



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

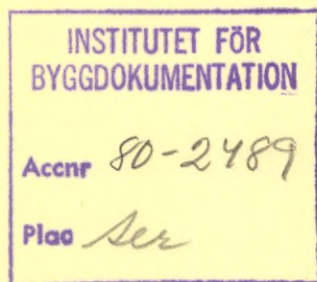
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may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



Hur länge håller plast och gummi i bygge?

Dagens kunskapsnivå och förslag
till en strategi för uppställande
av temporära beständighetskrav

Arne Holmström



R173:1980

HUR LÄNGE HÅLLER PLAST OCH
GUMMI I BYGGE?

Dagens kunskapsnivå och förslag
till en strategi för uppställande
av temporära beständighetskrav

Arne Holmström

340170

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
781472-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Statens provningsanstalt, Borås.

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

R173:1980

ISBN 91-540-3420-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

INNEHÅLL

	FÖRKORTNINGAR OCH BENÄMNINGAR FÖR POLYMERA MATERIAL	5
	SAMMANFATTNING	6
1	BAKGRUND	7
2	AVSIKT MED PROJEKTET	9
3	METOD	10
4	POG-MATERIALENS BESTÄNDIGHET - EN KORTFATTAD ORIENTERING	11
4.1	Accelererad åldring	12
4.1.1	Accelererad utomhusåldring	13
4.1.2	Beständighet inomhus	14
5	ERFARENHETER OCH SYNPUNKTER PÅ POG-MATERIALS BESTÄNDIGHET	15
5.1	England	15
5.1.1	Kontakter	15
5.1.2	The Agrément Board (a.b.)	16
5.1.3	Ministry of Defence	17
5.1.4	University of Aston in Birmingham	17
5.2	Frankrike	18
5.2.1	Kontakter	18
5.2.2	Solfångarkonferens i Paris	18
5.2.3	Division Physique des Matériaux vid CSTB	20
5.3	Holland	21
5.3.1	Kontakter	21
5.3.2	TNO	21
5.3.3	AKZO	22
5.3.4	DSM	22
5.4	Kanada	23
5.4.1	Kontakter	23
5.5	Schweiz	23
5.5.1	Kontakter	23
5.5.2	Utomhusåldring	24
5.5.3	Åldring i mörker	25
5.6	Tjeckoslovakien	26
5.6.1	Kontakter	26
5.7	Västtyskland	26
5.7.1	Kontakter	26
5.8	USA	27
5.8.1	Kontakter	27
5.8.2	NBS "Polymer Science & Standards Division"	27
5.8.3	NBS "Center for Building Technology" ..	28
5.8.4	Bell Laboratories	29
5.9	De nordiska länderna	29
5.9.1	Kontakter	29
5.9.2	SINTEF, NBI, VTT och SP	30

5.9.3	Sverige (utom SP)	31
5.9.3.1	FMV	31
5.9.3.2	KemaNord och Unifos Kemi AB	32
5.9.3.3	Plaströr	32
5.9.3.4	LME och Volvo	33
5.9.3.5	Övrigt	33
6	ERFARENHETER OCH SYNPUNKTER PÅ PoG- MATERIALS BESTÄNDIGHET REDOVISADE I LITTERATUREN	35
6.1	Utomhusåldring	35
6.2	Åldring i mörker	37
7	NORMKRAV PÅ PRODUKTER	39
7.1	Kommentarer till normkraven	50
8	FÖRSLAG TILL STRATEGI VID UPPSTÄLLANDE AV TEMPORÄRA BESTÄNDIGHETSKRAV PÅ PoG- PRODUKTER	53
8.1	Produkter som exponeras utomhus	53
8.2	Produkter som åldras i mörker	53
	REFERENSER	55
	FIGUR	61

FÖRKORTNINGAR OCH BENÄMNINGAR FÖR POLYMERA MATERIAL

<u>Förkortning</u>	<u>Benämning</u>
ABS	ABS-plast
CM	Kloretengummi
CO	Epiklorhydringummi
CR	Kloroprengummi
CSM	Klorsulfonetengummi
ECB	Eten-bitumensampolymer
ECO	Epiklorhydrin-etenoxidsampolymergummi
EPDM	Etenpropendiengummi
EPM	Etenpropengummi
FPM	Fluorgummi
HDPE	HD-polyeten
IIR	Butylgummi
IR	Isoprengummi
LDPE	LD-polyeten
MFQ	Fluorsilikongummi
NBR	Nitrilgummi
NR	Naturgummi
PA	Polyamid (eller nylon)
PB	Polybuten-1
PC	Polykarbonat
PE	Polyeten
PEX	Tvärbunden polyeten
PF	Fenolformaldehydharts
PIB	Polyisobuten
PMMA	Polymetylmetakrylat
POM	Polyoximeten
PP	Polypropen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluoreten
PUR	Polyuretan
PVAC	Polyvinylacetat
PVC	Polyvinylklorid
PVDF	Polyvinylidenfluorid
PVF	Polyvinylfluorid
Q	Silikongummi
SBR	Styren-gummi
SBS	Styrenbutadienstyren-gummi
T	Polysulfidgummi
UF	Ureaformaldehydharts
UP	Omättad polyester

SAMMANFATTNING

Plast- och gummiprodukter (PoG-produkter) har under de senaste decennierna blivit en etablerad produktgrupp i byggbranschen och tendensen går mot ytterligare ökad användning i allt mer krävande applikationer. Utvecklingen har betingats av de många fördelar PoG-produkter ger vid nybyggnadstillfället. Samtidigt som man kan bygga tätare och mer välisolerat kan kostnadsökningarna hållas tillbaka genom minskad materialförbrukning och enklare och snabbare arbetsutförande med billigare produkter. Produkterna monterar emellertid ofta svåråtkomligt varför de bör ha en livslängd av samma storleksordning som byggnaders, dvs omkring 50 år, om inte bostadskonsumenten i framtiden skall drabbas av stora kostnader i samband med eventuellt utbyte. På några få undantag när utsätts dock inte dagens byggnadsdelar av PoG-material för någon som helst beständighetstestning med syfte att säkerställa en godtagbar långtidsfunktion.

Genom litteraturuppgifter kompletterade med besök hos eller korrespondens med ledande forskare, institutioner och företag inom området i Europa och Nordamerika har jag sökt dokumentera dagens kunskapsnivå. Problemen med beständighet utomhus är välkända för PoG-produkter. Huvuddelen av erfarenheterna hänförs sig därför till naturlig och accelererad utomhusåldring. I många fall kan korrelationer etableras. I vissa fall misslyckas man dock helt. Tumregler baserade på ett mycket omfattande erfarenhetsmaterial har bl a erhållits från världens ledande producent av stabilisatorer för PoG-material. Tumregler föreslås kunna ligga till grund för temporära beständighetskrav på utomhusexponerade produkter.

Beständighetsproblematiken för PoG-material som inte exponeras utomhus har blivit avsevärt mycket mindre beaktad. Ett flertal faktorer synes ha samverkat till att detta blivit förhållandet. De relativt långsamma förändringarna jämfört med vad man kunnat observera vid utomhusexponering, avsaknaden av längre praktisk erfarenhet samt frekventa utformnings- och materialförändringar torde vara bland de viktigaste i sammanhanget.

Inom ASTM i USA har man utarbetat en "Standard Recommended Practice" för livslängdsuppskattningar för plastmaterial. Denna föreslås som lämplig utgångspunkt vid uppställande av temporära beständighetskrav för PoG-produkter som inte åldras utomhus.

1 BAKGRUND

Plast- och gummimaterialen (PoG-materialen) har under de två senaste decennierna kommit att bli en etablerad materialgrupp inom byggnadstekniken. 1978 innehöll sålunda varje nyproducerad bostad i genomsnitt ca 2,5 ton PoG /1/ och tendensen pekar mot ytterligare ökad användning. Jämfört med den blygsamma starten i slutet av 1950-talet har utvecklingen varit närmast explosionsartad.

Även när det gäller användningsområdet är utvecklingen drastisk. För 20 år sedan förekom PoG-materialen huvudsakligen i ytskikten. Idag utnyttjas de i allt mer krävande applikationer, så t ex baseras ofta hela tätheten, VVS- och elektriska sidorna i dagens nybyggnation på material ur denna grupp /2/. Dessa produkter sitter normalt inbyggda i golv, tak och väggar. Om inte förvaltaren (bostadskonsumenten) i framtiden skall drabbas av stora kostnader fordras att produkterna har en livslängd som byggnadens, dvs i storleksordningen 50 år. Har de verkligen det? Hur skall vi kunna förutsäga det? Detta är två i sammanhanget befogade och näraliggande frågor. När det gäller traditionella byggmaterial som trä, stål och betong finns det ju en betydande kunskap om beständigheten hos breda lager byggnadstekniker.

1960 skrev Erik Saare som avrapportering av ett BFR-uppdrag följande i Teknisk Tidskrift.

"Plast som förekommer i ett stort antal typer och med väsentligt skilda egenskaper används i byggnadstekniken i allt större omfattning även på ställen där utbyten är svår genomförbara, t ex i fukt- och värmeisoleringar. Oftast saknas uppgift om de använda materialens åldringsbeständighet."

BFRs plastkommitté skriver år 1971 i "Plast inom byggnadstekniken" /3/.

"Åldringen hos polymera material är mycket komplicerad och inte helt utredd. Olika accelererande laboratorieprovningar kan ge jämförande upplysningar om åldringsegenskaper under speciella betingelser. I komplicerade sammanhang är endast långtidsförsök i aktuell miljö helt tillförlitliga."

1976 sammanfattar Plastgruppen, tillsatt av BFR, i "Plast i bygge" /4/.

"Det är svårt att finna helt tillförlitliga metoder av "accelererad" typ. Dagens metoder kan inte ge besked om livslängd men tjänar som hjälpmedel vid utveckling av nya material och produkter."

Av ovanstående citat framgår att man i varje fall inte kunde besvara frågorna varken 1960, 1971 eller 1976. Detta har dock som framgått ovan inte nämnvärt lagt någon hämsko på utvecklingen. Orsaken syns ligga i de många fördelar PoG-material gett vid nybyggnadstillfället. Samtidigt som man kunnat bygga tätare och mer välisolerade hus /5/ har man kunnat hålla tillbaka kostnadsökningarna genom minskad materialförbrukning och enklare och snabbare arbetsutförande med billigare produkter.

Tills helt nyligen har huvuddelen av alla ång- och vindspärrar tillverkats av ostabiliserad lågdensitetspolyeten (LDPE). I samband med mitt forskningsarbete vid Polymergruppen vid Chalmers Tekniska Högskola kom jag år 1974 mer av en tillfällighet att misstänka att ostabiliserad LDPE vid rumstemperatur förändras avsevärt (krackelerar) på ca 10 år. Stickprovundersökningar i byggnader visade att mina misstankar var befogade. Då förhållandet blev känt reagerade några seriösa företag snabbt och utvecklade produkter med adekvat stabilitet. I Sveriges Plastförbunds byggnadssammanslagning regi startades också nästan omedelbart ett arbete som ledde fram till den verksnorm /6/ som ligger till grund för dagens typgodkända produkter med uppskattade livslängder på 40-80 år, beroende på temperaturförhållandena.

Enligt min uppfattning finns det idag inga skäl att inte kritiskt granska beständighetsförutsättningarna för det stora flertalet PoG-produkter som utnyttjas för krävande applikationer i byggnadssammanhang. Rapporterna om oroväckande ökade förvaltningskostnader för 1960- och 1970-talshusen talar också sitt tydliga språk /7, 8/. Det räcker idag inte med att som tidigare slå fast att kunskaperna är otillräckliga. Om vi inte vill riskera framtida ekonomiska "baksmällor" av kolossalformat måste det med all sannolikhet mödosamma arbetet att ta fram nödvändig kunskap och metodik startas omedelbart. BFR har också ställt medel till förfogande som tillsammans med statens provningsanstalts (SP) egen satsning möjliggör att en sådan kunskapsuppbyggnad kan påbörjas.

Föreliggande rapport utgör en sammanställning av dagens kunskapsnivå inom området. För att så långt som möjligt ge förutsättningar för att kunna "stämna i bäcken i stället för i ån" har jag utgående från dagens kunskaper även sökt anvisa vägar till framtagande av temporära beständighetskrav så att åtminstone de minst beständiga produkterna skall kunna undvikas i byggproduktionen.

2 AVSIKT MED PROJEKTET

Framtagande av förslag till bästa möjliga temporära beständighetskriterier för PoG-material som utnyttjas i dagens svenska byggproduktion.

3 METOD

Litteratursökning och litteraturgenomgång kompletterad med studiebesök hos eller korrespondens med ett stort antal statliga institutioner, forskningsinstitut och enskilda forskare i USA, Kanada, Schweiz, Tjeckoslovakien, Frankrike, England, Holland, Västtyskland samt de nordiska länderna. (Studiebesöken i USA, Frankrike och det ena i Holland har inte bestri- dits med medel ur projektet. Resultaten har dock in- lemmats här så att en så komplett bild som möjligt skall erhållas.) Dessutom har kontakt tagits med ett flertal industriföretag i Sverige, Norge, Finland, Holland och Schweiz. I samtliga fall har man väl- villigt delat med sig av erfarenheter inom området.

Med undantag för Västtyskland där mer givande besök säkerligen kunde skett vid ett par andra institu- tioner syns de etablerade kontakterna sammantagna representera den kunskap som idag finns beträffande beständighet hos PoG-materialen inom vår klimatzon.

4 PoG-MATERIALENS BESTÄNDIGHET -
EN KORTFATTAD ORIENTERING

Trots att många PoG-material nu har över 25 år på nacken får de ändå betecknas som unga i byggsammanhang, där man för bärande eller svåråtkomliga byggnadsdelar är van vid att kräva funktionsduglighet uppåt 50-60 år.

Med en lite respektlös liknelse kan vi säga att de traditionella materialen är gamlingar med väl kända förtjänster, brister och begränsningar medan PoG-materialen är i tonåren med allt vad det innebär av uppkäftighet, nytänkande och friskhet men också av inneboende osäkerhet.

