

# SEPAP 12/24 og den mekanistiske tilgang til fotoældning af polymerer ved vejrpåvirkning

## Indledning

SEPAP<sup>1</sup> 12/24 blev i 1970'erne udviklet af fotokemikere ved universitetet i Clermont-Ferrand i Frankrig. Apparatet blev designet til – under kontrollerede forhold i laboratoriet – at udføre en accelereret simulering af den kemiske evolution og de ældningsmekanismer der ved eksponering for fx sol og regn får polymerer til gradvist at miste deres egenskaber i løbet af deres levetid.

## Principperne for mekanistisk tilgang

SEPAP 12/24 blev i første omgang testet på forskellige typer polymere grundmasser der alle havde et lille indhold af additiver med fotokemiske funktioner. At man var nødt til at starte op med en så forenklet tilgang, skyldes den komplekse kemiske evolution et polymermateriale gennemgår når det udsættes for lys, varme, O<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O:

- Når den kemiske evolution analyseres, skal polymeren være i fast form da det primært er her den opnår de gavnlige egenskaber. Dette har især betydning ved test af stabiliteten hos halvfabrikata.
- Den kemiske evolution har kun lille betydning. Når udviklingen af nedbrydningsprodukter overstiger 0,5-1 % af det ureagerede materiale, er næsten alle fysiske egenskaber gået tabt; så medmindre miljøhensyn kræver at man undersøger polymermaterialets tilbageværende egenskaber, giver det ingen mening at fortsætte med at studere reaktionerne i de resterende fraktioner.
- Kemisk evolution dækker over mange forskellige fotokemisk og termisk aktiverede mekanismer af varierende betydning. Det er således nødvendigt at identificere de omdannelser der reelt fører til fysisk nedbrydning. Det involverer oftest en fotooxidativ eller termooxidativ mekanisme der fremkalder produkter i så høje koncentrationer at de kan påvises med vibrationsspektrometri såsom FT-IR spektroskopi.

## Mekanistisk tilgang kontra simulering

Efterfølgende har man brugt SEPAP 12/24 til at undersøge langtidsholdbarheden hos tusindvis af polymerformuleringer; og ISO-komiteén ISO/TC 61-SC6N har fornylig godkendt den mekanistiske tilgang som en international standard<sup>2</sup>. Metoden beskriver hvordan man ud fra polymermaterialers kemiske evolution i accelererede fotoældningstest kan forudse udviklingen af deres gavnlige egenskaber.

Den mekaniske tilgang afviger meget fra den traditionelle empiriske tilgang hvor man simulerer vejrpåvirkning ved hjælp af kunstige miljøpåvirkninger.

Den empiriske metode blev udviklet i 1950'erne af blandt andre værktøjsmaskinkonstruktører og maskingeniører som var de primære brugere af polymermaterialer.

På den tid hvor fejl først blev opserveret i forbindelse med slutbrugen og særligt ved udendørs brug, blev maskinkonstruktører opfordret til at udvikle en accelereret laboratorietest der skulle simulere de fænomener der nedbryder polymere systemer. Systemerne blev håndteret som makroskopiske enheder som let kunne karakteriseres ud fra fysiske (især mekaniske) egenskaber. Det polymere lag blev behandlet som en "sort boks" som kunstigt blev påført alle reproducerbare fysiske og kemiske miljøpåvirkninger (lys, varme, mekanisk stress, O<sub>2</sub>, fugt, O<sub>3</sub> og luftforurenende stoffer).

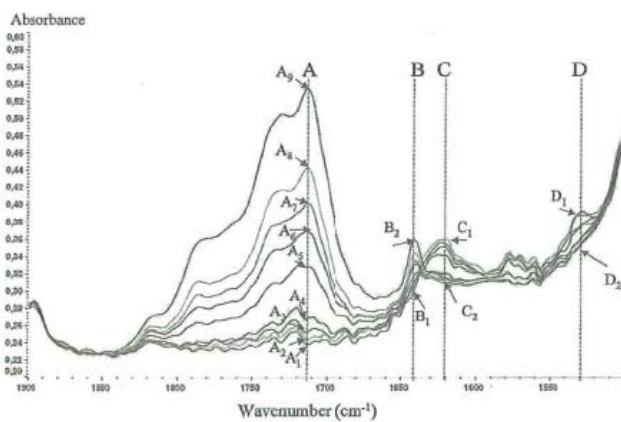
Laboratorieapparater til vejrpåvirkning blev designet til at simulere miljøpåvirkninger såvel kvalitativt som kvantitativt og så tæt på deres naturlige maksimumsniveauer som muligt. Den tilgang til stresssimulering er stadig vidt udbredt inden for kontrol, udvikling og forskning i polymerers holdbarhed.

