

# Intelligent styring av LED veibelysning

**Erik Pedersen**

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET  
NTNU



**MASTEROPPGAVE**

Kandidat Erik Pedersen

Oppgavens tittel **Intelligent styring av LED veibelysning**

Oppgavens tekst Bruk av LED og intelligente styresystemer kan gi en betydelig energisparing sammenlignet med dagens konvensjonelle lyskilder og styresystemer innen vei- og gatebelysning. Likevel virker terskelen for å investere i både LED og intelligente styresystemer å være høy for enkelte. Usikkerhet som følge av at teknologien er relativt ny og i rask utvikling, samt mangel på kunnskap og kompetanse, kan være noen naturlige årsaker til dette. Innen intelligente styresystemer er mangelen på standardisering, samt et stort antall forskjellige løsninger på markedet med på å gjøre veilysholderne usikre. Spesielt er det knyttet usikkerhet til hvorvidt utstyr fra ulike leverandører kan fungere sammen. Det er sjeldent hensiktsmessig å låse løsningen til kun én leverandør.

Kandidaten skal:

- Undersøke tilgjengelige lampekontrollere på markedet, og vurdere hva som er av å interesse å implementere i testanlegget.
- Vurdere interoperabiliteten til lampekontrollere fra ulike leverandører.
- Utføre lystekniske og elektrotekniske målinger på nye LED-armaturer implementert i testanlegget, for deretter å vurdere hvorvidt disse samsvarer med produktdataene oppgitt fra leverandøren og de generelle forventningene til et veilysanlegg.
- Gjøre en vurdering av lystilbakegangen på Philips SpeedStar-armaturene som ble installert i Høgskoleringen i 2011.

Oppgaven gitt 15.01.15

Leveringsfrist 11.06.15

Veileder, Eilif Hugo Hansen



## Forord

Denne rapporten er et resultat av en masteroppgave, som omhandler *Intelligent styring av LED veibelysning*, ved Institutt for Elkraftteknikk ved NTNU. Førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen har vært veileder på oppgaven, mens lysstyringsfirmaet LuxSave har bidratt både med definering og praktisk hjelp under oppgaven. Masteroppgaven er en videreføring av en fordypningsoppgave, som ble utført høsten 2014, innen samme tema. Noe av teorigrunnet fra fordypningsoppgaven er derfor brukt i rapporten, men med en tilpasning mot de aktuelle problemstillingene knyttet til denne oppgaven.

Arbeidet som er lagt ned dette halvåret har vært lærerikt og gitt meg mye kunnskap som jeg kan ta med meg inn i arbeidslivet. Det skjer definitivt mye spennende på lysstyring- og lyskildefronten, noe som kan komme samfunnet til gode ved hjelp av energi og økonomisk bedre løsninger.

Jeg ønsker med dette å takke Eilif Hugo Hansen for god veiledning og oppfølging. Videre har fagene og kompetansen som Eilif Hugo Hansen har tilbydd ved NTNU vært svært viktig for å utvikle min egen kompetanse innen fagene som jeg brenner for, elektroinstallasjoner og lys.

Videre vil jeg takke Jarl Karlsen og Anton Stolbunov hos LuxSave for oppfølging, gode innspill og veiledning, Pål Johannes Larsen og Per Ole Wanvik fra henholdsvis Norconsult og Statens Vegvesen for gode råd og svar på spørsmål, Servicelaboratoriet ved Institutt for Elkraftteknikk for praktisk hjelp og kontaktpersonene hos de ulike leverandørene.

Sist men ikke minst vil jeg takke og berømme Merete Elvan, for hennes bidrag og støtte gjennom disse fem årene. At vi sammen og samtidig skulle klare to masterstudier, to deltidsjobber og oppdragelsen av vår, til nå, tre år gamle sønn, uten å miste oss selv på veien er enormt. Sammen kan vi oppnå alt.

Så her er avslutningen på fem flotte og innholdsrike år på masterprogrammet *Energi og Miljø* ved NTNU. Håper du som leser denne rapporten har glede av det arbeidet som er gjort.

Trondheim, 10. juni 2015



---



## Sammendrag

Innen vei- og gatebelysning kan det i Norge gjøres store økonomiske og energiøkonomiske innsparinger dersom LED og intelligente styresystemer tas i bruk. Til tross for dette, virker terskelen for investeringer å være høy for enkelte veilysholdere. Usikkerhet som følge av at teknologien er relativt ny og i rask utvikling, samt mangel på kunnskap og kompetanse, kan være mulige årsaker til dette. Innen intelligente styresystemer er mangelen på standardisering, samt et stort antall forskjellige løsninger på markedet, med å gjøre veilysholderne usikre. Det er sjeldent gunstig å gjøre seg avhengig av kun én leverandør.

Formålet med denne masteroppgaven var å se på interoperabiliteten til ulike lampekontrollere som eksisterer på markedet i dag. Samtidig skulle elektrotekniske og lystekniske egenskaper til LED-armaturer kartlegges og vurderes.

For å kartlegge hvordan interoperabiliteten er hos ulike lampekontrollere er de store markedsaktørene i Skandinavia blitt kartlagt. Dette har resultert i at seks forskjellige leverandører er blitt tilbydd å levere lampekontrollere til implementering i et testanlegg som Institutt for Elkraftteknikk har til rådighet ved NTNU. Ut fra kartleggingen er det funnet at dagens styresystemer baserer seg på enten ZigBee eller Powerline som grensesnitt mellom lampekontrollerne. Kontakten med leverandørene har videre vist at lampekontrollere som er basert på radiofrekvenskommunikasjon over ZigBee-protokollen krever tekniske tilpasninger i hvert enkelt tilfelle dersom interoperabilitet skal kunne realiseres. Dette kommer av at leverandørene har hver sin proprietære løsning på toppen av ZigBee-protokollen. Når leverandørene videre er tilbakeholdne med å dele denne informasjonen med tredjepart blir interoperabiliteten for lampekontrollere med ZigBee-grensesnitt, fraværende. For lampekontrollere som baserer seg på Powerline med LonTalk-protokollen kan det konkluderes med at interoperabiliteten er tilfredsstillende. Implementeringen av nye lampekontrollere fra Citylone og Philips i testanlegget har bekreftet dette. Videre har dialog med aktørene innen ZigBee- og Powerlinesegmentet antydnet at det per i dag ikke eksisterer noen gateway mellom de to kommunikasjonsmetodene. Dette medfører at lampekontrollere som opererer på hver av de to teknologiene ikke kan kobles sammen ute i anlegget, men at begge må ha direkte tilknytning til segmentkontroller.

Elektrotekniske og lystekniske målinger utført på en nyinstallert armaturtype, og en armaturtype som har vært i drift i fire år, har ytterligere bekreftet den veletablerte påstanden om at LED egner seg godt som lyskilde til vei- og gatebelysning. Dersom prognosene om at innkjøpskostnaden for LED vil nærme seg innkjøpskostnaden til de konvensjonelle lyskildene innen vei- og gatebelysning i løpet de neste to tiårene, vil LED innta en svært dominerende markedsrolle i årene som kommer [4].





## Abstract

Within road and street lighting in Norway, one could achieve great economic and energy savings by replacing the old luminaires and control systems with LED and intelligent control systems. In spite of this, it seems as the threshold for investment is high for the road and street owners. Uncertainty due to relatively new and rapidly changing technology, and lack of knowledge and expertise, might be the explanation. In intelligent control systems the lack of standardization and a large number of different solutions on the market, make the street lighting holders uncertain of what to choose. It is rarely beneficial to make yourself dependent on only one supplier.

The purpose of this thesis was to look at the interoperability of different lamp controllers which exist on the market today. Additionally the electro technical and photometric properties of LED luminaires were to be mapped and evaluated.

To be able to evaluate the interoperability of the different lamp controllers on the market in Scandinavia, the major market players and their systems have been mapped. This has resulted in that six different suppliers have been offered to deliver lamp controllers for installation in our test facility at the Department for Power Engineering at NTNU. From the mapping of the different suppliers it has been found that the control systems which are on the market today are either based on ZigBee or Powerline as the interface between the lamp controllers. Contact with suppliers has further shown that intelligent control systems which is based on radio frequency communication over the ZigBee protocol requires technical adjustments in each case if interoperability is to be realized. This is because the producers have their own proprietary solution on top of the ZigBee protocol. When the producers are reluctant to share information about their proprietary interface, the interoperability becomes absent. For lamp controllers that are based on Powerline, with the LonTalk protocol, it can be concluded that the interoperability is satisfactory. The implementation of new lamp controllers from Citylone and Philips in the test facility has confirmed this further. Dialogue with stakeholders in the ZigBee and Powerline segment has indicated that there does not exist a gateway between the two communication methods today. This entails that lamp controllers that operate on each of the two technologies cannot communicate with each other.

Electro technical and photometric measurements performed on a newly installed luminaire type, and a luminaire type that has been operating for four years, has further confirmed the well-established assertion that LED is highly suitable as a light source for street lighting. If the projections, that the purchase cost of LED will approach the purchase cost of the conventional lamps in street lighting over the next two decades, is true, LED will occupy a very dominant market role in the years to come [4].



## Innhold

1	Innledning .....	1
2	Vei- og gatebelysning .....	3
2.1	Formål .....	3
2.2	Forskriftsgrunnlag og veinormalene .....	3
2.3	Dagens veibelysning i Norge .....	6
3	LED - Lysemitterende dioder .....	9
3.1	Et historisk perspektiv .....	9
3.2	Oppbygning og virkemåte .....	10
3.3	Fordelene med LED .....	12
3.4	Tekniske utfordringer med LED .....	13
3.5	Lystilbakegang .....	14
4	Intelligente styresystemer .....	15
4.1	Intelligent styring på armaturnivå .....	16
4.2	Kommunikasjonsmetoder .....	18
4.3	Gateway mellom Powerline og ZigBee .....	20
4.4	TALQ .....	20
5	Leverandører av styresystemer .....	23
5.1	Datek Light Control .....	23
5.2	LuxSave .....	24
5.3	Osram .....	24
5.4	Philips Lighting .....	25
5.5	Q-free (Elcom) .....	26
5.6	Schreder Owlet .....	27
5.7	Thorn Lighting .....	29
5.8	Swarco .....	29
6	Metode for innhenting av lampekonsollere .....	31
6.1	Datek .....	31
6.2	Osram .....	32
6.3	Thorn .....	32
6.4	Schreder .....	33
6.5	Swarco .....	33
6.6	Q-free .....	33

7	Testanlegget og forsøksobjektene .....	35
7.1	Testanlegget i Høgskoleringen .....	35
7.2	Philips SpeedStar .....	37
7.3	Nye LED-armaturer .....	40
7.4	Nye lampekontrollere .....	42
8	Målinger .....	45
8.1	Lystilbakegang på SpeedStar-armaturene .....	45
8.2	Ytelsen til Thorn R2L2 .....	46
9	Resultater .....	53
9.1	Testing og implementering av lampekontrollerne .....	53
9.2	Lystilbakegang på SpeedStar-armaturene .....	55
9.3	Ytelsen til Thorn R2L2 .....	58
10	Diskusjon .....	63
10.1	Interoperabilitet innen ulike lampekontrollere .....	63
10.2	Lystilbakegang på SpeedStar-armaturene .....	65
10.3	Ytelsen til Thorn R2L2 .....	66
10.4	Videre arbeid .....	68
11	Konklusjon .....	71
	Litteraturliste .....	73
	Vedleggsliste .....	77
	Vedlegg 1: Måleinstrumenter .....	78

# 1 Innledning

Vei- og gatebelysning er i dag et viktig virkemiddel for å sikre en trygg trafikkavvikling. Samtidig lever vi i dag i en verden hvor reduksjon av energiforbruk stadig blir viktigere, for å hindre at global oppvarming ikke ødelegger vilkårene for et godt liv på planeten vår. Når en i tillegg vet at vei- og gatebelysning i en nordeuropeisk by kan stå for så mye som 38 % av byens samlede energiforbruk blir tiltak innen energiforbruk et viktig tema også her [5].

Dagens vei- og gatebelysning består i stor grad av en konvensjonell og utdatert styringsmetodikk, samt eldre armaturer med konvensjonelle lyskilder [6]. Med inntoget av digital styringsmetodikk de siste tiårene, og utviklingen av lysemitterende dioder (LED) som mulige lyskilder til vei- og gatebelysning, er sparepotensialet innen vei- og gatebelysning høyst tilstede.

Det finnes i dag en rekke forskjellige leverandører og løsninger innen intelligente styresystemer for veibelysning. På bakgrunn av dette er det knyttet noe usikkerhet til hvordan interoperabiliteten er på tvers av disse leverandørene. Denne usikkerheten, samt andre utfordringer som ble funnet i fordypningsoppgaven innen samme tema [7], er med å bidra til at flere veilysholdere blir avventende i forhold til å gjøre investeringer innen intelligente styresystemer. Det er sjeldent hensiktsmessig å være avhengig av én enkelt leverandør.

Denne masteroppgaven vil derfor prøve å svare på hvordan interoperabiliteten er for ulike lampekontrollere i et intelligent styresystem for veibelysning. Det vil bli kartlagt og hentet inn lampekontrollere fra ulike leverandører, for deretter å implementere disse i et testanlegg som NTNU har stående på Gløshaugen. Det vil også bli satt opp nye LED-armaturer i dette testanlegget, hvor disse vil bli vurdert ut fra lystekniske og elektrotekniske egenskaper, for deretter å se hvorvidt disse tilfredsstillende dagens forventninger til et lysanlegg for veibelysning. Lystilbakegangen til en LED-armaturtype som NTNU har stående i testanlegget vil også bli vurdert.

I starten av denne masteravhandlingen vil en kort introduksjon rundt formål, forskriftsgrunnlag og dagens veibelysning i Norge bli presentert. Deretter vil teori rundt LED og intelligente styresystemer gi nødvendig bakgrunnsinformasjon for det videre arbeidet. De leverandørene av styresystem som inngår i denne rapporten vil videre bli presentert, før et metodekapittel gir innblikk i kommunikasjonen som har vært med de kontaktede leverandørene. Testanlegget, forsøksobjektene og hvordan målingene er blitt utført vil deretter bli redegjort for, før resultatene av målinger og implementeringer blir presentert. En endelige diskusjon om de faktiske funnene vil videre lede opp til en konklusjon på denne rapporten.



## 2 Vei- og gatebelysning

### 2.1 Formål

Hovedformålet med vei- og gatebelysning er å øke trafiksikkerheten for alle som beveger seg utendørs etter mørkets frembrudd. Dette gjelder spesielt veier hvor det ferdes gående og syklende langs kjørebane, veier med store trafikkmengder, i veitunneler og veier med fartsgrense fra 100 km/t. Ifølge Statens Vegvesen vil ulykkesrisikoen for motorkjøretøy være 1,5 til 2 ganger høyere i mørket enn i dagslys [8]. På bakgrunn av dette og av nullvisjonen til myndighetene, visjonen om et transportsystem som ikke fører til tap av liv eller varig skade (utarbeidet av Stortinget), kreves det derfor at veibelysningen til enhver tid er av en så god kvalitet som mulig. For at veibelysningen skal tilfredsstille den ønskede kvaliteten stilles det krav til luminansnivå og luminansjevnhet på veien, belysning av veiens sideområder, begrensning av blanding og god visuell føring [9].

I tillegg til sikker trafikkavvikling vil veibelysningen utgjøre en forskjell på framkommelighet, trivsel, trygghetsfølelse, kriminalitet og estetikk.

### 2.2 Forskriftsgrunnlag og veinormalene

I Norge er kravene til utforming av veibelysningsanlegg gitt i *veinormalene*, som utgis av Statens Vegvesen. Dette er en samling publikasjoner som omfatter alle former for trafikkerte områder, og som har til hensikt å sørge for at lysanlegget oppfyller den ønskede kvaliteten under alle typer forhold. Veinormalene har hjemmel i Samferdselsdepartementets forskrifter etter veiloven §13, og bygger videre på internasjonale standarder som er tilpasset norske behov. I tillegg til veinormalene er det også utarbeidet ulike veiledninger for utbyggerne. I denne rapporten er veinormalen *N100 – Veg og gateutforming* samt veiledningen *V124 – Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning* mest aktuelle, begge med siste reviderte utgave i juni 2014.



Figur 2.1: Forsiden til henholdsvis N100 og V124 [10] [8].

Når nye veier skal anlegges er det flere faktorer som er med å bestemme hvorvidt veien skal belyses eller ikke. Disse faktorene er veitype, gjennomsnittlig trafikkmengde (ÅDT), fartsgrense, veibredde og antall felt. Veitypene kan deles inn i nasjonale hovedveier (H), øvrige hovedveier (Hø), samleveier (Sa) og adkomstveier (A). For en grundigere gjennomgang av de ulike veitypene henvises det til N100. Kravene som N100 stiller til nyetablerte veier er gjengitt i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Krav til belysning av nye veier [8].

Dimensjon- eringsklasse	ÅDT (kjøretøy/døgn)	Farts- grense (km/t)	Vei- bredde (m)	Antall felt	Krav til belysning
<b>H1</b>	0 - 12 000	60	7,5/8,5	2	Veien bør belyses dersom ÅDT > 1500
<b>H2</b>	0 - 4 000	80	8,5	2	Ikke krav om belysning
<b>H3</b>	0 - 4 000	90	8,5	2	Ikke krav om belysning
<b>H4</b>	4 000 - 6 000	80	10	2	Ikke krav om belysning
<b>H5</b>	6 000 - 12 000	90	12,5	2	Veien bør belyses
<b>H6</b>	> 12 000	60	16	4	Veien bør belyses
<b>H7</b>	> 12 000	80	20	4	Veien bør belyses
<b>H8</b>	12 000 - 20 000	100	20	4	Veien skal belyses
<b>H9</b>	> 20 000	100	23	4	Veien skal belyses
<b>Hø1</b>	0 - 1 500	80	6,5	2	Ikke krav om belysning
<b>Hø2</b>	1 500 - 4 000	80	7,5	2	Ikke krav om belysning
<b>Sa1</b>	< 15 000	50	6	2	Veien bør belyses
<b>Sa2</b>	> 15 000	50	6	2	Veien bør belyses
<b>Sa3</b>	< 15 000	80	6,5	2	Ikke krav om belysning
<b>A1</b>		30	3,5/5	2	Veien bør belyses
<b>A2</b>		50	7	2	Ikke krav om belysning
<b>A3</b>		50	4	1	Ikke krav om belysning

Som et tillegg til kravene ovenfor spesifiserer veinormalen også krav til belysning av steder hvor ulykkesrisikoen i mørket er særskilt høy som følge av gangfelt, veikryss, rundkjøringer, bomstasjoner med mer.

Når norsk veibelysning skal dimensjoneres blir veiene først delt inn i ulike belysningsklasser avhengig av fartsgrensen:

- 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-klassene.
- S:** For gang- og sykkelveier.

Deretter blir luminans og belysningsstyrke bestemt ut fra disse klassene. Felles for alle klassene er at belysningsstyrken og luminansen er gitt til opprettholdt nivå over anleggets



levetid. Dette medfører at anlegget må overdimensjoneres slik at kravene er tilfredsstilt på tross av eventuell lystilbakegang i lyskilden eller som følge av tilsussing av armaturen. Dette løses vanligvis med en vedlikeholdsfaktor på 0,8 som korrigerer for mulig tilbakegang med hensyn på ytelsen til anlegget.

Siden ferdsel på henholdsvis MEW- og CE-klassene medfører høyest risiko stilles det strengest krav til disse klassene. Tabell 2.2 og Tabell 2.3 illustrerer noe av de tallfestede kravene. For en fullstendig oversikt over de spesifiserte kravene til de ulike klassene henvises det til *Veinormalen N100 – Veg- og gateutforming*.

Tabell 2.2: Belysningsklasser og deres respektive lysnivåer [8].

Klasser	CE0	MEW1 CE1	MEW2 CE2	MEW3 CE3 S1	MEW4 CE4 S2	MEW5 CE5 S3	S4	S5	S6
Gjennomsnittlig luminans i cd/m <sup>2</sup>		2	1,5	1	0,75	0,5			
Gjennomsnittlig belysningsstyrke i lux	50	30	20	15	10	7,5	5	3	2

Tabell 2.3: Belysningsklasser i MEW-serien for veier og gater med fartsgrense 40 km/t eller høyere [8].

Klasse	Kjørebansens luminans				Syns- nedsettende blending	Belysning av omgivelsene
	Tørr tilstand			Våt tilstand	Tørr tilstand	Belysning av omgivelsene
	Luminans i cd/m <sup>2</sup>  (Minimum opprettholdt nivå)	Total jevnhet  U <sub>0</sub> (Minimum)	Langsgående jevnhet  U <sub>l</sub> (Minimum)	Total jevnhet på våt dekke  U <sub>ov</sub> (Minimum)	Synsnedsettende Blending  TI i % (Maksimum)	
MEW1	2,00	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW2	1,50	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,50
MEW4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,50
MEW5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,50

## 2.3 Dagens veibelysning i Norge

Den norske veibelysningen utgjør i dag omtrentlig 1,3 millioner veilyspunkt. Totalt energiforbruk for disse veilyspunktene kommer seg på cirka 0,8 TWh årlig [6], noe som resulterer i årlige el-utgifter rundt 1 milliard norske kroner [11]. På bakgrunn av at det er Statens Vegvesen, fylkeskommunene og kommunene som har eierskapet for disse anleggene utgjør dette en stor post i det offentlige energiregnskapet. I følge Echelon kan veibelysningen utgjøre så mye som 38 % av en nordeuropeisk by sitt totale energiforbruk [5].

Felles for mesteparten av veilysanleggene som er i drift i dag er at de har vært i drift i lang tid, da en stor andel av veibelysningen ble bygget i etterkrigstiden og fram til 1970 [6]. På bakgrunn av dette har en stor andel av dagens veibelysning blitt forbigått av både mer økonomiske og teknisk bedre løsninger. Pål J Larsen utførte i 2013 en doktorgrad hvor han blant annet så på tilstanden til veibelysningen i dagens installasjoner. Her fant han at store deler av veilynettet er overdimensjonert. Dette skyldes blant annet at luminanskraftene til norske veier har gått ned samtidig som lyskildene har blitt mer effektive. Et annet stort sparepotensiale som har kommet fram via doktoravhandlingen til Larsen er at veibelysningen i stor grad blir slått på for tidlig og slått av for sent. Dette kommer av at Norge, med solen lavt på horisonten, har lange perioder med tussemørke før natten eller dagen tiltrer [6].

Dagens mest brukte armaturer er av typen damplamper, og da i hovedsak høytrykknatriumlamper. Høytrykknatriumlampene er foretrukket, på tross av gult lys og dårlige fargegjengivelse, på grunn av sitt høye lysutbytte. Et annet alternativ som er mye brukt er metallhalogenlampen. Denne har hvitere lys og bedre fargegjengivelse, men igjen noe dårligere lysutbytte. Høytrykk-kvikksølvlamper er også en lyskildeteknologi som har blitt brukt i det norske veinettet, men er vedtatt på europeisk nivå å fases ut innen 2015. Videre er lysemitterende dioder (LED) en lyskilde som stadig har økt sin markedsandel de siste årene, spesielt til bruk innen gangfelt, park og gatebelysning.

Når det kommer til styringen av armaturene er majoriteten hovedsakelig kontaktorstyrt, med kun av/på styring, gjerne med en fotocelle eller et astronomisk ur som eneste styreparameter. For umålte veilysanlegg i Oslo i dag, som styres etter solens ned- og oppgang, er det vanlig å anta en brenntid på 4100 timer per år [12]. For kommuner med en anstrengt økonomi brukes ofte nattslukking som et sparetiltak. Dette kan være omstridt med tanke på at det kan være i strid med veinormalen og videre gå på bekostning av trafiksikkerheten [6].

Gjennom veiledningen V124 kommer det også fram at Statens Vegvesen enda har til gode å bruke trinnløse dimbare armaturer på store veilysanlegg. Dette kommer av behovet for elektronisk forkobling med styregrensesnitt dersom trinnløs dimming skal oppnås. Derimot er det i de seneste årene blitt tatt i bruk to- og tretrinns løsninger, både med og uten kommunikasjon (styrt og autonomt) i store veilysanlegg [8].

Selv om veilynettet vårt i hovedsak består av mye gammelt og utdatert utstyr må det også trekkes fram at det skjer positive fornyelser og satsninger. Stadig flere kommuner satser på bruk av LED og tar i bruk LED som gatebelysning [13]. Blant annet har Trondheim kommune nylig vedtatt å skifte ut 23 000 kommunale gatelys med LED de kommende årene [14]. Oslo kommune har installert dynamisk styring på 14 000 av 75 000 veilyarmaturer og høster store energi- og kostnadsbesparelser på bakgrunn av dette [15]. Statens Vegvesen har pilotprosjekter både med hensyn på bruk av LED som lyskilde og ulike typer dynamisk styring som gir verdifull erfaring for framtidens veibelysning. Her kan Statens Vegvesen sin satsning mot bruk av LED til tunnelbelysning spesielt trekkes fram. I dag er 26 tunneler utstyrt med LED-belysning, hvorav 13 er fullbelyst av LED og seks er dynamisk aktivitetsstyrt [2].



*Figur 2.2: Første tunnel (Brekke) med LED som totalbelysning. I dag 79 armaturer med lysutbytte på 103 lm/W [2].*



*Figur 2.3: Bildet viser en vei med høytrykknatriumlamper til venstre og LED til høyre. Bildet er tatt av Asker kommune [16].*



## 3 LED - Lysemitterende dioder

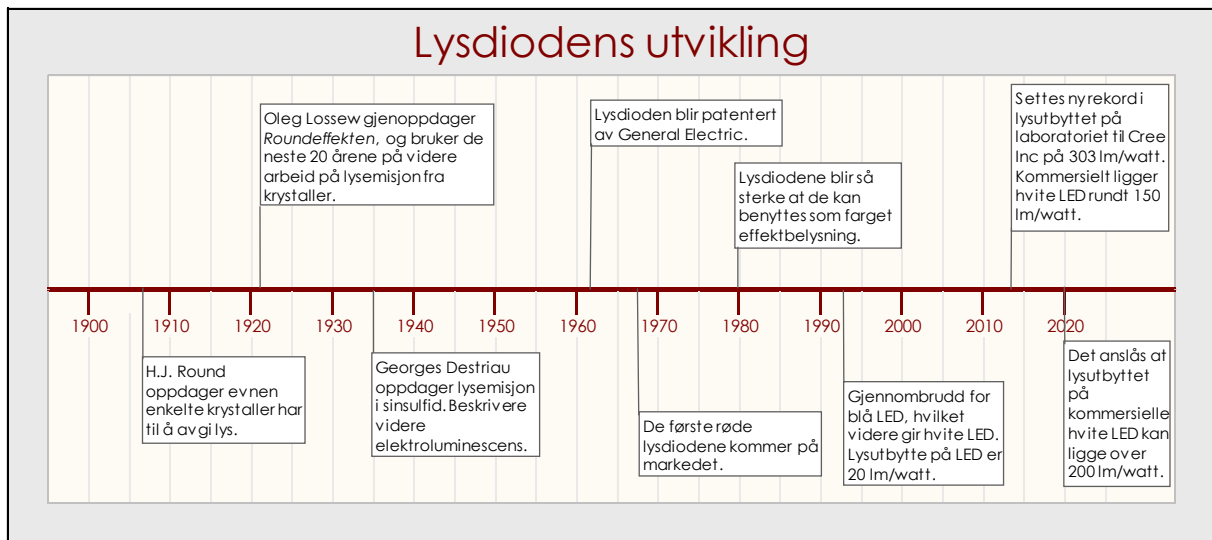
### 3.1 Et historisk perspektiv

Lysdiodeeffekten, hvor uorganisk materiale kan lyse opp når det tilføres elektrisk strøm, har vært kjent siden tidlig på 1900-tallet. Det var radiopioneren H. J. Round som under et av sine eksperimenter klarte å framstille en stabil lysbue ved å føre den rette strømstyrken gjennom en nål og over på en krystall. Round publiserte resultatet av forsøket i det vitenskapelige tidsskriftet *Electrical World* så tidlig som i 1907. Forsøket ble likevel aldri ansett som noe mer enn et morsomt elektrisk fenomen på den tiden [17].

Den russiske fysikeren Oleg Lossev gjenoppdager «Roundeffekten» med lysemisjon i 1921. I de påfølgende årene, fra 1927 til 1942, undersøker og beskriver han fenomenet mer detaljert. I 1935 oppdager den franske fysikeren Georges Destriau lysemisjon i sinsulfid. Georges Destriau blir i dag regnet som oppdageren av *elektroluminescens*, som er prinsippet lysdioden bygger på.

På bakgrunn av vitenskapelige fremskritt innen halvlederfysikk og utviklingen av transistoren på 1950-tallet blir man i stand til å forklare lysemisjonen som oppstår på en bedre måte. Noen år etter, i 1962, blir lysdioden offisielt oppfunnet og patentert av General Electric. Seks år senere, i 1968, lanserte HP og Monsanto de første røde lysdiodene på markedet, som kunne fungere som indikatorlys på elektriske apparater. I årene som følger blir lysdioder produsert i nye farger som grønn, oransje og gul som følge av utviklingen av nye halvledermaterialer. Når 1980-årene kommer har lysdiodene blitt så sterke at de kan benyttes til farget effektbelysning [18].