Varför då denna osäkerhet även när det gäller tidsperspektiv i storleksordningen 10-20 år? Materialtypen har ju i vissa fall funnits med i över 25 år och man borde därför kunna ta reda på beständigheten genom att göra fältundersökningar. Orsaken är att det plastmaterial av en viss typ som används idag bara i undantagsfall är komponerat likadant som för 25 år sedan. Ett PoG-materials beständighet är i lika hög grad beroende av sina tillsatser som av baspolymeren. Om då baspolymeren genomgått ett par ordentliga modifikationer och dessutom får en serie nya tillsatser förstår man att slutsatser om hur tidigare material uppfört sig inte behöver gälla dagens produkter. Detta framhålls oftast med skärpa då det gäller att motivera fortsatta satsningar inom ett område där man tidigare haft dåliga erfarenheter. Omvändningen gäller dock i lika hög grad i de fall man "utvecklat" en gammal beprövad komposition. Nya, billigare eller mindre hälsovådliga tillsatser kan försämra andra egenskaper.

De problem vi har idag när det gäller att prognostisera framtida beständigheter beror alltså inte i första hand på att vi inte kan ta reda på beständigheten hos gårdagens material utan på att de i många fall utvecklats så kraftigt att erfarenheterna inte gäller dagens produktion. Först när utvecklingen av ett PoG-material avmattats eller om man tvingar fram en lösning av en komposition och väntar tillräckligt länge kan man erfarenhetsmässigt få en möjlighet att förut säga livslängder. Finns det då ingen annan metod att tillgripa än att vänta och se i 50 år?

4.1 Accelererad åldring

Aldrings- och nedbrytningsproblematiken är inte ny inom PoG-området - tvärtom. För de allra flesta av våra idag "stora" material fick man omedelbart starta projekt för att lösa beständighetsfrågor. Några gick inte ens att upphetta till de nödvändiga bearbetnings-temperaturerna, andra krackelerade efter bara några månaders användning.

Efter intensiva satsningar, många gånger på "trial and error" och forskning parallellt, har den råvaru-producerande industrin kunnat lösa de akuta problemen och produkterna har kunnat föras till kommersiella framgångar. Denna praktiska nödvändighet har varit den kanske viktigaste faktorn till framtagandet av kunskap om PoG-materialens nedbrytning.

Mycket arbete har även gjorts vid universitet och högskolor. Det som främst verkat utmanande för forskarna är att de allra flesta polymerer är mycket mindre stabila än vad deras nominella struktur implicerar. Ett annat område som fångat stort intresse är utredningen av hur stabiliserande ämnen verkligen fungerar och utvecklingen av nya stabilisatorer.

De här omfattande kunskaperna har kunnat utnyttjas på ett flertal olika sätt, bl a till att förbättra baspolymerernas struktur ur beständighetssynpunkt, ta fram nya mer effektiva stabilisatorsystem, göra motsatsen - snabbnedbrytbar plast samt att finna fram till accelererande åldringsmetoder, som kan förutsäga livslängden några få år.

Den principiella strategin vid framtagandet av en accelererad åldringsmetod är att man först gör klart för sig under vilka förhållanden produkten skall användas. Sedan söker man finna fram till vilka faktorer i den miljön som påverkar materialet. För att accelerera nedbrytningen förstärker man faktorerna, t ex höjer temperaturen, ökar ljusintensiteten, höjer syrgashalten, drar isär eller trycker ihop.

Följande exempel kan belysa hur man resonerar sig fram. I Tabell 1 ges en översikt över de vanligaste nedbrytningsbefrämjande miljöfaktorerna.

TABELL 1 Miljöfaktorer som ofta orsakar nedbrytning hos plast- och gummimaterial

UV- och synligt ljus

Värme

Kyla

Mekaniska påkänningar (medvetet pålagda)

Vind, snö, hagel, sand och is

Syre (vanligt tripplett och singlett)

Ozon (O₃) och andra luftföroreningar

Vatten (+ lösta ämnen)

Kontakt med andra flytande och fasta ämnen

Mikroorganismer, djur och växter

Beroende på miljön, exempelvis nedgrävd djupt i jorden, inbyggd i inomhusvägg eller uppe på tak, försöker man sedan skala bort så många faktorer som möjligt för att reducera antalet parametrar. Vi kan se att om vi sätter in vårt PoG-material uppe på ett tak och dessutom har det som en komponent i en solfångare kan vi inte göra en enda inskränkning. En verkligt påfrestande miljö alltså och utomordentligt komplicerad att accelerera. I inomhusväggen har vi rimligtvis varken ljus, kyla, oväder, vatten eller djur varför situationen förenklas betydligt. Långt ned i jorden kan man ytterligare minska antalet faktorer.

Sedan man inskränkt sig så långt man vågat utgående från miljöbeskrivningen söker man skära ned ytterligare med ledning av de kunskaper som föreligger om det aktuella materialet. De kvarvarande faktorerna förstärks sedan så mycket man vågar för att korta ned tiderna. I seriösa undersökningar har sedan förutsägelserna följts upp genom fortlöpande jämförelse med verkligt åldringsbeteende.

4.1.1 Accelererad utomhusåldring

Naturligtvis har trycket på produktutvecklaren att verkligen söka jämföra naturlig med accelererad åldring ökat kraftigt ju snabbare den aktuella produkten bryts ned i sin tilltänkta användning. Eftersom de flesta omodifierade PoG-material redan efter några månader utomhus påverkas kraftigt är det naturligt att detta område kommit att bli föremål för de största ansträngningarna. I stort sett har man valt två olika vägar att åstadkomma snabbare förlopp. Det ena är att provet sätts i ett ökenområde med stor solinstrålning och höga temperaturer, t ex Arizonaöknen i USA eller i mycket fuktigt och varmt klimat som t ex Florida. Det andra har varit att

ta fram laboratorieutrustningar med artificiell "sol" och möjlighet att utsätta proven för olika fukthalter, vattenbegjutning, temperaturer, luftföroreningar, t ex SO_2 , NO_2 och ozon. Dessa utrustningar kallas ofta "weatherometrar" (WOM), som egentligen är en tillverkarens varumärke.

I Figur 1 visas typexempel på spektralfördelningen för olika ljuskällor jämfört med solinstrålningen på våra breddgrader. Det framgår tydligt att ljus från Xenonlampor som filtrerats på lämpligt sätt kommer den naturliga solinstrålningen närmast. Denna typ av ljuskälla är också den dominerande i dagsläget. Eftersom utrustningarna ger så stora möjligheter för variationer av de olika nedbrytningsparametrarna fann man snabbt att normeringsarbete var helt nödvändigt om jämförbara resultat skulle kunna erhållas vid olika laboratorier. De i Sverige mest utnyttjade exponeringscyklerna bygger på ASTM- och DIN-normer.

Inga normer eller standarder finns dock som utlovar någon viss livslängd baserad på resultat från accelererad utomhusåldring eller weatherometeråldring.

4.1.2 Beständighet inomhus

I de allra flesta fall förbättras PoG-materialens stabilitet avsevärt när de slipper utomhusklimatets många påfrestningar. Naturligtvis fick man även här snabbt problem när produkter utnyttjades vid högre temperaturer, i fuktiga miljöer eller under mekanisk påkänning, men i många fall fungerar åtminstone plastprodukter väl under de 5-6 år då man fortfarande känt behov av att kontrollera beständigheten. När det gäller gummisidan har man inte kunnat känna sig lika säker. Det går lätt att hitta exempel på gummiprodukter, som t ex gummiband och laboratorieslangar, vilka redan efter några år blivit odugliga. På plastsidan har man emellertid invaggats i tron att om inte miljön varit speciellt påfrestande håller plastmaterialen "hur länge som helst". Denna känsla har varit avgörande för dagens situation vad beträffar praxis för utnyttjande av plast i bygge.

Med några få undantag, som kommer att behandlas senare, gör man idag inga som helst ansatser att testa produkterna annat än i nyskick. Varken råvaruproducenter, bearbetande industri, byggproducenter eller beställare har känt något behov av att gardera sig inför framtiden. Om torrt trä står sig i några hundra år, varför skulle då inte de nya materialen göra det också?

5 ERFARENHETER OCH SYNPUNKTER PÅ PoG-MATERIALS
BESTÄNDIGHET - UPPLYSNINGAR SOM LÄMNATS AV
KONTAKTADE PERSONER

Det är lätt att finna motiv för en hel rad olika sätt att presentera ett material av denna karaktär. Att följa produktgrupp eller baspolymer kan ur vissa synpunkter te sig naturligt. När jag efter stor tvekan trots allt har valt alternativet att presentera materialet land för land, kommer det sig av att det bör ge den bästa bilden av vilka institutioner som tagit hand om frågor av den här typen i de olika länderna och omfattningen av verksamheten ger en uppfattning om hur betydelsefullt man ansett området vara.

5.1 England

5.1.1 Kontakter

Building Research Establishment (BRE), Watford.
Studiebesök 79-06. Drs. D. B. Honeyborne, J. W. Forest och J. R. Crowder.

The Agrément Board (a.b.), Watford.
Studiebesök 79-06. Drs. S. I. Kelly och M. S. Oliver.

Materials Quality Assurance Directorate, Ministry of Defence, London.
Korrespondens. Dr. G. L. Palmer.

Propellants, Explosives and Rocket Motor Establishment, Ministry of Defence, Waltham Abbey.
Korrespondens och samtal vid konferens i Prag 79-07.
Dr. D. Davis.

University of Aston in Birmingham, Birmingham.
Samtal vid ett flertal tillfällen, senast i Prag 79-07. Prof. G. Scott.

Vid BRE hade under de gångna två decennierna stora insatser gjorts för kunskapsuppbyggnad beträffande naturlig och accelererad utomhusåldring av främst plastmaterial. Gruppen hade under lång tid omfattat ca 15 personer. På de statliga inskränkningarna består den nu förutom gruppleddaren Honeyborne av 1,5 personer sedan Forest tillträtt en industriebefattning. Förre gruppleddaren Crowder hade fått ta sig an byggproblem i mellanöstern och överförts till en annan avdelning.

Eftersom UP används flitigt som ytskikt utomhus på "prestigebyggnader" och i militära anläggningar hade huvudinriktningen skett mot denna plasttyp. Betydande insatser har även skett för styv PVC som i England inte bara förekommer utomhus som vägg- och takbeklädnad utan även i de kända utomhusliggande rörsystemen.

Utomhusåldringen hade skett vid en egen station i Watford. Ett stort antal metoder för att prognostisera livslängder utomhus hade prövats, bl a alla hittills tillgängliga kommersiella utrustningar samt egna konstruktioner. Trots att en mängd material visat korrelation "i efterhand" mellan naturlig och accelererad åldring, ansåg man inte någon metod rimligt säker för prognos av livslängden hos UP och styv PVC. Däremot hade man fått betydande praktisk kunskap om hur UP-produkter skall utformas och tillverkas för att uppnå långa livslängder vid utomhus-exponering. Man betonade särskilt efterhärldningens och täckande gelcoatskiktets betydelse.

5.1.2 The Agrément Board (a.b.)

a.b. är en endast 13 år gammal kopia på en fransk organisation som ursprungligen var ett organ för försäkringsbolagen i Frankrike. Denna organisation hade som uppgift att bedöma byggnaders konstruktion och kvalitet ur försäkringsgivarsynpunkt. Nuvarande verksamhet kan liknas vid typgodkännandedelen hos Planverket. Liknande organisationer finns även i övriga EG-länder. Dessa bildar tillsammans European Union of Agrément (UEAtc) vars huvudsyfte är att verka för enhetliga kravnivåer inom EG på byggområdet. Genom kontakten med a.b. erhöles information om hela UEAtc's verksamhet inom polymerområdet.

"Godkännandena" (assessments) från a.b. som speciellt är till för nya produkter måste förnyas vart tredje år och meningen är att de inte skall behövas längre när British Standards Institution utfärdar en standard på produkttypen ifråga.

Liksom BRE var a.b. i ett utsatt läge. Hittills hade de haft ett 50 % stöd från statsmakterna, resten finansierades från industrin genom "typgodkännandeverksamheten". Nu krävde regeringen en 100 %-ig kostnads-täckning från industrihall.

De laborativa resurserna var enkla och utgjordes nästan uteslutande av provningsutrustningar för mätningar enligt standardförfaranden. Ett undantag utgjorde insatser för provhusbyggande i halvstor skala. Man "byggde in" aktuella produkter med vanlig teknik och gjorde fackmannamässiga bedömningar om hur funktionsdugligheten var.

Trots de begränsade resurserna hade man ägnat åtskillig tid åt strategiskt tänkande vid accelererad åldring. Man kom med många värdefulla synpunkter inom detta område men hade inga prognosmetoder att rekommendera eftersom man ansåg kunskaperna otillräckliga.

UEAtc-normer hade antagits för fogmassor, UP och styv PVC i utomhusapplikationer. Kravnivåerna i dessa tas upp i samband med övriga normer nedan. Man hade själva inlämnat ett normförslag beträffande taktäckningsfolier av bitumen/gummiblandningar.

5.1.3 Ministry of Defence

Palmer anser att särskilda samband mellan naturlig och accelererad utomhusåldring måste etableras för varje enskild materialkvalitet.

Beträffande accelererad åldring har Davis samma uppfattning som Palmer. Davis betonade också de stora skillnader som erhålls vid naturlig åldring till "samma stråldos" på olika geografiska lokaliteter. Han misstänker att detta till stor del beror på att stråldosen mäts på ett inadekvat sätt. Davis har därför startat en serie försök där ljuskänsliga plastmaterial (polysulfon och polyoxymetylen (POM)) används som dosimetrar. Vi deltar för närvarande i en sådan försöksserie på SP i Borås.

Enligt Davis uppfattning är accelererad åldring generellt sett svår att genomföra. Som exempel nämnde han att de trots avsevärda ansträngningar misslyckats med ett flertal limtyper trots att man i det fallet enbart hade haft temperatur och fukthalt som nedbrytningsfaktorer.

