

LED for vei- og gatebelysning

Jørgen Anker-Rasch Heide

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2011
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Oppgavetekst

Hvite LED som er kraftige nok til belysningsbruk, har ikke vært på markedet veldig lenge. De produktene som har vært utviklet så langt, har først og fremst vært til innendørs belysning, altså som erstatninger for glødelamper og lysrør. Først de aller siste årene har utviklingen av hvite LED kommet så langt at de kan brukes til mer krevende oppgaver, som for eksempel vei- og gatebelysning.

LED har en del egenskaper som kan være nyttige for vei- og gatebelysningsanleggene, men det er knyttet stor usikkerhet til mange av dem. Det er derfor usikkert om de egner seg til dette formålet og om de i så fall kan konkurrere med damplampene som brukes i dagens vei- og gatebelysningsanlegg.

NTNU har et testanlegg bestående av elleve lysmaster plassert i sydenden av Høyskoleringen. Dette anlegget er idag utstyrt med damplampearmaturer av typen Philips Iridium og 150 W høytrykknatriumlamper. Det er planlagt at deler av anlegget skal skiftes ut med ulike typer LED-armaturer.

Kandidaten skal:

- Undersøke noen av de elektriske og lystekniske egenskapene til de utvalgte LED-armaturene og damplampearmaturrene, både i lab og i testanlegget.
- Sammenligne måledataene til LED-armaturene og damplampearmaturrene med det produsentene oppgir og med hverandre, for å se om LED er egnet til vei- og gatebelysning.
- Undersøke hva folk synes om vei- og gatebelysningen i testanlegget, og se om det er noen forskjeller i synspunktene før og etter utskiftningen til LED-armaturer.

Oppgaven gitt: 17. januar 2011
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen

Forord

Denne rapporten omhandler masteroppgaven ”LED for vei- og gatebelysning” og er en fortsettelse på fordypningsprosjektet mitt fra høsten 2010. Problemstillingen gikk ut på å finne ut av om LED egner seg til vei- og gatebelysning og ved å undersøke noen av egenskapene til utvalgte LED-armaturer. I den forbindelse ble det utført ulike målinger. Det ble også satt i gang et par spørreundersøkelser for å finne ut hva folk mener om vei- og gatebelysning.

Denne rapporten er utarbeidet våren 2011 ved Institutt for elkraftteknikk, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet. Veileder: Eilif Hugo Hansen. Fagkode: TET 4900.

Arbeidet gikk for det meste greit, men noen problemer dukket opp underveis. Det var blant annet vanskelig å få tak i korrekte data for egenskapene til noen av testobjektene. Det var også problemer med å få inn svar på spørreundersøkelsene. Noen av de planlagte målingene ble dessuten forhindret eller forvansket av været.

Så her er det: Resultatet av fem års høyere utdanning ved NTNU. Det har vært en lang og slitsom, men også i høyeste grad interessant og ikke minst lærerik prosess.

Jeg vil gjerne få takke følgende personer:

Førsteamanuensis og veileder Eilif Hugo Hansen, for fremragende veiledning, målehjelp, undervisning, organisering, innspill og mye mer.

Doktorgradsstipendiat Pål Johannes Larsen, for fremskaffing av data, tilbakemeldinger, hjelp med databehandling og diverse annen hjelp.

Avdelingsingeniørene Bård Almås og Thor Lohse ved instituttets servicelab, for fremskaffing av og hjelp med måleutstyr med mer.

Johannes Aicher ved Siteco, for fremskaffing av og hjelp med LED-armaturer.

Roger Torp og Henning Bødtker ved Philips, for fremskaffing av og hjelp med LED-armaturer.

Bravida AS og deres montører, for monteringen av LED-armaturene i testanlegget.

Per Ole Wanvik og Thor Bjarne Nygård i Statens vegvesen, for diverse hjelp.

Medstudent Esten Øyen Fremmegaard, for lån av bil ved flere anledninger.

Medstudent Skjold Hogne Haugstad, for diverse hjelp.

De få personene som svarte på spørreundersøkelsene mine.

Jeg vil også takke alle andre personer som har bidratt med hjelp og støtte i forbindelse med masteroppgaven min og masterstudiet mitt.

Trondheim, 3. juni 2011

Jørgen Anker-Rasch Heide

Sammendrag

Denne masteroppgaven har som formål å finne ut av om LED er egnet til vei- og gatebelysning. Analysen baserer seg på ulike målinger gjort i laboratorium og på testanlegget til NTNU, samt to spørreundersøkelser. Det er gjort flere typer målinger for å undersøke de lystekniske og de elektriske egenskapene til testobjektene.

Følgende er blitt utført:

- Måling av lysfluks og effektforbruk, og beregning av lysutbytte.
- Måling av tredjeharmoniske strømmer.
- Måling av belysningsstyrke i et utvalgt målefelt i testanlegget.
- Måling av luminans og luminansjevnhet i testanlegget, ved ulike føreforhold.
- Måling av fargeforandringen til ulike fargeprøver med ulike lyskilder.
- Måling av fargeforskyvning ved dimming av LED og høytrykknatrium.
- Spørreundersøkelse om hva folk synes om testanlegget før og etter utskifting.
- Spørreundersøkelse om subjektiv fargeoppfattelse med LED og damplamper.

Testobjekter:

- Philips SpeedStar BGP323, LED-armatur.
- Siteco SL 10 MIDI, LED-armatur. (Demonstrasjonsarmaturer, ikke representative)
- Philips Iridium SGS253, damplampearmatur.
- Ulike 150 W damplamper og ulike damplampeforkoblinger.

Med bakgrunn i målingene kan det trekkes følgende konklusjoner:

- Dataene disse produsentene oppgir for de målte verdiene, er korrekte.
- SpeedStararmaturene har bedre lysutbytte og lavere effektforbruk, men mindre lysfluks, enn Iridiumarmaturene med 150 W høytrykknatriumlamper.
- Belysningsstyrken i målefeltet er høyere med LED-armaturene enn den var med damplampearmaturene.
- Luminansen og belysningsstyrken fra SpeedStararmaturene er god nok til å oppfylle kravene definert i noen av belysningsklassene i veilysnormalene.
- SpeedStararmaturene har trolig litt dårligere belysningsjevnhet enn Iridiumarmaturene.
- SpeedStararmaturene gir generelt mye mindre fargeforskyvning enn damplampene.
- SpeedStararmaturene har ingen fargeforskyvning ved dimming mens Iridiumarmaturene har en knapt målbar forskyvning.

På grunn av meget få svar på begge spørreundersøkelsene, er følgende konklusjoner høyst usikre:

- Folk har ingen sterke meninger om vei- og gatebelysning.
- Hvitt gatelys er å foretrekke, men det gjør heller ikke noe om det er gult.
- LED-armaturene oppfattes som noe mer blendende enn damplampearmaturene.

Hovedkonklusjonen blir: LED er absolutt egnet til vei- og gatebelysning, men det er fremdeles noen småting som kan og bør forbedres. Hvorvidt LED er bedre eller dårligere enn dagens belysningsløsninger, er avhengig av hvilke egenskaper som er viktigst for belysningsanlegget i hvert enkelt tilfelle.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
2	Teori	3
2.1	LED - LysEmitterende Diode.....	3
2.1.1	Elektronets oppførsel i faste stoffer	3
2.1.2	Dioder.....	4
2.1.3	Hvordan lyset oppstår.....	5
2.1.4	Oppbygning av LED	6
2.1.5	Spektralfordeling	7
2.1.6	Historikk og utvikling	8
2.2	Integrerende kule	10
2.3	Veilys.....	11
2.3.1	Historikk.....	11
2.3.2	Standardisering av veilys	12
2.3.3	Det norske systemet for inndeling av veiklasser og belysningsklasser.....	13
2.4	Tredjeharmoniske strømmer.....	15
3	Oversikt over forsøksobjektene.....	17
3.1	Philips SpeedStar, LED-armatur	17
3.2	Siteco SL 10 MIDI, LED-armatur	19
3.3	Philips Iridium, damplampearmatur med forkobling	21
3.4	Osram VIALOX NAV-T, 150 W høytrykknatriumlampe	22
3.5	Damplampeforkoblinger.....	23
4	Målemetoder.....	25
4.1	Måling av lysfluks og lysutbytte	25
4.2	Måling av effektforbruk og tredjeharmoniske strømmer.....	27
4.2.1	Måling av effektforbruk med PQA	27
4.2.2	Måling av effektforbruk med PQA og oscilloskop	28
4.2.3	Måling av effektforbruk med wattmeter	28
4.2.4	Måling av effektforbruk med kilowattimeteller	29
4.2.5	Måling av tredjeharmoniske strømmer	29
4.3	Måling av belysningsstyrke	30
4.3.1	Kalibrering av Pocket-Luxmetret.....	30
4.3.2	Selve målingen	30
4.4	Måling av luminans og luminansjevnhet.....	32
4.5	Måling av fargeforskyvning	34
4.5.1	Måling av fargeforskyvning på fargeprøver.....	34

4.5.2	Måling av fargeforskyvning ved dimming	35
4.6	Spørreundersøkelse.....	36
4.6.1	Spørreundersøkelse om anlegget før og etter utskifting.....	36
4.6.2	Spørreundersøkelse om subjektiv fargeoppfattelse	36
5	Resultater.....	37
5.1	Lysfluks	37
5.1.1	Armaturer	37
5.1.2	Damplamper	38
5.2	Effektforbruk	40
5.2.1	Armaturer	40
5.2.2	Damplamper	42
5.3	Tredjeharmoniske strømmer.....	43
5.4	Beregning av lysutbytte	46
5.5	Belysningsstyrke.....	48
5.5.1	Veibane.....	48
5.5.2	Fortau	51
5.6	Luminans og luminansjevnhet.....	52
5.6.1	Philips Iridium med høytrykknatrium, isføre.....	52
5.6.2	Philips SpeedStar, snøføre.....	53
5.6.3	Philips SpeedStar, vått føre	54
5.6.4	Philips SpeedStar, tørt føre.....	55
5.6.5	Philips SpeedStar, langsgående luminansjevnhet	56
5.7	Fargeforskyvning	58
5.7.1	Fargeprøver	58
5.7.2	Dimming.....	60
5.8	Spørreundersøkelse.....	62
5.8.1	Anlegget før og etter utskifting til LED-armaturer	62
5.8.2	Subjektiv fargeoppfattelse.....	62
6	Diskusjon.....	63
6.1	Lysfluks, effektforbruk og lysutbytte	63
6.1.1	Philips SpeedStar.....	64
6.1.2	Siteco SL 10 MIDI	65
6.1.3	Philips Iridium og damplampene	65
6.1.4	Sammenligning, LED mot LED.....	66
6.1.5	Sammenligning, LED-armaturer mot damplampearmaturer	67
6.2	Tredjeharmoniske strømmer.....	68
6.3	Belysningsstyrke.....	69

6.3.1	Bakgrunn for målingene og valg av målefelt	69
6.3.2	Vurdering av målingene	70
6.4	Luminans og luminansjevnhet	71
6.4.1	Luminans i målefeltet	71
6.4.2	Langsgående luminansjevnhet	71
6.5	Fargeforskyvning	73
6.5.1	Fargeprøver	73
6.5.2	Dimming	73
6.6	Spørreundersøkelse	75
6.6.1	Anlegget før og etter utskifting til LED-armaturer	75
6.6.2	Subjektiv fargeoppfattelse	75
6.7	LED eller damplamper: Hva er best?	76
6.7.1	Lysfluks, effektforbruk og lysutbytte	76
6.7.2	Levetid	77
6.7.3	Farge og fargegjengivelse	77
6.7.4	Styring	77
6.7.5	Oppbygning	78
6.7.6	Fysiske egenskaper	78
6.7.7	Blending	79
6.7.8	Pris og kostnader	79
7	Konklusjon	81
8	Videre arbeid	83
	Bibliografi	85
	Vedleggsliste	87

1 Innledning

Vei- og gatebelysningen har som hovedformål å øke trafikksikkerheten for alle som beveger seg utendørs etter mørkets frembrudd. For å få til dette, stilles det en rekke krav til lyskildene, armaturene og lysmastene.

Et viktig krav er at lyskilden gir nok lys til det området den skal belyse. Videre kommer ulike parametere som innkjøps-, drifts- og vedlikeholdskostnader, levetid, effektforbruk, lysfarge, fargegjengivelse, mulighet for regulering, estetikk, blending, utforming, luminansjevnhet, overharmoniske forstyrrelser, samt en god del andre ting det må tas hensyn til når et belysningsanlegg av denne typen skal dimensjoneres og settes opp.

Gjennom historien har ulike lyskilder vært testet ut og brukt med vekslende hell. Per idag er det damplamper som er det desidert vanligste å bruke til vei- og gatebelysning. Disse lyskildene er blant de mest effektive som er utviklet, og på tross av en del begrensinger, er det så og si ingen andre lyskilder som kan matche dem når det gjelder vei- og gatebelysning.

Et av de siste tilskuddene til belysningsfamilien, de hvite lysdiodene (hvit LED), har hatt en formidabel utvikling de siste årene. Utviklingen har kommet så langt at det ser ut til at LED-ene er i ferd med å passere mange av dagens lyskilder på en del områder. I en verden med stadig økende befolkning og effektforbruk, er det mange som ser på LED som en ”mirakelmedisin”; den lyskilden som skal løse alle problemene knyttet til lys og effektbruk. Sannheten er som alltid litt mer komplisert, og spesielt når gjelder til vei- og gatebelysning.

Denne masteroppgaven tar for seg en del aspekter ved bruken av LED til vei- og gatebelysning. Formålet er å finne ut om LED egner seg til vei- og gatebelysning.

NTNU har et testanlegg i sydenden av Høyskoleringen. Testanlegget består av elleve lysmaster utstyrt med damplampearmaturer, med 150 W høytrykknatriumlamper. De fem nederste damplampearmaturrene i testanlegget skal erstattes med LED-armaturer.

I dette arbeidet skal noen av de elektriske og lystekniske egenskapene til utvalgte LED-armaturer undersøkes. Hensikten er å sammenligne de målte verdiene med det produsentene oppgir av data, og egenskapene til damplampearmaturrene og damplampene fra testanlegget. Det er foretatt målinger på begge armaturtypene.

Undersøkelsen av de elektriske egenskapene innbefatter kontrollerte laboratiemålinger av effektforbruk og tredjeharmoniske strømmer. Undersøkelsen av de lystekniske egenskapene er todelt; én laboratedel og én feltdel utført på testanlegget. Laboratiemålingene innbefatter måling av lysfluks og lysutbytte. Feltdålingene innbefatter måling av belysningsstyrken på veien, samt måling av luminans og luminansjevnhet ved ulike føreforhold. Det er også foretatt målinger av hvordan lyset fra høytrykknatrium og LED påvirker fargen til ulike fargeprøver og om dimming av armaturene medfører noen fargeforandring i lyset til de to lyskildene.

Som en del av problemstillingen, inneholder rapporten også et par spørreundersøkelser. Den ene dreier seg om hvordan folk oppfatter testanlegget før og etter utskifting til LED-armaturer. Den andre tar for seg subjektiv fargeoppfattelse, for å se om det er noen forskjeller på høytrykknatrium og LED i så måte.

2 Teori

Dette hovedkapitlet inneholder teori om lysdioder (LED), den integrerende kule (også kalt fotometerkule), veilyss og veilyssstandarder og tredjeharmoniske strømmer.

2.1 LED - LysEmitterende Diode

LED, lysemmitterende diode (eng: light emitting diode), eller ganske enkelt lysdiode, er som navnet tilsier en diode som er konstruert for å sende ut lys. En diode består av p-dopede og n-dopede halvledermaterialer, satt sammen til en pn-overgang. LED er bygget opp med grunnstoffer som gjør at båndgapene i dioden er i passe størrelse. Dette gjør at energien fra elektroner som rekombinerer til lavere energitilstander, sendes ut i form av fotoner i den synlige delen av EM-spektret.

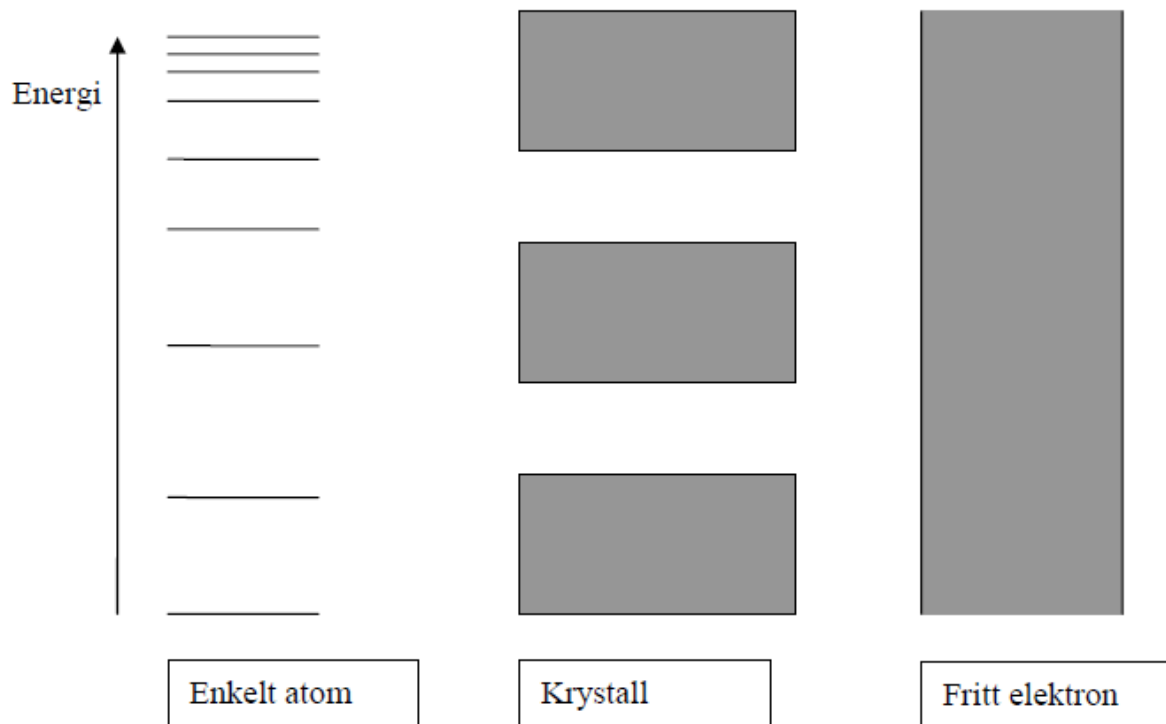


Figur 2.1 Elektrisk symbol for lysdiode

2.1.1 Elektronets oppførsel i faste stoffer

Hovedkilde for underkapittel 2.1.1: (TMT 4285 - Supplementsnotat til solcelledelen). Direkte sitering kan forekomme.

Alle atomer har elektroner. Elektroner som er bundet til en atomkjerne, kan kun innta gitte energitilstander. Disse energitilstandene er diskret fordelt. I fri tilstand kan elektroner innta alle energitilstander. Se Figur 2.2.



Figur 2.2 Energitilstandene til elektroner

Visse typer stoffer er bygget opp i krystallinske strukturer. Det vil si at materialet er translasjonssymmetrisk på atomært nivå. Sagt på en annen måte betyr dette at en feilfri krystall (uten urenheter) vil se lik ut i alle retninger uansett hvor i krystallen en befinner seg, med unntak av overflatene. Denne oppbygningen gjør at energitilstandene til enkeltatomene overlapper hverandre og danner såkalte energibånd, se Figur 2.2. Energibåndene er et sett med felles energitilstander, tilgjengelig for atomenes ytre (valens-) elektroner. Det ytterste energibåndet som er helt fullt av elektroner kalles valensbåndet. Båndet umiddelbart over dette kalles lederbåndet. Den utilgjengelige tilstanden mellom valensbåndet og lederbåndet kalles båndgap. Størrelsen på båndgapet varierer fra stoff til stoff.

Når et atom tilføres energi, vil det varmes opp. Hvis atomet blir tilstrekkelig varmt, vil et eller flere av dets elektroner kunne eksiteres. Eksitasjon betyr at elektronet hopper fra valensbåndet til lederbåndet. (Dette er ikke det samme som ionisering, da ionisering betyr at elektronet slites helt løs fra atomkjernen.) De ledige plassene i valensbåndet kalles hull.

Når elektroner eksiteres slik at hull oppstår, kalles det generasjon. Når elektronene faller tilbake i hullene igjen, kalles det rekombinasjon. Dette kan skje på to måter; direkte eller indirekte.

Ved direkte generasjon/rekombinasjon, hopper elektronene direkte mellom valens- og lederbåndet. Ved indirekte generasjon/rekombinasjon, benytter elektronet seg av såkalte gap-tilstander i krystallene. Dette er energinivåer i båndgapene. Disse energinivåene er normalt ikke tilgjengelige for elektronene, men forårsakes av forurensninger, defekter i krystallstrukturen eller multikrystallinitet (ulike typer krystaloppbygging). Slike tilstander vil alltid forekomme i større eller mindre grad i en krystall.

Når et atom påtrykkes et elektrisk felt, vil feltet forsøke å øke elektronenes kinetiske energi. I et fullt energibånd vil ikke elektronene kunne innta en høyere energitilstand. Dermed vil de heller ikke kunne lede strøm. Atomer som har elektroner i lederbåndet vil derimot kunne lede strøm, fordi lederbåndet har ledige energitilstander som elektronene kan innta. Hvis et elektron har blitt eksitert, vil de resterende elektronene i valensbåndet kunne innta de hullene de eksiterte elektronene har etterlatt. Dermed vil også disse elektronene kunne lede strøm.

Forskjellen mellom metaller og isolatorer, er at metaller har elektroner i lederbåndet ved 0 K, mens isolatorer ikke har det. 0 K betegnes som grunntilstanden, det vil si der energien er lavest mulig.

2.1.2 Dioder

Hovedkilde for underkapittel 2.1.2: (TMT 4285 - Supplementsnotat til solcelledelen). Direkte sitering kan forekomme.

Krystaller kan være både metalliske og isolatorer, avhengig av om de har elektroner i lederbåndet i grunntilstanden eller ikke. Noen materialer som i grunntilstand ikke har elektroner i lederbåndet, kan ved romtemperatur ha nok energi til at noen av elektronene eksiteres over båndgapet. Disse materialene kalles for halvledere. Når temperaturen øker, øker antallet elektroner som eksiteres over båndgapet. Dette vil igjen øke lederevnen til krystallen.

Halvledere som kun består av ett grunnstoff, eventuelt én type enhetscelle, kalles intrinsikke. Halvledere som er dopet, altså tilsatt andre stoffer, kalles ekstrinsikke.

For å øke lederevnen til krystaller, ønsker en å tilsette flere elektroner og flere hull. Dette gjøres ved kontrollert tilførsel av små mengder urenheter i krystallene. Gjerner ~ 7 størrelsesordner mindre enn det totale antallet atomer/enhetsceller i krystallen (typisk 10^{23}). Dette forandrer de fysiske egenskapene uten å ødelegge oppbygningen av krystallen.

N-doping, eller donordoping, tilfører ekstra elektroner. P-doping, eller akseptordoping, tilfører ekstra hull. Eksempel: Et av de vanligste stoffene å lage halvlederkrystaller av, er silisium (Si). Dette grunnstoffet befinner seg i fjerde hovedgruppe i periodesystemet og har dermed fire valenselektroner. Når silisium danner krystaller, deler atomene elektronene mellom seg, slik at valensbåndene fylles opp.

Ved n-doping tilføres vanligvis stoff fra femte hovedgruppe, altså stoff med fem valenselektroner. Dette fører til økt konsentrasjon av elektroner i krystallen. Ved p-doping tilfører en vanligvis stoff fra tredje hovedgruppe, altså stoff med tre valenselektroner. Dette fører til økt konsentrasjon av hull i krystallen. Summen av ladninger er fremdeles lik null i begge tilfellene.

Når en n-dopet krystall og en p-dopet krystall settes sammen, vil elektroner og hull i et område nær grensesjiktet diffundere over det, på grunn av konsentrasjonsgradienten. En slik sammensetning kalles en pn-overgang, og er den som er den faktiske dioden. Diffusjonen skjer bare i deler av krystallene. Dette kalles depleksjonslaget, fordi det "tømmes" (eng.: deplete) for frie ladningsbærere. Denne diffusjonen vil igjen føre til at det settes opp et elektrisk felt over grensesjiktet, da det blir overskudd av ladninger på begge sider. Det er dette feltet er det som gir dioden dens elektriske egenskaper, da feltet ekvivalerer en elektrisk motstand i den ene retningen (revers forspenning, de påtrykte elektronene prøver å gå fra p til n), men slipper strømmen igjennom den andre veien (forover forspenning, de påtrykte elektronene prøve å gå fra n til p).

Dersom feltet som påtrykkes i revers retning går over en hvis grense, vil dioden bryte sammen og lede strøm mot lederretningen. Dette kan føre til at dioden ødelegges, men noen dioder er laget for nettopp denne funksjonen. Dette kalles Zenerdioder og brukes blant annet i såkalte klippekretser. (Sedra & Smith, 2004, ss. 152-153, 167 og 184-187)

2.1.3 Hvordan lyset oppstår

Hovedkilde for underkapittel 2.1.3: (Sedra & Smith, 2004, s. 211) og (TMT 4285 - Supplementsnotat til solcelledelen). Direkte sitering kan forekomme.

Underkapittel 2.1.1 beskriver blant annet hvordan elektroner eksiteres fra valensbåndet, over båndgapet inn i lederbåndet når atomene tilføres energi. Dette er en dynamisk prosess; elektronene vil hele tiden hoppe frem og tilbake mellom båndene dersom de blir tilført energi.

Halvledere kan ha direkte eller indirekte båndgap. I halvledere med direkte båndgap (for eksempel GaAs), vil både direkte og indirekte generasjon/rekombinasjon kunne forekomme. I halvledere med indirekte båndgap (for eksempel Si) vil ikke en direkte prosess kunne foregå uten deltagelse av gittervibrasjoner (såkalte fononer). Dette minsker sannsynligheten for den direkte prosessen, hvilket gjør at den indirekte prosessen dominerer.

Når et elektron rekombinerer, vil det avgi den energien det fikk tilført da det ble eksitert. Avhengig av om halvlederen har direkte eller indirekte båndgap, vil energien bli avgitt som stråling i form av et foton eller til krystallgitteret i form av vibrasjoner. Av ovennevnte

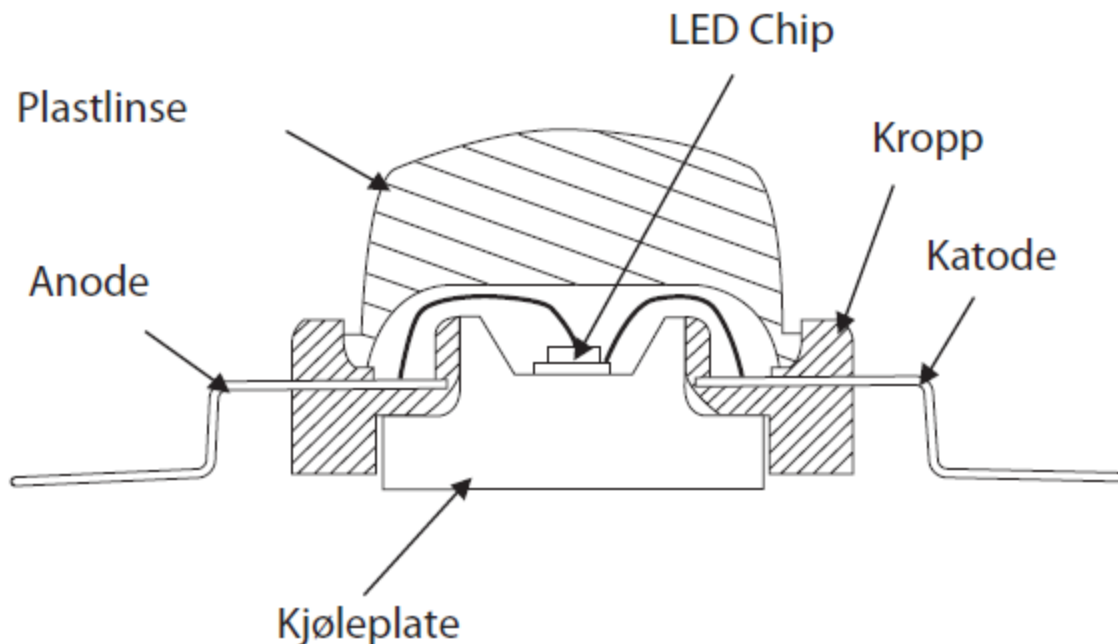
grunner, benyttes kun halvledermaterialer med direkte båndgap til LED. Det utsendte fotonets bølgelengde er gitt av følgende formel:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c \cdot h}{E_g} \quad (2.1)$$

λ er bølgelengden, c er lysfarten, f er frekvensen, h er Plancks konstant og E_g er energien som skal til for å komme over båndgapet.

Hvis en LED påtrykkes et ytre elektrisk felt i foroverretning, slik at det går elektrisk strøm gjennom den, vil tilførselen av energi sørge for en kontinuerlig generasjon-rekombinasjonprosess. Dette fører igjen til en kontinuerlig utsendelse av fotoner. Denne effekten kalles elektroluminescens. Mengden fotoner som sendes ut er proporsjonal med antallet rekombinasjoner, som igjen er avhengig av foroverstrømmen gjennom dioden.

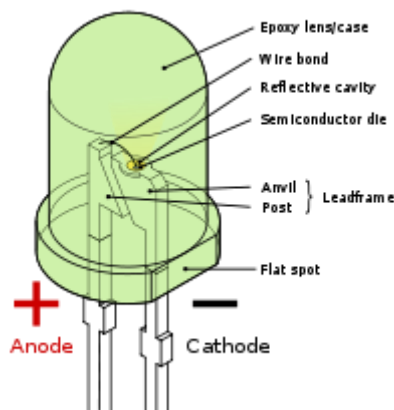
2.1.4 Oppbygning av LED



Figur 2.3 Tverrsnitt, lysdiode.

(Dansk Center for Lys for Elsparefonden i Danmark, 2009 (oversatt 2010), s. 6)

Selve pn-overgangen befinner seg i LED-chipen. P-siden kalles anode (+) og n-siden kalles katode (-). De er vanlig at katodelederen er kortere enn anodelederen og plastdekselet har et flatt punkt på katodesiden.



Figur 2.4 Oppbygning av lysdiode (Wikipedia)

2.1.5 Spektralfordeling

Hovedkilde for underkapittel 2.1.5: (Dansk Center for Lys for Elsparefonden i Danmark, 2009 (oversatt 2010)) og (Sedra & Smith, 2004, s. 211).

Siden bølglengden til lyset fra en LED er avhengig av båndgapet til stoffet LED-en er laget av, vil bølglengden kunne variere fra ultrafiolett til infrarødt. LED kan fås i bortimot alle monokromatiske farger. En kan for eksempel designe LED med koherent lys i en veldig smal båndbredde, såkalte laserdioder, som blant annet kan brukes til optisk kommunikasjon og i CD-spillere.

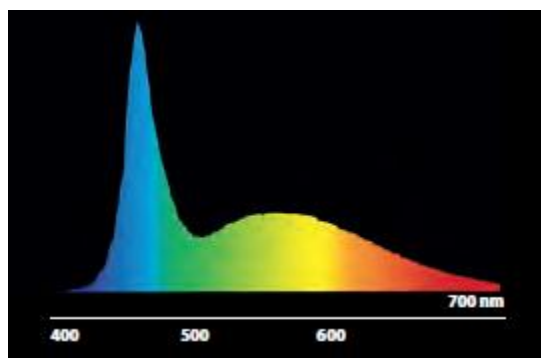
Det å lage hvitt lys har derimot bydd på problemer. Hvitt lys består av flere bølglengder, men siden dioder i utgangspunktet er monokromatiske, må en ty til alternative løsninger.

Den ene løsningen er å sette sammen dioder med ulike farger slik at summen av lyset blir hvitt; såkalt additiv fargeblanding. Ulempen med denne løsningen er at det skaper uheldige skyggeeffekter. Samtidig er det vanskelig å blande lyset riktig, hvilket går utover fargegjengivelsen. LED med ulik farge har dessuten ulik levetid og lystap, hvilket kan føre til fargeforvrengning gjennom livsløpet. Fordelene ved en slik løsning er høyere effektivitet enn de andre løsningene, samtidig som den gir muligheter for fargeskift.

Den andre løsningen er å dekke blå LED med et fosforlag (også kjent som lyspulver) som "oversetter" noe det blå lyset til andre deler av spekteret. Dette senker effektiviteten noe, men gir et jevnere spektrum, samtidig som flerfargede skygger unngås. Dimensjonene blir også mindre, siden det trengs færre dioder.

Den tredje løsningen er å kombinere de to ovenstående løsningene.