I 1993 kommer lysdiodens definitive gjennombrudd i det japanerne I. Akasaki, H. Amano og S. Nakamura utvikler de første effektive blå lysdiodene. Dette ga videre muligheten til å utvikle hvite lysdioder ved hjelp av enten et fosforbelegg på de blå lysdiodene eller ved å kombinere lysdioder med ulike farger for sammen å danne hvit lys. På bakgrunn av bragden med utviklingen av den blå lysdioden i 1993, mottok de tre japanerne nobelprisen i fysikk i 2014 [17].



Figur 3.1: Illustrasjonen viser historikken til lysdioden.

Etter dette har utviklingen gått i rekordfart – fra et lysutbytte på fattige 20 lumen per watt i 1993 til et rekordlysutbytte på 303 lumen per watt som ble gjort på laboratoriebenken til Cree Inc i 2014 [19]. Det må likevel understrekes at det er langt fra hva en klarer å oppnå i laboratoriet, under perfekte forhold og innenfor et smalt lysspekter, til hva en klarer å gjøre til et kommersielt produkt som gir et varig rikt lys med god fargegjengivelse. I dagens marked finnes det hvite LED-kilder med et lysutbytte rundt 160 lumen per watt, og innen 2020 er det forventet at en skal kunne kommersialisere hvite LED på opp mot 200 lumen per watt [20]. Til sammenligning opererer høytrykknatriumlampen på et lysutbytte mellom 85 til 150 lumen per watt, mens metallhalogen ligger mellom 65 og 115 lumen per watt i dag.

Basert på utsiktene med hensyn på lysutbyttet, og prognosene om at LED i løpet av de neste to tiårene vil bli like billig som tradisjonelle lyskilder [4], er det god grunn til å kunne påstå at framtidens lyskilde per dags dato ser ut til å være LED. I kapittel 3.3 vil det bli sett enda mer på hvorfor LED egner seg svært godt til nettopp veibelysning.

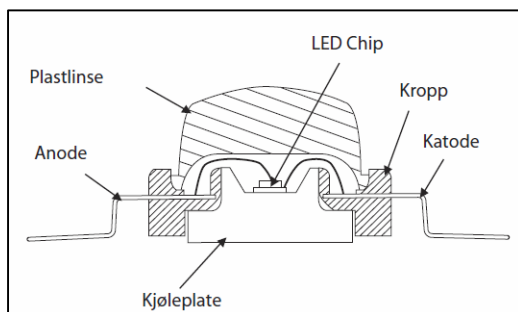
## 3.2 Oppbygning og virkemåte

LED, lysemitterende dioder, eller ganske enkelt lysdioder, er som navnet tilsier dioder som er konstruert for å sende ut lys. Lysdioden bygger, som mye av den moderne mikroelektronikken, på halvledere. Halvlederne har sin helt spesielle egenskap i at de kan fungere som både isolatorer og strømledere, avhengig av hvilke forhold og forutsetninger som ligger til grunn. Dersom halvlederne forurenses (dopes) med urenheter kan en oppnå at halvlederne kan lede strøm ved hjelp av elektronforflytning mellom atomene i halvledermaterialet.

Lysdioden består av positivt og negativt dopet halvledermateriale, satt sammen til en pn-overgang. Den positivt dopede siden har et underskudd av elektroner i halvledermaterialet og kalles anoden, mens den negativt dopede siden har et overskudd av elektroner og er kjent som katoden. Dersom et elektrisk felt i foroverretning påtrykkes lysdioden, fra anoden

til katoden, vil en strøm gå gjennom lysdioden og videre føre til en kontinuerlig rekombinasjonsprosess i materialet som resulterer i at lysdioden avgir energi i form av fotoner som kan ses som et ensfarget lys. Dette er altså et helt annet prinsipp enn hva de andre lyskildene opererer etter, typisk glødetråd eller gass under trykk [21].

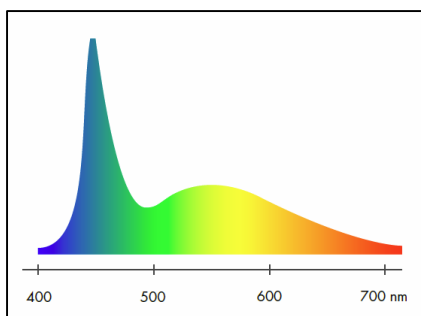
Rekombinasjonsprosessen kan forklares ved at overskuddet og underskuddet av elektroner utlignes mellom anoden og katoden. Når elektronet knytter seg til et atom med underskudd av elektroner vil elektronet gå fra ledningsbåndet til valensbåndet. I denne prosessen frigjøres energi som tilsvarer energiforskjellen mellom ledningsbåndet og valensbåndet. Den frigjorte energien blir sendt ut som en elektromagnetisk bølge (foton) med en gitt frekvens. Dersom denne frekvensen ligger innenfor området for synlig lys, vil lysdioden avgis lys. Fargen til lyset er bestemt av energiforskjellen mellom ledningsbåndet og valensbåndet i halvledermaterialet [21].



Figur 3.2: Tegningen viser oppbygningen til en LED [18].

Lysemitterende dioder finnes i dag i bortimot alle monokromatiske farger. Hvilket lys som sendes ut er som nevnt over avhengig av hvilket halvledermateriale som benyttes. For vanlige belysningsformål er ulike hvitnyanser det mest aktuelle. På bakgrunn av at hvitt lys består av flere bølgelengder, og at lysdiodene sender ut kun monokromatisk lys, må en ty til alternative løsninger for å få dannet hvitt lys ved hjelp av lysdioder. Her er det i hovedsak snakk om to forskjellige løsninger eller en kombinasjon av de to [21].

Den første og mest anvendte metoden for å skape hvitt lys med LED, er å bruke et gult fosforlag (lyspulver) utenpå en blå lysdiode. Lyspulveret vil da absorbere noe av det blå lyset og videre konvertere dette til lys i andre deler av spekteret. Det samlede resultatet ut fra lyskilden vil da være hvitt lys. Fosforet kan enten legges direkte oppå hver LED-chip, eller som en ekstern fosforplate på toppen av et lysmikingskammer. Begge metodene gir en spektralfordeling som er avhengig av båndgapet i halvledermaterialet og konverteringsegenskapene til fosforlaget. En typisk spektralfordeling for en hvit LED kan ses i Figur 3.3. Denne metoden for å lage hvitt lys med lysdioder, senker effektiviteten til lyskilden noe, men gir et rikt og behagelig lys [18].



Figur 3.3: En typisk spektralfordeling til en hvit lysdiode [20].

Den andre metoden for skape hvitt lys ved hjelp av LED er å bruke dioder med ulike farger slik at summen av lyset blir hvitt. Også kjent som additiv fargeblanding. Ulempene med denne løsningen framfor den andre er at det krever mer plass (trenger flere dioder), kan gå utover fargegjengivelsen og at det kan skape uheldige skyggeeffekter. LED med ulike farger har dessuten ulike levetider og lystap, hvilket kan føre til fargeforvrengning som funksjon av levetiden. Fordelen opp mot den andre metoden er i tillegg til høyere effektivitet, muligheten til endring av farge etter behov [18].

### 3.3 Fordelene med LED

Fordelene med LED framfor konvensjonelle kilder som opererer etter glødetråd- eller gassutladningsprinsippet er mange. I dette delkapitlet vil de mest kjente fordelene bli gjengitt, hvor det spesielt fokuseres på hvorfor LED er spesielt godt egnet til intelligente veibelysningsinstallasjoner.

Den aller største fordelen med bruk av LED til veibelysning er lyskildens egenskaper med hensyn på dimming. Mens de konvensjonelle lyskildene har en treghet ved regulering, som følge av at gassen må varmes opp før en får full lyseffekt, vil lysdioden momentant gi det lysnivået som er ønskelig. I tillegg til dette er LED fullt dimmbare fra null til hundre prosent uten fargeforvrengning eller effektivitetstap, noe som er et problem med de konvensjonelle kildene [18]. Disse egenskapene muliggjør behovsstyrt lysregulering på en helt ny og langt mer energieffektiv måte.

I veibelysning vil vær og vind være med å bestemme de ytre påkjenningene som belysningsanlegget blir utsatt for. På bakgrunn av at det ikke finnes mekaniske komponenter i lysdiodene vil lyskilden ha et fortrinn også på dette området. Siden det verken er glass, gass under trykk eller glødetråder som kan brenne opp eller løsne på grunn av rystelser, vil lysdioden tåle vibrasjoner i en større grad, og følgelig være mer mekanisk robust. Lysdioden tåler også kulde svært godt. Istedenfor at ytelsen til lyskilden blir svekket, vil lysdioden heller bedre ytelsen som følge av kulden og kjølingen som oppstår. Dette er helt motsatt i forhold til de øvrige lyskildene innen veibelysning, da disse kan ha vanskelig for å tenne, samtidig som de blir mindre effektive når temperaturen faller [18].

Energiøkonomisk har lysdiodene også en del egenskaper som kan komme veilysholderne til gode, her tenkes det spesielt på den lange levetiden som LED representerer. Vanligvis



defineres levetiden til en lysdiode som tiden til lysutbyttet er sunket til under 70 % av sin opprinnelige verdi. En typisk L70-levetid for LED er minimum 50 000 timer. Dette er langt bedre enn de konkurrerende lyskildene (tradisjonelle kilder må skiftes etter 16 000 til 20 000 timer [22]), og gjør LED svært godt egnet for høye installasjonshøyder hvor bytte av lyskilde er krevende. Energiøkonomisk har LED også fordelene med at lyset avgis i kun en retning, med en mulig spredningsvinkel på 180 grader avhengig av linsetype. Dette medfører færre refleksjoner inne i armaturen og således at mer lys kommer ut av armaturen enn ved lyskilder hvor refleksjoner er nødvendig. Det høye lysutbyttet som kan fås av lysdiodene i dagens marked vil også utgjøre en betydelig innsparing med hensyn på energiforbruket [20].

Lyskvalitet er av estetiske og psykososiale forhold et viktig aspekt i belysningsøymed, også innen veibelysning. Den mest brukte lyskilden innen veibelysning i dagens installasjoner er høytrykknatrium. Denne har et smalspektret lys, i praksis høye verdier kun i den gule delen av spekteret, og følgelig dårlig fargegjengivelse (Ra rundt 20-25) [6]. Metallhalogenkilden, som lenge har vært den nærmeste konkurrenten til høytrykknatrium, har et rikere lys men igjen en lav effektivitet. Lysdiodene er i dag i stand til å levere et rikt lys med høy fargegjengivelse, uten at det går på bekostning av effektiviteten. At lysdiodene ikke har komponenter av infrarød eller ultrafiolett stråling er også en positiv fordel [18].

### 3.4 Tekniske utfordringer med LED

Av driftsutfordringer er temperaturen inne i selve LED-chippen den mest kritiske utfordringen. En tommelfingerregelen sier at dersom temperaturen inne i LED-chippen økes med 10 grader kan en risikere at levetiden halveres. Et problem som kommer i et tidligere stadiet dersom temperaturen er for høy, er at den blå chippen og fosforlaget vil degenereres, som vil resultere i at lyskilden vil tape lys som funksjon av tiden [20].

Som nevnt i kapittel 3.3 sender lysdioden alt lyset i samme retningen. På bakgrunn av dette og at lysdiodene er små i størrelse vil lyset fra LED-armaturer være veldig konsentrert med en høy luminans, candela per kvadratmeter. Dette kan medføre at blinding kan bli et problem, noe som er svært uønsket i trafikksammenheng.

Nylig forskning har også påvist at LED-belysning kan utgjøre en helserisiko dersom en ikke er forsvarlig med bruken av lyskilden. Hvite lysdioder som har en topp i det blå lysspekteret (se Figur 3.3), kan ved langvarig eksponering føre til permanente skader på netthinnen. Dette kommer av at blått lys har kortere bølgelengde og dermed mer energi, som i verste fall kan skade øyet gjennom kjemiske endringer i netthinnen. Forskere har antydnet at dette kan bli en global folkeepidemi i årene som kommer som følge av at dataskjermer, mobiler, fjernsyn, trafikklys og veilyls blir erstattet med LED [4].

Et annet problem som hvite LED utgjør er den såkalte blåforstyrrelsen. På bakgrunn av at hvite LED har en høy andel av blått lys (se Figur 3.3) og at blått lys spres lettere i atmosfæren enn andre farger, vil bruk av LED føre til en økt lysforurensning, sammenlignet med andre lyskilder [23]. Utfordringer med at lyset blir kaldt, høy fargetemperatur, har også vært en

utfordring ved bruk av LED, men noe som har bedret seg med utviklingen av lyskilden de siste årene.

På bakgrunn av elektronikken som LED-lyskilder utgjør kan dette medføre en større andel overharmoniske enn vanlige konvensjonelle lyskilder, og da tredjeharmoniske spesielt. Det må likevel understrekes at dette kan variere veldig fra leverandør til leverandør. Overharmoniske strømmer ønskes begrenset i strømmettet som følge av at overharmoniske kan bidra til overopphetning av transformatorer, havari i kondensatorer, feilutløsning på vern eller forstyrrelser på kommunikasjonsutstyr [24]. Dersom de tredjeharmoniske strømmene opptrer i et TN-nett, og måles eller beregnes til over 33 % av den totale fasestrømmen ved jevnt fordelt last, vil strømmen i nøytrallederen bli større enn strømmen i faselederne. Dette må da tas spesielt hensyn til, i henhold til normen for elektriske lavspenningsinstallasjoner.

### 3.5 Lystilbakegang

Som følge av degradering av halvleder materialet som funksjon av brukstiden, vil en med LED-belysning oppleve at lyset blir svakere med tiden. En artikkel publisert på sidene til Teknisk Ukeblad juni 2013 vekket oppsikt da det ble funnet en lystilbakegang på 7,7 prosent på drøye to år i et kommunalt veilysanlegg i Oslo-området. Dette resulterte i at Oslo kommune satte full stopp for videre LED-utbygging i kommunen [22]. I senere tid har det derimot vist seg at dette var en kalkulert lystilbakegang fra leverandørens side, hvor lystilbakegangen skulle ha et vesentlig dropp etter de første 4000 til 6000 brenntimene før det deretter skulle stabilisere seg med en svakere tilbakegang etter dette. Den faktiske feilen i det nevnte tilfellet var at dette ikke ble kommunisert mellom leverandør og utbygger. Noe som resulterte i at utbygger antok at lystilbakegangen vil være lineær, og dermed fryktet det verste etter de nevnte målingene. Altså en lineær lystilbakegang langt over det som er normalt [12].

Som nevnt i kapittel 3.3 er det i dag vanlig å oppgi levetiden til LED som antallet brenntimer hvor det garanteres at lyskilden leverer over 70% av den nyinstallerte lysfluksverdien. Hvordan lystilbakegangen utarter seg fra nyinstallert verdi ned til 70 prosent er, som vi lærte fra eksemplet over, ulikt. Det kommer derfor fram som viktig at leverandør og utbygger har god kommunikasjon vedrørende dette. Det som likevel er det vanligste i dagens marked er lineær lystilbakegang. Typiske verdier som oppgis av leverandørene per 2015 er oppgitt i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Tabellen viser typiske anslag på lystilbakegang oppgitt av leverandørene per 2015 [12].

Antallet brenntimer:	Lystilbakegang som prosent av initialverdi:
5 000 t	1-2 %
10 000 t	2-3 %
30 000 t	4-6 %
50 000 t	6-10 %

## 4 Intelligente styresystemer

Intelligente styresystemer for veily s er styresystemer der armaturene kan reguleres (dimmes) etter flere ulike parametere. Parameterne som anlegget kan styres etter kan blant annet være; tidspunkt, skumringstabell, lysforholdene på stedet, astronomisk ur, aktivitet på stedet, kravene gitt i veinormalen, ukedag og/eller siktforhold. Dersom enten trinnvis eller trinnløs dimming skal benyttes må forkobling og lyskilde være tilpasset dette.

Sparepotensialet ved bruk av intelligent veibelysning er stort. Ved å ta i bruk intelligent veibelysning som styres på bakgrunn av luminansen på stedet, værforholdene og trafikk tettheten i det norske veinettet, kan mellom 31 % og 51 % av energiforbruket spares. Dette vil kunne utgjøre en energibesparelse på opp imot 408 GWh årlig [6].

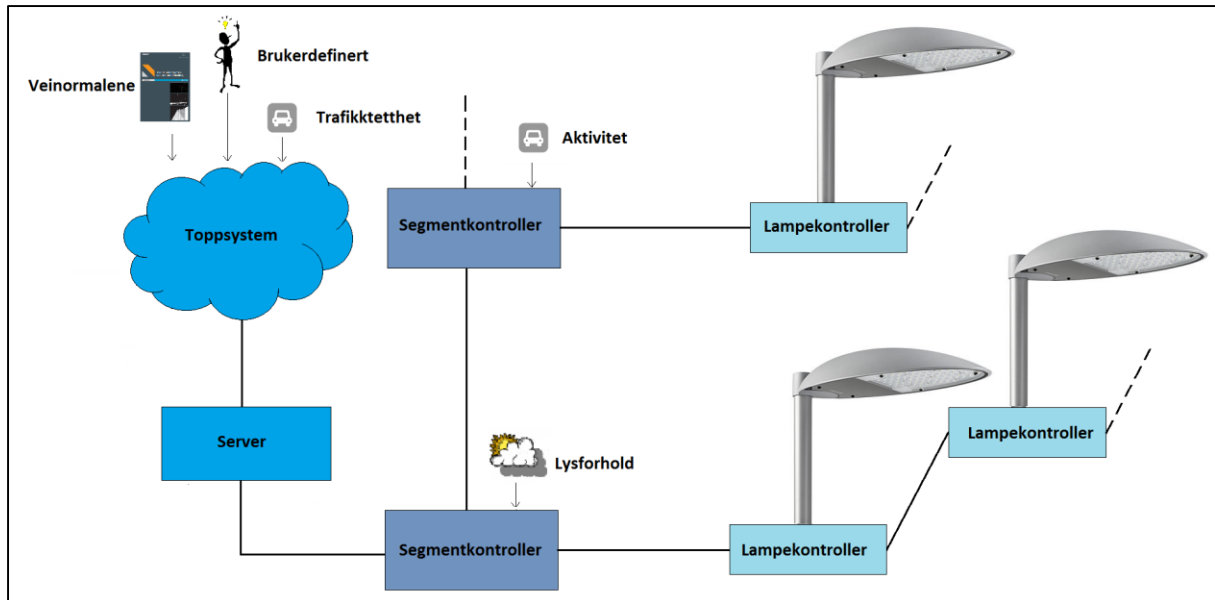
Incentivene for å ta i bruk intelligent veibelysning er mange. Som nevnt over er energisparepotensialet stort. At man kan halvere energien brukt til veibelysning vil gi økonomiske besparelser, samt være med på å sørge for at klimamålene med hensyn på reduksjon av energiforbruk blir nådd. Det at man til enhver tid sørger for optimale lysforhold vil også sørge for en bedre og tryggere trafikkavvikling. Fleksibiliteten i et intelligent styringssystem er også en stor fordel. Her tenkes det at man kan øke belysningen dersom det meldes fra om ulykker, kriminalitet, arbeid på stedet og lignende. Andre fordeler med intelligent veibelysning er muligheten til å minke lysforurensningen, intern energimåling i hver armatur og forenkling av vedlikeholdet på bakgrunn av overvåkingen av anlegget.

Det ligger også en del utfordringer og barrierer med hensyn på intelligent veibelysning. Høye investeringskostnader anses som den største hindringen, men her må det også nevnes at det kan søkes økonomisk støtte til Enova ved investering i produkter som gir energisparinger. Videre kan variasjonen av løsninger hos de ulike aktørene, samt at teknologien ikke er standardisert bidra til å gjøre veilysholderne usikre. Løsningene som eksisterer er mange og varierte, og det er derfor knyttet noe usikkerhet til hvilke produkter en kan få til å fungere sammen. Kunnskap og usikkerhet med hensyn på driften av et slikt anlegg kan også virke avskrekkende for enkelte veilysholdere [7].

Det finnes i dag en rekke forskjellige intelligente styresystemer for veily s. Alt fra enkle desentraliserte styreprogrammer som er installert i hver enkelt armatur til sentraliserte styresystemer som tillater både overvåking, konfigurering og overstyring av belysningsanlegget enten på kursnivå eller armaturnivå. Siden denne masteroppgaven har til hensikt å se på interoperabiliteten for ulike lampekontrollere vil kun intelligent styring på armaturnivå bli presentert.

## 4.1 Intelligent styring på armaturnivå

Et intelligent styresystem på armaturnivå består av lampekontrollere i hver armatur som er linket opp imot en eller flere segmentkontrollere. Segmentkontrollerne kommuniserer videre med et toppsystem som tillater konfigurering, overstyring og overvåking. I kapitlene under vil de ulike elementene i et intelligent styresystem på armaturnivå bli beskrevet.



Figur 4.1: Skisse som viser hovedtrekkene i en mulig oppbygning av et intelligent veibelysningsystem. Armaturer fra Philips [25].

### 4.1.1 Lampekontrolleren

Dersom en skal ha et fullverdig intelligent veilyssystem er lampekontrollere (lampeknoder) det første som må være på plass. Lampekontrolleren har til hovedhensikt å fungere som et bindeledd mellom styresystemet og armaturen. Lampekontrolleren skal sikre både riktig styring og tilbakereportering om tilstand og status for den aktuelle armaturen. Som styresignal mellom lampekontrolleren og armaturen er det i dag en uskreven regel om å enten benytte digital DALI-styring eller analog 1-10 V styringssignal. Dette er med på å sikre at ulike lampekontrollere kan brukes opp imot flere ulike armaturtyper, og følgelig muliggjør veilysholdernes mulighet til å kombinere lampekontrollere og armaturer på tvers av leverandørene.

Lampekontrolleren må tilby en rekke funksjoner. De helt klart viktigste funksjonene er dynamisk eller trinnvis dimming, og av/på-styring. Videre er det som regel ønskelig med toveiskommunikasjon mellom lampekontrolleren og segmentkontrolleren, slik at tilstandsdata for lampen kan sendes tilbake til styresystemet. Her vil overvåking av lyskilde og forkoblingsutstyr med hensyn på parametere som: driftsstatus (på/av/dimmesprosent), brenntimer, antall oppstarter, energiforbruk, effektfaktor, strøm, spenning, temperatur og kommunikasjonsforbindelse, være av særlig interesse [26]. Videre kan det tenkes at

lampekontrolleren må kunne programmeres med hensyn på hva den skal gjøre dersom kommunikasjonsbrudd med styresystemet forekommer. Dette kan løses ved at den bruker «gårsdagens programmering» helt til kommunikasjonen igjen er gjenopprettet, eller at lampekontrolleren styrer armaturen etter et innebygget astronomisk ur. En forsterkerfunksjonalitet (repeater) med hensyn på videreføring av signaler til/fra andre lampekontrollere vil også være ønskelig, slik at avstanden fra segmentkontrolleren til siste lampekontroller ikke blir begrenset. Muligheten for tilkobling av eksterne styringsgivere som blant annet fotocelle, luminansmeter eller trafikkensensor kan også være nyttig, og at disse måleverdiene kan deles med resten av systemet.

#### 4.1.2 Segmentkontrolleren

Segmentkontrolleren (også kjent som områdenode) har som hovedoppgave å motta, behandle og distribuere meldinger og kommandoer fra toppsystemet og ut til lampekontrollerne. Videre er det viktig at segmentkontrolleren er i stand til å prioritere, handle og logge eventuelle alarmer som kommer fra lampekontrollerne. I tillegg tenkes det at segmentkontrolleren skal kunne gi brukeren muligheten til å styre alle lampekontrollerne som er underlagt det enkelte segmentet, for eksempel kunne sette samtlige lamper på 100 % ved nødsituasjoner som ulykker, ekstremvær eller lignende. Segmentkontrolleren må også ha både digitale og analoge innganger til å koble på eksterne signalgivere som fotocelle, luminansmeter med mer. Videre må interne styringsgivere også være implementert i segmentkontrolleren. Her tenkes en integrert kalenderfunksjon, astronomisk ur og vanlig klokke.

At segmentkontrollerne er basert på åpne kommunikasjonsprotokoller er helt essensielt dersom en skal kunne kombinere produkter fra ulike produsenter [26]. Det vanligste kommunikasjonsmediet mellom segmentkontroller og lampekontroller er Powerline kommunikasjon eller trådløs radiofrekvenskommunikasjon.

#### 4.1.3 Toppsystemet

Toppsystemet er brukergrensesnittet mellom styresystemet og veilysholderne. I de fleste tilfeller er dette et webgrensesnitt som gir mulighet til både overvåking og styring av veilysanlegget. Her kan styringsparameterne endres eller styresystemet overstyres ved behov. En grafisk visning av hvor lampekontrollerne og segmentkontrollerne er plassert vil i mange situasjoner være hensiktsmessig, spesielt ved feilsøking eller feilretting. Hva angår overvåking av veilysanlegget skal toppsystemet både ta imot, lagre og logge tidspunkt for tilstandsdataene som kommer inn. På denne måten har veilysholder full oversikt over anleggets historikk og nåværende status. Ved lampeutfall eller kritiske feilmeldinger kan det også være hensiktsmessig at toppsystemet varsler driftspersonell via enten SMS eller e-post. Ved hjelp av desentralisert intelligens i segmentkontroller og lampekontroller skal anlegget videre fungere som et selvregulerende system selv om kommunikasjonen mellom toppsystemet og komponentene faller ut. Den vanligste kommunikasjonsløsningen mellom

toppsystemet og segmentkontrollerne er internettprotokoll via enten vanlig trådbasert ethernet-kabel eller trådløs mobilnetsteknologi [26].

## 4.2 Kommunikasjonsmetoder

Når en skal velge leverandør(er) og komponenter for et styresystem er det viktig at de ulike komponentene som skal utveksle informasjon har tilgang til å operere med samme kommunikasjonsmetode. Dersom det er tilrettelagt for dette er det videre viktig at de to enhetene snakker samme språk. Det vil si at de opererer på samme kommunikasjonsprotokoll, og er i stand til å «tolke» de signalene som blir sendt. I dette kapitlet vil de mest brukte løsningene som eksisterer på markedet i dag bli presentert. Av kommunikasjonsmedier mellom forkoblingen og lampekontrolleren er analog 1-10 V styring og DALI det mest brukte. Mellom lampekontroller og segmentkontroller er Powerline og radiokommunikasjon det mest anvendte, mens det mellom segmentkontrolleren og toppsystemet er vanlig internettforbindelse som er det mest aktuelle.

### 4.2.1 DALI

Innen digital styringsteknikk er det utviklet en standardisert dataprotokoll med navn DALI (Digital Addressable Lighting Interface). DALI er i dag den mest brukte digitale styringsteknikken for lysstyring. Standardiseringen gjør at kundene kan velge ulike leverandører uten at det går på bekostning av kompatibiliteten. En annen stor fordel med bruk av digital styringsteknikk er muligheten til toveiskommunikasjon mellom forkoblingsutstyret og lampenoden. Ved å ha innebygget *intelligens* i forkoblingsutstyret kan armaturen selv rapportere tilbake til lampenoden om ulike forhold av interesse, hvor tilstandsmålinger av driften vil være av særlig interesse [9].

### 4.2.2 Analog styring

Av analog teknikk er 1-10 V styresignal det vanligste. Her vil 1 V tilsvare det laveste lysnivået, mens 10 V tilsvarer det høyeste lysnivået. utfordringen med analog 1-10 V styring er at det som skjer mellom 1 V og 10 V styresignal ikke er standardisert [9]. Lysnivået som funksjon av styresignalet er ikke nødvendigvis det samme for alle leverandørene. Dette fører til at utstyr fra ulike leverandører ikke nødvendigvis kan benyttes om hverandre, selv om de i utgangspunktet benytter samme styringsteknologi.

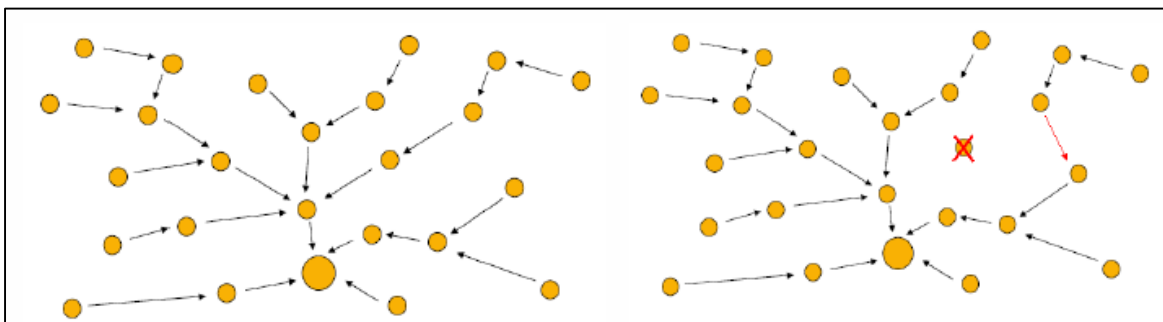
### 4.2.3 Powerline

Selv om Powerline-kommunikasjon er en relativt ny teknologi er den nokså utbredt og ofte det mest naturlige valget for kommunikasjon ut til lampekontrolleren i et intelligent veilyssystem. Dette kommer av at Powerline-kommunikasjon benytter en allerede eksisterende strømtilførsel til å sende digitale signaler med en frekvens som fraviker fra 50 Hz, ofte på frekvensbåndene 116 kHz eller 132 kHz. utfordringene med bruk av PLC er at signalene kan bli påvirket av støy eller forvrengning som følge av de elektriske enhetene som

er koblet på strømnettet, og da tenkes det spesielt på overharmoniske forstyrrelser. I veilysanlegg hvor armaturene er de dominerende lastene er dog dette ikke noe stort problem. En annen utfordring med bruk av PLC er dempingen av signalet i linjen/kabelen grunnet den impedansen som sterkstrømskabelen representerer. Både støy, forvrenging og demping av signalet kan løses med repeaterfunksjonalitet i segment- og lampekontrollerne slik at signalet til enhver tid er av tilstrekkelig kvalitet [27].

