

Rapport

R87:1982

Ljuskällors färgspektrum

Förstudie

**Nils Svedenius
Allan Ottosson**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	<i>See</i>

*V
8/11*

Byggforskningsrådet

R87:1982

LJUSKÄLLORS FÄRGSPEKTRUM

Förstudie

Nils Svendenius
Allan Ottosson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791607-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Fysiska
institutionen, Lunds universitet.

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

R87:1982

ISBN 91-540-3752-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

INNEHÅLL

1	INLEDNING: Avsikten med förstudien	4
2	INSTRUMENT: Befintliga instrument och kompletteringsbehov	4
2.1	Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator	4
2.2	GCA/McPherson monokromator med fotomultiplikator som detektor	5
2.3	Jarell-Ash 5 m:s gitterspektrograf	6
2.4	Infrarödspektrograf med Czerny-Turner montering	6
2.5	Övriga kompletteringsbehov	6
2.6	Översikt av mätsystem och deras användbarhet	8
3	KOMMENTARER TILL MÄTRESULTAT VID FÖRSTUDIEN	
3.1	Mätmetoder	9
3.2	Mätsystemens spektrala känslighet	9
3.3	Uppmätt spektralfördelning och redovisad i ljuskällekatalog; en jämförelse	10
3.4	Registreringar med Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator	11
3.5	Registreringar med GCA/McPherson monokromator	11
3.6	Registreringar med Jarell-Ash 5 m gitterspektrograf	11
4	BEHOV AV LJUSKÄLLEUNDERSÖKNINGAR: kortfattad skissering av lämpliga projekt	13
4.1	Lågenergilysrör	13
4.2	Kvikksilverlampor, högtrycksnatriumlampor och metallhalogenlampor	13
4.3	Smala enfärgsband	14
4.4	Speciella forskningsbehov: Välmätta ljuskällor	15
4.5	Solljuskällor	15
5	LITTERATUR	16
6	FIGURTEXT OCH FIGURER	19

1 INLEDNING: avsikten med förstudien

I en förstudie vid Fysiska Institutionen, Lunds Universitet, har energifördelningen i våglängdsspektrum hos ett mindre antal artificiella ljuskällor (lysrör, metallhalogen- och kvicksilverlampor) undersökts.

Institutionens instrumentutrustning har inventerats och ljuskällornas spektrala energifördelning har uppmätts i olika typer av spektrofotometrar bl a för att utröna vilka av apparaterna som är mest lämpade för den här typen av undersökningar och i vilken utsträckning instrumentuppsättningen måste kompletteras. För att t ex beräkningar av färgkoordinater, korrelerad färgtemperatur och färgrenderingsindex skall kunna ske någorlunda snabbt bör helst en on-line dator vara kopplad till ifrågakvarande spektrometer så att uppmätta intensitetsvärden direkt kan överföras till beräkningsenheten utan tidskrävande omlagringsrutiner.

Avsikten har också varit att kartlägga vilka allmänna och speciella behov det föreligger av olika slag av ljuskälleundersökningar. Här kan då exempelvis nämnas studie av egenskaper hos de nya sk lågenergilysrören (av 3-bands- och standardtyp) såsom färggivningsförmåga, korrelerad färgtemperatur, färgkoordinater, ljusflöde, ström, spänning, effektförbrukning och livslängd och i vilken utsträckning dessa egenskaper varierar med drifttiden. I medelsansökan till förstudien nämndes speciellt det intresse som knyts till de smala, starka, överlagrade enfärgsband som finns närvarande i så gott som alla artificiella gasurladdningslampor och det behov som föreligger av en noggrann undersökning av dessa.

Bland fristående institut utförs undersökningar av artificiella ljuskällors spektrala energifördelning förutom av fysiska institutionen vid Lunds Universitet, av belysningslaboratoriet vid institutionen för elektrisk anläggningsteknik på KTH, Stockholm, statens strålskyddsinstitut i Stockholm, samt statens provningsanstalt i Borås. I Danmark verkställer Lysteknisk Laboratorium sådana undersökningar.

2 INSTRUMENT: befintliga instrument och kompletteringsbehov

I förstudien har huvudsakligen tre olika spektrometrar eller system kommit till användning och bedömts ha god utvecklingspotential för forskning rörande artificiella ljuskällor - och även undersökningar av det direkta och spridda solljuset i området 200 - 1200 nm. Ett fjärde instrument - ej utnyttjat i förstudien är brukbart vid kvalificerade studier i området 1200 - 4000 nm.

2.1 Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator (fig. 1a)

Som beteckningen antyder rör det sig i första hand om ett datainsamlingssystem i vilket ingår en detektor och en lagringsenhet där signalerna från detektorn lagras. I dataenheten är det möjligt att göra vissa smärre beräkningar men vid mera omfattande sådana måste en yttre dator inkopplas och systemet är väl anpassat för detta (direktanknuten = on line). Detektorn består av

en kiseldiod-array där 1024 celler är arrangerade på linje och signalen från varje separat cell lagras i mångkanalsanalysatorn. Denna detektor-array kan sedan placeras i olika spektrometrar. I den här redovisade undersökningen var den inmonterad i en relativt liten monokromator. Uppställningen är avfotograferad i fig. 1a.

Fördelen med systemet är att hela området 200 - 800 nm kan registreras på detektorn i samma ögonblick (kortaste registreringstid ca 0.01 sek) och med upplösningen 0.6 nm/cell. Direkt anpassad till detektorn finns dessutom en större spektrometer med en dispersion som medger att ca 20 nm täcker samtliga celler, vilket resulterar i mycket god strukturupplösning, ca 0.02 nm/cell. Kiseldioderna (cellerna) registrerar fotoner med våglängder mellan 200 och 1200 nm och har känslighetstopp vid ca 900 nm med kraftigt avtagande detekterbarhet mot 1200 nm. I princip är det möjligt att ansluta detektorn till vilken spektrometer som helst även om det i praktiken kan stöta på betydande anpassningssvårigheter. Väljer man t ex att öka upplösningen och därmed avbilda ett litet våglängdsområde på detektorn riskerar man att signalerna blir svaga.

Då on-line dator finns tillgänglig är TN 1710-systemet mest lämpligt att mäta och beräkna färgkoordinater, korrelerad färgtemperatur och färgrenderingsindex. När lämpliga datorprogram är utvecklade blir det möjligt att studera egenskaper hos en stor mängd ljuskällor på kort tid. Systemet öppnar mycket intressanta möjligheter att undersöka vad som händer vid t ex upptändningsfaser hos ljuskällor och andra snabba förlopp som en fotoblixturladdning. Instrumentet i Lund är det enda i sitt slag i Norden.

Fig. 2, 4, 11 och 12 visar registreringar i TN 1710 med den lilla monokromatorn ansluten.

2.2 GCA/McPherson monokromator med fotomultiplikator som detektor (fig. 1b)

GCA/McPherson-monokromatorn är ett praktiskt och kvalitetstyggt gitterinstrument försett med en kontinuerligt varierbar ingångsspalt vilket gör systemet mer användningsbart. På institutionen finns fotomultiplikatorer känsliga i olika områden från 200 till 800 nm, se sammanställning sid 8. Fotomultiplikatorn är som detektor känsligare än kiseldioden. Det exemplar som kommit till användning i förstudien har maximal känslighet vid 450 nm. Läsare av den här rapporten irriterar sig måhända på att man i flera av diagrammen inte kan avläsa energiutsändningen i ett visst våglängdsområde direkt utan måste multiplicera värdet med en faktor (den inverterade känsligheten) vilket närmare behandlas i avsnitt 3.2. Detta illustrerar emellertid utmärkt en av de stora svårigheterna i den här typen av mätningar. I systemet TN 1710 elimineras motsvarande svårigheter när en beräkningsdator tillkopplas. GCA/McPherson-systemet kräver då förutom dator någon form av mångkanalsanalysator. I sitt nuvarande skick kan instrumentet dock komplettera TN 1710 speciellt när våglängdsmässigt smala band och strukturer skall uppmätas.

Fig.3, 5-10 visar registreringar gjorda med systemet.

2.3 Jarell-Ash 5 m:s gitterspektrograf med fotografiska plåtar som detektor (fig. 1c)

Systemet möjliggör, under förutsättning att lämplig referensljuskälla finns tillgänglig, bestämning av lägen med en noggrannhet av 10^{-3} - 10^{-4} nm. Upplösningsförmågan dvs möjligheten att särskilja närliggande strukturer torde dock begränsa sig till 10^{-2} - 10^{-3} nm. Möjligheterna att med denna typ av mätningar med god precision jämföra den spektrala energifördelningen i olika våglängdsområden - i synnerhet om det är stort avstånd mellan områdena - är dock inte av samma höga klass som mätning av våglängdslägen och därmed sammanhängande upplösningsförmåga, bl a beroende på att känsligheten skiftar mellan olika exemplar av fotografiska plåtar. Måhända går det att avsevärt förbättra även noggrannheten i mätningar av spektral energifördelning, men det skulle bli ett mycket tidskrävande arbete. Den fotografiska metoden utgör dock ett utmärkt komplement till de där någon form av halvledare används som detektor. Fotografisk registrering av den klass (eller högre) som fig. 14-18 visar kan på institutionen ske i området 0007-1100 nm. Fig.13 visar den experimentuppställning som använts vid mätningarna.

2.4 Infrarödspektrograf med Czerny-Turner monteringen (fig. 1d)

Instrumentet är kapabelt att uppmäta och upplösa strukturer med en noggrannhet som ligger mellan GCA/McPherson-instrumentet och Jarell-Ash-spektrometern och är användbart i områden mellan 1000 och 4000 nm. Apparaturen är dock behäftad med samma svagheter som systemet McPherson. En tillkopplad mångkanalsanalysator skulle även här öka användbarheten avsevärt. Precision och noggrannhet i vad som avser mätning av spektralbands- och spektralområdes våglängdslägen är, vilket framgår av ovanstående redogörelse, tillfyllest för ljuskälleundersökningar och likaså bestämningen av den relativa spektrala energifördelningen. Däremot ökar felmarginalerna avsevärt när man undersöker och jämför utstrålningen från olika ljuskällor i absolutenheter (irradjans = Wm^{-2} , radians = $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ eller spektralradians = $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{Hz}^{-1}$) men det är problem som alla likartade forskningsinstitutioner konfronteras med.

