

STATENS NÄMND FÖR BYGGNADSFORSKNING

— **SNB** —

---

Särtryck 6: 1960

Åldringsbeständighet  
hos byggnadsmaterial av plast

av *Erik Saare*

---

STOCKHOLM 1960

# Åldringsbeständighet hos byggnadsmaterial av plast

Fil. lic. Erik Saare, Statens nämnd för byggnadsforskning

620.193.918 : 691.175

Åldringsbeständigheten har alltid ansetts vara en av de viktigaste egenskaperna hos byggnadsmaterial. Nu för tiden beräknas en byggnads användningstid vara 50—100 år, men erfarenheterna visar att den övre gränsen ofta överskrids. Därför ställs särskilt höga krav på materialen i de bärande konstruktionerna, grunden och stommen. Reparationer av dessa delar är svåra att genomföra och ofta inte ekonomiskt lönande.

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 genomför-

bara, t.ex. i fukt- och värmeisoleringar. Oftast saknas uppgift om de använda materialens åldringsbeständighet.

Frågan på användningen av plast är ekonomiskt berättigad inte enbart från material- och arbetskostnadssynpunkt, utan även från underhålls- och reparationssynpunkt. Det är självfallet inte nödvändigt att alltid använda en plast med mycket god åldringsbeständighet. Vissa plaster har andra egenskaper som gör dem lämpliga när ett utbyte av materialet anses vara normal förbrukning. För detaljer, som skall tjänstgöra en längre tid, bör däremot kraven på åldringsbeständigheten skärpas.

Plasters åldringsbeständighet kan inte beräknas på teoretisk väg liksom t.ex. radioisotopers livslängd utan den måste bestämmas genom provning. Man önskar härvid metoder som utöver tekniska data även kan upplysa om materialets beständighet, dvs. om dess bibehållande av egenskaper, såsom brottgräns, elasticitet, ytbeskaffenhet, dimensioner under en längre tidrymd. Man skulle därmed få ett bättre underlag för beräkning av underhållskostnaderna.

Önskvärt är att ett provningsförfarande är så utformat att det efter en kortare tid kan visa vilka förändringar som kommer att uppträda hos materialet när det åldras. För vissa material kan åldringen accelereras genom exponering för olika utvalda påfrestningskombinationer. Sådana provningar ger i regel utslag för mycket dåliga och mycket motståndskraftiga material. Mellanregistret är i regel mindre differentierat, och provningsresultaten blir därför svårtolkade.

Tyvärr finns det endast en provningsmetod som kan ge ett någorlunda säkert och entydigt svar på åldringsbeständigheten, nämligen långtidsprovning i aktuell miljö. Denna metod kommer därför alltid att vara den likare med vilken alla andra accelererade metoder måste kontrolleras. Är man tvungen att avstå från långtidsprovningen på grund av tidsbrist eller andra orsaker, måste man vara medveten om att en allmänt gällande accelereringskoefficient inte kan anges för de nu kända accelererade provningsförfarandena.

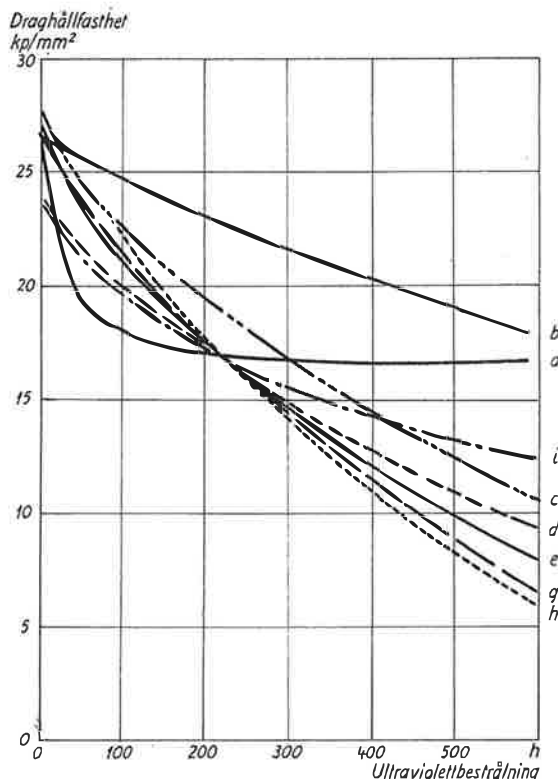


Fig. 1. Inverkan av ultraviolett bestrålning på brottgränsen hos polyvinylidenklorid försatt med ett färgämne, a svart, b vitt, c gult, d blått, e grönt, g rött, h gult, i orange.

## Aldringspåverkande faktorer

De faktorer som orsakar kemiska eller strukturella ändringar i plaster kan sägas ha en inre påverkan. Som exempel kan anföras avspjälkning av klorväte ur polyvinylklorid, hydrolys av estergrupper med förekommande vatten, dehydratisering av alkoholgrupper till etergrupper m. m. Som inre ändringar bör även betraktas krypfenomen vid mekanisk belastning, upplösning av inre spänningstillstånd genom diffusion av små molekyler i makromolekylgittret samt sammanflätning eller isärslidning av kedjemolekyler.

Den yttre påverkan på åldringen är mångsidig och så komplicerad, att de olika faktorer som orsakar den är svåra att särskilja. Generellt kan sägas att den i allmänhet framkallar inre förändringar eller accelererar dessa.