#### 4.2.4 Radiokommunikasjon over ZigBee

En annen kommunikasjonsmetode som er mye brukt blant leverandører av intelligente styresystemer til veibelysning er radiokommunikasjon med ZigBee-protokollen. ZigBee benytter frekvensbåndet 2,4 GHz til kommunikasjon mellom enheter i et maskenettverk. Fordelen med et maskenettverk er at hver enkelt node kan være tilkoblet flere andre noder i nettverket og følgelig bidra i dataoverføringen i nettverket. Hjernen i et ZigBee-nettverk er *koordinatoren*. Koordinatoren har som hovedoppgave å igangsette nettverksformasjonen og opptrer som en nettverkskoordinator. Enhetene kommuniserer også internt slik at dersom en enhet er utenfor rekkevidden til en koordinator kan kommunikasjonen omdirigeres til å gå via andre enheter. De store fordelene med ZigBee er at teknologien bruker lite strøm, er standardisert, har lav pris og gir en enkel oppkobling mellom enhetene [28]. Ved bruk av ZigBee unngår man støy, forvrengning og demping av signalene som kan være et problem med PLC, men er igjen avhengig av forholdene på stedet med hensyn på rekkevidde.



Figur 4.2: Illustrasjon som viser hva som skjer med nettverksformasjonen dersom en node faller ut [29].

#### 4.2.5 Ethernet

Kommunikasjonsmetoden mellom toppsystemet og segmentkontroller vil i de aller fleste tilfeller være via vanlig internettprotokoll med en ethernet-forbindelse. Ethernet-forbindelser kan i dag løses ved bruk av koaksial, tvunnet trådpar, fiber eller WLAN. I denne sammenhengen er tvunnet trådpar og fiber de mest aktuelle og foretrukne løsningene [30].

## 4.2.6 Mobilnettet

Der hvor internettforbindelse via trådbasert tilkobling er tilrettelagt for, vil Ethernet være et naturlig valg. Dersom det må gjøres mye ekstra arbeid for å få til en trådbasert internettforbindelse kan mobilnettet være et godt og økonomisk alternativ. Innen mobilteknologien i dag har en følgende tre teknologier som kan være aktuelle til formålet; GSM, GPRS eller UMTS [27].

GSM (Global System for Mobile Communications) som regnes som 2G, er den mest brukte standarden for mobiltelefoni i dag. Med GSM kobler man seg opp mot Internett når man trenger det. På bakgrunn av dette betaler man for selve oppkoblingen, i tillegg til oppkoblingstiden. Overføringshastigheten ved bruk av GSM er 9,6 kbit/s [31].

GPRS (General Packet Radio Service) er en videreføring av GSM-teknologien og det neste teknologisteget som fikk fotfeste innen mobilbransjen. GPRS som ligger en plass mellom andre- og tredjegerasjon mobilnett blir ofte kalt 2,5G. Den største forskjellen mellom GPRS og GSM er at man har en forbindelse som alltid er påkoblet. Videre betales det kun for datamengden som overføres. Den reelle overføringshastigheten ved bruk av GPRS ligger rundt 48 kbit/s, mens den teoretiske grensen for overføringshastigheten er 171 kbit/s [32]. I dag har en også utvidelsen EDGE, også omtalt om EGPRS (Enhanced GPRS), som øker hastigheten med fire ganger vanlig GPRS [31].

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) som regnes som tredje generasjon (3G) innen mobilnettteknologien, åpner for enda raskere kommunikasjon og større datamengder. Her er den teoretiske overføringskapasiteten på 384 kbit/s. Også her finnes det utvidelser som øker hastigheten ytterligere. I Norge i dag kan UMTS med utvidelser gi en overføringskapasitet på hele 3,6 Mbit/s.

## 4.3 Gateway mellom Powerline og ZigBee

Et mulig tenkt scenario, dersom ulike leverandører innen styresystemer for veibelysning skal benyttes, er at Powerline med LonTalk og radiofrekvenskommunikasjon med ZigBee skal benyttes i samme styresystemet. Dersom det benyttes Powerline fram til mast nummer x, også blir det etter utvidelser valgt ZigBee på de påfølgende mastene, vil en gateway mellom de to teknologiene være av interesse. Samtaler med ZigBee Alliance og Echelon har derimot vist at en slik gateway per i dag mest sannsynlig ikke eksisterer [33] [34].

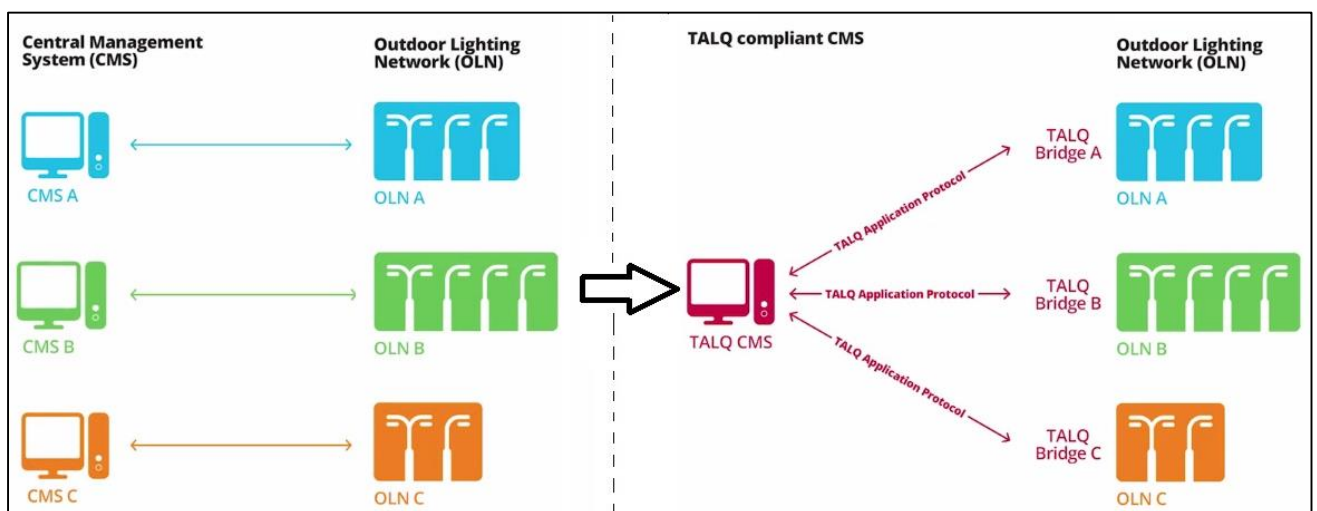
## 4.4 TALQ

TALQ er et globalt konsortium, initiert av bedrifter innenfor lysindustrien, med mål om å skape en globalt akseptert åpen standard for grensesnittet mellom toppsystemet og det fysiske styresystemet i intelligente utendørs belysningsinstallasjoner. Hovedaktørene i TALQ består av Harvard Engineering, Kingsun, Philips, Streetlight.Vision og Thorn [35].



Sammenslutningen av aktører har kommet fram som et resultat av at bransjen har sett et behov for en bedre interoperabilitet på tvers av ulike leverandører. Mangelen på en standard innen bransjen har ført til at hver bedrift har sin egen løsning. TALQ har konkludert med at dette virker som en hemske for enkelte lysholderes vilje til å investere i intelligente styresystemer innen utendørsbelysning. Dette kommer av at veilysholderne ikke ønsker å binde seg til én enkelt leverandør, noe som prinsipielt vil være tilfelle dersom ulike systemer ikke kan snakke sammen [35].

Som en kan se i Figur 4.3 er tanken bak TALQ å lage en standard som muliggjør kommunikasjon på tvers av ulike styresystemer. Kommunikasjonen mellom de ulike styresystemene skal kunne utføres på segmentkontroller- og toppsystemnivå. TALQ tar dermed ikke sikte på å lage interoperabilitet på lampekotrollernivå. Dersom visjonene til TALQ skal bli virkelighet krever dette at utviklerne bak de ulike styresystemene følger konvensjonene som TALQ innfører i sin standard.



Figur 4.3: Illustrasjonen viser tanken bak TALQ [35].



## 5 Leverandører av styresystemer

I dette kapitlet vil de ulike leverandørene som inngår i rapporten bli presentert. Det vil her bli gitt en generell beskrivelse av selskapet, samt en kort presentasjon av hva de tilbyr av løsninger innenfor intelligente styresystemer for veibelysning på armaturnivå. For en mer detaljert og skjematisk sammenligning av det intelligente styresystemet for de ulike leverandørene henvises det til vedlegg 2.

### 5.1 Datek Light Control

Datek Light Control AS (DLC) er et norskeid selskap som holder til ved Kjeller, like utenfor Lillestrøm. Selskapet som spesialiserte seg innen lysstyring var tidligere en del av Datek Wireless AS. Den 1 april 2014 ble imidlertid DLC skilt ut som et eget datterselskap. Dette ble gjort for å sikre en fortsatt vekst på det som har blitt et stort marked for Datek Wireless, og for å sikre at eksisterende og nye lysstyringskunder får fokus og dedikerte ressurser også i fremtiden. Datek Wireless AS står som eier av alle aksjene i Datek Light Control AS [36].

Datek tilbyr i dag et skalerbart system som egner seg like godt for mindre idrettsbaner som for store veilysanlegg. Toppsystemet til Datek består av et webgrensesnitt som enten er koblet opp mot en sentral server driftet av Datek eller en lokal server driftet av veilysholder. Kommunikasjonen mellom serveren og segmentkontrolleren kan løses ved Ethernet, fiber, eller ved GSM/GPRS over mobilnettet. Webgrensesnittet gir tilgang til systemet for konfigurering, overvåkning og overstyring. Andre funksjoner som toppsystemet gir brukerne er varsel på SMS eller e-post dersom feil oppstår i anlegget, samt muligheten til å overstyre tenning/slukking av anlegget ved behov via webgrensesnittet eller SMS [37].

Mellom toppsystemet og lampekontrollerne benytter Datek en Gateway for å kunne kommunisere trådløst ut til lampekontrollerne over ZigBee. Avhengig av topologi kan hver Gateway styre opptil 1000 lampekontrollere. Gatewayen tilbyr i tillegg både digitale og analoge innganger som muliggjør tilkobling av eksterne styringsgivere. Lampekontrollerne vil kunne kommunisere med armaturen over enten DALI eller 1-10 V styring. Ved bruk av DALI grensesnitt kan lampekontroller hente ut alt av statusinformasjon som er tilgjengelig fra armaturen. Lampekontrollerne er også godkjent som strømmåler klasse B og kan derfor benyttes som måler ved avregning av strømforbruk. Digitale og analoge innganger muliggjør tilkobling av eksterne signalgivere på lampekontrollerne [38].



Figur 5.1: Circuit Switched Control Unit til venstre, og Luminaire Control Unit til høyre [39].

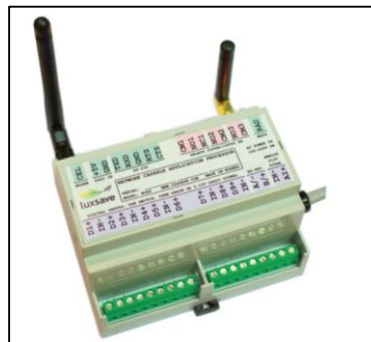
## 5.2 LuxSave

LuxSave er et norsk etablert firma, med tilholdssted ved Høgskoleringen i Trondheim, som utvikler og produserer løsninger for smart lysstyring. LuxSave er en liten bedrift med syv ansatte som samarbeider tett med utviklingsmiljøene ved NTNU og SINTEF. Firmaet er i dag leverandør av toppsystem og segmentkontrollere.

Toppsystemet til LuxSave består av et webbasert brukergrensesnitt som muliggjør både overvåkning, konfigurering og styring av anlegget. En grafisk kartframstilling av anlegget, samt logging av hendelsesdata gir en komplett oversikt over anleggets status.

Styringskriteriene for anlegget kan brukeren selv definere ut fra egne ønsker. Dersom uønskede hendelser, som lampeutfall eller kommunikasjonssvikt, oppstår i anlegget kan toppsystemet konfigureres til å sende ut varsel på SMS eller e-post til driftspersonell.

NCAP som er segmentkontrollerne til LuxSave kan både integreres opp mot andre leverandører sine lampekontrollere, eller fungere som en styringsenhet på kursnivå. Enheten tilbyr både interne styringsgivere som astronomisk ur, vanlig ur og kalender, i tillegg til muligheten til å koble på eksterne styringsgivere via digitale og analoge innganger. Dersom segmentkontrolleren skal brukes i samråd med lampekontrollere fra en annen leverandør kan dette gjøres via Powerline eller RF-kommunikasjon med ZigBee-protokollen [40].



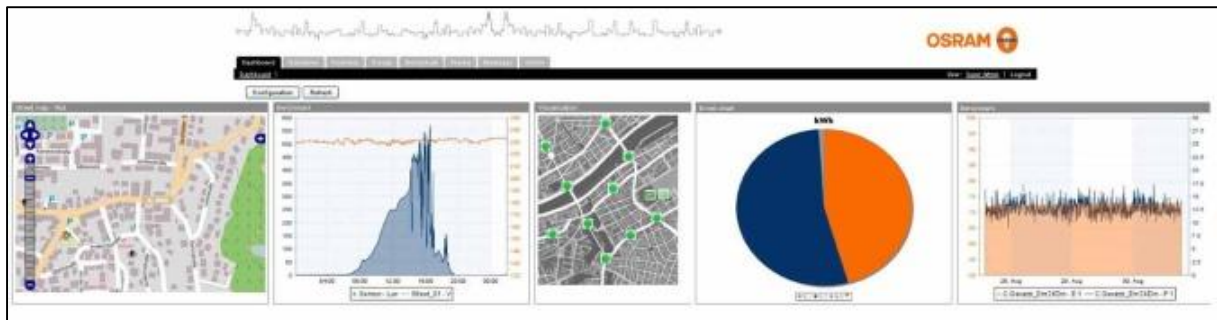
Figur 5.2: Segmentkontrolleren til LuxSave [40].

## 5.3 Osram

Osram, grunnlagt i 1919, er et heleid datterselskap av Siemens AG og er i dag en av verdens største leverandører av lyskilder sammen med Philips. Osram gjorde for alvor sin inntreden innen styring av veibelysning da de 1. juli 2011 kjøpte opp Siteco. Siteco som også har en fortid under vingene til Siemens, men løsrev seg i 1997, er dermed tilbake under vingene til Siemens ved å bli datterselskapet til Osram [41]. Osram leverer et fullstendig styresystem fra toppsystem og ned til lampekontrollerne, i tillegg til et bredt spekter av armaturer og lyskilder.

Toppsystemet til Osram har navnet SLC Software og kan enten installeres i *skyen* eller lokalt hos veilysholder. SLC gir brukerne mulighet til å overvåke samtlige tilstandsdata spesifisert i kapittel 4.1.1 (bortsett fra antall oppstarter), sette opp brukerdefinerte slukke- og tenneprogram og overstyre anlegget ved behov. Dersom feil oppstår på anlegget kan

toppsystemet enten programmeres til å sende ut feilmelding på SMS eller e-post til den som drifter anlegget. Osram har ikke implementert muligheten for overstyring via SMS, men jobber mot å gjøre overstyring tilgjengelig via nettbrett (muligens via en applikasjon) [42]. Grensesnittet mellom toppsystemet og segmentkontrollerne er basert på internettforbindelse, hvor segmentkontrollerne kobles opp mot Internett via enten Ethernet eller GPRS.



Figur 5.3: Bildet viser noen skjermbilder fra analyseverktøyet til toppsystemet til Osram [43].

Segmentkontrollerne (SLC Gateway) som Osram benytter kan kontrollere opptil 200 lampekontrollere hver. I tillegg til å fungere som et bindeledd mellom toppsystemet og lampekontrollerne har segmentkontrollerne som oppgave å innhente styringsdata fra signalgivere som fotocelle eller luminansmeter (enheten har innganger for både analoge og digitale signalgivere). Grensesnittet mellom segmentkontroller og lampekontrollerne er basert på Powerline med LonWorks som kommunikasjonsprotokoll.

Lampekontrollerne kan kommunisere mot forkoblingsutstyret via enten 1-10 V eller DALI. I tillegg til selve styringen av armaturen vil lampekontrolleren overvåke armaturen med hensyn på en rekke parametere som rapporteres tilbake til toppsystemet. Dersom kommunikasjonsbrudd oppstår mellom lampekontrollerne og segmentkontroller vil styringen gjøres etter foregående programmering, fram til forbindelsen er gjenopprettet [42].

## 5.4 Philips Lighting

Philips Lighting er underlagt Philips Electronics som ble grunnlagt i 1891 i Eindhoven i Nederland. Selskapet er i dag verdens største produsent av lyskilder, og en av verdens største innen forbrukerelektronikk. Veksten som Philips har hatt over lang tid skyldes, ifølge dem selv, deres evne til å skape innovasjon [44].

Starsense er flaggskipet til Philips når det kommer til deres styresystemer av veibelysning. Starsense som er styring helt nede på armaturnivå blir levert i to forskjellige varianter, trådløs som bygger på radiofrekvenskommunikasjon over ZigBee-protokollen og trådbasert med bruk av Powerline-kommunikasjon over LonTalk-protokollen.

Toppssystemet (CityTouch) til Philips Starsense består av et webgrensesnitt som gir mulighet til overvåkning og styring av anlegget. Her kan tilstandsdataene for hver armatur overvåkes og brukerdefinerte styringer kan implementeres. I webgrensesnittet kan en videre se en grafisk fremstilling av plasseringen til enhetene, og en kan overstyre hver enkelt enhet ved behov. Dersom feil oppstår på anlegget kan toppsystemet programmeres til å sende ut varsel om dette enten via e-post eller SMS. Kommunikasjonsgrensesnittet mellom toppsystemet og segmentkontrollerne består av enten GPRS eller Ethernet.



Figur 5.4: Skjermbildet av toppsystemet CityTouch [3].

Begge systemene leverer en lampekontroller som kan kommunisere med forkoblingen til armaturen via enten analog 1-10 V styring eller DALI. Lampekontrollerne (Outdoor Luminaire Controller, OLC) kan videre overvåke en rekke tilstandsdata i armaturen for deretter å rapportere dette tilbake opp i styringshierakiet. Kommunikasjonen mellom lampekontrollerne og segmentkontrollerne (Segment Controller, SC) kan som nevnt innledningsvis enten være basert på radiofrekvenskommunikasjon eller Powerline. Ved begge teknologiene vil både segmentkontrollerne og lampekontrollerne fungere som repetere ved behov, slik at signalet kommer fram til mottaker med tilstrekkelig god kvalitet.

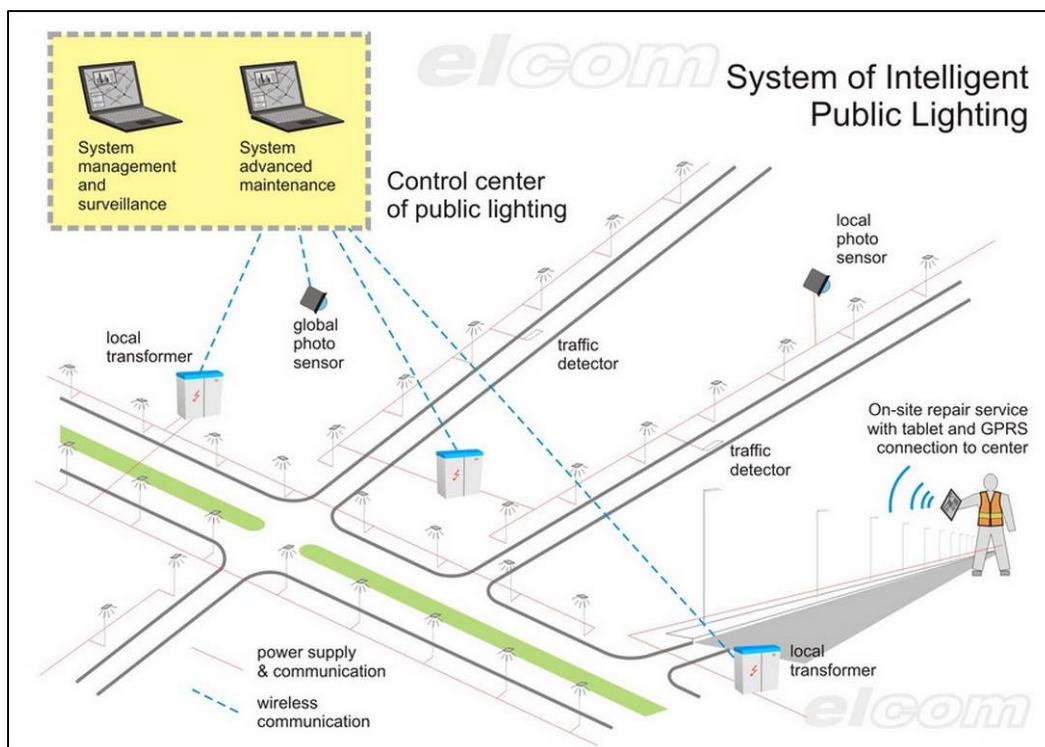
Ved radiofrekvenskommunikasjon opererer enhetene i et masket nettverk, som betyr at alle enhetene både kan sende og motta signaler. Dersom en enhet faller ut vil nettverket automatisk finne en annen vei gjennom nettverket. Videre kan enhetene kommunisere innenfor en radius på 300 meter. Hver segmentkontroller kan kontrollere opptil 4000 lampekontrollere ved radiofrekvenskommunikasjon [3].

## 5.5 Q-free (Elcom)

Q-free er et norsk teknologiselskap som leverer løsninger og produkter innenfor intelligente transportsystemer (ITS). Innen dette segmentet menes automatisk bompenginnkreving, rushtidsavgift-systemer, lastfortolling, trafikal rettshåndhevelse samt parkering/adgangskontroll. Selskapet ble stiftet i 1984 under navnet *Micro Design AS* av en liten gruppe ingeniører i Selbu. Noen år etter oppstarten byttet de navn til *Køfri AS*, før de i 1998 tok dagens navn som er Q-free. I dag har selskapet cirka 275 ansatte og er representert i totalt 17 land.

Bakgrunnen for at Q-free kommer opp i denne sammenhengen er deres oppkjøp av det serbiske selskapet Elcom i 2013. Elcom har, i tillegg til løsninger og produkter innen intelligente transportsystemer, en satsning mot veibelysning, hvor både LED armaturer og et intelligent styresystem inngår.

Styresystemet til Elcom har navnet PubLiCo og er et fullskala styresystem for blant annet veibelysning. Toppssystemet til Elcom består av et webgrensesnitt som gir tilgang til systemet for konfigurering, overvåkning og overstyring. Kommunikasjonen mellom toppsystemet og det fysiske anlegget går over vanlig internettprotokoll enten løst ved GPRS eller Ethernet. Mellom toppsystemet og lampekontrollerne fungerer en *Line Control Unit* (LCU) som segmentkontroller for styresystemet. Grensesnittet mellom segmentkontrolleren og lampekontrollerne kan velges til å være enten Powerline med LonWorks eller radiofrekvenskommunikasjon. Lampekontrollerne til Elcom kommuniserer mot forkoblingsutstyret til armaturen via DALI-grensesnitt. I tillegg til selve styringen av armaturen vil lampekontrolleren kunne overvåke armaturen med hensyn på alle tilstandsparameterne som er nevnt i avsnitt 4.1.1 [45].

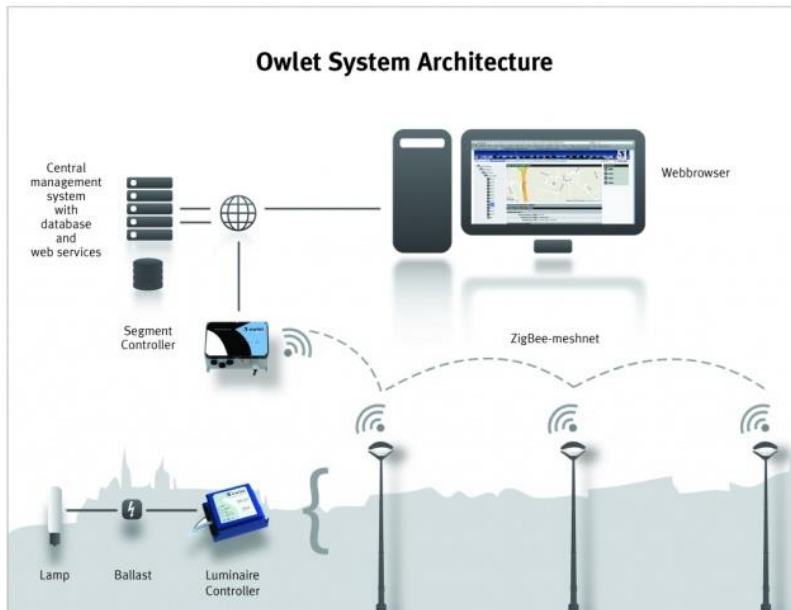


Figur 5.5: Illustrasjon av det intelligente styresystemet til Elcom med powerlinekommunikasjon [45].

## 5.6 Schreder Owlet

Schreder ble etablert i 1927 i Liege, Belgia og er i dag et multinasjonalt selskap med fotfeste i over 48 land. Firmaet tilbyr det meste av løsninger innen belysning, og intelligent styresystemer for veibelysning er intet unntak, hvor Owlet Nightshift er flaggskipet [46].

Owlet Nightshift er et fullskala intelligent styresystem ned på armaturnivå. Toppssystemet består av et webgrensesnitt som tilbyr overvåking av anleggets tilstand i både fortid og nåtid, kartløsning som viser plasseringen til komponentene, muligheten til brukerdefinering av styringen og eventuelt overstyring av anlegget ved behov. Dersom feil oppstår på anlegget kan toppsystemet settes opp til å enten ringe opp driftspersonell, sende SMS eller e-post for å varsle om feilen. Muligheten til å overstyre anlegget via SMS kan implementeres dersom kunden ønsker det, men Schreder anser dette som en løsning som er på tur ut [47].



Figur 5.6: Det intelligente styresystemet til Schreder Owlet med radiofrekvenskommunikasjon [48].

Segmentkontrollerne, med navn SeCo, kommuniserer opp mot toppsystemet via enten Ethernet eller mobilnett gjennom vanlig internettprotokoll. Hver segmentkontroller kan styre opptil 150 lampekontrollere via radiofrekvensteknologi med ZigBee som kommunikasjonsprotokoll. Alle tilstandsdata som kommer fra lampekontrollerne vil logges i segmentkontrollerne i en viss tidsperiode for å sikre at informasjon ikke går tapt dersom kommunikasjonsbrudd med toppsystemet skulle forekomme [48]. Digitale innganger på segmentkontrolleren muliggjør tilkobling av eksterne signalgivere som styringsparametere i systemet [47].

Lampekontrollerne (LuCo) muliggjør dynamisk styring av armaturen via enten 1-10 V eller DALI grensesnitt. Hver enkelt lampekontroller vil i ZigBee-nettverket fungere som ruter med repeaterfunksjonalitet slik at kommunikasjonen gjennom maskenettverket er tilstrekkelig. Skulle derimot kommunikasjonsbrudd forekomme, vil et internt astronomisk ur sikre videre stabil drift i hver enkelt armatur fram til kommunikasjonen er gjenopprettet [48].

Lampekontrollerne vil videre overvåke alle de nevnte tilstandsdataene som nevnt i kapittel 4.1.1, bortsett fra antall oppstarter. Schreder anser det å måle hvor lenge armaturen med den daværende lyskilden har vært i drift som mer hensiktsmessig [47].



## 5.7 Thorn Lighting

Thorn Lighting har en historie helt tilbake til 1928 hvor de startet sin virksomhet innen produksjon av glødelamper i Storbritannia. Thorn Lighting er i dag et veletablert og høyst respektert globalt varemerke i over 100 markeder verden over [49].

Flaggskipet til Thorn Lighting innen intelligente styresystemer for veibelysning har navnet *Outdoor Lighting Control (OLC)* og er et skalerbart styresystem fra toppsystem til lampekontrollere. Toppystemet til Thorn Lighting gir brukerne mulighet til overvåkning, konfigurering og overstyring av anlegget gjennom et webgrensesnitt. Kommunikasjonen ut til anlegget går via vanlig internettprotokoll enten over Ethernet eller via mobilnettet.

Segmentkontrolleren som kommuniserer opp mot toppsystemet tilbyr både digitale og analoge innganger som muliggjør tilkobling av eksterne styringsgivere. Opp mot lampekontrollerne kan en enten kommunisere via LonWorks Powerline eller via radiofrekvens over ZigBee-protokollen. Lampekontrollerne som Thorn benytter kan samle inn samtlige tilstandsdata for armaturen og videre rapportere dette opp til toppsystemet. Den dynamiske styringen av armaturene kan enten gjøres via 1-10 V analog styring eller ved bruk av DALI-grensesnitt [50].

