt, kan ikke vurderes ud fra denne undersøgelse.

Durability of Roofing Fasteners for Mechanically Attached Bituminous or Polymeric Membranes

by Einar M. Paulsen

Norwegian Building Research Institute (NBI) Trondheim, Norway

INTRODUCTION

Mechanical attachment of roof membranes has been in use for many years and is best known from bituminous felts nailed to wooden decks.

Because of the many examples of roofing material being blown off steel roofs, and problems connected with asphalt bonding on to polystyrene in the middle of the '70's, mechanical fasteners began to be employed much more frequently. In 1980, the Norwegian Roofing Research Group (TPF) completed a project concerned with testing and evaluation of fastening systems.

In 1985, TPF resumed its work on mechanical fasteners with new series of laboratory tests and field surveys of existing buildings. Manufacturers of roofing materials, roofing systems and fastening devices were invited to participate in the project. A total of 22 companies accepted the invitation and were recorded as participants in the project.

They entered the following number of "products" in the form of membranes and fastening systems:

- 25 membrane systems using bituminous felts or polymeric sheets
- 14 systems for fastening to steel plates
- 13 systems for fastening to concrete
- 7 systems for fastening to aerated concrete
- 5 systems for fastening to lightweight aggregate concrete
- 10 stress distribution plates.

The results are described in details in Project Report 21 of the Norwegian Building Research Institute. The main results are summarized in this paper.

ROOFS INVESTIGATED

The roofs investigated were selected from ca. 290 references provided by the participants.

A very large number of variants of membranes and fasteners were offered. As limited finance was available there had to be a fairly severe reduction of objects for investigation during the selection process. An attempt was made to achieve a balance based on the following criteria:

Geographical distribution:

- Eastern Norway (Oslo region)
- Western Norway (Bergen, Stavanger)

Central Norway (Trondheim)
Northern Norway (Narvik, Bardu)

Type of membrane

Bituminous felt
Polymeric sheets

Deck

In situ cast concrete
Concrete elements
Aerated concrete
Steel plate

Fastener

At least one of each type

The investigation comprised 48 roofs, distributed as follows:

Geographical

16 roofs from Eastern Norway (E 1 -16)
10 roofs from Central Norway (T 1 -10)
14 roofs from Western Norway (W 1 -14)
8 roofs from Northern Norway (N 1 -8)

Supporting deck

10 roofs made of concrete elements
9 roofs made of in situ cast concrete
3 roofs made of aerated concrete
1 roof made of wood
25 roofs made of steel

Membranes

25 roofs of polymeric sheets
23 roofs of bituminous felt

Fasteners used for concrete

5 roofs using Pin-Plug (diam. 8 mm)
4 roofs using Hardo WD (diam. 8 mm)
4 roofs using KV system (diam. 6 mm)
3 roofs using Bifit (diam. 5,5 mm)
2 roofs using Teleskop (diam. 6 mm)
1 roof using Mungo concrete nails (diam. 8 mm)
1 roof using SK Tuote (diam. 8 mm)

Fasteners for aerated concrete

2 roofs using Loden anchors
1 roof using Teleskop (diam. 15 mm)

Fasteners for steel decks

13 roofs using Insuscrew self-drilling screws
3 roofs using SFS-IsFAST self-drilling screws
2 roofs using Knipping self-drilling screws
1 roof using JVC self-drilling screws
1 roof using M-screw self-drilling screws
1 roof using Mustad self-drilling screws
2 roofs using Hardo Al expansion bolts (diam. 8 mm)

METHODS OF INVESTIGATION

The investigation took place as follows:

- 1) NBI selected test roofs from the reference roofs provided.
- 2) Those responsible for carrying out the roofing job took part in the inspection to provide information about materials and the construction, and to repair the roofing after holes had been made.
- 3) Visual inspection and photographing of the roof.
- 4) The membrane was opened at the fastener, inspection took place and a pullout shoe was fitted.
- 5) The fastener was pulled out using NBI Plug-Jack.
- 6) All fasteners were photographed.
- 7) The corrosion protection was determined and the thickness of coating on the fastener was measured at the SINTEF Corrosion Laboratory.

RESULTS

A separate report was written for each roof inspected, and this was sent to the roofing contractor responsible.

Information from these reports has been compiled.

In Tables 1 - 6 the following abbreviations have been used for the various columns.

Roof number

E = Eastern Norway (Oslo region)
W = Western Norway (Bergen, Stavanger)
T = Central Norway (Trondheim)
N = Northern Norway (Narvik, Bardu)

Use of building

Age in years from instalment to inspection

Vapour barrier

PE = Polyethylene film usually 0,2 mm thick
BF = Bituminous felt
EX = Existing membrane in cases of re-roofing

Insulation

EPS = Expanded polystyrene
MW = Mineral wool
150 = Thickness in mm
D = Dry insulation
M = Moisture in insulation recorded

Roof membrane

PVC = Single-ply polyvinyl chloride
CPE = Single-ply chlorinated polyethylene
ECB = Single-ply ethylene copolymer bitumen
APP = Single-ply APP polymer modified bitumen
SBS* = Single-ply SBS modified bitumen
OX = Two-ply oxidised bitumen
SBS = Two-ply SBS polymer modified bitumen
G = Membrane in good condition
F = Uneven surface with folds
X = Uneven surface with wrinkles
P = Ponding water
S = Slack in membrane at parapets

Stress plate, screw or bolt

D = Dry at time of inspection
L = Liquid water on top of fastener or underside of membrane
R = Red rust (2 R = Two out of five fasteners had red rust)
WR = White rust records incomplete; white rust is usually present on fasteners that have red rust)
O = No visible rust
Zn = Zinc
EIZn = Electro zinc plating
+k = Chromatising on top of EIZn
AlZn = Aluzinc plating
Al = Aluminium
SS = Stainless steel
Bit = Stress plate embedded in bitumen
 μm = Thickness of coating in micrometers = 10^{-6} m = 1/1000 mm

The thickness of coating on screws and bolts proved difficult to measure exactly, but in most cases it was found to be 10 - 15 μm .

Table 1. Fasteners in concrete elements

Roof No.	Use of building	Age yrs	Vapour barrier	Insulation		Roof membrane		Stress plate				Screw or bolt	
				Type and thickness	H ₂ O	Cond	Type	H ₂ O	Rust	Protection	μm	Rust	Protection
E3	Shop	1		120 EPS + 30 MW	D	G	PVC	D	0	Plastic		0	SS
E4	Store	3	PE	100 EPS	D	F	PVC	D	0	Plastic		WR	EIZn
E7	Office/school	0			D	F	PVC	D	0	Zn + plastic	450/30	WR	EIZn
W5	Industry	1	BF	100 EPS	D	G	PVC	L	0	Plastic		WR	EIZn
E1	Gymnasium	3		150 MW	D	G	SBS	D	0	Plastic		4R	EIZn
W7	Shop	1	BF	160 EPS	D	G	SBS	D	0	Plastic		0	SS
W8	Shop	5			D	G	OX	D	0	Bit		1R	EIZn
W11	Office	2		100 EPS	D	G	SBS	D	0	Plastic		5R	EIZn
T1	Shop	3		EPS	M	G	SBS	L	0	Plastic		0	Plastic R EIZn
T4	Garage	2		MW	D	G	OX	L	0	Bit		4R	EIZn

Table 2. Fasteners in in situ cast concrete deck

Roof No.	Use of building	Age yrs	Vapour barrier	Insulation		Roof membrane		Stress plate				Screw or bolt	
				Type and thickness	H ₂ O	Cond	Type	H ₂ O	Rust	Protection	μm	Rust	Protection
T2	School	4		EPS	M	G	SBS	D	0	Plastic		0	Plastic 1R EIZn
T9	Cold store	5		Inside	D	G	SBS	D	0	Plastic		0	Plastic EIZn
W13	Industry	1	Ex	+ 100 EPS	M	G	APP	L	0	Zn	20	0	Plastic EIZn
T5	Housing	2	Ex	+ EPS	D	G	OX	L	0	Bit		5R	EIZn
T10	Industry	3	Ex	+ EPS	M	G	APP	L	2R	Zn	ca.20	2R	EIZn
E15	Housing	2	Ex	+ EPS	D	G	OX	D	0	Bit		1WR	EIZn
N8	Shop	1	Ex	+ 100 EPS	M	G	PVC	L	0	Plastic		1WR	EIZn
W2	Shop	3		100 EPS	M	S	PVC	L	0	Plastic		1R	EIZn
E11	Office	2			D	F	CPE	D	0	Plastic		0	Plastic EIZn

Table 3. Fasteners for aerated concrete and wood

Roof No.	Use of building	Age yrs	Vapour barrier	Insulation		Roof membrane		Stress plate				Screw or bolt	
				Type and thickness	H ₂ O	Cond	Type	H ₂ O	Rust	Protection	μm	Rust	Protection
Aerated concrete													
E14	Warehouse	1			D	G	OX	D	0	Bit		0	EIZn
E5	Office	5			D	F	PVC	D	0	AlZn AlZn+laquer	30 70/30	4R	EIZn
N5	Garage	0		+ 50 EPS	D	G	PVC	D	0	Plastic		0	Plastic
Wood													
W14	Industry	1	Ex	+ 50 MW	D	G	APP	D	0	Zn	20	0	EIZn

Table 4. Fasteners in steel decks without vapour barrier

Roof No.	Use of building	Age yrs	Vapour barrier	Insulation		Roof membrane		Stress plate				Screw or bolt	
				Type and thickness	H ₂ O	Cond	Type	H ₂ O	Rust	Protection	μm	Rust	Protection
E6	Warehouse	4		150 MW	D	F	PVC	D	0	AlZn AlZn+laquer	17/35 40-60	0	EIZn + k
E8	Water treatment plant	1		150 MW	D	F	PVC	D	0	Zn+plastic	450/30	0	EIZn + k
W1	Restaurant	2		160 MW	D	G	PVC	D	2WR	Zn	25	0	EIZn + k
W3	Restaurant	4		100 EPS	D	G	PVC	D	1WR	Zn	25	0	EIZn + k
E9	Slaughter house	6		100 MW	D	G	OX	D	0	Bit		0	EIZn + k
W9	School			100 MW	D	G	OX	D	0	Bit		0	EIZn + k
W10	Shop	6		100 EPS	D	G	OX	L	1R 4-0	Zn Bit	25	0	EIZn + k
T3	Shop	7		EPS	D	G	SBS	D	0	Al		0	Al
T6	Warehouse	0		100 EPS	D	G	SBS	D	0	Bit		0	EIZn + k

Table 5.
Fasteners in steel decks with vapour barrier (0.2 mm PE)

Roof No.	Use of building	Age yrs	Vapour barrier	Insulation		Roof membrane		Stress plate				Screw or bolt	
				Type and thickness	H ₂ O	Cond	Type	H ₂ O	Rust	Protection	μ m	Rust	Protection
E2	Office	2	PE	200 MW	D	G	PVC	D	5R	Zn + k	2	2R	EIZn + k
E13	Industry	2	PE	100 MW	M	P	PVC	L	1WR 4-0	AlZn Coating	20 30/40	5R	EIZn + k
N1	Gymnasium	7	PE	100 MW	M	G	PVC	L	3R	Zn	20	5R	EIZn
N2	Gymnasium	9	PE	60 EPS	D	G	PVC	D	3R	Zn + k	2	3R	EIZn + k
N3	Garage	8	PE	100 MW	D	S	PVC	D	0	Al		0	Al
N4	Shop	6	PE	100 MW	M	G	PVC	D	5R	Zn	30	5R	EIZn
N6	Conference hall	10	PE	100 EPS	D	S	PVC	D	5R	Zn + k	2	2R	EIZn + k
N7	Swimming hall	6	PE	100 MW	M	F	PVC	L	4WR	Zn	20	3R	EIZn
W4	Swimming hall	2	PE	200 MW	D	G	PVC	D	0	Zn	12/25	1R	EIZn + k

Table 6.
Fasteners in steel decks after reroofing on existing bituminous felt

Roof No.	Use of building	Age yrs	Vapour barrier	Insulation		Roof membrane		Stress plate				Screw or bolt	
				Type and thickness	H ₂ O	Cond	Type	H ₂ O	Rust	Protection	μ m	Rust	Protection
E10	Shop	4	BF	+ 50 EPS	D	G	ECB	D	0	Zn	20	0	EIZn + k
E12	Garage	2	"	+ 50 MW	M	F	CPE	L	1R	Zn	20	5R	EIZn + k
E16	Industry	4	"	+ EPS	D	F	PVC	D		Zn	20		EIZn + k
W6	Shop	1	"	+ 50 EPS	D	G	SBS	D	0	Bit		1R	EIZn + k
W12	School	2	"	+ Tapered EPS	D	G	SBS	D	0	Al		0	Al
T7	School	5	"	50 EPS + 50 RW	D	G	SBS	D	0	Bit		0	EIZn + k
T8	Industry	5	"	EPS + EPS	D	G	SBS	D	0	Bit		0	EIZn + k

SUMMARY AND RECOMMENDATIONS

General conclusions

On the whole, the membranes are good and fulfil their function today, and no serious defects have been recorded.

The study has shown that there are a great many variants of fasteners and fastening systems in use. When these are combined with different types of decks and membranes it becomes difficult to maintain perspective. Small changes in the installation and use of the fastening assembly can determine whether the result will be good or bad. A fastener that has good pullout values under given conditions can, when every aspect is considered, be unsatisfactory for use.

Because of the many variants, there is a clear need for a coordinated plan for substantiating the usefulness and dimensional capacities of the fasteners under the various combinations of membrane attachment and types of decks.

The concept of NBI Design Certificate is suitable for this purpose.

In the case of some fasteners the number of roofs investigated is too small to give reliable information.

Test programmes, including an aging test, for fasteners made of plastics should be developed.

Many cases of corrosion on metallic fasteners were found, sometimes on new roofs.

Corrosion protection of metallic fasteners and components must be improved where there is a risk for prolonged periods of damp from condensation, alone or in combination with corrosion-promoting substances.

Testing of protective coatings

Corrosion protection is tested by a DIN 50018 Kesternich apparatus using 2.0 l SO₂ according to procedure described in Factory Mutual Standard 4470 where maximum 15 % of the surface may be attacked by red rust when the sample is subjected to the stated number of cycles.

The temperature stability of organic coatings is tested for 300 hours at 90°C and 100 % RH and the coatings should not peel off or show any blistering.

Categorising corrosion risk

The risk of corrosion on metallic fasteners may be grouped into three categories:

Category K Moisture caused by condensation may occur on the underside of the membrane only for short periods. Good opportunities for drying out to room climate.

Examples:

- steel deck roof without vapour barrier
- stress plate on fastener covered or embedded in bitumen.

Category KL A great risk for moisture coming to lie on the fastener for long periods, the moisture being caused by high relative humidity in the air between the roof membrane and an impermeable substratum. Poor opportunities for drying out.

Examples:

- steel deck roof with vapour barrier
- concrete deck roof
- re-roofing
- stress plate on fastener exposed at edge of membrane.

Category KLA Like KL, but with aggressive substances in insulation or on existing membrane when re-roofing takes place.

Examples:

- corrosion promoting phenolic compounds in insulation
- re-roofing in an industrial area where corrosion-promoting pollution is present.

The required corrosion resistance for roofing fasteners is as shown in Table 7.

Table 7.
Required corrosion resistance

Category	Roof constructions	Required minimum corrosion protection stated in Kesternich cycles	Types of coating and materials of interest for mechanical fasteners		
			Stem	Stress plate	
				Covered or embedded	Exposed
K	Steel deck roof without vapour barrier	2	10-15 μm EIZn	20 μmZn	As for KL
KL	Roofs with vapour barrier Concrete deck roofs Re-roofing	8	Special coating *Stainless steel *Al Plastic	As for K	20 μmAlZn *Stainless steel *Al Plastic
KLA	As for KL, but stem of fastener exposed to aggressive substances	>15	As for KL	As for K	As for KL

* Galvanic corrosion may occur in combination with certain other materials.

Table 8.
Risk of galvanic corrosion

Category stress plates		K	KL			
			Hot-dipped galvanized (Zn)	Hot cured Zn-rich paint	AlZn	Al
K	EIZn	+				
KL	Hot cured Zn-rich paint	+	+	+	0	0
KLA	EIZn + Polymer	+	+	+	0	0
	Stainless Steel Acid resistant	+	0	0	0	+

*1: Material combinations without risk of galvanic corrosion

0: Combinations which are good, provided corrosion-promoting substances are not introduced from the indoor climate. If this is the case, the use of steel constructions should be carefully considered.

Galvanic corrosion

The risk of galvanic corrosion occurring when stressplate and screw are made of different kind of material is as expressed in Table 8.

REFERENCES

- (1) PAULSEN, Einar M.: Roofing Fasteners, Project Report No. 21, Norwegian Building Research Institute, 1987.
- (2) PAULSEN, Einar M., GASBAKK, Johan: Mechanical Fastening of Bituminous and Polymeric Roof Membranes, NBI Design Sheet A 544.206, 1987.
- (3) EGGEN, Tor Gunnar: Note on Galvanic Corrosion of Roofing Fasteners. Presented to TPF in 1987.
- (4) GULLIKSEN, T.: Testing of Roofing Fasteners in Kesternich Chamber. TPF 1987.

PLATER AV STÅL OG ALUMINIUM SOM TAKTEKNING

Siv.ing. Trond Bøhlerengen, Norges byggforskningsinstitutt (NBI),
Forskningsveien 3 B, 0371 OSLO 1.

Innledning

Plater og takpanner av stål og aluminium er mye anvendt som takteknig over hele Norge. Årsaken til den store utbredelsen er mange, men de viktigste er at de er lette, enkle å montere, de dekker relativt stor takflate pr. plate, og at de, i følge leverandørene, "varer din levetid uten vedlikehold"!

NBI's befattning med denne type plater hadde inntil 1986 bl.a. bestått i laboratorieundersøkelser av tetthet i omlegg, skadeetterforskning av lekkasjer og andre fuktproblemer i vegger og tak i bygningskonstruksjoner, samt undersøkelse av vindbevegelser i luftesjiktet nærmest takflaten på et bygg i værhardt strøk. I tillegg hadde vi på reiser i forbindelse med bl.a. skadeoppdrag rundt i hele landet observert både korrosjon og deformasjoner av plater. Inntil 1986 hadde vi ennå ingen dokumentasjon som viste hvilke typiske skader som opptrer på platetak, og hvilket omfang slike skader/svakheter har f.eks. i forhold til de vellykte takene. På denne bakgrunn søkte vi og fikk økonomisk støtte fra NTN (Norsk Teknisk Naturvitenskapelig Forskningsråd), plateprodusenter (Ahlsell Profil A/S, Dobel-Svensk Stål A/S, Gavle A/S, Korrugal A/S, Plannja A/S, Robertson Nordisk A/S) og to skruelieferandører (SFS Norway A/S og Montasjeutstyr A/S) til å gjennomføre en feltundersøkelse av tak tekket med profilerte plater av stål eller aluminium. Hensikten med feltundersøkelsen var å avdekke tilstanden til tak tekket med profilerte plater av stål og aluminium.

Feltundersøkelsen

I alt 75 tak ble sommeren og høsten 1986 undersøkt. Takene ble tilfeldig plukket ut fra referanser gitt av prosjektdeltagerne (plate- og skruerprodusentene/-leverandørene), lokale forhandlere av platematerialer, entrepenører og kontaktpersoner rundt om i fylkene.

Alderen på takene varierte fra 1 til 15 år, 55% av takene var 6 år eller yngre. Alle tak ble fotografert, konstruksjonen beskrevet og bl.a følgende forhold ble undersøkt og registrert:

- korrosjon på plater og beslag
- platetykkelser
- belegtykkelser
- falming/avskalling
- mekaniske skader/deformasjoner
- side- og endeomlegg, tetthet ble registrert
- beslag/beslagløsninger
- gjennomføringer og detaljløsninger
- festemidler; pakningers tetthet og bestandighet
- takvinkel
- doble platetak
- takpanner
- montering

Resultater fra feltundersøkelsen

Geografisk fordeling. De 75 takene fordeler seg slik:

9 stk.	fra Østlandet	(innlandet)
19 "	" Stavanger/Bergen	(kyst/værhardt)
29 "	" Møre og Trønderlag	(innland/kyst/værhardt)
18 "	" Helgeland	(kyst/værhardt)

Type takkonstruksjon/lekkasjer i taket. Vi valgte å dele takene inn i tak med/uten undertak og doble platetak. Forekomst av lekkasjer ble registrert både ved egne observasjoner og ved hjelp av opplysninger fra brukere/eierne. Tabell 1 viser forekomst av lekkasjer på de nevnte konstruksjonstyper.

Konstruksjons- type	Lekka- sje	Ikke lekka- sje	Ikke oppgitt	Sum
Doble platetak	7	3	4	14
Plater m/undertak	3	18	3	24
Plater u/undertak	16	13	6	35
Ukjent	1	0	1	2
Sum	27	34	14	75

Tabell 1
Forekomst av lekkasjer på de ulike konstruksjonstypene
(doble platetak, tak m/ og u/ undertak)

Det er verdt å merke seg at også de fleste doble platetak er tak uten undertak. Tabellen viser at det er større fare for lekkasje på tak undertak enn på tak med undertak. Merk: 50% av de doble platetakene hadde lekkasjer!

Takvinkel. Registrering av takvinkler viste at 13 av de 75 takene hadde en takvinkel $\alpha < 6^\circ$, dvs. 17 % av de undersøkte takene hadde profilerte takplater av metall på flate tak! Videre hadde 51% av takene takvinkel $\alpha < 16^\circ$.

Platenes generelle tilstand. Hvert tak ble etter en subjektiv vurdering klassifisert som bra, middels eller dårlig. Vurderingsgrunnlaget var følgende:

Bra: Tak uten lekkasjer, i alt vesentlig uten materialdefekter, mekaniske skader eller vesentlige konstruktive mangler.

Middels: Tak som stort sett fungerer tilfredsstillende til tross for én eller flere feil eller mangler.

Dårlig: Tak som har lekkasjer eller andre vesentlige feil eller mangler.

Generell tilstand	Antall	Prosent
Bra	37	49
Middels	10	13
Dårlig	28	37
Sum	75	99

Tabell 2
Takens generelle tilstand, basert på subjektiv vurdering

Korrosjon på platene. Av de 75 takene som ble undersøkt var 56 med stålplater. Av disse 56 stålplatetakene hadde hele 36 korrosjon (64.3 %). Korrosjonen opptrer som kantkorrosjon, flatekorrosjon eller begge deler:

Bare kantkorrosjon : 21 tak
Bare flatekorrosjon : 2 "
Begge typer korrosjon: 13 "
Totalt : 36 tak
=====

Korrosjonen på platene så ut til å være uavhengig av beleggtypene. Korrosjon opptrer også på undersiden av platene. Kondensvann, som opptrer på alle platetak, er aggressivt overfor sink. Kondensbelegg på stålplatenes underside (som skal hindre kondensdrypp) kan derfor være direkte korrosjonsfremmende. Flere plateprøver ble nærmere undersøkt i laboratoriet. Disse undersøkelser viste eksempler på at sinkbelegget (som er ca. 20 μm tykt) stedvis mangler totalt, at det er oppsprukket eller at det er store variasjoner i sinktykkelsen (variasjoner mellom 0-30 μm). Se forøvrig foto 1, 2 og 3.

Falming og avskalling ble også registrert. Samtlige takplater med Organosol hadde store fargeendringer som hadde oppstått allerede etter 2-3 år. Dette belegget benyttes ikke lenger på utvendige plater. Det ble også observert fargeendring på plater med Plastisol, PVF₂ og metallakk, men kun i bekjædet omfang.

Avskalling ble observert kun på et aluminiumstak. Avskalling ser ikke ut til å være noe stort problem idag.

Mekaniske skader. Bulker oppstår først og fremst på grunn av gangtrafikk og for hardt inndrevne spiker og skruer. Av de 75 takene hadde 30 bulker. Problemet gjelder både stål- og aluminiumsplater.

Huller i platene oppstår først og fremst i form av bomhull etter skruer som ikke treffer underlaget, men det ble også registrert hull etter skader påført med hammer ved montering av plater med spiker. Undersøkelsen viste at slike bomhull blir stående åpne og sjelden tettes med tetteskruer.

Sideomlegg. Det ble registrert 12 ulike sideomlegg. De fleste av disse er verken tette eller stive nok. Sideomlegg må ha samme stivhet som platen forøvrig. Svake sideomlegg stives opp med skruer eller nagler. Vår erfaring er at skruer er å foretrekke fremfor nagler. Naglene har en tendens til å slippe fra underste plate ved belastning. Enkelte platetyper har problemer med unøyaktig profilering. Dette har betydning for sideomleggenes styrke og tetthet. Mange av sideomleggene er for snaue, mens andre har en uheldig utforming. Konsekvensene er at vann lett suges inn mellom platene i omleggene med lekkasjer som resultat.

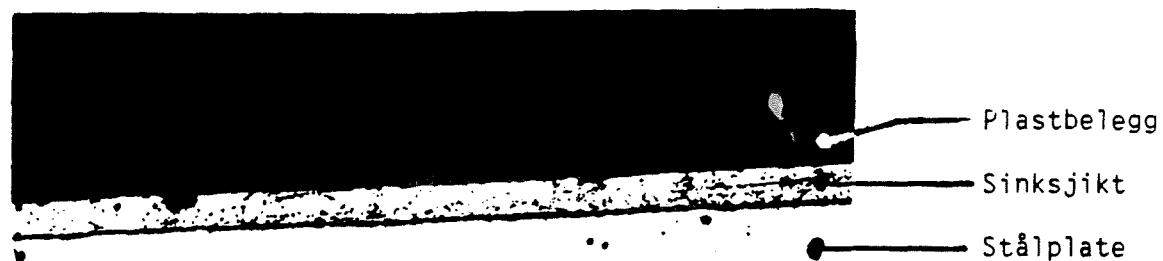


Foto 1: Snitt av en forsinket stålplate, overside. Plate fra tak over silo. Korrosjon på undersiden (foto 2), men ikke på oversiden. Sinkbelegget er intakt (200 X).

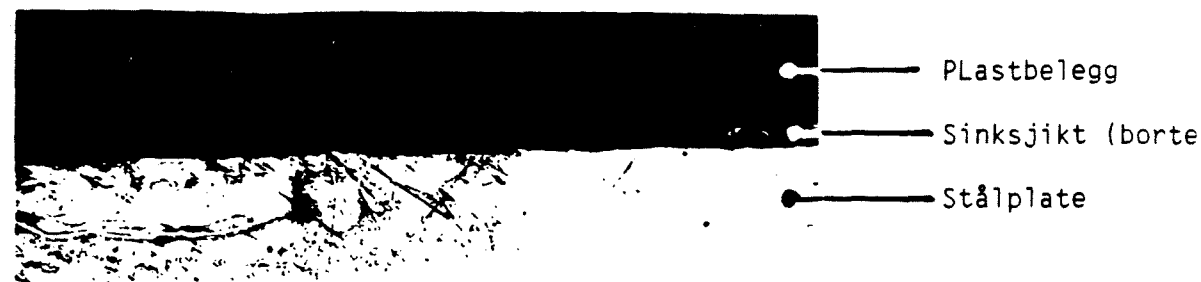


Foto 2: Samme plate som foto 1, men undersiden. Sinkbelegget er helt borte der plastbelegget fremdeles er intakt! (200 X).

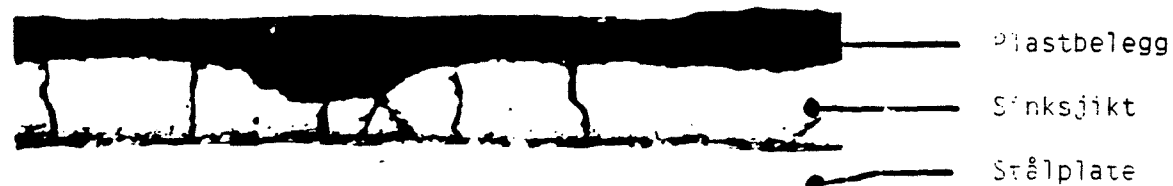


Foto 3: Prøve fra en ubrukt plastbelagt, forsinket stålplate. Sinkbelegget har sprukket opp, uavhengig av profileringen. Plastbelegget over er intakt (200 X).

Endeomlegg. Tettheten av endeomlegg er avhengig av omleggets størrelse og festemidlenes kantavstand. I praksis er det stighøyden til enden av underste plate (h_o på fig.1) og/eller til skruerull i underste plate (h_s i fig.1) som er avgjørende.

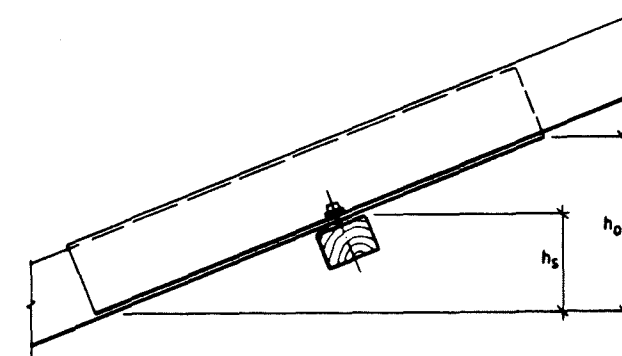


Fig. 1
Stighøyde
 h_o = stighøyde til plateende
 h_s = stighøyde til skruerull

Stighøyden til skruerull i underste plate ble målt på 45 tak. Av disse hadde 30 tak (dvs. 67%) stighøyde < 20 mm. Hele 40 tak (89%) hadde stighøyde < 50 mm. Hvor stor stighøyden bør være er idag vanskelig å si uten først å ha gjort omfattende laboratorieforsøk. Vår erfaring fra strøk med slagregn tilsier imidlertid at 50 mm sannsynligvis er for liten stighøyde til å gi et tett omlegg. Et annet viktig moment i denne sammenheng er det vannet som bindes kapillært mellom platene i endeomlegg. Undersøkelsen viste at vannet trekkes langt opp mellom platene i omleggene ved hjelp av kapillære krefter, og blir stående der i lang tid etter at "regnerperioden" er over.

Beslag og tettprofiler. Undersøkelsen viste at det idag nesten bare brukes plane beslag i møne og gavl, d.v.s. beslag med vanlige omleggsskjøter (ikke falsede). Av 75 tak hadde f.eks. 65 tak plane mønebeslag. Tettheten av disse er erfaringsmessig dårlig.

Som tetting mellom beslag og plate i møne brukes det vanligvis tetteklosser av skumplast. De fleste av de undersøkte takene hadde slike tetteprofiler, men mange hadde likevel lekkasjer ved møne. I flere tilfeller hadde tetteklossene blåst bort med vinden, andre steder hadde fugler spist dem opp eller nappet dem ut. P.g.a. temperaturbevegelser i beslagene forekom det ofte store gliper mellom beslag og tetteklosser hvor slagregn lett presses inn. Selv på tak med oppbøyede platekanter forekommer det lekkasjer ved at vannet følger profiltoppen inn under beslaget. En bedre løsning er kombinasjonen oppbøyede platekanter/tetteklosser og profilerte beslag.

Gjennomføringer. På mange tak er detaljene rundt gjennomføringer (piper, lyrer, etc.) overhode ikke løst. Lekkasjer gjennom yttertekingen er et faktum, men ofte reddes taket av et tett undertak. På doble platetak som ikke har undertak er konsekvensene av slike uløste detaljer ofte katastrofale med store lekkasjeprosblemer som følge. Prefabrikkerte detaljløsninger til gjennomføringer gir gode muligheter for tette løsninger.

Festemidler. Idag benyttes det enten skruer eller spiker til innfesting av plater og beslag. I sideomlegg er det vanlig å bruke nagler eller skruer. Spiker har lett for bevege seg opp fra underlaget p.g.a. fuktbevegelser i treverket. Dette skaper utette festepunkter. I tillegg er det lett å skade metallplatene under montering. Ved bruk av skruer plassert i profilbunnen unngår man slike problemer. I sideomleggene har det vist seg at naglene lett løsner fra underste plate ved belastning. Dette skaper svake og utette sideomlegg. Skruer er en sikrere løsning.

Korrosjon på festemidlene ble registrert på 20 tak. Spiker er mest utsatt for korrosjon (korrosjonsbeskyttelse blir skadet under montering?), men skruer og nagler var også enkelte steder angrepet.

Feilplassering av skruer ble registrert på flere tak. F.eks. var skruer plassert "på hverandre", eller for nær platesteg slik at pakningen ikke ble klemt mellom metallskive og plate. Resultatet er lekkasjepunkter.

Doble platetak. I alt 14 av takene som ble undersøkt var i prinsippet bygd opp som doble platetak. Samtlige var stålplatetak. Av disse hadde 8 tak med sikkerhet lekkasjer inne i lokalene, 3 tak hadde ikke lekkasjer. For 3 tak manglet vi opplysninger. Lekkasjene skyldes både utettheter i ytterteknique og kondens. Av de 14 doble platetakene hadde 3 tak et fall på $\alpha < 6^\circ$ (d.v.s. flate tak). Ialt 10 av de 14 hadde takvinkel på $\alpha < 15^\circ$. Lekkasjene fordelte seg jevnt på tak med forskjellige takvinkler. Lekkasjer gjennom ytterteknique skyldes først og fremst dårlige detaljer rundt gjennomføringer og ved møne.

Takpanner. I alt 6 tak med takpanner av stål eller aluminium ble undersøkt; 4 av stål og 2 av aluminium. Alle var mellom ett og seks år gamle. I alt 5 av takene hadde undertak. Flere av disse 5 takene hadde utettheter i ytterteknique, men alle hadde et tett undertak. På tak nr. 6 (uten undertak) ble lekkasjer registrert. Tettheten av slike tak er m.a.o. avhengig av undertaket.

Monteringsarbeidet. Undersøkelsen viser med all tydelighet at mange montører har fått for dårlig opplæring i faget. Vi har flere eksempler på at takplater legges i gal rekkefølge, at stålplater kappes med vinkelsliper (medfører korrosjon etter kort tid), monteringsutstyr brukes galt, skruer trekkes for hardt til (slik at pakningen ødelegges), osv.. Slurv under monteringsarbeidet forekommer ofte, f.eks. bli åpne skruehull etter "bomskudd" stående åpne (selv på doble platetak som ikke har undertak).

Konklusjoner og anbefalinger

Undersøkelsen har avslørt alvorlige feil og mangler med både materialer og utførelse. Til tross for at mange platekledninger er utette, er det et faktum at slike tekniker fungerer tilfredsstillende under visse klima- og bruksforhold. En utett tekniker er ingen katastrofe dersom den ligger over et tett undertak. På mange bygninger kan taket være godt nok for eieren til tross for mindre lekkasjer, rustangrep og fargeendring. Nedstående gjennomgang av konklusjoner og anbefalinger er av generell karakter.

Endeomlegg. På tak uten undertak er den minste av stigehøydene til skruehull i underste plate og platekant av gjørende. Hvilke konkrete krav til stigehøyde som bør stilles må undersøkes nærmere i laboratorie, men antagelig bør stigehøyden ikke være mindre enn 60 mm, se fig. 1.

Sideomlegg. Mange av dagens sideomlegg er for dårlige; d.v.s. utette og/eller svake. Sideomleggene må være minst like sterke som platene forøvrig. F.eks. er type 5 i tabell 2 både tett og sterk.

Festemidler. Det anbefales brukt skruer av rustfritt materiale både til innfesting og i sideomlegg. Innfestingsskruene plasseres i profilbunn for å få god klemvirkning på pakningene. De bør ha en løs metallskive under skruehodet med påsveiset pakning.

Gjennomføringer. Detaljløsninger rundt gjennomføringer er idag generelt for dårlige. Man bør bruke tette, prefabrikkerte tilslutninger rundt gjennomføringer. De fleste seriøse leverandører har slike tilslutninger. Fugemasse brukt som eneste tetting på dårlige beslagdetaljer holder ikke mål.

Gavlbeslag. Gavlbeslag er ofte for smale. De dekker ikke takets gavlavslutning godt nok. De må utformes slik at de dekker overgang tak/gavl, samtidig som beslaget avsluttes ned i profilbunnen. Se fig.??.

Beslag i møne/raft. Vi anbefale at det brukes profilerte beslag. De er både tettere enn plane beslag, samtidig som de beskytter tetteklosser mot sol og fugler. Det anbefales brukt falsede beslag. Lufting må i mange tilfeller ivaretas ved hjelp av lyrer i møne.

Undertak. Selv om plateteknique utføres etter det som er anbefalt ovenfor, må man regne med lekkasjer gjennom primærteknique under visse værforhold. I konstruksjoner der slike lekkasjer ikke kan tolereres må det uavhengig av takvinkelen brukes undertak. Undertaket vil samtidig lede bort det kondensvann som alltid vil dannes på ytterplatenes underside.

Korrosjonsbeskyttelse. Undersøkelsen viser at korrosjon på stålplater er et alvorlig problem i kyststrøk og på steder med luftforurensning i form av svoveldioksyd og andre sure forbindelser. Det gjelder først og fremst kantkorrosjon, men flatekorrosjon forekommer også ofte. Stikkprøver av 12 prøvestykker har vist at for tynne, ujevne og sprø sinkbelegg er et problem. I tillegg er platenes kortende mer eller minder ubeskyttet. Platene kappes etter at korrosjonsbektekkende belegg er påført. Samtidig er plateendene den mest påkjente del av platene. Vi mener det må brukes et tykkere og jevnere sinkbelegg. Det bør settes krav både til minstetykkelse og til et belegg uten sprekker. Det bør også finnes frem til en måte å korrosjonsbektekke platenes kortende på. Uten en slik beskyttelse er stålplatene ikke korrosjonssikre i norsk industri- og kystklima.

Doble platetak. Doble platetak er en relativt ny konstruksjon som kan bli etneressant takalternativ. Det må imidlertid utvikles bedre løsninger for å få tilfredsstillende sikkerhet mot lekkasjer. Slik de doble platetakene vanligvis utføres i dag, er de etter vår mening ikke gode nok for norske klimaforhold. Ytterteknique kan ikke bli så tett at den tåler et stående vanntrykk som vi vet kan oppstå når det legger seg mye snø og det danner seg et lag av vann/sørpe på platene. Vi mener derfor det er nødvendig å bruke undertak samtidig som man fastlegger krav til minste tillatte takhelning. Usikkerheten omkring utett sperresjikt vil fortsatt være et faktum så sant man ikke tar i bruk andre metoder for å oppnå en effektiv dampspærre.

Takpanner. Takpanner av stål og aluminium er aktuelt som tekkemateriale. De bør alltid ligge på sløyfer og lekter over et tett

undertak.

Monteringsarbeidet. Mange montører mangler helt grunnleggende kunnskaper om faget. Dette må bransjen selv gjøre noe med. Vi advarer samtidig kraftig mot at nær sagt "hvem som helst" kan gi seg i kast med å montere plater på bygg hvor selv de minste lekkasjer kan få store konsekvenser.

Litteratur

- (1) Rapport 100: **Feltundersøkelse av platetak.** Plater av stål og aluminium som takteknik av Trond Bøhlerengen, Trygve Isaksen og Helge Juul, Norges byggforskningsinstitutt, NBI, 1987.

TESTMETOD FÖR UTVÄRDERING AV PUTSBELÄGGNINGARS BESTÄNDIGHET

DICK KARLSSON
Civ.ing.
OY PARTEK AB
Utvecklingscentralen
Pargas, Finland

SAMMANDRAG

Byggnadsfysikaliskt och ur beständighetssynpunkt är en putsbeläggning en komplicerad konstruktion som dels består av ett underlag, vars byggnadsfysikaliska och hållfasthets-egenskaper varierar avsevärt beroende på material och dels av en putsbeläggning som i sin tur kan bestå av ett eller flera olika skikt.

Materialegenskaperna hos putsbeläggningsens olika skikt kan variera dels beroende på putsbrukets sammansättning dels beroende på arbetsutförande och yttre omständigheter vid appliceringen.

Vid produktutvecklingen och vid testning av nya produkters beständighet är det inte möjligt att vänta flera år för att utvärdera produktens lämplighet genom utomhusförsök. Accelererade testmetoder behövs som tar i beaktande de väsentliga nedbrytande faktorerna och som på något sätt korrelerar med verkligheten.

För detta ändamål har vi vid Parteks Utvecklingscentral utvecklat en testmetod för utvärdering av putsbeläggningsars beständighet.

I rapporten kommer testmetoden att beskrivas och testresultat redovisas.

BESTÄNDIGHETSFILOSOFI

När man talar om ett materials eller en konstruktions beständighet eller livslängd har man att beakta följande faktorer:

- a. Det finns en viss kravnivå som konstruktionen bör uppfylla, såväl tekniskt som estetiskt under dess livslängd.
- b. Konstruktionsmaterialen har vissa tekniska egenskaper som
- c. Påverkas av den yttre miljön och
- d. Påverkas av de andra materialen i konstruktionen
- e. Dessa påfrestningar förändrar materialegenskaperna i en kontinuerlig nedbrytningsprocess
- f. När konstruktionens tillstånd underskrider den uppställda kravnivån bör en renovering ske eller byggnaden rivs.

Detta är den "performance"-tankegång, som framtagits av en RILEM-arbetsgrupp /1/ och som också legat som grund för det nordiska fasadrenoveringsprojektet som avslutats detta år.

För att fylla dessa krav kan en konstruktion planeras enligt tre principer /2/:

- Materialen förändras inte under konstruktionens livslängd
- Konstruktionen planeras för ett kontinuerligt underhåll
- Materialen förändras och åldras men på ett sådant sätt att kravnivån inte underskrider. Materialen får en vacker patina.

Figur 1 åskådliggör dessa tre principer.

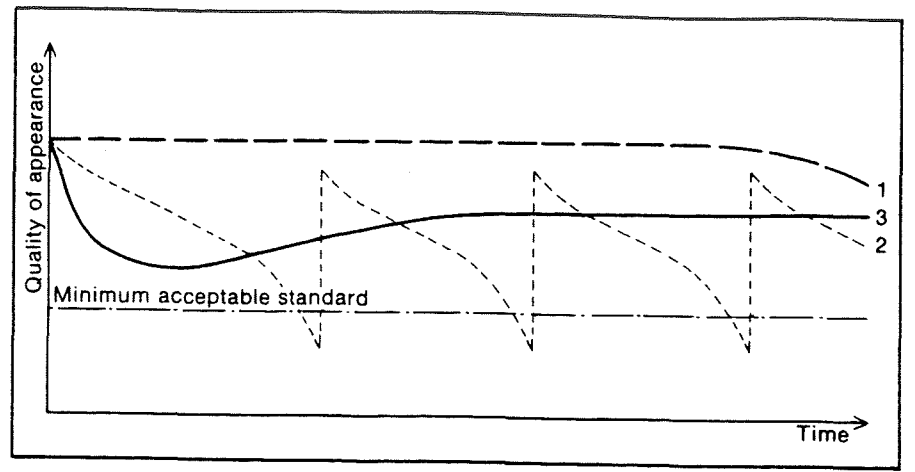


Fig. 1. Planeringsprinciper för beständighetsdimensionering

Det ideala vore nu att kunna uppställa ett dimensioneringskriterium enligt formel (1).

$$\gamma_P \cdot f(\text{miljöpåfrestningar}) \leq \gamma_M \cdot f(\text{materialegenskaper}) \quad (1)$$

där γ_P och γ_M är säkerhetsfaktorer och $f(\)$ är två matematiska funktioner som beror av dels miljöpåfrestningarna dels av materialegenskaperna.

Det gäller alltså att bestämma de olika påfrestningarna i de fall som skall behandlas och materialegenskaperna som är relevanta hos de ingående materialen samt att härleda de behövliga matematiska sambanden för nedbrytningsprocessen. Tyvärr låter sig detta inte göras i dag.

PÅVERKAN FRÅN YTTRE MILJÖ

I /3/ genomgås på ett föredömligt sätt de yttre miljöfaktorer som påverkar nedbrytningsprocesserna i fasadmaterial. När det gäller putssystem kan man indela miljöfaktorerna i

- Faktorer som påverkar putsens härdning och på detta sätt främst inverkar på initialtegenskaperna hos putsmaterialen
- Faktorer som påverkar nedbrytnings- och åldringsprocesserna i putsskikten.

De viktigaste faktorerna i fall a är utan tvekan fukt och temperatur, i fråga om kalkputser också luftens koldioxid. Det gäller alltså att hålla fukthalten på en optimal nivå genom att skydda putsen för alltför snabb uttorkning samt att se till att temperaturen är tillräcklig för att härdningsprocesserna skall ske. Initialtegenskaperna är av mycket stor betydelse för putsens beständighet.

I fall b har fukten fortfarande en mycket stor betydelse. Man överdriver knappast om man säger att fukten alltid ingår som en delorsak vid putsskador. I detta fall kan man definiera miljöpåfrestningen som slagregnmängd, som träffar fasaden.

Följande väsentliga faktor är temperaturen. I detta fall kan man indela påfrestningarna i

- Ytemperatur, höga temperaturer påverkar hastigheten hos kemiska processer så också nedbrytningsprocesserna
- Temperaturvariationer, som får till stånd mekaniska påfrestningar i de olika putsskikten
- Frysning och upptining av vatten i porsystemen

Om det i putserna eller ytbehandlingen ingår organiska föreningar måste också UV-strålningen beaktas, som en viktig nedbrytande faktor.

Förutom de ovan nämnda primära nedbrytande miljöfaktorerna förekommer också andra, som i vissa fall och i vissa miljöer kan ha en mycket stor betydelse. Vi kan här nämna:

- Olika luftföroreningar speciellt föreningar som verkar frätande t.ex. olika syror
- Nedsmutsning, kan vara viktig vid en hög estetisk kravnivå
- Olika biologiska angrepp kan ha stor betydelse i varma och fuktiga klimat.

Det bör alltid övervägas från fall till fall vilka påfrestningar som är väsentliga för en viss konstruktion i en viss miljö.

PUTSENS MATERIALEGENSKAPER

Ursprungligen var putsens uppgift att skydda underliggande murverk mot de yttre miljöpåfrestningarna genom att sakta nötas bort, genom att offra sig själv /4/. När yttskiktets tillstånd underskrider kravnivån kan sedan en ny ytbehandling enkelt ske. Vi har här att göra med en konstruktion

av typ 2 i fig. 1. Jag tycker detta är viktigt att komma i håg också i dag.

Putsbruket är en blandning av bindemedel, sand, vatten och möjligtvis olika tillsatsmedel och pigment. Putserna kan indelas på olika sätt t.ex. enligt figur 2. Putsernas egenskaper är därför starkt beroende av de ingående materialen samt av härdningsförhållanden och arbetsteknik.

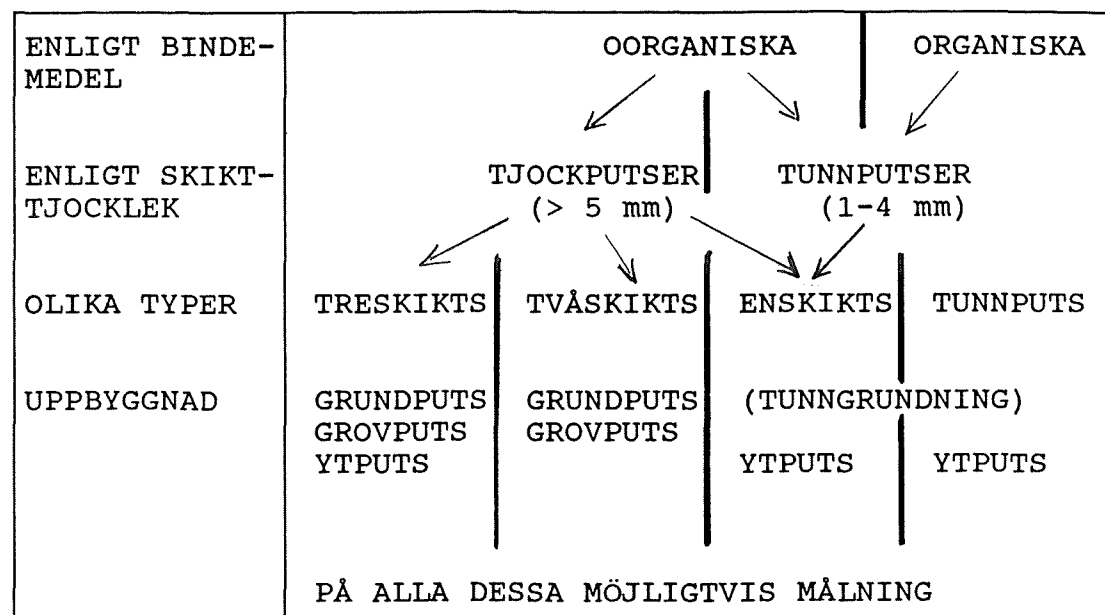


Fig. 2. Indelning av putser

På grund av att det finns en mängd olika putstyper är det omöjligt att ange värden på materialegenskaperna, som skulle gälla för alla putser. Däremot kan man klart säga vilka de egenskaper är som är relevanta för putsens nedbrytningsprocesser och som därför bör mätas.

Den primära materialegenskapen är porstrukturen och kunde denna bestämmas på ett tillfredsställande sätt vore det i princip möjligt att härleda övriga egenskaper ur denna. De egenskaper som bör mätas och som är väsentliga för en uppskattning av putsens livslängd framgår ur figur 3.

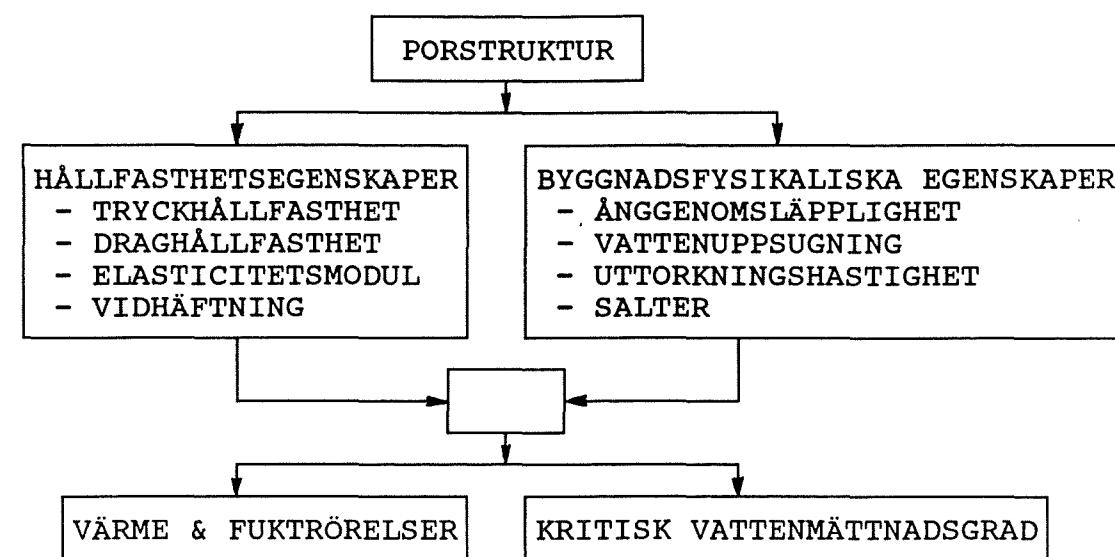


Fig. 3. Väsentliga materialegenskaper

TESTMETODFILOSOFI

Vid bestämning av ett materials beständighet har vi att välja mellan följande principiella tillvägagångssätt:

- En matematisk modell för en analytisk beräkning enligt formel 1 tidigare. Fordrar också punkt b nedan
- Småskaleprov för att få fram de väsentliga materialparametrarna i figur 3. Ur dessa bedöms materialets beständighet
- Accelererade småskalekonstruktionsprov enligt figur 4 nedan
- Accelererade fullskalekonstruktionsprov enligt figur 4 nedan
- Småskaleprov utomhus
- Provhusbyggande

Av dessa tillvägagångssätt är a inte i dagens läge möjligt, e och f måste uteslutas på grund av den tid det tar innan resultaten är tillgängliga, dessa metoder bör dock användas på sidan om för att få fram testmetodernas (c och d) tillförlitlighet och b bör utnyttjas i alla fall. I dagens läge är alltså accelererade tester den enda möjligheten för produktutvecklingen innan tillförlitliga matematiska beräkningsmodeller finns tillhanda.