2.5 Övriga kompletteringsbehov

Vid vissa mätningar av strålningsenergi, används här vid institutionen ett absolutkalibrerat termoelement. Termoelement ger utslag för den uppvärmande förmågan hos den absorberande strålningen och har den unika fördelen att det är känsligt för strålning i UV-området och uppåt (det är svårt att ange någon övre gräns) och med konstant känslighet, även om den i absoluta värden är låg. Genom att placera olika filter framför detektorn möjliggörs absolutmätningar av olika våglängdsband. Det är framförallt när långvägig IR strålning skall absolutmätas eller, när man vill erhålla ett absolutvärde snabbt vid mätning av kortvägig strålning som detektortypen uppvisar fördelar.

Andra detektorer med samma responsegenskaper utgörs av termistorer, pyroelektriska indikatorer och Golay-celler. Golay-celler har en känslighet som överstiger de andra detektorernas med en faktor 10 och skulle vara mycket användbar i ett större forsknings

program.

Uppmätning av en ljuskällas totalljusflöde är det inte möjligt att utföra med någon större precision vid fysiska institutionen i Lund. Resurser för fotometriska, elektriska och livslängdsmätningar finns däremot vid belysningslaboratoriet KTH, Stockholm. Viss komplettering av utrustningen kommer dock att bli nödvändig.

En relativkalibrerad volframbandslampa har använts vid bestämningen av apparatsystemens våglängdsberoende känslighet. Det torde vara nödvändigt att utföra en mera omfattande och heltäckande kalibrering av utrustningen och dessutom kontrollera kalibreringen med jämna mellanrum. För det ändamålet krävs en eller flera lampor som är absolutkalibrerade vid några olika temperaturer - bl a en som är kalibrerad i UV-området. Troligen behöver också ett konstantströmaggregat inköpas. Viss annan komplettering av utrustningen kommer också att bli nödvändig.

2.6 Översikt av mätsystem och deras användbarhet

system	TN-1710 mångkanals- analysator	Jarell-Ash spektrograf	GCA/McPherson monokromator	Infraröd spektrograf	Absolutkalibrerad termostapel (kan lämpligen utbytas mot eller kompl. med ett Golay-cell system)
detektor	Kieseldiod- array på 1024 celler	Fotografiska plåtar	Fotomultipli- kator *In Sb, Hg Cd Te Sandwichdetektor	Blyulfid- detektor	Termoelement
mätområde	200-1200 nm	200-1250 nm	200-800 nm *800-15000 nm	1000-4000 nm	ingen begränsning
använd- barhet	mätning av spektral ener- gifördelning med on-line dator inkopp- lad och samtig dig beräkning av färgkoordinater, korrelerad färg- temperatur och färgrenderings- index.	noggrann upp- lösning och mätning av när- liggande struk- turer	noggrann upp- lösning och mätning av när- liggande struk- turer	noggrann upp- lösning och mätning av när- liggande struk- turer	mätning av den totala strålningseenergin fram- föfallt i IR

3 KOMMENTARER TILL MÄTRESULTAT VID FÖRSTUDIEN

3.1 Mätmetoder

Vid förstudien har huvudsakligen lysrör (20 - 25 exemplar) undersökts men även energispektrum från metallhalogen-, kvicksilverljuskälla och det spridda dagsljuset har registrerats. Spektrum har uppmätts i sin helhet med olika metoder i huvudsakligen 3 apparatsystem (se ovan) och i vissa fall har ett mycket detaljerat studium företagits där i synnerhet energistrukturen med avseende på våglängden upplösts med hög grad av precision. De diskuterade smala överlagrade banden (till större delen kvicksilverlinjer) har studerats och dess bredd och höjd i energispektrum uppmätts.

Hos Lumalampan AB utför man spektralmätningar med prismamonokromator med varierbar ingångsspalt och fotomultiplikator som detektor. Det har från övriga ljuskälletillverkares svenska dotterbolag inte varit möjligt att få svar på, hur de mätningar och beräkningar som redovisats i katalogerna är gjorda. Att få svar på det skulle erfordrat studiebesök i motsvarande forskningslaboratorier och detta har inte rymts inom förstudieprojektets ram. Registreringarna hos Philips, Osram m fl har troligen gjorts med relativt stor öppningsvinkel (storspalt), vilket får som resultat att smala höga band i energispektrum planas ut och överhuvudtaget skillnader och struktur utjämnas. För att få helt opolariserat ljus föredrar vissa andra ibland att istället placera ett Ulbricht-klot framför en stor ingångsapertur.

3.2 Mätssystemens spektrala känslighet

Gemensamt för spektrometersystem är att de har en våglängdsberoende känslighet (spektralkänslighet) k_λ . Denna känslighet varierar ofta kraftigt inom ett systems mätområde. Främsta orsaken till känslighetsvariationerna finner man vanligen hos systemets strålningsdetektor (t ex en fotomultiplikator).

Eftersom mätsignalen från spektrometersystemet vid mätning av t ex ett lysrör är påverkad av systemets spektralkänslighet blir slutresultatet en förvrängd spektralfördelning som t ex kan registreras på en skrivare. För att få veta den verkliga spektralfördelningen måste det erhållna mätresultatet behandlas vidare.

Om vi kallar den av mätsystemet uppmätta relativa spektralfördelningen P_λ syst kan vi beräkna den verkliga relativa spektralfördelningen P_λ om systemets spektrala känslighet k_λ uppmätts. Vi får följande enkla samband:

$$P_\lambda = P_\lambda \text{ syst} \cdot k_\lambda^{-1}$$

Detta samband gäller för varje enskild våglängd vilket då innebär att varje punkt på en uppmätt kurva måste behandlas separat. Proceduren ger upphov till ett omfattande räknearbete vilket rimligen endast undantagsvis kan göras manuellt. Vid rutinmätningar måste ett spektrometersystem kombineras med datorbehandling av mätdata.

I det följande redovisas i diagram dels omräknade spektralkurvor,

dels i några fall obearbetade mätdata. I de senare fallen visas även inverterade spektralkänsligheten k_{λ}^{-1} . Eftersom figurerna närmast skall visa mätsystemens egenskaper har det mycket tidsödande manuelle omräkningsarbetet ej utförts.

3.3 Uppmätt och i ljuskällekatalog redovisad spektralfördelning; en jämförelse'

Fig. 2 visar vårt och tillverkarens uppmätta energispektrum hos ett vitt lysrör. Registreringen är gjord med Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator. I metod A är resultatet uttagit på en skrivare och värdena avlästa från pappersrullen och omräknade efter kalibreringskurvan. I metod B utnyttjas mångkanalsanalysatorns lilla beräkningskapacitet. Man kan i denna beräkna antalet "counts" (signalens styrka) i ett godtyckligt antal detektorceller. Kalibreringskurvan måste givetvis även här utnyttjas. Metod B har enbart fördelar framför metod A där osäkerheten utökas vid omvägen över skrivare och pappersrulle.

I fig. 3 jämförs det spektrala stråflödet hos ett "glödljuslysrör", registrerat med GCA/McPherson-systemet, med en kataloguppgift. På samma sätt är i fig. 4 ett Philipslysrör föremål för jämförelse och metod A har använts (se ovan). Det faktum att ljuskällefabrikanterna förmodligen använt stor öppningsvinkel vid upptagningarna kunde vara en förklaring till skillnader i fig. 3, men kan inte tillämpas på de betydligt större avvikelserna i fig. 2.

När smala starka band registreras kan små mätskillnader (t ex våglängdsförskjutningar) ge kraftiga utslag i den typ av redovisningsdiagram som t ex Osram valt att publicera. Skillnaden mellan mätvärdet från metod A och det från metod B (fig. 2) i området 530 - 540 nm visar bl a detta.

Några olika exemplar av en och samma rörtyp undersöktes och deras spektrala energifördelning jämfördes. Den relativa skillnaden mellan dessa var bara 2 - 3 % för den största avvikelserna, men rören var från en och samma tillverkningsserie. Troligen är det rör från olika tillverkningsserier som ger upphov till merparten av de skillnader som figurerna dokumenterar. Ljusalstringen i ett lysrör sker nämligen efter två olika fysikaliska principer; alstringen från gasen i röret och fluorescensen från lyspulvret vilken svarar för merparten av ljuset. Visserligen är det strålningen från kvicksilvret som indirekt ger upphov även till fluorescensen (huvudsakligen genom linjen 253.7 nm) men det är klart att skillnader i kvicksilverångtryck och lyspulver i rör från olika tillverkningsserier också åstadkommer diskrepenser i den spektrala energifördelningen. De största skillnaderna tycks vara koncentrerade till "topparna" och i vissa av dessa svarar kvicksilver och fluorescensen och i andra toppar fluorescensen enbart för ljusutsändningen.

Det kan påpekas att i flera tillverkarkataloger har det gula området, i den färgkarta som lagts på våglängdsspektrum, gjorts flera gånger större än det är i verkligheten vilket för den icke observante kan vara mycket missvisande.

3.4 Registreringar med Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator

Förutom de mätningar med Tracor Northern mångkanalsanalysator med liten monokromator, vilka redovisats i avsnitt 3.3, visas i figurerna 11 och 12 mätningar gjorda på dels ett trebandsdagsljuslysrör och dels dagsljus från en molnig decemberhimmel. Samtliga registreringar är gjorda med en liten apparatur en medföljande standardmonokromator och en ca 50 μm bred spalt som ingångsapertur. Denna uppställning ger sämre upplösning av spektrallinjer och strukturer är GCA/McPherson-systemet. Det bör dock gå att anskaffa en monokromator med bättre prestanda än ovanstående och vilken samtidigt inte breddar spektrum nämnvärt; dvs systemet skall kunna registrera hela den synliga och angränsande delar av spektrum i samma mätning.