### 5.7.1 Citylone

Citylone, som er en underleverandør hos Thorn, er et fransk selskap med røtter fra selskapet ARCOM i Frankrike. ARCOM ble opprettet i 2005 med intensjonen om å utvikle produkter innen LonWorks-segmentet. I 2008 ble Citylone skilt ut fra ARCOM som et eget datterselskap med særskilt satsning mot styring av utendørs belysning. Citylone tilbyr i dag hovedsakelig ulike lampekontrollere som kan operere både alenestående, i et desentralisert styresystem eller et sentralisert styresystem. Alt etter hvilke behov kunden har. Lampekontrollerne til Citylone er tuftet på Powerline-kommunikasjon mot styresystemet, samt DALI og 1-10 V styring mot armaturen. I tillegg til trinnløs dimming kan lampekontrollerne returnere samtlige tilstandsdata som er nevnt i kapittel 4.1.1 [1].



Figur 5.7:  
Lampekontrolleren  
Citylone SL31 [1].

## 5.8 Swarco

Swarco er et østerriksk selskap med hovedkontor i Wattens, Østerrike. Hovedselskapet som ble stiftet i 1999 består av 80 selskaper fordelt på 24 nasjoner. Selskapet er i dag verdens største produsent av trafikklys og ledende innen intelligente transportsystemer. I tillegg til disse satsningsområdene har Swarco også en betydelig satsning innen veilyarmaturer og intelligente styresystemer.

Det intelligente styresystemet innen veibelysningssegmentet til Swarco har navnet *Swarco Citylight*. Dette er et komplett styresystem som tilbyr styring helt nede på armaturnivå. En sentral Citylight server driftet av Swarco gir tilgang til toppsystemet gjennom et webgrensesnitt. Her kan anlegget overvåkes, konfigureres eller overstyres ved behov. Ut mot selve styresystemet kommuniserer toppsystemet med en segmentkontroller (C-box) over internettprotokoll via GPRS kommunikasjon.

Segmentkontrolleren vil fungere som et bindeledd mellom toppsystemet og lampekontrollerne. Grensesnittet mellom segmentkontrolleren og lampekontrollerne kan enten velges til ZigBee eller Powerline. Segmentkontrolleren tilbyr også digitale og analoge innganger for tilkobling av eksterne signalgivere som fotocelle eller luminansmeter.

Lampekontrollerne til Swarco vil i tillegg til dynamisk styring av armaturene muliggjøre overvåkning av alle tilstandsparametere som forkoblingsutstyret kan oppgi. Styringen og overvåkingen av armaturen gjøres ved hjelp av DALI-grensesnitt. Lampekontrolleren har også innganger for eksterne styringsgivere [51].



Figur 5.8: Lampekontrolleren til Swarco Citylight [51].

## 6 Metode for innhenting av lampekontrollere

Når lampekontrollere skulle innhentes til denne masteroppgaven ble en interesseliste satt opp etter hvilke leverandører som virket mest interessante ut fra systemløsning og markedsandel i det skandinaviske (med spesielt fokus på det norske) markedet. På bakgrunn av at det ble opprettet god kommunikasjon, med faglig dyktige personer hos flere ulike leverandører under fordypningsoppgaven, ble disse personene forsøkt kontaktet først når det skulle opprettes kontakt med en leverandør.

Hos alle de kontaktede leverandørene ble det først sendt ut en mail med forklaring av masteroppgavens problemstilling og intensjon. Her ble det forklart at hovedintensjonen til masteravhandlingen var å se på interoperabiliteten til ulike lampekontrollere stående i et testanlegg bestående av styresystemkomponenter fra flere ulike leverandører. Det ble her presisert at vi ønsket å implementere deres lampekontroller i vårt eget styresystem. Videre ble testanlegget presentert i korte trekk, med en mer utfyllende beskrivelse liggende som vedlegg.

Et insentiv som ble brukt i denne konteksten var at deltakelse på dette prosjektet ville være med på å markedsføre deres produkter både via denne masteroppgaven og via installasjonen i Høgskoleringen hvor alle kan ferdes. For de leverandørene som både har lampekontrollere og armaturer i sitt sortiment ble muligheten for også å levere armaturer påpekt. Tanken bak dette var at dette skulle bidra som et ekstra insentiv både gjennom mersalg, og som markedsføring av armaturer gjennom det som er nevnt over.

Nedenfor vil resultatet av kommunikasjonen med de ulike leverandørene bli gjengitt. På bakgrunn av at testanlegget allerede består av lampekontrollere fra Philips Lighting, og at vi har liggende nye Philips lampekontrollere på laboratoriet som enda ikke var implementert i anlegget, ble Philips ikke kontaktet i denne sammenhengen.

### 6.1 Datek

Datek, ved Steinar Olsen, var den første leverandøren som ble kontaktet. Det norske selskapet var interessant både som følge av at det er norsk, har en stor markedsandel i Norge og opererer med en systemløsning som er interessant ved bruken av ZigBee som kommunikasjonsmetode mellom lampekontrollerne. Etter den første mailen virket Datek svært interessert i å bidra med lampekontrollere inn mot masteroppgaven. Haken var derimot at de også ønsket å stille med segmentkontroller til styring av de nevnte lampekontrollerne. Da det ble forklart at formålet med oppgaven var å styre lampekontrollere med et system som er utenfor det opprinnelige styresystemet til lampekontrollerne, ble de derimot skeptisk. Det hele resulterte i at Datek ikke kunne/ville levere lampekontrollere til dette forsøket. Bakgrunnen for dette var at de per i dag ikke har en ferdig løsning med hensyn på å kunne kommunisere opp mot deres lampekontrollere uten bruk av deres egen segmentkontroller. Selv om Datek benytter den åpne og

standardiserte ZigBee protokollen ligger et «Datek spesifikt lag» på toppen av dette igjen, som ifølge Datek vanskeliggjør kommunikasjon med tredjepart [52].

## 6.2 Osram

Som en av verdens største leverandører på belysningsystemer var Osram en meget interessant leverandør inn mot masteroppgaven. Kontakt med Trygve Jarsve ble opprettet i løpet av februar. Trygve Jarsve foreslo å levere Siteco SL MIDI armaturer sammen med lampekontrollere basert på Powerline med LonWorks.

På bakgrunn av at testanlegget allerede består av en Siteco SL MIDI armatur, som vi enda ikke har klart å sette opp dynamisk styring på [23], var dette ikke av interesse. Dette ble forklart til Jarsve, samtidig som at det ble presisert at vi fremdeles var interessert i lampekontrollerne de hadde og at vi var åpne for forslag med hensyn på andre armaturtyper. Det ble også stilt spørsmål hvorvidt det var mulig å skaffe tilveie serviceboksen (en slags gateway mot det proprietære styresystemet som Siteco SL MIDI opererer på [23]), som kan åpne for styring av den allerede installerte Siteco SL MIDI armaturen i testanlegget. Dessverre stoppet kommunikasjonen med Osram her, og interessen virket å ha forsvunnet. Hvorfor det ble sånn, er dessverre uvisst.

Kommunikasjonen anses for å ha vært høflig og presis hele veien. Trygve Jarsve har heller ikke besvart eposter i ettertid, verken knyttet til en mulig leveranse eller spørsmål knyttet til Siteco SL MIDI armaturen [42].

Som følge av at Osram kun har lampekontrollere med Powerline-kommunikasjon har ytterligere forsøk på å få til en leveranse ikke blitt prioritert. Det kan også nevnes at det har blitt forsøkt å skaffe tilveie serviceboksen til Siteco SL MIDI armaturen gjennom andre kanaler i Osram, uten at dette har ført fram.

## 6.3 Thorn

På bakgrunn av Thorn sin internasjonale posisjon innen produkter og løsninger innenfor belysning ble også de kontaktet. Responsen her, ved Hans Øien, var at de enten kunne levere lampekontrollere som kommuniserer over Powerline eller lampekontrollere som kommuniserer via ZigBee [50]. Begge forslagene var lampekontrollere som de igjen hentet inn fra en tredjepart. Citylone ved Powerline og Datek ved ZigBee. På bakgrunn av at det allerede hadde blitt opprettet kontakt med Datek direkte ble dette utelukket. Den endelige løsningen her ble to stykk lampekontrollere fra Citylone med Powerline grensesnitt mot segmentkontroller, og DALI grensesnitt mot armaturen. I tillegg til de nevnte lampekontrollerne leverte Thorn også to stykk armaturer av typen *Thorn R2L2*. Både Thorn og underleverandøren Citylone har vært meget behjelpelig med å oppgi informasjon om lampekontrolleren slik at implementeringen skal gå så smertefritt som mulig [50].

## 6.4 Schreder

Schreder ble kontaktet etter at det ble kjent at verken Datek eller Osram kom til å levere. Schreder var spesielt interessante siden de har lampekontrollere som opererer med ZigBee som kommunikasjonsmetode. Olivier Gabriel, som helt fra starten av fordypningsoppgaven har vist både interesse og engasjement for problemstillingene rundt intelligente veilyss, ble kontaktet i starten av februar. Flere eposter gikk fram og tilbake mellom undertegnede og Olivier Gabriel, Marcin Grzanka og Petter Andersson hos Schreder. Det hele resulterte i at en formell bestilling på en Schreder Teceo LED-armatur og en LuCo NX (lampekontroller med ZigBee) ble gjort fra NTNU.

På bakgrunn av at ZigBee-kommunikasjonen skal gå gjennom LuxSave sin segmentkontroller ble Jarl Karlsen satt i kontakt med Petter Andersson for å finne ut hvordan grensesnittet mellom Schreder sin lampekontroller og LuxSave sin segmentkontroller kunne utføres. Samtalene mellom Schreder og LuxSave avslørte derimot at deres lampekontrollere ikke er styrbar utenfor modersystemet til Schreder. Det ble heller ikke oppnådd noen enighet om tilpasninger eller informasjonsutveksling som kunne løst problemet. Videre samtaler mellom undertegnede og Petter Andersson resulterte i at avtalen ble terminert siden lampekontrolleren likevel ikke kunne styres som først ønsket [53].

## 6.5 Swarco

På lik linje med Schreder var Swarco sine lampekontrollere svært interessant på bakgrunn av bruken av ZigBee som kommunikasjonsmetode. At leverandøren også har en norsk avdeling var med å gjøre de interessante, sett fra et norsk allmenn-interesse perspektiv. Ved den første kontakten virket Swarco, som mange av de øvrige leverandørene, interesserte i starten. Deres forslag, ved Lars Kjaer, besto i at de ønsket å levere et komplett system med lampekontrollere som ble styrt av en segmentkontroller som var koblet opp mot deres toppsystem. Da det på nytt ble forklart at oppgaven dreide seg om å få deres lampekontroller til å kunne fungere i et *nytt* system, utenfor det opprinnelige styresystem til Swarco, opphørte kontakten med Swarco. Lars Kjaer har ikke besvart henvendelser etter dette [54].

## 6.6 Q-free

Kontakten med Q-free ble opprettet etter forslag fra LuxSave. Q-free er først og fremst interessant siden de er et norsk selskap med base i Trondheim. At de nylig har kjøpt opp et serbisk selskap med løsninger og produkter innen intelligent styring av veibelysning gjorde de aktuelle for dette prosjektet. Som med de øvrige leverandørene ble det først sendt ut en mail med forklaring av oppgavens intensjon, her til Michael Eimstad i Q-free. Videre har kontakten med Q-free gått gjennom Jarl Karlsen, som er daglig leder i LuxSave. Dette har resultert i at Q-free skal levere fire stykk lampekontrollere og armaturer med DALI og ZigBee-grensesnitt. Dessverre har ikke utstyret ankommet i tide til å bli benyttet i denne oppgaven.

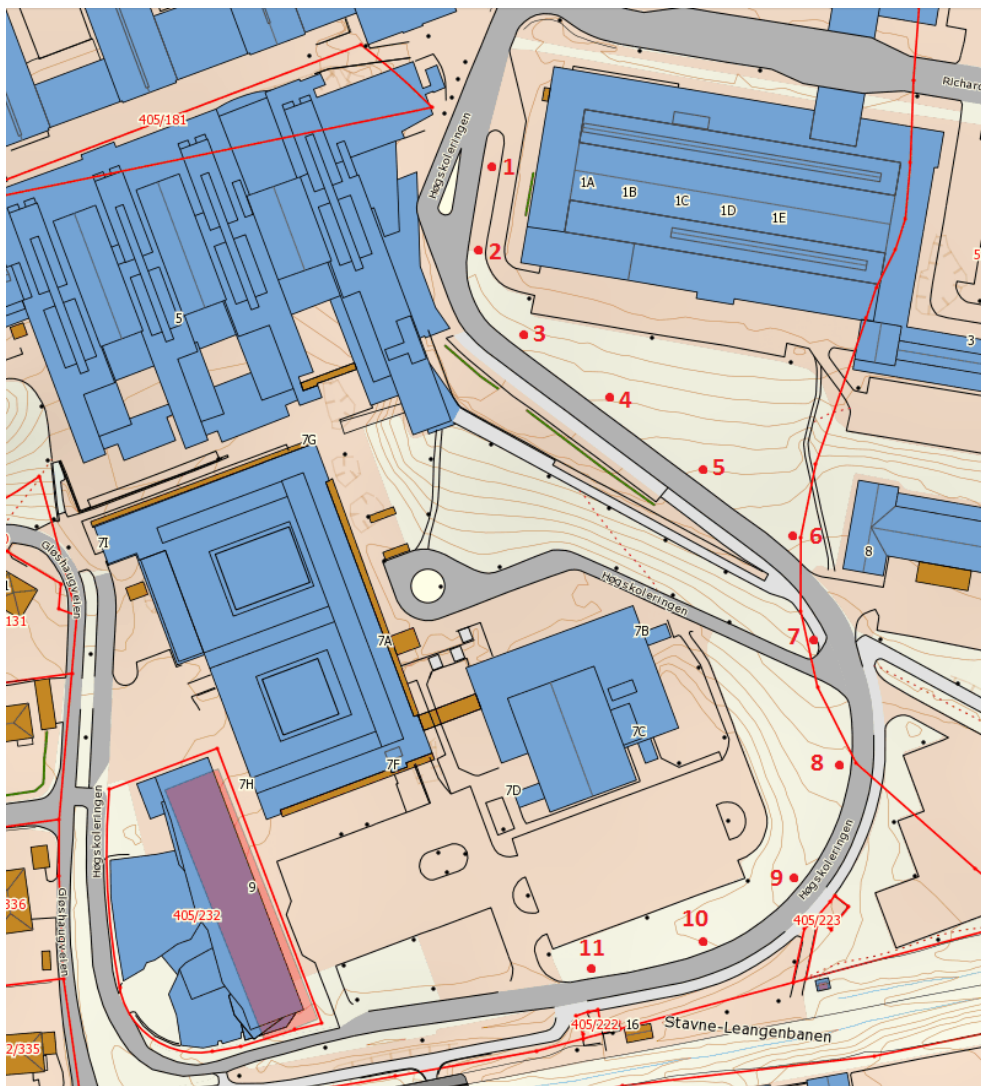


## 7 Testanlegget og forsøksobjektene

I dette kapitlet vil testanlegget i Høgskoleringen og de nye forsøksobjektene bli beskrevet. Med hensyn på testanlegget vil dagens oppsett og styresystem bli redegjort for, mens det for LED-armaturene og lampekontrollerne vil bli gjengitt data som oppgitt fra leverandør.

### 7.1 Testanlegget i Høgskoleringen

I den sørlige delen av Høgskoleringen ved NTNU Gløshaugen er det installert et fullskala testanlegg for styring av veibelysning, som i utgangspunktet består av 11 veilysmaster og tilhørende styresystem. Anleggets funksjon, bortsett fra å være et testanlegg, er å lyse opp en veistrekning med tilhørende gang- og sykkelveg ned på baksiden av realfagsbygget. Veien, som er en blindvei, leder til parkeringsplasser tilknyttet universitetet. Belysningsstyrken er prosjektert etter MEW1-klassen som er standard på motorveier i Norge. Veien med nummerte lysmaster kan ses i figuren under.

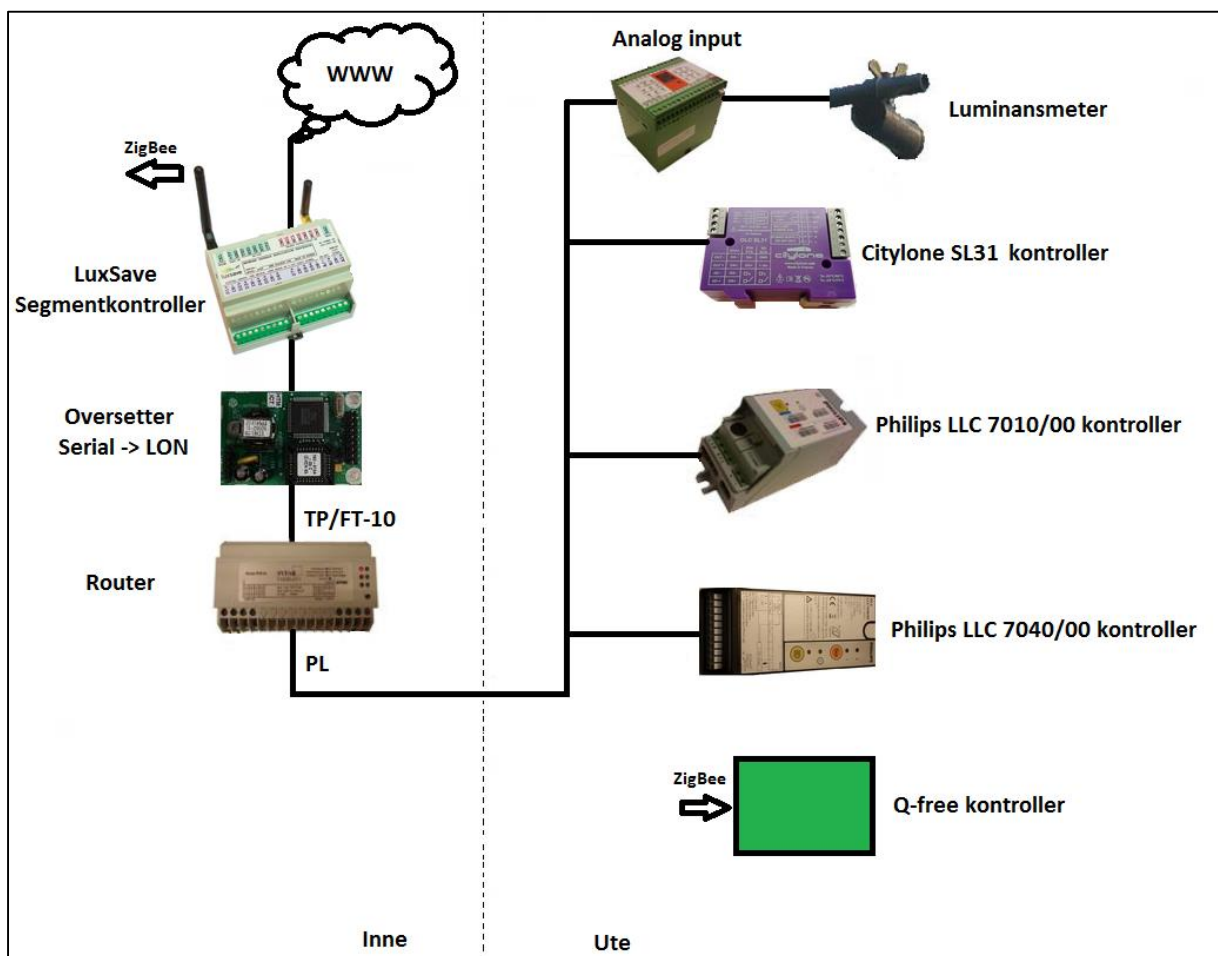


Figur 7.1: Kart som viser plasseringen til de 11 veilysmastene (kart fra Statens kartverk).

Tabell 7.1: Viser en oversikt over armaturene og lampekontrollerne tenkt i anlegget. Nummereringen gjenspeiler plasseringen vist i Figur 7.1.

Nr	Armatur	Lampekontroller	Kommentar:
1	Thorn R2L2	Citylone OLC SL31	Ny armatur og lampekontroller
2	Thorn R2L2	Citylone OLC SL31	Ny armatur og lampekontroller
3	Q-free Elcom LEDNG	Q-free Elcom ZigBee	Ny armatur og lampekontroller
4	Q-free Elcom LEDNG	Q-free Elcom ZigBee	Ny armatur og lampekontroller
5	Q-free Elcom LEDNG	Q-free Elcom ZigBee	Ny armatur og lampekontroller
6	Q-free Elcom LEDNG	Q-free Elcom ZigBee	Ny armatur og lampekontroller
7	EnergyOptimal	Philips LLC7010/00	
8	Siteco StreetLight 10 MIDI	Philips LLC7010/00	Armatur ikke styrbar [23]
9	Philips SpeedStar BGP 323	Philips LLC7010/00	
10	Philips SpeedStar BGP 323	Philips LLC7040/00	Ny lampekontroller
11	Philips SpeedStar BGP 323	Philips LLC7040/00	Ny lampekontroller

I Tabell 7.1 kan en se hvilke komponenter som er planlagt i de ulike mastene. Armaturene og lampekontrollerne i mast en til og med mast seks er planlagt byttet ut til de nevnte komponentene. Her var det tidligere plassert Philips Iridium armaturer med høytrykknatriumlyskilder og lampekontrollere fra Philips Starsense I. I mast elleve og tolv er det planlagt nye lampekontrollere fra Philips Starsense II.



Figur 7.2: Styresystemet slik det står i dag. Luminansmeteret er per dags dato ikke i bruk.



Styresystemet som benyttes i dag består blant annet av en segmentkontroller levert av LuxSave. Denne kommuniserer på tråddpar (TP/FT-10) via en oversetter-enhet (som er programmert til å oversette fra seriellkommunikasjon til Lon) og inn til en ruter. Fra ruterens kommuniserer segmentkontrolleren mot lampekontrollerne via Powerline. I tillegg til den allerede brukte powerlinekommunikasjonen, skal segmentkontrolleren nå også benytte trådløs kommunikasjon over ZigBee for å kommunisere med de nye lampekontrollerne fra Q-free. Systemet kan ses illustrert i Figur 7.2. Segmentkontrolleren, oversetteren og ruterens er plassert nede i kjelleren i Realfagsbygget ved NTNU Gløshaugen, mens resten av komponentene er plassert ute i lysanlegget.

## 7.2 Philips SpeedStar

På bakgrunn av at det ble gjort belyningsstyrkemålinger nede på veidekket mellom to av disse armaturene når armaturene var nyinstallerte, vil disse få viet ekstra oppmerksomhet i denne oppgaven. Hensikten er å gjøre nye belyningsstyrkemålinger for å gi et bilde av lystilbakegangen til armaturene. I underkapitlene vil dataene for SpeedStar-armaturene bli presentert, før belyningsstyrkemålingene fra 2011 blir gjengitt.

### 7.2.1 Produktdata for Philips SpeedStar

Philips SpeedStar BGP323 er en armaturserie som er rettet mot vei- og gatebelysning. Modellen består av LEDGINE, som er Philips sin satsning mot LED-armaturer som skal sikre topp ytelse og driftssikkerhet i hele levetiden, samt kunne kobles opp mot ulike lysjusteringssystemer for ytterligere energibesparelse. Armaturhuset er konstruert av robust sølvgrått aluminium.



Figur 7.3: Bilde av SpeedStar BGP323.

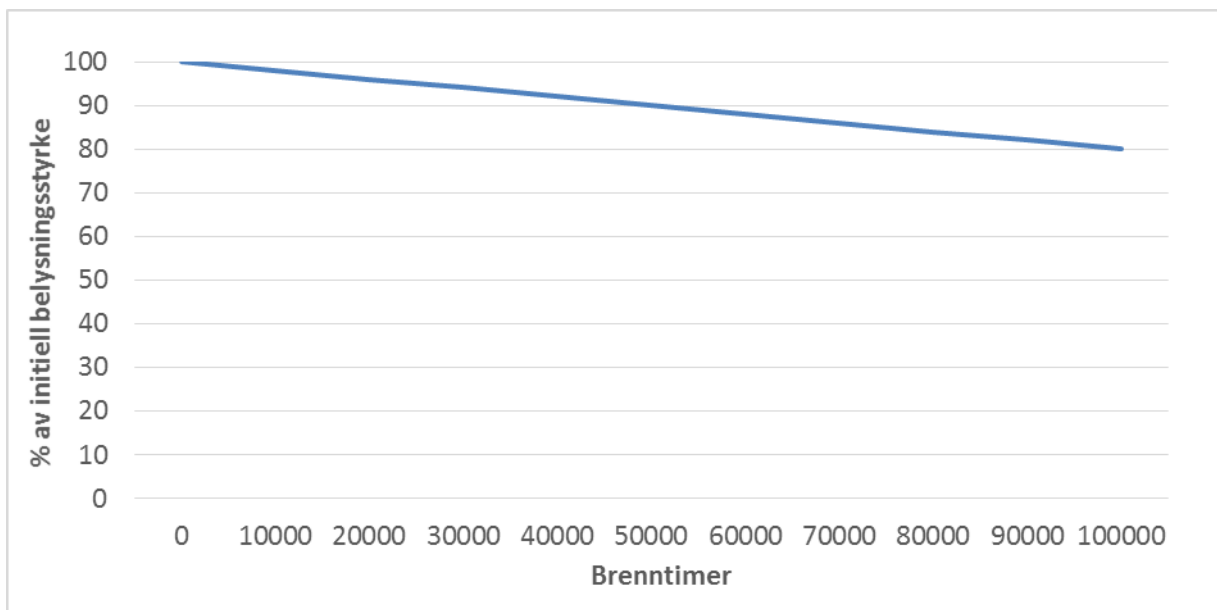
Tabell 7.2: Produktdata oppgitt av produsent.

Modellbetegnelse:	SpeedStar BGP323 GRN-1S/740 159W II DC AL SI DD1
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%:	10 608 lumen
Vekt:	17,9 kg

For øvrig informasjon om LED-armaturen henvises det til databladet som finnes i vedlegg 3.

## 7.2.2 Skissert lystilbakegang fra produsent

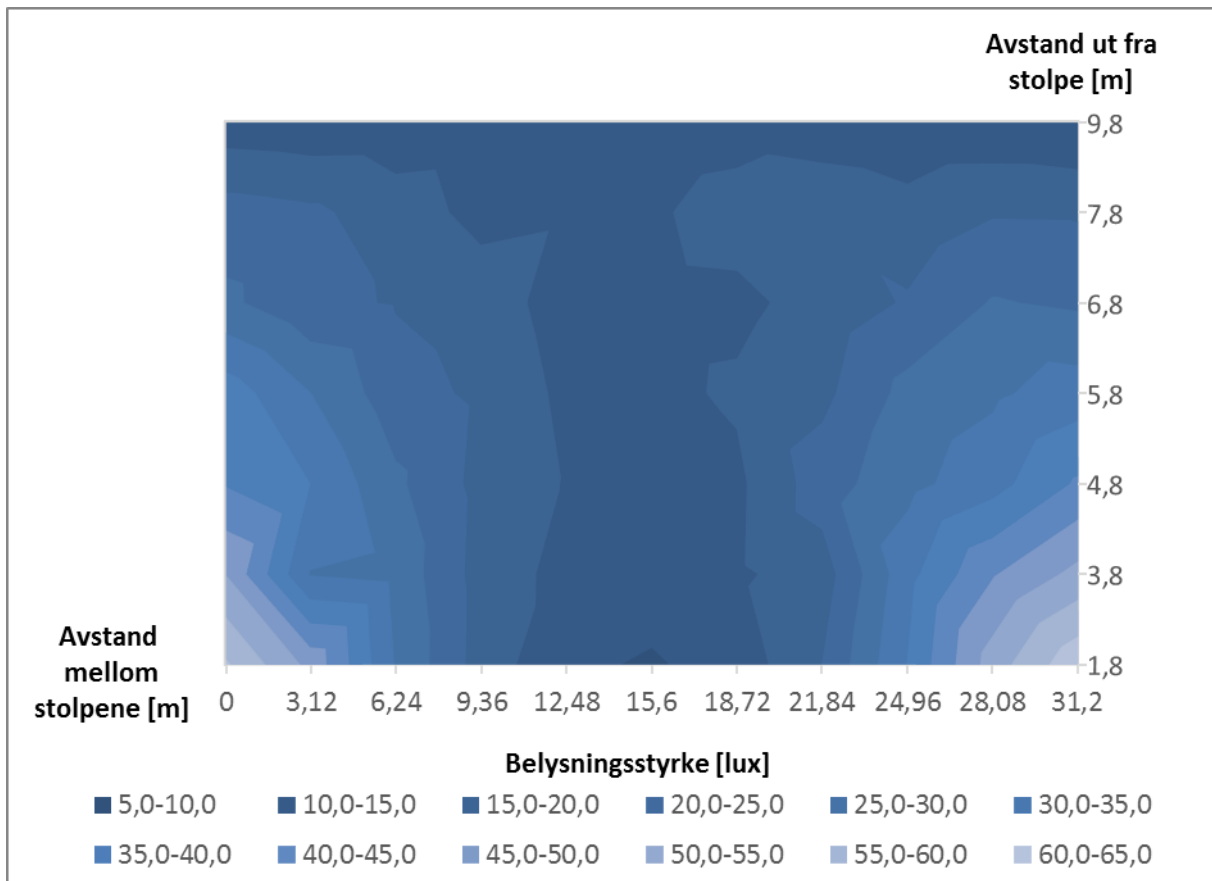
Nedenfor kan en prognose av lystilbakegangen som funksjon av antallet brenntimer ses. Denne ble oppgitt fra leverandør etter forespørsel, og kan ses i sin helhet i vedlegg 4. Det må derimot påpekes at denne prognosen ikke tar hensyn til tilsmussingen av armaturen, varierende spenningskvalitet på spenningsforsyningen og om utendørstemperaturen fraviker *normale* forhold. Den reelle lystilbakegangen vil derfor kunne være noe større på bakgrunn av dette.



