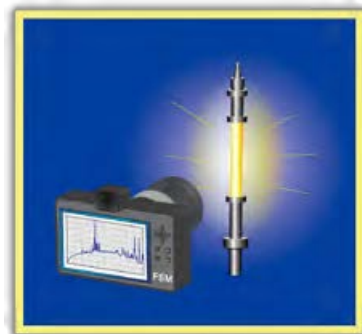


# Bestemmelse og validering af den spektrale energifordeling (SPD) i apparater til kunstig vejrpåvirkning

Af Matthew McGreer, produktansvarlig; Kurt Scott, business development manager og Yana Williams, leder af det optiske laboratorium Atlas Material Testing Technology LLC

Laboratorieapparater til vejrpåvirkning med automatisk styret irradians (Ci) blev lanceret i 1970. Siden er teknologien blevet almindeligt anvendt, og i dag specificeres irradiansniveauet i så godt som alle vejrægthedsstandarder; og alle større producenter af apparater til vejrægthedstest tilbyder nu maskiner der har en eller anden form for irradianskontrol.

Indtil nu har apparater med kontrolleret irradians kun kunnet fastholde og levere irradiansdata ved, eller om, en enkelt bølgelængde eller et enkelt bølgelængdeområde. Med lanceringen af Atlas MTT's patenterede indbyggede system til realtidsovervågning af hele spektret (Full Spectrum Monitoring = FSM) kan man nu få vist lyskildens komplette spektrale energifordeling (SPD). Systemet kom på markedet i 2014, og denne artikel omhandler dets funktioner og egenskaber, fordele og kapacitet.



## Historien om og udviklingen af lys i vejrægthedstest

Det er generelt et anerkendt faktum at lys (især UV) er det vigtigste aspekt i forbindelse med test ved naturlig og simuleret vejrpåvirkning. Industrielitteraturen beskriver adskillige udmærkede undersøgelser af lys' betydning for materialenedbrydning.

De første, temmelig primitive, laboratorieapparater til vejrægthedstest brugte kulbuelamper som solsimulator. Disse apparater blev med tiden erstattet af instrumenter med xenonlys, som i sig selv simulerer solen bedre.



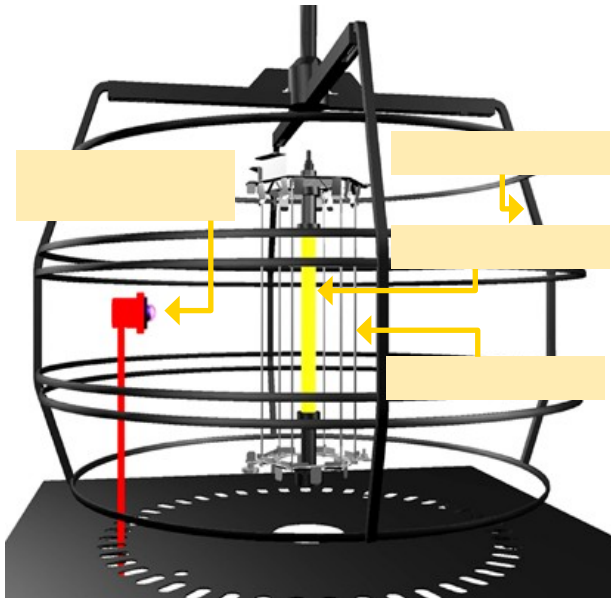
LS-200 spektroradiometer monteret i Ci-kammer.

Som det er tilfældet med andre lyskilder, vil xenonbuens effekt variere i forhold til den elektriske effekt, indkapslingens stabilitet og de omgivende optiske filtre. Filtrene vil generelt have en tendens til at nedbrydes eller solarisere efterhånden som de bruges. Kombinationen af disse variable kan have negativ indvirkning på kvaliteten og kvantiteten af det lys der rammer prøveemnerne. Irradianskontrollfunktionen er designet til automatisk at holde effekten konstant ved én bølgelængde eller ét bølgelængdeområde hele vejen igennem et testforløb, især i det ultraviolette område, og på den måde reducere den negative påvirkning som variabelt lys har på testresultaterne. Målinger har vist at UV-lyset, i nogle xenonapparater, kan reduceres op til 25 % i løbet af lampens/filtrenes forventede levetid.