Vid val av testmetod eller vid utvecklande av testmetoder är det viktigt att utgående från de materialegenskaper det testade materialet eller den testade konstruktionen har, välja ut de påfrestningar som är väsentliga för materialets nedbrytningsprocesser i en viss miljö. En schematisk framställning av testmetoden bör alltså till sin uppbyggnad se ut som i figur 4.

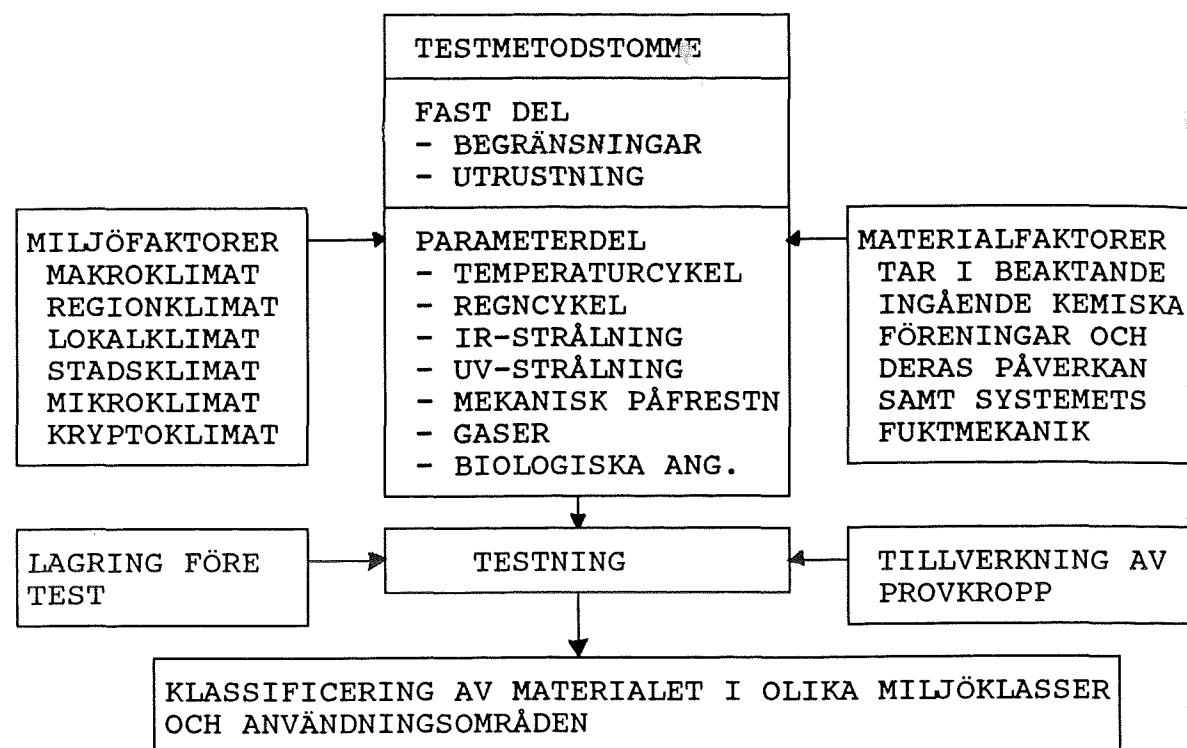


Fig. 4. Testmetodmetodik

Genom att använda en metodik enligt ovan är det alltså möjligt att ta i beaktande den miljö konstruktionen kommer att finnas i och vid behov också läget i själva byggnaden som påverkar påfrestningarna i mycket hög grad. Också de i konstruktionen ingående materialens kemiska sammansättning kan beaktas vid val av belastningsfaktorer samt fuktmekaniken vid val av cykellängd.

BESKRIVNING AV TESTMETODEN

I vårt fall har vi för den fasta delen använt oss av en ensidig miljöbelastning av små provväggar (ca 900 x 900 mm²) i klimatskåp i princip enligt DIN 52252 teil 3/5/ för fasadtegel. Utrustningen i princip enligt figur 5.

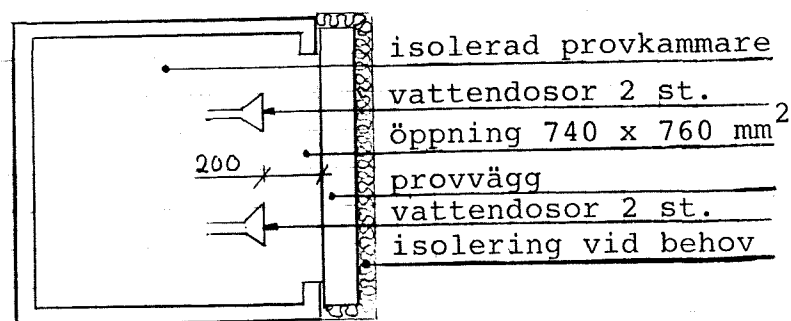


Fig. 5. Testskåp

Miljöfaktorerna har inte närmare kunnat analyserats men vi har utgått från att nedbrytningsprocessen är en frys-tö-nedbrytning med snabba temperaturvariationer i ett nordiskt klimat. På grund av att putsarna, som testats i våra försök, alla har varit oorganiska har UV-strålningen kunnat bortlämnas. Testcykeln som här efter använts finns beskriven i figur 6. Med detta program har vi testat väggar med 50 cykler under en tid av drygt 8 dygn per vägg. Vattenmängden vid besprutningen har varit ca 9 l/min · m², men denna spelar mindre roll, såvida den överskrider ett gränsvärde, som är beroende av putsens sugförmåga, med andra ord skall vattenmängden vara sådan att en kontinuerlig vattenfilm bildas på putsens yta.

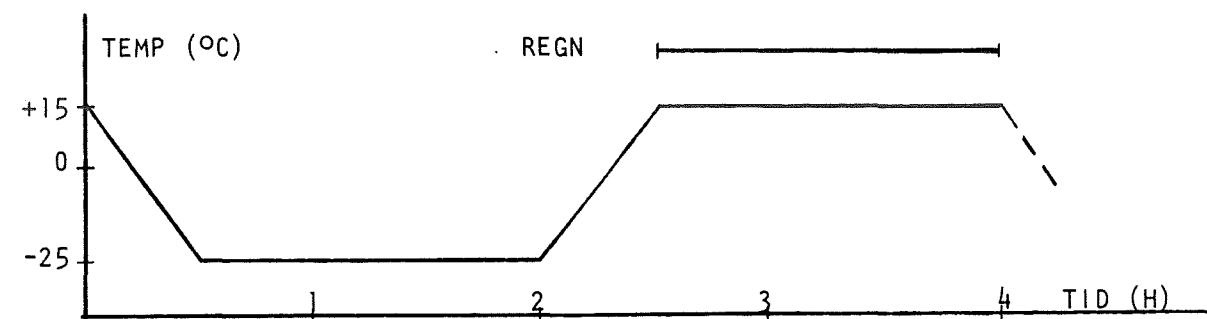


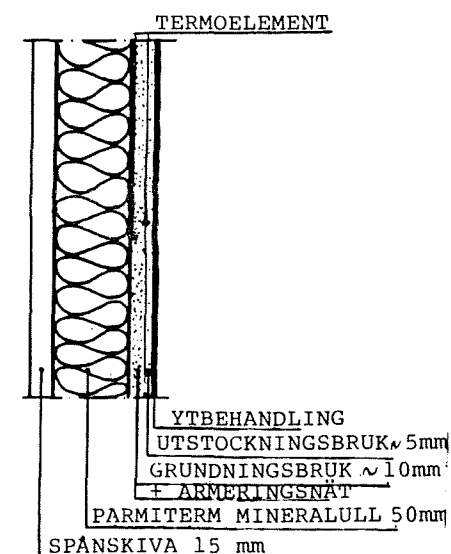
Fig. 6. Testprogram

PROVVÄGGAR OCH FÖRSÖKSRESULTAT

Vid tillverkningen av provväggar bör beaktas själva tillverkningsprocessen med andra ord de arbetsmetoder som används och lagrings- och omgivningsförhållandena under tillverkningen och mellan tillverkning och test enligt figur 4. Detta är viktigt att komma ihåg när testprogrammet planeras, alltså frågeställningen vad vill vi testa, materialkombinationens, arbetsmetodens eller omgivningens betydelse för beständigheten. I praktiken är det klart att vi alltid testat en kombination av dessa.

I våra försök har vi närmast testat materialkombinationernas och delvis lagringstidens betydelse. Arbetsmetoden har varit normal praxis i Finland vilket betyder att de olika putsarna har sprutats på provväggarna. Tillverkningen har skett inomhus i laborieförhållanden ($t = 21^{\circ}\text{C}$; $\text{RH} = 40\%$) och lagringen av väggarna likaså inomhus under plast.

De konstruktioner vi testat har alla varit treskiktsputser på mineralullsisolering. Väggkonstruktionen och materialkombinationerna finns i figur 7. Grundningsbruket har varit ett KC 20/80/500 eller ett KC 20/80/400 bruk.



	UTSTOCKNINGS- BRUK	YTBEHANDLING
1 A	KC 35/65/550	Cementmålning
1 B	KC 35/65/550	Fasadputs
2 A	KC 35/65/550	KC-puts I
2 B	KC 35/65/550	Kalkmålning
3 A	KC 50/50/600	Cementmålning
3 B	KC 50/50/600	Fasadputs
4 A	KC 50/50/600	KC-puts I
4 B	KC 50/50/600	Kalkmålning
5 A	KC 35/65/550	KC-puts II
5 B	KC 35/65/550	KC-puts III
6 A	KC 50/50/600	KC-puts II
6 B	KC 50/50/600	KC-puts III
7 A	KC 35/65/550	KC-färg
7 B	KC 35/65/550	Cementfärg

Fig. 7. Provväggar och materialkombinationer

Lagringsförhållandena för de olika väggarna finns angivna i tabell 1.

Vägg	Tid [dygn] mellan olika arbetsskeden		
	Grundning utstreckning	Utstreckning ytbehandling	Ytbehandling test
1	2	10	10
2	2	10	20
3	2	10	10
4	2	10	20
5	7	26	20
6	7	26	30
7	1	14	25

Tabell 1. Lagringstid för provväggarna.

Under försökens gång har temperaturerna mellan de olika skikten mätts med termoelement enligt figur 7. Typiska temperaturkurvor finns utritade i figur 8. Det bör påpekas att väggarna inte har mätts med vatten innan test.

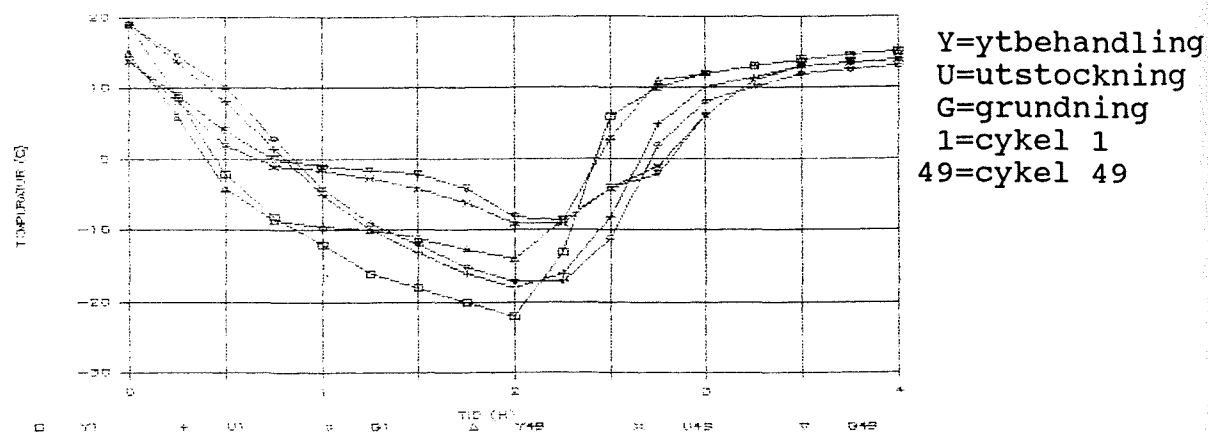


Fig. 8. Temperaturer i konstruktionen

En genomgång av testresultaten kan sammanfattas på följande sätt. I alla provväggar där skador förekommit kan sägas att den kritiska punkten är gränsskiktet mellan ytbeläggning och utstreckningsbruk. Ett sammandrag av resultaten finns i tabell 2.

Vägg	Skadeklass och typ		Förklaringar
	Utstreckning	Ytbehandling	
1 A	B	C I	A = inga skador
1 B	B	A II	B = små skador
2 A	C	A II	C = stora skador
2 B	B	D III	D = helt förstörd
3 A	D	D III	
3 B	D	C III	I = målningen flagnar
4 A	D	A II	ställvis tillsammans med ett tunt lager bruk
4 B	C	C III	
5 A	A	A -	
5 B	A	A -	II = bom, ytskiktet
6 A	A	A -	helt men loss fr. underlaget
6 B	A	A -	
7 A	B	C I	III = ytskiktet nöts bort
7 B	A	B I	

Tabell 2. Klassificering av konstruktioner enl. skadegrad

ANALYS AV RESULTAT OCH TESTMETOD

Generellt kan sägas att resultaten och skadebilden i de olika fallen korrelerar bra med de erfarenheter vi har från praktiken. Sätillvida kan man säga att testmetoden fyller sin uppgift.

Av provväggarna har nr 5 och 6 klarat sig helt utan skador. Detta kan bero på materialkombinationen men jag tror att den längre härdningstiden är den dominerande faktorn i detta fall. Man kan också säga att det starkare utstreckningsbruket KC 35/65/550 klarar sig bättre än det svagare KC 50/50/600, ett undantag utgör dock målning med kalkfärg, som klarar sig bättre på ett svagare underlag. Generellt kan sägas att den gamla regeln att skiktets hållfasthet bör minska utåt tycks hålla sträck också med denna metod.

Då man analyserar resultaten och testmetoden närmare bör man beakta följande:

- Väggarna har inte mätts med vatten före test. Detta hör till lagringsparametrarna i fig. 4. Detta betyder å andra sidan att vattenmängden i väggarna ökar under försöket och påverkar temperaturkurvorna och isbildningen. Jag är dock av den åsikten att väggarna inte bör vattenmätas utan möjligheterna att suga upp vatten och torka ut hos olika materialkombinationer bör beaktas.

- b. Vattenbesprutningen är kraftig och den nötande effekten är stor. Detta påverkar i synnerhet kalkfärgernas beständighet.
- c. Man kunde tänka sig att använda IR-strålning för att få till stånd en ännu större temperaturchock. Själv är jag dock av den åsikten att nedfrysnings- och upptiningshastigheten redan nu är tillräckligt stor.
- d. Om konstruktionen innehåller organiska bindemedel eller föreningar bör UV-strålning tas med.
- e. Om ytksiktet är vattenavvisande eller ång- eller vattentätt bör vatteninträngningen genom sprickor beaktas t.ex. genom konstgjorda sprickor i ytksiktet.
- f. För andra typer av konstruktioner bör man beakta behovet av isolering för att temperaturförloppen i putsskiktet för olika fall skall vara jämförbara.

FORSKNINGSBEHOV

Företagens produktutveckling är i stort behov av standardiserade och tillförlitliga testmetoder på detta område. Det vore också bra om vi i Norden kunde enas om gemensamma testmetoder, varigenom resultatjämförelsen mellan olika produkter underlättades. Jag tror att den metod, som här har beskrivits väl skulle kunna utgöra en grund för en dylik test, men jag är också medveten om att metoden det här är frågan om mera bygger på intuition än på ett vetenskapligt hållbart forskningsarbete, som skulle beakta alla de faktorer som påverkar nedbrytningsprocesserna och undersöka deras inverkan. Kanske ett sådant arbete vore möjligt att utföra i NORDTEST regi.

LITTERATUR

1. Sneck, T.; Kaarresalo, A. (red.), RILEM Committee 31-PCM Performance criteria for building materials, Final report. Technical Research Centre of Finland, VTT Research Notes 664, Espoo 1986.
2. Hawes Frank, The weathering of concrete buildings, Cement and Concrete Association, Appearance Matters 6, 1986.
3. Sjöström, C; Henriksen, J. (red), Påverkan på fasadytor från yttre miljö, Statens institut för byggnadsforskning, Meddelande M:16, Gävle 1987.
4. Torraca Giorgio, Porous Building Materials, ICCROM, Rom 1982.
5. DIN 52252 Teil 3 Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Vormauerziegeln und Klinkern, Einseitige Befrostung von Prüfwänden, Nov. 1982.

Putsters beständighet

Tekn Dr Kenneth Sandin
Husbyggnadsteknik, LTH
Box 118, S-221 00 LUND

Inledning

Begreppet beständighet är svårt att definiera på ett entydigt sätt. Olika personer uppfattar beständighet på olika sätt. Det finns putser som är tusentals år gamla och fortfarande fungerar. En sådan puts anses av alla som beständig. Å andra sidan finns det putser som totalförstörs efter 1 år. En sådan puts anser ingen beständig. Hur skall man bedöma en puts som är förstörd efter 20 år?

Ovanstående filosofiska funderingar kring beständighetsproblematiken har behandlats i ett flertal rapporter och skall inte diskuteras här. 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 1 år om den placerats i en annan miljö. Å andra sidan kanske putsen som totalförstördes inom 1 år kunde fungera i tusentals år om den placerats i en annan miljö.

För putser är det inte tillräckligt att studera själva putsens beständighet. Hela kombinationen puts/underlag måste studeras. Det är ju helt ointressant om själva putsen är oskadad, om den ramlar ned från fasaden. Samspelet mellan olika faktorer i en putsad fasad kan bli mycket komplicerat. Det kan till exempel finnas olika underlag på samma fasad. Vidare byggs putsen ofta upp av flera skikt och kan dessutom målas på ytan. Putsens egenskaper påverkar i hög grad underlagets fuktillstånd, och därmed konstruktionens miljö. Å andra sidan påverkar underlaget putsens egenskaper, och därmed själva putsmaterialets "beständighet".

Putsens inverkan på underlaget har beskrivits i ett flertal rapporter, bland annat i (1) och (2). Här diskuteras i fortsättningen enbart själva putsmaterialet ur beständighetssynpunkt. Vidhäftningsproblemet behandlas inte alls.

I en jämförande undersökning av praktiskt taget alla fabriksblandade stan-

dardbruk i Sverige har "vittringsbenägenheten" studerats speciellt. Totalt har ett 50-tal bruk av olika sammansättning eller olika fabrikat ingått i undersökningen. Det måste poängteras att det är en jämförande, kvalitativ undersökning. Från denna undersökning redovisas i det följande endast ett mindre urval. De faktorer som diskuteras är

- underlagets inverkan på putsens nedbrytning
- putsbrukssammansättningens inverkan på putsens nedbrytning

Relativ metod för bedömning av putsens nedbrytning

För att studera nedbrytning av stenmaterial är en "saltvittringstest" mycket vanlig i syd- och mellaneuropa. Tillförlitligheten hos metoden anses mycket god och resultaten överensstämmer med den praktiska erfarenheten. Metoden har sedan några år använts på putser vid LTH. En jämförelse mellan provningsresultat och praktisk erfarenhet visar god överensstämmelse. Även korrelationen mellan saltvittringstest och frostprovning är mycket god.

Principen för metoden är att successivt fylla porsystemet med ett salt, som får kristallisera cykliskt genom uppfuktning och uttorkning. Ett lämpligt salt är natriumsulfat.

Metoden användes första gången 1828, som en ren frostprovningmetod. Efterhand har metoden mer och mer använts som en allmän metod att testa väderbeständigheten hos stenmaterial. Tillförlitligheten och olika faktorer som påverkar resultatet diskuteras i (3).

Vid genomförandet av testen får provet absorbera en lösning av natriumsulfat, varefter provet torkas. Härpå får provet ånyo suga åt sig natriumsulfatlösningen etc. Dessa växlingar medför en omkristallisation av saltet, med åtföljande sprängverkan. Mellan varje cykel vägs provkropparna, varvid det bortvittrade materialet kan bestämmas. Under de första cyklerna sker i allmänhet en viktökning, eftersom saltet fyller upp porsystemet.

Metoden är mycket känslig för små variationer i provningsbetingelserna. Detta gäller i synnerhet temperatur och koncentration hos saltlösningen, den tid provet får suga saltlösning samt torkförhållandena mellan sugningarna. Dessa faktorer måste hållas konstanta.

Vid provningen har följande procedur använts:

1. Torkning under 3-4 dygn i 60°C.
2. Vägning och fotografering.
3. Avsvalning under 3 timmar i 20°C.
4. Nedsänkning under 2 timmar i en 6%-ig lösning av vattenfri natriumsulfat (densitet 1.055 kg/l) med temperaturen 20°C.
5. Upptagning ur saltlösning och avrinning under 15 minuter i 20°C.

6. Åter till 1.

Provningen har gjorts på putsprover, som direkt innan provningen avlägsnats från sitt underlag. Proverna var cirka 12 mm tjocka med planmått 50x120 mm. Innan provningen hade alla prover lagrats först några dygn i 95% RF, 20°C och därefter cirka en månad i 65% RF, 20°C.

Brukssammansättningens inverkan på putsens beständighet

Vid en direkt jämförelse mellan olika fabriksblandade torrbruk kan man inte särskilja olika faktorerens inverkan. Ofta skiljer de olika bruken sig åt i flera avseenden. Vidare kan det vara svårt att få exakta uppgifter om sammansättningen. För att kunna studera inverkan av brukssammansättningen gjordes därför vissa specialblandningar. Med dessa blandningar avsågs att studera inverkan av olika bindemedel, olika ballastsort och olika lufthalt i det färska bruket.

Bindemedel/ballastmängd

I Sverige används vanligen kalkcementbruk till putsning. Varieras bindemedelssammansättningen ändras även ballastmängden, om man räknar i viktsdelar. De blandningar som studerats är

- K 100/950
- KC 80/20/850
- KC 65/35/750
- KC 50/50/650

Ballasten var vanlig "putssand" med max kornstorlek 2 mm. Inga extra tillsatsmedel tillsattes. Den använda kalken innehöll dock luftporbildande medel.

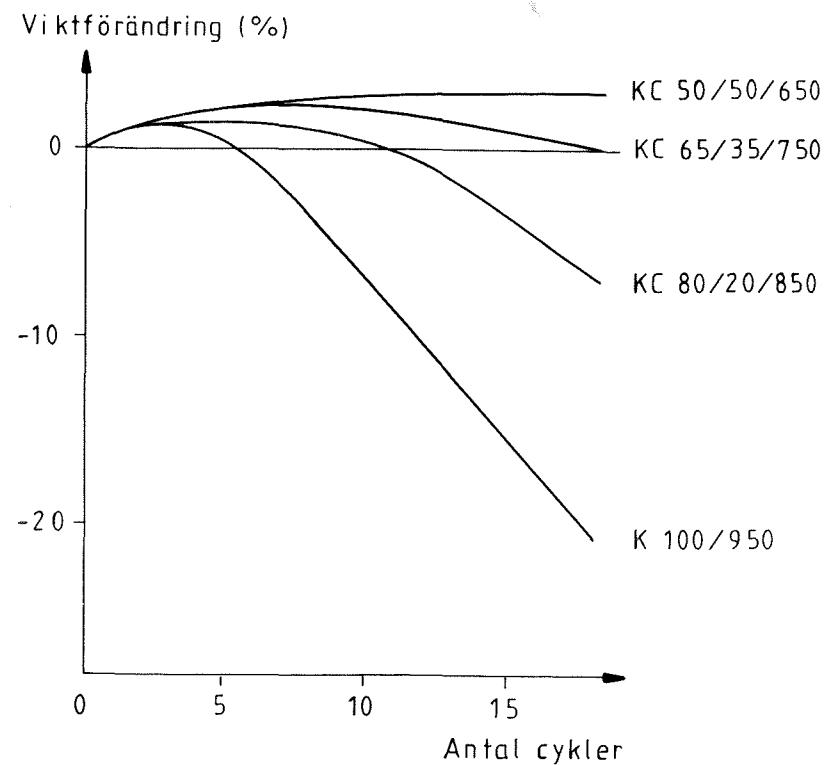
I figur 1 redovisas sambandet mellan viktsändring och antal cykler för de olika brukssammansättningarna. Av figuren framgår klart hur beständigheten förbättras med ökande cementhalt.

Ballastsort

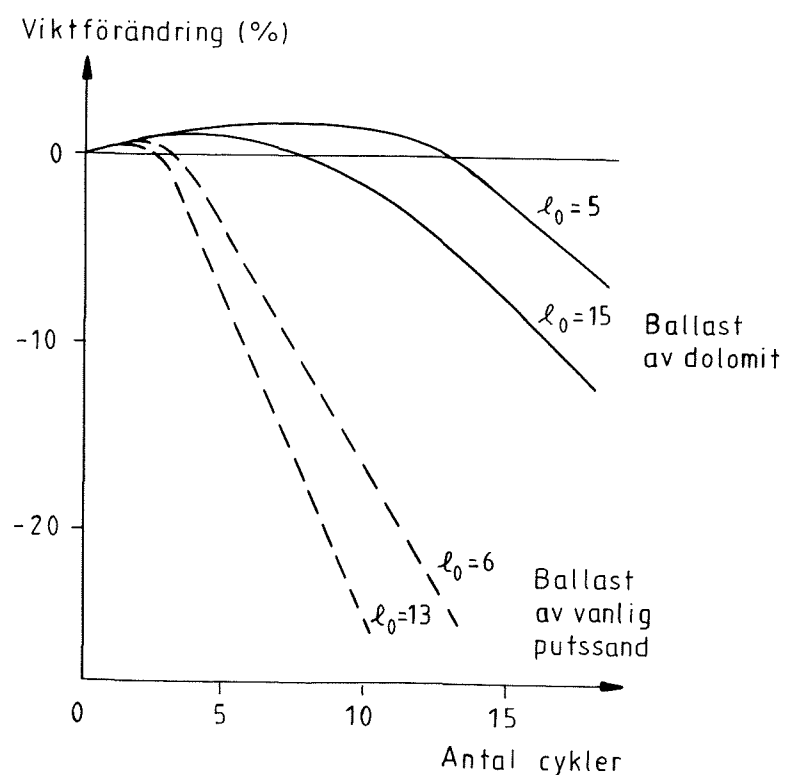
Den praktiska erfarenheten har visat att kalkbruk med ballast av kalksten ofta har fungerat bättre. För att undersöka detta jämfördes bruk med identisk sammansättning bortsett från ballastsorten. De olika ballastsorter som jämfördes var vanlig "putssand" och ballast av dolomit. Kornstorleksfördelningen var lika för båda typerna. Jämförelsen gjordes både med och utan luftporbildande tillsatser.

Resultatet redovisas i figur 2, vilken klart visar att beständigheten hos

kalkbruken förbättras då dolomit används som ballast. Detta gäller både med och utan luftporbildande tillsatser.



Figur 1. Saltvittringstest på putser med varierande bindemedelssammansättning.

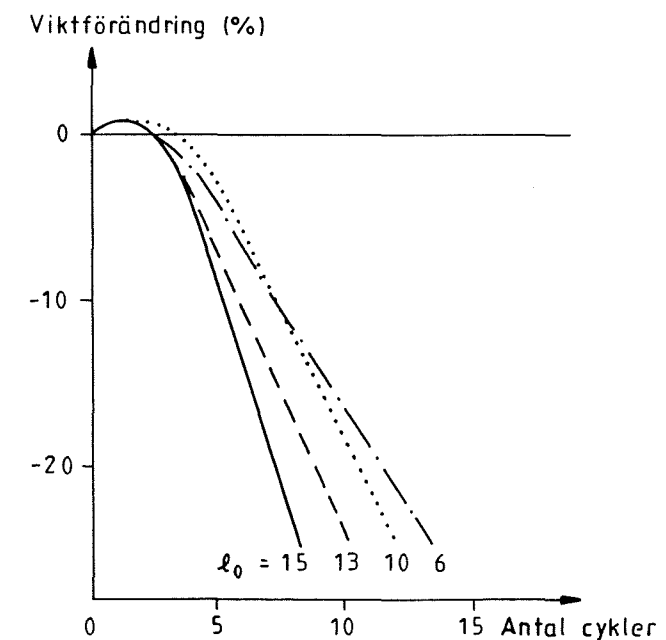


Figur 2. Saltvittringstest på kalkbruk med olika ballastsorter. l_0 anger lufthalten i det färska bruket.

Lufthalt i det färska bruket

Inom betongteknologin används luftporbildande tillsatsmedel för att förbättra frostbeständigheten. Sedan ett antal år har man tillämpat samma principer i samband med mur- och putsbruk i Sverige. Principen har dock ofta ifrågasatts. Detta gäller främst med tanke på vidhäftningshållfastheten. Många undersökningar har visat att en hög lufthalt ger en dålig vidhäftning. Bortsett från denna bieffekt har det även ifrågasatts om en ökad lufthalt i rena kalkbruk medför en bättre beständighet hos själva bruket. Det finns undersökningar som visar en förbättrad beständighet. Å andra sidan talar den praktiska erfarenheten för att så inte är fallet.

För att studera ovanstående jämfördes nedbrytningen hos kalkbruk där enbart lufthalten i det färska bruket varierades. Storlek och fördelning hos luftporerna har ännu inte analyserats. Resultatet redovisas i figur 3. Denna figur visar att nedbrytningshastigheten ökar något med ökande lufthalt i det färska bruket. Kompletterande undersökningar visade att även hållfastheten försämrades kraftigt med ökande lufthalt.



Figur 3. Saltvittringstest på kalkbruk med olika lufthalt i det färska bruket. (l_0 , %).

Underlagets inverkan på putsens beständighet

När man diskuterar putsens beständighet jämför man i allmänhet enbart olika putstyper. Man utgår härvid från laborieförsök som utförts under vissa betingelser. Den praktiska erfarenheten har dock visat att i vissa fall har "någonting" inte stämt. Putsbruk som anses vara mycket beständiga har mycket snabbt frostskadats eller vittrat på annat sätt. Efter att ha studerat ett antal sådana skador framkom att underlaget måste ha en avgörande betydelse.

Den egenskap hos underlaget som föreföll ha en avgörande betydelse var sugförmågan.

För att studera ovanstående jämfördes putser som applicerats på sugande respektive icke sugande underlag. Som putser användes vanligt kalkbruk, hydrauliskt kalkbruk och kalkcementbruk. Som sugande underlag användes auto-klaverad lättbetong. Som icke sugande underlag användes autoklaverad lättbetong som gjorts vattenavvisande genom en silikonimpregnering.

Resultatet av jämförelsen redovisas i figur 4. Alla putser som applicerats på ett icke sugande underlag uppvisar en mycket snabbare nedbrytning än motsvarande putser på ett sugande underlag. En sannolik förklaring till detta är att putserna på ett icke sugande underlag hårdnar med ett vattenöverskott, vilket förorsakar ett ogynnsamt porsystem.

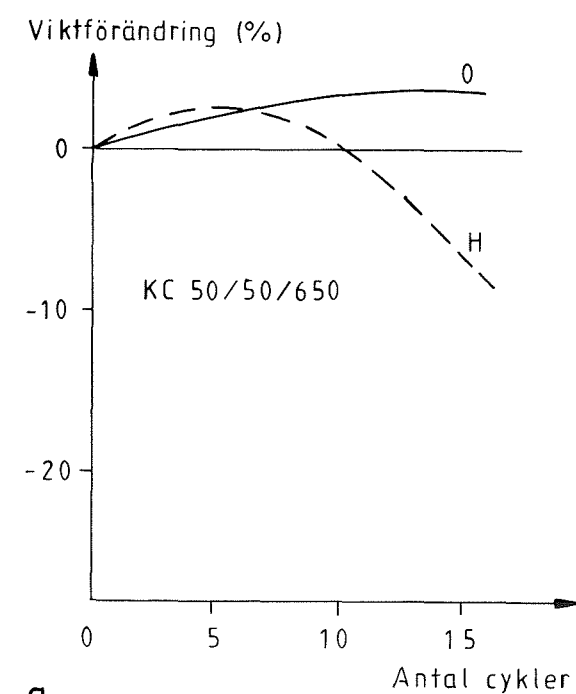
Ur figur 4 framgår även att luftkalkbruken uppvisar stor skillnad. Båda är fabrikstillverkade torrbruk men med olika tillverkare. Det bästa bruket (fabrikat II) har en låg lufthalt och ballast av dolomit. Denna skillnad mellan bruken stämmer väl med resultaten enligt figur 2 och 3.

En annan intressant iakttagelse är att luftkalkbruken som tillverkats under de bästa förhållandena har en sämre beständighet än de hydrauliska bruken tillverkade under de sämsta förhållandena.

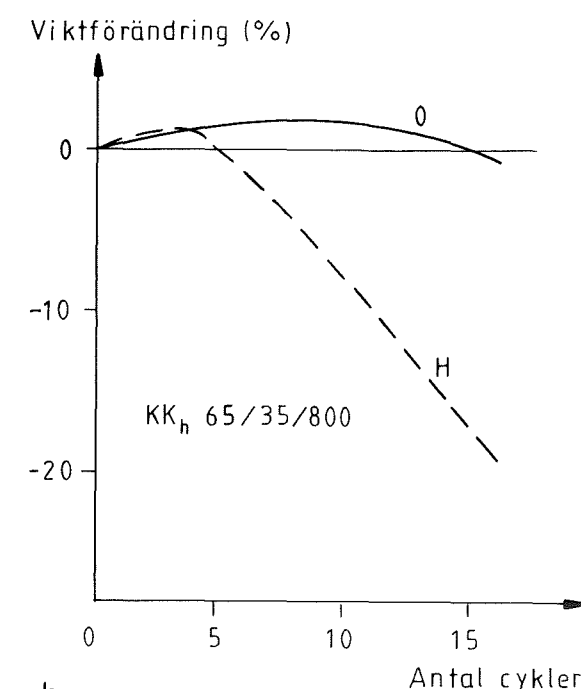
Sammanfattande diskussion

Beständighetsproblematiken i samband med putsade fasader är mycket komplex. Fasaden består av ett flertal skikt, vilka i mycket hög grad påverkar varandra. Genom att enbart studera ett enskilt materials beständighet kan stora misstag begås. Hela kombinationen av olika material måste studeras samtidigt. Enligt resultaten som redovisats i det föregående är det lätt att tillverka en puts med god motståndsförmåga mot vittring. En sådan puts, till exempel en cementputs, kan dock ha andra oönskade egenskaper. Den kan till exempel ge upphov till så stora påfrestningar i underlaget att detta går sönder.

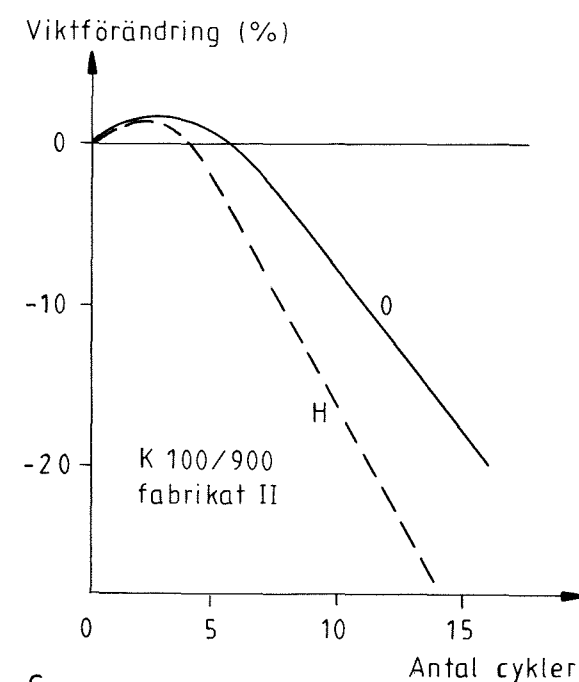
De resultat som redovisats i denna rapport visar enbart hur några olika faktorer påverkar själva putsmaterialets beständighet. En avgörande faktor härvid är underlagets sugförmåga i putsningsögonblicket. Sugs inte överskottsvattnet bort innan putsen hårdnat, försämras beständigheten mycket kraftigt. Putser som normalt anses ha en "god beständighet" kan bli mycket dåliga om de appliceras på icke sugande underlag, till exempel på en helt blöt vägg eller på "gråsten". Detta är en sannolik förklaring till många "oförklarliga" skador i praktiken. Ovanstående innebär även att det är omöjligt att generellt påstå att en viss puts har en god eller dålig beständig-



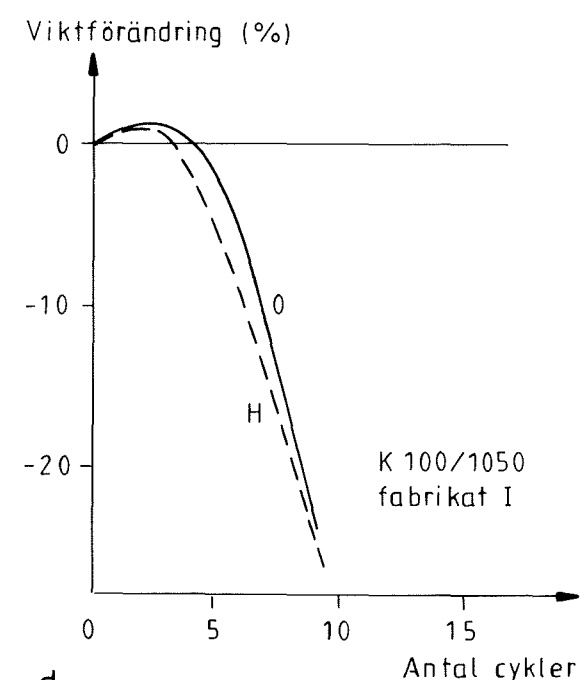
a.



b.



c.



d.

Figur 4 a-d. Saltvittringstest på olika bruk applicerade på sugande (0) respektive icke sugande (H) underlag.

het. Putsens beständighet i praktisk användning kan variera mycket kraftigt. En relativt cementrik puts på ett icke sugande underlag kan få likvärdiga egenskaper som en relativt cementfattig puts på ett sugande underlag! Även andra faktorer, till exempel ballastsort och lufthalt i det färska bruket, kan ha större betydelse än andelen cement i bindemedlet.

Litteratur

1. Sandin, K, 1980, Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Huvudrapport TVBM-1004. Lund.
2. Sandin, K, 1983, Puts- och ytskiktsproblem. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-3013. Lund.
3. Price, CA, 1978, The use of sodium sulphate crystallisation test for determining the weathering resistance of untreated stone. (International symposium, Deterioration and protection of stone monuments.) Paris.

FASADER I PUSSET OG UPUSSET MURVERK. LEVETID

av

sivilingeniør Alf M. Waldum, NBI, og
sivilingeniør Arne Nesje, SINTEF

I de senere årene er en stor del av vår eldre murbebyggelse rehabilitert. Da hovedtyngden av slik bebyggelse ligger i de større byene, er det grunn til å regne med at aktiviteten på dette feltet vil være stor også i årene framover. En rehabilitering omfatter som regel også en tilleggsisolering, og dermed endringer i fasadens temperatur- og fuktbalanse.

Ved tilstandskontroller av et større antall slike bygninger før rehabilitering er egenskaper hos fasadematerialene bestemt. De aktuelle materialer er i første rekke tegl, murmørtel og ulike pussbehandlinger. Fasthetsegenskaper, fukttekniske egenskaper inkludert frostmotstandsevne, sammensetning etc. er kartlagt.

Ved analyser av skader er parallelle data bestemt gjennom en årrekke. Med bakgrunn i de erfaringer som her er samlet, konkretiseres bestandighetsproblemet ved slike fasader. Hva kan føres tilbake til selve materialene, utførelsen, klimafaktorene etc.?

I et NTNf-støttet prosjekt (startet 1987) benyttes de innsamlede erfaringer i utarbeidelse og utprøving av løsninger for reparasjon og vedlikehold med dagens materialer. Ved siden av generell laboratorieprøving inkludert klimabestandighet, inngår utprøving i forsøkshus. Oppbygging av prøvefeltene beskrives og begrunnes, og det gies en oversikt over følgende forhold:

- Parametre som undersøkes
- Instrumentering/måleutstyr
- Registreringsrutiner
- Klimaregistreringer

Innlegget gir en oversikt over resultater fra skadeanalyser og tilstandsvurderinger, beskriver opplegg for utprøving av løsninger ved reparasjon og vedlikehold med dagens materialer, og presenterer de erfaringer som hittil er framkommet i prosjektet.

Radon i bostäder. Exempel på olika typer av byggnadstekniska åtgärder

Ing. Ingemar Nilsson
Statens provningsanstalt
Box 857
S-501 15 BORÅS
Sverige

Många bostäder i Sverige har höga radonhalter i inomhusluften. Radon kan avges från byggnadsmaterial, mark och vatten. Av dessa är radon från marken svårast att åtgärda.

I ett forskningsprojekt har Statens provningsanstalt tillsammans med Allmänna Ingenjörbyrå i Solna utvärderat olika typer av åtgärder för att sänka radonhalten i hus. Drygt 100 hus har följts upp med mätningar före och efter åtgärd samt 3-5 år efter åtgärd. I ca femton av dessa hus har omfattande mätningar gjorts på radon- och radondotterhalt, luftomsättning, luftflöde i kanaler m m.

De åtgärder som utvärderats har varit:

- undertrycksventilering under bottenplatta
- övertrycksventilering under bottenplatta
- undertrycksventilering i uppreglat golv
- tätning av läckageställen
- ökad ventilation
- ventilering av kryppgrund.

Åtgärderna har utförts i hus som fått tillskott av markradon. I hus med enbart radon från byggnadsmaterialet har effekten av ökad ventilation och utbyte av radonavgivande material kontrollerats.

När ett hus åtgärdas mot höga radondotterhalter bör följande riktlinjer gälla:

- åtgärden får inte ge andra problem som t ex fukt i byggnadskonstruktionen
- ej för komplicerat. De boende måste kunna förstå hur installationen fungerar
- det skall vara så låg kostnad som möjligt för åtgärden
- anpassa åtgärden till husets konstruktion
- stor fördel om läckageställena är kända

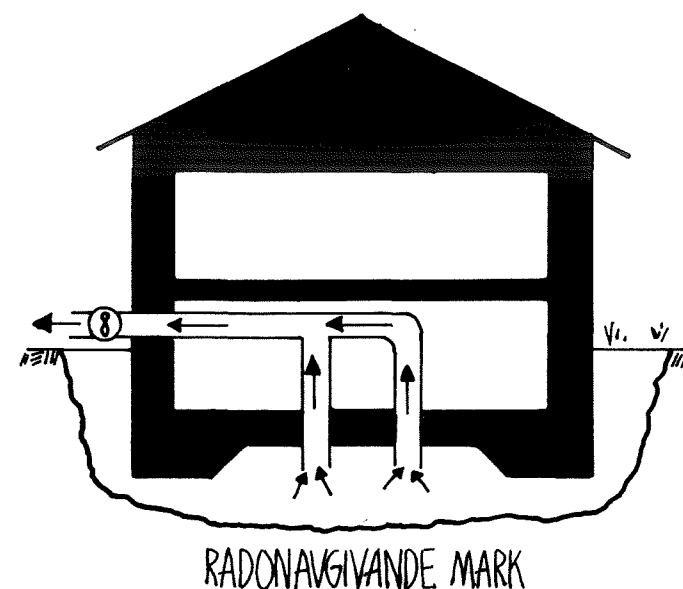
- åtgärden måste vara beständig. Den får inte fungera under bara något eller några år.

Resultat

Nedan kommenteras några av åtgärderna.

Undertrycksventilering under bottenplatta

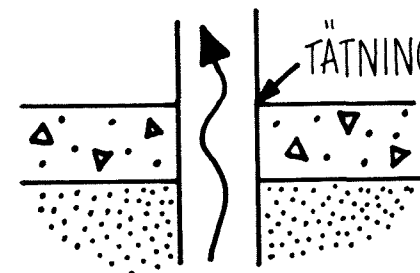
Principen med denna metod är att skapa en tryckskillnad över bottenplattan som motverkar det undertryck som skorstenseffekten ger i huset. Se figur 1.



Figur 1. Princip för undertrycksventilering under bottenplattan. Observera att fläkten bör sitta utanför huset.

De krav som bör ställas för att kunna genomföra undertrycksventilering är:

- Kanalgenomföringarna i bottenplattan måste vara lufttäta.

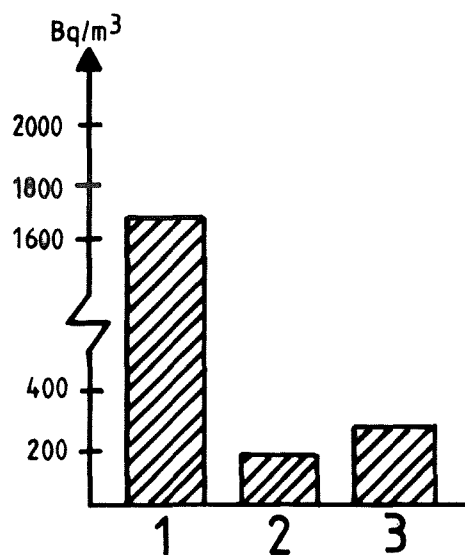


- Anpassat till markens genomsläpplighet, dvs metoden är inte lämplig där materialet under bottenplattan är lufttätt.

- Kännedom om materialet under bottenplattan (se förra punkten).
- Tyst både inom- och utomhus.
- Fukttillskottet i inneluften måste vara lågt ($<1-2 \text{ g/m}^3$).

De fläktar som användts har ca 300 Pa mottryck med ett luftflöde på 30-40 m³/h. Detta innebär dock inte att fläktarna behövt gå på max-fart i alla hus eftersom det är tryckbildningen över bottenplattan som är avgörande. Kanalerna bör vara av plast.

I figur 2 redovisas resultaten från åtgärder med undertrycksventilering under bottenplattan.



Figur 2. Stapel 1 är radonhalterhalten i husen före åtgärd, stapel 2 strax efter åtgärd och stapel 3 är 3-5 år efter åtgärd. De redovisade halterna är medelvärden för ca 30 hus.

Av resultaten i figur 2 kan utläsas att radonhalterhalten blivit något högre 3-5 år efter åtgärd jämfört med strax efter att åtgärden var utförd. Ökningen är dock inte stor varför åtgärden kan anses vara beständig. I några fall har radonhalterhalten varit ungefär lika hög vid uppföljningen som före åtgärd. Detta har berott på att fläktarna antingen stannat eller varit fränkopplade. Det sistnämnda har varit när husägaren ansett att anläggningen haft för hög ljudnivå.

De nackdelar som en undertrycksventilering under bottenplattan kan ge är:

- störande ljud från fläktar och kanaler.
- otäta system kan ge förhöjd radonhalterhalt.
- känsligt för störningar (fläktar stannar).
- kan ge kalla golv.

Metodens fördelar är att:

- det är billig att utföra.
- det är lätt att installera.
- inga specialkomponenter behöver användas.
- ingen risk finns för fuktproblem.

Övertrycksventilering under bottenplatta

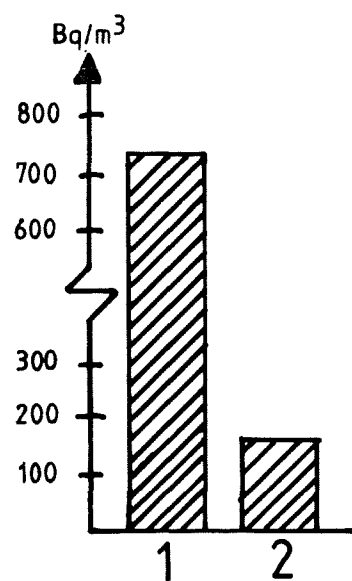
Principen med denna metod är att blåsa ner inneluft under bottenplattan och späda ut radonhalten i marken.



Figur 3. Princip för övertrycksventilering under bottenplatta.

De krav som bör ställas på dessa anläggningar är i stort sett samma som för undertrycksventilering. Möjligtvis ställs större krav på att anläggningen skall vara tyst eftersom fläkten sitter inomhus vid övertrycksventilering.

I figur 4 redovisas resultaten från åtgärder med övertrycksventilering under bottenplattan.



Figur 4. Stapel 1 är radondotterhalten i huset före åtgärd och stapel 2 strax efter åtgärd. De redovisade resultaten är medelvärdet för 7 hus.

Orsaken till att det inte finns resultat redovisade 3-5 år efter åtgärd i figur 4 är att denna metod kom relativt sent. I några hus har dock uppföljning gjorts 3-5 år efter åtgärd och resultaten visade att radondotterhalten ej hade ändrat sig från strax efter att åtgärden var utförd. Detta kan tyda på att metoden fungerar 3-5 år efter åtgärd.

De nackdelar som övertrycksventilering har är att:

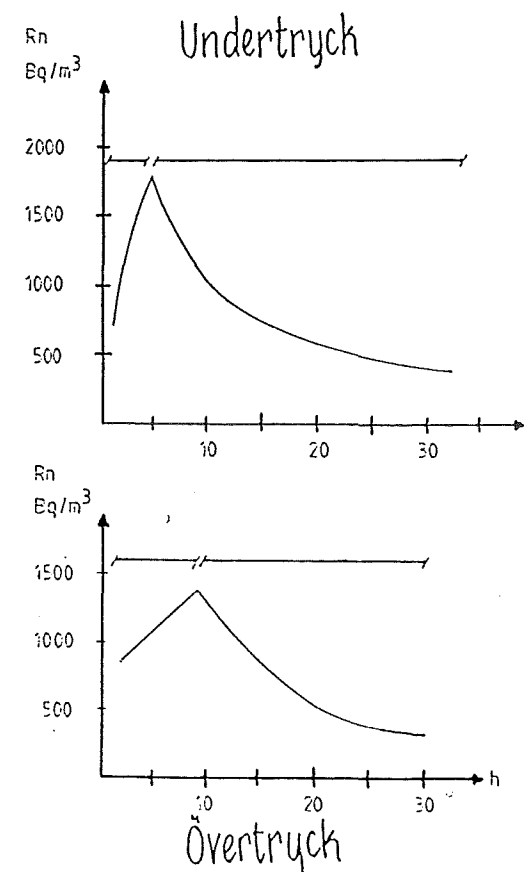
- det är en relativt oprövad metod.
- fukt kan omfördelas under bottenplattan från centrala till yttre delen av plattan. Detta gäller speciellt under senvintern då kantbalken är som kallast.
- det är känsligt för störningar (fläkten stannar).
- metoden är olämplig i radhus, kedjehus och parhus. Risk finns att radon trycks in i dessa hus.