3.5 Registreringar med GCA/McPherson monokromator

Fig. 5-10 visar ljuskällespektra upptagna med GCA/McPherson monokromator och med mycket liten ingångsapertur (spalt = 15 μm = 0.015 mm). Samtliga överlagrade kvicksilverlinjer har en våglängdsutsträckning av storleksordningen 0.12-0.13 nm (fig. 8). Påpekas bör dock att ca 90% av linjevidden torde bero på mätapparaturen (apparatbreddning). Större ingångsspalter (se fig. 10) åstadkommer betydligt bredare linjer. Om man diskuterar begreppet naturlig linjebredd och härmed avser den som blir resultatet om mätapparaturens breddning borträknas erhålles "linjespikar" på 10-15 m höjd och 0.01 nm bredd i de uppvisade diagrammen.

I fig. 9 visas ett lysrör med ett icke önskvärt överlagrat bandspektrum från argon. Det är frågan om atomära övergångar av samma slag som kvicksilverlinjerna som ger upphov till argonljuset. De har något större "naturlig" bredd än kvicksilverlinjerna men skulle i adekvat energiskala vara av avsevärd höjd. Om orsaken till argonljuset är för högt argontryck och/eller för tunt lyspulverskikt är svårt att konstatera. Man kan emellertid med ögonen observera det karaktäristiska ljuset.

Spektralfördelningen från ett s k Truelite lysrör redovisats i fig. 10 och jämförs med den från ett dagsljusrör Thorn 56 CM. Jämförelsen visar att spektralfördelningen är tämligen likartad utom i UVA-området där Trueliteröret har flera gånger större strålutsändning. Flera exemplar av Trueliterör undersöktes och dessa avvek endast obetydligt från varandra vad spektralfördelningen beträffar.

3.6 Registreringar med Jarell-Ash 5 m:s gitterspektrograf

I fig. 13 visas en principskiss av experimentuppställningen vid fotografisk registrering. Fig. 14-18 visar upptagningen för några olika artificiella ljuskällor samt det direkta dagsljuset. Känsligheten är inte linjär utan beror av våglängden och kan variera kraftigt över en och samma plåt. Man kan i lysrörsbilderna tydligt observera de starka smala kvicksilverlinjerna samt den kontinuerliga strålningen från lyspulvret.

Solljuset visar sig vid denna höga upplösning över stora våglängdsområden bestå av en tät linjestruktur olikt det kontinuerliga spektrat från en glödlampa (volframband-lampa). Strukturen

över dessa områden är mera lik Metallhalogenlampans linjerika fördelning.

4 BEHOV AV LJUSKÄLLEUNDERSÖKNINGAR. KORTFATTAD SKISSERING AV LÄMPLIGA PROJEKT

4.1 Lågenergilysrör

En ny typ av lysrör har mycket omfattande lanserats på marknaden och väntas tränga ut de konventionella rören inom några år. Sådana s.k. lågenergilysrör utgjorde merparten av de ljuskällor som undersöktes i förstudien. De nya lysrören är smalare (26 mm:s diameter) än de äldre rören (38 mm:s diameter) och har betydligt högre verkningsgrad dvs ljusutbytet är bättre. De nya lysrören har dimensionerats så att energiförbrukningen blir ca 90% av de äldre rören vilket är betydelsefullt ur energisynpunkt. Hos vissa varianter av det smala röret, 3-bandslysrör, är den höga verkningsgraden också kombinerad med goda färggivningsegenskaper. I den effektivare urladdningen i det smala lysröret påverkar UV-ljuset och andra faktorer både gassammansättningen och lyspulvret i större utsträckning än i den konventionella 38 mm:s röret; i lågenergilysröret med standardlyspulver har därför pulverskiktet försetts med ett skyddslager. Frågetecknen kring de nya rören är många; driftsbeständighet med avseende på livslängd, ljusflöde, färggivningsegenskaper, funktion vid låga temperaturer, energiförbrukning mm.

En större jämförande studie av lågenergilysrör skulle vara mycket intressant och värdefull för många användare. Man borde i en sådan undersökning studera eventuella skillnader, under skiftande driftsbetingelser, mellan rör-exemplar från olika tillverkare och olika tillverkningsserier och förändringarna med driftstiden av olika egenskaper som totalljusflöde, korrelerad färgtemperatur och färgrenderingsindex. Man bör då också inkludera UV- och IR-delen av spektrum. Speciellt vid undersökningen av 3-bandsrören är det här nödvändigt med hög upplösning och precision i mätningarna.

Påpekas bör att det med utgångspunkt från kataloguppgifter är förknippat med avsevärda svårigheter att jämföra lysrör från olika tillverkare med varandra. Sifferuppgifter (wattal mm) redovisas på ett någorlunda likartat sätt medan däremot metoderna att åskådliggöra den spektrala energifördelningen är lika många som antalet ljuskällefabrikanter.

Konsumenterna är idag helt hänvisade till att använda fabrikanternas data eftersom något annat ej står till buds. Det kan tilläggas att det inte är ovanligt att konsulter för säkerhets skull räknar med t ex 90% av uppgivna katalogljusflöden.

4.2 Kvicksilverlampor, högtrycksnatriumlampor och metallhalogenlampor

I kvicksilverlampans brännkammare sker urladdningar under högre tryck än i lysrör varvid de smala kvicksilverlinjerna breddas något. Lampan är försedd med ett ellipsoidformat lyspulverbelagt ytterhölje, som fångar upp UV-strålningen och delvis förvandlar den till synligt ljus. Ytterhöljet blir kraftigt uppvärmt under drift. Då fluorescensmedlens ljusavgivande förmåga är starkt temperaturberoende är lyspulversammansättningen av ett annat slag än hos lysrör. Lyspulverbelägningen är visserligen inte

här utsatt för bombardemang av laddade partiklar men genomgår ändå förändringar genom den kraftiga UV-strålningen.

I högtrycksnatriumlampan har man genom att höja trycket åstadkommit ett avsevärt bredare spektrum med betydligt bättre färgegenskaper än hos lågtrycksnatriumlampan - ljusutbytet blir dock samtidigt påtagligt lägre. Denna lampa finns med såväl klar som slammad ytterkolv.

Metallhalogenlampan är i princip en kvicksilverljuskälla med extra tillsatser i urladdningen av kemiska föreningar. Detta gör urladdningsförloppet något mer komplicerat och kräver ibland att lamporna monteras i vissa angivna lägen - från vilka avvikelserna inte får vara särdeles stora - för att tända och vid drift fungera på avsett sätt. I vissa lampor avsedda för bl a strålkastare är den cylinderformade brännkammaren av kvarts omgiven av klart glasytterhölje som absorberar merparten av den kraftiga UV-strålningen. Vissa varianter bör inte användas i öppna direkt-riktade armaturer då glashöljet släpper igenom en avsevärd mängd ultraviolett strålning. Varianten med ellipsoidformat glasytterhölje är på insidan belagd med ett vitt diffuserande skikt, vilket ger större lysande yta med lägre luminans och gör den mer lämpad för inomhusbruk.

Metallhalogenlampan kan förses med ett flertal olika metallhalogener i urladdningen vilka ofta ger högt ljusutbyte och förnämliga färgegenskaper. Ljusflöde, färgegenskaper och driftsäkerhet kan emellertid variera kraftigt - gäller högtrycksnatriumlampan också - för en och samma lamptyp och avvika betydligt från givna katalogvärden, t o m färgspektrum kan då bero på den riktning från vilket det uppmätes.

Att t ex ljusfördelningen för ljuskällor med lika märkesdata uppvisar betydande variationer både inom en fabrikantkollektion och mellan olika tillverkare skapar stora problem för armaturkonstruktörer. Problem med varierande ljusfördelningar har de rena kvicksilverlamporna också, till stor del beroende på svårigheter med att få ett väl anpassat lyspulverskikt på glaskolvens insida.

Då det tar en viss tid för gasurladdningar att stabiliseras skulle det vara intressant att studera upptändningsfasen och de färg- och ljusförändringar som sker då. Det är möjligt med den typ av instrument som representeras av Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator. En studie av frekvensspektrum, speciellt UV-delen, färgegenskaper, totalljusflöde, strömstabilitet och drifttidsförändringar kunde vara minst lika givande som en lysrörssökning. Pulverskiktens variationer i tjocklek har en påtaglig inverkan på ljusarmaturers egenskaper varför undersökningar på detta området är mycket önskvärda.

4.3 Smala enfärgsband

I färgspektrum från gasurladdningarna är alltid de förut omtalade smala banden eller linjerna överlagrade. Det har diskuterats om förekomsten av dessa starka enfärgsband har skadlig inverkan på det mänskliga ögat. Vissa resonansfenomen kan tänkas förekomma och kan ha skadliga effekter. Detta är dock för närvarande outrett. I samtliga lysrörsspektra förekommer ett antal överlagrade kvicksilverlinjer - energimässigt innehar de ca 5% av strålningen

och är på grund av det låga trycket mycket smala, ca 0.01 nm.

Ljuset från lågtrycksnatriumlampan består i stort sett av ett enda band (två linjer), vilket dock är betydligt bredare än Hg-linjerna i lysrör. Högtrycksnatriumlampan fördelar genom det högre trycket energin över fler linjer och breddar samtidigt dessa. I kvicksilver- och metallhalogenlampor blir på motsvarande sätt linjerna något bredare (se fig. 14-18). Figurerna visar den klara metallhalogenlampans mycket linjerika spektrum. I stort sett all strålning från denna ljuskälla avges i form av dylika linjer. Färgegenskaperna blir emellertid förnämliga beroende på antalet linjer och deras jämna spridning över spektrum. Det skulle vara en mycket tidskrävande uppgift att mäta samtliga dessa linjers våglängdsläge, bredd och energiinnehåll.