### Strålning

Det är sedan länge känt att energirika fotoner (kortvågiga delen av solspektrum, ultraviolet strålning och röntgenstrålning) åstadkommer fotokemiska reaktioner i material av organiskt ursprung, dit även plasterna räknas. Den ultravioletta strålningens energi vid 3500 Å är 82 kcal/mol. En mol ljus är  $6,023 \cdot 10^{23}$  kvanta, dvs. lika många kvanta som antalet molekyler i en grammolekyl (Loschmidts tal). Jämför man denna energi med bindningsenergin 60—100 kcal/mol, som vanligen förekommer i plastmaterial och gäller makromolekylernas huvudkedja, är det uppenbart att ett flertal bindningar kan uppspaltas.

Absorberar en molekyl en foton, när den för en kort tid en högre energinivå, blir exciterad. Exciterade molekyler kan delta i fotokemiska reaktioner eller överföra den absorberade energin till andra molekyler eller slutligen avge en del av den erhållna energin i form av strålning med större våglängd (fluorescens, fosforescens, värme). I den fotokemiska processen kan därvid bestämda tillsatsämnen i en plast delta, dvs. de kan verka som katalysatorer. Färgämnen i en plast kan vid bestrålning med ultraviolet ljus ha avsevärt olika inverkan på materialets brottgräns (fig. 1).

Som ett exempel på ämnen, i vilka fotokemiska reaktioner uppstår är polyvinylklorid. En termiskt icke påverkad, ren polyvinylklorid innehåller i princip inga molekyler som absorberar strålning i den del av solspektrat som förekommer vid jordytan. Den är alltså beständig mot fotokemiska processer. Om emellertid polyvinylkloriden på grund av termiskt sönderfall innehåller kolatomer med dubbelbindningar (C=C) eller på grund av termisk oxidation karbonylgrupper (C=O), absorberar dessa grupper ljusenergi som utlöser en fotokemisk reaktion. Härvid avspjälkas klorväte och en ny ljusabsorberande dubbelbindning bildas.

De nya dubbelbindningarna förskjuter absorptionen mot större våglängder, varigenom den blir starkare och den fotokemiska reaktionen

intensivare. På så sätt uppstår en art av kemisk kedjereaktion, som resulterar i betydande skador på plasten. Detta är ett klassiskt exempel på hur små koncentrationer av föroreningar väsentligt nedsätter åldringsbeständigheten mot ultraviolet strålning. Ett annat exempel av samma slag är polystyren, som är resistent mot ultraviolet strålning, endast om den är fri från monomer som ju innehåller dubbelbundna kolatomer.

Mekanismen för den fotokemiska reaktionen i högpolymera ämnen har nyligen klarlagts genom försök med modellsubstanser. Sålunda kunde påvisas att sekundär butylklorid i närvaro av spår av aceton sensibiliseras så att klorväte avspjälkas. Därvid kunde fastställas att de metylradikaler, som frigörs vid acetonens fotolys, utgör sönderfallscentra för den sekundära butylkloriden.

### Temperatur

Temperaturens inverkan kan inom vissa gränser åskådliggöras enklast med tiogradensregeln, enligt vilken reaktionshastigheten fördubblas vid en temperaturhöjning av 10°C. Sålunda beror hastigheten hos alla kemiska åldringsprocesser av temperaturen. Även fysikaliska processer, såsom diffusion av mjukningsmedel i ytskikten eller inträngning av vatten i plaster är starkt temperaturberoende. Plasternas egentliga värmebeständighet, fränsett åldringsprocesser, beror av dissociationsenergin för makromolekylernas kemiska bindningar (tabell 1).

Uppgifterna i tabell 1 förklarar den höga termiska stabiliteten hos akrylnitril, fenolharts (C—C-aromatisk) och fluorkolväten. Därvid bör dock iaktas att intermolekylära krafter inverkar väsentligt på stabiliteten hos bindningar inom molekylen. Viktigast är i detta fall inverkan av dels polära, dels tunga sidgrupper. Av dessa bör särskilt framhållas stora sidgrupper som minskar huvudkedjans stabilitet.

En kolkedjas termiska stabilitet beror på typen av de i kedjan ingående kolatomerna (se-

Tabell 1. Bindningsenergier för de viktigaste organiska bindningarna<sup>2,3,4</sup>

	Bindningsenergi kcal/mol
C≡N (nitril) .....	186
C=O (keton) .....	178
C=C (R—CH=CH—R) .....	147
C=C (aromatisk) .....	124
C—F .....	119
O—H (alkohol) .....	110
C—H (alifatisk) .....	98
Si—O (silikon) .....	89
C—O (alkohol) .....	87
C—C (alifatisk) .....	83
C—O (eter) .....	79
C—Cl .....	78
Si—C .....	70
C—S .....	66