De fördelar som metoden har är att:

- det blir torrt mitt under bottenplattan.
- det är lätt att installera.
- inga specialkomponenter behövs.
- det är billigt att installera.
- det blir varmare golv.

Vilken av metoderna att ventilera och ändra tryckbilderna under bottenplattan är bäst? I ett hus har jämförelse gjorts genom att radondotterhalten mättes vid både över- och undertryck under bottenplattan. Som framgår av resultaten i tabell 5 är radondotterhalten ungefär lika hög

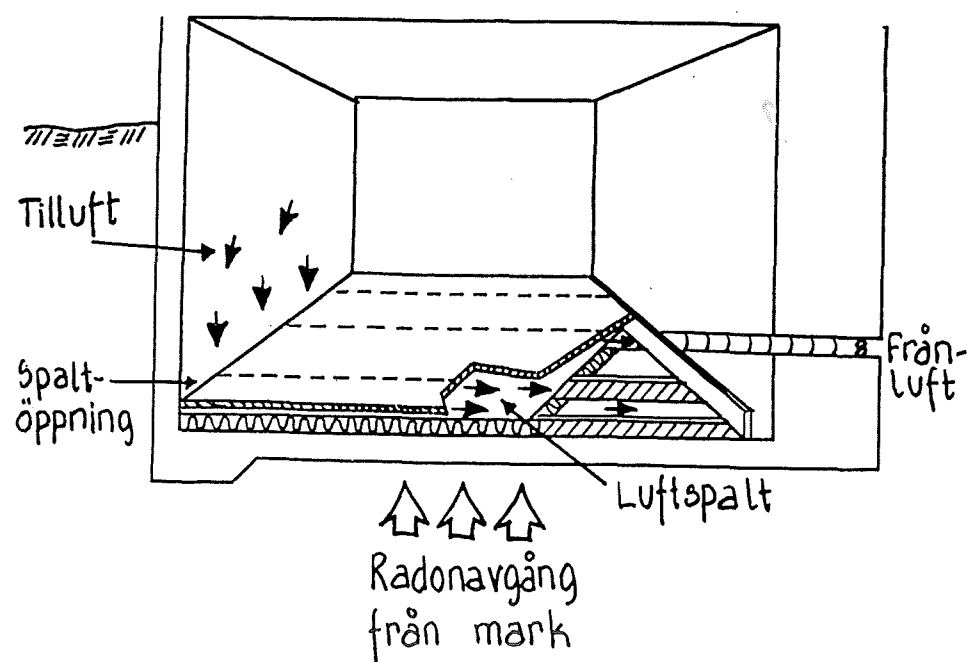
vid de båda mättillfällena. Möjligtvis är radondotterhalten något lägre vid övertryck men det kan troligtvis förklaras med att höga vindhastigheter ute när denna mätning gjordes. Därmed blir radondotterhalten något lägre eftersom luftomsättningen ökar. Med detta enda hus som bakgrund går det dock ej att se någon skillnad mellan metoderna.



Figur 5. Figuren visar radondotterhalten i bostaden vid över- respektive undertryck under bottenplattan. Vid prov A (5-10 timmar) var fläktarna avstängda. Vid prov B var fläktarna påslagna.

Ventilering uppreglat golv

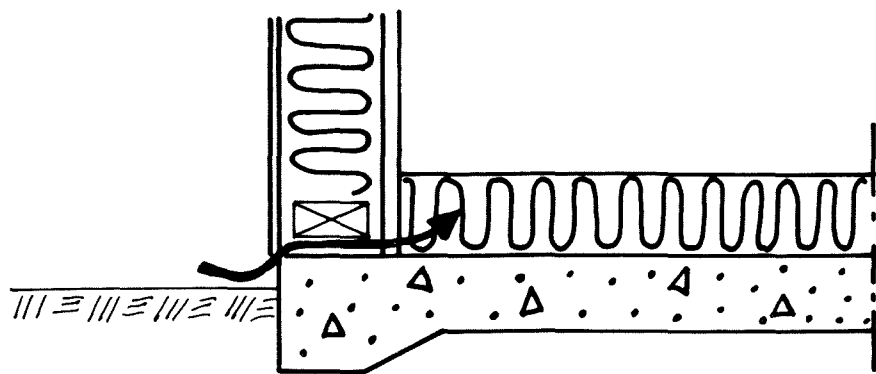
Principen med denna metod är att skapa lägre tryck i golvet än i bostaden. Då kan radon från marken hindras att komma in i bostaden. Denna metod har provats i många mögelluktande hus med gott resultat. Principen för metoden visas i figur 6.



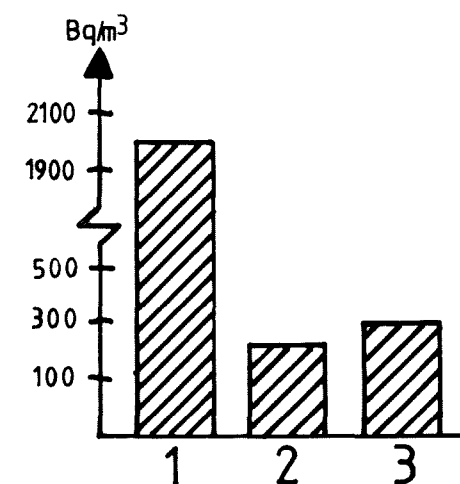
Figur 6. Princip för hur ventilering av uppreglat golv skall utföras.

De krav som bör ställas när denna metod görs är att:

- golvet måste medge ventilering, t ex går det ej att utföra ventileringen i ett så kallat flytande golv (betong, cellplast, spånskiva och golvmaterial).
- det måste vara undertryck i golvet även när frånluftsfläktar går på maxhastighet i bostaden.
- det måste vara undertryck i hela golvet.
- kanaler och fläktar är lufttäta.
- huset är lufttätt vid ytterväggens anslutning mot bottenplattan. Risk finns annars att luft sugas utifrån till golvet och kyler ned golvet.



I figur 7 redovisas resultaten från ventilering av uppreglade golv.



Figur 7. Stapel 1 är radonhalterhalten i husen före åtgärd, stapel 2 strax efter åtgärd och stapel 3 är 3-5 år efter åtgärd. Resultaten är medelvärden för 8 hus.

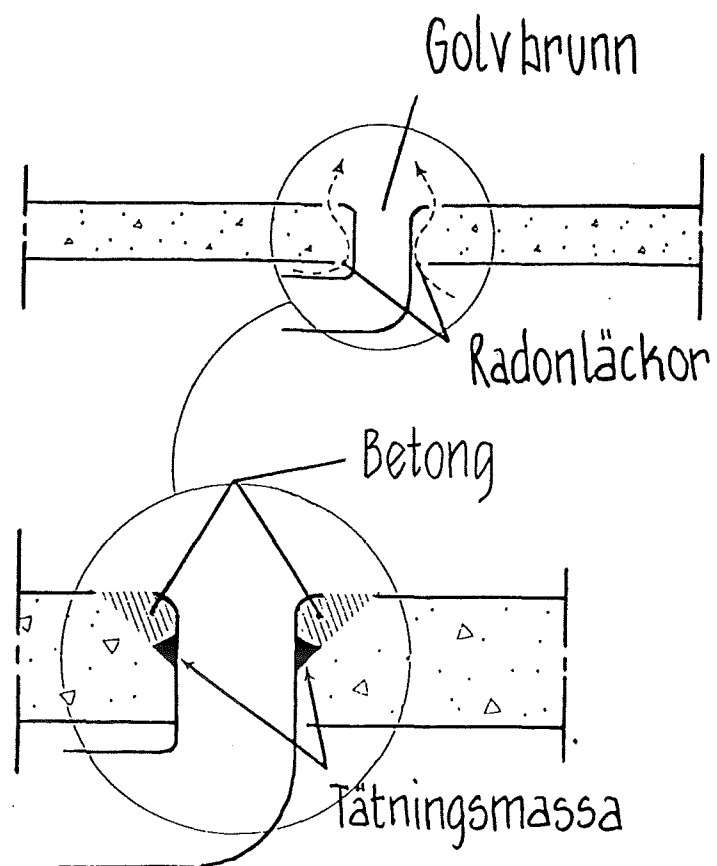
Av resultaten i figur 7 framgår att åtgärden är beständig, eftersom det inte har skett någon större förändring av radonhalterhalten från strax efter åtgärd till 3-5 år efter åtgärd.

Fördelen med att ventilera i ett uppreglat golv är att det blir torrare och varmare golv. Nackdelar är att luftflödena i golvet är svåra att justera och att bostadens ventilationssystem påverkas. Det innebär t ex att i hus med självdragsventilation kan frånluftskanaler bli tillluftskanal. Därför bör det vara mekanisk frånluftsventilation i bostaden när denna åtgärd görs.

Tätning

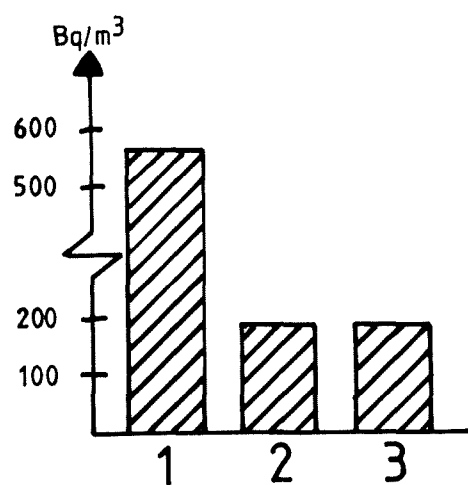
Detta är den enklaste och billigaste metoden att åtgärda höga radonhalter med. Villkoret för att lyckas är att läckagestället är känt. Vanliga läckageställen i bottenplattan är golvbrunnar och kabelgenomföringar men det kan även vara vid sättningssprickor.

I figur 8 visas hur tätningen bör utföras vid en golvbrunn. Som tätningssmassa bör inte silikon användas utan mjukmassa är att föredra.



Figur 8. Skiss som visar hur tätning bör utföras vid golvbrunn.

Resultat från tätning av läckage framgår av figur 9.



Figur 9. Stapel 1 visar radondotterhalten före åtgärd, stapel 2 strax efter åtgärd och stapel 3 är 3-5 år efter åtgärd. Resultaten är medelvärden för 10 hus.

Som framgår av figur 9 har inte radondotterhalten ändrats vid senaste uppföljningen. Detta visar att åtgärden har varit beständig.

Sammanfattning

De uppföljningar som gjorts av åtgärdade hus med höga radonhalter visar i de allra flesta fall att åtgärden är beständig. Det kan dock diskuteras hur ofta radondotterhalten behöver kontrolleras för att kontrollera beständigheten.

De utförda åtgärderna visar också att det går att åtgärda även hus med mycket höga radondotterhalter. När åtgärderna utförs är det en stor fördel om läckageställena är kända. Då kan lämplig åtgärd väljas med utgångspunkt från husets konstruktion och var radonläckagen är belägna.

TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND
 Erkki Kokko, senior research scientist
 Laboratory of Heat and Ventilation
 Liisa Rautiainen, senior research scientist
 Laboratory of Structural Engineering

LONG-TERM PERFORMANCE OF CELLULAR PLASTICS AS BUILDING
 INSULATIONS

Abstract

In service life prediction of thermal insulation boards the knowledge of thermal conductivity changes with time (aging) is important. Also durability of the insulation material itself, in other words, permanence of physical properties (rate of change) is important to know. The dimensional stability and moisture accumulation are also the properties that shall be known in various service conditions in different constructions.

In the research work, started during 1985 in Technical Research Centre of Finland, has been studied influences of environmental parameters (temperature, humidity) on cellular plastics both in constant and cyclic conditions. Also influence of gradient conditions has been studied. The used test temperatures have been between -20...+80 °C and humidities between 50 % ...water bath.

Simultaneously with laboratory agings in different environments the simulation model for cell gas diffusion and thermal conductivity changes with time has been developed. Also for comparison some samples from the existing buildings has been analysed.

According the results achieved, there is clear differences in "aging rates" depending on used aging conditions. Methods for distinguishing "rapidly aging" products as well as simple evaluation methods has been confirmed.

In the report will be presented example results of dimensional changes, moisture uptake and mechanical properties.

Test objects and aging conditions

The study has been restricted to closed cell products containing cell gases with "heavy" molecular weight (freons). The products are PUR-, PIR-, Ex-PS foams totally eight different types (density 25...37 kg/m³).

The aging conditions which has been selected according the average and extreme conditions in practice can be divide into four groups.

- Aging in steady state conditions (constant temperature and humidity around samples).
- Aging under influence of thermal and moisture gradient (constant but different temperature and humidity around samples).
- Cyclic aging tests (temperature and/or humidity changes periodically around the sample).
- Natural aging in constructions (samples are taken from existing buildings).

The aging conditions are presented in the tables 1, 2 and 3.

Table 1. Steady state aging conditions.

T °C	< 50	≈ 75	RH % > 90	water bath
-20			.	.
0			.	.
20
30	.		.	.
40	.		.	.
60	.		.	.
80	.		.	.

Table 2. Cyclic aging conditions.

T ₁ [°C]	RH ₁ [%]	T ₂ [°C]	RH ₂ [%]
20	< 50	-20	> 90
20	> 90	-20	> 90
20	water bath	-20	> 90
30	< 50	-20	> 90
30	> 90	-20	> 90
30	water bath	-20	> 90
60	< 50	-20	> 90
60	> 90	-20	> 90
60	water bath	-20	> 90

1 day + 1 day

Table 3. Gradient aging conditions.

T ₁ [°C]	RH ₁ [%]	T ₂ [°C]	RH ₂ [%]	Position of samples
+ 2	100	-10	100	horizontal
+ 2	water bath	-10	ice	horizontal
+10	100	-10	100	vertical
+20	100	-20	100	horizontal
+20	water bath	-20	100	horizontal
+20	70	-20	100	horizontal
+20	70	+ 2	100	horizontal
+ 2	100	-20	100	vertical
+30	100	-20	100	vertical

Dimensional stability

Changes in dimensions (width, length, thickness) has been followed during the agings. It has been found that, at humidity < 50 % the influence of storage temperature at temperatures ≤ +60 °C is insignificant. At humidities > 90 % and in water bath the higher storage temperatures, ≥ 60 °C, accelerates dimensional changes. The most sensitive dimension considering absolute changes seems to be width (transverse to fabrication). The amount of absorbed water in the product is not in direct relation with dimensional changes. It shall be noted that the dimensions has been measured after temperature of the sample has reached +20 °C but the moisture level is about original (figure 1).

Compared dimensional changes and water absorption taking place during agings, it can be noted that cyclic agings seems to cause the same magnitude of changes faster than agings in constant condition. The type of the material as well as Al-folic coating influence naturally on magnitude and rate of

changes. The more accurate analysis of the results shall be performed after completing the agings and measurements.

Mechanical properties

The changes in mechanical properties has been followed by measurements of compression properties. Before measurements the specimens have been dried in 50 % RH and +23 °C. A serie of samples shall be measured also in wetted state.

The results achieved until now show that temperatures, > 60 °C, and high relative humidity, > 90 %, accelerates also changes in mechanical properties. The changes are generally small even after a year though depending on the type of the product differences exist (figure 2).

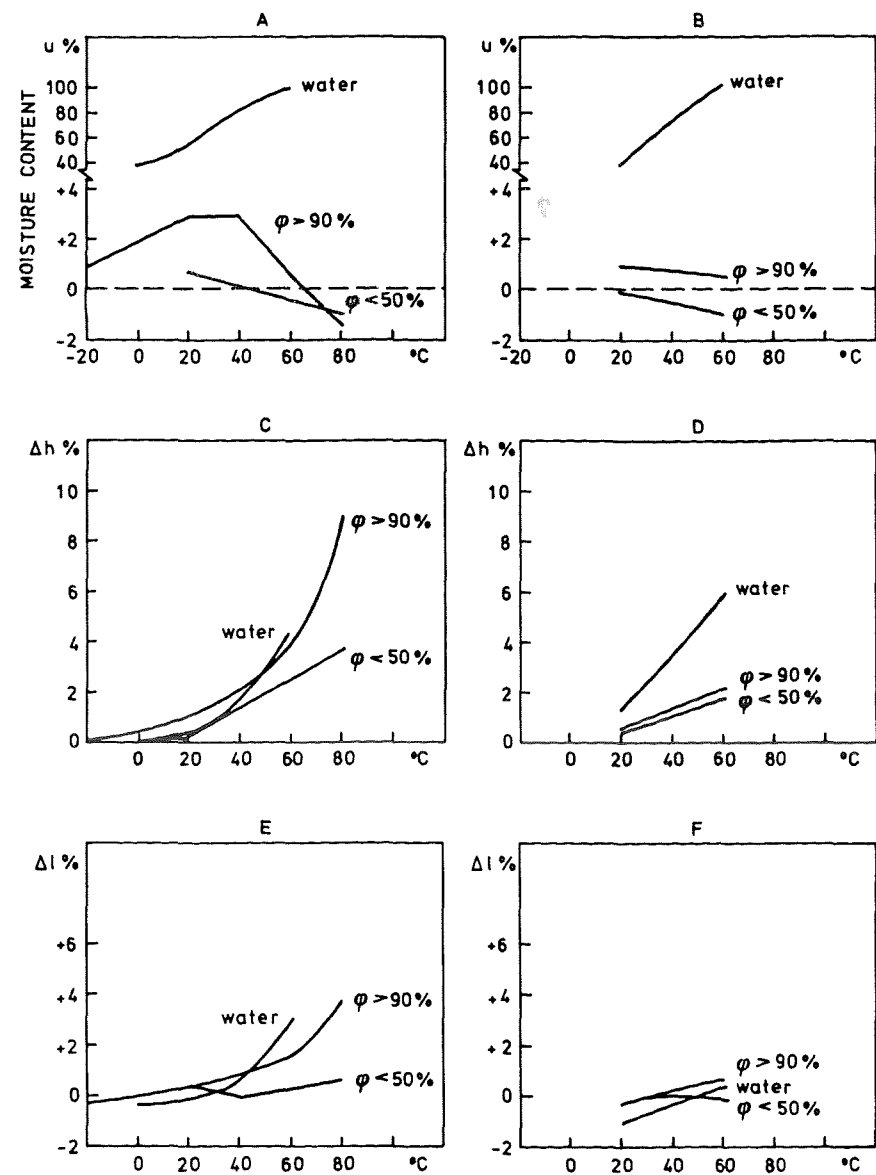
These phenomena can partly be explained with changes in cell gas pressure and sample dimensions under agings. Influence of aging of polymermatrix itself can be more clearly distinguished after completing the tests. The agings of two products in cyclic conditions has caused changes in their mechanical properties faster than agings in constant conditions.

Testing methods for distinguishing rapidly aging products

The relatively fast (3...7 days) and useful methods for distinguishing "rapidly aging" products are both waterstorage at +60 °C or cyclic aging -20 °C +60 °C/waterstorage combined with measurements of mechanical properties, waterabsorption and dimensional changes.

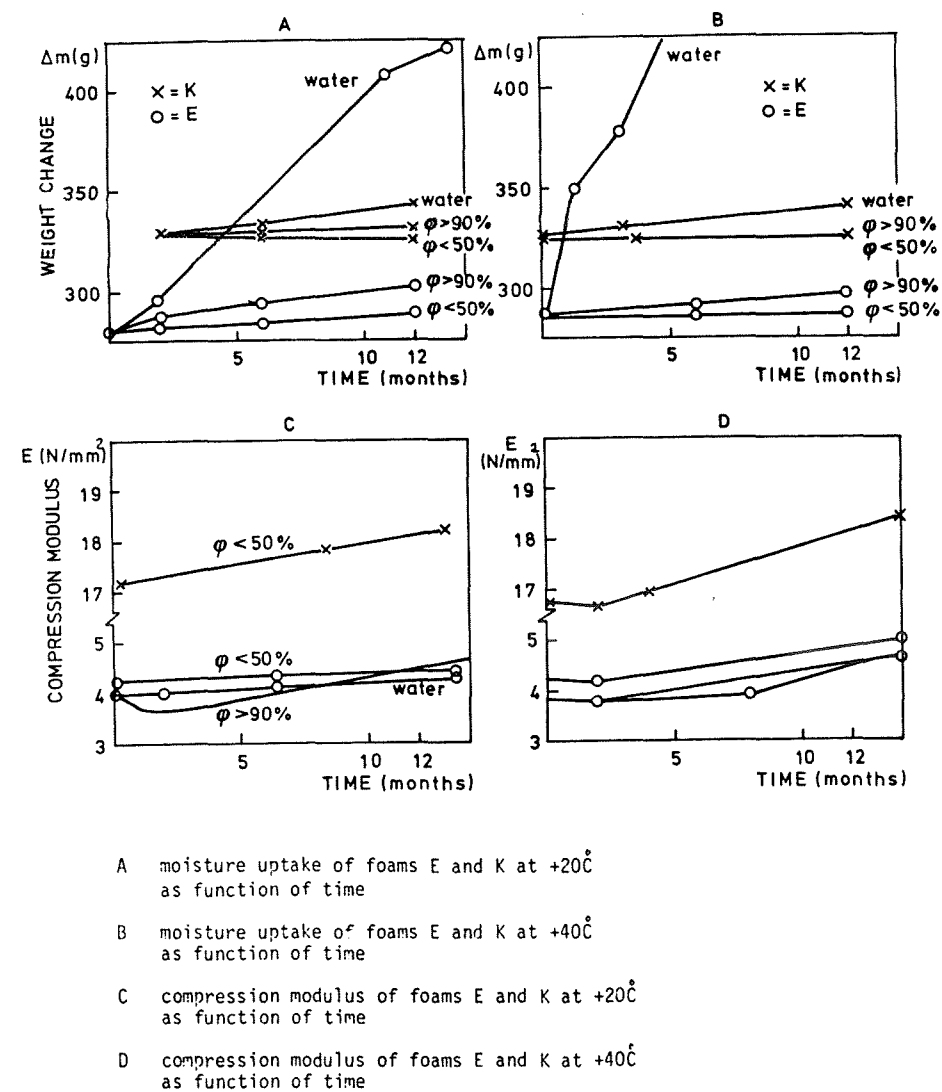
Future work

The research will be completed under 1988. The simulation model for cell gas transport and thermal conductivity as well as completed test results and analysis will be published.



A moisture content of foam E after one year agings in constant conditions as function of temperature
 B moisture content of foam E after 20 aging cycles as function of the temperature (higher)
 C changes in thickness after one year agings in constant conditions as function of temperature
 D changes in thickness after 20 aging cycles as function of temperature
 E changes in width after one year agings in constant conditions as function of temperature
 F changes in width after 20 aging cycles as function of temperature

Figure 1 Influence of temperature and moisture on moisture content- and dimensional changes of PUR-foam



A moisture uptake of foams E and K at +20°C as function of time
 B moisture uptake of foams E and K at +40°C as function of time
 C compression modulus of foams E and K at +20°C as function of time
 D compression modulus of foams E and K at +40°C as function of time

Figure 2 Influence of time, temperature and moisture on weight- and compression modulus of PUR- and ExPS-foams

 Provning av beständighet och åldring hos fogmassor

Tekn dr Per Gunnar Burström

Tekniska Högskolan i Lund, avdelning Byggnadsmateriallära

Box 118

S-221 00 LUND

Bakgrund

Byggnadstekniken har i Norden sedan mitten av 1950-talet undergått stora förändringar. Då började bärande stommar av armerad betong och stål alltmer användas. Stommarna kompletterades sedan med fasader vars funktion huvudsakligen blev klimatskyddande. Från USA kom de s k curtain wall-fasaderna bestående huvudsakligen av aluminium och glas. I Sverige utvecklades olika system där prefabricerade betongelement användes som ett fasadskal.

Denna nya byggnadsteknik innebar två väsentliga förändringar. Dels ökade prefabriceringsgraden väsentligt, dels började man att kombinera olika material (med olika egenskaper) på nya sätt.

För att kunna klara toleranskrav och de rörelser, som uppstår måste man därför skapa fogar mellan de olika elementen/materialen.

Krav på fogar

På en icke bärande yttervägg ställs flera olika funktionskrav: täthet mot regn och vind, invändig täthet, värme-, ljud- och brandisolering. På en fogkonstruktion måste samma typ av krav kunna ställas. I en fog tillkommer dessutom krav på rörelse- och deformationsupptagning orsakad av variationer i temperatur och fuktinnehåll, krypning, sättningar osv.

Detta innebär att de påkänningar som verkar på en byggnads fasad koncentreras kring fogarna.

För att uppfylla vissa av de krav, som ställs på fogarna används olika typer av fogmassor eller lister av gummi eller plast.

Krav på fogmaterial

De absolut viktigaste kraven på fogmaterialen är krav beträffande rörelse-

upptagning och beständighet i den aktuella miljön. De första materialen som utvecklades för ändamålet var mycket enkla oljebaserade fogmassor. Ett stort steg i utvecklingen togs så sent som 1954 då man i Lever House, N.Y., började att använda polysulfidbaserade fogmassor med väsentligt förbättrade egenskaper. Sedan dess har fler produkter med andra bindemedel och andra egenskaper utvecklats.

Ny syn på fogdimensionering

Vid en statisk dimensionering av byggnadsdelar måste konstruktionen utföras så att aktuella belastningar inte medför att tillåtna spänningar överskrides.

Det ligger nära till hands att applicera samma synsätt på en fogdimensionering. Lasterna utgörs av de olika funktionskrav, inklusive rörelse- och deformationsupptagning, som ställs på fogen. Den statistiska beräkningens tillåtna spänningar motsvaras vid fogdimensioneringen normalt av tillåtna procentuella deformationer i fogmaterialen.

Hur bestämmer man fogmassornas beständighetsegenskaper?

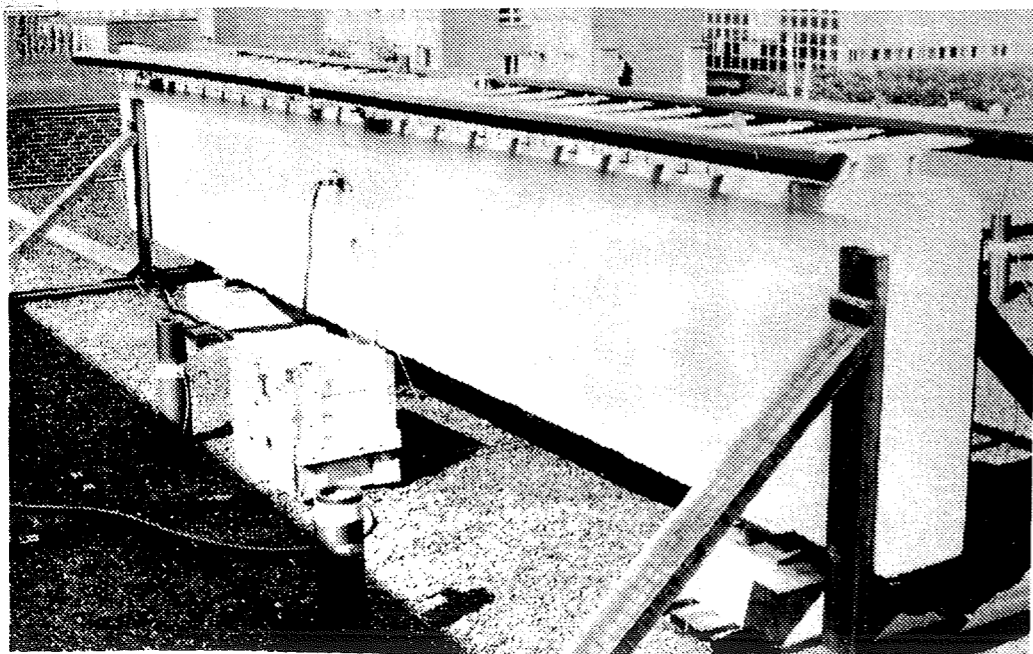
Problemet kan delas upp i två olika delar:

1. Hur är materialets beständighet mot klimatisk påverkan, dvs värme, vatten, alkalier, UV-ljus och ozon? 2. Vilken rörelseupptagande förmåga har materialet?

I laboratoriet är det möjligt att studera hur vissa renodlade åldringsframkallande faktorer påverkar t ex fogmassornas mekaniska egenskaper. Det är då möjligt att se vilka eller vilken faktor som dominerar över de andra. Dessa faktorer kan vidare sammansättas till olika program för accelererad åldring av materialen.

I verkligheten sker dock en samverkan mellan faktorerna på ett mycket komplext sätt, samtidigt som de varierande fogrörelserna påverkar materialen.

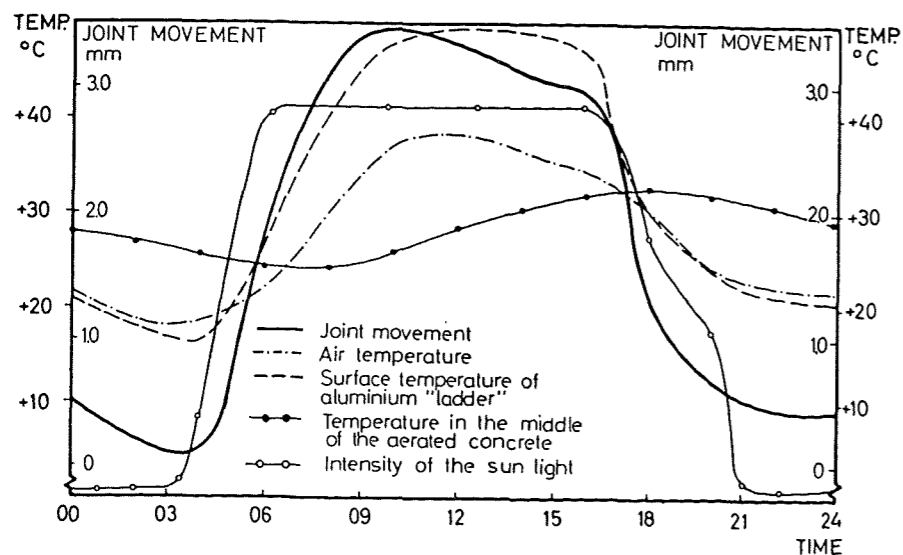
Att prova inverkan av alla dessa faktorer i en enda metod i ett laboratorium kan därför ge mycket osäkra resultat. Ett bättre sätt är att som komplement till de renodlade laboratorieprovningarna utföra kontrollerade och accelererade provningar utomhus. Ett exempel på en konstruktion för denna typ av provningar framgår av figur 1.



Figur 1. Provningsutrustning för utomhusexponering av provkroppar med fogmassor.

I denna utrustning utsätts inspända provkroppar samtidigt för en klimatisk påverkan och för påtvingade deformationer till följd av naturliga temperatur- och fuktvariationer. Två viktiga inslag är dels att deformationshastigheten blir låg och dels att fogmassorna utsätts för komprimering samtidigt som temperaturen är hög. Under sådana förhållanden uppvisar även de elastiska fogmassor kvarstående deformationer till följd av spänningsrelaxation.

Ett exempel på uppmätta "fogrörelser" ges i figur 2.



Figur 2. Ett exempel på ett dygn med stora uppmätta temperaturvariationer och som följd av detta stora fogrörelser i provningsutrustning utomhus.

Metodikerna har använts i Sverige sedan några år tillbaka för provning och godkännande av fogmassor. Även i Canada har på senare tid ett omfattande försöksmaterial verifierat metodikens användbarhet. I USA pågår vidare diskussioner att införa dessa idéer i deras provningsverksamhet.

Exempel på resultat från provningar

I en jämförande studie mellan 4 olika silikonbaserade fogmassor undersöktes dessa olika materials beteenden i provningsutrustningen enligt figur 1. Provkroppar med sidomaterial av betong, aluminium och vacuumimpregnerat trä undersöktes. Resultaten framgår av figur 3.

Material Nr	Rörelseupptagning	%		
	enligt leverantör	totalt vid provning mot betong	aluminium	trä
1	±50	24.3	>39.2	26.6
2	±50	35.3	>41.7	>36.6
3	±50	40.1	>39.2	34.1
4	totalt 30	>42.1	>39.2	>34.1

Figur 3. Resultat från jämförande provningar av 4 olika silikonbaserade fogmassor.

Resultaten visar att i de flesta fall överskattas fogmassornas rörelseupptagning kraftigt av resp leverantör. I vissa laboratorieprovningar kan sannolikt de värden som uppges av leverantörerna erhållas. Vid den mer komplexa utomhusprovningen är dock påkänningarna större med sämre värden som följd.

Sammanfattning

Med utgångspunkt från de krav, som ställs på fogar i t ex en fasad anges de viktigaste kraven, som måste ställas på de fogmassor som används. För att undersöka om dessa krav är uppfyllda kan olika provningsmetoder användas. Här understryks vikten av att resultaten från provningar med konventionella laboriemetoder jämförs och studeras tillsammans med resultat från provningar med kontrollerade, accelererade provningar i utomhusklimat. Exempel på resultat från en sådan provning av silikonbaserade fogmassor ges.

Förändring av värmeledningsförmågan hos cellplaster innehållande CFC eller andra gaser

Docent Per Ingvar Sandberg, Byggnadsfysik, Statens Provningsanstalt,
Box 857, 501 15 BORÅS

Civilingenjör Jan Isberg, Husbyggnadsteknik, Chalmers Tekniska Högskola,
412 96 GÖTEBORG

Bakgrund

Flera typer av cellplaster för värmeisoleringsändamål innehåller "fullständigt halogenerade klorfluorkarboner" (CFC) i cellerna. Dessa gaser har lägre värmeledningsförmåga än luft och inverkar således positivt på materialets värmeisolerande förmåga. Med tiden diffunderar emellertid luft in i cellerna och förhöjer värmeledningsförmågan. Förändringen av gasinnehållet i ett material brukar anses vara ett rent diffusionsförlopp och kan då för varje gas tecknas med hjälp av en diffusivitet

$$\frac{dp}{dt} = D \frac{d^2 p}{dx^2} \quad (1)$$

där D = diffusivitet för den aktuella gasen i materialet [m^2/s]

p = gasens partialtryck [Pa]

t = tid [s]

För en skiva med begynnelsekoncentrationen p_0 och med tjockleken l och oändlig utbredning i de båda övriga riktningarna som placeras i en miljö där den inneslutna gasens koncentration är noll, erhålls ett uttryck beskrivande koncentrationsförändringen med tiden enligt

$$p = \frac{4p_0}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} e^{-D \left(\frac{(2k-1)\pi}{l}\right)^2 t} \cdot \frac{1}{(2k-1)} \sin \frac{(2k-1)\pi x}{l} \quad (2)$$

Utgående från värden på diffusionsegenskaper för aktuell gas-materialkombination samt begynnelsekoncentrationer i och utanför materialet kan därmed gaskoncentrationen för varje gas i godtycklig punkt vid godtycklig tidpunkt beräknas. Med kännedom om gasblandningens sammansättning kan även dess värmeledningsförmåga beräknas.

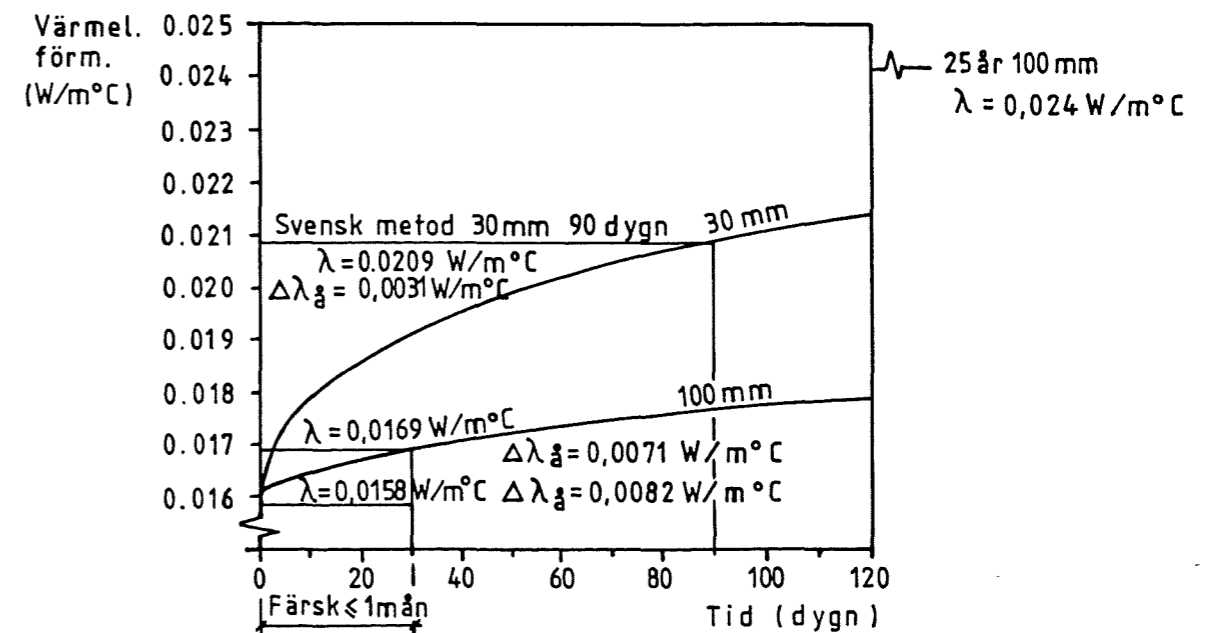
Att fastställa praktiskt tillämpbara värden på värmeledningsförmågan för

ett material som förändrar sin ledningsförmåga med tiden är naturligtvis komplicerat. I de flesta länder används någon typ av korrektionsterm för att överföra i plattapparat uppmätta värden till praktiskt användbara värden. I det följande kommer endast att behandlas den del av denna korrektion som är att hänföra till förändringen av värmeledningsförmågan med tiden, ofta benämnd åldringspåslag.

För att kunna fastlägga storleken på åldringspåslaget måste man känna till värmeledningsförmågan som funktion av tiden. För en given cellplast med bestämd tjocklek är detta möjligt om man känner till ingående gaser och dessa gasers partialtryck, värmeledningsförmåga och diffusionskoefficienter genom den aktuella cellstrukturen.

Även om samtliga dessa faktorer är kända, vilket oftast inte är fallet, och ett korrekt åldringspåslag kan beräknas, måste emellertid försiktighet iakttagas vid användningen. Det har i olika länder utvecklats olika praxis för bestämning av värmeledningsförmåga för material, som förändrar ledningsförmåga med tiden. I vissa länder görs mätningar på färskt material (inom en månad), i andra länder konditioneras material en fastställd tid, ibland vid förhöjd temperatur. I några fall tillämpas konditionering vid föreskriven tjocklek i andra fall vid full skivtjocklek. Naturligtvis blir ett korrekt åldringspåslag helt olika för dessa olika metoder.

I Fig. 1 visas åldringspåslag för att uppnå värmeledningsförmågan vid 25 år för en 100 mm tjock skiva dels enligt Svenska metoden, dels enligt en metod, där bestämningen skall göras inom en månad på materialet konditionerat i full tjocklek.



Figur 1. Åldringspåslag $\Delta\lambda_g$ för att uppnå värmeledningsförmågan vid 25 år för en 100 mm tjock skiva vid olika metoder för konditionering. Exemplet avser uretancellplast.

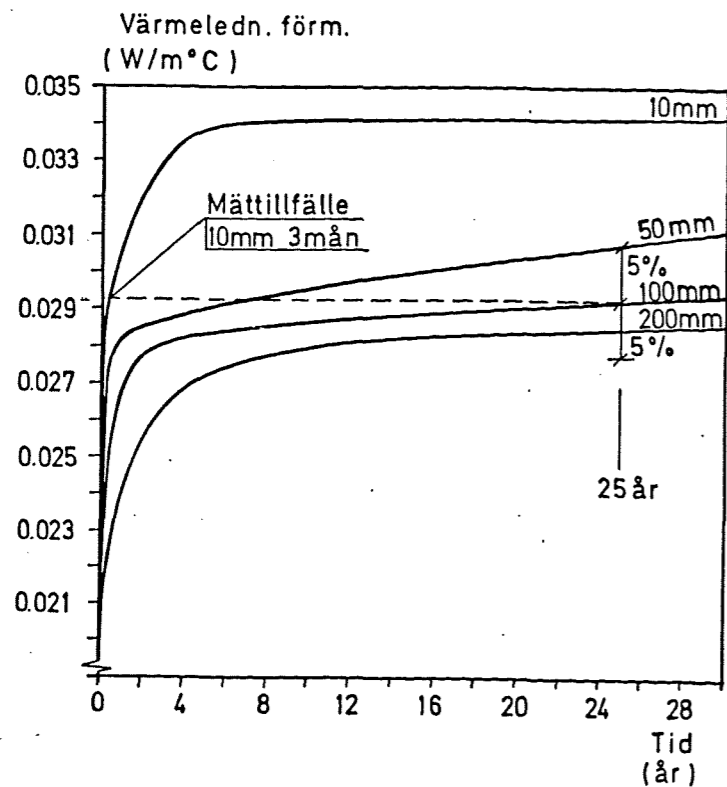
Åldringsspåslaget $\Delta\lambda$ är här definierat som skillnaden mellan värmeledningsförmågan för den 100 mm tjocka skivan vid 25 år och uppmätt värmeledningsförmåga enligt resp metod.

Av figuren framgår att korrekta åldringsspåslag varierar mycket kraftigt mellan de båda metoderna. Är provningen utförd i Sverige bör åldringsspåslaget vara ca $0,003 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, medan uppmätning på nytillverkat material i stället ger påslaget $0,006 - 0,007 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Det bör noteras att värdena endast gäller vid den tjocklek och det gasinnehåll som antagits i figuren.

Genom att olika konditioneringsmetoder används i olika länder är det svårt att på något sätt samordna åldringsspåslag. Naturligtvis vore det enklast om en metod kunde arbetas fram där materialet snabbåldrades, så att ett uppmätt värde efter en rimlig konditioneringsstid skulle motsvara praktiskt tillämpbart värde utan åldringsspåslag.

Ny konditioneringsmetod

En metod för fastläggande av åldringsspåslag i samband med provning av gasfyllda cellplaster har framtagits i Nordtestprojekt 603-86 Thermal insulation - Determination of thermal conductivity: Sample preparation. I denna metod konditioneras provstycken 10 mm tjocka i 91 ± 7 dygn före bestämning av värmeledningsförmågan. Vid själva provningen läggs sedan så många 10 mm provstycken samman att en tjockleksberoende värmeledningsförmåga erhålls.



Figur 2. Värmeledningsförmågan för ett 10 mm tjockt prov efter 3 månader motsvarar exakt värmeledningsförmågan för en 100 mm tjock skiva efter 25 år. Värdet är dessutom en god approximation för skivor mellan 50 mm och 200 mm. Exemplet avser extruderad styrencellplast.

"25-årsvärdet" får naturligtvis inte tolkas som värdet efter 25 år för en skiva i verklig användning, utan motsvarar värdet för en skiva som förvarats 25 år under den 10 mm tjocka skivans konditioneringsförhållanden, dvs $+20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ och relativ ånghalt under 50%.

Överföringen mellan 3-månadersvärdet för 10 mm skivan till 25-årsvärdet för 100 mm skivan är uppenbar, om man studerar Ekv. 2. Av denna ekvation framgår att ett specifikt värde på kvoten t/ℓ^2 för ett givet material alltid motsvaras av ett specifikt gasinnehåll och därmed värmeledningsförmåga. Detta innebär att en omräkning mellan tider enkelt kan göras enligt

$$t_1 = t_2 \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2} \quad (3)$$

där

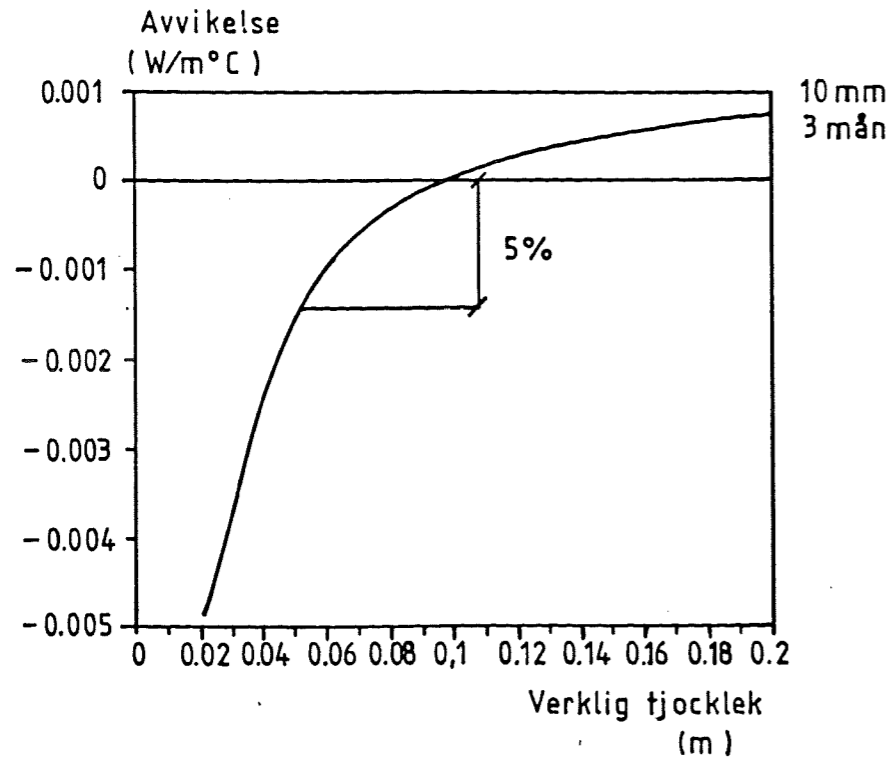
ℓ_1	= tjocklek för skiva 1	[m]	ℓ_1	= 0,01 m
ℓ_2	= " " " 2	[m]	ℓ_2	= 0,10 m
t_1	= tid för att uppnå önskad värmeledningsförmåga för skiva 1			
t_2	= tid för att uppnå önskad värmeledningsförmåga för skiva 2		t_2	= 25 år

Fördelen med metoden är att snabbåldringen sker genom en ren omräkning mellan tjocklek och tid samt att denna omräkning medger att åldringsspåslaget blir noll. Detta innebär att metoden är tillämpbar oberoende av gasinnehåll, diffusionskoefficienter, cellstorlekar och strålningsegenskaper. Att gasinnehåll och diffusionskoefficienter inte ingår vid omräkningen är naturligtvis tilltalande då metoden därmed är direkt tillämpbar på de nya gaser, som kan tänkas bli följden av den pågående CFC-debatten. Vidare innebär detta att ett riktigt värde kan fastställas utan att tillverkarna behöver avslöja mängd och typ av använda gaser vid tillverkningen.

Metoden kommer emellertid, som framgår av Fig. 2, endast att ge ett korrekt "25-årsvärde", om den verkliga skivtjockleken är 100 mm. Vid mindre tjocklekar kommer metoden att ge ett för gynnsamt värde och vid större tjocklekar ett för högt värde. I Fig. 3 visas det fel som uppstår vid olika tjocklekar då metoden tillämpas. Beräkningen är utförd enligt

$$\Delta\lambda = \lambda_{10;0,25} - \lambda_{\ell;25} \quad (4)$$

där $\Delta\lambda$ = avvikelse i värmeledningsförmåga [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]
 $\lambda_{10;0,25}$ = värmeledningsförmåga för gasblandningen i ett 10 mm tjockt prov efter 3 månader [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]
 $\lambda_{l;25}$ = värmeledningsförmåga för gasblandningen i ett l mm tjockt prov efter 25 år [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]



Figur 3. Beräknad avvikelse från korrekt 25-årsvärde om provningar vid samtliga skivtjocklekar utförs på 10 mm tjocka provkroppar lagrade i 3 månader. Antagna diffusionsegenskaper avser extruderad styrencellplast.

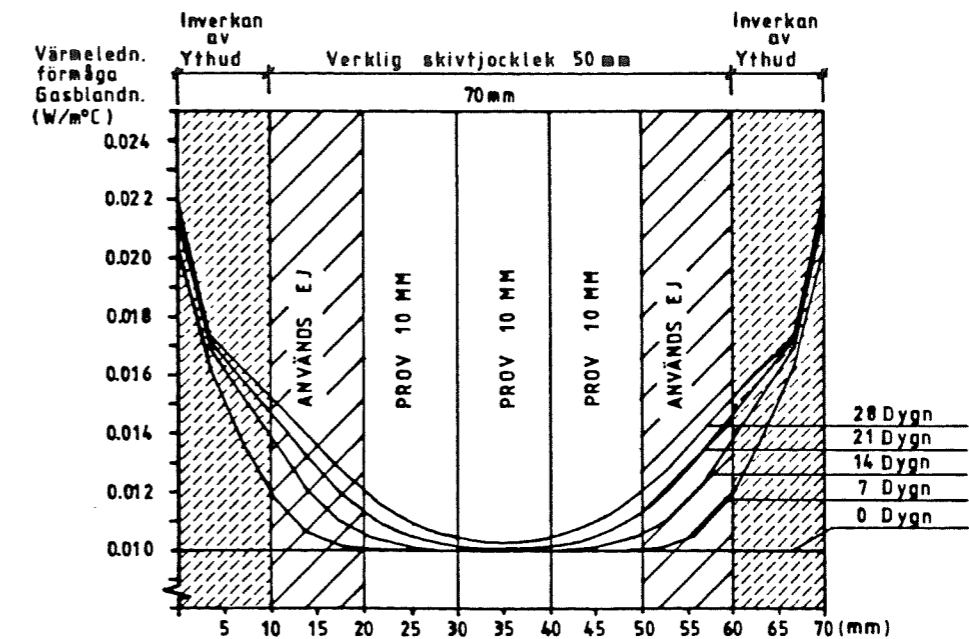
Värmeledningsförmågan vid 25 år för en produkt av det slag som visas i Fig. 3 är ca $0,030 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, varför metoden ger ett korrekt värde med noggrannhet bättre än $\pm 5\%$ för skivor mellan 50 och 200 mm. Ythuden på denna typ av produkter har ur gasdiffusionssynpunkt visat sig motsvara ca 1 mm material, varför metoden med ovan nämnda noggrannhet kan användas ner till 30 mm om ythuden bibehålls på båda sidor vid den praktiska användningen.

Metodens tillämpning på extruderad polystyren

Metoden är generell i det avseendet att korrekt "25-årsvärde", så länge Ekv. 1 är tillämpbar, alltid kommer att erhållas för en 100 mm tjock skiva oberoende av polymer i cellstrukturen och gasinnehåll. Däremot är inte avvikelserna i Fig. 3 materialoberoende, utan kommer att variera med diffusionskoefficienter, gasernas värmeledningsförmåga och gasernas partial-

tryck. För att närmare presentera metoden och belysa några praktiska aspekter har valts att exemplifiera på extruderad polystyren.

