



## **Regulering af vejbelysning**





## **Regulering af vejbelysning**

---

**Finn Overgaard, Lysteknisk Laboratorium**

**Kai Sørensen, Lysteknisk Laboratorium**

**E. Hoffmann Christensen, Odense Kommunale Elforsyning**



## INDHOLDSFORTEGNELSE

|   | <u>Side</u> |
|---|-------------|
| <u>FORORD</u> .....   | 5           |
| <u>RESUME</u> .....   | 7           |
| 1. <u>INDLEDNING</u> .....                                    | 9           |
| 2. <u>VEJBELYSNINGSANLÆGGETS ELEKTRISKE INDRETNING</u> .....  | 13          |
| 2.1 <u>Et vejbelysningsanlægs spændingsforsyning</u> .....    | 13          |
| 2.2 <u>Lyskilder</u> .....                                    | 13          |
| 2.2.1 <u>Glødelamper</u> .....                                | 14          |
| 2.2.2 <u>Lysstofrør</u> .....                                 | 14          |
| 2.2.3 <u>Højtryksnatriumlamper</u> .....                      | 16          |
| 2.2.4 <u>Højtryksskviksølvlamper</u> .....                    | 18          |
| 3. <u>OM REGULERING AF VEJBELYSNING</u> .....                 | 19          |
| 3.1 <u>Lysstrøm, effekt og spænding</u> .....                 | 19          |
| 3.2 <u>Andre forhold hos lyskilden</u> .....                  | 21          |
| 3.3 <u>Generelt om reguleringsudstyr</u> .....                | 23          |
| 3.3.1 <u>Store og små udstyr</u> .....                        | 23          |
| 3.3.2 <u>Amplituderegulering og faseafskæring</u> .....       | 23          |
| 3.3.3 <u>Faseforhold ved regulering</u> .....                 | 26          |
| 3.3.4 <u>Overharmoniske strømme på forsyningsnettet</u> ..... | 26          |
| 3.3.5 <u>Mulighed for radiostøj</u> .....                     | 28          |
| 3.4 <u>Særlige forhold ved små reguleringsudstyr</u> .....    | 29          |
| 3.5 <u>Særlige forhold ved store reguleringsanlæg</u> .....   | 30          |

|  | <u>Side</u> |
|--|-------------|
| 4. <u>BESKRIVELSE AF REGULERINGSSYSTEMER</u> .....                               | 33          |
| 4.1 <u>Indledning</u> .....  | 33          |
| 4.2 <u>Små reguleringsystemer</u> .....  | 33          |
| 4.3 <u>Store reguleringsanlæg</u> .....  | 36          |
| 5. <u>LABORATORIEMÅLINGER</u> .....  | 41          |
| 5.1 <u>Reguleringsystemer, måleopstilling og måle-</u><br><u>parametre</u> ..... | 41          |
| 5.2 <u>Elektriske parametre</u> .....  | 47          |
| 5.3 <u>Lystekniske parametre</u> .....   | 53          |
| 5.4 <u>Tidsforløb</u> .....  | 57          |
| 6. <u>PRAKTISK AFPRØVNING</u> .....  | 59          |
| 6.1 <u>Alment</u> .....  | 59          |
| 6.2 <u>Reguleringsudstyrene og deres montering</u> .....                         | 59          |
| 6.3 <u>Driftserfaringer og målinger</u> .....                                    | 66          |
| 7. <u>PRAKTISKE OG ØKONOMISKE FORHOLD VED REGULERING</u> .....                   | 71          |
| 7.1 <u>Mulighed for montering i eksisterende anlæg</u> ....                      | 71          |
| 7.2 <u>Økonomi af natreduktion ved regulering</u> .....                          | 72          |
| 7.3 <u>Andre synspunkter</u> .....   | 76          |
| 8. <u>SAMMENFATNING</u> .....  | 81          |
| <u>REFERENCER</u> .....  | 85          |
| <u>BILAG</u> - Kommentarer fra leverandører .....                                | 87          |

FORORD

På initiativ af Vejregelorganisationens projektgruppe vedrørende vejbelysning har Lysteknisk Laboratorium undersøgt forskelligt markedsført reguleringsudstyr til reduktion af vejbelysning.

Der er dels foretaget en række laboratoriemålinger på Lysteknisk Laboratorium i sommeren 1982, og dels foretaget en efterfølgende praktisk afprøvning i eksisterende vejbelysningsanlæg med tilhørende observationer og målinger.

Odense Kommunale Elforsyning har stået for den praktiske afprøvning. Det afprøvede udstyr har været stillet til rådighed af fabrikanter og leverandører, som også har bidraget med vejledning og direkte indsats ved omkobling og montering af udstyr.



RESUME

Rapporten omfatter en kortfattet gennemgang af den elektriske installation til vejbelysning, en omtale af almene forhold i forbindelse med regulering, og en gennemgang af markedsført udstyr. Dette udstyr kan inddeles i små systemer til montering i eller ved enkeltarmaturer (dæmpespoler og små elektroniske regulatorer), samt større anlæg til regulering af flere armaturer (transformere og store elektroniske regulatorer).

Et udvalg af disse udstyr er undersøgt både i laboratoriet og i praksis på belysningsanlæg med højtryksnatriumlamper.

Sammenhængen mellem lysstrøm og effekt er omtrent uafhængig af reguleringsmetoden, og højtryksnatriumlamper synes at egne sig godt for regulering. Udstyrene er i hovedsagen driftssikre, men der er forskelle i nedreguleringsgraden, og i hvor stærke overharmoniske strømme, de frembringer.

Til eksisterende anlæg kan der kun opnås en rimelig økonomi, hvis udgifterne til udstyret og dets montering holdes lavest mulig og/eller der benyttes kraftig eller langvarig reduktion. Til nyanlæg eller ved ombygning af eksisterende anlæg er de økonomiske forhold bedre.

Endelig peges på muligheden for opregulering af belysningen i trafikstærke timer, på behovet for armaturer med indbygget reduktionsmulighed og på en enkelt mulighed for at udvikle endnu simple metoder.





1.

INDLEDNING

Indførelse af natreduktion er påbegyndt ved fremkomsten af vejbelysningsreglerne af september 1979, der tilskynder til reduktion i de sene nattetimer. En yderligere tilskyndelse findes i Ministeriet for Offentlige Arbejders cirkulæreskrivelse om besparelser til vejbelysning af 26. september 1979. Disse tilskyndelser har i praksis fået opbakning af stadige stigninger i el-prisen og i nedskæringer i vejmyndighedernes driftsbudgetter.

Natreduktion af vejbelysning har derfor vundet større indpas i vejbestyrelsernes besparelsesbestræbelser, og formentlig på grund af omstændighederne er natreduktionen indført på billigst mulig måde og ofte i et længere tidsrum end oprindeligt tilsigtet (24.00-6.00). Hertil kommer i mange tilfælde yderligere besparelser ved afkortet brændetid, sommerslukning og kombinationer heraf, f.eks. morgenslukning i sommertiden, se f.eks. "NESA informerer".

Natreduktionen sker således næsten udelukkende ved delslukning af belysningsanlæggene. Denne foranstaltning er ofte let at indføre, men medfører et fald i belysningskvaliteten ved ikke alene et fald i belysningens niveau, men også i dens regelmæssighed.

Som det fremgår af LTLI-notat nr. 131, kan belysningens regelmæssighed i nogle tilfælde blive meget dårlig, hvorfor en vis effekt på trafiksikkerheden næppe kan udelukkes.

De udvidede tidsrum for natreduktionen, i Københavns Amt f.eks. fra kl. 20.00, medfører, at reduktionsperioden omfatter en ikke uvæsentlig del af trafikarbejdet. En vurdering af disse forhold, se LTLI-notat nr. 143, viser, at en forøgelse af uheldstallet i reduktionsperioden på blot 10 % svarer til samfundsomkostninger, der er større end besparelserne til vejbelysning. De foreløbige resultater af en egentlig trafiksikkerhedsundersøgelse antyder, at der for nogle veje sker en forøgelse af uheldstallet under delslukning, se LTLI-notat nr. 191.

Udviklingen synes derfor ikke helt betryggende, selv om natreduktionens eventuelle indflydelse på trafiksikkerheden endnu ikke er fastslået. Der må dog konstateres et behov for den alternative metode til reduktion ved nedregulering af lysstrømmen fra hvert enkelt armatur. Ved denne metode påvirkes belysningskvaliteten

kun af et fald i belysningsniveauet, mens regelmæssigheden forbliver uændret. Hertil bemærkes, at det ved vejbelysningsreglernes fremkomst var forventet, at nedregulering af lysstrømmen vil finde anvendelse i noget omfang, f.eks. ved nyere belysningsanlæg med ensidig lyspunktplacering og stor lyspunktafstand. En sådan antagelse kunne bestyrkes af, at der forelå udstyr til nedregulering, som allerede blev anvendt i nogle lande.

Når nedregulering ikke har vundet indpas i Danmark, skyldes det nok dels, at det til sammenligning med delslukning var dyrere at indføre nedreguleringen, og dels at nedregulering ikke på noget tidspunkt er blevet praktisk afprøvet under danske forhold.

I den mellemliggende periode er der fremkommet flere typer udstyr til nedregulering. Nogle typer er små enheder, som kun regulerer på én lampe. Det er en fleksibel løsning, som gør det nemt at udskille vejkryds og skiltebelysning. Andre typer er store enheder, som samtidig kan regulere på adskillelige lamper.

Andre fordele ved udstyr til nedregulering er, at reguleringen kan ske til flere niveauer og evt. i forlængede tidsrum afhængig af f.eks. trafikintensiteten. Nedreguleringen kan endvidere udmærket kombineres med delslukning. Udstyret til nedregulering muliggør derfor en mere fleksibel styring af vejbelysningen og tilpasning til trafikken med deraf følgende yderligere muligheder for besparelser.

Det større udbud af udstyr med forskellig virkemåde nødvendiggør imidlertid i højere grad end tidligere en indledende afprøvning. Projektets formål er derfor gennem en afprøvning af udstyr til nedregulering at give sikre og sammenlignelige oplysninger om de forskellige udstyrs virkemåder, fordele og begrænsninger. Den direkte virkning heraf vil være, at vejmyndigheder med større sikkerhed kan vælge mellem udstyr til nedregulering, der passer bedst til de eksisterende forhold.

Som et yderligere resultat opnås en forbedret viden om hvilke typer af udstyr, der er egnede og hvilke krav, der kan stilles til reguleringsudstyr til vejbelysning. Denne forbedrede viden kan forventes at fremskynde yderligere udvikling af egnet reguleringsudstyr.

Af hensyn til rapportens læselighed gives i kapitel 2 en kortfattet omtale af vejbelysningsanlægs elektriske indretning.

Regulering af vejbelysning omtales generelt i kapitel 3, og de enkelte reguleringssystemer gennemgås i kapitel 4.

Herefter redegøres der for laboratoriemålinger i kapitel 5 og for den praktiske afprøvning i kapitel 6.

Endelig findes i kapitel 7 en omtale af praktiske og økonomiske forhold ved nedregulering, og i kapitel 8 en sammenfatning af undersøgelsen.

Leverandørerne af reguleringsudstyr har haft lejlighed til at kommentere et fortryk til rapporten. De indkomne kommentarer er gengivet i deres fulde ordlyd i et bilag. Enkelte steder i rapporten, hvor det er relevant, er der indføjet henvisninger til bilaget, men ellers er der ikke foretaget ændringer undtagen af redaktionel karakter.

Undersøgelsen har under sin udførelse desuden været omtalt i El & Energi nr. 6, 1983, Dansk Vejtidskrift nr. 2, 1983, Ingeniøren, 14. januar 1983, Stads og Havneingeniøren nr. 3, 1983 og endelig i Lampetten nr. 3, 1983. Hertil kommer fremlæggelser for Lysteknisk Laboratoriums informationsgruppe ved hjælp af LTLI-notater nr. 174 og 186.

Endeligt gøres opmærksom på en praktisk afprøvning af reguleringsudstyr, som har været udført af Eindhoven by, Holland, og som er omtalt i International Lighting Review No. 2, 1983. Denne afprøvning omfatter nedtransformering af forsyningsspændingen, dæmpe-spøler og elektronisk nedregulering med små udstyr.

For 150 W højtryksnatriumlamper er konklusionerne omtrent som anført i denne rapport. Derudover omfatter den hollandske afprøvning armaturer med 40 W lysstofrør, hvor der er foretaget nedregulering af både effekt og lysstrøm med ca. 50 %. Dette vil sige, at der ved nedregulering af lysstofrør ikke forekommer nogen nævneværdig tilbagegang i lysudbyttet, som det også anføres i denne rapport.



## 2. VEJBELYSNINGSANLÆGGETS ELEKTRISKE INDRETNING

### 2.1 Et vejbelysningsanlægs spændingsforsyning

Et vejbelysningsanlæg elforsynes fra et forsyningsnet gennem et relæskab, hvorfra der til armaturerne er etableret en 1-, 2- eller 3-faset forsyningsledning (se fig. 2.1).

Armaturet indeholder en eller flere lyskilder med hertil hørende forkoblingsudstyr. Forkoblingsudstyret kan i nogle tilfælde være anbragt udenfor armaturet.

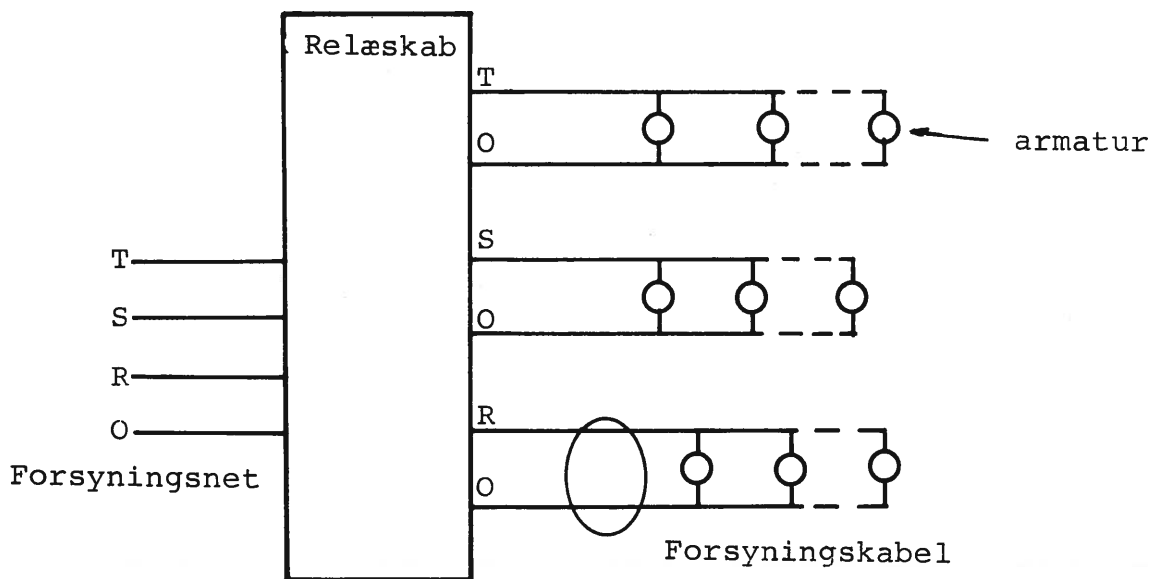


Fig. 2.1 Et typisk vejbelysningsanlæg.

### 2.2 Lyskilder

Til vejbelysningsformål benyttes normalt en af følgende lampetyper:

Glødelamper

Lysstofrør

Højtryksnatriumlamper

Højtryksskviksølvlamper, normalt blot kaldet kviksølvlamper

De sidstnævnte tre typer er damplamper. Disse lamper har en nega-

tiv karakteristisk, hvilket vil sige at impedansen gennem lampen aftager med spændingen.

Af denne grund må strømmen gennem lampen begrænses af en drosselspole, som monteres i serie med lampen. Drosselspolen bevirker imidlertid en uønsket induktiv fasedrejning af strømmen (lille værdi af effektfaktoren,  $\cos\phi$ ) til armaturet. Denne fasedrejning udkompenseres derfor i praksis af en fasekondensator, som monteres parallelt over armaturets forsyningsledning.

Til disse forskellige komponenter kommer for nogle af lampernes vedkommende en starter. Komponenterne, som under ét kan betegnes forkoblingsudstyr, monteres normalt i armaturet.

### 2.2.1 Glødelamper

Glødelamper kan tilsluttes forsyningsspændingen direkte uden nogen form for forkoblingsudstyr.

### 2.2.2 Lysstofrør

Specielt for denne type damplampe benyttes der ofte armaturer med flere lysstofrør.

Der findes forskellige principper for strømkredse, som indeholder det nødvendige forkoblingsudstyr. De vigtigste er:

L-koblingen, hvor forkoblingsudstyret består af en drosselspole, starter og en fasekondensator. Princippet er vist i fig. 2.2.

LC-koblingen kan benyttes i et to-rørs armatur. Det ene lysstofrør kobles i ovennævnte L-kobling, og ved det andet lysstofrør placeres en kondensator i serie med drosselspolen, som vist på fig. 2.3. Ved denne metode opnås, at de to koblinger udkompenserer hinanden, så fasedrejningen af strømmen til armaturet bliver meget lille.

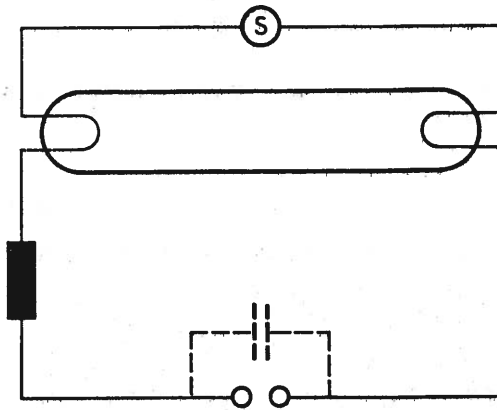


Fig. 2.2 Princip for lysstofrør koblet i L-kobling. Fasekompensering opnås ved at indføre en fasekondensator (vist stiplet).

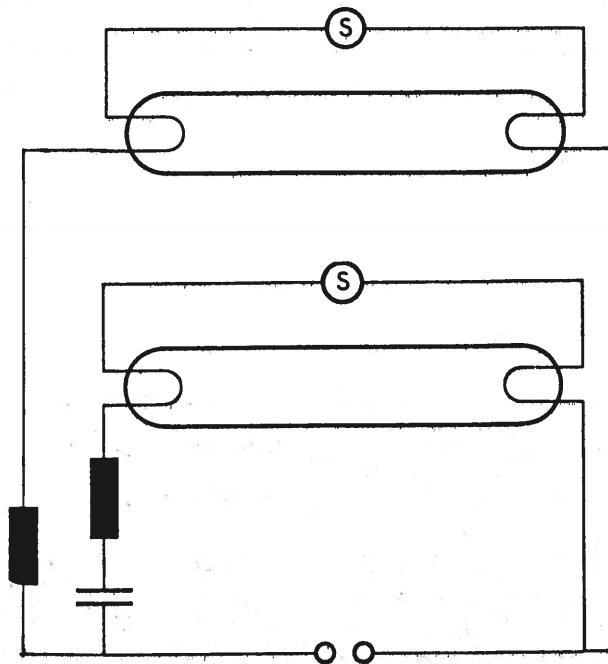


Fig. 2.3 To lysstofrør koblet i en LC-kobling, hvis faseadretning er meget lille.



Resonanskoblingen benyttes meget til lysstofrør i vejbelysningsanlæg. Princippet er vist i fig. 2.4. Der skal benyttes et specielt lysstofrør, som har en langsgående ledende stribe - en såkaldt tændstribe på ydersiden af røret.

Dette bevirker også, at røret kan tænde ved ekstra lave omgivelsetemperaturer.

Når lysstofrøret er udbrændt, udvirker den specielle kobling i resonanskoblingen, at den ene elektrode i lysstofrøret brænder over, således at gentændinger undgås.

Glødetransformerkoblingen er speciel ved, at de to elektroder i lysstofrøret opvarmes separat af en lille glødespænding, som vist på fig. 2.5. Også her er det ønskværdigt at benytte en fasekompensering, idet fasedrejningen er lige så stor som for L-koblingen. Denne kobling anvendes især, når lysstofrør ønskes forbundet med et reguleringssystem. I det tilfælde deles forsyningsspændingen op, så glødetransformeren altid får fuld spænding og holder elektroderne varme. Hermed kan forsyningsspændingen gennem drosselspolen reduceres uden risiko for, at lysstofrøret slukker.

### 2.2.3 Højtryksnatriumlamper

Indenfor de sidste ti år har højtryksnatriumlampen (HtNa) gennemgået en stor udvikling. Den er nu meget anvendt til vejbelysningsformål, idet den giver et godt lysudbytte.

Nogle lamper har en indbygget starter eller tænder uden brug af starter, så strømkredsen ser ud som vist på fig. 2.7. Andre typer skal tændes ved hjælp af en separat starter, som vist på fig.

2.6.

På grund af drosselspolen er det i praksis nødvendigt at forsyne strømkredsen med en kondensator til fasekompensation.

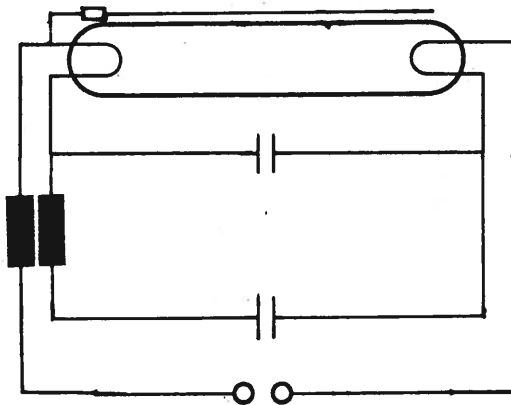


Fig. 2.4 Eksempel på en resonanskobling, som anvendes hyppigt til vejbelysning. Bemærk, at der skal benyttes et lysstofrør med tændstribe.

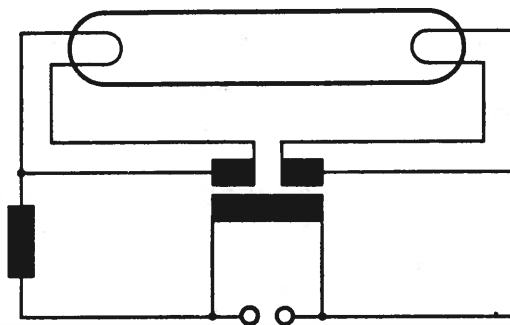


Fig. 2.5 Glødetransformer-koblingen (RS-kobling) er meget velegnet til lysstofrør, som ønskes reguleret.

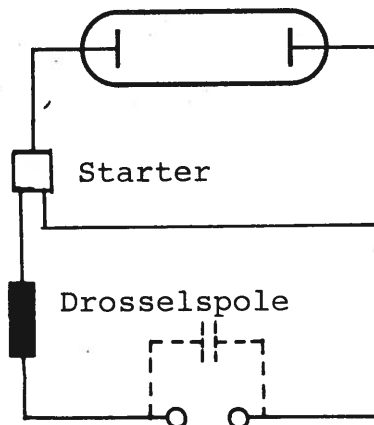


Fig. 2.6 Kobling af højtryksnatriumlampe, som kræver separat starter.

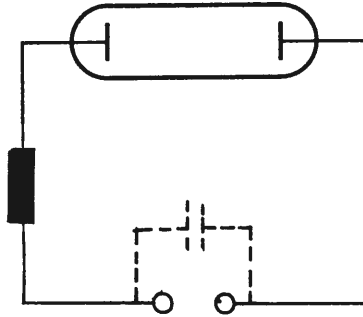


Fig. 2.7 Kobling af højtryksnatriumlampe, som er selvstartende eller har indbygget starter.

#### 2.2.4 Højtrykskviksvølvlamper

Højtrykskviksvølvlamper (HtHg) til dagligt blot kaldet kviksvølvlamper, har været kendt længe og var indtil fremkomsten af højtryksnatriumlampen den foretrukne damp Lampe til vejbelystningsanlæg.