Det største problemet hvite LED har, er den såkalte blåforstyrrelsen. Dette innebærer at spekteret fra dioden har en topp i det blå området, se Figur 2.5. Det blå lyset spres lettere i atmosfæren enn andre farger. Dette kan derfor føre til økt lysforurensning der slike LED brukes. Forskning har vist at for mye blått lys over lang tid kan føre til øyeskader. Dette fordi blått lys har kortere bølglengde og dermed mer energi. Dette kan føre til kjemiske endringer i øyet. (Statens strålevern, 2010)



Figur 2.5 Spektralfordeling for hvit lysdiode.

Antallet fotoner som sendes ut av en LED er proporsjonalt med strømmen gjennom dioden. Bølgelengden til fotonene avhenger derimot kun av båndgapet. Det er altså båndgapet og lyspulveret som bestemmer lysfargen til en LED. Derfor vil en LED kunne dimmes så å si helt uten fargeforvrengning; et fenomen som oppstår ved dimming av de aller fleste andre lyskilder. For armaturer med ulike LED, vil det være et lite problem at menneskeøyet ikke er like følsomt for alle bølgelenger (V_{λ} -kurven). Derfor må de ulike fargene dimmes ulikt dersom totalfargen skal oppfattes likt.

Det bør ikke brukes monokromatisk lys til veily, da dette gir svært dårlig fargegjengivelse og dermed også dårlig kontrast. "Veldig hvitt" lys er heller ikke å foretrekke. Det blir mer og mer vanlig å krevne at fargetemperaturen skal ligge rundt 4 - 4 500 K. De fleste armaturene som ble levert tidligere, lå på 5 - 6 000 K, ganske enkelt fordi det var en mer energieffektiv løsning. Etter hvert som utviklingen har gått videre, har forskjellen mellom disse LED-typene avtatt og er per nå kun et par prosent. Derfor har ikke valget av LED-type lenger så mye å si for effektforbruket. Dermed kan fokuset flyttes til de andre egenskapene. (Larsen, 2010-11).

2.1.6 Historikk og utvikling

Hovedkilde for underkapittel 2.1.6: (Dansk Center for Lys for Elsparefonden i Danmark, 2009 (oversatt 2010)).

Lysdioden ble oppfunnet av General Electric i 1962, men det var HP og Monsanto som i 1968 kunne lansere de første røde lysdiodene på markedet. De første lysdiodene var svake og egnet seg derfor kun som indikatorlys. Først på 1980-tallet ble LED-ene så effektive at de kunne brukes til farget effektbelysning.

I 1993 kom det et gjennombrudd for de blå lysdiodene. Dette viste seg å være en avgjørende forutsetning for utviklingen av hvite dioder.

I 2006 oversteget LED 50 lm/W. Etter dette har det kommet stadig kraftigere dioder på markedet. Forskjellige fargetemperaturer har blitt utviklet og evnen fargegjengivelse har blitt forbedret. Det antas at dioder vil etter hvert vil utkonkurrere de fleste andre lyskilder, både med hensyn til styrke og effektivitet.

OLED, eller organisk LED, er en av de siste tilskuddene i LED-familien. OLED bruker organiske molekyler til å skape lyset. OLED har den fordelen at de er fleksible, transparente, meget tynne og veldig energieffektive. De er per nå særdeles dyre, men er i bruk blant annet i PC-skjermer og lignende, der liten tykkelse og lavt effektforbruk er viktig. Kommersielle OLED-armaturer forventes å ligge fire til fem år inn i fremtiden.

Når det gjelder LED til vei- og gatebelysning, er dette et relativt nytt fenomen, som det forskes en del på. Enn så lenge har det stort sett vært mindre aktører som har drevet utviklingen, men det ser nå ut til at produsenter som tradisjonelt har vært store i lysbransjen også har fått øynene opp for mulighetene til å bruke LED til dette formålet. (Larsen, 2010-11)

Det største problemet LED har hatt frem til nå, har vært lysstyrke og lysfarge. Veilys må være sterkt nok til at hindringer kan ses på langt nok hold. Samtidig må lyset kunne skape gode nok kontraster til at hindringene skiller seg ut fra bakgrunnen. Da hvite LED ble utviklet, forsvant mye av fargeproblematikken, men på grunn av strykeproblematikken har LED frem til nå vært mest aktuelt på steder hvor lysfarge har vært viktigst; det vil si mindre bygater, sykkel- og gangstier, parker og lignende.

Noen steder har det blitt satt i gang prøveprosjekter for å se hvordan LED fungerer i praksis, men det finnes allerede flere steder der LED har erstattet tradisjonell belysning i gater og parker. Det er også prosjekter der det testes hvordan LED kan brukes som ledelys uten annen vei- og gatebelysning, blant annet flere strekninger i Sverige og nye E6 ved Kolomoen. Den vanligste bruken av LED i forbindelse med veier og gater, er per idag som varsels- og signallys. (Larsen, 2010-11)

2.2 Integrerende kule

En integrerende kule, eller såkalt en fotometerkule, er et apparat som kan brukes til å måle den totale lysfluksen som kommer fra en lyskilde. Kulen må være stor nok til at lyskilden som skal måles får plass inni den, og til at detektoren kan avskjermes slik at lyset fra lyskilden ikke treffer den direkte. Lysfluks betegnes med Φ og måles i lumen, lm.

Kulen består av en fotosensor i den ene enden og en hjelpelampe i den andre enden. Fotosensoren har en plate foran seg, slik at lyset fra kilden ikke treffer sensoren direkte, men kun via refleksjonene i kulen. Kulen er dekket innvendig av et hvit belegg. (I dette tilfellet Bariumsulfat, BaSO_4 .) Det hvite belegget sørger for minst mulig tap når lyset fra kilden reflekteres mot fotosensoren.

For å kunne måle lysfluksen til en lyskilde, må det gjennomføres kalibreringsmålinger. Dette gjøres ved å henge opp en liten referanskilde med kjent lysfluks inne i kulen. Deretter leses den relative lysfluksen av på måleapparatet. Så henges testkilden opp og det gjøres det samme med den. Deretter kan testkildens lysfluks regnes ut med første del av formel (2.2).

Når lyset fra en lyskilde skal måles, må det også tas hensyn til testobjektets størrelse. Dette fordi noe av lyset vil bli blokkert av testobjektet selv. Dette gjøres ved å legge til den siste brøken i den påfølgende formelen.

$$\phi_x = \phi_n \cdot \frac{Av_x}{Av_n} \cdot \frac{Avh_n}{Avh_x} \quad (2.2)$$

Φ_x er den lysfluksen til testkilden. Φ_n er lysfluksen til referanselyskilden. Av_x er den relative lysfluksen til testkilden. Av_n er den relative lysfluksen til referanselyskilden. Avh_x er den relative lysfluksen til hjelpelampen når testkilden henger inni kulen. Avh_n er den relative lysfluksen til hjelpelampen når referanselyskilden henger inni kulen.

Avh_x og Avh_n måles med lyskildene slukket. Kun hjelpelampen skal være på. Av_x og Av_n skal måles uten hjelpelampen tent.



Figur 2.6 Fotometerkule

2.3 Veilys

Mennesket har godt utviklet dagsyn sammenlignet med mange andre arter. Vi ser skarpt og kan skille mellom ca. 10 millioner fargenyanser (Bjørset & Hansen, 2006, s. 64). Nattsynet vårt er derimot ganske dårlig, i forhold til nattsynet til mange andre arter. Vi er derfor avhengig av lys for å kunne utføre oppgaver og for å føle oss trygge. Dette har skapt et behov for å lyse opp områdene rundt oss.

2.3.1 Historikk

Hovedkilde for underkapittel 2.3.1: (O'Dea, 1958, ss. 93-104).

Gatelys er en ganske ”ny” oppfinnelse. Før 1400-tallet var det, med noen få unntak, ingen fast opplyste gater. I den grad det fantes gatelys, begrenset det seg stort sett til spesielle anledninger eller veikryss. En måtte ha med lyset selv, hvis en skulle ut etter at det var blitt mørkt.

Først utpå 1400-tallet kom de første forsøkene med faste gatelys. Formålet med gatelys var først og fremst å forebygge kriminalitet, samt å bedre forholdene for nattevaktene. I London ble hushold med verdi over £10 pålagt å sette ut lyskilder på natten mellom Allehelgensdag (1. november) og Kyndelsmesse (2. februar). Dette påbudet ble sporadisk håndhevet i 300 år, uten videre hell. Lignende påbud ble i samme tidsrom innført i Paris.

På midten av 1600-tallet begynte myndighetene å overta ansvaret for gatelysene. Ofte ble dette ansvaret solgt videre til private aktører. Tonnevis med stearinlys brant opp hvert år for å gi lys til innbyggerne, men fremdeles bare i de største byene, som London og Paris.

I 1805 ble de første gasslampene demonstrert i London i forbindelse med kongens fødselsdag. Dette satt fart i utviklingen, og snart hadde alle viktige byer, både i og utenfor England, gasslys. I 1858 ble det utviklet en langt bedre gassbrenner som ved kraftig forbedret regulering økte lysstyrken og senket gassforbruket betraktelig.

Rundt 1850 kom de første elektriske lampene. Dette var lysbuelamper drevet av batterier. Det første elektriske gatelysanlegget dukket opp i Paris rundt 1875 og bestod av lysbuelamper utviklet av russeren Pavel Yablochkov (alt. Jablochhoff). Disse var drevet av vekselstrøm og forbrukte dermed elektrodene likt. Mot slutten av 1800-tallet bestod gatelys i USA av denne typen lyskilder, gjerne montert på høye tårn (150-250 fot). På slutten av 1800-tallet begynte også Edison-lampen å dukke opp i gatelys.

Rundt 1932 utviklet britiske forskere kvikksølvdamplamper og natriumlamper. Disse ble raskt tilpasset og tatt i bruk i veibelysning. Disse var kraftige, men hadde dårlig fargegjengivelse og lite tilfredsstillende lys. Derfor ble det gjort forsøk med fluoriserende lamper like etter andre verdenskrig. Disse lampene tok senere over der farge og komfort var viktig.

De siste årene er det først og fremst fokuset på energisparing som har drevet forskningen og utviklingen av nye lyskilder videre. Dette har blant annet resultert i et ønske om bedre å kunne kontrollere lyset, hvilket har bidratt til utviklingen av nye styringsystemer for lysstyrke- og tidskontroll.

2.3.2 Standardisering av veily

Hovedkilder for underkapittel 2.3.2 og 2.3.3: (Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning, 2008), (Håndbok 017: Veg- og gateutforming, 2008) og (Bjørset & Hansen, 2006). Direkte sitering kan forekomme.

Som beskrevet i underkapittel 2.3.1, var de primære oppgavene til tidligere tiders vei- og gatebelysning å forhindre kriminalitet og å bedre komforten ved utendørs ferdsel etter mørkets frembrudd. Selv om disse faktorene fremdeles spiller viktige roller, er det økt trafiksikkerhet som er hovedformålet til dagens vei- og gatebelysningsanlegg. Erfaring viser at god belysning reduserer faren for alvorlige personskader betraktelig, spesielt for ”myke” trafikanter.

Følgende tre utdrag er hentet fra (Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning, 2008):

For motorkjøretøy er ulykkesrisikoen i mørket ca. 1,5 – 2 ganger så høy som i dagslys. Risikoen i mørket øker sterkere for unge førere enn andre aldersgrupper. Risikoen øker også mer for fotgjengere enn for personer som ferdes med motorkjøretøy.

Belysningen skal hjelpe førerne til å se:

- *vegkanten*
- *hindringer eller trafikanter i eller ved vegen*
- *vegens videre forløp*
- *foranliggende konfliktområder*

Belysningsanlegget skal ikke forstyrre eller villedde føreren, eller gjøre han trett. Belysningen bør heller ikke føre til høyere fart.

Forskning viser at på veier med en høy andel mørkeulykker kan et nytt belysningsanlegg senke antallet drepte med nesten 70 %.

For å oppnå det som omtales i sitatene over, må det tas hensyn til følgende faktorer:

Luminansnivå og luminansjevnhet. Jevn belysning øker sjansene for å oppdage hindringer i veibanen. Ujevn belysning er ubehagelig og forstyrrende, spesielt for eldre personer, siden evnen til å tilpasse seg skiftende lysforhold forringes med årene. Ved beregning av luminansjevnhet skiller det mellom langsgående jevnhet U_1 og total midlere jevnhet U_0 .

Belysning av veiens sideområder. Hensikten med dette er å lage en lys bakgrunn slik at objekter i veikanten, spesielt der veien svinger, skal synes. Det skal også bedre synligheten til hindringer som er på vei inn i veibanen. Bredden på det opplyste feltet skal være mellom en halv kjørebane og fem meter.

Kontraster. For at en hindring skal kunne oppdages, må luminansnivået til hindringen være forskjellig fra luminansnivået til bakgrunnen. Dette påvirkes av bakgrunnens og hindringens farge og lyshet og det må derfor tas hensyn til mange ulike kombinasjoner. Lys fra møtende kjøretøy vil også påvirke kontrasten, siden dette lyset øker bakgrunsluminansen.

Lysfarge. God fargegjengivelse øker sannsynligheten for å oppdage hindringer, siden det blir lettere å skille mellom bakgrunn og hindring når antallet synlige nyanser øker. Hvit lys har generelt best fargegjengivelse.

Blending. Dersom anlegget er feil utformet, vil lyset kunne blende bilførerene i større eller mindre grad. Våt veibane eller lys fra andre lyskilder langs veien kan også føre til blending. Økt belyningsnivå på veien reduserer virkningen av blendingen. Ved beregning av blending skilles det mellom ubehagsblending G og synsnedsettende blending TI.

Veidekker. Ulike veidekker og føreforhold stiller ulike krav til belysningen. Veidekket vil også slites over tid, hvilket kan påvirke både overflatestrukturen og fargen. Ulike dekktyper har i tillegg ulik virkning på veidekket. Sommerdekk og piggfrie dekk har en tendens til å jevne ut og ”polere” dekkeoverflaten, mens piggdekk og kjettinger river opp dekkeoverflaten.

Visuell føring. Lysanlegget bør utformes på en slik måte at veiens videre forløp synliggjøres. Dette kan være en utfordring dersom flere veier krysser hverandre eller ligger i nærheten av hverandre. Ledelys er et alternativ som gir bedre optisk føring i mørket, men de synliggjør ikke hindringer og bør derfor ikke brukes på sambruksveier.

I Norge finnes kravene til vei- og gatebelysningsanleggene i de såkalte veilysnormalene som utgis av Statens vegvesen. Dette er en samling publikasjoner som omfatter alle former for trafikkerte områder; fra tunneler, fergeleier og busslommer til parkeringsplasser og gang- og sykkelstier. Eksempler på disse publikasjonene er de ovennevnte håndbøkene, samt Håndbok 237: Veg og gatelys. Veilysnormalene bygger på internasjonale standarder som er tilpasset norske forhold.

Den europeiske standardiseringskomiteen CEN (Comité Européen de Normalisation) arbeider for å lage standarder som skal gjelde for alle de 31 medlemslandene (FAQ-siden, CEN). Det er ikke oppnådd full enighet om veibelysning, derfor foreligger deler av arbeidet foreløpig som en teknisk rapport og ikke en standard.

Utover det rent lystekniske, stilles det en rekke andre krav til belysningsanlegg. Et av kravene er den fysiske utformingen av lysarmaturene. De skal for eksempel kunne motstå ulike typer vanninntrengning, fra lett tåke til full spyling ved rengjøring. Motstandsdyktigheten kalles IP-grad og har sitt eget betegnelsessystem. Armaturene skal også være så godt avskjermet at kjørende ikke blir blendet av selve lyskilden inne i armaturen (Larsen, 2010-11). Andre eksempler på normer er den elektrotekniske delen, som blant annet inneholder standarder for jording, fordeling og systemspenning, og den sikkerhetsmessige delen, som blant annet inneholder standarder for fundamentering og kollisjonssikring av mastene. Veilysnormalene inneholder også ulike standardiserte beregningsmodeller.

I tillegg til CEN, har arbeidene til den internasjonale belysningskommisjonen CIE, Commission Internationale de l'Eclairage, mye å si for utformingen av veilysnormalene. I arbeidene til CIE finner en blant annet krav og metoder for bergning av blending, definisjoner av ulike typer veidekke og måle- og presentasjonsmetoder for armaturdata.

2.3.3 Det norske systemet for inndeling av veiklasser og belysningsklasser

Det norske veisystemet er delt inn i fire hovedklasser med underklasser:

- Stamveier S, med underklasser fra 1 til 9.
- Andre hovedveier H, med underklasser fra 1 til 2.
- Samleveier Sa, med underklasser fra 1 til 3.
- Adkomstveier A, med underklasser fra 1 til 3.

Denne klasseinndelingen sier blant annet noe om årsdøgntrafikken (ÅDT), fartsgrenser, kryssløsninger, dimensjonerende kjøretøy, veibredde og annet. Den sier også noe om veien bør ha lys eller ikke, men ikke direkte hvor sterkt lyset bør være. (For detaljer, se Håndbok 017: Veg- og gateutforming.) Belysningsbehovet vurderes i hvert enkelt tilfelle, men det de punktene som vektlegges mest er tilstedeværelsen av midtdeler og størrelsen på årsdøgntrafikken. (Wanvik, 2011)

Belysningsklassene i det norske veisystemet finnes i Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning. Belysningen er delt i tre hovedklasser med underklasser:

- MEW fra 1 til 5: For veier og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere.
- CE fra 0 til 5: For veier og gater med fartsgrense 30 km/t, samt for områder med korte synsavstander (for eksempel kryss) eller andre faktorer som gjør det umulig å benytte MEW-klassen.
- S: For gang- og sykkelveier.

MEW-klassene har en rekke spesifiserte krav, se Figur 2.7, og baserer seg på luminansberegninger av områdene der disse klassene skal brukes.

CE-klassene har kun krav til belysningsnivå og jevnhetskrav for tørt føre, se Figur 2.8. Disse klassene skal brukes i konfliktområder slik som komplekse kryss, rundkjøringer, områder med kø, ferjekaier og bomstasjoner. Dette er områder der luminansberegninger ikke kan gjennomføres.

Kravene til luminans og belysningsstyrke er gitt i driftsverdier, med en vedlikeholdsfaktor på 0,8.

Klasse	Luminans fra kjørebans vegdekke				Synsnedsettende blending	Belysning av omgivelsene
	Tørr tilstand			Våt tilstand		
	L_m i cd/m^2 (minimum opprettholdt nivå)	U_o (minimum)	U_1 (minimum)	$U_{ov}^{1)}$ (minimum)	TI i % (maksimum)	$SR^{3)}$ (minimum)
MEW1	2,0	0,4	0,6	0,15	10 ²⁾	0,5
MEW2	1,5	0,4	0,6	0,15	10 ²⁾	0,5
MEW3	1,0	0,4	0,6	0,15	15 ²⁾	0,5
MEW4	0,75	0,4		0,15	15	0,5
MEW5	0,5	0,35		0,15	15	0,5

1) Kravene gjelder dekketype W4. Ved evt. bruk av W3 for drenerende dekker er kravet $\geq 0,20$
2) Ved vanlige mørke omgivelser bør ca 2/3 av angitt TI-verdi ikke overskrides
3) Dette kriteriet benyttes kun der hvor det ikke er tilstøtende trafikkområder med egne krav

Figur 2.7 Tabell over MEW-klassene. Kilde: (Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning)

Klasse	Horisontal belysningsstyrke	
	E_m i lux (minimum opprettholdt)	U_o (minimum)
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Figur 2.8 Tabell over CE-klassene. Kilde: (Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning)

2.4 Tredjeharmoniske strømmer

Hovedkilde for underkapittel 2.4: (Jorde, 2001) Direkte sitering kan forekomme.

Overharmoniske forstyrrelser oppstår ved ulineære laster, for eksempel kraftelektronikk og reguleringsutstyr av typen likerettere, frekvensomformere og ulike typer belysningsutstyr. I tillegg kan krafttransformatorer, sveiseutstyr og motorer skape overharmoniske forstyrrelser.

Overharmoniske strømmer har en frekvens som er et multiplum av grunnfrekvensen. For fysiske laster vil dette være oddetalls multiplum, altså tredje-, femte-, sjuendeharmoniske og så videre. Siden grunnfrekvensen i Norge er 50 Hz, vil de overharmoniske frekvensene bli 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz og så videre.

I et TN-nett, nett med nøytralleder, der alle tre fasene har lik belastning uten overharmoniske strømmer av noe slag, vil det ikke gå strøm i nøytrallederen. Dersom fasene ikke har lik belastning, vil den driftsmessige usymmetriske strømmen gå i nøytrallederen.

Dersom lasten skaper tredjeharmoniske strømmer, vil disse strømmene gå i nøytrallederen uansett belastning. På grunn av frekvensen (150 Hz), vil de tredjeharmoniske strømmene fra de ulike lastene komme i samme fase og dermed overlage hverandre i nøytrallederen. Dersom andelen av tredjeharmoniske strømmer er stor nok, vil nøytrallederen kunne overopphetes dersom den ikke er riktig dimensjonert.

Andre feil store overharmoniske strømmer kan forårsake, er overoppheting av transformatorer på grunn av metning i kjernene, og havari i kondensatorer. I tillegg kommer feilutløsning av vern, forstyrrelser på kommunikasjonsutstyr og alarmanlegg og feil på elektronikk som følge av magnetfelt og interferens.

Dessverre kommer en ikke unna utstyr som lager overharmoniske forstyrrelser i dagens samfunn. Derfor må en vurdere om en skal installere filter eller rett og slett skille ut utsatte deler av nettet.

Dersom de tredjeharmoniske strømmene måles eller beregnes til over 33 % av den totale fasestrømmen med jevnt fordelt last, vil strømmen i nøytrallederen bli større enn strømmen i faselederne. Hvis det forventes at strømmen i nøytrallederen blir større enn strømmen i faselederen, vil bli nøytrallederen bli den dimensjonerende lederen. NEK 400 inneholder retningslinjer for hvordan dette skal beregnes.

3 Oversikt over forsøksobjektene

Det ble brukt en rekke måleinstrumenter i forbindelse med utarbeidelsen av denne masteroppgaven. En detaljert oversikt over disse instrumentene finnes i vedlegg 1.

3.1 Philips SpeedStar, LED-armatur

Modellbetegnelse: BGP323 GRN-1S/740 159W II DC AL SI DD1. Antall: 3.

Produktdata oppgitt fra produsent:

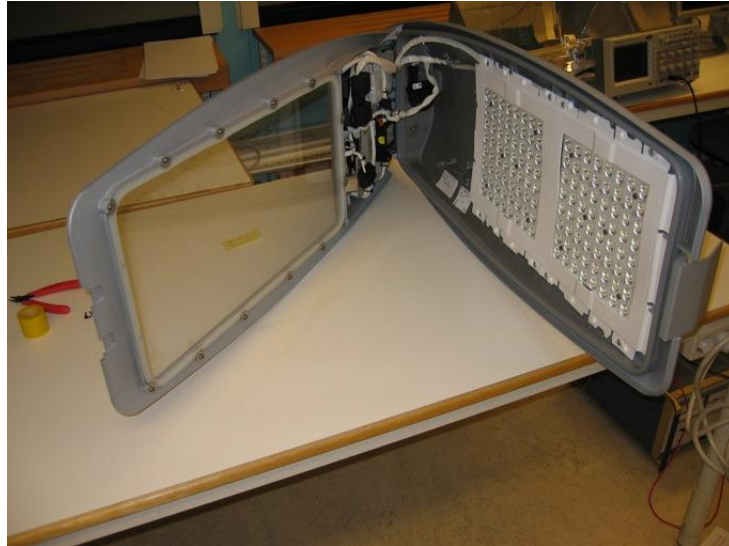
- Modellnavn: SpeedStar BGP323
- Lyskilde: GRN-1S (GreenLine 1. generasjon)
- Antall LED: 128
- Fargegjengivelse: 70
- Fargetemperatur: 4000 K (Nøytral hvit)
- Effektforbruk: 159 W
- Optikk: DC, Komfort.
- Lysfluks ved 100 %: Ukjent
- Armaturvirkningsgrad: 89 %
- Korrigert lysfluks: 10 608 lm
- Vekt: 17,9 kg
- Dimmbar: Ja, flere styringssystemer.
- For ytterligere detaljer, se databladet i vedlegg 2.

Philipsarmaturer kommer med mange forskjellige muligheter for styring, både fullautomatiske og manuelt overstyrbare løsninger. De tre SpeedStararmaturene som ble testet i dette forsøket, hadde styringssystemet ”Dynadimmer”. Dette systemet består av en automatisk styringsenhet som dimmer lyset etter et forhåndsdefinert program basert på tid.

Dynadimmerenhetene ble ikke benyttet i denne sammenhengen. Enhetene ble koblet fra og erstattet med 1-10 V manuell styring under lysfluks- og effektforbruksmålingene. Da armaturene ble montert i testanlegget, ble de koblet til de eksisterende lampekontrollerne.

Philipsarmaturene ble merket med nummer A039-09, A041-10 og A349-11. A for ”armaturnummer”. De tre første sifrene er armaturenes kontrollnummer fra Philips, mens de to siste sifrene er armaturenes plassering i testanlegget. I resultatene og de tilhørende vedleggene er de referert til enten med dette nummeret, eller med ”Philips nr X”.

Dersom det er en generell referanse til disse armaturene i teksten, blir de betegnet som ”SpeedStararmaturene”. Dette fordi damplampearmaturene også er produsert av Philips.



Figur 3.1 Philips SpeedStar, åpen



Figur 3.2 Philips LED-panel



Figur 3.3 Philips LED-driver



Figur 3.4 Philips SpeedStar montert på mast

3.2 Siteco SL 10 MIDI, LED-armatur

Modellbetegnelse: STREETLIGHT 10 MIDI (5XA582 8-CNA08). Antall: 2.

Produktdata oppgitt fra produsent:

- Modellnavn: Streetlight 10 MIDI Plus
- Lyskilde: Varierer fra produksjonsserie til produksjonsserie
- Antall LED: 64
- Fargegjengivelse: 70
- Fargetemperatur: Nøytral hvit
- Effektforbruk: 111 W ved 0 timer. 159 W ved 50 000 timer
- Optikk: Multi Zone facettet Optic.
- Lysfluks ved 100 %: 8800 lm
- Armaturvirkningsgrad: 100 % (Definisjonsspørsmål)
- Korrigert lysfluks: 8800 lm
- Vekt: 11,5 kg
- Dimmbar: Ja. Krever Sitecos serviceboks.
- For ytterligere detaljer, se databladet i vedlegg 3 side 2.

Sitecoarmaturene kommer med et automatisk ”konstantlumensystem” som sørger for at lysfluksen holder seg konstant gjennom hele levetiden. Dette gjøres ved at armaturen forbruker mer effekt dess flere timer den har vært i bruk.

Enkelte av Sitecos LED-armaturer kan dimmes. Om de kan dimmes, og i så fall hvordan, er avhengig av modellen. MIDI Plus-versjonen som ble testet i dette forsøket kan dimmes 50-100 %. Felles for alle modellene per idag, er at de ikke benytter 1-10 V styresystem, men Sitecos eget system. Dette systemet krever en såkalt serviceboks. En slik serviceboks var ikke tilgjengelig da målingene ble gjennomført, derfor ble de to armaturene kun målt på full effekt.

Begge de to Sitecoarmaturene som ble testet, skal i følge produsenten være en såkalt NULL-serie som egentlig var beregnet på demonstrasjon og testing. Derfor vil måleresultatene avvike fra oppgitte data og ikke være representative for modellen.

Sitecoarmaturene ble merket på samme måte som SpeedStarmaturene, men de har ikke noe kontrollnummer fra produsenten. Derfor heter de A07 og A08, etter hvor det var tenkt at de skulle stå i testanlegget. (Av ulike årsaker var det til slutt kun A07 som ble montert på mast åtte.) I resultatene og de tilhørende vedleggene er armaturene referert til enten med dette nummeret eller med ”Siteco nr X”.

Dersom det er en generell referanse til disse armaturene i teksten, blir de betegnet som ”Sitecoarmaturene”.



Figur 3.5 Siteco SL 10 MIDI, underside



Figur 3.6 Siteco SL 10 MIDI, overside



Figur 3.7 Siteco SL 10 MIDI montert på mast

3.3 Philips Iridium, dampplampearmatur med forkobling

Modellbetegnelse: Philips Iridium SGS253 SON-T150W K II CR FG GR SND

Produktdata oppgitt fra produsent:

- Modellnavn: Iridium SGS253
- Lyskilde: Valgfri. (I dette tilfellet NaH-T 150 W)
- Antall lyskilder: 1
- Fargegjengivelse: Avhengig av lyskilde. Se underkapittel 3.4.
- Fargetemperatur: Avhengig av lyskilde
- Effektforbruk: Avhengig av lyskilde
- Optikk: Åpen reflektor for labarmatur. (Figur 3.8)
Lukket reflektor for armaturene i testanlegget.
- Lysfluks ved 100 %: Avhengig av lyskilde
- Armaturvirkningsgrad: 78 %
- Korrigert lysfluks: Avhengig av lyskilde
- Vekt: 10,3 kg
- Dimmbar: Ja, men avhengig av forkobling og lyskilde.
- Forkobling: HID-Dynavision Electronic Ballast
HID-DV 150/S SON 1-10V
- For ytterligere detaljer, se databladet i vedlegg 4.

Det er to typer reflektorer som står i denne armaturen. Armaturen omtalt som ”labarmaturen” har åpen reflektor, mens armaturene i testanlegget har lukket reflektor. Det er en liten forskjell på utformingen til de to reflektorene, men det er usikkert hvor mye dette har å si for armaturvirkningsgraden. Det er kun labarmaturen som ble målt i laboratoriet.

Dersom det er en generell referanse til disse armaturene i teksten, blir de betegnet som ”Iridiumarmaturene”.



Figur 3.8 Philips Iridium, lokk åpent



Figur 3.9 Philips Iridium, lokk lukket

3.4 Osram VIALOX NAV-T, 150 W høytrykknatriumlampe

For referanse, ble lyskildene målt uten armatur. Lyskildene ble målt med tre forskjellige forkoblinger, se underkapittel 3.5.

Osram VIALOX NAV-T 150 W standard (til venstre på Figur 3.10)

- Lysfluks: 15000 lm
- Effekt: 149,5 W
- Lysutbytte: 100 lm/W
- Fargetemperatur: 2000 K
- Fargegjengivelse: 17
- For ytterligere detaljer, se databladet i vedlegg 5.
- To lyskilder, begge kun brukt i laboratorieforsøk. Den ene kommer fra rom E-320 (omtalt som ”lab oppe” i resultatene), den andre kommer fra rom A-0055 (omtalt som ”lab nede”). Den totale brukstiden til lyskildene er ukjent, men det er mest sannsynlig ikke mange timene.

Osram VIALOX NAV-T 150 W SUPER 4Y (til høyre på Figur 3.10)

- Lysfluks: 17500 lm
- Effekt: 157,33 W
- Lysutbytte: 116 lm/W (111 lm/W beregnet)
- Fargetemperatur: 2000 K
- Fargegjengivelse: 18
- For ytterligere detaljer, se databladet i vedlegg 6.
- Denne lyskilden ble brukt i testanlegget tidligere, frem til armaturene ble byttet ut. (Omtalt som ”a10” i resultatene, siden lyskilden stod i armatur nummer 10.)
Brukstiden er ukjent.



Figur 3.10 Osram VIALOX NAV-T 150 W

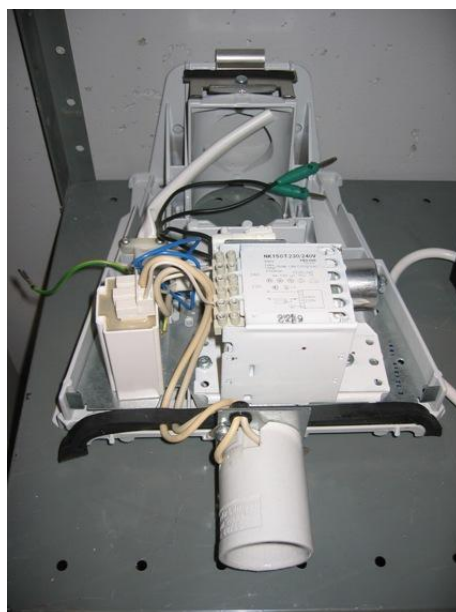
3.5 Damplampeforkoblinger



Figur 3.11 Philips HID-Dynavision elektronisk forkobling



Figur 3.12 Selc 2000 HID elektronisk forkobling



Figur 3.13 Helvar konvensjonell forkobling

4 Målemetoder

4.1 Måling av lysfluks og lysutbytte

Lysfluksmålingene ble utført i Lyslaboratoriet, rom A-0055, Elektrobygget, NTNU avd. Gløshaugen.