Metoden med snabbåldring genom minskad diffusionsväg förutsätter att den tunna skivan är färsk vid början av konditioneringstiden. Praktiskt är det omöjligt att genomföra provberedning så snart efter tillverkning att en skiva kan betraktas som färsk. För att klara detta problem sägs i metodförslaget att 10 mm skivorna inte får skäras närmare den verkliga skivans ytor än 10 mm samt att tid mellan tillverkning och provberedning inte får överstiga 7 dygn. I Fig. 4 visas värmeledningsförmågans fördelning för gasblandningen i en 50 mm tjock skiva vid olika tidpunkter. Genom att skivans ythud bibehållits på båda sidor och ythuden har ett diffusionsmotstånd svarande mot ca 10 mm material, kan skivan i gasdiffusionssammanhang betraktas som en 70 mm tjock skiva.



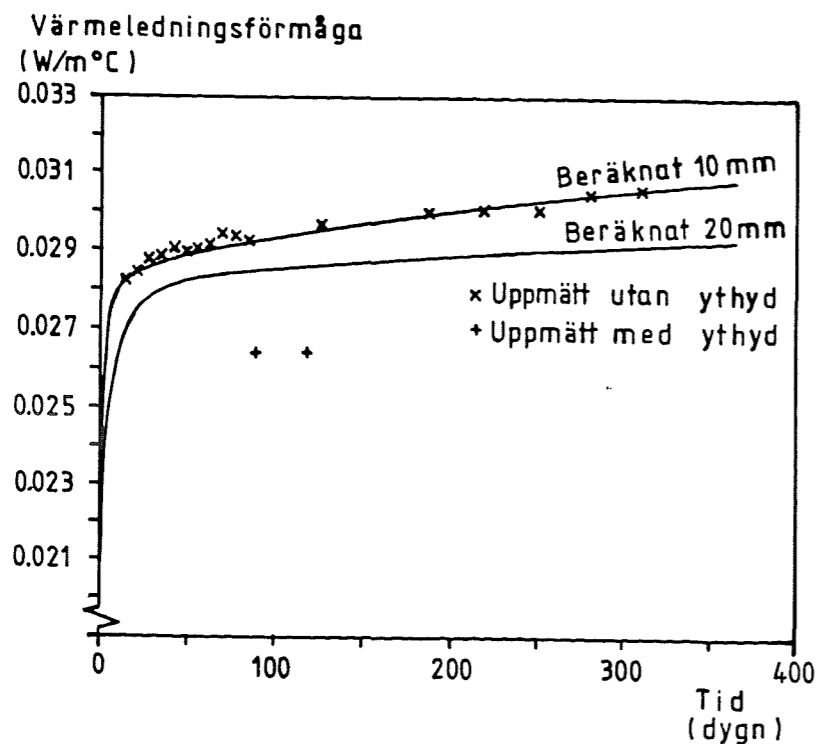
Figur 4. Fördelning av gasblandningens värmeledningsförmåga i en 50 mm tjock extruderad polystyrenskiva vid olika tidpunkter.

Figuren visar att borttagandet av 10 mm på var sida, tillsammans med ythudens fördröjande effekt gör att resterande del av skivan fortfarande efter 7 dygn kan betraktas som färsk. Beräkningsförutsättningar enl Tab. 1.

Tabell 1. Antagna egenskaper för gaser vid beräkning av förändring i värmeledningsförmåga med tiden.

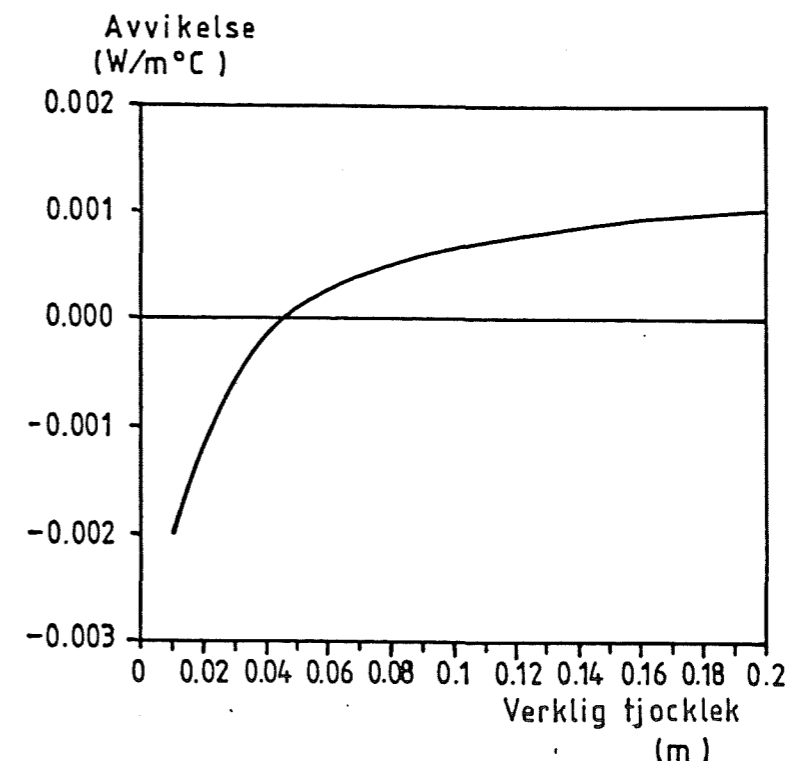
	CF_2Cl_2	N_2	O_2	
Diffusionskoefficient:	D	(2,3	300	$500) \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$
Värmeledningsförmåga:	λ	0,010	0,025	0,025 $\text{W/m}^\circ\text{C}$
Partialtryck från början:	p_0	50	0	0 kPa
Partialtryck i omgivningen:	p	0	78	21 kPa

Att provskivorna därmed tages ur själva kärnan har ifrågasatts av vissa tillverkare, eftersom det visat sig att ythuden inte bara påverkar gasdiffusionen utan faktiskt i sig även har en lägre värmeledningsförmåga. Mätningar har visat att 90 dygnsvärdet för kärnmaterialet är ca $0,029 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ mot $0,026 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ för en 10 mm tjock skiva inklusive ythud, se Fig. 5.



Figur 5. Värmeledningsförmåga som funktion av tiden för extruderad styren-cellplast. Jämförelse mellan material från kärnan och material inkl ythud.

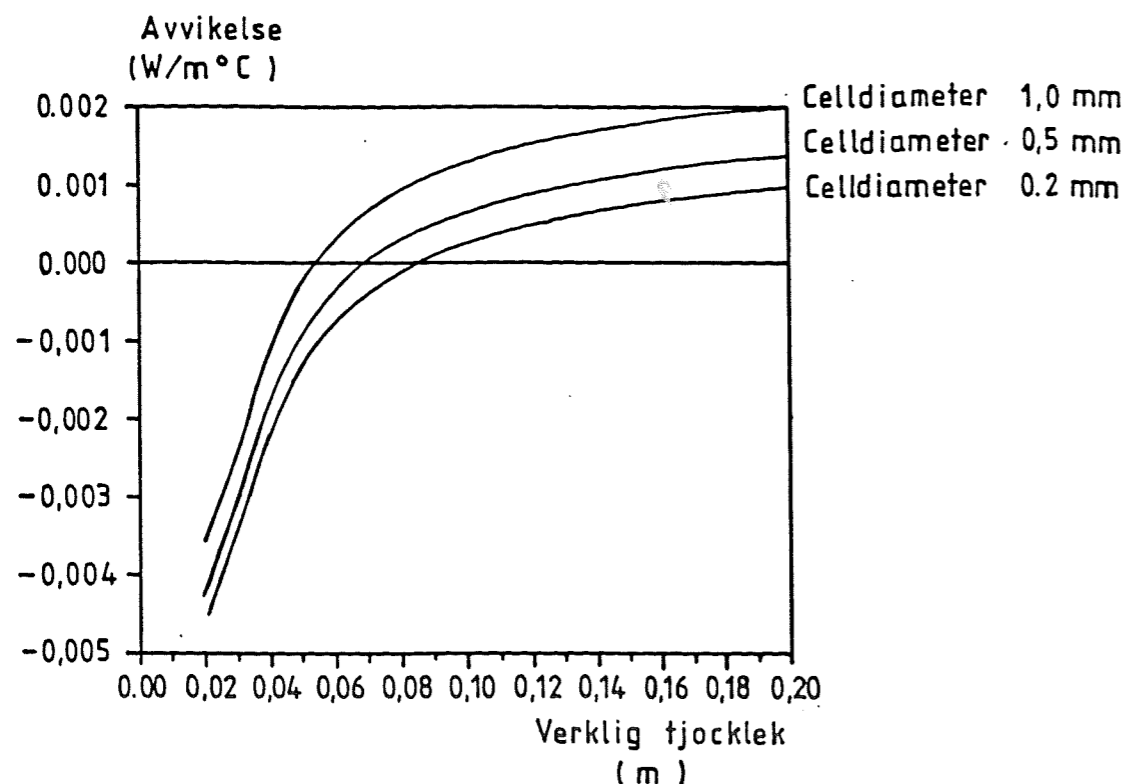
Skillnaden i värmeledningsförmåga mellan ythud och kärnmateriale är så stor att den inte kan hänföras till förändrad "åldring" med och utan ythud, jfr kurvorna för 10 mm och 20 mm proverna. Genom att man på detta sätt vid provning enligt metodförslaget tar bort den del av skivan, som har den lägsta värmeledningsförmågan kommer uppmätt värde att vara högre än medelvärdet över skivtjockleken. I Fig. 6 visas hur detta "fel" påverkar avvikelsen från sant "25-årsvärde". I figuren har avvikelsen mellan värmeledningsförmågan efter 3 månader bestämd på 10 mm tjocka prover tagna ur en skivas kärna och värmeledningsförmågan efter 25 år för hela skivor inkl ythud, uppritats som funktion av verklig tjocklek. Ythuden har ur gasdiffusionssynpunkt på vanligt sätt antagits motsvara 10 mm på var sida. Värmeledningsförmågan för kärnan resp ythuden har antagits till $0,0290 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ och $0,0264 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ enligt Fig 5.



Figur 6. Avvikelse i värmeledningsförmåga som funktion av verklig skivtjocklek. Beräknad avvikelse från korrekt 25-årsvärde om provningar utförs på 10 mm tjocka provkroppar sågade ur skivans kärna och lagrade i 3 månader. Absskissan har korrigerats med hänsyn till ythud, genom att vid beräkningen använda 20 mm större tjocklek än den i figuren redovisade.

Fig. 6 visar att ythudens lägre värmeledningsförmåga verkar gynnsamt för den föreslagna metoden vid små tjocklekar och har mycket liten negativ inverkan vid stora tjocklekar. Med provkroppar sågade ur kärnan och bibehållen ythud hos de verkliga skivorna klarar man noggrannhetskravet $\pm 5\%$ hela vägen från 20 mm upp till 200 mm skivtjocklek, dvs alla de skivtjocklekar som är av praktiskt intresse.

Uppsågan av skivor i 10 mm tjocka provstycken kommer att öppna ett antal celler som vid en praktisk användning är fyllda med CFC. I Fig. 7 visas inverkan av denna effekt för några olika antagna celldiametrar. Vid beräkningen av denna figur har ingen hänsyn tagits till ythudens effekt enligt Fig. 6, utan eventuell jämförelse skall göras direkt med Fig. 3. För att med säkerhet inte underskatta effekten av cellöppningen, har antagits att en del motsvarande hela celldiametern på var sida om 10 mm skivan fyllts med luft vid uppsågan. Ansatsen kan vara rimlig då uppsågan inte enbart påverkar genom en direkt cellöppning, utan även genom en snabbare diffusion in och ut ur de celler som inte öppnats men som gränsar till öppnade celler.



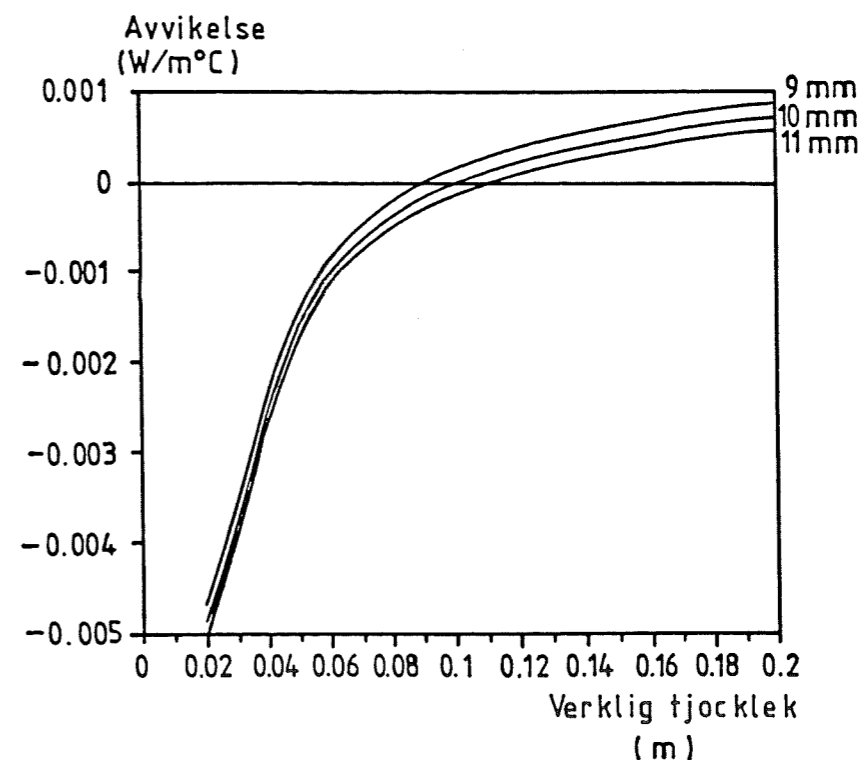
Figur 7. Avvikelse i värmeledningsförmågan som funktion av verklig skivtjocklek. Beräknad avvikelse från korrekt 25-årsvärde om provningar utförs på 10 mm tjocka provkroppar lagrade i 3 månader. Vid beräkningen har antagits att uppsågningen öppnar yttersta cellagret på båda sidor av 10 mm skivan.

Av figuren framgår att öppnandet av celler, vid rimlig cellstorlek, verkar gynnsamt på metoden genom att minska avvikelsen vid små tjocklekar.

Praktiskt kan uppstå svårigheter att såga skivor med tjocklek 10 mm. Man bör emellertid notera att skivorna inte behöver sågas i full plattapparatstorlek, utan behöver ur konditioneringssynpunkt endast överstiga arean hos plattapparatens mätdel med ca 10 mm runt om. Om önskad mätnoggrannhet uppnås går det utmärkt att ersätta resterande del av plattapparatens area med en ram.

Nedsågningen av provstyckena till 10 mm innebär emellertid även positiva effekter för den praktiska tillämpningen. Den ringa tjockleken ger ett lågt böjmotstånd hos skivorna, vilket tillåter tillbakapressning hos provstyckena som blivit krökta. En sådan krökning är relativt vanlig vid uppsågning av kontinuerligt tillverkade skivor med ythud eller ytskikt.

Det är inte möjligt att såga provstyckena med tjocklek exakt 10 mm. Vid normal noggrannhet vid uppsågningen torde det emellertid vara möjligt att uppnå denna tjocklek med maximalt ca $\pm 10\%$ avvikelse. I Fig. 8 visas vilket fel som uppnås vid 9 mm resp 11 mm tjocka provstyckena.



Figur 8. Avvikelse i värmeledningsförmågan som funktion av verklig skivtjocklek. Beräknad avvikelse från korrekt 25-årsvärde om provningar utförs på 9 mm, 10 mm resp 11 mm tjocka provkroppar lagrade i 3 månader.

Av Fig. 8 framgår att felet i värmeledningsförmåga som uppstår vid 10% fel i tjockleken är storleksordning 1%, dvs i dessa sammanhang helt försumbart.

Av Fig. 6 - 8 framgår att metoden med $\pm 5\%$ noggrannhet ger ett korrekt "25-årsvärde" för extruderade polystyrenskivor mellan ca 20 och 200 mm om ythuden bibehålls vid den praktiska användningen. Vidare framgår att den praktiskt nödvändiga åtgärden att ta bort ythuden hos provstyckena samt den ofrånkomliga öppningen av cellerna vid uppsågningen, märkligt nog leder till en ökad noggrannhet hos metoden.

Vid extruderad polystyren är det endast vid skivor, där ythuden tages bort vid den praktiska användningen samtidigt som tjockleken är liten som metoden inte ger tillfredsställande noggrannhet. Då bör man emellertid hålla metodens princip i minnet. Ett korrekt "25-årsvärde" erhålls för en 100 mm tjock skiva med fullständigt okänd sammansättning. Känner man ursprungligt gasinnehåll och diffusionskoefficienter, vilket är nödvändigt vid en konventionell metod med åldringpåslag, kan den föreslagna metoden mycket väl korrigeras för tjocklekseffekten. En sådan korrektion möjliggör fastställande av korrekt "25-årsvärde" med vald noggrannhet för samtliga tjocklekar med eller utan ythud.

Som tidigare nämnts är metoden inte enbart tillämpbar på extruderad styrencellplast, utan kan användas generellt för slutna cellstrukturer. För uretancellplast, med ursprungligt gasinnehåll av huvudsakligen CFCl_3 , ger metoden exempelvis korrekt värde inom $\pm 5\%$ för verkliga skivtjocklekar mellan 20 mm och 200 mm.

Litteratur

Sandberg, P I, Deterioration of thermal insulation properties of extruded polystyrene. Classification and quality control system in Sweden. Contribution to ASTM. Symposium, Dec. 1987.

Isberg, J, Konditioneringsregler i anslutning till bestämning av värmemotstånd för cellplaster innehållande gas med lägre värmekonduktivitet än luft. Husbyggnadsteknik nr 660:2, Cahlmers Tekniska Högskola, okt. 1987.

Livslängd hos förseglade glastrutor

Civ.ing. Hans Brolin
 Ing. Mats Tornevall
 Statens provningsanstalt
 Box 857
 S-501 15 BORÅS
 Sverige

Tillverkningskontroll

Huvuddelen av isolerrutetillverkarna i Sverige är sedan 1985 anslutna till provningsanstaltens kontroll- och godkännandeordning, den s k P-märkningen. Moment som ingår i P-märkningssystemet för isolerrutor är typprovning av material, komponenter och färdiga rutor, egenkontroll utförd av tillverkaren och övervakande kontroll utförd av provningsanstalten. Tillverkare som uppfyller fordringarna i dessa avseenden har rätt att märka sina produkter med provningsanstaltens inregistrerade godkännandemärke (P-märket).

Ett av de viktigaste syftena med de fordringar som ställs är att begränsa inträngningen av vattenånga i rutorna. Ett lågt fuktinnehåll i luften mellan glaset är det avgörande kriteriet på en isolerrutas funktionsduglighet. För att hålla den inneslutna luften torr är distanslisterna längs rutans kantförsegling fyllda med ett fuktabsorberande torkmedel. Om emellertid fuktinträngningen i rutan är alltför snabb räcker inte torkmedlets kapacitet och rutans livslängd blir kort.

Orsaker till fuktinträngning

Orsakerna till alltför stor fuktinträngning kan delas in i två huvudgrupper. I den ena beror fuktinträngningen på att rutans kantförsegling är otät. Detta kan bero på korta diffusionsvägar p g a undersprutning, ökad diffusionsarea p g a översprutning, dåligt fyllda hörn eller i svårartade fall på att genomgående porer finns i förseglingssmassan, dvs på fel som beror av kvaliteten på arbetsutförandet. Dessutom inverkar givetvis förseglingssmassans vattenångpermeabilitet. Den andra huvudorsaken till snabb

fuktrinrängning är att vidhäftningen mellan förseglingsmassa och glas eller distanslist går förlorad. Om detta inträffar får luftfuktigheten fri passage och torkmedlet i rutan förbrukas i snabb takt.

Provningsmetoder

Snart sagt varje moment i tillverkningskontrollen syftar till att begränsa inträngningen av vattenånga i rutorna. Till stor del är det fråga om ett förebyggande arbete. Regelbundna inspektioner av produktionsutrustningen och provning och kontroll av ingående material och komponenter medför att många fel kan förhindras på ett tidigt stadium. Stickprovsmässig okulär slutkontroll av färdiga rutor för med sig att tillverkaren snabbt blir medveten om uppkomna fel och kan vidta åtgärder.

Tillverkarens interna kontroll kompletteras med att färdiga rutor i den övervakande kontrollen rutinemässigt provas enligt två olika metoder:

- Accelererad åldring enligt NBI 119/80.
- Bestämning av vattenånginträngning enligt SP metod 254.

Den accelererade åldringsmetoden är framför allt inriktad mot att studera vidhäftningen i rutans kantförsegling under inverkan av UV-ljus, fukt, termiska rörelser och tryckförändringar. Om vidhäftningen är god, är emellertid accelerationen av fuktrinrängningen i denna metod otillräcklig för att ge utslag för brister i kantförseglingens täthet som kan ge problem på sikt. I P-märkningssystemet har därför åldringsmetoden kompletterats med en täthetsmetod. Med denna metod mäter man kantförseglingens motstånd mot vattenånginträngning genom att utsätta rutan för hög luftfuktighet och mäta ändringen i den inneslutna luftens dagg- eller frostpunkt. Provningsen utförs på rutor som inte innehåller torkmedel vilket gör att skillnader i täthet framträder tydligt efter endast ett eller ett par dygn.

Bestämning av vattenånginträngning (SP metod 254)

Provningsen utförs normalt på rutor som tillverkats utan torkmedel (alternativt tömts på torkmedel).

Provrutan konditioneras i en klimatkammare med temperaturen +45 °C och 100 % relativ fuktighet. För att erhålla en låg frostpunkt inne i rutan under konditioneringen luftas rutan samtidigt med torr kvävgas.

Efter tre dygns konditionering förseglas rutan med butylförsedda trycktäta popnitar. Härigenom åstadkoms en inledande frostpunkt i luftmellanrummet på mellan ca -55 och -70 °C.

Dagg/frostpunkten kontrolleras här efter med hjälp av en daggpunktsmätare typ D-100 Dew/Frost Point Apparatus med en noggrannhet av ± 1 °C.

Efter tre dygn i klimatkammare med samma klimat som under konditioneringen bestäms dagg/frostpunkten åter, nu med noggrannheten $\pm 0,5$ °C.

Vattenångkoncentrationen inne i rutan före och efter klimatbelastning beräknas med hänsyn taget till korrekationer för bl a temperaturfallet över glaset.

Vattenånginträngningen under provet beräknas ur vattenångkoncentrationens ökning och rutans volym. Fuktbelastningen som rutan utsatts för under provet tillsammans med en antagen naturlig medelpåverkan av 10 g vattenånga/m³ ger därefter den hastighet hos vattenånginträngningen som kan antas uppträda under naturliga förhållanden uttryckt i mg/dygn.

Accelererad åldring (NBI 119/80)

Rutorna utsätts för accelererad åldring i fem veckocykler bestående av temperatur- och tryckförändringar med exponeringstider enligt nedanstående tabell.

Dag	Temperatur (°C)	Tryck (Pa)
1-3	-20 till +30	-750 till +750
4-6	-20 till +70	-250 till +250
7	-20 till +10	-1500 till +1500

Varje temperaturcykel är fyra timmar medan tryckförändringarna sker med fem cykler i minuten.

UV-bestrålning av förseglingsmassan och luftbefuktning sker vid temperaturer över 0 °C. Rutan står dessutom i vatten under den tid temperaturen är över 0 °C.

Efter varje veckocykel mäts daggpunkten och rutan okulärbesiktigas.

Undersökning av provade rutor

Efter avslutade prov undersöks rutorna noggrant för att upptäcka eventuella felaktigheter i tillverkningen.

Hos de rutor som åldringsprovats läggs största vikten vid materialets vidhäftningsförmåga och utfyllnad av hörn.

De rutor som provats avseende fuktinträngning okulärbesiktigas och mäts innan de bryts upp. Under- respektive översprutning och andra avvikelser från normalt utseende noteras, därefter mäts rutans tjocklek runt kantförseglingen med en noggrannhet på 0,01 mm. Vidhäftningsförmågan kontrolleras genom att glaset bryts upp. Tjockleken på glas och distanslist noteras, hörnen bryts upp och utfyllnad samt material i hörnen noteras.

Under den tid kvalitetssäkringssystemet använts har ett stort antal rutor provats enligt ovanstående metoder. Rutor för åldringsprov har tagits stickprovsmässigt ur produktionen medan rutor för bestämning av vattenånginträngning har beställts utan torkmedel och tillverkats vid kontrollbesöket.

Resultat

Vattenånginträngning

Resultaten baseras på 62 st provade rutor. Av dessa är 25 st enkelförseglade och 37 st dubbelförseglade.

I gruppen enkelförseglade rutor ingår två fabrikat av fogmassa samt två fabrikat av distanslist och hörnstycken.

Material och materialkombinationer varierar mer i gruppen dubbelförseglade rutor. Där finns tre fabrikat av fogmassa, fyra fabrikat av distanslist där ytbehandlingen varierar. Hörnens utformning varierar med zinkhorn, plåthörn, zinkhorn med butylfyllning samt hörn där distanslisterna bockats.

Vissa tydliga skillnader kan konstateras vid val av material. Medelvärdet av vattenånginträngningen för de 25 enkelförseglade rutorna är 0,75 mg/dygn medan motsvarande siffra för dubbelförseglade rutor är 0,33 mg/dygn.

Bryter man ut gruppen dubbelförseglade rutor med bockade hörn är motsvarande siffra 0,07 mg/dygn.

Hos de 62 provade rutorna har det noterats tillverkningsfel hos 10 st. Vanliga fel hos enkelförseglade rutor är översprutning och dålig utfyllnad i hörnen. Dålig utfyllnad i hörnen är också ett vanligt fel hos dubbelförseglade rutor både med och utan butylfyllning i hörnen.

Dras rutor med noterade tillverkningsfel bort sjunker talen för vattenånginträngning till 0,63 mg/dygn för enkelförseglade rutor respektive 0,16 mg/dygn för dubbelförseglade rutor.

Beräknar man medelvärdet för gruppen med noterade tillverkningsfel är vattenånginträngningen 1,58 mg/dygn hos enkelförseglade rutor och 0,95 mg/dygn hos dubbelförseglade rutor.

Åldringsprovning

Resultaten från 106 provade rutor har sammanställts. Av dessa är 48 st enkelförseglade, 54 st är dubbelförseglade och 4 st är av annan konstruktion. Material och materialkombinationer är fördelade lika som i undersökningen av vattenånginträngning.

15 st (14 %) av de provade rutorna har underkänts vid provningen. På dessa har följande fel konstaterats:

- Por, luftblåsa eller miss i tillverkningen så att fukt har fritt tillträde till luftmellanrummet (2 %).
- Sprucket glas, spricka där orsaken inte är urflisning i glaskant (5 %).
- Kemiska blåsor, vidhäftningen har gått förlorad genom kemiska förändringar i förseglingssmassan (4 %).
- Popnit, popnit för tryckutjämning dåligt isatt (1 %).
- Vidhäftningssläpp, på grund av temperatur och tryckbelastning på glasrutor (3 %, rutor med speciell konstruktion).

Av de 15 underkända rutorna är 3 st dubbelförseglade, 9 st enkelförseglade och 3 st av annan konstruktion.

Vattenånginträngning hos åldrade rutor

I en speciell undersökning jämfördes vattenånginträngningen hos nya och åldrade rutor. Undersökningen omfattade 3-5 nya och 3-4 åldrade rutor av fem olika fabrikat. Resultatet visas i nedanstående tabell.

Fabrikat	Antal rutor	Nya rutor		Antal rutor	Åldrade rutor	
		Vattenånginträngning, mg/dag	Standardavvikelse		Vattenånginträngning, mg/dag	Standardavvikelse
A	4	0,25	0,22	4	0,46	0,33
B	5	0,27	0,04	4	0,46	0,02
C	5	0,47	0,04	4	1,37	0,91
D	4	0,57	0,31	3	1,16	0,66
E	3	0,65	0,21	3	1,95	0,26
A-E	21	0,42	0,23	18	1,03	0,75

Vattenånginträngningen är avsevärt större i de åldrade rutorna, troligen beroende på att diffusionsarean genom kantförseglingen har ökat till följd av plastiska rörelser i fogmassan.

Om man beräknar rutornas teoretiska livslängd utifrån resultaten från provning av nya rutor kommer livslängden att överskattas. Bestämning av torkmedlets fukttinhåll i de nya (2,2 %) och de åldrade rutorna (3,2 %) visar att endast en mindre del (ca 10 %) av åldringseffekten under den accelererade åldringsprovningen beror på vattenånginträngning under provet medan resten kan förklaras av att vattenånginträngningens hastighet är större efter provet.

Kommentar

Det förefaller som om de två provningsmetoderna för färdiga isolerrutor som används i den övervakande kontrollen kompletterar varandra. Sammantaget ger de tillverkaren besked såväl om konstruktionens lämplighet som om kvaliteten på arbetsutförandet. Kanske har dessa provningar inom den övervakande kontrollen och tillverkarnas egenkontroll bidragit till den glädjande nedgång i antalet kondensreklamationer som noterats under senare år. För de år då P-märkningssystemet varit i bruk har antalet kondensreklamationer som inrapporterats till tillverkarnas branschförening minskat med 90 % jämfört med tio år tidigare.

En studie av klimatpåverkningar på målad träpanel drabbad av rötskador

Civilingenjör Stefan Hjort & Professor Lars-Olof Nilsson
 Avdelningen för Byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola,
 S-412 96 GÖTEBORG, SVERIGE

BAKGRUND

För ca tio år sedan byggdes 78 småhus i Lysekil på den svenska västkusten. Husens utseende är ganska typiskt för den tidens byggande och dess väggkonstruktion följer i stort sett den lokala traditionen med lockpanel stående på en stötbräda, se figur 1. Bakom panelen finns en ventilerad luftspalt. Panelen är målad med en akrylfärg, det som i folkmun brukar gå under benämningen plastfärg, av fabriken Bjerccke-tex. Trots denna allmänt sett goda konstruktion började rötskador uppträda på panelen redan efter tre år! Vid denna tidpunkt trodde man att rötan kunde förklaras som ett trätekniskt problem, begränsat till ett fåtal brädor, vilket man kunde bli av med genom att byta ut skadade brädor mot nya.

Trots detta åtgärdsprogram uppstod ny röta och i vissa fall har utbytta brädor drabbats. Eftersom man inte tyckte att det var meningsfullt att åtgärda en andra andra gång utan att veta vad som orsakat rötan blev vi på avdelningen för Byggnadsmaterial inkopplade för att försöka utreda detta samt att föreslå ett mer beständigt åtgärdsprogram. Projektet startade för vår del våren 1987 och beräknas bli slutfört under hösten 1988.



Fig 1. De aktuella husens utseende. Vissa mindre skillnader i utförande förekommer. Det horisontella strecket på gaveln betyder inte att panelen är avdelad där.

Rötskadornas omfattning

För att få en bild av rötskadornas omfattning gjordes en inventering. Till grund för denna låg en enkät som husägarna svarat på rörande fasadunderhåll och tidigare byte av panelbrädor etc. Det visade sig vara svårt att vid fältundersökning av täckfärgsmålade panel karakterisera vad som var friskt virke och vad som var rötat utan att göra allt för stora ingrepp. Efter det att inventeringen gjordes har vi fått anledning att tro att antalet redovisade rötskador är i underkant. När gamla panelbrädor demonterades på fyra gavlar inför de fortsatta fältmätningarna i början av 1988 kunde det konstateras att panelen har fler rötskador än vad som redovisats i inventeringsresultatet. Nedan följer en sammanfattning av inventeringsresultatet baserad på de 64 av de 78 husen (endast hus med enkätsvar inventerades).

- Samtliga hus som inventerades var rötskadade i någon omfattning
- 642 rötskador observerades.
- Skadorna fanns nästan undantagslöst på gavlarna och där främst vid paneländar och panelskarvar. (Skarvade panelbrädor finns endast på gavlarna)
- 89% av rötskadorna fanns på lockbrädor.
- Rötan uppträdde oftast där virket var lagt omlott och vanligtvis vid en spik, se fig 2.
- Någon hänsyn till att montera lockbrädor med kärnsidan ut och bottenbrädor med kärnsidan in har inte gjorts när husen byggdes.
- Husen är målade i varierande färgkulörer från gult till brunt. Något samband mellan kulör och rötskador har inte kunat påvisas.
- Det var ca tio gånger så vanligt med rötskador på södergavlar som på norrgavlar. Husen ligger i ett mycket slagregnsutsatt område och den förhärskande vindriktningen är sydvästlig.
- En del undantag från den normala skadebilden förekom. Hus i utsatt läge var i det närmaste oskadda och vice versa. Vad det beror på är ännu inte utrett.

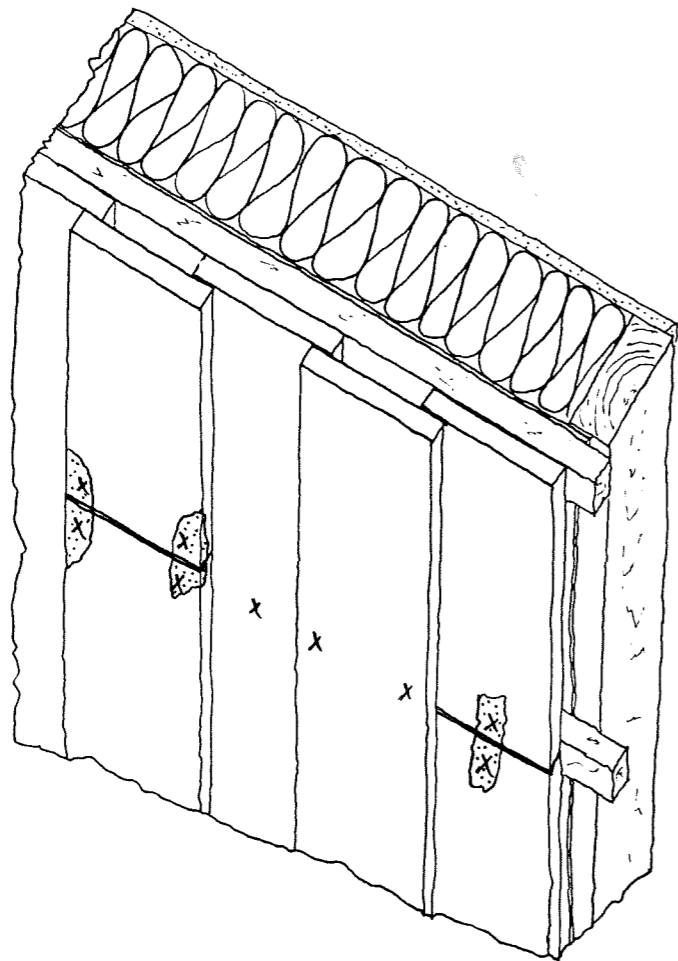


Fig.2. De vanligaste ställena på panelen där röta förekom.

Fältnätningar

För att få en första uppfattning om träpanelernas fuktillstånd under verkliga förhållanden gjordes mätningar i gavlarna på tre hus under augusti månad 1987. Förutom fuktkvot mättes relativ fuktighet och temperatur i luften utanför och innanför panelen. Eftersom rötskadorna var värst vid paneländar och på lockbrädor koncentrerades fuktkvotsmätningarna dit. Nio stycken givare placerades vid mätstället fördelade på tre olika avstånd från skarven. På varje nivå sattes en givare i mitten och två på sidorna, där lockbrädan överlappar bottenbrädan. Givarna monterades på baksidan av de befintliga panelbrädorna och själva givarspetsen hammade i mitten av den 22 mm tjocka panelbrädan. Mätmetoden bygger på resistansmätning mellan två elektroder.

Den ena gaveln på ett av husen skilde sig på en viktig punkt ifrån de andra, nämligen att den var behandlad med en "gammaldags" linoljefärg av märket UNESOL/LIWA istället för den vanliga akrylfärgen. Det hade gjorts i samband med att man åtgärdade rötskadorna första gången och då hade den

gaveln varit så kraftigt rötskadad att man fick byta ut större delen av den. Kvinnan som bodde i huset ville pröva en annan färg istället för den vanliga akrylfärgen som alla andra husägare använde. Hon nöjde sig inte bara med en annan färg. Innan målningen med färdigstrykningsfärgen behandlade hon brädorna med linolja/terpentinlösning och hon gjorde även en viss tätning av skarvarna. Det kan nämnas att vid inventeringen kunde inga rötskador observeras på denna gavel. De viktigaste resultaten från mätningarna är följande:

- Gaveln målad med linoljefärgen var betydligt torrare under mätperioden än de akryllatexmålade.
- Luftspaltens funktion var i mätpunkten god (ungefär samma ånghalt i spalten som utanför).
- Fukten tillföres inte bara på grund av bristen på ändträförsegling eftersom brädornas sidor blir fuktigast. Detta överensstämmer med rötskadebilden.

Uppfuktning- och uttorkningsförsök med olika färger

För att få en uppfattning om hur panelbitar målade med den aktuella akrylfärgen fungerar från fuktsynpunkt jämfört med andra vanliga färgtyper har ett enkelt test gjorts. Panelbitar med en längd av ca 2 dm behandlades med olika färger. Bitarna behandlades även med olika många lager med färdigstrykningsfärg och en del bitar ändträbehandlades också. De färger som användes var:

- * Den aktuella akrylfärgen (BJERCKE-TEX grund- + färdigstrykningsfärg)
- * En liknande färgtyp som BJERCKE-TEX fast med större andel alkydolja (TREBITT oljelasyr som grundfärg och DEMIDEKK som färdigstrykningsfärg)
- * Oljelasyr (TREBITT oljelasyr)
- * En täckande alkydoljefärg (CASCO-Cuprinol)
- * Även helt obehandlade bitar ingick i försöket.

Några resultat från undersökningen är:

- Träbitar som målats med samma akrylfärg som använts i området tog, då ändträet också målats, upp förhållandevis mycket vatten för att därefter torka ut betydligt långsammare än de andra provade färgsystemen (se fig 3 på nästa sida).
- De bitar som målats med den täckande alkydoljefärgen tog vid samma försök nästan inte upp något vatten alls (se fig 3).
- De obehandlade bitarna tog upp ungefär dubbelt så vatten som de andra men torkade trots det ut snabbast.

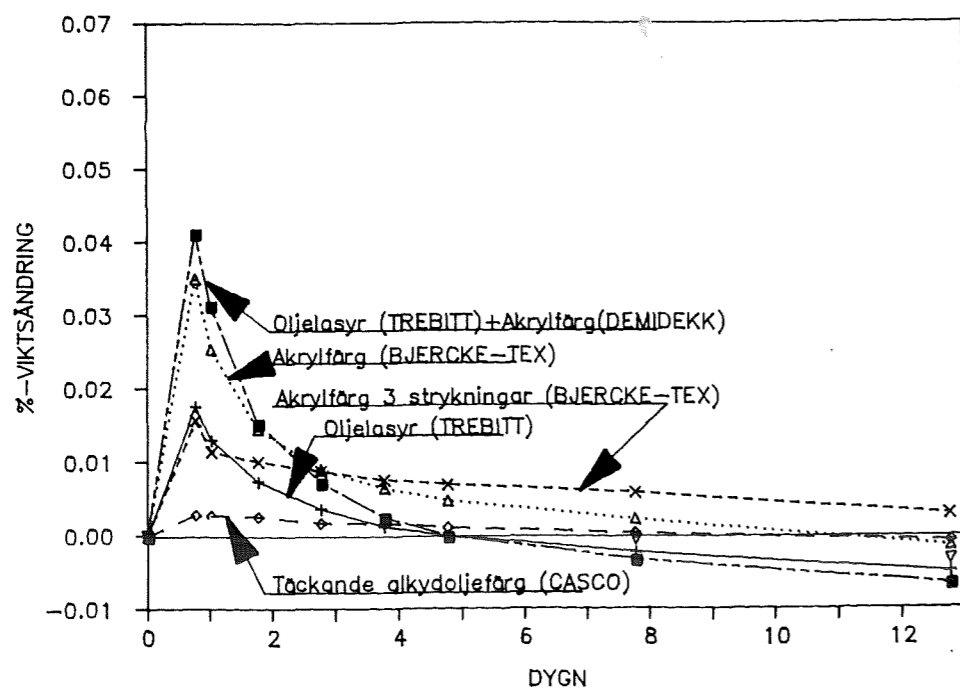


Fig 3. Resultat från uppfuktning- och uttorkningsförsök. Under uppfuktningssfasen på 18,5 timmar stod bitarna i ca 5 cm djupt vatten, därefter fick de torka ut i klimatet +20 C och 50 % RH. Proverna är behandlade med grund- och färdigstrykningsfärg samt ändträ-behandlade. (Pga otillräcklig konditionering blir provernas slutvikt lägre än dess startvikt)

Fortsättningen

Eftersom vi idag inte har tillräckligt underlag för att klarlägga orsakssammanhanget för rötskadornas uppkomst kommer utredningsarbetet att fortsätta. När orsakssammanhanget är fastställt kan förhoppningsvis också ett beständigare åtgärdsprogram föreslås.

Som ett led i det fortsatta arbetet har omfattande fältmätningar i de aktuella husen igångsatts i början av detta år. Vid dessa kommer vi att studera hur panelens fuktsituation påverkas vid användande av olika färgtyper (Sammanlagt sju färger testas, från gammaldags slamfärg till moderna akrylfärger) och olika panelutformningar. Parallellt med fältmätningarna kommer laboratorieundersökningar att göras. En viktig del i det fortsatta arbetet är att klara ut i vilken omfattning liknande problem finns på andra håll och om åtgärder och rekommendationer som framkommer i detta fall kan generaliseras till att gälla i stort.

Ingvar Johansson, Göran Hägglund och Owe Lindgren

Trä för utomhusbruk behandlas på olika sätt för att få ökad livslängd. Impregnering, lasering och målning kan ses som sådana behandlingar. Träimpregneringsmedel och ytbehandling bryts ner på olika sätt, biologiskt (bakterier, mögel, blånad och röta), kemiskt (t ex hydrolys, oxidation) och fysikaliskt (exempelvis erosion, UV-nedbrytning).

Trä och ytbehandling kan studeras var för sig, men risken är då stor att resultaten av dessa delstudier inte tillsammans beskriver det verkliga förloppet. Försök bör därför äga rum på hela systemet, d v s det behandlade trävirket. Sådana försök blir både omfattande (många material- och behandlingsparametrar går att variera) och tidskrävande.

Behovet av relevanta metoder för accelererad åldring är därför stort, ett behov som ökar ju bättre behandlingsmetoderna blir. För att möjliggöra en så säker analys av resultaten som möjligt krävs också objektiva utvärderingsmetoder.

Föredraget skall ge en analys av dessa problemställningar samt beskriva det arbete som f n pågår med accelererad åldring och objektiv utvärdering, t ex användning av bildanalys för utvärdering av målningsfärgens status, vid Träteknik.

Naturlig beständighet hos trä

Fil.dr. Julius B. Boutelje, TräteknikCentrum

Box 5609, S-114 86 Stockholm

Biologisk beständighet hos trä

Bland de skadegörare som angriper trä finns organismer från både växt- och djurvärlden. Olika röt- och missfärgande svampar är den viktigaste gruppen. I varma områden är även termiter betydelsefulla skadegörare på trä. Oftast förknippas begreppet beständighet hos trä i första hand med träets förmåga att motstå angrepp av olika rötsvampar. Givetvis kan även rent fysikaliska faktorer förstöra virket.

Den miljö där virket används och den skyddande behandling det har fått bestämmer i stort sett om ett biologiskt angrepp över huvud taget kommer att uppstå och vilka skadeorganismer som i så fall blir dominerande. Några av de viktigare grupperna av skadegörande organismer återfinns i schemat nedan:

Organism	Effekt/miljö
Svampar	Mögel Missfärgar virkesytor som är utsatta för hög relativ luftfuktighet, t ex bjälklag över kryppgrunder.
	Blånad Missfärgar splintveden, kräver fritt vatten i träet, ökar träets vattenupptagningsförmåga.
	"Soft rot" Bryter ner veden, ofta vid mycket höga fuktkvoter i träet, t ex virke i vatten eller i markkontakt.
	Vitröta Bryter ner ved, kräver fritt vatten i träet, angreppet sker ofta före upparbetning, d v s på levande träd eller på timmer under lagring.
	Brunröta Bryter ner ved, kräver fritt vatten i träet, angreppet sker under timmerlagring eller efter upparbetning, viktigaste röttyp i byggnadsvirke.
Bakterier	Ökar träets vattenupptagningsförmåga under våt timmerlagring, förorsakar även långsam nedbrytning i vissa miljöer som medför mycket höga fuktkvoter.
Skeppsmaskar, borrhärför	I salt vatten.

Förutsättningar för angrepp

Såväl svampar som bakterier kräver att virket innehåller mycket fukt. Fullständig vattenmättnad hämmar dock p g a åtföljande syrebrist de flesta rötangrepp, dock ej "soft rot" och angrepp av vissa bakterier. Många svampar tål långa perioder av uttorkningar och uppfuktning. En behandling som innebär torkning eller uppfuktning till vattenmättnad hindrar sålunda ofta vidare utveckling av angrepp, men skadeorganismen kan finnas kvar. Angreppet kan då senare fortsätta då förhållandena blivit gynnsammare för skadegöraren. För mögelsvampar vars tillväxt huvudsakligen sker på träytan är fukttillståndet i luften direkt invid träytan avgörande. Hallenberg och Gilert (1) har rapporterat viss mögeltillväxt vid så låg relativ luftfuktighet som 75 %. Normalt torde dock en relativ luftfuktighet av minst 80-85 % behövas för mögel på trä. I motsats till blånadssvampar och rötsvampar tycks mögelsvampar inte vara beroende av förekomsten av fritt vatten, d v s fuktkvoter högre än 30 %.

På grund av svampars fuktkrav är vedens vattenupptagningsförmåga av stor betydelse för vedens benägenhet till röt- och andra svampskador.

Optimum temperatur för rötsvampar ligger vid 25-32 °C men aktivitetsgränserna ligger för de flesta svampar mellan 0 och 40 °C, för vissa soft rot svampar och mögelsvampar upptill 60 °C. Hos några blånadssvampar har viss tillväxt konstaterats vid några minusgrader. Svampar överlever nedfrysning och upptining.

"Inre faktorer" som påverkar träets rötbenägenhet

- Cellväggens kemiska beskaffenhet, t ex dess ligninhalt och dess innehåll av svamphämmande substanser såsom pinosylvinfenoler i furukärnved.
- Virkets vattenupptagningsförmåga, ofta betydligt större hos splint- än hos kärnved.
- Innehåll av lätt åtkomliga näringssubstanser såsom enkla sockerarter, vissa kväveföreningar.

Betydelse av ovannämnda faktorer för virkets beständighet beror på miljön virket är utsatt för. Om svamparnas vattenbehov är rikligt tillgodosett, såsom vid laboratorietester, om virket är i markkontakt, eller då virket ligger i vatten, är förmågan att uppta vatten av mindre betydelse än om virket finns i en byggnadskonstruktion. Där är ju ofta låg vattenupptagning och snabb torkning gynnsam för konstruktionens livslängd.

Användning av virke i markkontakt

Månghundraårig erfarenhet visar att både furu och gran är träslag som fungerar utmärkt i korrekt byggda hus även då dessa träslag är utsatta för viss, begränsad fuktbelastning. Man måste dock vara medveten om att oimpregnerad furu och gran är obeständig i miljöer med hög rötrisk, t ex vid markkontakt eller i byggnadskonstruktioner som är dåligt utförda ur fukt-synpunkt.

Enligt rötbeständighetsklassificeringen av det engelska träforskningsinstitutet i Princes Risborough (2) är t o m kärnveden hos furu och gran icke beständig i markkontakt:

Klassificering av kärnvedens rötbeständighet i markkontakt.		
Grad av beständighet	Ungefärlig livslängd i markkontakt, år	Exempel på träslag
4 (Mycket beständig)	> 25	Teak
3	15 - 25	Ek (eur)
2	10 - 15	Lärk (eur)
1	5 - 10	Furu, gran
0 (Mycket rötbenägen)	< 5	Björk

Splintveden hos de flesta träslag har ringa beständighet i markkontakt och klassas därför genomgående i grupp 0 eller 1.

Fältförsök med stavar eller stolpar i markkontakt (se figur 1) används mycket ofta för att testa rötskyddsmedels effektivitet. Förmodligen är fältförsök lämpligare för att rangordna virke med hög beständighet än virke med låg beständighet. Något tillspetsat skulle man kunna säga att man inte bör testa hållfastheten hos en omtålig vas med en slägga! Värderingen, eller rangordningen, som man erhåller för icke beständigt virke i markkontakt behöver dessutom inte bli densamma som den man erhåller för



Figur 1. Beständighetsförsök med virke i markkontakt.

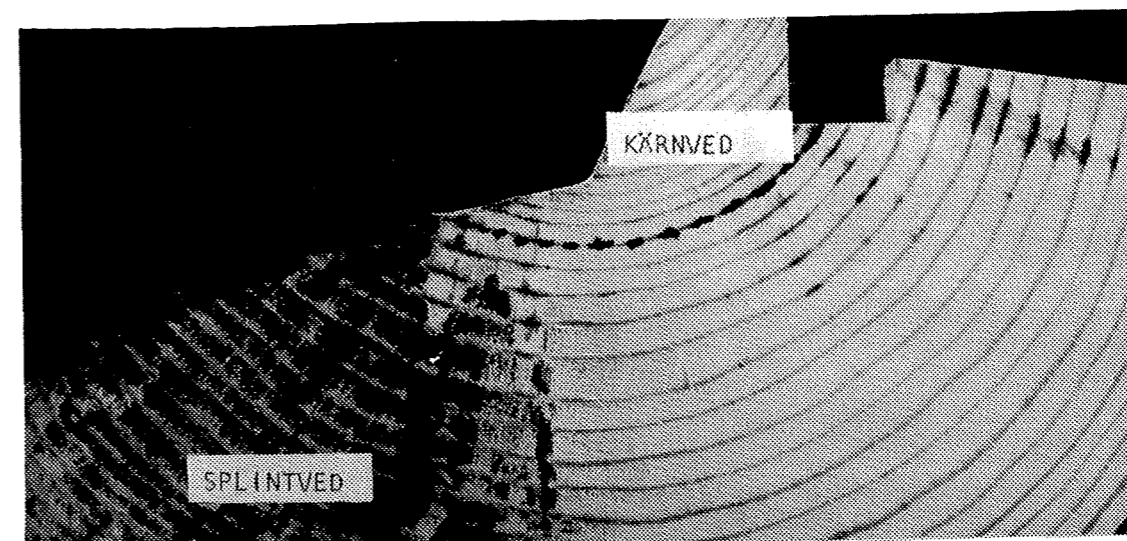
Användning av virke utan markkontakt

En klassificering av beständigheten hos trä som inte utsätts för markkontakt men för viss rötrisk, finns inte. Exempel på sådana användningar är fönstervirke, utvändigt panelvirke, träbjälklag på husgrunder etc. Risken för röta är här normalt betydligt mindre än för trä i markkontakt, och traditionellt använder man här oimpregnerat virke. Eventuell behandling består då endast av målning eller lasering. För fönstervirke har man dock under de sista 20 åren alltmer tillämpat partiell impregnering för att förhindra dyrbara reparationer.