Kviksvøvlampen har en indbygget tændanode, og som strømbegrænsende enhed anvendes en drosselspole. Herudover kræves evt. en kondensator til fasekompensation, som vist på fig. 2.8.

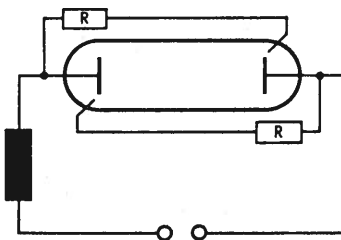


Fig. 2.8 Kviksvøvlamper er selvstartende, så det er kun nødvendigt at benytte en drosselspole og evt. en kondensator til fasekompensation.

### 3. OM REGULERING AF VEJBELYSNING

#### 3.1 Lysstrøm, effekt og spænding

Som omtalt senere benyttes der to principielt forskellige reguleringsmetoder, dels amplituderegulering og dels faseafskæring. Reduktionen sker derfor enten ved nedregulering af amplituden af spændingen til lyskilden uden ændring af kurveformen i øvrigt eller ved slukning af spændingen i dele af hver halvperiode.

Fælles for de to metoder er, at den til lyskilden tilførte effekt reduceres, hvorved lyskildens lysstrøm aftager som betinget overvejende af effekten.

Sammenhængen mellem effekt- og lysreduktion er ikke lineær og afhænger af lampetype og -størrelse.

For nogle lamper vil en bestemt effektreduktion medføre en forholdsvis større lysreduktion. Dette misforhold bliver mere udpræget, jo større effektreduktionen bliver.

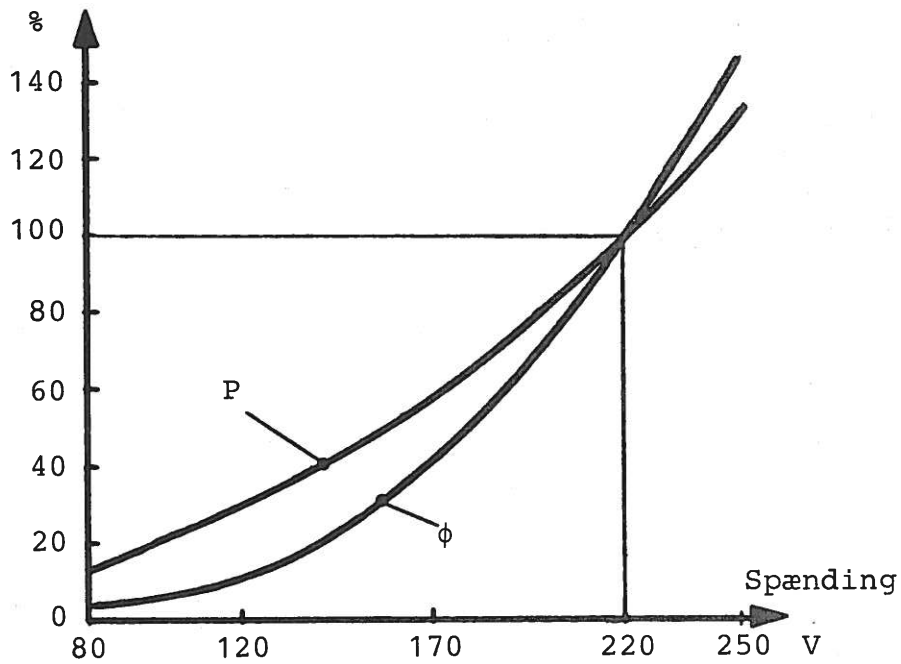
For en 150 W højtryksnatriumlampe er disse forhold illustreret i fig. 3.1. Det ses, at en 50 % lysstrømsreduktion i det viste eksempel svarer til en effektreduktion på ca. 35 %. Disse forhold indtræder ved en reduktion af spændingens effektivværdi fra 200 V til 180 V.

Lampens lysudbytte, d.v.s. lysstrømmen divideret med effektforbruget, varierer således med spændingen og dermed med den tilførte effekt. Denne sammenhæng er vist på fig. 3.2 ligeledes for en 150 W højtryksnatriumlampe.

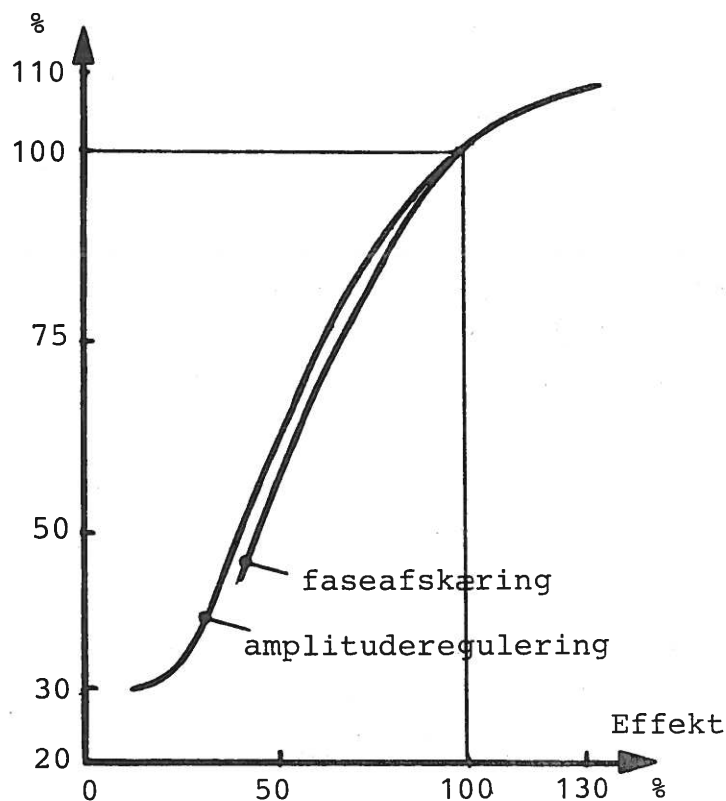
Fig. 3.2 illustrerer tydeligt den reduktion i lysudbyttet, som indtræder ved nedregulering af den tilførte effekt, jfr. det ovenfor omtalte misforhold mellem lysreduktion og effektreduktion.

Omvendt ses, at der ved opregulering til mere end 100 % effektforbrug vil kunne opnås en forøgelse af lysudbyttet og dermed en ret kraftig forøgelse af lysniveauet.

Det ses yderligere af fig. 3.2, at sammenhængen mellem lysudbytte og effekt, og derfor også mellem lysstrøm og effekt, er omtrent ens for to vidt forskellige reguleringsformer. Denne sammenhæng antages derfor at være relativt afhængig af reguleringsmetoden.



**Fig. 3.1** Relativ variation af effektforbrug,  $P$  og lysstrøm,  $\phi$  for en 150 W højtryksnatriumlampe med forkoblingsudstyr som funktion af spændingen.



**Fig. 3.2** Relativ variation af lysudbyttet for en 150 W højtryksnatriumlampe, som funktion af det relative effektforbrug af lampe og forkoblingsudstyr. De to kurver er for regulering ved hhv. amplituderegulering og faseafskæring.

En nærmere forklaring kan være, at lysstrømmen især afhænger af tryk og temperaturforhold i lampens udladningsrør, og at disse bestemmes overvejende af den optagne effekt.

Derimod bemærkes det, at der godt kan være lidt forskellige sammenhænge mellem spænding og effekt, og dermed lysstrøm. Den i fig. 3.1 viste sammenhæng er fundet ved amplituderegulering af spændingen. Ved faseafskæring vil der optræde overharmoniske spændinger, som kan have andre effektfaktorer end den grundharmoniske, og i hvert fald af denne årsag spiller reguleringsmetoden ind som anført.

### 3.2 Andre forhold hos lyskilden

En sænkning af en damplampes effekt medfører en ændring af damptrykket i udladningsrøret og dermed en ændring af den spektrale fordeling af det udsendte lys.

For en højtryksnatriumlampe betyder dette en ændring i retning af det farvemæssigt ringere lys, som det kendes fra lavtryksnatriumlampen. Dette forhold er nærmere undersøgt ved målinger som omtalt i kapitel 5.

Også for kviksølvlamper og for lysstofrør må der forventes ændringer i den spektrale sammensætning af det udsendte lys ved nedregulering. Disse ændringer er ikke undersøgt, men antages at være af mindre betydning p.g.a. disse lampers lyspulverbelægning, som i høj grad er bestemmende for lysfarve m.v.

For glødelamper medfører nedregulering en ændring i retning af mere rødtligt lys, d.v.s. lys med en lavere farvetemperatur.

Nedreguleringen betyder naturligvis også ændring af lampernes driftsmæssige forhold og elektriske karakteristika.

For damplamper må man forvente en ringere evne til at tænde, brænde og gentænde. Det gælder især under dårlige forhold som ved lav omgivelsestemperatur og for lamper med en lang forudgående brændetid.

Dette er årsagen til gennemførelsen af den praktiske afprøvning, som omtales i afsnit 6. Det bemærkes dog straks, at der for de

anvendte højtryksnatriumlamper ikke er fundet mærkbart forringede driftsforhold.

Disse hensyn er desuden årsag til, sammen med den ovennævnte forringelse i lysudbyttet, at det ikke anses for praktisk at regulere ned til meget lave niveauer. På den anden side er det næppe økonomisk rentabelt at benytte regulering, hvis ikke der foretages regulering med en betydelig effektbesparelse.

På denne baggrund er nedregulering til ca. 50 % lysstrøm fremkommet som praktisk kompromis, d.v.s. regulering mellem to niveauer, 100 % (normal drift) og 50 % (reduceret drift). En del af de undersøgte reguleringsudstyr er direkte beregnet til en sådan regulering, mens andre har en større fleksibilitet.

Nærværende undersøgelse er baseret på regulering mellem to niveauer, hhv. normalt og reduceret. Det må dog påpeges, at der er andre muligheder, herunder f.eks. nedregulering til 75 % lysstrøm over længere tidsrum og opregulering til f.eks. 150 % lysstrøm i tidsrum med stor trafik. Sådant mere kompliceret regulering kan dog nok kun udnyttes fuldt ud i forbindelse med nyetablering af anlæg og er ikke nærmere genstand for denne undersøgelse.

Ændringen af en damplampes elektriske karakteristika sker ikke momentant ved nedregulering, men over en vis tid i forbindelse med lampens afkøling. Der er derfor risiko for at lampen går ud, hvis reguleringen sker momentant. Af denne grund foretager nogle af reguleringsystemerne en langsom regulering over en periode på nogle minutter. Nogle af systemerne vil desuden efter en strømafbrydelse altid opstarte lampen på fuldt niveau.

Man vil umiddelbart forvente, at evt. driftsproblemer afhænger af den benyttede reguleringsmetode. F.eks. for regulering ved faseafskæring findes trods alt fuld spænding i dele af halvperioderne.

Også lampernes levetid må forventes at blive influeret af de ændrede driftsforhold i den nedregulerede tilstand. Der findes ikke sikre oplysninger herom, men formodninger om at der ved nedregulering til 50 % lysstrøm kan forventes nogen forøgelse af levetiden. Disse forhold er ikke nærmere omtalt i denne rapport, men kan muligvis senere belyses ved en evt. fortsættelse af den praktiske afprøvning.

Det må i øvrigt være en fordel for den praktiske drift af vejbelysningsanlæg, at hovedparten af lamperne har samme brændetid. I modsætning hertil falder lamperne for anlæg, der reduceres ved delsslukning, i to grupper med forskellig brændetid, der så ved gruppeudskiftning bør udskiftes separat.

### 3.3 Generelt om reguleringsudstyr

#### 3.3.1 Store og små udstyr

De af undersøgelserne omfattede reguleringsudstyr falder i to grupper, som i det følgende betegnes "store reguleringsanlæg" og "små reguleringsystemer". Af og til benyttes blot betegnelsen "regulatorer".

Med store reguleringsanlæg menes anlæg, som er beregnet til at regulere på et antal armaturer, og som typisk placeres i et relæskab.

Små reguleringsystemer er beregnet til indpasning i en enkelt lampes strømkreds og dermed til regulering af denne lampe. De små reguleringsystemer monteres enten i selve armaturet eller i nærheden af dette i masten eller i en separat boks.

Der er naturligvis anvendelsesmæssigt stor forskel på disse to grupper udstyr. Dette gælder både for indbygning i nye eller i eksisterende belysningsanlæg, for metoder til styring og for mulighed for indpasning i de øvrige vejbelysningsanlæg. Disse forhold omtales derfor nærmere i afsnit 3.4 og 3.5.

#### 3.3.2 Amplituderegulering og faseafskæring

For begge grupper udstyr anvendes to forskellige reguleringsprincipper.

Det ene princip kan betegnes som amplituderegulering, idet det for den reducerede tilstand fører til en sænkning af amplituden



af spændingen eller strømmen til lamperne. Princippet realiseres for de store reguleringsanlægs vedkommende ved nedtransformering af spændingen på en eller flere af faseledningerne, og for de små reguleringsystemers vedkommende ved indkobling af en ekstra drosselspole i lampens strømkreds, så strømmen yderligere begrænses. Den ekstra drosselspole kaldes normalt en dæmpespole.

Selv om de to reguleringsmetoder således er tilskrevet samme princip, er forholdene forskellige for den praktiske drift. Ved nedtransformering af forsyningsspændingen er det spændingen til de enkelte armaturer, der reduceres. Ved indkobling af en ekstra drosselspole findes den fulde forsyningsspænding derimod til den enkelte strømkreds, hvorved betingelserne for drift og gentænding må være bedre.

Det andet princip baseres på faseafskæring, d.v.s. at strømmen afbrydes i bestemte dele af hver halvperiode. I store reguleringsanlæg sker faseafskæringen på en eller flere af faseledningerne, mens det for små reguleringsystemers vedkommende sker i strømkredsen til lampen.

Det sidstnævnte reguleringsprincip betegnes i det følgende "elektronisk regulering", hvad enten det drejer sig om store reguleringsanlæg eller om små reguleringsystemer.

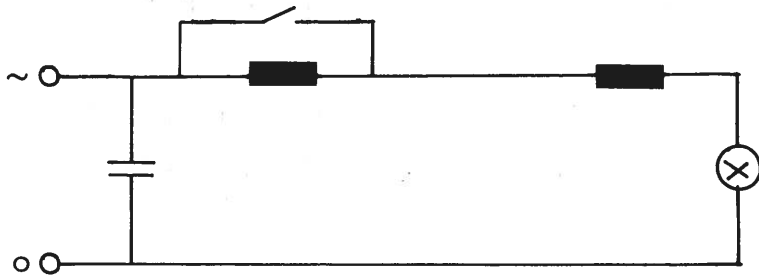
Den elektroniske regulering kan i øvrigt ske på forskellige måder, og der er især en vigtig forskel på, om der slukkes for strømmen i den første eller den sidste del af hver halvperiode.

Det førstnævnte tilfælde repræsenterer den konventionelle elektroniske regulering, som hovedparten af de omtalte elektroniske udstyr benytter. Reguleringsformen har den ulempe, at der i praksis ikke kan sidde fasekondensatorer på reguleringsudstyrets udgangsside.

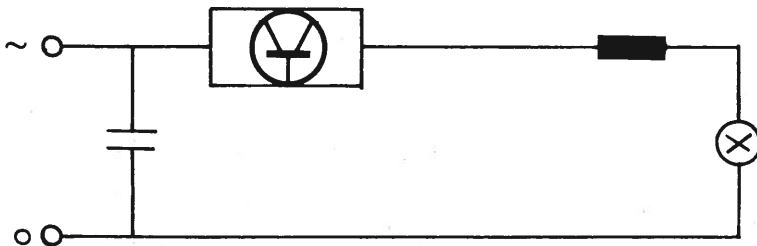
Dette omtales således, at de fleste elektroniske reguleringsudstyr ikke kan regulere på fasekompenserede armaturer.

Da man i praksis næppe vil undlade fasekompensering, betyder dette, at fasekompenseringen må udføres på udstyrets indgangsside.

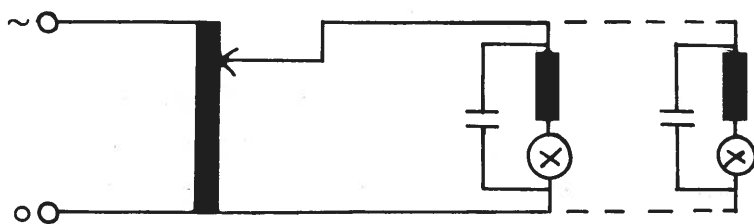
Dette har forskellige konsekvenser for store reguleringsanlæg og for små reguleringsudstyr, som det ligeledes omtales i de følgende afsnit.



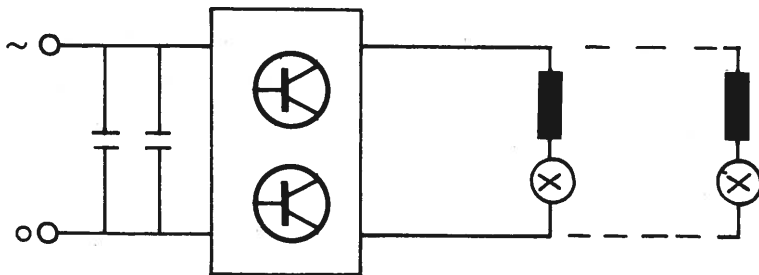
Reduktion af en lampe ved indkobling af en ekstra drosselspole.



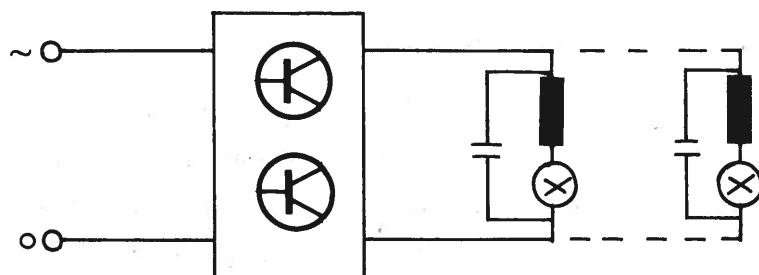
Reduktion af en lampe ved en elektronisk spændingsregulering. Bemærk kondensatorens placering.



Reduktion af flere kompenserede lamper ved hjælp af en auto-transformator.



Reduktion af flere ukompenserede lamper ved hjælp af en elektronisk spændingsregulator.



Reduktion af flere kompenserede lamper ved hjælp af en elektronisk spændingsregulator.

**Fig. 3.3** Oversigt over de forskellige typer af reguleringssystemer og deres placering.

Den sidstnævnte elektroniske reguleringsmetode benyttes kun af et enkelt stort reguleringsanlæg, som betegnes "ny type elektronisk regulator".

De to typer elektronisk regulering omtales nærmere i kapitel 4 i forbindelse med de enkelte udstyr. En oversigt over de forskellige typer reguleringsystemer findes i fig. 3.3.

### 3.3.3 Faseforhold ved regulering

Det gælder for nogle reguleringsmetoder, at der ved nedregulering sker en ændring af faseforskydningen mellem strøm og spænding, d.v.s. en ændring af effektfaktoren. Det er derfor interessant, om der ved nedregulering er behov for samtidig at ændre armaturets fasekompensation (eller en central fasekompensation), så der ved begge driftsformer findes en god fasetilpasning.

Laboratoriemålingerne, som omtales i kapitel 5, viser dog, at der ofte findes en acceptabel værdi af effektfaktoren under begge driftsformer. Der optræder ganske vist det usædvanlige forhold i nogle tilfælde, at effektfaktoren forringes af andre årsager, som dog næppe kan afhjælpes.

Det er derfor næppe i praksis vigtigt, at kunne tilpasse fasekompensationen for den nedregulerede tilstand. I tvivlstilfælde bør forholdet dog undersøges nærmere.

### 3.3.4 Overharmoniske strømme på forsyningsnettet

Damplamper er ulineære belastninger, idet de kun er strømførende i en del af hver halvperiode. Dette fører til at strømmen gennem en damplampe ikke er sinusformet med 50 Hz, men forvrænget i forhold hertil. Frekvensanalyse viser, at strømmen indeholder komponenter af dels den ovennævnte, grundharmoniske sinusformede strøm, og dels af harmoniske, hvis frekvenser er 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz o.s.v., og som betegnes 2., 3., 4. o.s.v. overharmoniske.

I praksis er strømforløbene omtrent ens i de to veje gennem lampen, som de forekommer i to på hinanden følgende halvperioder. Dette medfører, at de lige overharmoniske, 2., 4., 6. o.s.v. er meget svage, hvorfor de normalt ignoreres.

Der resterer derfor de ulige overharmoniske, 3., 5., 7., 9. o.s.v. Af disse er den 3. den kraftigste, idet styrken aftager relativt hurtigt med stigende nummer.

Lampestrømmens indhold af overharmoniske er ganske stort, svarende til at lampestrømmen er forvrænget i betydelig grad. Når lampens forkoblingsudstyr indeholder en fasekondensator, d.v.s. når armaturet er fasekompenseret, er det imidlertid kun en del af disse overharmoniske strømme, der trænger ud på forsyningslederne. Forklaringen herpå er, at de overharmoniske strømme, hvis frekvenser jo er højere end den grundharmoniske, tenderer til at løbe gennem kondensatoren og dermed at forblive i lampens strømkreds.

På trods heraf optræder der mærkbare overharmoniske strømme i forsyningsledningerne. Den 3. harmoniske alene udgør således normalt 20-30 % af den samlede strøm.

Disse overharmoniske strømme er uønskede, fordi de som senere omtalt kun bærer en ringe effekt, og fordi de ved spændingsfald over f.eks. længere strækninger vil fremkalde overharmoniske spændinger, og derfor give anledning til en forvrængning af netspændingen.

En anden uønsket virkning er, at de overharmoniske, hvis nummer er deleligt med 3, ikke udkompenserer hinanden på nullederen i et trefaset forsyningsnet, men derimod adderes direkte. Det drejer sig om den 3., 9., 15. o.s.v. overharmoniske, hvoraf den 3. er dominerende.

Et resultat er, at der selv i et balanceret trefaset forsyningsnet til vejbelysning med dampplamper vil optræde omtrent lige så store strømme på nullederen, som på faselederne.

Spørgsmålet er nu, hvorledes disse forhold påvirkes af regulering.

Der er ikke nogen grund til at antage, at det relative indhold af overharmoniske strømme ændres væsentligt af amplituderegulering.

Dette bekræftes af laboratoriemålingerne, som omtales i kapitel 5.

Derimod fungerer regulering ved faseafskæring jo netop ved at afbryde strømmen i dele af hver halvperiode, hvorved strømmen forvrænges yderligere, så indholdet af overharmoniske strømme forøges.

Ved elektronisk regulering som i fig. 3.3 b og d, er der ikke nogen fasekondensator mellem reguleringsudstyret og lampen eller lamperne. Spolen vil derfor virke hæmmende på de overharmoniske strømme ved at opbygge overharmoniske spændinger. Et resultat er, at spændingen over spole plus lampe bliver relativt høj i forhold til lampens optagne effekt. Hermed er det forklaret, hvorfor sammenhængen mellem spænding og effekt, og derfor lysstrøm ikke er entydig, jfr. afsnit 3.1. Denne reduktion af de overharmoniske strømme vil sammen med fasekondensatoren(erne) på forsynings siden bevirke, at de overharmoniske strømme på forsyningsledningerne nok vokser i forhold til den normale drift, men ikke bliver meget store.

Ved elektronisk regulering som i fig. 3.3 e kan de overharmoniske strømme derimod i højere grad løbe fra regulatoren og gennem lampernes fasekondensatorer. Da der ikke er yderligere kondensatorer på forsynings siden af regulatoren, må de overharmoniske strømme på forsyningsledningerne blive ganske store. Reelt må dette virke som om forsyningsledningerne trækker en relativt stor strøm, hvoraf en del blot afledes kapacitativt gennem armaturernes fasekondensatorer. Dette er forklaringen på den i afsnit 3.3.3 omtalte forringelse af effektfaktoren.