5.1.4 University of Aston in Birmingham

Prof. Scott tillhör den lilla kretsen av framstående forskare vad beträffar nedbrytning och stabilisering av PoG-material. Hans monografi "Atmospheric Oxidation and Antioxidants" som kom 1965 /19/ innebar en översikt och sammanfattning som varit viktig för den senare utvecklingen på området, bl a därför att han hade djupgående erfarenheter från både plast- och gummisektorerna. Under senare år har Scott koncentrerat sig på mekanismerna för fotonedbrytning och stabilisering i PoG-material. Han har även utvecklat metodik för snabbnedbrytbar plast.

Scott ansåg att accelererad åldring (även utan inverkan av ljus) där man enbart studerar förändringen av mekaniska egenskaper för bl a vulkaniserat naturgummi och SBR var mycket problematisk. Beträffande accelererad utomhusåldring var han mycket tveksam till de kvantitativa resultaten. Däremot ansåg han att man kunde få fingervisningar om olika materials stabilitet på detta sätt.

5.2 Frankrike

5.2.1 Kontakter

Deltagande i konferensen "Journées d'études sur les plastiques dans les applications solaires" i Paris 1979-06. (Kostnaden betald av SP.) (Beständighetsproblematiken var central på konferensen varför många forskare med denna inriktning deltog, bland dem Dr. P. Eurin som enligt de uppgifter jag fått fram skulle vara Frankrikes främste expert på området.)

Division Physique des matériaux vid Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), avdelningen i St-Martin-d'Hères. Samtal i Paris 1979-06 och senare korrespondens med Dr. P. Eurin.

5.2.2 Solfångarkonferens i Paris

P. le Vaguerese slog fast att det idag inte finns någon accelererad åldringsmetod varken för hela solfångare eller komponenter där resultaten kan relateras till verklig användning.

P. Eurin (CSTB) uppgav att man börjat arbeta på problemet. Han uppgav också att de franska myndigheterna vill att solfångarna skall ha en livslängd på minst 10 år.

Cadiergues från C.O.S.T.I.C. varnade för stora bakslag vid en utökad satsning på solfångare, om man inte kan garantera hyggliga livslängder. Det har varit för många problem hittills. Låt oss vänta tills produkterna hunnit åldras naturligt.

C. Thelamon från Laboratoire de Recherches et de Contrôle du Caoutchouc gav en översikt beträffande olika gummimaterials egenskaper. I detta sammanhang lämnade hon också de uppgifter som står i Tabell 2 beträffande kontinuerlig användningstemperatur och korttidsanvändningstemperatur.

TABELL 2 Sammanställning av användningstemperaturer för olika gummidmaterial enligt C. Thelamon

Gummityp, Beteckning	Kontinuerlig användnings-temperatur (°C)	Maximal användningstemperatur för korta tider (°C)
Naturgummi, NR	70	
Styren-butadiengummi, SBR	85	
Kloroprengummi, CR	90	
Eten-propengummi, EPM	100	150
Eten-propen-diengummi, EPDM	100	150
Butylgummi, IIR	100	150
Polyuretangummi, PUR	100	130
Klorsulfon-eten-gummi, CSM	120	150
Polysulfidgummi, T	120	150
Klorpolyeten, CM	140	175
Silikongummi, Q	200	370

Kontinuerlig användning uppgavs på min fråga motsvara "several years" och korttidsexponering "a few days". Värdena är naturligtvis angivna för så optimalt utformade recept som möjligt, men jag ställer mig ytterst tveksam till uppgifterna som jag anser vara alltför optimistiska.

Perrier från CSTB och M. Juillard från ISO behandlade plaströr i ett gemensamt anförande. Trycktestning skedde vid ca 20 °C högre temperatur än den avsedda användningstemperaturen i upp till 3,5 år. De ansåg sig ha tillförlitliga metoder att förutsäga långtidsbeständighet vid användningstemperaturen ur dessa data.

Dr. L. Rechner från Conservatoire National des Arts et Metiers (C.N.A.M.) redogjorde för resultat från utomhusåldring av olika plastmaterial som pågått sedan 1965. (PMMA samt svartpigmenterad HDPE, EPDM och IIR hade klarat 10 år utomhus någorlunda acceptabelt, medan UP, PALL, PP, PVC (hård), ABS, PC, brun EPDM och brun IIR hade fallit igenom.) Han hade inte sökt korrelation med någon accelererad åldringsmetodik.

5.2.3 Division Physique des Matériaux vid CSTB

Dr. Eurin leder en grupp med ca 15 medarbetare vars huvuduppgift är att utveckla accelererade metoder för åldring av material som utnyttjas inom byggnadstekniken. I Tabell 3 ges en schematisk översikt över under 1979 pågående eller nyss avslutade problemställningar inom PoG-området.

TABELL 3 Sammanställning av användningsområden, PoG-material och typ av testning som undersökts vid CSTB

Produkttyp	Material-kategori	Typ av undersökning
Plana solfångare	PC, PMMA, UP, PVC, PVF, PTFE, PA, PP, PB, Färg och lack, Fogmassor, Q, IIR, EPDM, PS-skum, PUR-skum, PF-skum, UF-skum	Naturlig åldring i solfångare. Temperaturregistrering i solfångarnas olika delar
Vägg- och takbeklädnad	Styv PVC	Naturlig och accelererad åldring. Utveckling av ny metodik för mekanisk testning som bättre skall motsvara kritiska egenskaper.
-	UP	Utmattning i olika miljöer
-	Gummimaterial	Utomhusexponering
Taktäckningsmaterial	Mjuk PVC	Ugnsåldring vid 70, 80 och 100 °C upp till 16 månader. Weatherometeråldring upp till 9000 h.
-	SBS-bitumenblandningar	Ugnsåldring upp till 6 månader

Som framgår av Tabell 3 satsar man vid CSTB, liksom i de allra flesta forskargrupper världen över, på utomhusåldring. Trots sina stora satsningar hade man inte lyckats få fram relevant accelererad åldringsmetodik

för "okända" material. Däremot ansåg man sig ha stor "know-how" då det gällde att prognostisera livslängden för ett nytt material med känd sammansättning om man hade tillgång till ett mycket likartat material med känd livslängd (referensmaterialmetodik).

5.3 Holland

5.3.1 Kontakter

Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), Organization for Industrial Research, Division of Technology for Society, Department of Physics, Delft.
Studiebesök 1979-06.

Drs. P. Vink, J. Heijboer och L.C.E. Struik.

AKZO Research Laboratories, Department CRU, Arnhem.
Studiebesök 1979-04 (bekostat av SP).

Drs. G. Giezen och D. J. Goedhart.

DSM, Research and Patents, Geleen.
Studiebesök 1979-04 (bekostat av SP).

Drs. E. Duynstec, J.M.A. Jansen, E. Konijnenberg, S. E. Schaafsma och J.A.J.M. Vincent.

5.3.2 TNO

TNO är en mycket stor forskningsorganisation som arbetar på fyra huvudområden - försvar, jordbruk, medicin och industri. (Hollands FOA, Studsvik, SP, Alnarp osv, allt i ett.)

Inom Department of Physics finns en grupp som ägnar sig åt studiet av sambandet mellan polymerers struktur och egenskaper. Inom gruppen finns två olika inriktningar. Sedan 20 år tillbaka är man en av världens ledande grupper vad beträffar studiet av fysikaliska förändringar i plaster utan observerbara förändringar i kemisk struktur vid olika typer av mekaniska påkänningar (fysikalisk åldring). Resultatet och experimentella metoder har nyligen sammanfattats av Struik i en monografi /20/. Man anser att den fysiska åldringen är mycket viktig för bl a styv PVC. Ett problem är att studierna kräver mycket dyr och komplicerad apparatur.

I vissa fall hade man lyckats bra med acceleration av den fysikaliska åldringen, i andra fall förekom problem. De startade nu ett omfattande projekt som gällde sprickbildning och brott på PVC- och PE-rör för gasdistribution vilket är mycket aktuellt i Holland.

Dr. Vink ledde verksamheten beträffande kemisk åldring. Man har speciellt ägnat sig åt accelererad utomhusåldring av PP och PE. Vink har bl a kunnat visa (det i sig tämligen triviala) att olika UV-

stabilisatorer kan ha olika verkningssätt i samma polymer (PP) men också att samma UV-stabilisator kan ha olika verkningssätt i två så lika polymerer som PE och PP. Detta visar på svårigheten att dra generella slutsatser i åldringssammanhang.

Vink har funnit att inte bara mängden UV-strålning har en avgörande betydelse för nedbrytningshastigheten utan även temperaturen. Han anser därför att man vid accelererad åldring bör använda både en serie ljusintensiteter och temperaturer. Ur de då erhållna aktiveringsenergierna bör sedan förutsägelser om livslängd kunna göras vid specificerade verkliga klimatförhållanden. Han hade konstruerat en speciell reaktor där UV-belysning skedde vid kontrollerad temperatur i syrgasatmosfär. Han mätte sedan syrgasupptagningen som funktion av tiden. Även om metodiken har klara begränsningar, bl a eftersom inverkan av fukt inte kan studeras, innebär den ett intressant nytänkande som kan förutses få stor betydelse för framtida utveckling av accelererad metodik för utomhusåldring.

5.3.3 AKZO

AKZO är en stor kemikoncern med en omsättning av i storleksordningen 10 miljarder HFL. En stor produktgrupp är fibrer av rayon, PA och polyester. Nyligen har man även startat produktion av en ny produkttyp fenoliska antioxidanter (AO).

Kunskaper om accelererad åldring av fibrerna saknades. Man litade till erfarenhetsåterföring. Ingenting hade gjorts för att testa AO-erna i verkliga långtidförsök. Utvecklingen av dem hade skett enbart genom jämförelse av deras stabiliseringsförmåga med existerande produkters vid ca 100 °C över användningstemperaturen för aktuella plastmaterial.

5.3.4 DSM

DSM är Hollands största baspolymerproducent och framställer bl a PP, PE och EPDM. DSM anses ledande i Europa vad beträffar EPDM.

Man uppgav att man inte satsat på någon kunskapsuppbyggnad beträffande någon baspolymers långtidsegenskaper utan detta ansågs vara en fråga för bearbetarna eftersom de i stor utsträckning själva compounderar sina produkter.

För EPDM ansåg man rent generellt att vulkaniseringen sällan är helt avslutad då produkten lämnar bearbetaren och att man måste beakta detta faktum vid åldringsstudier.

5.4 Kanada

5.4.1 Kontakter

National Research Council (NRC) of Canada, Ottawa
Korrespondens med Dr. A. Blaga och H. O. Laaly.
Samtal i samband med konferenser med Dr. D. J.
Carlsson och D. M. Wiles.

University of Toronto, Toronto
Samtal vid konferens med Prof. J. Guillet

Dr. Blaga har genomfört omfattande undersökningar be-
trräffande både utomhusexponering och weatherometer-
testning av glasfiberarmerad polyester (UP) och poly-
karbonat (PC) under det senaste decenniet. Resulta-
ten har redovisats i en serie publikationer /9-17/.

För vissa material erhöles en god korrelation mellan
utomhusexponerade prov och de weatherometeråldrade.
I andra visade sig nedbrytningsförloppen bli väsent-
ligt skilda. Man har även studerat temperaturvaria-
tioner hos utomhusexponerad styv PVC i olika kulörer
under flera år. Maximalt uppmätta temperaturen var
ca 60 °C.

Dr. Laaly har ägnat sig åt tätskikt speciellt för
taktäckningsändamål. Arbetet har omfattat en mängd
olika materialtyper inom området bitumen - PoG-
material. Arbetet har lett fram till ett omfattande
normarbete inom Canadian Government Specifications
Board. Som exempel på beständighetskrav kan nämnas
att för taktäckningsmaterial av mjuk PVC /18/ tillå-
ter man små egenskapsförändringar efter 600 h
weatherometeråldring. Detta måste anses som ett
mycket blygsamt krav.

Guillet, Carlsson och Wiles tillhör samtliga världens
ledande forskare vad beträffar fotonedbrytning
och UV-stabilisering av främst PE och PP. Guillet
tillhör även dem som på grundval av forsknings-
resultaten kunnat utveckla "snabbnedbrytbar plast".
Dessa forskare har dock inte kunnat lämna några
upplysningar på temat naturlig kontra accelererad
åldring.

5.5 Schweiz

5.5.1 Kontakter

Ciba-Geigy AG, Division Kunststoffe, Anwendung und
Additive, Basel.

Studiebesök (rekommenderat av Prof. D. Braun,
Deutsches Kunststoff-Institut, Darmstadt) 1979-06.
Drs. K. Berger, R. Heiniger, U. Kammer, P. Kiernan,
H. Linhart, Pedrazetti och K. Schwarzenbach.

Ciba-Geigy är en av de ledande producenterna av stabilisatorer för PoG-material. Eftersom tillsats av stabilisatorer alltid innebär en ökning av produktkostnaderna gäller det att så övertygande som möjligt kunna påvisa olika produkters effektivitet. Detta förhållande utgör bakgrunden till Ciba-Geigys mycket stora satsningar beträffande naturlig och accelererad åldring.

Berger gav inledningsvis en bred översikt över situationen beträffande naturlig och accelererad utomhusåldring av polymera material. Framställningen följde nära översikten i referens /21/.

5.5.2 Utomhusåldring

Berger var övertygad om att de accelererade testerna var nödvändiga för produktutvecklingen men betonade samtidigt den stora osäkerheten som föreligger vid all nuvarande accelererad åldring. Man finner dålig överensstämmelse på alla plan.