Ett forskningsprojekt som avser en viss typ av ljuskällor, t ex en grupp lysrör, kunde då samtidigt omfatta en speciell studie av de överlagrade linjer som finns närvarande just där.

4.4 Speciella forskningsbehov; välmätta ljuskällor

I många forskningssammanhang där ljus-, färg- och andra effekter studeras har man behov av vanliga artificiella ljuskällor men med synnerligen välmätt och väldefinierad strålutsändning och då är ljuskällekatologernas uppgifter och diagram otillräckliga.

4.5 Solljusjämförelser

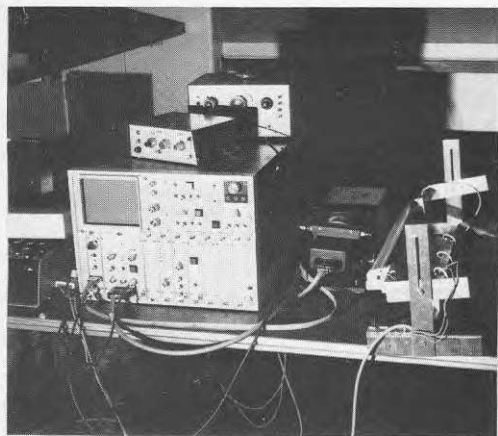
I synnerhet när man vill undersöka UV-delen av spektrum är det, för meningsfulla jämförelser ljuskällor emellan, av stort värde att känna till det diffusa och direktriaktade solljusets fördelning både i inom- och utomhussammanhang. På fysiska institutionen i Lund förbereds för närvarande ett stort projekt där solljusets spektrala fördelning på olika platser, i första hand utomhus, skall utforskas.

LITTERATUR

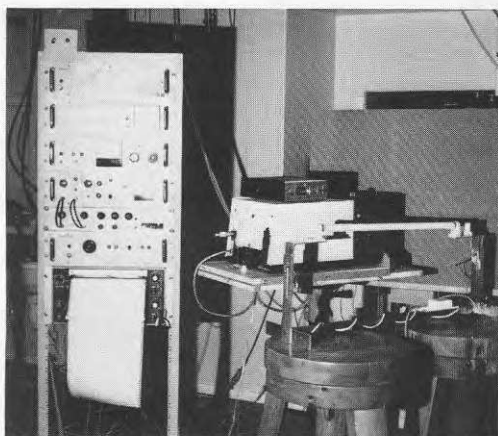
- 1 Hendersson, S T & Marsden, A M, general editors, 1972, Lamps and Lighting, Edward Arnold Ltd London.
- 2 Denneman, J W, de Groot, J J & Lighthart, F A S, 1980, Insights into the 26 mm diameter fluorescent lamp, Journal of IES, Oct., p. 2.
- 3 Koedam, M & Opstelten, J J, 1971, Measurements and computeraided optimization of spectral power distributions, Lighting Research and Technology, vol. 3, p. 205.
- 4 Versteegen, J M P J, Radielović, D & Vrenken, L E, 1975, A new generation de luxe fluorescent lamps, Journal of IES, Jan., vol.4, No. 2, p. 90.
- 5 Vrenken, L E, 1978, Real energy saving fluorescent lamps, Journal of IES, April, vol.7, No.3, p. 154.
- 6 Paulsson, L-E, UV-radiation from fluorescent tubes, Statens Strålskyddsinstitutts rapportserie 1979-005.
- 7 Sällström, P, Belysning och färgseende, University of Stockholm, Institute of Physics, USIP Report 77-21.
- 8 Tubular fluorescent lamps for general lighting service, 1974, IEC Recommendation, Publication 81, 3rd ed. (International Electrotechnical Commission) Genève.
- 9 Ballasts for tubular fluorescent lamps, 1973, IEC Recommendation, Publication 82 (International Electrotechnical Commission) Genève.
- 10 High-pressure mercury vapour lamps, 1974, IEC Recommendation, Publication 188 (International Electrotechnical Commission) Genève.
- 11 Method of measuring and specifying colour rendering of light sources, 1974, CIE Publication No. 13.2 (Commission Internationale de l'Eclairage) Paris.
- 12 Procedures for the measurement of luminous flux of discharge lamps and for their calibration as working standards, 1973, CIE Publication No. 25, (Commission Internationale de l'Eclairage) Paris.
- 13 Makai, J, Czibula, G, Vida, D & Schanda, J, 1981, Spatial distribution of colorimetric characteristics of metal halide lamps. (Light and radiation measurement '81, CIE symposium in Hajdúszoboszló, Hungary, May 1981, Proceedings, to be published).
- 14 Chiba, Y, Yoshida, T, Kawamukai, H & Kondo, H, 1981, Automatic apparatus for measuring temporal spectral characteristics of flashing light. (Light

and radiation measurement '81, CIE symposium in Hajdúszoboszló, Hungary, May 1981, Proceedings, to be published).

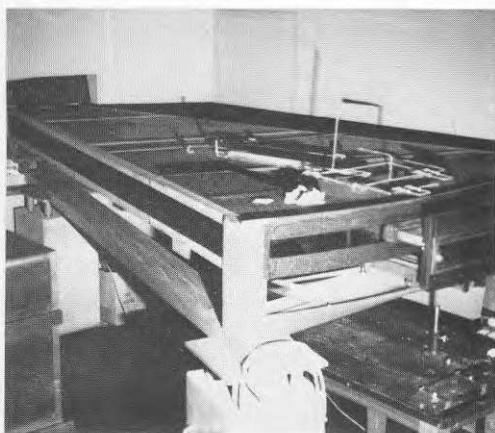
6. FIGURER



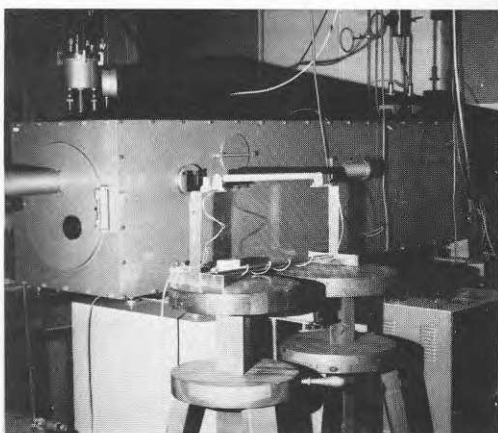
1 a



1 b



1 c



1 d

Fig. 1.

Fotografiska bilder av olika mätsystem.

- a) Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator.
- b) GCA/McPherson monokromator.
- c) Jarell-Ash 5-meters gitterspektrograf.
- d) Infrarödspektrograf med Czerny-Turner-montering.

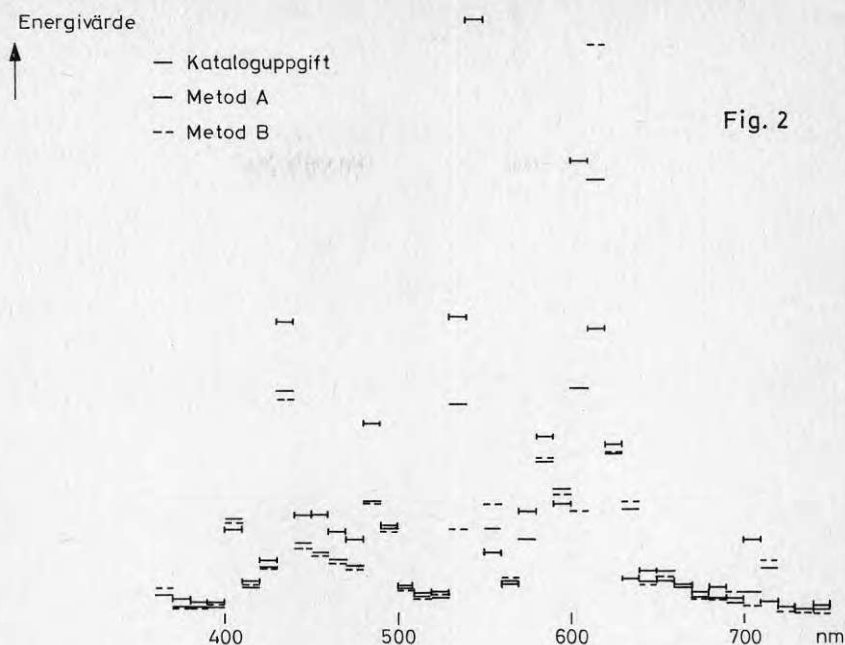


Fig. 2

Spektralfördelning för ett lysrör

Ljuskälla: Osram vit L18W/21, 26 mm:s diameter

Mätsystem: Tracor Northern-1710 mångkanalsanalysator med en tillhörande liten monokromator

Figuren visar dels fabrikantens kataloguppgift, dels spektralfördelningen mätt på två olika sätt. I metod A har mätresultatet uttagits på skrivare och sedan vidareberäknats. I metod B har mångkanalsanalysatorn egen beräkningskapacitet utnyttjats. Strålningsflödet har för att underlätta jämförelser, omräknats så att värdet i våglängdsintervallet 540-550 nm blir detsamma i de tre fallen.