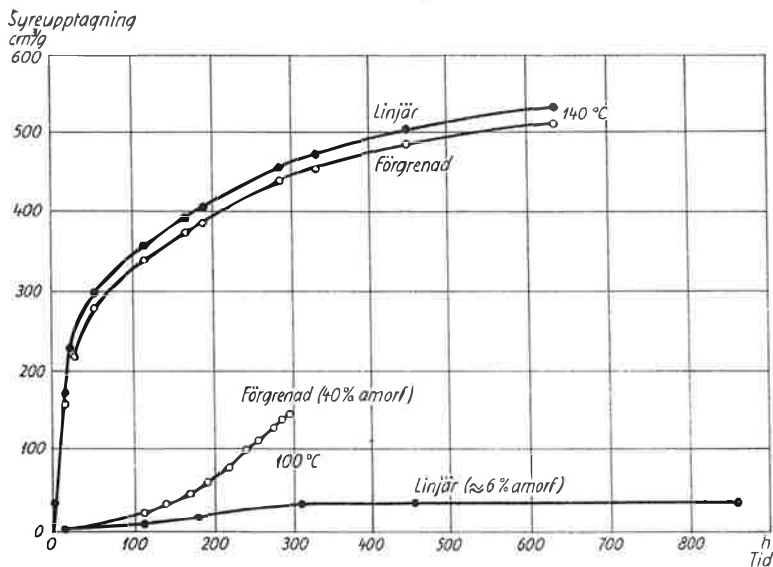
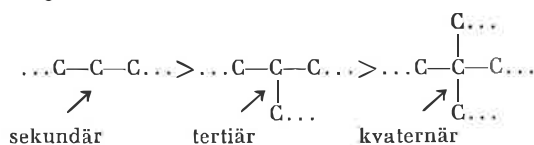
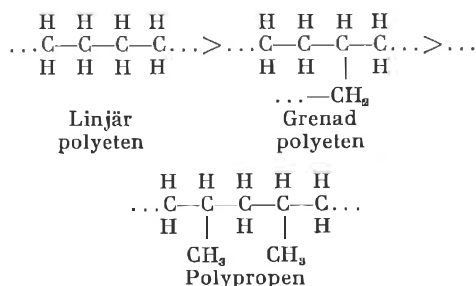


Fig. 2. Polyetens syreupptagning.

kundära, tertiära eller kvaternära). Den termiska stabiliteten hos kedjor med kolatomer av dessa typer har följande inbördes rangordning:



En kedjas termiska stabilitet beror även av mängden ingående tertiära och kvaternära kolatomer. Genom pyrolys kan man fastställa en plasts relativa termiska stabilitet (tabell 2). Man har funnit bl.a. följande stabilitetsordning för några kolvätepolymerer:



Av tabellen framgår bl.a. att det flyktiga pyrolysatet från en del ämnen, t.ex. polyvinylklorid, uteslutande består av andra substanser än den ursprungliga monomeren och från andra, t.ex. polymetakrylat, nästan enbart av den ursprungliga monomeren. I det senare fallet kan man tala om en depolymerisation.

#### Oxidation

Vid normala temperaturer oxideras plaster i regel så långsamt att man endast efter en längre tid och med mycket känsliga instrument, t.ex. infrarödspektrograf, kan fastställa mätbara förändringar. Undantag utgör endast omätta föreningar, såsom naturligt och syntetiskt gummi, vilka även under normala betingelser snabbt oxideras och därför bör skyddas genom tillsats av antioxidationsmedel. Gi-

vetvis påskyndar förhöjd temperatur och ultraviolet strålning oxidationsprocessen. Polystyren, som förvarats i mörker, visar t.o.m. efter flera års lagring inga band i infrarödspektret som kan härröra från oxidationsprodukter, medan redan efter 50 dygns lagring i solljus tydliga spår av oxidation framträder i form av karbonylgrupper.

Polyeten har liten oxidationsbeständighet vid inverkan av ultraviolet strålning. Nyare kinetiska mätningar visar att aktiveringsenergin för oxidationsprocessen är betydligt olika för linjär och grenad polyeten, nämligen 20,5 kcal/mol för den förra och 16,9 kcal/mol för den senare. Linjär polyeten med högre grad av kristallinitet uppvisar alltså bättre oxidationsbeständighet än den mindre kristallina, grenade typen. Undersökningar med polyeten tyder på att oxidationen börjar i de amorfa delarna (fig. 2).

#### Vatten

Inverkan av främmande flytande eller gasformiga föreningar på plasters åldring är mångsidig. Så kan t.ex. en svällning (utvidgning av materialets överyta) sekundärt inverka på materialets oxidation och strålningsabsorption. Bland de talrikt förekommande vätskorna och ångorna intar vattnet i olika former, såsom ånga, dimma, snö och is, en dominerande roll. Med få undantag (kolvätepolymerer) påverkas plaster i hög grad av vatten, varvid såväl fysikaliska som kemiska processer uppträder.

Av fysikaliska processer bör särskilt svällning och urlakning framhävas. Vatteninfrängning, kombinerad med låg temperatur (frostsprängning), kan på grund av dilatationskrafter fullständigt förstöra materialstrukturen. Även den minsta vattenadsorption, t.ex. hos kabelisolationer, ändrar de dielektriska egenskaperna, varvid åldringen påskyndas av elektrolytiska processer med ohmska eller dielektriska värme-

Tabell 2. Termisk stabilitet hos plastmaterial vid pyrolysförsök<sup>5-12</sup>

	Pyrolystemperatur* °C	Erhållna monomerer %
Polytetrafluoreten	509	> 95
Polyeten, linjär	414	0,1
Polybutadien	407	2
Polyeten, grenad	404	< 0,025
Polypropen	387	< 0,2
Polyklortrifluoreten	380	27
Polystyren	364	40
Polyisobuten	348	20
Polymetylakrylat	328	0
Polymetylmetakrylat	327	95
Polyvinylacetat	269	0
Polyvinylalkohol	268	0
Polyvinylklorid	260	0

\* Den temperatur, vid vilken polymeren förlorar hälften av sin ursprungliga vikt under 30 min vakuumbehandling. Uppvärmningstiden till nämnda temperatur är 5 min.

alstringar som följd. I somliga plaster (polyamider), inverkar små vattenmängder som mjukningsmedel och höjer materialets förmåga att tåla korttidsbelastningar. I sådana fall inverkar en uttorkning ogynnsamt genom att plasten blir spröd.