De forskellige reguleringsmetoder indvirker derfor i højst forskellig grad på mængden af overharmoniske strøm i elforsyningen, og dette udgør nok et forhold, som medtages i overvejelser om valg af udstyr.

### 3.3.5 Mulighed for radiostøj

Radiostøj er højjfrekvent støj (de mest interessante frekvenser er mellem 200 kHz og 20 MHz), som udstråles til alle sider fra bl.a.

visse halvlederkomponenter. Igen er det de elektroniske regulatorer, som kunne tænkes at give problemer.

Undersøgelse af, hvorvidt et bestemt udstyr udsender for meget radiostøj, kræver et omfattende måleudstyr, som LTL ikke råder over, og målingen indgår derfor ikke i den planlagte måleprocedure.

Udstyr op til 16 A skal godkendes hos Post- og Telegrafvæsenet, som også ved hjælp af pejlevogne kan opspore større anlæg, som udsender uforholdsvis meget radiostøj. Sådanne målinger er udført i forbindelse med den praktiske afprøvning. Det anføres dog straks, at der ikke blev målt generende radiostøj, og forholdet omtales derfor ikke nærmere.

#### 3.4 Særlige forhold ved små reguleringsudstyr

En fordel ved de små reguleringsudstyr er, at de armaturer, som skal omfattes af reguleringen, kan vælges frit. Uanset hvorledes forsyningsnettet er udformet, kan armaturer i f.eks. kryds og andre trafikalt komplicerede steder samt anden belysning, der er tilsluttet vejbelysningen, friholdes fra regulering.

Ved regulering på eksisterende belysningsanlæg er det en fordel, at reguleringsudstyret har sådanne dimensioner, der gør det muligt at montere udstyret i armaturerne eller i anlæggets eventuelle rørmaster.

Er der tale om en udskiftning af de eksisterende armaturer med nye armaturer, eller ved etablering af et nyt belysningsanlæg, vil det være en fordel, at disse nye armaturer leveres med reguleringsudstyret indbygget.

Da disse små reguleringsystemer udover den normale el-forsyning til armaturerne, kræver en styrespænding til ind- og udkobling af reguleringsudstyret, må disse forhold vurderes i hvert enkelt tilfælde, afhængig af, om reguleringsudstyret ønskes monteret på eksisterende eller på nye belysningsanlæg.

Der findes på nuværende tidspunkt følgende realistiske muligheder for styring af disse små reguleringsystemer:

Etablering af en signalledning, der spændingsforsynes gennem et centralt placeret tænd-slukur.

Etablering af en centralt placeret tone- eller jævnspændingsimpulssender, der formidler signaler gennem forsyningslederen til de signalmodtagere, der udover neddæmpningsudstyret skal etableres i de armaturer, der ønskes nedreguleret.

Der findes forskellige markedsførte signalsystemer, men som tidligere anført er sådanne ikke omfattet af denne undersøgelse.

Signalfremføring kunne helt undgås, hvis der i armaturet eller i reguleringsudstyret var indbygget et ur til styring af reduktionen.

Der findes på markedet et reguleringsudstyr med indbygget ur. Udstyret bevirker imidlertid reduktion i en periode, som starter en bestemt tid efter at belysningen tændes. Dette bevirker igen, at reduktionsperioden ikke afgrænses af faste klokkeslet, idet tændingstidspunktet varierer med årstiden.

En sådan løsning er næppe acceptabel, idet der enten må benyttes en meget kort reduktionsperiode, eller det må accepteres, at der på nogle tidspunkter af året sker reduktion på klokkeslet med betydelig trafik.

En senere udgave af dette udstyr har derfor indbygget 4 programmer, som er tilpasset forskellige tider på året. Omskiftningen mellem programmerne bør foretages adskillige gange om året, enten manuelt eller ved signalfremføring.

### 3.5 Særlige forhold ved store reguleringsanlæg

De store reguleringsanlæg synes umiddelbart velegnet til indførelse i forbindelse med eksisterende vejbelysningsanlæg, idet de ved montering i skabe kan bringes til at regulere på hele strækninger heraf.

Nogle af de på markedet værende elektroniske anlæg kan ikke regulere på fasekompenserede armaturer. Dette betyder, at der må foretages indgreb i armaturerne med henblik på at afbryde eller fjerne fasekondensatoren.

Ved etablering af nye anlæg kan dette problem naturligvis undgås ved at benytte armaturer uden fasekondensator.

Under alle omstændigheder må der dog påregnes en forøget strøm på ledningsnettet mellem det elektroniske anlægs udgangsside og armaturerne. Ved eksisterende ledningsnet giver dette anledning til et større spændingsfald, mens nye belysningsanlæg kan dimensioneres for den forøgede strøm.

I de fleste tilfælde vil forsyningsselskaberne finde det påkrævet, at der foretages en fasekompensering på reguleringsanlæggets indgangsside ved montering af et pladskrævende kondensatorbatteri. Dette forhold indebærer en klar ulempe for de pågældende elektroniske anlæg.

Transformeranlæg og et enkelt af de elektroniske anlæg, der er med i undersøgelsen, kan regulere direkte på fasekompeniserede armaturer.

Der opstår derfor kun problemer, hvis ikke alle armaturer på strækningen ønskes reduceret. Endvidere kan der i et kaskadetændingssystem opstå problemer med videreføring af signaler til tænding og reduktion af den efterfølgende vejbelysnings relæskabe.

Armaturer, som ikke ønskes reduceret, f.eks. armaturer til belysning i kryds, separat fodgængerfeltbelysning, skiltebelysning o.s.v. må forsynes på anden måde.

Brugen af store reguleringsanlæg kan derfor fordre omkobling af armaturer og ekstra ledningsarbejder til forsyning af belysning, der ikke ønskes reduceret, eller til videreførelse af signaler til efterfølgende belysningsanlæg.





#### 4. BESKRIVELSE AF REGULERINGSSYSTEMER

##### 4.1 Indledning

Her følger en gennemgang af de reguleringssystemer, hvor det har været muligt at skaffe relevante oplysninger med en rimelig indsats.

Gennemgangen er ikke udtømmende, idet der ved det enkelte system kun nævnes de eventuelle særlige forhold, som gør sig gældende, og der vedrørende generelle forhold henvises til kapitel 3.

##### 4.2 Små reguleringssystemer

De første syv af det i de følgende omtalte reguleringssystemer virker alle efter princippet med at indkoble en ekstra drosselspole d.v.s. en dæmpespole i serie med den eksisterende drosselspole. Indkoblingen sker ved hjælp af et relæ.

Til hver enkelt lyskildetype og størrelse hører der i princippet en bestemt dæmpespole, som ved indkobling resulterer i et bestemt reduktionsniveau. De i det følgende omtalte fabrikater kan alle fås til alle størrelser af højtryksnatrium- og kviksølvlamper.

##### AEG

Reguleringssystemet fra AEG svarer til systemet fra BAG Turgi i virkemåde og udseende, og synes at være identisk hermed.

##### BAG Turgi

Dæmpespole og relæ er sammenbygget til en enhed. Styrespændingen til relæet skal være:

220 V AC for normal drift

0 V AC for reduceret drift

Enheden kan på grund af længden ikke indbygges i armaturer, men er velegnet til indbygning i rørmaster.

### May & Cristie

Reguleringsystemet består af en dæmpespole med et separat mekanisk relæ. Udstyret har dimensioner, som muliggør montering i såvel armaturer som master.

Der er foreslået, at der benyttes et dobbelt relæ, så der er mulighed for at tilpasse fasekompensationen til belastningen som vist i fig. 4.1. Som omtalt i afsnit 3.3.3 har en sådan foranstaltning dog næppe større praktisk betydning.

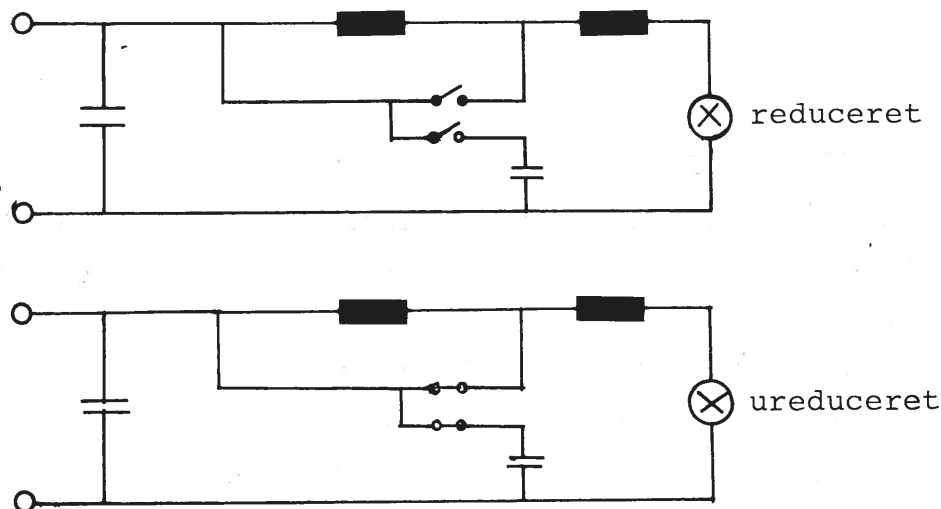


Fig. 4.1 May & Christie's forslag til en forskellig fasekompensering for de to reguleringsniveauer.

Dæmpespolen er i øvrigt udformet til en 50 % reduktion af effektforbruget, hvorimod alle de andre systemer med dæmpespole er udformet til en 50 % reduktion af lampelysstrømmen. For højtryksnatriumlamper svarer en 50 % lysstrømsreduktion til 30-35 % effektreduktion.

### Philips

Reguleringsystemet består af en dæmpespole og et separat elektronisk relæ. Styrespændingen til relæet skal som ved AEG og BAG Turgi være:

220 V AC for normal drift

0 V AC for reduceret drift

Det elektroniske relæ sørger for at lyskilden altid genstarter på fuld spænding. Udstyret er velegnet til indbygning i armaturer.

### Sabir

Dæmpespole og relæ er monteret sammen på en plade.

Styrespændingerne til relæet er ikke oplyst.

### Siemens

Der benyttes et separat mekanisk relæ. Styrespændingen skal her være omvendt af de andre anlæg:

0 V AC for normal drift

200 V AC for reduceret drift

Udstyret har dimensioner, som muliggør montering i såvel armatur som evt. rørmast.

### Elstrom

Reguleringssystemet er en elektronisk regulator til en lampe.

Regulatoren skal ligesom drosselspole systemerne placeres mellem fasekondensatoren og den eksisterende drosselspole.

Lysstrømmen kan reguleres trinløst helt ned til 3 %. Muligheden for denne usædvanligt kraftige reduktion skyldes dels, at regulatoren er placeret direkte i lampens strømkreds, og dels at der benyttes en speciel form for faseafskæring, hvor strømmen bliver afbrudt i midten af hver halvperiode.

Hvis lampen slukkes i nedreguleret tilstand, vil den elektroniske regulator momentant vende tilbage til fuld spændingsforsyning.

Når lampen er gentændt, reduceres effekttilførslen igen. Herved sikres gentænding under fuld spænding, uden at lampen behøver at opnå fuld lysudsendelse inden der igen nedreguleres.

Regulatoren kan leveres for en styrespænding på 0-30 V jævnspænding, eller 0-220 V vekselspænding. 0 V bevirker normal drift og den højere spænding bevirker den største reduktion.

Regulatoren har et meget lavt effektforbrug på styreledningen, og der skulle derfor ikke være problemer med spændingsfald på eventuelle lange styreledninger.

Regulatorerne leveres justeret til bestemte lampetyper, så en bestemt styrespænding bevirker et nogenlunde ens reduktionsniveau.

### 4.3 Store reguleringsanlæg

#### Lubcke

Reguleringsanlæg, som ved hjælp af en motordrevet variotransformer trinløst kan reducere spændingen til armaturerne. Dette anlæg kan leveres til regulering af 1-, 2- eller 3-fasede anlæg og med en belastningsstrøm fra 4 A og op til 300 A for hver af faserne. Hvis der ønskes en lysreduktion på 50 %, skal forsyningsspændingen sænkes til ca. 180 V. I denne situation kan reguleringsanlægget opbygges af en variotransformer og en almindelig skilletransformer med et fast omsætningsforhold som vist på fig. 4.2.

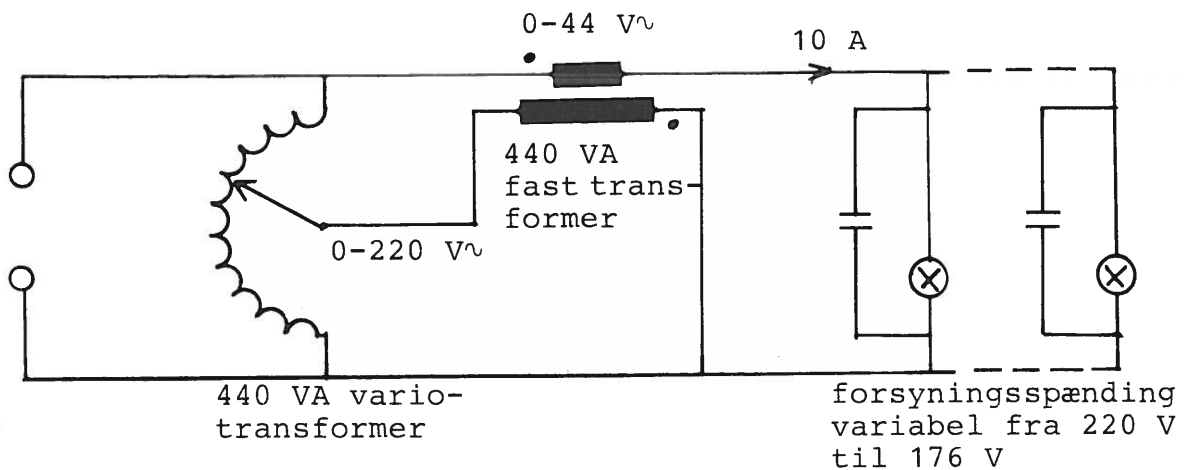


Fig. 4.2 Princip for reguleringsmetode, hvor to 440 VA transformere kan levere 2200 VA og trinløst kan regulere forsyningsspændingen mellem 176 V og 220 V.

Denne kobling har den fordel, at det meste af strømmen ikke skal passere igennem variotransformerens, idet den passerer direkte gennem sekundærvinklen på den faste transformer. Herved opnås der en besparelse i variotransformerens dimensioner.

Der er mulighed for at få udformet en styreboks efter ønske. Nogle af mulighederne er:

Flere uafhængigt justerbare niveauer.

Fuld spænding ved gentænding.

Langsom skift mellem de valgte niveauer.

Anlægget har desuden, som det eneste indgående, mulighed for opregulering af spændingen til over 220 V.

### Spar 1

Reguleringsanlæg som ved hjælp af en autotransformer kan reducere forsyningsspændingen.

Anlægget fås i fire størrelser, som alle er beregnet til en 3-faset belastning med en maksimal strøm på hhv. 16 A, 35 A, 63 A eller 125 A.

Nedreguleringen af forsyningsspændingen foregår i to faste trin.

Fra den ureducerede spænding skiftes straks til et lavere niveau og efter 30 sek. til et endnu lavere, fast indstillet niveau. For en forsyningsspænding på 230 V opgives de lavere niveauer til hhv. 215 V og 205 V.

Styresystemet sørger for fuld spænding til gentænding og for opregulering, hvis forsyningsspændingen bliver så lav, at der er fare for at lamperne slukker.

### Helvar H

Elektronisk reguleringsanlæg, som kun kan regulere på ukompenserede armaturer.

Anlægget leveres i følgende størrelser: 1-faset for hhv. 10, 16, 25 og 35 A eller 3-faset for hhv. 3 x 10 A og 3 x 65 A.

Hvis der ønskes regulering af et belysningsanlæg, der er forsynet fra to faser, skal der benyttes 2 stk. 1-fasede reguleringsanlæg.

Reduktionen udføres med et sædvanligt faseafskæringsprincip, så forsyningsspændingen efter reguleringsanlægget får et udseende som vist på fig. 4.3.

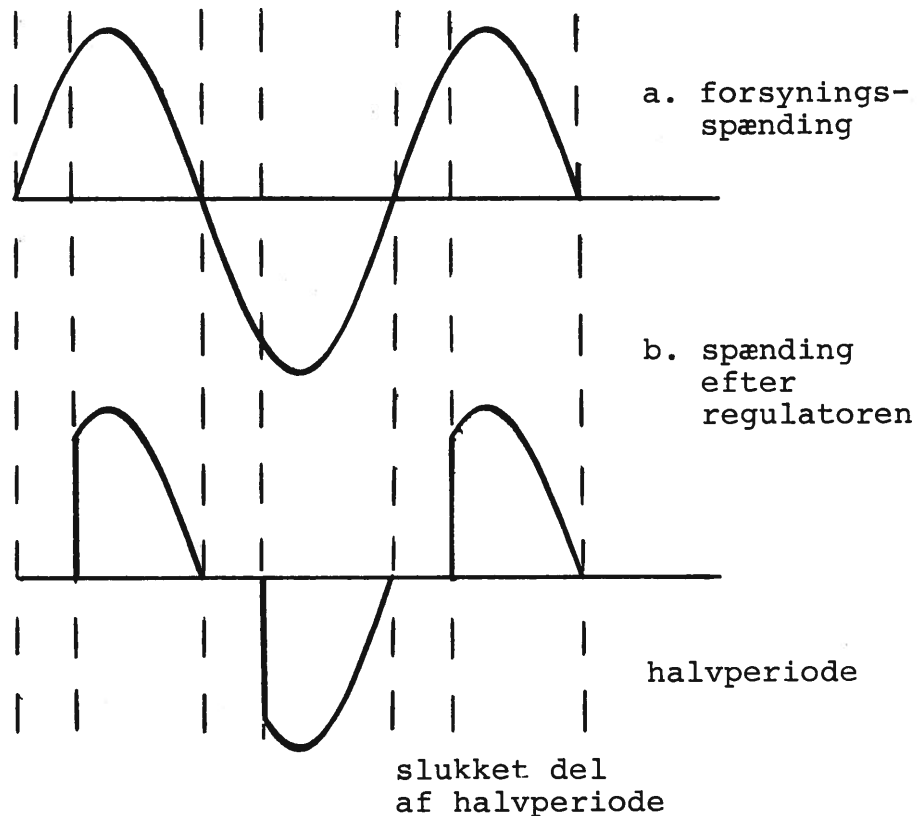


Fig. 4.3 Ved det sædvanlige faseafskæringsprincip afbrydes strømmen i den første del af hver halvperiode. Spændingen efter regulatoren optræder derfor med spændingsspring, som ville resultere i store strømstød til evt. fasekondensatorer. Princippet anvendes i Helvar H og Lunec regulatorer m.fl.

Efter en af de i figuren viste afbrudte perioder er spændingen til et armatur aftaget til ca. 0. Der forekommer derfor spændingsspring, som ville resultere i utilladeligt store strømme gennem en fasekondensator, hvis en sådan var monteret i armaturet. Det er af denne grund at udstyret i praksis ikke kan benyttes til regulering af armaturer, som er fasekompenserede.

Anlægget kan i princippet regulere lysstrømmen trinløst. Til brug ved vejbelysning er det formentligt altid ønskeligt, at der skiftes mellem to faste niveauer. Til dette brug kan der medleveres en styreboks, der giver mulighed for at fastlægge to niveauer uafhængigt. Dette betyder, at det højeste niveau også kan være reduceret.

Yderligere er der på styreboksen mulighed for at fastlægge den tid, det skal tage at skifte fra det ene niveau til det andet.

Styreboksen sørger endvidere for fuld spænding ved gentænding efter netudfald.

De daglige skift mellem de to fastlagte niveauer bestemmes af en ydre kontakt. Det højeste niveau opnås, når kontakten er sluttet og det laveste, når kontakten er åben. Hvis kontakten er et relæ, kan anlægget fjernstyres, og det anvendte relæs virkemåde er så bestemmende for, hvilket styresignal der skal benyttes.

### Lunec

Elektronisk reguleringsanlæg, som kun kan regulere på ukompenserede armaturer, da det benytter samme faseafskæringsprincip, som vist i fig. 4.3.

Anlægget leveres i følgende størrelser: 1-faset for hhv. 10, 16, 12 og 35 A eller 3-faset for hhv. 3 x 10 A, 3 x 16 A, 3 x 25 A og 3 x 35 A.

Som ved Helvar H kan der til belysningsanlæg, som er forsynet fra to faser, benyttes 2 stk. 1-fasede reguleringsanlæg.

Også dette anlæg har mulighed for fjernstyret skift mellem flere fastlagte niveauer.

### Lubcke

Lubcke fremstiller udover transformieranlæg også et elektronisk reguleringsanlæg, til ukompenserede armaturer.

Anlægget fås i to størrelser, 16 A og 25 A, og kræver en speciel styreboks, hvis valg fastlægger reguleringsmulighederne.

### Helvar HM

Elektronisk reguleringsanlæg, som i modsætning til de andre elektroniske anlæg kan regulere på fasekompenserede armaturer.

Anlægget leveres i følgende størrelser: 1-faset hhv. 6, 10, 16 og 25 A eller 3-faset hhv. 3 x 10 A, 3 x 16 A, 3 x 25 A eller 3 x 35 A.



Også ved disse anlæg må regulering af to faser ske ved brug af to ensfasede anlæg.

Til reguleringen er der, som vist i fig. 4.4, benyttet en afskæring af den sidste del af hver halvperiode. Herved aflades fasekondensatoren gennem lampen, så dens spænding er omtrent nul ved begyndelsen af hver halvperiode. Dette er årsagen til, at anlægget tillader regulering af armaturer med fasekondensator. En sådan er muligvis endda påkrævet for at undgå induktive spændingsstød fra drosselspolen.

Styreboksen er af samme type som til den tidligere nævnte Helvar H regulator. Der er derfor de samme muligheder for fastsættelse af to belysningsniveauer.

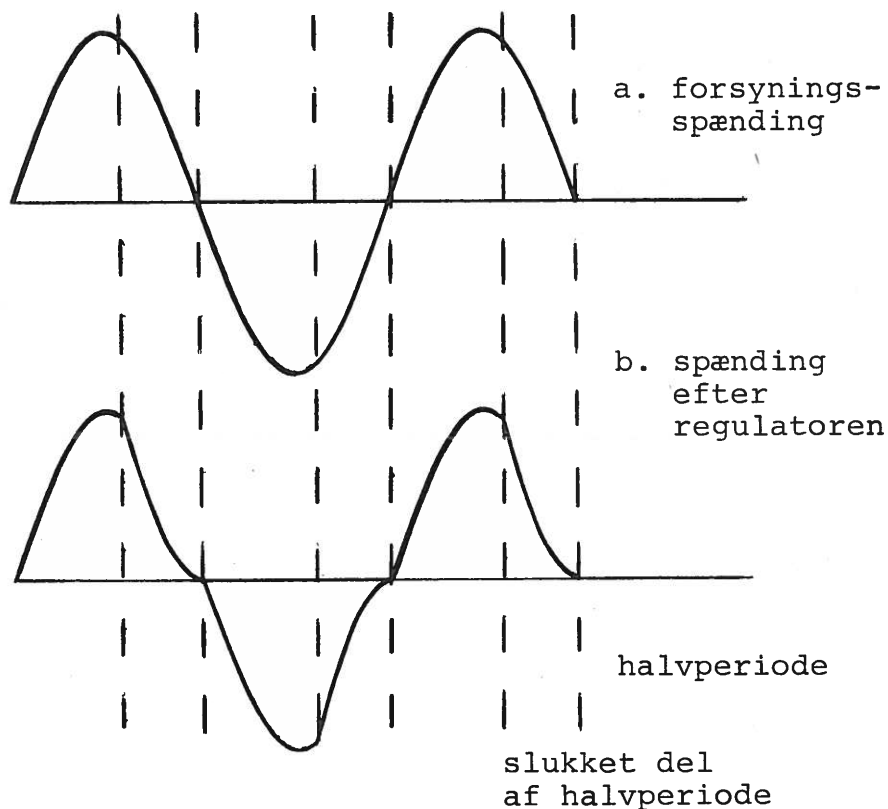


Fig. 4.4

Ved et faseafskæringsprincip, hvor strømmen afbrydes i sidste del af hver halvperiode, vil spændingen efter regulatoren aftage til ca. 0, inden der igen åbnes ved begyndelsen af næste halvperiode. Der forekommer derfor ikke spændingsspring, som udelukker brug af fasekondensatorer i armaturerne. Tværtimod er sådanne ønskværdige af hensyn til de spændingsstød, som ellers ville fremkomme ved de strømspring, som lukningerne forårsager. Princippet anvendes af Helvar HM regulatoren.