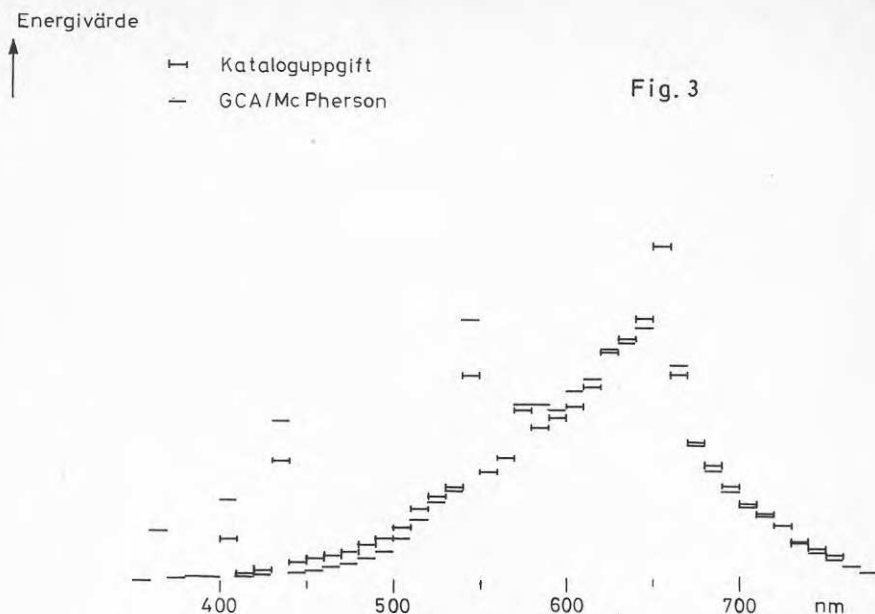


Fig. 3

Spektralfördelningen för ett lysrör.

Ljuskälla: Osram L-Interna 20W/39, 38 mm:s diameter.

Mätssystem: GCA/McPherson monokromator med fotomultiplikator som detektor

Mätresultatet jämförs i figuren med fabrikantens kataloguppgift. Strålningsflödet har, för att underlätta jämförelser, omräknats så att värdet i våglängdsintervallet 650 - 660 nm blir detsamma i de båda fallen.

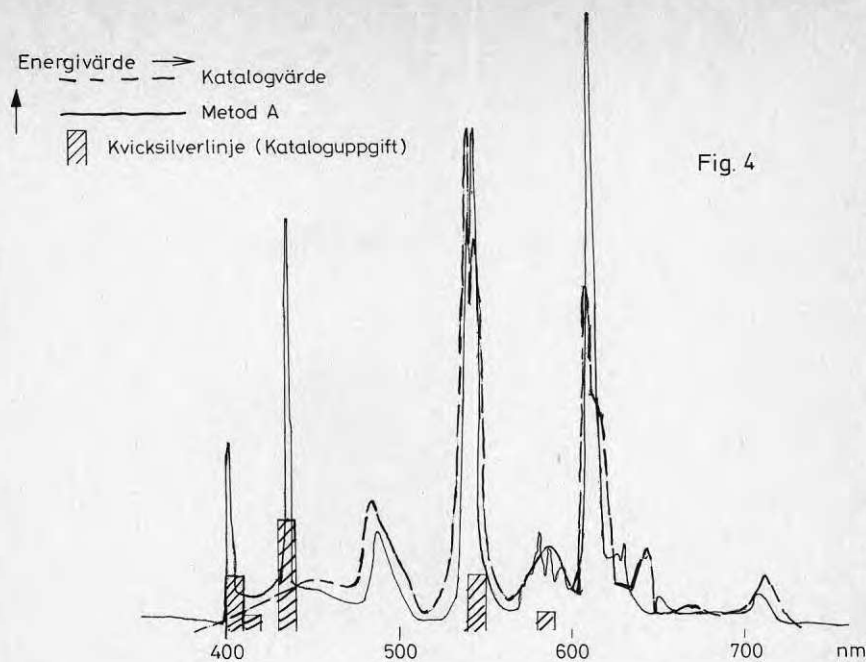


Fig. 4

Spektralfördelningen för ett lysrör.

Ljuskälla: Philips TLD 18W/84, 26 mm:s diameter.

Mätssystem: Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator. Registreringen är gjord på skrivare.

Mätresultatet jämförs i figuren med fabrikantens kataloguppgift. Den högsta toppen i våglängsintervallet 540-550 nm har, för att underlätta jämförelser, i resp. redovisning givits samma värde.

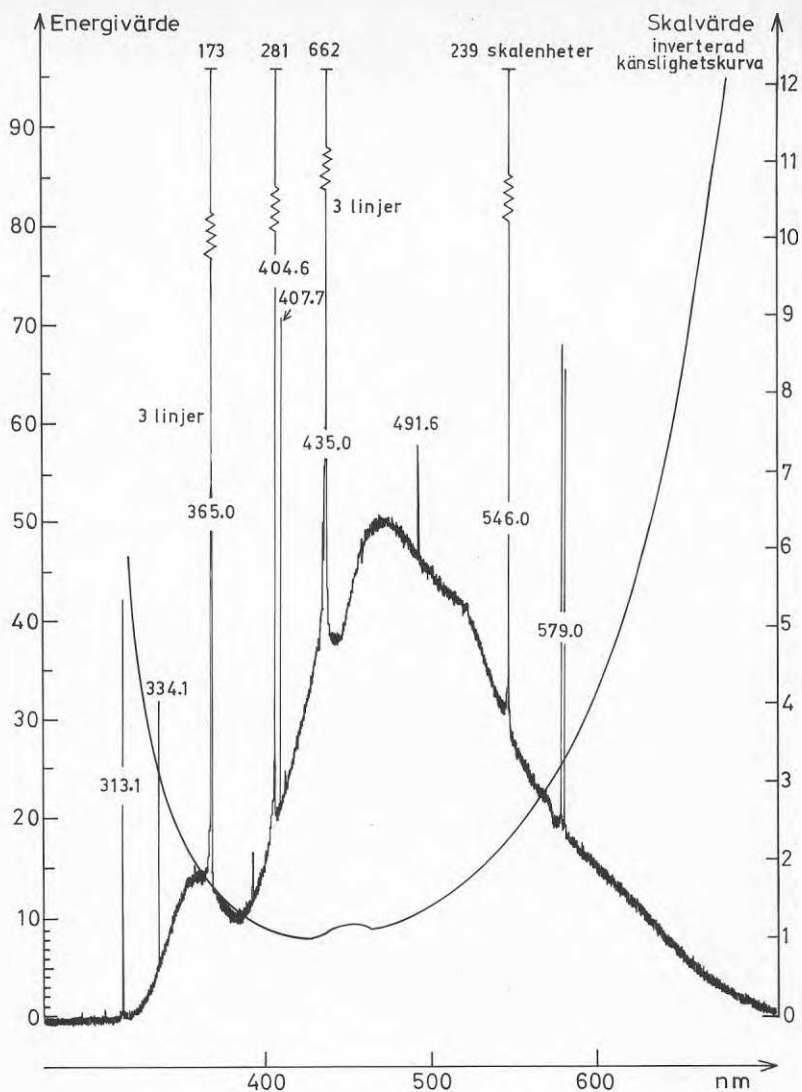


Fig. 5

Spektralfördelning (ej korrigerad) för lysrör.

Ljuskälla: Duro Test True Lite 20W, 38 mm:s diameter.

Mätssystem: GCA/McPherson monokromator med ingångsaperturen ca 15 μm .

Den smala ingångsspalten möjliggör hög upplösning och medför att strukturer med smala överlagrade band blir urskiljbara. Uppgifterna överst (vid brutna staplar) anger de överlagrade kvicksilverlinjernas verkliga höjd i antal smårutor. För att få det relativa strålfödet i ett visst våglängdsområde måste skrivervärdet multipliceras med den i figuren angivna inverterade känsligheten.

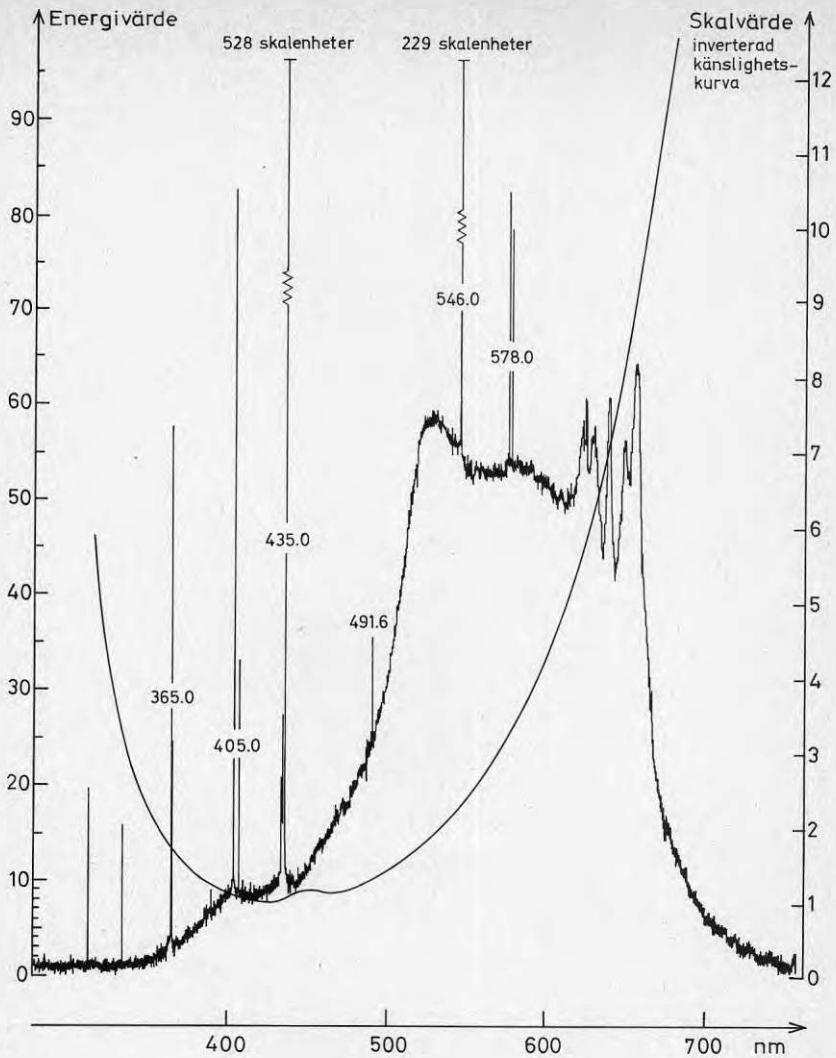


Fig. 6

Spektralfördelning (ej korrigerad) för lysrör.