<sup>1</sup> SEPAP = Service d'Etude du Photoveillissement Accéléré des Polymères

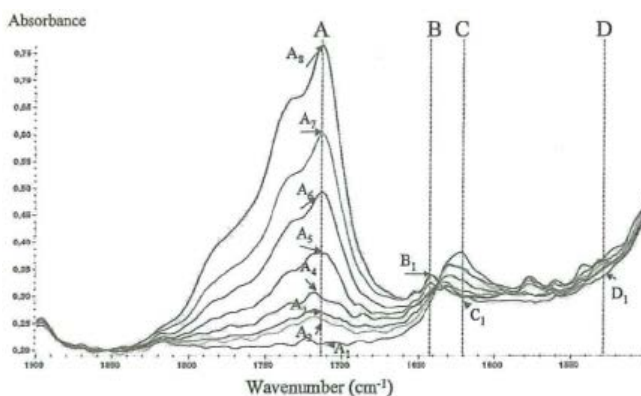
<sup>2</sup> Udkast til international standard ISO/DIS 10640 Plast – Metode til vurdering af accelereret fotoældning ved FTIR og UV/synlig spektrometri.

Den mekanistiske tilgang har flere fordele i forhold til traditionel simulering:

- Kemisk evolution er skyld i de fleste fysiske skader der opstår i forbindelse med ældning (fx ændringer i mekaniske egenskaber og udseende).
- Der findes ikke en anerkendt definition på accelerationsfaktoren for ændringer i de fysiske egenskaber. Accelerationsfaktoren for kemisk evolution er derimod veldefineret. Accelerationsfaktoren er et udtryk for den relative hastighed opnået under accelererede betingelser i forhold til naturlige eller slutbrugsbetingelser<sup>3</sup>. På dette grundlag kan man forudsige materialers levetid under slutbrugsbetingelser i et givent klima.
- Man kan bedømme de relevante egenskaber ved en accelereret fotoældningstest til kemisk evaluering af polymerblandingen ud fra evolutionsmekanismernes uforanderlighed ved forskellige ældningsbetingelser.
- Når man forstår mekanismerne bag kemisk evaluering, kan man udvikle rationelle strategier for fotostabilisering.



Figur 1  
Spektrale variationer hos LDPE-film eksponeret i SEPAP 12/24 i løbet af 0 timer (A1), 152 timer (A2), 502 timer (A3), 595 timer (A4), 1201 timer (A5), 1600 timer (A6), 1800 timer (A7), 2002 timer (A8) og 2192 timer (A9) – A, B, C, D svarer til 1713, 1640, 1622, 1530  $\text{cm}^{-1}$  (B1, C1, D1 ved starttiden – B2, C2, D2 efter 2192 timers eksponering).



Figur 2  
Spektrale variationer hos LDPE-film ved udendørs eksponering i det centrale Frankrig i 0 timer (A1), 264 dage (A2), 355 dage (A3), 605 dage (A4), 1016 dage (A5), 1322 dage (A6), 1624 dage (A7), 2008 dage (A8) – A, B, C, D svarer til 1713, 1640, 1622, 1530  $\text{cm}^{-1}$  (B1, C1, D1 ved starttiden – B2, C2, D2 efter 2192 timers eksponering).

<sup>3</sup> Af tidsmæssige årsager bestemmes den kemiske ældningshastighed ved naturlige eller slutbrugsbetingelser kun over en begrænset eksponeringsperiode, typisk 6 måneder i tempereret klima.

## Opfølgning på kemisk evaluering og forventet levetid i SEPAP 12/24-test

SEPAP 12/24 karakteriseres på basis af de grundlæggende begreber for makromolekylær fotokemi:

- Apparatet har et prismeformet prøvechamber med fire borosilikatlamper. Prøveemnerne placeres på et roterende underlag midt i prøvechamberet så eksponeringen bliver homogen.
- Det indfaldende lys indeholder kvasimonokromatisk stråling ved 296, 313, 365, 405, 436, 547 og 579 nm. Borosilikatlampen bortfiltrerer stråling ved en bølgelængde under 290 nm; den simulerer altså ikke dagslys, men aktiverer de samme fotokemiske processer som dagslys<sup>4</sup>.
- Overfladetemperaturen på den eksponerede referencefilm, der skal have samme overfladeegenskaber som prøveemnerne, skal holdes konstant på mellem 50 og 80 °C.  
Eftersom al kemisk evolution sker via kompliceret fotoexcitation og varmeaktiverende processer, er det vigtigt samtidig at kontrollere lysintensiteten, spektralfordelingen og overfladetemperaturen på de eksponerede prøveemner. Efterhånden som evolutionshastigheden øges lineært med lysintensiteten, bliver det vigtigere at kontrollere temperaturen end lysintensiteten.