5.

LABORATORIEMÅLINGER5.1 Reguleringssystemer, måleopstilling og måleparametre

Laboratoriemålingerne har omfattet syv forskellige reguleringssystemer, hvoraf de tre er små udstyr med ekstra drosselspole fra BAG Turgi, Philips og Siemens.

Da disse tre udstyr optræder med måleresultater, som er meget nærs, gengives for oversigtens skyld kun måleresultaterne for Philips regulatoren i det følgende. De øvrige reguleringssystemer er den lille elektroniske regulator fra Elstrom, autotransformerer Spar 1, den "konventionelle" store elektroniske regulator Helvar H til ukompenserede armaturer og endeligt den store elektroniske regulator Helvar HM til kompenserede armaturer.

De fem udvalgte reguleringssystemer svarer dermed netop til de forskellige reguleringsmetoder, som er omtalt i det foregående, og som oversigtligt er vist i fig. 3.3.

I tabel 5.1 angives konkret hvilke versioner af reguleringssystemerne, der blev benyttet under målingerne.

Af praktiske grunde blev der til samtlige reguleringssystemer benyttet en 150 W højtryksnatriumlampe. Lampen til dette formål blev udvalgt og forsynet med en ligeledes udvalgt fast spole, samt starter og kondensator.

Til målingerne blev der i øvrigt udformet en fast elektrisk opstilling, som muliggør en nem montering af de forskellige reguleringssystemer samt måling af strøm, spænding og effekt i et antal målepunkter. Til disse målinger blev der benyttet et kalibreret digital instrument.

De målte, elektriske parametre omfatter således:

Den aktive optagne effekt, P (W)

Den effektive spænding, U (V)

Den effektive strøm, I (A)

På baggrund af disse værdier beregnes:

$$\text{Effektfaktoren, } \cos\phi (= \frac{P}{U \cdot I})$$

| Betegnelse         | Nærmere beskrivelse  | Virkemåde  | Montering                            |
|--------------------|--|--|--------------------------------------|
| Philips<br>Elstrom | Dæmpespole BSD 150 W L11 +<br>relæ EC01<br>Elektronisk regulator type<br>NAH 150 W | Amplituderegulering ved<br>ekstra drosselspole<br>Elektronisk regulering<br>ved faseafskæring      | Anbringes i eller ved<br>armaturerne |
| Spar 1             | Autransformer 3 x 35 A,<br>omkøblet til 1 x 35 A                                   | Amplituderegulering ved<br>nedtransformering af<br>spændingen. Til fase-<br>kompenserede armaturer | Anbringes i relæskab                 |
| Helvar H           | Elektronisk regulator type<br>H110 (TS22), 1 x 10 A                                | Elektronisk regulering<br>ved faseafskæring. Til<br>ukompenserede armaturer                        |                                      |
| Helvar HM          | Elektronisk regulator type<br>HM116, 1 x 16 A                                      | Elektronisk regulering<br>ved faseafskæring. Til<br>fasekompenserede arma-<br>turer                |                                      |

Tabel 5.1

Oversigt over de reguleringsystemer, som er benyttet under laboratoriemålin-  
gerne. Hertil kommer dæmpespole af fabrikkerne BAG Turgi og Siemens, hvis  
måleresultater ligger tæt op af resultaterne for Philips dæmpespole og der-  
for ikke gennemgås.

Den elektriske opstilling er vist skematisk i fig. 5.1. Det fremgår, at den har målepunkter for de elektriske forhold over lampen, over lampe plus spole og over hele strømkredsen, d.v.s. på forsyningsiden. De ovennævnte, elektriske parametre målt derfor i hvert af de tre punkter. Specielt muliggør de tre effektmålinger, at det samlede effektforbrug kan opdeles på lampens effektforbrug, tab i spolen og tab i reguleringsudstyr plus kondensator.

Til disse elektriske parametre kommer overharmoniske strømme og spændinger, som kun blev målt på forsyningsiden. Til disse målinger blev benyttet et særligt instrument, som venligst blev udlånt af DEFU (Danske Elværkers Forenings Udredningsafdeling).

Det bemærkes straks, at indholdet af overharmoniske spændinger er lille, således at forsyningsspændingen er meget nær en ren sinus-spænding. Spændingen blev i øvrigt vedvarende holdt på 220,0 V af en stabilisator.

Derimod forekommer som tidligere omtalt et betydeligt indhold af overharmoniske strømme. Der blev målt indhold af 3., 5., 7., 9. og 11. overharmoniske, men for oversigtens skyld gives kun resultaterne for den 3. overharmoniske i det følgende. Til de ovenstående elektriske parametre skal derfor lægges:

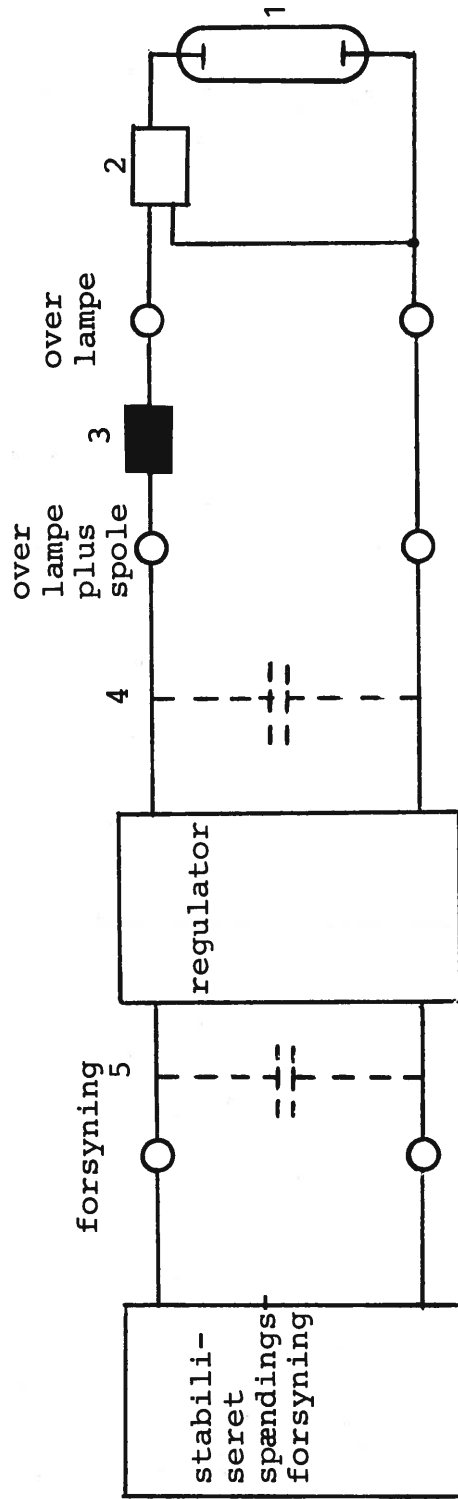
Effektivværdien af 3. harmonisk strøm for forsyningsiden.

Lampen var under hele måleserien monteret i en af LTL's fotometerkugler. I denne blev der foretaget målinger af både lysstrøm og spektral udstråling ved brug af et Gamma Scientific farvemåleudstyr. De målte lystekniske parametre er derfor:

Lysstrøm,  $\phi$  (lm)

Spektral udstråling

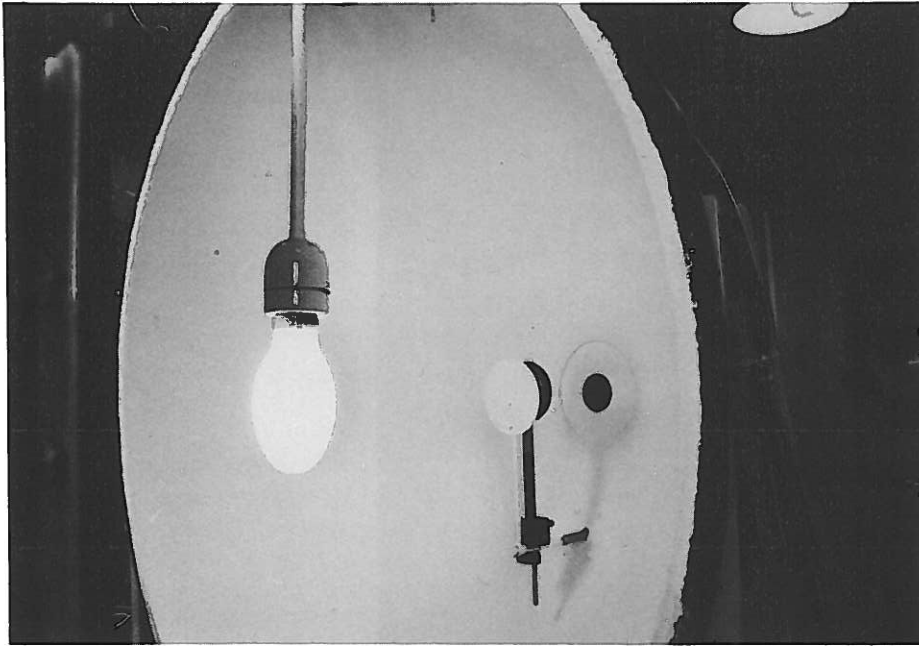
Udstyrets bordregnemaskine muliggør endvidere beregning af den korrelerede farvetemperatur og af farvegengivelsesindeks ud fra den spektrale udstråling. Da disse tjener udmærket til bedømmelse af lysets farve og kvaliteten af dets farvesammensætning, benyttes også disse lystekniske parametre.



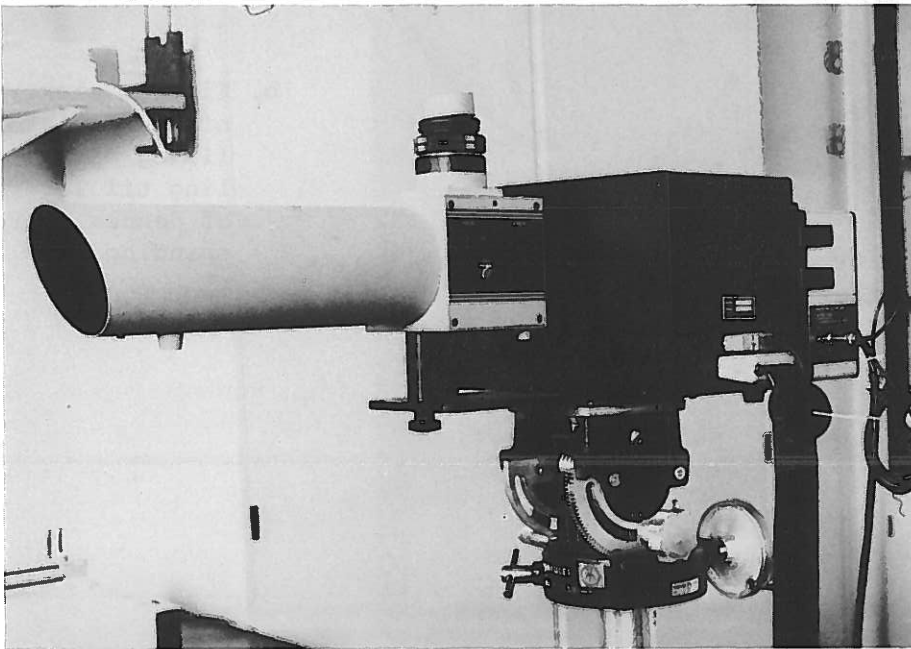
1. Udvalgt 150 W højtryksnatriumlampe
2. Starter
3. Drosselspole
4. Placering af kondensator for Spar 1 og Helvar HM regulatorer
5. Placering af kondensator for Philips, Elstrom og Helvar H regulatorer

Fig. 5.1

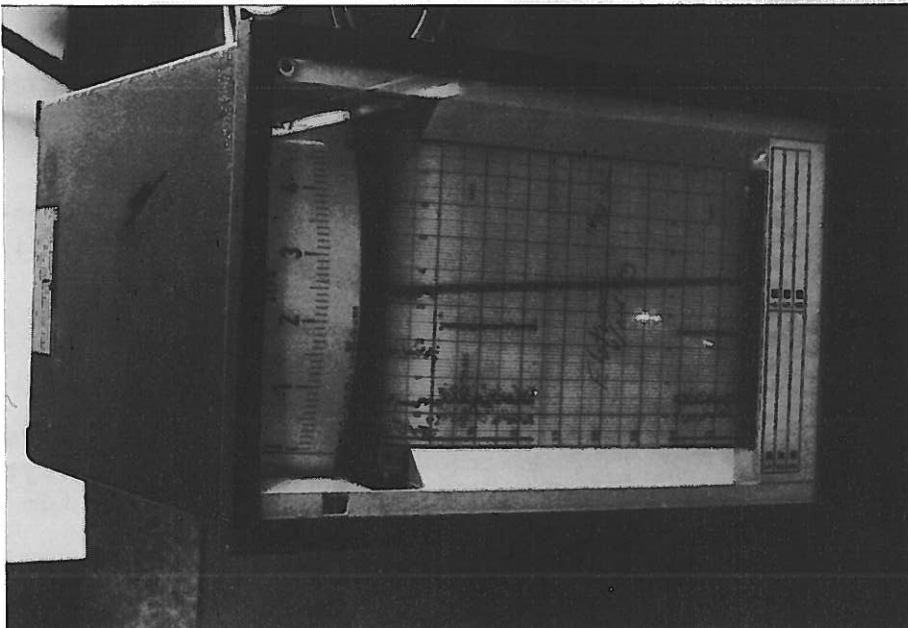
Elektrisk opstilling til laboratoriemålingerne med angivelse af de tre benyttede målepunkter for strøm, spænding og effekt. På forsyningsiden er der desuden målt indhold af overharmoniske strømme.



a. Fotometerkugle  
set adskilt



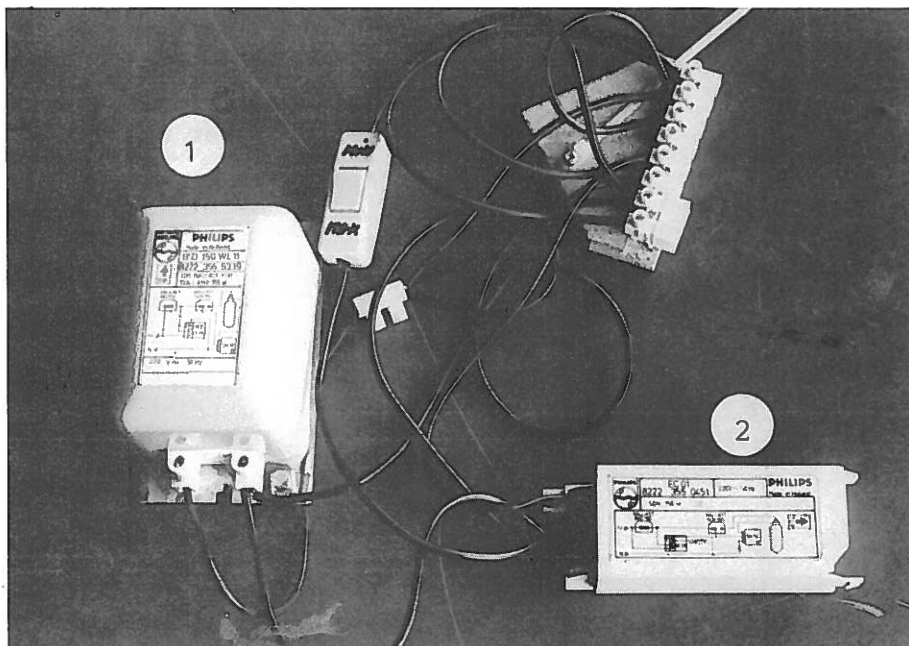
b. Målehoved  
(Gamma Scientific) til måling  
af lysstrøm og  
spektral udstrå-  
ling



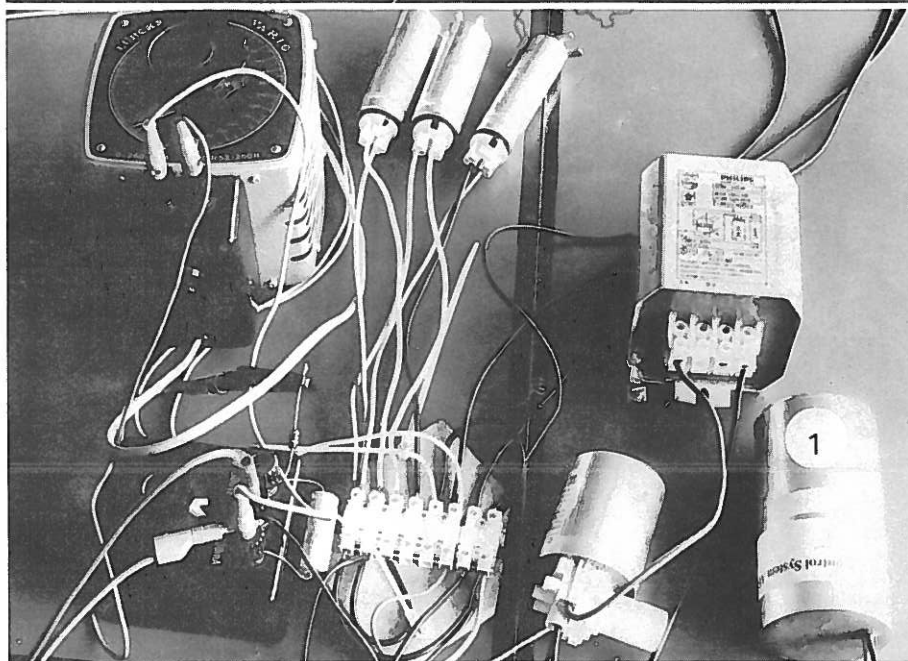
c. Skriver til  
registrering  
af overhamoniske  
strømme

Fig. 5.2

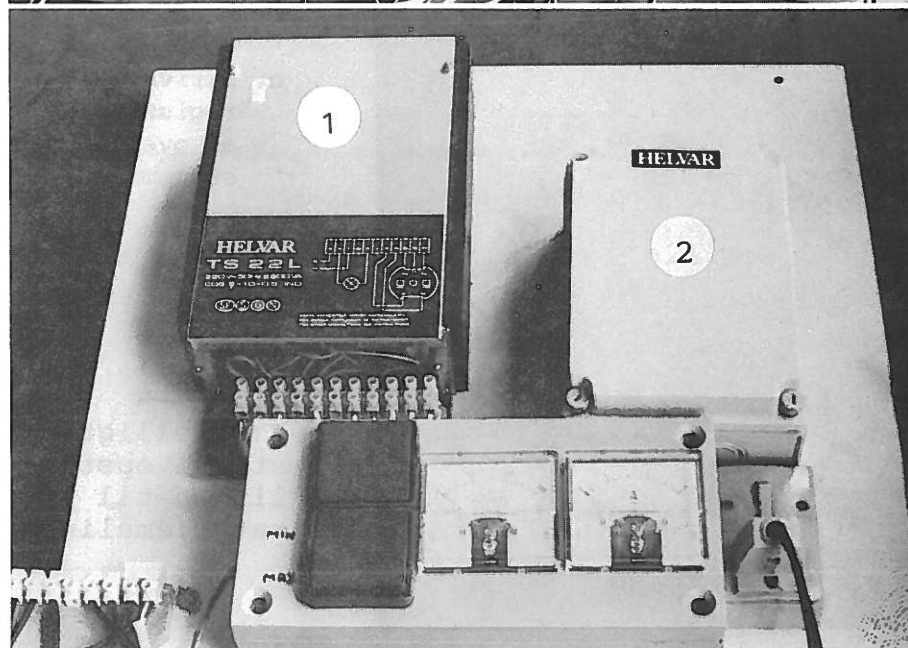
Forskelligt ud-  
styr i opstil-  
lingen til labo-  
ratoriemålinger



a. Philips dæmpe-  
spole (1) med  
elektronisk  
relæ (2)



b. Elstrom elektro-  
nisk regulator  
(1) og opstil-  
ling til levering  
af dennes styre-  
spænding



c. Helvar H (TS22L)  
stor elektronisk  
regulator (1)  
med styreboks  
(2) i en demon-  
strationsopstil-  
ling.

**Fig. 5.3**

Eksempler på re-  
guleringsudstyr  
i laboratorie-  
målingerne.

Til farvegengivelsesindeksets beregning er der dog den vanskelighed, at den bør ske ved sammenligning med en standard lyskilde med en farvetemperatur, som er nær den pågældende lyskildes. Der findes imidlertid ikke nogen standard lyskilde med en farvetemperatur så lav som hos en højtryksnatriumlampe. For dog at få et indtryk, er farvegengivelsesindekset beregnet ved sammenligning med en standard A lyskilde (glødelampe ved 2856 K).

Listen over lystekniske parametre kompletteres derfor med:

Korreleret farvetemperatur,  $T(K)$

Farvegengivelsesindeks,  $R_A$  (0-100)

Lysstrømmens tidslige variation blev endvidere registreret på en skriver, både under gentænding og under regulering. Herudfra er der uddraget forskellige, karakteristiske tidsforbrug, som omfatter:

Gentændingstid

Stabiliseringstid

Reguleringstid

For oversigtens skyld gives definitionerne af disse tider senere, samtidig med at resultaterne gennemgås.

Måleresultaterne for de elektriske parametre, de lystekniske parametre samt tidsforløbene gennemgås herefter i de følgende afsnit.

## 5.2 Elektriske parametre

Tabel 5.2 viser effektforbrug målt forskellige steder i strømkredsen, mens tabel 5.3 viser mere detaljerede oversigter over strømme og spændinger, samt  $\cos\phi$ , og tabel 5.4 viser totale strømme og 3. harmoniske strømme.