Følgende ble målt:

- Den totale lysfluksen fra hver av de tre SpeedStararmaturene, med 1-10 V dimming.
- Den totale lysfluksen fra hver av de to Sitecoarmaturene.
- Lysfluksen fra en Iridiumarmatur med Philips HID-DV-forkobling og en NaH 150 W lyskilde.
- Lysfluksen fra tre NaH 150 W lyskilder (to standard og en Super 4Y) uten armatur, med to ulike elektroniske forkoblinger.
- Lysfluksen fra en NaH 150 W (Super 4Y) lyskilde uten armatur, med konvensjonell forkobling.
- Lysutbyttet ble beregnet med bakgrunn i disse målingene og effektforbruksmålingene omtalt i underkapittel 4.2.

SpeedStararmaturene ble målt på full styrke og med 1-10 V dimming, 1 V intervall. Dimmingen ble gjort ved å koble inn en variabel spenningskilde på styreklemmene til armaturen. Sitecoarmaturene ble kun målt på full styrke, fordi denne typen Sitecoarmaturer krever en spesiell serviceboks fra Siteco for å kunne styres. En slik boks var ikke tilgjengelig på det aktuelle tidspunktet. Iridiumarmaturen og de tre damplampene ble også kun målt på full styrke.

Måling av lysfluks ble utført ved hjelp av en integrerende kule, også kalt fotometerkule, med tilhørende fotometer og hjelpelampe. Målingene og de påfølgende beregningene ble utført slik det er beskrevet i underkapittel 2.2. Alle armaturene var såpass store at størrelsen deres påvirket målingene i betydelig grad. Det var derfor nødvendig å bruke hele formel (2.2) for å korrigere for armaturgeometrien og finne den absolutte lysfluksen. For å minske feilmarginen, ble hele formelen brukt også da damplampene ble målt alene.

Måleobjektene ble hengt opp i en heisevaier og heist opp slik at de hang mest mulig midt i kulen. Deretter ble de stabilisert med en hyssingbit, slik at de skulle henge med lysretningen vekk fra fotometersensoren. Hyssingen skulle også sørge for at de ikke snurret rundt. Strømledningen ble ført ned fra toppen av kulen sammen med heisevaieren. Det antas at verken heiseveieren, ledningen eller hyssingen hadde nevneverdig innvirkning på måleresultatene. LED-armaturene hang loddrett, mens damplampene og Iridiumarmaturen hang vannrett. Det antas at denne forskjellen ikke hadde noe å si for målingene som sådan, siden lyset uansett ikke traff fotosensoren direkte.

Måleobjektene ble koblet til en 230 V spenningskilde med stiv spenning, for å hindre at eventuelle spenningsvariasjoner skulle påvirke målingene.

Det viste seg at lysfluksen til LED-armaturene avtok noe etter innkobling. Dette gjaldt for alle armaturene, men med ulik grad og varighet. Det ble derfor foretatt to avlesninger ved full styrke for hver armatur; en umiddelbart etter innkobling og en når lysfluksen hadde stabilisert seg. Damplampene ble avlest når lysfluksen hadde sluttet å stige.

En damplampe krever alltid forkoblingsutstyr for å lyse. For å kunne måle lysfluksen fra en damplampe uten armatur, må det benyttes en overgang. Overgangen består av et isolerende materiale med gjenger i den ene enden og to terminaler til ledninger i den andre. Denne overgangen skrues inn i armatursokkelen der lyskilden skulle sittede. Deretter føres ledninger fra terminalene til en ny sokkel inne i fotometerkule. Damplampen skrues så inn i denne sokkelen og fungerer ellers på vanlig måte. Se Figur 4.2 og Figur 4.3.



Figur 4.1 Elektriske komponenter til lysmålingen

Forklaring til Figur 4.1:

Nederst til venstre: Spenningskilde, referanselyskilde.

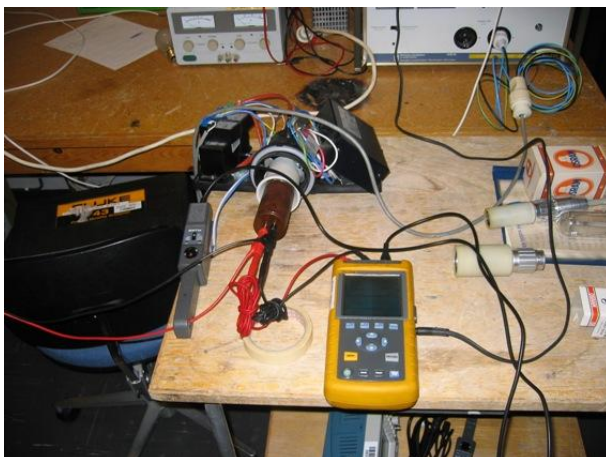
Øverst til venstre: Multimeter for strømmåling, referanselyskilde.

I midten: Måleshunt for strømmåling.

Øverst til høyre: Multimeter for spenningsmåling, referanselyskilde.

Nederst til høyre: Spenningskilde med stiv spenning, testobjekt.

Måleinstrumentene er der for å sikre at strømmen og spenningen til referanselyskilden er satt til merkeverdier. Hvis ikke vil det påvirke lysfluksen og ødelegge for målingene.



Figur 4.2 Overgang til damplampe



Figur 4.3 Måling av damplampe alene

Resultatene befinner seg i underkapittel 5.1 og 5.4, samt vedlegg 7.

4.2 Måling av effektforbruk og tredjeharmoniske strømmer

Alle målingene ble gjort med den samme stive 230 V spenningskilden som ved lysfluksmålingene. Målingene ble delvis utført i Lyslaboratoriet A-0055 og delvis i Lys- og elektroinstallasjonslaboratoriet E-320.

Følgende ble målt:

- Effektforbruket til LED-armaturene, driver og LED-panel samlet.
- Effektforbruket til Philipsforkoblingen og Helvarforkoblingen.
- Effektforbruket til damplampene alene, med alle tre forkoblingene.
- De tredjeharmoniske strømmene til alle LED-armaturene og damplampeforkoblingen fra Philips.

Målingene av effektforbruk ble utført på fire måter:

1. Med en Power Quality Analyser (Senere omtalt som PQA. Også kjent som Fluke-meter).
2. Kombinasjon av PQA og oscilloskop. (Kun for armaturene.)
3. Med et digitalt wattmeter. (Kun for SpeedStararmaturene.)
4. Med en klasse-1-kilowattimeter. (Kun for armatur A039-09.)

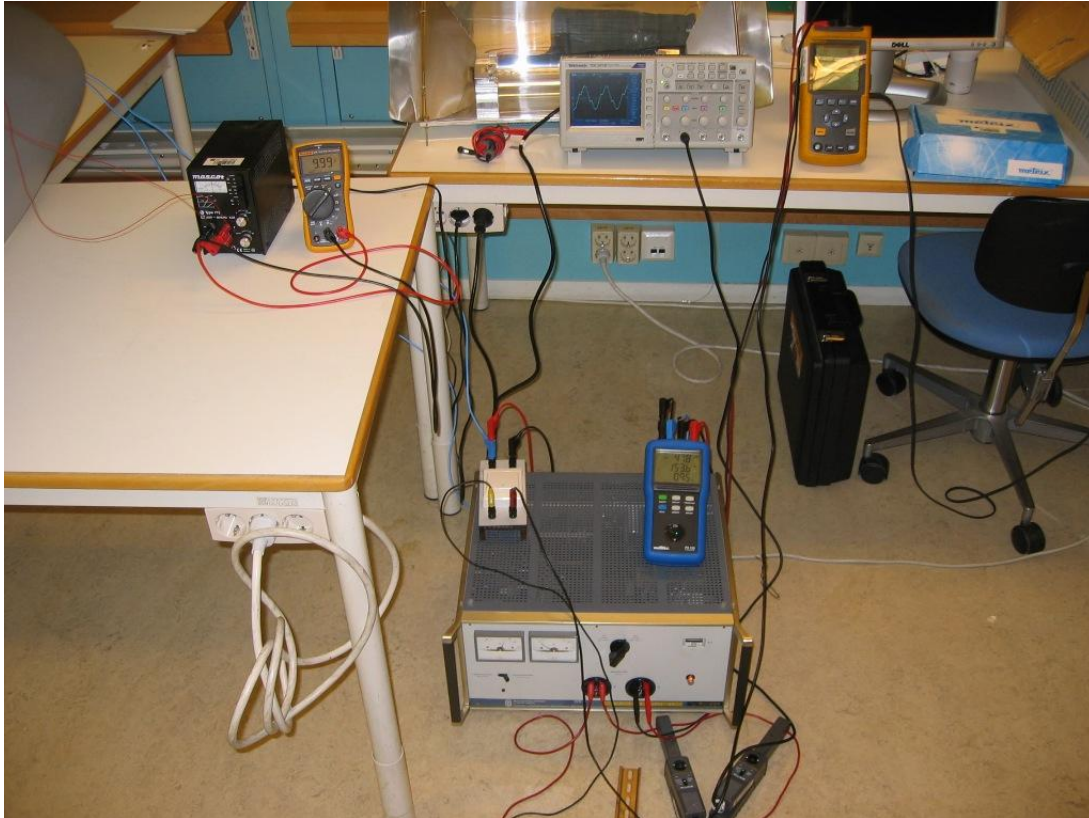
4.2.1 Måling av effektforbruk med PQA

En PQA måler og beregner strøm, spenning og effekt, samt hvordan de respektive verdiene fordeler seg på ulike harmonier. Den kan også måle fasevinkel, transienter, innkoblingsforløp med mer.

For å måle alt dette, benytter den en såkalt strømtang (i dette tilfellet en aktiv strømtang, da PQA-ens passivstrømtang var sprukket) som kobles inn på én av fasene, og to spenningsprober som kobles inn enten fase-fase eller fase-nøytral, avhengig av nettypen. Det kan også kobles inn en temperatursensor, men det var ikke relevant for disse målingene.

For å få tilgang til fasene separat, ble det koblet inn en ledning der lederne var adskilt. Strømtangen ble så koblet inn på den ene lederen. Aktive strømtenger må kalibreres for best mulig å kansellere ut eventuelle DC-forstyrrelser. Dette ble gjort ved å koble strømtangen til oscilloskopet og så justere kalibreringshjulet til oscilloskopet viste null gjennomsnittelig strøm. Spenningsprobene ble koblet til i det andre uttaket på spenningskilden, se Figur 4.4.

PQA-en er det gule apparatet øverst til høyre i bildet. Strømtangen t.v. var koblet til PQA-en. Strømtangen t.h. var koblet til oscilloskopet. Den svarte spenningskilden og det gule multimeteret til venstre i bildet sørget for styrespenning til styresystemet.



Figur 4.4 Måleoppsett for effektforbruksmålingene

Strøm, spenning, effektforbruk, fasevinkel og effektfaktor ble lest av når verdiene hadde stabilisert seg. Resultatene finnes i underkapittel 5.2.1 og vedlegg 7.

Målingene av effektforbruket til lyskildene alene ble utført på samme måte. Eneste forskjellen er at PQA-en ble koblet inn etter overgangen mellom sokkelen og ledningene istedenfor før forkoblingen, se Figur 4.2.

4.2.2 Måling av effektforbruk med PQA og oscilloskop

Oscilloskopet ble koblet til den samme lederen som PQA-en med en strømtang (også i dette tilfellet en aktiv strømtang.), se Figur 4.4. Strømtangen ble kalibrert på samme måte som nevnt i forrige underkapittel. Oscilloskopet ble satt i AC-modus, hvilket fjerner alle likestrøms-/likespenningsledd. Det ble også satt i "strømmodus" og justert for strømtangens skalering.

Verdiene for spenning og effektfaktor ble fremdeles hentet fra PQA-en, mens strømmen ble lest av med "Cycle-RMS" på oscilloskopet. Effektforbruket ble deretter beregnet på vanlig måte (strøm, spenning og fasevinkel). Resultatene finnes i underkapittel 5.2.1 og vedlegg 7. Målingene ble gjort ved stabil drift og på alle dimmetrinn der dimming var mulig.

4.2.3 Måling av effektforbruk med wattmeter

Da den første SpeedStarmarmaturen (A039-09) ble målt, var det tilsynelatende uforklarlige store avvik fra oppgitte verdier. Senere viste det seg at noe av avviket skyldtes en ødelagt strømtang og muligens også en feilinnstilling av PQA-en. (Mer om dette i underkapittel 5.2.1.) Både målingene med PQA-en alene og målingene med PQA i kombinasjon med oscilloskop avvek. Dessuten hadde avvikene motsatt innbyrdes forhold sammenlignet med

tidligere målinger fra fordypningsprosjekt, der det ble utført målinger på samme måte, men på andre armaturer. Derfor ble det foretatt ekstramålinger med et digitalt wattmeter.

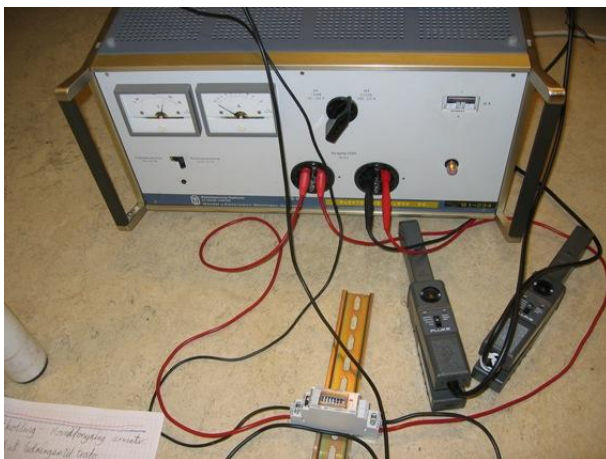
Wattmeteret ble koblet til på vanlig måte. På Figur 4.4 er wattmeteret det blå instrumentet oppe på spenningskilden. Strøm, spenning, effektfaktor og effektforbruk ble lest av på vanlig måte. Resultatene finnes i underkapittel 5.2.1 og vedlegg 7.

4.2.4 Måling av effektforbruk med kilowattimeteller

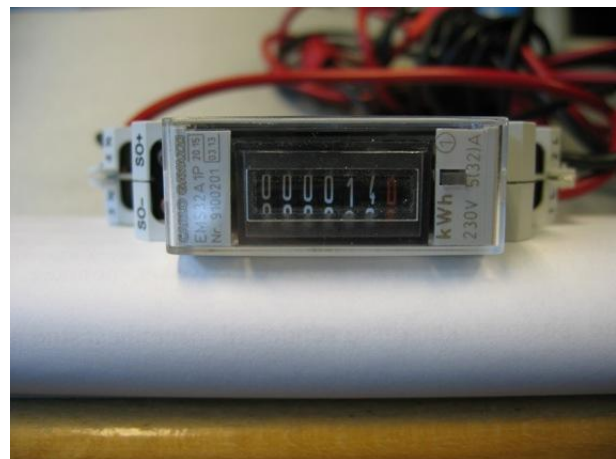
Av samme årsak som nevnt i forrige underkapittel, ble det foretatt en kontrollmåling over flere døgn med en klasse-1-kilowattimeteller. Denne kilowattimetelleren er nøyaktig ned til én desimal og 1 % av effektforbruket.

Kilowattimetelleren ble koblet til på vanlig måte og målerstanden ble lest av flere ganger. For å få en klar indikasjon på hvor stort effektforbruket faktisk var, stod armaturen på i totalt 94 timer sammenhengende. Det viste seg at målingene med PQA-en ikke avvek så mye som først antatt, og målingene fortsatte.

Denne målingen ble kunne foretatt på SpeedStarmatur A039-09. Resultatene finnes i underkapittel 5.2.1 og vedlegg 7.



Figur 4.5 Måleoppsett med kWh-teller



Figur 4.6 kWh-teller, front

4.2.5 Måling av tredjeharmoniske strømmer

Målingen av tredjeharmoniske strømmer ble gjort med PQA-en ved stabil drift, på samme måte som beskrevet i underkapittel 4.2.1. Verdien på de tredjeharmoniske strømmene er gitt i prosent av total strøm. Armaturene var koblet til den samme stive spenningskilden som tidligere. Resultatene finnes i underkapittel 5.3 og vedlegg 7.

4.3 Måling av belyningsstyrke

4.3.1 Kalibrering av Pocket-Luxmetret

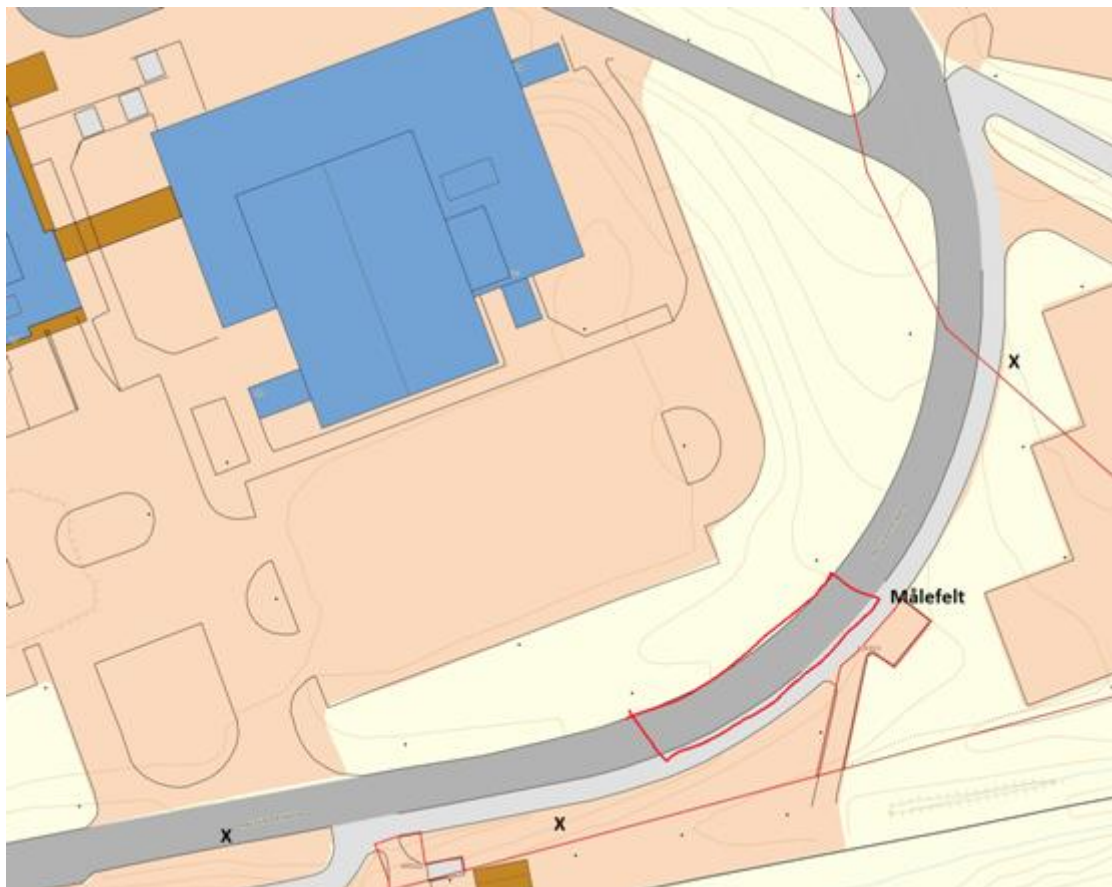
Før målingene kunne gjennomføres måtte Pocket-Luxmetret kalibreres. Dette ble gjort ved hjelp av et annet, mer nøyaktig og ”stasjonært” luxmeter.

Lys fra en avblendbar lyskilde ble målt med det stasjonære luxmeteret. Deretter ble det samme lyset målt med Pocket-Luxmeteret. Flere målinger med ulik belyningsstyrke ble foretatt og en kalibreringsfaktor på 0,95 ble beregnet ut fra disse.

4.3.2 Selve målingen

Målingene ble utført på testanlegget i Høyskoleringen, i svingen mellom lysmast ni og ti, se Figur 4.7. Det ble utført to måleserier, en før utskifting og en etter utskifting.

Området mellom mast ni og ti ble valgt ut av praktiske årsaker; først og fremst fordi mast ni, ti og elleve fikk samme typen armaturer. Målefeltet består av to to meter brede fortau på hver sin side av en seks meter bred veibane. Lysmastene står ca. 80 cm fra ytterkanten av fortauet og med ca. 32 meters avstand i innersving.



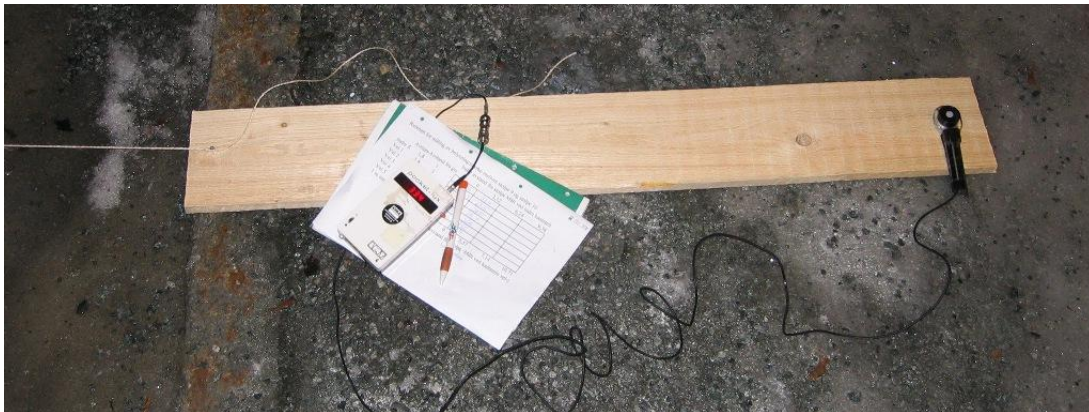
Figur 4.7 Kart over mast syv til elleve i testanlegget. Kilde: (Statens kartverk)

Før utskifting var hele testanlegget utstyrt med Iridiumarmaturer, med 150 W høytrykknatriumlamper (Super 4Y). Målingene ble utført den 1. februar rundt kl 20.00. Himmelen var skyfri, men det var ingen måne som kunne ha virket inn på målingene. Veien var isete med til dels dype hjulspor i isen.

Etter utskifting var mastene ni, ti og elleve utstyrt med SpeedStarmaturer. Sitecoarmaturen i mast åtte og Energyoptimalarmaturen i mast syv ble satt opp først noen uker senere. Målingene ble utført den 9. mars rundt kl 21.00. Himmelen hadde enkelte skyer og månen var en tynn "sigd". Føreforholdene var mye de samme som ved de foregående målingene.

Målingene ble forsøkt utført etter mønsteret som er definert i veilysnormalene. Det betyr at området mellom to master deles i like deler, der første og siste delestrek går rett ut fra mastene. Fordi målefeltet ligger i en sving, ble delestrekene lagt i vifteform; delestrekene stod altså vinkelrett på veikanten. Målefeltet ble delt i ti like deler etter beste evne. På hver delestrek ble det målt ett punkt midt på hvert fortau og fem punkter jevnt fordelt i veibanen. Belysningsstyrke måles i plan med, og nede på, veidekket.

På grunn av snø- og isdekket, var det særdeles vanskelig å merke måleområdet. Det var heller ikke ønskelig å male opp hele måleområdet med markeringsmaling. Derfor ble følgende løsning valgt: Delestrekene ble markert på hver side av veibanen. En snor med markeringer ble bunnet fast mellom to planker. Dette ble så lagt over veibanen og flyttet fra delestrek til delestrek.



Figur 4.8 Måling av belysningsstyrke

Målesensoren til luminansmetret ble forsøkt lagt så rett som mulig, men isen og strøgrusen på veien vanskeliggjorde dette. Noen tilnærminger ble derfor gjort. Det samme må sies om plasseringen av delestrekene, siden isen gjorde det vanskelig å måle opp. Det antas likevel en nøyaktighet på rundt 20 cm.

Belysningsstyrken ble lest av i hvert punkt og ført inn i et skjema. Resultatene finnes i underkapittel 5.5.1 og 5.5.2, samt vedlegg 8.

4.4 Måling av luminans og luminansjevnhet

I tillegg til belysningsstyrken, ble også luminansen på veien målt. Dette ble gjort med et såkalt luminanskamera. Det samme målefeltet mellom mast ni og ti ble benyttet og det ble gjort målinger både før og etter LED-armaturene ble montert.

Luminanskameraet er i dette tilfellet et digitalt speilreflekskamera som er spesialkalibrert. I tillegg følger det med programvare, ”LMK 2000 mobile advanced” fra TechnoTeam, som kan analysere bilder tatt i RAW-format (ukomprimerte bildefiler). Virkemåten til programmet og kameraet vil ikke bli beskrevet i detalj i denne rapporten, i stedet henvises det til brukermanualene.

Luminansbildene er tatt med følgende innstillinger:

- Av-modus.
- ”Partial metering” og/eller ”Center-weighted integral measurement”.
- Noen bilder er tatt med ± 2 AEB. Denne funksjonen tar tre bilder med ulik lukkertid. LMK-programmet ordner selv bilder av samme motiv i eksponeringssekvenser og beregner luminansen fra alle tre bildene. (OBS: Noen bilder kan lure programmet og overlape hverandre selv om de ikke er av samme motiv.)
- Autofokus aktivert.
- ISO 100.
- Ytterligere informasjon kan finnes ved å åpne bildefilene i dertil egnet program.

Det ble tatt bilder ved fire ulike anledninger: En serie med Iridiumarmaturer og med snø-/isdekke på veien, en serie med SpeedStararmaturer og snø-/isdekke på veien, en serie med SpeedStararmaturer og våt veibane og en serie med SpeedStararmaturer og tørr veibane. Av værmessige årsaker ble det dessverre ikke tatt noen bildeserie med Iridiumarmaturer og tørr veibane.

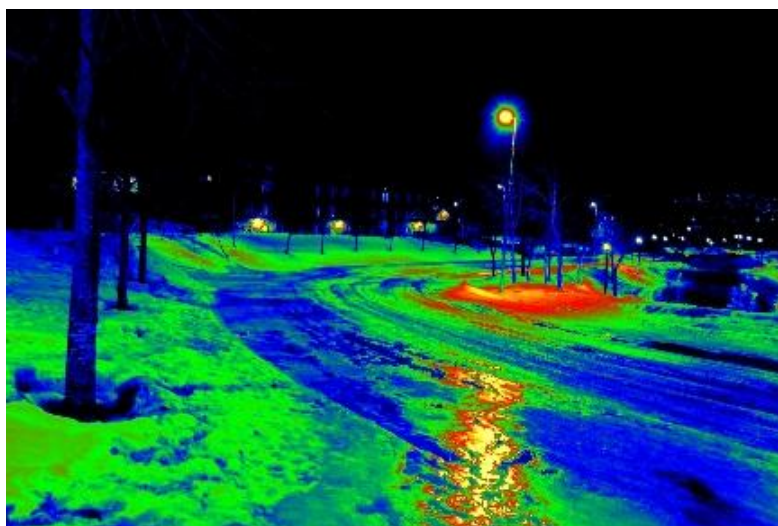
Bildene er tatt fra tre forskjellige posisjoner: Ovenfor målefeltet, nedenfor målefeltet og i gresshellingen nedenfor perrongen til Lerkendal stasjon. Bildene som er tatt fra oppsiden av målefeltet er tatt i yttersving, på gresset omtrent midt mellom tredje og fjerde tre fra handikapparkeringen. Bildene som er tatt fra nedsiden av målefeltet er tatt noen meter foran lysmasten ved undergangen under jernbanen. Bildene fra gresshellingen er tatt noen meter foran treet nærmest ventehuset. Kameraposisjonene er markert med X på Figur 4.7.

I følge veilysnormalene skal bilder av et valgt målefelt tas fra 60 meters avstand, i 1,5 meters høyde, 3/4 ut i veibanen og i kjøreretningen. Siden testanlegget delvis befinner seg i en sving og stort sett i en bakke, er det ikke mulig å få med hele det valgte målefeltet fra denne avstanden, uansett om bildene tas fra oppsiden eller fra nedsiden av målefeltet. Det ble likevel tatt bildeserier fra disse posisjonene, slik at de kan analyseres ved en senere anledning dersom dette skulle være ønskelig. Siden bildene tatt fra gresshellingen dekker hele målefeltet, ble disse bildene valgt ut til videre analyse.

I LMK-programmet kan det defineres et målefelt. Når et målefelt er definert, beregner programmet gjennomsnittsluminansen i feltet. Målefeltene er i dette tilfellet tegnet på frihånd etter beste evne. Det er usikkert hvor nøyaktig dette ble, da det var få holdepunkter på de snødekte bildene. Bildene er heller ikke 100 % identiske, derfor kunne ikke det samme målefeltet brukes fra bilde til bilde.

I tillegg til de ovennevnte målingene, ble det valgt ut et område mellom mast ti og elleve, for å se på den langsgående luminansjevnheten til SpeedStararmaturene. Dette ble gjort ved å bruke LMK-programmets innebygde "Projektive equalization"-funksjon. Denne funksjonen kan kun brukes på firkantede måleområder og derfor kunne ikke det egentlige målefeltet benyttes, da dette er åttekantet. Ved hjelp av en predefinert målemal basert på EN 13201-3:2003 og en tilhørende Excel-fil, ble så den langsgående luminansjevnheten til veibanen regnet ut. Dessverre traff noe av målefeltet kantsteinen, hvilket ødela for den ene målerekken, se Figur 5.24.

Når LMK-programmet har analysert bildene og eventuelle målefelt er tegnet opp, kan programmet generere en rapport for utskrift. Det er laget totalt fem rapporter som alle befinner seg blant vedleggene (Vedlegg 9-13). Fire av rapportene er navngitt på følgende måte: Bildene analysen er basert på, lyskilde, føreforhold, skaleringsmetode og fargepalett. Den siste rapporten er for luminansjevnheten og er navngitt etter det. (LMK-programmet kan ikke genererer PDF-dokumenter selv.)



Figur 4.9 Eksempel på LMK-analysert luminansbilde (forminsket).



Figur 4.10 Originalbildet til Figur 4.9 (kraftig forminsket)

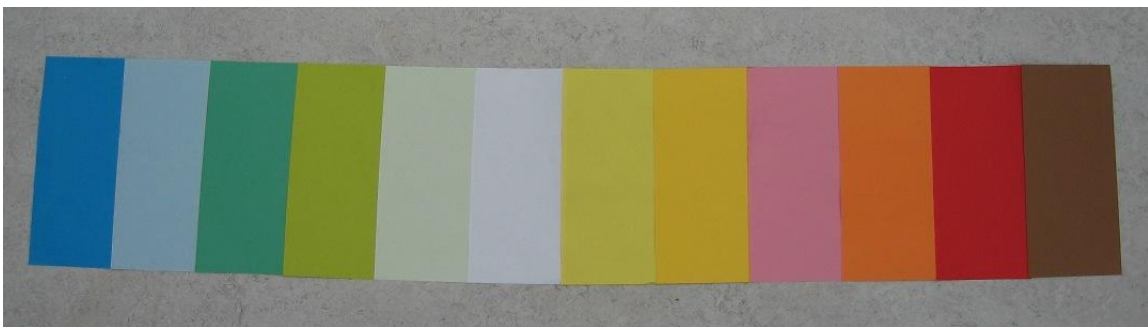
Resultatene befinner seg i underkapittel 5.6 og nevnte vedlegg.

4.5 Måling av fargeforskyvning

4.5.1 Måling av fargeforskyvning på fargeprøver

Disse målingene er en slags erstatning for fargegjengivelsesmålinger. Denne fremgangsmåten ble valgt fordi instrumentet NTNU har til måling fargegjengivelsesindeks var ødelagt da denne rapporten ble utarbeidet.

Det ble laget tre like fargeprøver med tolv ulike farger. (To i reserve dersom en skulle bli ødelagt.) Hvert fargefelt var like stort som et tredjedels A4-ark delt på tvers. Fargene ble satt sammen omtrent slik som regnbuen ser ut, men med ulike nyanser av samme farge sammen, uavhengig av lyshet. Fargene er navngitt etter min egen vurdering. Det ble også foretatt målinger av tørr, bar asfalt, med noe støv og strøgrus. Fargekoordinatene til asfalten ble av praktiske årsaker ikke målt i lysrørlys.



Figur 4.11 Fargeprøve, dagslys overskyet.

Fargenavn fra venstre mot høyre: Blå, lys blå, grønn, gressgrønn, lys grønn, hvit, lys gul, gul, rosa, oransje, rød og brun.

Fargeprøvene ble målt i lyset fra henholdsvis Iridiumarmaturene og SpeedStararmaturene. Solllys fra overskyet himmel og to 5-bånds fullfargelysrør (hhv. Philips 950 og Osram 940, begge 58 W) ble brukt som referanse.

Målingene ble utført ved hjelp av et luminansmeter som også måler fargekoordinater. (Altså verdiene Y, x og y). Alle målingene ble tatt fra ca. en meters høyde, slik at den aktuelle fargen fylte hele måleområdet og ca. 80 % av hele søkefeltet. Luminansen Y og fargekoordinatene x og y ble notert for hver farge og hver kilde. Grunnet dataproblemer er ikke målingene og de tilhørende bildene tatt samme dag. Dette er spesifisert for hver måleserie.