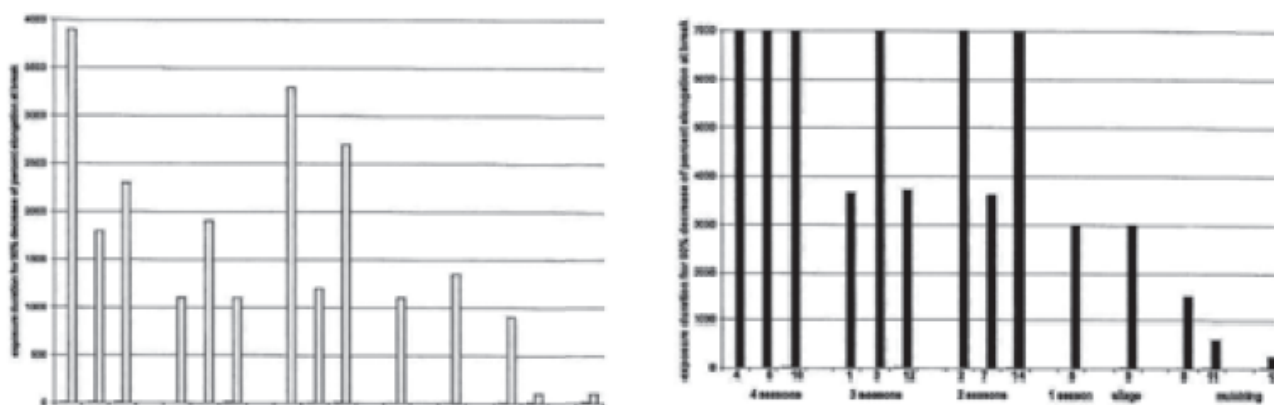
- Vand i væskefase eller fugtighed er en alvorlig mekanisk og kemisk belastning i forbindelse med vejr-påvirkning af polymerer. Ud over opsvulmning af grundmassen, nedbrydning og ekstraktion af stabilisatorer, er kemisk belastning den hyppigste effekt af vand.

I SEPAP 12/24 tilføres det eksponerede emne ikke vand udefra. Derfor kan man kontrollere temperaturen nøjagtigt under eksponeringen. Men der dannes vand ved nedbrydningen af især hydroperoxyder, og dette vand kan reagere lokalt via en såkaldt bur-effekt med hydrolyserbare fotooxiderings-halvfabrikata (såsom imider i PA, acyl urea i PU, syrechlorider i PVC og anhydrider).

Hvis man efter eksponeringen neddypper emnerne i 60 °C varmt neutralt vand i på forhånd definerede cyklusser, forstærkes vandets effekt.

Når en polymer grundmasse eksponeres for lys, varme, O<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O, foregår en kemisk evolution der involverer komplekse fotokemiske og termiske processer. For at kunne beskrive fotoældningsmekanismerne, er det essentielt at identificere den vigtigste kemiske sekvens og at redegøre for enten mekaniske skader eller ændringer i udseendet (som er vidt forskellige effekter).

Hvis man forudser ændringer i de mekaniske egenskaber, anvendes vibrationsspektrometri inklusive FTIR, mikro-FTIR, Raman-FTIR, mikro-Raman-FTIR, FTIR med fotoakustisk påvisning (PAS-FTIR) og ATR-FTIR – eventuelt suppleret med kemiske derivatiseringer. Eksempelvis gør denne analyse kombineret med andre kemiske analyseteknikker det muligt at identificere de vigtigste oxidations-halvfabrikata (hovedsagelig hydroperoxyder, ketogrupeer og alkoholgrupper) som er den vigtigste konverteringsvej for disse halvfabrikata samt for de vigtigste slutprodukter der akkumulerer i grundmassen (dvs. sure-, ester- og laktoniske grupper).



Figur 3  
Sammenligning af hvor længe landbrugsfolie skal eksponeres i hhv. Weather-Ometer (iht. ISO 4892-2) og i SEPAP 12/24 for man kan observere et 50 % fald i brudforlængelsen.

4 I kondenserede faser (dvs. stoffer i fast form, flydende form og tæt gasform) har spektralfordelingen i det indfaldende lys ikke indflydelse på reaktiviteten for en elektronisk anslået tilstand efter lyset er absorberet. Strålingen ved forskellige bølgelængder aktiverer forskellige vibrationsniveauer i den anslåede tilstand som næsten øjeblikkeligt deaktiveres til det laveste vibrationsniveau. Denne effekt kontrolleres eksperimentalt, fx ved brug af bisphenol A-PC som en dobbelt solautograf.

Kromatografi og massespektrometri bruges typisk til at karakterisere de lavmolekylære forbindelser der slipper ud af grundmassen. Men den kemiske evolutions omfang bestemmes bedst ud fra ophobningen af et kritisk produkt i grundmassen. Det kritiske produkt skal være kemisk og fotokemisk inaktivt i grundmassen; det må ikke migrere ud af grundmassen; og det skal ophobes tidslineært – inden de funktionelle egenskaber er gået fuldstændig tabt. Vælges det rigtige kritiske produkt, kan man få en indikation af hvad der er den vigtigste vej til nedbrydning af grundmassen.

Et polymermateriales levetid under kunstige forhold kan bestemmes ud fra det etablerede forhold mellem variationen af en fysisk egenskab (fx mekanisk, permeabilitet) og den associerede ændring i et kritisk produkts koncentration under accelererede betingelser. Dette resultat omdannes, via den på forhånd definerede accelerationsfaktor, til et estimat for levetiden under naturlige eller slutbrugs-betingelser. I næste afsnit ses praktiske eksempler på mekanisk tilgang til bestemmelse af levetiden.