Figur 7.4: Grafen viser skissert lystilbakegang som oppgitt fra leverandør [55].

## 7.2.3 Målt belysningsstyrke når armaturene var nyinstallerte

Nedenfor, i Figur 7.5, er målingene som ble utført av Jørgen Anker-Rasch Heide i 2011 gjengitt i et konturdiagram. Dessverre var det med det brukte analyseringsverktøyet ikke mulig å fremstille grafen slik at målefeltet ble korrekt gjengitt som en sving. Når en ser på figuren må dette derfor tas med i betraktning. Den nederste enden av figuren tilsvarer innersving, mens den øverste enden tilsvarer den 4,5 meter lengre yttersvingen. Armaturene ligger i innersvingen. Videre er punktene som er 1,8 meter og 9,8 meter ut fra stolpen midt på gangfeltet i henholdsvis innersving og yttersving. Resten av punktene er i selve veibanen. For å få et bilde av det faktiske målefeltet henvises det til Figur 8.1 eller masterrapporten til Jørgen Anker-Rasch Heide [23]. For å se måledataene oppgitt i tabellform henvises det til vedlegg 5.



Figur 7.5: Konturdiagrammet viser belysningsstyrken nede på veidekket i 2011. Lys blåfarge tilsvarer høy belysningsstyrke, mens mørk blåfarge tilsvarer lav belysningsstyrke.

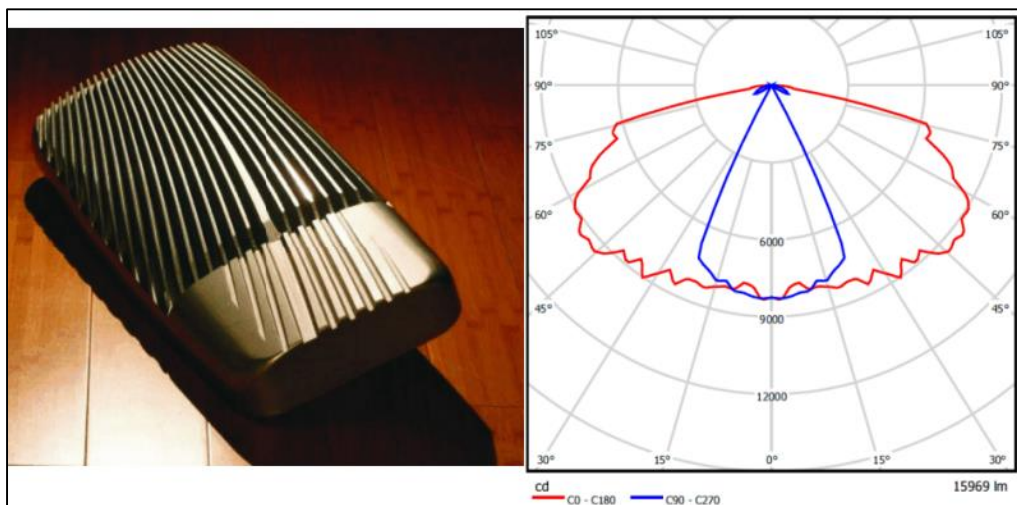
I masteroppgaven til Jørgen Anker-Rasch Heide kommer det fram at snø- og isdekke vanskeliggjorde målingene. Målesensoren til Pocket-luxmeteret ble forsøkt lagt så rett som mulig, men isen og strøgrusen på veien vanskeliggjorde dette noe. Denne informasjonen blir også gjenspeilet i måleresultatene i figuren over.

På bakgrunn av måleresultatene kan gjennomsnittsverdien av belysningsstyrken finnes til 22,76 lux.

## 7.3 Nye LED-armaturer

### 7.3.1 Q-free - Elcom LEDNG

Elcom LEDNG er en armaturserie rettet mot veibelysning. Serien deles inn i to klasser; motorveiarmeraturer og gatearmaturer. Ut fra databladene til Elcom kommer det fram at det finnes ulike modeller avhengig av effektstørrelse. Fem innen motorveiselementet og sju innen gatesegmentet. Disse kan igjen tilpasses etter veilysholders behov ut ifra optikk, fargetemperatur og armaturhusstørrelse. Armaturhuset, som kan ses i figuren under, er laget av robust gråfarget aluminium med en kapslingsgrad på IP65. Kjøleribber på toppen av armaturhuset sørger for god kjøling av armaturen. I databladene til armaturserien viser Elcom til et lysutbytte på så mye som 180 lumen per watt. For mer utfyllende produktdata om armaturtypen henvises det til vedlegg 6.

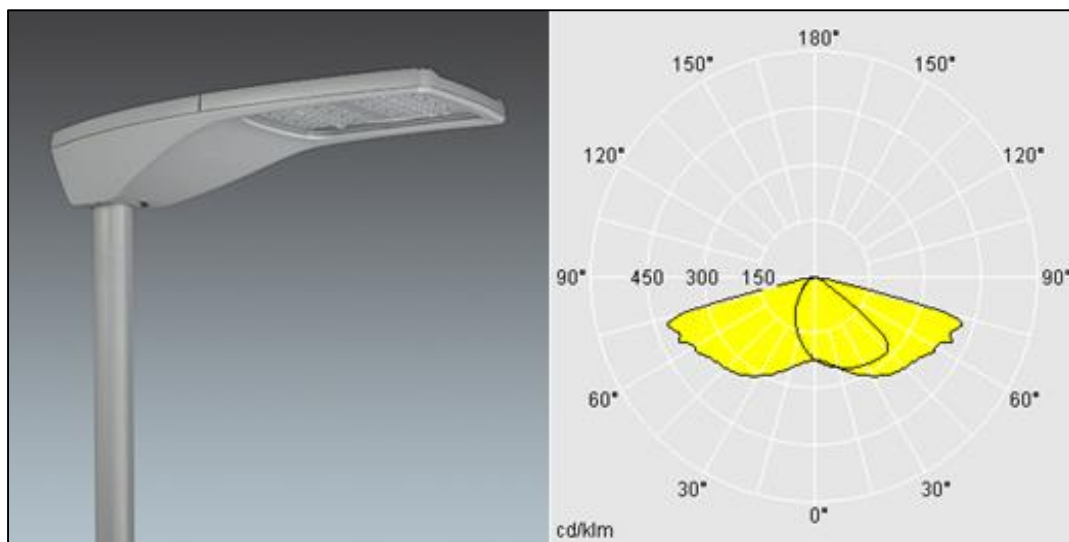


Figur 7.6: Armaturhuset til venstre og valgt lysfordeling til høyre [45].

Dessverre klarte ikke leverandøren å levere denne armaturen i tide til å kunne bli vurdert i denne oppgaven. Dette til tross for at bestillingen ble gjort i svært god tid før leveringen av masteroppgaven.

### 7.3.2 Thorn R2L2

Thorn R2L2 er en komplett gatelysterie bestående av LED-armaturer. R2L2 leveres i dag i tre ulike størrelser, med et stort utvalg av optikk, lumen og lysfordeling for alle veiprosjekter opp til MEW1-klassen. I alt kan en velge mellom 11 typer lysfordelinger med R-PEC-optikk som distribuerer lyset der det ønskes, uten lystap som følge av spilllys. Lysutbyttet for denne armaturserien ligger rundt 100 lumen per watt.



Figur 7.7: Bilde av armaturen til venstre, og valgt lysfordeling illustrert til høyre [49].

Armaturen, som kan ses i Figur 7.7, er av presstøpt aluminium som er pulverlakkert med en lysgrå farge. Armaturhuset er elektrisk dobbelisolert klasse II, IP66, IK08. Armaturen kan festes til lysmast både fra siden eller fra bunnen (som vist på bildet over). Begge festeanordningene tilbyr også en justerbar hellingsvinkel oppover. Produktdataene, som oppgitt fra leverandør, kan ses i tabellen under og i vedlegg 7. Det må også nevnes at det mot slutten av denne masteroppgaven ble oppdaget at Thorn har bedret yteevnen til denne armaturen. Den nye versjonen har et lysutbytte opp mot 119 lumen per watt.

Tabell 7.3: Produktdata for valgt armatur, oppgitt av produsent [49] [50].

Modellbetegnelse:	Thorn R2L2 M 96L35 NR 740 CL2 PL (96266685)
Lyskilde:	LED
Antall LED:	96
Ballast:	1 x EL2
Fargegjengivelse:	70
Fargetemperatur:	4000 K
Effektforbruk:	107 W
Optikk:	Smal-optikk
Lysfluks ved 100%:	10 630 lumen
Lysutbytte:	99 lm/w
Estimert levetid:	100 000 timer L70 ved 25°C 83 000 timer L80 ved 25°C
Vekt:	13,15 kg

## 7.4 Nye lampekontrollere

### 7.4.1 Q-free – Elcom

Leverandøren klarte dessverre ikke å levere denne lampekontrolleren i tide til å kunne bli vurdert i denne oppgaven. Som følge av dette, har produktdataene heller ikke kommet i hende enda. For en generell beskrivelse av hva Q-free tilbyr henvises det til vedlegg 6.

### 7.4.2 Thorn – Citylone SL31

Citylone SL31 er en lampekontroller basert på LonWorks og Powerline-kommunikasjon. Med sin kompakte utforming er kontrolleren tilpasset for både å kunne være plassert i armaturhuset og i klasse II koblingsboks inne i armaturmasten. I tillegg til dynamisk styring via DALI er SL31 i stand til å gi veilysholder tilstandsinformasjon fra den aktuelle armaturen. Ved hjelp av DALI-grensesnittet vil alle tilstandsdata som armaturen er i stand til å formidle bli videresendt opp til toppsystemet, samt at enheten tilbyr interne målinger på strøm, spenning, effektfaktor, effektforbruk og brenntimer. Lampekontrolleren kan også programmeres til å sende ut alarmer dersom tilstandsdataene ikke er innenfor ønsket nivå. En digital inngang muliggjør også tilkobling av eksterne styringsgivere som tilstedeværelsesdetektor eller fotocelle. Citylone SL31 er også i stand til å forsterke signaler som skal videre i powerlinenettverket. For mer utfyllende informasjon om Citylone SL31 henvises det til vedlegg 8, 9 og 10. De mest sentrale produktdataene, som oppgitt fra leverandør, kan ses i tabellen nedenfor.



Figur 7.8: Bilde av Citylone SL31.

Tabell 7.4: Oversikt over produktdata oppgitt fra produsent.

Modellbetegnelse:	Citylone SL31-EDA4-M-T
Dimensjoner:	L 91,6 x B 65 x D 36 (mm)
Vekt:	190 gram
Kapslingsgrad:	IP2X
Brukstemperatur:	-25°C til +65°C
Fuktighet:	95 %
Spenning:	88 til 265 V AC / 50 til 60 Hz
Max strøm:	Max 3A
Max effekt:	Ukjent
Armaturgrensesnitt:	DALI
Styresystemgrensesnitt:	Powerline LonWorks Protokoll (CENELEC EN50065-1)
Tilkobling av styringsgivere:	1 digital inngang

### 7.4.3 Philips OLC 7040

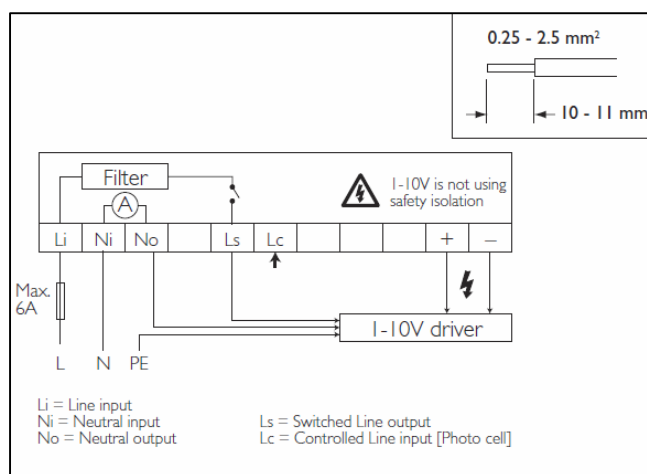
Philips OLC 7040 er en lampekontroller som er en del av Philips sitt Starsense system. Lampekontrolleren opererer med den åpne Powerline-protokollen til LonWorks, og er følgelig mulig å integrere opp mot andre LonWorks komponenter. Styregrensesnittet opp mot armaturen er analog 1-10 V styring. Lampekontrolleren har også funksjoner som muliggjør overvåkning av armaturen. Her inngår interne målinger på strøm, spenning og effekt. Philips OLC 7040 vil også fungere som en forsterker på Powerline-linjen for å sikre at signalene som opererer på linjen er av tilstrekkelig kvalitet. Enheten har også en digital inngang for tilkobling av fotocelle. For mer utfyllende informasjon henvises det til vedlegg 11. De viktigste produktdataene, som oppgitt fra leverandør, kan ses i tabellen under.



Figur 7.9: Philips OLC 7040 [3]

Tabell 7.5: Oversikt over produktdata oppgitt fra produsent.

Modellbetegnelse:	Philips OLC LLC7040/00
Dimensjoner:	L 156 x B 63 x D 37,5 (mm)
Vekt:	208 gram
Kapslingsgrad:	IP20
Brukstemperatur:	-25°C til +70°C
Fuktighet:	Ukjent
Spenning:	220 til 240 V AC / 50 til 60 Hz
Max strøm:	6 A
Max effekt:	1000 W
Armaturgrensesnitt:	Analog 1-10 V
Styresystemgrensesnitt:	Powerline LonWorks Protokoll (CENELEC EN50065-1)
Tilkobling av styrgivere:	1 digital inngang beregnet for fotocelle



Figur 7.10: Klemmetilkoblingene til OLC 7040.





## 8 Målinger

I dette kapitlet vil målingene som er utført bli gjennomgått og forklart i sin helhet. For en fullstendig oversikt over hvilke måleinstrumenter som er benyttet henvises det til vedlegg 1.

### 8.1 Lystilbakegang på SpeedStar-armaturene

På bakgrunn av informasjonen som ble presentert i kapittel 3.5 om lystilbakegang, og det at vi har fem LED-armaturer i testanlegget som har vært i drift i totalt fire år, var det et mål i denne masteroppgaven å se på lystilbakegangen mellom to av SpeedStar-armaturene som er installert i anlegget.

Når armaturene ble installert i 2011 ble det utført målinger med hensyn på belysningsstyrken mellom mast ni og ti i testanlegget. Dette arbeidet ble utført av Jørgen Anker-Rasch Heide og er beskrevet i masteroppgaven hans med tittel *LED for vei- og gatebelysning* fra våren 2011 [23]. Ved å gjøre nye målinger på belysningsstyrken mellom de to armaturene kan en få et bilde av lystilbakegangen på de to nevnte armaturene. Målingene som er gjort på dagens belysningsstyrke er utført med samme metode og målepunkter som ble benyttet av Heide i 2011. Dette for å ha et best mulig sammenligningsgrunnlag å vurdere målingene ut i fra.

#### 8.1.1 Kalibrering av Pocket-luxmeteret

Før målingene kunne gjennomføres måtte Pocket-luxmeteret kalibreres. Dette ble gjort ved hjelp av et stasjonært og mer nøyaktig luxmeter plassert nede i lyslaboratoriet i kjelleren i Elektrobygget ved NTNU.

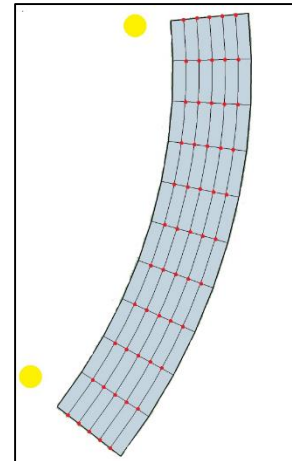
En avblendbar lyskilde ble tilkoblet en stabil likestrømforsyning. Deretter ble alt annet lys avslått, samt lyse objekter som kan bidra til refleksjoner dekket til med sorte gardiner, eventuelt flyttet på.

Når strømmen inn til lyskilden og belysningsstyrken ble stabil, ble belysningsstyrken avlest for det stasjonære luxmeteret. Deretter ble målecellen til det stasjonære luxmeteret erstattet med målecellen til Pocket-luxmeteret før tilsvarende måling ble gjentatt. Det ble gjort målinger for henholdsvis 12V, 11V og 10V spenningsforsyning, samt 0 % avskjerming og 75 % avskjerming. Gjennomsnittet av de ulike målingene ga en kalibreringsfaktor mellom de to måleinstrumentene på 0,9455.

#### 8.1.2 Utførelsen av målingen på belysningsstyrke

Målingene ble utført mellom mast ni og ti i testanlegget i Høgskoleringen den 8. mars 2015 mellom klokken 2030 og 2130. Himmelen var overskyet, og det hadde vært nedbør i timene før målingen fant sted. Veidekket var fri for både is og snø, men med rennende vann nedover veibanen. Armaturene har ikke blitt rengjort siden installasjonen fant sted i 2011.

Med intensjon om å få et best mulig sammenligningsgrunnlag opp mot målingene som ble gjort av Heide i 2011, ble de samme målepunktene benyttet. Som illustrert i Figur 8.1, ble området mellom de to mastene delt i like deler, der første og siste delestrek går vinkelrett ut fra veilysarmaturene. På bakgrunn av at målefeltet ligger i en sving, ble delestrekene lagt i en vifteform, hvor delestrekene stod vinkelrett på veikanten. På hver delestrek ble det utført fem målinger fordelt jevnt i veibanen, i tillegg til en måling midt i fortauene på hver sin side av veien. Belysningsstyrken ble målt i plan med, og nede på veidekket.



Figur 8.1: Figuren viser en skisse av målepunktene benyttet i veibanen (fortauene er utelatt fra illustrasjonen).

Den praktiske utføringen av målingene ble utført ved hjelp av to målebånd, elleve markører og det nevnte Pocket-luxmeteret. Det ene målebåndet ble først lagt langs kantsteinen som går mellom veibanen og fortauet som er på motsatt side av armaturene. Deretter ble markørene plassert på punktene som tilsvarer enden på delestrekene. Målebåndet ble deretter tatt opp igjen, og flyttet til den andre siden av veien. Her ble målebåndet lagt langs kantsteinen som skiller gresskanten og fortauet på samme side som armaturene. Dette resulterte i at en nå hadde alle delestrekene på langs med veibanen. Det andre målebåndet ble deretter brukt for å finne målepunktene på tvers av veibanen. Med hensyn på nøyaktigheten på plasseringen av målepunktene regnes denne som høy, med et maksimalt avvik som minst tilfredsstillende 10 cm i radius ut fra tenkt målepunkt. For en detaljert oversikt over målepunktene henvises det til vedlegg 5.

## 8.2 Ytelsen til Thorn R2L2

Ytelsen til Thorn R2L2 skulle kartlegges og vurderes etter kriterier som effektforbruk, andelen av overharmoniske (og da tredjeharmoniske spesielt), fargetemperatur, lysfluks og lysutbytte på lyslaboratoriet i Elektrobygget ved NTNU Gløshaugen. I tillegg skulle armaturen vurderes med hensyn på belysningsstyrke etter installasjonen ute i anlegget. Målingene for effektforbruk, overharmoniske, fargetemperatur og lysfluks ble gjort for følgende lysnivåer: 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30% og 22%. Grunnen til at det ikke ble foretatt målinger lavere enn 22% skyldes en nedre sperre på LED-driveren [50].

For å kunne utføre laboratoriemålinger med ulike lysnivå måtte armaturen styres ved hjelp av DALI-grensesnittet som armaturen er utstyrt med. Dette ble gjort ved hjelp av lampekontrolleren Citylone SL31, som igjen var koblet opp imot LonWorks-testbrettet, med påfølgende LonPoint-brett, som Institutt for Elkraftteknikk disponerer. Det ble laget et styresystem der en analog styringsgiver sendte styringssignaler til lampekontrolleren basert på hvilket lysnivå som var ønsket (mellom 22% og 100%), mens lampekontrolleren deretter viderefremmet dette til armaturen over DALI-grensesnittet. Styresystemet ble overvåket ved hjelp av LonMaker-programmet, hvor det faktiske lysnivået kunne avleses.

### 8.2.1 Måling av effektforbruk og overharmoniske strømmer

Målingene med hensyn på effektforbruk og overharmoniske strømmer ble utført i Lys- og elektroinstallasjonslaboratoriet E-320 i Elektrobygget ved NTNU. På bakgrunn av at de to stabile spenningskildene til instituttet ikke ble funnet, ble det besluttet at en varierende spenningskilde (*Variac*) skulle benyttes til målingene. For å sjekke hvorvidt små spenningsendringer fra spenningskilden ville ha innvirkning på måleresultatene ble spenningen forsøkt variert mellom 220 V og 240 V når armaturen sto på 100 % lyseffekt. Det ble her konkludert med at små endringer i spenningstilførselen ikke ville svekke troverdigheten til måleresultatene i betydelig grad. Det ble likevel bestemt at en skulle følge med at spenningstilførselen holdt seg innenfor 228 V og 232 V for å være på den sikre siden.

Målingene ble utført ved hjelp av en Power Quality Analyzer (heretter omtalt PQA), en aktiv strømtang påkoblet PQA og et digitalt wattmeter. PQA ble benyttet for å finne andelen harmoniske som armaturen tilførte nettet, samt gi et korrekt bilde av det totale effektforbruket til armaturen. Mens det digitale wattmeteret oppga effektforbruket basert på kun den grunnharmoniske strømmen, tok PQA også hensyn til effektforbruket som følge av de overharmoniske strømmene som ble generert av armaturen. Det digitale wattmeteret ble brukt for å følge med at spenningen ikke varierte utenfor det ønskede 4 V intervallet, samt gi et tall på effektforbruket dersom en ser bort fra de overharmoniske strømmene.



Figur 8.2: Fluke 43.

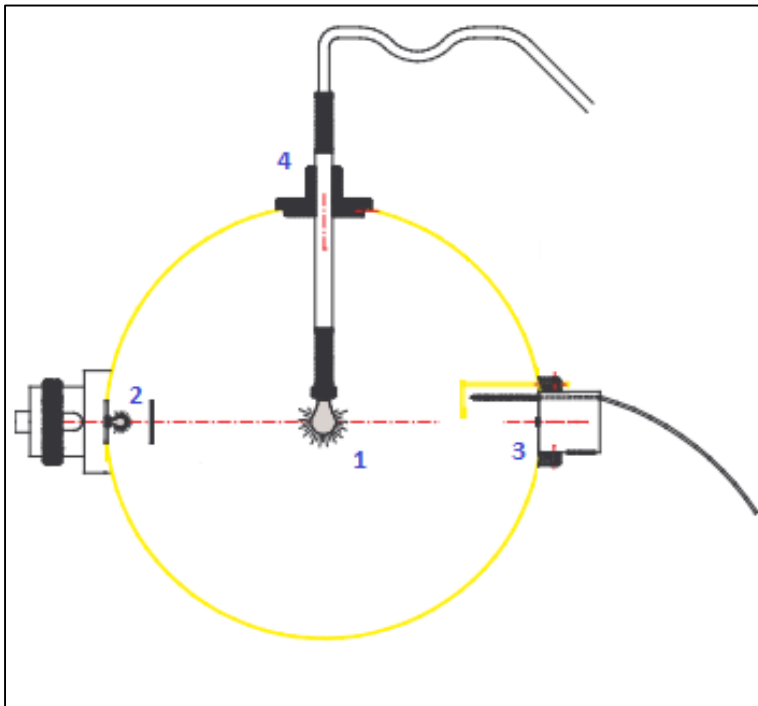
Når PQA ble benyttet ble det for hver måling gjort en kalibrering av den aktive strømtangen. Dette var nødvendig for å kansellere ut eventuelle DC-forstyrrelser. Kalibreringen ble gjort ved å vri på hjulet på strømtangen slik at nullpunktlinjen på bildene gitt fra måleinstrumentet traff midt mellom minimumsverdien og maksimumsverdien til sinusbølgen til strømmen.

### 8.2.2 Måling av lysfluks

For å måle den totale lysfluksen til armaturen ble en fotometerkule benyttet (også kjent som integrerende kule eller Ulbrichts kule), se Figur 8.3. Fotometerkulen består av en fotosensor i den ene enden og en hjelpelampe i den andre enden. Testobjektet henges sentrert midt i kulen. Hensikten til kulen er å reflektere alt lyset, som sendes fra enten hjelpelampen eller testobjektet, i retning fotosensoren uten at direkte lys treffer fotosensoren. Kulen er derfor dekket av et hvitt belegg innvendig, bestående av bariumsulfat, som har til hensikt å sørge for minst mulig tap ved refleksjonen av lyset.

For å finne den totale lysfluksen til testobjektet må det først gjennomføres en kalibreringsmåling opp mot en referanselyskilde med kjent lysfluks. Deretter benyttes hjelpelampen til å finne en korreksjonsfaktor for testobjektets størrelse, og dens innvirkning

på måleresultatene, før målingen på selve testobjektet kan gjennomføres. Testobjektets totale lysfluks kan finnes ved hjelp av Formel 8.1.



Figur 8.3: Illustrasjonen viser et generelt oppsett for en fotometerkule. 1) Testobjekt/referansekilde. 2) Hjelpelampe med skjerm. 3) Fotosensor dekket av skjerm. 4) Heisopheng. [56]

$$\Phi_{test} = \Phi_{ref} * \frac{\Phi_{r,test}}{\Phi_{r,ref}} * \frac{\Phi_{rh,ref}}{\Phi_{rh,test}}$$

$\Phi_{test}$  = Testobjektets lysfluks  
 $\Phi_{ref}$  = Referanseskildens lysfluks  
 $\Phi_{r,test}$  = Testobjektets relative lysfluks  
 $\Phi_{r,ref}$  = Referanselyskildens relative lysfluks  
 $\Phi_{rh,ref}$  = Referanselyskildens relative lysfluks, med hjelpelampe  
 $\Phi_{rh,test}$  = Testobjektets relative lysfluks, med hjelpelampe

Formel 8.1: Lysfluksberegning ved måling i fotometerkule.

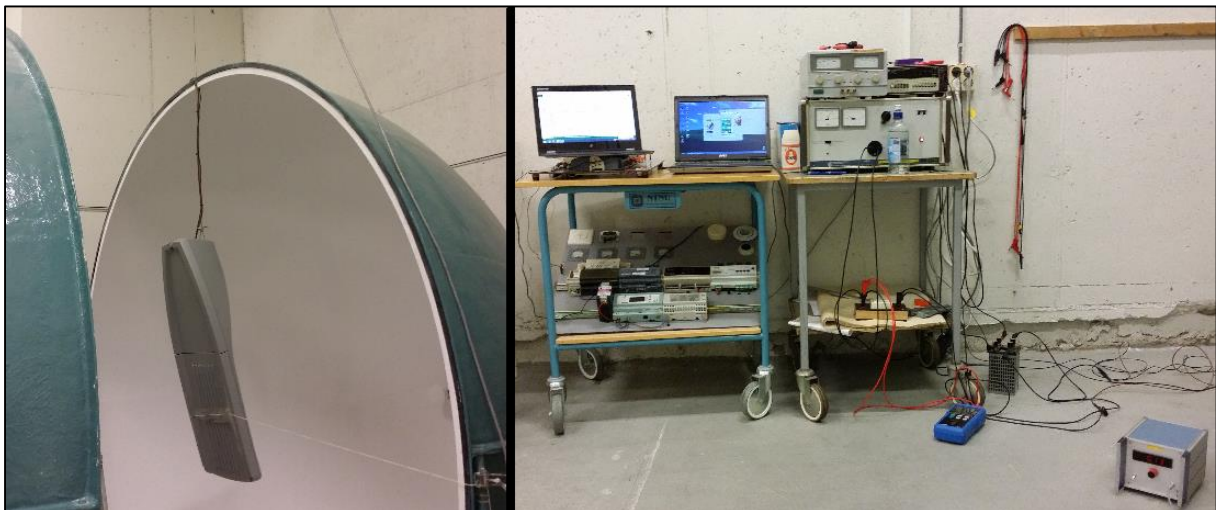
### 8.2.2.1 Utførelsen av målingen

Lysfluksmålingene ble utført inne på antennelaboratoriet, nede i kjelleren i Elektrobygget ved NTNU Gløshaugen. På bakgrunn av at referanselyskildene til instituttet ikke var å oppdrive når målingen skulle gjennomføres, ble det benyttet en 230 V/100 W glødepære som referansekilde. Tanken bak dette var at denne igjen skulle kalibreres opp mot en korrekt referanselyskilde når instituttet har klart å skaffe dette.