Fargeforskyvningen til SpeedStararmaturene og Iridiumarmaturene ble målt i felt. Målingene ble foretatt på tørr, bar asfalt. Det var ikke noe sollys, men månen var oppe. Månen var over tre kvart full og det var lette skyer som til en viss grad spredde månelys. Tidspunkt: 17. mars 2011 rundt klokken 21.30. De tilhørende bildene ble tatt 4. april 2011 rundt klokken 22.00. Lett skydekke, litt regn og ingen måne.

Målingene i sollys ble gjort med fullstendig overskyet himmel, innendørs i tredje etasje i Glassgården, Elektrobygget. De var ingen andre lyskilder i umiddelbar nærhet. Tidspunkt: 17. mars 2011 rundt klokken 16.30. De tilhørende bildene ble tatt 21. mars 2011 rundt klokken 13.00, samme type vær. Merknad: Målingen på tørr asfalt ble gjort på utsiden av Gamle Elektro den 5. mai 2011 rundt klokken 13.00. Himmelen var bare delvis overskyet, men solen var bak en sky da målingen ble foretatt.

Målingene med lysrør ble gjort i Lys- og elektroinstallasjonslaboratoriet E-320 i Elektrobygget. Rommet var helt avblendet og ingen andre lyskilder var tent. Tidspunkt: 17. mars 2011. Bildene ble tatt 21. mars 2011.

Resultatene finnes i underkapittel 5.7.1 og vedlegg 15.

4.5.2 Måling av fargeforskyvning ved dimming.

Målingene ble gjort ved hjelp av det samme luminansmetret beskrevet i underkapittel 4.5.1. Målingene ble tatt fra andre siden av veien, altså fra ca. 7-8 meters horisontal avstand. I tillegg er mastehøyden på ca. 8 meter. På denne avstanden fylte lyset fra armaturen hele målefeltet til luminansmetret.

Alle armaturene i testanlegget er koblet til hver sin lampekontroller. Denne er i utgangspunktet tilpasset damplampearmaturer, men viser seg å funksjonere like godt med LED-armaturene. Lampekontrollerne styrer lysnivået til armaturene prosentvis fra 100% til 0 %. Ved hjelp av en bærbar PC med egnet maskinvare og Unilon programvare, ble lyset dimmet trinnvis fra 100 % til 10 %, med 10 %-intervall. For hvert dimmetrinn ble fargekoordinatene til lyset lest av.

Resultatene finnes i underkapittel 5.7.2 og vedlegg 15.

4.6 Spørreundersøkelse

4.6.1 Spørreundersøkelse om anlegget før og etter utskifting

For å få en subjektiv vurdering av hva folk synes om veilysanlegget før og etter utskiftingen, utarbeidet jeg en spørreundersøkelse. Undersøkelsen bestod av et spørreskjema, og dette ble distribuert via e-post til samtlige elever på Energi og Miljø-linjen.

Spørreundersøkelsen bestod av to deler; en for anlegget slik det var før utskiftingen og en for anlegget slik det ble etter utskiftingen. Spørsmålene var stort sett de samme, men del to hadde noen ekstra sammenligningsspørsmål på slutten av skjemaet.

Spørreskjemaet bestod av både flervalgsspørsmål og spørsmål der det skulle svares med en liten tekst. Spørsmålene ble i hovedsaklig forsøkt lagd minst mulig ledende, slik at de som skulle besvare dem skulle kunne gjøre seg opp sin egen mening.

Spørreundersøkelsen innbefattet spørsmål om blant annet lysstyrken/lysnivået, blending og lysfarge. Det var også et par spørsmål om hva folk synes om utseende til anlegget generelt. Undersøkelsen inkluderte dessuten noen få spørsmål om personopplysninger, for å se på eventuelle sammenhenger mellom disse og resten av svarene. For å kunne svare på spørreundersøkelsen måtte folk bort og se på anlegget.

Spørreskjemaene slik de så ut ved distribusjon, befinner seg i vedlegg 18 og 19. Resultatene befinner seg i underkapittel 5.8.1 og vedleggene 16 og 17. Analysen befinner seg i underkapittel 6.6.1.

4.6.2 Spørreundersøkelse om subjektiv fargeoppfattelse

I sammenheng med målingene av hvordan de ulike lyskildene forskyver fargekoordinatene til ulike farger, utarbeidet jeg en andre spørreundersøkelse som gikk på folks subjektive fargeoppfattelse. Denne spørreundersøkelsen gikk ut på at folk skulle se på fargeprøven fra underkapittel 4.5.1, i lyset fra de to armaturene Iridium og SpeedStar. Så skulle de svare på to enkle spørsmål: "Hvor mange farger ser du, eventuelt tror du at du ser?" og "Hvilken farge synes best?".

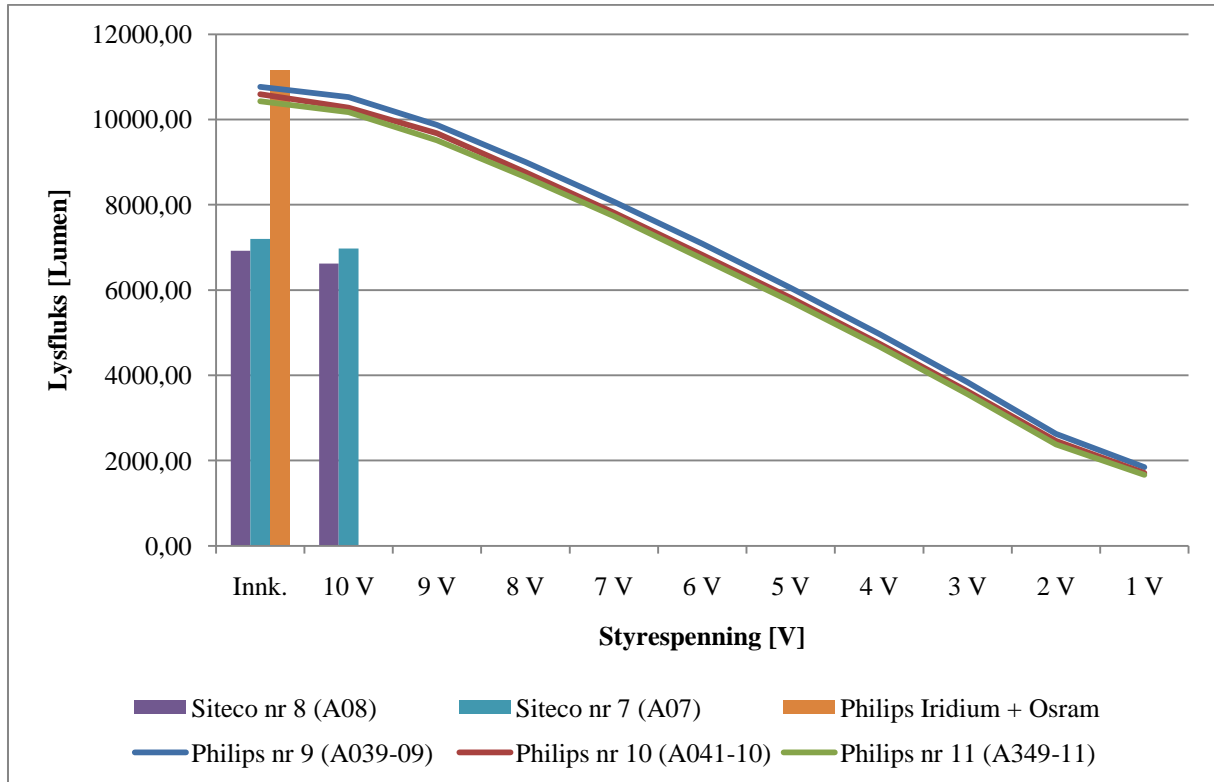
Fargeprøven ble lagt ut rett under lysmasten mens forsøkspersonene stod på andre siden av veien, ca. 7 meters avstand. Forsøkspersonene bestod av tilfeldig forbipasserende personer, for det meste studenter.

Resultatene befinner seg i underkapittel 5.8.2 og vedlegg 15.

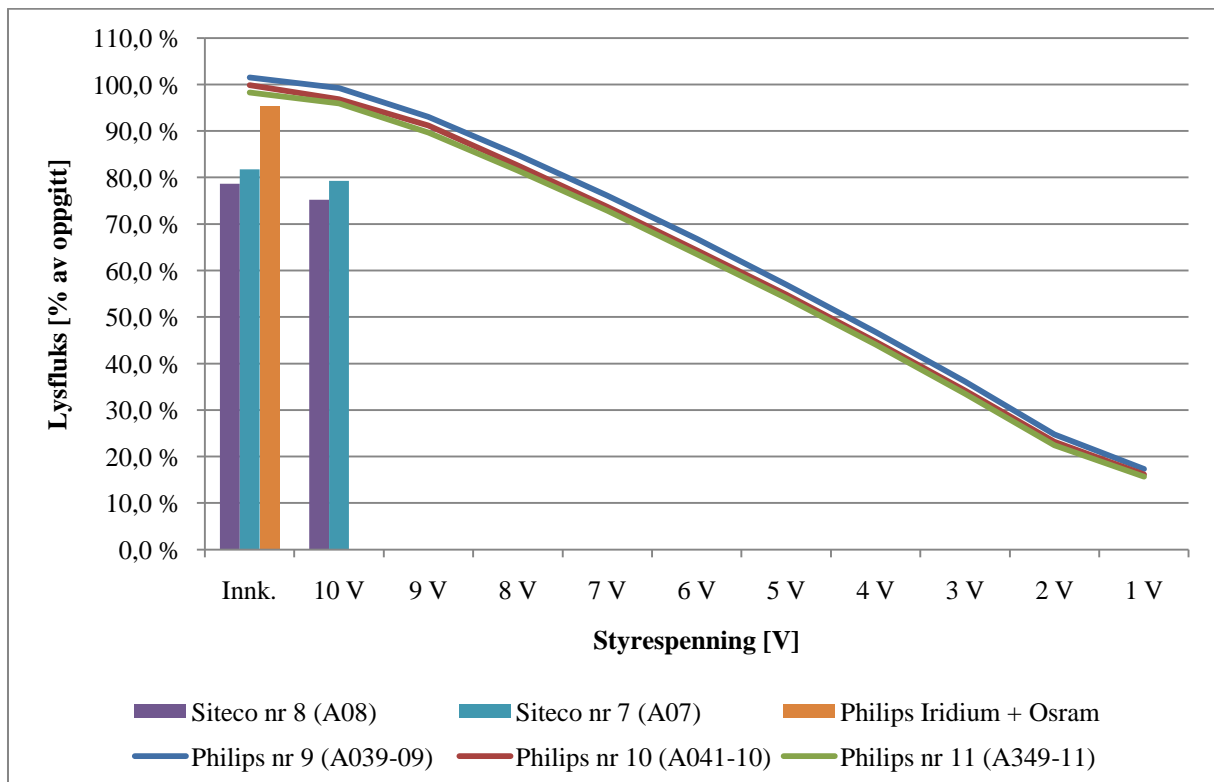
5 Resultater

5.1 Lysfluks

5.1.1 Armaturer



Figur 5.1 Absolutt lysfluks, armaturer



Figur 5.2 Absolutt lysfluks, prosent av oppgitt, armaturer

Armatur	Absolutt lysfluks, full effekt	Absolutt lysfluks, % av oppgitt
Siteco LED nr 8	6 619 lm	75,2 %
Siteco LED nr 7	6 974 lm	79,2 %
Philips Iridium + Osram 150 W	11 153 lm	95,3 %
Philips LED nr 9	10 529 lm	99,3 %
Philips LED nr 10	10 275 lm	96,9 %
Philips LED nr 11	10 176 lm	95,9 %

Tabell 5.1 Absolutt lysfluks, armaturer

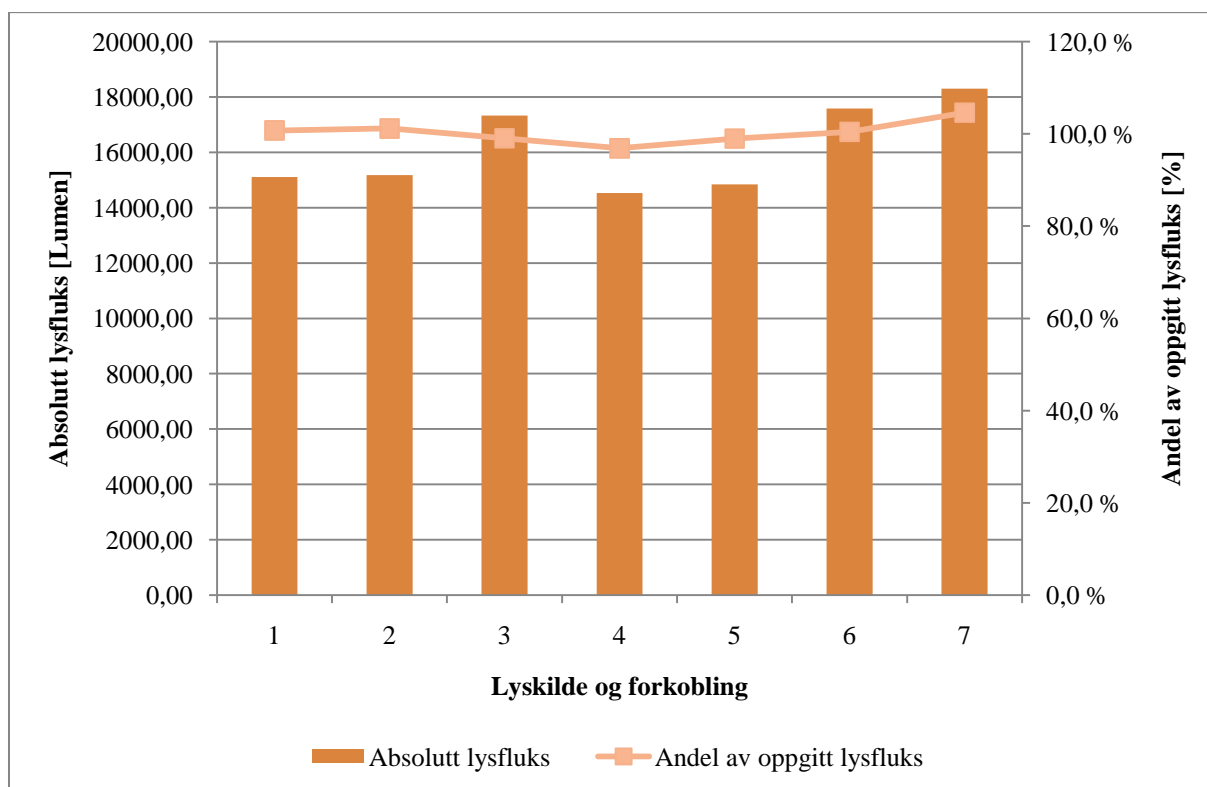
Figur 5.1 viser den absolutte lysfluksen ved full effekt og dimming (for de armaturene der dette ble målt.) Figur 5.2 viser prosent målt lysfluks av oppgitt lysfluks. Den prosentvise lysfluksen er beregnet med bakgrunn i dataene oppgitt av produsentene. Tabell 5.1 viser de ovennevnte verdiene ved full effekt.

For Philips Iridiumarmaturen er grunnlaget lysfluksen fra en standard Osram VIALOX 150 W korrigert for armaturvirkningsgrad. Diagramsøylen til denne armaturen skulle egentlig ikke stått i gruppen ”Innkobling”, men i ”10 V”, da lysfluksen ved innkobling av en damplampe er null. Den står i feil kategori kun av praktiske årsaker.

Sitecoarmaturene og Philips Iridiumarmaturen ble ikke målt med dimming. Alle avlesningene, med unntak av dem gjort rett etter innkobling, er gjort ved stabil drift.

For detaljer, se vedleggene 2, 3, 4 og 7.

5.1.2 Damplamper



Figur 5.3 Lysfluks, damplamper

	Forkobling	Lyskilde	Absolutt lysfluks	Absolutt lysfluks, % av oppgitt
1	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W Stand.	15 108 lm	100,7 %
2	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W Stand.	15 173 lm	101,2 %
3	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	17 327 lm	99,0 %
4	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W Stand.	14 527 lm	96,8 %
5	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W Stand.	14 840 lm	98,9 %
6	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	17 574 lm	100,4 %
7	Helvar konv.	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	18 297 lm	104,6 %

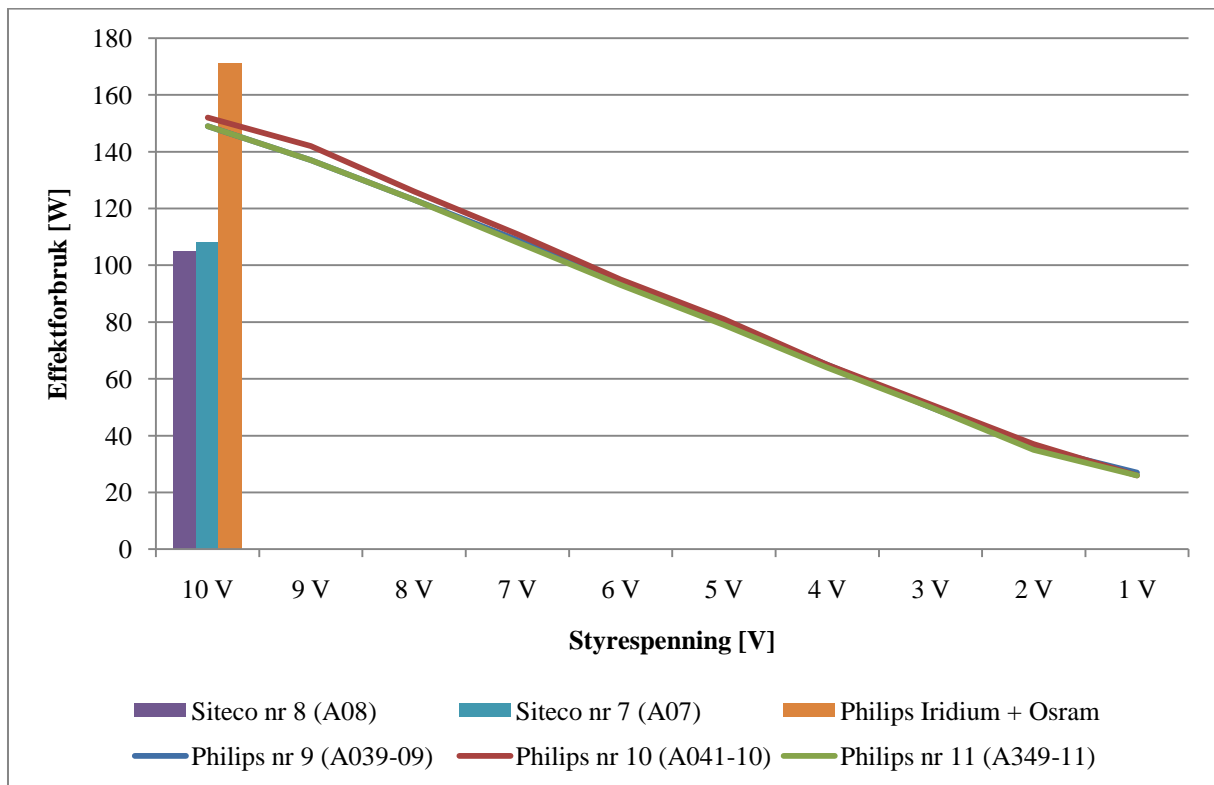
Tabell 5.2 Absolutt lysfluks, damplamper

Figur 5.3 og Tabell 5.2 viser den absolutte lysfluksen i lumen og i prosent av oppgitt for de tre forkoblingene med de tre lyskildene. Den prosentvise lysfluksen er beregnet med bakgrunn i tallene funnet i Osrams produktkatalog.

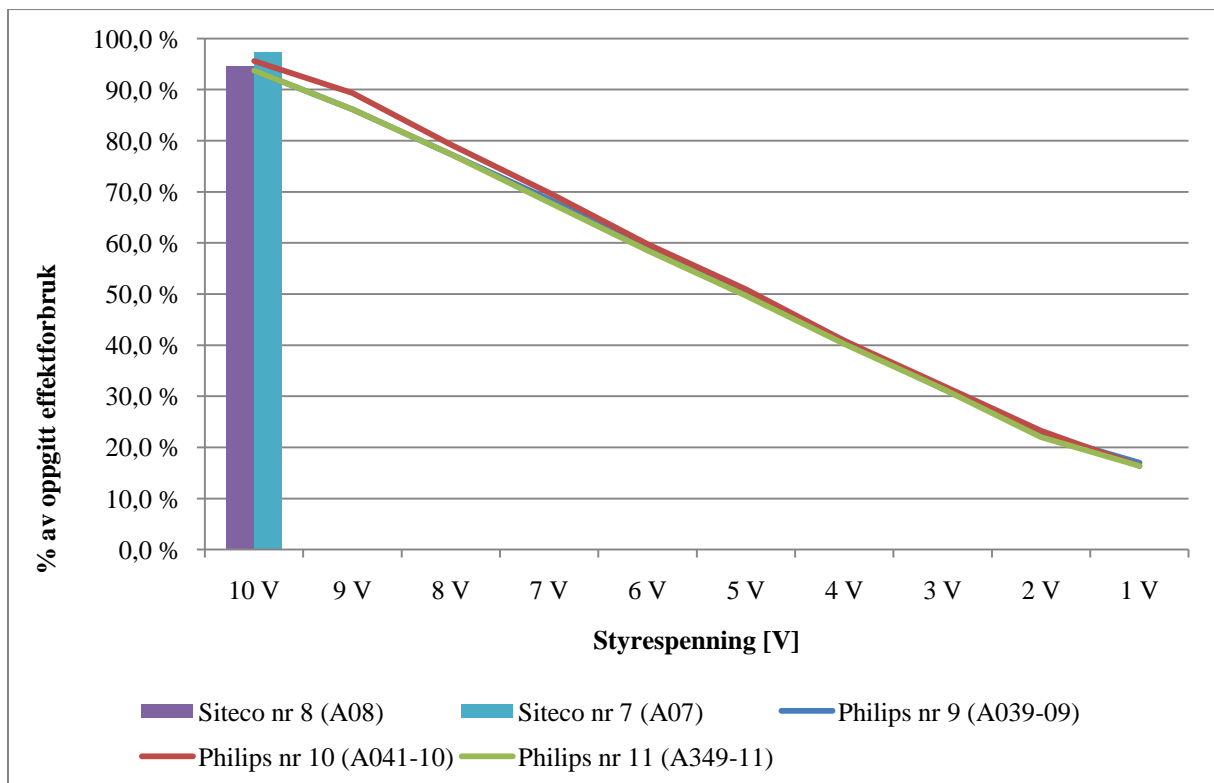
For detaljer, se vedlegg 7.

5.2 Effektforbruk

5.2.1 Armaturer



Figur 5.4 Effektforbruk, armaturer (PQA)



Figur 5.5 Effektforbruk, % av oppgitt, armaturer (PQA)

Armatyr	Absolutt effektforbruk (maks)	Effektforbruk, % av oppgitt
Siteco LED nr 8	105 W	94,6 %
Siteco LED nr 7	108 W	97,3 %
Philips Iridium + Osram 150 W	171 W	N/A
Philips LED nr 9	149 W	93,7 %
Philips LED nr 10	152 W	95,6 %
Philips LED nr 11	149 W	93,7 %

Tabell 5.3 Effektforbruk, armaturer (PQA)

Figur 5.4, Figur 5.5 og Tabell 5.3 viser effektforbruket til de ulike armaturene, målt med PQA. Siden PQA-resultatene lå nærmest de oppgitt verdiene, er det kun disse som har blitt fremstilt som grafer.

Sitecoarmaturene og Philips Iridiumarmaturen ble ikke målt med dimming. Det er ikke beregnet noe prosentvis effektforbruk for Philips Iridiumarmaturen, da det er usikkert hvor mye effekt forkoblingsutstyret forbruker. Dessuten varierer effektforbruket med lyskilden. Det prosentvise effektforbruket til Sitecoarmaturene er beregnet med bakgrunn i startforbruket på 111 W.

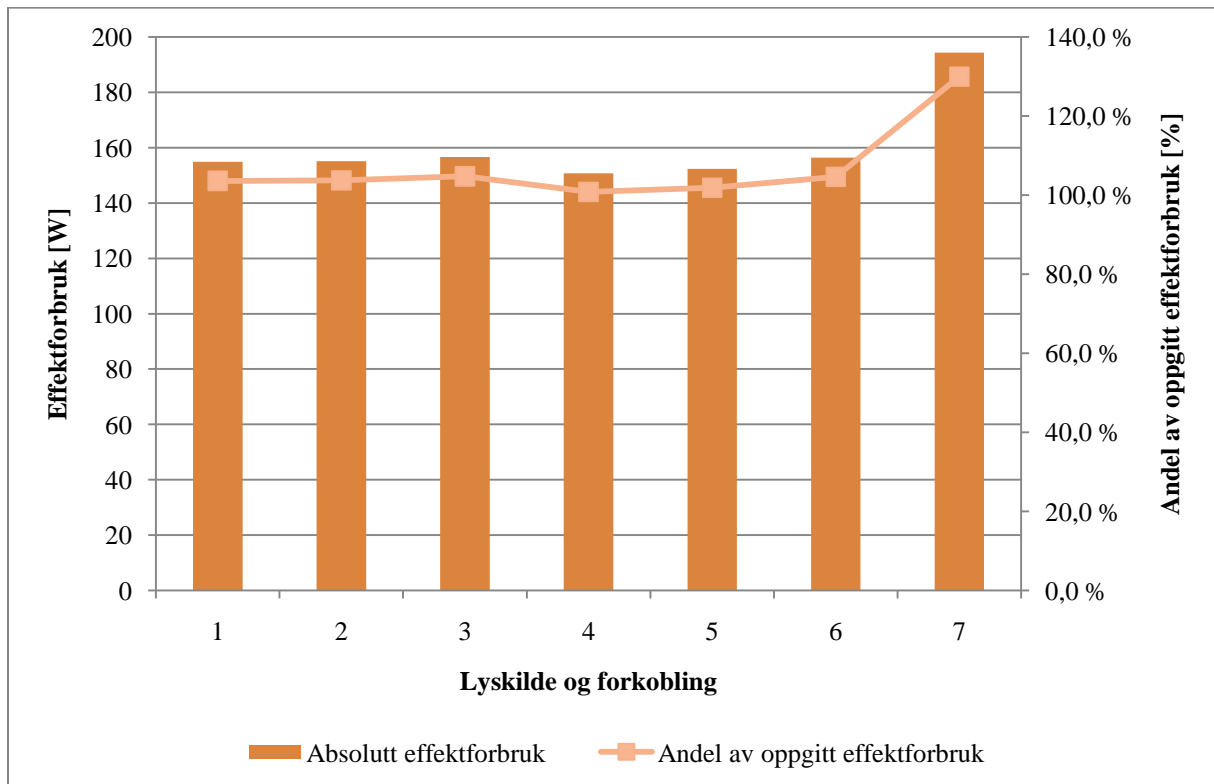
Merknad: I ettertid viste det seg at PQA-en var feilinnstilt under målingene. PQA-en stod i "Fundamental-modus", hvilket gjør at den kun beregner effektforbruket i grunnfrekvensen. Den burde stått i "Full-modus", da dette gjør at den beregner og summerer effektforbruket til alle harmoniene ("True RMS"). Enkle kontrollmålinger i ettertid viste at det kun var snakk om et par watt for lite på full effekt. Det er likevel naturlig å anta at feilmarginen øker noe ved dimming, siden dimming øker andelen overharmoniske forstyrrelser. Den lineære formen til grafene i Figur 5.4 og Figur 5.5 antas likevel å være riktig.

Armatyrtype	PQA	PQA + oscilloskop	Wattmeter	kWh-teller
Siteco LED nr 8	105 W	101,6 W	N/A	N/A
Siteco LED nr 7	108 W	104,3 W	N/A	N/A
Philips Iridium + Osram 150 W	171 W	171 W	N/A	N/A
Philips LED nr 9	149 W	144,7 W	146 W	144,7-146,3 W
Philips LED nr 10	152 W	147,6 W	149 W	N/A
Philips LED nr 11	149 W	144,9 W	146 W	N/A

Tabell 5.4 Effekttrekk, armaturer, alle målinger

For ytterligere detaljer se vedlegg 7.

5.2.2 Damplamper



Figur 5.6 Effektforbruk, damplamper

	Forkobling	Lyskilde	Absolutt effektforbruk	Absolutt effektforbruk, % av oppgitt
1	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W Stand.	155 W	103,6 %
2	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W Stand.	155 W	103,7 %
3	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	157 W	104,7 %
4	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W Stand.	151 W	100,8 %
5	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W Stand.	152 W	101,9 %
6	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	156 W	104,6 %
7	Helvar konv.	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	194 W	130,0 %

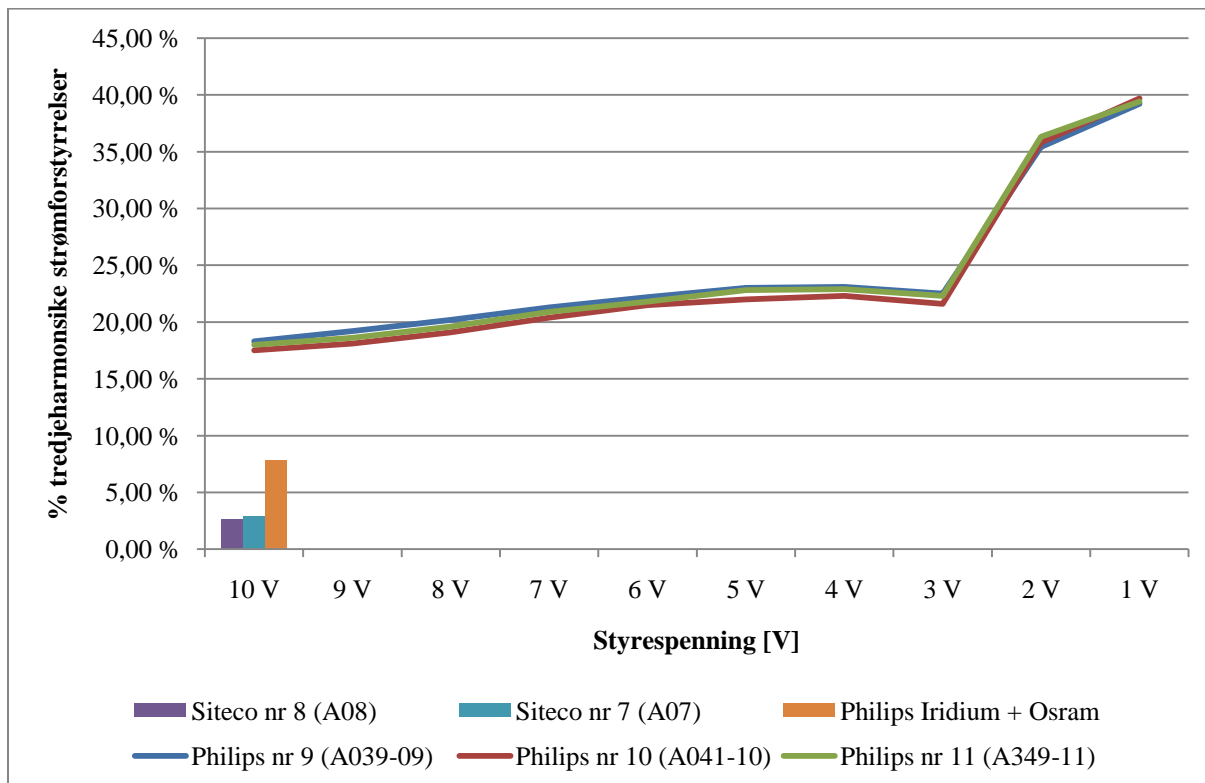
Tabell 5.5 Effektforbruk, damplamper

Figur 5.6 og Tabell 5.5 viser effektforbruket i watt og i prosent av oppgitt for de tre forkoblingene med de tre lyskildene. Det prosentvise effektforbruket er beregnet med bakgrunn i tallene funnet i Osrams produktkatalog.

Målingene av viste at både Philipsforkoblingen og Selcforkoblingen hadde firkantstrøm og firkantspenning ut mot lampen. Philipsforkoblingen hadde en frekvens på 124 Hz, mens Selcforkoblingen hadde 80 Hz. Effektfaktoren var 1 i begge tilfellene.

For ytterligere detaljer se vedlegg 7.