Når visuelle ændringer forventes, er det mere kompliceret at bestemme levetiden. Det skyldes at der afhængigt af grundmassens og additivernes kemiske natur kan være flere kemiske veje med forskellige relative betydninger.

Fx har aromatiske polymerklasser (PC, TPU) en tendens til gulning. Gulningen kan skyldes to meget forskellige mekanismer med forskellige kinetiske love som det ikke er muligt at skelne mellem visuelt eller colorimetrisk. Synlig ultraviolet absorptionsspektrofotometri og mikrospektrofluorimetri kan bruges til at karakterisere naturen og koncentrationen af produkterne der forårsager de visuelle variationer.

## Praktiske eksempler på mekanistiske tilgang

### Land- og havebrugsfolier af LDPE

Den vigtigste kemiske vej til mekanisk skade på LDPE-drivhusfolie involverer dannelsen af carboxylsyrekædeender på de normale methylengrupper og på vinylidendefekterne hos LDPE. Carboxylsyregrupperne absorberede ved  $1715\text{ cm}^{-1}$ . Vinylgrupperne dannes på de ketoniske mellemgrupper via Norrish type II proces og absorberer ved  $1640$  og  $909\text{ cm}^{-1}$ . De bidrager til tværbindingen. (se *Makromolekyler* 1984, 17, 332).

21 LDPE-drivhusfolieprøver (200  $\mu\text{m}$  tykke) med forskellige stabilisatorer (UV-absorbere, fenolantioxidanter og redoxantioxidanter såsom HALS) blev testet i SEPAP 12/24 og desuden eksponeret for naturlig vejrpåvirkning over 7 år i Clermont-Ferrands tempererede klima. (Den gennemsnitlige årlige solindstråling på en  $45^\circ$  sydvendt overflade er  $4,87\text{ GJ/m}^2$ ).

De kemiske ændringer blev fulgt ved hjælp af spektrofotometri i transmissionsmodus. Overensstemmelsen mellem oxidationsmekanismerne observeret hhv. i SEPAP 12/24 og under naturlige forhold blev vist med de FTIR-spektra der ses i Figur 1 og 2.

Den definerede "accelerationsfaktor" for LDPE-grundmassen viste at 300 timers eksponering i SEPAP 12/24 omtrent svarer til et års naturlig vejrpåvirkning i det centrale Frankrig.

Endvidere observerede man 50 % fald i brudforlængelsen når oxidationens omfang svarede til en absorptionstigning på  $1715\text{ cm}^{-1}$  af  $x/1000$  (hvor  $x$  er foliets tykkelse i  $\mu\text{m}$ ).

Ifølge en ekspertgruppe angiver det endelige udkast til EN 13206 –"Resistens over for kunstig ældning af dækkende termoplastiske film" at: "kunstig vejrpåvirkning er beskrevet i ISO 4892-2. Den består af xenonlys med dobbelt borosilikatfilter til simulering af direkte sollys. Andre testmetoder eller testbetingelser kan benyttes til at kontrollere folieklassifikationen men kun når det kan påvises at der er en korrelation mellem testen og ISO 4892-2-metoden. Dette kan være en fordel når ISO-testmetoden er for tidskrævende."

I Frankrigs nationale center for evaluering af fotobeskyttelse har man foretaget et eksperiment med to formål:

- at bekræfte overensstemmelsen mellem testresultaterne fra hhv. SEPAP 12/24 og Weather-Ometer®.
- at påpege fordelene ved den accelererede teknik baseret på SEPAP 12/24.

14 folier (3 dækkende "4 årstider", 3 dækkende "3 årstider", 3 dækkende "2 årstider", 1 dækkende "1 årstid," 1 sort ensilage, 2 sorte og en transparent jorddækninger) blev studeret og eksponeret samtidigt i Ci4000 (iht. ISO 4892-2) og i SEPAP 12/24. Den kemiske udvikling blev nøje fulgt med FTIR spektrofotometri i transmissionsmodus, og variationerne i de mekaniske egenskaber blev bestemt ud fra eksponeringernes varighed iht. fransk standard NFT 510.34. Variationerne i den procentvise brudforlængelse blev bestemt som funktioner af grundmassens oxidationsgrad.

Figur 3 viser sammenhængen mellem de opsamlede data fra såvel SEPAP 12/24 som Ci4000 Weather-Ometer® samt accelerationen der blev observeret de to apparater. Sammenhængen ses af de 14 foliers levetid (fastsat som svarende til 50 % mekanisk tab).

Efter 7000 timers eksponering i WeatherOmeter var det ikke muligt at klassificere "4-årstider"-foliet. Klassifikationen kunne derimod foretages efter mindre end 2500 timer i SEPAP 12/24.