Den midlertidige referanselyskilden ble først hengt opp midt i fotometerkulen. En stabil likestrøm spenningskilde ble koblet opp mot referanselyskilden, med en 100 m $\Omega$  måleshunt imellom. Spenningskilden ble stilt inn på 200,1 V, noe som ga et strømtrekk på 397 mA og et effekttrekk på 79,5 W. Den relative lysfluksen til den midlertidige referanselyskilden kunne deretter leses av på måleinstrumentet til fotometerkulen. Spenningen ble valgt til 200 V i et kompromiss mellom å ha en tilstrekkelig høy nok lysfluks uten at glødetråden fordampet unødvendig. Ved å sikre gode driftsvilkår for glødetråden var baktanken at glødepæren også kan brukes som referansekilde ved en senere anledninger.

Når målingene for referanselyskilden var gjennomført ble denne slukket, mens hjelpelampen ble tent. Hjelpelampens relative lysfluks, med referanselyskilden hengende midt i kulen, ble deretter avlest. Deretter ble referanselyskilden byttet ut med Thorn R2L2 armaturen (testobjektet). Testobjektet ble hengt vertikalt midt i kulen, med lyskilden pekende i motsatt retning av fotosensoren. For å sikre at armaturen ikke roterte inne i fotometerkulen ble hyssing brukt for å stabilisere armaturen under målingene. Med testobjektet slukket og hjelpelampen tent ble hjelpelampens relative lysfluks, med testobjektet hengende i midten av kulen, avlest.

Nå som målingene for både kalibrering mot referanselyskilde, og korreksjon av testobjektets størrelse var gjort, begynte den faktiske målingen av testobjektet. Hjelpelampen ble slukket, mens testobjektet ble satt til 100 % lysnivå. Deretter ble testobjektets relative lysfluks avlest på måleinstrumentet. Videre ble testobjektets relative lysfluks målt for samtlige lysnivåer nevnt i kapittel 8.2.



*Figur 8.4: Bildet til venstre viser hvordan armaturen ble hengt opp inne i fotometerkulen. På bildet til høyre kan en se (fra venstre) styresystemet, den stabile spenningskilden og måleinstrumentene brukt i forsøket.*

### 8.2.3 Måling av fargetemperatur

For å finne fargetemperaturen til armaturen ble et måleinstrument med navn Minolta CS-100A benyttet. Instrumentet, som kan ses i Figur 8.5, kan måle både luminans og fargekoordinater. Armaturen ble koblet opp som i kapittel 8.2.1, med armaturen stående tilnærmet vertikalt opp etter veggen. Deretter ble måleinstrumentet plassert, på et stativ, fire meter unna armaturen pekende tilnærmet vinkelrett mot armaturen. Alt lys, bortsett fra testobjektet, ble slått av. Det ble deretter gjort målinger for å finne armaturens fargekoordinater for samtlige lysnivåer, nevnt i kapittel 8.2. For å finne testobjektets fargetemperatur, ble fargekoordinatene omregnet til fargetemperatur ved bruk av McCamy sin kvadratiske tilnærmingsformel, se Formel 8.2. Formelen er gyldig mellom 2856 og 6504 kelvin, med en maksimal feilmargin på 2 kelvin [57].

$$CCT(x, y) = -449 * \left( \frac{x - 0,3320}{y - 0,1858} \right)^3 + 3525 * \left( \frac{x - 0,3320}{y - 0,1858} \right)^2 - 6823,3 * \frac{x - 0,3320}{y - 0,1858} + 5520,33$$

Formel 8.2: Utregningsformel fra fargekoordinater til fargetemperatur [57].



Figur 8.5: Bilde av Minolta CS-100A til venstre og av utførelsen til høyre.

### 8.2.4 Måling av belysningsstyrke

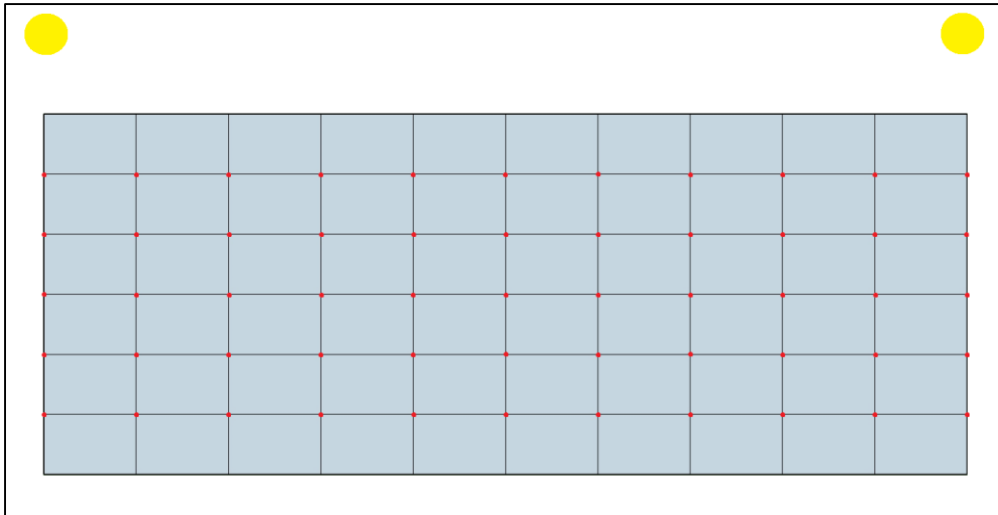
Utførelsen av målingen på belysningsstyrken på veidekket ble forsøkt utført etter kapittel 4.2.2 i veiledningen for *Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning*, som igjen er basert på NS-EN 13201-4 *Måling av vegbelysningsanlegg* [8]. På bakgrunn av at det er LED som er lyskilden i armaturene, ble det anslått at veiledningens anbefaling om 100 timer innbrenningstid ikke var nødvendig. Dette var også nødvendig for å få gjennomført målingen, grunnet knapt med tid mellom installasjonen av armaturene og innleveringen av denne masteroppgaven. Måleinstrumentet ble kalibrert som beskrevet i kapittel 8.1.2.

Målingene ble utført mellom mast én og to i testanlegget i Høgskoleringen den 5. juni 2015 mellom klokken 0030 og 0130. Himmelen var overskyet av grå skyer og en sval bris sørget for bevegelse i greinene til løvtrærne på stedet. I timene før målingene fant sted hadde det regnet ganske kraftig, og følgelig var veibanen våt og med noen dammer. Det var relativt mørkt ute og det kan derfor antas at det naturlige lyset fra himmelen ikke hadde særlig innvirkning på måleresultatene. Begge armaturene var omkranset av trær med løv på greinene.



*Figur 8.6: Bildet er tatt på samme tidspunkt som målingene fant sted. Som en kan se er det relativt mørkt ute, årstiden tatt i betraktning. På asfalten kan en se skyggene til løvtrærne som blokkerer for noe av lyset fra armaturene.*

Som en kan se fra Figur 8.7 ble veibanen delt inn fem delestreker på tvers, og elleve delestreker på langs med veibanen, hvor den første og siste delestreken gikk vinkelrett ut fra armatur én og armatur to. I tillegg til dette, ble det utført en måling midt på fortauet for hver av de langsgående delestrekene med veibanen.



Figur 8.7: Figuren viser en skisse av målepunktene (markert med rød prikk) som ble benyttet i veibanen (fortauene er utelatt fra illustrasjonen). De gule sirklene markerer plasseringen til armaturene. Mast 1 til venstre og mast 2 til høyre.

Den praktiske utføringen av målingen ble utført ved hjelp av et målebånd, tjueto markører og et Pocket-luxmeter. På bakgrunn av et veidekke med mye vann ble målecellen til Pocket-luxmeteret montert på en 5 cm høy klosse for å hindre at vann ikke ødela målecellen. For å finne de langsgående delestrekene ble målebåndet først lagt mellom armaturene på innsiden av fortauet som grenset mellom gresskanten og fortauet. Deretter ble markørene plassert på de elleve delestrekene. Dette ble igjen gjentatt på den andre siden for kantsteinen som grenset mot veibanen. For å finne de eksakte målepunktene på tvers av veibanen ble målebåndet lagt mellom markørene for hver delestrek. Med hensyn på nøyaktigheten til målepunktene, anslås denne til å være innenfor 10 cm i radius ut fra tenkt målepunkt. For en oversikt over målepunktene henvises det til vedlegg 12.



## 9 Resultater

### 9.1 Testing og implementering av lampekontrollerne

Før lampekontrollerne ble implementert i testanlegget ble funksjonaliteten til både OLC SL31 og LLC7040 testet på lys- og installasjonslaboratoriet på rom E320 i Elektrobygget. Lampekontrollerne ble koblet opp mot LonWorks-testbrettet til instituttet, via Powerline. Ved hjelp av det unike enhetsnummeret til lampekontrollerne ble de deretter lagt til i LonMaker (programvaren til Echelon hvor styresystemet designes).

For Citylone OLC SL31 ble det på forespørsel sendt over dokumentasjon på programvaren til lampekontrolleren, samt hvilke nettverksvariable som benyttes. Denne dokumentasjonen, og XIF-filen som ble sendt over fra Citylone, kan ses i vedlegg 10 og 13. På bakgrunn av dette ble uttestingen på laboratoriebenken en relativt enkel og problemfri affære, da en hadde god oversikt over funksjonene og mulighetene som lå i lampekontrolleren.

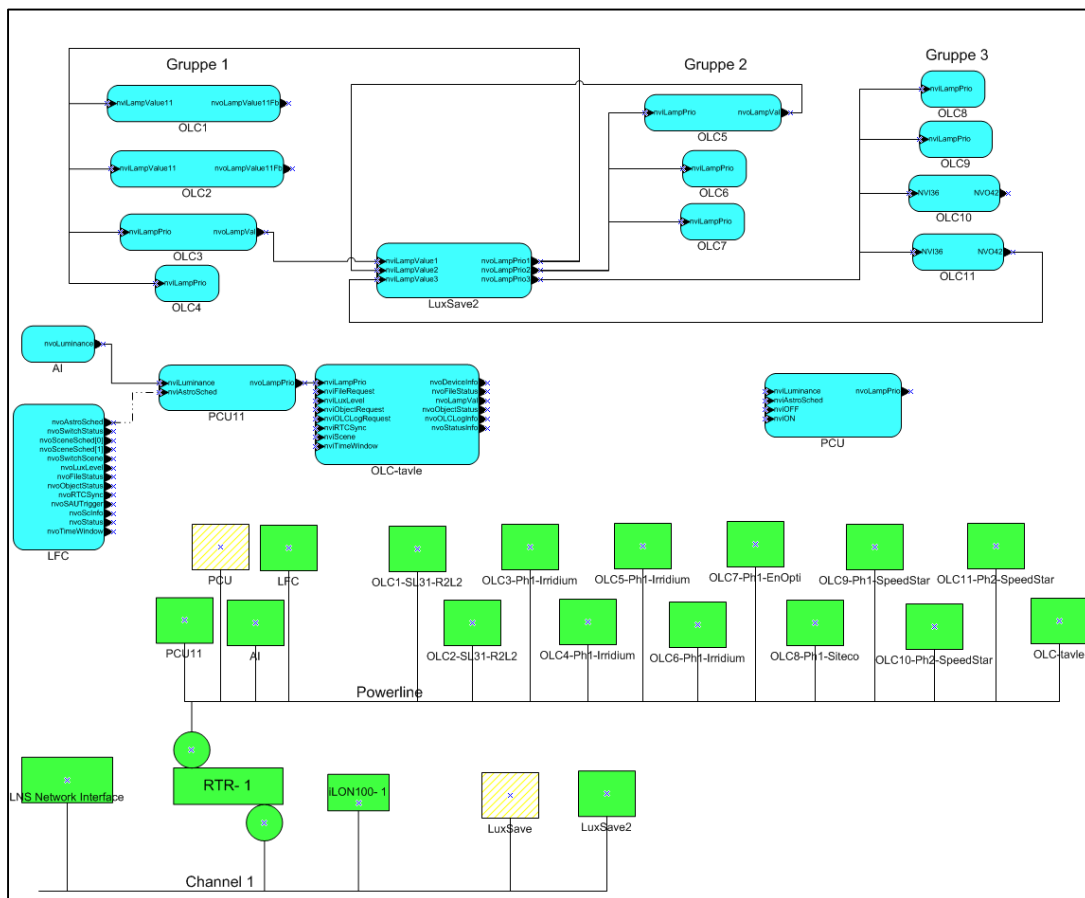
For Philips OLC LLC7040 har det ikke lyktes å skaffe den nødvendige dokumentasjonen på programvaren som ligger installert på lampekontrolleren. Når lampekontrolleren legges til i LonMaker har i tillegg inngang- og utgangsvariablene til enheten diffuse navn som ikke gir noen indikasjon på hvilke variabler det er snakk om, og hvilken funksjon de har. Dette resulterte i at det måtte legges ned arbeid i å finne ut av hva de ulike variablene hadde som funksjoner. Ved å koble lampekontrolleren på en høytrykknatriumlampe, med tilhørende forkobling som hadde 1-10 V styregrensesnitt, ble de ulike variablene testet ut. På bakgrunn av denne uttestingen kom det fram at inngangsvariabelen NVI36 styrer lyset med en Switch-funksjon (en av/på og en dimmefunksjon). Utgangsvariabelen NVO42 er variabelen som gir tilbakemelding til styresystemet om armaturen er av eller på, samt hvilket lysnivå som er satt. Informasjon om lampekontrolleren utover dette har dessverre ikke vært mulig å oppdrive.

Den 2. juni ble lampekontrollerne Citylone SL31 installert i mast nummer én og to, mens Philips LLC7040 ble installert i mast ti og elleve. Selve installasjonen av lampekontrollerne gikk smertefritt. Begge lampekontrollertypene ble installert i koblingsboks inne i lysmasten. Dette for å hindre fuktskader på lampekontrollerne.

Implementeringen av kontrollerne i integrasjonsverktøyet LonMaker gikk også smertefritt, og tilsynelatende riktig funksjonalitet ble raskt opprettet. Det må likevel understrekes at det ble oppdaget at tilbakemeldingsvariabelen til SL31, som har til hensikt å gi tilbakemelding om av/på- og dimmestatus til segmentkontrolleren, ikke kunne kobles opp mot den tilhørende inngangen til LuxSave-noden i styresystemet. Dette kommer av at utgangsvariabelen til Citylone-noden er programmert til å være en *polled-variabel*, mens inngangsvariabelen til LuxSave-noden er satt til å motta *non-polled-variabler*. Med dette menes det at lampekontrolleren SL31 kun sender tilbakemeldingsvariabelen dersom den får en forespørsel om å sende den. På bakgrunn av at det ikke var behov for å bruke denne utgangsvariabelen til SL31, for å sikre riktig funksjonalitet for anlegget, ble dette ikke endret.

Etter at de nye lysmastene hadde vært i drift en stund, viste det seg at lampekontrollerne fra Citylone ikke fungerte helt som ønsket. De slo på sine respektive armaturer uten at styresystemet hadde gitt beskjed om dette. Testing og feilsøking har videre vist at lampekontrolleren slår på armaturen nøyaktig én time etter at lampekontrolleren har blitt slått av. Dialog med Thorn og Citylone har vist at det nevnte problemet skyldes en *failsafe-funksjonalitet* i lampekontrolleren. Med dette menes at lampekontrolleren vil slå på armaturen dersom den ikke har mottatt styringssignaler i løpet av én time. Dette som en føre-var-funksjonalitet mot kommunikasjonsbrudd mellom lampekontrolleren og styresystemet. På bakgrunn av at segmentkontrolleren til LuxSave ikke er programmert til å sende sykliske styringssignaler, men kun signaler ved endringer i variablene, vil lampekontrolleren tolke dette som et kommunikasjonsbrudd og deretter slå på armaturen etter én time.

Videre dialog med Citylone har vist at lampekontrolleren kan endres til å vente på signal i opptil åtte timer før *failsafe-funksjonen* blir iverksatt. På bakgrunn av at armaturene står avslått mye lengre enn åtte timer om sommeren, var dette ikke en tilfredsstillende løsning. To andre alternativer var derimot å enten få segmentkontrolleren til å sende sykliske signaler, eller å implementere syklisk sending i oversetternoden eller i egen node mellom segmentkontrolleren og lampekontrollerne. Som følge av at armaturene ble installert bare ni dager før innleveringsfrist til masteroppgaven, ble det ikke tid til denne utbedringen.



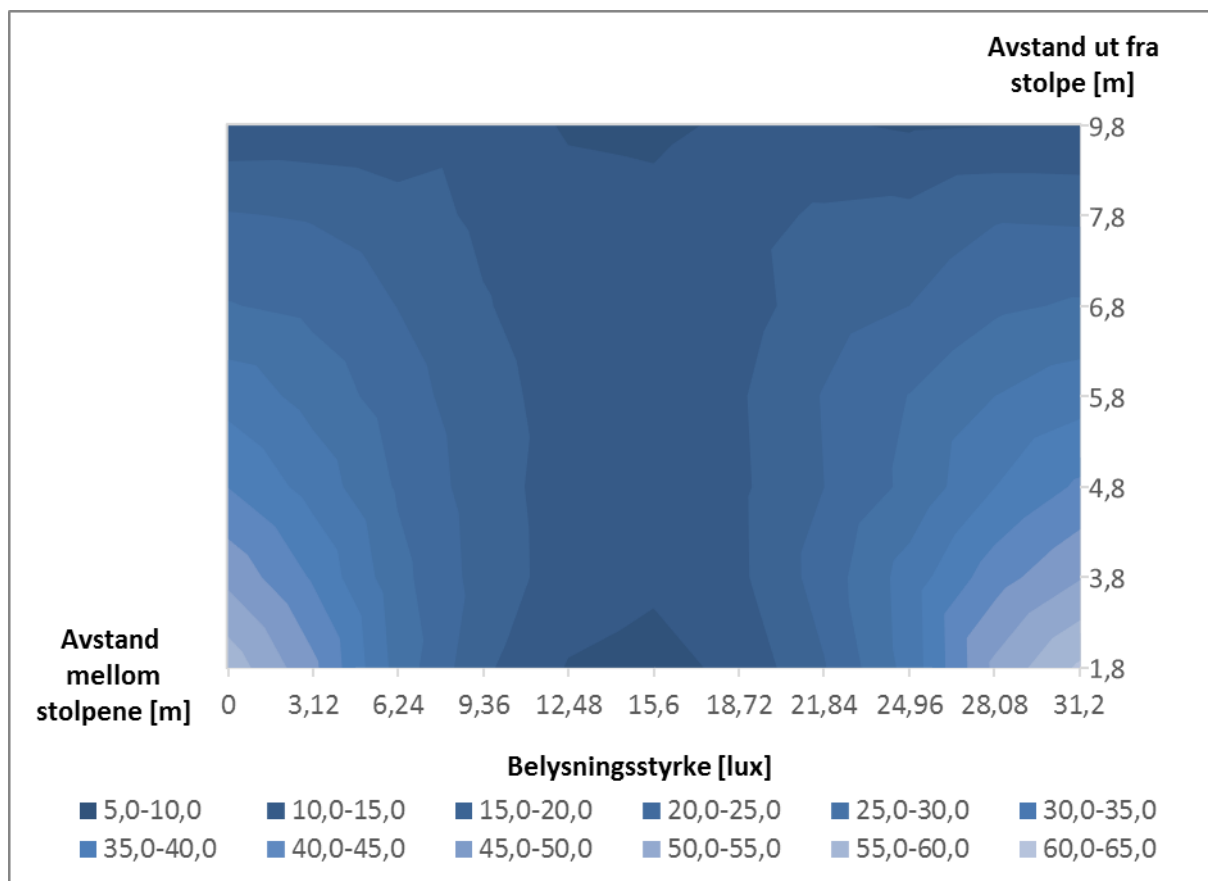
Figur 9.1: Styresystemet slik det ser ut i LonMaker. På bakgrunn av at det ikke var mulig å få dette bildet tydelig nok i rapporten, kan det også finnes i vedlegg 14.

## 9.2 Lystilbakegang på SpeedStar-armaturene

I dette underkapitlet vil målingene gjort med hensyn på dagens belyningsstyrke mellom mast ni og ti i testanlegget bli presentert. Videre vil måledataene, som ble gjengitt i kapittel 7.2.3, fra når armaturene var nyinstallerte gi et sammenligningsgrunnlag som kan gi et bilde av lystilbakegangen hos de to SpeedStar-armaturene.

### 9.2.1 Belysningsstyrken på veidekket i dag

Resultatet fra målingene med hensyn på belyningsstyrken nede på veidekket er vist i figuren nedenfor. Dessverre var det med det brukte analyseringsverktøyet ikke mulig å fremstille grafen slik at svingen der målefeltet ligger kommer frem i flaten. Når en ser på denne figuren må dette derfor tas med i betraktning. Den nederste enden av figuren tilsvarer innersving, mens den øverste enden tilsvarer yttersving. Yttersvingen var 4,5 m lengre enn innersvingen. Videre er punktene 1,8 meter og 9,8 meter ut fra stolpen, midt på gangfeltet i henholdsvis innersving og yttersving. Resten av punktene er i veibanen. For å se måleresultatene i tabulert form henvises det til vedlegg 5.



Figur 9.2: Konturdiagrammet viser belyningsstyrken nede på veidekket i 2015. Lys blåfarge tilsvarer høy belyningsstyrke, mens mørk blåfarge tilsvarer lav belyningsstyrke.

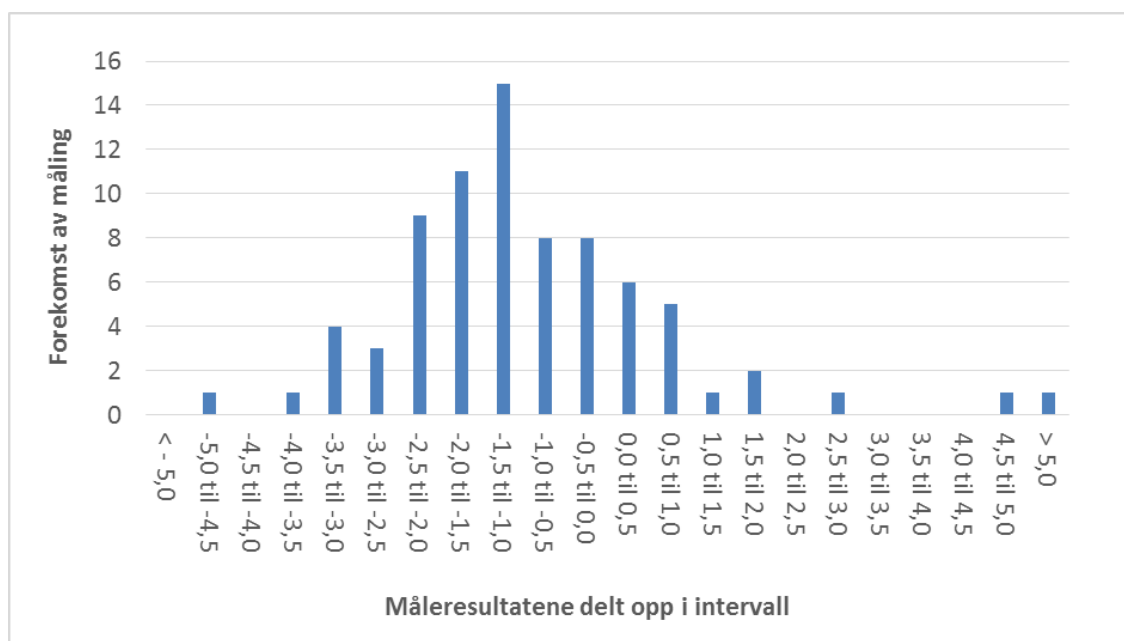
## 9.2.2 Lystilbakegang

Dersom belyningsstyrken fra 2015 sammenlignes med belyningsstyrken fra 2011 kan forskjellen i lux finnes, og følgelig gi et innblikk i lystilbakegangen til armaturene. Tabell 9.1 viser endringen i belyningsstyrke fra 2011 til 2015 i hvert enkelt målepunkt. En negativ verdi angir lystilbakegang, mens en positiv verdi angir en høyere belyningsstyrke enn først målt i 2011. Positive eller store negative verdier er med stor sannsynlighet et resultat av feilkilder.

Tabell 9.1: Viser forskjellen i belyningsstyrke mellom målingene i henholdsvis 2011 og 2015. Tallene som ses er målingen i 2015 minus målingen i 2011, oppgitt i lux. Rødlig farge angir lystilbakegang, hvit farge angir et måleresultat mellom -0,5 og 0,5 lux, mens grønn farge angir økning fra 2011.

Yttersving	0,00 m	3,57 m	7,14 m	10,71 m	14,28 m	17,85 m	21,42 m	24,99 m	28,56 m	32,13 m	35,70 m	Avstand ut fra stolpen
Avstand mellom armaturene	-2,421	-2,211	-1,579	-2,000	-1,263	-1,263	-0,737	-0,421	-3,368	-1,368	-2,947	
	-1,263	9,684	-1,789	-0,105	-0,737	-1,368	-0,211	4,737	-1,158	-1,789	-1,895	7,8 m
	0,316	-1,895	-1,579	-1,053	-2,211	-1,053	0,105	-2,632	-2,316	1,789	0,105	6,8 m
	-4,526	-1,895	0,316	-2,316	-0,842	-2,211	-1,263	1,579	-1,474	0,842	0,526	5,8 m
	-0,842	2,526	0,211	-2,316	-0,421	-2,316	-1,053	0,947	-0,526	-1,263	1,368	4,8 m
	-1,895	-1,368	-0,211	0,526	-2,526	-3,053	-3,684	-3,158	-0,632	-0,105	-0,316	3,8 m
	-0,632	0,211	-0,632	0,737	-1,895	-3,053	-2,105	-1,263	-1,579	-1,263	-0,211	1,8 m
Innersving	0,00 m	3,12 m	6,24 m	9,36 m	12,48 m	15,60 m	18,72 m	21,84 m	24,96 m	28,08 m	31,20 m	

Som en kan se av Tabell 9.1 er det flere verdier som ser mistenkelige ut med hensyn på troverdighet. Her tenkes det spesielt på de positive verdiene (markert grønt) og de høye negative verdiene (markert rødt). Det anslås derfor som ikke tilstrekkelig å finne lystilbakegangen ved hjelp av gjennomsnittet (0,89 lux) av verdiene alene. Figur 9.3 underbygger denne antagelsen ytterligere.

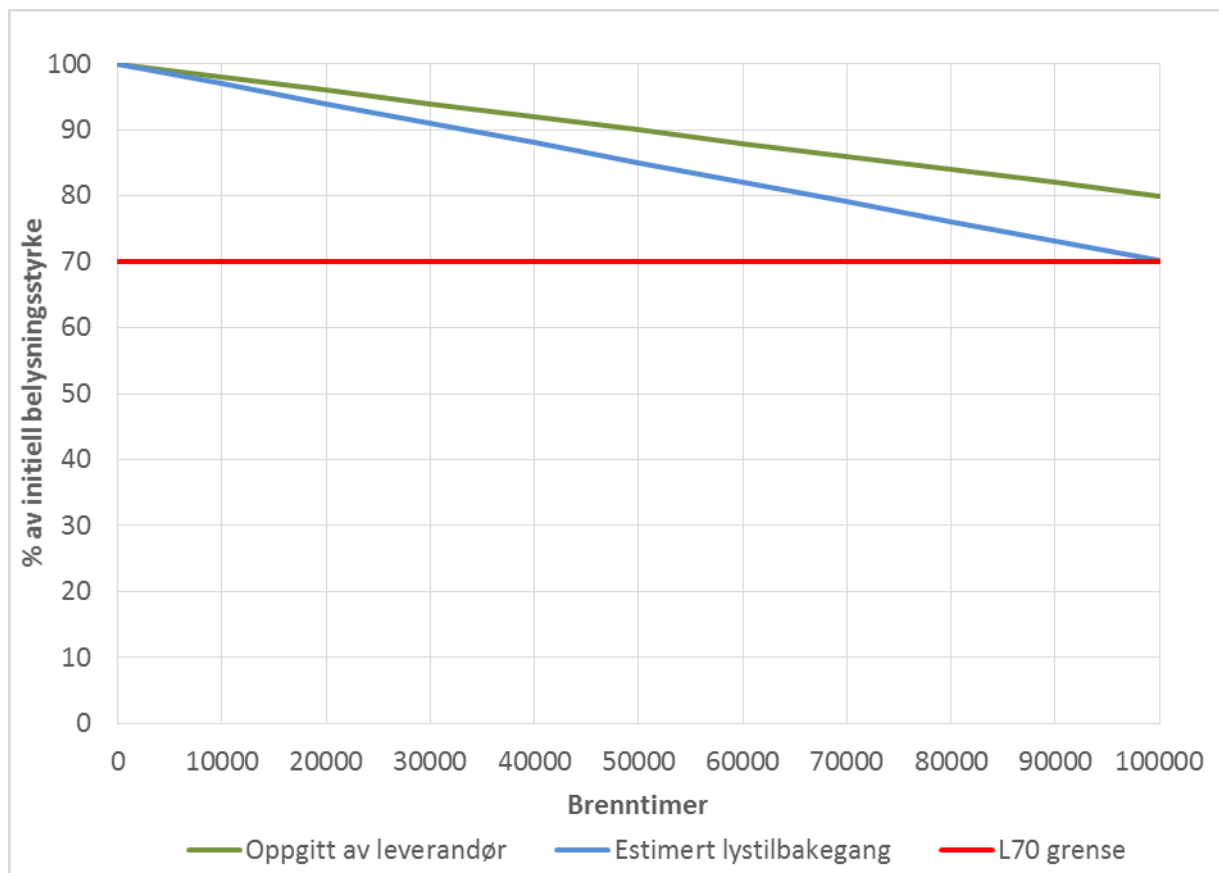


Figur 9.3: Histogrammet viser forekomsten av målinger innen angitte måleintervaller i lux.