Ljuskälla: Osram L-Interna 20W/39, 38 mm:s diameter.

Mätssystem: GCA/McPherson monokromator med ingångsaperturen ca 15 μm .

För kommentarer se texten till fig. 5.

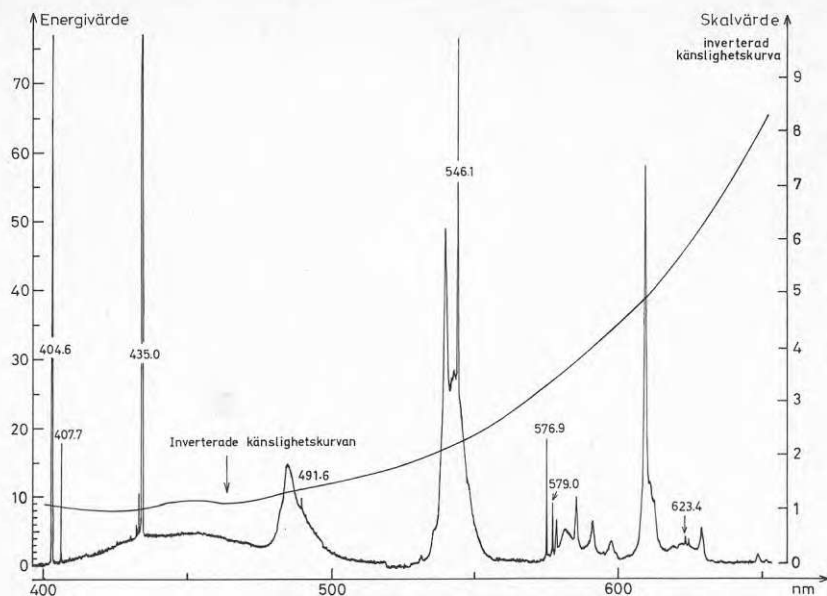


Fig. 7

Spektralfördelningen (ej korrigerad) för ett 3-bandslysrör.

Ljuskälla: Osram L 18W/29, 26 mm:s diameter.

Mätssystem: GCA/McPherson monokromator med ingångsaperturen ca 15 μm .

Våglängdsskalan är förstörd jämfört med fig 5 och 6. Vissa kvicksilverlinjer är även här större än vad skalan förmår utvisa. I övrigt se bildtexten till fig 5.

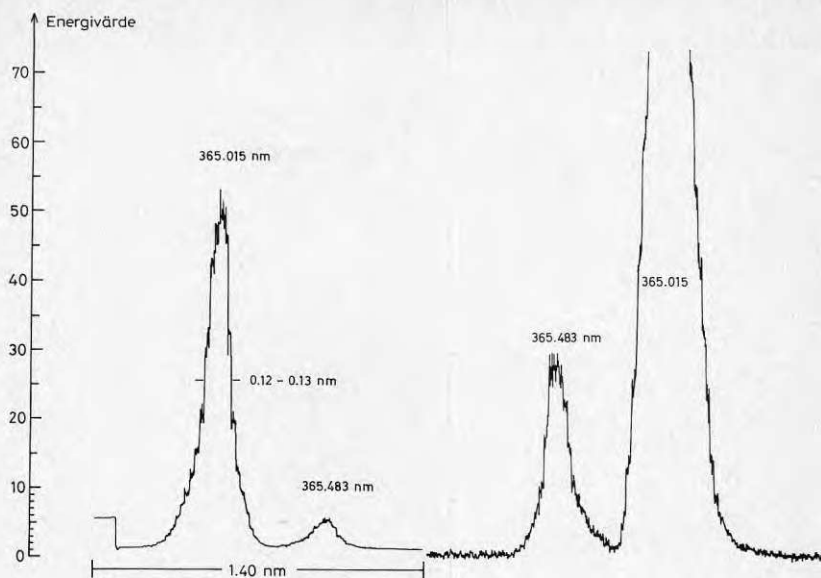


Fig. 8

Två upptagningar av kvicksilverlinjerna 365.0 resp. 365.4 nm.

Ljuskälla: Osram L-Interna 20W/39, 38 mm:s diameter.

Mätssystem: GCA/McPherson monokromator med ingångsaperturen ca 15 μm .

Scanninghastigheten är låg, vilket ger en möjlighet att mäta linjens halvvärdesbredd (0.12 - 0.13 nm).

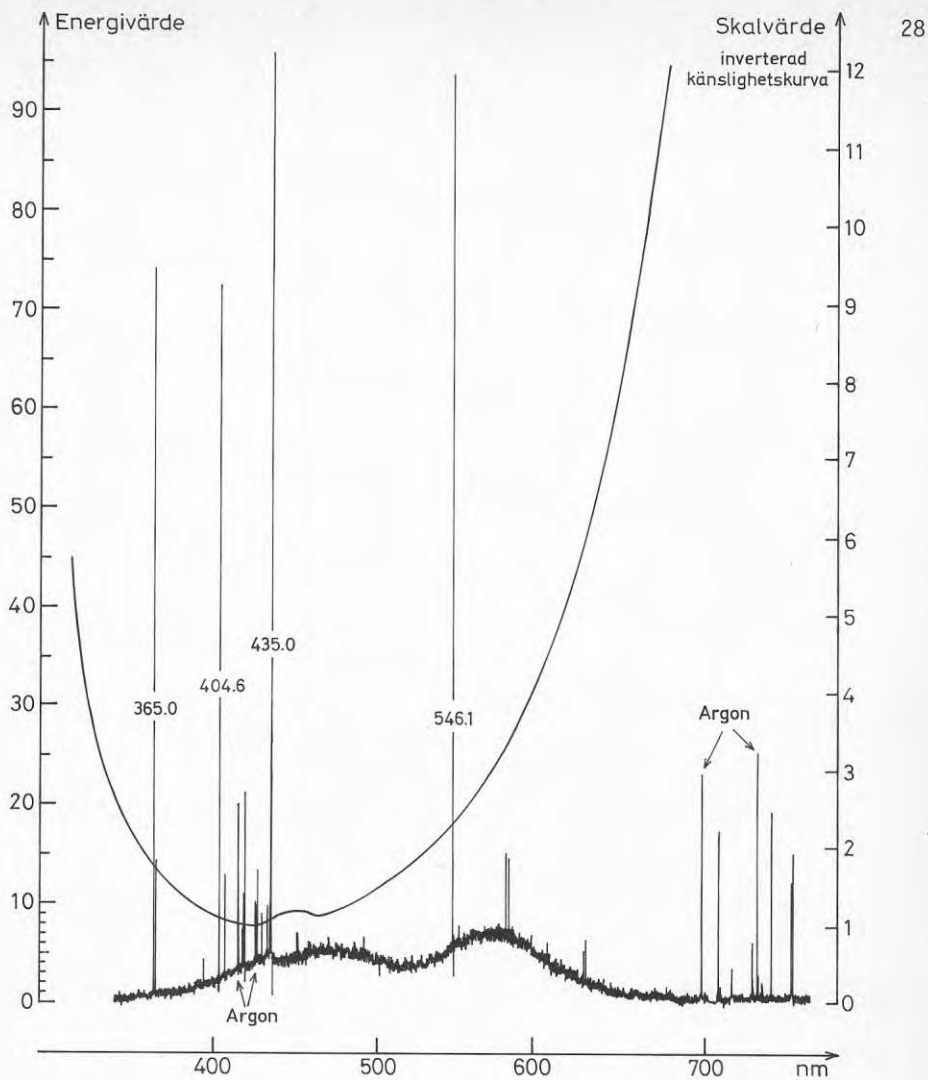


Fig. 9

Spektralfördelningen (ej korrigerad) för ett lysrör.

Ljuskälla: Sylvania F20W/CW, 38 mm:s diameter.

Mätsystem: GCA/McPherson monokromator med ingångsaperturen ca 15 μm .

Förmodlingen beroende på för högt argontryck och kanske dessutom för tunt lyspulverskikt är det möjligt att registrera ett antal argonlinjer förutom kvicksilverlinjerna. Se i övrigt texten till fig 5.