Urlakning av vattenlösliga substanser kan vara både till fördel och till nackdel. Fördelaktig är urlakningen av bildade oxidationskatalysatorer, t.ex. organiska eller oorganiska syror. Till nackdel är urlakning av främst anti-oxidanter och ljusstabilisatorer.

Vattens kemiska inverkan på plaster är synnerligen komplicerad. De flesta sönderfallsreaktionerna, i synnerhet oxidationsprocesser, påskyndas starkt i närvaro av vatten på grund av ökad rörlighet hos reaktionsprodukterna, ökad dissociation samt ökad möjlighet för protolytiska reaktioner (bildande av syror och baser genom upptagande och avgivande av protoner).

Plasters fuktadsorption eller hygroskopicitet kan erhållas genom bestämning av den fukt-mängd som ett torrt prov har tagit upp efter 24 h lagring vid 60 % relativ luftfuktighet och rumstemperatur (tabell 3 och 4)<sup>32,33</sup>. Den väsentligt olika fuktadsorptionen i tvärs- och längsriktningen hos plastmaterial med orienterat fyllmedel beror på dettas höga adsorption samt vattnets snabba vandring i gränssytan plast-fyllmedel.

Utöver fuktadsorption på plastmaterialens yta, som försiggår relativt snabbt, tränger fukt även in i materialet. Denna fuktvandring är starkt beroende av temperaturgradienten i materialet samt av vattenångans partialtrycksgradient. Vid olika tjocklek hos plasten kan man vid behållna randvillkor approximativt räkna med att fuktupptagningstiden till jämviktsläge (mättnad) är direkt proportionell mot kvadraten på materialtjockleken, när fuktinträning sker från en riktning. Om en torr 3 mm tjock platta av polyamid kommer till fuktjämvikt efter ca 20 dygn, kan man enligt det ovan sagda lätt beräkna att en 0,5 mm tjock polyamidfolie skulle komma till fuktjämvikt efter ca 13 h.

Vid icke stationära temperatur- och fuktillstånd kommer hydrofoba plastmaterial ständigt att genomströmmas av vattenånga, och denna permeabilitet kan inte alltid försummas när folien är avsedd att fungera som spärr mot vattenånga eller fukt.

Alla plaster, som innehåller hydrolyserbara grupper (polyamider, polyestrar, polyacetat, polynitriler), eller plaster, i vilka hydrolyserbara grupper uppstår genom oxidation, påverkas vid sönderfallet av vatten. Befinner sig dessa grupper i sidgrenar förändras i regel inte makromolekylernas molekyllängd, och hållfasthetsegenskaperna ändras endast obetydligt. Som ett undantag bör anföras polyvinylkloridacetat, som är mycket vattenkänsligt på grund av att vatten inverkar på krafter mellan molekyllkedjorna.

Är däremot hydrolyserbara grupper delar av

Tabell 3. Homogena plasters fuktadsorption

	Form	Hygroskopicitet $\sigma$ mg/cm <sup>2</sup>
Polytetrafluoreten (Teflon) ..	film	0,00001
Polyeten .....	folie	0,0001
Polystyren .....	platta	0,063
Polyvinylklorid .....	folie	0,095
Polyvinylklorid .....	platta	0,13
Polyvinylklorid mjuk .....	slang	0,20—0,27
Anilin-formaldehydplast ....	platta	0,14
Fenol-formaldehydplast ....	platta	0,36
Polyester .....	platta	0,38
Polymetylmetakrylat .....	platta	0,47
Polyamid (Undecanamid		
Pa 11) .....	platta	0,30
Polyamid DP .....	platta	0,54
Polyamid AP .....	platta	1,22
Celluloid .....	platta	1,4—1,6
Cellulosacetat .....	platta	2,5—3,0

huvudkedjan, medför ett sönderfall en stark minskning av den genomsnittliga molekyllängden, vilket kan medföra en betydande minskning av plastens hållfasthet. I båda fallen försämras i första hand den kemiska resistensen och de dielektriska egenskaperna. Många hydrolysisprocesser katalyseras av syror och baser samt accelereras givetvis av förhöjd temperatur. Vid val av tillsatsämnen till plast, t.ex. fyllmaterial, åldringskyddsmedel, stabilisatorer, bör denna omständighet alltid beaktas.

#### Mekanisk belastning

Man skall skilja mellan inre spänningar, som uppstått vid plastens bearbetning och som praktiskt taget alltid är bundna till mekaniska deformationer, samt yttre spänningar som påverkar materialet när det tjänstgör som konstruktionselement. Man bör härvid ha i minnet att makromolekylära material i fast tillstånd och särskilt i deformerat tillstånd har molekylanordningar som inte representerar ett minimum av fri energi. På grund av detta är plastmaterialen i de färdiga produkterna i de flesta fall inte i termodynamisk jämvikt.

I varje material, där omlagringsmöjligheter föreligger, uppstår med tiden inre förändringar som för mot en termodynamisk jämvikt. Dessa förändringar är i hög grad beroende av de kvarvarande inre spänningarna från materia-

Tabell 4. Fuktadsorptionen för homogena plaster med orienterat fyllmedel

	Hygroskopicitet		$\sigma$ längs
	$\sigma$ tvärs	$\sigma$ längs	$\sigma$ tvärs
	mg/cm <sup>2</sup>	mg/cm <sup>2</sup>	mg/cm <sup>2</sup>
Fenoplast med cellulosa-fyllmaterial .....	0,8	2,7	3,3
Fenoplast med textil-fyllmaterial .....	1,2	8,1	6,7
Lindade rör av fenoplast .....	1,15	10,6	9,2

lets tidigare bearbetning eller belastning och kan därför inte kvantitativt anges för en viss materialtyp som sådan. Förändringar vid utjämning av inre spänningar utgörs av molekylära omgrupperingar och kan resultera i yttre fenomen, såsom krympning, sprickning eller brott. Begränsas frihetsgraden för molekylernas rörelse genom yttre anordningar, t.ex. inspänning, kan inre kryppfenomen uppträda även utan påtagliga yttre förändringar.