SEPAP 12/24 kan også bruges til test af jorddækning og ensilagefolier eller overrislingsanlæg (se listen over standarder sidst i denne artikel).

### Stabiliserede TiO<sub>2</sub>-pigmenterede pvc-systemer

Fotooxidation af pvc og TiO<sub>2</sub>-pigmenteret pvc er en temmelig kompleks mekanisme.

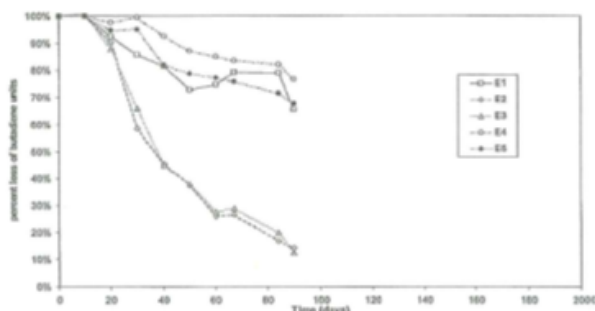
De vigtigste fotooxidationsprodukter blev observeret med FTIR-spektrofotometri der absorberede ved 1785 cm<sup>-1</sup> (syrechlorider), 1745 cm<sup>-1</sup> (αα'-dichlorerede ketoner) og 1718 cm<sup>-1</sup> (β-chlor-carboxylsyrer). De dannede syregrupper kunne bruges som et "kritisk fotoprodukt" hvis ophobning i grundmassen kan relateres til mikroevnedannelse, blegning, kridtning og tab af fysiske egenskaber.

Eksponeringen i SEPAP 12/24 blev udført enten med et tyndt folie (10-100 μm) eller tykke plader.

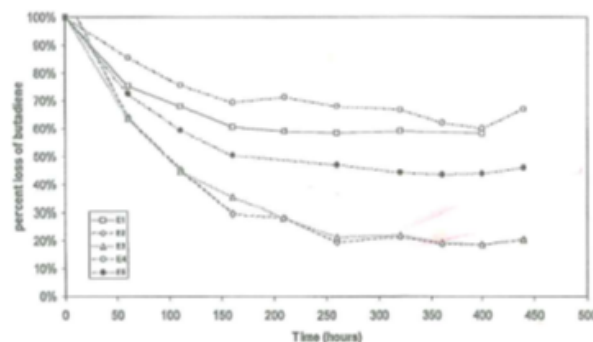
Da pvc har forholdsvis lav luftpermeabilitet, bør tykke systemer ikke testes ved ilt diffusion. Desuden skal oxidationsgraden bestemmes i de øverstliggende lag (ved brug af FTIR-spektrofotometri i fotoakustisk modus eller mikro-FTIR-spektrofotometri).

Fotooxidationen ses ved enhver misfarvning forårsaget af iltmangel. I TiO<sub>2</sub>-pigmenteret pvc er lysgennemtrængningen begrænset så man undgår iltmangel; og i modsætning til hvad der er tilfældet i de fleste halogenerede grundmasser, var der i pvc ingen fotokatalytisk aktivitet af ikke-passiveret TiO<sub>2</sub>.

I testen fungerede TiO<sub>2</sub> som et inderfilter, og absorberede indfaldende fotoner op til 400 nm. Det var en effektiv fotostabilisator for pvc-grundmassen, og ydede beskyttelse af de kromoforiske polymerdefekter der startede fotooxidationen. Det skal bemærkes at det oftest vil være misvisende at følge op på pvc-fotooxidation ved hjælp af kolorimetri. Aspektet ændres og den oxidative mekaniske skade involverer forskellige primært fotokemiske processer.



Figur 4a  
Procentuelt tab af butadien-enheder i forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret for miljømæssig vejrpåvirkning i det centrale Frankrig.

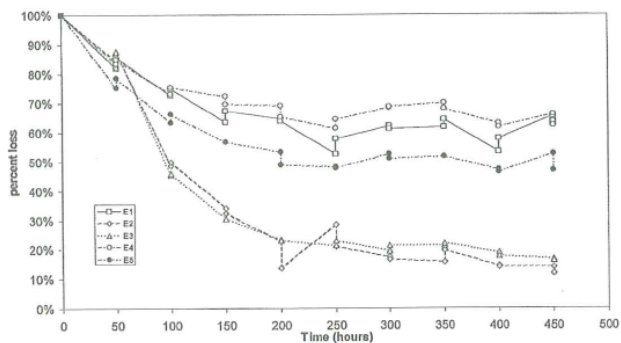


Figur 4b  
Procentuelt tab af butadien-enheder i forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret i SEPAP 12/24 under tørre forhold.