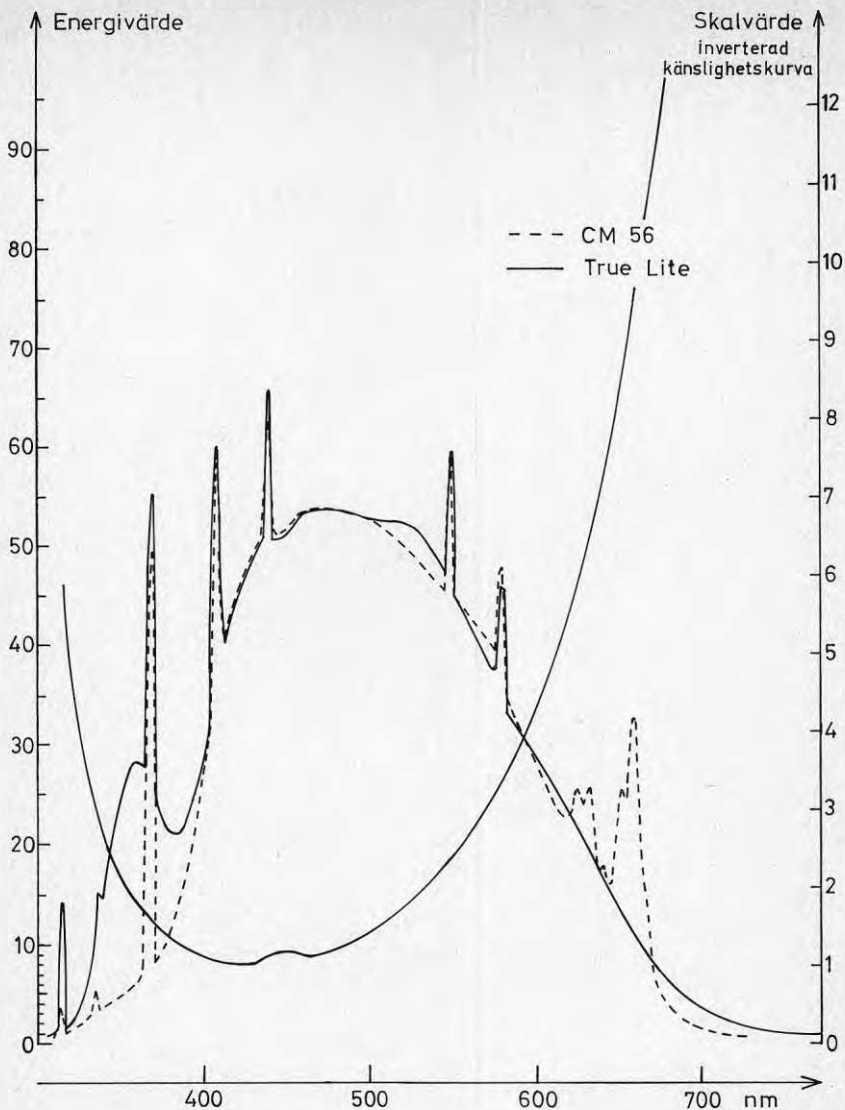


Fig. 10

Spektralfördelning (ej korrigerad) för två olika lysrör.

Ljuskällor: Thorn T 40W 56 CM
Duro Test True Lite 20W

Mätsystem: GCA/McPherson monokromator med ingångsaperturen
1200 μm .

Den bredare ingångsaperturen ger breda och låga Hg-linjer. De får en halvvärdesbredd av ca 5 nm. Se även texten till fig. 5.

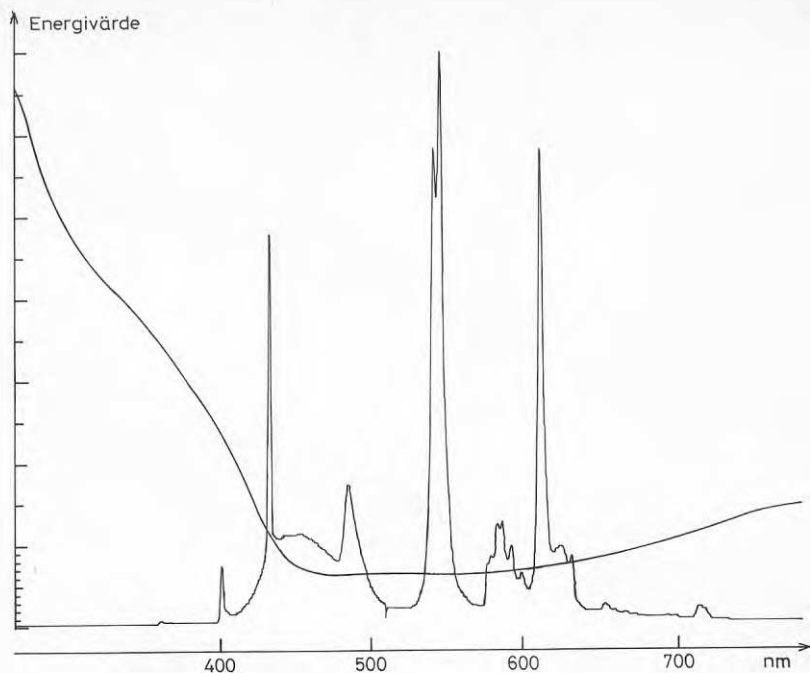


Fig. 11

Spektralfördelning (ej korrigerad) för ett lysrör.

Ljuskälla: Thorn PolyLux dagsljus TP 18W/4, 26 mm:s diameter.

Mätssystem: Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator med tillhörande liten monokromator, vilken har spaltbredden ca 50 μm .

Mätssystemets spalt är bredare än den något smalare spalt (15 μm) som kom till användning vid de mest högupplösande registreringarna i GCA/McPherson-systemet. Med smalare spalt och större monokromator är det dock möjligt att erhålla samma detaljerade struktur även här. För att få det relativa strålningsflödet i ett visst våglängdsområde måste skrivarvärdet multipliceras med den i figuren angivna inverterade känsligheten.

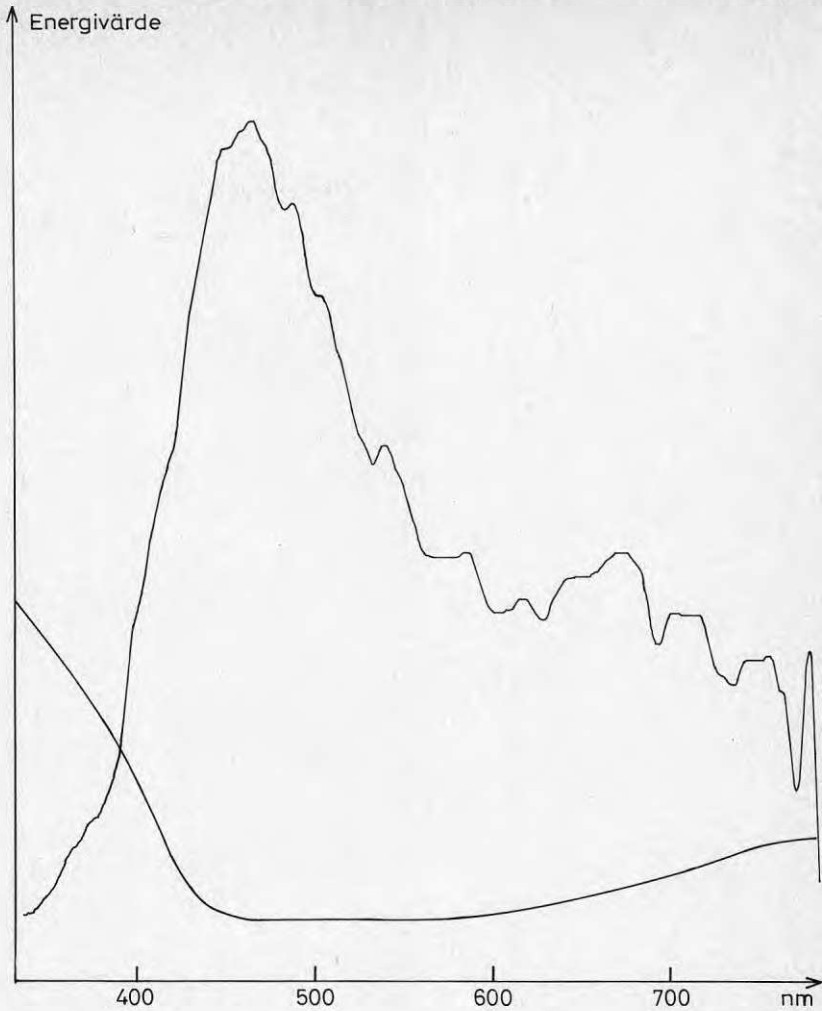


Fig. 12

Spektralfördelningen för dagsljus.

Ljuskälla: Det spridda dagsljuset från en molning himmel 1980-12
12 kl 15.40.

Mätssystem: Tracor Northern 1710 mångkanalsanalysator med till-
hörande liten monokromator. Spaltbredd ca 50 μm .

Se i övrigt texten till fig. 11.

Jarrell - Ash spektrograf

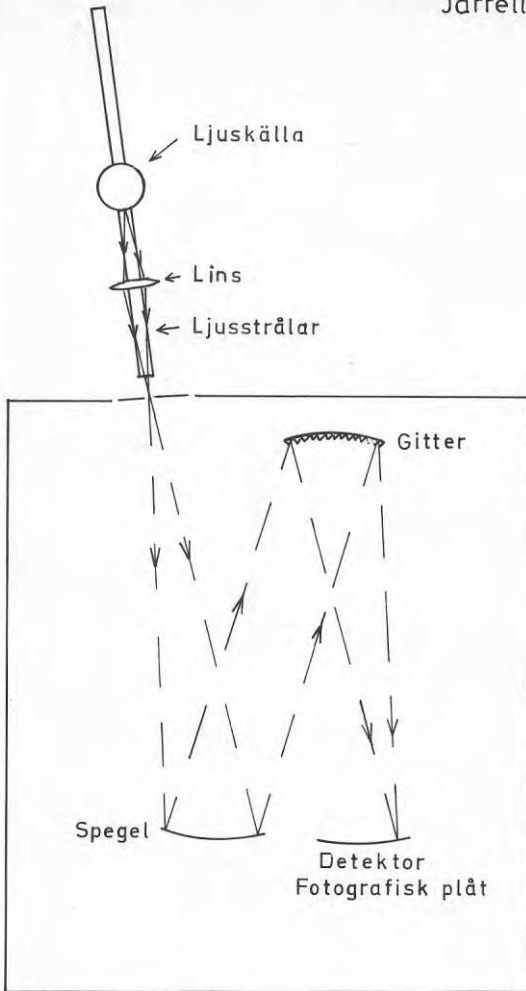


Fig. 13

Principskiss av experimentsuppställningen vid fotografisk registrering med Jarrell-Ash gitterspektrograf. För att undvika ströljus är den fokuserande spegeln, gittret samt detektor inbyggda i en separat låda, vilken är avfotograferad i fig. 1

Figurtext.

Fig. 14. Spektralfördelningen för ett flertal olika ljuskällor i området 400 - 525 nm.