5.3 Tredjeharmoniske strømmer



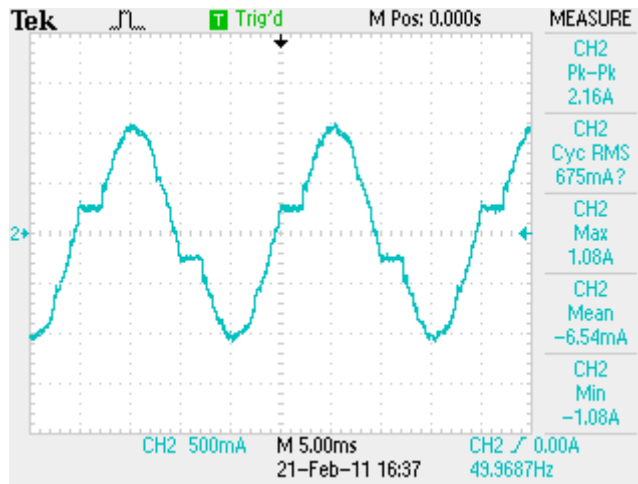
Figur 5.7 Tredjeharmoniske strømmer

Armatur	Andel tredjeharmoniske strømmer, full effekt
Siteco LED nr 8	2,6 %
Siteco LED nr 7	2,9 %
Philips Iridium + Osram 150 W	7,8 %
Philips LED nr 9	18,3 %
Philips LED nr 10	17,5 %
Philips LED nr 11	18,0 %

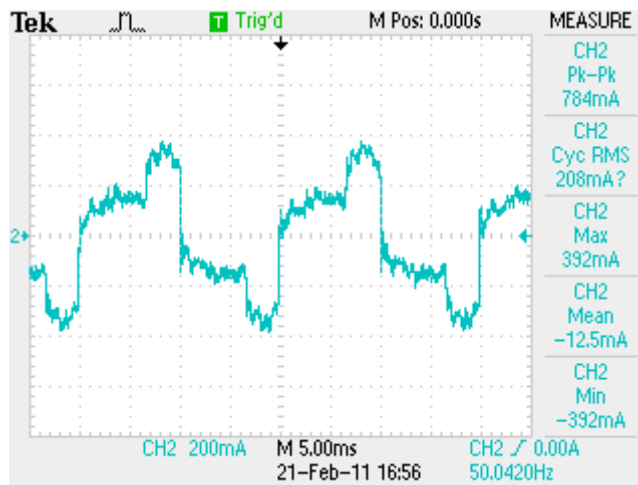
Tabell 5.6 Andel tredjeharmoniske strømmer ved full effekt

Figur 5.7 og Tabell 5.6 viser andelen tredjeharmoniske strømmer til de ulike armaturene. Figuren viser også hvordan andelen tredjeharmoniske strømmer varierer med dimming.

For detaljer, se vedlegg 7.

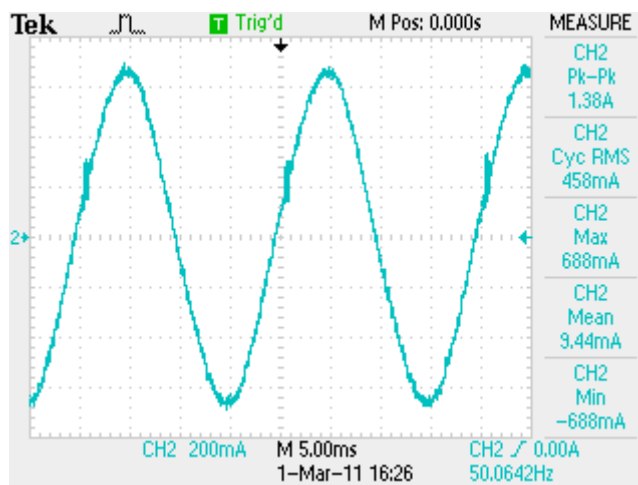


Figur 5.8 Eksempel på driftsforløp, Philips SpeedStar full effekt (10 V)

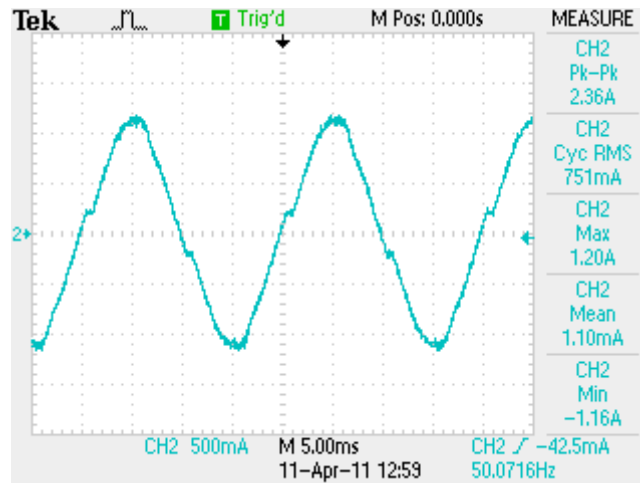


Figur 5.9 Eksempel på driftsforløp, Philips SpeedStar minimum effekt (1 V)

Figur 5.8 og Figur 5.9 viser hvordan strømkurven til SpeedStarmotorene forvrenges når de dimmes. Dette gir opphav til den økende andelen overharmoniske strømmer.



Figur 5.10 Driftsforløp Siteco LED

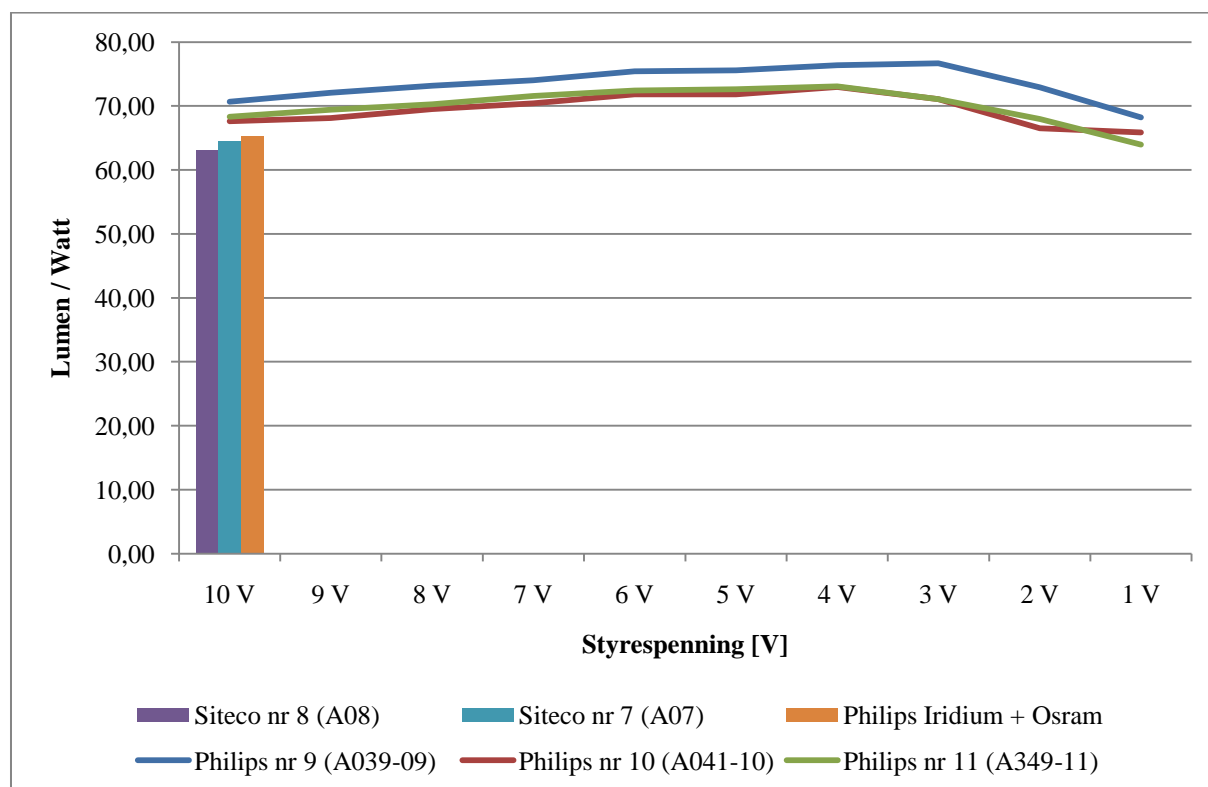


Figur 5.11 Driftsforløp Philips HID-DV-forkobling

Figur 5.10 viser strømkurven til en Sitecoarmatur ser ut, mens Figur 5.11 viser hvordan strømkurven til den elektroniske forkoblingen Philips HID-DV ser ut. Andelen tredjeharmoniske strømmer er mye mindre for begge disse enn andelen til SpeedStarmaturene. Dette gjenspeiles på figurene, siden strømkurvene til Sitecoarmaturene og Philipsforkoblingen er glattere, det vil si nærmere en ren sinus.

5.4 Beregning av lysutbytte

Lysutbyttet ble beregnet med bakgrunn i lysfluks- og effektforbruksmålingene.

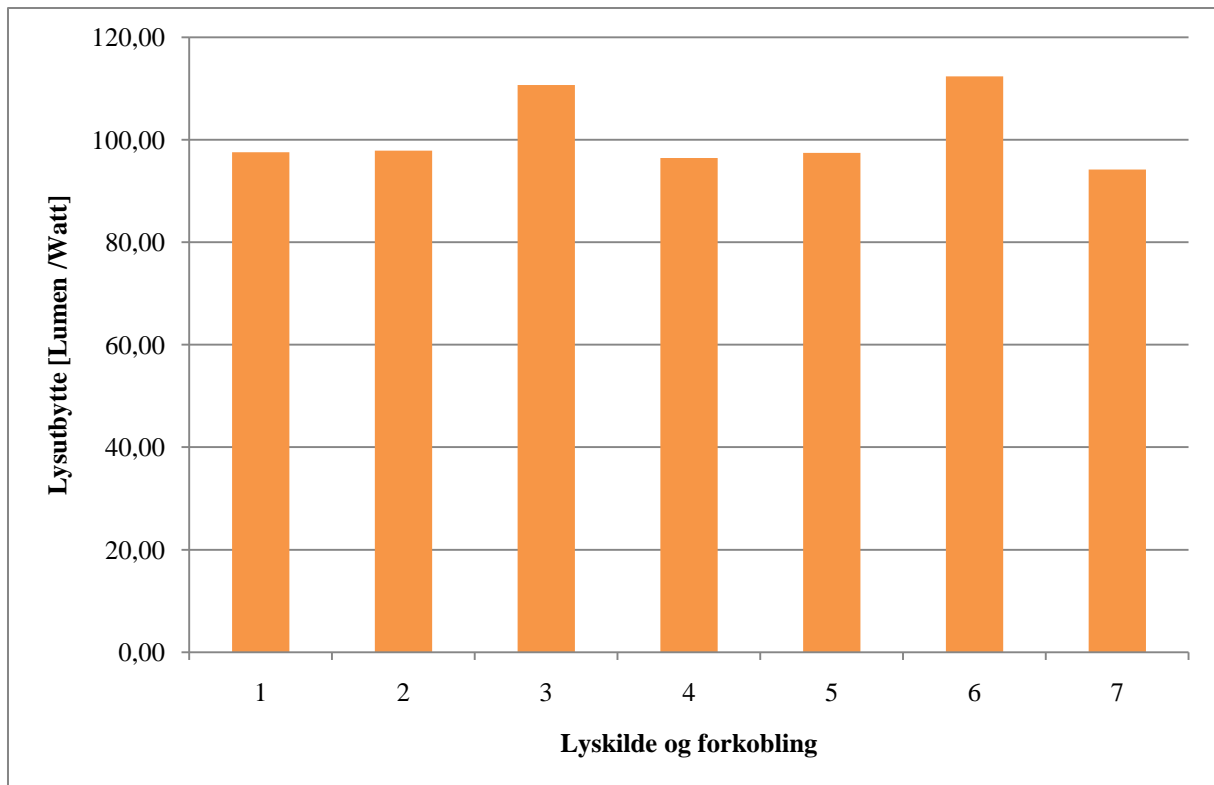


Figur 5.12 Lysutbytte, armaturer

Armatur	Lysutbytte ved full effekt
Siteco LED nr 8	63,04 lm/W
Siteco LED nr 7	64,57 lm/W
Philips Iridium + Osram 150 W	65,22 lm/W
Philips LED nr 9	70,66 lm/W
Philips LED nr 10	67,60 lm/W
Philips LED nr 11	68,30 lm/W

Tabell 5.7 Lysutbytte, armaturer

Figur 5.12 og Tabell 5.7 viser hvor stort lysutbyttet til de ulike armaturen er, og hvordan det forandrer seg ved dimming. Alle tallene er beregnet med bakgrunn i de målte verdiene.



Figur 5.13 Lysutbytte, damplamper

	Forkobling	Lyskilde	Lysutbytte
1	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W Stand.	97,55 lm/W
2	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W Stand.	97,84 lm/W
3	Philips HID-DV	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	110,67 lm/W
4	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W Stand.	96,41 lm/W
5	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W Stand.	97,46 lm/W
6	Selc 2000 HID	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	112,39 lm/W
7	Helvar konv.	Osram VIALOX 150 W S. 4Y	94,18 lm/W

Tabell 5.8 Lysutbytte, damplamper

Figur 5.13 og Tabell 5.8 viser lysutbyttet til damplampene. Effektforbruket som ligger til grunn er beregnet ut fra det PQA-en målte av strøm og spenning og ikke det målte effektforbruket. Dette fordi det beregnede effektforbruket lå nærmere det oppgitte effektforbruket. (I ettertid viste det seg at avviket skyldtes den nevnte feilinnstillingen.)

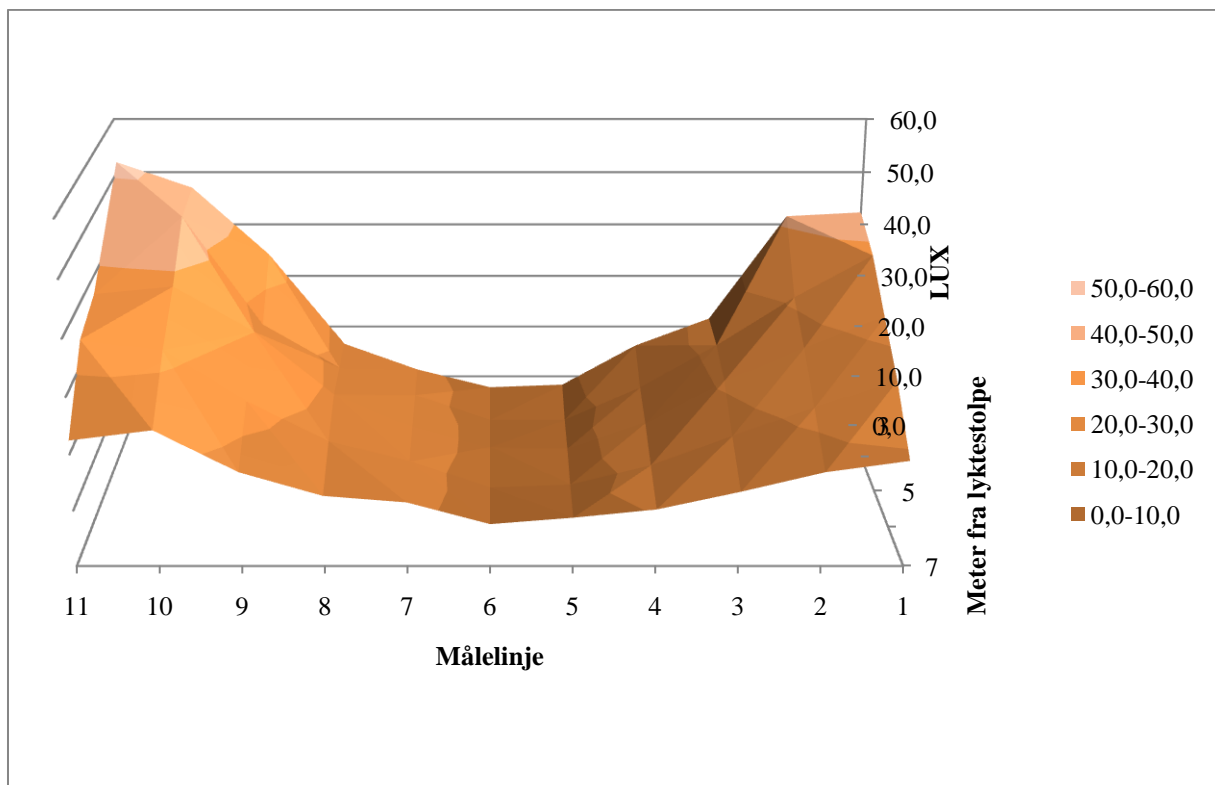
For flere detaljer se vedlegg 7.

5.5 Belysningsstyrke

Tallene presentert i dette underkapittelet er justert for kalibreringsfaktoren. Resultatene er delt opp slik at tallene for veibanen er skilt ut fra tallene for fortauene. Tallene for de to fortauene er presentert i samme graf.

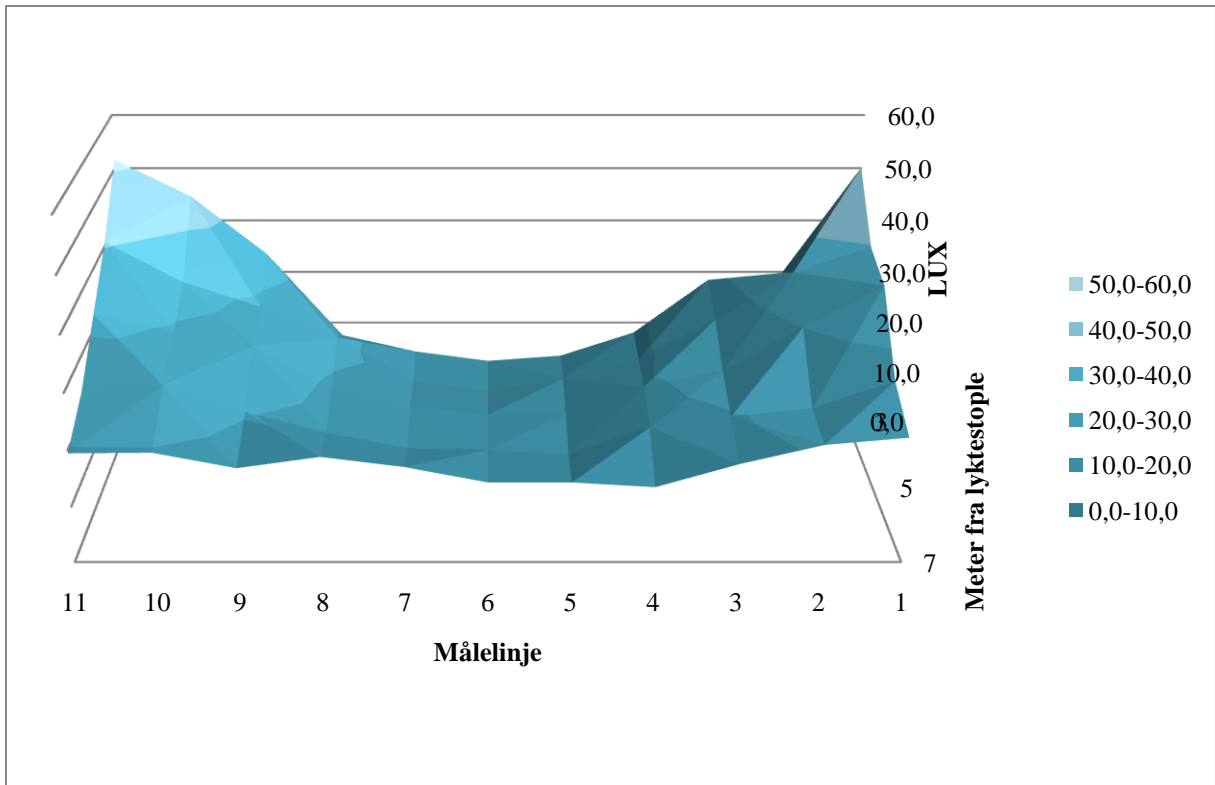
5.5.1 Veibane

Tallene for belysningsstyrken på veibanen er fremstilt som en flate der høyden viser hvor kraftig belysningen er. Målefeltet er sett fra yttersving. Det betyr at den nærmeste delen av flaten er lengst fra mastene og motsatt. Dessverre var det ikke mulig å fremstille grafen slik at svingen der målefeltet ligger kommer frem i flaten.



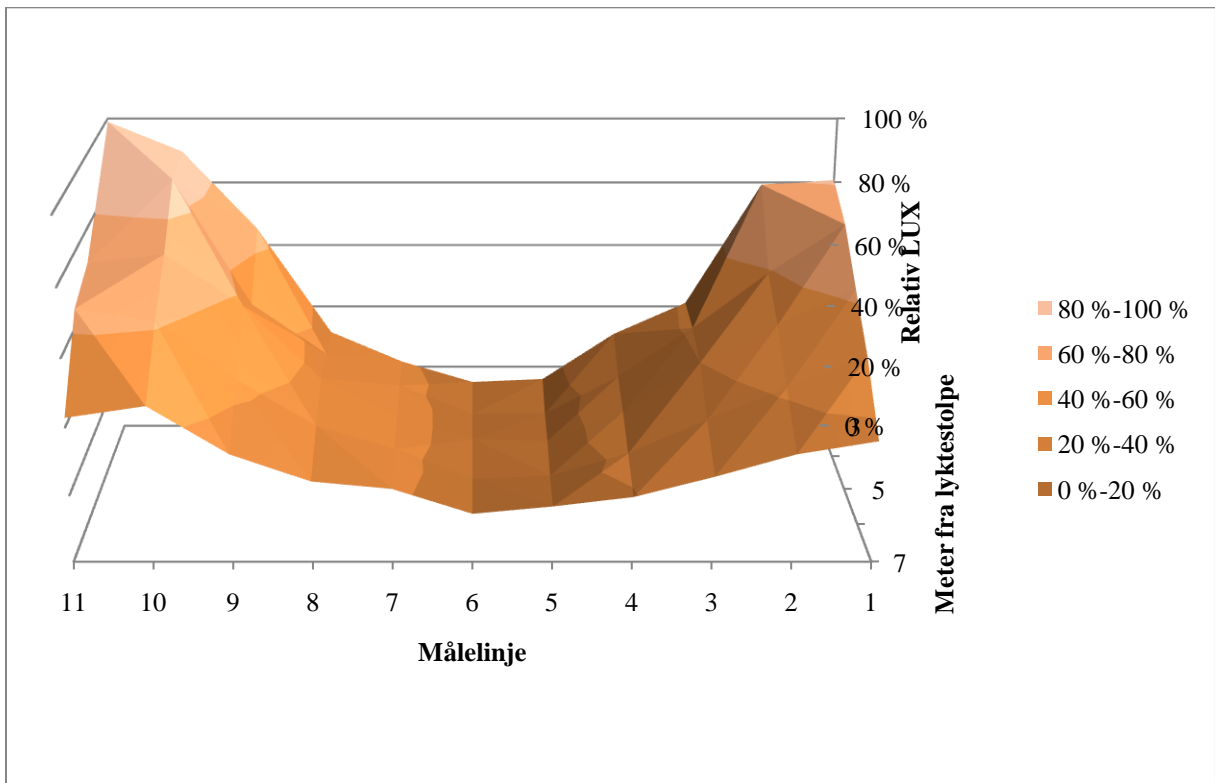
Figur 5.14 Absolutt belysningsstyrke, høytrykknatrium, veibane

Maksimal verdi: 51,9 lux. Minimal verdi: 7,4 lux. Gjennomsnittsverdi: 21,5 lux.



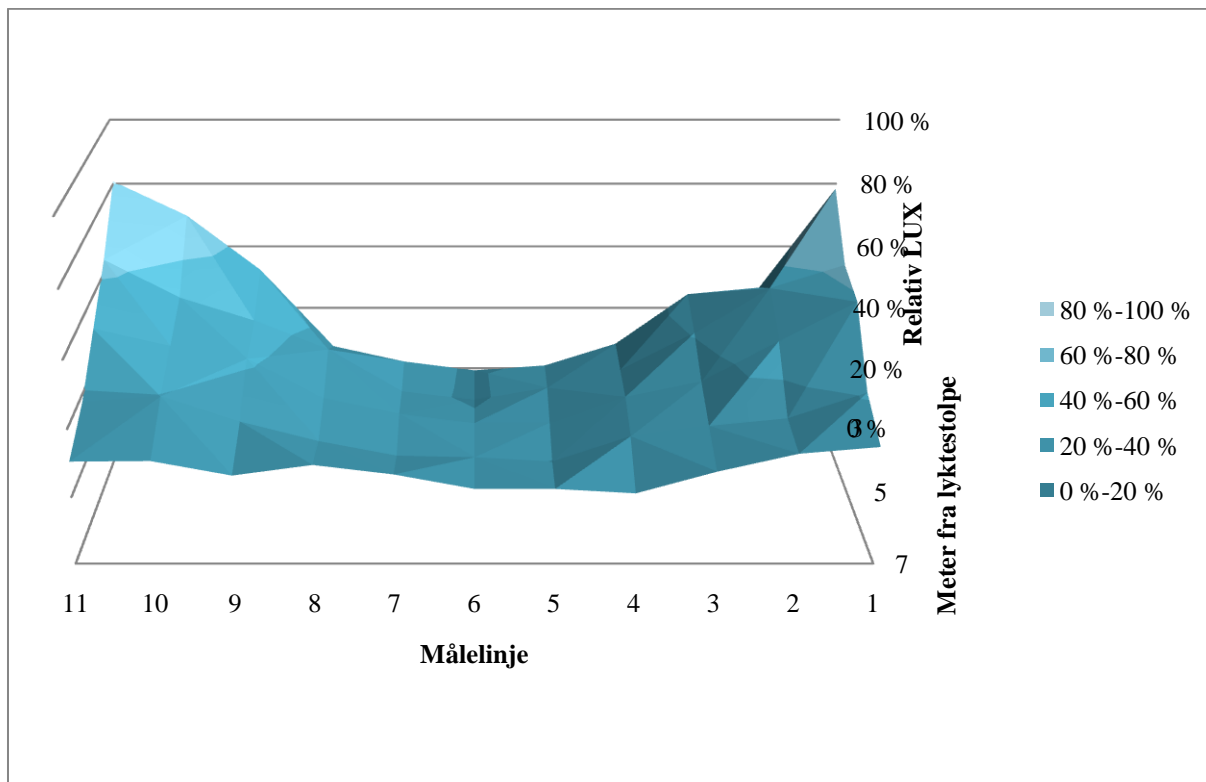
Figur 5.15 Absolutt belyningsstyrke, LED, veibane

Maksimal verdi: 51,6 lux. Minimal verdi: 12,2 lux. Gjennomsnittsverdi: 23,0 lux.



Figur 5.16 Relativ belyningsstyrke, høytrykknatrium, veibane

Gjennomsnittsverdi: 41 %.



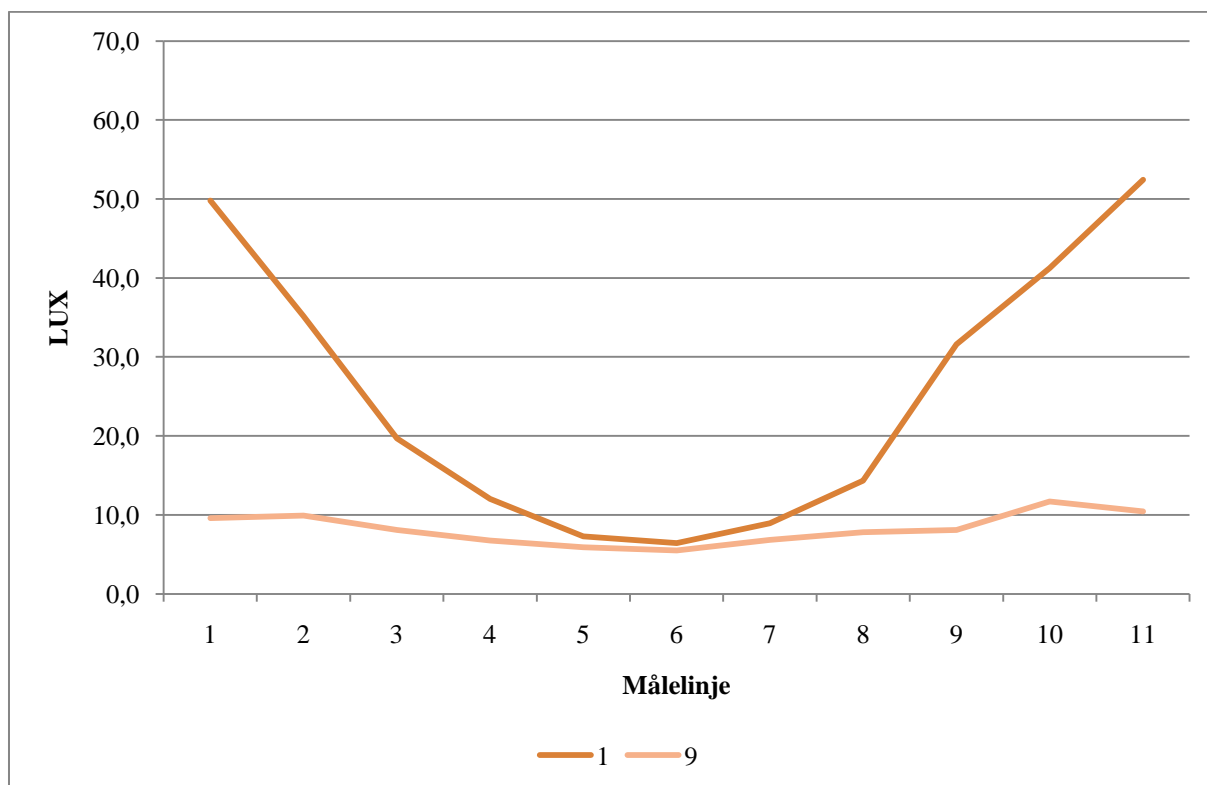
Figur 5.17 Relativ belyningsstyrke, LED, veibane

Gjennomsnittsverdi: 36 %.

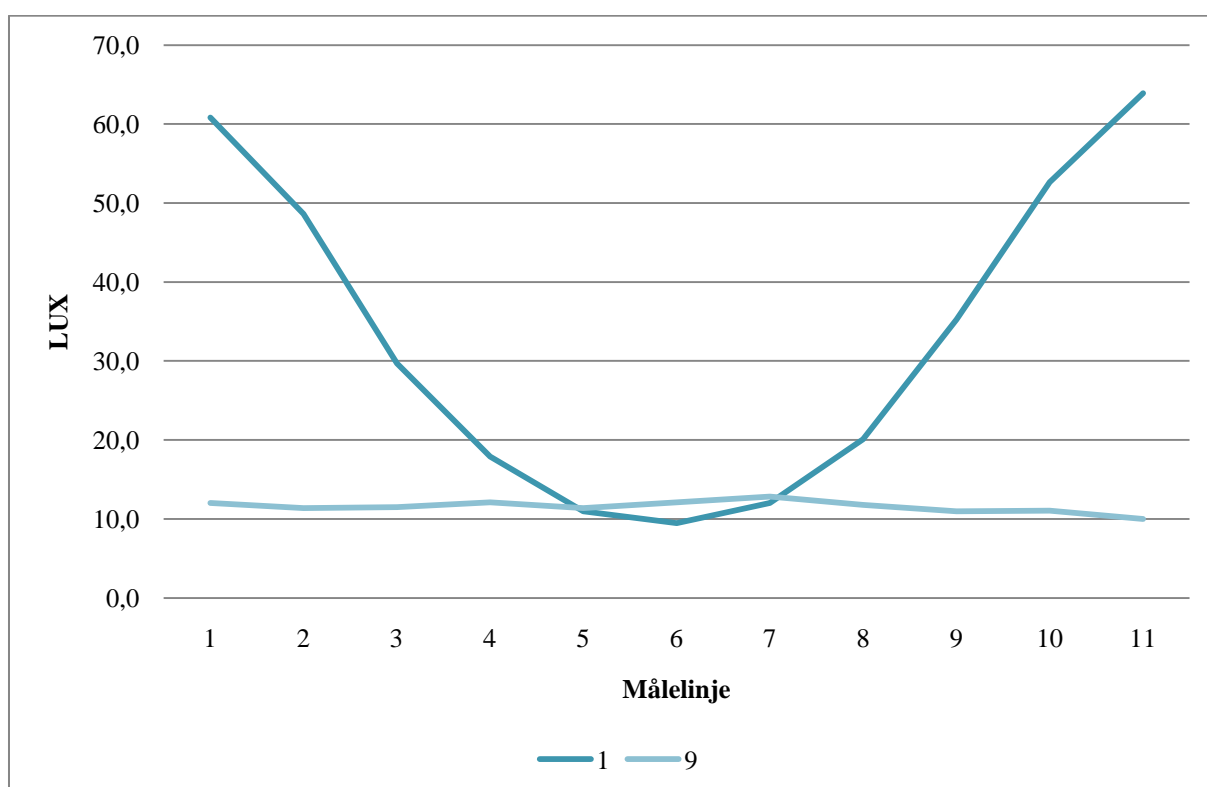
Den relative belyningsstyrken er beregnet ved å ta tallet i hvert punkt og dele det på den høyeste verdien i hele målefeltet.