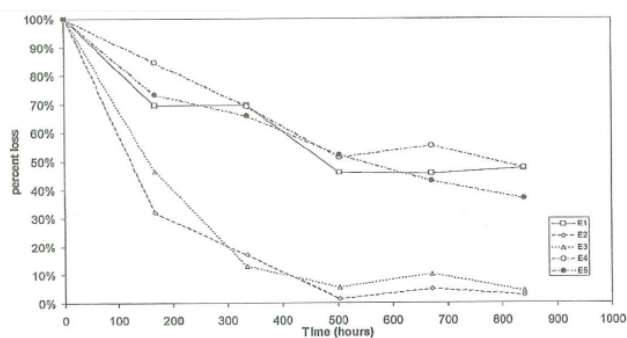
Som eksempel blev 2 formuleringer af stabiliseret TiO<sub>2</sub>-pigmenteret pvc eksponeret i SEPAP 12/24 som enten 70 μm eller 120 μm tykke folier og som 3 mm tykke plader. Prøvernes levetid i Europa var omtrent 10 år, og de blev eksponeret i 300 timer. Den stigende absorbans ved 1718 cm<sup>-1</sup> var hhv. 0,33 og 0,53 for en optisk vej på 60 μm (eller 0,26 for en optisk vej på 70 μm). Ved en optisk vej på 60 μm var absorbansen i de øverst liggende lag ved 1718 cm<sup>-1</sup> steget med 0,16 efter 10 års vejrpåvirkning i Europa.

Baseret på dannelsen af β-chlor-carboxylsyrer var korrelationen mellem timers kunstig eksponering og års vejrpåvirkning 500-1000 timer/10±3 år iht. formuleringen. Dette er et ekstremt tilfælde af accelereret kunstig fotoældning da de styrende kemiske defekters excitation skulle omfatte 3 eller 4 sammenhængende fotonabsorberinger for at iværksætte oxidationsmekanismen.

I den samme serie af eksperimenter viste oxidationsprofiler af tykke prøveemner sig at være meget ens med en lysgennemtrængning på omkring 200 μm når de blev udsat for vejrpåvirkning eller kunstig ældning.



**Figur 4c**  
 Procentuelt tab af butadien-enheder i forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret i SEPAP 12/24 med periodiske neddybninger i neutralt vand.



**Figur 4d**  
 Procentuelt tab af butadien-enheder i forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret i et xenonapparat (18 nm spray – 102 nm tør).

## ABS-baserede systemer

ABS er et polymermateriale med lav resistens over for fotonedbrydning. Det skyldes at polubutadienenhederne er let fotooxiderbare og SAN-enhederne meget følsomme over for ændringer i udseendet (gulning ved absorbering og ved emission: se polymer nedbrydning og stabilitet 1997, 55, 147).

En vurdering af den fotokemiske nedbrydning hos sorte ABS-blandinger gjorde det muligt at sammenligne følgende forskellige eksponeringsbetingelser:

- Eksponering i SEPAP 12/24 ( $\lambda \geq 290$  nm – temperatur for den eksponerede overflade  $60^\circ$  C).
- Under tørre betingelser uden kontakt med vand.
- Med periodiske 1-times neddybninger i  $60^\circ$  C demineraliseret vand efter hver 50 timers eksponering.
- Accelererede kunstige betingelser i et apparat med xenonlampe i overensstemmelse med ISO 4892-2 – xenonlampe:  $0,55$  W/m<sup>2</sup>•nm) ved 340 nm – sort plade temperatur:  $70^\circ$  C – temperatur for kammerluften:  $50^\circ$  C – RF 50 % - eksponeringsperiode: 18 min. vandoverrisling, 102 min. tør.
- Udendørs naturlig ældning ved tempereret klima i Clermont-Ferrand (Frankrig): sydvendt  $45^\circ$  vinkel, uden baggrund.

Den kemiske nedbrydning blev kontrolleret ved hjælp af FTIR med fotoakustisk opsporing så ændringerne i de overfladiske lag ( $< 10$   $\mu$ m) af de eksponerede plader kunne analyseres.

De spektrale ændringer i det infrarøde spektrum er ens uanset om ABS-materialet udsættes for naturlig eller kunstig eksponering. Udviklingen af ABS observeres hovedsaglig ved plotning contra eksponeringstidene:

- Faldet i absorberingen ved  $987$  cm<sup>-1</sup> tildelt de 1-4 trans mikrostrukturer af butadien-enheder (se figur 4a, 4b, 4c og 4d).
- Stigningen i absorberingen ved  $1732$  cm<sup>-1</sup> tildelt akkumuleringen af fotooxideringsgrupper (se figur 5a, 5b, 5c og 5d).

Når det ønskede oxidationsniveau er nået, kan vand blege overfladen via udvaskning og udtrækning af endelige carbonylerede oxidationsprodukter. Misfarvningen kan derfor kontrolleres ved hjælp af kolorimetrisk målinger. Blegning er en konsekvens af oxidation, så når oxidationen (navnlig af butadiene segmenter) kontrolleres analytisk, fx med FTIR-spektrofotometri, er der ikke behov for vand i forbindelse med klassificering af ABS-materialers fotostabilitet.