For den normale drift aftager lampen effekter, som er ca. 147 W i alle tilfælde og dermed meget nær den nominelle effekt på 150 W. Også strømme og spændinger er meget nær ens, knap ca. 1,8 A og ca. 100 V, mens  $\cos\phi$  er ca. 0,82.



|                 | Normal drift   |      |       |                |      |       | Reduceret drift |                                 |                |                |      |       |                |      |       |             |                                 |                |
|-----------------|----------------|------|-------|----------------|------|-------|-----------------|---------------------------------|----------------|----------------|------|-------|----------------|------|-------|-------------|---------------------------------|----------------|
|                 | Tilført effekt |      |       | Effekt i lampe |      |       | Tab             |                                 |                | Tilført effekt |      |       | Effekt i lampe |      |       | Tab         |                                 |                |
|                 | P (W)          | cosφ | I (A) | P (W)          | cosφ | I (A) | Spole P (W)     | Reg. udstyr + kondensator P (W) | Tab ialt P (W) | P (W)          | cosφ | I (A) | P (W)          | cosφ | I (A) | Spole P (W) | Reg. udstyr + kondensator P (W) | Tab ialt P (W) |
| Philips Elstrom | 173            | 0,94 | 1,77  | 146            | 0,82 | 1,77  | 23              | 4                               | 27             | 117            | 0,93 | 1,21  | 95             | 0,89 | 1,21  | 14          | 8                               | 22             |
|                 | 173            | 0,95 | 1,79  | 145            | 0,82 | 1,79  | 23              | 5                               | 28             | 121            | 0,89 | 1,21  | 107            | 0,85 | 1,21  | 15          | 13                              | 31             |
| Spar 1 Helvar H | 177            | 0,94 | 1,77  | 148            | 0,82 | 1,77  | 23              | 6                               | 29             | 206            | 0,82 | 1,50  | 101            | 0,82 | 1,50  | 17          | 34                              | 49             |
| Helvar HM       | 206            | 0,73 | 2,19  | 146            | 0,82 | 2,19  | 23              | 37                              | 60             | 150            | 0,82 | 1,44  | 101            | 0,82 | 1,44  | 15          | 34                              | 49             |

1) ikke målt

Tabel 5.2 Effektforbrug P (W) målt forskellige steder i strømkredsen i både normal og reduceret drift

|                 | Normal drift        |      |       |  |      |       | Reduceret drift          |      |       |                     |      |       |  |      |       |                          |      |       |
|-----------------|---------------------|------|-------|--|------|-------|--------------------------|------|-------|---------------------|------|-------|--|------|-------|--------------------------|------|-------|
|                 | Tilført 220 V sinus |      |       | Efter reg. udstyr og kondensator (o/spole+lampe) |      |       | Efter spole (over lampe) |      |       | Tilført 220 V sinus |      |       | Efter reg. udstyr og kondensator (o/spole+lampe) |      |       | Efter spole (over lampe) |      |       |
|                 | I (A)               | cosφ | U (V) | I (A)  | cosφ | U (V) | I (A)                    | cosφ | U (V) | I (A)               | cosφ | U (V) | I (A)  | cosφ | U (V) | I (A)                    | cosφ | U (V) |
| Philips Elstrom | 0,83                | 0,94 | 219   | 1,77   | 0,44 | 100   | 0,82                     | 0,82 | 177   | 1,41                | 0,44 | 0,82  | 0,83   | 0,83 | 177   | 1,41                     | 0,44 | 82    |
|                 | 0,83                | 0,95 | 220   | 1,79   | 0,43 | 99    | 0,82                     | 0,82 | 179   | 1,41                | 0,43 | 0,82  | 0,83   | 0,83 | 179   | 1,41                     | 0,43 | 82    |
| Spar 1 Helvar H | 0,85                | 0,94 | 220   | 1,77   | 0,44 | 102   | 0,82                     | 0,82 | 191   | 1,52                | 0,43 | 0,82  | 0,82   | 0,82 | 191   | 1,52                     | 0,43 | 86    |
| Helvar HM       | 1,29                | 0,73 | 219   | 1,77   | 0,44 | 100   | 0,82                     | 0,82 | 181   | 1,41                | 0,46 | 0,82  | 0,83   | 0,83 | 181   | 1,41                     | 0,46 | 86    |

1) ikke målt

Tabel 5.3 Spændinger U (V), strømme I (A) og cosφ målt forskellige steder i strømkredsen i både normal og reduceret drift.

|           | Normal drift |            |    | Reduceret drift |            |    |
|-----------|--------------|------------|----|-----------------|------------|----|
|           | Ialt         | 3. harmon. |    | Ialt            | 3. harmon. |    |
|           | A            | A          | %  | A               | A          | %  |
| Philips   | 0,83         | 0,19       | 23 | 0,57            | 0,11       | 19 |
| Elstrom   | 0,83         | 0,20       | 24 | 0,62            | 0,25       | 40 |
| Spar 1    | 0,85         | 0,20       | 23 | 2,47            | 1)         | -  |
| Helvar H  | 0,87         | 0,20       | 23 | 0,64            | 0,23       | 36 |
| Helvar HM | 1,29         | 0,21       | 16 | 1,44            | 0,56       | 39 |

1) ikke målt

Tabel 5.4 Strømme I(A) ialt og andelen på den 3. harmoniske, begge målt på forsyningssiden.

Tabene i spolen er også ret ens, ca. 23 W og dermed omtrent lig med den normalt påregnede værdi på 20 W. Endvidere er strømme og spændinger over spole og lampe ret ens; strømmen er naturligvis uændret ca. 1,8 A, mens spændingen er nær forsyningsspændingens 220 V, så der ikke optræder væsentlige spændingsfald over reguleringsudstyrene. Den dårlige fasekorrektions af spole plus lampe fremgår af et  $\cos\phi$  på ca. 0,44.

Også for den reducerede drift er forholdene ret ens som målt dels direkte over lampen og dels over lampe plus spole. Det skal dog tages i betragtning, at reduktionsniveauerne er lidt forskellige.

Lampens effekt er reduceret til ca. 100 W, strømmen til ca. 1,45 A og spændingen til ca. 85 V, mens  $\cos\phi$  er uforandret ca. 0,82 (undtagen for Helvar H, herom senere).

Tabene i spolen er reduceret til ca. 17 W, mens spændingen over spole plus lampe er ca. 180 V og  $\cos\phi$  uforandret ca. 0,44 (undtagen igen for Helvar H).

Det er således klart, at forholdene som målt direkte over lampen eller over spole plus lampe er temmeligt ens for de forskellige reguleringsudstyrs vedkommende for både den normale og den reducerede drift.

Forskellene mellem reguleringsudstyrene gør sig derimod gældende set fra forsyningssiden i kraft af de forskellige udstyrs egne tab, ændring af  $\cos\phi$  og frembringelse af overharmoniske strømme. De enkelte udstyr gennemgås derfor herunder.

For Philips dæmpespolen er tabene i reguleringsudstyr plus kondensator af størrelsen ca. 4 W i den normale drift og lidt større ca. 8 W, i den reducerede drift. Det bemærkes, at tabene er fremkommet ved subtraktion mellem to store, målte effekter og derfor er ret usikkert bestemt. I den normale drift må tabene tilskrives kondensatoren, mens de i den reducerede drift også må tillægges dæmpespolen.

Den samlede tilførte effekt er hermed ca. 173 W og ca. 117 W i de to driftsformer. De på forsyningssiden tilførte strømme er hhv. ca. 0,83 A og 0,57 A for de to driftsformer, hvor der yderligere findes ret høje værdier af  $\cos\phi$ .

Fasekompensationen for den normale drift er derfor også udmærket for den reducerede drift, når reduktionen foretages med dæmpespole.

Endelig udgør den 3. harmoniske strøm som målt på forsyningssiden ca. 0,2 A i den normale drift svarende til et sædvanligt indhold i den samlede strøm på godt 20 %. Det bemærkes, at dette i et balanceret, trefaset forsyningsnet svarer til en strøm i nullederen på ca. 70 % af strømmen i faselederne. Når dertil lægges et vist indhold af 9. harmonisk strøm (målt men ikke angivet i tabel 5.4), fås at strømmen i nullederen er omtrent lig med strømmen i faselederne.

I den reducerede drift er den 3. harmoniske strøm aftaget til ca. 0,11 A, hvad der svarer til en lille relativ reduktion til ca. 20 % af den totale strøm. Overharmoniske strømme bør derfor ikke give anledning til særlige problemer i den reducerede drift.

Den lille elektroniske regulator, Elstrom, optræder i de fleste henseender omtrent som udstyr med dæmpespole.

I den reducerede drift bemærkes dog en lidt større strøm og et lidt lavere  $\cos\phi$  på forsyningssiden. Dette hænger formentligt sammen med det forøgede indhold af 3. harmonisk strøm på ca. 0,25 A, eller relativt ca. 40 %, som det ses af tabel 5.4. Denne overharmoniske strøm løber sikkert overvejende gennem kondensatoren, som er monteret foran regulatoren. Det lidt lavere  $\cos\phi$  på 0,89 svarer dermed formentligt til en kapacitativ belastning.

Den omtalte 3. harmoniske strøm svarer til en strøm på ca. 0,75 A på nullederen i et balanceret trefaset forsyningsnet, og reelt

vil strømmen være ca. 1 A, når den 9. overharmoniske strøm medregnes. Nullederen kan derfor blive kraftigere belastet end faselederne er det i selv den normale drift.

Den store autotransformer, Spar 1 er formentlig koblet helt ud af strømkredsen i den normale drift, idet der ikke er målt nævneværdige tab, og idet strøm og  $\cos\phi$  på netforsyningssiden er som for de små reguleringsudstyr.

For den reducerede drift er der derimod målt et ret stort tab, ca. 80 W, strømmen er meget høj, 2,47 A og  $\cos\phi$  er lav, 0,38. Disse stærkt ændrede forhold skyldes sikkert transformerens "tomgangstab" og "tomgangsimpedans", som ved den lille belastning gør sig stærkt gældende. Ved store belastninger er tabet formentligt relativt lille i forhold til belastningen, strømmen pr. lampe sikkert omtrent som for de små udstyr og  $\cos\phi$  rimeligt høj.

Det bemærkes dog, at udstyret ikke regulerer ned til helt så lavt et niveau, som de øvrige udstyr.

Den store Helvar H regulator har tab på måske knap 10 W i begge driftsformer. Ved større belastninger er tabene sikkert uden større betydning set i forhold til belastningen.

Når der ses bort fra de strømme, som de nævnte tab giver anledning til, er der under laboratiemålingerne fundet forhold, som minder meget om de, der er omtalt for de små regulatorer. Strømmen er ikke væsentligt forøget, og  $\cos\phi$  er rimeligt god for begge driftsformer.

For den reducerede tilstand er indholdet af 3. harmoniske strøm på forsyningssiden dog 0,23 A og dermed af omtrent samme størrelse som for den lille elektroniske Elstrom regulator.

Reguleringsudstyret tillader ikke, at armaturerne er fasekompenserede, hvorfor kondensatoren i måleopstillingen er anbragt foran reguleringsudstyret på forsyningssiden. Den omtalte 3. harmoniske strøm på forsyningssiden vil overvejende løbe gennem kondensatoren, og dette er formentligt årsagen til, at  $\cos\phi$  er noget reduceret. Et lignende forhold gør sig gældende for Elstrom regulatoren.

Når armaturerne ikke er fasekompenserede, må ledningsnettet mellem regulatoren og armaturerne bære en ret stor strøm. Strømmen

er i måleopstillingen målt til 1,75 A og 1,44 A for de to driftsformer, idet  $\cos\phi$  er hhv. 0,44 og 0,37.

Også på denne del af ledningsnettet må der i kraft af reguleringsprincippet forekomme relativt store overharmoniske strømme under den reducerede drift (ikke målt). Det er givet disse overharmoniske strømme, som giver anledning til de målte relativt store spændinger over dels spole plus lampe og dels over lampen alene. En yderligere følge er de relativt lave værdier af  $\cos\phi$ .

De lidt afvigende forhold er hermed forklaret ved overharmoniske strømme, som ikke for dette udstyrs vedkommende kan blive afledt i en kondensator, og derfor må passere gennem både spole og lampe. Hvis de tilsvarende målinger havde været gennemført for den lille Elstrom regulators vedkommende, ville der formentligt have været fundet lignende forhold.

Den store elektroniske Helvar HM regulator viser for både den normale og den reducerede drift et ret stort tab i reguleringsudstyr plus kondensator på ca. 35 W. Dette tab er formentligt udelukkende eller i hvert fald overvejende et "tomgangstab", som ved en rimelig stor belastning af anlægget skal fordeles på et antal lamper, og derfor i praksis kun er nogle få W pr. lampe.

Under laboratoriemålingerne har anlægget trukket en ret stor strøm på 1,25 A i den normale drift og en endnu større strøm på 1,44 A i den reducerede drift.

En del af disse strømme skyldes naturligvis de ovennævnte tab og skal i praksis fordeles på et antal lamper.

En yderligere årsag til de ret store strømme er de ret dårlige værdier af  $\cos\phi$  på hhv. 0,73 og 0,47 for de to driftsformer.

Den lave værdi af  $\cos\phi$  for den normale drift må skyldes, at reguleringsudstyret i sig selv udgør en impedans af delvis reaktiv eller kapacitativ karakter. Ved en større belastning af reguleringsudstyret i en praktisk situation vil reguleringsudstyrets egen impedans sikkert være af mindre betydning, så  $\cos\phi$  får en normal høj værdi, og så strømmen pr. lampe bliver omtrent som for de små udstyr.

For den reducerede drift er forholdene imidlertid nok anderledes. Det ses således af tabel 5.4, at mens indholdet af 3. harmonisk strøm er af sædvanlig størrelse i den normale drift, ca. 0,2 A,

er det meget højt i den reducerede drift, ca. 0,56 A. Desuden er indres, at udstyret tillader, at armaturerne er fasekompenserede, hvorfor kondensatoren i måleopstillingen er anbragt efter reguleringsudstyret.

En del af den tilførte strøm under den reducerede drift er derfor 3. harmonisk strøm, som overvejende vil løbe gennem kondensatoren og dermed ikke bidrage til lampestrømmen. Dette må være en væsentlig medvirkende årsag til det lave  $\cos\phi$ .

Dette ræsonnement antyder, at reguleringsudstyret også ved større belastninger vil medføre et lavt  $\cos\phi$  for den reducerede drift på grund af overskydende, overharmonisk strøm. Selv i et balanceret trefaset system vil belastningen af nullederen være betydelig på grund af det store indhold af 3. harmonisk strøm. Den største forekommende strøm vil således formentligt være den, der forekommer i nullederen i den reducerede drift.

Hertil bemærkes, at udstyrets fortrin frem for det herunder omtalte, mere konventionelle udstyr, netop er, at det tillader at armaturerne er fasekompenserede. Dette fortrin synes derfor at medføre de ulemper, at både forsyningsnettet, og nettet fra reguleringsudstyret frem til armaturerne i den reducerede drift må bære ret store overharmoniske strømme.

### 5.3 Lystekniske parametre

Tabel 5.5 viser lampens lysstrømme, som angivet relativt i en vilkårlig skala.

Det ses, at det store transformeranlæg, Spar 1, nedregulerer lampens lysstrøm med ca. 40 %, mens de øvrige reguleringsudstyr nedregulerer lysstrømmen ca. 50 %. Dette er i overensstemmelse med fabrikanternes opgivelser i de tilfælde, hvor der findes sådanne.

Tabel 5.5 viser desuden effektforbrugene af lampe plus spole. Når netop disse effektforbrug er vist, skyldes det, at lampe plus spole optræder i en fast konfiguration for alle reguleringsudstyrenes vedkommende, så disse effektforbrug er umiddelbart sammenlignelige.

Det ses, at der med Spar 1 anlægget opnås en besparelse på kun

27 % effekt i overensstemmelse med, at anlægget ikke nedregulerer så kraftigt som de øvrige udstyr. Ved de øvrige udstyr opnås der besparelser, som er af nogenlunde samme størrelse, målingerne viser 31 til 36 %.

|           | Normal drift |                  | Reduc. drift |                  | Ændring i   |               |                 |
|-----------|--------------|------------------|--------------|------------------|-------------|---------------|-----------------|
|           | Effekt<br>W  | Lysstrøm<br>rel. | Effekt<br>W  | Lysstrøm<br>rel. | Effekt<br>% | Lysstrøm<br>% | Lysudbytte<br>% |
| Philips   | 169          | 97               | 109          | 46               | - 36        | - 53          | - 26            |
| Elstrom   | 168          | 93               | 1)           | 44               | 1)          | - 53          | 1)              |
| Spar 1    | 171          | 100              | 124          | 58               | - 27        | - 42          | - 20            |
| Helvar H  | 169          | 95               | 107          | 47               | - 37        | - 51          | - 29            |
| Helvar HM | 169          | 99               | 116          | 49               | - 31        | - 51          | - 28            |

a. lampens og spolens effektforbrug samt lysstrømme

|         |     |  |     |  |      |  |      |
|---------|-----|--|-----|--|------|--|------|
| Philips | 173 |  | 117 |  | - 32 |  | - 30 |
| Elstrom | 173 |  | 121 |  | - 30 |  | - 32 |

1) ikke målt

b. samlet tilført effekt

Tabel 5.5 Lampens lysstrømme angivet relativt i en vilkårlig skala for normal og reduceret drift samt lampens og spolens effektforbrug (tabel a) og den samlede tilførte effekt (tabel b).

Der synes hermed at være en nogenlunde entydig sammenhæng mellem lysstrøm og effektforbrug under den reducerede drift, således at de forskellige virkemåder af udstyrene ikke influerer stort på denne sammenhæng. Denne konklusion synes yderligere rimelig i betragtning af, at strøm, spænding og  $\cos\phi$  er ret ens som målt over enten lampen eller lampe plus spole.

Det eneste udstyr, som måske adskiller sig lidt fra denne sammenhæng, er den store elektroniske Helvar H regulator, hvor effektbesparelsen synes at være relativt stor i forhold til lysstrømsreduktionen. Måleværdierne er dog nok for usikre til at dette forhold kan bevises. Hvis det antages at være rigtigt, kan det sættes i sammenhæng med, at der netop for dette udstyr er fundet lidt afvigende forhold for lampe plus spole, som gennemløbes af en ikke ubetydelig overharmonisk strøm. Lignende forhold kunne tænkes at gøre sig gældende for den lille elektroniske Elstrom regulator, for hvilken der desværre mangler nogle målinger.

Idet lysstrømmen reduceres kraftigere end effektforbruget, er det klart, at lysudbyttet reduceres noget ved nedreguleringen. Som også vist i tabel 5.5 drejer det sig om ca. 25 %.

Endelig vises i tabel 5.5 de totale tilførte effekter for de små regulatorer, d.v.s. effekter som inkluderer tab i regulatoren og i kondensatoren. Målt på denne måde er effektbesparelsen 30-32 %, hvilket er i overensstemmelse med fabrikanternes opgivelser, hvor sådanne findes.

En lignende beregning over de totale tilførte effekter er ikke foretaget for de store reguleringsudstyr, da målingerne med en belastning med kun en lampe ville føre til urimeligt ugunstige værdier af effektbesparelsen. Den nærmere diskussion af målingerne i afsnit 5.2 antyder, at der ved større belastninger ville opnås effektbesparelser af omtrent samme procentiske størrelse som for de små reguleringsudstyr. Det ville svare til fabrikanternes egne opgivelser.

Fig. 5.4 viser lampens spektrale udstrålinger under dels den normale drift, og dels som reduceret af et af reguleringsystemerne.

For den normale drift ses, at den spektrale udstråling især findes i bølglængdeområdet 570 til 630 nm. Uden for dette område findes dels en ret jævn udstråling ved endnu større bølglængder, d.v.s. af rødt lys, samt nogle små toppe ved kortere bølglængder, d.v.s. af grønt og blått lys.

I overensstemmelse hermed har højtryksnatriumlamper ved normal drift en ganske lav farvetemperatur, som i alle tilfælde ud fra de spektrale udstrålinger er bestemt til ca. 1865 K. Desuden er den spektrale sammensætning som bekendt dårlig. Farvegengivelsesindekset,  $R_A$  er ved sammenligning med udstrålingen fra en standard A lyskilde bestemt til kun godt 20.

For den reducerede drift ses den spektrale udstråling at ligge ved stort set uændrede bølglængder, men at dens sammensætning er endnu dårligere end for den normale drift. Dels er hovedområdet for lysudsendelse blevet smallere, og dels er udstrålingen uden for området aftaget kraftigt.

Disse konklusioner gælder for den reducerede drift for alle reguleringsystemernes vedkommende, idet de målte spektrale udstrålinger er praktisk talt ens. De mindre forskelle, som forekommer, kan tilskrives forskelle i reduktionsniveauerne.



Date: 22/7/82  
 Nummer SIEMENS128SIEMENS50  
 Max 9.489e-01 9.498e-01  
 Title: FIXED SIE

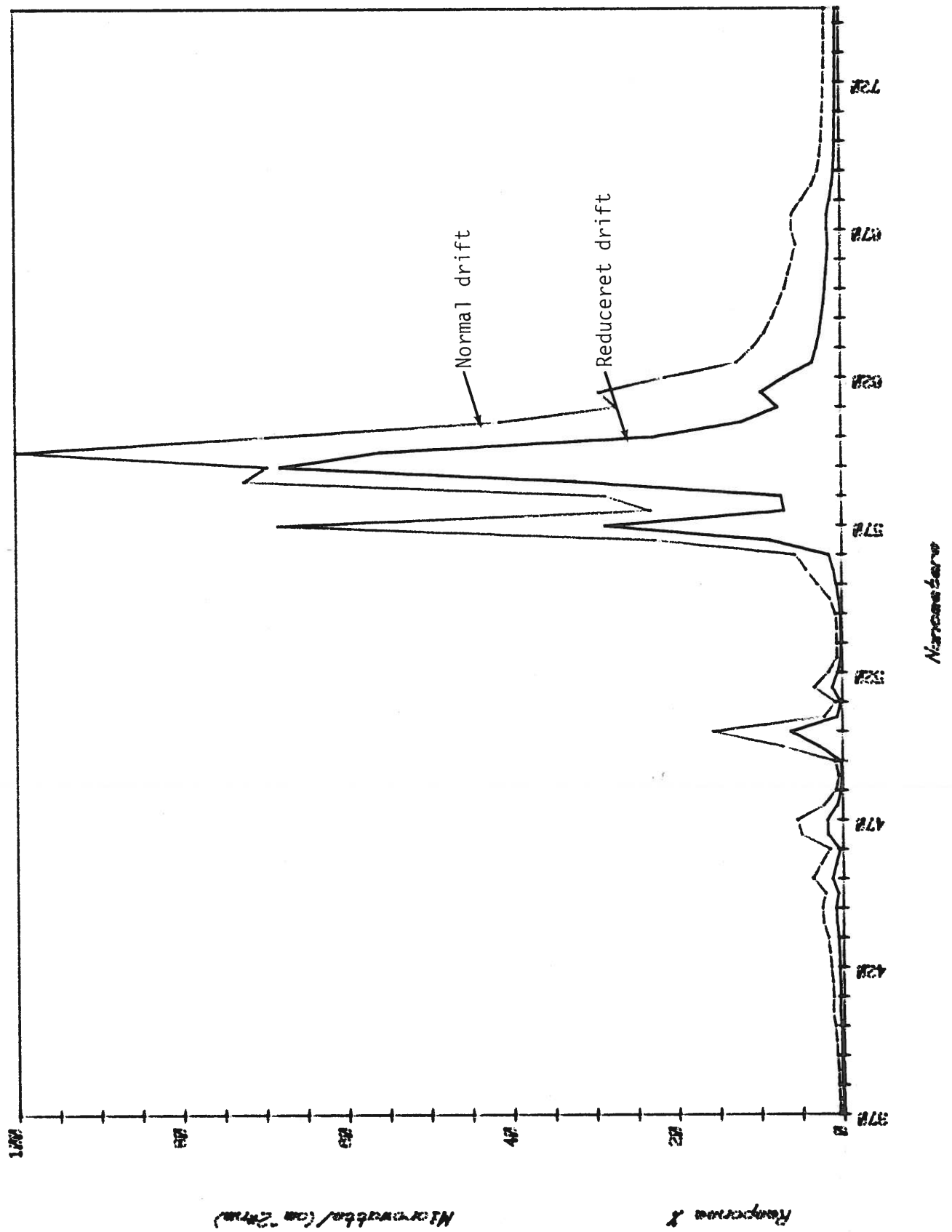


Fig. 5.4

Spektral udstråling for højtryksnatriumlampen ved dels normal og dels reduceret drift.

Farvetemperaturen for den reducerede drift er dermed generelt omtrent uændret, i gennemsnit ca. 1850 K. Den dårligere spektrale sammensætning viser sig derimod ved at  $R_A$  er aftaget til ca. 10.

Det bemærkes igen, at beregningen af  $R_A$  formelt ikke er korrekt, idet den baseres på sammenligning med en lyskilde med en langt højere farvetemperatur (standard lyskilde A, 2856 K).

De beregnede værdier giver dog et indtryk af dels de dårlige farvegengivende egenskaber for den normale drift, og dels den yderligere forringelse i den reducerede drift med et ca. 50 % niveau.

Reduktionen bevirker en ændring af den spektrale udstråling i retning mod lavtryksnatriumlampens næsten rene spektralfarve. Ved en endnu kraftigere reduktion ville ændringen formentligt yderligere gå i denne retning.

#### 5.4 Tidsforløb

Gentændingstiden for den normale drift er i alle tilfælde målt til et par minutter. Gentændingstiden er den tid, der går efter en kortvarig strømafbrydelse, indtil lampen er genstartet og har opnået 90 % af den oprindelige lysstrøm. Stabiliseringen til praktisk talt den oprindelige lysstrøm varer yderligere et par minutter, og hele forløbet dermed ca. 5 minutter.