For detaljer se vedlegg 8.

5.5.2 Fortau



Figur 5.18 Absolutt belyningsstyrke, høytrykknatrium, fortau

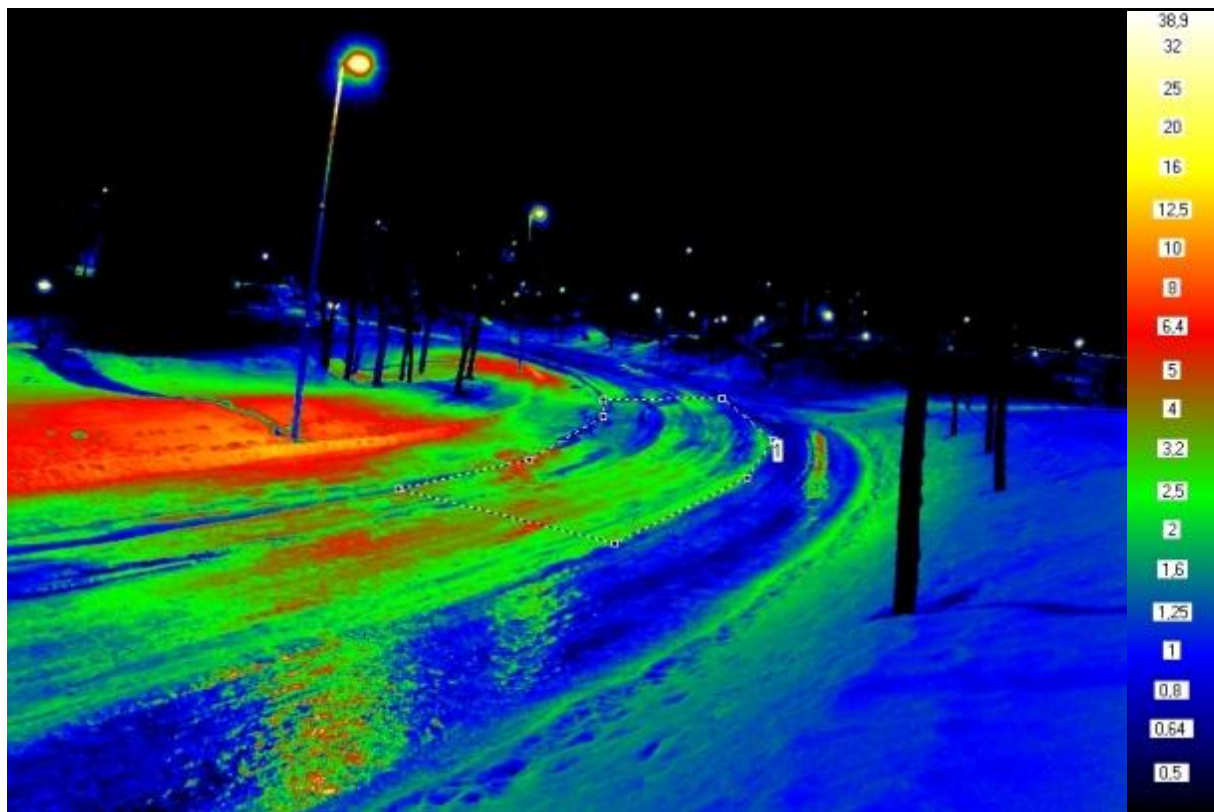


Figur 5.19 Absolutt belyningsstyrke, LED, fortau

Linjen merket "1" representerer fortauet nærmest mastene, linjen merket "9" fortauet lengst fra. For detaljer se vedlegg 8.

5.6 Luminans og luminansjevnhet

5.6.1 Philips Iridium med høytrykknatrium, isføre



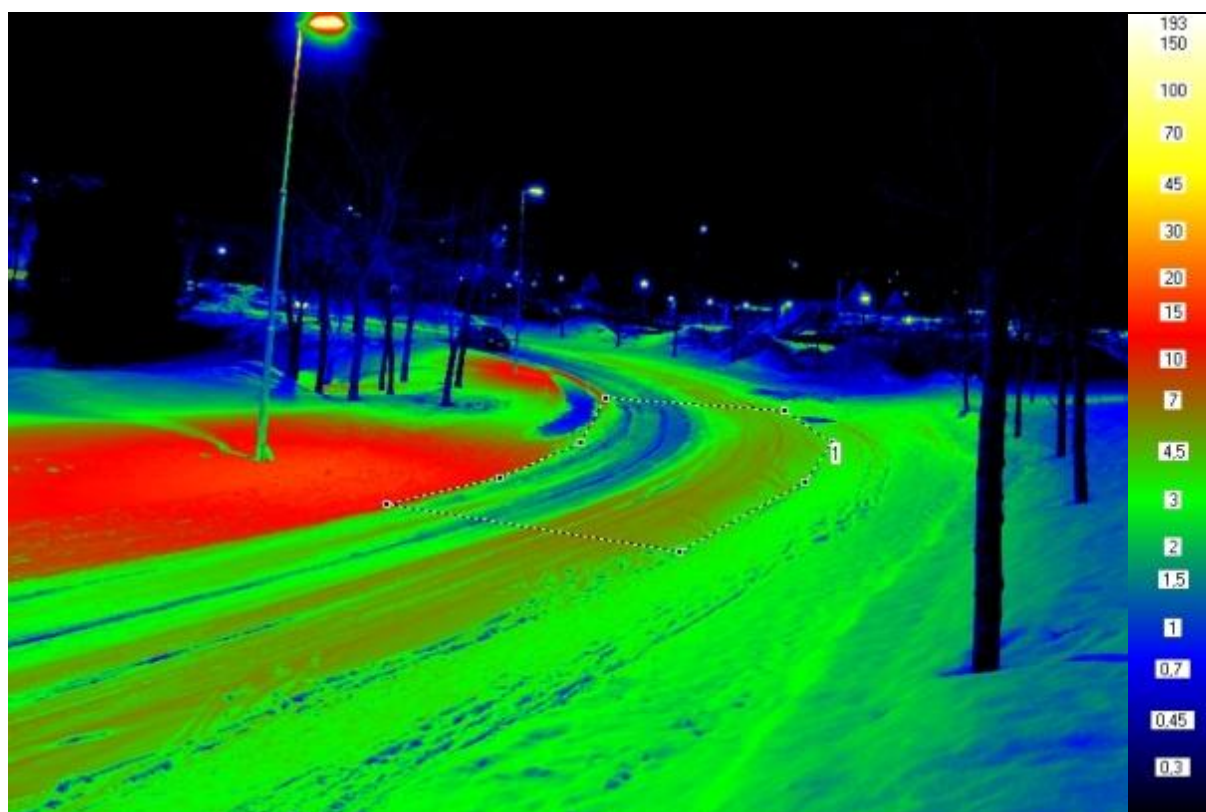
Figur 5.20 Luminansbilde, Philips Iridium med høytrykknatrium, isføre

Billedato og -tid: 27.02.2011 19:27
Føreforhold: Is
Grunnlag: IMG_4662
Skala: Logarithmic 2
Palett: LMK 1

Gjennomsnittlig luminans i målefelt: $2,364 \text{ cd/m}^2$
Minimal luminans i målefelt: $0,4648 \text{ cd/m}^2$
Maksimal luminans i målefelt: $7,745 \text{ cd/m}^2$

For detaljer, se vedlegg 9.

5.6.2 Philips SpeedStar, snøføre



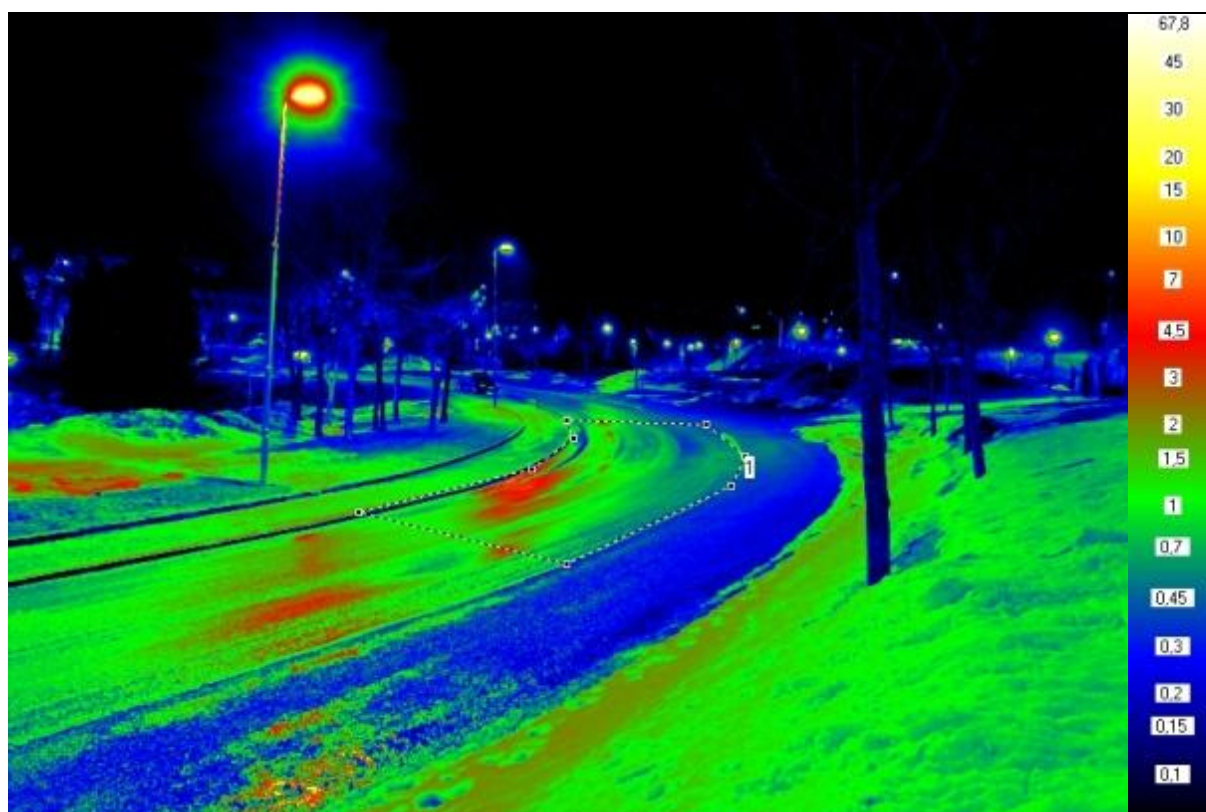
Figur 5.21 Luminansbilde, Philips SpeedStar, snøføre

Billedato og -tid: 11.03.2011 21:24
Føreforhold: Snø (litt gjennomslag av asfalt)
Grunnlag: IMG_4701, IMG_4702 og IMG_4703
Skala: Logarithmic 3
Palett: LMK 1

Gjennomsnittlig luminans i målefelt: $3,796 \text{ cd/m}^2$
Minimal luminans i målefelt: $0,5999 \text{ cd/m}^2$
Maksimal luminans i målefelt: $13,92 \text{ cd/m}^2$

For detaljer, se vedlegg 10.

5.6.3 Philips SpeedStar, vått føre



Figur 5.22 Luminansbilde, Philips SpeedStar, vått føre

Bildedato og -tid: 05.04.2011 21:38
Føreforhold: Vått
Grunnlag: IMG_4759, IMG_4760 og IMG_4761
Skala: Logarithmic 3
Palett: LMK 1

Gjennomsnittlig luminans i målefelt: $1,22 \text{ cd/m}^2$
Minimal luminans i målefelt: $0,1142 \text{ cd/m}^2$
Maksimal luminans i målefelt: $7,961 \text{ cd/m}^2$

For detaljer, se vedlegg 11.

5.6.4 Philips SpeedStar, tørt føre



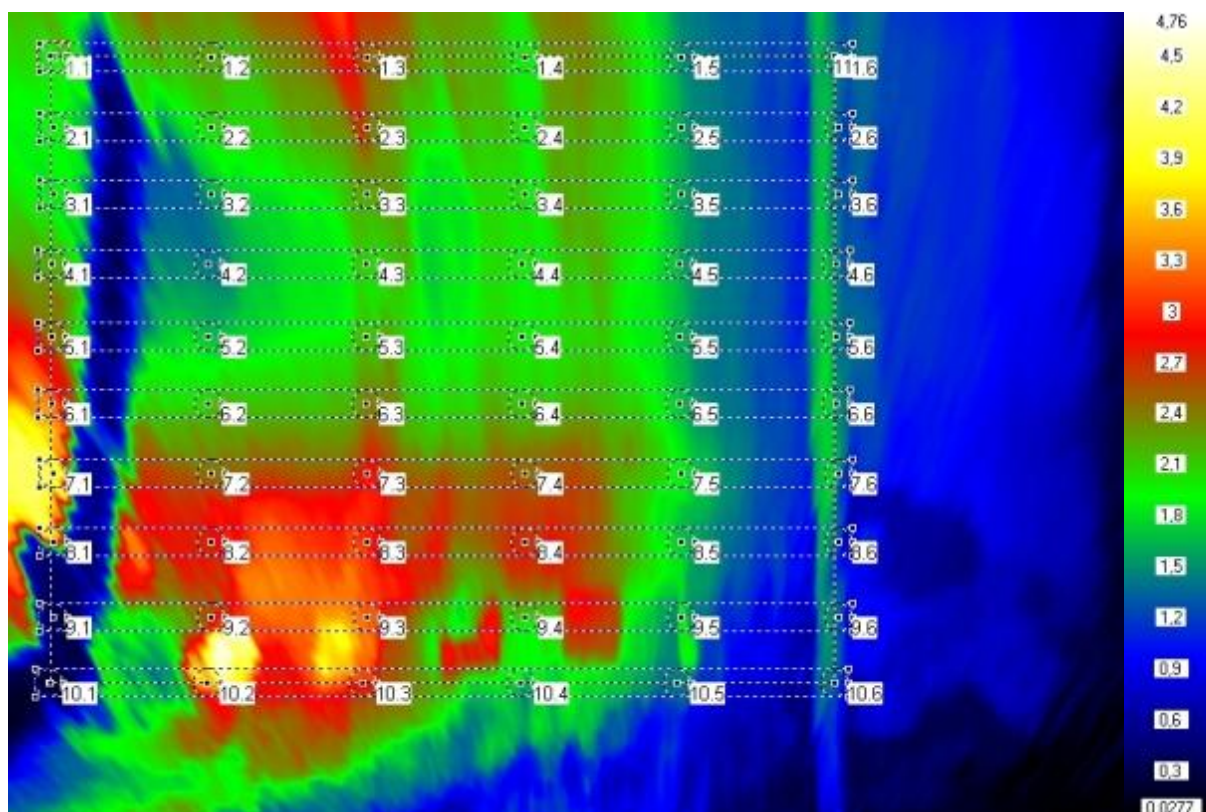
Figur 5.23 Luminansbilde, Philips SpeedStar, tørt føre

Bildedato og -tid: 28.04.2011 00:32
Føreforhold: Tørt og bart
Grunnlag: IMG_4798, IMG_4799 og IMG_4800
Skala: Logarithmic 3
Palett: LMK 1

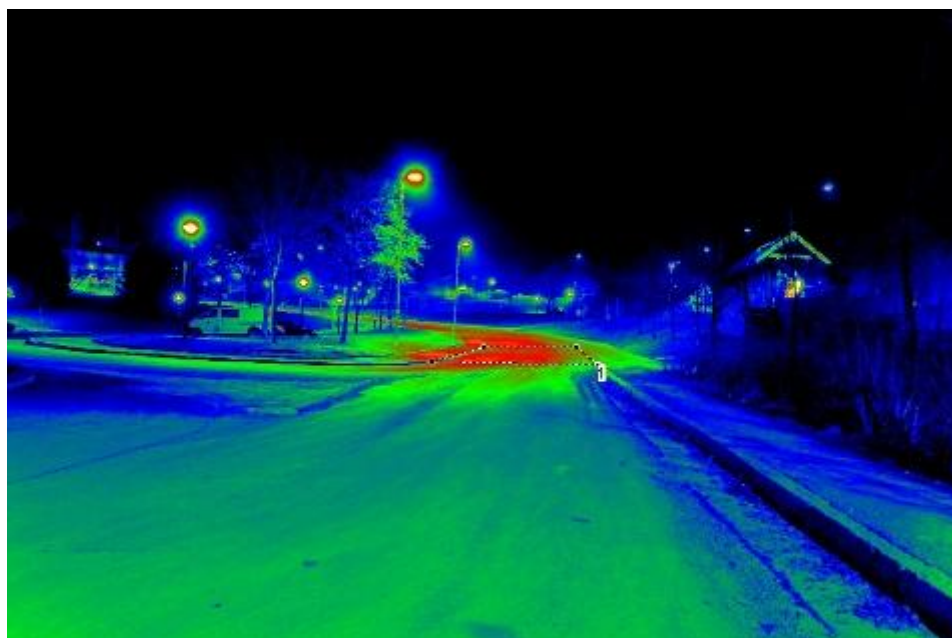
Gjennomsnittlig luminans i målefelt: $2,516 \text{ cd/m}^2$
Minimal luminans i målefelt: $0,1732 \text{ cd/m}^2$
Maksimal luminans i målefelt: $4,854 \text{ cd/m}^2$

For detaljer, se vedlegg 12.

5.6.5 Philips SpeedStar, langsgående luminansjevnhet



Figur 5.24 Luminansbilde, strukket region med målepunkter



Bildedato og -tid:
28.04.2011 00:26

Føreforhold:
Tørt og bart

Grunnlag:
IMG_4794,
IMG_4795 og
IMG_4796

Skala:
Logarithmic 3

Palett:
LMK 1

Figur 5.25 Luminansbilde, grunnlag for jevnhetsberegning

Figur 5.24 og Figur 5.25 viser målefeltet til luminansjevnhetsberegningene.

Den gjennomsnittlige luminansen i hele målefeltet er beregnet til $2,03 \text{ cd/m}^2$, minimum $0,2351 \text{ cd/m}^2$ og maksimum $4,755 \text{ cd/m}^2$. Jevnheten per langsgående målerekke er beregnet til:

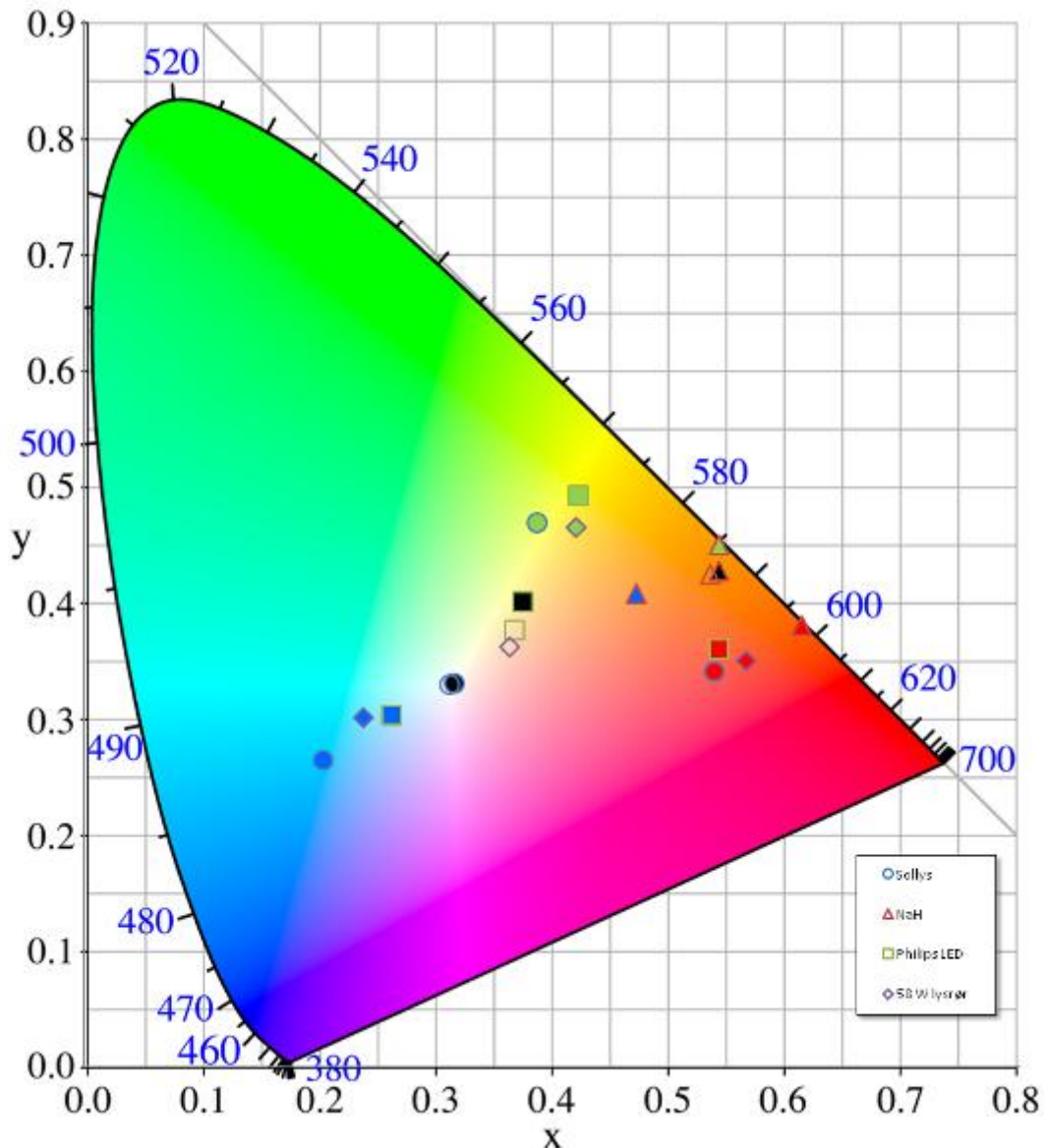
Rekke 1	Rekke 2	Rekke 3	Rekke 4	Rekke 5	Rekke 6
0,08	0,42	0,64	0,65	0,76	0,77

Tabell 5.9 Langsgående luminansjevnhet

For detaljer, se vedlegg 13 og 14.

5.7 Fargeforskyvning

5.7.1 Fargeprøver



Figur 5.26 Fargekoordinater, fargeprøver, CIE fargerom

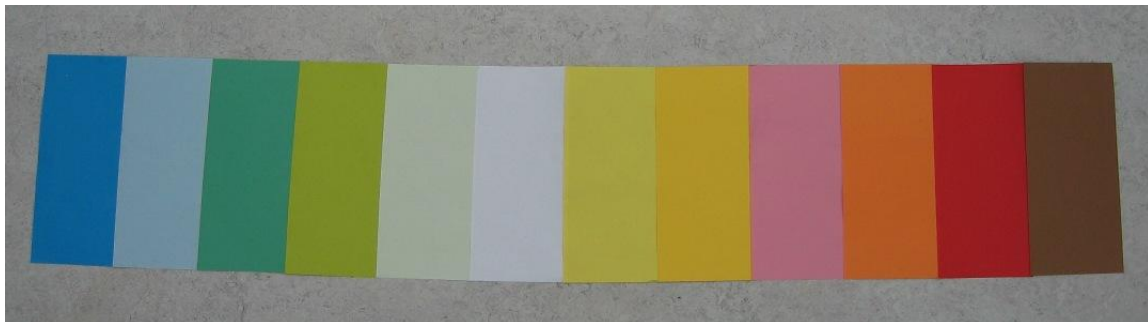
Figur 5.26 viser fargekoordinatene til fem utvalgte fargeprøver (blå, gressgrønn, hvit, rød og asfalt) i lyset fra de ulike lyskildene. Blått, gressgrønt og rødt ble valgt ut fordi de ligger nærmest de vanligste primærfargene. Hvit ble valgt ut fordi hvitt ligger ”midt i” fargediagrammet. Asfalten er et naturlig valg uansett, da veibelysning vanligvis ses på asfaltdekke. Asfalten ble ikke målt i lysrørlys. Formen til punktene representerer lyskilden; ring for sol, trekant for høytrykknatrium, firkant for LED og skråstilt firkant for lysrørene.

Merknad: Asfalt er et veldig inhomogent stoff som inneholder steiner og partikler med mange ulike farger. Fargen på asfalten vil variere fra sted til sted og derfor vil det stedet målingene tas ha stor innvirkning på utfallet av målingene. Det har også mye å si hvor slitt asfalten er. I dette tilfellet var asfalten slitt.

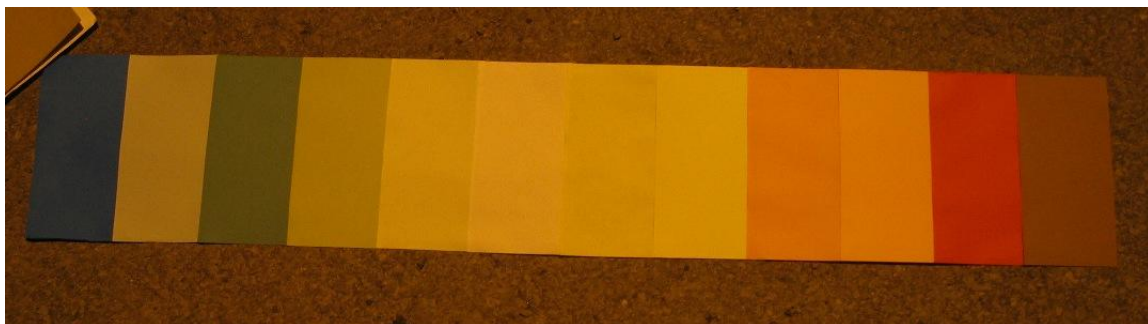
Fargekoordinater i sollys	Blå	Gressgrønn	Hvit	Rød	Asfalt
x	0,205	0,387	0,313	0,538	0,317
y	0,264	0,468	0,329	0,340	0,300

Tabell 5.10 Fargekoordinater for fargeprøver, sollys

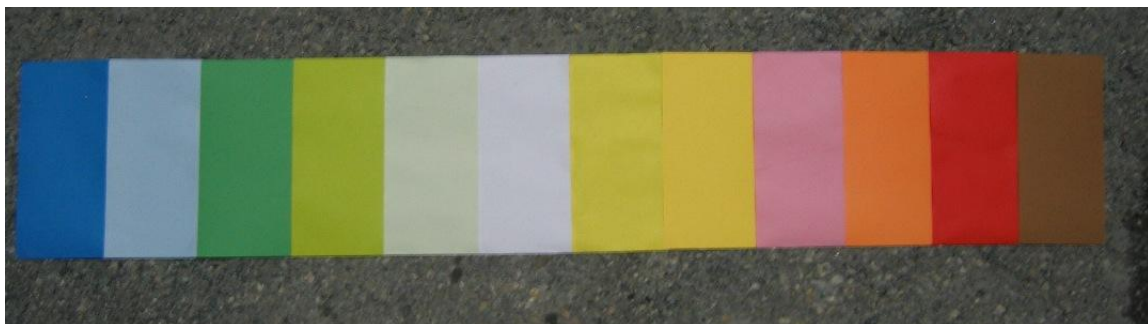
Figur 5.27 - Figur 5.30 viser fargeprøvene i lyset fra de ulike lyskildene. (OBS: Trykningen kan ha forvrengt fargene.) For detaljer og resten av fargene, se vedlegg 15.



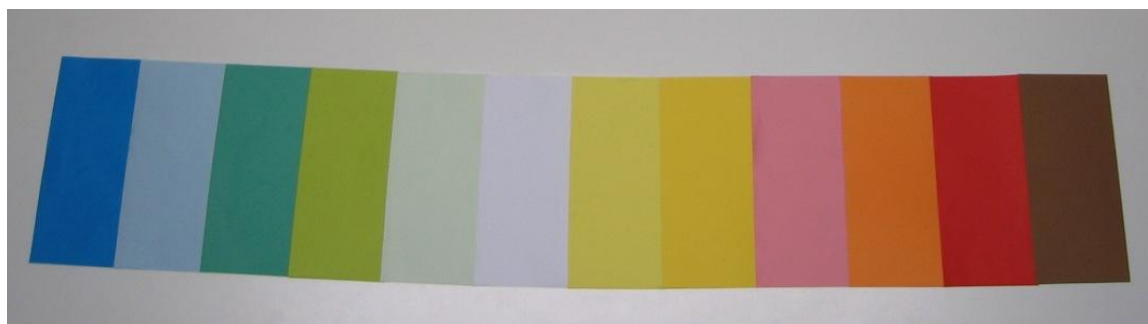
Figur 5.27 Fargeprøver, sollys overskyet (innendørs)



Figur 5.28 Fargeprøver, NaH

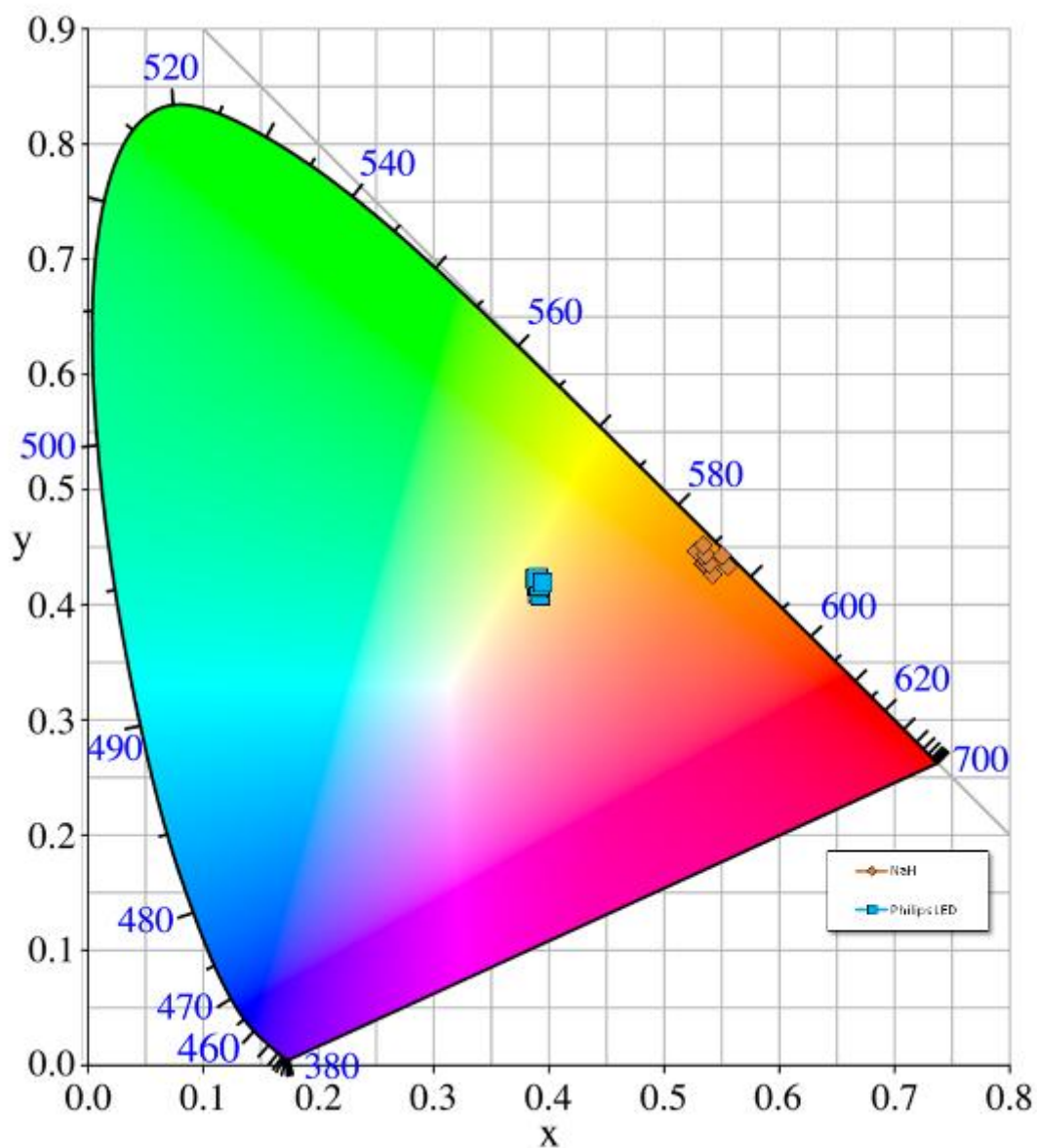


Figur 5.29 Fargeprøver, Philips LED



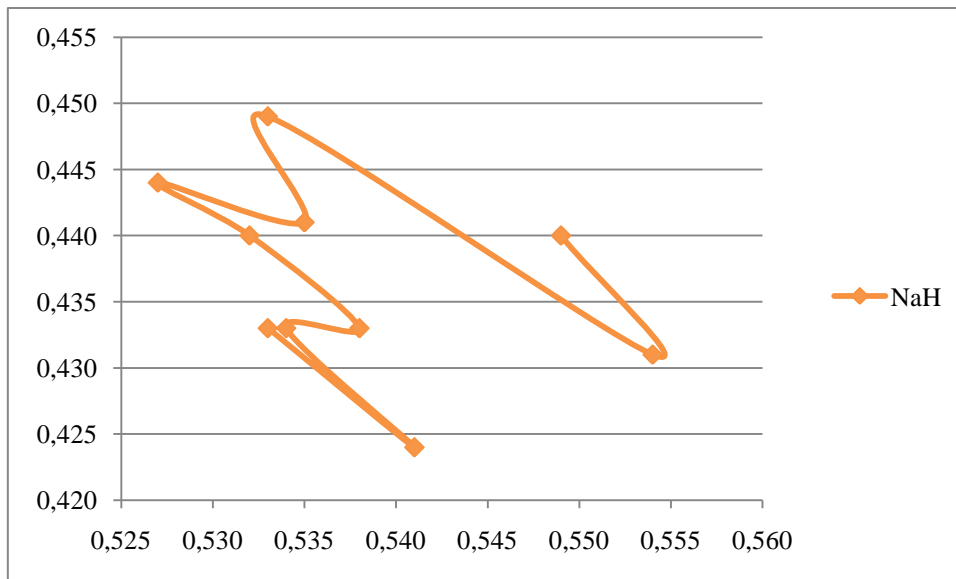
Figur 5.30 Fargeprøver, lysrørlys (Philips 950 og Osram 940)

5.7.2 Dimming



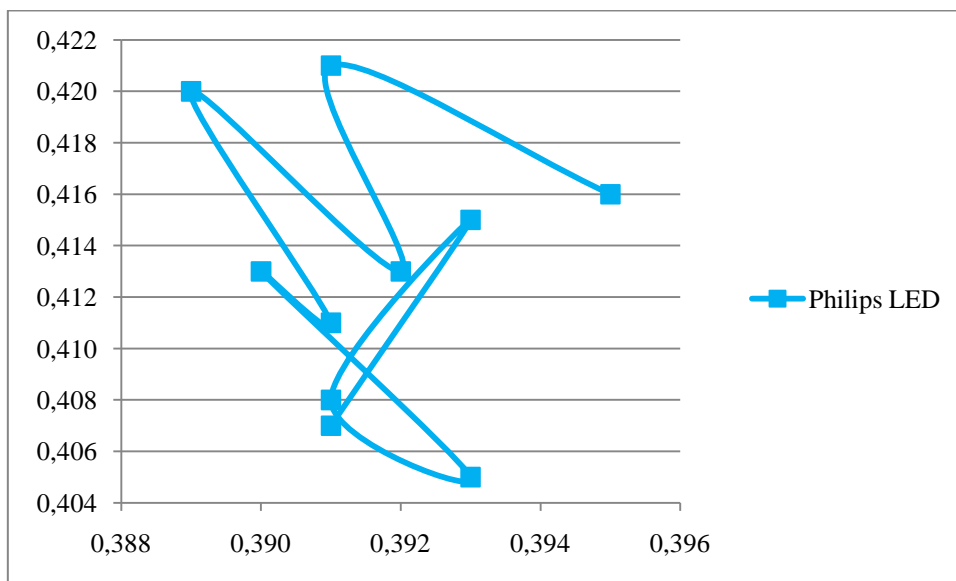
Figur 5.31 Endring av lysfarge ved dimming

Figur 5.31 viser hvordan lysfargen til henholdsvis SpeedStarmarmaturen og Iridiumarmaturen oppfører seg når armaturen dimmes. Det kan se ut på figuren at punktene forskyver seg, men hvis det zoomes nærmere inn på punktene, skjer følgende.