Ljuskällor:

- 1 True lite 20W lysrör
- 2 Ture lite 20W lysrör
- 3 Philips TL20W/34 lysrör
- 4 Sylvania coolwhite F20W lysrör
- 5 Osram L-Interna 20W/CW lysrör
- 6 Philips TLD 18W/84 lysrör
- 7 Osram lumilux vit 18W/21 lysrör
- 8 Volframbandlampa 2500 K

Fig. 15 - 18. Spektralfördelningen för ett flertal olika ljuskällor i området 275 - 925 nm.

Fig. 15 täcker området 275 - 400 nm
 Fig. 16 "- 400 - 525 nm
 Fig. 17 "- 600 - 725 nm
 Fig. 18 "- 800 - 925 nm

Ljuskällor:

- 9 Solljus direktspeglat (exp. tid varierar)
- 10 Solljus direktspeglat (exp. tid varierar)
- 11 Solljus direktspeglat (exp. tid varierar)
- 12 Solljus direktspeglat (exp. tid varierar)
- 13 Solljus direktspeglat (exp. tid varierar)
- 14 Metallhalogenlampa
- 15 Kviksilverlampa
- 16 Volframbandlampa 2500 K

Mätsystem: Jarell-Ash 5 m gitterspektrograf med fotografisk
 Fig 14-18 plåt som detektor. Ingångsspalten är ca 25 μm bred.

För att erhålla tillräckligt kraftigt ljusflöde på den fotografiska plåten måste i allmänhet ljuskällan avbildas på spalten medelst ett optiskt linssystem. Våglängdsskalan är angiven i Å, 1 Å = 0.1 nm, med ökande våglängder i högerriktningen.

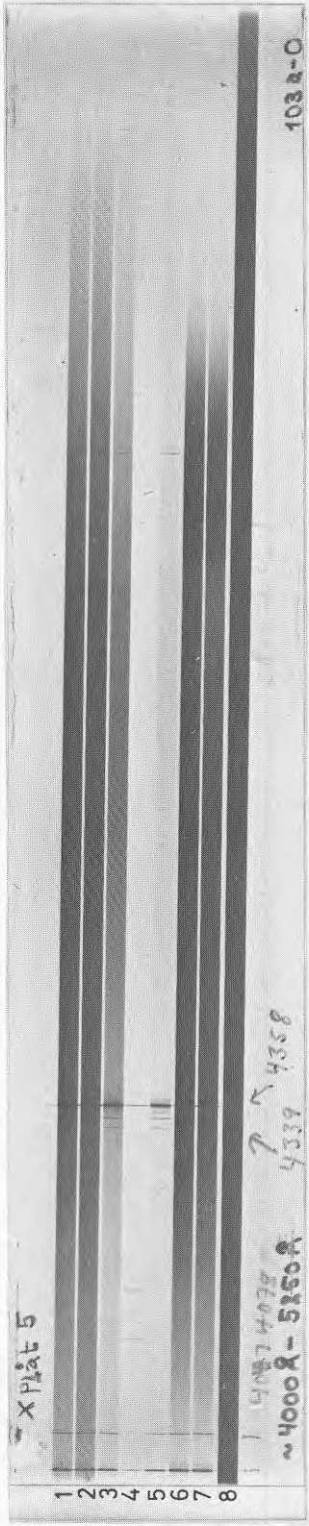


Fig. 14

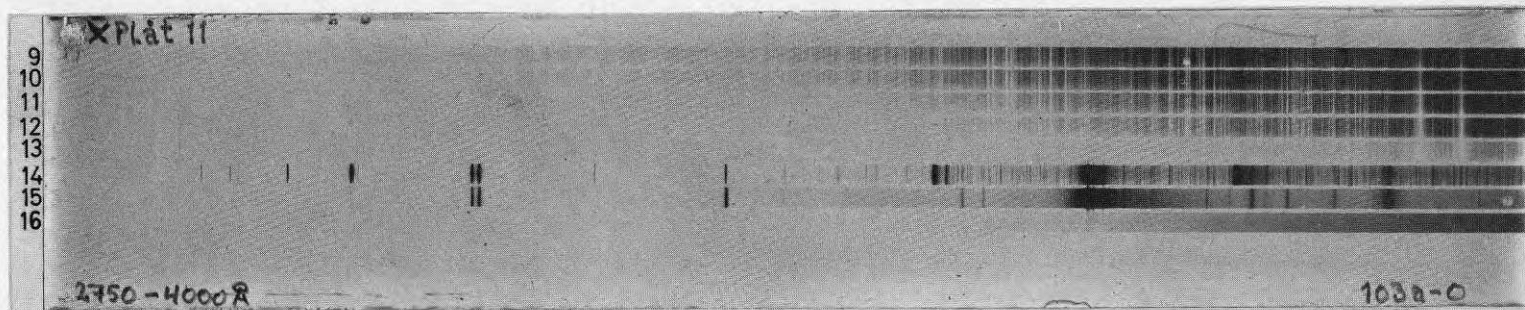


Fig. 15

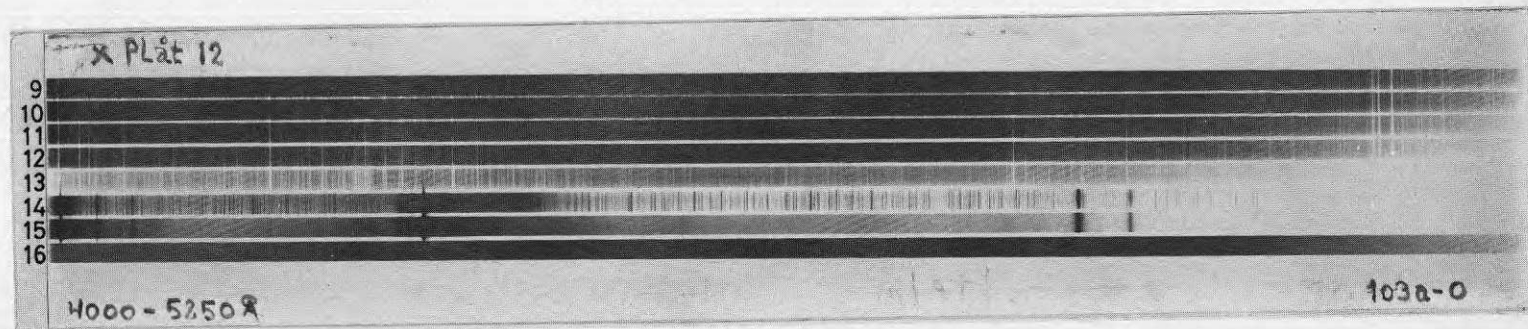


Fig. 16

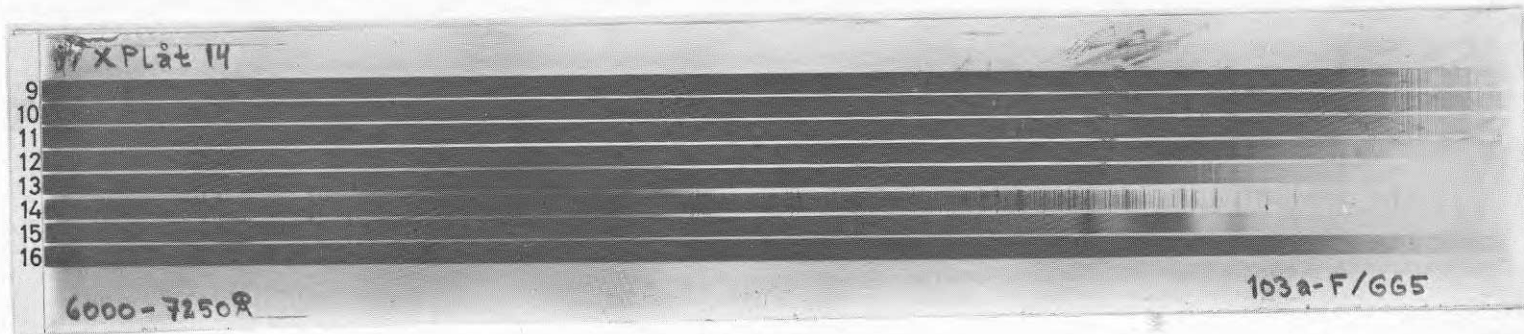


Fig. 17

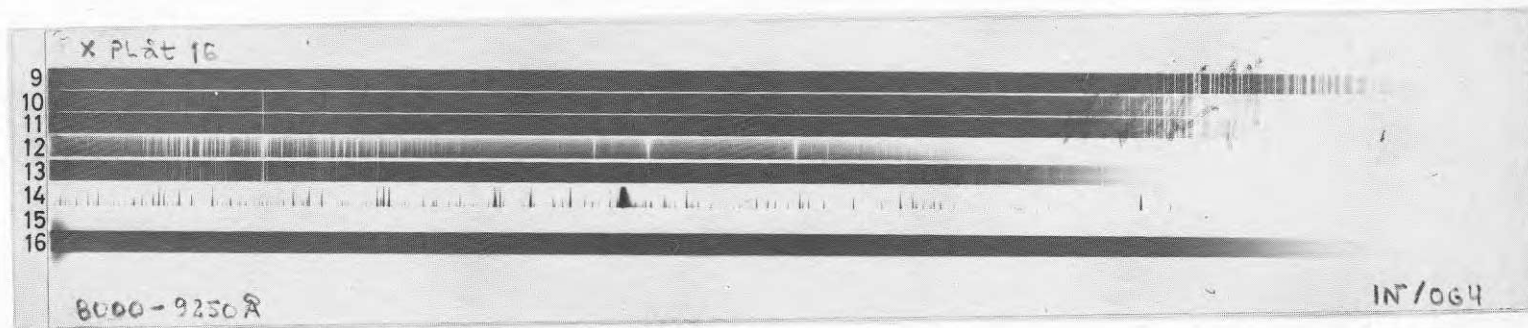


Fig. 18

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791607-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Fysiska institutionen, Lunds universitet.

R87: 1982

ISBN 91-540-3752-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700587

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirka pris: 25 kr exkl moms