Låg vattenupptagning är fördelaktig. Betydande skillnader föreligger mellan furu och gran respektive mellan splintved och kärnved i detta hänseende. Rangordningen enligt vilken vattenupptagningsförmågan ökar är följande:

kärnved		splintved				
furu	+	gran	+	gran	+	furu
vattenupptagning						→

Också furuvedens innehåll av svamphämmande pinosylvinfenoler ger ett visst skydd mot svampangrep. Grankärnved, gransplintved och furusplintved saknar dessa substanser. Det skydd som furukärnveden erhåller genom pinosylvin är dock inte alltid särskilt effektivt. I utsatta lägen, t ex vid markkontakt, är nämligen skillnaden i angreppsgrad mellan splintved och kärnved inte stor. Vid användning där risken för röta är mindre är ofta skillnaden mera framträdande. Hos rötskadat fönstervirke observerar man sålunda ofta att skadorna är begränsade till splintveden. Förmodligen beror detta till stor del på furukärnvedens låga vattenupptagningsförmåga (se figur 2).



Figur 2. Fönsterkarm med svår rötskada i splintved men oskadad kärnved.

En standardiserad metod för testning av virkes beständighet vid utomhusbruk utan markkontakt saknas. Under det sista decenniet har dock intresset ökat avsevärt för användningar där det finns en viss begränsad rötrisk. En typ av provning är t ex testning av fönsterkarmhörn, som ute på ställningar exponeras för väder och vind eller under mera reglerade klimatbetingelser (se figur 3).



Figur 3. Beständighetsförsök med fönsterkarmhörn.

Uppföljning av fuktkvoter, permeabilitet och mikrofloran i materialet används som underlag för prognoser beträffande materialets livslängd. Som exempel visas nedan att fönsterkarmhörn av gran, särskilt om de var royalimpregnerade, hade en lägre vattenupptagning under en befuktningsperiod än fönsterkarmhörn av furu:

Viktsökning hos fönsterkarmhörn efter en befuktningsperiod	
Materialgrupp	Viktsökning
Furu, ej impregnering	41
Gran, ej impregnering	22
Furu, vakuumimpregnering, TBTN	26
Gran, vakuumimpregnering, TBTN	22
Gran, royalimpregnering	11

Permeabiliteten hos de olika granvarianter som testades (olika ytbehandlingar och impregneringar) var dessutom fortfarande låg efter flera års befuktnings- och uttorkningsperioder.

TräteknikCentrum testar också gran- och furuvirke in situ, t ex i fönster, trädgårdsmöbler och trallar. Det rör sig i dessa fall om långtidsförsök som utsträcker sig över 5 - 10 år. Försöken är fokuserade på impregnerat granvirke. Gran är ett svårimpregnerat träslag och impregneringen blir därför ytlig. Samtliga resultat erhållna vid försök med användning av gran utomhus, utan direkt markkontakt, pekar på lång livslängd hos detta träslag om det givits något skydd i form av en impregnering.

Hantering och urval

Lagring av rått sågtimmer under den varma årstiden medför speciella problem. När timret börjar torka uppstår sprickor och blånadsangrepp. Detta kan förhindras genom lagring i vatten eller bevattning. Våtlagringen medför dock andra problem. Vid för lång våtlagring under den varma årstiden ökar vedens förmåga att ta upp vatten p g a bakteriella angrepp. Även blånadsangrepp kan öka träets vattenupptagningsförmåga. Lagring av rått sågtimmer under den varma årstiden bör därför ske med omsorg och begränsas till så kort tid som möjligt. Rekommendationer beträffande maximal tidslängd har publicerats av oss (3).

Röt-, blånads- och mögelangrepp som uppstått under en fas i virkeshanteringen kan under vissa miljöbetingelser vidareutvecklas under den slutliga användningen. Fastän det inte är klarlagt i vilken utsträckning en "nedsmittning" under hanteringen av råvaran påverkar benägenheten för röta och mögel på längre sikt, bör ett svampangrepp och nedsmittning med sporer undvikas i möjligaste mån. Behandling med fungicider under hanteringen hjälper men är negativt ur miljösynpunkt.

Ibland görs gällande att artificiellt torkat respektive sommaravverkat virke skulle vara mera röt- och mögelbenäget än brädgårdstorkat respektive vinteravverkat virke. Flera undersökningar som gjorts på senare tid på TräteknikCentrum och på Sveriges Lantbruksuniversitet har dock entydigt visat att farhågorna är obefogade (1, 4, 5). Att lagra rått sågtimmer så kort tid som möjligt under den varma årstiden, oberoende av om lagringen sker på land eller i vatten, är dock en fördel ur beständighetsynpunkt.

Virkesbehandlingen bör anpassas till beständighetskraven. Om risken för röta är stor bör virket tryckimpregneras. En fullständig impregnering av splintveden är normalt svår att uppnå hos gran, och tryckimpregnering för inhemskt bruk omfattar därför nästan enbart furu. Export av impregnerat

granvirke förekommer dock. Vid tryckimpregnering av furu tränger träskyddsmedlet in endast ytligt i kärnvedsdelen och ett splintrikt sortiment är därför en fördel. I tryckimpregnerat furuvirke som innehåller både splint- och kärnved är splinten den beständigare delen. Kemisk behandling ger alltså ett betydligt bättre skydd än pinosylvin.

Vid användning där rötriskan är mindre finns ett spektrum av olika behandlingsmöjligheter, från partiell impregnering av furuvirke till omsorgsfull ytbehandling av oimpregnerat furu- och granvirke. I dessa sammanhang är impregnerat granvirke trots ytlig penetrering ett lovande alternativ. Gran kan, p g a låg vattenupptagning, vara överlägsen splintvedsrik furu. Om andelen kärnved hos furuvirket är stor kan furu vara det bästa alternativet.

Koncentrationen av pinosylvin ökar i furukärnved från mörgen och utåt mot periferin av kärnveden. Perifer kärnved kan alltså vara något beständigare än kärnved som är mera centralt belägen i stammen. Likaså är det känt att koncentrationen av kväveföreningar som är viktiga för svampar är högst i den yttersta splintveden. Virke med vankant eller virke strax under vankant kan därför vara något mera möglingsbenäget än den ved som ligger djupare in i stammen.

Av ovanstående framgår att råvaruhantering och virkesurval i viss mån kan påverka träets beständighet mot biologiska angrepp. Jämfört med vad som kan uppnås genom kemisk behandling är dock effekterna av råvaruhantering och virkesurval begränsade.

Mögel

Mögel på olika byggnadsmaterial i hus har fått ökad aktualitet under de senare årtiondena, dels p g a att skadorna blivit större i samband med snålare energihushållning och åtföljande minskning av ventilationen, dels p g a bättre insikt i möglets hälsovådliga effekter. För träets del har också förbudet att använda pentaklorfenol haft betydelse. Det har visat sig att vanliga rötskyddsmedel inte är lika effektiva mot mögel som pentaklorfenol. Utveckling av nya specifika mögelskyddsmedel pågår dock (6). Bland kemikalier som har visat sig vara effektiva mot mögel kan bland annat nämnas diklofluorid, MBT (metylenbistiocyanat) med eller utan tillsats av borax, Cu-8-kinolinolate och TCMTB (tiocyanometyltiobenstiazol). De traditionella vattenbaserade tryckimpregneringsmedlen kan visserligen ofta inte helt förhindra mögelbildningen men angreppsintensiteten reduceras drastiskt.

Avslutande kommentarer

Lekmannen tar ofta ett samband mellan kvalitet enligt gängse sorteringsregler och beständighet för givet. Ett sådant samband föreligger dock inte. Mera konkret uttryckt innebär detta att man inte skall förutsätta att ett parti fint, kvistfritt o/s-virke har högre rötbeständighet än ett parti kvistigt kvintavirke. Rötbeständighet hos trä är en komplex egenskap. De kvalitetskriterier som idag används för kvalitetssortering, har liten, eller ingen relevans för rötbeständighet.

Det finns också en viss övertro på vad man skulle kunna uppnå i form av ökad biologisk beständighet genom modifierad råvaruhantering och virkesurval av furu och gran. Sådana beständighetsförbättringar är ganska begränsade jämförda med effekten av träskyddsimpregnering, vattenavvisande eller annan skyddande behandling. Det viktigaste av allt är dock att använda träet i en vettigt utförd konstruktion där fuktbetingelserna motsvarar träets naturliga förutsättningar.

Litteratur

- (1) Hallenberg, N. och Gilert, E. (1987): Mögelpåväxt på trä. Byggnadsforskningsrådet Rapport R94:1987.
- (2) Farmer, H. (1972): Handbook of hardwoods. Building Research Establishment & Princes Risborough Laboratory.
- (3) Boutelje, J., Ihlstedt, B. och Jonsson, U. (1979): Effekterna av våt-lagring av timmer (del 1). Inverkan på betsnings och täckande målning. STFI-meddelande, Serie A nr 486.
- (4) Land, C.J. (1986): Studies on wood-associated moulds causing discoloration and production of mycotoxins on softwood timber in Sweden, with special emphasis on cold-tolerant organisms. (Akademisk Avhandling 86-12-17 vid KTH, Stockholm), paper III.
- (5) Boutelje, J.B., Nilsson, T. (1985): Inverkan av avverkningstid och -plats, våt-lagring, träslag och densitet på virkets beständighet. Del 1: Beständighet mot röta. TräteknikRapport Nr 73.
- (6) Henningsson, B. (1984): Olika träskyddsmedels effekt mot mögel- och blånadssvampar på inbyggt virke. Svenska Träskyddsinstitutet Medd. 147

VURDERING AF KONSTRUKTIONER

Accelerated and Natural Weathering of building Components and Elements
T. Gjelsvik

Konstruktioners holdbarhed set i lyset af sikkerhedsnormens krav
J. Nielsen og H. Kaaris

Funktionsprøvning af flade tage
F. Dombernowsky

Vurdering af fugttransport i bygningskomponenter
Metoder til fugttransportmåling ved LfV og LBM, DTH
K. Kielsgaard Hansen og A. Nielsen

Fuktsäkra byggnadsdelar. Dimensionering, provning och utvärdering
I. Samuelsson

Byggfukt och beständighet
T. Hansson

Localisation of Moisture and Damages in Facades with IR-Camera
H. Kaasinen

Accelerated and Natural Weathering of Building Components and Elements

by Tore Gjelsvik, technical physicist MNIF, MNFS
Norwegian Building Research Institute, Trondheim Division

Introduction

The traditional way of carrying out aging tests is by using a commercially available accelerated test equipment like an Atlas Weather-Ometer or a Xenotest apparatus. These types of equipment can be quite useful, but has, on the other hand, obvious limitations. First of all they can only accommodate small test pieces, usually up to about 50 mm x 100 mm. Secondly, the test cycle normally comprises only light, heat and moisture.

Generally speaking, the commercial equipment is for materials testing in small to moderate sizes. From time to time, however, the question arises about testing of larger samples. Sometimes large size materials samples are interesting, other times the main point is the interaction of different materials in assemblies, components, elements or even structures.

In this situation, two main possibilities do exist. One is to use large size test equipment for accelerated weathering in the laboratory. The other is to use a full scale test house and natural weathering. In both cases the facilities are not commercially available, but have to be made specially for the purpose they are going to fill (1), (2), (3).

Large size laboratory test equipment

In the early 1960's, a special apparatus for accelerated weathering of building materials and components was designed and built at the Trondheim Division of the Norwegian Building Research Institute. One important point in this connection was to be able to test larger samples than in commercially available types of equipment. A second point was to get a sufficiently rapid aging cycle. The final result was the special apparatus, Mark 1, that was completed in 1965. This apparatus had four test openings 1 m x 1 m and could take samples up to about 0,9 m x 0,9 m. Tests with building sealants indicated an acceleration factor of 12 to 15 times.

Based on the experiences with the first type of equipment, a second one was completed in 1979. The Mark 2 is about four times the size of Mark 1, and can take samples up to 1,5 m x 2,5 m. The basic features will appear from Figure 1. This large size test equipment consists of a circular central chamber (E) and three fixed boxes for the climatic strains (A, B and C). The central chamber has got four test openings where the test pieces are mounted. The interior of this chamber is conditioned at 296 ± 2 K ($+23 \pm 2$ °C) and $65 \pm 2\%$ RH. The central chamber is most of the time in a

resting position, but is with certain intervals of time moved a quarter turn (90°). The test pieces are in that way subjected to constant climate 296 ± 2 K ($+23 \pm 2$ °C) and $65 \pm 2\%$ RH on one side, and the following test cycle on the other side:

- Radiation from sun light lamps of the type Osram Ultra Vitalux GUR 53 300 W or similar and simultaneous heating to an elevated temperature. Radiation 1900 W/m² (input).
- Wetting with a spray of demineralized water, 15 ± 2 l/m²h, temperature 291 ± 5 K (18 ± 5 °C).
- Cooling and freezing to a temperature of 253 ± 5 K (-20 ± 5 °C).
- Thawing at room temperature 296 K ($+23 \pm 2$ °C) and $40 \pm 10\%$ RH, with possibilities for inspecting and changing the samples without stopping the test apparatus.

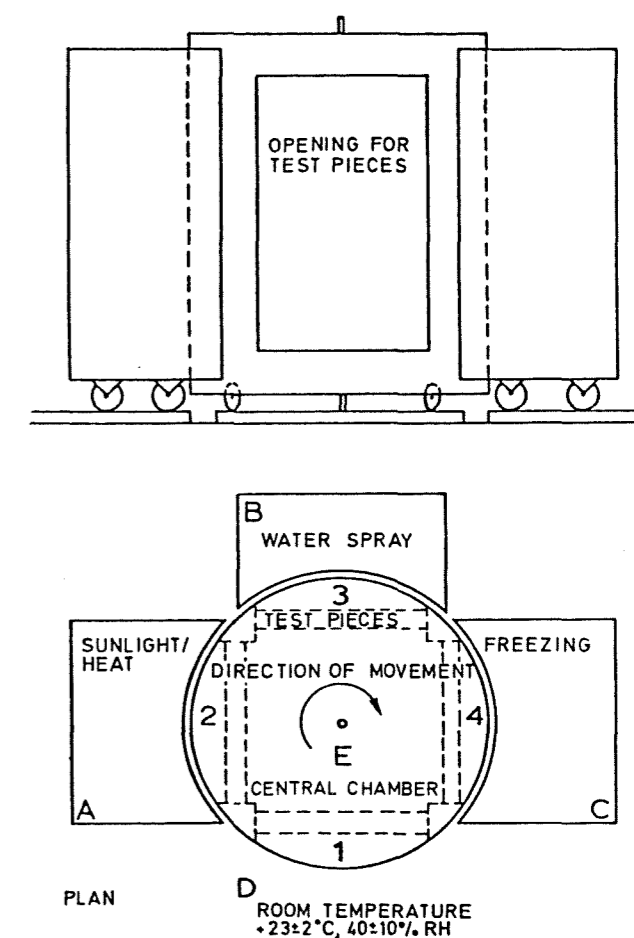


FIG.1 PRINCIPAL DRAWING OF APPARATUS FOR ACCELERATED WEATHERING, MARK 2.

The resting time in each position is normally one hour. This gives a maximum black panel temperature of 348 ± 5 K ($+75 \pm 5$ °C) in position A, and a total time of four hours for each full cycle. The apparatus is operating continuously.

In addition to the special apparatus for accelerated weathering, it is necessary to have other types of equipment to check the interesting properties of the materials and components to be tested, depending upon what is under test and which properties are interesting. The weather resistance is found from the detectable changes in the visual characteristics and measureable properties.

The exposure time will depend on the type of material or component to be tested. Testing periods of 56 and 112 days are normal, but the testing time can also be as short as 14 days or as long as 336 days or more.

The acceleration factor will depend upon what kind of material or component that is tested and the actual type of outdoor climate to compare with. Usually the acceleration factor is from 12 to 15 times. With closed bottoms in the test openings, the Mark 2 will operate as a Mark 1.

Full scale test houses

The alternative to large size laboratory test equipment is to use full scale test houses. The advantage of a test house over an accelerated aging equipment, is of course that in the test house the components and elements are subjected to real natural weathering. The disadvantage is that the natural weathering takes more time. It is, however, extremely important to carry out natural weathering tests, to have something to compare the results of the accelerated tests with.

The results obtained in a test house will depend upon several factors, as the location of the house, orientation, degree of exposure a.s.o. It is important to keep close records of all available information. If possible, meteorological observations should be made.

One of the test houses in Trondheim is shown on Figure 2. This is located on the top of the hill Tyholt in Trondheim, latitude $63^{\circ}25'N$, longitude

$10^{\circ}26'E$. The house was built in 1963 as a long single-storey building with the axis oriented $30 - 120^{\circ}$ (NNE - SSW). The basic dimensions of the test house are the following:

Length 20 m
Width 5 m
Height 5 m

The main facades are oriented to WSW and ENE respectively, for simplification called "West facade" and "East facade". The area surrounding the test house is flat, with other buildings not closer than about 90 m.

The structure of the test house consists of a concrete frame on pillars for foundation, and an inner steel skeleton to support the roof and walls. The floor, roof and walls are all made of panels. Everything is exchangeable. In this way, tests can be run in the walls as well as roof and floors.

The main driving rain directions in Trondheim are southwest and northwest. The west facade of the test house is then subjected to much driving rain and a typically wet climate, while the east facade has a much dryer climate.

The interior of the test house can be divided in several rooms by movable partition walls. The temperature and humidity in each part of the interior can be controlled separately. In this way, the components and constructions under test are subjected to closely controlled climatic conditions on the inside, and the natural climate of Trondheim on the outside.

Observations and measurements are carried out according to specified test programmes.

Full scale test houses are usually uninhabited. This makes it possible to keep close control and close records. Natural exposure in inhabited test houses has sometimes proved to be less reliable, simply due to different living habits, but is still an alternative that should not be left out.

It should be pointed out that natural exposure on outdoor racks at an angle of for instance 45° and facing south, is not a natural weathering. The suggested designation is here accelerated natural exposure.

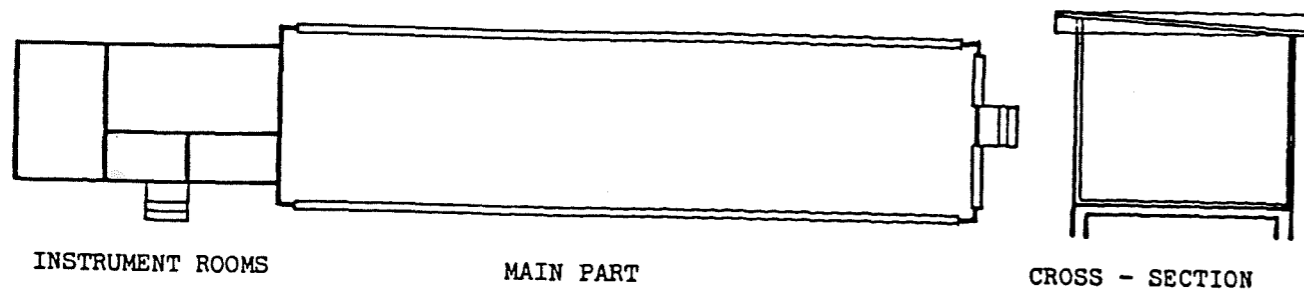


Fig. 2. Plan and cross-sections of the test house No. 1

Experiences with large size laboratory test equipment

The traditional testing in commercially available aging equipment is very often the basis for evaluation of new products. Testing in large size equipment is an additional offer. It opens up new possibilities and gives additional information.

Testing of large size surface areas has for instance made it possible to study the influence of variations in the substrate. In testing of surface coated wood, the differences between springwood and summerwood, sapwood and heartwood is often clearly noticed. The same applies to real inhomogeneities as knots and pith (4), (5).

Large size specimens also cover the possibilities for larger movements, as thermal as well as moisture movements.

The most important point in the testing of large size specimens is, however, the possibilities of running tests with the correct structural details. All joints can be tested full size, and the individual surfaces and parts can be exposed more correctly than what is possible with smaller test pieces. In full scale tests, the variations over the height of a large size assembly is usually clearly noticed.

Testing in large size equipment has not given any new possibilities to study rot formation, as the right conditions for rot formation are not present.

Examples on the use of large size test equipment are the following:

- Testing of surface coated wooden windows, 0,5 m x 0,5 m, with new (primary) surface treatments as well as maintenance treatments
- Testing of surface coated cladding in assemblies up to 1,5 m x 2,5 m, with the correct horizontal and vertical joints, edges, drip-offs etc.
- Testing of single-ply roofing materials, more or less full size
- Testing of various types of building gaskets, in specially made assemblies as well as in joints in full scale models.

A number of other possibilities have already been tested, and others do exist.

Evaluation of results

The results of accelerated weathering in the laboratory have to be evaluated very carefully.

Usually it is necessary to judge the results individually in every single case, dependent upon what is under test. It is important to choose the right parameters. Basically all results from accelerated testing only have to be taken as indications of what can actually occur in practice. The faster the aging cycle, the more careful one has to be.

Results of natural weathering in test houses are more straight-forward to evaluate. It is in general important to make attempts to find correlations between accelerated weathering and natural weathering. It should be remembered, however, that natural weathering is not one single clearly defined property, but something that varies with time and place. If a rough correlation between accelerated weathering and the average natural weathering within a specified area over long period of time can be found, this has to be considered as satisfactory. In this connection it should be remembered that natural exposure on outdoor racks is an accelerated test method. The comparison of accelerated weathering has to be with full scale test houses or real inhabited houses.

References

1. Tore Gjelsvik: Apparatus for Accelerated Weathering of Building Materials and Components. Proceedings of the Second International Conference on the Durability of Building Materials and Components, Gaithersburgh September 14-16, 1981, pp 435-441.
2. Tore Gjelsvik: Large Scale Test Facilities for Durability Studies in Scandianavia. Norwegian Building Research Institute, Report No. 97, Oslo/Trondheim 1985.
3. Tore Gjelsvik: Large Scale Test Facilities for Durability Studies in Trondheim. Norwegian Building Research Institute, Project Report No. 6-85, Oslo/Trondheim 1985.
4. Tore Gjelsvik: Akselerert aldring av overflatebehandlede trevinduer (Accelerated Weathering of Wooden Windows with Organic Coatings). Norwegian Building Research Institute, Report No. 91, Oslo 1983. (In Norwegian).
5. Tore Gjelsvik, Kristin Breder, Jarle R. Herje and Einar M. Paulsen: Four Papers on Durability of Building Materials and Components. Norwegian Building Research Institute, Project Report No. 9, Oslo/Trondheim 1986.

 Konstruktioners holdbarhed set i lyset af sikkerhedsnormens krav

Lic. techn. Jørgen Nielsen og civilingeniør Hans Kaaris
 Statens Byggeforskningsinstitut
 Postboks 119, 2970 Hørsholm, Danmark.

Problemstilling

Der er almindelig enighed om, at man må interessere sig mere for holdbarhedsproblemerne i byggeriet. Generelt formulerede regler findes (1, 2 og 3), men problemerne er komplicerede, bl.a. fordi problemstillingen med hensyn til hvad man med rimelighed kan forvente - eller kræve - ikke er afklaret.

Med udgangspunkt i de særlige sikkerhedskrav, der gælder for de bærende konstruktioner, vurderes i det følgende de regler, som anvendes i Danmark i dag, og der peges på muligheden af at udbygge disse regler, så levetidsproblemerne får en mere central placering.

Særlige forhold for de bærende konstruktioner

Udgangspunkterne for levetidsvurderinger er meget forskellige for de bærende konstruktioner og for de øvrige komponenter - i det følgende kaldet apteringen.

Apteringen udformes og dimensioneres primært på grundlag af en række ydeevnekrav, som bl.a. skal sikre tilstrækkelig isoleringsevne, brandmodstand, fugtbeskyttelse og slidstyrke, medens sikkerhed mod brud (styrke og stivhed) spiller en sekundær rolle. Levetid defineres i vid udstrækning som evnen til at bibeholde udseendet eller til at undgå nedbrydning i en sådan grad, at apteringskomponenten ikke tilfredsstillende ydeevnekravene. Da disse former for svigt normalt ikke indebærer personrisiko, kan levetidsanalyser baseres på økonomiske vurderinger med udgangspunkt i svigtsandsynligheder. Hvor følgeskaderne er små, vil svigtsandsynligheder af størrelsesordenen 10^{-2} inden for en periode på fem til ti år ofte være acceptable.

De bærende konstruktioner skal dimensioneres med primær hensyntagen til styrke og stivhed. Her er der tale om svigt med alvorlige konsekvenser, og levetiden vil i den forbindelse kunne defineres, som den tid i hvilken konstruktionen har opretholdt den i sikkerhedsnormen krævede sikkerhed. I

NKB-skrift nr. 55 (4) angives en mindste acceptabel svigtsandsynlighed pr. år på 10^{-4} for mindre betydningsfulde konstruktioner (lav sikkerhedsklasse) og 10^{-6} for de mere betydningsfulde (høj sikkerhedsklasse). Manglende holdbarhed af materialerne med tab af styrke eller stivhed til følge, kan medføre en øget svigtsandsynlighed. De angivne svigtsandsynligheder er imidlertid beregnet under nogle forudsætninger om de statistiske fordelinger af laster og styrker, som kun er grove tilnærmelse til de virkelige forhold. Dette gælder specielt for de ekstremværdier, der har betydning i denne sammenhæng. I praksis er svigt af en bærende konstruktion, der opfylder de formelle krav, derfor betydeligt lavere - det er noget, der ikke må ske. De angivne formelle svigtsandsynligheder er således regnestørrelser, som kan benyttes til en sikkerhedsmæssig rangordning af konstruktioner, men de kan ikke benyttes som grundlag for økonomiske beregninger af svigtsekvenser.

Bl.a. fordi følgeomkostningerne ved svigt af bærende konstruktioner ofte er betydelige, regner man normalt med, at disse skal have en levetid på mindst 50 år.

En sammenligning mellem forholdene for de to områder viser således, at de reelle svigtsandsynligheder, der kan accepteres, formentlig er mindst 2 til 3 størrelsesordener mindre for de bærende konstruktioner end for apteringen, og at den tidshorisont, man arbejder med, er en størrelsesorden større. På denne baggrund er det klart, at grundlaget for at lade levetiden være en styrende parameter på planlægningsstadiet er bedst for husets aptering.

Nuværende normregler

Normer og retningslinier for udførelse af bærende konstruktioner har sin rod i erfaringer - herunder erfaringer med levetiden. Selv om det ikke direkte er nævnt, har mange krav derfor deres baggrund i levetidsforventninger.

Egentlige levetidsberegninger foreskrives for udmattelsespåvirkede stål- og aluminiumskonstruktioner, hvor særlige prøvnings- og dimensioneringsmetoder er udviklet.

Sådanne regler kan også ses som en udmøntning af mere tidssvarende overordnede betragtninger, som de fx er formuleret i de fællesnordiske retningslinier for sikkerhedsbestemmelser, (4) hvor følgende er anført vedrørende holdbarhed:

"En konstruktion eller konstruktionsdel skal dimensioneres og udføres således, at den ved korrekt anvendelse og vedligeholdelse i den forventede levetid:

- Med en krævet sandsynlighed kan modstå enhver påvirkning, den kan forventes udsat for." (4, side 9).

"Hvis konstruktionsmaterialernes egenskaber ændres med tiden, for

eksempel som følge af nedbrydning, må der tages hensyn hertil." (4, side 13).

"Ved fastsættelse af værdierne af materialeparametrene skal der tages hensyn til indvirkning fra miljø og langtidsvirkning. Dersom det kan forventes, at kravene til en konstruktions modstandsevne ikke umiddelbart vil være opfyldt i hele den ønskede levetid, skal konstruktionen dimensioneres således, at kravene til modstandsevnen er opfyldt i en kortere tidsperiode, der skal vælges således, at den mindst svarer til intervallerne mellem inspektion og nødvendig vedligehold af konstruktionen.

: Miljøpåvirkninger kan beskrives som en klassifikation, der afhænger af miljøets aggressivitet. Miljøklassifikationen er sædvanligvis afhængig af materialevalget." (4, side 22).

Der skal altså tages hensyn til de miljømæssige aspekter især i forbindelse med fastlæggelse af materialeparametrene. I de danske konstruktionsnormer (5) er dette bl.a. gjort i form af såkaldte miljøklasser.

I Dansk Ingeniørforenings Norm for Betonkonstruktioner, DS 411, er der stillet miljøafhængige krav til dæklagets tykkelse og betonens sammensætning. Kravene knytter sig til tre miljøklasser, som er karakteriseret ved forskellige grader af aggressivitet, der er almindeligt forekommende i Danmark:

"Til aggressiv miljøklasse hører salt- og røgholdig atmosfære, havvand og brakvand.

Til moderat miljøklasse hører fugtig, ikke-aggressiv, udendørs såvel som indendørs atmosfære samt strømmende eller stillestående ferskvand. Til passiv miljøklasse hører tør, ikke-aggressiv atmosfære, dvs navnlig indendørs klima.

Det skal vurderes, hvilken af de tre miljøklasser, der bedst dækker de miljøpåvirkninger, som betonkonstruktionen udsættes for.

Der kan forekomme særligt aggressive miljøer inden for normens gyldighedsområde, for hvilke normen ikke foreskriver, hvilke forholdsregler der skal tages for at sikre konstruktionens bestandighed."

For murværkskonstruktioner, DS 414, findes tilsvarende miljøklasser, som skal benyttes ved vurderinger af sten og mørtels egnethed i de enkelte tilfælde.

For trækonstruktioner, DS 413, er fugtpåvirkning lagt til grund for angivelse af styrke- og stivhedstal, idet der skelnes mellem følgende fugtklasser:

"Fugtklasse I

Fugtklasse I er karakteriseret ved et fugtindhold i træet svarende til en lufttemperatur på ca. 20 °C og en relativ luftfugtighed, som kun i kortere perioder overstiger 65 procent, og aldrig 80 procent.

Fugtklasse IU

Fugtklasse IU er karakteriseret ved et fugtindhold i træet svarende til en lufttemperatur på ca. 20 °C og en relativ luftfugtighed, som kun i kortere perioder overstiger 80 procent.

Fugtklasse U

Fugtklasse U omfatter konstruktioner i omgivelser, der giver et større fugtindhold i træet end svarende til fugtklasse IU."

Om stålkonstruktioner hedder det i DS 412:

"Stålkonstruktioner som udsættes for korrosivt miljø, skal udformes, korrosionsbeskyttes og vedligeholdes på en sådan måde, at der ikke opstår skader, som kan nedsætte bæreevne eller funktionsdygtighed i forhold til de krævede inden for den ønskede brugstid."

I normerne placeres konstruktioner - eller konstruktionsdele - således i bestemte klasser, som herefter benyttes som baggrund for en differentiering af krav og regler.

Normerne siger derimod ikke noget om hvilken levetid, der kan forventes med opfyldelse af disse krav.

Normernes regler giver i mange tilfælde et rimeligt grundlag for projektering i traditionelt byggeri, men hjælper ikke meget ved besvarelse af spørgsmål som:

- Hvad opnår man ved at øge dæklaget i en betonkonstruktion?
- Hvorledes skal man dokumentere at en utraditionel konstruktion (utraditionel konstruktionsform eller nyt materiale) lever op til normens krav?

Disse spørgsmål rejser sig bl.a. fordi man i disse år ser en udvikling i retning af at anvende spinklere konstruktioner med en højere udnyttelse af styrke- og stivhedsegenskaber; ofte knyttet til anvendelse af utraditionelle materialekombinationer. Denne udvikling kan på flere områder tænkes at have sin begrænsning i problemer med konstruktionsmaterialernes eller forbindelsernes holdbarhed, hvilket betyder at levetiden i højere grad kan blive dimensionsbestemmende også for de bærende konstruktioner. (Denne problemstilling er behandlet af H. Kaaris i et internt notat fra Afdelingen for bygningskonstruktioner på SBI, 1985).

De betonskader, der nu har vist sig, og de undersøgelser, der i den forbindelse er iværksat, har også vist, at der er grund til at stille spørgsmålstegn ved, om opfyldelse af normernes krav er tilstrækkeligt til sikring af en acceptabel levetid.

Behov for en præcisering af krav til levetiden

Eftersom sikkerhedsnormen opererer med meget små svigtsandsynligheder uden reel betydning, forekommer det formålsløst at udbygge normernes regler med henblik på beregning af egentlige levetider som baggrund for økonomiske optimeringer. Derimod synes der at være et behov for at præcisere det generelle grundlag for normernes regler dels som baggrund for udvikling af metoder - herunder prøvningsmetoder, - der kan anvendes som baggrund for levetidsvurderinger af nye konstruktioner dels som grundlag for vurderinger og

eventuelt revision af de regler, der findes i normerne, efterhånden som der skabes den fornødne viden hertil.

En sådan præcisering kunne omfatte følgende elementer:

- Det fastslås, at normens krav til sikring af materialers og forbindelsers holdbarhed er tilstræbt udformet således at konstruktionernes forventede levetid er mindst fx 50 år. Hvor normens krav ikke direkte regnes at sikre dette, men forudsætter vedligeholdelse, foreskrives den nødvendige vedligeholdelse.

En forventet levetid på mindst 50 år bør muligvis ikke være et normkrav, men et spørgsmål, som skal kunne aftales mellem bygherren og den projekterende, med eventuelle lempelser eller skærpelser af normens krav som resultat.

- Tilstandsvurdering gøres til et centralt element ved indførelse af fx to tilstandsvurderingsklasser:

Ingen tilstandsvurdering - gældende for traditionelle løsninger, hvor man har erfaring for at den i normen krævede sikkerhed med stor sandsynlighed (>95%) vil være opfyldt i mindst 50 år, eller i tilfælde af nye løsninger, hvor det fx gennem accelereret prøvning kan sandsynliggøres, at samme levetid er til stede.

Tilstandsvurdering kræves - gældende for alle øvrige konstruktioner, idet kravene kunne være forskellige for forskellige grupper af konstruktioner.

En gruppe kunne omfatte konstruktioner, hvis levetid især afhænger af synlige forhold (fx overfladebehandling), og som umiddelbart lader sig inspicere, fx synlige konstruktioner. Kravet kunne her være en på projekteringsstadiet udarbejdet vedligeholdelsesforskrift med en beskrivelse af det nødvendige eftersyn og den tilstand, der udløser den pågældende vedligeholdelse.

En anden gruppe kunne omfatte konstruktioner, som ikke umiddelbart lader sig inspicere, og/eller hvor den foreskrevne holdbarhed ikke kan dokumenteres. De tilhørende krav kan her omfatte fastlæggelse af et tidsinterval for inspektioner, fastlæggelse af hvad og hvordan, der skal inspiceres, med tilhørende acceptkriterier samt udarbejdelse af et projekt for udbedring - eventuelt udskiftning - af bygningsdele, der ikke opfylder kriterierne.

Med passende valg af sten og mørtel vil man kunne placere murværk i klassen "Ingen tilstandsvurdering", forudsat at der er anvendt korrosionsfaste bindere. Anvendes derimod galvaniserede bindere, vil

murværk falde i klassen "tilstandsvurdering kræves", idet bindernes levetid ikke er dokumenteret og ikke lader sig inspicere. Opfyldelsen af de krav, der hører til denne klasse, vil være så kostbar, at de ikke kan modsvare besparelsen ved at anvende galvaniserede bindere, som derfor ikke vil blive brugt i praksis. Denne konsekvens forekommer mere rimelig end den gældende regel, der under visse forudsætninger tillader dem benyttet i lavt byggeri. Her bør det i stedet undersøges om sådanne bindere overhovedet er påkrævet i det pågældende byggeri.

Gylletanke af elementer med tilhørende spændkabler kunne placeres i klassen "tilstandsvurdering kræves". Størrelsen af inspektionsintervallerne bør bl.a. afhænge af den valgte beskyttelse af kablerne ved forankringerne.

Klassen "tilstandsvurdering kræves" kan også benyttes for konstruktioner, hvor svigtkonsekvenserne er særlig store, og med den foreskrevne planlægning vil levetidsbetragtninger få større vægt på planlægningsstadiet. Dette kunne være rimeligt fx ved utraditionelle løsninger i etagebyggeriet.

- Miljøklasserne kunne udvides med én eller flere klasser, omfattende miljøet i klimaskærmen. Mange bærende konstruktioner står hverken ude eller inde, men netop i det område, hvor klimaet er bestemt af isoleringens og fugtspærrens placering. Et eksempel er her en fugtspærres placering i afhængighed af rumklimaet. Jo mere fugtigt indeklimaet er jo nærmere skal fugtspærren ligge ved den varme side for at undgå kondensrisiko, se (7).

Betydningen heraf er også påpeget i SBI anvisning 104 (6):

"Våd indendørsatmosfære kan forekomme i baderum etc. samt i dårligt ventilerede hulrum, fx i etageadskillelser og sandwichkonstruktioner. Om klimaet i sådanne hulrum i bygninger ved man desværre alt for lidt; det normale er nok at klimaet i disse hulrum ikke er videre korrosivt, men der er set eksempler på at den relative fugtighed kan være 100 procent, hvorved hulrumsatmosfæren bliver mere aggressiv end udendørsatmosfæren."

På dette område er situationen nok den, at en bedre kortlægning af disse klimaforhold er en forudsætning for en klassifikation i normer og en tilsvarende udvikling af prøvningsmetoder til afprøvning af konstruktioner. Et sådant grundlag er særlig vigtigt for udvikling af nye konstruktioner.

I normerne savnes endvidere en stillingtagen til hvilke ricisi man kan udsæt-

te den bærende konstruktion for som følge af svigt i installationer (fx skjulte rør) og fugtmembraner, hvor skaden på den bærende konstruktion kan være urimelig stor i forhold til de besparelser eller æstetiske fordele, man måtte have opnået.

Konklusion

Det kan konkluderes, at levetidsproblematikken for bærende konstruktioner ikke er overset, men der er tale om et vanskeligt tilgængeligt område, hvor mange parametre har væsentlig betydning og hvor vurderinger skal foretages på ændringer af meget små svigtsandsynligheder over en periode på mindst 50 år.

I grove træk kan man beskrive situationen på den måde, at der foreligger en systematisk måde til forudsigtelse af komponentes levetid, men at denne metodik forudsætter indsamling af erfaringer og udvikling af prøvningsmetoder for at blive operativ. Den eksisterende viden synes dog tilstrækkelig til at give levetidsproblemerne en mere central placering i vort normsystem for bærende konstruktioner, og det foreslås, at basere normernes krav på en levetid på mindst 50 år, at indføre klasser for tilstandsvurdering, som baggrund for krav om vedligeholdelse og reparation samt at indføre en eller flere miljøklasser for bærende konstruktioner, som er placeret i eller omfatter klimaskærmen.

Hermed ville man styrke grundlaget for den fortsatte videnopbygning og produktudvikling samt grundlaget for de boligministerielle godkendelser.

Erfaringer vil stadig i en årrække fremover give det mest pålidelige grundlag for vurdering af bærende konstruktioners levetider, og parallelt med udviklingen af et bedre grundlag for levetidsberegninger, bør man derfor interessere sig for opsamling af erfaringer - ikke mindst med de mange nye konstruktioner, som er kommet på markedet i de senere år.

Litteratur

- (1) K. Blach and E. Brandt: "Making the concept of durability manageable" CIB W60, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, 1982.
- (2) ASTM E632-81: "Standard Practice for developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials" American Society for Testing Materials, USA, 1981.
- (3) "Prediction of service life of building materials and components" CIB Report - Publication 96, 1987.
- (4) "Retningslinier for Last- og Sikkerhedsbestemmelser for Bærende Konstruktioner" NKB-skrift nr. 55. Den Nordiske Komité for Bygningsbestemmelser, 1987.
- (5) Dansk Ingeniørforenings Normer for: Sikkerhedsbestemmelser for konstruktioner, DS 409, 1982, Last på konstruktioner, DS 410, 1984, Betonkonstruktioner, DS 411, 1984, Stålkonstruktioner, DS 412, 1983, Trækonstruktioner, DS 413, 1982, Murværkskonstruktioner, DS 414, 1984,
- (6) "Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner" SBI-anvisning 104, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, 1976.
- (7) Tommy Bunch-Nielsen og Georg Christensen: "Ventilation af flade tage" SBI-særtryk 311, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, 1984.

 Funktionsprøvning af flade tage

Civilingeniør Finn Dombernowsky

B. Højlund Rasmussen, Rådgivende Ingeniører A/S,
 Egsagervej 11, 8230 Abyhøj

1. Baggrund

Når man skal vurdere funktionen af materialer med viskoelastiske egenskaber på grundlag af de sædvanligt anvendte simple laboratorieforsøg opstår der næsten uoverstigelige problemer af matematisk art.

Endnu værre bliver det når flere materialer med forskellige egenskaber sammenbygges i en konstruktion.

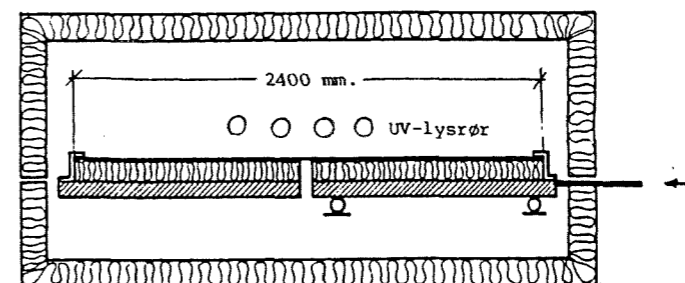
En måde at løse problemet på er at fremstille prøveapparater, hvor den samlede konstruktion kan udsættes for påvirkninger, der så vidt muligt svarer til, hvad den udsættes for i praksis, og samtidig accellererer dem så opholdstiden i apparaturet kan nedsættes.

Dette indlæg vil beskrive et sådant apparatur opbygget på Jysk Teknologisk. Der vil blive redegjort for de klimapåvirkninger apparaturet kan udsætte prøven for og hvorledes man kan fastlægge prøveprocedurer, så en sammenligning mellem forskellige materialer og materialesammensætninger bliver mulig.

Apparaturet er i første række tænkt anvendt til tagdækningsmaterialer, men er så fleksibelt i sin opbygning, at det også kan anvendes til andre konstruktioner.

2. Beskrivelse af apparatur

2.1 Apparatur er vist i princip på fig. 1 og i virkeligheden på foto fig. 2.



Figur 1. Snit i prøvekasse. Principskitse.



Figur 2. Prøvekasse.

Det består af en isoleret kasse med et plant, næsten vandret prøvefelt på ca. 1200 x 2400 mm. Størrelsen er bestemt ud fra ønsket om at kunne prøve rimeligt lange emner (2400 mm) og have flere prøver i apparaturet samtidig. En prøvebredde pr. 200-400 mm vil i mange tilfælde være passende.

Prøveemnerne anbringes på et bord, der er delt på midten, og den ene bordhalvdel er bevægelig, så fugen mellem de to borddele kan åbnes og lukkes 20 mm. En prøve fastspændt til bordet kan dermed strækkes.

Over prøvefeltet findes et armatur med UV-rør. Rørene er placeret med en centerafstand på ca. 50 mm. Armaturet kan hæves og

sænkes. Prøvernes tykkelse kan derfor variere fra 0-350 mm uden at lysintensiteten nedsættes. Afstanden mellem prøveoverfladen og rørene er 50-500 mm.

Der er etableret et vandsystem, så prøverne kan overrisles. Vandet opsamles og recirkuleres. Vandtemperaturen kan reguleres til temperaturer større end stuetemp.

I kassen er anbragt et fordamperlement fra et kølemaskineri samt varmelegemer med ca. 9 kW effekt, der muliggør regulering af temperaturen mellem $-20 - + 70^{\circ}\text{C}$.

En ventilator cirkulerer luften, der bestryger prøveoverfladen, med 4-6 m/s.

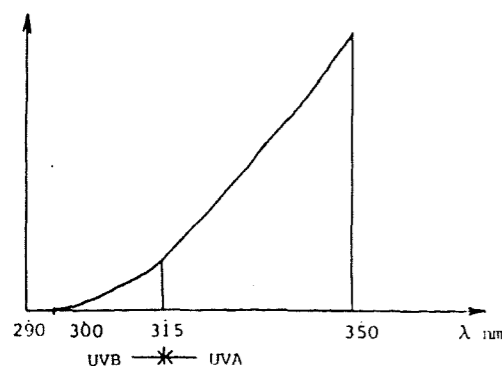
2.2 UV-lys

For at kunne bestråle med en spektralfordeling der i det interessante område ligner sollysfordelingen, er apparatet bestykt med to typer UV-rør. Den ene (UVB 313) udsender lys i området ca. 280-350 nm med 4,7 W effekt og maximum ved 313 nm. Det andet (OSRAM 80W/79) har maximum ved ca. 350 nm og udsender 7,6 W i området < 350 nm.

Med forskellig brændtid på de to rørtyper er det muligt at give bestrålingsdosis, der er jævnt stigende med bølgelængder op til 350 nm.

Desuden kan opfyldes, at 7% af strålingen ligger i UVB-området $\lambda < 315$ nm og højst 25% heraf under 295 nm og max. 1% heraf under 270 nm. D.v.s. at strålingen ligner solstrålingen rimeligt op til 350 nm, medens større bølgelængder er uinteressante, da de normalt kan regnes uden skadelig virkning og har ringe intensitet i forhold til solstrålingen.

Lysintensiteten er med dette arrangement $20-25 \text{ W/m}^2$ i området < 350 nm. Intensiteten afhænger af rørenes alder og må følges ved målinger

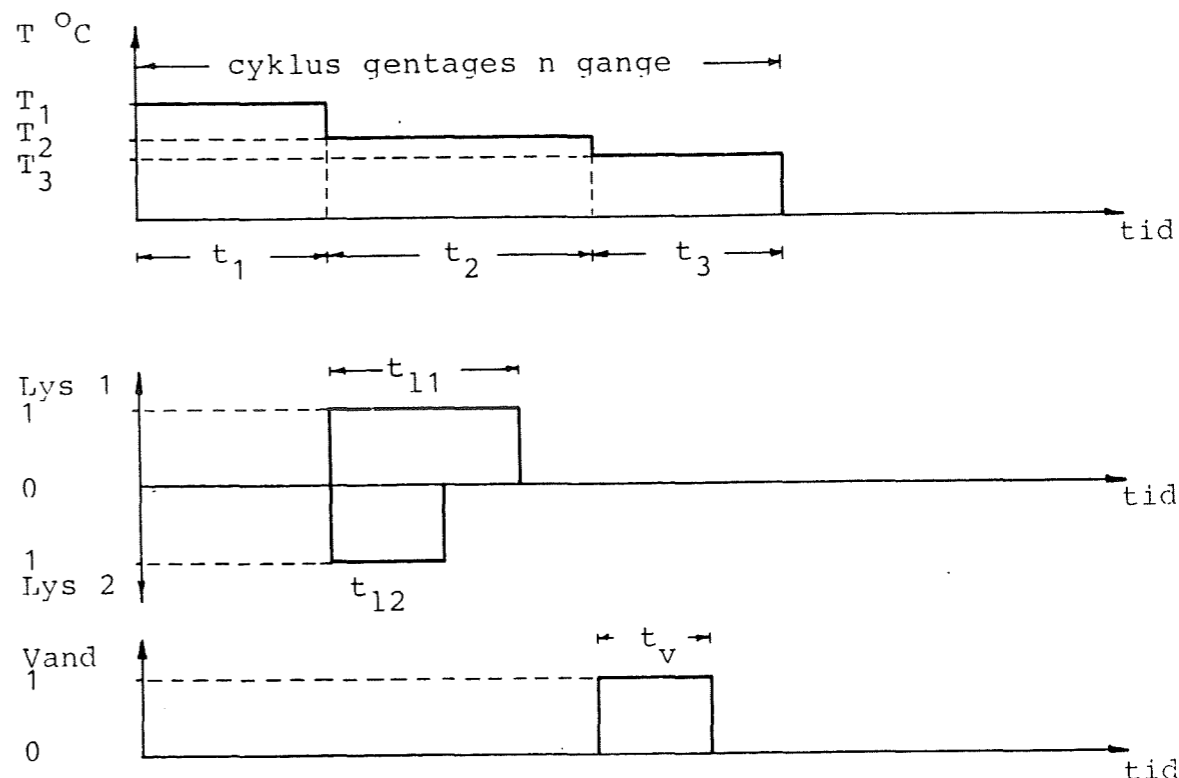


Figur 3. Spektralfordeling af UV-lys.

3. Prøvningsprogrammer

Apparatet styres via en EDB-enhed, der er programmeret med to programmer kaldet "Funktionsprøvning" og "Ældning".

Det principielle forløb af programmerne er vist på fig. 4 og 5.



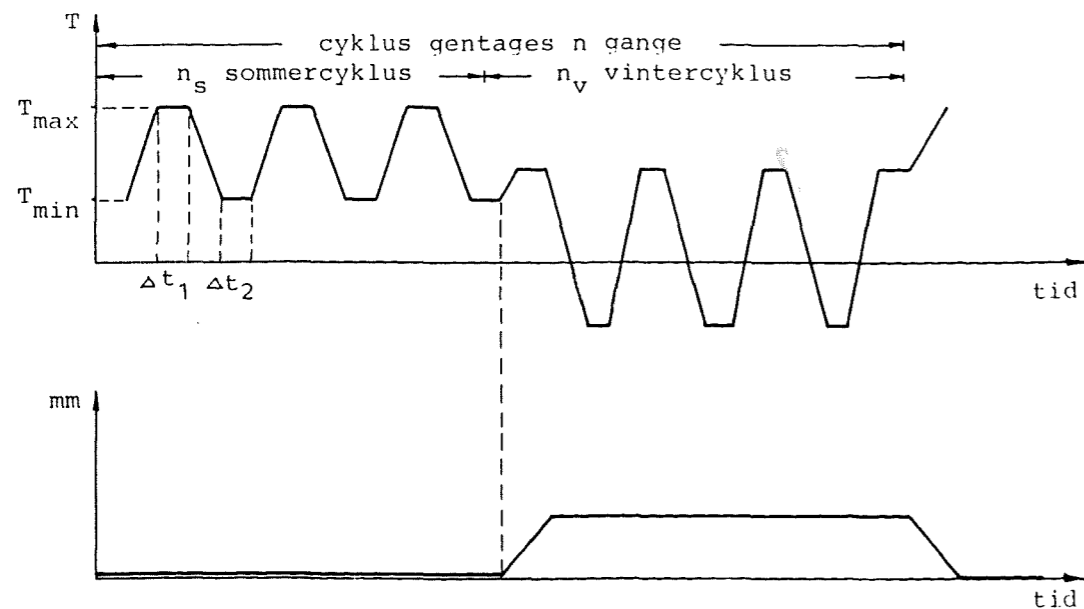
Figur 4. Ældning.

Inddata til programmet ældning er tiderne t_1 , t_2 , t_3 og temperaturerne T_1 , T_2 , T_3 . Endvidere specificeres antallet af gange n , hvormed denne cyklus skal gentages.

I tidsperioden t_2 kan lysene tændes i selvvalgte tidsrum t_{11} og t_{12} .

I tidsperioden t_3 kan prøverne overrisles med vand. Normalt anvendes demineraliseret vand, men man kan også tænke sig tilsætning af nedbrydende stoffer.

Da dette program i hovedsagen er et varmeældningsprogram uden tilslutning af kølemaskineriet, skal temperaturen være større end ca. 25°C uden lys og ca. 45°C med lys.