Den intressantaste och mest undersökta åldringseffekten på grund av mekaniska påkänningar är bildningen av spänningssprickor hos polyolefiner, särskilt hos polyeten. Omfattande försök har först under senaste tid lett till klarhet om de viktigaste faktorernas roll vid bildning av spänningssprickor.

Man har sålunda kunnat fastställa, att vid temperaturer under 0°C accelereras och t.o.m. utlöses bildningen av spänningssprickor av ytaktiva substanser, t.ex. tvål. Hos polymerer med relativt låg molvikt eller hos polymerer i vilka andelen av lågmolekylär substans är betydande kan spänningssprickor uppstå vid temperaturer under 0°C även utan påverkan av ytaktiva ämnen. Material med högre molvikt är mindre utsatta för spänningssprickning, och en ökning av molvikten medför en betydande ökning av säkerheten mot spänningssprickning, medan en minskning i kristallinitet har en mindre inverkan på denna säkerhetsökning.

Spänningssprickning under inflytande av värme påverkas inte av det omgivande mediet. Säkerheten mot spänningssprickning växer i sådana fall proportionellt mot molvikten och omvänt proportionellt mot kristalliniteten. En tillsats av högmolekylära mjuka föreningar, såsom polyisobuten, hindrar i allmänhet spänningssprickningen.

#### *Kombinerad inverkan*

Som tidigare framhållits åldras plaster genom en samverkan av olika faktorer, varvid olika processer ingriper i varandra. En prototyp av kombinerad inverkan är känd under den allmänna beteckningen vittring. Härvid är det generellt omöjligt att skilja sönderfallsfenomen orsakade av strålning från andra som beror på inverkan av fukt, ozon, syre, värme och kyla, även när var och en av de nämnda fem

faktorerna motsvaras av en speciell sönderfallsprocess.

Tyvärr har systematiska vittringsförsök inte utförts i tillräcklig omfattning och för de relativt nya plasterna är data mycket sparsamma. Enligt en amerikansk rapport<sup>15</sup> har plastmaterial provats under olika klimatiska betingelser varvid åldringens inverkan har bedömts med ledning av ändringar av den mekaniska hållfastheten (dragbrottningsgräns, hårdhet och rivhållfasthet), av dielektriska egenskaper samt minskning av genomskinligheten för ljusgenomsläppliga material. Enligt denna undersökning har plastmaterialen indelats i fyra grupper (tabell 5).

I grupp 1 är de plastmaterial upptagna som efter tre års exponering uppvisar endast mycket obetydliga åldringsfenomen. Plastmaterialen i grupp 2 tål ca ett halvt års exponering utan att nämnvärda förändringar uppstår. I grupp 3 är de material upptagna som redan efter relativt kort exponering uppvisar betydande åldringsskador. Slutligen omfattar grupp 4 de plastmaterial för vilka åldringsbeständigheten i första hand beror av bearbetningsmetoderna samt av sammansättningen och arten av tillsatsämnen.

Försöken har vidare visat att tropiskt klimat, t.ex. det vid försöksstationen i Fort Sherman, Panama Canal Zone, inverkar starkast på plasternas åldring.

#### **Provningsmöjligheter**

Generellt kan alltså framhållas att de viktigaste faktorer som påverkar plastmaterialens åldring är solljus, värme samt kemiska och biokemiska angrepp.

Vid uppläggning av långtidförsök måste man därför ta hänsyn till de speciella betingelser som materialet i fråga blir utsatt för vid användning i en byggnadskonstruktion. Plast kan nämligen uppvisa skilda åldringsfenomen i kustklimat och inlandsklimat, i industriorter och på landsbygden, även vid lika lång exponeringstid. De amerikanska resultaten från långtidsprovningar kan därför inte utan vidare anses vara representativa för åldringsbeständigheten under svenska förhållanden.

Detta är särskilt viktigt att iaktta vid bedömningen av de material som är upptagna i grupp

*Tabell 5. Plasters åldringsbeständighet*

1. God långtids åldringsbeständighet	2. God korttids åldringsbeständighet (i anslutning till grupp 1).	3. Liten åldringsbeständighet	4. Beständigheten beroende av bearbetningsmetoder, tillsatser m.m.
Polytetrafluoreten	Cellulosapropionat	Polyamider	Cellulosaacetat
Glasfiberarmerade lamina	Fenolharislaminat utan armering	Polystyren	Cellulosaacetatbutyrat
Polymetylmetakrylat (endast elektriska och optiska egenskaper)	Melaminharts	Etylcellulosa	Fenolpressmassor
Allylgjuthartser (endast elektriska och optiska egenskaper)	Karbamidharts	Cellulosanitrat	Polyeten
	Allylgjuthartser (mekaniska egenskaper)	Polyvinylalkohol	Polyvinylklorid
		Silikongummi	Polyvinylkloridacetat
		Fenolhartser	



4, tabell 5, och för vilka inga provningsresultat anges.