Som en kan se av Figur 9.3 er en lystilbakegang på mellom -1,5 lux og -1,0 lux det som forekommer hyppigst blant målepunktene. På bakgrunn av dette, samt at både medianen og typetallet faller på -1,263 lux, er det høyst sannsynlig at den reelle lystilbakegangen ligger i dette området.

På bakgrunn av at måleresultatene med høy sannsynlighet er blitt påvirket av feilkilder i både positiv og negativ retning, vil et gjennomsnitt av differansene, dersom en fjerner de målingene som tydelig ligger utenfor «normalverdiene» (jf. normalkurven) i histogrammet i Figur 9.3, kunne gi et godt estimat av lystilbakegangen. På bakgrunn av histogrammet finnes derfor gjennomsnittet av alle verdiene som ligger innenfor intervallet -4,0 lux til 2,0 lux. Dette gir en samlet lystilbakegang på -1,115 lux fra 2011 til 2015. Sammenlignes denne verdien opp mot belyningsstyrken som ble målt når armaturene var nyinstallert finnes den prosentvise lystilbakegangen til å være 4,9 %.

Som nevnt i kapittel 2.3 er det i dag, på bakgrunn av solens opp- og nedgang, vanlig å estimere med at veibelysning i Oslo har 4100 brenntimer i året. Tar en hensyn til forskjellen i antallet timer dagslys vil en i Trondheim ende opp med 4063 brenntimer i året [12]. Basert på den estimerte lystilbakegangen og årlige antallet brenntimer kan den lineære lystilbakegangen som funksjon av antallet brenntimer estimeres slik som i Figur 9.4.

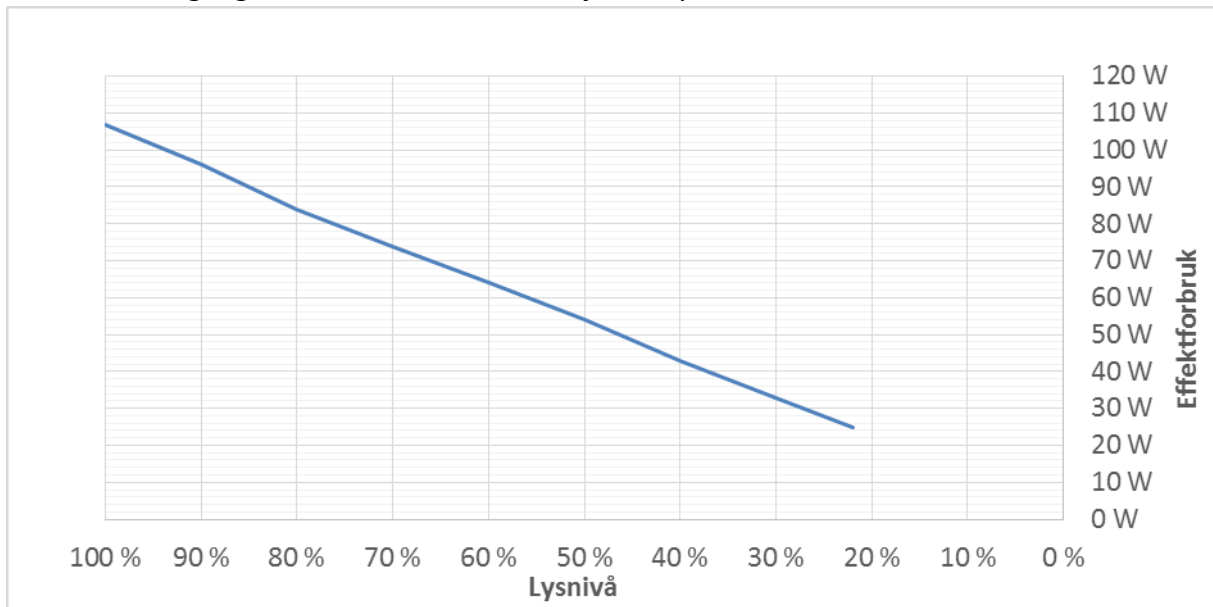


Figur 9.4: Viser estimert lystilbakegang, sammenlignet med hva som er oppgitt fra leverandør og L70-grensen. Den oppgitte lystilbakegangen, fra leverandør, tar ikke hensyn til behovene for vedlikehold.

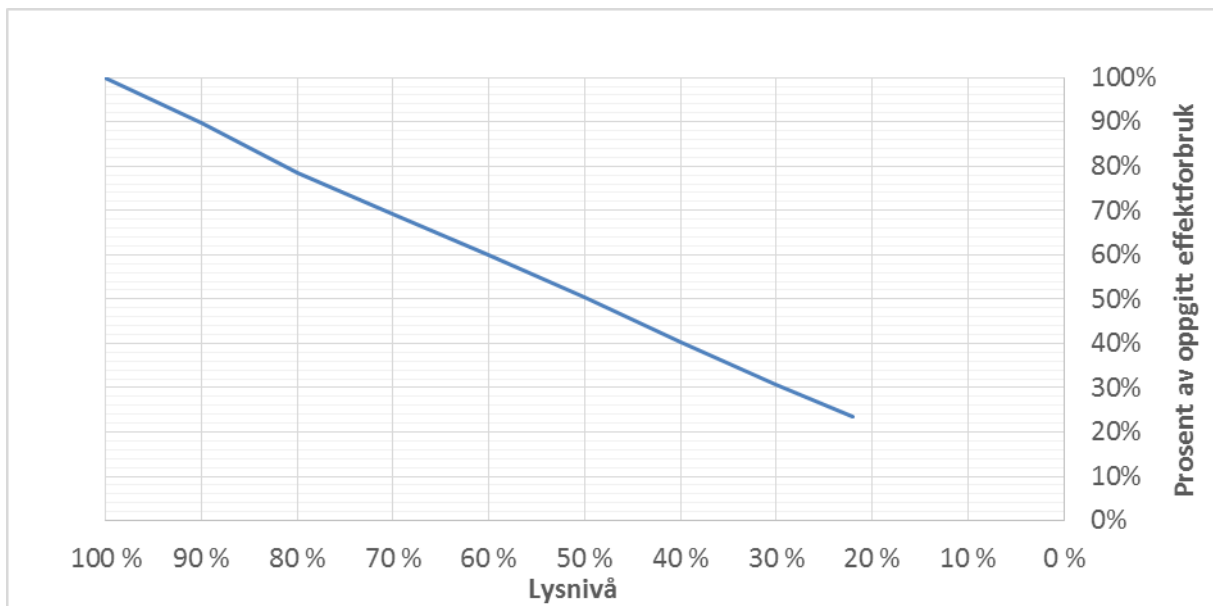
## 9.3 Ytelsen til Thorn R2L2

### 9.3.1 Effektforbruk

I Figur 9.5 og Figur 9.6 kan en se effektforbruket til Thorn R2L2 som funksjon av lysnivået. Ved 100% lysnivå var effektforbruket, som oppgitt fra leverandør, på 107 W. Deretter fulgte en lineær nedgang i effektforbruk som funksjon av lysnivået.



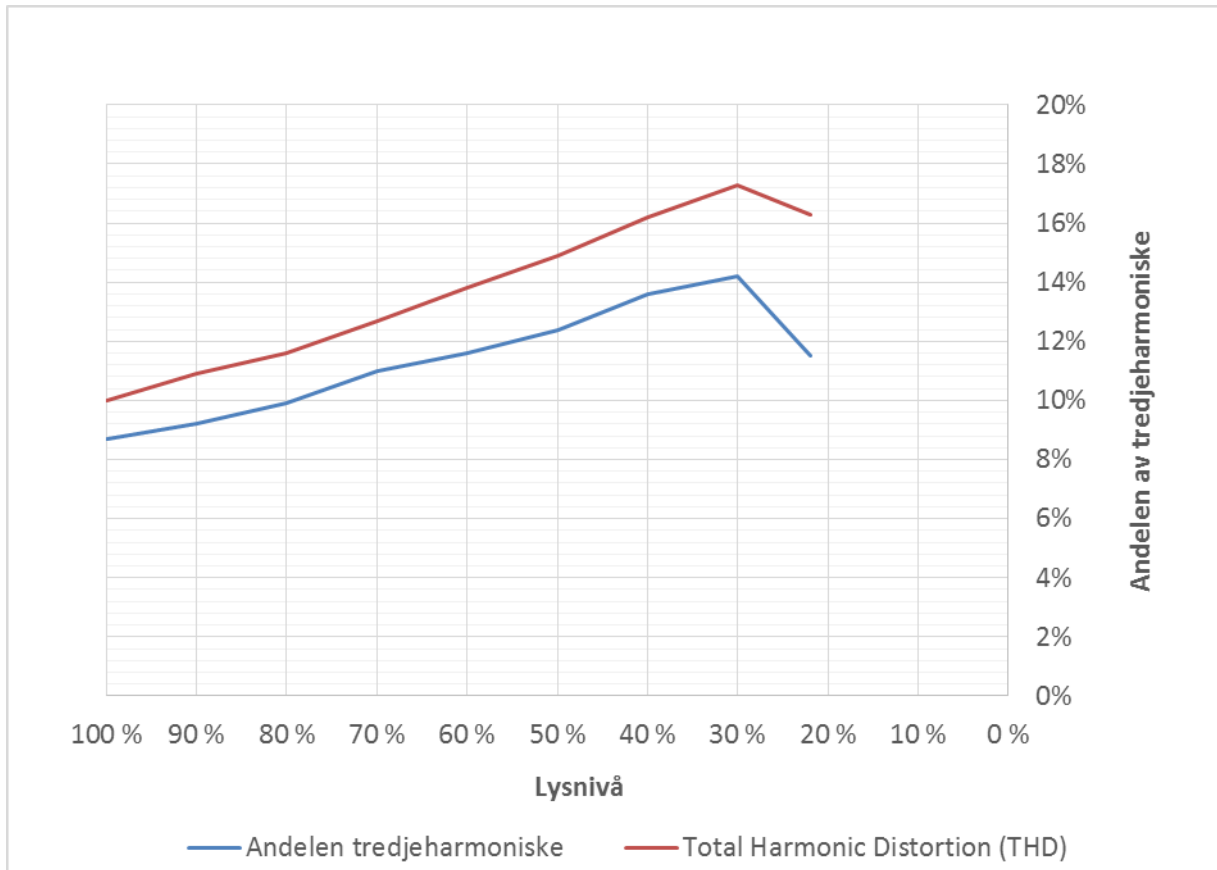
Figur 9.5: Effektforbruk som funksjon av lysnivå.



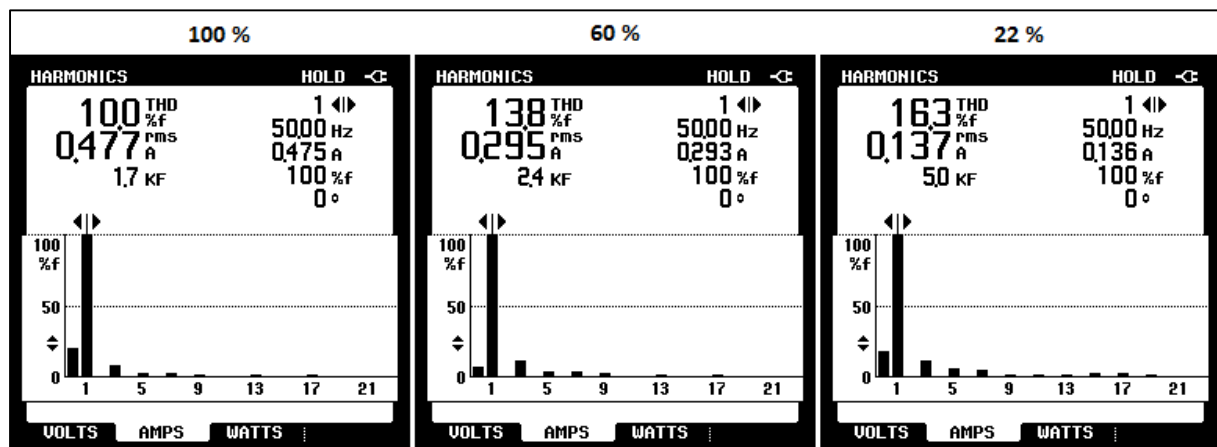
Figur 9.6: Effektforbruket i prosent av oppgitt verdi fra leverandør.

### 9.3.2 Overharmoniske strømmer

I Figur 9.7 kan en se andelen tredjeharmoniske strømmer (blå), og total harmonisk forvrengning (rød) som funksjon av den grunnharmoniske strømmen (50 Hz), avhengig av lysnivået til armaturen. Som en kan se er tredjeharmoniske den største andelen av den harmoniske forvrengningen. I Figur 9.8 kan det overharmoniske spekteret fra DC til venstre, den grunnharmoniske (1) og tjuetførstemultiplum av grunnfrekvensen til høyre (21) ses.

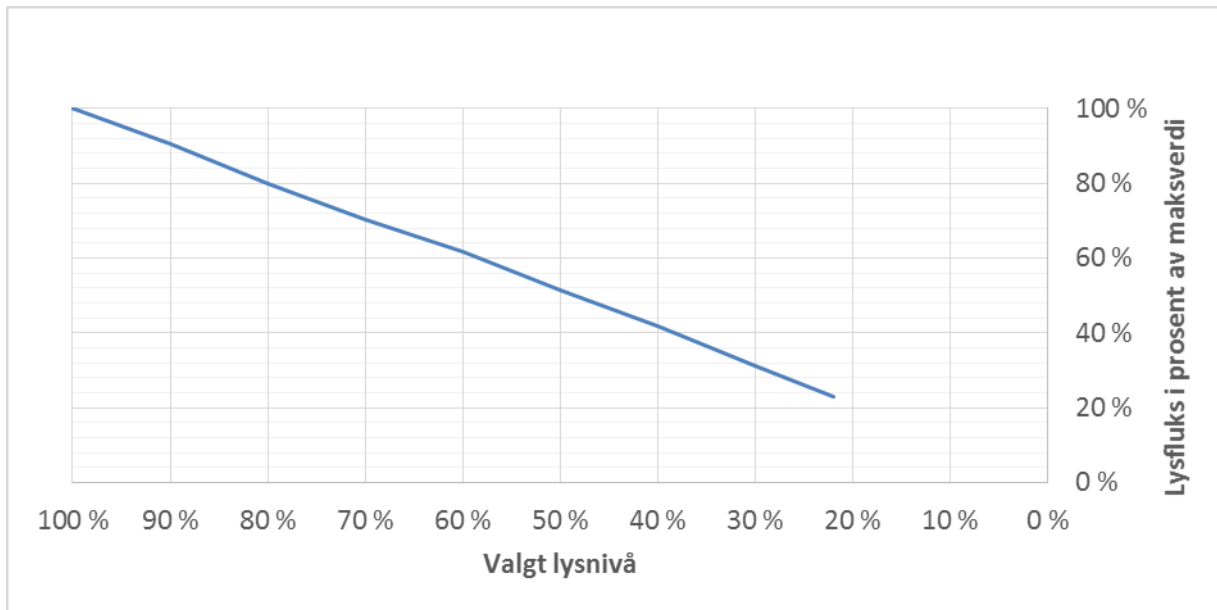


Figur 9.7: Andelen tredjeharmoniske strømmer og total harmonisk forvrengning som funksjon av den grunnharmoniske strømmen, og lysnivået til armaturen.



Figur 9.8: Illustrasjonen viser bildet av det overharmoniske spekteret fra PQA for henholdsvis 100%, 60% og 22% lysnivå.

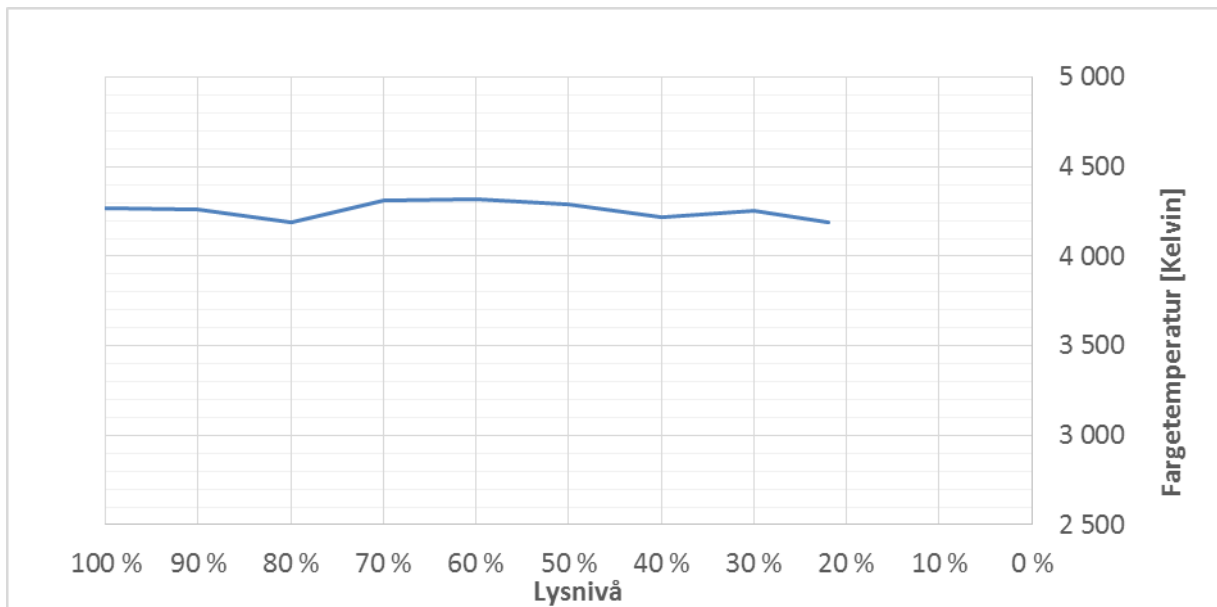
### 9.3.3 Lysfluks



Figur 9.9: Linjediagrammet viser den prosentvise lysfluksen avhengig av valgt dimmenivå i styresystemet.

På bakgrunn av at instituttet ikke har klart å skaffe en referanselyskilde, eller kalibrert glødepæren som er brukt, kan det dessverre ikke sies noe om hvilken lysfluks Thorn R2L2 leverer ved de ulike lysnivåene. Ut fra Figur 9.9 kan det likevel ses at lysfluksen er, som forventet, lineært proporsjonal med satt lysnivå.

### 9.3.4 Fargetemperatur

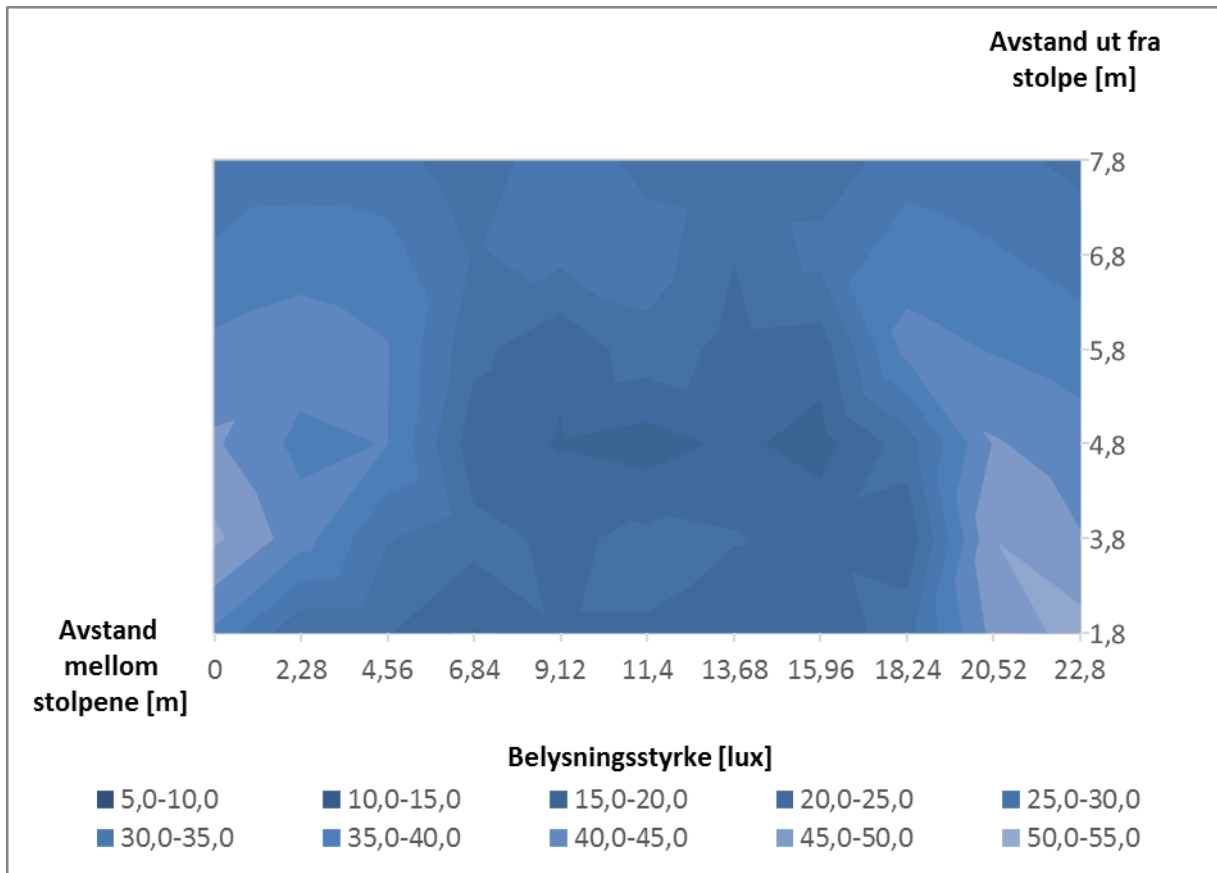


Figur 9.10: Linjediagrammet viser fargetemperaturen som funksjon av satt lysnivå.



Som en kan se i Figur 9.10 holder fargetemperaturen seg relativt stabil som funksjon av valgt lysnivå, med en minimumsverdi på 4187 kelvin, og maksimumsverdi på 4317 kelvin. Ved hundre prosent lysfluks ligger fargetemperaturen på 4266 kelvin, mens gjennomsnittsverdien av de ulike lysnivåene ligger på 4255 kelvin.

### 9.3.5 Belysningsstyrke



Figur 9.11: Konturdiagrammet viser belysningsstyrken nede på veidekket mellom mast én og to hvor det er installert Thorn R2L2 armaturer. Målepunktene som ligger én meter ut fra masten tilsvarer målingene gjort på fortau, målingene fra tre til sju er målinger gjort i veibanen.

Resultatene fra målingen på belysningsstyrken nede på veidekket kan ses i konturdiagrammet illustrert i Figur 9.11. Den største verdien som ble oppnådd i veibanen var på 52,04 lux, mens den minste verdien var på 17,66 lux. Gjennomsnittsverdien i veibanen ble 32,13 lux. For en tabulert oversikt over belysningsstyrkeverdiene i målepunktene henvises det til vedlegg 12.



## 10 Diskusjon

### 10.1 Interoperabilitet innen ulike lampekontrollere

I løpet av fordypning- og masteroppgaven har det vist seg at det i dag er hovedsakelig to teknologier som benyttes for lampekontrollere når det kommer til grensesnittet opp mot det resterende styresystemet: radiofrekvenskommunikasjon over ZigBee-protokollen, og powerlinekommunikasjon over LonTalk-protokollen. På bakgrunn av at testanlegget allerede besto av elleve lampekontrollere som benytter Powerline, var lampekontrollere med ZigBee-grensesnitt det mest interessante å teste ut. Det ble derfor lagt ned stor innsats i å prøve å skaffe lampekontrollere med ZigBee-grensesnitt som kunne implementeres i testanlegget. Dialog med en rekke leverandører viste derimot at dette kunne bli vanskelig da samtlige leverandører ikke hadde ferdigproduserte ZigBee-kontrollere som er i stand til å kommunisere med tredjepart. Selv om ZigBee er en åpen kommunikasjonsprotokoll har samtlige, som er blitt kontaktet, en proprietær løsning på toppen av dette igjen. Dette medfører at tekniske tilpasninger må gjøres for å få lampekontrollerne kompatible inn mot tredjepart, hvor tilpasningene kan gjøres enten i lampekontrollerne eller i segmentkontrolleren. På bakgrunn av at vi i denne oppgaven hadde LuxSave som en støttespiller, som var interessert i å tilpasse sin segmentkontroller mot en tredjepart lampekontroller, var dette en mulighet i dette prosjektet. Dessverre ga samtlige leverandører, med unntak av Q-free, signaler om at de ikke var villig til å dele den nødvendige informasjonen for at dette skulle kunne gjøres. Om dette skyldes frykt for at informasjonen som deles vil kunne skade deres markedsinteresser, eller om det ikke ønskes å prioriteres ressurser til dette, er dessverre uvisst.

Den tilsynelatende mangelen på interoperabilitet ved bruk av ZigBee kan ha negative konsekvenser for veilysholderne som velger slike anlegg. Her tenkes det spesielt på begrensningene som veilysholder kan oppleve dersom anlegget skal endres eller utvides i framtiden. I verste fall kan veilysholder bli indirekte tvunget til å velge samme leverandør, eller måtte kjøpe et komplett styresystem dersom en annen leverandør med annen pris og funksjonalitet ønskes. Dette vil være spesielt ugunstig dersom det er snakk om utvidelser som er relativt små. At den aktuelle leverandøren går konkurs, eller slutter å produsere de aktuelle produktene kan også være en mulig risiko med konsekvenser for veilysholder.

Når det kommer til lampekontrollere som benytter seg av Powerline virker interoperabiliteten mellom lampekontrollerne å være god. Dette kommer i hovedsak av måten Echelon har utviklet sitt styresystemkonsept på. Ved bruk av standardiserte nettverksvariable har Echelon lagt til rette for at sammenfletting av komponenter fra ulike leverandører skal være en enkel sak ved bruk av LonMaker-programvaren. Det er likevel noen fallgruver (det er funnet i hovedsak to stykk i denne rapporten) som kan vanskeliggjøre interoperabilitet på tvers av leverandører, også for Powerline.

På bakgrunn av at Echelon har som ambisjon om at LonWorks skal være *styresystemet* som styrer *styresystemet* (med andre ord: kunne fungere som et styresystem innen de fleste tenkelige formål) er LonWorks utviklet med masse funksjonalitet hvor utvikler selv velger hvilke løsninger som skal brukes. Dette medfører at lampekontrollere og segmentkontrollere kan være programmert ulikt med hensyn på hvordan kommunikasjonsgrensesnittene skal fungere. I denne rapporten ble det i hovedsak møtt på to slike utfordringer (se kapittel 9.1), hvor begge utfordringene gikk på når signaler skal sendes på bussen. Det skal likevel la seg gjøre å løse begge disse utfordringene ved enten endringer i programvaren til enhetene, eller ved å implementere den nødvendige funksjonaliteten (syklisk sending/polled-inngang) enten i oversetternoden eller i annen ny node.

Den andre fallgruven, med hensyn på interoperabilitet for lampekontrollere med Powerline, er knyttet til at hver enkelt standardisert nettverksvariabel i LonWorks kan brukes til ulike styringsfunksjoner. For SL31 eksisterer det for eksempel fem forskjellige nettverksvariabler av typen *Switch*, hvor kun den ene blir benyttet for å styre lyset. På bakgrunn av dette blir det veldig viktig å få full dokumentasjon av hva funksjonene til de ulike nettverksvariablene er, dersom en uavhengig tredjepart skal sette opp og drifte anlegget.

Begge de nevnte fallgruvene over kan løses dersom det blir opprettet god kommunikasjon mellom leverandørene og den som skal installere og drifte anlegget, slik at tilpasninger i programvaren kan gjøres. Under installasjonen i testanlegget har kontakt med henholdsvis Philips, Thorn og Citylone vært viktig for å få anlegget til å fungere som ønsket. Både Thorn og Citylone har vært svært hjelpelige med å fremskaffe nødvendig dokumentasjon, mens det ikke har lyktes å skaffe programvaredokumentasjon fra Philips.

Hva angår interoperabilitet mellom ulike lampekontrollere er kombinasjonen av Powerline med LonTalk og radiofrekvenskommunikasjon med ZigBee i samme system et viktig tema. I kapittel 4.3 ble Echelon og ZigBee Alliance sitert på at det per i dag mest sannsynlig ikke eksisterer noen gateway mellom disse to teknologiene. Bakgrunnen for at det sies *mest sannsynlig* er fordi dette er åpne kommunikasjonsprotokoller hvor tredjepartsleverandører fritt kan utvikle egne produkter innenfor deres teknologi. Det har for øvrig også blitt gjort et søk hos ulike produkt- og gatewayleverandører både av undertegnede og av Henriette Ellingsrud [58] (annen masterstudent ved NTNU) uten at ZigBee-Powerline gateway har blitt funnet. Dette medfører at det ikke lar seg gjøre å koble lampekontrollere fra de to teknologiene sammen uten at en segmentkontroller kommuniserer med de to teknologiene hver for seg.