Figur 5. Funktionsprøvning.

I dette program kan foretages en række hurtige temperaturskift kombineret med en bevægelse af underlaget.

Temperaturforløbet er opbygget af n_s "sommercykler" plus n_v "vintercykler" der så kan gentages n gange.

Der kan vælges max. ønsket temperaturændringshastighed både ved afkøling og opvarmning. Endvidere vælges temperaturgrænserne T_{max} og T_{min} samt det tidsrum Δt_1 og Δt_2 , hvor temperaturen skal fastholdes på T_{max} og T_{min} .

Ved bevægelsen vælges den maximale flytning, flytningshastigheden og antallet af temperaturcykler pr. bevægelsescyklus.

De sidste betyder, at bevægelsen kan foregå enten i takt med den enkelte temperaturcyklus eller f.eks. i takt med "årstiden" som vist på figuren.

4. Anvendelse af apparaturet

4.1 Generelt

Det er tanken at anvende funktionsprøveprogrammet og ældningsprogrammet skiftevis. Først køres en funktionsprøve med hurtige temperaturskift, der kan skabe spændinger og ensidige bevægelser imellem de indgående materialer. Dernæst en ældningscyklus der ændrer materialeegenskaber. En fornyet funktionsprøve kan da foretages på de ældede materialer o.s.v.

4.2 Funktionsprøvning

Det er vanskeligt at fastsætte antallet af temperaturcykler, en tagdækning udsættes for, men et rimeligt bud på størrelsesordenen vil være 25 cykler 70 til 20 °C og 25 cykler 30 til -20 °C pr. år.

Temperaturændringshastigheden bør ikke overstige 1 °C pr. min. ved temperaturer lavere end 10 °C.

Tallene er noget løst fastsat på grundlag af egne målinger af tagtemperaturer og sparsomme oplysninger i litteraturen.

Tilsætning af bevægelse i underlaget bør foregå efter analyse af den konkrete konstruktion.

4.3. Ældning

4.3.1. Varmeældning

Accelereret ældning har ikke nogen mening, hvis den ikke har et teoretisk grundlag, der giver grundlag for sammenligning mellem forskellige materialer og giver relation til vejrligspåvirkningerne.

Det er her valgt at anvende Arrhenius' ligning til beskrivelse af den ændring der foregår med tiden af en mekanisk egenskab y :

$$\frac{dy}{dt} = A \times \exp(-B/T) \times y^h$$

A og B er tids- og temperaturuafhængige konstanter

h eksponent for den kemiske reaktionshastighed

T temperaturen i °K

t tid i timer

Ligningen har løsningerne:

$$n \neq 1 \quad \frac{1}{n-1} \left(\frac{1}{y^{n-1}} - \frac{1}{y_0^{n-1}} \right) = A \times \exp(-B/T) \times t = Fh$$

$$n = 1 \quad \ln \frac{y}{y_0} = A \times \exp(-B/T) \times t = Fh$$

y_0 er her værdien y til tiden 0.

Hvis et materiale udsættes for temperaturen T_1 i tiden t_1 og temperaturen T_2 i tiden t_2 og man ønsker, at de to påvirkninger

skal give samme ændring i materialeegenskaben y kan man opstille ligningen:

$$\exp(-B/T_1) \times t_1 = \exp(-B/T) \times t_2$$

Er B kendt, kan man eksempelvis finde den tid t_2 materialet skal påvirkes i ved temperaturen T_2 for at opnå samme virkning som T_1 og t_1 .

Bestemmelse af B kan gøres ved at ælde materialet ved to forskellige temperaturer og måle y med intervaller.

Der kan da optegnes kurver der viser y som funktion af tiden ved konstant temperatur.

Det vigtigt at gøre sig klart, at B kan variere ret meget mellem forskellige materialer, hvilket betyder, at der skal anvendes forskellige ældningstider for at opnå samme virkning som vejrliget giver.

4.3.2. Tagdækningers temperatur

Der foreligger måledata på tagdækningstemperaturer ved alm. tagpapdækninger med bestrømningskorn.

Ved at sammensætte disse data ved hjælp af ovenstående formler finder man, at påvirkningen kan beskrives ved en ækvivalent årstemperatur $T_{\text{æ}}$ forstået som den konstante temperatur, der skal holdes i 1 år for at opnå samme virkning som virkelighedens, varierende fra ca. -20°C til ca. $+70^{\circ}\text{C}$.

$$T_{\text{æ}} = 282 + 1,6 \times 10^{-3} \times B \quad ^{\circ}\text{K}$$

Ud fra $T_{\text{æ}}$ kan man da bestemme den tid et materiale skal udsættes for en given temperatur for at opnå samme virkning som vejrliget giver.

4.3.3. UV-ældning

Ældning med UV-lys kan accelereres dels ved at sætte strålingsintensiteten i vejret dels ved at hæve temperaturen. Uden her at gå for dybt i det teoretiske kan nævnes, at man finder, at nedbrydningen er proportional med strålingsdosis opløftet til en potens m og en temperaturafhængig accelerationsfaktor tilsvarende varmeældningen og bestemt ved en materialekonstant D svarende til (B ved varmeældningen).

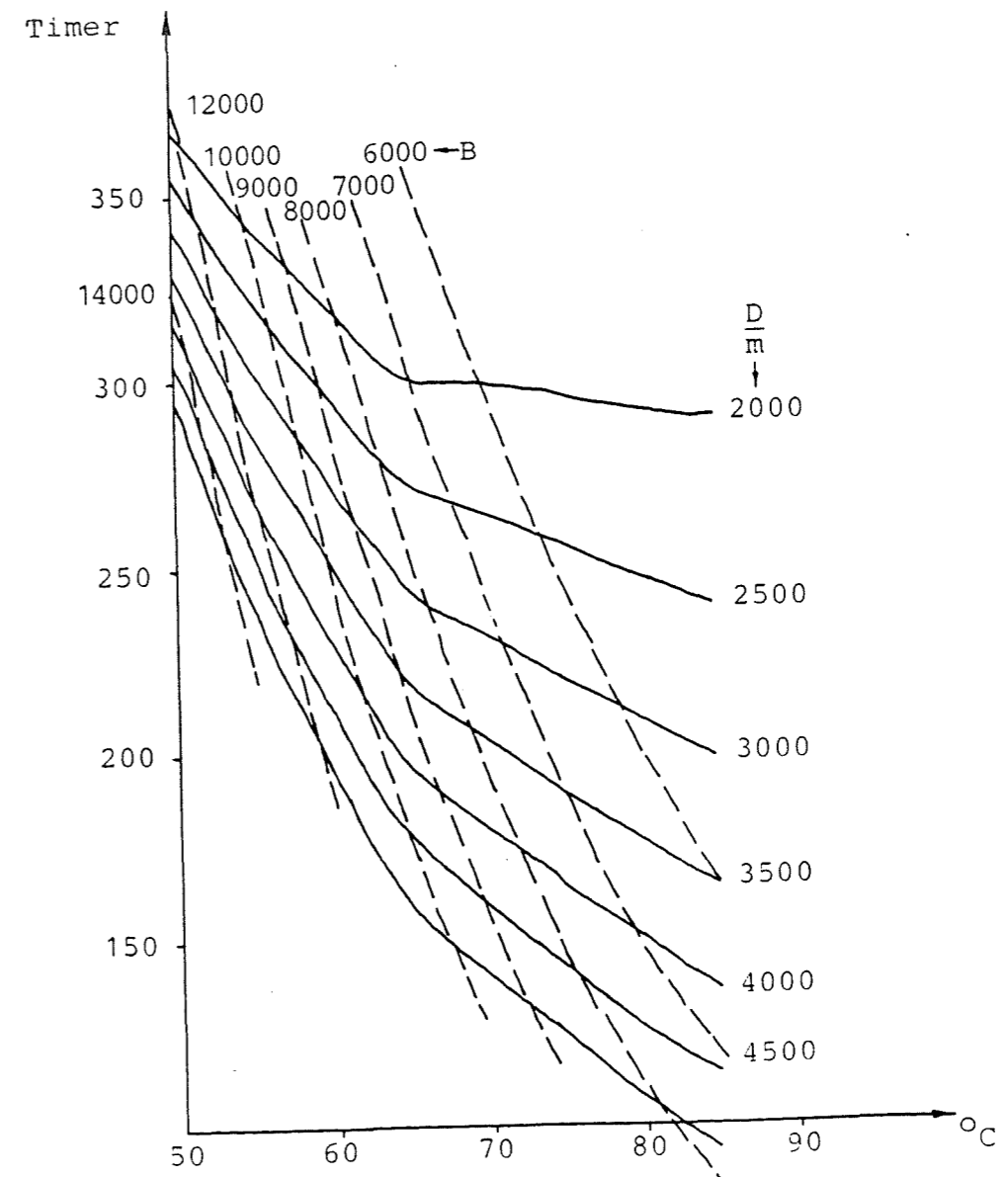
4.3.4. UV-påvirkning i Danmark

Belastningen med UV-stråling i Danmark med de i apparaturet anvendte bølgelængder $< 350 \text{ nm}$ kan ikke umiddelbart findes i litteraturen, men en beregning på grundlag af solhøjder, skydække m.m. giver, at det vil være rimeligt at regne med ca. 11.000 Wh/m^2 på en vandret flade på 56° bredde.

5. Sammensætning af varme og UV-dækning

På fig. 6 er vist resultatet af beregninger udført på grundlag af ovenstående formler.

Ved en given ældningstemperatur kan man aflæse, hvorlænge materialet skal forblive ved denne temperatur for, at påvirkningen svarer til 1 år under vejrligspåvirkning.



Figur 6. Beregnede ældninger.

Der er regnet med en lysintensitet på 20 W/m^2 og der er taget hensyn til temperaturafhængigheden af rørens lysudsendelse.

6. Afslutning

Det kan synes som et omstændigt arbejde blot at få fastlagt data for en funktionsprøvning efter de her givne retningslinier og uanset anstrengelserne må man forvente stor unøjagtighed på resultaterne. Det er dog forfatterens opfattelse, at det er vigtigt at forsøge, at handle så begrundet som muligt og at resultaterne vil vise sig ved færre fejlkonstruktioner.

Hvis konstruktionerne af varme tage i 70'erne havde været udsat for funktionstest havde mange penge været frigjort til bedre formål end tagrenovering.

 Vurdering af fugttransport i bygningskomponenter. Metoder til fugttransportmåling ved LfV og LBM, DTH

Adjunkt, lic.techn. Kurt Kielsgaard Hansen
 Lektor, tekn.dr. Anders Nielsen
 Laboratoriet for Bygningsmaterialer
 Danmarks tekniske Højskole
 Bygning 118, 2800 Lyngby

Abstract

Det ved Laboratoriet for Bygningsmaterialer (LBM) igangværende projekt "Fugt i byggematerialer" under programmet for Forskning for Teknisk Udvikling (FTU) under Statens teknisk-videnskabelige Forskningsråd er opdelt i henholdsvis en teoretisk og en praktisk del.

Den teoretiske del indeholder dels udarbejdelse af matematiske modeller for kombineret fugt- og varmetransport i bygningsmaterialer og -konstruktioner, og dels bestemmelse af nødvendige transportparametre for modellerne. Denne del af projektet gennemføres i samarbejde med Laboratoriet for Varmeisolering (LfV), der i et igangværende licentiatarbejde vil udvikle de matematiske modeller, mens LBM ligeledes i et licentiatarbejde vil udarbejde måleopstillinger, der sammen med modellerne vil kunne bestemme transportparametrene.

Den praktiske del indeholder metoder til fugttransportmåling med gammastråling, kopmetoder, veje-tørre-vejemetoder samt hygrometriske metoder. Desuden søges materialernes porestrørelsesfordeling vurderet med bl.a. lavtemperaturmikrokalorimetri. LfV's gammastrålingsudstyr er blevet renoveret under FTU-projektet. LBM's kopudstyr er ligeledes blevet renoveret med computerovervågning af klimaet i målekammeret og automatiseret databehandling. Inden for de hygrometriske metoder arbejdes med kalibrering af relative fugtighedsmålere og måling af RF-profiler i materialer.

Det omtalte FTU-program præsenteres med hovedvægten lagt på praktiske metoder til fugttransportmåling.

Baggrund

Kendskab til fugtfysik, d.v.s. fugtbinding og fugttransport, er nødvendig for en dybere forståelse af bygningstekniske processer og problemer. Dette skyldes, at fugt har indflydelse på alle egenskaber hos de porøse bygningsmaterialer og for korrosionsforholdene for de metalliske materialer. Fugtforskningen har derfor altid indtaget en central rolle i forskningen på LBM.

Vand forekommer i de porøse materialer som damp i porerne, fast bundet til porevæggene, som flydende vand i porerne eller som is. Dette forhold bevirker, at fugttransporten sker med forskellig hastighed, alt efter hvilken tilstandsform vandet befinder sig, og efter hvilken temperatur og ydre omstændigheder der hersker.

Det 3-årige FTU-program "Fugt i byggematerialer" startede 1 januar 1987 ved LBM som efterfølger til et STVF-projekt med samme navn (1,2, 3). Projektets formål er at skaffe dybtgående kendskab til, hvorledes vand transporteres i byggematerialerne. Projektet omfatter dels udvikling af regneprogrammer og måling af transportkoefficienter, således at man kan forudsige fugtforholdene, dels arbejde med målemetoder, som kan kontrollere fugtforholdene i udførte konstruktioner, og at etablere grundlag for fugtdimensionering.

Fugttransport, udvikling af programmet

Formålet med denne del af projektet er at få opstillet et program for fugttransport gældende for både høje og lave vandindhold i materialerne, for både desorption og adsorption og for varierende temperaturer. Dette arbejde udføres af Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, hvor Carsten Rode Pedersen (CRP) startede 1 marts 1987 som licentiatstuderende finansieret af DTH med lektor Preben Nordgaard Hansen som hovedvejleder og professor Vagn Korsgaard som medvejleder. CRP's licentiatstudium skal udføres inden for området koblet fugt- og varmetransport i bygningsskonstruktioner. I studiets første fase skal udvikles en dynamisk edb-model af den koblede fugt- og varmetransport i materialer og i sammensatte bygningsdele, f.eks. i flade tage, under hensyntagen til såvel diffusion og konvektion som fordampning og kondensation. EDB-modellen opstilles ved at inddele materialet eller konstruktionen i en række kontrolvolumener. For hvert kontrolvolumen opstilles derpå en masseligning, en energiligning og en tilstandsligning. De tre koblede ligninger løses ved "endelige differencers metode" med ADI eller iterative teknikker.

Det nødvendige litteraturstudium er afsluttet, og opstillingen af edb-modellen er netop påbegyndt.

På Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH, startede 15 august 1987 Morten Hjorslev Hansen (MHH) som licentiatstuderende, ansat på FTU-projektet. Licentiatstudiets titel er "Koblet fugt- og varmetransport i bygningsskonstruktioner, specielt med henblik på bestemmelse af transportkoefficienter". MHH er startet med at udarbejde edb-programmer for det simple tilfælde diffusion i homogene materialer under isoterme forhold og konstant diffusionskoefficient, en udgave for retvinklede koordinater og en for polære koordinater. Programmerne skal erstatte grafiske metoder, f.eks. anvendelse af Beton-Bogens figur 3.4-22 (4), der viser middelfugtindholdets variation med udtørringstiden. Modellen for polære koordinater er anvendt til at checke den af Lauge Fuglsang Nielsen opstillede hypotese for udtørring af og revnedannelse i el-master (5). Regninger i polære koordinater giver yderligere mulighed for at vurdere transportkoefficienter fra forsøg med cylindre med radiær fugtvarmestrøm.

Fugttransport, måling af transportkoefficienter

Formålet med denne del af projektet er for nogle vigtige byggematerialer at få kortlagt de til regneprogrammerne nødvendige transportkoefficienter som funktion af vandindhold, temperatur og, om materialet opfugtes eller udtørres.

Den klassiske målemetode ved bestemmelse af transportkoefficienterne ved hygroskopiske vandindhold er kopmetoden. Civ.ing. Gert Pl. West, som er køleingeniør, har stået for renoveringen af LBM's kopudstyr. Det er blevet forsynet med nyt registreringsudstyr. Renoveringen har gjort det oprindelige forsøgsanlæg tidssvarende med hensyn til sikkerhed og betjening, idet alle kontakter og indstillingsknapper nu er samlet i et kontrol- og reguleringspanel, samt givet en betydeligt mindre variation i den relative luftfugtighed i målekammeret. Registrering af data sker ikke længere ved anvendelse af en Philips-skriver, men ved hjælp af et analog/digitalt kort i en PC. Herved undgås bl.a. manuel (fejl-) aflæsning af kurver fra Philips-skriver og manuel notering af vejeresultatet fra vejning af den enkelte kop. Der er skrevet et dataopsamlingsprogram, der også kan beregne transportkoefficienterne.

Måling af fugttransport i det overhygroskopiske område, f.eks. ved kapillarsugning, kan foregå i LfV's gamma-strålingsudstyr. LBM har i

den forløbne periode renoveret og genopstartet udstyret med hjælp fra konstruktøren, lic.techn. Anker F. Nielsen, Norges Byggeforskningsinstitut (NBI) i Trondheim. Dataene fra udstyret kan nu efterbehandles på PC. Kurt Kielsgaard Hansen har udført nogle opsugningsforsøg på forskellige typer mursten.

Måling af fugttransport ved ikke-isoterme forhold skal studeres på **cylinderformede prøvelegemer**, som opvarmes i midten med varmetråd. Temperaturfordelingen registreres løbende. Fugtfordelingen til en given tid studeres ved vejning og ved gammastråling på skiver af prøven. Transportkoefficienterne vurderes ved hjælp af edb-programmet med polære koordinater.

I forbindelse med et samarbejde om frostbestandighed hos cement, som LBM har etableret sammen med Aalborg Portland og Norges Byggeforskningsinstitut, har vi forsynet LBM's **mikrokalorimeter** med nyt dataopsamlingsudstyr baseret på PC (særskilt STVF bevilling til udstyr). Mikrokalorimeteret skal anvendes til de porestrukturstudier, som er nødvendige, når porestruktur og fugttransportparametre skal sammenkobles.

Praktisk fugtmekanik, fugtmåling og -dimensionering

Formålet med denne del af projektet er at få de teoretiske udviklinger i Laboratoriet koblet sammen med forholdene i praksis. Dette gøres ved at vurdere eksisterende fugtmålemetoders ydeevne, ved at etablere grundlaget for en dimensioneringsmetode og ved at sammenholde praktiske bygværkers fugtforhold med de teoretiske beregninger.

Eksisterende kommercielle fugtmålemetoders ydeevne, d.v.s. måleområde, nøjagtighed, reproducerbarhed og langtidsstabilitet vurderes, for at værdien af praktiske målinger kan vurderes. Vi har fra det tidligere STVF-projekt erfaring for de mange faldgruber, der ligger i brugen af disse apparater. Der skal undersøges indbygningsfølere, indstiksfølere og ikke-destruktive målere. Inden for de hygrometriske metoder arbejdes med kalibrering af relative fugtighedsmålere og måling af RF-profiler i materialer.

Ved fugtdimensionering forstås udformning af et bygværk og vurdering af dets evne til at modstå fugtbelastningerne (6). I projektet skal forudsætningerne for en sådan dimensioneringsmetode fremdrages, d.v.s. at der skal foretages en systematisk indsamling af kritiske fugttilstande med hensyn til holdbarhed, fugtkilderne skal beskrives statistisk (forlængelse af TRY-programmet), og sikkerhedsfaktorer skal defineres og vurderes.

I projektet skal gennemføres prøveberegninger med de opstillede forudsætninger på eksisterende, veldefinerede og gennemmålte bygninger fra praksis.

Afslutning

Renoveringen af LfV's gamma-strålingsudstyr og LBM's kopudstyr og mikrokalorimeter er tilendebragt. For de to sidstnævnte udstyrs vedkommende betyder den kombinerede dataregistrering og resultatbehandling på PC en lettere og mere sikker gennemførelse af forsøg.

Ligeledes søges den omtalte udvikling af fugttransportprogrammet gennemført i videst muligt omfang ved hjælp af PC. Transportkoefficienterne forventes bestemt ved i fugttransportprogrammet at justere disse, indtil forsøgsresultaterne er simuleret.

De i projektet udviklede regneprogrammer, transportstudier og praktisk fugtmekanik vil sætte LfV og LBM i stand til at vejlede studerende og praktikere på et mere sikkert grundlag.

Litteratur

- (1) Kurt Kielsgaard Hansen: Den hygrometriske metode. LBM, DTH, Teknisk Rapport 161/86, 1986.
- (2) Kurt Kielsgaard Hansen: SORPTION ISOTHERMS. A Catalogue. LBM, DTH, Teknisk Rapport 162/86, 1986.
- (3) Kurt Kielsgaard Hansen: SORPTIONSISOTERMER. Program- og brugerdokumentation for programmerne DATAIND, SORPF, DESORPF og UDTEGN fra disketten SORPTION. LBM, DTH, Teknisk Rapport 163/86, 1986.
- (4) Aage D. Herholdt et al.: Beton-Bogen, 2. udgave, Aalborg Portland, 1985.
- (5) Lauge Fuglsang Nielsen: Damage-Free Drying of Wood Poles. LBM, DTH, Technical Report 166/86, 1986.
- (6) Anders Nielsen: Byggeteknisk fugtmekanik. Byggeteknik, Teknologisk Institut, Tåstrup, 1984. ISBN 87-7511-396 1.

 Fuktsäkra byggnadsdelar. Dimensionering, provning och utvärdering

Tekn dr Ingemar Samuelson
 Statens provningsanstalt
 Byggnadsfysik
 Box 857
 S-501 15 BORÅS, Sverige

Bakgrund

Fukt är en väsentlig förutsättning för nedbrytning av de flesta material. Närvaro av fukt accelererar åldringsprocesser och minskar livslängden. De flesta byggnadsskador torde vara orsakade av fukt. I uppskattningar som har gjorts har man gissat på att fukt är den direkta skadeorsaken i tre fall av fyra. Detta är alarmerande särskilt som man vet att kunskapen om fukttransport och fuktberäkningar är låg hos praktiskt arbetande ingenjörer. Dessa har ofta stor kunskap om dimensionering av byggnadens statiska system men är osäkra på byggnadsfysikaliska beräkningar.

Det finns ett stort behov av byggnadsfysikaliskt kunnande, framför allt på fuktområdet hos projektörer och konsulter liksom hos arbetsplatsens folk. Kunskap om fuktförhållanden kring och i konstruktioner är en förutsättning för rätt bedömning av materialens åldring och konstruktionernas livslängd.

Fuktkällor

Vid dimensionering av en konstruktion med hänsyn till fuktförhållanden måste hänsyn tas till följande förutsättningar.

Nederbörd i form av regn eller snö träffar i första hand taket. Detta skall tåla vatten i stor mängd utan att läckage sker. Slagregn, dvs regn vid samtidig vindpåverkan, träffar även vertikala byggnadsdelar. En yttervägg skall dimensioneras för att klara denna belastning liksom fönster och dörrar. Utvändigt regn skall avbördas utan att skador uppstår.

Ytvatten kan rinna in mot huset och skada grunden om marklutningen är felaktig. För att hindra detta skall marken lutas från huset. Om detta inte är möjligt måste konstruktionen utformas så att den tål vattentryck.

Fukt i marken kan sugas upp mot grunden i kapillärsugande material. För att stoppa denna fuktvandring skall grunden förses med ett gruslager som hindrar kapillär uppsugning till själva grundkonstruktionen.

Det sker också diffusion från fuktig mark. Denna kan på sikt ge samma fukttillstånd i grunden som kapillärsugningen om inte särskilda åtgärder vidtas.

Läckage av vatten från installationer och rör kan lokalt ge stora fukt-påkänningar. En säker förläggning av rör och en säker placering av installationer är en nödvändighet för att undvika denna typ av skador.

Inbyggd fukt måste tillåtas torka ut. Den största mängden fukt bör torkas innan konstruktionen färdigställs, men det är oftast inte möjligt att torka ut all fukt på detta sätt. I sådana fall skall konstruktionen ha möjlighet att torka ut antingen på naturligt sätt eller med hjälp av ventilation i luftspalter.

Fukt i inneluften kan orsaka kondensbildning inne i konstruktionerna dels på grund av diffusion inifrån och ut, dels på grund av konvektion. Med konvektion menas fukttransport i strömmande luft. Detta kan ge skador om fuktig inneluft blåser ut genom konstruktionen och på sin väg träffar på kalla ytor där kondensation kan ske. Förutsättningen för att sådan konvektion skall ge skador är att fukttätheten i inneluften är högre än i uteluften.

Dimensionering av fuktsäkra konstruktioner

Följande principer för dimensionering av konstruktioner bör tillämpas framför allt i nybyggnad men också vid ombyggnad av byggnadsdelar.

Hindra fukten att nå byggdelen genom att använda:

- täta skikt
- vattenavledande skikt
- dränering
- kapillärbrytning
- temperaturhöjning.

Användningen av täta skikt skall anpassas efter förhållandena. Ett tätt skikt använt på rätt sätt kommer att ge en torrare konstruktion än en konstruktion helt utan tätskikt. Men en konstruktion med fel använt tätskikt kan bli avsevärt fuktigare. Skikten skall hindra oönskad fukttransport utan att ge onödiga risker. Ta följande exempel:

En yttervägg med tät insida brukar förses med vindtät utsida för att förhindra inblåsning av kall ventilationsluft. Samtidigt minskar möjligheten att torka ut instängd fukt i väggen.

Vatten skall ledas bort. Detta gäller naturligtvis i första hand på taket där man inte bör acceptera stående vatten under lång tid, men det gäller också för fönsterbleck, vattenavledande plåt över dörrar och fönster och vid anslutningen mellan byggdelar.

Vatten i marken skall inte tillåtas bilda vattentryck mot grundkonstruktionen utan dräneras bort. Sådant dräneringssystem kan bestå av en kombination av grusmaterial och dräneringsslang.

Ett kapillärbrytande grusskikt i marken för att hindra uppsugning av fukt från grundvattnen till konstruktionen kan vara nödvändigt för att hålla konstruktionen varaktigt torr. Det är också som regel lämpligt att hindra kapillär transport mellan fuktig betong och trä. Där bör man alltid lägga en kapillärbrytande papp.

Genom att höja temperaturen i en konstruktion hindrar man ångtransporten från fuktiga delar. En sådan temperaturhöjning kan ske antingen genom aktiv uppvärmning eller genom tilläggsisolering. Som exempel kan nämnas grundkonstruktionen platta på mark där underliggande värmeisolering ger en temperaturskillnad mellan betongplatta och mark som oftast är tillräcklig för att betongplattan på sikt kommer att vara acceptabelt torr.

Värme

En byggnadsdel kan skyddas mot skadlig fuktpåverkan om den får högre temperatur. Detta kan ske aktivt med hjälp av en värmekabel eller varma rör. Så brukar man göra utefter ytterväggen i platta på mark där syften värms för att skador skall undvikas. Det kan också ske genom utvändig isolering. Om man arrangerar värmemotstånden i konstruktionen så att det största värmemotståndet ligger utanför den byggnadsdel som är känslig för fukt kommer konstruktionen att hamna närmare inneklimatet, vilket normalt innebär att skador inte kan uppstå. Detta förlänger livslängden hos konstruktionen.

Genom att tilläggsisolera på rätt sätt kan man både förbättra konstruktionen ur energibesparings- och beständighetssynpunkt. Ett utvändigt tilläggsisolerat tak är till exempel avsevärt bättre även ur fuktsynpunkt än ett tak som tilläggsisoleras på sin insida.

Uppvärmningen i husen och uppvärmningen av byggnadsdelar bör vara jämn och kontinuerlig. Intermittent uppvärmning innebär risk för skador. Eftersom en sådan konstruktion ibland har temperaturgradient åt ena och ibland

åt andra hållet kan fukt vandra upp från till exempel varm och fuktig mark. Om en källare har golvvärme bör denna således stå på även under sommaren för att inte skadlig kondensation skall uppstå i golvet med risk för korrosion och andra nedbrytningar.

Ventilera

I många fall vill man säkerställa ett torrt klimat i konstruktionerna med hjälp av ventilering. Genom att låta luft föra bort fukt kan man hålla konstruktioner varaktigt torra och även om byggfukt kommer in i oönskade mängder kan denna torka ut utan att skador hinner uppstå. Ventilationen är ofta en extra säkerhet mot skador i konstruktionen.

Normalt försöker man utforma ventilationen så att luften rör sig med hjälp av vindtryck eller termisk drivkraft, men i svårventilerade konstruktioner där ventilationen är nödvändig till exempel i flacka tak eller kryprum kan man vara tvungen att använda fläktar. Dessa bör i så fall utformas på sådant sätt att skador på grund av konvektion undviks.

En vanlig skada i tak är konvektion genom otätheter i bjälklaget. En ventilation av vinden bör i ett sådant fall utformas med övertryck i taket. Fläktarna skall blåsa in luft i ventilationsspalten för att minska eller helt eliminera risken för skadlig konvektion.

I ventilerade spalter bör luften alltid gå från kallt till varmt. En ventilerad spalt i ett golv bör anordnas så att luften tas in utefter ytterväggen och dras mot centrala delar i huset, varifrån den sedan evakueras. Om luften går så kommer den på sin väg att kunna ta upp mer och mer fukt. Går luften andra vägen löper man risken att få luften mättad och så småningom avkyld med risk för kondens som följd.

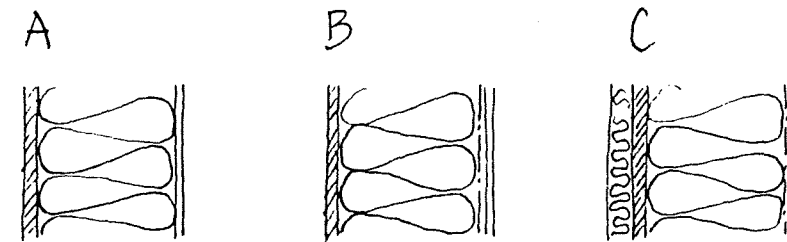
Provning och utvärdering

Nya konstruktioner skall provas och utvärderas med avseende på den fukttekniska funktionen. För det första är beräkningsmetoder och utveckling av beräkningsmetoder ett viktigt hjälpmedel. Vid sådana beräkningar kan man använda standardklimat på ömse sidor för att få reda på normaltillståndet. Man kan också använda extremvärden för såväl inne- som uteklimat för att värdera konstruktioner mot varandra. I figur 1 visas ett exempel på en beräkning av fukttinnehållet i en utvändig träpanel.

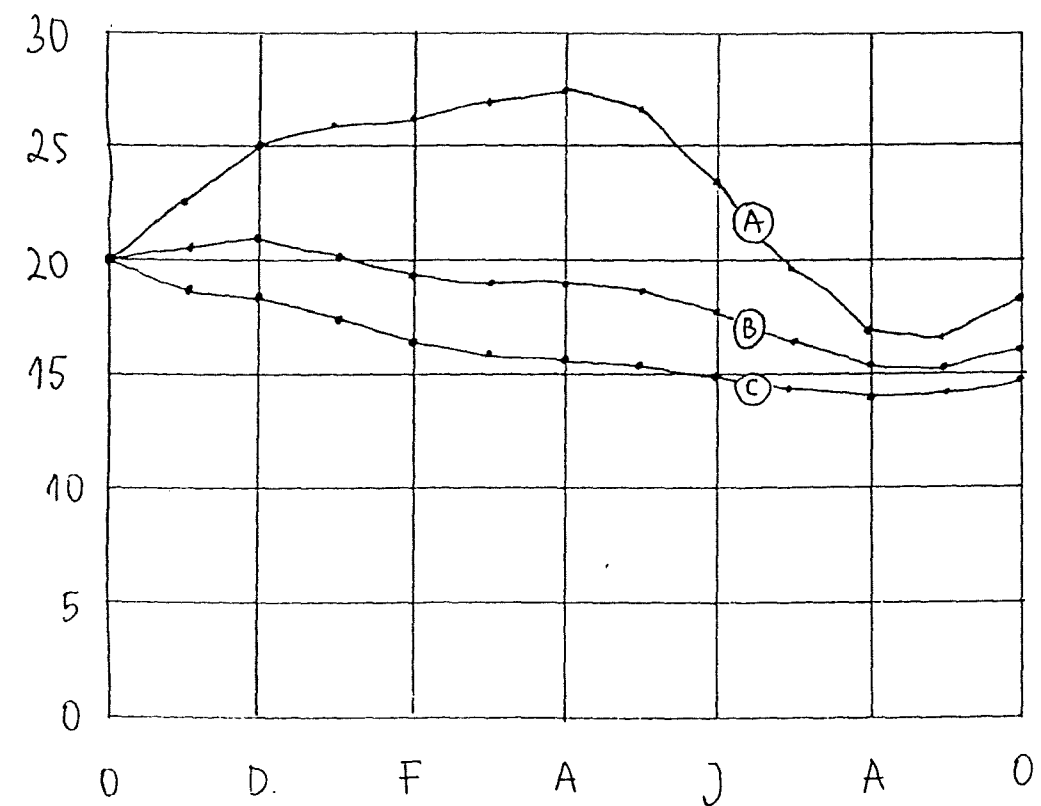
Vid laboratorieprovning av byggnadsdelar kan man utsätta dem för antingen standardklimat på båda sidor eller extrema klimat. Här kan man studera fuktvariationer i verkliga konstruktioner.

I ett provhus undersöker man konstruktionen i naturliga uteklimat. Inneklimatet kan varieras på önskat sätt med antingen standardklimat eller mera extrema värden. I figur 2 visas ett exempel på uppmätta fuktförhållanden i en ytterväggssyll i ett experimenthus. Uppmätta värden jämförs med beräknade. Exemplet är hämtat från Behzad Golrang: Fukt i ytterväggssyallar, Institutionen för byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund. Rapport TVBH-3014, Lund 1987.

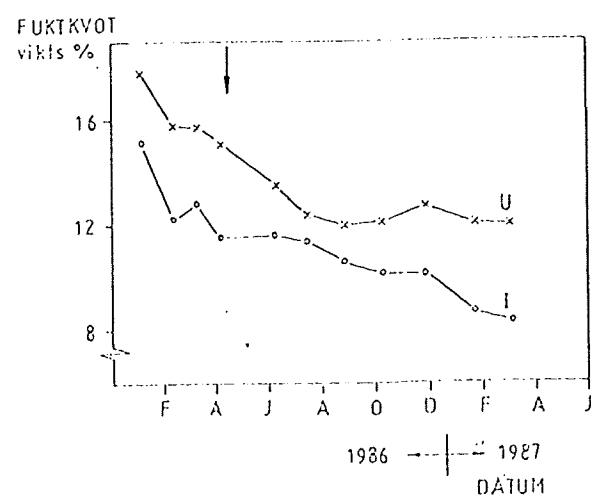
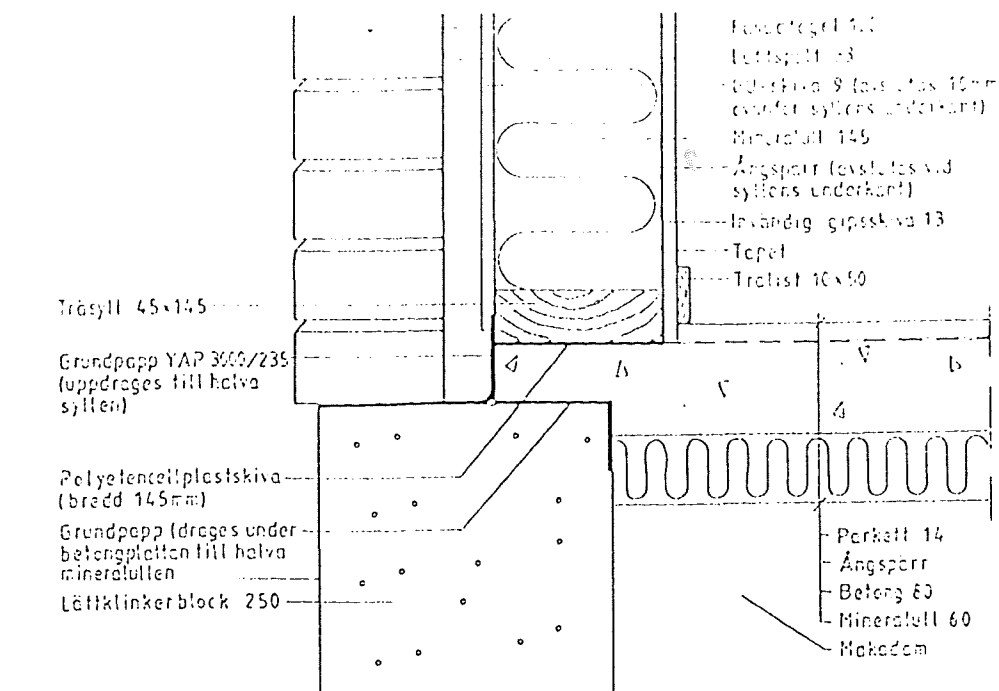
Vid fullskaleprov, det vill säga studier av utförda objekt, är man hänvisad till de förhållanden som råder ute och inne.



FUKTKVOT %

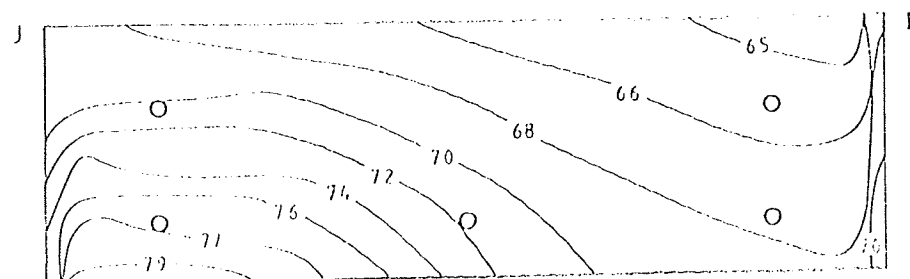


Figur 1. Beräknad fuktkvot i utvändig träpanel under en vinter och sommar. Fall A visar fuktvariationen om inneluftens fukt tillåts diffundera ut i väggen. Inneluften antas vara normalfuktig. Fall B visar att plastfolien hindrar fukten inifrån att ta sig ut. Fall C visar vad som händer om träet skyddas på sin utsida med en vattenavvisande och värmeisolerande beklädnad. Observera att beräkningen inte tar hänsyn till effekten av slagregn.



BERÄKNINGSRESULTAT

RF i tvärsnitt av syll



Figur 2. Uppmätt fuktkvot i ytterväggssyllen i ett experimenthus under ett års tid. U anger syllens utsida och I dess insida. Nederst visas beräknad fuktfördelning i syllan under sommaren.

Byggfukt och beständighet

Docent Tore Hansson, TräteknikCentrum
 Box 5609, S-114 86 Stockholm

Byggefukt och beständighet

Beständigheten hos en träkonstruktion under bruksstadiet avgörs av hur lång tid olika fukt- och temperaturnivåer samtidigt uppträder. Målet är att beständigheten skall kunna förutses genom beräkningar och/eller mätningar. Sådana förutsägelser avser vanligen bruksfallet, d v s ett fortgående tillstånd som varierar med årstiden.

För konstruktionsdelar som är inbyggda är variationerna normalt långsamma, medan de kan vara mycket snabba för byggnadsdelar som är exponerade för exempelvis nederbörd, Hansson (1).

Höga fukttillstånd kommer att inträffa vid olika tidpunkter på året. För en kryppgrund är fukttillståndet störst i augusti medan för en vind är det störst i februari-mars. För kryppgrunden inträffar det höga fukttillståndet samtidigt som temperaturen är tillräckligt hög för att mikrobiella angrepp skall kunna utvecklas. För vinden däremot är temperaturen alltför låg för angrepp, i varje fall i början av perioden. För att en vind skall få god beständighet fordras därför att den under vintern ackumulerade fukten snabbt ventileras bort under våren innan temperaturen blir tillräckligt hög.

För syllarna under ytterväggar är förhållandena annorlunda. Mätningar på syllar i försökshus, Golrang (3), visar att temperaturen varierar sinusformigt under året och att nivån under långa tider ligger i det för mikrobiellt angrepp gynnsamma området. Fukttillståndet varierar långsamt och med liten amplitud, vilket visar att påverkningarna är små. En syll som en gång blivit torr har stor möjlighet att förbli torr och därmed få god beständighet.

Syllan är samtidigt den trädel som först byggs in i stammen. Den blir då också den trädel i stammen som kommer att vara längst exponerad för nederbörd, d v s syllan har störst risk att bli fuktig under byggtiden, Hansson (2).

Mätningar visade att syllen har svag uttorkningsförmåga. Detta sammantaget med riskerna för den höga byggfuktnivån gör att syllen kan få svårt att nå det i beräkningarna av beständighet framtagna bruksstadiet. För syllens beständighet är alltså byggfukten, upptag och uttorkning, avgörande.

Flera sätt har utvecklats att byggnadstekniskt öka beständigheten, Golrang (3):

- Palla upp syllen från betongplattan = minska upptaget av vatten från vattensamlingar på plattan under byggtiden.
- Värmeisolera syllen på utsidan = öka temperaturgradienten och därmed snabba på uttorkningen.
- Skaffa en köldbrygga under syllen = ge syllen en temperaturgradient i den tunnaste riktningen och därmed skynda på uttorkningen.
- Ventilera syllen på undersidan = tvåsidig uttorkning ger snabbare uttorkning.

Alla dessa åtgärder kan vidtas oberoende av valet av trämaterial och produktionssätt. Syllen borde alltid göras av tryckimpregnerat virke. Många har dock negativ erfarenhet av beständigheten hos en sådan syll, till följd av att syllen ibland levererats med för högt fukttinnehåll och sedan byggts in utan att fukten har fått torka ut och utan att man kontrollerat fukttinnehållet före inbyggnad. En impregnerad syll som är TORR vid inbyggnad har naturligtvis bäst beständighet.

Enligt tidigare har en syll, som är torr när bruksstadiet inleds och är rätt utförd, goda möjligheter att förbli torr. Det gäller alltså att kontrollera syllens fuktkvot vid inbyggnad. En fuktkvotsmätare bör därför vara ett naturligt hjälpmedel på ett trähusbygge. Med detta instrument kan arbetsledningen enkelt mäta fuktkvoten före inbyggnad och om denna är för hög, över 18 %, förlänga torktiden. Tyvärr har detta sällan skett tidigare, men en förbättring är nu på väg. Den ofta pressade byggtiden leder vanligen till att torktiden förkortas, torktiden är det enda moment som man kan spela med. Många trähusbyggen idag har en torktid på 30 dagar eller mindre när kravet kan vara minst 60 dagar för att syllen skall bli torr om den fått långvarig vattenkontakt under stomstadiet, kanske legat i blötsnö.

Byggtorkningen kan ofta startas först efter det att väggarna isolerats, fönstrena monterats och ångspärren satts upp. I sådana fall kommer syllen, som ligger utanför ångspärren, inte att nås av avfuktningsåtgärderna. Det slutar rinna från avfuktningsaggregatet, vilket av byggaren tolkas som att byggfukten försvunnit. Om han då mätte fukten i syllen skulle han finna

att syllen inte torkat särskilt mycket och att den har långt kvar till det beräknade bruksstadiet.

Behovet av torkning minskar om virket från början är så torrt att tillskottet av fukt under byggtiden inte kan göra att den resulterande fuktkvoten blir onormalt hög. Detta skulle kunna vara en användning av super-torrt virke, en produkt som normalt inte kan användas med hänsyn till sprickor och skevheter. Låg fuktkvot kan åstadkommas genom särskilt ugnstorkning eller genom lufttorkning på våren i solen, under tak.

Syll av god naturlig beständighet skulle kunna erhållas om den gjordes i 100 % kärnvirke av furu. Ren kärnved har begränsad användning på grund av de märgsprickor som nästan alltid uppträder. I en syll är dessa av begränsad betydelse.

Det finns också en möjlighet att utveckla en särskild träsyll som har begränsad vattenupptagande förmåga. En sådan syll skulle kunna utsättas för ganska långvarig nederbörd under byggtiden men likaväl vara hyggligt torr när bruksstadiet börjar. Den vattenavvisande förmågan kan åstadkommas genom täckmålning, lasering eller inoljning. Ett första steg i den riktningen är att måla alla kapändar. Det är genom dessa som vatten lättast tas upp. En lämplig färg kan vara en starkt spädd alkyd, som då får god förmåga att penetrera in i veden.

Produkten syll kan utvecklas ytterligare om alla omslutande ytor ges en vattenavvisande behandling. Behandlingen måste dock vara tillräckligt genomsläpplig för vattenånga, så att den fukt som trots allt tränger in kan torka ut tillräckligt snabbt. En viktig punkt är upptag/avgivning på ställen där behandlingen skadas, exempelvis av hantering, kapning, fastsättning o s v. Hansson, Hägglund (4).

Metoden med vattenavvisande behandling är inte ny, limträ och formbalkar levereras redan idag på detta sätt. Sådan behandling kan tänkas på även andra träprodukter än syllar. I en framtid får vi kanske se en trästomme av virke i all världens olika kulörer.

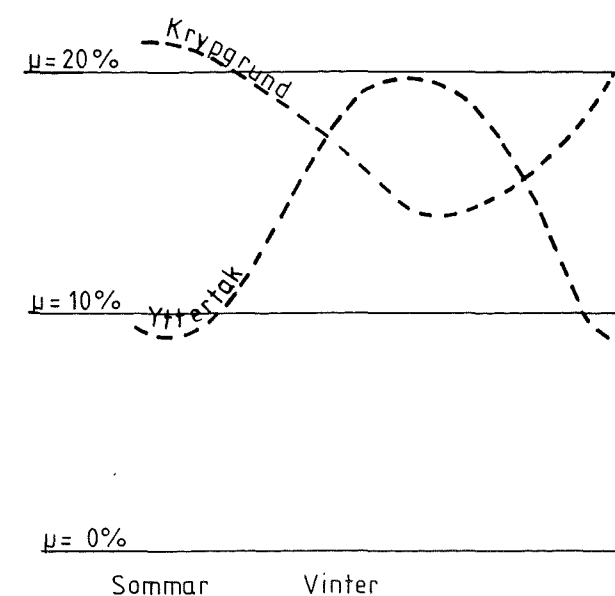
Litteratur

(1) Hansson, T. 1987. Fuktkvot i inbyggt virke. TräteknikCentrum Rapport I 8706038.

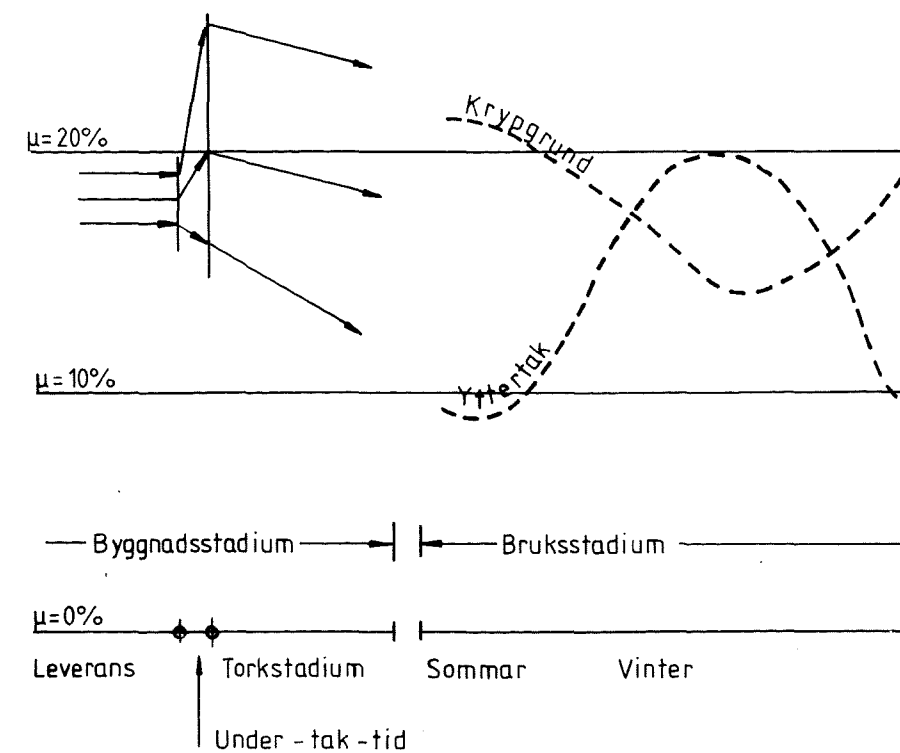
(2) Hansson, T. 1986. Att bygga torrt. TräteknikCentrum Rapport I 8604021.

(3) Golrang, B. 1987. Ytterväggssyllar, resultat av mätningar. Tekniska Högskolan i Lund. Husbyggnadsteknik. TVBH 3014.

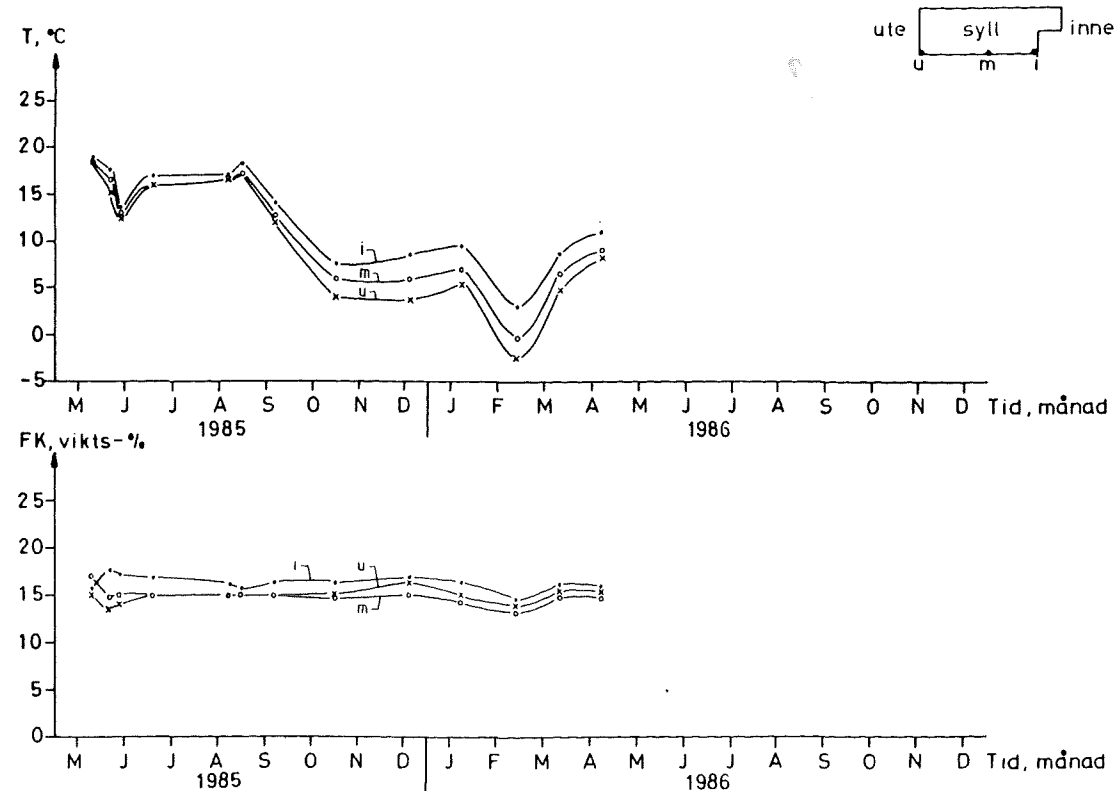
(4) Hansson, T. och Hägglund, G. 1988. Träsyllar. TräteknikCentrum Rapport, under publicering.