Nogle af de små udstyr, BAG Turgi og Siemens, foretager ikke nogen opregulering til normal drift, hvis lampen slukkes af en kortvarig strømafbrydelse under reduceret drift.

For disse udstyr er der målt tidsforløb omtrent som for den normale drift, både hvad angår gentænding og stabilisering under reduceret drift.

En automatisk opregulering efter en strømafbrydelse er således ikke påkrævet af hensyn til disse tidsforløb, i hvert fald når lampen er ny og drives under forhold som i laboratoriet.

For de øvrige udstyr, som foretager opregulering, er gentændingstiden kort, idet 90 % af lysstrømmen for den reducerede drift op-

nås hurtigt. Stabiliseringen har derimod en længere varighed, idet den inkluderer den påfølgende nedregulering.

Det lille Philips udstyr, som nedregulerer momentant, får dermed et tidsforløb, indtil lampens lysudsendelse er stabil på det reducerede niveau, der er omtrent lige så langt som for de andre små udstyr.

De to store Helvar regulatorer nedregulerer derimod langsomt over et længere tidsrum, således at stabiliseringstiden efter en strømafbrydelse for den reducerede drift bliver ca. 30 minutter.

Disse temmeligt lange tider genfindes for de to store Helvar regulatorer også ved almindelig nedregulering fra normal til reduceret drift. For de øvrige udstyr varer det kun ca. et par minutter, før lysstrømmen er stabil på det reducerede niveau.

## 6.

PRAKTISK AFPRØVNING6.1 Alment

Den praktiske afprøvning af reguleringsudstyrene skete ved montering af disse i eksisterende vejbelysningsanlæg.

Selve de afprøvede reguleringsudstyr præciseres i afsnit 6.2, hvor også monteringen og indjusteringen af de justerbare udstyr, er omtalt. Denne omtale har til formål at illustrere det arbejde og de problemer, som kan forekomme i praksis.

Formålet med den praktiske afprøvning er naturligvis at opnå erfaringer angående udstyrenes driftsikkerhed og stabilitet over en periode af en rimelig længde og under praktisk forekommende betingelser m.h.t. temperaturer, spændingsforsyning, driftstid af lamper m.v. Et yderligere formål er at supplere laboratoriemålingerne.

Disse erfaringer og supplerende målinger omtales i afsnit 6.3.

6.2 Reguleringsudstyrene og deres montering

De i tabel 6.1 viste reguleringsudstyr blev monteret i belysningsanlæggene på Kløvermosevej og Middelfartvej i Odense. Begge veje er hovedlandeveje med vejnumre hhv. 202 og 203 og dele af Al. Kløvermosevej er en del af Odense ringvej og beliggende på dennes vestlige del. Middelfartvej er en del af hovedlandevejen fra Odense til Middelfart, og ligger umiddelbart vest for ringvejens tilslutning. Se fig. 6.1.

Belysningsanlægget på Kløvermosevej er et zig-zag masteanlæg med lyspunktafstand 65-70 m som målt i samme vejside. Armaturerne er Philips SGS 201 med 250 W højtryksnatriumlamper. Belysningsanlægget på Middelfartvej er et tosidigt masteanlæg med lyspunktafstand ca. 35 m og armaturer ligeledes Philips SGS 201, men med 150 W højtryksnatriumlamper.

Reguleringsudstyrenes nærmere positioner er ligeledes angivet i tabel 6.1. I fig. 6.2 og 6.3 er vist nogle detaljer i installationerne.

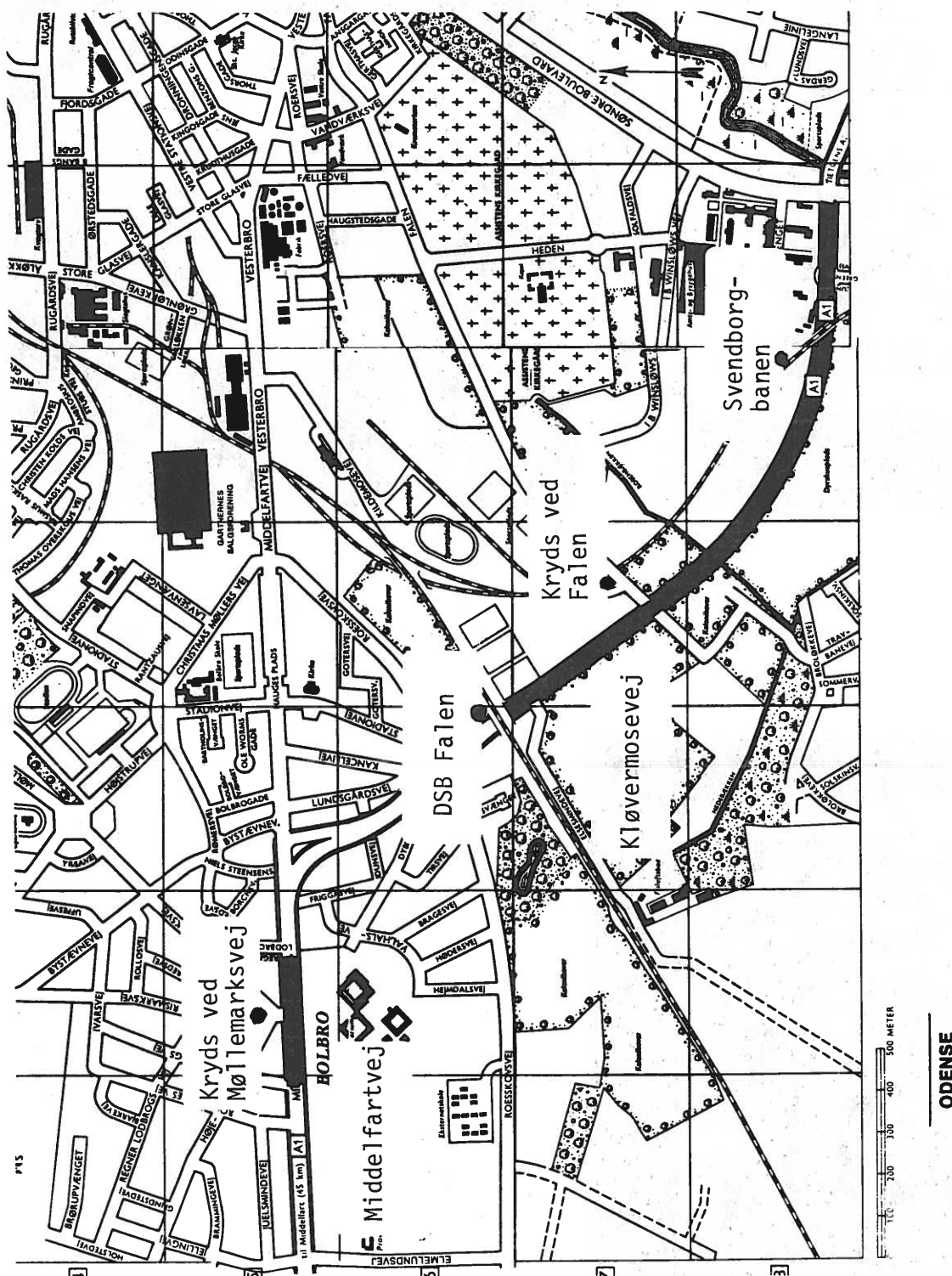
| Fabrikat  | Type       | Position  |
|-----------|------------|---|
| BAG Turgi | Dæmpespole | 8 stk. 4 på hver vejside, øst for krydset       |
| Philips   | Dæmpespole | 3 stk. i den nordlige vejside, vest for krydset |
| Siemens   | Dæmpespole | 3 stk. i den sydlige vejside, vest for krydset  |

- a. Dæmpespoler til 150 W højtryksnatriumlamper monteret på Middelfartvej omkring krydset ved Møllemarksvej. Alle spolerne er beregnet for ca. 50 % lysreduktion.

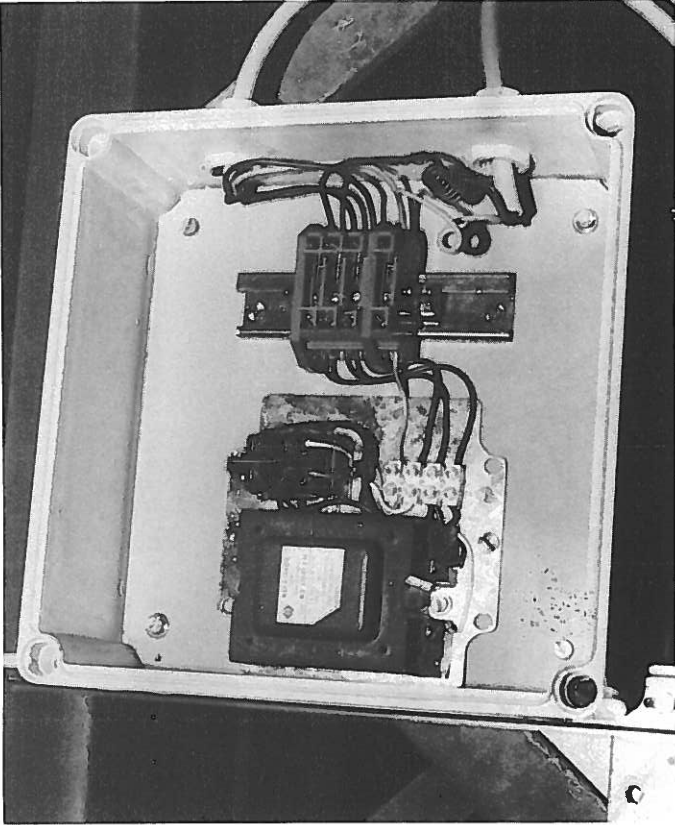
|                                 |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| May & Christie                  | Dæmpespole til ca. 50 % effektreduktion   | 4 stk., 2 på hver vejside, øst for Svendborgbanen   |
| Elstrom                         | Elektronisk regulator med indstilleligt reduktionsniveau  | 4 stk., en på hver vejside, øst for ovennævnte position   |
| Spar, 3 x 16A                   | Trefaset autotransformer med nedregulering i to tempi til ca. 190 V. Styreboks med spændingsovervågning | To faser benyttet til hhv. 12 og 13 armaturer på de to vej-sider mellem Svendborgbanen og krydset ved Falen |
| Helvar H<br>(TS55-N<br>1 x 25A) | Elektronisk énfaset regulator til ukompenserede armaturer med indstilleligt reduktionsniveau            | Benyttet til 8 armaturer på den nordlige vejside mellem krydset ved Falen og DSB-Falen                      |
| Helvar HM116<br>1 x 16A         | Som Helvar H, men til fasekompenserede armaturer  | Benyttet til 8 armaturer på den sydlige vejside i ovennævnte position                                       |

- b. Reguleringsudstyr på Kløvermosevej med 250 W højtryksnatriumlamper.

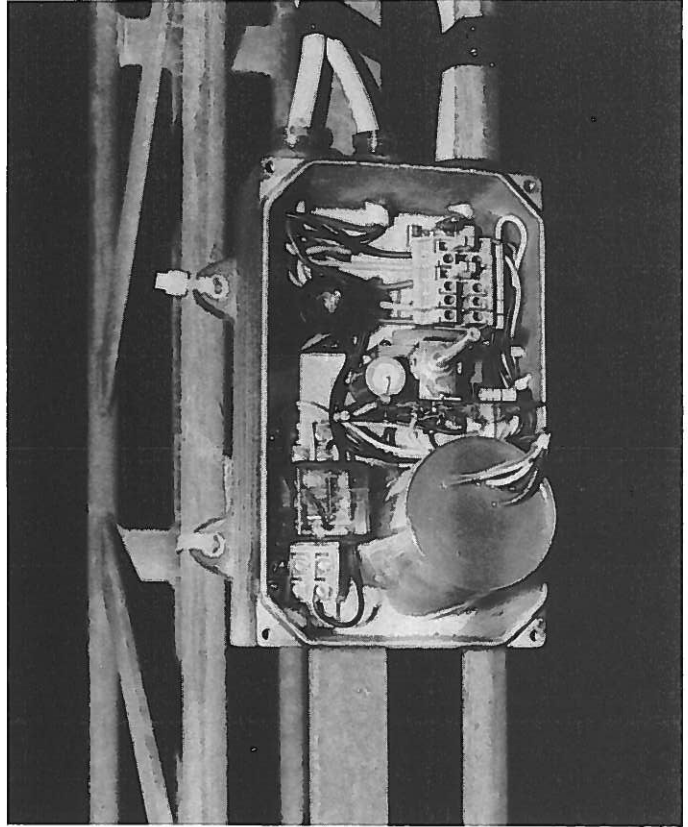
Tabel 6.1 Reguleringsudstyrene i den praktiske afprøvning.



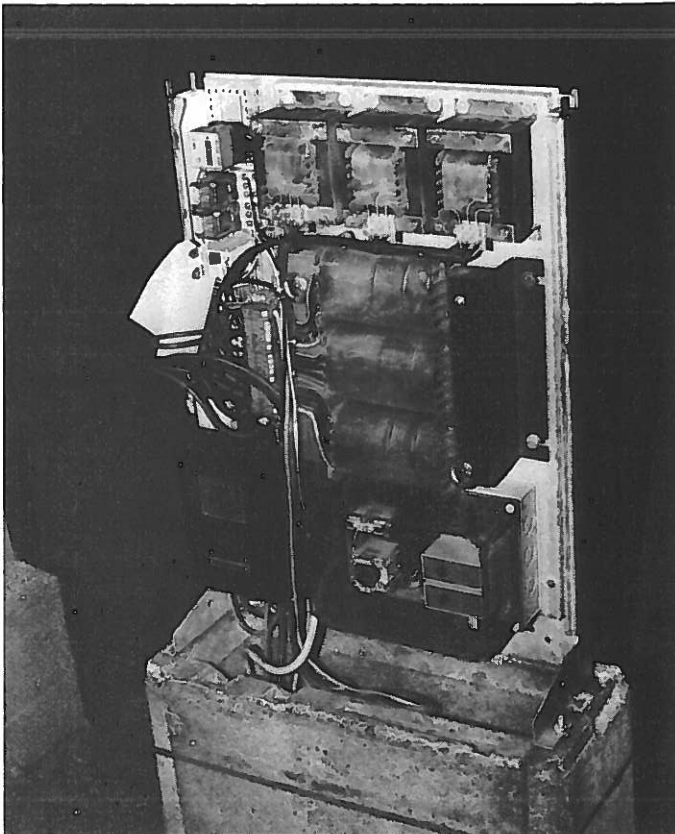
**Fig. 6.1** Beliggenhed af Middelfartvej og Kløvermosevej. Reguleringsudstyrene er monteret på de sortfarvede partier, hvor yderligere visse lokaliteter er angivet.



a. May & Christie dæmpespole monteret med relæ i en boks



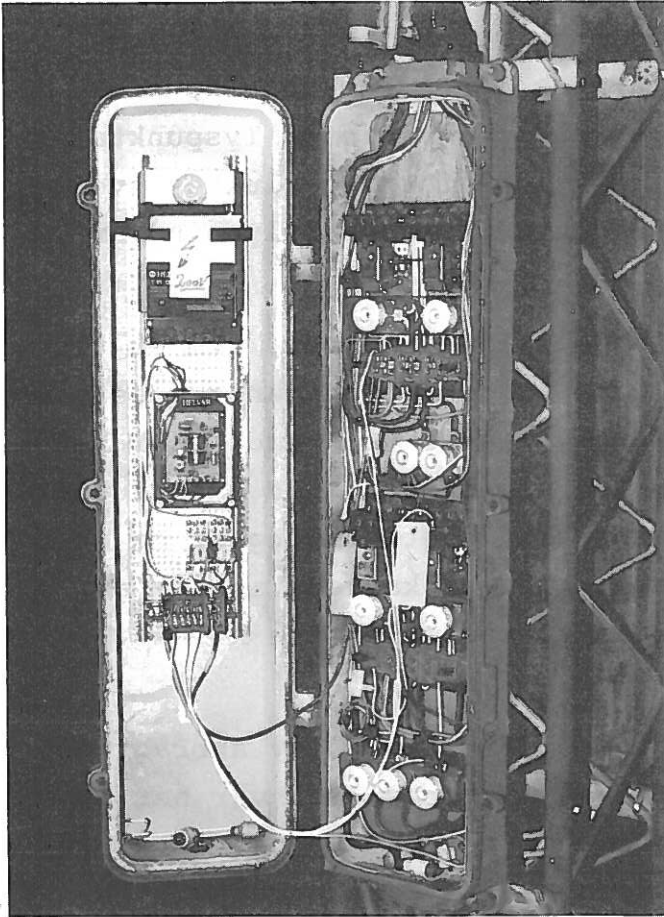
b. Elstrom lille elektronisk regulator monteret i en boks sammen med en til formålet fremstillet forsyning af styrespændingen (0-30V DC)



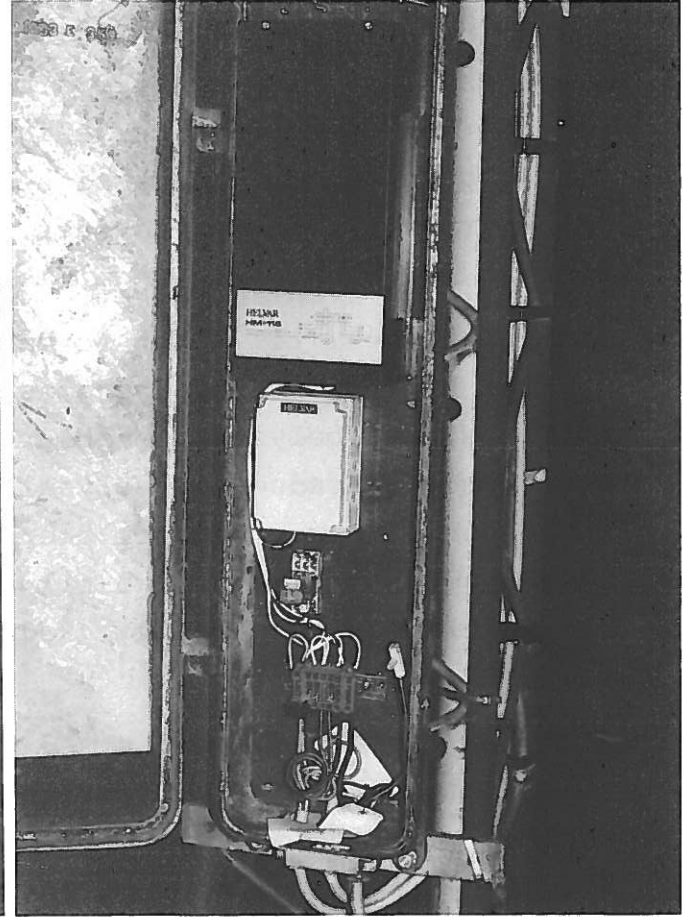
c. Spar autotransformer monteret i elskab

Fig. 6.2

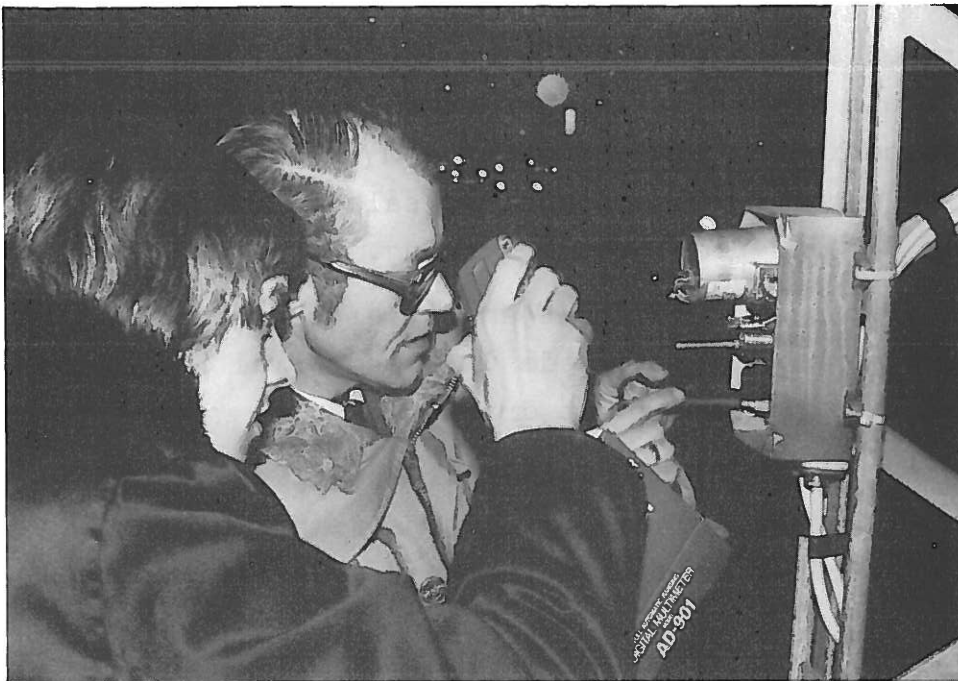
Eksempler på udstyrenes montering.



a. Helvar H regulator monteret med styreboks i et eksisterende skab



b. Helvar HM regulator med styreboks monteret i et nyt skab



c. Indstilling af en Elstrom regulator

Fig. 6.3 Yderligere eksempler på udstyrenes montering.



Belysningsanlæggene havde i forvejen natreduktion ved delslukning. På Kløvermosevej blev armaturerne i den ene vejside slukket, så den reducerede belysning er ensidig med stor lyspunktafstand og en ringe regelmæssighed. På Middelfartvej slukkes hvert andet armatur i begge vejsider, så den reducerede belysning er zig-zag med en rimelig regelmæssighed.

Armaturerne var til dette formål opdelt i to grupper, som er tilsluttet hver sin faseledning, således at grupperne kan tændes separat. Normal belysning etableres naturligvis ved tænding af begge grupper og reduceret belysning ved slukning af den ene gruppe. Styringen af begge grupper sker centralt, idet tænding af en gruppe aktiveres fra kabelskab til kabelskab ved kaskadetænding af den pågældende faseledning. Reduktionsperioden er fra kl. 24.00 til 6.00.

De forskellige dæmpespoler med tilhørende relæer blev anbragt enten i armaturerne eller i små bokse på masterne. Det var her nødvendigt at føre ledninger fra boksene op i armaturerne for at få den korrekte placering i strømkredsen mellem fasekondensatorens ene ben og den normale spole (se fig. 3.3).

De små elektroniske Elstrom regulatorer, 2 stk. blev monteret på samme måde som dæmpespolerne.

Samtlige armaturer med små regulatorer blev koblet til den fase, som holdes tændt i hele mørketiden, mens den anden fase, som slukkes i reduktionsperioden, blev benyttet som styreledning til relæerne. Det til rådighed værende signal er således 220 V for normal belysning og 0 V for reduceret belysning.

Til Elstrom regulatorerne blev benyttet en lille transformer og ensretter til omsætning til de påkrævede 0 V for normal belysning og ca. 30 V jævnspænding for reduceret drift.

Den ene af Elstrom regulatorerne blev indstillet til ca. 50 % lysreduktion, som BAG Turgi, Siemens og Philips dæmpespolerne, og den anden til ca. 50 % effektreduktion, som May & Christie dæmpespolerne.

De store reguleringsudstyr blev anbragt i skabe, som opstilledes til formålet. Helvar H regulatoren kunne dog indpasses i et eksisterende skab.

Til den styring af vejbelysningen, som benyttes i Odense, har de store reguleringsudstyr den ulempe, at de regulerer på faseledninger, som normalt benyttes til at videreføre kaskadetændingen.

For Helvar H og HM regulatorerne blev dette problem klaret ved at de blev anbragt for enden af Kløvermosevej, som er en "blind" gren i kaskadetændingen. Tændingen blev ændret, så de to faser i de to vejsider begge holdes tændt i hele mørketiden, og der blev benyttet to enfasede regulatorer, d.v.s. en til hver vejside. Fasesekondensatorerne blev afbrudt i de armaturer, som forsynes af Helvar H regulatoren.