Figur 5.32 Fargeforskyvning dimming, høytrykknatrium

Det ser ut til at det kan være en svak forskyvning fra venstre mot høyre for høytrykknatriumlampen, men punktene er altfor tilfeldig fordelt til å si noe sikkert.



Figur 5.33 Fargeforskyvning dimming, Philips SpeedStar

Punktene er helt tilfeldig plassert og det er kun streken mellom dem som viser hvilken rekkefølge de kommer i.

	NaH 100 %	NaH 10 %	SpeedStar 100 %	SpeedStar 10 %
x	0,533	0,549	0,391	0,395
y	0,433	0,440	0,407	0,416

Tabell 5.11 Fargekoordinater, 100 % og 10 % effekt

For detaljer, se vedlegg 15.

5.8 Spørreundersøkelse

5.8.1 Anlegget før og etter utskifting til LED-armaturer

Spørreundersøkelsen om testanlegget var en gedigen skuffelse da det kun kom inn fem svar på del en og tre svar på del to. (To av svarene er dessuten mine egne svar.)

Resultatene fra denne spørreundersøkelsen vil derfor kun bli gjengitt i grove trekk. For detaljer, se vedlegg 16 og 17.

Personene som svarte på undersøkelsene var alle i tjuårene og ingen av dem hadde noen større, avgjørende synsfeil. De fleste gikk på beina ved besiktigelsen og alle tilfellene unntatt ett, var på snø-/isføre. Selv hadde jeg tilgang til bil og har i begge tilfellene svart deretter.

De som svarte på del en av spørreundersøkelsen (før utskifting) synes stort sett at belysningen er passe eller litt for sterk for veien der testanlegget er, men litt for svakt for en hovedvei som E6. Ingen av dem (unntatt meg) hadde noe særlig å utsette på lysfargen og ingen tenkte noe større over anlegget når de så det på dagtid.

Personene som svarte på del to (etter utskifting), var de samme som svarte på del en. To gikk på beina ved besiktigelsen. Det var bart eller vått føre for alle.

To syntes lyset var litt sterkt for testanlegget, en syntes det var passe. Alle tror styrken ville vært passe for en hovedvei som E6. To syntes lyset var penere som hvitt, mens en syntes det var dårligere fargegjengivelse. Generelt var det ingen som hadde noen sterke meninger om testanlegget, verken på dagtid eller i mørket med unntak av en liten følelse av blanding.

Av det som har kommet frem av tilbakemeldinger utover selve spørreundersøkelsen, virker det som at de fleste synes at testanlegget er penere med hvitt lys, men at det ikke spiller så stor rolle for akkurat dette området.

5.8.2 Subjektiv fargeoppfattelse

Også for denne spørreundersøkelsen er datagrunnlaget for svakt til å si noe sikkert om den subjektive fargegjengivelsen til det to lystypene. Derfor vil resultatene kun bli gjengitt i grove trekk. For detaljer, se vedlegg 15.

Alle unntatt én av de syv som svarte på spørreundersøkelsen var i tjuårene. Den siste var i trettiårene. De fleste så flest farger i lyset fra SpeedStararmaturene, men ingen så færre enn ti farger generelt. I begge tilfellene var det de mørke fargene blå, grønn og rød, som forsøkspersonene så best. Forsøkspersonene hadde størst problemer med å skille de lyse fargene i midten av fargeprøven fra hverandre.

6 Diskusjon

6.1 Lysfluks, effektforbruk og lysutbytte

Det var to hensikter med disse målingene: Den første hensikten var å se om dataene produsentene oppgir er etterrettelige. Den andre hensikten var å sammenligne egenskapene til LED-armaturene med egenskapene til Iridiumarmaturene. Det kunne i tillegg vært interessant å sammenligne de to LED-armaturtypene med hverandre, siden de på papiret ikke er så helt ulike når det gjelder lysfluks og effektforbruk. Dessverre er det vanskelig å sammenligne målingene, på grunn av at Sitecoarmaturene er en NULL-serie, se underkapittel 6.1.4.

Alle de fem LED-armaturene hadde en liten nedgang i lysfluks etter innkobling. Det er vanskelig å anslå nøyaktig hvorfor dette fenomenet oppstår, men en mulig årsak kan være at den varmen som utvikles ved drift påvirker elektronikken. En annen mulig årsak, som kun gjelder SpeedStarmaturene, kan være at styresystemet ikke registrerte 10 V fra styrekilden, selv om den eksterne målingen viste 10 V.

Både Philips og Siteco har sagt at det kan tenkes at armaturene har en ”innkjøringsperiode”, altså at de trenger å brukes litt før systemet yter maksimalt. Det er vanskelig å sjekke hvorvidt dette stemmer eller ikke med bakgrunn i de målingene som er gjort i forbindelse med dette prosjektet.

En annen usikkerhet som bør nevnes, er tilfeldige variasjoner mellom enhetene fra samme produsent. Selv om enhetene er ”samlebåndsprodusert”, kan små konstruksjonsforskjeller gi tilsynelatende uforklarlige avvik.

Når det gjelder effektforbruksmålingene, ser det ut til at det kan ha sneket seg inn en feil i utførelsen av målingene. Denne feilen er også nevnt i underkapittel 5.2.1. Feilen er at PQA-en stod i ”Fundamental-modus” og ikke ”Full-modus” (det vil si ”True RMS”). Forskjellen ligger i hvordan den beregner effektforbruket. I ”Fundamental-modus” bruker PQA-en kun grunnfrekvensen til å beregne effektforbruket, mens den i ”Full-modus” bruker alle harmonier til å beregne effektforbruket. Enkle kontrollmålinger på noen testobjekter har i ettertid vist at det med stor sannsynlighet kun er snakk om et par watt for lite, da strømkurvene til alle armaturene er ganske nærme en ren sinus ved full effekt. Det er sannsynlig at andelen denne feilen utgjør, øker noe etter hvert som armaturene dimmes, siden dimming medfører en større andel overharmoniske forstyrrelser. Dette gjelder kun for SpeedStarmaturene, da disse var de eneste testobjektene som ble målt med dimming.

I tillegg til den ovennevnte målefeilen, er det feilmarginer i både PQA-en, oscilloskopet, wattmeteret og strømtengene. Disse feilmarginene er på pluss/minus et par prosent i alle tilfellene, men det er lite trolig at alle feilmarginene virker i samme retning samtidig. Det er også lite trolig at de har hatt noen stor innvirkning på målingene, både fordi målingene ligger så nærme de oppgitte verdiene og fordi armaturene er så like seg imellom. Lederens plassering i strømtangen kan også påvirke strømmålingene, men det antas at feilen er ubetydelig, siden strømtangens måleåpning er veldig liten.

Standardene for lysmåling sier at omgivelsestemperaturen ved lysmålinger skal være 25 °C. Temperaturen i Lyslaboratoriet antas å ha ligget på 17-20 °C. Da målingene er gjort relativt, antas det at temperaturen ikke hadde innvirkning på målingene.

Siden alle målingene er gjort på samme måte, er det rimelig å anta at flesteparten av de eventuelle målefeilen trekker i samme retning for alle måleobjektene. Dette vil derfor ikke påvirke sammenligningen armaturene imellom, kun sammenligningen mot produsentenes data.

6.1.1 Philips SpeedStar

Det første som bør sies om denne LED-armaturen, er at Philips hadde litt problemer med å bli enige med seg selv hvor mye lysfluks den egentlig skulle sende ut. Det første tallet som dukket opp, var noe over 20 000 lm. Målingene viste at alle de tre armaturene hadde en total lysfluks mellom 10 100 lm og 10 500 lm ved stabil drift, altså omtrent halvparten av oppgitt verdi. Senere rettet Philips dette tallet først til ca. 14 500 lm og deretter ca. 14 000 lm. Samtidig oppgav de en armaturvirkningsgrad på 89 %, hvilket gir en total lysfluks på ca. 12 500 lm. Denne verdien er fremdeles så langt over de målte verdiene til at differansen ikke kan forklares med målefeil alene.

Etter noe leting, og en del frem og tilbake, kom det endelig opp en verdi på 10 608 lm. Dette ser ut til å være den korrekte verdien, som også tar høyde for armaturvirkningsgraden. Ved ferdigstilling av denne rapporten har Philips fremdeles ikke bekreftet denne verdien, men videre sammenligning baserer seg likevel på dette tallet.

Lysfluksen til armaturene ligger mellom 10 100 lm og 10 800 lm på full effekt, avhengig av om lysfluksen blir målt direkte etter innkobling eller når den slutter å avta. Dette er mellom 96 % og 102 % av den oppgitte lysfluksen. Hvis det tas hensyn til måleusikkerheten, er dette helt i tråd med hva Philips oppgir. Ved dimming varierer lysfluksen lineært og proporsjonalt med styrespenningen. Dette er en veldig praktisk løsning.

Effektforbruket til armaturene ligger i følge PQA-en rundt 150 W ved full effekt. Med den ovennevnte målefeilen, vil effekttrekket ligge rundt 155 W. Oscilloskopmålingene setter effektforbruket lavere, rundt 145 W, mens wattmetermålingene ligger midt mellom de to andre målingene. Tatt i betraktning at den kontinuerlige målingen med kilowattmetelleren antyder et effektforbruk på ca. 145 W, er det rimelig å anta at effektforbruket ligger et sted mellom 145 W og 155 W ved full effekt. Dette er mellom 92 % og 97 % av den oppgitte verdien på 159 W. Ved dimming sank effektforbruket lineært med styrespenningen. Dette var forventet ut fra lysfluksmålingene.

Andre årsaker til avviket i effektforbruket enn de nevnte målefeilene, er vanskelig å gjette seg til. Det at kilowattmetelleren har et avvik på 8 %, skyldes mest sannsynlig at armaturen faktisk ikke gikk på full effekt, selv om styrespenningen var 10 V. Dette betyr at hvis ikke målingen av styrespenningen er feil, kan armaturene overgires. Testmålinger uten påtrykt styrespenning antyder at dette kan være tilfellet, men at det kun er snakk om noen få tidels volt. Det er uvisst om dette er tilsiktet fra produsentens side eller ikke.

Lysutbyttet til de tre armaturene ligger rundt 70 lm/W ved full effekt og mellom 65 lm/W og 80 lm/W over hele dimmeområdet. Lysutbyttet øker frem til omtrent 50 % dimming og avtar deretter igjen. Årsaken til dette er ikke kjent, men fenomenet har blitt observert på andre LED-armaturer også. En mulig årsak kan være at varmen fra armaturen avtar, slik at den elektriske motstanden i elektronikken også avtar. En annen mulig årsak er størrelsen på strømmen gjennom LED-ene. Maksimal effektivitet ligger på 350 mA og effektiviteten avtar

på begge sider av denne verdien. (Larsen, 2010-11) Uten å ha målt strømmen gjennom LED-ene, er det ikke mulig å verifisere dette, men det virker sannsynlig.

Opgitt lysutbytte ved full effekt er på ca. 66 lm/W, så lysutbyttet er noe bedre enn forventet. Det må fremdeles tas hensyn til den ovennevnte målefeilen, som vil senke lysutbyttet noe dersom antagelsen om for lavt effektforbruk stemmer.

Når det gjelder innbyrdes forskjeller mellom de tre armaturene, er de nesten neglisjerbare. Det er vanskelig å anslå hvor mye ulik brukstiden har å si for målingene, men armatur A039-09, som har stått på i nesten 100 timer lenger enn de andre to, sender ut litt mer lysfluks. Dette kan underbygge påstanden om at armaturene har en "innkjøringsperiode", men det statistiske grunnlaget med bare tre armaturer er altfor svakt til å si noe sikkert.

6.1.2 Siteco SL 10 MIDI

Siden de to armaturene fra Siteco er en såkalt NULL-serie beregnet på demonstrasjoner og testing, er det vanskelig å bedømme kvaliteten til armaturtypen som sådan ut fra de målingene som er gjort på disse to armaturene.

Lysfluksmålingene viser at NULL-serien ikke holder mål, dersom måledataene sammenlignes med de oppgitte verdiene. Med verdier fra 6600 lm til 7000 lm yter de under 80 % av oppgitt lysfluks. Dette er ikke spesielt imponerende med tanke på at effektforbruket ligger ganske nært det oppgitte startforbruket, > 94 %. Den nevnte PQA-målefeilen er i dette tilfellet neglisjerbar, da Sitecoarmaturene har en effektfaktor på 0,99.

Siteco oppgir en armaturvirkningsgrad på 100 %, men det er i dette tilfellet et definisjonsspørsmål. Siteco har sagt at de ikke ser noen grunn til å oppgi lysfluksen fra LED-ene alene, siden dette strengt tatt ikke er veldig interessant for kundene. I hvert fall ikke så lenge de har effektforbruket og den totale armaturlysfluksen. Det er en viss mulighet for at det finnes en reell armaturvirkningsgrad, altså at optikken fjerner noe mer av lysfluksen enn det Siteco hevder, men det er ikke mulig å finne den med bakgrunn i disse målingene.

Lysutbyttet ligger mellom 63 lm/W og 65 lm/W. Igjen er det vanskelig å si noe om hvorvidt dette er representativt for armaturtypen. Mest sannsynlig ligger lysutbyttet noe høyere. Forventet lysutbyttet med bakgrunn i oppgitte verdier er nesten 80 lm/W ved starten av livsløpet, og 55 lm/W ved 50 000 timer.

Det er liten vits å analysere resultatene noe særlig utover dette, da videre analyse kun blir spekulasjoner.

6.1.3 Philips Iridium og damplampene

Målingene av høytrykknatriumlampen med Iridiumarmatur og Philipsforkobling viste at tapet i lysfluks er ganske betydelig når en damplampe settes inn i en armatur. Lysfluksen gikk ned fra ca. 15 100 lm til 11 100 lm, altså et tap på over 25 %. Armaturvirkningsgraden er oppgitt å være 78 %, så nedgangen var forventet. Tapet av lysfluks var likevel litt større enn armaturvirkningsgraden skulle tilsi. Dette kan ha med reflektoren å gjøre, siden det er usikkert hvilken reflektortype armaturvirkningsgraden tilhører. Det kan også være at glasset i armaturen var skittent.

Det totale effektforbruket ligger på 171 W. Det er uvisst nøyaktig hvor stort effektforbruket til forkoblingsutstyret er, selv om målingene antyder omtrent 20 W.

Målingen av de tre ulike damplampene alene, viste at det i dette tilfellet er liten forskjell på hvilken type elektronisk forkobling som brukes, når det gjelder lysfluks og effekttrekk. Alle de tre damplampene lå så å si nøyaktig på sine respektive merkeverdier, uansett forkobling. Den eneste reelle forskjellen på forkoblingene, var strøm- og spenningsfrekvensen ut mot lampen. Philipsforkoblingen hadde 124 Hz, mens Selcforkoblingen hadde 80 Hz. Om dette har noe å si for eksempelvis levetiden til lampene, er uvisst.

Målingen med den konvensjonelle forkoblingen viste at lysfluksen økte med ca. 4 % og effektforbruket til lampen økte med nesten 25 %, sammenlignet med de elektroniske forkoblingene. Lysfluksen lå da på 104,6 % av merkeverdi, mens effektforbruket lå på 130 % av merkeverdi. Den konvensjonelle forkoblingen har heller ikke en ren firkantspenning ut mot lampen, men tennspenning og brennspenning. Tennspenningen er litt høyere enn brennspenningen. Det er altså stor sannsynlighet for at de elektroniske forkoblingene er ”snillere” mot lampene, hvilket gir økt levetid.

Damplamper av typen høytrykknatrium regnes for å være noen av de mest effektive lyskildene som finnes, med et lysutbytte i området mellom 100 lm/W og 150 lm/W, kanskje mer i enkelte tilfeller. Gjeldende testlamper har et oppgitt lysutbytte på 100 lm/W for standardlampen og 116 lm/W for Super 4Y-lampen. De beregnede verdiene ligger litt under dette, henholdsvis rundt 97 lm/W og 111 lm/W. Hvis effektforbruket til forkoblingen og armaturvirkningsgraden tas med i beregningen, gir måledataene et lysutbytte på 65 lm/W for standardlampen. Altså 65 % av det standardlampen yter alene.

6.1.4 Sammenligning, LED mot LED

Direkte sammenligning med bakgrunn i de testede armaturene har lite for seg, siden Sitecoarmaturene er en NULL-serie. Det som derimot er litt interessant er sammenligning av de oppgitte dataene.

Basic-modellen til Siteco, uten konstantlumensystemet, har ifølge databladet (vedlegg 3, side 1) en lysfluks på 11 500 lm og et effektforbruk på 159 lm ved null timer. Dette er nesten de samme tallene som Philips oppgir for sine armaturer. Sitecomodellene med konstantlumensystemet har 8800 lm og 159 W ved 50 000 timer. Enkel interpolering av tallene for lystap til SpeedStararmaturene i vedlegg 2 (90 % ved 35 000 timer og 50 % ved 100 000 timer) viser at lystapet til SpeedStararmaturene er nesten nøyaktig det samme som lystapet til Sitecoarmaturene (~8600 lm ved 50 000 timer).

Dette er ganske interessant. For det første betyr dette at Siteco klarer samme lysintensiteten som Philips, men med bare halvparten så mange LED. Dette bør ha konsekvenser for prisen til armaturene. For det andre betyr dette at Sitecoarmaturer med konstantlumensystem lysmessig sett er mer forutsigbare enn Philipsarmaturer som ikke har et slikt system. Hvorvidt dette er tilfellet er derimot ikke mulig å si med bakgrunn i disse målingene. Dessuten er det mulig å ordne et konstantlumensystem manuelt, dersom armaturene leveres uten.

Å ha en forutsigbar lysflukskurve kan være ganske viktig for å slippe å måtte overdimensjonere et anlegg. Det er selvfølgelig mange andre aspekter inne i bildet når lysanlegg skal planlegges, men jo færre variabler jo bedre.

6.1.5 Sammenligning, LED-armaturer mot damplampearmaturer

Igjen har det lite for seg å trekke inn Sitecoarmaturene, siden målingene ikke er representative for modelltypen. Derfor vil dette underkapittelet kun ta for seg SpeedStararmaturene og Iridiumarmaturen.

Dersom damplampen analyseres alene, taler alle de tre faktorene i dennes favør. Det er fort gjort å se seg blind på disse tallene og glemme at en damplampearmaturo er mer enn bare lampen. For når armaturen og forkoblingen tas med i bergningen, har plutselig SpeedStararmaturene to av faktorene på sin side: Den totale lysfluksen er ca. 8 % høyere for Iridiumarmaturen, mens effekttrekket er ca. 12 % lavere og lysutbyttet er ca. 5 % høyere for SpeedStararmaturene. (Basert på tallene for en standard damplampelampe.)

Det at lysutbyttet til Iridiumarmaturen er så lavt som 65 lm/W, var faktisk ganske overraskende. Dette gjør at LED plutselig stiler langt sterkere enn først antatt. Gitt følgende tall: $10\,250\text{ lm} / 128\text{ LED} = 80\text{ lm/LED}$. $150\text{ W} / 128\text{ LED} = 1,17\text{ W/LED}$. (Tilnærmet gjennomsnitt.) Dette gjør at det kan legges til nesten 18 LED før effektforbruket når 171 W. Dermed øker lysfluksen med 1400 lm til 11 650 lm. Altså er LED forbi 150 W høytrykknatrium med nesten 500 lm, ved samme effektforbruk. Dette er ikke spesielt mye, men med utviklingen tatt i betraktning ser det ut til at LED kommer til å øke forspranget i årene som kommer. Det må tas hensyn til at tallet for høytrykknatrium baserer seg på en standardlampe. Som vist er Super 4Y-lampene noe kraftigere, ca. 15 % (Dette gir rundt regnet 12880 lm). Dette tipper vekten tilbake til høytrykknatriumsiden igjen.

Det er fremdeles flere aspekter som må tas med i vurderingen når belysningsanlegg skal bygges, blant annet lystapet over tid. Derimot ser det ut til at problemet med begrenset lysfluks, som LED-ene led under tidligere, nå er i ferd med å forsvinne.

6.2 Tredjeharmoniske strømmer

Hensikten med disse målingene var å se hvor stor andelen av tredjeharmoniske strømmer er, for å se om det er noen fare for at de skal bli den dimensjonerende faktoren i anlegget. Det er også interessant å se om det er noen forskjell mellom de ulike armaturtypene, og i så fall hvor stor den er.

Sitecoarmaturene genererer nesten ikke tredjeharmoniske strømmer i det hele tatt ved full effekt (2,9 %). Faktisk har disse armaturene en mindre andel tredjeharmoniske strømmer enn dampplampeforkoblingen til Philips (7,8 %). Dette vises også på driftsforløpet. Ingen av disse verdiene er i nærheten av den kritiske verdien på 33 % og det er derfor ingen fare for at nøytrallederen skal overopphetes.

SpeedStaramaturene genererer en ganske stor andel tredjeharmoniske strømmer sammenlignet med de to andre armaturtypene (~18 % ved full effekt), men ikke så mye at de går over den kritiske verdien. Målingene viser at andelen tredjeharmoniske strømmer, og overharmoniske forstyrrelser generelt, øker omtrent lineært ved dimming. Økningen er derimot ganske beskjeden frem til ca. 3 V (~22 %), etter dette øker andelen ganske kraftig. Sammenlignet med tidligere målinger på Philipsarmaturen fra fordypningsprosjektet, er dette en forbedring. Det bør også nevnes at det totale effektforbruket ved 2 V og 1 V uansett er såpass lavt at det ikke er noen fare for at nøytrallederen skal overopphetes, selv om andelen tredjeharmoniske er over den kritiske verdien på 33 %.

6.3 Belysningsstyrke

6.3.1 Bakgrunn for målingene og valg av målefelt

Hensikten med disse målingene var å se på de lysmessige forskjellene mellom Iridiumarmaturene og SpeedStararmaturene i et fullskala anlegg. Gjennom å måle belysningsstyrken fra begge armaturtypene i et fastlagt mønster, skulle maksimal belysningsstyrke og jevnheten til armaturene sjekkes mot hverandre. Målingene ble som nevnt utført mellom mast ni og mast ti i testanlegget i Høyskoleringen.

Årsaken til at disse to armaturtypene ble valgt ut, er ganske enkelt fordi Iridiumarmaturene stod i anlegget fra før, mens SpeedStararmaturene var den LED-armaturen det var flest av. Det ble gjort en vurdering på valget av LED-armaturer og konklusjonen var at dess flere like armaturer ved siden av hverandre, dess mindre sannsynlighet for at målingene skulle bli ”forurenset” av lys fra andre armaturer i nærheten. Det var også kommet tilbakemeldinger fra Pål J. Larsen om at Philips hadde den best jevnheten blant de armaturene som ble målt i fordypningsprosjektet.

Området mellom mast ni og mast ti ble valgt ut på grunn av testanleggets utforming og plassering i landskapet. Som nevnt ligger denne delen av anlegget i en sving og i en bakke. (Det ideelle for jevnhetsmålinger er rett strekning uten helning.) Siden det kun var tre SpeedStararmaturer tilgjengelig, ble disse satt opp på mast ni, ti og elleve, da disse mastene står på slik måte at de ”hører sammen”. Selv om avstanden mellom mast åtte og ni er mye den samme som mellom mast ti og elleve, ble det antatt at svingen og bakken gjør at lyset fra mast åtte har mindre innvirkning på målefeltet enn lyset fra mast elleve. For det andre alternativet, feltet mellom ti og elleve, ble det vurdert at lyset fra armaturene utenfor testanlegget hadde for stor innvirkning.

I ettertid er det mulig at valget av målefelt ikke var så lurt likevel. For det første gjorde svingen det vanskelig/umulig å ta luminansbilder av det samme feltet fra riktig posisjon. For det andre viser målingene at det mest sannsynlig uansett er marginalt med lys som kommer fra de andre armaturene langs veien, utenfor målefeltet, ved måling av belysningsstyrke. For det tredje stod det en metallhalogenarmatur ved oppgangen til jernbaneperrongen. I motsetning til de andre armaturene langs veien, kan denne ha hatt innvirkning på målingene. Dette betyr at feltet mellom mast ti og elleve på flere måter hadde vært et bedre valg.

Den største feilkilden i disse målingene ligger i selve utførelsen. På grunn av is og snø var veidekket svært ujevnt ved begge anledningene, da målingene ble gjennomført. Dette gjorde at det var meget vanskelig å legge målesensoren riktig, altså rett på / parallelt med underlaget. Selv små skjjevheter i den ene eller den andre retningen ga store utslag. Dette kunne til en viss grad ha vært unngått ved å montere målecellen på en plate eller lignende. Oppmålingen av målefeltet kunne også helt klart vært gjort mer nøyaktig. Det antas likevel at hovedtendensen i målingene er korrekte.

Det må også nevnes at både Iridiumarmaturene og SpeedStararmaturene er beregnet på en bredere vei enn veien der testanlegget ligger. Dette har ikke så mye å si for den langsgående jevnheten, men det har noe å si for belysningsstyrken på det ytre fortauet. Dette vises på fortausgrafene til SpeedStararmaturene. Grafen til fortauet lengst unna mastene krysser grafen til fortauet nærmest mastene.

6.3.2 Vurdering av målingene

Dersom målingene sammenlignes, viser det seg at SpeedStararmaturene gir kraftigere belysningsstyrke i hele målefeltet, både på veibanen og på fortauene. Dette er litt overraskende, siden de har et lavere lumentall enn Iridiumarmaturene. Lampene som stod i testanlegget var av typen Super 4Y, hvilket i teorien skulle ha gjort lyset enda litt sterkere enn det som ble målt i laboratoriet. Noe av forklaringen kan ligge i at Iridiumarmaturene har stått ute og at de derfor var skitne. Dette vil i så fall føre til lavere lysfluks ut av armaturen. Armaturen som ble målt i laboratoriet hadde aldri vært utendørs og var derfor kun litt støvete og hadde noen fingermerker. Det er vanskelig å tro at skitt er hele forklaringen, men ingen annen forklaring utover direkte målefeil virker sannsynlig.

Det er litt vanskelig å avgjøre hvilken armaturtype som gir den beste jevnheten på veibanen. Fra grafene i Figur 5.14 - Figur 5.19 kan det se ut som om SpeedStararmaturene har den beste jevnheten. Iridiumarmaturene har en noe klarere "dump" i midten av målefeltet enn SpeedStararmaturene. Tallene viser derimot at den gjennomsnittlige relative jevnheten til Iridiumarmaturene ligger på 41 %, mens SpeedStararmaturene ligger på 36 %. Dersom fortauene inkluderes, blir disse tallene henholdsvis 39 % og 36 %.

Det virker som om SpeedStararmaturene konsentrerer mer av lyset ved mastene, men at de likevel har en jevnere fordeling ut i "mellomsonen" enn Iridiumarmaturene. Hva som er best av disse løsningene er vanskelig å gi noen konklusjon på. Den beste måten nok er å ha en lengre strekning med disse armaturene, for så kjøre der med bil og se hvilket alternativ som føles best.

6.4 Luminans og luminansjevnhet

Hensikten med disse målingene var å sammenligne den gjennomsnittlige luminansen i målefeltet ved ulike føreforhold. Det ble etter hvert også lagt til en ekstra måleserie, hvis hensikt var å sjekke den langsgående luminansjevnheten til SpeedStararmaturene, i området mellom mast ti og mast elleve.

Luminansmålinger skal i følge veilysnormalene gjøres fra 60 meters avstand, i 1,5 meters høyde, 3/4 ut i veibanen og i kjøreretningen, for å se hvor mye lys som reflekteres fra veidekket mot bilførerene. Valget av målefelt vanskeliggjorde slike målinger, da det er tilnærmet umulig å få med hele målefeltet fra en slik avstand. Dette var en medvirkende årsak til at den ekstra måleserien ble lagt til. Som en tilnærming ble bildene derfor tatt fra en slik posisjon at hele målefeltet kom med.

De antatt største feilmarginene i disse målingene, er at bildene ikke er tatt fra nøyaktig samme sted alle gangene og at målefeltet kan være tegnet opp feil i LMK-programmet. Kameraposisjonen har nok ikke så mye å si for luminansen direkte, men denne unøyaktigheten forhindrer at det samme LMK-målefeltet kunne brukes fra bilde til bilde, hvilket øker unøyaktigheten i bergningsområdet. Tegnefeilen kan føre til at for mye eller for lite av veien kommer med i bergningsområdet. Dette kan forskyve verdiene, avhengig av hva som kommer med.

6.4.1 Luminans i målefeltet

Det var egentlig meningen at det skulle foretas luminansmålinger ved flere ulike føreforhold for begge armaturtypene. Dessverre var værforholdene slik at luminansen fra Iridiumarmaturene kun ble målt ved snø-/isføre. SpeedStararmaturene ble målt ved snø-/isføre, vått føre og tørt føre. Dette gjør det vanskelig å sammenligne målingene direkte. De målingene som er enklest å sammenligne, er målingene på snø-/isføre, men mengden og typen snø/is var ikke den samme i de to tilfellene. Så selv for disse målingene vanskelig å sammenligne direkte.

Iridiumarmaturene ved snø-/isføre gav en gjennomsnittlig luminans på $2,364 \text{ cd/m}^2$, men veidekket var svært speilende da bildene ble tatt. SpeedStararmaturene gav en luminans på $3,769 \text{ cd/m}^2$ på et ganske diffust underlag. Det er ikke mulig å si hvilken armaturtype som har det sterkeste eller jevneste lyset med bakgrunn i disse målingene.