Men kontrolleret irradians-teknologi, som i teorien er meget ens uanset leverandøren, har visse åbenlyse svagheder. For det første registrerer den kun information ved den enkelte bølgelængde (eller bølgelængdeområde) som den er konfigureret til. For det andet er systemerne kun lidt eller slet ikke fleksible; i de fleste tilfælde er brugerens muligheder begrænset til at kunne kontrollere og overvåge en test ved den bølgelængde (område) der er valgt på forhånd, og som kun kan ændres ved at rekonfigurere hardwaren hvilket ofte kræver en omfattende recalibrering. Endvidere er de almindelige bølgelængder der er tilgængelige for kontrol, begrænset til 340 nm, 420 nm eller bredbånd (300-400 nm). Andre bølgelængdeområder, som fx det komplette UV-synlige eller lux, tilbydes kun som dyre brugerdefinerede løsninger.

## Overvågning af hele spektret (FSM)

Lanceringen af FSM-systemet er den første afgørende nyskabelse til fuldt integreret lyskontrol i laboratorieapparater til vejrpåvirkning i de sidste 30 år. Systemet skal modvirke de svagheder der er forbundet med typisk kontrolleret irradians, og sikre forskerne de kritiske spektrale data der i dag fordrer af progressive metodelærer og tilgange til vejrpåvirkning. Inden for de seneste 2 år har Atlas introduceret LS-200 spektrometriometer, der er et uafhængigt apparat til overvågning af hele spektret i Weather-Ometre i Ci-serien. Skønt



Figur 1: Grafisk visning af Ci-kammerets indre. CCD matrix-spektroradiometret er monteret uden for prøvekammeret.

meter over et område på 250-800 nm, inklusive sorteringsfiltre der sikrer en behørig afvisning af falsk lys. Figur 1 viser monteringen af indgangsoptik i vejrpåvirkningskammeret. Indgangsoptiksystemet omfatter en forsegleet robust cosinusmodtager og en patenteret kvartsdiffuser. Brugerinterfacet styrer systemet ved hjælp af en speciel software til systemkalibrering, konfiguration og datastyring.

## FSM-systemets muligheder

### Brugervalgte målepunkter

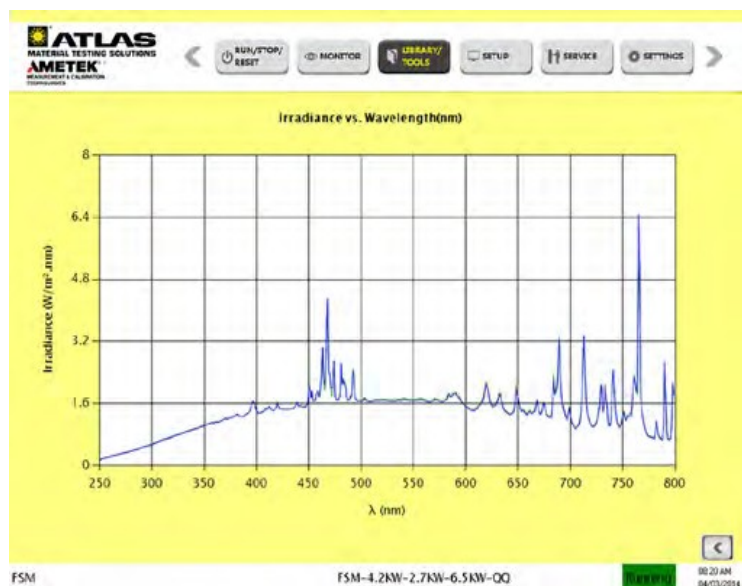
Nutidige instrumenter er begrænset til at kontrollere irradiansen ved en på forhånd bestemt bølgelængde eller et bølgelængdeområde, der sandsynligvis ikke svarer til et testmateriales kritiske bølgelængde(r). Kritiske bølgelængder er dem hvor et materiale udviser øget følsomhed over for lys. Problemet forværres yderligere hvis en lampe undergår midlertidige ændringer der ikke opfanges at et overvågningssystem med en enkelt bølgelængde. Dette har betydning for gentageligheden og reproducerbarheden. Fx vil en gentagelse af aktuelle test der overvåger og integrerer irradiansdata ved ikkekritiske bølgelængder, indikere at testene er identiske. Men hvis man antager at der ved de kritiske bølgelængder er ændringer ved lampen (det er der altid; oftest er det små og gradvise ændringer) der ikke "observeres" af de eksisterende instrumenter, opnås ikke en sand gentagelse af strålingsdoseringen dér hvor det betyder mest. FSM-systemets fleksibilitet muliggør en enestående udnyttelse af aktiverings-spektraldata, og gør det dermed

dette var et skridt i den rigtige retning mod målet om overvågning af hele spektret, kan LS-200 kun bruges periodisk, og testen skal afbrydes for at der kan tages målinger.