1. Olika weatherometerutrustningar accelererar inte likformigt. De hade testat ett stort antal kommersiella utrustningar (Xenotest 150, 450 och 1200 samt Weather-O-Meter 600 WRC) och jämfört tiden till en viss egenskapsförändring. För ett antal PS- och UP-prov erhöll man så till exempel att 1 tidsenhet i Xenotest 1200 motsvarades av från 0,6 till 3,4 tidsenheter i Xenotest 150.
2. Olika klimat åldrar olika produkter olika snabbt. För en styv PVC hade man enbart förändrat stabilisatorsystemet och åldrat i Arizonaöknen i USA, någon varm och fuktig plats i Sydafrika samt i Basel. Den Ba/Cd-stabiliserade produkten nedbröts snabbt i Arizonaöknen, mitt emellan i Afrika och långsamt i Schweiz. Åldringen verkade följa solinstrålningen.

Den tennstabiliserade produkten däremot nedbröts snabbast i Sydafrika och ungefär lika snabbt i Schweiz som i Arizonaöknen. - Här är sambanden svårare att separera men fukten spelar sannolikt en viktig roll.

Slutsatsen blir dels att relevant accelererad utomhusåldring överhuvudtaget är svår att nå, dels att man överlag lika gärna kan utnyttja en weatherometer på laboratoriet som att exponera i stekande sol eller tropiskt fuktiga klimat.

Svårigheterna att uppnå korrelationer som gäller generellt för utomhusåldring är avsevärda. En första förutsättning ansåg man vara att ljusets spektral-fördelning, temperatur och fuktighetsförhållanden skall kunna fås att efterlikna det verkliga klimatet. Idag är man fortfarande långt från denna möjlighet.

Trots alla problem med korrelation hade man kommit fram till vissa tumregler som stämde för många "vanliga" plastmaterial. För vår klimattyp var de:

1 kilolangley ($1 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{år}^{-1}$) solinstrålning motsvaras av:

25-30 h i Xenotest 150

35-45 h i Xenotest 450

15-20 h i Xenotest 1200

12-18 h i Weather-O-Meter 600 WRC

För stora delar av Sverige har vi omkring 70 kilolangleys.

5.5.3 Åldring i mörker

Schwarzenbach redogjorde för erfarenheterna på området. Hans redogörelse följde i alla väsentliga delar hans bidrag i en nyutkommen bok /22/. Schwarzenbach hade sammanställt ett mycket stort material som huvudsakligen byggde på förändringen i mekaniska egenskaper efter ugnsåldring. För traditionellt stabiliserade produkter hade man funnit de reaktionshastighetsförändringar med temperaturen (Arrheniusfaktorer) som redovisas i Tabell 4.

TABELL 4 Sammanställning av Arrheniusfaktorer som erhållits av Ciba-Geigy vid termo-oxidativ nedbrytning i luft vid ugnsåldring

Plastmaterial	Arrheniusfaktor per 10°C	Temperaturintervall ($^\circ\text{C}$)
PP - tjock film	2,5	125-150
PP - tunn film	2,2	90-125
PP	går mot 2,0	90 \rightarrow rumstemp
Slagseg PS	2,0 \pm 0,2	80-160
ABS	2,4 \pm 0,2	160-200
ABS	går mot 2,0	\rightarrow rumstemp
POM	3,0	120-150

Man ansåg vidare att PS-skum var mycket stabilt kemiskt om det ej utsattes för väder och vind. Däremot förekom fysikaliska åldringsfenomen. PUR-skum hade man inte lyckats finna någon ens ungefärlig accelererad åldringsmetodik för trots att ansträngningar gjorts vid flera tillfällen.

Erfarenheterna var ringa beträffande åldring inom produktgrupperna lim, tätningmassor och mjuk PVC.

5.6 Tjeckoslovakien

5.6.1 Kontakter

G. V. Akimov's State Research Institute for the Protection of Materials, Prag.
Korrespondens och samtal 1979-07 med Dr. B. Doležel.

Institute of Macromolecular Chemistry, Czechoslovak Academy of Sciences, Prag.
Mångårig kontakt, senast 1979-07 med Prof. J. Pospíšil och Dr. J. Kovářová.

Doležel har nyligen utgivit en omfattande monografi om PoG-materials beständighet /23/. Boken behandlas senare i samband med övrig aktuell litteratur. Inga upplysningar erhöles utöver de som finns redovisade i boken.

Prof. Pospíšils grupp har länge varit ledande då det gäller studiet av de transformationsprodukter som uppstår då UV-stabilisatorer förbrukas i PoG-material. En översikt av arbetet ges i Pospíšils kapitel i referens /24/.

Trots djupgående kunskaper om reaktionsmekanismer och deras beroende av olika faktorer har dessa kunskaper inte hittills utnyttjats för korrelation mellan naturlig och accelererad utomhusåldring. Pospíšil och Kovářová är dock mycket positivt inställda till samarbete, om vi vill dra nytta av deras erfarenheter.

5.7 Västtyskland

5.7.1 Kontakter

Deutsches Kunststoff-Institut, (DKI), Darmstadt.
Studiebesök 1979-06. Prof. D. Braun (chef för DKI), Dr. Holzer, Dipl.ing. Sonderhof, Dipl.ing. Bardenheier.

Före min avresa hade jag, bl a genom telefonkontakt med Prof. Braun, sökt få uppgift om lämpliga institutioner att besöka i Västtyskland. Han hade emellertid inga andra förslag än sitt eget institut. Han rekommenderade dock besök hos några stora råvaru-

producenter. Då det krävs åtskilligt av personkontakter om man skall få ut annat än "reklamsnack" och god mat av sådana besök, avstod jag från dem i Västtyskland.

Beklagligtvis hade man vid DKI mycket liten erfarenhet av livslängdsfrågor. Prof. Braun tillhör de allra främsta vad beträffar PVCs nedbrytning vid bearbetningsbetingelser, men studierna har inte utsträckts att omfatta låga temperaturer. Under de senaste åren hade man börjat ägna sig åt fotonedbrytning. Dipl.ing. S. Kull som lett denna verksamhet var dock på semester vid tidpunkten för mitt besök.

Vid en konferens i Prag 1979-07 fick jag klart för mig att Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ) i Würzburg samt Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) i Berlin sannolikt varit mer givande att besöka.

5.8 USA

5.8.1 Kontakter

National Bureau of Standards (NBS), Gaithersburg, "Polymer Science & Standards Division".
Studiebesök 1978-09 (bekostat av STU och SP).
Drs. D. W. Brown, J. M. Crissman, R. K. Eby (chef), R. E. Florin, J. H. Flynn, R. W. Penn, J. C. Smith och J. L. Zapas.

"Center for Building Technology"
Studiebesök 1978-09 samt senare korrespondens.
Drs. G.J.C. Frohnsdorff och L. W. Masters.

Bell Laboratories, Murray Hill.
Studiebesök 1978-09 samt senare korrespondens (besöket bekostat av STU och SP).
Drs. D. L. Allara, M. G. Chan, H. M. Gilroy, W. H. Starnes, P. C. Warren och F. H. Winslow.

5.8.2 NBS "Polymer Science & Standards Division"

Inom avdelningen arbetade ett flertal grupper. I "Structure & Properties"-gruppen arbetade man på att utveckla modeller för hur plastmaterial påverkas av uni- och biaxiell mekanisk påkänning. Man syftade till att med dessa modeller som underlag kunna utveckla accelererade trycktester för t ex tryckvattenrör. Trots att man är ledande på området ansåg man sig ha långt kvar.

Inom "Stability & Standard"-gruppen fortsatte de flesta på den traditionellt starka linje vid NBS som behandlar nedbrytning vid höga temperaturer i inerta gaser eller vakuum. Dessa undersökningar har dock hittills inte inriktats mot livslängdsuppskattningar vid "vanliga" temperaturer.

Browns relativt nystartade arbeten rörande linjära polyester-PUR anknöt däremot till accelererad åldringsmetodik. Brown hade bl a funnit stora skillnader vid hydrolytisk nedbrytning över och under 50 °C. Detta berodde på att den kristallina smältpunkten för polyestersegmenten låg just i detta temperaturområde.

5.8.3 NBS "Center for Building Technology"

Frohnsdorff och Masters leder var sin grupp "Building Composites" resp "Building Materials" om ca 15-20 medarbetare vardera inom "Structure and Materials Division". Ansvarsområdet innefattade alla icke-metalliska material.

Genom åren har man fått betydande erfarenheter av utomhusåldring. För utomhusexponering disponerar man sju stationer, från Alaska i norr till Puerto Rico i söder. Accelererad åldring skedde i konventionella weatherometerutrustningar. Mycket skiftande korrelationer erhöles beroende på materialtyp. Nyligen hade ett projekt påbörjats som syftade till att utveckla en s k fotokemisk reaktor som man hoppades skulle kunna ge bra korrelation med verkligheten och dessutom korta exponeringstider. Initialresultaten verkade dock enligt min bedömning inte speciellt lovande.

I anslutning till sin forskningsverksamhet har stora litteratursammanställningar gjorts /25-27/. En av dem /26/ ägnas alla de accelererade åldringsmetoder som man utnyttjar i standardiseringssammanhang i USA. Man summerar resultatet:

"Hundreds of test methods have been identified in this report as being available as standards to aid durability predictions of elements and materials used in the exterior envelope of building systems. The large number of available methods may lead to the erroneous conclusion that existing methods are adequate to fulfill the need for durability testing. Actually, very few existing short-term test methods are fully adequate for reliably predicting long-term performance. Because of the shortcomings of existing tests, there is great need for improvement in the technology of durability testing of building elements and materials."

För att få en grund att stå på inför framtida utvecklingsarbete har man utarbetat ett schema för hur ett projekt bör drivas för att leda fram till adekvat accelererad åldring. Schemat har antagits som en "Standard Recommended Practice" av ANSI/ASTM och har beteckningen E 632-78.

Inga insatser hade gjorts beträffande inomhusåldring.

5.8.4 Bell Laboratories

Sedan 25 år tillbaka har Bell, genom Winslow och Hawkins insatser, varit ledande i världen vad beträffar förståelsen av nedbrytningsförloppen och korrelation mellan accelererad och naturlig åldring av polyolefiner. Orsaken till att Bell satsat på denna kunskapsuppbyggnad är rent företagsekonomiska. Man producerar själv de produkter som utnyttjas i det egna telefonnätet och man får därför själv "äta upp" eventuella misstag. Detta är tämligen unikt. Normalt producerar ett företag och ett annat utnyttjar produkten.

Huvuddelen av arbetet har gällt mark- och inomhusförlagda kablar med isolering av PE. En serie olika accelererade metoder har utvärderats mot egen skadestatistik. Fastän gruppen på Bell arbetat utifrån helt andra utgångspunkter och följt förändringen av andra storheter än vad jag gjort i mina arbeten, har vi kommit fram till samma slutsatser vad beträffar accelererad åldring av PE. Temperaturer på maximalt ca 100 °C och utnyttjande av en Arrheniusfaktor på 2/10 °C ger tillförlitliga resultat.

Tyngdpunkten i metodutvecklingen för accelererad åldring hade nu förskjutits mot PVC. PE har nämligen blivit generellt förbjudet i inomhusapplikationer av brandskyddsskäl. Avdunstning och kemiska förändringar av mjukgörarna bedömdes som de mest kritiska punkterna för PVC. Ännu hade man inte utvecklat någon testmetodik för att simulera 10-15 års användning vid rums- eller förhöjd temperatur.

5.9 De nordiska länderna

5.9.1 Kontakter

Selskapet for Industriell og Teknisk Forskning ved Norges Tekniske Høgskole (SINTEF), Trondheim, Norge. Flertal besök under åren och korrespondens. Lic.techn. Per Renolen.

Norges Byggeforskningsinstitutt (NBI), Trondheim, Norge. Telefonkontakt och korrespondens. Siv.ing. Tore Gjelsvik.

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Byggnadstekniska laboratoriet, Esbo, Finland. Telefonkontakt samt samtal i Borås. T f laboratorieföreståndare Tenho Sneck, Dipl.ing. Liisa Rautiainen, Dipl.ing. Juho Saarimaa.

Statens provningsanstalt (SP), Borås.
 Doc Claes Bankvall, Civ ing Gunnar Bergström,
 Fil mag Mats Foghelin, Civ ing Karin Nordin,
 Fil dr Sverker Norrby, Civ ing Åke Ryd, Tekn dr
 P-I Sandberg, Tekn dr Ingemar Samuelsson och
 Ing Göran Spetz.

Försvarets Materielverk (FMV), Stockholm.
 Studiebesök 1979-04 och senare korrespondens.
 Avd dir Holger von Fieandt och Byrådir Nils-Olof
 Rasch.

Studsvik Energiteknik AB, Nyköping
 Studiebesök 1979-06.
 Civ ing Jan Bergman och Civ ing Mats Ifwarsson.

KemaNord, Stockviksverken, Sundsvall
 Mångåriga kontakter samt studiebesök 1979-05.
 Civ ing Jan Bystedt och Siv ing Tor Corneliussen.

Unifos Kemi AB, Stenungsund
 Telefonkontakt
 Civ ing Magnus Boström, Andreas Farkas, Hans
 Johansson, Lars Normark.

Telefon AB L M Ericsson (LME), Stockholm
 Studiebesök 1979-04 och mångåriga kontakter
 Doc Kent Abbås

AB Volvo, Göteborg
 Telefonkontakter
 Civ ing Hans Carlstedt och Inge Klevmar.

Sveriges Elektriska Kommission (SEK), Stockholm
 Telefonkontakt
 Civ ing Tord Lundgren.

Chalmers Tekniska Högskola (CTH), Göteborg
 Mångåriga kontakter
 Bl a Tekn lic Erling Sörvik, Prof Per Flodin,
 Civ ing Thomas Hjertberg, Doc Alf Jergling.

Kgl Tekniska Högskolan (KTH), Stockholm
 Mångåriga kontakter
 Prof Bengt Rånby, Tekn dr Bengt Stenberg,
 Tekn dr Ann-Christine Albertsson.