Det föreligger här liknande problem som dem man möter vid frågan om hur länge ett träföremål eller en träkonstruktion kan motstå tidens tand om den inte förstörs av eld. Utomordentligt omfattande erfarenheter föreligger, som borde möjliggöra ett tillfredsställande svar. Detta är emellertid något förbluffande och desorienterande, nämligen högst några månader, när träet blir angripet av hussvamp och röta, t.ex. trästöttor i stenkolsgruvorna, eller flera tusen år, när det förvaras torrt och vid lämplig temperatur samt oåtkomligt för insekter, t.ex. föremål i egyptiska kungagravar.

Endast ett fåtal standardiserade provningsmetoder för åldringsbeständighet hos plast finns för närvarande i amerikanska, brittiska och tyska provningsföreskrifter. De viktigaste och mest använda är provning av ljus- och värmebeständighet.

I laboratorier kan ljuskällor åstadkommas som endast i vissa delar av spektrum och i begränsad omfattning kan ge ljus med en intensitet som liknar solljusets (fig. 3). Med dessa ljuskällor kan i första hand den relativa åldringsbeständigheten hos olika plasttyper undersökas och en jämförelse med solljusets inverkan göras från fall till fall.

Emellertid är även relativa försöksresultat värdefulla för utvecklingen av mera motståndskraftiga plasttyper, och bestrålningsapparater som oftast är kombinerade med befuktning-anordningar används för närvarande i stor utsträckning inom plastindustrin. I dessa apparater är ljuskällan en kolljusbåge eller kvicksilverånglampor där den ultravioletta delen av strålningen med våglängd under 3 000 Å filtreras bort. En apparat av denna typ är t.ex. Atlas Weather-Ometer.

Vissa typer är även försedda med programautomatik.

Under den senaste tiden har man även utvecklat gasurladdningsrör, innehållande xenon som ger ljus med en intensitetsfördelning i spektrets olika delar liknande solljusets. Det är dock fortfarande svårt att åstadkomma en totalintensitet motsvarande solljusets, eftersom endast en mindre del av den energi som går åt till ljuskällans drift kan förvandlas till ljus som primärt påverkar de exponerade proven, medan den andra delen övergår till värme i provningsapparaten och åstadkommer för hög temperatur hos de för provning upplagda föremålen. I en av de nyaste provningsapparaterna, Hanau Xenotest W, synes dessa olägenheter vara upphävd genom användning av ett vattenfilter samt en effektiv luftkylning av ljuskällan.

Plasternas åldring under inverkan av värme undersöks i värmeskåp. En accelerering genom höjd temperatur kan tillämpas endast i begränsad omfattning, eftersom de olika plasttyperna har sina kritiska temperaturer vid vilka betydande ändringar av egenskaperna inträffar. Provning av åldringsbeständigheten vid höjd

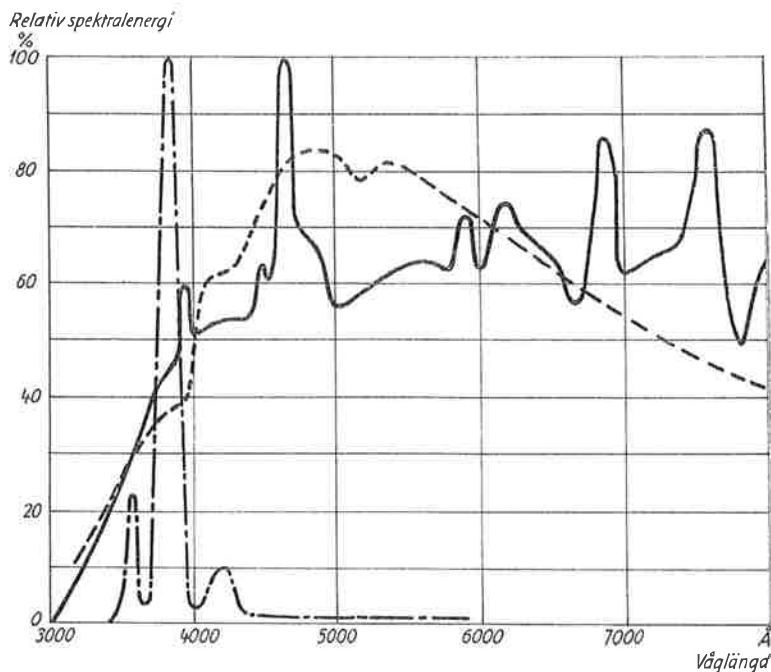


Fig. 3. Spektralenergifördelning för — · — · — ljusbåge (kolelektroder) med ultraviolet filter, — xenonbrännare med ultraviolet filter och vattenfilter för ultraröd strålning samt · · · sol- och himmelsstrålning.

temperatur utförs ibland i syreatmosfär och vid förhöjt tryck, varvid oxidationsbenägenheten kan undersökas.

Inverkan av kemiska ämnen på åldringen kan exemplifieras med ozonens reaktion med organiska ämnen med dubbelbindningar mellan kolatomer. Ett av gummiindustrins största bekymmer har varit de mot dragspänningsriktningen vinkelräta sprickor som uppstår i gummi. Det har fastställts att sprickor särskilt påtagligt bildas i ozonhaltig atmosfär. Redan en ozonkoncentration av 2:1 000 000 är tillräcklig för att förstöra ett uppspant gummiprof efter en vecka.

Endast i plaster av ett fåtal typer förekommer dubbelbundna kolatomer, och de flesta påverkas därför inte av ozon. Detta exempel visar att åldringsbeständigheten ibland kan vara beroende av ytterst små, nästan homeopatiska koncentrationer av kemiskt aktiva ämnen, vilket försvårar upptäckten av dessa och därmed även laborieprovet.