Et viktig tiltak som er med å fremme større forutsigbarhet for veilysholderne er standardiseringen som TALQ jobber mot, som nevnt i kapittel 4.4. Dersom leverandørene som veilysholder velger er TALQ-kompatibel vil det enklere la seg gjøre å integrere styresystemene sammen. Ulempen med TALQ, ut fra problemstillingene som vi ser på her, er at de ikke jobber mot interoperabilitet på lampekontrollernivå, men mellom segmentkontrollere og toppsystem. Dette medfører at dersom lampekontrollere (uten

interoperabilitet) fra ulike leverandører skal operere i samme styresystem, er veilysholder avhengig av at hver leverandør har sin egen segmentkontroller.

Interoperabiliteten mellom lampekontrollere og armaturer, fra ulike leverandører, er avhengig av hvilket styregrensesnitt som hver av de to er basert på. Dersom aktuell lampekontroller og armatur er basert på samme styregrensesnitt (DALI eller 1-10 V) vil interoperabilitet være opprettholdt. Eneste utfordringen her ligger i at den analoge styringsmetodikken med 1-10 V ikke er standardisert, og at det derfor må koordineres mellom leverandørene hvilket lysnivå som skal bli representert av de ulike spenningsnivåene.

## 10.2 Lystilbakegang på SpeedStar-armaturene

Lystilbakegangen hos SpeedStar-armaturene ble med den valgte metoden funnet til å være 4,9 % på de fire siste årene. Dersom en antar at lystilbakegangen vil fortsette lineært i årene som kommer vil L70-grensen havne på 100 000 timer, noe som er et svært godt resultat. Det er derimot en del usikkerheter som kan svekke troverdigheten til dette resultatet.

Den kanskje største usikkerheten til resultatet er målingene som ble utført av Jørgen Anker-Rasch Heide i 2011. I kapittel 7.2.3 kan en se et konturdiagram av målingene til Heide. Her kan en se at de ulike belyningsstyrkenivåene ikke har glatte og kontinuerlige overganger, men er taggete i formen enkelte plasser. Dette tyder på store variasjoner mellom nærliggende målepunkt, noe som tilsier at målefeil er tilstede. Ser en på måleresultatene i tabulert form i vedlegg 5, blir dette bekreftet ytterligere. Dette virker inn på den prosentvise lystilbakegangen både gjennom gjennomsnittsverdien av nyinstallert belyningsstyrke, og på differansen mellom de to målingene som kan ses i Tabell 9.1. På bakgrunn av rapporten til Heide kommer det fram at målingene ble utført under forhold som var preget av is og snø, noe som kan være en naturlig forklaring på de kommenterte måleresultatene. Det tenkes da i den retning av at Heide hadde utfordringer med å legge målecellen plant med veidekket. Hva angår refleksjoner som følge av is og snø kan det med rimelig sikkerhet antas at dette ikke har påvirket målingene i betydelig grad. Dette kommer av at snø og islag, samt utformingen på terrenget rundt, vil medføre at eventuelt reflektert lys vil gå i retning himmelen og ikke ned mot målecellen.

I et forsøk på å sikre mest mulig like forhold for målingene utført i 2011 og 2015, ble samme dato og tidspunkt for målingene valgt. Undersøkelser har i ettertid vist at månens posisjon for de to datoene var ulik. Mens målingene i 2011 ble gjort fem dager etter fullmåne, ble målingene i 2015 utført fire dager etter nymåne. Hvorvidt dette isolert sett ville hatt noen innvirkning på resultatene kan derimot diskuteres. På bakgrunn av mørke skyer som preget himmelen 9 mars 2015 kan en likevel anslå at månens innvirkning på målingene var svært begrenset.

Et annet forhold som kan ha påvirket forholdet mellom belyningsstyrken i 2015 og 2011 bortsett fra lystilbakegangen er utskiftningen av belysningen på perrongen på togstasjonen

«Lerkendal» som ligger like ved målefeltet. Hvorvidt dette har hatt innvirkning på resultatet er ikke blitt undersøkt nærmere. En kan likevel anta at dersom dette skulle påvirket resultatet, ville det vært i en retning som tilsa mindre lystilbakegang. Argumentet for denne antagelsen er at de nye armaturene med stor sannsynlighet har bedre optikk og mindre spilllys enn de gamle konvensjonelle armaturene, som følge av at de nye armaturene har LED som lyskilde.

Av de drøftede feilkildene kommer det frem at målingene til Heide utgjør den største og mest betydelige usikkerheten med hensyn på troverdigheten til resultatet om lystilbakegang. Usikkerheten dette medfører, med hensyn på belysningsstyrkedifferansen, er prøvd eliminert i kapittel 9.2.2 ved å neglisjere de verdiene som tydelig går utenfor det som kan ligne en normalkurve i Figur 9.3. Bakgrunnen for at ikke alle de positive verdiene er neglisjert er med baktanken om at en vil ha ukorrekte verdier i både positiv og negativ retning, og at disse vil kansellere ut hverandre, siden det er et tilnærmet likt antall på hver side av det som kan anses som normalpunktet på kurven (toppunktet). Siden belysningsstyrkedifferansen deles på gjennomsnittet av målingene fra 2011, for å finne den prosentvise lystilbakegangen, må også denne verdien vurderes tilpasset slik at feilkilder har minst mulig innvirkning på sluttresultatet. Ulike endringer er utprøvd, både sletting av målepunkter og modifisering mot «forventet verdi». Dette har derimot vist at endringer her har små innvirkning på sluttresultatet. Med liten innvirkning på sluttresultatet, kombinert med at det er en viss risiko for at endringer like godt kan svekke som styrke korrektheten til målingene, ble det besluttet at de faktiske måleresultatene skulle brukes.

Et annet viktig punkt som burde trekkes fram er at armaturene ikke er blitt vedlikeholdt/rengjort siden de ble installert i 2011. Den faktiske lystilbakegangen til armaturen vil derfor kunne være lavere enn de estimerte 4,9 prosentene. Hvor stort utslag et renhold ville hatt er det vanskelig å spekulere i. Det kan uansett antas at tilsmussingen som følge av trafikk er relativt liten på bakgrunn av at gata er ei blindgate med lav trafikk tetthet.

## 10.3 Ytelsen til Thorn R2L2

### 10.3.1 Effektforbruk, lysfluks og lysutbytte

Målingene som er utført med hensyn på effektforbruket til armaturen viser at effektforbruket er som oppgitt fra leverandør, med et maksimalt effekttrekk på 107 watt ved full lysstyrke. Oppgitt lysfluks ved full lysstyrke er ifølge Thorn på 10 630 lumen. Tanken var at dette skulle undersøkes ved hjelp av målingene som er gjort i kapittel 8.2.2, og videre lede til en analyse av lysutbytte til armaturen som funksjon av lysnivå og effekttrekk. Dessverre har mangelen på en referanselyskilde vanskeliggjort dette, og følgelig kan det ikke trekkes en konklusjon rundt verdiene på hverken lysfluks eller lysutbytte. Det som derimot kan ses fra de relative lysfluksmålingene og effektmålingene, er at både lysfluks og effekt beveger seg lineært fra 100 % lysnivå og ned til 22 % med tilnærmet samme stigningstall. Det er derfor

god grunn, på bakgrunn av at lysutbyttet er lysfluks dividert på effektforbruk, til å tro at lysutbyttet er tilnærmet konstant uavhengig av dimmenivå.

### 10.3.2 Overharmoniske komponenter

Som en kan se av Figur 9.7 genererer Thorn R2L2 en relativt beskjeden andel tredjeharmoniske og total overharmonisk forvrenging. Overharmonisk forvrenging øker tilnærmet lineært fra fullt lysnivå og ned til 30 % lysnivå, deretter faller den overharmoniske forvrengningen noe for 22 % lysnivå. Bakgrunnen for at den overharmoniske forvrengningen ikke øker lineært hele veien ned mot 22 % kunne vært som følge av en målefeil. Derimot ble det gjentatt flere målinger på 30 % og 22 % uten at resultatene endret seg. Hvorfor den overharmoniske forvrengningen blir slik er uvisst, men det kan antas at det kan skyldes LED-driveren, og sperran som ligger der med hensyn på minste dimmenivå.

Om en ser på andelen tredjeharmoniske vil det ved fullt lysnivå bli generert 8,7 %, mens den maksimale tredjeharmoniske andelen oppstår ved 30 % lysnivå med 14,2 % tredjeharmoniske som funksjon av den grunnharmoniske strømmen. Dette er verdier som er godt under kravet om maksimalt 33 % tredjeharmoniske, i normen for elektriske lavspenningsinstallasjoner ved TN-nett, dersom tverrsnittet i nøytrallederen ikke må vies ekstra oppmerksomhet. At andelen tredjeharmoniske er størst ved redusert effektforbruk vil igjen medføre at det er snakk om mindre strømmer enn hva en eventuelt tilførselskabel er dimensjonert etter. Følgelig vil størrelsen på den tredjeharmoniske strømmen være godt innenfor yttevnen til tilførselskabelen.

### 10.3.3 Fargetemperatur

I databladet for armaturen har leverandøren oppgitt at fargetemperaturen for armaturen skal ligge på 4000 kelvin. Som en kan se i kapittel 9.3.4 varierer fargetemperaturen mellom 4187 kelvin til 4317 kelvin, avhengig av dimmenivå, under målingene. Dette må anses som relativt stabile verdier for fargetemperaturen avhengig av dimmenivået. Selv om alt lys var slått av i rommet og at måleinstrumentet sto fastmontert på et stativ, kan disse små endringene være et resultat av feilkilder. Her tenkes det spesielt på føttene til stativet som var noe ustø og det faktum at måleinstrumentet måtte berøres hver gang en ny måling skulle gjøres. Som følge av den stabile fargetemperaturen på tross av dimming, kan det sies at Thorn R2L2 lever opp til påstandene (nevnt i kapittel 3.3) om at LED ikke har fargeforvrenging som følge av dimming.

### 10.3.4 Belysningsstyrken på veidekket

Målingene som ble utført på belysningsstyrken resulterte i et gjennomsnittlig belysningsstyrkenivå på 32,13 lux i veibanen. Dette er over kravet om et gjennomsnittlig belysningsstyrkenivå på minst 30 lux, dersom lysanlegget skal tilfredsstillende kravene til motorveier. Det må likevel trekkes fram at det er et par feilkilder som kan ha påvirket resultatet fra disse målingene.

Den største feilkilden, og som helt klart har påvirket målingene i betydelig grad, er løvtrærne som omkranset lysmastene. I tillegg til å påvirke måleresultatene ved å kaste skygge over veibanen, var bladene våte, noe som resulterte i gode refleksjonsegenskaper for bladene. Dette kan igjen påvirket resultatene ved å reflektere lyset til ulike steder avhengig av posisjonen til greinene. Det faktum at trærne påvirket målingene kom tydelig fram under den praktiske utførelsen av målingene. Med den svale brisen som sørget for at greinene på trærne beveget seg, kunne lux-verdien i et målepunkt variere med pluss/minus 3-4 lux på det meste, avhengig av vinden. Påvirkningen fra trærne kan også ses tydelig i konturdiagrammet i kapittel 9.3.5, hvor lysfordelingen ikke er som forventet (jf. Figur 9.2 som viser belyningsstyrken til SpeedStar).

Den andre feilkilden som kan ha hatt innvirkning på måleresultatene er fasadebelysningen til henholdsvis Realfagsbygget og bygget for materialtekniske laboratorier. Dersom fasadebelysningen påvirker målingene, vil dette være i en lux-økende grad. Dette vil medføre at belyningsstyrken som er målt på veidekket er noe høyere enn hva Thorn-armaturene faktisk leverer.

På tross av de nevnte feilkildene kan det trekkes noen slutninger fra målingene. På bakgrunn av at det antas at løvtrærne har hatt større innvirkning på måleresultatene enn fasadebelysningen, og at løvtrærne påvirker målingen i en negativ retning (lavere lux) mens fasadebelysningen påvirker i en positiv retning (høyere lux) kan det antas at gjennomsnittsverdien for belyningsstyrken vil være noe høyere enn hva målingene tilsier. Dette tatt i betraktning vil målingene, på tross av feilkildene, verifisere at lysarmaturene i anlegget tilfredsstiller kravene knyttet til MEW1-klassen (motorvei).

## 10.4 Videre arbeid

Som følge av at armaturene og lampekontrollerne til Q-free ikke ble brukt i denne masteroppgaven, men likevel vil bli i disposisjon for universitetet, ville det vært av interesse både å sett på funksjonaliteten til ZigBee-grensesnittet som lampekontrollerne operer på, samt hvordan ytelsen til armaturene er. Armaturene er av interesse på bakgrunn av det høye lysutbyttet (180 lm/w) som leverandøren oppgir i sine datablad.

Alle lampekontrollerne som er i bruk i testanlegget i dag tilbyr funksjoner som muliggjør overvåkning av den respektive armaturen. Det ville derfor vært interessant å sett på hvordan dette kan tas i bruk, enten gjennom segmentkontrolleren til LuxSave eller ved bruk av en egen node som samler og logger disse dataene.

For en nærmere og dypere analyse av lystilbakegangen til SpeedStar-armaturene ville det vært interessant å utføre flere målinger på et senere tidspunkt. Både for å danne seg et klarere bilde av den reelle lystilbakegangen, og for å se om lystilbakegangen er lineær eller ikke. Det kunne også vært interessant å utført målinger både før og etter at vedlikehold på armaturen er blitt utført, for å se i hvilken grad vedlikehold påvirker resultatet.



På bakgrunn av at det utført målinger på belysningsstyrken på armaturene (Thorn R2L2) mellom mast en og to, kunne det også vært av interesse å sett på lystilbakegangen for disse armaturene i fremtiden. Det vil også være av interesse å finne ut den faktiske lysfluksen og lysutbyttet til armaturen ved å få kalibrert lyskilden som armaturen er målt imot. Det ville også vært interessant å sett på luminansjevnheten til Thorn-armaturene, noe som dessverre ikke ble prioritert i denne oppgaven.



# 11 Konklusjon

Nedenfor følger konklusjonene som kan trekkes på grunnlag av rapporten.

- ❖ Lampekontrollere som benytter Powerline med LonTalk-protokollen som kommunikasjonsmetode lar seg enkelt integrere opp mot andre styresystemkomponenter som følger samme kommunikasjonsmetode, og har følgelig tilfredsstillende interoperabilitet. Det er likevel nødvendig med god og åpen kommunikasjon mellom leverandørene og styresystemdesigner for å sikre riktig og best mulig funksjonalitet.
- ❖ Majoriteten av lampekontrollere, med ZigBee-grensesnitt, som eksisterer på markedet i dag har proprietære løsninger som vanskeliggjør interoperabilitet mot andre leverandørers komponenter uten at tekniske tilpasninger gjøres hos minst en av partene. Leverandørene, innen ZigBee-segmentet, sin vilje til dele informasjon om systemene sine og dermed åpne opp for interoperabilitet mot andre leverandører virker liten.
- ❖ Informasjonsinnhenting som er utført i forbindelse med denne masteroppgaven peker mot at det per i dag ikke eksisterer noen gateway mellom powerlinekommunikasjon og ZigBee-kommunikasjon. Følgelig kan lampekontrollere som benytter Powerline, og lampekontrollere som benytter ZigBee, ikke kombineres ute i anlegget uten at kommunikasjonen går direkte fra hver av de to kommunikasjonsgrensesnittene og inn til segmentkontroller.
- ❖ Interoperabiliteten mellom lampekontrollere og armaturer, fra ulike leverandører er avhengig av hvilket styregrensesnitt som benyttes for hver av de to. Dersom den aktuelle lampekontrolleren og armaturen benytter samme styregrensesnitt (DALI eller 1-10 V) anses interoperabiliteten som tilfredsstillende. Her må det likevel tas hensyn til at den analoge styringsmetodikken (1-10 V) kan variere med hensyn på hvilket lysnivå de ulike spenningsnivåene representerer.
- ❖ Philips SpeedStar-armaturene har siden installasjonen i 2011 tilsynelatende hatt en lystilbakegang på 4,9 %. Dersom denne lystilbakegangen fortsetter lineært vil levetiden, antallet timer armaturen klarer å levere over 70% av nyinstallert lysfluks, ende på 100 000 timer.
- ❖ Armaturen Thorn R2L2 ser ut til å levere resultater som oppgitt fra leverandør. Bortsett fra lysfluks og lysutbytte, som ikke er funnet grunnet mangelen på referanselyskilde, er både effektforbruk, overharmoniske, fargetemperatur og belysningsstyrke innenfor hva en forventer av LED som lyskilde og dagens krav til veibelysning.



## Litteraturliste

1. **Citylone.** *Citylone*. [Internett] 2015, [sitert 14.05.2015] <http://www.citylone.com/en/>.
2. **Wanvik, Per Ole**, Sjefsingeniør i Statens Vegvesen, Forelesning under Outdoor Lighting Seminar: 09.10.14
3. **Philips Lighting.** *Outdoor lighting controls*. [Internett] [sitert 07.11.2014] [http://www.lighting.philips.com/main/products/controls/outdoor\\_products.wpd](http://www.lighting.philips.com/main/products/controls/outdoor_products.wpd).
4. **Eshack, Ansiya, Manju Bhaskar, og Smitha KM**, *Review of LED lights & its comparison with other lighting lamps*. 2014.
5. **Echelon**, *Oslo street lighting systems slashes energy use with LonWorks network*. 2014, Echelon: <http://www.echelon.com/assets/blt90a1f2966b4dcfc1/Lighting-City-of-Oslo-Street-lighting-case-study.pdf>.
6. **Larsen, Pål J**, *Energy savings in Road Lightning*, Institutt for Elkraftteknikk. 2013, NTNU: Trondheim.
7. **Pedersen, Erik**, *Styring og dimming av veibelysning*. 2014, Institutt for Elkraftteknikk: NTNU.
8. **Vegdirektoratet**, *Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning - Veiledning V124*. 2014, Statens Vegvesen.
9. **Bjørset, Hans-Henrik og Eilif Hugo Hansen**, *Lysteknikk*. 2003, Trondheim: Classica. X, 258 s. : ill.
10. **Vegdirektoratet**, *Veg- og gateutforming - Håndbok N100*. 2014, Statens Vegvesen.
11. **Wanvik, Per Ole og Allan Ruberg**, Artikkel i bladet LYS (4/2014) som enda ikke er utgitt, Tilsendt over e-post: [per.wanvik@vegvesen.no](mailto:per.wanvik@vegvesen.no), November 2014
12. **Larsen, Pål J**, Doktor ingeniør i Norconsult, E-post korrespondanse gjennom året: 12.03.15
13. **Knain, Merete**, Seniorrådgiver i Enova, Samtale under Outdoor Lighting Seminar: 09.10.14
14. **Kothe-Næss, Tomas**, *Trondheim har sett ledlyset*, *Adressavisen*. 2014, Adressavisen.
15. **Oslo kommune.** *Dynamic street lighting can cut energy use by 70%*. [Internett] 18.02.2014 [sitert 18.02.2014] [http://www.oslo.kommune.no/english/environment/climate\\_and\\_energy/effective\\_measures\\_/article229486-65018.html](http://www.oslo.kommune.no/english/environment/climate_and_energy/effective_measures_/article229486-65018.html).
16. **Vadseth, Ragnar.** *LED-veily Asker kommune*. [Lysbildepresentasjon] 2011, [sitert 18.02.2015] [http://www.lyskultur.no/doc/20111208\\_vadseth.pdf](http://www.lyskultur.no/doc/20111208_vadseth.pdf).
17. **The Royal Swedish Academy of Sciences**, *Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2014*. 2014.

18. **Dansk Center for Lys for Elsparefonden i Danmark**, *Lysdioder til belysning 2010 - Status for fremtidens lyskilde (norsk versjon)*. 2009 (oversatt 2010): Lyskultur.
19. **Cree Inc.** *Cree First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier*. [Internett] 2014, 26.03.2014 [sitert 05.02.2015] <http://www.cree.com/News-and-Events/Cree-News/Press-Releases/2014/March/300LPW-LED-barrier>.
20. **Glamox**, *LED Fremtidens lyskilde - Ti ting du bør vite om LED*. 2013.
21. **Held, Gilbert**, *Introduction to light emitting diode technology and applications*. 2009, Boca Raton: CRC Press. xv, 170 s. : ill.
22. **Nikolaisen, Per-Ivar**, *Her er grunnen til at Oslo satte full stopp på LED-utbyggingen*, *Teknisk Ukeblad*. 2013: <http://www.tu.no/kraft/2013/06/17/her-er-grunnen-til-at-oslo-satte-full-stopp-pa-led-utbyggingen>.
23. **Heide, Jørgen Anker-Rasch**, *LED for vei- og gatebelysning*, Institutt for Elkraftteknikk. 2011, NTNU: Trondheim.
24. **Sand, Kjell**, *Overharmoniske i kraftnettet*. 2008, SINTEF: SINTEF.
25. **Philips Lighting**. *MileWide Large LED*. 2014, [sitert 26.10.2014] [http://www.ecat.lighting.philips.no/l/utendørs-belysning/vei-og-bybelysning/vei-og-byarmaturer/milewide2-led/milewide2-large/910505016224\\_eu/](http://www.ecat.lighting.philips.no/l/utendørs-belysning/vei-og-bybelysning/vei-og-byarmaturer/milewide2-led/milewide2-large/910505016224_eu/).
26. **E-street**. *Work Package 5.4*. 2008, [sitert 15.02.2015] <http://www.e-streetlight.com/Documents/WP%20FINAL/WP%20D5.4%20Comprehensive%20report.pdf>.
27. **Lio, Ståle**, *Sammenligning av styringsstrategier, og funksjonalitet med AMS i veglysanlegg*, Institutt for Elkraftteknikk. 2012, NTNU: Trondheim.
28. **Solli, Morten og Frank Johnsen**. *ZigBee: nye bluetooth?* 2007, [sitert 10.02.2015] <http://www.idg.no/kunnskapscenter/nettverkTelekom/traadlosnett/article55849.ece>.
29. **Tommelstad, Einar Jochum Rånes**, *Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veilyssystemer*, Institutt for Elkraftteknikk. 2009, NTNU.
30. **Wikipedia**. *Ethernet*. [Internett] 14.11.2014 [sitert 10.02.2015] <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
31. **Jansen, Vegar**. *Mobilteknologiens ABC*. 2009, [sitert 18.02.2015] <http://www.dinside.no/785000/mobilteknologiens-abc>.
32. **Johnsen, Ragnar, Paul Bjørn Andersen, og Gunnar Stette**. *GPRS*. 2009, [sitert 03.02.2015] <https://snl.no/GPRS>.
33. **Berrios, Victor**, Director of ZigBee Certified, [vberrios@zigbee.org](mailto:vberrios@zigbee.org), Våren 2015
34. **Buckland, Mark**, Manager of Customer Service, [mark@echelon.co.uk](mailto:mark@echelon.co.uk), Våren 2015
35. **TALQ**. *Hjemmeside*. [Internett] 2015, [sitert 15.04.2015] <http://www.talq-consortium.org/>.

36. **Lysbladet.** *Datek Wireless skiller ut lysstyringsvirksomheten i eget selskap.* [Internett] 2014, [sitert 04.11.2014] <http://www.lysbladet.no/datek-wireless-skiller-ut-lysstyringsvirksomheten-i-eget-selskap.5477510-237980.html>.
37. **Datek.** *DLC - Funksjoner og muligheter.* [Internett] 2012, [sitert 04.11.2014] [http://datek.no/downloads/DLC%20-%20Funksjoner%20og%20muligheter%20V0.2\\_20120609.pdf](http://datek.no/downloads/DLC%20-%20Funksjoner%20og%20muligheter%20V0.2_20120609.pdf).
38. **Westgaard, Ketil,** Datek Light Control, Kommunikasjon over e-post: ketil@datek.no, November 2014
39. **Datek.** *Produktkatalog lysstyring.* [Internett] 2009, [sitert 04.11.2014] <http://datek.no/downloads/Produktkatalog%20Lysstyring.pdf>.
40. **Karlsen, Jarl,** CEO LuxSave, Diverse samtaler: jarl.karlsen@luxsave.com, Våren 2015
41. **Siteco.** *The tradition of light.* [Internett] [sitert 10.11.2014] <http://www.siteco.com/en/company/company-profile.html>.
42. **Jarsve, Trygve,** Prosjektingeniør i Osram, Kommunikasjon over e-post: <http://www.siteco.com/en/company/company-profile.html>, Våren 2015
43. **Osram.** *Street Light Control: Innovative Light Control.* [Internett] 2014, [sitert 05.11.2014] <http://www.osram.no/media/resource/HIRES/341262/6195320/street-light-control-innovative-light-control.pdf>.
44. **Philips Lighting.** *About.* [Internett] [sitert 07.11.2014] <http://www.philips.no/about/company>.
45. **Elcom.** *Products - Download.* [Internett] 2015, [sitert 13.04.2015] [http://elcombgd.rs/index.php?page=proizvod\\_download&id=14&lang=en&subsub=4](http://elcombgd.rs/index.php?page=proizvod_download&id=14&lang=en&subsub=4).
46. **Schreder.** *Owlet Smart Solutions.* [Internett] 2014, [sitert 18.11.2014] <http://www.schreder.com/be-en/AboutUs/Schreder-owlet-remote-management/Pages/default.aspx>.
47. **Grzanka, Marcin,** Senioringeniør i Schreder, Kommunikasjon over e-post: mgrzanka@schreder.com.pl, November 2014
48. **Owlet.** *Intelligent Street Lighting.* [Internett] [sitert 18.11.2014] <http://owlet-streetlight.com/>.
49. **Thorn Lighting.** *Thorn Lighting hjemmeside.* [Internett] 2015, [sitert 10.11.2014] <http://www.thornlighting.no/no-no/om-oss>.
50. **Øien, Hans,** Teknisk sjef i Thorn Lighting, Kommunikasjon over e-post: Hans.Oien@zumtobelgroup.com, Februar 2015
51. **Swarco.** *Swarco Citylight.* [Internett] 2015, [sitert 14.05.2015] <http://www.swarco.no/Hva-kan-vi-bidra-med/Effektiv-belysning/Belysningsstyring/SWARCO-CITYLIGHT>.
52. **Olsen, Steinar,** Datek Light Control, Kommunikasjon over e-post: so@datek.no, Februar 2015

53. **Gabriel, Olivier**, General Manager i Schreder, Kommunikasjon over e-post: Våren 2015
54. **Kjaer, Lars**, Swarco, Kommunikasjon over e-post: lars.kjaer@swarco.com, Februar 2015
55. **Steinsland, Bjørn Rune**, Sales Manager Outdoor Lighting, Kommunikasjon over epost: Bjorn.Steinsland@philips.com, Mars 2015
56. **PRC Krochmann**. *Sphere Photometer 1010 Data Sheet*. [Internett] 2001, [sitert 07.05.2015] <http://www.prc-krochmann.com/images/Downloads/1010neu.pdf>.
57. **McCamy, C. S.**, *Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates*. 1992.
58. **Ellingsrud, Henriette**, *Design av Smarthus*, Institutt for Elkraftteknikk. 2015, NTNU.



## Vedleggsliste

<b>Nr</b>	<b>Hva:</b>	<b>Tittel:</b>	<b>Format:</b>
1.	Skjema	Måleinstrumenter	[PDF]
2.	Skjema	Oversikt over styresystemet til leverandørene	[PDF]
3.	Datablad	Philips SpeedStar	[PDF]
4.	Datablad	Oppgitt lystilbakegang til Philips SpeedStar	[XLSX]
5.	Måledata	Målt lystilbakegangen til Philips SpeedStar	[XLSX]
6.	Datablad	Q-free Elcom	[PDF]
7.	Datablad	Thorn R2L2	[PDF]
8.	Datablad	Citylone SL31 smart controller for smart lighting	[PDF]
9.	Datablad	Citylone SL31 remote management	[PDF]
10.	Datablad	Citylone SL 31 software documentation	[PDF]
11.	Datablad	Philips OLC LLC7040	[PDF]
12.	Måledata	Ytelsen til Thorn R2L2	[XLSX]
13.	LonMaker-fil	SL31-EDA4.XIF	[XIF]
14.	Skjerm bilde	Styresystemet sett i LonMaker	[BMP]

Vedlegg nummer 1 kan finnes bakerst i denne rapporten. Resten av vedleggene befinner seg i den vedlagte ZIP-filen. Filen kan lastes ned fra DAIM-systemet.

## Vedlegg 1: Måleinstrumenter

<b>Hva:</b>	<b>Modell:</b>	<b>NTNU serienummer:</b>
Vekselspenningskilde brukt til effektmålinger	Philips Variac	Elkraft NTNU B01-0304
Stabil likespenningsskilde brukt til lysfluksmåling	GPR-30H10	Elkraft NTNU B02-0354
Stabil vekselspenningskilde brukt til lysfluksmåling	Wandel Goltermann WS-10	Elkraft NTNU B1-234
Måleshunt for strømmåling ved lysfluksmåling	H&B Måleshunt 0,1 $\Omega$	L1-47
Power Quality Analyzer	Fluke 43	SINTEF AS H02-0110
Strømtang til PQA	Fluke	Elkraft NTNU I04-0378
Digitalt wattmeter	Metrix PX120	Elkraft NTNU E01-0389
Digitalt multimeter	HP 3438A	
Luminansmeter	Minolta CS 100-A	Elkraft NTNU N03-0058
Luxmeter	LMT Pocket-Lux	Elkraft NTNU N03-0033
Relativ lysfluks måler		Elkraft NTNU P-29