I modsætning til den nuværende teknologi der kontrollerer og/eller overvåger faste, enkelte, særskilte dele af xensonspektret, muliggør FSM-systemet kontrol af enhver enkelt brugervalgt bølgelængde, eller ethvert brugervalgt bølgelængdeområde, mens det overvåger og opsamler data ved alle andre bølgelængder i området 250-800 nm. Hvilken betydning denne egenskab har, redegøres der for længere fremme i denne artikel.

Systemet, som er fuldt integreret i et Atlas Weather-Ometer®, er beregnet til at blive brugt på fuld tid. Det er robust, og kan modstå de barske omgivelser der i sagens natur er i og omkring et vejrpåvirkningsapparat.

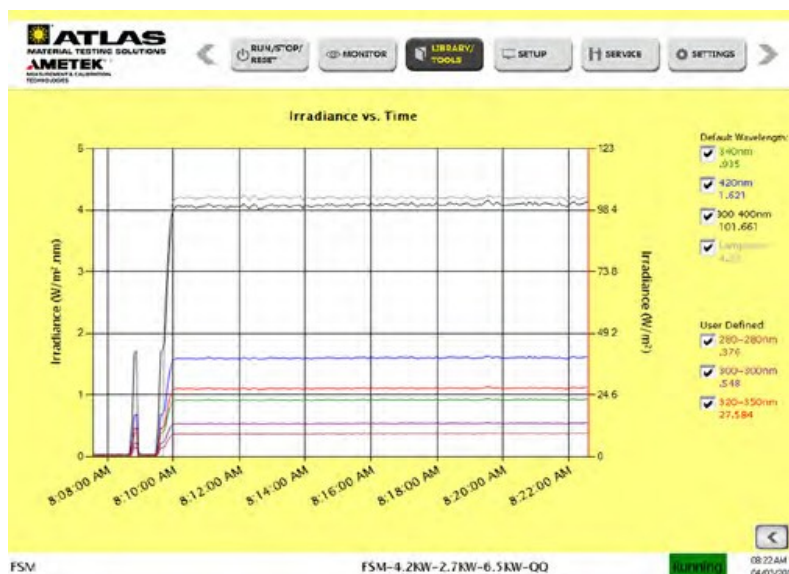
De detaljerede specifikationer er navnebeskyttet, men overordnet set består FSM-systemet af et CCD matrix-spektroradiometer med en opløsning på 1 nano-



Figur 2: Ci-seriens brugerinterface viser den spektrale energifordeling i realtid med FSM-systemet til overvågning af hele spektret.

muligt at overvåge test ved de materiale-specifikke kritiske bølglængder der afgør testens pålidelighed. Efterhånden som irradiansen ændrer sig ved disse udvalgte bølglængder, kan brugeren justere den ved kontrolpunktet og på den måde at øge stabiliteten. Fremtidige produktforbedringer vil muliggøre en automatisk kontrol ved brugervalgte bølglængder.

Det bør gøres klart at valget af en kontrolbølglængde der stemmer overens med et materiales kritiske bølglængde ikke begrænser testen til en enkelt type materiale. Skønt det kun er muligt at kontrollere ved en enkelt bølglængde eller et enkelt område, kan data, eftersom hele spektret er tilgængeligt, overvåges og opsamles ved op til tre andre bølglængde(r). Ud over de brugervalgte punkter vil også de almindelige bølglængder ved 340 nm, 420 nm og 300-400 nm blive overvåget. Weather-Ometrets standardfunktioner vil kontrollere irradiansen ved ét af disse punkter.



Figur 3: Skærmdump der viser tendenser for standardmæssige kontrolbølglængder samt en overvågning af brugerdefinerede bølglængdeområder.