Målingene av luminansen fra SpeedStararmaturene viser at føreforholdene har stor innvirkning på både gjennomsnittlig, minimal og maksimal luminans. Dette antyder at det kan være mye å hente på å regulere lyset etter føreforholdene i tillegg til regulering etter klokken og sollyset.

6.4.2 Langsgående luminansjevnhet

Målingene viser at SpeedStararmaturene gir ganske god langsgående luminansjevnhet for dette anlegget. Det er vanskelig å si med sikkerhet om disse målingene kan overføres til andre anlegg, da mastehøyden og -avstanden varierer fra anlegg til anlegg.

Det er også usikkert om LMK-målefeltet har blitt plassert riktig i luminansbildet. Dersom LMK-målefeltet er plassert med for stor andel av feltet rett under armaturen, vil de målte verdiene bli for høye. Det motsatte skjer hvis feltet ikke får med seg nok av området under armaturene. I begge tilfeller vil den langsgående jevnheten bli for god.

Hvordan målepunktene til målemalen plasserer seg i målefeltet vil også ha noe å si for de beregnede verdiene. Svært lokale luminanstopper kan havne utenfor målepunktene slike at jevnheten blir kunstig høy. Det er et par eksempler på dette i området rundt målepunktene 9.2, 9.3, 10.2 og 10.3. Trolig vil ikke disse punktene ha veldig stor innflytelse på beregningene i dette tilfelle, siden det tilsynelatende er veldig få av dem. Dessuten er ikke luminansen mye høyere i disse punktene, sammenlignet med resten av feltet.

Beregningene av målerekke nummer 1 ble dessverre ødelagt av at målefeltet traff kantsteinene. Dette førte til en uheldig skyggevirkning som målepunktene ble liggende oppå. Målerekke nummer 6 ser ut til å ha havnet på en eller annen uforklarlig strek. Den eksakte virkemåten til "Projektive equalization"-funksjonen er ikke kjent, derfor er det uklart hva denne streken er og om den har noen innvirkning på beregningene. Kamerabildet gir heller ingen klare indikasjoner på hva denne streken er.

6.5 Fargeforskyvning

6.5.1 Fargeprøver

Hensikten med disse målingene var å se hvordan lyset fra de ulike armaturene påvirker fargen til fargeprøvene og tørr asfalt. Som nevnt i underkapittel 4.5.1, er disse målingene en erstatning for fargegjengivelsesmålinger, siden NTNUs fargegjengivelsesinstrument var ødelagt da denne rapporten ble skrevet.

Valget av fargeprøver er ikke helt tilfeldig. Målet var å få par nyanser av hver primærfarge, og samtidig være i nærheten av fargene som brukes til de standardiserte fargegjengivelsesmålingene. Valget av farger er også begrenset av de fargearkene instituttet hadde i lageret sitt.

Målingene av fargeprøvene har mest sannsynlig ikke spesielt store feilmarginer. Alle fargeprøvene hadde jevn farge og ved måling fylte fargen hele måleområdet. Det var heller ingen skygger som kunne ha påvirket resultatene.

Målingene gjort på asfalten har derimot ganske stor feilmargin. Asfalt er et svært innhomogent stoff med masse partikler og småstein i ulike farger. Hvor slitt og støvete asfalten er, har også veldig mye å si. Målingene av asfalten burde nok vært gjort fra en større høyde enn ca. en meter, nettopp for å unngå at småstein og lignende skulle påvirke resultatet. Målingen av asfalt i sollys har en ekstra feilkilde, siden det ikke var helt overskyet når denne målingen ble gjort.

Noen av fargene ble valgt ut til å bli plottet i fargedigrammet til CIE, Figur 5.26. Det ble altfor rotete å ha med alle fargene, derfor ble de fargene som antas å ligge nærmest de tre primærfargene rødt, grønt og blått, valgt ut. Helt hvitt og asfalt ble også tatt med. Hvitt fordi den ligger "midt i" fargedigrammet og asfalt fordi det er det stoffet veibelysningen vanligvis skal belyse.

Det er stor forskjell på de ulike lyskildene. Uten unntak ligger punktene til sollyset lengst mot blått i diagrammet, mens punktene til høytrykknatrium ligger lengst mot rødt. Ut fra fargetemperaturen til de ulike lyskildene, var dette forventet. Fra lyskilde til lyskilde er blåfargen den fargen det er størst forskjell på, mens rødfargen er den fargen det er minst forskjell på.

Fargen til asfalten forandres overraskende mye, men dette kan forklares med at asfaltfargen ligger nærmere blått enn rødt, og blått forandres som nevnt mer enn rødt.

6.5.2 Dimming

Disse målingene burde vært gjort med stativ for å sikre at det samme området av armaturen ble målt hver gang. Det er nemlig stor forskjell på lysstyrken fra et punkt til et annet på begge armaturtypene. SpeedStaramaturene har en tversgående plaststripe mellom de to LED-panelene. Denne stripen er naturlig nok mørkere enn resten av panelene. Det samme gjelder ytterkantene av armaturen. Iridiumarmaturene har mye det samme problemet, siden det er stor forskjell på lysstyrken fra utladningsrøret til selve lampen og reflektoren rundt. Denne feilkilden gjør det vanskeligere å si noe sikkert om fargeforskyvningen, spesielt hvis den er liten.

Fargekoordinatene til SpeedStararmaturene ligger veldig ”hulter-til-bulter” og det er kun streken mellom dem som gir noen som helst indikasjon på hvilken rekkefølge de kommer i. Fargekoordinatene til Iridiumarmaturen viser en marginal forskyvning hvis det zoomes inn på punktene. Settes punktene sammen med CIE-diagrammet, er det derimot svært lite forskyvning å spore.

6.6 Spørreundersøkelse

Begge spørreundersøkelsene gav et skuffende lite antall svar. De få svarene som kom inn, er ikke på langt nær nok til å gi et statistisk grunnlag for noe som helst.

6.6.1 Anlegget før og etter utskifting til LED-armaturer

Jeg burde helt klart mast mer for å minne folk på å svare. Jeg burde også sendt ut undersøkelsen til flere personer.

Det har kommet inn noen generelle kommentarer på anlegget fra noen få andre personer utover dem som svarte på selve undersøkelsen. De aller fleste var positive til byttingen av lysfarge, uten at det var noe krise med den gule fargen som var tidligere. Mange synes også at anlegget er noe mer blendende nå enn det det var før utskiftingen fant sted.

6.6.2 Subjektiv fargeoppfattelse

Her burde jeg lagt litt mer innsats i å finne forsøkspersoner for å få inn flere svar. Denne undersøkelsen var væravhengig, siden fargeprøvene ville blitt ødelagt av vann, eller blåst bort hvis vinden hadde blitt for sterk. Etter hvert ble det også for lyst om nettene til at undersøkelsen kunne gjennomføres. Det er dessuten begrenset hvor mange folk som beveger seg utendørs etter kl 23 på kvelden og som samtidig er villige til å svare på en spørreundersøkelse.

Noe annet som bør kommenteres i forbindelse med denne undersøkelsen, er valget av rekkefølgen på og utformingen av fargeprøvene. Det er helt klart at alle valg av rekkefølge og utforming vil virke inn på resultatet ved en slik undersøkelse.

Fargeprøven bestod av lyse og mørke farger ved siden av hverandre. Dette gjorde det mye enklere å skille de lyse fra de mørke fargene. Resultatet hadde nok vært litt annerledes hvis alle de lyse fargene hadde vært ved siden av hverandre. En annen mulighet hadde vært å legge inn flere prøver med samme farge og nyanse og så se om personene fremdeles hadde sett forskjell. Det faktum at alle fargene hadde like stort areal, gjør at det er mulig for hjernen å gjetteseg frem til antall farger. Samtidig er det ikke sikkert det hadde vært noe bedre å forandre størrelsen, da store områder synes bedre enn små.

En tredje mulighet hadde vært å ha løse fargeprøver og så spre dem tilfeldig ut på bakken. Problemet med dette er at uten et fastlagt mønster er det tilfeldig hvilke farger som havner ved siden av hverandre. For eksempel er det lettere å skille en mørk farge enn en lys farge fra to andre lyse farger.

Av de få svarene som kom inn, virker det som om LED har noe bedre fargegjengivelse enn høytrykknatrium, men at det fremdeles er mulig å skille fargene fra hverandre i høytrykknatriumlyset.

6.7 LED eller damplamper: Hva er best?

Det er en mengde faktorer som må tas hensyn til når et belysningsanlegg skal planlegges. I dette kapitlet vil fordelene og ulempene til de ulike lyskildene bli drøftet og satt opp mot hverandre, for en del av disse faktorene.

Damplampene vil i hovedsak bli representert av høytrykknatriumlampene, siden målingene i denne rapporten er gjort på denne typen lamper. Egenskapene til den andre aktuelle hovedtypen damplamper, metallhalogen, vil også bli nevnt der de avviker mye fra høytrykknatriumlampene.

En ting som kan være greit å merke seg, er at det er litt forskjell på hva de ulike produsentene oppgir av data. Dette gjelder både for LED-armaturer og for tradisjonelle lyskilder og armaturer. Dette gjelder først og fremst for lysfluks og levetid/lysflukstap. For lysfluksen er det viktig å se etter om armaturvirkningsgraden er tatt med eller ikke. For levetiden er det rett og slett et spørsmål om hvilken levetid som er oppgitt, altså om det er B-levetiden eller L-levetiden. B-levetid er hvor lang tid det tar før en gitt prosentandel av lyskildene har sluttet å lyse. L-levetid er hvor lang tid det tar før lyskilden ikke har igjen mer enn en gitt andel lysfluks på full effekt. Vanligvis oppgis B50 og L70, der tallet angir prosentandelen.

6.7.1 Lysfluks, effektforbruk og lysutbytte

Metallhalogen og høytrykknatrium har mye de samme verdiene i disse tilfellene. De største forskjellene på disse to lampetyper er lysfarge, fargegjengivelse og levetid.

Som nevnt i kapitlene over, er det fort gjort å se seg blind på tallene til damplampen alene, og glemme at damplampearmaturer består av mer enn selve lampen. Forkoblingsutstyret, reflektoren og glassdekselet bidrar alle til at lysutbyttet går ned. Det gjør at en damplampe som i utgangspunktet har et lysutbytte på over 100 lm/W, kan ha en nedgang i lysutbyttet på over 30 %. LED vil selvfølgelig også ha en reduksjon i lysutbytte på grunn av disse begrensningene, men det er langt lettere å se helheten ved en LED-armatur. I belysningsssammenheng er det liten vits å teste én LED alene, slik det gjøres med damplamper. Det er hele armaturen som testes og ferdig med det. Tallene til LED-armaturer er dermed mer direkte, mens tallene til damplamper må korrigeres, noe som altså kan være lett å glemme.

I området rundt 150 W ser det nå ut til at LED er i ferd med å ta igjen og gå forbi damplampene. Sannsynligvis gjelder dette for alle damplamper under 150 W. For lampene over 150 W, er det derimot usikkert om LED har en reell sjanse med dagens teknikk. Lysutbyttet til damplamper over 150 W (120-130 lm/W) er ikke avskrekkende mye bedre enn for dem på 150 W (100-110 lm/W). Tallene er basert på standardlamper og er noe høyere for spesiallampene. Det er rett og slett de fysiske dimensjonene som setter begrensningene.

En 400 W høytrykknatrium er noen centimeter lenger enn 150 W og krever en noe større forkobling og reflektor, men den gir samtidig over tre ganger så mye lys. Over tre ganger så mange LED begynner å bli ganske massivt, for å si det enkelt. Selv dobbelt så mange LED begynner å bli for stort og for tungt. For ikke å snakke om hva som skjer dersom det trengs tilsvarende 1000 W et sted.

6.7.2 Levetid

Det er knyttet en del usikkerhet til levetiden til LED. Selv om selve LED-chipen holder i de påståtte 100 000 timene, er det vanskelig å si sikkert hvor mye lysfluksen taper seg over tid. Alternativet med å lage et konstantlumensystem, bidrar til å øke forutsigbarheten. Sitecoarmaturene har dette systemet og det skal ifølge produsenten gi den samme lysfluksverdien i 50 000 timer. Samtidig vil et slikt system antageligvis øke kostnadene, og dess flere komponenter, dess større sjanse for at noe bryter sammen.

Det er dessuten også et spørsmål om hvor lenge driverne til LED-ene holder. Elektronikk har en tendens til å leve sitt eget liv og kan fort finne på å slutte å virke etter 10 000 - 15 000 timer. Dersom hele armaturen må byttes etter 10 000 timer, blir det ikke spesielt billig i lengden, se underkapittel 6.7.5.

Utfallstiden til høytrykknatrium varierer med wattstyrken, men ligger i området 10 000 timer eller mer for 5 % utfall og noe over 30 000 timer 50 % utfall. Utfallstiden til metallhalogen er generelt mye kortere enn utfallstiden til høytrykknatrium. Lystapstiden til høytrykknatrium ligger på ca. 80-85 % ved 20 000 timer. Tilsvarende for metallhalogen er 50 % ved 16 000 timer. (Tallene er hentet fra produktkatalogene til Osram og Philips.)

Det finnes ingen internasjonale standarder for måling eller angivelse av levetiden til LED. Foreløpig benyttes standarder fra andre lyskilder, men det er ikke sikkert disse kan eller bør overføres til LED uten justeringer. Det er også verdt og nevne at vedlikeholdsfaktoren til norske veilysanlegg er 0,8, hvilket betyr at verdiene B80 og L80 kan være mer aktuelle enn de vanligere B50 og L70. (Larsen, 2010-11)

6.7.3 Farge og fargegjengivelse

De aller fleste høytrykknatriumlamper har en fargetemperatur på ca. 2000 K, altså guloransje lys. Fargegjengivelsen er meget dårlig, som regel < 25 . Metallhalogen lages med kaldere og hvitere lysfarge. Vanlige fargetemperaturer er rundt 3200 K og fargegjengivelsen kan være 80 eller bedre (keramisk brenner). Dette er på linje med vanlige 3-bånds lysrør til innendørsbruk.

LED kan lages med omtrent hvilken fargetemperatur som helst og fargegjengivelsen til hvite LED kan være bedre enn 90. Problemet er at jo bedre fargegjengivelse og jo lavere fargetemperatur, jo lavere blir effektiviteten. De fleste LED-armaturer idag leveres med ca. 4000 K i fargetemperatur og 70+ i fargegjengivelse, hvilket er mer enn godt nok for de fleste utendørs belyningsformål.

LED har altså hvitere lys og bedre fargegjengivelse enn høytrykknatrium, men noe dårligere fargegjengivelse enn metallhalogen. Gult eller hvit lys er et spørsmål om komfort. Hva som er best av metallhalogen og LED i områder der hvit lys er ønskelig, blir et spørsmål om pris, levetid og styring. Se neste underkapittel.

6.7.4 Styring

Styring av veibelysningen, ut over av og på etter dagslyset, er et ganske nytt fenomen. Idag snakkes det mye om dynamisk styring etter vær- og føreforhold. Det vil si at styrken på belysningsanlegget justeres etter luminansen på veien. Moderne dampplamper kan styres, men rent praktisk er det bare høytrykknatrium som bør dimmes. Det er fordi metallhalogenlamper har en sterk tendens til å få et stadig kraftigere grønnskjær jo lenger ned de dimmes. LED på

sin side har minimal fargeendring uansett hvor mye de dimmes. De har dermed en kjempefordel sammenlignet med metallhalogen i områder der det er ønskelig med hvitt lys.

Den andre store fordelen LED har når det gjelder styring, er at de har full/ønsket lysstyrke omtrent momentant etter innkobling. Dette åpner for å slå av belysningsanlegget i perioder og områder hvis det er lite trafikk, for så å slå det på igjen hvis det faktisk kommer en bil eller to.

6.7.5 Oppbygning

Til forskjell fra de mer modulbaserte damplampearmaturene, der hver komponent kan byttes ved behov, er de fleste LED-armaturer idag utformet som én enhet. Dette gjør at hele armaturen i utgangspunktet må byttes dersom noe går i stykker. En sammenligning mellom Philipsarmaturen fra fordypningsprosjektet og de nye armaturene antyder at dette er i ferd med å endres. Dette er kun basert på mine egne vurderinger av én produsents armaturer.

Belysningsanlegg med damplamper er idag en meget kjent teknikk, der de aller fleste ting har blitt standardisert. Det er en generell enighet blant de ulike produsentene om hvordan alt fra selve lampen til kontrollutstyret skal se ut og virke. Dette gjør at det er lett å blande deler fra ulike produsenter. LED-armaturer er en ganske ny teknikk, der det foreløpig ikke finnes så veldig mange standarder for noe som helst. Slik er det gjerne med nye ting, og det kan ta lang tid før produsentene blir enige om standarder. (Tiden det tok å bli enige om en standard for mobilladere, er et kjent eksempel fra dagliglivet.) Dette er forståelig, da produsentene ønsker å beskytte sine egne produkter. Samtidig gjør dette det vanskeligere for forbrukerne å velge, da flere fordeler og ulemper må veies mot hverandre.

6.7.6 Fysiske egenskaper

Rent fysisk er det stor forskjell på utseende til ulike LED-armaturer, men de kraftigste versjonene har som regel én egenskap felles: De er tunge. Nesten alle armaturene som har vært testet i både dette og det forrige prosjektet har vært mye tyngre enn tilsvarende kraftige damplampearmaturer. Dette vil få konsekvenser hvis LED-armaturer skal erstatte damplampearmaturer.

Lysmaster og deres fundamenter er konstruert for å tåle en gitt belastning. Dersom et objekt med rundt 50 % større masse settes på toppen av en slik mast, er det naturlig å tro at levetiden til masten og fundamentet forringes. Et annet aspekt ved dette, er sikkerheten til trafikantene. Moderne lysmaster er designet slik at de gir etter dersom de skulle bli påkjørt. Det er ikke sikkert at mastene reagerer på samme måte, hvis massen i toppen øker med rundt 50 %. Dette er en problemstilling som gjør seg gjeldende hvis det kun er armaturene som skal byttes. Eventuelle konsekvenser av dette bør absolutt undersøkes dersom det ikke er gjort allerede.

En annen ting som kan bli et problem for LED-armaturer, er ising. Som nevnt, sender ikke LED ut varmestråling, men selve armaturen er fremdeles varm. Dette kan føre til at snø og is renner fra toppen av armaturen og danner istapper som ikke smelter bort, dersom varmeledningen i armaturhuset ikke er god nok. Dette er selvsagt avhengig av utformingen til armaturen.

En fordel LED har i forhold til damplamper, er mulighetene til å justere lysfordelingen etter behov. Mens damplamper sender mer enn halvparten av lysfluksen i feil retning og derfor krever en reflektor, lyser LED-ene bare i en bestemt retning. Dette gir muligheten for bedret kontroll med hvor lyset havner.

En annen fordel LED har i forhold til damplamper, er at de kan motstå rystelser. Damplamper har en tendens til å slukke dersom rystelsene blir for kraftige. Og selv om dette problemer ikke er spesielt kritisk på store og godt fundamenterte veier, kan det være et problem i forbindelse med bygater eller dårlig vedlikeholdte veier.

Veibelysningsanlegg har tradisjonelt vær diskret fordelt, med master for hver x-te meter og en eller to armaturer per mast. Siden LED er en langt mindre lyskilde fysisk sett, åpner de for en ny måte å lage anleggene på. Armaturene kan for eksempel bli bredere, med kun et par rekker med LED. På landeveier kan dette være upraktisk, men i byene og i tunneler, der tilgangen til festepunkter er større, kan dette absolutt være en mulighet.

6.7.7 Blending

Blending er et problem som LED sliter en del med. Selv relativt lyssvake LED kan oppfattes som blendende, fordi de har så høy overflateluminans i et lite areal. LED-enes store fordel, den kompakte størrelsen, er altså en direkte årsak en av deres større ulemper.

Både min egne erfaringer, og kommentarer fra andre personer, mer enn antyder at de nye LED-armaturene oppfattes som mer blendende enn de gamle damplampearmaturene var. Spesielt hvis noen skulle komme i skade for direkte på dem.

Siteco sier i en av sine brosjyrer at deres armaturer oppfattes som mindre blendende enn mange av konkurrentenes armaturer, fordi de har en annen type optikk. SpeedStarmaturene har for eksempel én linse per LED, mens Siteco på sin side benytter et intrikat speilsystem. Dette gjør at en person ikke kan se rett inn i LED-ene før vedkommende står rett under armaturen. Min egen vurdering er at påstanden om minsket blending kan stemme, men det er vanskelig å si sikkert. Sitecoarmaturen som står i testanlegget er svakere enn det den skal være. Den er også mye svakere enn SpeedStarmaturene, så det er vanskelig å sammenligne dem direkte.

6.7.8 Pris og kostnader

LED-armaturer idag er veldig mye dyrere enn damplampearmaturer. Prisen på LED-armaturer kan godt komme opp i 15 000 kr per stykk. Prisen på damplampearmaturer er sjelden høyere enn 3000 kr og selve lampen koster aldri mer en 500 kr (med mindre det er en veldig spesiell lampe). Metallhalogenlamper er generelt dyrere enn høytrykknatriumlamper. Med tanke på at hele LED-armaturen må byttes når den slutter å virke, kan dette fort bli en ganske dyr affære dersom levetiden ikke er god nok.

Denne rapporten har ikke gått noe dypere inn på de ulike kostnadene knyttet til opprettelsen, driften og vedlikeholdet av et belysningsanlegg, fordi det er så altfor mange faktorer å ta hensyn til. Mange av disse faktorene er det som nevnt også knyttet stor usikkerhet til. Utviklingen til LED har vært formidabel de siste årene og det forventes at utviklingen fortsetter i omtrent samme tempo en god stund til. Utviklingen til damplamper har vært avtagende de siste årene, men det er stadig forbedringer også på dette området. Generelt er det en nedgang i prisene for begge teknikker. Dersom det skulle vært gjort en dyptgående kostnadsanalyse, ville den med stor sannsynlighet vært utdatert før den var ferdig.

7 Konklusjon

Med bakgrunn i målingene av lysfluks og effekttrekk, og beregningene av lysutbytte, kan det trekkes følgende konklusjoner:

- Philips SpeedStararmaturene har bedre lysutbytte og lavere effektforbruk, men lavere lysfluks enn Philips Iridiumarmaturer utstyrt med 150 W høytrykknatriumlamper.
- Dataene disse produsentene oppgir om armaturene sine, ser ut til å være korrekte.
- Den som skal kjøpe armaturer må være observant på hvilke data som oppgis.
- Grunnlaget er for svak til å si noe sikkert, men målingene antyder at armaturene fra samme produsent er like, sammenlignet med hverandre.
- De tredjeharmoniske strømmene vil ikke bli dimensjonerende.
- Elektroniske forkoblinger gir bedre lysutbytte enn konvensjonelle forkoblinger.

Med bakgrunn i målingene av belysningsstyrken i testanlegget, kan det trekkes følgende konklusjoner. (Konklusjonene kan ikke overføres direkte til andre anlegg):

- SpeedStararmaturene gav økt belysningsstyrke i hele målefeltet sammenlignet med Iridiumarmaturene.
- SpeedStararmaturene har mest sannsynlig noe dårligere jevnhet enn Iridiumarmaturene.
- SpeedStararmaturene oppfylder CE4-kravet til minimum opprettholdt luxnivå.
- SpeedStararmaturene oppfylder ikke CE-kravet til belysningsjevnhet.

Med bakgrunn i målingene av luminans og luminansjevnhet, kan det trekkes følgende konklusjoner. (Konklusjonene kan ikke overføres direkte til andre anlegg):

- Luminansbildet basert på IMG4798-800 viser at SpeedStararmaturene trolig oppfylder MEW3-kravet til minimum opprettholdt luminansnivå på tørt føre.
- SpeedStararmaturene oppfylder MEW-kravene til minimum jevnhet på tørr vei for alle klasser.
- SpeedStararmaturene oppfylder nesten MEW-kravene til langsgående jevnhet for alle klasser.
- SpeedStararmaturene oppfylder MEW-kravene til minimum jevnhet på vått føre for alle klasser.

Med bakgrunn i målingene av fargeforskyvning kan det trekkes følgende konklusjoner:

- Høytrykknatrium har trolig en så vidt målbar, om enn usynlig, fargeforskyvning ved dimming.
- SpeedStararmaturene har ingen fargeforskyvning ved dimming.
- Med sollys og 5-båndslysrørene som referanse, er det helt klart at SpeedStararmaturene har mindre fargeforskyvning enn høytrykknatrium.
- Farger som ligger langt unna lysfargen til lyskilden forandres mer enn farger som ligger nærme lysfargen.

Med bakgrunn i spørreundersøkelsene kan det trekkes følgende, meget usikre konklusjoner:

- Folk har ikke veldig sterke synspunkter på veibelysning; de ser at den er der, men ikke mer.
- Den subjektive fargeoppfattelsen er bedre med SpeedStararmaturene enn med Iridiumarmaturene.
- Hvitt lys er å foretrekke.
- LED-armaturene oppfattes som noe mer blendende enn Iridiumarmaturene.

- Spørreundersøkelser er vanskelige å gjennomføre. Både når det gjelder det å lage dem og det å få folk til å svare på dem.

LED, og da spesielt hvite høyintensitets-LED, har hatt en formidabel utvikling de siste årene. Det er forventet at utviklingen kommer til å fortsette en god stund til, om enn med avtagende tempo. Selv om prisen fremdeles kan virke avskrekkende og levetiden er noe usikker, har LED mange egenskaper som gjør at de nå kan brukes til så å si alle belysningsformål.

Hovedkonklusjonen blir: LED er absolutt egnet til vei- og gatebelysning, men det er fremdeles noen småting som kan og bør forbedres. Hvorvidt LED er bedre eller dårligere enn dagens belysningsløsninger, er avhengig av hvilke egenskaper som er viktigst for belysningsanlegget i hvert enkelt tilfelle.

8 Videre arbeid

Det er mange spennende og interessante problemstillinger det er verdt å undersøke rundt bruken av LED til vei- og gatebelysning. Under følger en liste over ting som kan undersøkes i lignende prosjekter ved senere anledninger.

- Sammenligning av metallhalogen og LED.
- Måle effektforbruket til hver armatur mer nøyaktig og over tid.
- Se hvor mye som kan spares med ulike former for styring.
- Gjøre en bedre analyse av luminansjevnheten, og gjerne på flere ulike armaturer.
- Måle fargegjengivelsen og forbedre målingene av fargeforskyvningen ved dimming.
- Undersøke hvordan økt armaturvekt påvirker slitasjen på mastene og trafikksikkerheten ved en eventuell kollisjon.
- Undersøke hvor stor blendingen er og eventuelt finne ulike måter å forbedre avskjermingen for å unngå blending, uten å ødelegge jevnheten.
- Undersøke lystapet over tid.
- Undersøke holdbarheten til driveren.
- Se på nye måter å utforme belysningsanleggene og armaturene på, for eksempel bredere armaturer.

Bibliografi

- Bjørset, H.-H., & Hansen, E. H. (2006). *Lysteknikk*, ISBN: 82-7610-011-2. Classica forlag AS.
- Comité Européen de Normalisation. (u.d.). *FAQ-siden*, CEN. Hentet 12 09, 2010 fra Hjemmesidene til Comité Européen de Normalisation: <http://www.cen.eu/cen/Pages/FAQ.aspx>
- Dansk Center for Lys for Elsparefonden i Danmark. (2009 (oversatt 2010)). *Lysdioder til belysning 2010 - status for fremtidens lyskilde (norsk versjon)*. 38. (Lyskultur, Overs.) Lyskultur.
- Hansen, E. H. (2010, August-Desember). Diverse samtaler i løpet av prosjektet.
- Jorde, A. (2001). *Elektrisk støy i yrkesbygg*. InterConsult Group ASA (ICG) i samarbeid med NTNU og HiO. Oslo: ICG ASA.
- Larsen, P. J. (2010-11). Diverse samtaler.
- O'Dea, W. T. (1958). *The Social History of Lighting*. London, Storbritannia: Routledge & Kegan Paul Limited.
- Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2004). *Microelectronic Circuits International Edition*, ISBN: 978-0-19-514252-5 (5. utg.). New York, New York, USA: Oxford University Press.
- Statens kartverk. (2011). *Norgeskart, Statens kartverk*. Hentet Januar 2011 fra Websidene til Statens kartverk: <http://kart.statkart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>
- Statens strålevern. (2010, Mai 04). *Blått lys*. Hentet Desember 15, 2010 fra Statens strålevern: <http://www.nrpa.no/optisk-straaling/blaatt-lys>
- Statens vegvesen. (2008). *Håndbok 017: Veg- og gateutforming*. Norge: Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2002). *Håndbok 237: Veg- og gatelys*. Norge: Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2008). *Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning*. Norge: Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Sunde, S. (2005). TMT 4285 - Supplementsnotat til solcelledelen. 2010 , 23 sider. NTNU.
- Wanvik, P. O. (2011, Mai 9). Samtale.
- Wikipedia. (u.d.). *Light emitting diode*. Hentet Desember 11, 2010 fra Wikipedia.org: http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode

Vedleggsliste

1. Måleinstrumenter
2. Datablad: Philips SpeedStar BGP321 og BGP323 produktfamilie [PDF]
3. Datablad: Siteco SL 10 MIDI Plus 5XA5821A1B08 (fra RELUX) [PDF]
4. Datablad: Philips Iridium produktfamilie [PDF]
5. Datablad: Osram VIALOX NAV-T 150 [PDF]
6. Datablad: Osram VIALOX NAV-T 150 SUPER 4Y [PDF]
7. Måledata: Måleskjema for labtesting (master) [XLSX]
8. Måledata: Måledata belysningsstyrke [XLSX]
9. LMK-rapport: IMG_4662 NaH Isføre Log2 LMK1 [PDF]
10. LMK-rapport: IMG_4701-3 LED Snøføre Log3 LMK1 [PDF]
11. LMK-rapport: IMG_4759-61 LED Vått føre Log3 LMK1 [PDF]
12. LMK-rapport: IMG_4798-800 LED Tørt føre Log3 LMK1 [PDF]
13. LMK-rapport: IMG_4794-6 Evaluert jevnhet [PDF]
14. Måledata: IMG 4794-6 2 felt [XLS]
15. Måledata: Fargeforskyvning og fargegjengivelse [XLSX]
16. Måledata: Analyse av spørreundersøkelse del 1 [XLSX]
17. Måledata: Analyse av spørreundersøkelse del 2 [XLSX]
18. Skjema: Spørreskjema for veilysanlegget i Høyskoleringen del 1 [PDF]
19. Skjema: Spørreskjema for veilysanlegget i Høyskoleringen del 2 [PDF]

Alle vedlegg bortsett fra nummer 1 befinner seg i den vedlagte ZIP-filen. Filen kan lastes ned fra DAIM-systemet.

Det er laget en CD-ROM med alle bilder og data som tilhører denne rapporten. CD-ROM-en finnes i arkivet til Institutt for elkraftteknikk.

Vedlegg 1: Måleinstrumenter

Dersom måleutstyret er registrert i NTNUs utstyr database, er serienummeret NTNUs interne registreringsnummer.

Integrerende fotometerkule med hjelpelampe:

Modell: Ukjent SN: Ukjent

Lysfluksmåler, fotometerkule:

Modell: Ukjent SN: Ukjent

Spenningskilde, hjelpelampe:

Modell: Oltronix B32-10R SN: NTH B2-286

Referanselyskilde, 1440 lumen:

Modell: OSRAM 110 V SN: 945

Spenningskilde, referanselyskilde:

Modell: GW GPR-30H10 SN: NTH B2-352

Multimeter for spenningsmåling, referanselyskilde:

Modell: Hewlett Packard 34410A SN: Elkraft NTNU S03-0197

Multimeter for strømmåling, referanselyskilde:

Modell: Hewlett Packard 3478A SN: S3-129

Måleshunt for strømmåling, referanselyskilde:

Modell: H&B 0,1 Ω SN: NTH L1-47

Spenningskilde, stiv spenning, 230 Volt:

Modell: Wandel u. Goltermann SN: NTH B1-234

Power Quality Analyzer:

Modell: Fluke 43 SN: SINTEF Energiforskning AS H02-0101

Oscilloskop:

Modell: Tektronix TDS 2014C SN: Elkraft NTNU G04-0360

Strømtang:

Modell: Fluke (tilk. oscilloskop) SN: Elkraft NTNU I04-0377

Modell: Fluke (tilk. PQA) SN: Elkraft NTNU I04-0378

Multimeter (håndholdt):

Modell: Fluke 117 SN: Elkraft NTNU S03-0385

Digitalt wattmeter:

Modell: Metrix PX120 SN: Elkraft NTNU E01-0387

Spenningskilde, variabel 0V-30V:

Modell: Mascot Type 719 SN: Elkraft NTNU B02-0424