Som vist i tabellen herunder opnåede man en acceptabel korrelation mellem tør og våd eksponering under kviksølvlamper, under xenonlamper iht. ISO 4892-2 og ved naturlig udendørs vejrpåvirkning (i det centrale Frankrig). Korrelationen blev opnået ved at man sammenlignede tiden inden en væsentlig blegning indtraf (defineret som en vilkårlig 70 % nedbrydning af butadien).

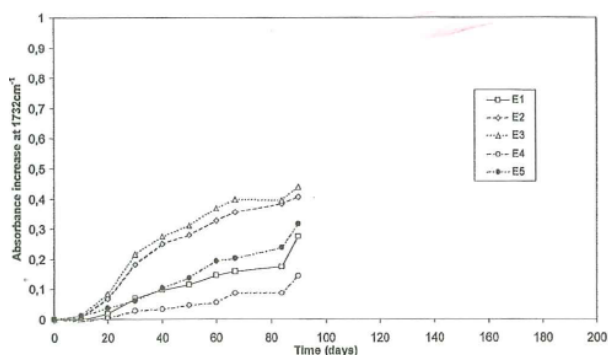


Fotoældning vist i figur 5a og 5b	Prøveemner E2 og E3	Prøveemner E1, E4 og E5
	Hvor lang tid til 70 % butadien-nedbrydning	Hvor lang tid til 30 % butadien-nedbrydning
Kunstig accelereret ældning under kviksløv-damplamper	160 timer	100 til 140 timer
Kunstig accelereret ældning under xenonlamper	210 timer	300 til 350 timer
Naturlig udendørs vejrpåvirkning i det centrale Frankrig om sommeren	60 dage	90 dage

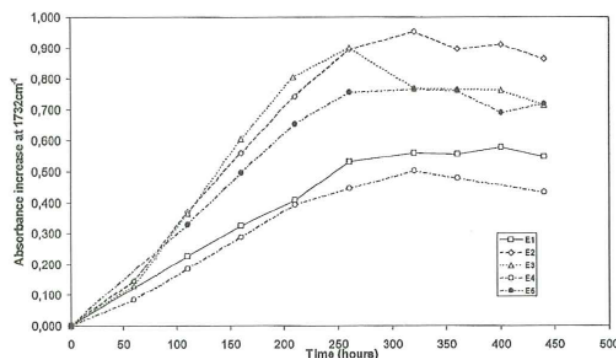
Der var god korrelation mellem de to accelererede vejrpåvirkningstest og naturlig udendørs vejrpåvirkning. Prøveemnerne E2 og E3 udviste lignende adfærd og blev nedbrudt ca. tre gange hurtigere end prøveemnerne E1, E4 og E5.

### Evaluering af oxobionedbrydelige polyolefinfoliers miljømæssige skæbne når de udsættes for dagslys

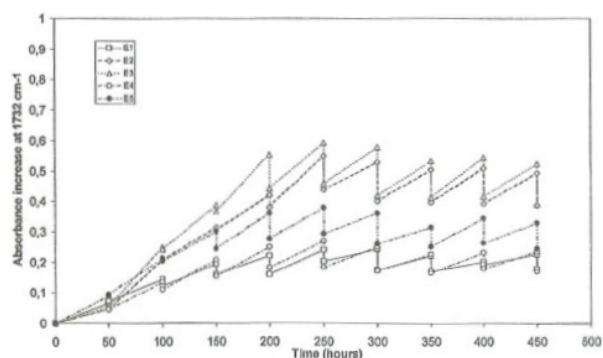
Det korrekte forsætlige modsætningsforhold mellem fenolantioxidanten og de to pro-oxidante typer (fotoinduktor "FE III stearat" og fx termoinduktor "Co II eller Mn II stearat") i en oxobionedbrydelig polyolefinfilm, kan kun observeres i SEPAP 12/24. Det er vigtigt at kontrollere det eksponerede emnes overfladetemperatur. Kun derved kan man opnå en korrekt vurdering af fotokonverteringen for fenolantioxidanten i inaktive forbindelser samt af fotoinduktorens indflydelse på den fototermiske oxidation hhv. termoinduktorens indflydelse på termooxidationen i grundmassen hvis overflade holdes på 60° C.



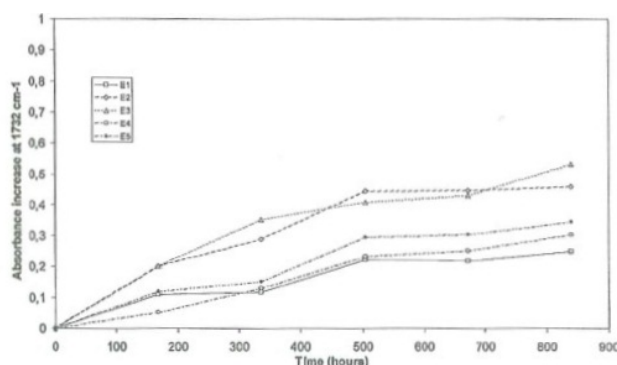
Figur 5a  
Akkumulering af produkter der er carbonyleret ved fotooxidation gennem hele eksponeringstiden i ABS-prøver af forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret for naturlig vejrpåvirkning i det centrale Frankrig.