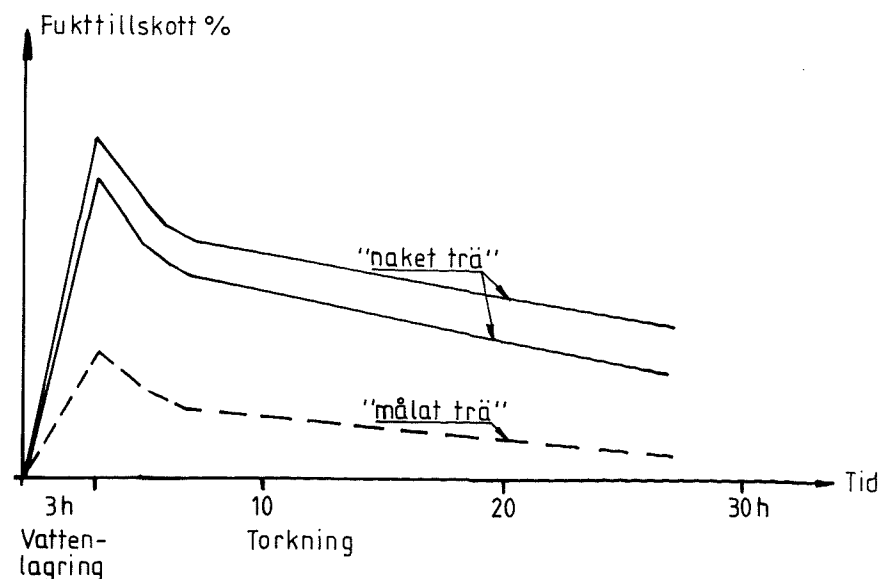
Figur 1. Fuktkvoten i olika byggnadsdelar varierar under bruksstadiet med årstiden. En krypgrund är fuktigast på hösten och en vind tidigt på våren. Risk för mikrobiellt angrepp uppkommer om temperaturen samtidigt är tillräckligt hög.



Figur 2. Bruksstadiet föregås av ett byggstadium. Fuktförhållandena vid leverans, under "under-tak-tiden" och under torkstadiet kan vara av stor betydelse för konstruktionens framtida beständighet.



Figur 3. Temperatur och fuktkvot i olika punkter på en syll. Golrang (3).



Figur 4. Fuktkvot i "naket" och "målat" trä vid uppfuktning och efterföljande uttorkning. Hansson och Hägglund (4).

 Localization of Moisture and damages in Facades with IR-camera

Harri Kaasinen, M. Sc (Eng.) Technical Research Centre of Finland, Espoo Finland

Summary

Infrared thermography is widely used for localization of air leakages, cold bridges and other thermal failures in the building envelope. In this article several new applications are proposed. The results of some investigations carried out in laboratory and field are presented. The problems in outdoor investigation are also discussed.

1. Background

Infrared radiation is part of the electromagnetic wave spectrum. It is also known that every object with a temperature higher than absolute zero kelvin ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), emits, reflects and absorbs electromagnetic radiation at its surface. The amount and wavelength of the emitted radiation are dependent on the object's surface temperature and its ability to emit energy, called emissivity.

Infrared camera is a device which responds to radiation emitted and reflected from objects surface and converts this radiation into black and white or colour image. Variations in image brightness or colours indicate varying levels of radiation. Most infrared cameras are sensitive to wavelengths of $2 - 5,6\text{ }\mu\text{m}$ or $8 - 12\text{ }\mu\text{m}$. Wavelegths of $0,38 - 0,78\text{ }\mu\text{m}$ are detectable by the naked eye, which means that the human eye cannot see the light to which the infrared camera is sensitive and vice versa.

2. Applications of IR-thermography for condition assessment in buildings

2.1 Current applications

In the building sector infrared thermography has in recent years become an important method for detecting air leakages, cold bridges and other thermal failures in the building envelope. Another popular application of IR-thermography has been to use it as a nondestructive method to detect wet insulation in flat roofs.

There are several possible new applications of infrared thermography proposed in many articles. Principally the IR-camera could be used for investigation of any kind of effects in which temperature differences exist or occur.

2.2 Delamination of layers

Delaminated areas in the surface of the structure emit infrared radiation different from that of sound areas, because heat transfer from or to the inner structure is interrupted. As an example some asphalt autobahn decks and concrete bridge decks have been investigated to localize possible delaminations [1], [2].

As an other example, thermography has been used to assess the condition of walls bearing ancient paintings. Paintings were heated prior to the test and delaminations were detected with an IR-camera.

2.3 Moisture penetration

Moist surfaces demand heat for drying and therefore show a lower surface temperature than dry areas. This phenomenon is emphasized if a radiator is used (fig. 1). In this case radiator and camera are positioned in such a manner that radiation from the radiator is reflected on the surface of the body to be investigated and then arrives at the camera. If there are moist areas at the surface, they absorb more infrared radiation than dry ones. Therefore the camera senses a lower level of reflected radiation. This method is called

infrared reflectography and it has been used to detect moisture on masonry [1], [3].

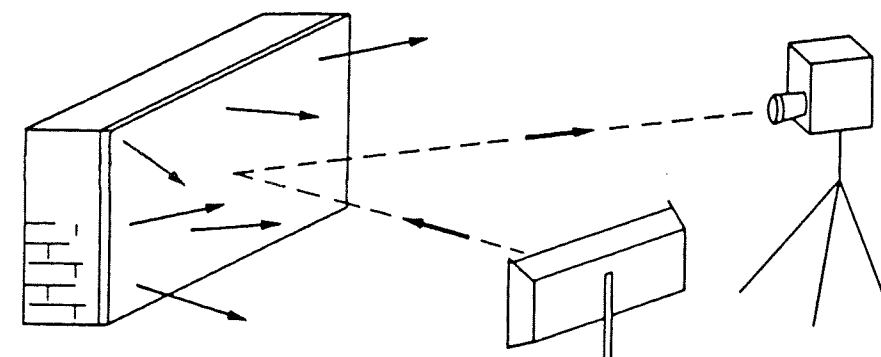


Figure 1. Infrared reflectography

3. Tests

3.1 Laboratory tests

3.1.1 Threshold moisture content

The lowest moisture contents of some building materials that IR-camera can detect were determined. Thermal images of specimens with different moisture contents were taken. Because moist specimen emits less radiation than a dry one the difference can be detected with the IR-camera. The lowest difference which can be measured is called threshold moisture content.

Specimens made of concrete, cellular concrete, timber (with and without painting) and brick were tested. The threshold moisture values of all these materials were within the hygroscopic moisture range of the material. In this case moisture content is the mean moisture content of the whole specimen. There is a great difference in moisture contents between surface and the centre of the specimen. At the same time the effect of IR-radiators were tested. In general the radiator emphasized differences between moist and dry surfaces, but it may be too complicated to use it in field tests.

3.1.2 Test walls of brickwork

Thermal images of some plastered test walls were taken in order to find delaminations between plaster and bricks. Specimens were kept in cold conditions at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperature before taking the infrared images. First warm water was sprayed on the surface of the specimen to emphasize temperature differences. Later the same effect was created with the aid of warm air fan. Both methods worked well and delaminated areas are visible in figures 2 and 3.

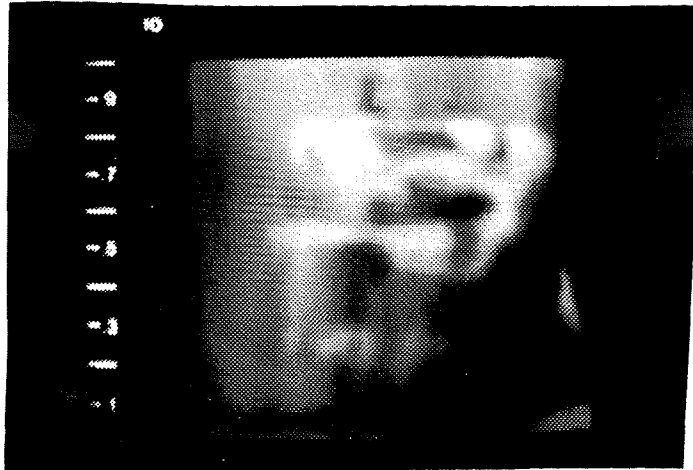


Figure 2. Delamination of plaster, sprayed warm water.

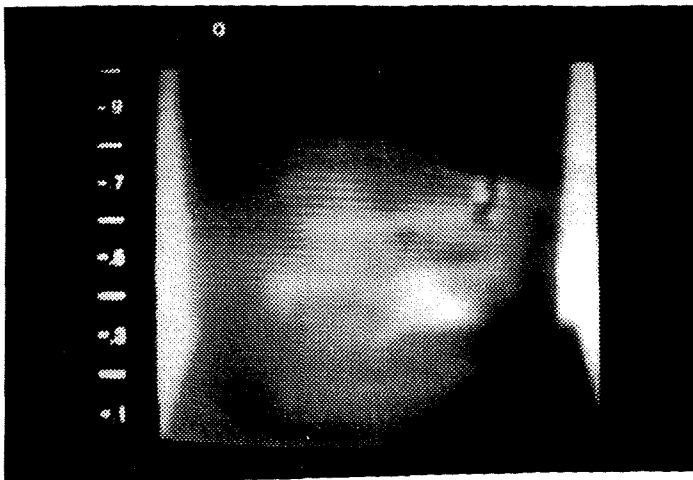


Figure 3. Delamination of plaster, warm air fan.

Another interesting case was to study the rising moisture in masonry wall. A test wall was constructed of old bricks and laid in a water tank. Thermal images were taken before (fig. 4) and after (fig. 5) injection. Moisture penetration limits and the effect of injection are clearly seen in

figures 4 and 5. In figure 5 numbers from 1 to 4 indicate places where moisture contents were determined.

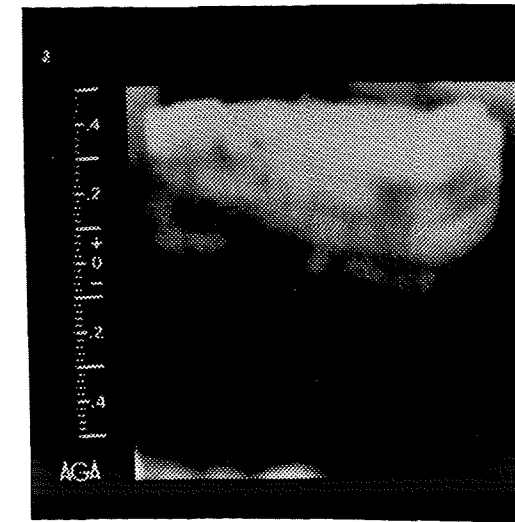


Figure 4. Moisture penetration before injection.

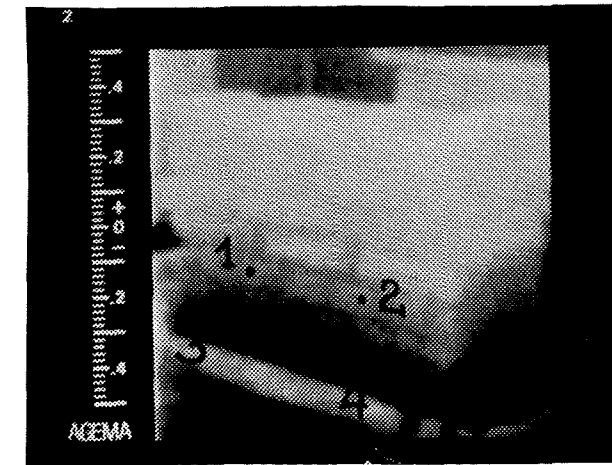


Figure 5. Moisture penetration after injection. Measured moisture contents: 1) 0,7 %, 2) 0,5 %, 3) 14,4 %, 4) 16,4 %

3.2 Field tests

There are several restrictions to and disturbances in outdoor infrared testing. The temperature of air and structure are changing continuously as sun radiation changes in direction and intensity, shadows must be taken into consideration etc.. On the other hand if we, e.g., need to

localize delaminations in facades by means of IR-camera there must be some kind of energy source which creates temperature differentials on the surface. Great care must be taken when interpreting thermal images, because thermal differentials could be caused by variations in sun radiation or reflections and not by any delamination.

As an example the facades of a supermarket were investigated. In this case, the problem was that some of the ceramic tiles had come loose and dropped on the street. Thermal images of facades were taken in order to localize possible loose tiles. The investigation was conducted in spring when the nights were cold but during the day the facades were warmed by the sun. Some possible loose tiles were found (fig. 6). These areas were high up in the facade and therefore they could not be checked in an other way.

In an other example IR-camera were used to localize moisture on the surface of the masonry exterior wall. Samples were taken accordingly and moisture contents measured after that and excess moisture were found.

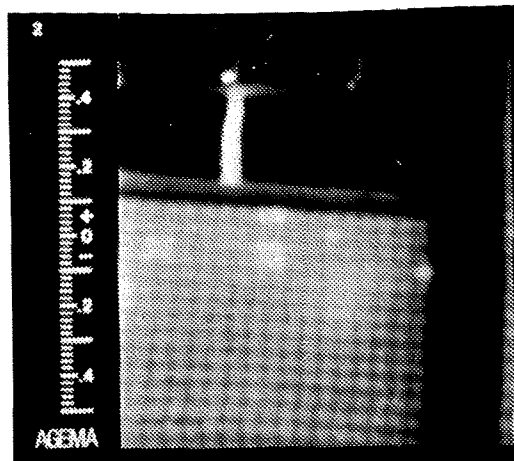


Figure 6. Loose ceramic tiles in facade.

4. Conclusions

It can be stated that there are many potential applications for IR-technics in localization of moisture as well as other failures in facades. Primarily the IR-camera can be used for investigation of any kinds of effects where temperature differences exist or occur. However, due to climatic

conditions there are several restrictions to outdoor investigation. Still more research is therefore needed.

References

1. Schickert G., Infrared Thermography as a Possible Tool to Detect Damaged Areas in Buildings. Durability of Building Materials, 3/1985, pp. 87 - 99.
2. Holt F., B., Manning D., G., Infrared Thermography for the Detection of Delaminations in Concrete Bridge Decks. IRIE 1978 AGA Corporation. pp. 61 - 65.
3. Böttcher B., richter H., Ein Beitrag zum Nachweis von Feuchtigkeit in Mauerwerk mit Hilfe einer Infrarotkamera. Materialprüfung 24, Januar 1982. pp. 5 - 9.

VEDLIGEHOOLD

Tilstandsvurdering - systematik og metoder
Erik Brandt

Metoder for fältbesiktninger i byggnader
L. Tobin

Tilstandsvurdering av utvändiga ytor
N. Tolstoy

Statistiske vurderinger i forbindelse med bestandighed
A.F. Nielsen

Tilstandsvurdering - systematik og metoder

Civilingeniør Erik Brandt
Statens Byggeforskningsinstitut

Hvorfor foretages bygningsundersøgelser?

Undersøgelse in situ af byggematerialer, byggekomponenter eller hele bygninger er en velkendt foreteelse fx i forbindelse med vurdering af nye materialers og konstruktioners virkemåde eller ved skadesundersøgelser.

Bygningsundersøgelser i form af tilstandsregistreringer med efterfølgende vurderinger må forudses at blive langt mere almindelige i de kommende år. Dette skyldes bl.a., at kravene til bygningernes ydeevne igennem de senere år er blevet skærpet - de skal kunne mere - samtidig med, at nye materialer og konstruktioner har gjort bygningernes måde at fungere på mere uoverskuelig. Dette fører naturligt til et ønske om kvalitetssikring, dvs. et ønske om at kunne styre og kontrollere kvaliteten af bygningen.

Formålet med bygningsundersøgelser er normalt at undersøge, om bygningen og dens bestanddele opfylder de forudsatte funktioner. Hvis dette er tilfældet, kan der endvidere være et ønske om en vurdering af restlevetiden - hvor længe er der til reparation eller udskiftning.

Hvis funktionerne ikke mere er opfyldt, skal vurderingen give svar på:

- hvad er grunden, fx skade eller almindeligt slid
- hvor udbredt er problemet, fx en enkelt skade eller sporadiske svigt
- hvad er den eventuelle skadesårsag.

Ved et eftersyn gennemgås bygningen eller dele af den med særlig opmærksomhed mod de punkter, der erfaringsmæssigt kan være problemfyldte. Gennemgangen kan være mere eller mindre tilbunds gående afhængig af opgavens art.

Ved mere rutineprægede undersøgelser, fx i forbindelse med vedligeholdelsesarbejder, kan der opnås gode resultater med en meget beskedent indsats. Normalt kan eftersyn finde sted helt uden, eller med meget få hjælpemidler, og det kan foretages af personer, der blot har fået en beskedent oplæring.

Ved mere tilbundsgående undersøgelser, fx i forbindelse med skader, vil der ofte blive anvendt en eller anden form for måleudstyr.

Generelt kræver brug af måleudstyr medvirken af en øvet tekniker, idet kun få typer udstyr vil kunne anvendes uden særlige forudsætninger. Teknikeren bør have kendskab til de forhold, der ønskes undersøgt, og skal på baggrund af en teknisk og økonomisk vurdering kunne vælge den bedst egnede metode. Ekspertise i brugen af måleudstyr og tolkning af resultater vil ligeledes være en forudsætning, fx for at foreslå vedligehold, eller for at forudsige den fremtidige tilstand af objektet.

Hvad skal indgå i en bygningsundersøgelse?

For at sikre det bedste udbytte af en bygningsundersøgelse må arbejdsgangen tilrettelægges, så det sikres, at relevante aspekter belyses.

Elementerne i en bygningsundersøgelse er vist herunder:

1. BESLUTNING
2. BEHOVSANALYSE
3. PLANLÆGNING
4. BESIGTIGELSE/MÅLING = TILSTANDSREGISTRERING
5. VURDERING = TILSTANDSVURDERING
6. VEDLIGEHOLD/REPARATION

Den foreslåede opdeling er den samme, som er angivet i [2]. Nedenfor uddybes punkterne 2-5.

Behovsanalyse

Behovsanalyse er vigtig for at undgå risici i form af, at ikke alle relevante egenskaber undersøges, eller modsat at der undersøges flere egenskaber, end der er behov for.

Behovsanalysen skal klarlægge:

- formålet med undersøgelsen, er det fx rutineundersøgelse i forbindelse med vedligehold eller skadesopklaring.
- omfanget af undersøgelsen - hvor meget skal undersøges, og hvilket niveau ønskes der anvendt.
- hvor skal undersøgelsen foretages.
- hvad er det økonomiske omfang. Er der fx en økonomisk begrænsning for omkostningerne, eller fastlægges undersøgelsesniveauet på baggrund af sagens betydning.

Planlægning

På basis af behovsanalysen kan der foretages en mere detaljeret planlægning af undersøgelsen.

Der vil uanset undersøgelsens formål være behov for informationer om den bygning, der skal undersøges. Disse bygningsdata kan fx være oplysninger om:

- alder, brug
- orientering af bygningen på grund
- forvalter, servicefirmaer, incl. adresser og telefonnumre
- bygningstegninger (som bygget)
- om- og tilbygninger
- beskrivelser.

Så vidt muligt fastlægges på forhånd hvad der skal undersøges, og hvilke hjælpemidler der evt. kan blive nødvendige. Ved rutineundersøgelser lægges hovedvægten som regel på kontrol af de egenskaber og detaljer, der erfaringsmæssigt har vist sig at kunne give problemer.

For at lette registreringen og gøre den så systematisk som mulig vil det være en fordel i forvejen at udarbejde registreringsskemaer. Registreringsskemaerne kan udformes, så de udover bygningsdata indeholder en registreringsdel, der afhænger af den komponent eller bygningsdel, der ønskes undersøgt. I sin simpleste form kan registreringsdelen blot være en checkliste med plads afsat til notater, men den kan udbygges, så der fx bliver mulighed for oplysninger om udbredelse af problemer, henvisning til fotos etc.

Ved større undersøgelser kan det være formålstjenligt at anvende stikprøveundersøgelser. Man skal dog være opmærksom på, at anvendelse af stikprøver medfører introduktion af en usikkerhed i vurderingen. Usikkerhedens størrelse afhænger af:

- størrelsen af stikprøven. Usikkerheden falder med kvadratroden af stikprøvestørrelsen.
- udvælgelsen af stikprøver. Stikprøven skal være repræsentativ for de undersøgte objekter.
- osv.

Besigtigelse/måling

Tilstandsundersøgelser kan udføres enten ved en besigtigelse, dvs. rent visuelt, eller ved hjælp af mere eller mindre objektive målinger. En visuel undersøgelse er ofte tilfredsstillende, forudsat at den er udført af vel-

kvalificeret og trænet personale. Hovdparten af den daglige overvågning og de generelle eftersyn kan foretages på denne måde.

I modsætning hertil vil særundersøgelser, fx i forbindelse med skader, ofte kræve en eller anden for målinger.

I [2] er det foreslået at opdele undersøgelsesniveauerne således:

- Niveau 1: Besigtigelse

Eftersyn foretages visuelt uden instrumenter.

- Niveau 2: Simple målinger

På udvalgte områder anvendes simple håndinstrumenter, fx træfugtigheds-målere og covermetre.

- Niveau 3: Ikke-destruktive målinger

Der anvendes mere dybtgående undersøgelsesmetoder af ikke-destruktiv karakter, fx termovision.

- Niveau 4: Destruktive målinger:

Der anvendes destruktivt måleudstyr.

Med hensyn til valg af niveau skal det bemærkes, at undersøgelser normalt bør starte på niveau 1 - en besigtigelse uden anvendelse af instrumenter. Beslutning om dyberegående undersøgelser baseres på resultatet af besigtigelsen.

Der vil være glidende overgange fra niveau til niveau. Fx vil selv en simpel træfugtmåler perforere overfladen på den komponent, der undersøges, og metoden vil derfor i en vis forstand være destruktiv.

Omkostningerne til undersøgelserne stiger med undersøgelsesniveauet. Som en tommelfingerregel er en faktor på mere end 10 ikke urealistisk for forskellen mellem priser på niveauerne 1 og 4.

Ved skadesundersøgelser kan der ofte være flere mulige skadesårsager, og derfor kan det være svært på forhånd at fastlægge hvilke metoder eller instrumenter, der skal bruges. I sådanne tilfælde er det særlig nødvendigt, at der på forhånd indhentes så mange oplysninger, der skønnes nødvendige, for at belyse problemet tilstrækkeligt. Sådanne oplysninger kan fx være:

- hvordan viste skaden sig?
- hvordan har den udviklet sig?
- hvor skete skaden?
- hvornår skete skaden?
- etc.

Til hjælp ved registreringen er det ofte fordelagtigt at anvende skalaer til klassifikation af tilstandene.

I [2] anvendes fx følgende fire kategorier:

0 - den intakte bygningsdel

1 - fungerende bygningsdel med nogle defekter

2 - dårligt fungerende bygningsdel; vedligehold eller reparation snarest

3 - ikke fungerende; omgående reparation.

I forbindelse med publikationen "Et rammesystem for tilstandsbeskrivelser" [3] er udgivet eftersynsvejledninger i form af billedkataloger for teglfacader, flade tage, trævinduer og beton, hvori tilstandskategorierne er vist på fotos.

Et andet eksempel på en tilstandsvurderingsskala er følgende, som har været anvendt ved en undersøgelse foretaget for De Danske Statsbaner.

TILSTANDSVURDERINGSSKALA

EKSEMPEL: FACADER

GOD (ingen mangler)

Evt. let tilsmudsning.
Vedligehold ikke påkrævet de første 5 år.

Ydervægge og puds OK. Vinduer og døre nymalede. Fuger OK. Ingen revner i facaden. Fundamentet OK.

Tilsmudsning.
Overfladebehandling skal udføres om 4-8 år.

Overflader på døre og vinduer tilsmudset, men ellers OK. Mursten lidt skrammet.

ACCEPTABEL (mindre fejl og mangler)

Vedligehold skal udføres om 2-4 år.

Små pudsrevner i facade, enkelte fuger utætte. Vinduer og døre lidt træg gang.

Risiko for følgeskader.
Vedligehold skal udføres om 1-2 år.

Kalfatringsfuge lidt revnet, maling på fundamenter skaller. Vindueskit mangler enkelte steder.

UACCEPTABEL (større fejl og mangler)

Risiko for at fejl og mangler breder sig.
Vedligehold skal udføres om 0-1 år.

Døre og vinduer træg gang eller utætte. Ydervægge og fundament har større revner.

Risiko for stormskade, vandskade, brand, nedstyrtning, indbrud.
Vedligehold øjeblikkelig.

Skridsikker belægning på trappe væk. Frostsprængninger i fundament. Ødelagte ruder. Dør udsat for råd flere steder.

Vurdering

På baggrund af de registrerede forhold foretages en vurdering af den undersøgte bygning. Ved vurderingen skal der bl.a. tages stilling til:

- skal der udføres vedligeholdsarbejder
- skal der udføres forebyggende foranstaltninger for at undgå gentagelser af skader
- skal der foretages yderligere undersøgelser
- hvor lang kan restlevetiden skønnes at være
- hvornår skal ny undersøgelse foretages.

Hvilke hjælpemidler benyttes til tilstandsvurdering?

Selv ved forholdsvis simple tilstandsundersøgelser vil man ofte gøre brug af forskellige former for hjælpemidler. Nedenfor er angivet en række af disse hjælpemidler, som der kan blive behov for

- kniv
- skruetrækker
- syl
- lommelygte
- lommespejl (tandlægespejl)
- notespapir og blyant
- hammer
- lup
- målebånd
- fotoapparat m. blitz
- træfugtmåler
- kompas.

Som det tidligere er nævnt, vil man ofte kunne opnå gode resultater med en visuel undersøgelse. Det kan dog være nødvendigt at benytte mere dybtgående undersøgelser, fx hvis man på grund af den visuelle undersøgelse eller af andre årsager har mistanke om, at noget er galt.

Der er et rigt udvalg af metoder at vælge mellem, spændende fra simple og billige håndinstrumenter til dyrt, kompliceret måleudstyr, der kun kan betjenes af specialister.

Krav til feltprøvningsmetoder

Formålet med målinger er normalt at give en talmæssig beskrivelse af den målte genstand. Der kan stilles en række krav til sådanne målinger. Først og fremmest skal målingerne være objektive, dvs. så vidt muligt uafhængige af hvilken person, der udfører målingen. Det lyder indlysende, men kan være vanskeligt at opnå, fordi mange metoder afhænger mere eller mindre af subjektive vurderinger, og der er derfor ikke nogen skarp grænse mellem objektive og subjektive metoder.

Et andet vigtigt krav til målinger er, at de skal være reproducerbare. Det vil sige, at bruges den samme måle- eller prøvningsprocedure, men fx udført af en anden person og med et andet apparat, skal resultaterne i det væsentlige være ens.

Alle målinger - udover simple tællinger - er behæftet med en usikkerhed, som afhænger dels af den genstand, der måles på, dels af måleudstyret. I praksis er det den samlede usikkerhed, der har interesse. Ved valg af målemetoden kan det imidlertid være formålstjenligt at gøre sig klart, at der er denne sammenhæng. Måleudstyret må nemlig vælges under hensyntagen til den usikkerhed, der kan tolereres. Hvis usikkerheden er for stor, kan måleresultaterne være værdiløse. På den anden side kan for strenge krav medføre, at udgifterne bliver uacceptabelt høje. En tommelfingerregel er, at usikkerheden på måleudstyr, som er 2 1/2 - 3 gange bedre end usikkerheden af det, der måles, er tilfredsstillende.

Specielt til feltprøvningsudstyr kan der stilles en række supplerende krav/ønsker, fx:

- udstyret skal være bærbart
- kalibrering og justering skal være nemt
- udstyret skal være robust
- betjening skal være simpel
- resultater skal være entydige.

SBI agter i en forestående publikation at præsentere metoder egnet til feltundersøgelser. Et eksempel på en beskrivelse er givet i bilag 1.

Litteratur:

1. Fältundersökningar. Fukt i byggnader. Meddelande M82:7. Statens Institut för Byggnadsforskning. Udarbejdet af Nordiska Byggeforskningsorganens Samarbejdsgrupp, NBS. Materialer og konstruktioners ældning og levetid. Gävle, 1982.
Også udgivet som: Nordtest. Tekniske rapporter 041-046.
2. Et rammesystem for tilstandsbeskrivelser. En teknologirådsrapport. Teknologisk Institut og Jysk Teknologisk. København, 1986.
+ Bilag. 1)Eftersyn af trævinduer. 2)Eftersyn af flade tagpapdækkede tage. 3)Eftersyn af blank murværk.
3. Byggkontroll - instrument och hjälpmedel. B. Alvedahl et al. Rapport R29:1982. Statens Råd för Byggnadsforskning. Stockholm, 1982.
4. Kvalitetsstyring i byggeriet - 5-års prøveeftersyn. BUR-rapport. Byggeriets Udviklingsråd, BUR. København, 1984.
5. Ventilationstekniske målinger. Erik Christophersen. SBI-anvisning 102. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1976.
6. Eftersyn af beton. Knud Puckman. Beton 3. ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1984.
7. Tilstandsbeskrivelse. Analyse og vurdering af betonkonstruktioners tilstand. Teknologisk Institut. Tåstrup, 1987.
8. Undersøgelse af bygninger. Erik Brandt et al., Byggeindustrien nr. 11, 1987.

Emne: Trækonstruktioner

Egenskab: Fugtindhold i træ

Niveau 2-3

Metode: Elektrisk modstandsmåling i følere af træ

1. Formål

Denne metode anvendes til måling af fugtindholdet i trækonstruktioner og er især velegnet, hvor der er behov for gentagne målinger.

2. Anvendelsesområde

Metoden kan anvendes i træbaserede konstruktioner, hvor føleren indbygges (indbores) i målepunktet. Metoden er anvendelig for fugtindhold mellem 10 og 30 vægtprocent. Det anbefales kun at måle i temperaturintervallet 0 °C - 25 °C. Indbygning af føleren kan medføre, at der må foretages småreparationer.

3. Referencer

1. Byggeindustrien nr. 4-1980 "Merisolering af flade tage".
2. Byggeindustrien nr. 5-1984 "Ventilation af flade tage".

4. Måleprincip

Den elektriske modstand mellem to elektroder, der er indsat i en træføler, er afhængig af træets fugtindhold.

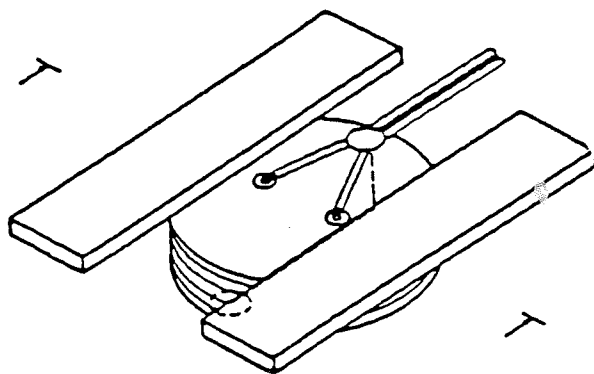
5. Målemetode

Føleren består af træ eller krydsfinér forsynet med to indborede elektroder (søm). Dimensionerne af de nu benyttede følere er: Træfølere: diameter 10 mm længde 15-25 mm. Krydsfinerfølere: diameter 50 mm. Føleren indbores i målepunktet, og hullet forsegles, således at fugtforholdene forstyrres mindst muligt af indgrebet. Ledninger føres fra elektroderne til et sted, hvor et måleinstrument bekvemt kan tilsluttes. Når følerens fugtindhold er i ligevægt med det omgivende træ, kan måling påbegyndes.

Modstanden mellem elektroderne måles med et ohm-meter, og fugtindholdet bestemmes ved hjælp af en kalibreringskurve, der angiver sammenhængen mellem modstand og fugtindhold i føleren.

6. Målenøjagtighed

Fugtindholdet i trækonstruktionen kan bestemmes med en nøjagtighed på ± 1 vægtprocent.



7. Instrument

Fugtfølere af krydsfinér fremstilles af Phønix A/S, Vejen og SBC byggeteknik, Kastrup. Fugtfølere leveres kalibreret og med 2 m ledning. Prisniveau 200-400 kr. ekskl. moms (1987). Et egnet ohm-meter er fx Blichfeldt log-ohm-meter, type 301 fra firmaet H. Blichfeldt Elektronik, København N. Apparatet er batteridrevet og nemt at transportere og betjene. Prisen er ca. 2600 kr. ekskl. moms.

8. Vurdering af måleresultatet

Vurdering kræver kendskab til fugttekniske forhold og må foretages i afhængighed af øvrige forhold i bygningen, fx temperatur og årstid. Det har betydning for den nødvendige præcision af målingen, om man vil følge fugtophobningens forløb eller blot konstatere, om en konstruktion er våd eller tør på et givet tidspunkt.

9. Alternative metoder

Den sikreste fugtmålemetode er veje-tørre-metoden - se denne.

På tilgængelige målesteder kan metoden erstattes af andre modstandsmålere, hvor elektroderne sidder på instrumentet og bankes/stikkes ind i træet. Da dette træes egenskaber ikke kendes, er målenøjagtigheden mindre end for den her omtalte metode.

10. Bemærkninger

Følerne har vist sig at være langtidsstabile, og fugtindholdet kan derfor følges gennem flere år med få omkostninger. Metoden kan tillempes til at måle fugtindhold i andre materialer, men det kræver yderligere kalibrering. Metoden er desuden blevet anvendt til at spore lækager.

Metoder för fältbesiktningar i byggnader

Civ ing Lars Tobin
Statens provningsanstalt
Byggnadsfysik
Box 857
S-501 15 BORÅS, Sverige

Projektens bakgrund och syfte

I två olika svenska projekt har beskrivningar av fältmetoder för byggnadsbesiktningar gjorts. Dessa båda projekt syftar till att dokumentera de besiktningsmetoder som finns och redovisa vad dessa kan användas till och vilket resultat man uppnår genom att använda en viss metod.

ROE-projektet

I ROE-projektet har metoderna beskrivits principiellt. Målgruppen för beskrivningarna är framför allt besiktningsmän och förvaltare. Av metodbeskrivningen framgår syfte, resultat, mätprincip och värdering av metoden. Även förutsättningar, begränsningar, tidsåtgång och resultatredovisning framgår. De beskrivna metoderna är besiktningsmetoder som avser att bestämma en byggnads tillstånd speciellt ur energisynpunkt. Dock är gränsen mellan energiegenskaper och andra egenskaper flytande. Därför har även metoder som ligger i angränsning härtill inkluderats i beskrivningarna.

Exempel på metodbeskrivning framgår av bilaga 1. Nedan ges några av de totalt 101 metoder som preliminärt avses att beskrivas:

B Hållfasthet (3)

- Utdraghållfasthet hos infästningar
- Träpålars kondition (TTC)

D Läge i plan, läge i höjd, dimensioner. Form, stabilitet, deformation (sprickor, nedböjning och sättningar) (16)

- Mätband SIS 64 11 01, -12, -13, -15
- Mätstockar SIS 64 11 14

E Temperatur (5)

- Bestämning av lufttemperatur med kvicksilvertermometer eller elektrisk termometer
- Bestämning av ytemperatur genom beröringsmätning

F Fukttillstånd (10)

- Bestämning av luftfuktighet med hjälp av psykrometer
- Bestämning av luftfuktighet med hjälp av elektriska givare
- Bestämning av luftfuktighet med hjälp av termohygrograf

G Fukt och vattentäthet (2)

- Koppmetoden
- Bestämning av fogtätheten med hjälp av kitt och glasplattemetoden

H Lufttäthet, luftrörelser, ventilationsgrad och tryckdifferenser i luft
Luftflöden (flödesmätning, kanaler, don) (18) - - - - -

- Prandtlrör + manometer
- Varmkroppsanemometer

J Ljud och vibrationer (1)

- Bestämning av steg- och luftljudsisolering

K Värmeisolering (4)

- Termografering
- Värmeflödesmätning

L Ytor (5)

- Bestämning av beläggningstjocklek stål genom magnetiska metoder

M Materialkontroll, betong, armering (11)

- Karbonatiseringsdjup
- LOK-test för undersökning av betongs hållfasthet

N Materialkontroll stål (1)

- Sprickindikering med magnetpulver

O Materialkontroll trä (2)

- Provuttagning för mykologisk analys genom mikroskopering

P Materialkontroll murverk puts (1)

- Provuttagning för mikroskopisk analys

R Materialkontroll glas (1)

- Bestämning av glastjocklek

S Luftföroreningar (10)

- Filtermetoder (radon)
- Spårfilm (radon)

T Värmeproduktion (1)

- Rökgasanalys

U Vatten- och avloppssystem + yttre VA och dränering (7)

- TV-kamera i VA-rör
- Ultraljudsmätning av rör

V Geotekniska och geohydrologiska metoder, materialkontroll, undergrund
dräneringsskikt (1) - - - - -

- Kontroll av variationer i sprickvatten och grundvatten

Y E1 (2)

- Isolationsmätning

SABO-projektet

I detta projekt har metoderna beskrivits på ett annorlunda sätt. Beskrivningen har gjorts enklare och den vänder sig framför allt till förvaltare. Urvalet av metoder är också begränsat till att innefatta fukt och mögel och luktbesiktningar. Dessa metoder syftar mer till att fastlägga skadeorsaker som uppträder i en byggnad under brukstiden. Metodbeskrivningen ingår i ett större projekt som omfattar problembeskrivning, besiktningsrutiner och åtgärdsblad.

Metodbeskrivningen inleds med en allmän översiktlig information. Därefter varnas för olika fällor och fel. Sedan görs en översiktlig beskrivning av de olika tillgängliga mätmetoderna för just detta ändamål. De enskilda metoderna redovisas. Som avslutning ges exempel på olika mätinstrument och kostnaderna för dessa.

Exempel på metodbeskrivning framgår av bilaga 2. De beskrivna metoderna är enligt följande:

- Mätning av lufttemperatur
- Mätning av yttemperatur
- Mätning av fukt i luft
- Mätning av fukt i betong
- Mätning av fukt i trä
- Mätning av fukt i material - övrigt
- Bestämning av luftläckage i klimatskärmar
- Bestämning av luftomsättning i byggnader
- Bestämning av luftrörelser i lokaler
- Indikering av mögelförekomst genom lukt
- Bestämning av sporförekomst i luft
- Indikering och bestämning av mögelförekomst på byggnadsmaterial
- Indikering och bestämning av rötsvampsförekomst på byggnadsmaterial
- Bestämning av föroreningar i luft
- Indikering och bestämning av kaseinförekomst i flytspackel
- Indikering av läckage i rörledningar
- Bestämning av utvändiga förhållanden kring en byggnad

METOD NR F1 OMRÅDE: fukt Metod: Bestämning av luftfuktighet
med hjälp av psykrometer

1 Syfte och användning

Metoden används för att bestämma luftens temperatur och relativa ånghalt. Ur dessa parametrar kan luftens absoluta ånghalt beräknas. Metoden används för att bestämma rums- och utomhusklimat och för mätning i stora luftspalter t ex kryprum och vindar.

2 Mätprincip

Temperaturen bestäms samtidigt med två termometrar vilka ger luftens torra respektive våta temperatur. Den ena termometern är omlindad med en våt strumpa och utsätts för en luftström med hastigheten mer än 2 m/s. När luft strömmar förbi den våta strumpan avdunstar vatten. För detta åtgår en viss mängd ångbildningsvärme. Ju torrare luften är desto större blir avdunstningen och desto lägre temperatur avläses på den "våta" termometern. Den andra termometern visar luftens temperatur.

Ur dessa två temperaturer kan man med hjälp av tabell bestämma den relativa luftfuktigheten för den aktuella lufttemperaturen och därur även beräkna den absoluta ånghalten.

3 Värdering av metoden

Metoden ger enkelt och relativt säkert både temperatur och relativ fuktighet samtidigt. Den relativa luftfuktigheten kan bestämmas med en noggrannhet av $\pm 3\%$.

4 Förutsättningar och begränsningar

Tänk på:

- Metoden förutsätter att den våta termometern avläses medan luftströmmen förbi strumpan fortfarande fortgår.
- Lufthastigheten förbi den våta strumpan måste vara större än 2 m/s. I annat fall erhålls felaktiga mätvärden.
- Termometrarna bör avläsas så att mätresultaten inte störs av personvärme och fuktavgivning.
- Temperaturen måste stabiliseras innan termometrarna läses av. Detta tar vid normala förhållanden 3-5 minuter.

- Metoden kan inte användas för mätning i mycket små luftvolymmer, t ex inuti befintliga konstruktioner eftersom den våta termometern avger fukt.

Varning!

- Mätning i direkt solljus bör undvikas.

5 Resursbehov

5.1 Tid

Tidsåtgången för temperaturerna att stabilisera sig är 5-10 minuter. Mätningen görs momentant.

5.2 Kompetens

Mätningen fordrar endast att instrumentet kan hanteras korrekt. För utvärdering krävs kunskaper om samband mellan temperatur, relativ fuktighet och absolut ånghalt och hur dessa varierar med temperatur, miljö och årstid.

5.3 Utrustning

Psykrometer med inbyggd fläkt eller slungpsykrometer som snurras runt i luften.

6 Resultatredovisning

En mätrapport kan bl a innehålla:

- syftet med mätningen
- beskrivning av objektet etc
- provplatsernas placering
- förhållanden som kan ha påverkat mätresultatet
- uppmätta temperaturer och relativa luftfuktigheter samt beräknade absoluta ånghalter
- eventuella slutsatser

7 Referenser

Alvedahl, B, m fl 1982, Bygghälsa - Instrument och hjälpmedel (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R29:1982, Stockholm

Fältundersökningar. Fukt i byggnader (Statens institut för byggnadsforskning) Meddelande M82:7, Gävle

Instrumentkataloger

FUKT & MÖGEL

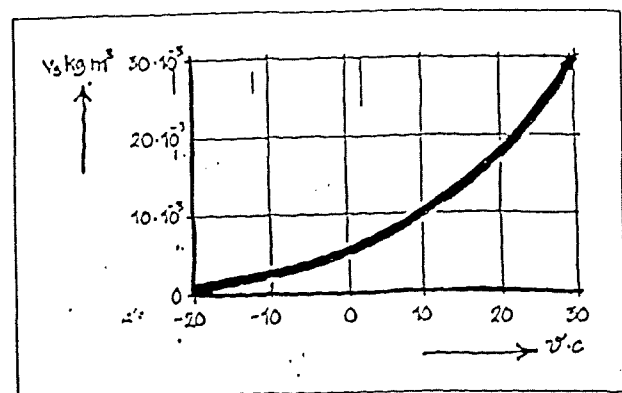
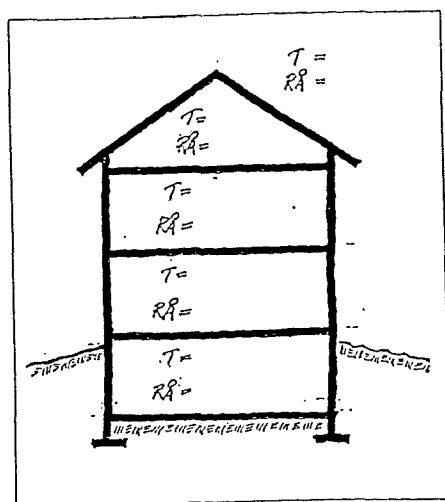
Mätblad nr 9

Att mäta fukt i luft

När man utreder fukt- och mögelskador mäter man nästan alltid den relativa ånghalten i luften och lufttemperaturen samtidigt för att kunna beräkna luftens ånghalt. Skillnader i ånghalt mellan olika mätställen talar om hur fukten vandrar och bildar underlag för en skadeutredning.

Definitioner

- Ånghalt - avser vikten av den fukt som finns i en kubikmeter luft uttryckt i gram.
- Mättnadsånghalt - avser den maximala mängden fukt som luften kan innehålla vid en viss temperatur. Mättnadsånghalten varierar med olika temperaturer, ju varmare luft ju mer fukt kan luften innehålla.
- Relativ ånghalt - avser förhållandet mellan luftens ånghalt och mättnadsånghalten.



Mättnadsånghalt för olika temperaturer. Exempel: Om luften innehåller 10 g vatten per m^3 luft vid 20 °C kommer den relativa ånghalten att bli:

$$RA = \frac{10,00 \text{ g/m}^3}{17,28 \text{ m}^3} = \frac{\text{aktuell ånghalt}}{\text{mättnadsånghalt}} \approx 58\%$$

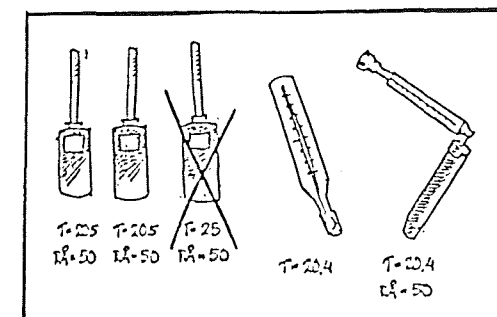
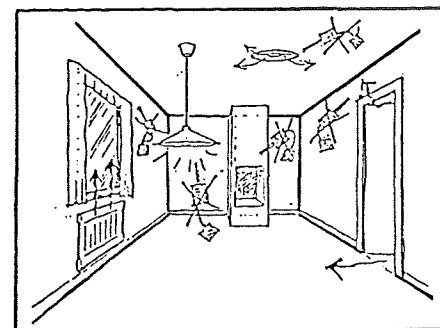
Mät temperaturen och den relativa ånghalten och beräkna sedan ånghalten. Det är skillnaden i ånghalt gentemot utomhusluften som visar på var det tillförs fukt. (Anm. Vissa instrument kan ibland mäta temperaturen och ånghalten varur den relativa ånghalten beräknas.)

Fällor och fel

Det är jämförelsevis enkelt att mäta luftfuktighet. För att få rättvisande mätvärden finns det ändå några saker som är viktiga att tänka på.

- Mät inte nära radiatorer eller andra värmekällor.
- Läs av termometern på "avstånd" så att temperaturen och fuktigheten inte störs av andedräkten.
- Undvik att mäta i zoner med varmluftsdrag eller kalluftsdrag, om det inte är luftfuktigheten i denna luftström som skall mätas.
- Mät under tillräckligt lång tid så att instrumentet hinner ställa in sig. Innan man börjar mäta skall man alltid tänka igenom vad det finns för störningskällor och vad det är man skall mäta.

Man bör också vara medveten om att valet av provplats ibland kan påverka resultatet kraftigt.



Mät inte på platser där temperaturen avviker från det normala. Då kommer RA-värdet att bli missvisande. Tänk även på var "ny" luft kommer in i rummet och undvik denna. (Anm. Ibland kan det vara de kalla platserna i rummet som är av intresse att göra mätningar på)

Före mätning, jämförelsemät samtliga instrument mot varandra

Mätmetoder

Det finns olika typer av instrument för att mäta relativ ånghalt och temperatur i luft. Tre av dessa är:

- psykrometer
- elektriska fuktgivare
- termohygrograf

I allmänhet är det praktiskt att använda ett elektriskt instrument för att mäta fukt. Man kan med dessa instrument mäta i mycket små luftvolymmer. När man använder elektriska fuktinstrument bör man även använda någon annan typ av instrument för att jämförelsemäta mot. Om man vanligtvis endast gör

enstaka mätningar kan man mycket väl klara sig med en psykrometer. Om man däremot vill göra registrerande mätningar är alternativet en termohydrograf.

Kontrollera instrumenten

Det är mycket viktigt att använda sig av instrument som visar rätt. För att en mätning skall vara något så när tillförlitlig måste instrumenten kalibreras regelbundet och före varje mätning jämförelsemätas mot ett annat instrument. Om man använder flera instrument skall samtliga instrument jämförelsemätas mot varandra.

Det är svårt att klara av kalibreringen av fuktinstrumenten själv. För de elektriska instrumenten kan man använda saltbad. Välj alltid saltbad som ligger nära intill de mätvärden som man tror att man skall mäta. Man bör dock kalibrera instrumenten för olika fuktnivåer över hela mätområdet. Det är ofta dock nödvändigt att lämna in instrumenten till en fackman för att få dem riktigt kalibrerade.

Man bör försöka att alltid ha ett kalibreringsdiagram till varje givare som bör förnyas ca en gång per kvartal. Glöm inte att även kalibrera instrumenten för temperatur.

Psykrometer

En psykrometer är ett instrument som mäter två temperaturer med olika termometrar. En av termometrarna är försedd med en våt strumpa kring vilken man får luften att strömma med ~ 2 m/s.

När strumpan torkar går det åt energi. Temperaturen blir alltså lägre på den våta termometern. Av de två avlästa temperaturerna får man sedan den relativa ånghalten ur en tillhörande tabell.

De termometrar som används i psykrometern bör vara konstruerade så att de medger en avläsning av 2/10-dels grader.

Psykrometern är ett tillförlitligt instrument. Noggrannheten på en mätning med en välskött psykrometer ger den relativa ånghalten med en noggrannhet inom ± 5 %. Instrumentet kan dock börja visa fel om strumpan blir smutsig. Därför bör man byta strumpan regelbundet och den bör endast fuktas med destillerat vatten.

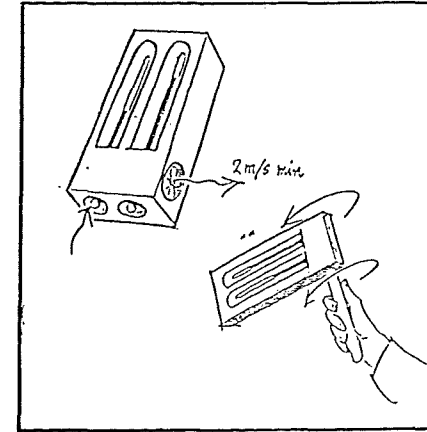
En psykrometer lämpar sig bra som jämförelsemätningssinstrument.

Elektriska fuktmätningssinstrument

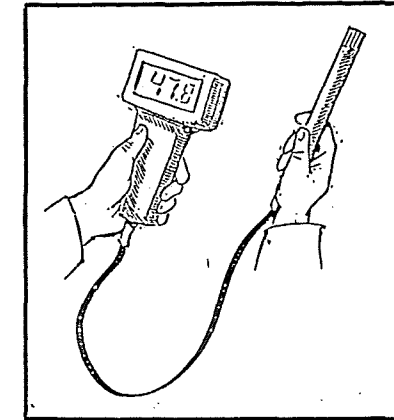
Det finns elektriska instrument som mäter både relativ ånghalt i luften och lufttemperatur. De är lämpliga att använda för enstaka mätningar med

manuell avläsning både i stora och små luftvolymen. På en del instrument kan man ansluta skrivare för registrering av mätresultat.

Vid långtidsmätningar med elektriska instrument kan en del visa tecken på att avvika från det rättvisande begynnelsevärdet. Därför bör man inför en långtidsmätning kalibrera instrumentet både före och efter mätningen.