Plast bjuder i allmänhet ett gott motstånd mot biologiska angrepp, eftersom den är olämplig som näring åt levande organismer. Mjukare plasttyper kan däremot angripas av gnagare när plasten råkar hindra deras väg. Man kan dock befara att några mjukningsmedel, dvs. vissa speciella ämnen av organiskt ursprung som inblandas i plastmaterialet i syfte att göra dessa böjliga, angrips av mögel eller andra lägre organismer.

## Slutord

Sammanfattningsvis måste framhållas att åldringsbeständigheten hos plast på ett betryggande sätt kan bestämmas endast genom långtids-

provningar under de betingelser vid vilka plasten skall användas. Åldringsfenomen uppstår vanligen genom samverkan av flera faktorer. De enstaka faktorernas inverkan kan undersökas varvid man bara i vissa fall kan använda accelererad provning.

Dennas värde är att påtagliga resultat oftast kan erhållas vid en jämförande provning av olika plastmaterial. Plastens egenskaper kan vid tillverkningsprocessen ändras eller förbättras genom tillsatser, och relativa provningsresultat kan utnyttjas vid utvecklingen av nya plasttyper som skall uppfylla speciella fordringar.

Plastindustrin och byggnadsforskningsinstitutet i utlandet har i stor skala gått in för långtidsprovningar och det är resultaten från dessa provningar som byggnadstekniken i första hand är intresserad och betjänt av.

Användning inom byggnadsindustrin av helt nya plastmaterial, för vilka dylika provningsresultat inte föreligger, innebär risker och ansvar som måste delas mellan arkitekten och konstruktören å ena sidan och plastindustrin å den andra. De laboratoriemetoder som här har redovisats kan ibland ge upplysning om riskernas storlek, men de befriar inte från ansvaret.

#### Litteratur

1. Internationales Symposium über Alterung von Kunststoffen, Düsseldorf 19. Okt. 1959 (Vorabdruck). Carl Hanser, München.
2. KLAGES, F: *Lehrbuch der organischen Chemie*, bd 2 s. 53. Berlin 1954.
3. HOUWINK, R: *Elastomers and plastomers*, bd 1 s. 196. New York 1950.
4. MARK, H & TOBOLSKY, A V: *Physical chemistry of high polymer systems*, s. 15. New York 1950.
5. MADORSKY, S L, STRAUS, S, THOMPSON, D & WILLIAMSON, L: *Pyrolysis of polyisobutylene (Vistanex), polyisoprene, polybutadiene, GR-S, and polyethylene in a high vacuum*. J. Res. Nat. Bur. Stand. 42 (1949) s. 499.
6. STRAUS, S & MADORSKY, S L: *Pyrolysis of styrene, acrylate and isoprene polymers in a vacuum*. J. Res. Nat. Bur. Stand. 50 (1953) s. 165.
7. MADORSKY, S L, HART, V E, STRAUS, S & SEDLAK, V A: *Thermal degradation of tetrafluoroethylene and hydrofluoroethylene polymers in a vacuum*. J. Res. Nat. Bur. Stand. 51 (1953) s. 327.
8. MADORSKY, S L & STRAUS, S: *Thermal degradation of polymers as a function of molecular structure*. J. Res. Nat. Bur. Stand. 53 (1954) s. 361.
9. MADORSKY, S L & STRAUS, S: *Thermal degradation of polychlorotrifluoroethylene, poly- $\alpha$ ,  $\beta$ -trifluorostyrene and poly-p-cylylene in a vacuum*. J. Res. Nat. Bur. Stand. 55 (1955) s. 223.
10. MADORSKY, S L: *Thermal degradation of polymers at low rates*. J. Res. Nat. Bur. Stand. 62 (1959) s. 219.
11. MADORSKY, S L: *Rates of thermal degradation of polystyrene and polyethylene in a vacuum*. J. Polymer Sci. 9 (1952) s. 133.
12. MADORSKY, S L & STRAUS, S: *Thermal degradation of polyethylene oxide and polypropylene oxide*. J. Polymer Sci. 36 (1959) s. 183.
13. KOVACS, A: *Projet en vue de l'etude de la normalisation de l'essai de susceptibilité hygrométrique des matières plastiques*. Ind. Plast. Mod. 2 (1950) juli/avg. s. 17.
14. KOVACS, A: *La susceptibilité hygrométrique des matières plastiques*. Ind. Plast. Mod. 3 (1951) nov. s. 43.
15. BARRETT, R B: *Resistance of plastics to outdoor exposure*. Office of Technical Services PB 131331, Dept. of Commerce, Washington 1955.
16. SEITZ, E O: *Lichtechtheitsprüfung mit Xenotest*. Dechema-Monographien bd 31. Weinheim/Bergstrasse 1958.

#### Summary

It must be stated that the only safe way to determine the weathering resistance of plastic is through long time outdoor exposure tests carried out under the same climatic conditions as will apply, when the plastic is used in a construction. The phenomenon of ageing is usually brought about by the combined effect of several different factors. The effect of each individual factor can be investigated, and it is possible to employ accelerated laboratory testing, but only in certain cases a conversion factor to outdoor exposure can be given.

The value of accelerated testing lies in the fact that it often gives definitive results when comparison tests with different plastic materials are made. The properties of the plastic can be altered or improved during the manufacturing process by the use of additives, and relative laboratory test results can be utilized when developing new types of plastic which are to meet special requirements.