Figur 5b  
Akkumulering af produkter der er carbonyleret ved fotooxidation gennem hele eksponeringstiden i ABS-prøver af forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret i SEPAP 12/24 under tørre betingelser.



Figur 5c  
Akkumulering af produkter der er carbonyleret ved fotooxidation gennem hele eksponeringstiden i ABS-prøver af forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret i SEPAP 12/24 med periodisk neddykning i neutralt vand.



Figur 5d  
Akkumulering af produkter der er carbonyleret ved fotooxidation gennem hele eksponeringstiden i ABS-prøver af forskellige formuleringer E1, E2, E3, E4, E5 af ABS-prøver eksponeret i et xenonapparat (18 mn spray – 102 mn tør).

Den korrekte vurdering af oxobionedbrydelige polymerers fotooxidation i SEPAP 12/24 og termooxidabilitet i en luftet ovn, er en forudsætning for at man kan kontrollere den opnåede bionedbrydelighed, der kan vurderes ved hjælp af en forsøgsjournal som er opstillet ved Clermont-Ferrand Universitetet og publiceret i videnskabelige tidsskrifter – fx Polym. Deg. Stab. 2006, 91, 1945; 2010, 95, 1011.)

Området for oxobionedbrydelige polymerer spreder sig i øjelibkket til ikke-polyolefine polymerer.

## Industrielt accept af SEPAP 12/24

Nedenstående liste over standarder og UV-bestandighedstest baseret på SEPAP 12/24 viser at brugen af SEPAP 12/24 i vid udstrækning accepteres af standardkomitéer og industriselskaber på områder med streng langsigtet kvalitetskontrol (fx automobil, sportsudstyr, ”plastikultur”-udstyr, elektronik, byggeri, industriemballage). St

### STANDARDER

<b>NF T 54-190</b>	Februar 1992	Drivhus-folier
<b>NF T 54-194</b>	December 1995	Ensilage-folier
<b>NF C 32-062-1</b>	Januar 1995	Kommunikationskabler med halogener
<b>NF EN –132-06</b>	2002	Drivhus-folier (udvidelse til Europa)
<b>NF EN –132-07</b>	2002	Ensilage-folier (udvidelse til Europa)
<b>NF EN 51-195-5</b>	2005	T2 – Metode til eksponering for laboratorie-lyskilder T3 – Kviksøvlamper med middel kapacitet
<b>PrEN 50289-4.17</b>	September 2007	Udkast til testmetode for kablers bestandighed over for UV (udvidelse til Europa af NFC 32061-1 og 32062-2 [CENELEC])
<b>ISO/TC 61-SC 6N</b>	September 2008	Plast: Metodik til vurdering af accelereret fotoældning godkendt af ekspertgruppe WG2, 24. sep. 2008, tekniske rapport muligvis udvidet til ISO standard.
<b>France TELECOM</b>	Teknisk specifikation CNET/n°6750 FORMATION	Kabler
<b>FREYSSINET</b>		
<b>International</b>	Krav H H2000 SP A 001	Streng intern teknisk specifikation for spanbroer (Pont de Normandie, Viaduc de Millau, Stade de France).
<b>SOLLAC</b>		
<b>ARCELORMITTAL</b>		
<b>SIGMAKALON, PPG</b>	Testmetode	Coil coating
<b>PSA (Hutchinson)</b>	Testmetode D27-5435	Maledede belægninger til gummiemner
<b>RENAULT</b>	Testmetode D27-3064	Accelereret fotoældningstest til udvendige systemer til biler
<b>ATOFINA – HUNTSMAN</b>	ACT-1 og ACT-2	Pvc-takning
<b>GROSFILLEX</b>	Testmetode	Møbler til udendørs brug – stadionsæder
<b>INNOVAC</b>	Testmetode	Indendørs elektriske systemer
<b>PSA</b>	Testmetode	Jacksonville test til autolakker
<b>PHILIPS LIGHTNING</b>	Testmetode	Udendørs lysudstyr
<b>Association NEOSAC</b>	Testmetode	
<b>Sainte-Sigolène (43) France</b>	Testprotokol	Oxobionedbrydelig PE: kontrol af abiotisk nedbrydning og bionedbrydelighed
<b>SCOTTS</b>	Testmetode	Trykt emballage til kompost
<b>AIXAM.CIV.LIGIER</b>	Testmetode	Termoformede flerlags-plader til biler uden licens
<b>OWENS CORNING (OCV Chambéry International)</b>	Testmetode	UV – bestandighed af TWINTEX
<b>ARKEMA</b>	Testmetode	UV – bestandighed af PEBAX
<b>DESJOYAUX Piscines</b>	Testmetode	UV – bestandighed af udstyr til svømmebassiner
<b>MDB TEXINOV</b>	Testmetode	UV – bestandighed af landbrugsnet
<b>AKZO NOBEL Nippon Paint</b>	Testmetode	UV – bestandighed af beskyttende film i coil coating