För att man skall kunna påräkna den skpsykrometereffekten måste lufthastigheten förbi den våta strumpan vara min 2 m/s. Annars kommer andra faktorer att påverka mätresultatet som då blir missvisande.



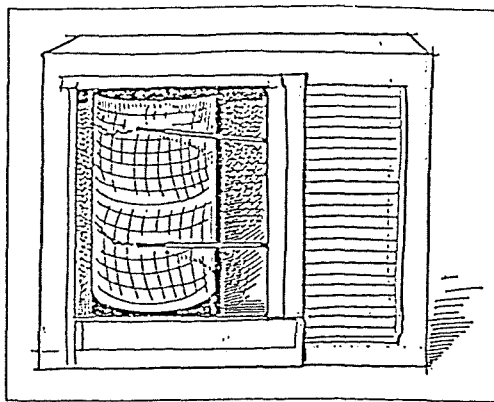
När du använder elektriska fuktmätningssinstrument - glöm inte att kontrollera instrumenten vid varje mättillfälle. Använd fräscha batterier. Var försiktig när du transporterar instrumenten så att kondens inte uppstår vid snabba temperatur- och fuktvariationer.

Termohydrograf

Termohydrografen använder man för registrerande mätningar över några dygn upp till en månad. Mätvärdena ritas fortlöpande upp direkt på ett diagram som är fäst på en rulle som roterar med hjälp av ett urverk. Någon strömkälla erfordras därför inte för att genomföra en mätning. Mätnoggrannheten på en termohydrograf är i allmänhet ca ± 1 °C för temperaturen och $\pm 3-5$ %-enheter för den relativa ånghalten.

Det finns också mer avancerade termohydrografer där flera temperaturer kan registreras samtidigt från olika givare som kan placeras utanför instrumentet.

Termohydrografen är ett bra instrument när man vill göra fuktmätningar i lägenheter under några veckors tid. Utomhusvärden för motsvarande mätperiod kan man beställa från SMHI.



När termografen placeras ut skall temperatur- och fuktgivare justeras in mot en känd temperatur och relativ ånghalt dvs ett annat instrument. Samma kontroll gör man efter avslutad mätning för att kolla att termohygrografen ej blivit "skadad" under mätperioden.

Exempel på mätinstrument

Här ges exempel på mätinstrument och prisnivå.

Kostnader

Kostnader för fuktmätning i luft kan hållas på en relativt låg nivå. En del instrument kräver dock en kontinuerlig kalibrering vilket kan medföra att kostnader tillkommer utöver själva instrumentkostnaden.

Att tänka på

- Mät med instrument som du vet visar rätt!
- Vänta med att läsa av instrumentet tills mätvärdet har uppnått jämvikt!
- Mät på rätt plats!
- Mät relativ ånghalt och lufttemperatur samtidigt! Mätvärdena kompletterar varandra.

Tillståndsvärdering av utvändiga ytor

Civ ing Nikolaj Tolstoy, Statens institut för byggnadsforskning, Avd Material och konstruktioner, Box 785, S-801 29 Gävle, Sverige

Projektet Materialinventering och besiktning av korrosionsskador (MOBAK) har ingått i ett nordiskt samarbetsprojekt om "Reducerade korrosionsskador som följd av minskade svaveldioxidutsläpp".

Syftet har varit att förbättra underlaget för ekonomiska beräkningar av luftföroreningarnas inverkan på material. Beräkningar för materialkorrosion har ansetts enklare än motsvarande beräkningar för hälsa och vegetation. Trots detta har det funnits ett behov att förbättra kunskapen om ingångsvärden såsom materialmängder och dos-responsfunktioner för viktiga material. Tidigare har produktionsstatistik och antaganden om andel material som exponeras utvändigt använts för att beskriva materialmängden. I det nordiska samarbetsprojektet har i stället valts besiktning i husurval. Två städer, Sarpsborg i Norge och stor-Stockholm, har undersökts. Norsk institutt for luftforskning (NILU) har besiktigat hus i Sarpsborg och Korrosionsinstitutet (KI) och Byggnadsforskningsinstitutet (SIB) har besiktigat hus i Stockholm.

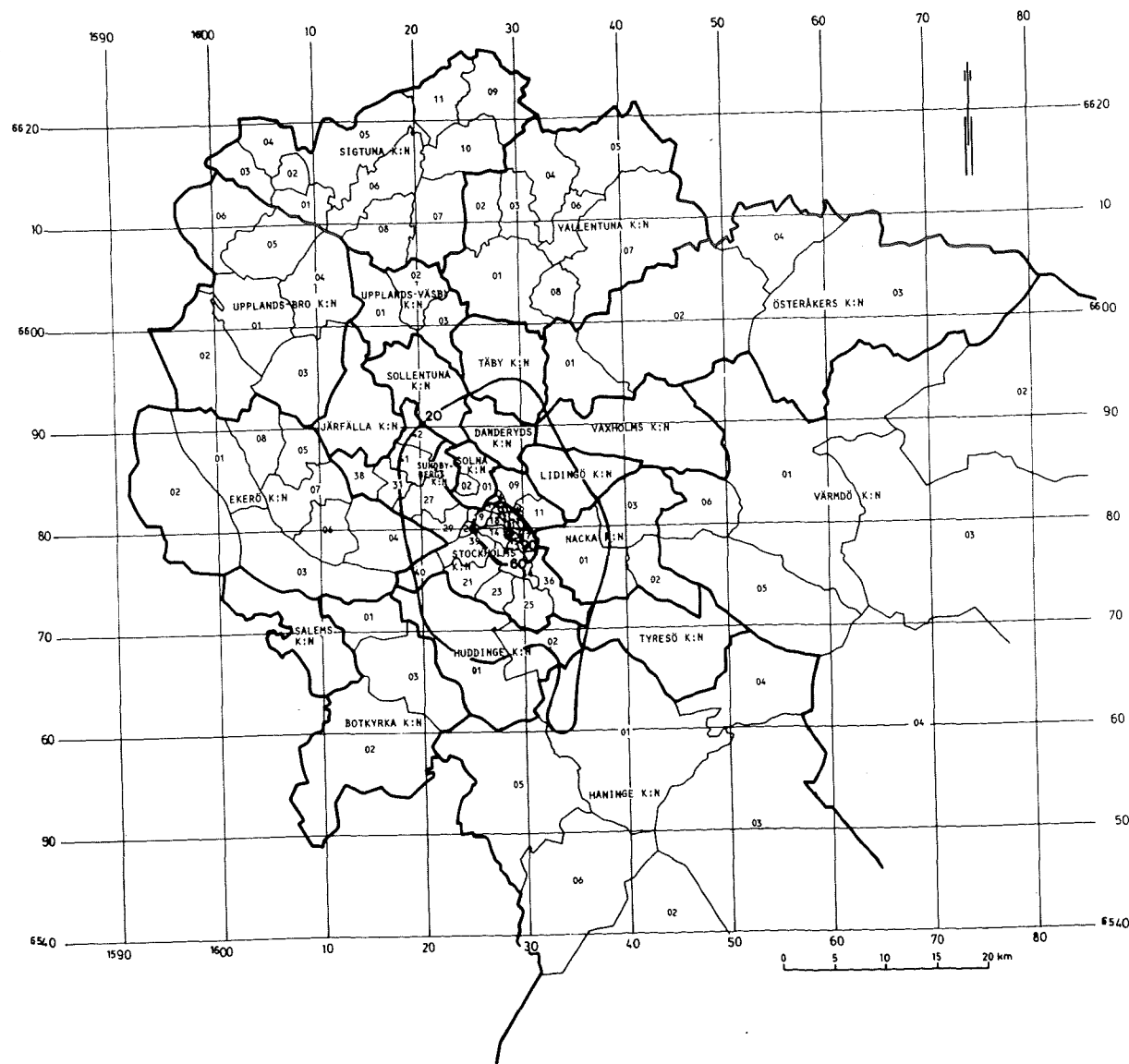
Metod

Inventering av materialmängder och tillståndsvärdering av yttre ytor har tillgått på samma sätt i Sarpsborg och i Stockholm. Ett statistiskt urval byggnader besiktigades efter ett besiktningsprotokoll. Med kunskap om urvalssannolikheterna vägs sedan protokollsuppgifterna upp med vikter till att gälla hela området i fråga. Byggnadsforskningsinstitutet har tidigare använt denna metod när det gällt att beskriva reparationsbehov och energistatus för Sveriges husbestånd.

Stratifiering och urvalsgrupper

Vid en urvalsundersökning kan det vara av intresse att redovisa resultat för vissa redovisningsgrupper. För att resultaten skall vara signifikanta

är det viktigt att tillräckligt med observationer finns för varje redovisningsgrupp. Här har valts småhus resp flerbostadshus i tre olika ålders-kategorier och lokaler, industrier samt jordbruk. För att säkert få med tillräckligt med observationer i områden med olika svaveldioxidhalt i luft gjordes en uppdelning av stor-Stockholm i fyra områden (strata). Denna geografiska uppdelning gjordes utgående från SMHIs kartor över svaveldioxidhalten samt församlingsgränserna.



Figur 1₃ Stor-Stockholm med inlagda SO₂-kurvor för vintermedelvärde 20 resp 60 µg/m³.

När huspopulationen var bestämd utfördes räkning av antalet fastigheter i olika strata och urvalsgrupper. Med hjälp av kostnads- och tidsram för besiktningsarbetet bestämdes det högsta totala antal fastigheter som kunde besiktigas. Genom att skatta standardavvikelsen för någon känd variabel i

fastighetstaxeringsregistret för de olika urvalsgrupperna kan det slumpmässiga felet uppskattas. Vid minimering av felet fås en fördelning av fastigheter i de olika urvalsgrupperna.

Urvalsdragningarna gjordes i fastighetsregister, men det är hus som valts som undersökningsobjekt. Om det fanns fler än ett hus på de utvalda fastigheterna valdes ett av husen slumpmässigt.

Viktberäkning

Antalet möjliga fastigheter dividerat med antalet dragna fastigheter i varje urvalsgrupp ger en första vikt. Denna vikt multipliceras sedan med antal hus på fastigheten. Resultatet av denna multiplikation kan sedan korrigeras för bortfall, dvs fastigheter som ingick i urvalet men ej besiktigades. Den slutliga vikten används för att göra generaliseringar till hela huspopulationen.

Besiktningsarbetet

Undersökningsvariabler var materialmängder på husens yttre sidor, tillståndet på tak, fasad och fönster samt en miljöbeskrivning av husets läge. Ytornas väderstreck, närhet till trafik, lokal föroreningskälla, svaveldioxidområde, nedsmutsningsgrad, närhet till vatten m m registrerades. (I bilaga 1 redovisas vad som ingick i besiktningsprotokollet.) För materialmängdernas bestämmande behövdes ritningar, mätband och mätstockar. För bestämning av material och ytbehandling medfördes provbitar och kemikalier. För tillståndsbedömning hade besiktningsmännen uppgjorda scheman i matrisform (bil 2) till sin hjälp. För tak, fönster och väggar bedömdes tillståndet på ytbehandling och underlag. Båda värderades i en tregradig skala: 0 = intakt, 1 = mindre skador (ej reparationsbehov) och 2 = bör repareras. Besiktningsmännen "kalibrerades" genom utbildning och några gemensamma besiktningar.

För de tillståndsvärderade ytorna antecknades ålder för ytbehandling och ålder för underlagsmaterialet. En kontaktperson, som kände till huset, intervjuades om framför allt åldrar på byggnadsmaterial och ytbehandling. På varje objekt medverkade två besiktningsmän. Detta för att göra tillståndsbedömningen mer tillförlitlig, underlätta uppmätning av huset och möjliggöra uppstigning på taket.

I förarbetet hade besiktningsprotokoll, kodlistor och instruktioner framtagits. Besiktningsmännen hade tränats och utbildats på gemensamma objekt och definitioner. Efter besiktning matades protokolluppgifterna in

på data. Vid oklarheter eller felaktigheter användes foton, ritningar och de medverkande besiktningsmännen för korrigeringar. I inmatningsprogrammet fanns vissa kontrollrutiner och flera andra kontroller utfördes efter inmatning. Detta för att reducera de systematiska felen.

Tidsbehovet för en besiktning varierade mellan 1 tim och 2 dagar. I genomsnitt tog besiktningsarbetet 3 timmar per hus. Databearbetningar har utförts vid SIB och NILU. På grund av att besiktningsarbetet tog mer tid och pengar än beräknat har resurserna för databeräkningar och utvärderingar varit små. Besiktningsarbetet utfördes under april-oktober 1986 och först under 1988 redovisas resultaten.

Resultat

Resultat från undersökningen är 1) Materialmängder fördelade på olika kategorier, 2) Materialmängdens geografiska fördelning i Stockholm, 3) Tillstånd för tak, fönster och väggar samt tillståndets beroende av ålder, svaveldioxid, väderstreck m m för vissa materialtyper.

Materialmängder

Här redovisas totala materialmängder (fig 2) och materialmängder för två redovisningsgrupper, flerbostadshus byggda före 1920 (fig 3) och småhus byggda efter 1961 (fig 4). Som ett ytterligare exempel på materialmängder visas den totala träytan uppdelad på ytbehandlingar (fig 5). Konfidensintervall och jämförelse med resultat från Sarpsborg och en tidigare undersökning på SIB (ERBOL) visar att materialmängdernas bestämmande har lyckats.

Tillstånd

Tillstånden för fasad, fönster och tak bedömdes enligt figur 6. Fönstrens ytbehandling var mycket dålig. Drygt vart tredje fönster borde målas om. För fasad och tak var motsvarande siffror 13 resp 12 procent. Som exempel visas i figur 7 tillstånden för träfönsters ytbehandling för olika åldrar. Genom att gå in i diagrammet för 50 % fås ett ommålningsintervall på 7,5 år. Vid beräkning med multipel regression fås att ytbehandlingen på fönster har nedbrutits i enlighet med följande faktorer ($R = 0.56$ $R^2 = 0.31$)

målningens ålder	0.05 x åldern i år
nedsmutsning	0.12 x (3-gradig skala 1,2,3)
fönstrets ålder	0.004 x åldern i år
lokal föroreningskälla	0.07 x (avstånd, 4-gradig skala 1,2,3,4)

väderstreck	0.09 x (N=1 0,V=2 S=3)
svaveldioxid	0.07 x (2-gradig skala 0,1)
konstant	0.14

Dessa siffror får dock anses mycket osäkra pga att sambanden inte är linjära (se exempelvis figur 7 för sambandet mellan ytbehandlingens ålder och tillstånd) och att tillståndet beskrivits i tre diskontinuerliga punkter 0, 1 och 2.

Referenser

- Andersson, G, Kucera, V, Sjöström, C och Tolstoy, N, Utvändiga byggnads-material och deras nedbrytning - En materialinventering och besiktning av korrosionsskador orsakade av luftföroreningar på byggnader, SIB - KI, 1988.
- Tolstoy, N, Sjöström, C och Waller, T, 1984, Bostäder och lokaler från energisynpunkt (ERBOL), SIB M84:8.
- Tolstoy, N och Svennerstedt, B, 1984, Reparationsbehov i bostäder och lokaler (ERBOL), SIB M84:10.

BesiktningsvariablerAllmänna data och Miljöbeskrivning

FTR	Kommun
FTR	Församling
	Löpnr
CFD	Koordinater
Fråga 1abc	Antal hus (besiktningsaktuella, kompletteringshus)
2a	Byggnadsår
2bc	Ombyggnadsår (ingick tak, fasad?)
3ab	Friliggande/sammanbyggt
4abcd	Luftföroreningsgrad (SO ₂ , salinitet, våttid, NO _x)
5abcd	Lokal föroreningskälla (typ, avstånd, riktning)
6abcd	Nedsmutsning
7abcd	Vatten (söt, salt, avstånd, skärmat)
7de	Trafik (avstånd, riktning)
8,9,10,	Användning (hustyp)
11,12,13	---
14	Bärande stommaterial
15ab	Utfackningsväggar
15cd	Uppvärmning (gradantal)
16abcdefg	Måttuppgifter (omkrets, längd, byggnadsyta, fasadyta takyta, takutsprång)
17,18	Tak (form, lutning)
19	Kantkorrosion på plåtfasader
20,21	Arkivhandlingar (ritningar, tekniska beskrivningar)

Material och tillståndstabla Max 120 rader

Väderstreck
Byggnadsdel
Material
Ytbehandling
Mängd
Tillstånd
Orsak till tillstånd

MOBAK

Tillståndsbeskrivning av plåt och ytbehandling

YTBHANDLING UNDERLAG	00 <i>Intakt</i> Blåsbildning ≥ 8 F Krackelering ≥ 8 Kritning ≥ 8 Avflagning ≥ 8	10 <i>Mindre skador</i> 6 F < Blåsbildn < 8 F 4 < Krackelering < 8 4 < Kritning < 8 4 < Avflagning < 8	20 <i>Reparationsbehov</i> Blåsbildning ≤ 6 F Krackelering ≤ 4 Kritning ≤ 4 Avflagning ≤ 4
00 <i>Intakt</i> Inga skador typ repor, bucklor eller uppfläckningar Korrosion ≥ 8	00 <i>Intakt</i> Inga infästningsskador, inga mekaniska skador Korrosion ≥ 8 Blåsbildning ≥ 8 F Krackelering ≥ 8 Kritning ≥ 8 Avflagning ≥ 8	10 Inga mekaniska eller infästningsskador Korrosion ≥ 8 6 F < Blåsbildn < 8 F 4 < Krackelering < 8 4 < Kritning < 8 4 < Avflagning < 8	Inga mekaniska eller infästningsskador Korrosion ≥ 8 Blåsbildning ≤ 6 F Krackelering ≤ 4 Kritning ≤ 4 Avflagning ≤ 4
01 <i>Mindre skador</i> Små och få repor (ej ned till metall), bucklor och uppfläckningar Begränsade infästningsskador 5 < Korrosion < 8	01 Små och få mekaniska och infästningsskador 5 < Korrosion < 8 Blåsbildning ≥ 8 F Krackelering ≥ 8 Kritning ≥ 8 Avflagning ≥ 8	11 Små mekaniska eller infästningsskador 5 < Korrosion < 8 6 F < Blåsbildn < 8 F 4 < Krackelering < 8 4 < Kritning < 8 4 < Avflagning < 8	21 Små mekaniska eller infästningsskador 5 < Korrosion < 8 Blåsbildning ≤ 6 F Krackelering ≤ 4 Kritning ≤ 4 Avflagning ≤ 4
02 <i>Reparationsbehov</i> Allvarliga bucklor, uppfläckningar, repor ned till metall och infästningsskador Korrosion ≤ 5	02 Allvarliga mekaniska och infästningsskador Korrosion ≤ 5 Blåsbildning ≥ 8 F Krackelering ≥ 8 Kritning ≥ 8 Avflagning ≥ 8	12 Allvarliga mekaniska eller infästningsskador Korrosion ≤ 5 6 F < Blåsbildn < 8 F 4 < Krackelering < 8 4 < Kritning < 8 4 < Avflagning < 8	22 Allvarliga mekaniska eller infästningsskador Korrosion ≤ 5 Blåsbildning ≤ 6 F Krackelering ≤ 4 Kritning ≤ 4 Avflagning ≤ 4

Fig2 Material på tak och fasader i stor–Stockholm
ALLA HUS

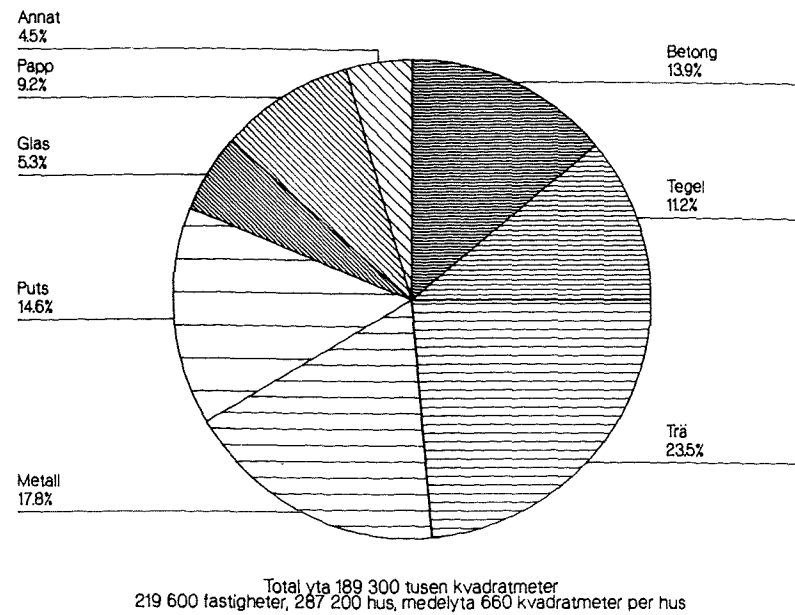


Fig3 Material på tak och fasader i stor–Stockholm
FLERBOSTADSHUS BYGGDA FÖRE 1920

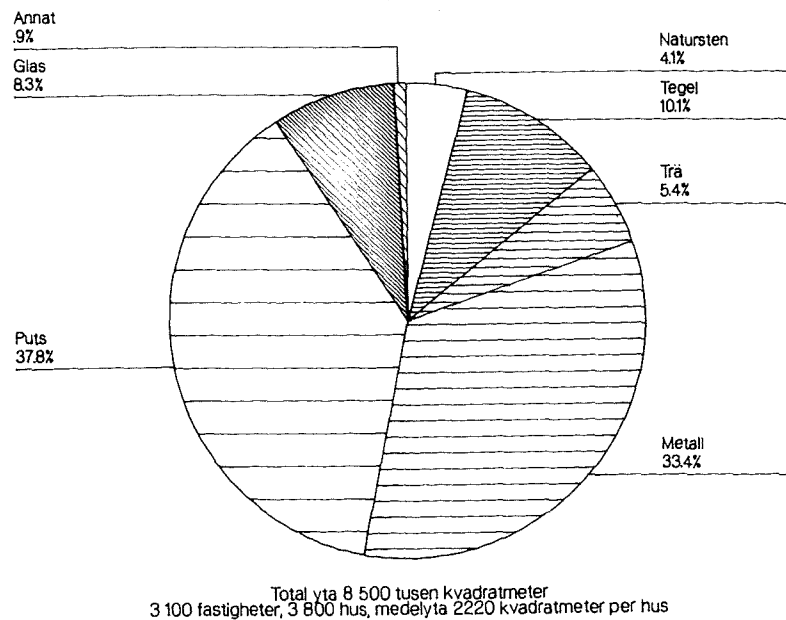


Fig4 Material på tak och fasader i stor–Stockholm
FLERBOSTADSHUS BYGGDA EFTER 1961

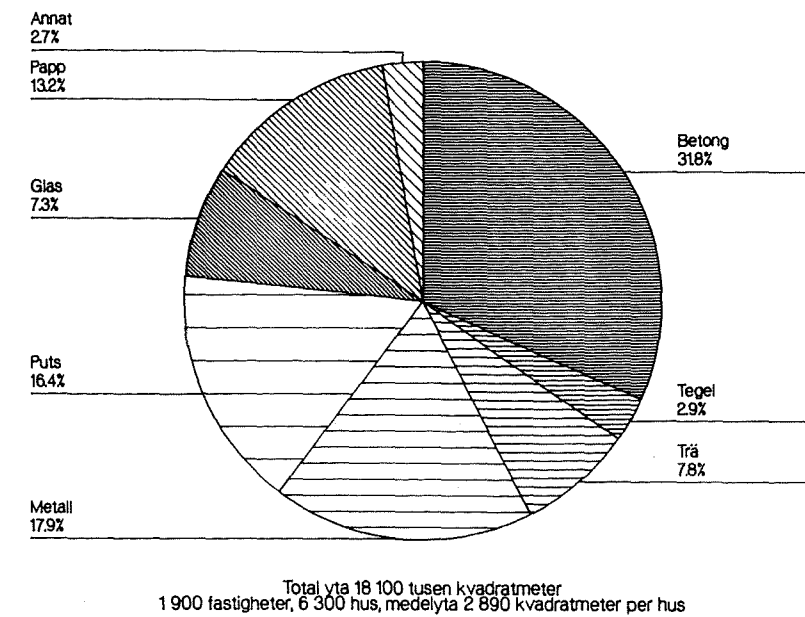
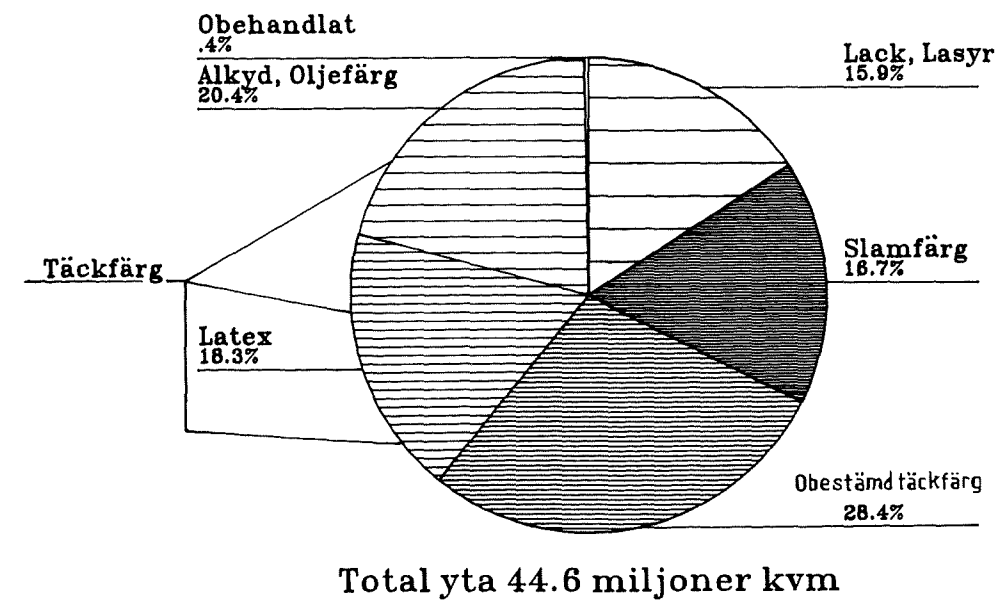
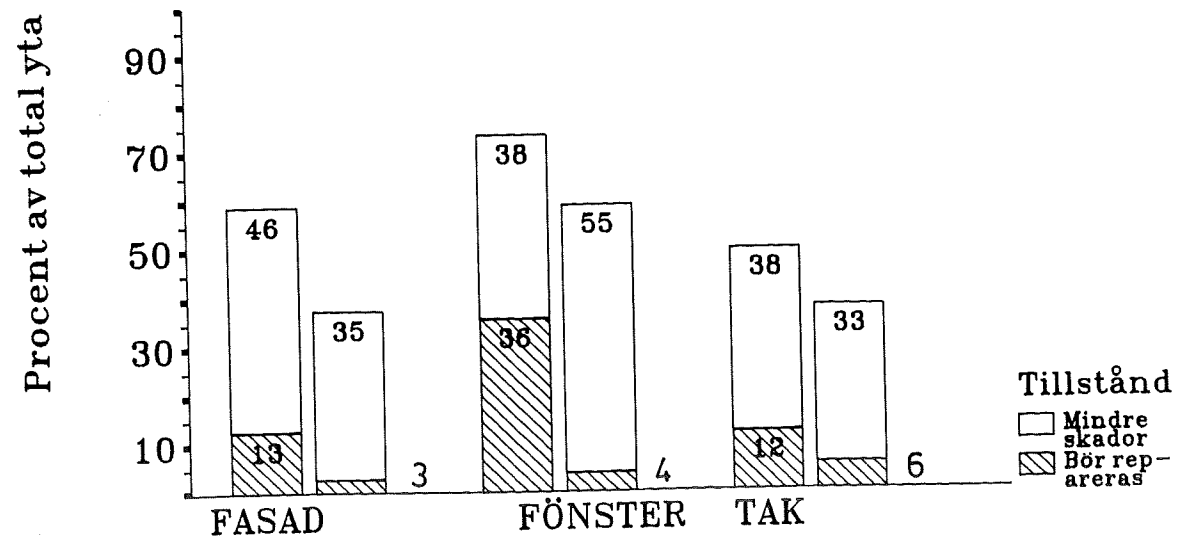


Fig5 Ytbehandling på trä
Material på tak och fasader i stor–Stockholm



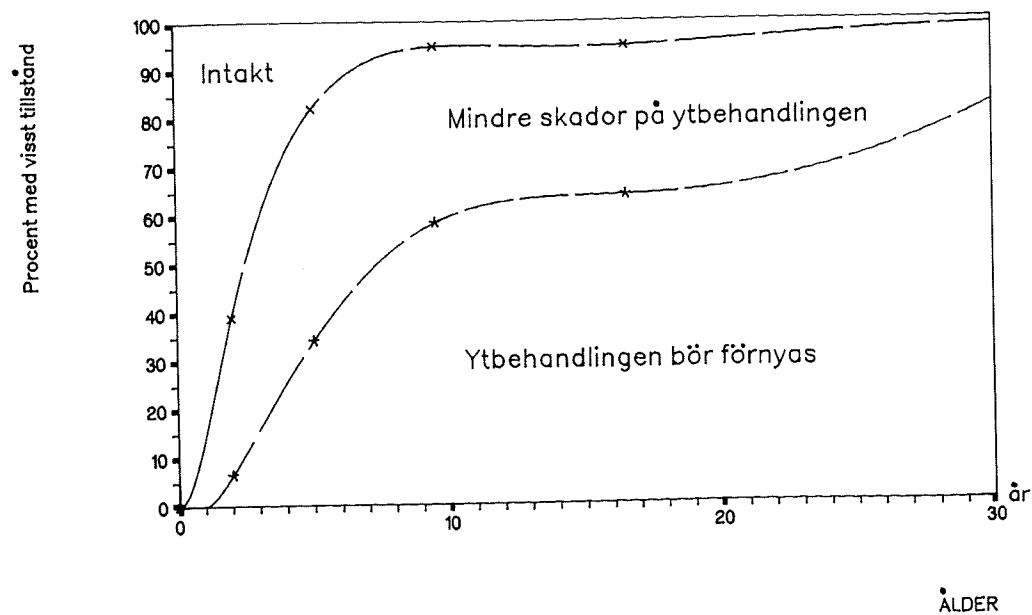
Figur 6 Tillstånd på tak og fasader i stor-Stockholm
Alla hus



Första stapeln = ytbehandling, Andra stapeln = underlag

Fig 7 TRÄFÖNSTER

Tillstånd för olika åldrar på ytbehandlingen



Statistiske vurderinger i forbindelse med bestandighet

Dr. ing. Anker F. Nielsen,
Norges byggforskningsinstitutt, Trondheimsavdelingen
7034 Trondheim NTH

1. Innledning

I forbindelse med byggskader er det normalt å oppdage tilfeller hvor materialer som ellers kan betraktes som bestandige, har fått skader. Dette medfører normalt en nærmere gjennomgang av den aktuelle konstruksjon og de påvirkninger den er utsatt for. Dette kan resultere i en rapport med angivelse av at skaden skyldes sammenfall av uheldige omstendigheter. Realiteten er at vi ikke er oppmerksom på hvor stor betydning variasjoner i klima og materialeegenskaper har. Her vil benyttelsen av statistiske metoder kunne gi oss opplysning om hvilken innflytelse spredningen i verdiene har. Dette vil endre våre vurderinger fra en angivelse av at konstruksjonen fungerer til en sannsynlighet for skader, forhåpentlig stadig med en liten sannsynlighet for skader. For å kunne bruke statistiske metoder, må vi utnytte vår viten om klima og materialparametre bedre. Hvor viten om variasjoner ikke finnes, må det fremskaffes supplerende opplysninger.

Bruk av statistikk til vurdering av spredning er allerede blitt anvendt i forbindelse med fuktdimensjonering (1), energiforbruk i boliger (2) og lufttetthet i bygninger (3).

2. Klimaparametre

Påvirkningene av materialer og konstruksjoner skyldes ute- og inneklimate. For uteklimate er det først og fremst temperatur, luftfuktighet, nedbør, sol, frost og vind. I de færreste tilfeller kan det sies at bare én parameter er avgjørende. Normalt er det kombinasjoner av disse størrelser som er avgjørende. Alle størrelsene er tidsserier med typiske svingninger gjennom året og døgnet. Dessuten varierer de fra sted til sted og fra år til år. Men ingen er fullstendig forutsigbare, da de inneholder et element av tilfeldighet. Til beregning av energiforbruk er fremstilt referanseår (TRY) sammensatt av uteklimate for typiske måneder. Et slikt referanseår kunne også benyttes ved beregninger i forbindelse

med bestandighet, men problemene er at klimaforholdene må være kjent i et ganske snevert miljø, f.eks. for en sydvendt vegg i le med takutheng. Dessuten kan nedbrygningen foregå over mange år eller bare under ganske bestemte klimatiske forhold. Et eksempel på det siste er frostsprengning av murstein i en teglvegg. I praksis er det ikke mulig å foreta detaljerte beregninger og målinger for alle tilfeller.

I en del nedbrytningsprosesser som skyldes kondensasjon, vil også inneklimate ha betydning - først og fremst temperatur og fuktighet.

3. Materialparametre

Ved vurdering av bestandighet er det nødvendig å kjenne materialenes egenskaper som fuktdiffusjonstall, varmeledningstall, lufttetthet, styrke og stivhet. Disse størrelser kan enten være tatt fra litteraturen eller målt på materialet. Ved laboratorieforsøk foretas målingene på samme materialstykket som eksponeres, hvis prøvingen er ikkedestruktiv. Ellers anvendes stykker fra samme produksjon. Dette skulle gi en god sikkerhet for at egenskapene er de samme.

I forbindelse med feltundersøkelser er det normalt ikke mulig å kjenne materialets egenskaper særlig godt. Noen egenskaper kan ha endret seg med tiden, og det finnes muligens ikke målinger på det samme materiale. Selv om det fantes målinger, er dette ingen sikkerhet for at materialets egenskaper er kjent, da variasjonene for produktet ikke er kjent. Det normale har vært at det foretas en typeprøving i form av en måleserie som grunnlag for godkjenninger, men ingen løpende kontroll. I virkeligheten burde typeprøvingen ta hensyn til spredningen i materialeegenskaper, men dette ville kreve et langt større antall prøvinger. For produkter med en løpende kontroll er det på lengre sikt mulig å bestemme spredningen i produktegenskapene og samtidig sikre en ensartet kvalitet.

4. Konstruksjonsparametre

I en lang rekke tilfeller, som f.eks. overflatebehandling, er resultatet avhengig av arbeidsutførelsen, og denne kan ikke ventes å være konstant. I andre tilfeller kan variasjoner i konstruksjonen, f.eks. lokale lufttettheter, få stor betydning for kondensasjon i konstruksjonen. I en vurdering av risiko for skader må det derfor tas hensyn til variasjoner i arbeidsutførelse og konstruksjon.

5. Skadetyper

En skade er en forringelse av en bygnings eller bygningsdels bruksegenskaper. Visse typer skader har først og fremst betydning for utseende, men medfører ikke alvorligere konsekvenser. Andre typer medfører kortere holdbarhet f.eks. som følge av vannlekkasje gjennom tak, eller i det værste tilfelle direkte sammenbrudd av konstruksjonen f.eks. som følge av snelast. Risiko for skader på en konstruksjon kan derfor bli forskjellig, avhengig av hvilken type konsekvenser det ses på.

Ved fuktskader kan én risiko være at fukten som kondenserer i løpet av en vinter ikke tørker ut igjen. En annen risiko er at fuktinnholdet i løpet av vinteren blir så høyt at materialet frostskares, eller det opptrer korrosjon.

6. Modeller

For å kunne vurdere risiko for skader, er det nødvendig med en modell for den prosess som gir anledning til skadene. For kondens er det fukttransporten som avhenger av uteklimaet. Fukttransporten kan enten beregnes med en forenklet modell, som Glasers-ligning eller en komplisert modell med dynamisk varme- og fukttransport. Hvilken ligning som skal velges, må avhenge av de data som er tilgjengelige og av om resultatene stemmer med praktiske erfaringer fra f.eks. feltundersøkelser. Oppstilling av modeller i forbindelse med bestandighet for materialer og komponenter er i mange tilfeller vanskelig, men det finnes i mange tilfeller viten om hvilke parametre som har betydning, og om skadefrekvenser henger lineært sammen med belastningen. Det vil derfor i en del tilfeller være mulig å oppstille "black box"-modeller som kan brukes til simulering.

Bruk av modeller vil være klart ønskelig, da det er langt billigere enn å utføre lange forsøksrader under kontrollerte forhold.

6.1 Parametervariasjon

Etter oppbygningen av en modell kommer valget av verdien av parametre som skal innsettes. Det normale har vært å innsette middelveier og ut fra beregning med disse avgjøre om det vil forekomme skader. Viser dette resultat seg å gi god sikkerhet, har det vært normalt å anta at materialet eller konstruksjonen er sikker. Dette er ikke nødvendigvis tilfellet, da det er variasjoner på parametrene. En løsning har vært å foreta parameteranalyser, hvor de enkelte parametre varieres hver for seg. Herved kan kritiske verdier finnes, men dette gir ingen opplysninger om hvor ofte disse forhold forekommer.

For å kunne vurdere risiko, er det nødvendig å kjenne de typiske variasjoner på modellens parametre som klima, materialeegenskaper og utførelse.

For uteklimaet finnes meteorologiske observasjoner som kan utnyttes, og spesielt referanseår kan være nyttige. Men i mange problemer vedrørende bestandighet er det nødvendig å ta hensyn til de lokale forhold. F.eks. vil solinnstråling om sommeren og kuldeutstråling om vinteren ha stor betydning for temperaturene på en takbelegning. Begge størrelser vil avhenge av orientering og helning av taket og eventuelt av tilstøtende bygningers skygge. Er vi interessert i et bestemt tak, må klimadata utregnes for dette. Gjelder det en generell undersøkelse av tak, må vi ta hensyn til innflytelsene fra variasjoner i orientering og helning. For materialeegenskapene må vi skaffe flere måleverdier, så variasjonen kan bestemmes. I praksis kan dette være vanskelig, men om ikke annet, må det foretas kvalifisert gjetting på spredningen.

For egenskaper som utførelsen kan det være vanskelig å angi variasjoner, men de kan i en del tilfeller tas inn indirekte i form av øket spredning på materialverdier. F.eks. vil en

dårligere utførelse av en dampspærre svare til at fuktmostanden er mindre enn det som fås direkte fra måling av tettheten på materialet.

Variasjonene i parametrene kan typisk angis i form av en normalfordeling med en gitt middelværdi og spredning eller et histogram med et antall klasser. Et spesielt enkelt tilfelle av det siste er et histogram med en klasse. Det svarer til at det er samme sannsynlighet for alle verdier mellom nedre og øvre klassegrense.

6.2 Simulering med tilfeldige tall

Til å fremstille ønskede parametervariasjoner anvendes en generator av tilfeldige tall mellom 0 og 1. Den vil gi samme sannsynlighet for alle tall mellom 0 og 1. For å frembringe histogrammer og normalfordelinger, må verdiene transformeres. For et histogram med bare én klasse fra t_0 til t_1 er det en ren transformasjon av det tilfeldige tall U til den ønskede verdi x :

$$x = t_0 + U * (t_1 - t_0)$$

For et histogram med flere klasser med grenseverdier t_0 til t_n og den kumulerte relative hyppighet f_0 til f_n kan benyttes den følgende formel. Bemerk at f_0 er 0 og f_n er 1.

$$X = t_i + \frac{(t_{i+1} - t_i)(U - f_i)}{(f_{i+1} - f_i)} \quad f_i \leq U < f_{i+1}$$

For en normal fordeling kreves 2 uavhengige tilfældige tall U_1 og U_2 for å frembringe 2 normalfordelte tall x_1 og x_2 :

$$x_1 = (-2 * \ln(U_1))^{1/2} * \cos(2\pi U_2)$$

$$x_2 = (-2 * \ln(U_1))^{1/2} * \sin(2\pi U_2)$$

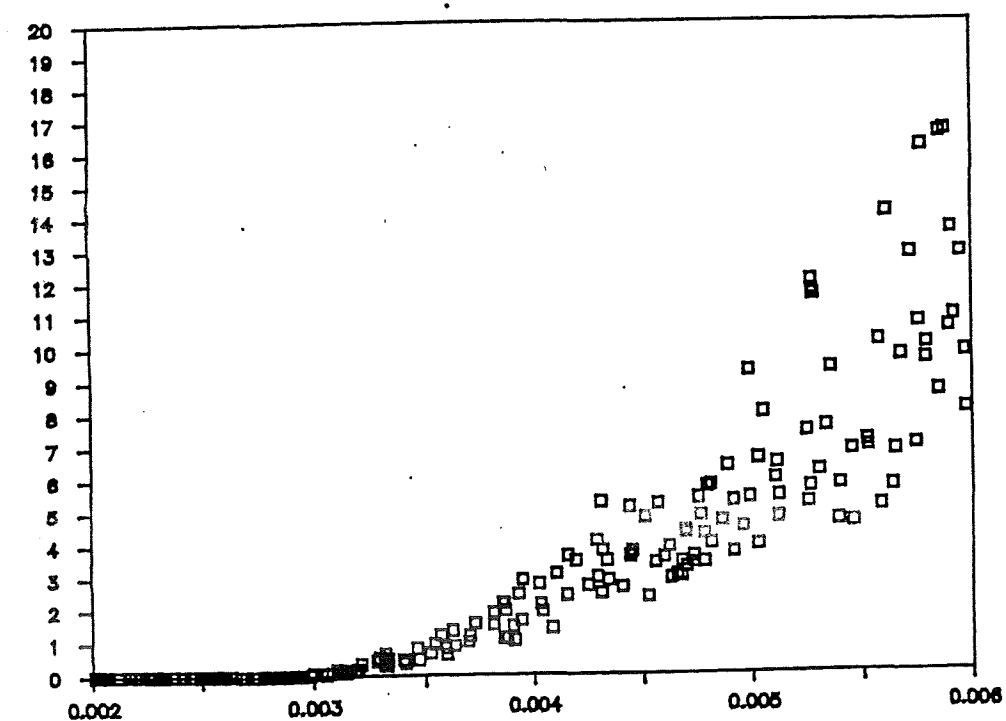
De 2 normalfordelte tall er uavhengige og har middelværdien 0 og spredningen 1. Er middelværdien m og spredningen s , vår verdien x ved:

$$x = m + s * x_1$$

Simuleringen skjer nå ved å velge tilfeldige tall for alle parametrene. Disse tilfeldige tall transformeres, som vist overfor til de aktuelle verdier, som innsettes i modellen. For hvert sett av tilfeldige tall fås et resultat av simuleringen. For å finne fordelingen av resultatene kreves 200 til 500 gjennomregninger. I det følgende beskrives 2 eksemplarer.

6.2.1 Kondens i vegg

I forbindelse med RILEM 35-PMB ble det foretatt beregninger av fukttransport i en rekke tilfeller. Et av disse var en innvendig isolert teglvegg uten dampspærre. De betydningsfulle parametre var vurdert til å være utetemperatur, fuktmotstanden av det innvendige platemateriale og fukttilskuddet til inneluften. En nærmere beskrivelse av tilfellet kan finnes i (1). Resultatet av den teoretiske simulering med 200 tilfeller kan angis på mange måter, men i figur 1 ses kondensmengden avhengig av fukttilskuddet. Det ses at innflytelsen av de andre parametre er av langt mindre betydning og at det er mulig å forutsi at er fukttilskuddet under 3 g/m^3 , blir det ikke kondens.



Figur 1. Kondensasjonen $\text{kg/m}^2 \text{ år}$ (Y-aksen) i avhengighet av fukttilskuddet kg/m^3 (X-aksen). Resultatet av 200 beregninger med statistisk variasjon på parametrene, se (1)

6.2.2 Kondens på glass

Et årlig tilbakevendende problem er klager over kondens på forseglede ruter om vinteren. Når det er anskaffet godt isolerende energiglass, forventes det at kondens ikke kommer på glasset. I praksis kan det ikke unngås på grunn av kantforseglingen som består av aluminium eller galvanisert stål. Kondensasjonen på glasset har ingen betydning for glassets bestandighet, men kan få vesentlig betydning for karmen, hvis den består av tre. Kondensmengden avhenger av utetemperatur, fukttilskuddet til inneluften, antall glasslag og varmeovergangsmotstanden innvendig. Noen av disse størrelser er avhengig av brukeren - dette gjelder fukttilskuddet, som avhenger av fuktproduksjonen og ventilasjonen, og det gjelder overgangsmotstanden som kan bli høyere hvis gardiner trekkes for vinduene.

Overgangsmotstanden avhenger også i meget vesentlig grad av om det er en radiator under vinduet, og om gardinene er plassert så luften kan strømme mellom gardinet og glasset.

I tabell 2 er gitt resultater av en simulering hvor resultatene er angitt som sannsynlighet for kondensasjon ved gitte utetemperaturer og fukttilskudd. Det ses at dobbeltrute og trippelrute gir mindre sannsynlighet for kondensasjon ved ellers like forhold. Bruk av et vindu med 2 enkeltglass i koblede rammer ville praktisk talt aldri gi kondens. Til gjengjeld er det risiko for kondens mellom glassene. Ytterligere opplysninger kan finnes i (4)

Enkeltglass		-10/-6	-6/-2	-2/2	2/6	6/10
Utetemperatur						
Fuktighet inne						
lav	1-2.50	0	0	0	0	0
middel	2.5-4		27	33	10	54
høy	4-5	80	86	50	71	63
Dobbeltglass ved kanten		-10/-6	-6/-2	-2/2	2/6	6/10
Utetemperatur						
Fuktighet inne						
lav	1-2.50	0	0	0	0	0
middel	2.5-4		20	11	10	15
høy	4-5	60	57	13	71	63
Trippelglass ved kanten		-10/-6	-6/-2	-2/2	2/6	6/10
Utetemperatur						
Fuktighet inne						
lav	1-2.50	0	0	0	0	0
middel	2.5-4		0	0	0	0
høy	4-5	0	7	0	29	38

Figur 2. Sannsynlighet for kondensasjon ved forskjellige glasstyper i avhengighet av og innvendig fukttilskudd. Fukttilskuddet oppdelt i 3 grupper med variasjon i størrelse angitt i g/m^3 . Resultater fra simuleringer med innvendig overgangsmotstand mindre enn $0,13 m^2K/W$

6.3 ARIMA-modeller

I forbindelse med vurderinger av bestandighet vil det uten tvil være en god idé å se litt på utnyttelse av det teoretiske grunnlag for tidsserieanalyser. Dette benyttes innenfor en rekke områder, f.eks. hydrologi (5) og økonomi (6). Hydrologien inneholder også belastninger som er årstidsavhengige, f.eks. avstrømming fra elver, og som samtidig har en overleiret tilfeldig variasjon. Dessuten er det teorier i forbindelse med fordeling av nedbør som kanskje kunne benyttes i forbindelse med slagregn som renner nedover vegger.

ARIMA-modeller (autoregressive integrated moving average models) er velegnet til å forutsi fremtidige verdier av f.eks. avstrømming fra en elv, når tidligere verdier er kjent. Dette kunne muligens brukes for å forutsi risiko for frostsprengning i vegger, da dette må avhenge av fuktinnhold og utviklingen i uteklimaet.

7. Feltundersøkelser

I forbindelse med feltundersøkelser og skadeanalyser er det ønskelig med bestemmelser av materialegenskaper og vurderinger av sannsynlighet for skader. Men først og fremst å bestemme hvilke faktorer som er avgjørende for skadens årsak, så det eventuelt er mulig med simulering for en modell å vurdere sannsynligheten for skade. I dag er meget av arbeidet utelukkende basert på å finne løsninger som kan avhjelpe skaden.

8. Prøving utendørs

Ved utendørs prøving, hvor materialer og komponenter utsettes for vind og vær, burde det alltid foretas en vurdering av om klimaet i den aktuelle periode er normalt. Bruk av akselerert utendørs prøvestander medfører i mange tilfeller en belastning av materialene, som ikke svarer til virkeligheten. Dette skyldes fast orientering uten de bevegelser som er alminnelige i virkelige konstruksjoner. Det burde derfor arbeides med store antall prøve og variert eksponering, så spredningen på resultatene kan finnes. Anvendelse av prøvehus eller resultater fra skadetilfeller gir bedre informasjon og mer realistiske resultater, men krever stadig et stort antall prøver.

Hvis nedbryningsmekanismen er kjent, burde det foretas simuleringer med klimadata fra forskjellige år, så det kan vurderes om skadefrekvenser økes enkelte år.

9. Prøving innendørs

Ved simuleringer i laboratoriet er det viktig å ta hensyn til spredningen i materialverdier og i belastning. Spredningen i materialet tas det hensyn til ved å benytte flere prøvestykker. Dette kan meget lett medføre krav om et stort antall prøvestykker. Her er en løpende kontroll av en produksjon en fordel, da det unngås at alle materialstykker i en undersøkelse er produsert samtidig. I praksis kan brukeren vente en viss spredning, som er totalt ukjent hvis det ikke er løpende kontroll

Målinger med variasjoner i belastningen ville være ønskelig, så prøvingen ikke alltid skjer helt ensartet. Men dette strider mot ønsket om ensartet målemetoder og vil samtidig medføre vesentlige økninger i omkostningene. Men med on-line EDB-målinger burde det være mulig å anvende en form for pseudo-random variasjon for belastningene.

10. Bedre viten om variasjoner

Norges byggforskningsinstitutt har gjennom en lengre årrekke samlet en stor viten vedrørende bestandighet av materialer og komponenter både fra laboratoriesimuleringer og feltforsøk. En bedre viten om spredningen i klimaparametre, materialparametre og utførelse vil gi helt nye muligheter for å komme frem til en vurdering av materialers og komponenters bestandighet basert på statistikk. Men dette vil kreve midler til grunnforskning, idet det innenfor bestandighet ikke finnes enkle gjenveier.

Dessverre er det ingen ting som tyder på at Norges Teknisk Naturvitenskapelige Forskningsråd vil bevilge penger til dette området til tross av at det på lengre sikt vil kunne redusere de ganske store omkostninger til byggskader.

11. Litteratur

- (1) Nielsen, A.: Fuktteknisk dimensjonering med statistikk. En metode for vurdering av risiko for byggskader.
Byggforskningsrådet, R89:1987, Stockholm 1987
- (2) Nielsen, A.: Vurdering av energiforbruk i eneboliger ved bruk av statistikk.
Norges byggforskningsinstitutt, prosjektrapport 20, Oslo 1987
- (3) Nielsen, A.: Use of statistics for predicting distribution of air infiltration.
IEA annex V, 8th AIVC conference: Ventilation Technology Research and Application,
proceedings - paper 9, 1987
- (4) Nielsen, A.: Prediction of risk for surface condensation. Paper for CIB conference:
Healthy Buildings, '88, Stockholm 1988
- (5) Bras, R.L. and Rodriguez-Iturbe, I: Random functions and Hydrology
Addison-Westley Publishing Compagny, ISBN 0-201-05865-0, 1984
- (6) Vandaele, W: Applied Time Series and Box-Jenkins Models.
Academic press inc., ISBN 0-12-712650-3, 1983