Til de to regulatorer blev der medleveret styrebokse, som kan benytte reduktionssignalet direkte. Nedreguleringstiderne blev indstillet til det kortest mulige, og reguleringsniveauerne blev indstillet til ca. 50 % belysning for den reducerede drift.

For Helvar HM regulatoren indebar justeringen af reguleringsniveauet nogen vanskelighed, idet niveauet varierer en del fra armatur til armatur. Dette har muligvis sammenhæng med at en betydelig del af strømmen fra reguleringsudstyret er overharmonisk, som i større eller mindre grad begrænses af de forskellige spoler.

Spar autotransformeren er trefaset. Den blev monteret på den foranliggende del af Kløvermosevej og to af faserne blev benyttet til armaturerne i de to vejsider. Da der således reguleres på de to faser, der normalt også benyttes til videreførelse af kaskadetændingen, var det nødvendigt at trække ekstra ledere på denne strækning.

Også Spar autotransformeren har en styreboks, som umiddelbart kan benytte reduktionssignalet 220 V/0 V. Reduktionsniveauet er givet af den nedregulerede spænding på ca. 190 V, som svarer til ca. 40 % lysstrømsreduktion.

### 6.3 Driftserfaringer og målinger

Driftserfaringerne er indsamlet fra reguleringsudstyrenes montering sidst i 1982 til ca. årsskiftet 1983/84.

Ved denne periodes start havde belysningsanlægget på Middelfartvej lyskilder med en forudgående driftstid på ca. 6.000 h (position for BAG Turgi, Philips og Siemens dæmpespoler). Disse lyskilder er ikke udskiftet i perioden og havde ved dennes slutning en driftstid på ca. 10.000 h.

Lyskilderne på den del af Kløvermosevej, hvor May & Christie dæmpespolerne og Elstrom regulatorerne er monteret, var ganske nye ved periodens start. Disse lyskilder er heller ikke udskiftet i perioden og havde ved slutningen en driftstid på ca. 4.000 h.

Lyskilderne på den øvrige del af Kløvermosevej (position for Spar autotransformerer og for de to Helvar regulatorer) havde en forudgående driftstid på ca. 12.000 h. Disse lyskilder blev udskiftet omkring 1. marts, hvor den samlede driftstid var ca. 14.000 h.

Driftserfaringerne er derfor indsamlet for en periode på godt et år og for lyskilder med forskellige driftstider.

Erfaringerne består dels i observationer af anlæggenes drift og dels i målinger af belysningsniveau og effekt.

Hovedkonklusionen er, at samtlige reguleringsudstyr har fungeret efter deres hensigt, og at der kun har været få driftsproblemer.

Hvad angår de forskellige dæmpespoler, har der ikke været driftsproblemer i nogen tilfælde. Dette gælder også for May & Christie dæmpespolerne, selv om disse nedregulerer ganske kraftigt.

For de små Elstrom regulatorers vedkommende har der heller ikke været driftsproblemer, og det viste sig muligt at foretage endnu kraftigere nedreguleringer end de oprindeligt indstillede. Det er bemærkelsesværdigt, at der kan opnås en stabil drift ved så lavt et niveau som 15 % af det normale lysniveau.

Den indbyggede spændingsovervågningsautomatik i Spar autotransformerer forårsagede i en indledende periode, at der lejlighedsvis skete opreguleringer til normal drift med påfølgende nedreguleringer. Efter en justering af denne automatik fungerede anlægget uden bemærkninger.

De to Helvar regulatorer blev begge slået ud af funktion ved lynnedslag. Regulatorerne blev repareret og forsynet med beskyttelse mod transiente spændinger. Derefter forekom der ikke yderligere problemer. Fra Helvar blev det oplyst, at senere udgaver af Helvar H regulatorer allerede har en sådan beskyttelse.

Forsøg med justering af det nedregulerede niveau viste, at HM-regulatoren til kompenserede armaturer kunne nedregulere til ret lave niveauer med over 50 % effektbesparelse, uden at der forekom driftsproblemer.

H-regulatoren til ukompenserede armaturer kunne derimod ikke nedregulere kraftigt, d.v.s. til under ca. 50 % lysniveau, uden en eller flere lamper slukker for senere at gentænde og slukke o.s.v. Som tidligere omtalt varierer det nedregulerede niveau fra lampe til lampe. De lamper, som først slukker, er netop de som har det laveste niveau.

Det vides ikke, om denne forskel mellem de to regulatorer er en nødvendig følge af forskellen i virkemåde, eller om den skyldes andre forhold.

Der er udført to måleserier, den første i februar 1983, lige før udskiftningen af lamper på Kløvermosevej og den anden i august 1983.

Målingerne omfattede målinger af belysningsstyrker i punkter lige under armaturerne, samt målinger af effektforbrug. Begge typer målinger blev udført på tidspunkter både før og efter midnat, hvor omkoblingen til reduceret drift finder sted.

Ændringen af belysningsstyrken ved et givet armatur giver derved et nogenlunde billede af armaturets lysstrømsreduktion. Tilsvarende giver ændringen af effektforbruget et billede af effektreduktionen, enten for et armatur med en lille regulator, eller for hele den strækning, som forsynes af en stor regulator.

Usikkerheden ved bestemmelse af disse reduktioner må især tilskrives ændringer i forsyningsspændingen i tidsrummet på en til to timer mellem målingerne. Kontrolmålinger af forsyningsspændingen viste, at forsyningsspændingen kunne ændre sig med op til ca. 10 V, så denne usikkerhedskilde er ganske stor.

For belysningsstyrkernes vedkommende er der desuden usikkerhed på grund af tilskud fra andre armaturer. Også for effektmålingerne, som blev udført med en kWh-tæller, må der påregnes en ekstra usikkerhed, da der blev benyttet et begrænset antal omdrejninger.

På grund af disse usikkerheder vises måleresultaterne ikke i detalje, men omtales kun summarisk i det følgende.

For de små reguleringsudstyr bekræftede målingerne den sammenhæng mellem lysstrøms- og effektreduktion, som er omtalt i forbindelse med laboratoriemålingerne.

For dæmpespolernes vedkommende fandtes endvidere omtrent de tilsigtede reduktionsniveauer, d.v.s. ca. 50 % lysstrømsreduktion undtagen for May & Christie dæmpespolerne, som svarer til ca. 50 % effektreduktion. Som tidligere omtalt var de to Elstrom regulatorer indstillet til hvert sit niveau, men blev senere indstillet til endnu lavere niveauer, hhv. ca. 70 % og ca. 85 % reduktion i lysniveauet.

For de store reguleringsudstyrs vedkommende blev der fundet sammenhænge mellem lysstrøms- og effektreduktion, der er omtrent som for de små reguleringsudstyr. Den formodning, som blev fremsat i forbindelse med laboratoriemålingerne, at de store udstyrs tab ved rimelige belastninger ikke udgør nogen væsentlig del af den regulerede effekt, er således bekræftet. Tabene søgtes desuden målt direkte som forskellen mellem effekterne til udstyrenes ind- og udgange. Disse målinger viser, at tabene ikke overstiger 50-100 W.

Målingerne under den praktiske afprøvning viser således, at udstyrene fører til reduktioner af effekt og lysstrøm, der i hovedsagen er som forventet, og som opgivet af fabrikanterne. På årsbasis fås de effektbesparelser, som er vist i tabel 6.2.

| Fabrikat  | Type  | Lysstrømsreduktion                           | Effektbespar. på årsbasis                     |
|---|---|--|---|
| Bag Turgi<br>Philips<br>Siemens<br>May & Christie | Dæmpespole  | ca. 44 %<br>ca. 46 %<br>ca. 50 %<br>ca. 60 % | ca. 12 %*<br>ca. 16 %<br>ca. 18 %<br>ca. 23 % |
| Elstrom   | Elektronisk regulator med indstilleligt reduktionsniveau                                      | f.eks. 50 %                                  | ca. 16 %                                      |
| Spar, 3 x 16 A                                    | Trefaset autotransformer  | ca. 34 %                                     | ca. 13 %                                      |
| Helvar H,<br>1 x 25 A                             | Elektronisk én-faset regulator til ukompenserede armaturer med indstilleligt reduktionsniveau | f.eks. 50 %                                  | ca. 14 %                                      |
| Helvar HM,<br>1 x 16 A                            | Som Helvar H, men til fasekompenserede armaturer  | f.eks. 53 %                                  | ca. 13 %                                      |

\*BAG Turgi mener, og sikkert med rette, at en mere realistisk vurdering af effektbesparelsen er 14 %. Se bilaget med kommentarer.

Tabel 6.2 Lysstrømsreduktioner og beregnede årlige effektbesparelser for reduktion kl. 24-6. Værdierne er baseret på målingerne under praktiske afprøvning.



## 7. PRAKTISKE OG ØKONOMISKE FORHOLD VED REGULERING

### 7.1 Mulighed for montering i eksisterende anlæg

De små reguleringsudstyr kræver en styreledning ført frem til hvert enkelt armatur. Disse udstyr kan derfor kun benyttes i de tilfælde, hvor der er mulighed for delslukning, eller allerede findes delslukning. Alternativt kunne der benyttes et signalsystem med modtagere i de armaturer, der skal nedreguleres, men igen kunne modtagerne lige så godt benyttes til delslukning og endda med færre modtagere.

Yderligere forudsætter regulering en investering i udstyr og i hvert fald for højtryksnatriumlamper fører nedregulering til et noget forringet lysudbytte.

Natreduktion ved nedregulering med små udstyr kan derfor, ved samme reduktionsperiode og niveau, ikke konkurrere økonomisk med delslukning.

For eksisterende anlæg forværres dette forhold yderligere ved omkostningerne til montering af reguleringsudstyrene i armaturerne eller i separate bokse eller andetsteds.

Det må derfor nok konkluderes, at for eksisterende anlæg kan nedregulering med små reguleringsudstyr kun komme på tale, hvis delslukning ikke bør benyttes på grund af dens forringelse af regelmæssigheden.

Ved ombygning af eksisterende anlæg eller ved etablering af nye anlæg kan omkostningerne til reguleringsudstyrene og deres montering måske holdes så lave i nogle tilfælde, at der ikke er væsentlig økonomisk forskel på delslukning og nedregulering. I så fald kunne nedregulering tænkes at blive foretrukket p.g.a. den bedre belysningskvalitet under den reducerede drift.

Store reguleringsudstyr har den fordel frem for de små udstyr, at der ikke kræves styreledninger i hvert armatur. Styringen af nedreguleringen forudsættes kun en styreledning til reguleringen, og denne kan evt. erstattes af et ur, eller af et signalanlæg med en modtager ved hver regulator.

Store reguleringsudstyr er derfor måske særligt egnet til natreduktion af eksisterende anlæg i de tilfælde, hvor der ikke findes



en ekstra tændledning og, hvor det ville være dyrt at etablere en sådan.

Det væsentligste problem angående hvornår, der kan anvendes store reguleringsudstyr, opstår nok i forbindelse med kaskadetænding. Reguleringsudstyret kan naturligvis kun anvendes til armaturerne på en strækning mellem to tændrelær, evt. på to strækninger med udstyret anbragt i det fælles punkt. Tændrelærerne må kunne aktiveres også at den regulerede spænding på de ledere, som fører kaskadetændingen videre. I modsat fald skal der benyttes særskilte kommandoledninger til formålet.

I de tilfælde, hvor der er tilsluttet anden belysning, som ikke må reduceres, opstår der naturligvis også problemer. Sådan belysning kan være skiltebelysning, separat fodgængerfeltbelysning, telefonbokse o.s.v. Sådan anden belysning må kobles til en separat tændledning, hvis en sådan findes. I modsat fald kan anden belysning umuliggøre regulering med store udstyr.

## 7.2 Økonomi af natreduktion ved regulering

Indtægtssiden i økonomiregnestykket antages i det følgende udelukkende at være den årlige el-besparelse pr. lampe. Denne udregnes først for nogle eksempler, hvorefter udgiftssiden diskuteres.

Det årlige elforbrug for en lampe i normal drift er givet ved:

$$P \cdot T \quad (\text{kWh/år})$$

hvor  $P$  er effektforbruget af lampe med forkoblingsudstyr (kW)

og  $T$  er den årlige driftstid (h/år)

Udgiften til dette elforbrug findes ved multiplikation med elprisen, som sættes til 0,545 kr./kWh, som det p.t. gælder i Odense.

|        | Hele året            |                         | 1. august til 30. april |                         |
|--------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | Andel af driftstid % | Akkumuleret driftstid % | Andel af driftstid %    | Akkumuleret driftstid % |
| Kl. 15 |                      |                         |                         |                         |
|        | 0,1                  |                         | 0,1                     |                         |
| Kl. 16 |                      | 0,1                     |                         | 0,1                     |
|        | 1,8                  |                         | 1,7                     |                         |
| Kl. 17 |                      | 1,9                     |                         | 1,8                     |
|        | 3,1                  |                         | 3,1                     |                         |
| Kl. 18 |                      | 4,9                     |                         | 4,9                     |
|        | 4,4                  |                         | 4,4                     |                         |
| Kl. 19 |                      | 9,3                     |                         | 9,3                     |
|        | 5,7                  |                         | 5,7                     |                         |
| Kl. 20 |                      | 15,0                    |                         | 15,0                    |
|        | 7,1                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 21 |                      | 22,1                    |                         | 21,6                    |
|        | 8,7                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 22 |                      | 30,8                    |                         | 28,2                    |
|        | 8,9                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 23 |                      | 39,7                    |                         | 34,8                    |
|        | 8,9                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 24 |                      | 48,6                    |                         | 41,4                    |
|        | 8,9                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 01 |                      | 57,5                    |                         | 48,0                    |
|        | 8,9                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 02 |                      | 66,4                    |                         | 54,6                    |
|        | 8,9                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 03 |                      | 75,3                    |                         | 61,2                    |
|        | 7,7                  |                         | 6,6                     |                         |
| Kl. 04 |                      | 83,0                    |                         | 67,8                    |
|        | 6,1                  |                         | 6,1                     |                         |
| Kl. 05 |                      | 89,1                    |                         | 73,5                    |
|        | 4,9                  |                         | 4,9                     |                         |
| Kl. 06 |                      | 94,0                    |                         | 78,8                    |
|        | 3,5                  |                         | 3,5                     |                         |
| Kl. 07 |                      | 97,5                    |                         | 82,3                    |
|        | 2,1                  |                         | 2,1                     |                         |
| Kl. 08 |                      | 99,6                    |                         | 84,4                    |
|        | 0,4                  |                         | 0,4                     |                         |
| Kl. 09 |                      | 100,0                   |                         | 84,8                    |
|        |                      |                         |                         |                         |
|        |                      |                         | maj, juni og juli 15,2  |                         |
|        |                      |                         | ialt 100 %              |                         |

Tabel 7.1

Driftstid, som procentdel af en årlig, samlet driftstid på 4100 timer uden reduceret drift.

Eks. 1 Anlægget reduceres fra kl. 24 til 6. Den reducerede drift omfatter 94 % - 48,6 % = 45,4 % af 4100 timer.

Eks. 2 Anlægget holdes slukket i maj, juni og juli, d.v.s. i 15,2 % af 4100 timer og reduceres i den øvrige del af året fra kl. 24 til 6. Den reducerede drift omfatter 78,8 % - 41,4 % = 37,4 % af 4100 timer.

Den brøkdelen af det årlige elforbrug, som spares ved nedregulering findes af:

$$p \cdot t$$

hvor  $p$  er den brøkdelen af effektforbruget  $P$ , der spares ved nedregulering

og  $t$  er den brøkdelen af den årlige driftstid,  $T$ , hvor der nedreguleres

Idet  $T$  sættes til 4100 h/år findes  $t$  af tabel 7.1 for forskellige reduktionsperioder. Der regnes i det følgende med reduktion enten fra kl. 20-6 eller fra kl. 24-6. Brøkdelen  $t$  er dermed enten 0,79 eller 0,454.

For  $p$  regnes med enten 0,33 eller 0,5 svarende til lysstrømsreduktioner på hhv. ca. 50 % og ca. 65 % for højtryksnatriumlamper.

Idet der yderligere regnes med 70 W, 150 W og 250 W højtryksnatriumlamper med effektforbrug lig med ca. 83 W, 170 W og 283 W fremkommer tabel 7.2.

Omkostningssiden angår udgifter til udstyret, til dets installation og til evt. ændringer af ledningsnettet.

| Reduktionsperiode        |     |                | kl. 24-6 |           | kl. 20-6  |           |
|--------------------------|-----|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| t =                      |     |                | 0,454    |           | 0,79      |           |
| Effektbesparelse p =     |     |                | 0,33     | 0,50      | 0,33      | 0,50      |
| Årlig besparelse p · t = |     |                | 0,15     | 0,227     | 0,261     | 0,395     |
| Lyskilde                 | P   | Årlig eludgift |          |           |           |           |
| W                        | W   | ca. kr.        |          |           |           |           |
| 70                       | 83  | 185            | 27,8 kr. | 42,0 kr.  | 48,3 kr.  | 73,1 kr.  |
| 150                      | 170 | 380            | 57 kr.   | 86,3 kr.  | 99,2 kr.  | 150,1 kr. |
| 250                      | 283 | 632            | 94,8 kr. | 143,5 kr. | 165,0 kr. | 249,6 kr. |

Tabel 7.2 Mulige årlige besparelser for forskellige højtryksnatriumlamper med total effekt  $P$  ved en elpris på 0,545 kr./kWh og en årlig driftstid på 4100 h.

Besparelserne er givet for forskellige reduktionsperioder, som svarer til forskellige brøkdelen af den årlige driftstid, samt for forskellige brøkdelen effektbesparelser ved nedregulering,  $p$ . Produktet  $p \cdot t$  er den brøkdelen, der spares for et år.

For at foranstaltningen skal have interesse bør disse investeringer sikkert ikke andrage mere end nogle få gange den årlige besparelse, således at tilbagebetalingstiden højst er nogle få år.

Det fremgår derfor af tabel 7.2, at der kan tillades større investeringer pr. lampe, hvis der er tale om store lamper, og hvis der påregnes kraftig reduktion over en lang reduktionsperiode.

For dæmpespolernes vedkommende er der indhentet priser, som ligger på 200-400 kr., når der medregnes et relæ. De monteringer, som er foretaget i Odense er desuden vurderet til omkostninger på 150-350 kr., hvor den lave pris svarer til montering i rørmast, og de højere priser til montering i armaturet eller i en separat boks.

Den samlede investering bliver derved 350-750 kr. for dæmpespoler pr. 150 W eller 250 W højtryksnatriumlampe. Ved sammenholdning med tabel 2 fås det indtryk, at de økonomiske forhold er kritiske. Kun hvis udgifterne kan holdes lavest muligt, og der foretages en kraftig eller længevarende nedregulering, kan der opnås en kort tilbagebetalingstid.

Denne konklusion er for eksisterende belysningsanlæg. Ved nyanlæg eller i forbindelse med ombygning af eksisterende anlæg, må udgifterne til montering kunne nedbringes.

Prisen for den lille Elstrom regulator er opgivet til ca. 500 kr., og er dermed så høj, at det vil være vanskelig at opnå en god økonomi.

For Spar transformerne er der opgivet priser på ca. 9.000-17.000 kr. for de forskellige størrelser på 3 x 35 A, 3 x 63 A og 3 x 125 A. Hertil skal der lægges monteringsudgifter, som vurderes til ca. 4.000 kr.

De samlede udgifter bliver dermed ganske store, men udstyrenes høje effekt gør, at de har mulighed for at regulere på et stort antal lamper, hhv. 120, 210 og 420 150 W højtryksnatriumlamper. Udgiften pr. lampe kan derfor blive lav, ca. 110 kr. til ca. 50 kr. pr. lampe, hvor den laveste pris er for det største udstyr.

For disse transformere er effektbesparselsen ganske vist lav, men i princippet må det være muligt at opnå en god økonomi ved brug af autotransformere til regulering af et stort antal lamper. For-

udsætningen herfor er naturligvis, at ledningsnettet er indrettet, så dette kan udnyttes.

For Helvar H regulatorerne er mulighederne ikke så gode, idet de antal lamper, der kan reguleres, er væsentligt lavere. En medvirkende årsag hertil er, at armaturerne ikke er fasekompenserede, så strømmen pr. armatur er ca. fordoblet. Regulatorerne til 10 A, 16 A og 25 A kan således forsyne kun ca. 10 og 16 stk. 150 W højtryksnatriumlamper.

Priserne er af størrelsen ca. 3.500 kr., hvortil der skal lægges mindst ca. 2.000 kr. til montering. Udgifterne pr. 150 W højtryksnatriumlampe andrager dermed mindst ca. 340 kr. for den største regulator og væsentligt mere for de mindre regulatorer. Dette svarer til tilbagebetalingstider på godt 8 år ved kraftig og langvarig nedregulering med regulatoren på 25 A. I andre situationer bliver tilbagebetalingstiden væsentligt længere.

Kun for Helvar H regulatoren på 25 A kan der dermed gøres forhåbninger om en rimelig økonomi, og dette kun ved kraftig nedregulering over længere tidsrum. Der findes dog en endnu større regulator på 3 x 63 A, hvis forhold ikke er vurderet nærmere, men som givet kunne føre til en god økonomi under de samme forudsætninger som store autotransformere.

Helvar HM regulatorerne er dyrere end H regulatorerne, som regnet pr. lampe og vil derfor have dårligere økonomi end disse.

### 7.3 Andre synspunkter

Betragtningerne i de foregående afsnit angår udelukkende nedregulering af vejbelysningen i de trafiksvage timer, og har således den forudsætning, at vejbelysningsanlægget er dimensioneret, så den normale belysning svarer til behovet i perioder med stærk trafik. Herved skal omkostningerne til reguleringsudstyret modsvares udelukkende af besparelser i elforbruget.

Et andet synspunkt består i at foretage en opregulering af belysningen i perioder med stærk trafik og nedregulering i andre perioder.

For nyanlæg ville dette betyde, at investeringerne til reguleringsudstyr kunne modsvares af besparelser til anlæggets etablering. For eksisterende anlæg, som er underdimensionerede, træder indførelsen af opregulering i stedet for anden ombygning.

Teknisk set er opregulering af højtryksdamplamper mulig og kunne realiseres på forskellige måder. Opregulering har yderligere til følge, at lysudbyttet forbedres, men givet også at lampernes levetid forringes. Hvis opreguleringen kun foretages i en mindre del af driftstiden, vil tabet i levetid dog modsvares af en gevinst i den øvrige, nedregulerede driftstid.

Synspunktet svarer derfor til, at lamperne "i gennemsnit" drives normalt, men at driften fordeles med opregulering, når der er stærk trafik, og nedregulering, når trafikken er svag. Fremgangsmåden er indlysende fornuftig og ville givet have god økonomi i kraft af besparelser til belysningsanlægget. Fremgangsmåden er dog ikke så interessant i en tid, hvor der ret ensidigt sigtes mod besparelser til eksisterende anlæg. Desuden vil der måske ikke kunne opnås garantier på lyskilder til sådan drift.

Andre forhåbninger kunne stilles til at regulering billiggøres, f.eks. at der vil blive markedsført armaturer med indbygget dæmpningsmulighed. En meget billig løsning må være drosselspoler med to udtag, som det kendes fra armaturer til små kviksølvlamper. Prisen for regulering ville i så fald være en beskedent merpris for en spole plus udgiften til et billigt relæ, ialt vel 50-100 kr. Under sådanne forudsætninger er regulering klart økonomisk.

Andre muligheder er nye reguleringsmetoder, som er billigere end de undersøgte.

En sådan mulighed er undersøgt på LTL af en studerende. Der vil senere blive redegjort for metoden og for forskellige mulige udformninger, men princippet er kort fortalt som anført herunder. En udformning er desuden vist i fig. 7.1.

To strækninger med to grupper af lamper tænkes forsynet af hver sin fase og af en fælles afgangsleder. Fuld belysning haves, når afgangslederen er koblet til nul og reduceret belysning, når den er koblet til midterudtaget fra en autotransformer, som forsynes af de to faser. Spændingen på afgangslederen bliver midterværdien af de to faser, hvilket er 110 V.