5.9.2 SINTEF, NBI, VTT och SP

Under åren 1974-77 deltog bl a rubricerade institu-
 tioner i ett omfattande NORDTEST-projekt /28/ som
 ägnades jämförelser mellan naturlig och accelererad
 utomhusåldring. Den naturliga exponeringen skedde
 upp till 20 månader vid stationer runt hela Norden,
 och de accelererade testerna upp till 1500 h. Inte
 mindre än 8 olika kommersiella weatherometervarian-
 ter ingick med både kolbågs- och xenonlampor och
 olika cykler. NBI och VTT hade dessutom med var sin

hembyggd utrustning med kvicksilverlampor och dessutom möjlighet till frostcykler.

Studien visade på stora brister i korrelationen mellan de olika accelererade metoderna sinsemellan och mellan naturlig åldring och de accelererade metoderna. Bäst resultat erhöles med xenonlampor.

Den enda institution som idag vill uttala sig om vad en viss exponering motsvaras av i naturlig åldring är NBI. Man anser att 16 veckor i deras hembygge med cykler om 1 h kvicksilverlampa (svartplåtstemperatur 70°C), 1 h regn, 1 h vid -15°C och 1 h rumstemperatur motsvarar ca 5 års utomhusexponering i "nordiskt" klimat. Bl a på grund av kvicksilverlamporna tror dock ingen tillfrågad utom Gjelsvik själv på en så precis korrelation.

Vi på SP har tillgång till de "senaste och bästa" kommersiella utrustningarna för accelererad utomhusåldring. Erfarenheten har visat att även om hyggliga korrelationer med verklig åldring kan erhållas i många fall, är steget fortfarande oerhört långt till att kunna förutsäga något om en produkts livslängd enbart från en accelererad test. Korrelationer måste etableras för varje enskild produkt.

5.9.3 Sverige (utom SP)

På min förfrågan ansåg samtliga tillfrågade "byggare" att PoG-material som byggs in i konstruktionen bör ha en livslängd motsvarande byggnadens, dvs ca 50 år /2/. Inte i något fall hade dock materialens åldringsegenskaper ifrågasatts, varför heller inga garantier hade begärts.

Att produkter åldras är naturligtvis i och för sig ingen nyhet för byggsektorn. En förstudie som initierats från förvaltningssidan har genomförts av Juhlin, Kylsten och Persson /29/. Denna förstudie behandlar brukstider och livslängder för byggnader och byggnadsdelar. Man redovisar ett stort material, men så vitt jag kan finna, behandlas inga PoG-produkter som inbyggs i konstruktionen. Detta är inte förvånande då sådan inbyggnad har påbörjats så nära i tiden att praktiska erfarenheter ännu saknas.

5.9.3.1 FMV

FMV syns vara ett lysande undantag vad beträffar frågeställningar om livslängd. Sedan lång tid tillbaka har man varit medveten om PoG-materialens bristande beständighet, om inte särskilda åtgärder vidtas. Eftersom man snabbt fann betydande brister hos de existerande accelererade åldringsmetoderna valde man istället att satsa på långtidsförsök med naturlig åldring i aktuell miljö. FMV har därför

idag troligen de bästa kunskaperna inom landet på detta område. Erfarenheterna, speciellt av utomhusåldringen, har presenterats i en serie publikationer /30-35/ som dock fått ringa spridning.

FMVs sätt att angripa problemet är i princip det allra bästa. Emellertid är inte heller det helt problemfritt i verkligheten. Orsaken är att utvecklingen fortfarande är snabb för många PoG-material. Detta innebär att i de PoG-produkter som kan anskaffas idag har kanske baspolymeren genomgått modifieringar och har dessutom i många fall fått en serie nya tillsatser som inte finns i det prov som åldrats. Slutsatser som dragits om tidigare produkter kan alltså behöva en revision som lika gärna kan gå i negativ som i positiv riktning.

5.9.3.2 KemaNord och Unifos Kemi AB

Jämfört med AKZO och DSM i Holland har de stora svenska råvaruproducenterna KemaNord och Unifos varit avsevärt mer engagerade i de slutprodukter som den bearbetande industrin framställt av deras material. Båda företagen har studerat naturlig och accelererad utomhusåldring. KemaNord har också presenterat data om korrelationer för några produkter /36/ i samband med det s k "fönsterprojektet".

I övrigt har långtidsaspekterna nästan enbart kommit in då det gällt plaströr.

5.9.3.3 Plaströr /37/

Till skillnad från nästan alla övriga PoG-produkter som mer eller mindre motståndslöst blivit inkorporeerade i byggproduktionen var man redan från början på sin vakt då det gällde plaströr. Detta har lett till att de flesta rör som utnyttjas idag testas. Tyvärr finns dock idag tre olika instanser som sätter upp olika krav för plaströr. Grovt generaliserat är det så att: SIS-normer finns för tryckrör - SIS-märkning kan erhållas; Planverket har typgodkännanderegler för avloppsrör inuti byggnader - typgodkända rör; "Kontrollrådet för plaströr" ställer krav för markförlagda självfallsledning (avlopp) - KP-godkännande.

Huvuddelen av de krav som ställs och den testmetodik som används är inspirerade från DIN och ASTM men egna insatser har också gjorts, speciellt inom "Kontrollrådet för plaströr" som satsat på kunskapsuppbyggnad kring långtidsbelastning vid markförläggning.

Studsvik Energiteknik har också arbetat på rörsidan, främst med PEX-rör för uppvärmningsändamål. Baserat på tid till läckage har man funnit en Arrhenius-

faktor på 2,2 ggr/10 °C mellan 60 och 80 °C /38/. Detta värde stämmer väl med vad vi fann för LDPE vid utarbetandet av Verksnorm 2000.

5.9.3.4 LME och Volvo

Rubricerade stora företag har sedan lång tid haft ögonen på åldringsproblematiken hos PoG-produkter. Delvis beror detta på att man utnyttjat produkterna i krävande miljöer där försämringar snabbt ägt rum. Man säger sig inte ha generella metoder för korrelation mellan naturlig och accelererad åldring men däremot att man idag med mycket hög träffsäkerhet kan förutsäga beständighet under ca 10 år. Man baserar sig då på erfarenhetsåterföring och referensmaterial med kända åldringsegenskaper.

5.9.3.5 Övrigt

Tord Lundgren vid SEK uppgav att stora kraftkablar förväntas ha livslängder i storleksordningen 40-50 år. Viss utvecklingsverksamhet har skett hos de kabelproducerande företagen med syfte att finna adekvata accelererade åldringsmetoder. Hittills har man inte kommit fram till metodik som man rekommenderar.

Både vid CTH och KTH bedrivs internationellt kvalificerad forskning beträffande nedbrytning av polymera material. För närvarande bedrivs dock ingen aktivitet med syfte att utveckla accelererade åldringsmetoder för PoG-produkter.

6 ERFARENHETER OCH SYNPKUNKTER PÅ PoG-MATERIALS
BESTÄNDIGHET REDOVISADE I LITTERATUREN

De stora industriella och akademiska insatserna har under de senaste 30 åren följts upp med en omfattande publiceringsverksamhet som lett till att vi idag har en oerhört omfattande litteratur inom området.

Sedan mitten av 1950-talet då den första översiktliga monografien publicerades av Grassie /39/ har ett stort antal publicerats och nyligen har Grassie t o m startat en monografiserie på området /40-41/. En subjektiv lista över några av de enligt min bedömning viktigaste monografierna som publicerats under det senaste decenniet utgör referenserna /20-24, 42-48/. Nedan begränsar jag mig till aspekter och informationer som inte tagits upp tidigare i rapporten.

6.1 Utomhusåldring

Götze relaterar regelbundet erfarenheter av PoG-material i byggsammanhang i Kunststoffe im Bau. Nyligen rapporterades t ex att omvända tak med tätskikt av bitumen, CR, mjuk PVC, IIR och ECB (Etenbitumen sampolymerisat), samtliga klarat 10 år tillfredsställande /49/.

H. Pfeifer et al. redogör för ett arbete som startats inom Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions (RILEM) /50/ för att till att börja med kartlägga och bedöma vilka egenskapsförändringar som bör mätas på PoG-material vid främst utomhusåldring. De material som tas upp är mjuk och hård PVC, PE, PP, PMMA, UP, CR, EPDM, IIR och PUR-skum.

En omfattande studie med syftet att utveckla en ny och mer relevant utrustning för accelererad åldring har genomförts av Ministry of Defence i England /51/. Förutom testning i den nykonstruerade utrustningen skedde utomhusåldring i varmt/torr och varmt/fuktigt klimat i Australien samt i tempererat klimat i England. En rad PoG-produkter avsedda för krävande applikation testades, bl a CO, ECO, CSM, Q, MFQ, PUR, PP och POM. Inga allmänt användbara korrelationer erhöles dock utan endast speciella för varje särskilt material (olika t ex för de olika PP-produkter som ingick).

Steckhan från Institut für Baustoffe i Östtyskland ger i en översiktsartikel nyligen /52/ i Tabell 5 redovisade samband mellan accelererad och naturlig utomhusåldring samt sannolik livslängd för en serie PoG-material.

TABELL 5 Sammanställning över åldringsrelationer för olika PoG-material enligt östtysk uppfattning /52/

Materialkategori	Förhållande accelererad/ naturlig åldring	Trolig livslängd (år)
PMMA (ljusinsläpp)	1:12,5-14,5	≥ 40
PIB (tätskikt)	1:11,8-13,6	≥ 40
Hård PVC (takrännor)	1:4,2-4,8	≥ 8-10
Slagseg PVC (fönster, fasadbeklädnader)	1:8,8-11,0	≥ 24
Mjuk PVC (tätskikt)	1:7,4-8,4	≥ 20
PE (ej lämpl utomhus)	1:3,4-3,6	-
UP (tak)	1:9,4-11,6	< 35
EPM	1:7,3-9,4	< 30
Q (fogmassor)	1:8,2-9,6	< 25
PUR (tätskikt)	1:4,4-5,6	≥ 10
CR (tätskikt, fogtätning)	1:9,4-12,2	≥ 40
EPDM (tätskikt, fog- tätning)	1:8,7-11,8	≥ 35
IIR (tätskikt, tätning)	1:8,6-11,7	≥ 35
T (fogmassor)	1:7,4-9,3	≥ 25

Ingenting uppges om de närmaste detaljerna vid den accelererade åldringen men Xenotest 1200 nämns flera gånger i artikeln. Som PoG-material med dålig beständighet anges PP, PA, PS och ABS.

Dolezel ger i en 1978 utkommen monografi /23/ en bred översikt över en mängd olika PoG-materials beständighet mot utomhusåldring, joniserande strålning, förhöjda temperaturer, oxidation, kemikalier samt biologiskt och biokemiskt angrepp. Boken bygger huvudsakligen på litteraturuppgifter men Dolezel har också stor erfarenhet, speciellt av naturlig utomhusåldring i Tjeckoslovakien. Weatherometeråldring behandlas också ingående, men beträffande korrelation med naturlig åldring görs endast konstaterandet att det får etableras speciellt för varje enskild produkt.

Todd /53/ redovisar resultat beträffande utomhusåldring i England och på kontinenten (troligen Schweiz) jämfört med accelererad åldring i en WOM vid 35 °C svartplåtstemperatur för styv PVC med olika kulör. 1500 h i WOM uppges motsvara ett år i England och 2000 h i WOM, ett år i Centraleuropa.

Mori et al. /54/ har studerat fotonedbrytning av PVC både utomhus och i weatherometer. De finner att nedbrytningsmekanismerna verkar variera kraftigt med temperaturen.

Vid IUPAC-symposiet i Mainz 1979 presenterade Pastuska resultat från BAM i Berlin /55/ beträffande naturlig och accelererad utomhusåldring av styv PVC. Man uppger att 3000 h i "Xenotest" motsvaras av 1,3-2 års utomhusexponering i Centraleuropa. Temperatur-effekterna vid åldring betonades också. För samma stråldos och exponeringstid i weatherometer observerades stora förändringar om proven hölls vid 40 °C, medan nära nog ingen påverkan observerades vid 0 °C. Gelkromatografisk analys gav vid handen att ett yt-skikt av 50-60 µm's tjocklek påverkas mest.

6.2 Åldring i mörker

I sin omfattande monografi om oxidation och antioxidanter från 1965 /19/ ger G. Scott även en översikt över dittills gjorda insatser vad beträffar accelererad termooxidativ åldring. Så vitt jag kunnat finna har ännu inga rön publicerats som gör Scotts bok inaktuell på detta område. Detta är desto mer anmärkningsvärt eftersom tyngdpunkten i framställningen bygger på arbeten av Shelton som publicerades i början av 1950-talet.

Det framgår bl a att syrgasupptagningen vid åldring av vulkaniserat NR följer Arrheniussamband från 50 till 110 °C men att stora skillnader i Arrhenius-faktorer föreligger mellan olika prov beroende på utnyttjade vulkaniseringssystem och tillsatser.

De mekaniska egenskaperna förändras däremot inte likformigt vid de olika temperaturnivåerna. Man får exempelvis en ökning av draghållfastheten vid 70 °C medan draghållfastheten minskar vid 90 °C.

Att "accelerera fram" livslängder baserat på någon viss kritisk egenskap är alltså utomordentligt svårt för ett sådant material.

Underwriters Laboratories Inc. i USA är en av de få organisationer som publicerar uppgifter om olika polymermaterials beständighet. Bl a uppger man olika polymertypers högsta kontinuerliga användningstemperatur. De tidsramar man arbetar med ligger i storleksordningen 7-10 år och man har främst inriktat sig på material för elektriska och mekaniska konstruktioner som arbetar vid "förhöjda" temperaturer. Man bygger sina slutsatser på Arrheniussamband tillsammans med referensmaterial med kända egenskaper.

7 NORMKRAV PÅ PRODUKTER

PoG-materialen är i förhållande till de traditionella konstruktionsmaterialen jämförelsevis unga och det har därför varit sällsynt att erfarenheter från någon längre tids praktiskt bruk förelegat då produkterna introducerats på marknaden. Trots att de således varit oprövade ur långtidssynpunkt har de inom många produktgrupper snabbt kommit att erövra betydande marknadsandelar. Enligt vad jag har kunnat få fram har det därför blivit så att normarbetet initialt nästan uteslutande inriktats på att säkerställa goda egenskaper hos produkten i nyskick. De flesta länders normer, däribland Sveriges, avspeglar fortfarande detta förhållande. Det är endast i ett ytterst fåtal fall som material eller produkter "åldringstestas", utan tyngdpunkten ligger på de egenskaper den testade produkten skall ha just vid testtillfället.