## Fotometrisk overvågning

I forbindelse med billedbehandling kræves en lysægtedstest for at opretholde de specificerede luxværdier som, for den aktuelle instrumentering, betyder tilpasning af systemet til kontrolleret irradians. Derimod kunne FSM-systemer, takket være deres software, automatisk producere lux-værdien ved convolution af de spektrale irradiansmålinger og den kendte fotometriske, "standardiagttagere"-vægtningskurve.

## Præstationsorienterede specifikationer

I de senere år har der været en stigende tendens i retning af præstationsorienterede specifikationer for vejrægthedstest, og det har betydet en eliminering af alle tekniske informationer eller karakteristika der relaterer til et specifikt instrument. De mere traditionelle "hardware-baserede" standarder nævner med producentens fagudtryk specifikt den type xenonfiltre der kræves for at opnå de ønskede testresultater.

I modsætning til dette viser præstationsorienterede standarder de tilladte irradiansområder, i spektrale bånd, som vist i eksemplet herunder fra SAE J2412, "Accelereret eksponering af dekorative dele til autointeriør ved hjælp af et xenonapparat med kontrolleret irradians".

Bortset fra enkelte laboratorier som lejlighedsvis kan måle deres instruments SPD, findes der i dag ingen fuldt integrerede metoder til at kontrollere og demonstrere (fx for en tilsynsførende eller en kunde) at kravene bliver opfyldt. Kun det tidligere omtalte LS-200 er i stand til dette, men da LS-200 udelukkende kan bruges periodisk, ville man ikke kende det nøjagtige tidspunkt for hvornår lampesystemet kom "ud af spec."

FSM kan generere irradianstabeller der sikrer begyndelsen (af testen), samt en løbende overholdelse af de præstationsorienterede krav. Brugeren kan konfigurere tabellens bølglængdebånd efter eget skøn – fx så det opfylder en given specifikation. En anden fremtidig produktforbedring vil være inklusionen af de almindelige SPD-tabeller fra metoder til test af vejrægthed for en fuldautomatisk rapportering om overholdelse.

<b>Tabel 1:</b> Krav til den spektrale energifordeling iht. SAE J2412, dagslysfiltre.						
Irradians i W/m <sup>2</sup> for xenonbuer med dagslysfiltre normaliseret til præcis 0,55 W/m <sup>2</sup> ved 340 nm						
<b>Båndpas</b>	<b>Gennemsnit</b>	<b>Standard-afvigelse</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Nedre 95 % konf. grænse</b>	<b>Øvre 95 % konf. grænse</b>
250-260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
261-270	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
271-280	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
281-290	0,02	0,02	0,00	0,11	0,00	0,06
291-300	0,19	0,10	0,03	0,55	0,00	0,38
301-310	0,77	0,21	0,32	1,46	0,35	1,18
311-320	1,91	0,21	1,31	2,68	1,49	2,33
321-330	3,39	0,13	2,96	3,97	3,12	3,65
331-340	4,92	0,06	4,68	5,11	4,80	5,03
341-350	6,24	0,09	5,80	6,40	6,06	6,43
351-360	7,40	0,22	6,66	7,82	6,97	7,84
361-370	8,58	0,41	7,56	9,82	7,76	9,39
371-380	9,25	0,60	8,09	11,36	8,04	10,45
381-390	9,92	0,89	8,39	13,71	8,15	11,69
391-400	11,88	1,44	9,64	18,57	8,99	14,76
300-400	64,31	3,57	57,79	78,96	57,16	71,45

## Ældning af optiske filtre

Det kan have katastrofale følger for testen at bruge de forkerte filtre. Derfor har hvert filtersæt en unik UV-transmissionsfaktor som brugeren kan identificere det ud fra, og dermed eliminere eller reducere denne risiko. Ved at udnytte egen viden og erfaring, kan den enkelte bruger definere sine egne kriterier for hvornår "brugstiden skal afsluttes" baseret på prøveemnernes følsomhed eller tolerance over for testresultatets konfidensniveau.

## Resumé

Systemet til overvågning af hele spektret i laboratorieinstrumenter er et vigtigt fremskridt for styringen af lys, som er den mest kritiske komponent i forbindelse med fotonedbrydning. Det kan være et redskab som førende forskere kan bruge i bestræbelserne på at forfine beregningerne til forudsigelse af brugslevetiden. FSM-funktionen kan også gavne daglige brugere der ønsker at opnå mere gentagelige og reproducerbare test, eller til at påvise overensstemmelse med præstationsorienterede testmetoder.