Metoden baseres således på regulering af spændingen på afgangslederen i stedet for på de to faseledere. Herved kan den sædvanlige kaskadetænding fremføres på en eller begge faseledere, og anden belysning, som ikke skal reduceres, kan blot tilkobles en nulleleder. Signalet til reduktion kan fremføres i en kaskade over afgangsledere for hveranden strækning.

Metoden har således klare fordele, hvad angår lednings- og signalføring. Den har desuden fordel i at autotransformerer kun skal levere en effekt, som svarer til forskellen i belastning på de to faser. Den kan derfor have beskedne dimensioner og måske finde plads i et eksisterende kabelskab eller i hvert fald i en boks.

Denne metode fordrer derfor næppe store investeringer, men på den anden side er reduktionen heller ikke kraftig. Den svarer til ca. 40 % lysstrømsreduktion og 25 % effektbesparelse.

Besparelserne kunne dog forøges ved at lade de 110 V udkoble armaturer ved hjælp af relæer. I så fald kan metoden anskues som et signalsystem, hvor autotransformerer er sender og relæerne er modtagere, og hvor der som bonus opnås nogen nedregulering.

Ved lidt fantasirigdom er det sikkert også muligt at udvikle andre metoder, som baseres på ét reduktionsniveau, robusthed og prisbillighed.

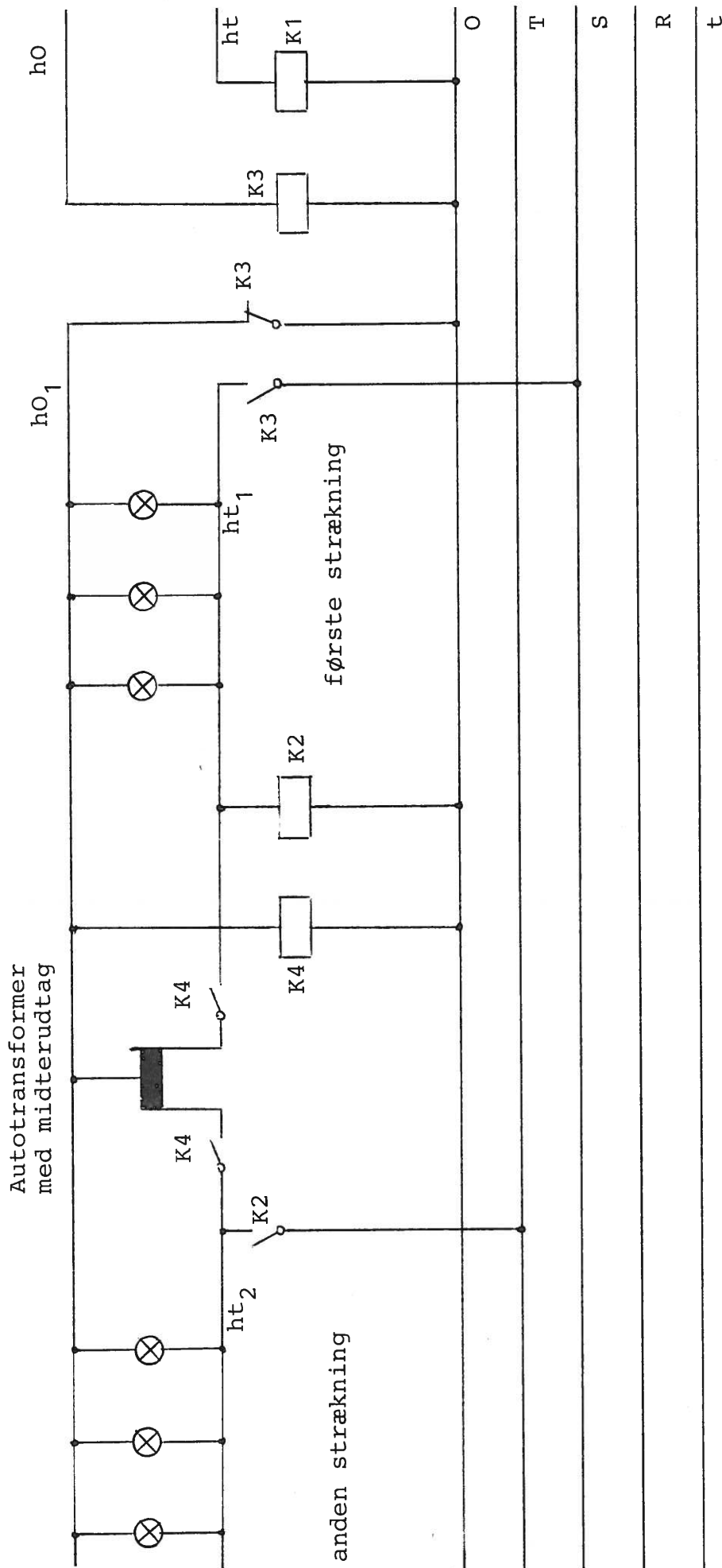


Fig. 7.1

En simpel reguleringsmetode vist for et luftledningsanlæg med de sædvanlige 5 ledere, samt høj tænding ved dels en ekstra nulleleder h0 og dels en tændledning ht.

Kaskadetænding sker ved relæet K1, som slutter tændledningen ht<sub>1</sub> på første strækning til fase S, hvorved relæet K2 slutter tændledningen ht<sub>2</sub> på anden strækning til fase

T o.s.v.

Nullederen h0 på den foregående strækning, samt h<sub>01</sub> på første og anden strækning benyttes som fælles tilbageføringsledere. Relæet K3 aktiveres af 110 V på h0, hvorved h<sub>01</sub> afbrydes fra nul, opbygger en spænding på ca. 110 V, der trækker relæet K4, hvorved autotransformeren indkobles og stabiliserer spændingen på h<sub>01</sub>.

Reduktionen udvirkes af de 110 V modspænding, der videreføres som et kaskadesignal på den tidligere nulleleder.





8.

SAMMENFATNING

Undersøgelsen viser, at der på markedet findes en del forskelligt reguleringsudstyr, som er udviklet til reduktion af vejbelysning, eller som kan benyttes hertil.

Disse udstyr kan naturligt opdeles i små udstyr, som regulerer på et enkelt armatur og monteres i eller ved armaturet, samt i store udstyr, som monteres i et kabelskab og regulerer på alle de armaturer, der forsynes af en eller flere ledere fra skabet.

De små udstyr er enten dæmpespoler, som indkobles med et relæ, eller i et enkelt tilfælde en elektronisk regulator. Udstyrene skal alle sidde i serie med lampen og monteres inden for fasekondensatoren. Desuden skal de styres af en styreledning, eller evt. af en signalmodtager, så de brugsmæssigt virker ens.

De store udstyr er enten autotransformere eller store elektroniske regulatorer. De sidstnævnte fordrer i den konventionelle udførelse, at armaturerne er fasekompenserede, men der indgår i undersøgelsen også en regulator, som tillader (eller måske fordrer) dette.

Laboratoriemålingerne og den senere omtalte praktiske afprøvning viser, at der bortset fra lidt forskellige tab i reguleringsudstyrene er samme sammenhæng mellem effekt og lysstrøm for højtryksnatriumlamper.

Lysstrømmen aftager ved nedregulering kraftigere end effekten, hvilket svarer til, at lysudbyttet forringes noget. Typiske sammenhænge er lysstrømsreduktioner på 40 %, 50 % og 65 % ved effekt-reduktioner på 25-30 %, 30-35 % og ca. 50 %.

Disse sammenhænge er omtrent som forventet, og som opgivet af fabrikanterne. Der er derfor ikke i disse data noget opsigtsvækkende nye, eller noget grundlag for at foretrække en reguleringsmetode frem for andre.

Indholdet af overharmoniske strømme på forsyningsiden afhænger derimod af reguleringsmetoden.

Overharmoniske strømme er generende ved overvejende ikke at bære effekt, så de forøger ledningstabene. Desuden udkompenserer overharmoniske strømme fra forskellige faseledninger ikke hinanden på nullederen, som kan få en uforudset høj belastning.

Allerede ved normal drift af damplamper udgør den vigtigste overharmoniske strøm, den 3. på 150 hz, ca. 20-25 % af den samlede tilførte strøm.

Reduktion ved hjælp af dæmpespoler eller nedtransformering af spændingen fører ikke til nogen forøgelse af denne andel. Det gør derimod den elektroniske regulering, og det i særlig grad for den store elektroniske regulator til fasekompenserede armaturer (Helvar HM).

Den omtalte forringelse af lysudbyttet ved nedregulering er i øvrigt ledsaget af en forringelse af den spektrale sammensætning af lyset. Forringelsen består i en ændring i retning mod lavtryksnatriumlampens farvefattige, gule spektrallinie, uden at der dog er tale om et nær så dårligt et lys.

Den praktiske afprøvning har bestået i montering af de i tabel 7.1 viste udstyr i Odense og observationer af driften gennem godt et år, samt målinger i to serier. Hovedkonklusionen er at samtlige udstyr fungerer efter hensigten.

Der er dog den bemærkning, at de to store Helvar regulatorer måtte beskyttes mod transiente spændinger. Efter fabrikanternes udtalelser er en sådan beskyttelse allerede indført i senere udgaver af H-regulatoren.

Afprøvningen tyder desuden på, at højtryksnatriumlamper er udmærket egnede for regulering, og at reguleringsmetoden ikke er kritisk. Ved kraftig nedregulering bør reguleringen dog ske over en vis tid, så lamperne når at afkøle, da de ellers vil falde ud. Dette gælder især ved spændingsregulering.

De således omtalte forhold gælder for højtryksnatriumlamper, og der er ikke foretaget målinger for andre typer lyskilder. Det virker dog rimeligt at tro, at forholdene er omtrent de samme for kviksølvlamper. Dog vil lysets farvemæssige sammensætning nok ikke forringes så meget ved nedregulering, da denne bestemmes ikke blot af udladningen, men også af kolbens lyspulverbelægning.

For lysstofrør vil reguleringsmulighederne givet afhænge af lysstofrørens type, armaturernes kobling og reguleringsmetoden.

Der sker næppe nogen forringelse af lysudbyttet af betydning ved nedregulering.

Vurderingen af reguleringsudstyrenes økonomi baseres på en oversigt over de mulige årlige besparelser pr. lampe til el, se tabel 7.2.

Disse besparelser er relativt små, for 150 W højtryksnatriumlamper ca. 57 til 150 kr., afhængig af, hvor kraftig og langvarig en nedregulering der foretages. Derfor må investeringen til reguleringsudstyr og dets montering være ret lille, som regnet pr. lampe.

For regulering med små udstyr forudsætter dette, at der vælges de absolut billigste løsninger. Med de indhentede priser svarer dette endvidere til en billigst mulig dæmpespole med et simpelt indkoblingsrelæ, og helst montering i forbindelse med ombygning eller nyanlæg. Den opgivne pris for den lille elektroniske regulator vil sikkert i de fleste tilfælde forhindre en antagelig økonomi.

Til regulering med små udstyr bemærkes i øvrigt, at når styringsmuligheden foreligger, kunne denne også benyttes til delslukning. Regulering med små udstyr er derfor altid dyrere end delslukning.

For de store regulatorer er økonomien bedre jo større regulator, der kan benyttes. Med de opgivne priser er autotransformere billigere end elektroniske regulatorer.

Hvis ledningsnettet egner sig til at et stort antal lamper kan forsynes af en kraftig regulator, kan investeringen pr. lampe blive temmelig lille. I nogle tilfælde, hvor delslukning forudsætter ledningsarbejder eller signalanlæg, kan regulering med store udstyr muligvis konkurrere økonomisk set.

Til fremtiden kan der stilles de forhåbninger, at der fremkommer billigere reguleringsudstyr.

En mulighed er armaturer med indbygget dæmpespole, eller måske en drosselspole med to udtag, så reguleringsmuligheden tilvejebringes for en beskedent merpris.

En anden mulighed er, at anvende armaturer med to lyskilder, hvor "nedregulering" sker ved slukning af den ene lyskilde.

En tredje mulighed er måske nye reguleringsmetoder, som den der er studeret hos LTL, og som omtales i afsnit 7.3.

Til sidst må bemærkes, at hele undersøgelsen baseres på det synspunkt, at der er tale om nedregulering af belysningsanlæg, som må anses for at være overdimensionerede i de trafiksvage timer. Dette synspunkt er i god tråd med den herskende økonomiske situation, hvor man næsten ensidigt interesserer sig for besparelser til eksisterende vejbelysning.

Synspunktet medfører imidlertid, at udgiften til indførelse af regulering ikke alene omfatter udstyrets pris, men også dets montering i eksisterende anlæg, samt at den eneste økonomiske gevinst er besparelsen til el.

I forbindelse med nyanlæg eller ombygninger af eksisterende anlæg må der være muligt at dimensionere belysningsanlægget lavere, og kompensere herfor ved at foretage opregulering i de trafikstærke timer. Udgiften til regulering bliver lavere, og der fremkommer yderligere en gevinst ved besparelser til belysningsanlægget.

Det erkendes dog, at der må forestå en udvikling, før regulering kan vinde et sådant integreret indpas i vejbelysning.

REFERENCER

1. Ministeriet for offentlige Arbejder  
Cirkulære om vejbelysning  
26. september 1979
2. Ministeriet for offentlige Arbejder  
Cirkulæreskrivelse om mulighederne for energibesparelser på  
vejbelysningsområdet  
26. september 1979
3. Vejdirektoratet  
Vejreglehæfte 9.20.01, Planlægning af vejbelysning  
August 1981
4. Vejdirektoratet  
Vejregelhæfte 9.20.02, Projektering af vejbelysning  
August 1981
5. L.Å. Nielsen m.fl.  
Redegørelse vedrørende reduceret nattebelysning  
Lysteknisk Laboratorium, notat nr. 131 (1980)
6. H. Ludvigsen & K.B. Andersen  
Trafikmæssige konsekvenser af reduceret vejbelysning  
Lysteknisk Laboratorium, notat nr. 143 (1980)
7. Erik Randrup Hansen  
Afprøvning af udstyr til regulering af vejbelysning. -  
Markedsundersøgelse og laboratoriemålinger  
Lysteknisk Laboratorium, notat nr. 174 (1982)
8. Finn Overgaard  
Afprøvning af udstyr til regulering af vejbelysning  
Lysteknisk Laboratorium, notat nr. 186 (1983)
9. H. Ludvigsen m.fl.  
Natreduktion af vejbelysning og trafiksikkerhed  
Lysteknisk Laboratorium, notat nr. 191 (1983)
10. J. van Os  
Public lighting and experiences with dimming  
International Lighting Review No. 2 (1983)



BILAGKommentarer fra leverandører

Bilaget giver de indkomne kommentarer i deres fulde ordlyd. Kommentarerne har ikke anledning til ændringer i rapporten, udover den i brevet fra Rode & Rode El ApS af 10.4.1984 omtalte ændring side 33, samt den i brevet fra Erik Westerberg A/S af 16.4.1984 omtalte ombytning af figurtekster og rettelse af priser på Spar transformere.

Indhold

|  | <u>Side</u> |
|--|-------------|
| Rode & Rode El ApS, 10.4.1984 .....                          | 88          |
| Rode & Rode El ApS, 11.5.1984 .....                          | 89          |
| Skandinavisk Belysningsteknik A/S , Danatech, 30.4.1984 .... | 90          |
| Erik Westerberg A/S, 16.4.1984 .....                         | 91          |
| Elstrom Control System AG, 14.5.1984 .....                   | 92          |





11. APR 1984

**RODE & RODE EL ApS**

Lysteknisk Laboratorium  
Bygning 325  
Lundtoftevej 100  
2800 Lyngby

☎ (01) \*11 01 71  
TELEX 16 539 el roro dk  
POSTGIRO (postal account) 2 28 69 20  
ApS reg. nr. 20.541  
RÅDHUSPLADSEN 4  
1550 KØBENHAVN V  
DK-1550 COPENHAGEN V

10.4.1984 - GR/AP

Att. Hr. Finn Overgaard/Kai Sørensen

Vedr.: Regulering af vejbelysning

Tak for Deres rapport af 29.3.1984, som vi må komplimentere Dem for, og som blev videresendt til BAG Turgi.

Vi vil gerne anføre følgende kommentarer:

Side 33

Da der er et nært samarbejde mellem AEG og BAG Turgi, kan vi bekræfte, at reguleringssystemet både i virkemåde og udseende er identisk. Da BAG fabrikere reguleringssystemet, ville det schweiziske firma være glad for, om Lysteknisk Laboratoriums kommentarer om AEG i alle tilfælde også bliver anført under BAG Turgi, også fordi LL's bemærkninger til BAG's anlæg i resten af rapporten er yderst sparsomme.

Side 69

BAG mener, at der i stedet for ca. 12 % under rubrikken "Effektbesparelse på årsbasis" retteligt og realistisk burde stå 14 %, hvilket også svarer til BAG's erfaringer, idet der ellers ingen logik ville være mellem de to sidste rubrikkers procentsatser i hele opstillingen.

Uafhængigt af Deres rapport kan vi blot til orientering meddele, at den vesttyske by Mainz netop hos BAG har bestilt reguleringseinheder til byens vejnet, således at man monterer en enhed (induktionsdrossel) til under Sfr. 15,00 plus montageomkostninger pr. armatur på en sådan måde, at 250 Watt vejarmaturerne bliver nedreguleret til 125 Watt uden yderligere dæmpning.

Den individuelle regulering af vejbelysningerne er efter BAG's erfaringer langt den mest hensigtsmæssige og økonomiske. Mange kommuner går væk fra at nedregulere belysningerne ud for f.eks. juvelerforretninger, banker, fodgængerovergange, vejkryds etc., og dette kan nemmest gøres ved individuel regulering.

Vi vil være taknemmelige for at modtage Deres endelige rapport in duplo til sin tid.

Med venlig hilsen  
RODE & RODE EL ApS



# RODE & RODE EL ApS

---

Lysteknisk Laboratorium  
Bygning 325  
Lundtoftevej 100  
2800 Lyngby

☎ (01) 44 01 71  
TELEX 16 539 el roro dk  
POSTGIRO (postal account) 2 28 69 20  
ApS reg. nr. 20541  
RÅDHUSPLADSEN 4  
1550 KØBENHAVN V  
DK 1550 KØBENHAVN V

11.5.1984 - GR/AP

## Vedr.: Regulering af vejbelysning

Vi har med stor interesse studeret Deres fortryk til den endelige rapport om regulering af vejbelysning og har videregivet Deres tekst til vort schweiziske firma BAG Turgi, som p.g.a. sin førende stilling inden for produktion af tændingsenheder har et godt indblik i vejbelysningsregulering.

BAG vil gerne knytte følgende kommentarer til rapporten og anfører, at firmaet efter kundeønsker har konstrueret en såkaldt speciel "Zusatz-impedanzdrossel".

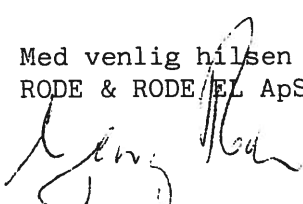
Under vort nylige besøg hos Dem overlod BAG Lysteknisk Laboratorium en avisartikel, som giver en hel del detaljer over denne drosselspole, som reducerer armaturets Wattage til ønsket niveau uden mulig opregulering.

En sådan armaturkonstruktionsændring kan gennemføres ved kviksvølvhøjtrykslamper og natriumhøjtrykslamper og byder på et alternativ til den lysregulering, der er nævnt i Lysteknisk Laboratoriums rapport. BAG's alternativ byder dog på væsentlige økonomiske fordele.

Nedreguleringen er mulig ved HGL 80 til 50 Watt, 125 til 80 Watt, 250 til 125 Watt, og 400 til 250 Watt, og for NaH 70 til 50, 150 til 90 Watt, 250 til 125 Watt, og 400 til 250 Watt. Ombygningsenheden ligger i størrelsesorden Sfr. 16,00 pr. stk.

Vi håber, at disse oplysninger kan have interesse for Dem.

Med venlig hilsen  
RODE & RODE EL ApS

  
Georg Rode



Lysteknisk Laboratorium  
Bygning 325,  
Lundtoftevej 100,  
2800 Lyngby

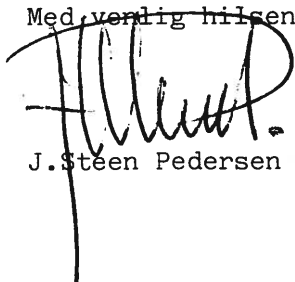
02. MAJ 1984

Havdrup d. 30.april 1984

Vedr.: Regulering af vejbelysning.

Beklageligvis har det ikke været os muligt, den korte frist taget i betragtning, at fremsende nødvendige kommentarer til rapporten. Dette er så meget mere beklageligt da vi mener at have en række værdifulde bemærkninger som kunne komplettere rapporten.

Med venlig hilsen

A handwritten signature in black ink, appearing to read "J. Steen Pedersen". The signature is written in a cursive style with a long vertical line extending downwards from the end.

J. Steen Pedersen





TRANSFORMERVEJ 21-23 . DK-2730 HERLEV

# Erik Westerberg A/S

Lysteknisk Laboratorium  
Bygning 325  
Lundtoftevej 100  
2800 Lyngby

TELEFON (02) 91 90 00  
PHONE INT. + 45 2 91 90 00  
TELEGRAM: WESTEREXPORT  
TELEX: 35233  
GIRO: 5 08 54 89  
A/S REG. NR. 35121  
COMPANY REGISTRATION NO. 35121  
BANK: DEN DANSKE BANK

DERES REF.: FO/KS/TS  
YOUR REF.:

VOR REF.: HR/KMB  
OUR REF.:

DATO: 16. april 1984  
DATE:

17. APR 1984

## LTL-rapport nr. 35

Vi har to kommentarer til rapporten:

### Side 63:

Teksterne til billederne øverst på siden er byttet om.

### Side 75:

Priserne på Spartransformerne er ca. 9.000,- til 17.000,- kr.  
Udgiften pr. lampe kan derfor blive lav, ca. 110,- til ca. 50,-  
pr. lampe.

Med venlig hilsen  
ERIK WESTERBERG A/S

  
Heini Rubeksen







# Elstrom Control System AG

CH-9427 Wolfhalden/Switzerland Telefon 071-91 33 33 Telex 71560 elhei ch

## COMMENT ON THE REPORT OF THE "LYSTEKNISK LABORATORIUM NR.35"

We are grateful to the Institute for the measurements made on the possibilities to dim lamps for street lighting.

The regulators which we sent to the laboratorium to undergo the tests were four, which were measured at a reduction stage of 50% of nominal brightness. We feel it important to state that our regulating devices can regulate NaH lamps of 1000 W, 400 and 250 W down to 10% and 150 W lamps down to 20%. This is confirmed by the tests of Prof. Dr.-Ing. J. Krochmann whose report we attach to this reply.

It is evident that the use of an additional ballast with one reduction stage is an economic solution, but we feel that the fact that we are able to regulate gradually at whatever stage is an advantage. Two or more reduction stages cannot be realized with the wire tap solution, because at each reduction stage there must be installed a separate cable.

Furthermore, it should be noted that we are able to deliver systems whereby a number of lamps can be connected, up to a total consumption of 25,5 A (5,6 KVA). In case of mains failure, and after restoring the mains, the lamps are automatically starting at the brightness as set before. This applies for lamps which are not compensated.

ELSTROM CONTROL SYSTEM is also delivering block regulators for compensated lamps. Due to the reduced current, it is possible to increase the numbers of lamps to 80%. This system is particularly prepared for the installation into existing lighting systems, as there is no need for a special cable to connect the lamps with our regulators.

Due to the said characteristics, our system is especially indicated for the regulation of road tunnels, where the brightness values are given as a result of different criteria and then chosen out of 20 different brightness stages. As a reference, may we indicate the highway in Berlin "Schlangenhader-Tunnel", where NaH 250 W lamps are regulated down to 10% during night time.

We are ready to have a block unit tested by your institute.

Wolfhalden, 14th May 1984  
WBVH-mb

ELSTROM CONTROL SYSTEM LTD