Till skillnad mot de flesta andra länder, har man nu i USA påbörjat arbetet med att ta ett steg vidare från "nyskickskraven", åtminstone för vissa grupper av PoG-produkter, genom att även införa något slags beständighetstestning. Enligt min uppfattning beror den ökade medvetenheten på beständighetssidan på de många gånger dyrköpta erfarenheter man gjort av materialen i praktisk användning.

I Tabellerna 6 och 7 ges en mycket schematisk sammanställning över PoG-produkter som omfattas av något slags beständighetskrav i USA. Uppgifterna har hämtats ur de senaste utgivna upplagorna av de aktuella normerna (1979).

TABELL 6 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av ASTM

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Asfaltprodukter	Bitumen	-	-
Emulgerad koltjära för utomhusbruk	Koltjära	WOM Kolbågsampa 25 dygn inkl 25 frostgenomgångar eller 3 års tillfredsställande funktion	Sprickor vid slag
Inklädnad av dammar, kanaler, reservoarer o d	IIR, EPDM	116 °C, 7 dygn; O ₃ , 50 pphm, 7 dygn	Dragbrottöjning Sprickor
	CR	100 °C, 3 dygn; O ₃ , 50 pphm, 4 dygn	Dragbrottöjning Sprickor
	CSM	O ₃ , 300 pphm, 7 dygn	Sprickor
	PVC	H ₂ O, 50 °C, 1 dygn	Viktsförlust
	PE	-	-
Tätningmassor för cementfogar utomhus	Gummi	WOM Kolbågsampa 7 dygn	Synliga förändringar
Gummilister för tätning i brokonstruktioner	CR	100 °C, 3 dygn	Dragbrottgräns Dragbrottöjning Hårdhet
Eternitplattor	Asbestcement	Bl a H ₂ O, 49 och 93 °C samt -12 °C och 99 °C i luft	Dragbrottgräns Synliga förändringar
Murverks cement	Tegelsten och murbruk	WOM Kolbågsampa 21 dygn	Kulörförändring
Tätningsslister till kulvertar o d	Gummi	70 °C, 4 dygn; O ₃ , 100 pphm, 3 dygn	Dragbrottöjning Sprickor
Tätningar till asbestcementrör	Gummi	100 °C, 3 dygn; H ₂ O, 100 °C, 20 dygn	Dragbrottöjning Volymändring
Glasningslistor	Gummi	100 °C, 3 och 7 dygn; O ₃ , 100 och 300 pphm, 4 dygn	Dimensioner Sprickor
Fogmassor	Gummi	WOM Kolbågsampa 12 dygn	Kulörförändring
Fogtätningsslist (Lock-Strip Gasket) med god utomhusbeständighet	Gummi	100 °C, 3 dygn; O ₃ , 100 pphm, 4 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Sprickor

TABELL 6 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av ASTM (forts)

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Isoleringsmaterial av skumplast för kontinuerlig användning vid temperaturer upp till 95 °C	PS-skum	-	-
Isoleringsmaterial av skumplast för kontinuerlig användning vid temperaturer upp till 100 °C	PUR-skum	90-100 % RF, 60 °C 7 dygn	Dimensionsförändringar
Membrantätning	Gummi	70 °C, 7 dygn; H ₂ O, rumstemperatur 7 ² dygn; 70 °C, 14 dygn	Skalningshållfasthet Dragbrottöjning
Massiva gummipackningar och betongmellanlägg	Gummi	100 °C, 3 dygn; O ₃ , 100 pphm, 4 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sprickor
Lim för plywood		Omfattande testprogram med bl a ånga, 100 °C, 1,5 h torkn, 65 °C, 21 h H ₂ O med övertryck 1 h	Delaminering
Lim för ett flertal applikationer		Ett flertal omfattande testprogram som dock ej införts som tvång i någon "Standard Specification"	
Färg- och lackområdet		-	-
Plaströr	PE	DSC-test i luft 10 °C/min upphettning	Induktions-temperatur
Plastmaterial som ej belastas (Standard Recommended Practice)		4 temperaturnivåer 9-12 mån vid den lägsta, ca 1 mån vid den högsta. Etablera Arrhenius-samband.	50 % av ursprungligt värde för kritisk egenskap.

TABELL 6 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av ASTM (forts)

Produkttyp	Material- kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
-	PE för elektriska applikationer	Valsverk, 160 °C, 3 h	Elektrisk förlustfaktor
	PEX	150 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning
	PTFE	380 °C, 2-16 h	Viktsförlust
Plastdunkar för petroleumprodukter	-	WOM, 42 dygn	Dragbrottgräns
Brandslang	Gummi	O ₂ , 2,1 MPa, 70 °C, 4 dygn	Dragbrottöjning
Gummiprodukter för fordonsbranschen Kvalitetsindelning	NR, SBR, IIR, BR, IR	70 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
	T, EPDM, SBR, IIR, CR, PUR	100 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
	EPM, CSM, NBR, CO	125 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
	EPM, ECO	150 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
	Q, MFQ	200 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
	Q	225 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
	FPM	250 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
Kondomer	Gummilatex	100 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns
Tryckvattenslang för tvätt- och disk- maskiner	Gummi	100 °C, 3 dygn; O ₃ , 50 pphm, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sprickor

TABELL 6 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av ASTM (forts)

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Avloppsslang för tvätt- och disk-maskiner	Gummi	70 °C, 3 dygn;	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet
Tätningselement i solfångare	Gummi	O ₃ , 50 pphm, 3 dygn 25-49 °C över solfångarens stagnationstemperatur bland 150, 175, 200, 225 och 250 °C, 7 dygn; O ₃ , 100 pphm, 7 dygn	Sprickor Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sprickor
Elektrisk isolering med en livslängd på 3 år vid 180 °C (Standard Method of Testing)	Isolerlack	4 temperaturnivåer. Minst 210 dygn vid den lägsta. Minst 4 dygn vid den högsta. Lägsta temperatur 20-70 °C över avsedd användningstemperatur. Etablera Arrhenius-samband.	Genomslagsfältstyrka
Styva elektriska isolationsmaterial. (Standard Method for Thermal Evaluation)	PoG-material	7 temperaturnivåer. Minst 490 dygn vid den lägsta. Minst 10 dygn vid den högsta. Etablera Arrhenius-samband.	Elektrisk hållfasthet Böjbrottgräns Vattenabsorption
Skyddshandskar vid elektriska installationer	Gummi	70 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning
Kabelisolering för kontinuerlig användning vid upp till 60 °C	NR	70 °C, 4 dygn	Dragbrottöjning
Kabelisolering för kontinuerlig användning vid upp till 75 °C	NR, syntetiska gummityper	127 °C, 20 h; O ₂ , 80 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning

TABELL 6 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av ASTM (forts)

Produkttyp	Material- kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Kabelisolering för kontinuerlig använd- ning vid upp till 90 °C	Syntetiskt gummi, PEX	121 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning
Kabelmantel	CR	100 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning
	PVC	100 °C, 5 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns
Kabelisolering av ozonbeständigt butyl- gummi	IIR	100 °C, 7 dygn;	Dragbrottöjning
		Luft, 0,57 MPa, 127 °C, 3 dygn; O ₃ , 0,025-0,030 %, 3h	Dragbrottöjning "shall show no injury"
Isoleringsband för medelhöga spänningar	Gummi	110 °C, 7 dygn	Synliga för- ändringar
Isoleringsband för höga spänningar med en kontinuerlig an- vändningstemperatur upp till 90 °C	Gummi	130 °C, 7 dygn;	Synliga för- ändringar
		O ₃ , 0,010-0,015%, 3 h; WOM, 2 mån	Synliga för- ändringar Synliga för- ändringar
Krympslang för elektriska applica- tioner	CR	100 °C, 4 dygn	Dragbrottöjning
	PVC	130 °C, 17 dygn	Dragbrottöjning
	PEX	175 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning
	PVDF	250 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning

Uppgifterna som skrivits med kursiv stil ovan ingår inte i några krav utan ges som rekommendationer.

TABELL 7 Sammanställning över några produkter vilka normerats enligt "US Federal Specifications"

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Fogmassor	Gummi	70 °C, 21 dygn	Hårdhet Viktsförlust
Färg för utomhusbruk	Akrylat-emulsion	WOM, 12 dygn	Kritning Kulörförändring
	Oljefärg	WOM, 14 dygn	Kritning Kulörförändring
	Oljealkyd	WOM, 14 dygn	Kritning Kulörförändring
	PVAC-emulsion	WOM, 14 dygn	Kritning Kulörförändring
	Styren-modifierad alkyd	WOM, 14 dygn	Kritning Kulörförändring
		alternativt	
		Utomhusexponering i 45° vinkel mot syd vid Washington D.C.'s breddgrad under 1,5 år	Kritning Kulörförändring
Färg för grunder utomhus	Gummibas PVC-bas	70 °C, 7 dygn WOM, Kolbåglampa, 2 dygn	Synliga förändringar

Jämfört med USAs insatser ligger de internationella (ISO) och europeiska insatserna på en blygsam nivå. Inom UEAtc har man exempelvis hittills bara normerat tre produkter. Fogmassor för tätning mellan byggelement som förutsätts vara brukbara > 10 år testas med följande inslag: 70 °C, 2 dygn; H₂O, 23 °C, 1 dygn; 70 °C, 3 dygn; H₂O, 23 °C, 1 dygn, vilket upprepas tre gånger. För styv PVC för utomhusbruk har man inga krav utan hänvisar till utomhusexponering. Opak UP anses vara funktionsduglig > 10 år utomhus om tillverkningstekniken varit lämplig. Kraven är att produkten inte skall gulna väsentligt vid exponering, varken utomhus under 3 mån i 45° vinkel mot syd eller i WOM, ca 1,5 mån. Vidare skall hårdhet och slaghållfasthet inte försämrats avsevärt av 2 h i kokande H₂O eller lagring 1 mån i H₂O vid rumstemperatur.

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein har genom Norm 280 (1977) ställt krav på tätskikt av PoG-material. Aldring i luft vid 70 °C under 2 veckor med ringa förändring av dragbrottöjningen och vikten, exponering i 200 pphm O₃ under 4 dygn utan sprickor samt i WOM under 7 mån (5000 h) utan synliga sprickor vid böjning ingår.

DIN i Västtyskland, som ju är en traditionellt aktad organisation, tillhör dock tyvärr inte dem som rosar marknaden med beständighetskrav. Som typexempel kan nämnas att beträffande PUR-skum för isoleringsmaterial i byggnader sägs under "Beständigkeit": "Polyurethan-Ortschaum muss alterungsbeständig und darf biologisch nicht verwertbar (z.B. durch Schimmelpilze) sein". Beträffande UF-skum sägs dessutom: "Er darf nach der Austrocknung die Korrosion von Metallen nicht fördern". Ingen testning föreskrivs.

Att DIN saknar beständighetskrav betyder inte att man i Västtyskland skulle vara i total avsaknad av sådana krav. Eftersom kraven oftast förekommer i samband med det västtyska systemet med "Gütesicherung" är de dock inte så lätta att överblicka. Som ett exempel på krav som kan förekomma uppger G. Poschet vid Süddeutsches Kunststoff-Zentrum /56/ att PEX-rör till värmeslingor testas ca 1 år vid 110 °C med 2,8 MPa övertryck vid typprovningen och 1000 h vid 95 °C med 4,4 MPa vid fortlöpande kvalitetskontroller. För PB fordrar man 1000 h vid 95 °C med 6,0 MPa. Fordringarna för PP framgår av DIN 8078, Teil 2.

Situationen i Sverige vad beträffar beständighetskrav illustreras i Tabellerna 8 och 9.

TABELL 8 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av SIS

Produkttyp	Material- kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Kraftkabel för upp till 170 kV (för kon- tinuerlig användning vid upp till 90 °C) Isolering	PEX	135 °C, 7 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns
Mantel	PVC, PE, PEX	100 °C, 7 dygn	Dragbrottgräns
Hängkabel med bärlina för 1 kV Isolering	PE	100 °C, 7 dygn	Dragbrottgräns
Mantel	PVC	80 °C, 7 dygn	Dragbrottgräns
Massa och vaxkablar för upp till 52 kV		-	-
Skarvar och avslut- ningar för 1-420 kV		-	-
Tätningselement 0- ringar	Gummi	100 och 125 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sättning
Tätningssringar för vatten och avloppsrör	Gummi	70 °C, 7 dygn	Sättning
Tätningsslistor, massiva	EPM, EPDM	100 °C, 7 dygn; O ₃ , 200 pphm, 4 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sprickor
	CR	100 °C, 7 dygn; O ₃ , 50 pphm, 4 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sprickor
Tätningsslistor, cellgummi	EPM, EPDM	70 °C, 7 dygn; O ₃ , 200 pphm, 4 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns Hårdhet Sprickor
	CR	70 °C, 7 dygn; O ₃ , 50 pphm, 4 dygn	Sprickor Sprickor Sprickor

TABELL 8 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av SIS (forts)

Produkttyp	Material- kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Ståltrådsarmerad hydraulslang	Gummi	-	-
Tryckluftsslang	Gummi	-	-
Gasolslang	Gummi	-	-
Svetsslang	Gummi	-	-
Slang för oljebilar	Gummi	-	-
Kemikalieslang	Gummi eller plast	-	-
Ångslang för 165 °C	Gummi	185 °C, 2 dygn	Brott
Ångslang för 185 °C	Gummi	185 °C, 7 dygn	Brott
Växtbesprutnings- slang (engelsk ver- sion; ej översatt)	Gummi	70 °C, 3 dygn	Dragbrottöjning Dragbrottgräns
Tryckrör	LDPE (+2-3 % kim- rök och AO)	H ₂ O, 2 övertrycks- nivåer beroende av dimension och tids- och temperaturnivåer, 70 och 20 °C, 1 h och 4 dygn	Brott
	HDPE (+2-3 % kim- rök och AO)	H ₂ O, 3 övertrycks- nivåer beroende av dimension och tids- och temperaturnivåer, 80 och 20 °C, 1 h, 2 dygn, 7 dygn	Brott
	Styv PVC	H ₂ O, 3 övertrycks- nivåer beroende av dimension och tids- och temperaturnivåer, 60 och 20 °C, 1 h och 6 veckor	Brott
Avloppsrör	HDPE (+2-3 % kim- rök och AO)	H ₂ O, 3 övertrycks- nivåer beroende av dimension och tids- och temperaturnivåer, 80 och 20 °C, 1 h, 2 dygn, 7 dygn	Brott

TABELL 8 Sammanställning över ett urval produkter vilka normerats av SIS (forts)

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Avloppsrör	Styv PVC ^{x)}	H ₂ O, 2 övertrycks-nivåer beroende av dimension och temperaturnivå, 60 och 20 °C, 1 h	Brott

x) Enligt uppgift /37/ produceras avloppsrör av PVC enligt dessa krav inte annat än i undantagsfall idag. Se Tabell 9 för dagens produkter.