The plastics industry and institutes of building research abroad have gone in for outdoor exposure tests on a large scale, and the results of these tests are of main interest and service in the field of building technique. The use of completely new plastics in the building industry, for which no such test results are available, involves many risks, and the responsibility must be shared by the architect and the builder on the one hand and the plastics industry on the other. The laboratory methods described in this paper can sometimes provide some idea of the extent of the risk but they do not free any party from responsibility.

#### Zusammenfassung

Es muss hervorgehoben werden, dass die Alterungsbeständigkeit von Kunststoffen mit Sicherheit nur durch Dauerversuche unter klimatischen Verhältnissen, die der jeweiligen Anwendung entsprechen, festgestellt werden kann. Die Alterungserscheinungen entstehen gewöhnlich durch ein Zusammenwirken mehrerer Faktoren, deren Einfluss im einzelnen untersucht werden kann, wobei man sich nur in gewissen Fällen einer beschleunigten Prüfung bedienen und einen Vergleichsfaktor für normale Alterung feststellen kann. Der Wert der beschleunigten Prüfung liegt hauptsächlich darin, dass ausschlaggebende Ergebnisse bei Vergleichsprüfungen verschiedener Kunststoffsorten erzielt werden können. Die Eigenschaften der Kunststoffe können bei dem Herstellungsprozess durch Zusatzstoffe geändert oder verbessert werden, und relative Prüfungsergebnisse können bei der Entwicklung neuer Kunststoffe, die besondere Forderungen erfüllen sollen, nutzbar gemacht werden.

Die Kunststoffindustrie und die Bauforschungsinstitute in Ausland führen nunmehr in grossem Umfang Dauerversuche durch; hieran sind die Bautechniker in erster Linie in-



teressiert, weil sie von diesen Ergebnissen den meisten praktischen Nutzen haben. Die Verwendung von ganz neuen Kunststoffen in der Bauindustrie, für welche solche Prüfungsergebnisse nicht vorliegen, enthält ein Risiko und eine Verantwortung, die von dem Architekten und dem Konstrukteur auf der einen Seite und

der Kunststoffindustrie auf der anderen gemeinschaftlich getragen werden müssen. Die in diesem Aufsatz beschriebenen Laboratoriumsverfahren für beschleunigtes Prüfen können manchmal über die Grösse der Gefahren Aufschluss geben, befreien aber nicht von der Verantwortung.

**Särtryck (Utgångna nummer ej medtagna.)**

**1957:**

7. *Ronge, Hans och Löfstedt, Börje.* Strålningsdrag från kalla tak. Stockholm 1957. 8 s. Kr. 1:50.
8. *Ronge, Hans och Löfstedt, Börje.* Luftfuktighetens värmeverkan och »effektiv temperatur». — Hur varma är kläder vid olika luftfuktighet? Stockholm 1957. 15 s. Kr. 2:50.
10. *Adamson, Bo.* Kalorimätarens noggrannhet. Stockholm 1957. 12 s. Kr. 2:—.
11. *Klingberg, Lennart och Olsson, Eskil.* Krandagbok. En metod för arbetsstudier på tornsvängkranar. Stockholm 1957. 18 s. Kr. 2:—.

**1958:**

1. *Klingberg, Lennart, Olsson, Eskil m. fl.* Monterbara fasadställningar. Stockholm 1958. 27 s. Kr. 3:—.
2. *Tynelius, Sven.* Parkeringsundersökning från luften med tillhjälp av stereobilder. Stockholm 1958. 13 s. Kr. 1:50.
3. Uppsatser om golv. Stockholm 1958. 62 s. Kr. 3:—.
6. *Saare, Erik.* Forskning om fukt i byggnadsmaterial. Stockholm 1958. 7 s. Kr. 2:—.

**1959:**

1. *Höglund, Ingemar m. fl.* Invändig ytbehandling i betonghus. Stockholm 1959. 11 s. Kr. 1:—.
2. *Backmark, Lennart, Blomgren, Boris, Jacobsson, Mejse och Månsson, Kurt.* Byggnadsverksamhet och bostadsförhållanden i Sovjetunionen. (Fyra artiklar.) Stockholm 1959. 48 s. Kr. 4:—.
3. *Pleijel, Gunnar.* Fönstrets värmebalans. Stockholm 1959. 8 s. Kr. 1:—.
4. *Bjerking, Sven-Erik och Höglund, Ingemar.* 1. Platsgjutning av betong för putsfria ytor. 2. Ytjämnhet hos putsfria betongytor. Stockholm 1959. 12 + 8 s. Kr. 1:50.
5. *Eneborg, Ingmar.* Driftundersökningar på små oljeeldade värmeanläggningar. Stockholm 1959. 7 s. Kr. 1:—.

**1960:**

1. *Arup, Hans, Eneborg, Ingmar, Hagman, Folke och Olufsen, Peter.* Värmekulvertar. (Fyra svenska och två danska artiklar.) Stockholm 1960. 42 s. Kr. 4:—.
2. *Jacobsson, Mejse.* Monteringsbyggeri i Europa. Stockholm 1960. 8 s. Kr. 1:50.
3. *Mandorff, Sven.* Förinställningsberäkning — ett viktigt led i värmeanläggningens projektering. Stockholm 1960. 16 s. Kr. 3:—.
4. *Eneborg, Ingmar.* Värmeutbytet vid sopeldning. (Två artiklar.) Stockholm 1960. 12 s. Kr. 3:—.
5. *Westin, Olle.* Markexploatering. Stockholm 1960. 7 s. Kr. 1:50.

**Pris kr. 1:50**

---

Distribueras av

**AB Svensk Byggtjänst**  
Stockholm C · Pg. 540 33