TABELL 9 Sammanställning över krav som anges av Statens Planverk för avloppsledningssystem av plast samt i SPF Verksnorm 100 för självfallsledningar i mark

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Avloppsrör (i byggnad)	PVC	Temperaturväxlingsprov med alternerande 10 och 93 °C vatten;	Täthet Dimensioner
		H ₂ O, 42 MPa, 20 °C, 1 ^h ;	Brott
		H ₂ O, 10 MPa, 60 °C, 6 ^{veckor}	Brott
	HDPE	Temperaturväxlingsprov med alternerande 10 och 93 °C vatten;	Täthet Dimensioner
		H ₂ O, 14,7 MPa, 20 °C, 1 ^h ;	Brott
		H ₂ O, 4,2 MPa, 80 °C, 2 ^{dygn}	Brott
PP	Temperaturväxlingsprov med alternerande 10 och 93 °C vatten;	Täthet Dimensioner	

TABELL 9 Sammanställning över krav som anges av Statens Planverk för avloppsledningssystem av plast samt i SPF Verksnorm 100 för självfallsledningar i mark (forts)

Produkttyp	Material-kategori	Schematisk testmetodik	Krav ställs bl a på
Avloppsrör (i byggnad)	PP	H ₂ O, 23 MPa, 20 °C, 1 ² h;	Brott
		H ₂ O, 1,6 MPa, 80 °C, 15 veckor	Brott
	ABS	Temperaturväxlings- prov med alterne- rande 10 och 93 °C vatten;	Täthet Dimensioner
		H ₂ O, 20 MPa, 20 °C, 1 ² h;	Brott
		H ₂ O, 20 MPa, 20 °C, 6 ² veckor	Brott
Självfallsledningar i mark	PVC	H ₂ O, 10 MPa, 60 °C	Tid till brott (> 1000 h)
	HDPE	H ₂ O, 4,2 MPa, 80 °C	Tid till brott (> 44 h)

Som synes har vi idag tre olika organ som uppställer krav på rör. Något förenklat kan man säga att SIS täcker in tryckrören, Statens Planverk avloppsrören i byggnader och Kontrollrådet för plaströr (via Sveriges Plastförbunds Verksnorm 100) stora avloppsrör i mark.

7.1 Kommentarer till normkraven

Skillnaderna i ambitionsnivå vad beträffar beständighetstestning är slående mellan de olika standardiseringsorganisationerna. ASTM tar upp ett stort antal produkter där man ställer krav - SIS t ex bara ett fåtal. ASTM har i stort sett inte normerat en enda gummiprodukt utan att ställa krav på beständighet - SIS underlåter det på majoriteten av de få produkter som tagits upp.

Att ASTM vid en internationell jämförelse är i särklass ledande vad beträffar beständighetskrav innebär dock inte alls att allt skulle vara väl beställt. För det första är kraven på några få undantag när ytterst lågt satta och motsvarar mestadels endast från ett par veckor till några års användning i avsedd miljö. Kraven verkar således inte vara rela-

terade till avsedd funktionsduglig tid utan snarare en snabbkontroll på att inte något allvarligt fel begåtts vid komponderingen (blandningen av polymeren med tillsatserna) eller i tillverkningsprocessen. Man kan ju t ex ha glömt stabilisatorer eller tagit ur fel säck med polymerråvara vid komponderingen. De direkt misslyckade produkterna sorteras emellertid bort.

Vidare kan man inte undgå att notera de i många fall "upprörande orättvisorna" vad beträffar beständighetskraven inom samma produktgrupp. PoG-produkter för inklädnad av dammar, kanaler och reservoarer, se Tabell 6, är kanske det mest slående exemplet. IIR- och EPDM-gummiduk skall klara en värmeåldring som motsvarar storleksordningen 20 år vid 15 °C, medan en produkt av PVC bara utsätts 1 dygn för vatten med en temperatur av 50 °C och en PE-produkt inte har något krav alls på sig. Detta beror sannolikt på att "kravlösa" material är för nya i den aktuella applikationen för att man skall ha hunnit få några erfarenheter om deras funktion på lång sikt. För material som varit med länge däremot, ser man till att skydda sig mot obehagliga överraskningar som man under åren observerat kunnat inträffa.

Trots att det endast i undantagsfall är så att ASTM ställer beständighetskrav, som enligt min bedömning verkligen motsvarar de förväntningar om beständighet man rimligtvis har på produkterna, så har man även normerat metodik som anses ha bra förutsättningar att ge en realistisk livslängdsuppskattning. Exempel på sådana rekommendationer har tagits med i Tabell 6 där de markerats med kursiv stil.

8 FÖRSLAG TILL STRATEGI VID UPPSTÄLLANDE AV TEMPORÄRA BESTÄNDIGHETSKRAV PÅ PoG-PRODUKTER

En första förutsättning för adekvat accelererad åldring är att man har kunskap om vilka påfrestningar som förekommer vid den praktiska användningen. En bra "miljöbeskrivning" (i miljön ingår även olika mekaniska påkänningar) måste finnas.

Utgående från tillgängliga kunskaper om hur olika miljöfaktorer påverkar olika PoG-material får sedan en bedömning ske beträffande vilka faktorer som kan vara mest väsentliga att ta hänsyn till i det aktuella fallet. Denna inskränkning är tyvärr nästan undantagslöst nödvändig eftersom antalet miljöfaktorer vanligtvis är stort /57/. I de flesta fall är det vidare lämpligt att analysera fram vilken eller vilka egenskaper som är mest kritiska i den aktuella applikationen. Både vad beträffar väsentliga miljöfaktorer och kritiska egenskaper kan i många fall värdefulla indikationer erhållas ur existerande normkrav.

8.1 Produkter som exponeras utomhus

Som framgått ovan är svårigheterna betydande och felmarginalerna stora när det gäller att förutsäga livslängder utomhus. Enligt min bedömning utgör de av Berger vid Ciba-Geigy AG föreslagna tumreglerna för relation mellan weatherometeråldring och utomhusexponering /21/, se avsnitt 5.5.2, det idag bästa valet för livslängdsuppskattning. I de fall man har tillgång till referensmaterial med nära identisk sammansättning och med känd livslängd i aktuell miljö utgör en jämförelse med detta vanligtvis ett starkare alternativ.

8.2 Produkter som åldras i mörker

När solljuset inte tillhör de dominerande miljöfaktorerna är det istället ofta värmen som får tjänstgöra som accelererande parameter. Vanligtvis är det PoG-produktens reaktioner med luftens syre och fukt samt avgivande eller upptagande av ämnen som man vill påskynda. En god allmän regel är att ju mindre man accelererar desto större blir sannolikheten för att det verkligen är de aktuella förloppen som accelereras och att inte helt andra förlopp tar överhanden.

I ANSI/ASTM D 3045 anges en generell strategi för livslängdsuppskattningar för plastmaterial som enligt min bedömning bör kunna ligga som grund vid uppställandet av temporära beständighetskrav för PoG-produkter. I korthet väljer man ut fyra temperaturnivåer så att försämringen i kritisk egenskap tar 9-12 månader vid den lägsta och ca 1 månad vid den högsta temperaturnivån. Materialet får natur-

ligtvis inte genomgå någon fasomvandling vid någon av temperaturerna. Efter åldringen söker man etablera Arrheniussamband och extrapolera till den aktuella temperaturen. De facto innebär ett sådant förfarande att endast måttliga "övertemperaturer" behöver utnyttjas.

För material och produkter där väldokumenterade accelerationsfaktorer föreligger bör dessa naturligtvis ligga till grund för livslängdsuppskattningarna. Den verksamhet som har planerats inför de närmaste åren vid SPs laboratorium för polymerteknik syftar just till att ta fram sådana data och metoder så att de temporära beständighetskraven skall kunna ersättas med säkrare och förhoppningsvis snabbare tester.

REFERENSER

1. Informationsskrift från Sveriges Plastförbund, Byggplastavdelningen, 1980. (Sveriges Plastförbund.) Plaster i bygge. Stockholm.
2. Holmström, A, 1978, Plast- och gummitmaterial förekommande i 1978 års småhusproduktion. (Statens Provningsanstalt.) SP-RAPP 1978:19. Borås.
3. Plast inom byggnadstekniken, Utveckling och forskningsbehov, 1971. (Statens råd för byggnadsforskning.) Programskrift 13, p. 58. Stockholm.
4. Plast i bygge. Analys av behov av forskning och utveckling, 1976. (Statens råd för byggnadsforskning.) p. 79. Stockholm.
5. Carlsson, B, Elmroth, A och Engvall, P-Å, 1979, Lufttäthet och värmeisolering. Byggnadstekniska lösningar. (Statens råd för byggnadsforskning.) T24:179. Stockholm.
6. SPF Verksnorm 2000 - Plastfilmer avsedda för montering i byggnader som luft- och ångspärrar - Kvalitetsfordringar och provningsmetoder, 1978. (Sveriges Plastförbund.) Stockholm.
7. Lindén, S, 1980, Materialval ur förvaltnings-synpunkt. (Industrifackpress AB.) Plastforum Scandinavia, 9, årg. 10, p. 58-61. Helsingborg.
8. Wall, K, 1980, Materialval ur byggherresynpunkt. (Industrifackpress AB.) Plastforum Scandinavia, 9, årg. 10, p. 64-65. Helsingborg.
9. Blaga, A och Yamasaki, R, S, 1973, Mechanism of breakdown in the interface region of glass reinforced polyester by artificial weathering. (Chapman and Hall Ltd.) Journal of Materials Science, vol. 8, p. 654-666.
10. Blaga, A och Yamasaki, R, S, 1973, Mechanism of surface microcracking of matrix in glass-reinforced polyester by artificial weathering. (Chapman and Hall Ltd.) Journal of Materials Science, vol. 8, p. 1331-1339.
11. Blaga, A, 1975, Durability of GRP composites. (National Research Council of Canada.) Bâtiment International/Building Research & Practice, official journal of CIB, NRCC 15037, p. 1-14. Ottawa.

12. Blaga, A och Yamasaki, R, S, 1977, Outdoor durability of a common type (tetrachlorophthalic acid-base) fire retardant glass fiber reinforced polyester (GRP) sheet. *Matériaux et Constructions*, 59, vol. 10, p. 289-296.
13. Blaga, A och Yamasaki, R, S, 1978, Effect of surface finish on the durability of GRP sheets. *Matériaux et Constructions*, 63, vol. 11, p. 175-183.
14. Blaga, A, 1978, GRP composite materials in construction: Properties, applications and durability. *Industrialization Forum*, 1, vol. 9, p. 27-32.
15. Yamasaki, R, S och Blaga, A, 1976, Hourly and monthly variations in surface temperature of opaque PVC during exposure under clear skies. *Matériaux et Constructions*, 52, vol. 9, p. 231-242.
16. Blaga, A och Yamasaki, R, S, 1976, Surface micro-cracking induced by weathering of polycarbonate sheet. (Chapman and Hall Ltd.) *Journal of Materials Science*, vol. 11, p. 1513-1520.
17. Yamasaki, R, Soch Blaga, A, 1977, Degradation of polycarbonate sheeting on outdoor exposure. Relationship between changes in molecular weight and tensile properties. *Materials and Structures (RILEM)*, 58, vol. 10, p. 197-204.
18. Standard for: Roofing and Waterproofing Membrane, Sheet-Applied, Flexible, Poly-vinyl Chloride, 1979. (Canadian Government Specifications Board.) 37-GP-54M, Hull, Québec.
19. Scott, G, 1965, Atmospheric Oxidation and Anti-oxidants. (Elsevier Publishing Company.) Amsterdam - London - New York.
20. Struik, L, C, E, 1978, Physical Ageing in Amorphous Polymers and Other Materials, (Elsevier Scientific Publishing Company.) Amsterdam.
21. Berger, K, 1974, Natürliche und künstliche Belichtung von Kunststoffen. i Die natürliche und künstliche Alterung von Kunststoffen. (Österreichische Kunststoffinstitut.) Wien.
22. Gächter, R och Müller, H, (Ed.), 1979, Taschenbuch der Kunststoff-Additive. Stabilisatoren, Hilfsstoffe, Weichmacher, Füllstoffe, Verstärkungsmittel. (Carl Hanser Verlag.) München, Wien.

23. Dolezel, B, 1978, Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi. (Carl Hanser Verlag.) München, Wien.
24. Scott, G, (Ed.), 1979, Developments in Polymer Stabilization. (Applied Science Publishers Ltd.) London.
25. Masters, L, W, Wolfe, W, C, Rossiter Jr., W, J och Shaver, J, R, 1973, State of the Art on Durability Testing of Building Components and Materials. (National Bureau of Standards.) NBSIR 73-132. Washington D.C.
26. Masters, L, W, Clark, E, J, Sleater, G, A och Hockman, A, 1975, Durability and Related Tests for Selected Elements and Materials Used in the Exterior Envelope of Buildings. (National Bureau of Standards.) NBSIR 75-955. Washington D.C.
27. Masters, L, W, Galowin, L, S och Thom, G, C, 1979, Evaluation Technology: Guide to Future Building Requirements. Föredrag vid 1979 Society of the Plastics Industry, Inc., National Plastics Exposition Conference, Chicago.
28. NORDTEST-Projekt 5-74. Väderbeständighet hos byggnadsmaterial med tonvikt på polymerer 1977. (Statens Tekniska Forskningscentral (VTT.) Helsingfors.
29. Juhlin, L, Kylsten, L och Persson, M, 1979, Brukstider och livslängder för byggnader och byggnadsdelar. Förstudie, del 2. (BPA, Byggproduktion AB.)
30. von Fieandt, H, 1968, Åldringsegenskaper hos plastmaterial vid utomhusexponering. (Kungliga Arméförvaltningen.) Meddelande från materiallaboratoriet, nr 1, 1968. Stockholm.
31. Rasch, N-O, 1969, Undersökning av bildäcksgummi med avseende på åldring utomhus. (Försvarets Materielverk.) Meddelande från materiallaboratoriet, nr 1, 1969. Stockholm.
32. Rasch, N-O, 1974, Åldringsegenskaper hos plastmaterial vid utomhusexponering. (Försvarets Materielverk.) Rapport från materialenheten, nr 1, 1974. Stockholm.
33. Rasch, N-O, 1975, Åldringsegenskaper hos gummi-material vid utomhusexponering. (Försvarets Materielverk.) Rapport från materialenheten, nr 1, 1975. Stockholm.

34. Rasch, N-O, 1977, Åldringsegenskaper hos tågvirkesmaterial vid utomhusexponering. (Försvarets Materielverk.) Rapport från materialenheten, nr 1, 1977. Stockholm.
35. Rasch, N-O, 1979, Åldringsegenskaper hos belagda vävmaterial vid utomhusexponering. (Försvarets Materielverk.) Rapport från materialenheten, nr 1, 1979. Stockholm.
36. Bystedt, J, 1979, Korrelation mellan naturlig och accelererad åldring av styv PVC. (KemaNord, Användningstekn. Utveckling.) Ad-hoc grp. medd. 12. Sundsvall.
37. Bergström, G, 1980, Personligt meddelande.
38. Roseen, R och Bergman, J, 1979, Examination of cross linked polyethylene for heating systems. (Studsvik Energiteknik AB.) Studsvik Report, Studsvik/El-78/15. Studsvik.
39. Grassie, N, 1956, Chemistry of High Polymer Degradation Processes. (Butterworths.) London.
40. Grassie, N, (Ed.), 1977, Developments in Polymer Degradation-1. (Applied Science Publishers Ltd.) London.
41. Grassie, N, (Ed.), 1979, Developments in Polymer Degradation-2. (Applied Science Publishers Ltd.) London.
42. Hawkins, W, L, (Ed.), 1972, Polymer Stabilization. (Wiley-Interscience.) New York.
43. Geuskens, G, (Ed.), 1975, Degradation and Stabilization of Polymers. (Applied Science Publishers Ltd.) London.
44. Rånby, B och Rabek, J, F, 1975, Photodegradation, Photo-oxidation and Photostabilization of Polymers. (Wiley-Interscience.) London.
45. Sedlacek, B, Overberger, C, G, Mark, H, F och Fox, T, G, (Ed.), 1976, Degradation and Stabilization of Polyolefins. (Interscience.) Journal of Polymer Science: Polymer Symposia Nr. 57. New York.
46. Allara, D, L och Hawkins, W, L, (Ed.), 1978, Stabilization and Degradation of Polymers. (American Chemical Society.) Advances in Chemistry Series 169. Washington D.C.

47. Rånby, B och Rabek J, F, (Ed.), 1979, Long-Term Properties of Polymers and Polymeric Materials. (John Wiley & Sons, Inc.) Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium 35. New York.
48. Eby, R, K, (Ed.), 1979, Durability of Macromolecular Materials. (American Chemical Society.) ACS Symposium Series 95. Washington D.C.
49. Götze, H, 1979, Das Umkehrdach im Langzeittest. Kunststoffe im Bau, 4, årg. 14, p. 174-178.
50. Pfeifer, H, Sasse, H, R, och Schrage, I, 1979, Beurteilungsmassstäbe für die Alterung von Kunststoffen in Bauwerken. Kunststoffe, 7, årg. 69, p. 411-415.
51. Wright, J, 1972, Outdoor and Accelerated Weathering of Elastomers and Plastics: The Assessment of an Accelerated Weathering Test Chamber. (Ministry of Defence. Explosives Research and Development Establishment.) Technical Report nr. 107, Waltham Abbey, England.
52. Steckhan, P, 1979, Bewertung des Langzeitgebrauchsverhaltens von Plastformstoffen und Plastwerkstoffen sowie-halbzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Ausseneinsatzes im Bauwesen. Plaste und Kautschuk, 2, årg. 26, p. 96-99.
53. Todd, J, 1978, Pigmentation of PVC with Special Reference to Weather Stability. PVC Proc. Int. Conf. Egham Hill, Surrey 6-7 April 1978, p. 8.1-8.9. London.
54. Mori, F, Koyama, M och Oki, Y, 1979, Studies on Photodegradation of Poly(vinyl chloride), Part 3 samt Part 4. Die Angewandte Makromolekulare Chemie, vol. 75, p. 113-135.
55. Pastuska, G, Just, U och Trubiroha, P, 1979, Change of Molecular Weight Distribution (MWD) of PVC by Natural and Artificial Weathering. Preprints of Short Communications presented at IUPAC MAKRO MAINZ 26th International Symposium on Macromolecules. Mainz/Federal Republic of Germany 17-21 September 1979. Volume I. p. 600-602. Mainz.
56. Poschet, G, 1980, Qualitätsanforderungen an Kunststoffrohre im Fussbodenheizungen. Kunststoffe im Bau, 2, årg. 15, p. 85-86.
57. Holmström, A, 1980, Plast och gummi hållbarhet i bygge. (Industrifackpress AB). Plastforum Scandinavia, 9, årg. 10, p. 54-57. Helsingborg.

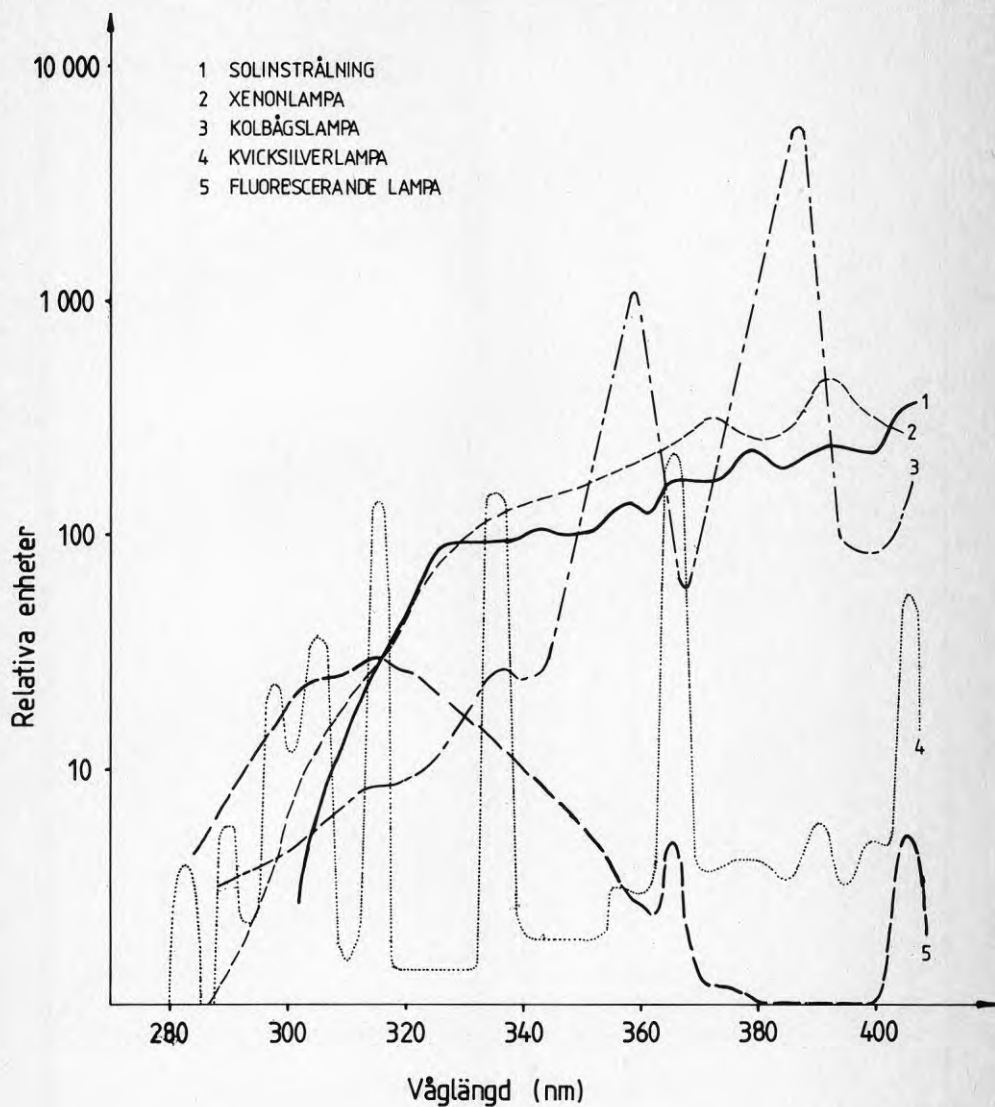
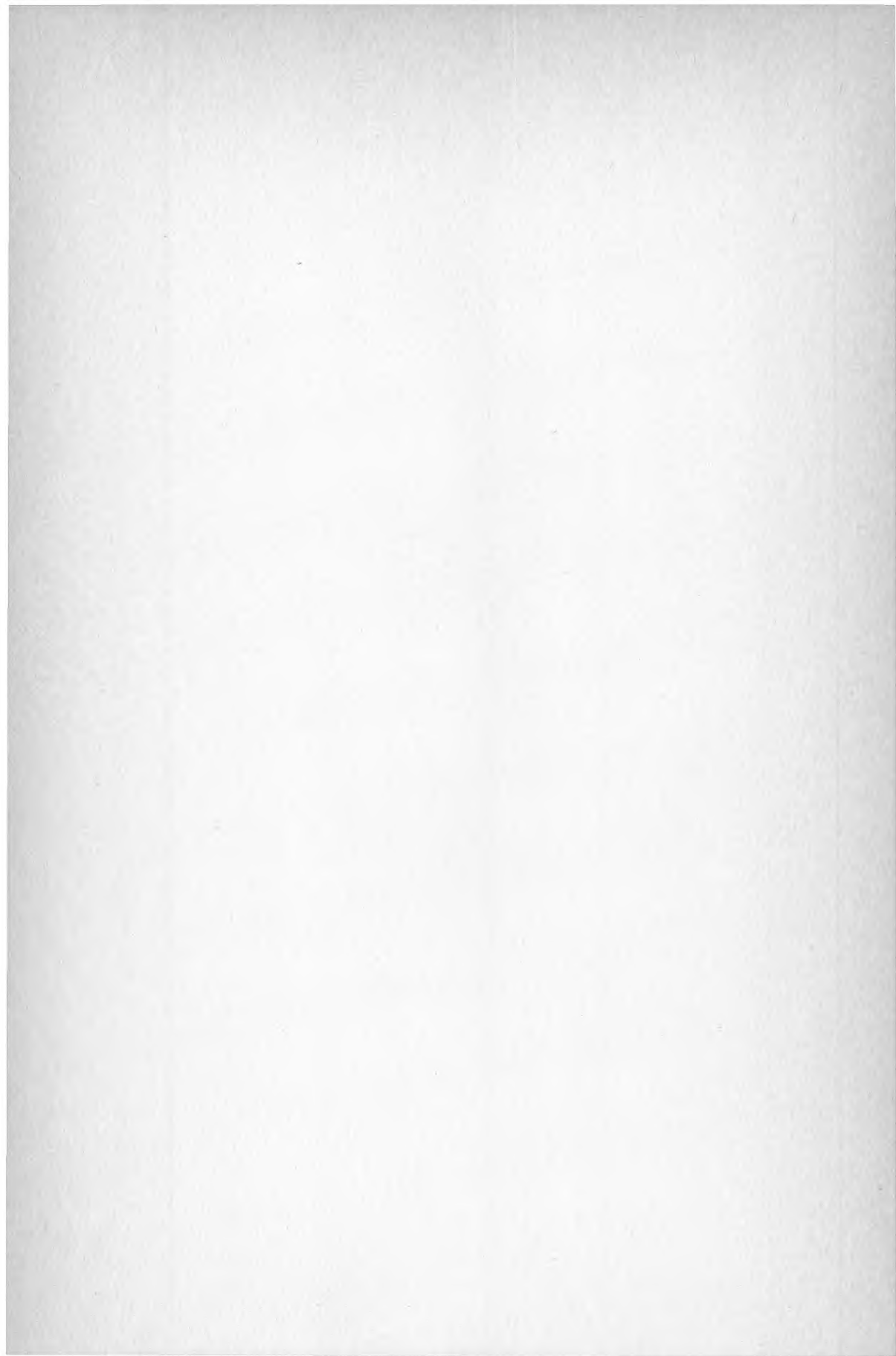


Fig. 1 Exempel på energifördelningar för några olika artificiella ljuskällor samt solinstrålning.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
781472-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Statens provningsanstalt, Borås.**

R173: 1980

ISBN 91-540-3420-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700273

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner o. material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms