

Sammenligning av styringsstrategier, og funksjonalitet med AMS i veglysanlegg

Ståle Lio

Master of Science in Electric Power Engineering
Innlevert: Juni 2012
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Opppgavetekst

Belysning er et viktig sikkerhetstiltak for trafikken på veger og gater. Samtidig er belysning dyrt, både i forhold til investeringer, vedlikehold og energiforbruk. NTNU har flere prosjekter for kommuner (Oslo og Trondheim) samt Statens Vegvesen, der strategier for å redusere kostnadene er vurdert. Enova støtter prosjektene.

Fullskala testanlegg er etablert både i Trondheim (sørlige del av Høgskoleringen) og i Oslo-området (Oppsal og Sandvika), med toveiskommunikasjon basert på LonWorks over powerline til hver enkelt armatur. Med testanleggene kan ulike styringsstrategier evalueres. Denne oppgaven baseres på testanlegget i Høgskoleringen.

I henhold til endringer i *Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester* i 2011, skal det installeres Avanserte måle- og styringssystem (AMS) i alle målepunkt innen 1.1.2017. I den forbindelse er det aktuelt å utrede hvilke muligheter og begrensninger innføring av AMS vil medføre i forhold til veglysanlegg.

Kandidaten skal:

- Utrede fordeler og ulemper ved tre styringsstrategier for vegbelysning; fotocelle, astronomisk ur og behovsstyring.
- Sammenligne energibruk og energisparepotensial for de tre styringsstrategiene.
- Utføre en fagstudie rundt AMS generelt samt status for AMS-teknologi og –løsninger for veglysanlegg.
- Kartlegge bruksområder for informasjonen tilgjengelig via AMS for overvåkning og styring av veglysanlegg.

Oppgaven gitt: 16. januar 2012

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen

FORORD

Denne rapporten er et resultat av prosjektarbeid i emnet TET4910 Masteroppgave våren 2012 ved NTNU. Oppgaven bygger videre på fordypningsprosjekt fra høsten 2011 samt tidligere prosjekt- og hovedoppgaver ved institutt for elkraftteknikk ved NTNU.

For å få fullt utbytte av rapporten kreves det noe kjennskap til faguttrykk innen elektroteknikk. En nomenklaturliste med forklaringer på begreper som er benyttet er vedlagt rapporten som Vedlegg A.

Jeg ønsker spesielt å rette en takk til veileder Eilif Hugo Hansen for hjelp underveis med oppgaven og Trond Schjerven fra ÅF Norge AS som oppdragsgiver.

I tillegg ønsker jeg å takke følgende som har besvart spørsmål i tilknytning til oppgaven; Petter Kristiansen fra Veilyskompetanse AS, Eirik Bjelland fra Oslo kommune, Ketil Westgaard fra Datek samt alle andre som har bidratt med innspill.

Sted: Trondheim

Dato: 07.06.2012

Ståle Lio

SAMMENDRAG

Denne rapporten er et resultat av en masteroppgave våren 2012 ved NTNU omhandlende vurdering av styringsstrategier for veglys og tilleggsfunksjonalitet med AMS i veglysanlegg. Vegbelysning er et viktig tiltak for trafikksikkerhet, men medfører også store kostnader til investering, drift og vedlikehold. Slike kostnader er mulig å redusere ved å bytte fra konvensjonell av-/på-styring til regulering av belysning etter behov med intelligente styrings-system via toveiskommunikasjon.

Oppgaven er basert på måledata fra 9 av totalt 11 lysarmaturer i et testanlegg i Høgskole- ringen ved NTNU Gløshaugen. Armaturene er tilknyttet et intelligent styringssystem med toveiskommunikasjon over powerline med LonWorks. Styringsprogrammet for testanlegget muliggjør kontinuerlig regulering av belysningsnivå ut fra målt luminans i vegbanen sammenlignet med gjeldende krav.

Resultatene fra funksjonsprøving av testanlegget er basert på måledata fra perioden 14. januar til 31. mai 2012. Over hele perioden er det oppnådd et gjennomsnittlig pådrag til armaturene i testanlegget på 69 %. Dette har sammen med redusert brenntid på 6,5 % og 8,1 % ført til besparelser på 31,6 % (642 kWh) og 32,8 % (678 kWh) med behovsstyring, i forhold til av-/på-styring med henholdsvis fotocelle og astronomisk ur.

Funksjonalitet med eksisterende AMS-løsninger for veglysanlegg har flere likhetstrekk med intelligente styringssystem i tilknytning til overvåkning og styring. Intelligente styringssystem har imidlertid bedre muligheter for regulering av belysning, som fører til et større spare-potensial og vil gi en helhetlig bedre løsning. Bruksområder for måledata i AMS som er vurdert med størst nyttevirking i veglysanlegg er; jordfeilregistrering, deteksjon av utløste vern, deteksjon av lampeutfall basert på timesverdier for energiforbruk samt overvåkning av komponenter i tennskap.

ABSTRACT

This journal is the result of a master's thesis during the spring 2012 at NTNU and deals with evaluation of control strategies for road lighting and added functionality with AMS in road lighting installations. Road lighting is an important measure of road safety, but also leads to high costs regarding investment, operation and maintenance. Such costs are possible to reduce by switching from conventional on/off control to lighting according to demand with intelligent control systems by two-way communication.

The assignment is based on measurement data from 9 of a total of 11 luminaires in a test installation at Høgskoleringen by NTNU Gløshaugen. The luminaires are connected to an intelligent control system with two-way communication over Power Line with LonWorks. The control program for the test installation enables continuous adjustment of lighting levels according to the measured luminance of the road compared to current requirements.

The results from functional testing are based on measurement data from the period 14 January to 31 May 2012. Through the entire period it's achieved an average control signal to the luminaires in the test installation at 69 %. This has together with reduced burning time of 6,5 and 8,1 % led to savings of 31,6 % (642 kWh) and 32,8 % (678 kWh) with demand based control, compared to on/off control with photocell and astronomical clock respectively.

Functionality with existing AMS solutions for road lighting systems has several similarities with intelligent control systems regarding monitoring and control. Intelligent control systems have, however, better opportunities for regulation of lighting levels, which leads to a larger saving potential and will provide an overall better solution. Applications of measurement data in AMS that are considered with the greatest benefits in road lighting installations are; fault detection, detection of tripped circuit breakers or blown fuses, detection of lamp failures based on hourly values of energy consumption and monitoring of components in control cabinets.

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vii
1 Innledning	1
2 Vegnormaler og forskriftsgrunnlag	3
2.1 Definisjoner	3
2.2 Krav til belysning og utstyr.....	4
2.3 Energimåling og avregning	7
3 Styling og regulering av vegbelysning.....	11
3.1 Konvensjonelle styringssystem	11
3.2 Dimming av vegbelysning	15
3.3 Intelligente styringssystem	16
3.4 Teoretisk energisparepotensial med intelligente styringssystem	24
4 Testanlegget i Høgskoleringen.....	25
4.1 Lyskilder.....	25
4.2 Komponenter i styringssystemet	29
4.3 Styringsprogram	33
5 Måleresultater fra styling av vegbelysning.....	37
5.1 Resultater fra konvensjonell styling	37
5.2 Resultater fra testanlegget med luminansmeter.....	38
5.3 Sammenligning av resultater for fotocelle, astrour og luminansmeter	45
5.4 Feilsøking og avvik i testanlegget	50
6 AMS i veglysanlegg.....	53
6.1 Det norske kraftmarkedet.....	53
6.2 AMS-infrastruktur og kommunikasjon.....	55
6.3 Bruksområder for måledata og terminal i AMS.....	60
6.4 AMS-utrulling og måling i veglysanlegg.....	66
7 Diskusjon	73
7.1 Måleresultater	73
7.2 Energisparepotensial med intelligente styringssystem	74
7.3 Bruk av AMS i veglysanlegg	75
7.4 Vurdering av bruksområder og eksisterende løsninger	76
7.5 Oppsummering styringssystem for vegbelysning.....	78
7.6 Videre arbeid.....	79
8 Konklusjon	81
Referanseliste.....	83
Vedleggsliste.....	89

1 INNLEDNING

Hovedformålet med vegbelysning er å redusere ulykkesrisiko i mørke på veger og i gater. I tillegg til de fordelene som oppnås når det gjelder sikkerhet, må det også tas i betraktning at veglysanlegg kan ha store effektbehov som medfører store kostnader både når det gjelder investering, drift og vedlikehold. For å redusere eller begrense slike kostnader benyttes sparetiltak i form av styringsstrategier, som kan være med konvensjonelle system som fotocelle eller mer avanserte system med toveiskommunikasjon (TVK) som kalles intelligente eller behovsstyrte.

I Høgskoleringen ved NTNU Gløshaugen er det et testanlegg bestående av 11 lysarmaturer, hvorav 6 er gassutladningslamper og de 5 resterende er LED-armaturer. 10 av armaturene er tilknyttet et intelligent styringssystem og styres via bussystemet LonWorks, som kommuniserer med armaturene over eksisterende strømkabler. Gjennom en masteroppgave ved NTNU i 2004, ble det utviklet et logisk styringsprogram for testanlegget. Programmet ble utviklet for å muliggjøre kontinuerlig regulering av belysningsnivå ut fra målt luminans i vegbanen sammenlignet med daværende krav i Statens Vegvesens vegnormal. Dette styringsprogrammet har blitt videreutviklet i senere prosjekt- og hovedoppgaver av studenter ved NTNU og oppdatert mot nye krav i vegnormalen. I forbindelse med fordypningsprosjekt høsten 2011 ble testanlegget satt i drift og funksjonstestet for å benyttes i videre arbeid med denne masteroppgaven.

Med bakgrunn i det er hovedmålet med denne oppgaven å finne energisparepotensial med intelligente styringssystem for vegbelysning i forhold til konvensjonelle. Dette skal utføres ved å logge inn- og utkoblingstider for testanlegget i Høgskoleringen samt et lokalt fotocelleanlegg, i tillegg til logging av tider for soloppgang og solnedgang fra astronomisk ur (astrour). Verdiene skal danne grunnlag for beregning av energiforbruk. Som bakgrunn for sammenligning mellom styringsstrategiene skal det utføres en fagstudie for å utrede fordeler og ulemper ved bruk av henholdsvis fotocelle, astrour og intelligente styringssystem.

I forbindelse med endring i *Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester* i 2011, angående Avanserte måle- og styringssystem (AMS), skal det utredes hvilke muligheter og begrensninger innføring av AMS i veglysanlegg vil medføre. Det skal kartlegges hvilke fordeler bruk av informasjonen tilgjengelig via AMS vil ha for eiere av veglysanlegg, ved å utrede tilleggsfunksjonalitet innen overvåking og styring.

Rapporten begynner med en utledning av krav til belysning og utstyr basert på Statens Vegvesens vegnormaler, etterfulgt av forskriftsgrunnlag for energimåling og AMS. Videre er rapporten delt inn i to hovedtemaer; styring av vegbelysning og AMS. Del én omhandler sammenligning av styringsstrategier for vegbelysning, beskrivelse av testanlegget samt måleresultater fra styringsstrategiene. Del to omhandler beskrivelse og oppbygning av AMS, tilleggsfunksjonalitet, samt status for teknologi og utbygging av AMS. Det vil bli utført noen diskusjoner underveis i kapittel 5 omhandlende måleresultater, i tillegg til en oppsummerende diskusjon etterfulgt av konklusjon til slutt i rapporten.

2 VEGNORMALER OG FORSKRIFTSGRUNNLAG

Hovedformålet med vegbelysning er trafikksikkerhet og bør utbygges der innsparte ulykkeskostnader oppveier kostnader til anlegg og drift [1]. Krav til veglysanlegg er angitt i Statens Vegvesens vegnormaler som har hjemmel i forskrift etter veglovens § 13 om anlegg av offentlig veg. Vegnormalene er gjeldende for alle offentlige veger og gater.

Belysning for andre formål enn sikkerhet i trafikken, som trygghet og trivsel, har lavere prioritet slik at det ikke er oppgitt noen direkte krav til belysning for slike formål. Likevel blir slikt tatt med i betraktningen ved planlegging av veglysanlegg i boligområder med mindre trafikk. Viktige faktorer angitt i vegnormalene og i forskrifter er definisjoner på vegtyper, krav til belysningsstyrke og utstyr, samt krav til energiforbruk.

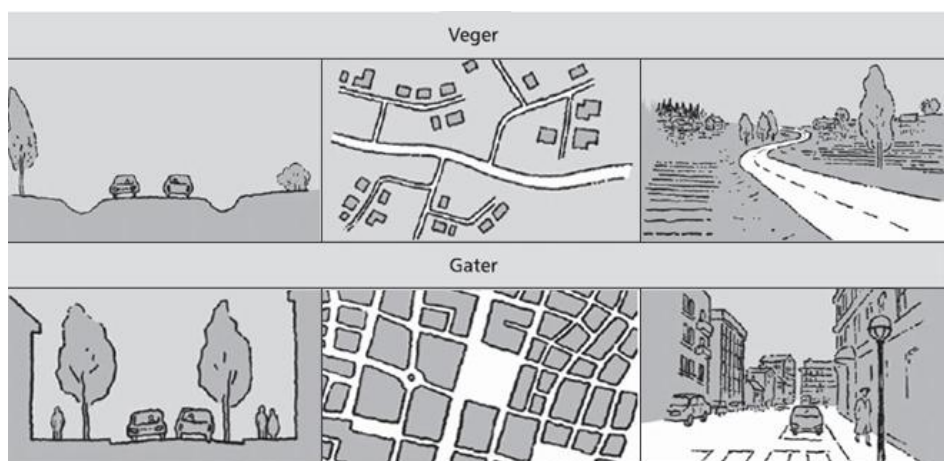
2.1 Definisjoner

Krav til belysning langs veger og gater er avhengig av faktorer som trafikkmengde og type vegstrekning i gjeldende område. Dette kapittelet beskriver de viktigste faktorene og er basert på definisjoner i Statens Vegvesens håndbok 017 [1].

2.1.1 Definisjon av gate og veg

For fastsettelse av krav til belysning er det nødvendig med en definisjon på om det gjelder en veg eller gate, siden disse utformes etter ulike prinsipper. I åpne landskap utenfor og i randsonen rundt byer og tettsteder benyttes veger, som kjennetegnes ved høyere fartsgrenser og lengre strekninger. Ved store trafikkmengder innenfor bygrenser kan veger benyttes som et overordnet nett for gjennomgående trafikk.

I sentrum av byer og tettsteder, samt sentrumsnære boligområder benyttes gater. Det som kjennetegner en gate er at bygninger, gjerder eller plantevekster langs gaten danner vegger som former visuelt avgrensede områder. Figur 2-1 viser særtrekk som angir skille mellom gate og veg.



Figur 2-1: Særtrekk ved veger og gater [1]

Veger er videre inndelt i dimensjoneringsklasser for vegtyper med angitt trafikkmengde og krav til belysning. Dimensjoneringsklassene er angitt med én eller to bokstaver som angir type veg, etterfulgt av et tall som angir videre inndeling ut fra trafikkmengde og fartsgrense. Grovinndelingen av dimensjoneringsklassene er som følger:

- **S** = Stamveger og andre hovedveger
- **H** = Andre hovedveger
- **Sa** = Samleveger
- **A** = Atkomstveger

Videre inndeling av dimensjoneringsklassene er vist i Vedlegg B.

2.1.2 Årsdøgntrafikk (ÅDT)

Som et mål på dimensjonerende trafikkmengde på en veg eller i ei gate benyttes årsdøgntrafikk (ÅDT), som er gjennomsnittlig antall kjøretøy som passerer et punkt i løpet av et døgn. Antall passeringer beregnes over et år og divideres med antall dager i året for å finne gjennomsnittet per døgn. Trafikkmengde kan måles med trafikksensorer og kan benyttes som en styringsparameter for regulering av belysningsnivå i et behovsstyrt lysanlegg.

2.2 Krav til belysning og utstyr

Ut fra fastsatt vegtype og trafikkmengde kan krav til belysningsutstyr og belysningsstyrke bestemmes. I Vedlegg B er det vist hvilke vegtyper som krever belysning.

2.2.1 Belysningsklasser

I tillegg til kravene i Vedlegg B som angir hvor det kreves belysning, er det utarbeidet generelle krav til belysningsstyrke ut fra inndelte belysningsklasser. Følgende belysningsklasser er gjeldende for norske forhold [2]:

- **MEW:** Veger og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere.
- **CE:** Veger og gater med fartsgrense 30 km/t. I tillegg konfliktområder som komplekse kryss, rundkjøringer, gangfelt, områder med kø, ferjekaier og bomstasjoner.
- **S:** Fortau, gang- og sykkelveger, parkeringsplasser og skolegårder.

Hver belysningsklasse er angitt med bokstavkode for vegtype etterfulgt av et tall, der lavere tall representerer strengere krav. Inndeling av belysningsklasser i henhold til gjennomsnittlige verdier for luminans og belysningsstyrke er vist i Tabell 2-1. Oppgitte krav for luminans og belysningsstyrke er verdier medregnet vedlikeholdsfaktor på 0,8.

Tabell 2-1: Inndeling av belyningsklasser i henhold til lysnivå [2]

Belysningsklasse	CE0	MEW1	MEW2	MEW3	MEW4	MEW5			
		CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
				S1	S2	S3	S4	S5	S6
Belysningsstyrke [lux]	50	30	20	15	10	7,5	5	3	2
Luminans [cd/m ²]		2	1,5	1	0,75	0,5			

Det skal vurderes om belysningen kan nedreguleres i tidsrom med mindre belyningsbehov [2].

2.2.2 Belysning i veger

Tabell 2-2 viser valg av belyningsklasser for veger i henhold til ÅDT. For veger klassifisert som CE velges krav til belyningsklasse MEW ut fra Tabell 2-2 og tilsvarende CE-klasse ut fra Tabell 2-1.

Tabell 2-2: Valg av belyningsklasse MEW for veger [2]

ÅDT	< 1 500	1 500 – 4 000	4 000 – 8 000	8 000 – 12 000	> 12 000
Klasse med midtdeler		MEW3	MEW3	MEW3	MEW3
Klasse uten midtdeler	MEW4	MEW3	MEW2	MEW2	MEW2

Tabell 2-2 viser at veger med midtdeler har et lavere belyningskrav enn veger uten midtdeler. Dette er pga. at disse vegene normalt har et enklere trafikkmiljø, ved at trafikk i hver retning er adskilt. I tilfeller der gang- og sykkelveg går parallelt med hovedvegen, skal hovedvegen belyses i samsvar med Tabell 2-2, samtidig som krav til belysning på gang- og sykkelvegen opprettholdes i henhold til Tabell 2-1. Ved dimming av belysning er det i nedregulert tilstand krav til minimum MEW4 uten midtdeler og MEW5 med midtdeler, som tilsvarer henholdsvis 0,75 og 0,5 cd/m² [2].

2.2.3 Belysning i gater

Gater har ofte mindre trafikkmengder enn veger, men gater i boligområder med mindre trafikk bør belyses av hensyn til trivsel og allmenn sikkerhet [2]. Gater i tettbebygde områder blir delvis belyst fra belysning tilhørende hus, som gir et ekstra bidrag til gatebelysningen.

Tabell 2-3 viser valg av belyningsklasser for gater i henhold til ÅDT.

Tabell 2-3: Valg av belyningsklasse MEW for gater [2]

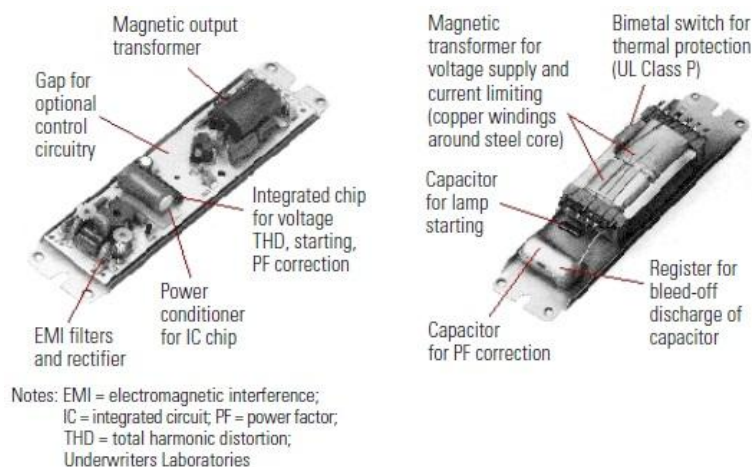
ÅDT	< 1 500	1 500 – 4 000	4 000 – 10 000	10 000 – 15 000	> 15 000
Belysningsklasse	MEW3	MEW3	MEW2	MEW2	MEW2

2.2.4 Krav til lysarmaturer

Ved valg av lysarmaturer for vegbelysning er kriterier som virkningsgrad, blending, kapsling, utseende samt egenskaper som omfatter funksjonalitet under drift og montasje viktig å ta hensyn til. Armaturene skal ha kapsling som minst tilsvarer IP65 for lampehus og IP44 for forkoblingsutstyr. Forkoblingsutstyret bør lett kunne skiftes og det bør være en løsning for at armaturen kan gjøres spenningsløs ved vedlikehold. Det stilles krav til fasekompensering, der effekt faktoren ($\cos(\varphi)$) skal være høyere enn 0,9 [2]. Armaturen skal vris for å følge vegbanen for å redusere blending. Ved valg av lyskilder til veglysanlegg er det viktig med lang levetid for å redusere kostnader med lampeskift.

2.2.5 Forkoblingsutstyr

Forkoblingsutstyr finnes i to typer; konvensjonelt magnetisk og elektronisk. Nye veglysanlegg bør ha elektronisk forkoblingsutstyr på grunn av lavere tap enn med konvensjonelt, og skal benyttes dersom det finnes for aktuell lampestørrelse [2]. Lyskilder med magnetisk forkoblingsutstyr drives av nettspenningen på 50 Hz, som betyr at de tennes og slukkes hundre ganger i sekundet. Med elektronisk forkobling blir nettspenningen på 50 Hz omformet til en likespenning med høyere frekvens i størrelsesorden 35 000 – 40 000 Hz [3]. Dette fører til så raske svingninger at lyset oppfattes som mer kontinuerlig enn ved bruk av konvensjonelt forkoblingsutstyr. Figur 2-2 viser eksempel på henholdsvis elektronisk og konvensjonelt forkoblingsutstyr.



Figur 2-2: Eksempel på forkoblingsutstyr, elektronisk til venstre og konvensjonelt magnetisk til høyre [4]

Forkoblingsutstyr representerer et tap i effekt som må tas med i beregning av totalt energiforbruk. Ved bruk av elektronisk forkoblingsutstyr er det mulig å redusere startstrømmen til lysarmaturene. I tillegg gir elektronisk forkoblingsutstyr bedre regulering av spenningen som forlenger levetiden på armaturen. Elektronisk forkoblingsutstyr kan benyttes til styring og dimming av lyskilder. I slike tilfeller skal det baseres på kommunikasjon med åpne protokoller, f.eks. 1-10 V styringssignal [2].

2.3 Energimåling og avregning

Krav til energimåling er fastsatt av NVE i *Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester* (avregningsforskriften). I følge § 3-3 i forskriften skal energiforbruk måles i alle tilknytningspunkt [5]. I *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer* (kontrollforskriften) er tilknytningspunkt definert som; *punkt i overføringsnettet der det foregår innmating eller uttak av kraft eller utveksling mellom nettselskap* [6].

Avregningsforskriften nevner ikke spesifikt måling av veglysanlegg, men NVE har uttrykt at forbruk i slike anlegg skal måles på lik linje med andre anlegg [7]. Imidlertid er situasjonen slik at majoriteten av veglysanlegg ikke har installert egen måler og har dermed historisk sett blitt avregnet ut fra installert lampeeffekt og stipulert antall driftstimer (brenntimer), eventuelt med påslag for å kompensere for tap i nettet.

2.3.1 Energiforbruk

I utgangspunktet bestemmes energiforbruk til veglys anslagsvis ut fra valg av belysningsklasse i Tabell 2-2 og Tabell 2-3 og antall brenntimer. Andre faktorer som har betydning for energiforbruk er type forkoblingsutstyr og styringsstrategi. Alder på komponenter, størrelse på anlegg og spenningsforhold samt installert lampeeffekt vil også påvirke anleggets forbruk. Det er heller ikke uvanlig at armaturer trekker mer enn fabrikkspesifikasjon [8].

En annen viktig faktor for reelt energiforbruk i et veglysanlegg er effekttap i nettet og forkoblingsutstyr. Tap i distribusjonsnettet er anslått til ca. 7,3 % og det antas at 4 % av dette kommer fra lavspenningsnettet (fra nettstasjon og ut til sluttbruker) [9]. Avregning uten betraktninger av slike tap vil naturligvis føre til en vesentlig forskjell i beregnet forbruk. I rapporten *"Analyse av tap i veilysningsnettet"* utviklet av Norconsult i 2007, er det gitt en anbefaling for tapsprosent i umålte veglysanlegg. Den viser tap på mellom 12,5 % til 25 % avhengig av størrelse på anlegget samt type lyskilde og forkoblingsutstyr som er benyttet [7].

Det skal alltid vurderes tiltak som erstatning for eller supplement til utbygging av vegbelysning. Dette kan være lysere vegdekke, bedre oppmerking, montering av reflekser, utnytting av lys fra omgivelser i tettbebygde strøk samt overgang til mer energieffektive lyskilder [2]. Eksempelvis kan utskiftning av armaturer i gamle veglysanlegg føre til reduksjon av energiforbruk med 25-40 % [10].

2.3.2 Avregning av energiforbruk

Som nevnt under Kapittel 2.3.1 er det i tillegg til installert lampeeffekt flere faktorer som har innvirkning på reelt energiforbruk. Dermed vil avregning ut fra installert effekt og stipulert antall brenntimer være en unøyaktig metode.

I umålte veglysanlegg uten installert telleverk for brenntimer på lyskilder, fastsettes forbruk ut fra en brenntid på 4 000 timer [11]. Antall brenntimer multipliseres med installert effekt for å oppnå et anslag på energiforbruk.

Ved å benytte fotocelle eller lignende utstyr som har mulighet for registrering av brenntid, er det mulig å oppnå et mer representativt resultat.

I følge § 6-3 i avregningsforskriften skal det ved estimering av effekttap i nettet benyttes en tapsprofil som er representativ for nettet veglysanlegget er tilknyttet. Per 1.1.2008 benyttet eksempelvis Hafslund Nett et gjennomsnittlig påslag på 20 % for effekttap i nett og forkoblingsutstyr. NVE har hevdet at dette i forhold til reelle forhold ikke kan regnes som for høyt [7].

I avregningsforskriftens § 3-5 er det uttrykt at dersom det medfører urimelig kostnad eller ulempe for et nettselskap å innhente målerstand, kan energiforbruket stipuleres. I utgangspunktet gjelder dette imidlertid for anlegg der målere er installert og innhenting av måledata på gjeldende tidspunkt ikke er mulig. NVE har uttrykt at det i en overgangsperiode og der installasjon av målere vil medføre en urimelig kostnad, vil være behov for å avregne forbruk i umålte veglysanlegg [7]. Denne overgangsperioden vil være gjeldende fram til 2017 [12].

2.3.3 Endring i avregningsforskriften angående AMS

Avanserte måle- og styringssystem (AMS) omfatter energimålere med toveiskommunikasjon (TVK) i hovedsak mellom nettselskap og kunde. Det innebærer muligheter for bl.a. automatisk avlesning av forbruk og andre tilleggstjenester som varsling om feil eller avbrudd. Via den ekstrainformasjonen som AMS kan forsyne vil strømkunder kunne oppnå bedre kontroll over eget forbruk.

NVE vedtok i 2011 endringer i avregningsforskriften angående bruk av AMS. Den viktigste endringen er i § 4-1 som uttrykker at alle målepunkt skal ha installert AMS innen 1. januar 2017 [13]. I følge § 1.1 skal de nye reglene om AMS bidra til; *"korrekt avregning, nødvendig informasjon til styring av eget strømforbruk og økt mulighet for nettselskap til å effektivisere driften av nettet"* [13].

I endringene i avregningsforskriften stilles det bl.a. følgende funksjonskrav til AMS [13]:

- Måleverdier skal lagres med en innstillbar frekvens på minimum 15 minutter og maksimum 60 minutter.
- Kommunikasjon med eksternt utstyr og andre målere gjennom åpne standarder.
- Registrering og lagring av data ved spenningsavbrudd.
- Mulighet for bryting og begrensnig (struping) av effektuttak i hvert målepunkt.
- Sending og mottak av informasjon om kraftpriser samt styrings- og jordfeilsignal.
- Registrere flyt av aktiv og reaktiv effekt i begge retninger.

Bryte- og strupefunksjonene kan bl.a. benyttes ved opphør av abonnement, utkobling eller struping av effekt ved manglende betaling, hurtigere gjenoppretting ved feil eller vedlikehold samt effektbegrensning i høylastperioder [14]. AMS-enheten skal sikres mot uønsket tilgang til styrefunksjoner og misbruk av data, men teknologivalg for kommunikasjon og utførelsen av eventuell kryptering er opp til hvert enkelt nettselskap å velge [12]. I forbindelse med teknologivalg jobbes det med standardisering i EU.

Det stilles ikke krav til at andre enn nettselskapet skal ha fysisk tilgang til kommunikasjonsløsningen i AMS, slik at en forutsetning for eventuelle tilleggstenester vil være at de innføres som en naturlig utvikling ut fra tilbud og etterspørsel [12]. Nettselskapene skal derimot formidle informasjon mellom sluttbruker og kraftleverandører eller tredjepartsleverandører. Innsamling av måleverdier har første prioritet, slik at kommunikasjonsløsningen til AMS skal dimensjoneres etter kravene i § 4-3 om innhenting av forbruksdata daglig og eventuelle andre behov nettselskapene selv har [12]. Måledata skal være tilgjengelig for sluttbruker innen kl. 09.00 neste dag. Disse verdiene skal ikke være grunnlaget for økonomisk oppgjør, slik at ukorrekte data kan forekomme og enkelte måleverdier mangle som følge av tekniske feil eller driftsavbrudd [12].

§ 3-1 sier at nettselskapene er ansvarlig for alle målere og måleverdier i sitt nettområde. NVE forventer at nettselskapene åpner for alternative målerløsninger når dette anses å være best for samfunnet [12]. Med utrulling av AMS kan det bl.a. oppnås den fordelen at fastsetting av energiforbruk til veglys kan baseres på reelle timesverdier og ikke stipulert antall brenntimer.

2.3.4 Definisjon av målepunkt i veglysanlegg

Målepunkt generelt er et uttakspunkt med reell eller fiktiv måler og egen målepunkt-ID, slik at uttaket kan rapporteres inn i ukentlig balanseavregning og referansepunkt for kraftleveranse [15]. I vegbelysning defineres målepunkt som der energiuttaket for veglysmarturer starter. Som oftest vil dette være ved hovedsikringen i tennskapet [16]. I følge avregningsforskriften skal det installeres måler i alle slike punkt. Statens Vegvesen benytter ett målepunkt for hvert fordelingsskap som kan inneholde flere kurser [17].

2.3.5 Krav til elektrisitetsmålere

For elektrisitetsmålere benyttes klasseindeksene A, B eller C. For veglysanlegg benyttes målerklasse B med temperaturområde +5 °C til +30 °C. Bruksområde for klasse B er direkte-koblede målere for bruk til belysning og oppvarming av offentlig veg [18]. Ved bruk av transformator-koblede målere for veglysanlegg må målerklasse C benyttes [18].

Kravspesifikasjon fra Sintef anbefaler følgende for direkte-koblede målere [19].

- Målerklasse B.
- Antall siffer på display skal være minimum 6 siffer, ingen desimal.

3 STYRING OG REGULERING AV VEGBELYSNING

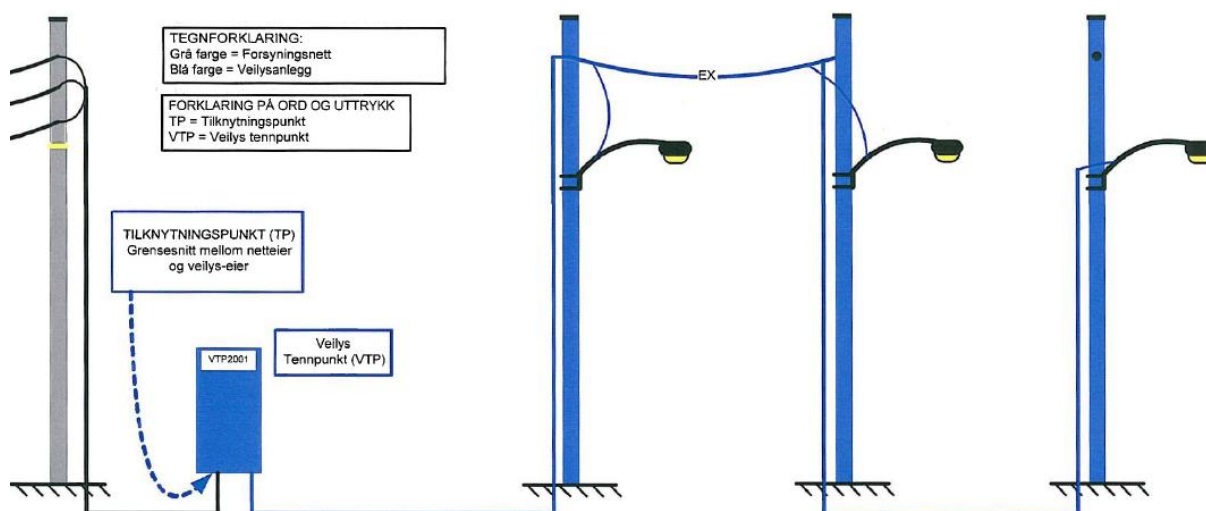
Veglysanlegg i Norge utgjør ca. 1,2 millioner veglyspunkt [20]. Totalt forbruk for utendørs belysning i Norge er anslått til 2 TWh, hvorav 760 GWh er for vegbelysning i tillegg til 140 GWh i tunneler [20]. Anslaget er basert på kvalifiserte antakelser og beregninger ut fra eksempler med målte anlegg, anleggsdata og statistisk data. Med grunnlag i disse tallene er hovedmotivet for styring av vegbelysning besparelse av energikostnader, ved justering av inn- og utkoblingstidspunkt og eventuelt endring av belysningsstyrke etter behov. Andre insentiver er at bedre regulering og nedjustering av belysningsnivå vil øke levetiden på lyskilder i tillegg til at det kan bidra til å redusere lysforurensning.

Tradisjonelt har det nesten utelukkende blitt benyttet konvensjonelle styringssystem som kun er basert på inn- og utkobling ved forhåndsinnstilte belysningsnivå eller tidspunkt. Økende fokus på ENØK og effektivitet fører til at mer avanserte styringssystem med TVK, som kalles intelligente eller behovsstyrte, bør vurderes i større grad.

3.1 Konvensjonelle styringssystem

Konvensjonelle styringssystem benytter den enkleste formen for automatisk styring; av/påstyring ved hjelp av fotocelle eller koblingsur som videre styrer kontaktorer og reléer. Med en slik styring vil alle armaturer tilkoblet samme tennpunkt (styringskap) ha konstant lysnivå på 100 %, i hele tidsperioden de er tent. Kommunikasjonen foregår kun én vei og styringssignalet kan formidles til tennpunkt via kobber- eller fiberkabler eller trådløst [21].

Styringssignal fra sentralt plasserte fotoceller eller koblingsur formidles til veglysmarturerer via tennskap, som inneholder vern og komponenter for tenning av veglysanlegget. I tillegg vil det være mulighet for manuell inn- og utkobling. Figur 3-1 viser en prinsippskisse for konvensjonell styring av veglys.



Figur 3-1: Illustrasjon av oppbygning av konvensjonell styring av veglys [22]

3.1.1 Anlegg styrt av fotocelle

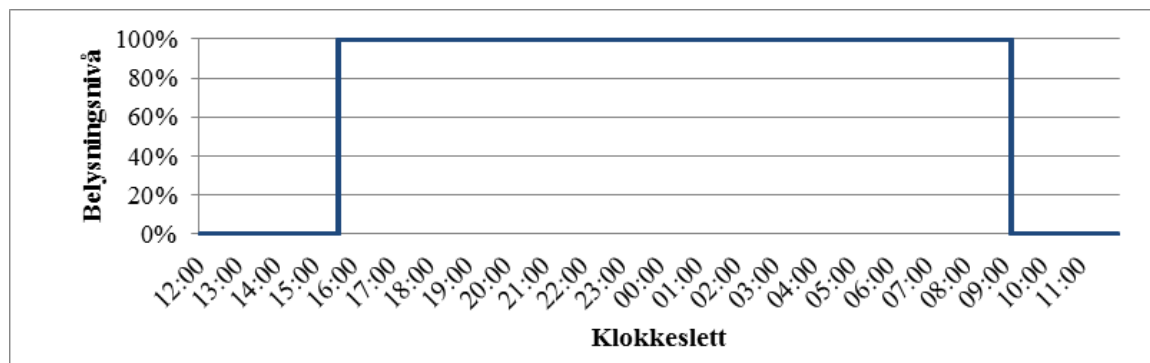
Ved bruk av fotocelle vil lyset tennes og slukkes avhengig av målt belyningsstyrke. Nivå for tenning eller slukking kan innstilles, men selve styringssignalet er kun av/på. Fotoceller for vegbelysning består normalt av en ekstern følerdel og en elektronikkdel for montering i tennskap [23]. En slik løsning gjør det enkelt å endre nivå for inn- og utkobling. Figur 3-2 viser MicroMatic FCN-2P, som er et eksempel på fotocelle med separat følerdel og relé.



Figur 3-2: Eksempel på fotocelle med separat følerdel og relé [24]

Fotoceller benyttet til styring av veglysanlegg er utsatt for en aldringsprosess som følge av temperaturendringer, lyspåvirkning og eventuelle overspenninger [23]. Derfor må fotoceller være justerbare, og eksempelvis har MicroMatic FCN-2P et luxområde på 3-300 lux [24]. Anbefalt innstilt belyningsnivå for tenning av fotocelle er mellom 20 og 30 lux, og slukking ved 20 lux [2]. Fotoceller har tidligere hatt dårlig samsvar mellom luxverdi fra leverandør og faktisk målt verdi [25]. Det er derfor anbefalt å kontrollere inn- og utkoblingstider for fotoceller ved f.eks. lampeskifting [23]. For å hindre at forstyrrelser fra andre lyskilder som billys skal påvirke fotoceller kan det legges inn en tidsforsinkelse på inn- og utkobling fra fotocellen [24]. Fotoceller bør rettes mot nord og monteres slik at forstyrrelse fra annen belysning i størst mulig grad unngås [24].

Figur 3-3 viser typisk forløp for inn- og utkoblingstider for et fotocelleanlegg ved Gløshaugen i Trondheim 19. til 20. januar 2012.



Figur 3-3: Typisk forløp for inn- og utkobling ved bruk av fotocelle

For styring av vegbelysning kan det benyttes følgende krav til fotoceller [25]:

- Tilstrekkelig innstillingsområde for inn- og utkobling med nivåindikering.
- God nøyaktighet, jevnhet og stabilitet.
- Bør gjerne ha overspenningsvern og motstandsdyktighet mot temperaturvariasjon.
- Robust mekanisk utførelse med materialer dimensjonert for ytre påvirkninger.

Foceller kan være plassert lokalt for styring av én enkelt fordeling eller sentralt for å muliggjøre kommandoer til flere fordelinger. I tilfeller der flere veglyskurser styres av samme fotocelle kan signalet fra fotocellen sendes til det første tennskapet og tenne kontaktoeren for den kursen. Spenningen føres videre til neste tennskap via den siste armaturen på kursen, som igjen tenner kontaktoeren for neste kurs [23]. Med en slik løsning er det mulig å oppnå samtidig tenning og slukking av veglyset og begrense antall fotoceller.

Styringssignalet for veglys i Trondheim kommune er på nåværende tidspunkt styrt av én enkelt fotocelle plassert sentralt i Trondheim. Med nåværende styringsenheter for veglysnettet i Trondheim er det imidlertid lagt til rette for tilkobling av flere fotoceller for å kompensere for lokale lysforhold rundt om i kommunen. Dette er foreløpig ikke implementert [26].

3.1.2 Anlegg styrt av astronomisk ur

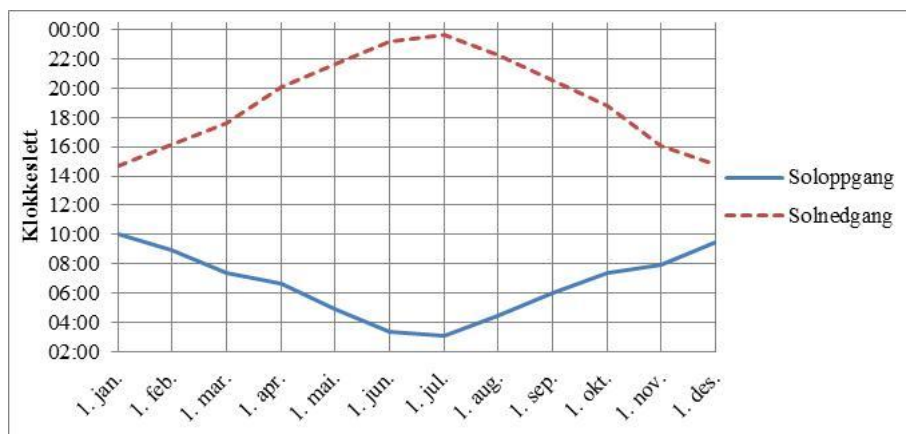
Astronomisk ur, heretter omtalt som astrour, er et elektronisk koblingsur styrt av soloppgang og solnedgang beregnet ut fra lengde- og breddegrad, dato og tidssone [27]. Astrour kan benyttes til samme formål som fotocelle, og er mye brukt til styring av veglys [16]. Astrour har derimot ikke mulighet for tenning og slukking av lyset i forhold til målt belysningsstyrke. Brenntiden vil normalt være noe høyere med astrour enn ved bruk av fotocelle [23]. Ved bruk av astrour er det ikke behov for ekstern føler som ved bruk av fotocelle. Figur 3-4 viser et eksempel på astrour fra Schneider Electric.



Figur 3-4: Eksempel på astrour fra MicroMatic [29]

Styringssystem med astrour vil ha lignende inn- og utkoblingsforløp som vist på Figur 3-3.

Figur 3-5 viser beregnede tider for solnedgang og soloppgang for hver måned i Trondheim gjennom året 2011.



Figur 3-5: Tider for solnedgang og soloppgang i Trondheim 2011 [28]

Det kan det være behov for å justere tidene for soloppgang og solnedgang i forhold til lokale belysningsforhold. Dette kan vanligvis utføres ved tidsforskyvning i innstillingene til astro-uret. Det praktiseres forskjellige forskyvninger i tid avhengig av av lokasjon i landet [26].

Dersom det er ønskelig med forskjellige styringsscenarier fra dag til dag er det mulig å legge inn egne programmer for ukedager og helgedager [29]. Det er også mulig å med automatisk skifte mellom sommer- og vintertid [29]. Koblingsur uten astrour-funksjon er ikke anbefalt for styring av veglysanlegg [23][30]. Koblingsur kan eventuelt benyttes sammen med fotocelle dersom det er ønskelig å slukke belysning i tidsrom med liten trafikk på nattetid.

3.1.3 Fordeler og ulemper med konvensjonelle styringssystem

Fordelen med kun av/på-styring er at armaturene ikke er avhengig av å ha en spesiell type forkoblingsutstyr for å muliggjøre styringen [27]. Konvensjonelle styringssystem er forholdsvis lett å drifte, siden det kreves liten påvirkning fra bruker under drift og systemet ikke har avanserte funksjoner. Driften vil også være forutsigbar i den forstand at lampeskift og annen vedlikehold kan utføres til faste tidspunkt pga. konstant belysningsnivå.

Med bruk av fotocelle vil belysningen bli bedre tilpasset vær- og dagslysforhold på stedet enn med astrour. Ved bruk av flere fotoceller kan det oppnås bedre lokal styring enn med astrour [30]. Fotoceller er imidlertid mer utsatt for aldringsprosess enn astrour og kan medføre store feil dersom de ikke holdes i orden [23]. Fotoceller er avhengig av kvalitet, siden det kan være stor forskjell i målt og innstilt belysningsnivå [25].

Fordeler med astrour i forhold til fotocelle er at det ikke er behov for installering av ekstern føler, som reduserer behov for vedlikehold som følge av ytre påvirkninger. I tillegg oppnås en forutsigbarhet i tidspunkt for tenning og slukking som lett kan forskyves etter behov.

Ulemper med konvensjonelle styringssystem er at feil på anlegget må meldes inn manuelt, slik at driftspersonell er avhengig av tilbakemeldinger fra kunder for å detektere lampeutfall. Pga. konstant maksimalt belysningsnivå når armaturene er tent vil det ikke tas høyde for endringer i vær- og føreforhold som kan føre til lysere vegdekke.

Inn- og utkoblingstider vil ofte skje ved nivå som ikke er tilpasset faktisk målt dagslysnivå. Med konvensjonelle styringssystem må nettet bygges om for å gjøre endringer eller gruppere om armaturer.

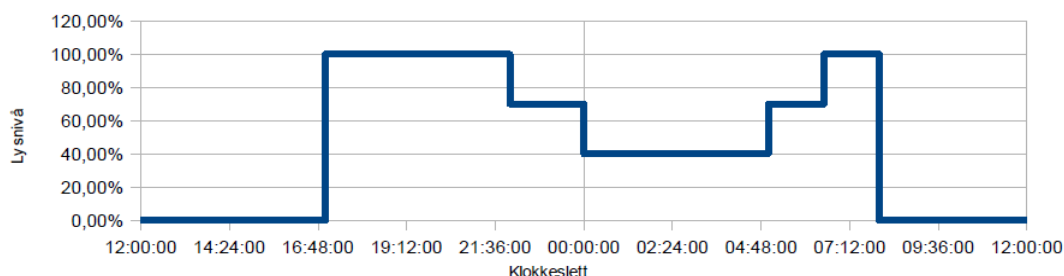
3.2 Dimming av vegbelysning

Dimming er den mest anvendelige styringsmetoden fordi den muliggjør innstilling av ønsket nivå i forhold til behov [31]. Dimming av veglysanlegg kan utføres ved å regulere nivået på et styringssignal til det elektroniske forkoblingsutstyret til en lysarmatur. Dette kan utføres med både analoge og digitale signaler, og eventuelt programmeres til forhåndsinnstilte nivåer.

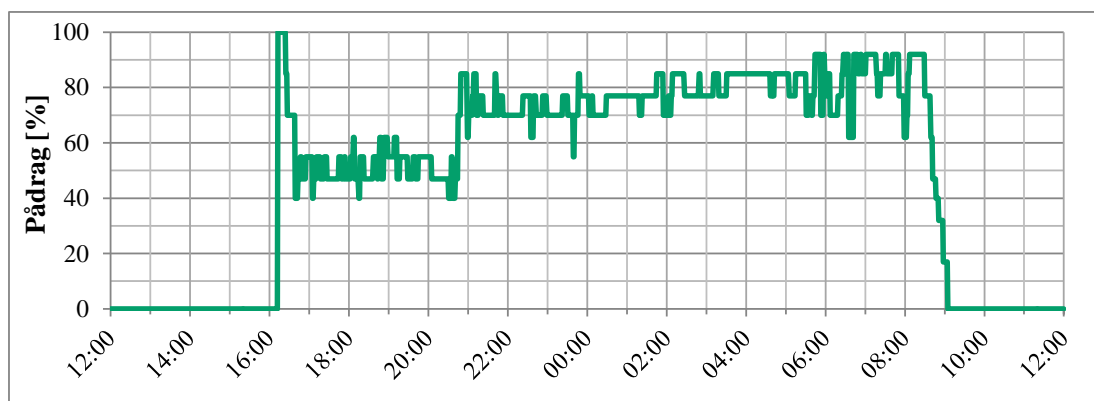
3.2.1 Trinnvis og kontinuerlig dimming

Ved bruk av dimming for styring av vegbelysning skilles det mellom dimming i forhåndsdefinerte trinn og kontinuerlig dimming. Ved trinnvis dimming justeres belysningsnivået til forhåndsinnstilte nivå og tider avhengig av forventede forhold på stedet, som trafikkmengde og vegtype. Med kontinuerlig dimming vil belysningsnivået kontinuerlig justeres ved at målt verdi kontrolleres mot en innstilt verdi, som typisk vil være belysningskrav på gitt vegstrekning. Kontinuerlig dimming kan utføres med elektronisk forkobling.

Eksempel på forløp av lysnivå over tid er vist for trinnvis og kontinuerlig dimming i henholdsvis Figur 3-6 og Figur 3-7. Figur 3-7 er basert på verdier fra testanlegget i Høgskole- ringen natten 19. til 20. januar.



Figur 3-6: Eksempel på dimming i forhåndsinnstilte trinn [10]



Figur 3-7: Eksempel på kontinuerlig dimming av lysnivå

Nivåtoppen ved innkobling på Figur 3-7 indikerer en forhåndsinnstilt tidsforsinkelse ved oppstart, for oppvarming av lyskildene før syklusen med den kontinuerlige dimmingen trer i drift. Av Statens Vegvesens veglysanlegg finnes det noen anlegg med trinnvis dimming men svært få anlegg har elektronisk forkobling og kontinuerlig dimming [17].

3.2.2 Analog 1-10 V-styring

Analoge 1-10 V-styringssystem benytter en likespenning på 1-10 V eller 0-10 V som styringssignal, noe som er en kjent teknologi innenfor elektronikk. Ved at det benyttes likespenning på 10 V er det tilstrekkelig med små tverrsnitt som styrekabler. Styringen fungerer slik at 0 eller 1 V representerer laveste lysnivå og 10 V representerer høyeste. Systemet er egnet til bruk i dimmere for belysning med elektronisk forkoblingsutstyr eller lavvoltbelysning med elektronisk transformator [31].

Selv om spenningsområdet ut er det samme ved forskjellige typer utstyr med 1-10 V-styring, er ikke nivået ut som funksjon av styringssignalet standardisert [31]. Dette fører til at utstyr fra forskjellige leverandører ikke nødvendigvis kan benyttes om hverandre, selv om de i utgangspunktet benytter samme styringsteknologi.

3.2.3 Digitale signaler

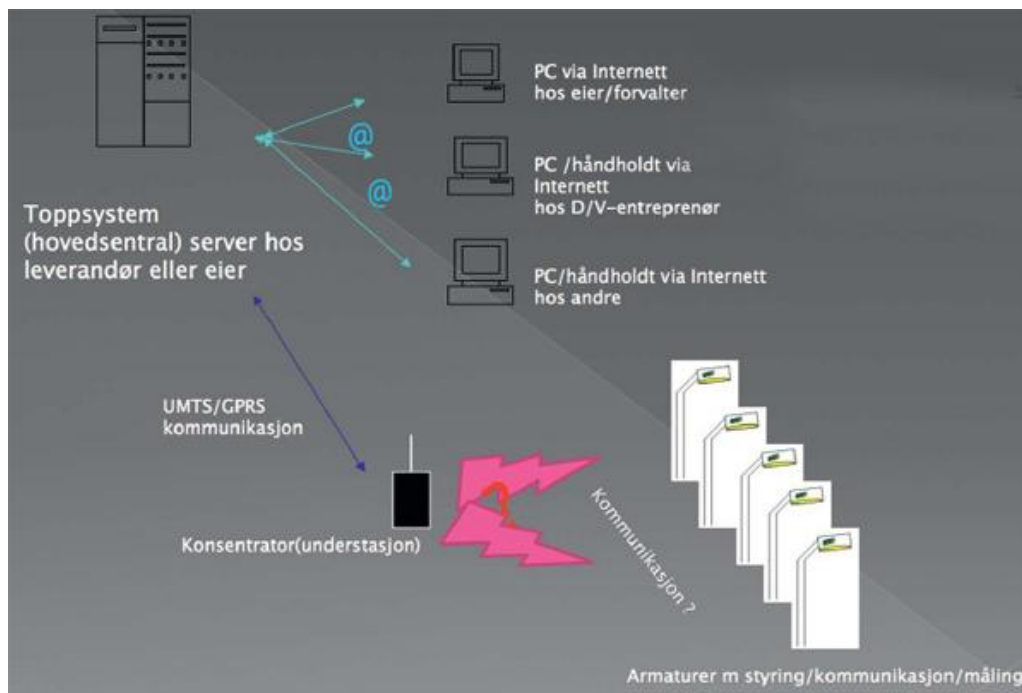
Ved bruk av digitale signaler vil alle komponenter i systemet gi samme nivå ut ved det samme styringssignalet. Digital overføring i forbindelse med lysstyring er standardisert med protokollen DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

For kommunikasjon via DALI benyttes trådpar, i tillegg til at det er nødvendig med egen strømtilførsel til elektronikken i komponentene i systemet [31]. DALI muliggjør toveis-kommunikasjon der hver enkelt komponent er adresserbar [32].

3.3 Intelligente styringssystem

Intelligente styringssystem, som også kalles behovs- eller funksjonsstyrte, er en fellesbetegnelse på styringssystem med TVK fra en sentral til hver enkelt armatur. Med slike løsninger er det mulig å dimme belysningsnivå etter behov i forhold til vær-, trafikk- og føreforhold. I tillegg er det mulig å få statusmeldinger på bl.a. strøm, spenning, energiforbruk, dimmeverdi og lampestatus fra hver enkelt armatur [21]. Sistnevnte er det viktigste siden det kan spare driftspersonell for store kostnader, ved at det kan genereres melding om lamper som har slukket [33]. Utviklingen av markedet for intelligente styringssystem har ikke økt i så stor grad som mange hadde håpet [30]. Intelligente styringssystem utgjør kanskje så lite som 1 % av totalt antall veglyspunkt i Norge per 2011 [21].

Figur 3-8 viser en prinsippskisse over et intelligent styringssystem for vegbelysning.



Figur 3-8: Prinsippskisse for intelligent styringssystem [21]

Dette kapittelet gir en kort presentasjon av de aktørene som er mest aktuelle innen intelligent styring av vegbelysning på det norske markedet, i tillegg til kommunikasjonsmedier samt fordeler og ulemper ved bruk av intelligente styringssystem.

3.3.1 Kommunikasjonsmedier i intelligente styringssystem

Kommunikasjonsmedier som er mest benyttet i intelligente styringssystem er kommunikasjon over strømmettet med Power Line Communication (PLC) eller trådløst via radiosignaler eller mobilnett [21]. I tillegg kan det i noen tilfeller være aktuelt å benytte kobberkabler med trådpar eller fiberkabler. Det er lagt hovedvekt på PLC med LonWorks siden det benyttes i testanlegget i Høgskoleringen. Figur 3-9 viser en illustrasjon av kommunikasjonsmedier for intelligente styringssystem.



Figur 3-9: Illustrasjon av kommunikasjonsmedier [kilde: MS Office clipart]

3.3.1.1 Power Line Communication (PLC)

Med PLC foregår kommunikasjonen over eksisterende kabler i strømmettet ved å benytte andre frekvenser enn nettspenningen på 50 Hz, som oftest på frekvensbåndene 116 kHz eller 132 kHz [34]. PLC kan benyttes både på lavspent- og høyspentnett. Siden eksisterende infrastruktur kan benyttes medfører det reduserte kostnader ved implementering av styrings-systemet.

Utfordringene med PLC er at tilførselskablene i utgangspunktet er produsert for å frakte strøm og ikke data. Derfor er signalene ømfintlige for støy og forvrengning forårsaket av bl.a. kraft-elektronikk på nettet. Dette medfører at kvaliteten på signalet er avhengig av hvilke andre elektriske enheter som er tilkoblet samme nett [38]. I veglysanlegg som stort sett kun inneholder veglysanlegg er støyproblemene overkommelige [35]. Signaler som sendes med PLC kan også være utsatt for demping slik at det er begrensninger for avstand på signalene [38]. I behovsstyrte veglysanlegg benyttes PLC mest mellom segmentkontroller (undersentral) og armatur [30].

3.3.1.2 Radiokommunikasjon med ZigBee

ZigBee er en kommunikasjonsprotokoll for radiokommunikasjon i trådløse nettverk, og er en enkel og billig løsning godt egnet for kommunikasjon innenfor korte avstander [36]. Enheter i ZigBee-nettverk kommuniserer med server eller andre nettverk via en koordinator. Enhetene kommuniserer også internt slik at dersom det er feil på en enhet eller den er ute av rekkevidde for konsentrator, kan kommunikasjonen omdirigeres via andre enheter i nettverket [37]. Ved bruk av ZigBee unngås de ulempene som medfølger PLC i forhold til støy på strømmettet, men dekningen er avhengig av atmosfæriske og geografiske forhold [36].

3.3.1.3 Mobilnett

Et alternativ til PLC og radiokommunikasjon i intelligente styringsystem er å benytte GSM og GPRS over mobilnettet. Forskjellen med GPRS og GSM er at det med GSM er kostnader for oppkobling og oppkoblingstid, mens det for GPRS betales kun for mengden data som blir overført gjerne til en fastpris [36]. Dette betyr at det med GSM blir større kostnader ved hyppig innhenting av data. I likhet med PLC og ZigBee kan eksisterende infrastruktur benyttes slik at investeringskostnadene begrenses. GPRS har tilnærmet like god dekning som GSM i Norge [36]. GSM og GPRS benyttes mest mellom hovedsentral og undersentral [30]. Ettersom det nyere mobilnettet UMTS blir veider utbygget kan det bli mer aktuelt siden det åpner opp for raskere kommunikasjon og større datamengder.

3.3.2 Busstyringssystem basert på LonWorks

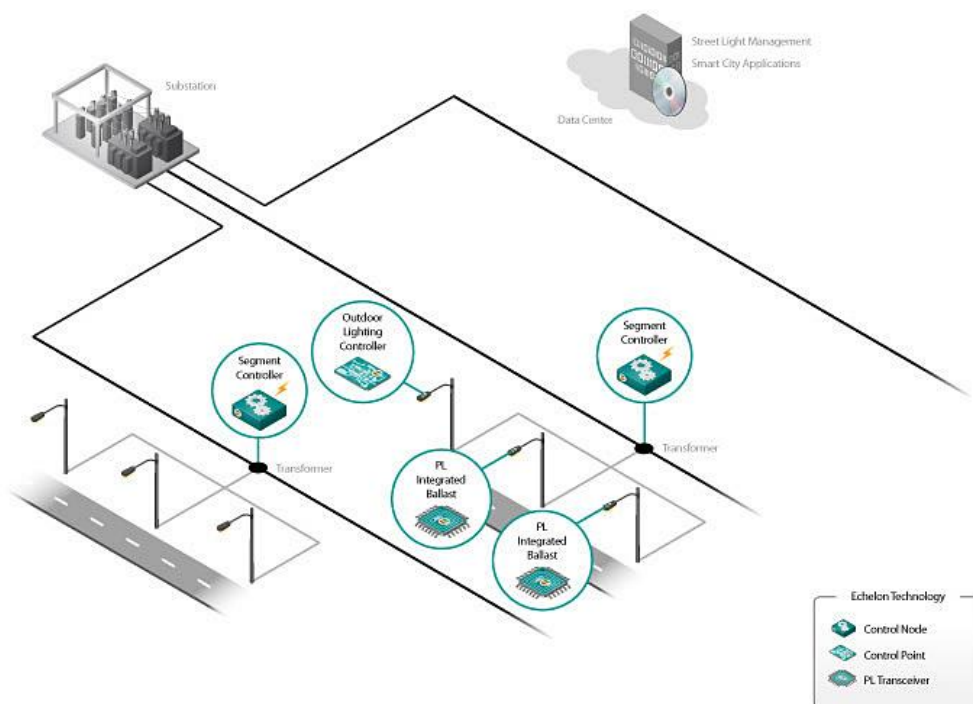
LonWorks er et bussystem som bl.a. benyttes for avansert styring av veglys og er utviklet av det amerikanske selskapet Echelon. Systemet er basert på LON som er designet for å levere små meldinger som kommandoer og statusinformasjon, i motsetning til LAN som muliggjør forsendelse av større og mer kompliserte data. Kommunikasjonen i et LonWorks-system kan foregå over tråddpar eller med PLC via eksisterende tilførselskabler på frekvensbånd mellom 75 kHz og 140 kHz [38]. PLC omtales som powerline i forbindelse med LonWorks-system.

I LonWorks er det lagt vekt på interoperabilitet, slik at komponenter fra forskjellige leverandører kan benyttes om hverandre så lenge de er sertifisert av LonMark og bærer merket vist i Figur 3-10.



Figur 3-10: Merke som identifiserer LonWorks-komponenter [39]

LonWorks er et distribuert system som vil si at hver komponent i systemet har sin egen mikroprosessor, slik at det kan driftes uavhengig av en sentral i systemet [40]. Bruk av LonWorks i forbindelse med belysning muliggjør automatisk dimming av belysningsnivå etter behov. I Figur 3-11 er det vist et eksempel på bruk av LonWorks i veglysanlegg.



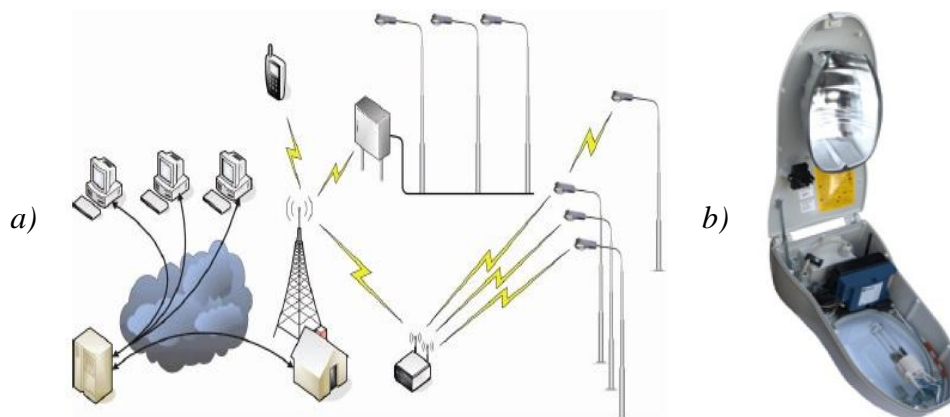
Figur 3-11: Illustrasjon av prinsippet med LonWorks-system [41]

Selv om PLC-signaler kan være utsatt for demping oppgir Echelon at LonWorks-komponentene er i stand til å motta signaler som er redusert med en faktor på 100 000 på en støyfri linje [40]. Likevel vil det sette visse begrensninger slik at maksimal rekkevidde for å oppnå tilstrekkelige signaler er anslått til 15 km [42]. Det er anbefalt å koble til komponenter i samme system på samme fasen for å redusere demping av signalene [38]. Eventuelle transformatorer i nettet vil blokkere powerline-signaler, men kan forbigås ved å benytte trådpår og router [43].

I LonWorks-system skilles det mellom fysisk og logisk oppkobling. Fysisk oppkobling er fysisk sammenkobling av komponenter via kabler eller trådløse overføringsmedier, mens logisk oppkobling innebærer binding av nettverksvariable mellom komponenter i integrasjonsverktøy som LonMaker.

3.3.3 Datek Wireless

Datek Wireless lysstyring er et norsk system bestående av styringsenheter i både tennskap og armaturer samt administrasjonssystem for veglys. Lysanlegg med Datek lysstyring kan styres via en sentral server, slik at kundene selv ikke trenger å gå til innkjøp av egen server [33]. Anlegget kan betjenes via web-grensesnitt der tennskap og armaturer vises på kart og status på komponenter kan leses av [44]. Systemet kan håndtere alle former for styringssignaler men det benyttes fortrinnsvis fotocelle og astrour [26]. For kommunikasjon med hver enkelt armatur benyttes ZigBee. Prinsippskisse for Datek lysstyring og armatur med styringsenhet implementert er vist på Figur 3-12.



Figur 3-12: a) Prinsippskisse for Datek lysstyring [44] og b) Armatur med styringsenhet implementert [33]

I tillegg til status på komponenter via web-grensesnitt kan driftspersonell varsles via SMS eller e-post om følgende [33][44]:

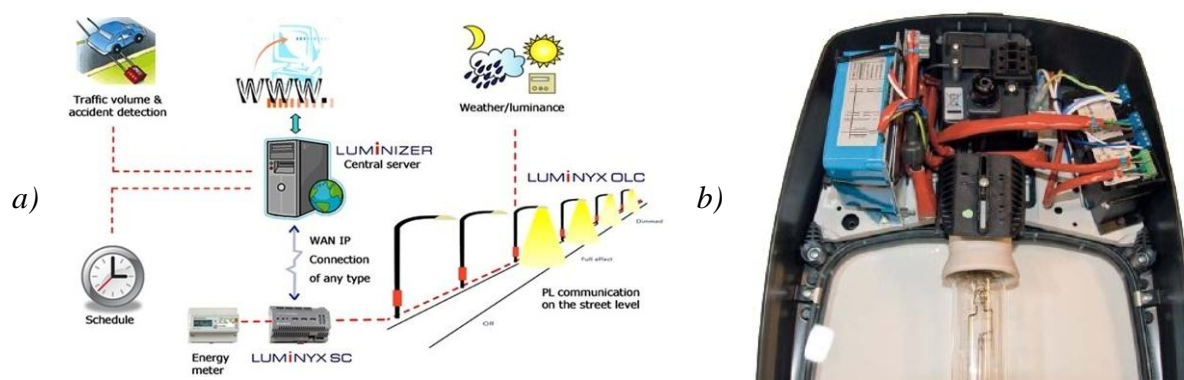
- Jordfeil.
- Sikringsbrudd.
- Kontaktor som har slått inn.
- Temperatur.
- Åpen dør i tennpunkt.

Jordfeildeteksjon registreres fra ekstern jordfeilbryter eller -varsler som varsler eksternt via meldekontakt. Varsling av sikringsbrudd utføres på tilsvarende måte [26]. Styringsenhetene til Datek er godkjent av Justervesenet som energimålere klasse B, og strømforbruk kan måles på armaturnivå og fjernavleses [26]. Styringsenhetene har batteribackup slik at det ikke vil oppstå tap av måledata ved strømbrudd [26].

3.3.4 Luminext

Luminext er et firma som leverer styringssystem for veglys og er lokalisert i Nederland, med avdeling i Norge for forskning og utvikling [45]. Belysningen styres via lampekонтроllenheter som støtter dimming via både DALI og 1-10 V. Enhetene kan styres i henhold til forhåndsdefinerte scener med f.eks. forskjellige dimmenivå. Som grensesnitt mellom lampekонтроllenheter og server benyttes segmentkontrollere.

Figur 3-13 viser prinsippskisse over systemet til Luminext og styringsenhet implementert i armatur.



Figur 3-13: a) Prinsippskisse over Luminext styringssystem [45] og b) Armatur med styringsenhet implementert [34]

Serveren i Luminext-systemet inneholder administrasjonssystem som kan benyttes via web-grensesnitt. Lampekontrollehetene har mulighet for overvåkning av følgende parametere som kan avleses via server [45]:

- Strøm.
- Spenning.
- Dimmenivå.
- Feildeteksjon.
- Brenntid på lampe.
- Energiforbruk.

Segmentkontrolleren lagrer ovennevnte data lokalt før oversending til server, slik at de ikke går tapt ved brudd i kommunikasjon med server. For kommunikasjon mellom segmentkontroller og server benyttes det både kommunikasjon via mobilnett og kabelbasert via tråddpar eller fiber.

For kommunikasjon mellom segmentkontroller og lampekontrollenheter benyttes LonWorks via PLC med åpne protokoller, slik at komponentene i Luminext-systemet er leverandøruavhengige [45].

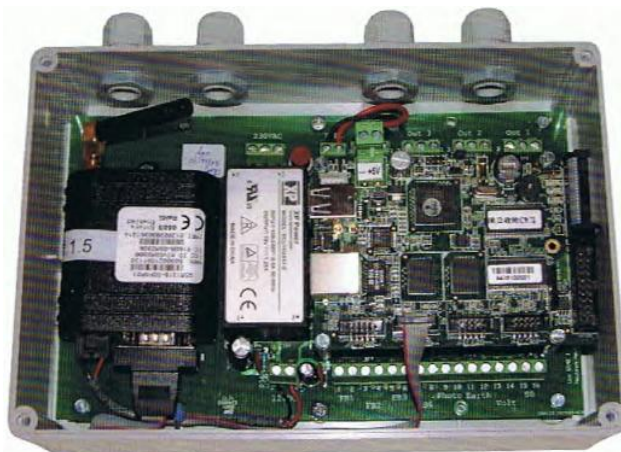
3.3.5 LuxSave

LuxSave er et norsk styringssystem for kontroll, drift og vedlikehold av veg- og gatelys. Systemet har web-basert grensesnitt for styring og overvåking, med implementert kart for oversikt over fysisk plassering av lampepunkt. Veglys tilknyttet LuxSave lysstyring kan styres via astrour, fotocelle eller manuelt innstilte tider, samt en kombinasjon av disse [46].

Systemet benytter segmentkontrollere som overvåker bl.a. følgende [46]:

- Lampestatus.
- Jordfeil.
- Overspenninger.
- Strømbrydd.
- Driftstid på lamper.

Figur 3-14 viser segmentkontrolleren i LuxSave lysstyring.



Figur 3-14: LuxSave hovedenhet (segmentkontroller) [47]

Feilmeldinger kan genereres på SMS eller e-post i tillegg til at systemet kan styres via mobiltelefon med forskjellige tilgangsnivåer. All programvare samt servere kan driftes og vedlikeholdes av LuxSave for kunde. Segmentkontrollerne kan tilkobles web-kamera for visuell overvåking [46]. Systemet har ikke innebygget energimåler men forbruk kan beregnes ut fra logget brenntid, eller måles eksternt via S0-pulser eller RS485-grensesnitt [46].

Armaturer tilkoblet systemet kan grupperes etter behov eller styres hver for seg. LuxSave benytter primært kommunikasjon over GPRS og Ethernet, men det jobbes med å utvikle grensesnitt mot andre kommunikasjonsmedier som PLC. Segmentkontrolleren i systemet kommuniserer med server via GPRS [46]. Kontrollenheter for plassering i stolpe er under utvikling [47].

3.3.6 Fordeler og ulemper med intelligente styringssystem

En av de største fordelene med intelligente styringssystem er at belysningsnivå kan endres til det nivået det er behov for i aktuelt tidsrom. Ved at belysningsnivået reguleres til lavere nivå, samtidig som krav fortsatt tilfredsstilles, vil forbruket kunne reduseres betraktelig i forhold til med konvensjonelle styringssystem. Toveiskommunikasjon mellom lysanlegg og en sentral vil muliggjøre utveksling av informasjon om lyskilders tilstand og belysningsnivå, som åpner for muligheter for bedre og mer effektiv styring og regulering.

Mulighetene for automatisk varsel om lampeutfall og andre feil i anlegget vil redusere tidsbruk ved feilretting og åpner for besparelser innen driftskostnader. Fordelene med intelligente styringssystem kan utnyttes maksimalt ved å aktivt benytte feilmeldinger og status under drift i forbindelse med utbedringer [21].

I tillegg til kostnadsbesparelser ved drift og vedlikehold, vil bedre regulering føre til lenger levetid på komponentene. Ved at kommunikasjon i intelligente styringssystem foregår over eksisterende infrastruktur eller trådløst kan det installeres uten ombygging av nettet [21]. I tillegg kan endringer i anlegget, som omgrupperinger av armaturer, utføres uten fysiske inngrep.

En ulempe med intelligente styringssystem er at investeringskostnadene er høyere enn med konvensjonelle styringssystem [17]. Det er også en høyere terskel for å ta i bruk og drifte intelligente styringssystem [21]. Intelligente styringssystem forutsetter elektronisk forkoblingsutstyr som i noen tilfeller har vist seg å ikke være robust nok for norske veglysanlegg, pga. bl.a. overspenninger og jordfeil [21]. I norske veglysanlegg er det i stor grad benyttet dampplamper som ikke er godt egnet for intelligente styringssystem [30]. Intelligente styringssystem passer derimot perfekt sammen med LED-armaturer.

3.4 Teoretisk energisparepotensial med intelligente styringssystem

I snitt bruker en typisk europeisk storby 38 % av sitt energiforbruk til utendørsbelysning [48]. Totalt forbruk for vegbelysning i Europa ble estimert til ca. 60 TWh i 2008 [49]. Sammen med det totale energiforbruket for veglys anslått til 900 GWh i Norge og økende fokus på ENØK gis det en indikasjon på behovet for tiltak som kan føre til besparelser. For å begrense kostnader til drift og vedlikehold som lampeskift og lignende, er det i tillegg viktig å synliggjøre sparepotensialer ved å ta i bruk nye teknologier som kan føre til økt effektivitet.

Enova har uttrykt at det er mulig å spare 50 til 70 prosent av forbruk til veglys i Norge per 2008 [48]. Enova har i tillegg en støtteordning med formål om å øke insentiver for å ta i bruk energisparende tiltak, der det er en egen støtteordning for veg- og gatelys med 1 kr per spart kWh for tiltaket [16]. I forbindelse med Enova-støtten har det blitt gitt støtte til anlegg med behovsstyring [50].

3.4.1 Besparelse ved endring i luminans og belysningsstyrke

Siden luminanskravene i vegnormalen er medregnet vedlikeholdsfaktor, vil nyverdi av belysning fra en lyskilde være høyere enn angitt krav for å ta høyde for reduksjon av lysytelse som følge av driftstid [31]. I tillegg kan det vise seg at belysningsstyrken ved vedlikeholdt driftsverdi er høyere enn angitt krav, som muliggjør reduksjon av belysningsnivå og likevel tilfredsstillende kravene.

De store variasjonene i vær- og føreforhold ved vegstrekninger i Norge vil føre til at nødvendig belysningsnivå varierer, som tilsier et sparepotensial ved å ta i bruk behovstilpasset styring av veglysanlegg i større grad. Endringer i vegdekke som f.eks. snøfall kan føre til at luminansen vil øke, som muliggjør reduksjon av belysningsnivå og fortsatt tilfredsstillende krav. Overflatestruktur og farge på vegdekke vil også ha stor betydning for luminansen. Lyse vegdekker kan føre til opptil en dobling av luminansnivå i forhold til mørke vegdekker [31].

3.4.2 Besparelse ved dimming og behovsstyring

Statens Vegvesens håndbok 264 inneholder normtall for energiforbruk per km i henhold til type veg og belysningsklasse. For vurdering av energibesparende tiltak beregnes forventet energiforbruk per km og sammenlignes med verdiene i denne tabellen. Disse normtallene indikerer et sparepotensial på rundt 20 % ved bruk av trinnvis dimming til 50 % belysningsstyrke i 7 timer av døgnet [2]. Med kontinuerlig dimming vil det være mulig å oppnå en enda større reduksjon i forbruk, hvis de riktige forutsetninger er tilstede. I en masteroppgave fra 2009 er det oppgitt en indikasjon på 5 % besparelse ved bruk av kontinuerlig dimming i forhold til trinnvis [10].

4 TESTANLEGGET I HØGSKOLERINGEN

I den sørlige delen av Høgskoleringen ved NTNU Gløshaugen i Trondheim er det et fullskala testanlegg for styring av vegbelysning, som i utgangspunktet består av 11 lysarmaturer. Anlegget benyttes for belysning av en vegstrekning med tilhørende gang- og sykkelveg, forbi Realfagsbygningen der styringssentralen er plassert. Figur 4-1 viser bilde fra den øvre delen av testanlegget, der bygningen øverst i bakgrunnen er Realfagsbygningen.



Figur 4-1: Den øvre delen av veglysanlegget i Høgskoleringen

Av de 11 armaturene i testanlegget er 10 tilkoblet komponenter fra Philips Starsense, som er et styringssystem godt egnet til veg- og gatebelysning. Systemet har mulighet for styring, overvåkning og analyse av alle komponentene i belysningsanlegget, via styringssignaler over powerline med LonWorks. Armatur nr. 1 er for tiden tilknyttet et annet styringssystem levert av LuxSave, slik at denne ikke er benyttet i denne oppgaven. LuxSave utviklet i tillegg i 2012 en prototype på styringsenhet med LonWorks-grensesnitt, som ble montert i testanlegget i Høgskoleringen i mars for funksjonsprøving.

4.1 Lyskilder

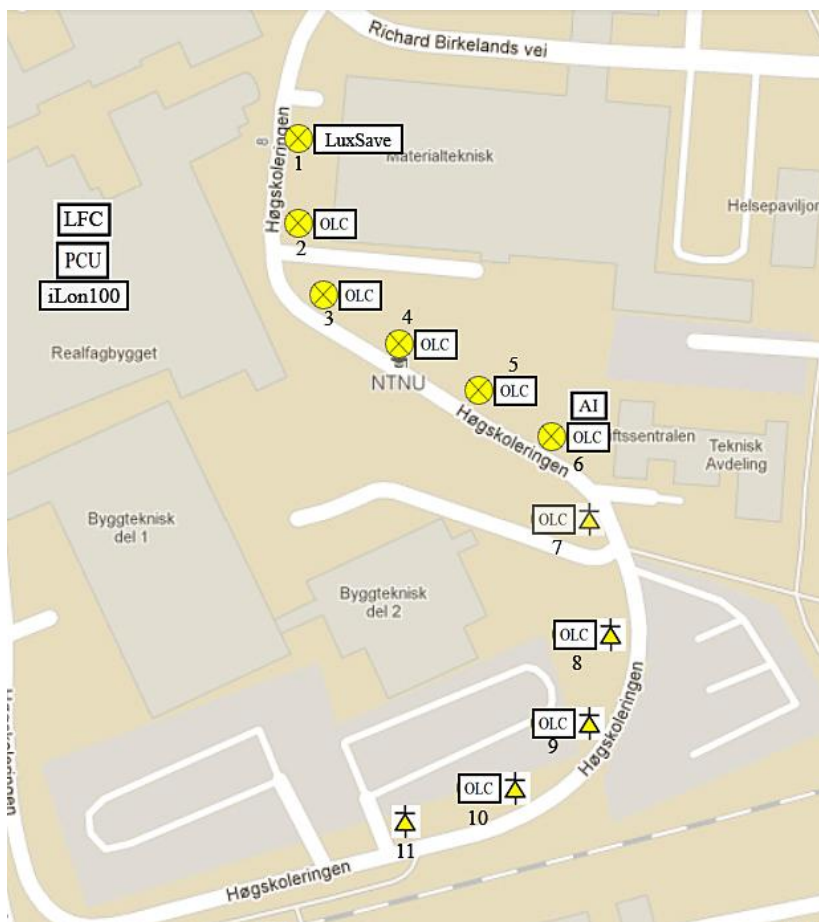
Det er i hovedsak to typer lyskilder som benyttes til vegbelysning; høytrykksnatriumlamper (NaH) og metallhalogen, men lysdioder (LED) vil sannsynligvis også bli mer aktuelt i tiden som kommer. I dette kapittelet blir NaH og LED beskrevet nærmere siden det er de to lyskildene som benyttes i testanlegget. Figur 4-2 viser et eksempel fra testanlegget på forskjellen i farge og jevnhet ved belysning med henholdsvis LED og NaH.



Figur 4-2: Forskjell i belysning i testanlegget, a) LED og b) NaH

4.1.1 Oversikt over lysarmaturene i testanlegget

De 11 lysarmaturene i Høgskoleringen er fordelt med 6 lyskilder med NaH og 5 med LED. Hver armatur har en tilhørende kontrollenhet (OLC) som kommuniserer via powerline. Kart over området med angitt plassering av armaturene og sentral er vist i Figur 4-3.



Figur 4-3: Kart over Høgskoleringen med angitt plassering av armaturer

Under befaring i forbindelse med prosjektoppgaven høsten 2011, ble det oppdaget at armatur nr. 11 var frakoblet pga. anleggsarbeid og derfor heller ikke var tilknyttet noen kontrollenhet. Det har ikke blitt noen forandring i dette i løpet av tidsforløpet av denne oppgaven, slik at testresultater bygger på bruk av totalt 9 armaturer, hvorav 4 LED- og 5 NaH-armaturer.

4.1.2 Høytrykksnatriumlamper

Høytrykksnatriumlamper har i flere år vært dominerende innen vegbelysning på grunn av høyt lysutbytte og lang levetid. Når trykket i NaH-lamper økes vil de avgi et gulhvitt lys med lav fargegjengivelsesindeks (Ra-indeks) på mellom 20 og 40 [31]. Den lave Ra-indeksen fører til at det kan være vanskeligere å oppdage fotgjengere og dyr enn med metallhalogen eller LED [2]. En NaH-lampe er derimot en effektiv lyskilde med et lysutbytte på opp mot 120 lm/W [51]. I forbindelse med vegbelysning er anbefalt bruksområde utenfor tettbebygde strøk og i mindre ømfintlige områder i tettsteder samt gang- og sykkelveger [2].

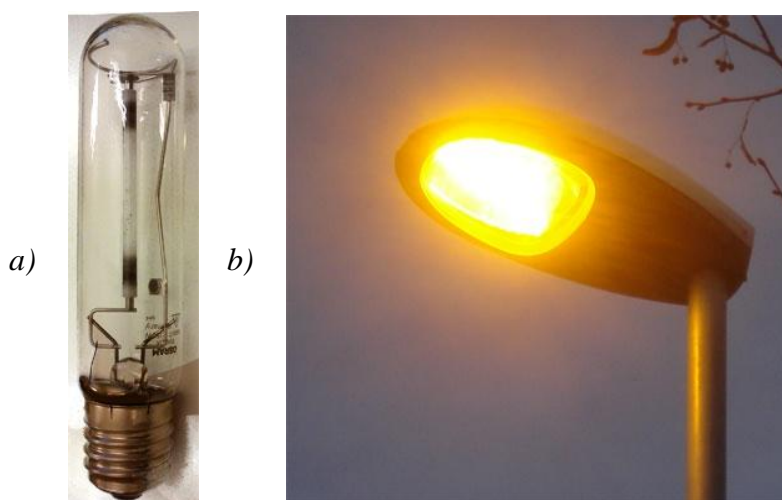
Som nevnt består testanlegget av 5 NaH-armaturer, i tillegg til én armatur tilkoblet LuxSave styring. Disse er av samme type og har alle elektronisk forkobling. Spesifikasjoner for disse som er relevant for denne oppgaven er vist i Tabell 4-1.

Tabell 4-1: Spesifikasjoner for NaH-armaturene i testanlegget [52]

Type	Antall	Plassering	Oppgitt effekt [W]	Målt effekt [W]	Målt effekt inkl. forkobling [W]
Philips SGS 253 Iridium	5+1	1-6	150	151,9	170,6

Dimmekarakteristikk for Philips Iridium er vist i Tabell C-1 og Figur C-1 i Vedlegg C. Avleste verdier fra Vedlegg C er benyttet i beregninger av energiforbruk i testanlegget.

Figur 4-4 viser eksempel på en NaH-lyskilde og en av NaH-armaturene i testanlegget.



Figur 4-4: Eksempel på høytrykksnatriumlampe, a) oppbygning av lyskilde og b) en av armaturene i testanlegget

Oppgitt økonomisk levetid på NaH-lyskilder er i følge norske leverandører på mellom 12 000 og 18 000 timer, som ved en gjennomsnittlig brenntid på 4 000 timer per år tilsvarer fra tre til fire og et halvt år [31]. Statens Vegvesen oppgir krav til levetid på NaH-lyskilder på fire år med maksimalt 2 % utfall. Dette medfører at oppgitte levetider fra leverandører kan være noe under kravet [2].

4.1.3 LED

Innen vegbelysning i Norge er det begrenset bruk av LED som hovedbelysning, i hovedsak pga. kostnader og høyere effektivitet på lyskilder som NaH og metallhalogen [2]. Videre forskning og forbedring av egenskaper som lysfordeling, pris og mer forutsigbar levetid, samt større fokus på energiforbruk, gjør at LED-armaturer bør bli mer aktuelt i tiden som kommer.

Testanlegget inneholder som nevnt totalt 5 LED-armaturer. Oversikt over disse er vist i Tabell 4-2.

Tabell 4-2: LED-armaturer i testanlegget

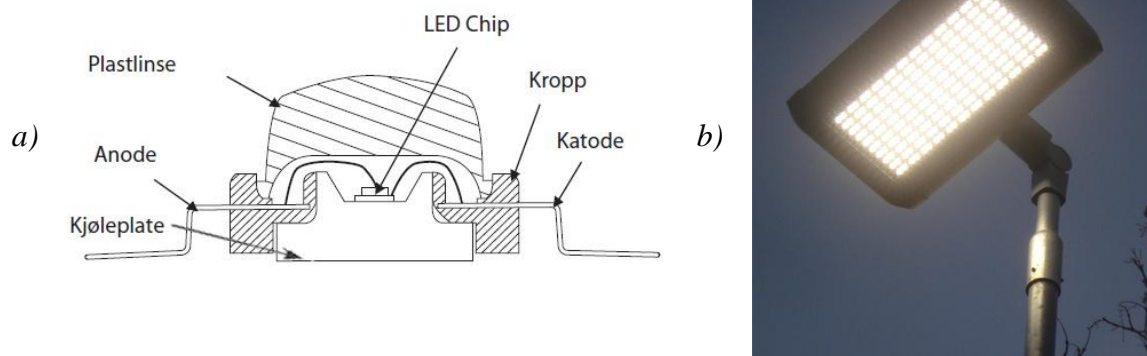
Type	Antall	Effekt [W]	Plassering	Merknad
EnergyOptimal	1	250	7	Vist på Figur 4-5
Siteco StreetLight 10 MIDI	1	159	8	Ikke 1-10 V dimming
Philips SpeedStar BGP 323	2+1	159	9-11	Nr. 11 brakoblet

LED er velegnet som ledebelysning, men har også følgende egenskaper som gjør den egnet som lyskilde for vegbelysning [51]:

- Lang levetid på mellom 25 000 og 50 000 timer.
- God fargegjengivelse med Ra-indeks på mellom 80 og 85 for de mest effektive lysdiodene.
- Økt levetid ved lav omgivelsestemperatur.
- Lyser kun i én bestemt retning slik at det er mindre behov for reflektor i armaturen for retningsstyring.

Levetiden til en LED-armatur vil imidlertid avhenge av elektronikk i forkoblingsutstyret i form av driver [53]. LED har som de fleste elektroniske komponenter høy varmeutvikling som kan redusere levetiden. Opp mot 75 % av tilført energi til lysdioder blir omdannet til varme, slik at kjøling er viktig ved design av LED-armaturer [54]. Dette er grunnen til at LED tåler kulde godt, siden omgivelsestemperaturen vil fungere som kjøling.

Ved at LED kun lyser i én retning er det mulig å oppnå mindre lysforurensing enn med andre lyskilder. For optimal retningsstyring av lyset bør det imidlertid benyttes reflektorer med mosaikkmønster [54]. Dette er vist på Figur 4-5 b), som er en av armaturene i testanlegget. Figur 4-5 a) viser eksempel på oppbygning av én enkelt lysdiode.



Figur 4-5: Eksempel på LED, a) oppbygning av lyskilde [51] og b) en av armaturene i testanlegget

Med et effektforbruk per diode på 0,1 til 3 W, kan de beste lysdiodene på markedet oppnå en effektivitet på opp mot 100 lm/W [51]. Lysmengden én enkelt lysdiode sender ut er ca. én sjuendedel av en glødelampe, slik at det er nødvendig med flere lysdioder i én og samme armatur for å oppnå samme belysningsnivå som med andre lyskilder [51]. Lyset fra LED-armaturer oppleves som hvitt og i følge Statens Vegvesens håndbok 264 kan kravet til luminansnivå reduseres med 10 % ved hvitt lys [2]. Statens Vegvesen har satt en grense på fargetemperatur på 4500 K foreløpig [53].

En av fordelene med LED i forbindelse med intelligente styringssystem er at forholdet mellom dimmeprosent og effektforbruk er tilnærmet lineært, som gir bedre potensial for strømsparing enn med andre lyskilder. Dimmekarakteristikk for Philips- og EnergyOptimal-armaturene i testanlegget er vist i Figur D-1 i Vedlegg D [55]. Verdier avlest fra Figur D-1 er lagt til grunn ved beregning av energiforbruk for LED-armaturene i testanlegget.

LED tåler også påkjenningene dimming kan medføre bedre enn andre lyskilder [21]. Siden LED-armaturer allerede har elektronisk forkoblingsutstyr i form av driveren er de godt egnet for intelligente styringssystem [21].

4.2 Komponenter i styringssystemet

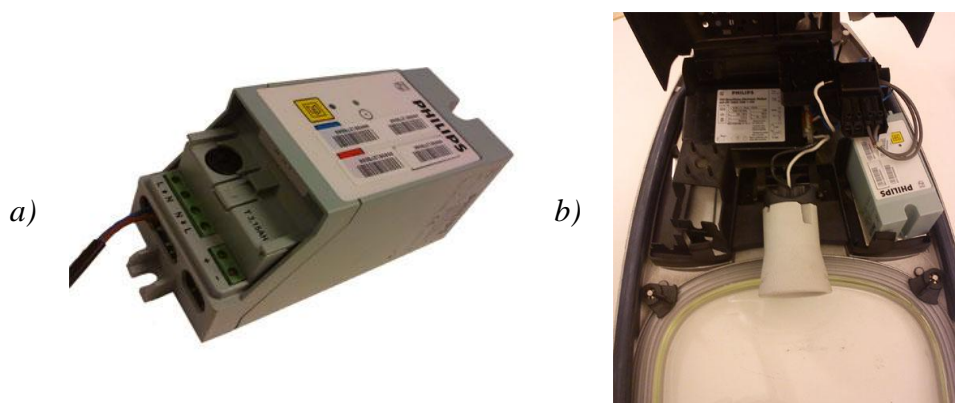
Styringssystemet i testanlegget i Høgskoleringen er basert på bruk av komponenter fra Philips Starsense. Starsense-systemet bygger i utgangspunktet på styring via astrour, men testanlegget er supplert med luminansmeter og en distribuert kontrollenhet for kontinuerlig regulering av belysningsnivå etter behov. Dette medfører at det er kun komponentene fra Philips Starsense som benyttes, mens selve styringen er uavhengig av Starsense-systemet.

Belysningsnivået kontrolleres ved å måle vegbanens luminans med et luminansmeter utviklet ved NTNU. Målte luminansverdier sammenlignes med gjeldende krav, som muliggjør kontinuerlig regulering av belysningen. Oppkobling og oversikt over komponentene er vist i Vedlegg E.

4.2.1 Armaturkontroller

Armatorkontrollenhetene blir kalt lampenoder og de som benyttes i anlegget i Høgskoleringen er av typen Philips LLC 7010/00. Denne kontrollenheten er designet for å tenne og slukke, samt dimme belysningen og sikre konstant spenning til lysarmaturen via elektronisk forkoblingsutstyr. Dimming kan utføres trinnløst med et analogt 1-10 V-styringssignal.

Figur 4-6 viser en av lampenodene som benyttes i testanlegget og plassering i armaturhuset.



Figur 4-6: Lampenode fra styringssystemet Philips Starsense

Dersom lampenodene ikke er implementert ferdig fra fabrikk i selve armaturen, kan de monteres i koblingsskap eller i sokkelen på lysstolpen. Lampenodene er tilpasset standard sikringsskap med feste for montering på DIN-skinne. Lampenodene overvåker lyskildene og har mulighet for å sende statusmeldinger om tilstand som logges med dato og klokkeslett.

4.2.2 Segmentkontroller

Segmentkontrollenheten Philips LFC 7050/00 blir kalt områdenode og benyttes til å sende kommandoer og motta statusmeldinger fra lampenodene. Områdenoden plasseres normalt i fordelingssskap og har mulighet for styring av opptil 100 enheter [56]. Den har et innebygget astrour som muliggjør sending av scenekommando om tidspunkt for soloppgang og solnedgang. Fysisk utseende av LFC 7050/00 er vist på Figur 4-7.

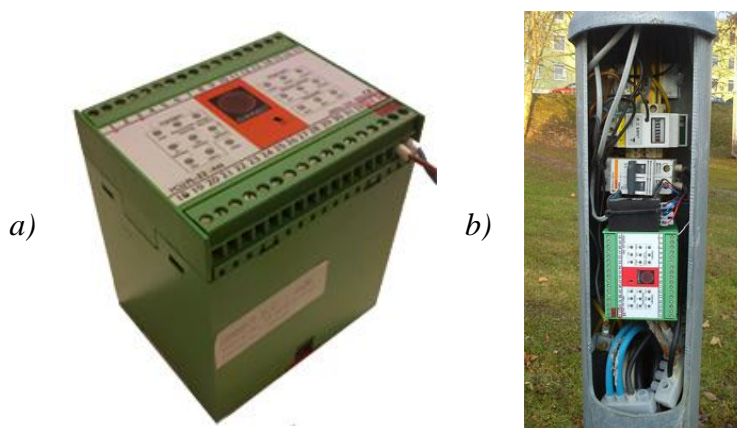


Figur 4-7: Områdenode fra styringssystemet Philips Starsense

I forbindelse med luminansmeterstyringen i testanlegget benyttes områdenoden kun som astrour.

4.2.3 Distribuert kontrollenhet (PCU)

Områdenoden til Philips inneholder forhåndsdefinerte program som ikke er mulig å alternere, slik at det er nødvendig å benytte en ekstern kontrollenhet for implementering av et eget styringsprogram [57]. Kontrollenheten som benyttes i testanlegget er PCU-PL22 fra det hollandske firmaet Connect B.V. Kontrollenheten er distribuert som vil si at den har egen mikroprosessor som benyttes til å utføre logiske programmer, uavhengig av tilkobling til en sentral. Figur 4-8 a) viser bilde av kontrollenheten, samt plassering i sokkel på lysstolpen.



Figur 4-8: a) PCU og b) Utvidelsesmodul for analog inngang

Kontrollenheten inneholder et LonWorks-grensesnitt og kan kommunisere over både trådpar og powerline. Leverandøren oppgir at den er i stand til å fungere i temperaturer ned til $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, men leveres ikke med kapsling for bruk utendørs [58]. Mangelen på kapsling gjør at den i standardutgave ikke er godt egnet til plassering direkte i lysstolper, men det har ikke ført til problemer i løpet av denne oppgaven.

Kontrollenheten kan utstyres med analog inngang, som kan stilles inn for strømsignal på 4-20 mA eller spenningssignal på 0-5 V [59]. I testanlegget benyttes det to stk. PCU-PL22; én for hovedprogrammet for styringen og én for prosessering av signal fra luminansmeter. Enheten for luminansmeteret plassert i stolpen som vist på Figur 4-8 b) og analoginngangen er satt opp for å motta spenningssignal. Kontrollenheten for hovedprogrammet er plassert i fordelingen i Realfagsbygningen.

4.2.4 iLon100 IP-grensesnitt

Som grensesnitt mot IP-nettverk og internett benyttes Echelons *i.Lon 100 Internet Server* (heretter omtalt som iLon100). Denne komponenten er en kontrollenhet som muliggjør fjernstyrt konfigurering, overvåking og styring av LonWorks-komponenter. I tillegg til å kunne fjernstyre komponenter over nettverk og internett er iLon100 utstyrt med 2 digitale innganger, 2 reléutganger og 2 pulsinnnganger for styring og overvåking av lokale komponenter [60]. Figur 4-9 viser iLon100.



Figur 4-9: iLon100

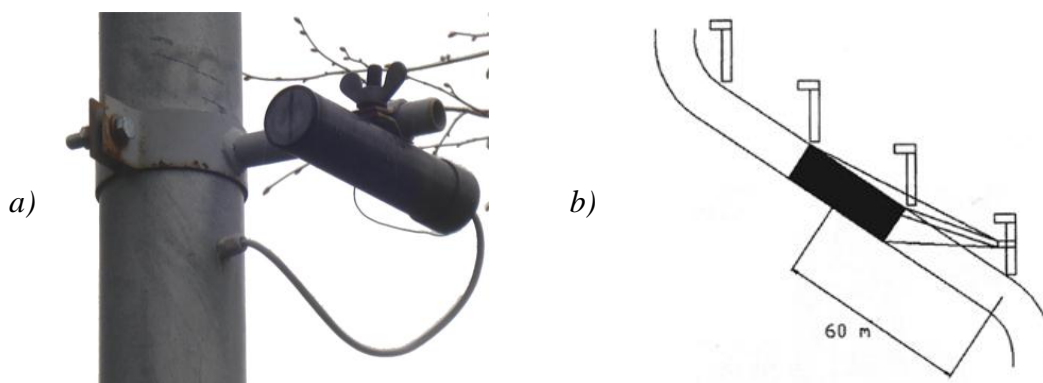
iLon100 kan betjenes via integrasjonsverktøy som LonMaker samt den medfølgende programvaren som har funksjoner som tidsplanlegging, logging av data og alarmtjenester via e-post [60]. Utgaven av iLon100 som benyttes i testanlegget har ikke LonWorks-grensesnitt implementert, slik at det benyttes router mellom LonWorks-nettverket og iLon100.

Med iLon100 logges inn- og utkoblingstider samt dimmeprosent for testanlegget. I tillegg logges verdier fra det astronomiske uret i områdenoden samt inn- og utkoblingstider for et nærliggende anlegg styrt av fotocelle.

4.2.5 Luminansmeter

Krav til belysningsnivå angis som luminans i vegnormalen og kan måles med luminansmeter, som måler belysningsstyrke i vegbanen og beregner tilsvarende luminans. Reelt luminansnivå kan avvike fra kravet som følge av skiftende vær- og føreforhold, og eksempelvis vil snødekke føre til en gjennomsnittlig høyere luminans. Styringssystem med luminansmeter vil derfor kunne ha et sparepotensial i forhold til konvensjonelle styringssystem ved at det oppnås en tettere sammenheng mellom reelt og nødvendig belysningsnivå.

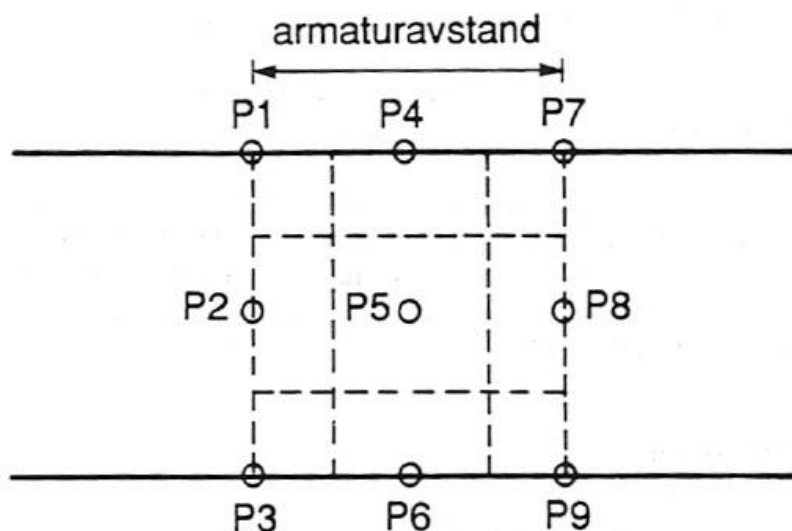
For å holde kostnadene med styringssystemet i Høgskoleringen på et minimum, ble det ved NTNU i 2004 utviklet luminansmeter basert på bruk av en fotocelle plassert inne i et metallrør. Det ble utviklet to forskjellige typer med henholdsvis stigende strøm- og spenningsignal ut i forhold til stigende luminans. I denne oppgaven benyttes spenningsvarianten på grunn av bedre tilpasning til måleområdet i vegbanen og høyere motstandsdyktighet mot støy [61]. Figur 4-10 viser luminansmeteret med angitt måleområde i vegbanen.



Figur 4-10: Luminansmeter utviklet ved NTNU med måleområde til høyre [61]

Som Figur 4-10 viser, måles luminansen i et rektangulært snitt av vegbanen som reguleres via en skive med et rektangulært hull plassert framfor fotocellen i luminansmeteret. Nøyaktig posisjon på denne skiven i forhold til måleområdet i vegbanen er vanskelig å fastslå slik at reelt måleområde vil avvike noe fra det som er vist i Figur 4-10 b). Måleområdet skal begynne 60 meter fra plassering av luminansmeteret [2]. Denne avstanden er noe kortere i testanlegget pga. plasseringen av armaturene og luminansmeteret. Luminansmeteret kobles til en analog inngang for prosessering av målesignalet. I denne oppgaven benyttes den analoge inngangen på PCU-PL22.

Luminansmeteret ble kalibrert i fordypningsprosjekt høsten 2011 mot referanseinstrumentet Minolta CS100A. For kontrollmåling av målingene fra luminansmeteret i Høgskoleringen kan luminansen i vegbanen måles punktvis med Minolta-instrumentet og så beregne gjennomsnittlig luminans. Figur 4-11 viser et maskenett over punkter for måling av luminans for å finne midlere luminans over et område i vegbanen [23].



Figur 4-11: Maskenett for måling av midlere belysningsstyrke eller luminans [23]

Målingene fra punktene vist i Figur 4-11 legges sammen ved hjelp av Formel 4-1 for å finne midlere luminans.

$$L_m = \frac{(L_1 + L_3 + L_7 + L_9)}{16} + \frac{(L_2 + L_4 + L_6 + L_8)}{8} + \frac{L_5}{4} \quad \text{Formel 4-1}$$

4.3 Styringsprogram

Programmet som benyttes for styringen av testanlegget i Høgskoleringen er skrevet i programmeringsspråket Neuron C, og har blitt utviklet gjennom tidligere prosjekt- og hovedoppgaver ved NTNU. Programversjonen som er i bruk er delt i to med et hovedprogram i en kontrollenhet innendørs og et program for prosessering av signalet fra luminansmeteret i en kontrollenhet plassert ute i stolpen.

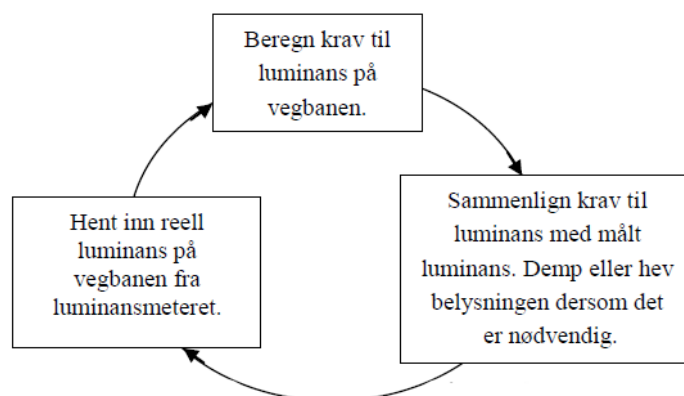
Kontrollenhetene kan i tillegg tilkobles sensorer og måleutstyr for trafikk tetthet, trafikk hastighet og siktforhold. Anlegget i Høgskoleringen har kun måling av luminans implementert, slik at de andre parameterne overstyres med forhåndsinnstilte verdier. Programmet har også implementert av- og på-overstyring av armaturene.

4.3.1 Funksjonsbeskrivelse av programmet

Hovedprogrammet er bygget opp med en overordnet løkke som inneholder nøstede løkker for sammenlikning av de målte verdiene med angitte krav, og deretter eventuell justering av pådraget til armaturene opp eller ned ved avvik. Programmet har en egen funksjon for å fastsette krav til luminans ut fra type veg eller gate samt trafikkmengde.

Funksjonen til programmet i kontrollenheten for luminansmeteret er å lese av spenningssignal fra luminansmeteret og regne det om til luminans i mcd/m^2 med en kalibreringsfaktor. Luminansmålingene prøves over ett minutt før gjennomsnittet beregnes og sendes til kontrollenheten for hovedprogrammet.

Målt verdi av luminans sammenlignes videre med krav angitt i hovedprogrammet. Dersom det er avvik justeres belysningsnivået med et forhåndsinnstilt trinn, enten opp eller ned avhengig av om avviket er positivt eller negativt. Figur 4-12 viser prinsippet for denne operasjonen.



Figur 4-12: Prinsipp for løkke for justering av belysningsstyrke [57]

For at lysarmaturene skal få tid til å varmes opp er det lagt inn en timerfunksjon i form av en tidsforsinkelse som sikrer at lysarmaturene er påslått via overstyring i 10 minutter før styringsprogrammet trer i drift. For å sikre minimum belysningsnivå på nattetid benyttes signal fra astrour for deteksjon av dag og natt. Dette vil også forhindre slukking nattetid som følge av eventuelle ytre påvirkninger av belysningsnivå.

4.3.2 Innstillinger og endringer

Under idriftsettingen av systemet i arbeidet med fordypningsprosjektet høsten 2011, oppstod det problemer med at luminansmeteret gikk i metning og viste 0 cd/m² i dagslys. Systemet tolket dette som at det var mørkt som førte til gjentenning av lyset på dagtid. Dette ble løst ved å legge inn en nettverksvariabel i programmet for innstilling av minimum målt luminans på dagtid som skal tas med i beregningene i programmet. Dersom målt verdi er under denne og astrouret indikerer scenevalg for dag, skal anlegget slukke dersom det ikke har slukket før luminansmeteret har gått i metning. For optimalt tidspunkt for tenning og slukking av anlegget sammenlignes målt luminans med angitt krav i intervall på 1 minutt.

I fordypningsprosjektet høsten 2011 ble det observert at ved snøføre kunne kravet til MEW2 på 1,5 cd/m² opprettholdes ved et pådrag til armaturene på kun 17,5 % [62]. Derfor blir det benyttet MEW2 under uttestingen av anlegget i denne oppgaven for å simulere verst tenkelige tilfelle og gjøre målingene mer representative for større veger. Styringsprogrammet håndterer kun heltall slik at det benyttes mcd/m² som enhet for luminans i programmet.

Oversikt over de viktigste nettverksvariablene i styringsprogrammet, samt verdier benyttet i denne oppgaven er vist i Vedlegg F.

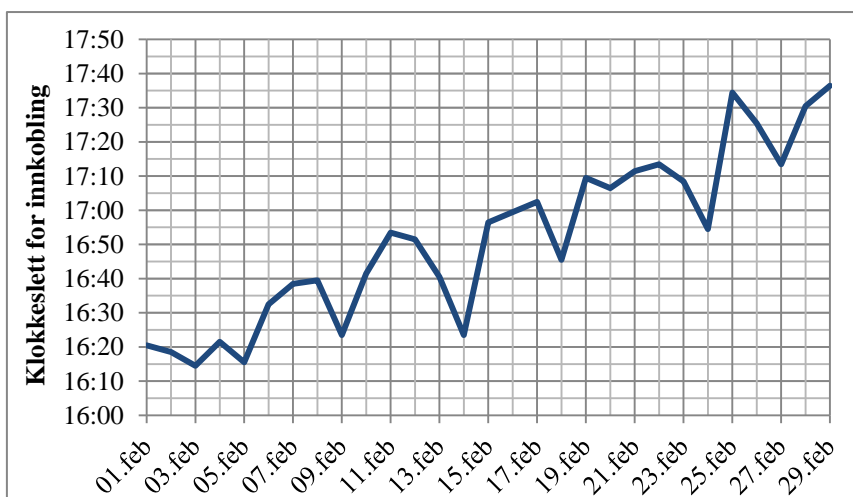
5 MÅLERESULTATER FRA STYRING AV VEGBELYSNING

Det er utført logging av inn- og utkoblingstider for to forskjellige typer konvensjonell styring av veglysanlegg; fotocelle og astrour, i tillegg til intelligent styring med luminansmeter. Loggingen er utført i perioden 14. januar til 31. mai 2012 for sammenligning av brenntid. For testanlegget med luminansmeter er det også logget pådrag til armaturene og luminansmålinger. Verdiene fra loggingen har lagt grunnlaget for beregning av energiforbruk for å beregne energisparepotensialet med intelligente styringssystem.

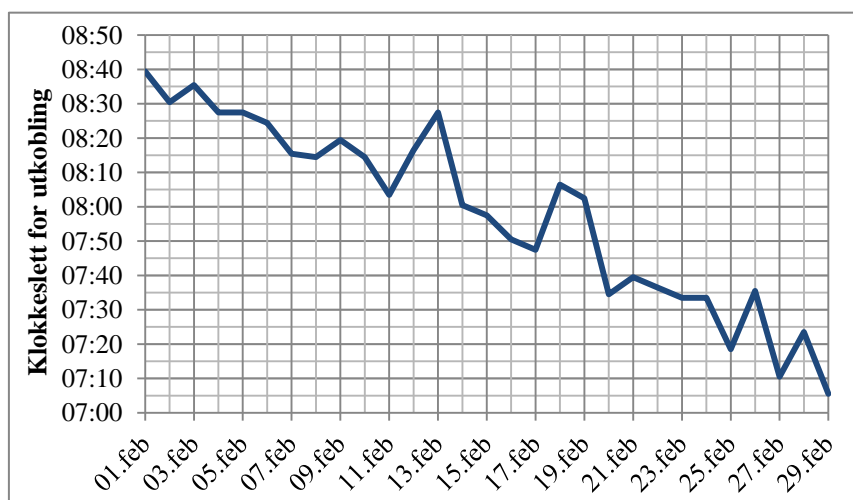
5.1 Resultater fra konvensjonell styring

5.1.1 Variasjon i inn- og utkoblingstider med fotocelle

For å finne ut av hvordan vær- og føreforhold påvirker fotocellestyring er inn- og utkoblingstider over én måned vist i henholdsvis Figur 5-1 og Figur 5-2.



Figur 5-1: Variasjon i innkoblingstider med fotocelle over 1 måned



Figur 5-2: Variasjon i utkoblingstider med fotocelle over 1 måned

Figur 5-1 og Figur 5-2 er basert på verdier fra Vedlegg G. Det er benyttet verdier for februar siden det var den måneden med mest snøfall og dermed størst variasjoner i inn- og utkoblingstid i prosjektperioden. I tillegg foreligger det komplette måleresultater fra testanlegget med luminansmeter for februar for sammenligning. Figur 5-1 og Figur 5-2 viser en variasjon på maksimalt 40 minutter i innkoblingstid og 25 minutter i utkoblingstid fra dag til dag ved bruk av fotocelle.

5.1.2 Resultater fra anlegg med astrour

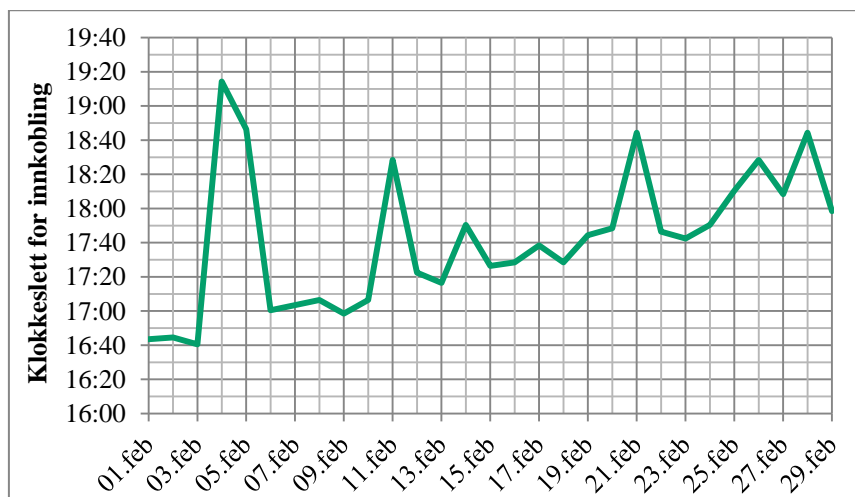
Det ble opprinnelig opprettet logging fra astrouret i segmentkontrolleren i testanlegget, men det har til tider vært problemer med at loggen ikke viste riktig status for nettverksvariabelen som inneholder scenevalg. Med mangel på verdier fra 25. mars til 10. april ble det valgt å hente beregnede verdier for soloppgang og solnedgang fra internett [28]. Med komplette verdier er det mulig å sammenligne med fotocelle over hele perioden fra 14. januar til 31. mai.

Siden det benyttes beregnede verdier er variasjonen i inn- og utkoblingstider fra dag til dag lineær. Fullstendige verdier for inn- og utkoblingstider er vist i Vedlegg G.

5.2 Resultater fra testanlegget med luminansmeter

5.2.1 Variasjon i inn- og utkoblingstider

Figur 5-3 viser innkoblingstider for testanlegget med luminansmeter for februar måned, for sammenligning med tidene ved fotocelle-styring i Figur 5-1.



Figur 5-3: Variasjon i innkoblingstider med luminansmeter over 1 måned

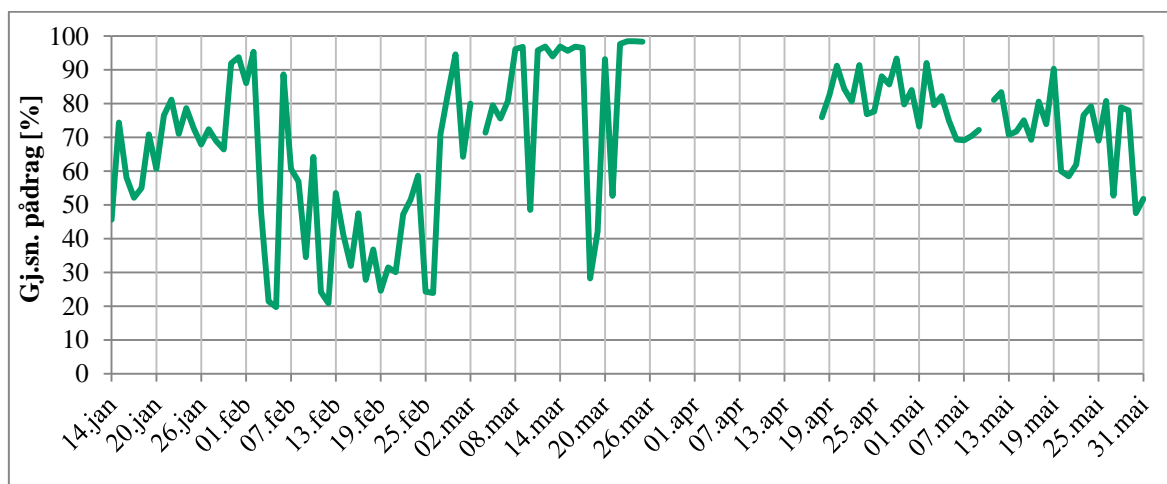
Figur 5-3 er basert på verdier fra Vedlegg G. Det er observert maksimalt 2 timer og 34 minutter variasjon i innkoblingstid. Den påfølgende datoen har også 1 time og 46 minutter variasjon til neste slik at det antas at snøfall har ført til at luminansen har holdt seg over kravet lenger enn normalt. Det er imidlertid flere verdier på rundt 1 time variasjon, som er ca. 20 minutter mer enn ved bruk av fotocelle.

Som vist i Vedlegg H er gjennomsnittlig forskjell i utkoblingstid med luminansmeter i forhold til fotocelle, størst i februar med 50 minutter. Dette gir en indikasjon på at endringer i værforhold gir større utslag med luminansmeter-styring enn kun med fotocelle.

Utkoblingstidene med luminansmeter er avhengig av astrour, slik at variasjonene der stort sett er minimale og graf er derfor ikke tatt med her. Graf over utkoblingstider i februar er vist i Vedlegg H.

5.2.2 Pådrag til armaturer

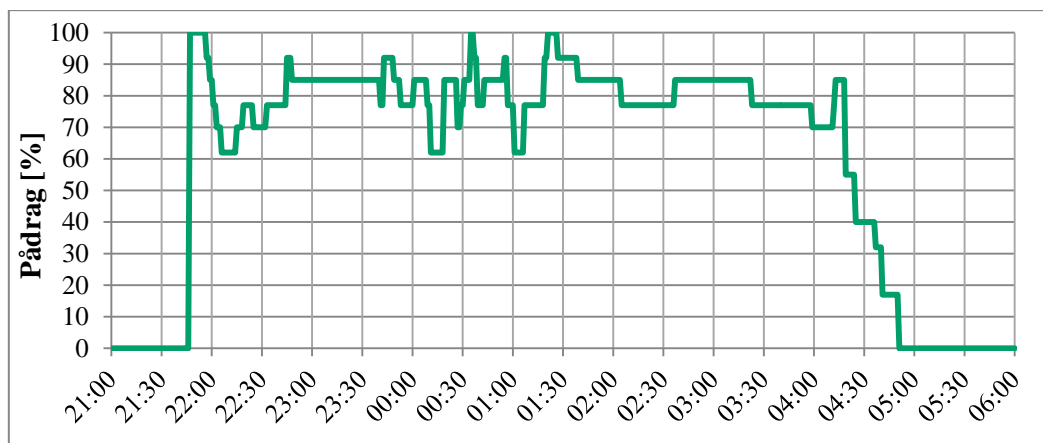
Det er beregnet gjennomsnittlig pådrag per døgn ut fra verdier logget med intervall på 1 minutt. Figur 5-4 viser gjennomsnittlig pådrag til armaturene i testanlegget i perioden 14. januar til 31. mai 2012.



Figur 5-4: Pådrag til armaturene i testanlegget med luminansmeter

Figur 5-4 er basert på verdier fra Vedlegg G. Spesielt i februar er det stor variasjon i pådraget. Grunnen til dette er at været i Trondheim, spesielt i vintermånedene, har vært veldig varierende slik at det ikke har vært uvanlig at snø en dag snur om til regn dagen etter. For sammenligning med vær- og føreforhold kunne det vært en mulighet å innhente værdata. Pga. lokale variasjoner i været vil det være lite representativt å benytte værdata fra stasjoner som ikke er plassert i umiddelbar nærhet av testanlegget. I Vedlegg G er det derfor notert noen datoer som er observert med snødekke i februar og disse stemmer bra med at verdier for pådraget til armaturene er lavt ved nevnte datoer.

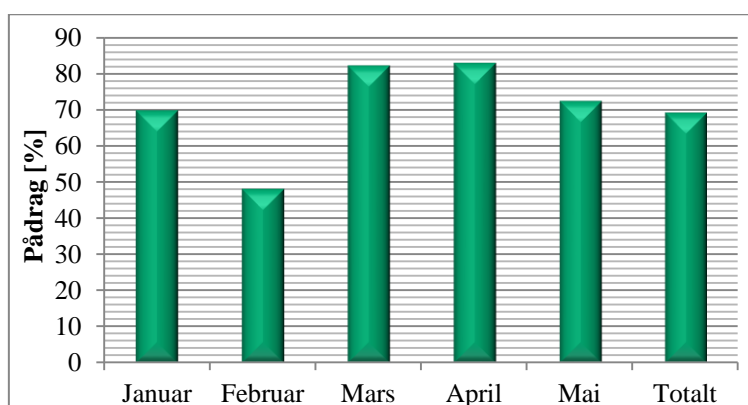
Figur 5-5 er et eksempel på hvordan pådraget til armaturene reguleres gjennom én natt og viser pådraget til armaturene gjennom natten 25. til 26. april.



Figur 5-5: Pådrag til armaturene gjennom natten 25. til 26. april

Figur 5-5 er basert på verdier fra april for sammenligning med loggede resultater fra luminansmåling, som kun foreligger for april og mai. I Vedlegg H er det vist flere eksempler på hvordan pådraget reguleres gjennom natten. Som pådraget for datoene 19. til 20. april og 6. til 7. mai viser i Vedlegg H, får pådraget et dropp i en kort periode midt på natten. Dette er et tegn på at luminansmeteret til tider kan ha vært utsatt for forstyrrelser.

Gjennomsnittlig pådrag for hver måned samt totalt over hele prosjektperioden er vist i Figur 5-6.



Figur 5-6: Gjennomsnittlig pådrag for hver måned i prosjektperioden

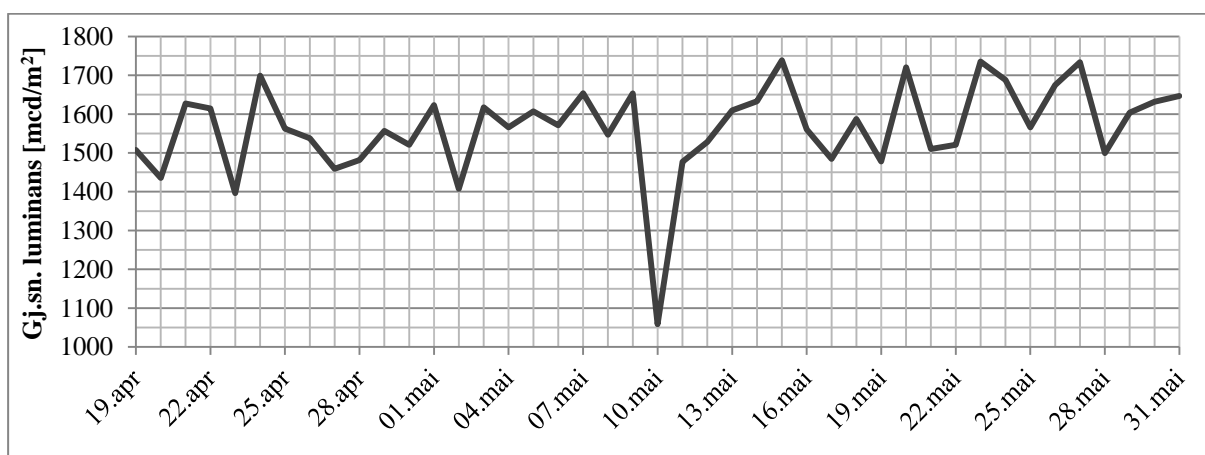
Som vist i Figur 5-6 er gjennomsnittlig pådrag til armaturene i testanlegget over hele perioden 69 %. Som forventet er pådraget lavest i vintermånedene pga. perioder med snødekke.

5.2.3 Luminansverdier

Det ble opprinnelig satt opp logging av luminansverdier på samme måte som med inn- og utkoblingstidene, men etter en tid ble det oppdaget at loggen ikke viste noen verdier. Etter feilsøking og kontakt med Echelon support ble det opprettet logging av luminans først i mars. Feilkilden ble lokalisert til at nettverksvariabelen som verdiene for luminans blir hentet inn i og sendt videre fra, ikke er definert med standardformat i styringsprogrammet.

For at loggingen skulle fungere måtte *point* for nettverksvariabelen *nviLuminance* defineres med et annet format i webgrensesnittet til iLon100. Siden det ikke eksisterer nettverksvariabler for luminans ble formatet *SNVT_lux* benyttet. Omgjøring fra spenningsignal til mcd/m^2 for luminans blir gjort i styringsprogrammet, slik at enheten av formatet definert i iLon100 ikke spiller noen rolle når formålet kun er logging av verdiene.

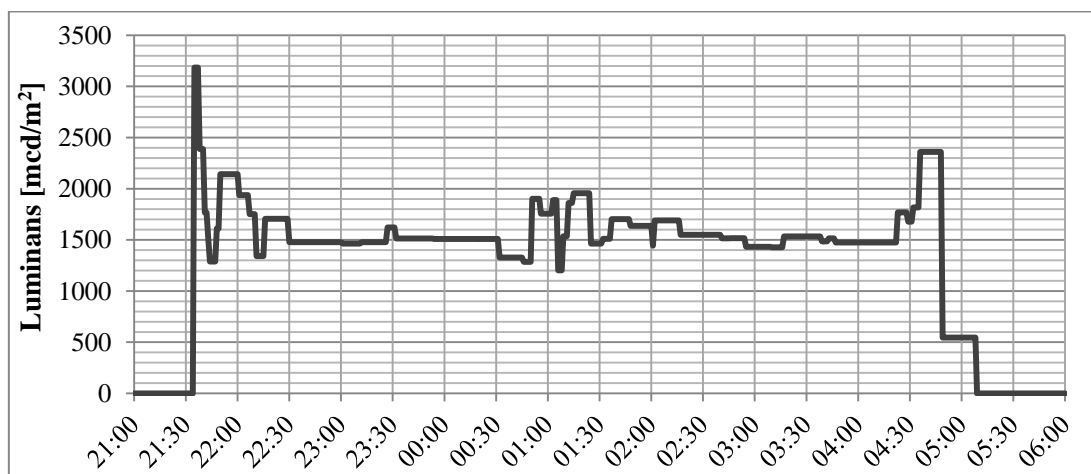
På et senere tidspunkt oppstod det imidlertid andre problemer, omtalt i Kapittel 5.4.1 på side 51, slik at resultater av luminansverdiene oppgitt i dette kapittelet kun omfatter perioden 18. april til 31. mai. Gjennomsnittlig luminans per natt er vist for nevnte periode i Figur 5-7.



Figur 5-7: Gjennomsnittlig luminans per natt i perioden fra 18. april til 31. mai

Figur 5-7 er basert på verdier fra Vedlegg G. De fleste gjennomsnittsverdiene for luminans er høyere enn kravet på $1,5 \text{ cd/m}^2$ siden de er medregnet målinger i minuttene rundt inn- og utkobling, som til tider har vært oppe i over 3 cd/m^2 som vist i Figur 5-8.

Figur 5-8 viser luminansmålinger gjennom natten 25. til 26. april og er et eksempel på hvordan luminansen endres ved regulering av belysningsnivå gjennom en natt.



Figur 5-8: Luminansmålinger gjennom natt 25. til 26. april

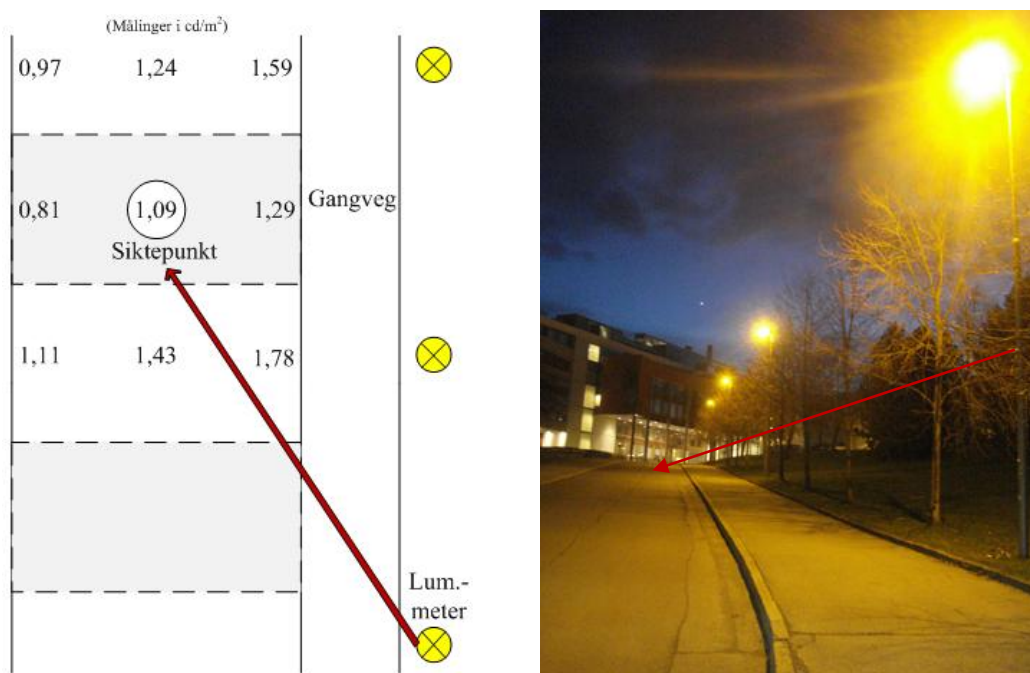
Figur 5-8 viser at luminansen holdes forholdsvis jevnt rundt angitt krav på $1,5 \text{ cd/m}^2$.

Grunnen til nivåtoppen i hver ende av grafen er endring i dagslystilgang som fører til at luminansverdien nærmer seg grenseverdien for måleområdet til luminansmeteret. Ved sammenligning med pådraget til armaturene i Figur 5-5 på side 40 kan det sees at anlegget tenner i tidsrommet der luminansen synker under kravet på $1,5 \text{ cd/m}^2$. Dette fører naturligvis til at luminansen igjen økes før anlegget begynner å regulere inn belysningen rundt kravet. Som vist på Figur 5-5 og Figur 5-8 er verdiene litt ustabile rundt kl. 01.00, som sannsynligvis skyldes ytre påvirkninger av vær eller belysning eller forstyrrelser på nettet. Flere eksempel på luminansmålinger i løpet av en natt er vist i Vedlegg H.

5.2.4 Kontrollmåling av luminans

I fordypningsprosjektet høsten 2011 ble det utført kontrollmåling av luminansmeteret i testanlegget på snøføre. Det ble da observert et avvik på $0,11 \text{ cd/m}^2$ fra et referanseinstrument av typen Minolta CS100A som luminansmeteret er kalibrert mot. Det ble utført en ny kontrollmåling på tørt og bart vegdekke i denne oppgaven for å kvalitetssjekke luminansverdien i LonMaker og i loggen til iLon100.

Utførelse av målingene og måleresultater er vist i Figur 5-9.



Figur 5-9: Kontrollmåling av luminans i testanlegget 7. mai 2012

Ut fra målingene er gjennomsnittlig luminans beregnet til $1\,209 \text{ mcd/m}^2$ med Formel 4-1. Skjermbildet fra LonMaker og loggen i iLon100 er vist i Figur I.1 i Vedlegg I fra omtrent samme tidspunkt som målingene ble foretatt. Avlest verdi for luminans i LonMaker er $1\,245 \text{ mcd/m}^2$, som gir et avvik på $0,04 \text{ cd/m}^2$ fra målt verdi med referanseinstrument, som er akseptabelt. Målingene ble utført i en litt lavere høyde enn luminansmeteret, i tillegg til at referanseinstrumentet var håndholdt. Dette fører til at det må påberegnes noe unøyaktighet i forhold til luminansmeteret i testanlegget.

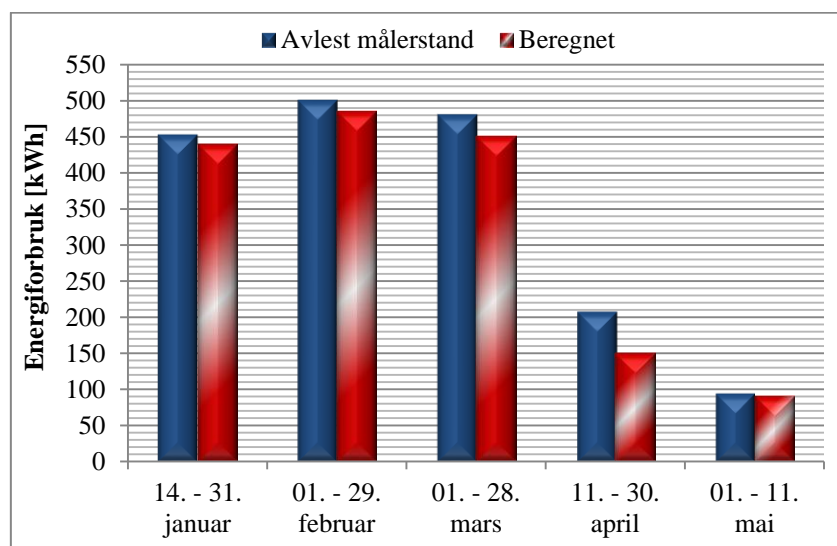
Skjerm bilde fra loggen i iLon100 er tatt med i Vedlegg I for å sjekke at riktig luminansverdi logges. I tilfelle i Figur I.1 i Vedlegg I viser loggen 1 259 mcd/m² mot 1 245 mcd/m² fra LonMaker, som regnes som tilnærmet likt slik at luminansverdiene som er logget skal være representative. Avviket kan skyldes at loggen i iLon100 ikke mottar hver eneste minuttverdi og at det kan være noe forsinkelse i oppdateringen av verdiene i loggen. Grunnen til at luminansverdiene er noe lavere enn angitt krav på 1,5 cd/m² kan skyldes at målingene er utført forholdsvis kort tid etter tenning slik at systemet ikke riktig har stabilisert seg enda.

Figur I.2 i Vedlegg I viser en kontrollmåling utført ca. 30 minutter senere med gjennomsnittlig luminans på 1 430 mcd/m². Skjerm bilde fra LonMaker og loggen i iLon100 er vist i Figur I.3 i Vedlegg I fra noen minutter etter at kontrollmåling nr. 2 ble utført. Avviket fra målt og avlest verdi er her på 0,10 cd/m², som også er akseptabelt tatt i betraktning at avviket mellom luminansmeteret i testanlegget og referanseinstrumentet øker ved høyere luminans [62]. Avvik mellom logget verdi i iLon100 og avlest verdi i LonMaker er tilsvarende avviket ved kontrollmåling nr. 1.

5.2.5 Målt og beregnet energiforbruk

Energimåleren for testanlegget i Høgskoleringen inkluderer i tillegg til de 9 armaturene omtalt i kapittel 4.1, armatur nr. 1 tilknyttet LuxSave styringssystem. I beregningene er det tatt høyde for det, i tillegg til at armatur nr. 8 ikke har 1-10 V dimming og at armatur nr. 7 har en høyere installert effekt.

Totalt forbruk ut fra avlest målerstand og beregnet energiforbruk i aktuelle perioder er vist i Figur 5-10.



Figur 5-10: Totalt forbruk ut fra avlest målerstand og beregnet energiforbruk

Diagrammet i Figur 5-10 er basert på verdier vist i Tabell J.1 og Tabell J.2 i Vedlegg J. Måledata som er benyttet for armatur nr. 1 i beregningene er vist i Vedlegg K.

Det må tas høyde for noe usikkerhet for beregnet effektforbruk i regulert tilstand i forhold til avlest målerstand, pga. interpolering mellom 10 %-intervaller som nevnt i kapittel 4.1. I tillegg må det tas høyde for noe unøyaktighet i målinger, siden beregningene kun er basert på målinger fra én enkelt armatur.

Beregnete verdier i Figur 5-10 er lavere enn avlest målerstand siden beregningene kun tar høyde for installert effekt. Tap i kabelnettet vil variere ved varierende pådrag, slik at det er vanskelig å beregne noe eksakt tall. I forbindelse med en masteroppgave ved NTNU fra 2007 ble det utført effektmålinger på testanlegget som den gang bestod av kun NaH-armaturer. Det ble da konkludert med et tap på 2,9 % (50 W) ved 100 % pådrag [63]. På denne tiden bestod testanlegget kun av NaH-armaturer med lik effekt. Det er derfor valgt å utføre noen nye beregninger av tap i testanlegget. Vedlegg L viser beregning av spenningsfall i FebDok og beregning av tap. Beregningene viser et totalt tap på 2,3 %.

Dersom det beregnes med et tap i kabelnettet på ca. 2,3 % vil det beregnede forbruket stemme nøyaktig for januar og februar. For perioden i mars er målerstand avlest tre dager etter angitt tidsperiode for beregning, slik at det ikke er mulig med nøyaktig sammenligning. Avviket er da på ca. 6 %, som ved et tap i nettet på 2,3 % gir en indikasjon på at beregnet verdi ville blitt noe høyere enn avlest. Dette tyder på at dimmeverdiene som er logget fra 22. til 25. mars viser en litt høyere verdi enn faktisk verdi, pga. problemer med logging som omtales nærmere i Kapittel 5.4.1 på side 51. Avviket er likevel ikke større enn at det kan konkluderes med at beregningene stemmer bra.

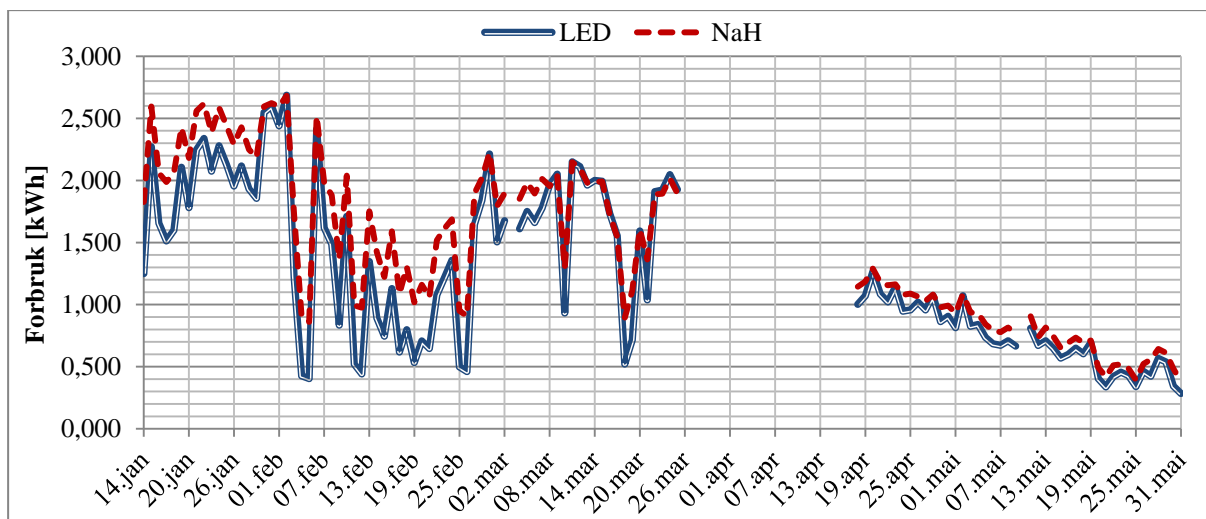
For april er perioden for avleste verdier noe lenger enn for beregnede verdier, slik at det ikke er mulig med nøyaktig sammenligning. Ut fra forskjellen på lengden av periodene kan det virke som forskjellen i energiforbruk burde vært noe større. Dette kan ha sammenheng med feil i kalibreringsfaktor for luminansmeter, som omtalt i 5.4.2 på side 52.

For mai stemmer verdiene også bra, der beregnet verdi blir marginalt større enn avlest verdi når det beregnes med et tap i kabelnettet på 2,3 %.

5.2.6 Energiforbruk for NaH og LED

For sammenligning av energiforbruk i henhold til type lyskilde er det tatt utgangspunkt i beregnede verdier for én NaH-armatur og én LED-armatur av typen Philips Speedstar.

Figur 5-11 viser energiforbruk per armatur i testanlegget for henholdsvis LED og NaH. Armaturene har tilnærmet samme installert effekt.



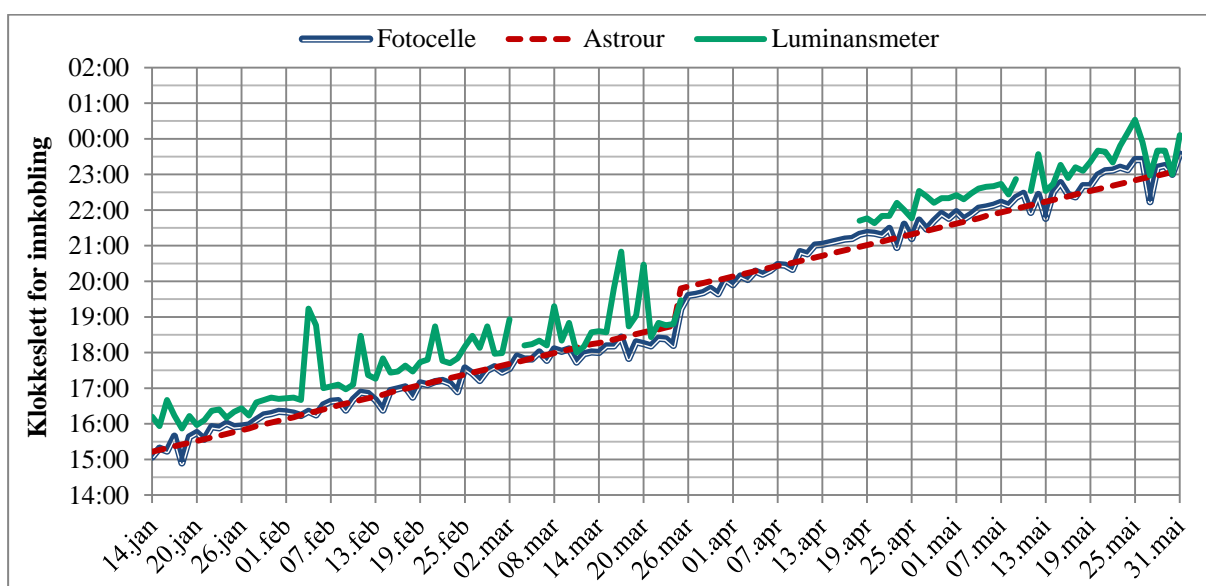
Figur 5-11: Energiforbruk per armatur for LED og NaH

Figur 5-11 er basert på verdier fra Vedlegg J. LED-armaturene har jevnt over lavere forbruk enn NaH-armaturene hovedsakelig pga. lineært forhold mellom pådrag og faktisk effekt ved dimming. Dermed er utslaget størst de dagene gjennomsnittlig pådrag er lavest, som vil si ved snødekke.

5.3 Sammenligning av resultater for fotocelle, astrour og luminansmeter

5.3.1 Sammenligning av inn- og utkoblingstider

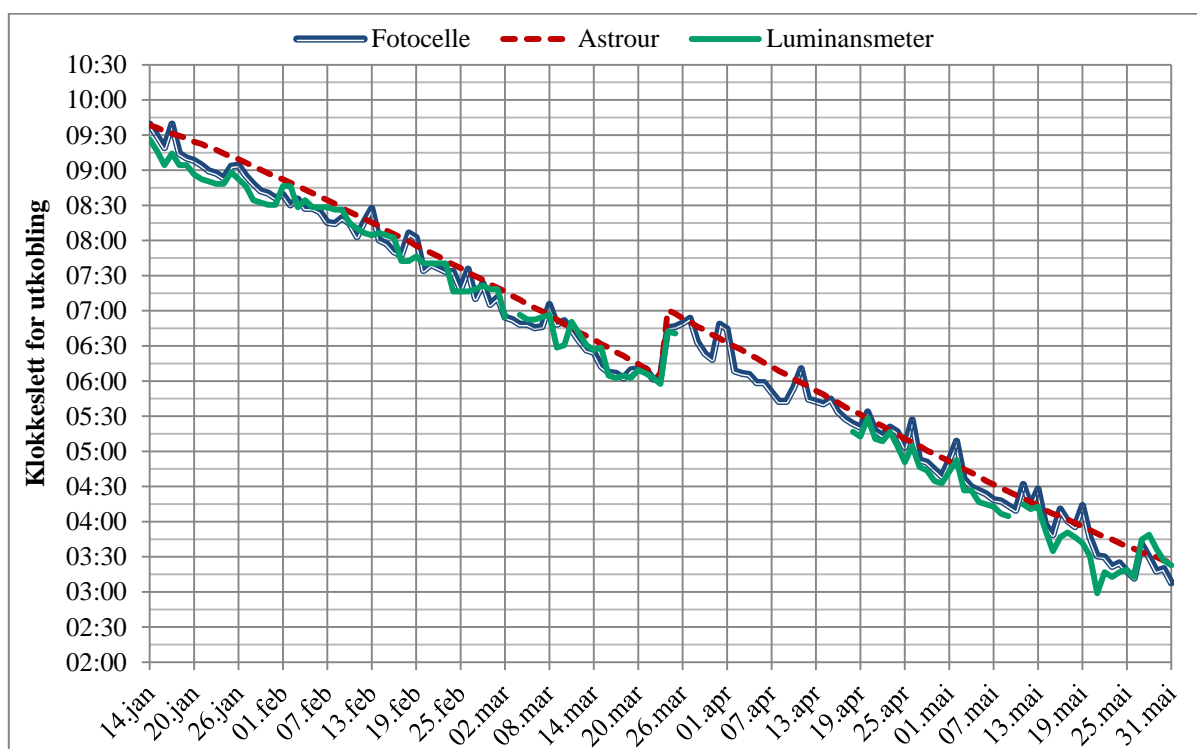
Fullstendige verdier for inn- og utkoblingstider er vist i Vedlegg G. Figur 5-12 viser innkoblingstider for veglysanlegg styrt av henholdsvis fotocelle, astrour og luminansmeter i perioden 14. januar til 31. mai 2012 i Trondheim.



Figur 5-12: Innkoblingstider for anlegg styrt med fotocelle, astrour og luminansmeter

Som følge av bedre regulering av pådrag i forhold til luminansnivå i vegbanen, har testanlegget med luminansmeter jevnt over senere innkobling enn anlegg med fotocelle og astrour. I snitt kobler testanlegget inn 40 minutter senere enn anlegg med fotocelle over hele perioden. Gjennomsnittlig forskjell i innkoblingstider for hver måned er vist i Vedlegg H. Innkoblingstidene er stort sett mer stabile i vårmånedene april og mai, som viser at forskjell mellom vått og bart føre har mindre innvirkning enn snø.

Figur 5-13 viser utkoblingstider for veglysanlegg styrt av henholdsvis fotocelle, astrour og luminansmeter i perioden 14. januar til 31. mai 2012 i Trondheim.

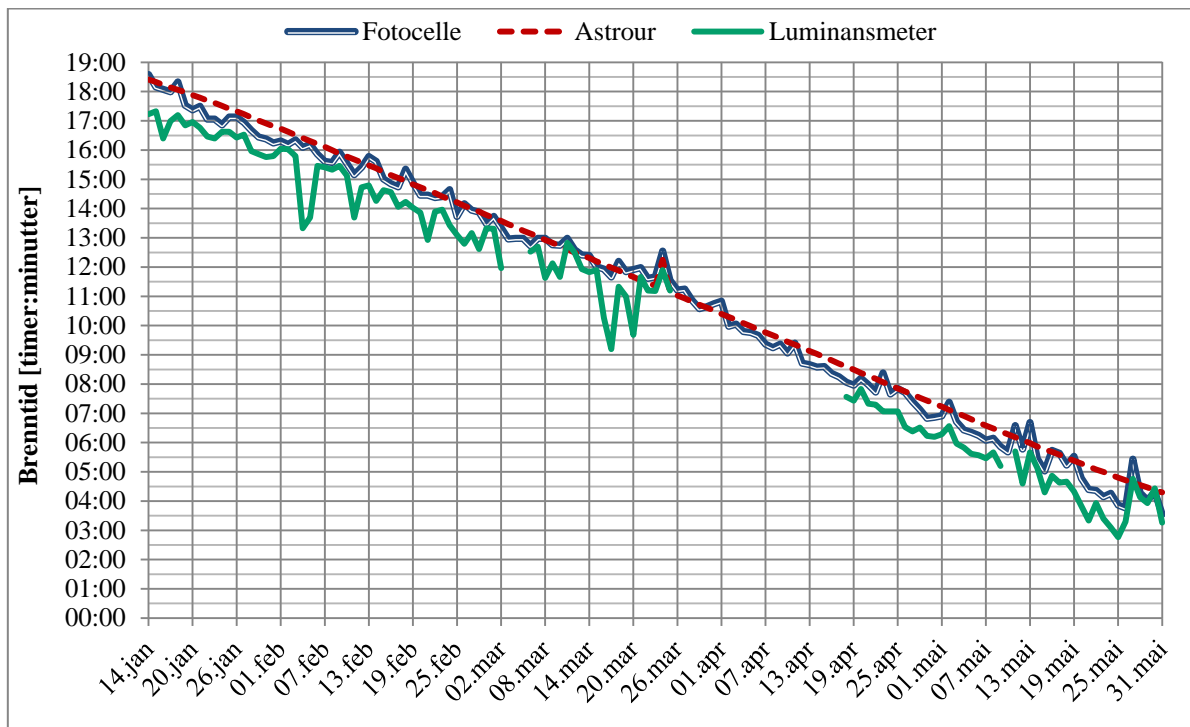


Figur 5-13: Utkoblingstider for anlegg styrt av fotocelle, astrour og luminansmeter

Siden styringsprogrammet til testanlegget er bygget opp slik at utkobling delvis er avhengig av astrouret, er det liten forskjell i utkoblingstid mellom systemene. Grunnen til spranget i grafene 25. mars er 1 times justering til sommertid.

5.3.2 Sammenligning av brenntid

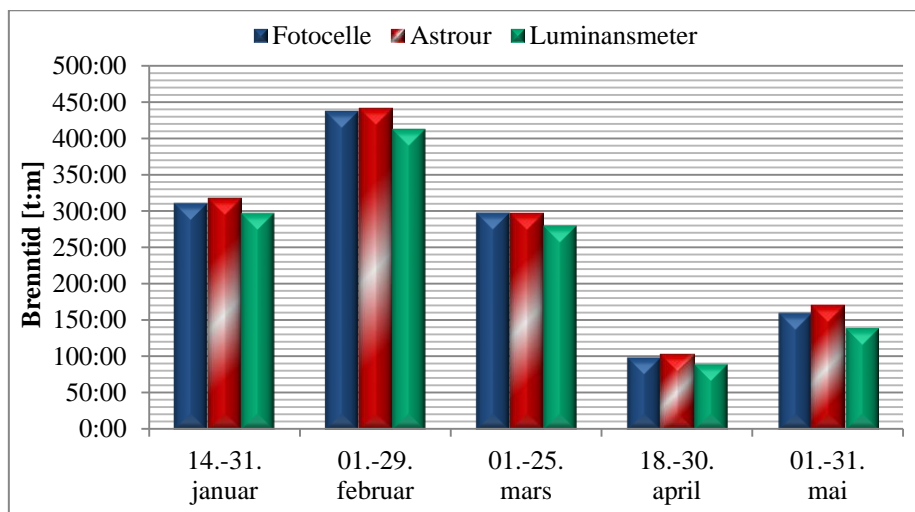
Fullstendige verdier for brenntid er vist i Vedlegg G. Brenntider for styringstypene er vist i Figur 5-14 for perioden 14. januar til 31. mai.



Figur 5-14: Brenntider for anlegg styrt av fotocelle, astrour og luminansmeter

Figur 5-14 viser at anlegget styrt av luminansmeter har gjennomgående lavest brenntid. Som følge av størst variasjon i innkoblingstidene i perioder med snøfall og snødekke, er det samme også tilfelle med brenntid.

Total brenntid per tidsperiode med måleresultater fra testanlegget er vist for fotocelle, astrour og luminansmeter i Figur 5-15.



Figur 5-15: Sammenligning av brenntimer

Tabell 5-1 viser prosentvis sammenligning av brenntid for luminansmeter, fotocelle og astrour, ut fra verdiene vist i Figur 5-15.

Tabell 5-1: Forskjell i brenntid

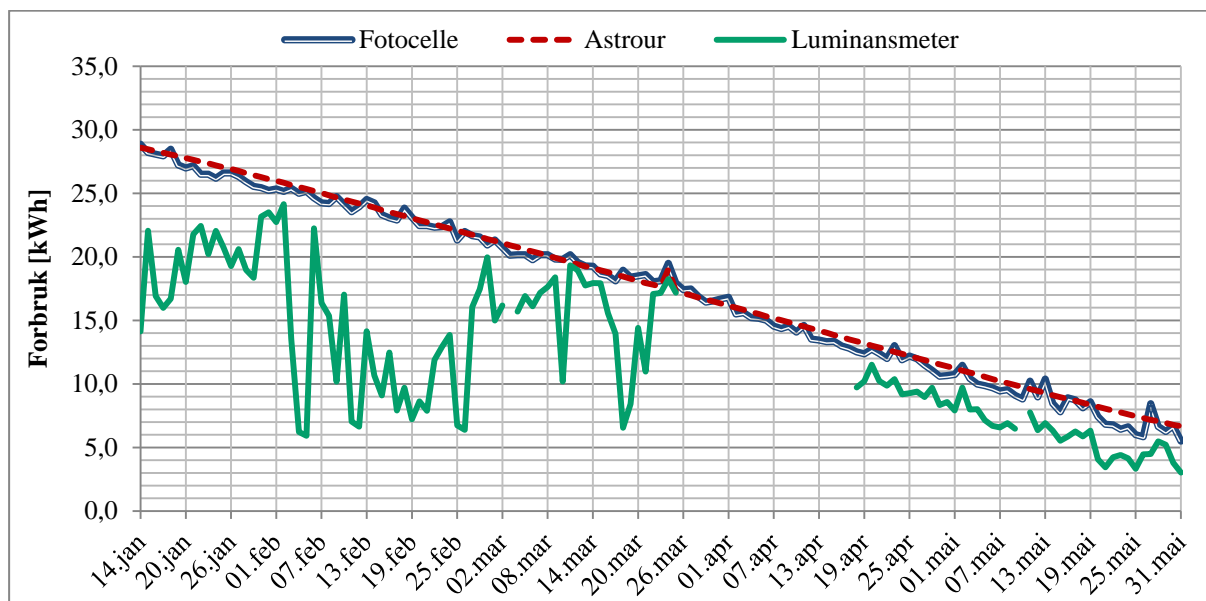
Måned	Luminansmeter vs. fotocelle	Luminansmeter vs. astrour	Astrour vs. fotocelle
Januar	-4,3 %	-6,1 %	+1,9 %
Februar	-5,5 %	-6,5 %	+1,0 %
Mars	-5,9 %	-5,7 %	-0,3 %
April	-9,3 %	-12,6 %	+3,3 %
Mai	-12,9 %	-17,7 %	+5,9 %
Totalt	-6,5 %	-8,1 %	+1,7 %

Det er oppnådd jevnt over 4-6 % lavere brenntid med luminansmeter enn med konvensjonell styring. Det er større besparelse i brenntid i april, men kortere periode med måledata samt færre brenntimer per døgn gjør at det resultatet ikke er like representativt. Brenntidene ved bruk av fotocelle og astrour er tilnærmet like, men astrour har marginalt lenger brenntid enn fotocelle. Prosentvis differanse i brenntimer for styringssystemene er vesentlig høyere for mai enn for de andre månedene. Dette er pga. lavere antall brenntimer som fører til at forskjeller utgir større utslag i prosent.

5.3.3 Sammenligning av energiforbruk

Ved beregning av energiforbruk for de tre styringstypene er det tatt utgangspunkt i 5 NaH-armaturer og 4 LED-armaturer med effekt tilsvarende Philips Speedstar omtalt i Kapittel 4.1.3 på side 28. Dette er gjort for å forenkle beregningene og for å gjøre resultatene mer representative for andre anlegg med en blanding av NaH- og LED-armaturer. Beregningene har således ikke direkte sammenheng med verdiene i Figur 5-10 på side 43. Fullstendige resultater fra beregning av energiforbruk er vist i Vedlegg I.

Figur 5-16 viser forbruk per døgn med henholdsvis fotocelle, astrour og luminansmeter i perioden 14. januar til 31. mai.



Figur 5-16: Totalt forbruk per døgn med forskjellige styringssystem i perioden 14. januar til 31. mai

Det er på det meste observert 19,2 kWh lavere forbruk per døgn med luminansmeter i forhold til fotocelle og astrour. I gjennomsnitt har testanlegget 5,6 kWh per døgn lavere forbruk enn anlegget med fotocelle.

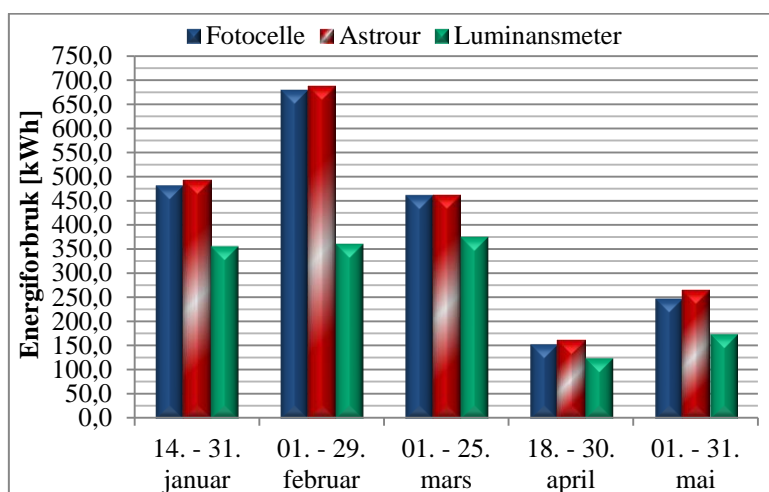
Ut fra verdiene vist i Figur 5-16 er gjennomsnittlig avvik i energiforbruk fra dag til dag beregnet for hele prosjektperioden og vist i Tabell 5-2.

Tabell 5-2: Gjennomsnittlig avvik i energiforbruk fra dag til dag

	Fotocelle	Astrour	Luminansmeter
Gj.sn. avvik [kWh]	0,449	0,160	2,254

Pga. de store variasjonene i forbruk med luminansmeter som vist i Figur 5-16 er også gjennomsnittlig avvik med luminansmeter vesentlig større enn for fotocelle og astrour.

Det er beregnet totalt energiforbruk for hver av styringsstrategiene for tidsperiodene med komplette måleresultater fra testanlegget. Resultatene av beregningene er vist i Figur 5-17.



Figur 5-17: Sammenligning av energiforbruk for angitte tidsperioder

Resultatene i Figur 5-17 er sammenlignet i Tabell 5-3 for beregning av prosentvis besparelse i energiforbruk.

Tabell 5-3: Differanse i energiforbruk og besparelse

Tidsperiode	Luminansmeter vs. fotocelle		Luminansmeter vs. astrour		Astrour vs. fotocelle	
	Differanse [kWh]	Besparelse [%]	Differanse [kWh]	Besparelse [%]	Differanse [kWh]	Besparelse [%]
14.-31. januar	-128,4	26,6 %	-138,2	28,0 %	9,3	-1,9 %
01.-29. februar	-320,0	47,2 %	-327,8	47,7 %	6,9	-1,0 %
01.-25. mars	-89,0	19,2 %	-87,7	19,0 %	-1,3	0,3 %
18.-30. April	-29,6	19,1 %	-35,4	22,0 %	5,8	-3,7 %
01.-31. Mai	-75,3	30,1 %	-90,0	34,0 %	14,7	-5,9 %
Totalt	-642,2	31,6 %	-677,6	32,8 %	35,4	-1,7 %

Som vist i Tabell 5-3 er det jevnt over mellom 20 og 30 % besparelse i energiforbruk per måned ved bruk av luminansmeter. Som det er indikert tidligere i rapporten ved sammenligning av brenntid og innkoblingstider er det spesielt stor besparelse med luminansmeter i februar pga. mye snøfall. Mars var en regntung måned og viser derfor minst besparelse, bortsett fra april der målingene er utført over en kortere periode.

5.4 Feilsøking og avvik i testanlegget

Behandling av avvik i måleresultater i testanlegget er begrenset til perioden med luminansmålinger. Dette er gjort fordi det da er mulig å sammenligne pådraget og målte luminansverdier, som kan vise om avvik fra normalverdier er riktig eller om feilkilder er tilstede.

5.4.1 Feil med logging i perioden 26. mars til 11. april

I uke 12 (rundt 21. - 22. mars) ble det installert noen prototyper på styringsenheter fra LuxSave med LonWorks-grensesnitt, i to av armaturene i testanlegget. Loggen over måleresultatene ble sjekket noen dager etter dette og det ble oppdaget at det eksisterende styrings-systemet ikke fungerte som det skulle, da anlegget tilsynelatende flere netter på rad ikke var tent, som vist i måleresultatene i Vedlegg G. I tillegg var det ikke lenger mulig å overstyre komponenter via LonMaker. Det ble antatt at de nye prototypene fra LuxSave med LonWorks-grensesnitt forårsaket noen forstyrrelser på nettet, slik at de ble frakoblet logisk i LonMaker i tillegg til at de ble fysisk frakoblet. Dette viste seg å ikke utgjøre noen forskjell. Etter frakoblingen ble det forsøkt *recommission* av enhetene i LonMaker som førte til at anlegget på uforklarlig vis tilsynelatende fungerte som tilsiktet igjen. Dette var like før påske slik at det ikke ble gjort noe mer med det på daværende tidspunkt.

Ved sjekk av loggen etter påske indikerte loggen i iLon100 at armaturene ikke hadde vært tent. Derfor ble det gjort opptak fra webkameraet som overvåker testanlegget for å se om loggen stemte. Opptaket viste at anlegget tente og slukket som det skulle, i tillegg til at belysningsnivået ble dimmet automatisk. Det ble derfor antatt at feilen måtte være forbundet med iLon100 eller nettverkstilkoblingen til iLon100. Ved installering av styringsenhetene fra LuxSave ble sentralen plassert i samme fordeling som iLon100, og siden begge benytter IP-grensesnitt ble nettverkskabelen til iLon100 tilkoblet via en *switch*. Det ble forsøkt å fysisk frakoble LuxSave-sentralen og koble tilbake nettverkskabelen direkte til iLon100 uten at det alene førte til at det fungerte igjen. Siste utvei ble derfor reinstallerings av LonMaker og definisjon av *points* for logging i iLon100 på nytt. Dette førte til at det fungerte som det skulle igjen, men årsaken til problemene er ikke kjent. Pga. problemene foreligger det ikke måleresultater fra testanlegget mellom 25. mars og 10. april. Pga. de samme problemene er det også uvisst om resultatene mellom 22. og 25. mars er representative.

Det ble antatt at switchen og LuxSave-enheten ikke var kilden til problemet, slik at de ble koblet til igjen 11. april. Når loggen igjen ble sjekket noen dager etterpå var samme problem tilbake, med at loggen ikke viste noen resultater. Dermed ble nettverkskabelen koblet tilbake direkte i iLon100 og LuxSave-enheten frakoblet, i tillegg til at *points* for logging ble satt opp i LonMaker på nytt. Fra og med 18. april var alt i orden igjen.

Arbeidet med denne oppgaven har vært preget av flere feilmeldinger som ikke Echelon support kunne gi noen konkrete svar på, slik at det er uvisst hva som er hovedkilden til problemene. Problemene oppstod i samme tidsrom som prototypen til LuxSave ble installert, men siden tilkobling også inkluderte iLon100 er det godt mulig at feilen oppstod i oppsettet til iLon100. Siden mange måleresultater allerede var tapt ble det likevel besluttet å ikke gjøre flere endringer i oppsettet i løpet av prosjektperioden, siden alt på daværende tidspunkt fungerte som tilsiktet. Feil på logg omfatter kun nettverksvariable, mens verdiene for fotocelleanlegget logges via en potensialfri inngang på iLon100 slik at de skal være riktige over hele prosjektperioden. Diverse feilmeldinger som har oppstått i LonMaker gjennom arbeidet med testanlegget er vist i Vedlegg F.

5.4.2 Feilsøking 23. til 24. april

Det ble oppdaget noe sen tenning av anlegget 23. april. Forløpet av luminansmålinger og pådrag natten 23. til 24. april er vist i Vedlegg G. Der er det tydelig at pådraget reguleres dårligere enn normalt og at det viser en gjennomsnittlig høy verdi. Feilkilden ble lokalisert til at kalibreringsfaktoren og verdien for antall prøvinger for målinger fra luminansmeteret var blitt nullstilt. Årsaken til at det hadde skjedd er ikke kjent, men det ble endret tilbake til riktig verdi 24. april. Dette har medført at luminansmeteret ikke har vist riktig verdi, som sannsynligvis er årsaken til sen tenning.

5.4.3 Feilsøking 10. til 11. mai

Som vist på Figur 5-7 på side 41 er gjennomsnittlig luminans svært lav 10. mai. I følge Figur 5-4 på side 39 har ikke testanlegget tent denne natten, men det ble først oppdaget på et senere tidspunkt slik at årsaken ikke er kjent. Luminansmålinger gjennom natten er vist i Vedlegg H. Der fremgår det at luminansnivået stort sett ligger rundt 1 cd/m^2 , som tilsier at noe belysning var til stede. Beregnet energiforbruk stemmer derimot bra med avlest for gjeldende periode, som tilsier at anlegget ikke var tent. Ut fra at målingene fra luminansmeteret virker unormalt høye til at testanlegget skal ha vært slukket, antas det at feilen skyldes forstyrrelser på signalet fra luminansmeteret eller den analoge inngangen på kontrolleren.

5.4.4 Feilsøking 12. til 13. mai

Som vist på Figur 5-12 på side 45 skjer innkobling senere 12. mai enn dagene før og i etterkant. Pådrag til armaturene og luminansmålinger natten 12. til 13. april er vist i Vedlegg H. Luminansmålingene viser at luminansen er over angitt krav fram til noen minutter før anlegget tennes, slik at i følge målingene er det tilstrekkelig belysning fram til tidspunktet for tenning. Figur 5-12 viser at også fotocelle-anlegget koblet senere inn enn vanlig samme natt, så det antas at lysforholdene denne kvelden var bedre enn gjennomsnittet. En annen forklaring kan være at loggingen i iLon100 har vært utsatt for forstyrrelser, men det er lite sannsynlig siden fotocelleanlegget og testanlegget logges via henholdsvis fysisk inngang og nettverksvariabler. Luminansen gjennom den antatt mørkeste delen av natten er imidlertid lav som gjenspeiles i at pådraget ligger jevnt helt oppe på 100 %. Selv om verdiene for luminans og pådrag stemmer bra overens er det sannsynlig at systemet har vært utsatt for noen forstyrrelser, siden resultatene fra denne natten avviker så mye fra dagene før og etter.

5.4.5 Feilsøking 27. til 28. mai

Innkobling 27. mai ble observert nærmere en time senere enn dagen før. Graf over pådrag og luminans gjennom natten 27. til 28. mai er derfor vist i Vedlegg H, der det fremgår at luminansen er under kravet på $1,5 \text{ cd/m}^2$ i det anlegget tenner. I tillegg er det observert samme avvik for anlegget med fotocelle slik at det antas at avviket skyldes bedre lysforhold på nevnte dato.

6 AMS I VEGLYSANLEGG

Med endelig vedtak om innføring av AMS i alle målepunkt innen 2017, er det aktuelt å vurdere metoder for å kombinere dette med eksisterende styringssystem for vegbelysning. I tillegg til overgang fra avregning til måling av faktisk forbruk, vil innføring av AMS i veglysanlegg medføre flere ekstra funksjoner som kan benyttes for å oppnå høyere effektivitet og besparelser innen drift og vedlikehold. Tilgjengelighet av slike tilleggsfunksjoner vil være med på å avgjøre den samfunnsmessige nytten av AMS. Kravene i EU er at alle medlemslandene skal ha installert AMS til 80 % av kundene innen 2020, noe som også vil gjelde EØS-land [64]. Dette kan føre til at Norge blir et av foregangslandene pga. den kortere fristen innen utgangen av 2016.

6.1 Det norske kraftmarkedet

Det norske kraftmarkedet er deregulert som betyr at kraftproduksjon og salg er utsatt for konkurranse [65]. Dette medfører at sluttbrukere fritt kan velge kraftleverandør, men nettselskapet har monopol på overføring av kraften [66]. Grunnet dette ble lagt gjennom innføring av energiloven i 1991. Formålet med endringene gjennom energiloven var bl.a. å redusere diskriminering mellom abonnenter [66]. Endringene i avregningsforskriften 2011 angående AMS, representerer den største endringen norsk energiforsyning har stått overfor siden energiloven ble innført [67].

6.1.1 Oppbygning av det norske kraftmarkedet

Kraftmarkedet i Norge er i hovedsak delt opp i engrosmarked og sluttbrukermarked. I engrosmarkedet er Statnett ansvarlig for overføring av kraft mens majoriteten av handel av kraft foregår gjennom den nordiske kraftbørsen NordPool [65]. Kraftprisen i engrosmarkedet bestemmes av tilbud og etterspørsel og vil også påvirke prisen i sluttbrukermarkedet. Engrosmarkedet benyttes for handel av store kraftvolum.

I forhold til AMS i veglysanlegg er det sluttbrukermarkedet som har størst betydning. Sluttbrukermarkedet består av tre typer aktører; sluttbruker, kraftleverandør og nettselskap [66]. En av NVEs oppgaver er å legge til rette for et mest mulig effektivt sluttbrukermarked [66]. Forholdet mellom nettselskap og sluttbruker blir regulert gjennom avregningsforskriften.

6.1.2 Nettselskapenes rolle

Behovet for og betydning av en tydelig og strukturert rolledefinisjon for nettselskapet har vært økende, og vil spesielt bli en viktig faktor i forbindelse med innføring av AMS [68]. Dette pga. at nettselskapene er eiere av nettet og har monopol på kraftoverføring, samt at det er de som vil utføre vurderinger om det skal søkes om unntak fra forskriften for enkelte målepunkt. For at kraftmarkedet skal fungere som tilsiktet er det en forutsetning at rollen til nettselskapene som monopolister blir regulert.

Følgende monopoloppgaver er vurdert av Avenir som de viktigste i forhold til innføringen av AMS [66]:

- Overføring av kraft (drift, vedlikehold og investering).
- Tarifiering.
- Måling, avregning og kundehåndtering.
- Driftskoordinering.
- Pålagt kraftsystemplanlegging.

Noen av de viktigste oppgavene til nettselskapene i sluttbrukermarkedet er vurdert til følgende [66]:

- Oversendelse av måle- og avregningsdata til kraftleverandører.
- Ansvar for at fakturering foregår i henhold til bestemmelsene i avregningsforskriften.
- Avregning basert på forbruksmønsteret til gjennomsnittskunder (justert innmatingsprofil).
- Ansvar for å opptre nøytralt i enhver sammenheng overfor sluttbrukere og kraftleverandører.
- Åpning og stenging av anlegg.

I tillegg har nettselskapene ansvar for følgende i sluttbrukermarkedet [68]:

- Kvalitetssikring av måledata og utstyr i hele måleverdikjeden.
- At energiforbruk i målepunkt blir målt og avlest.
- At avregning blir utført i henhold til gjeldende forskrifter.

I § 4-5 i energilovforskriften om måling, avregning og fakturering står det følgende; *"Måling, avregning og fakturering skal utføres på en måte som sikrer en enkel markedsadgang og legger til rette for en effektiv kraftomsetning"* [66]. Dette omfatter bl.a. måling, avregning og fakturering av nettjenester og energi. Det vil bli viktig at nettselskapene bidrar til å finne praktiske løsninger med eiere av veg- og gatelys for at de skal kunne delta i kraftmarkedet på lik linje med andre sluttbrukere [64].

6.1.3 Tariffer

Prisen sluttbrukere betaler for kraft levert fram til anlegget utformes som tariffer og er sammensatt av faste og varierende elementer. Tariffer utformes av nettselskapene og kan benyttes for å oppnå målsetninger som ellers ville vært vanskelig å oppnå [65]. Nettselskapene har informasjonsplikt om tariffer overfor kunder [66]. De norske krafttariffene utformes med følgende ledd [65]:

- fast ledd
- energiledd (øre/kWh)
- effektledd (bestemmes av forbruk på et gitt tidspunkt)
- kompensasjon for ikke levert energi (trekkes fra)
- ledd for reaktiv effekt (normalt kun brukt for store kunder)
- tilkoblingsgebyr (engangsavgift for tilkobling til nettet)

Det faste leddet er uavhengig av forbruk og utgjør nettleie samt offentlige avgifter. Det reflekterer de totale kostnadene for drift av nettet fram til sluttbruker [65]. Kostnad for forbruk inngår som et varierende eller fast element i energileddet.

I følge § 4-5 i energilovforskriften skal fakturering gjennomføres på en måte som bidrar til at sluttbruker gjøres bevisst på sitt eget energiforbruk [69]. Det vil si at tariffen bør utformes slik at energisparende tiltak blir lønnsomme. Ved at sluttbrukere får oppdatert informasjon om eget forbruk med AMS, vil det være mulig å forskyve effekttopper ved at sluttbrukere endrer forbruk i forhold til varierende kraftpris. Gjennomsnittlig lavere kraftpriser på nattestid kan føre til at husholdninger forskyver forbruk til natt, som igjen kan føre til prisendringer.

Innføring av AMS vil kunne føre til at tariffen utformes mer kostnadsriktige [9]. Eksempelvis vil tariffen med lavt fastledd og høyt energiledd gi kundene større insentiver til energisparing enn ved høyt fastledd og lavt energiledd [9].

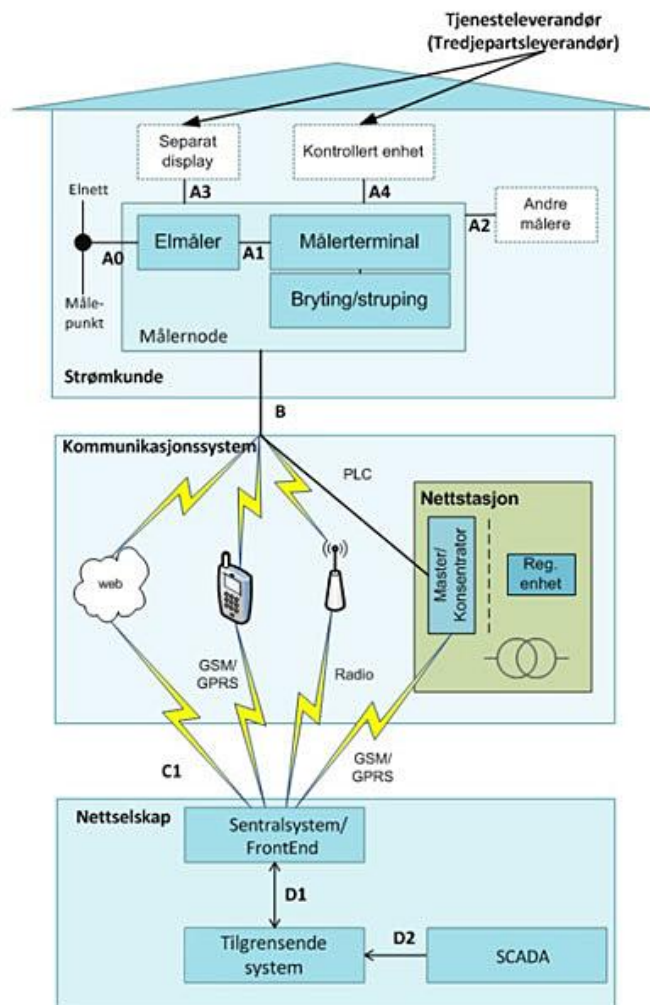
6.2 AMS-infrastruktur og kommunikasjon

Fullskala implementering av AMS vil primært være for måling av forbruk og sending av måledata. Kravene om timesverdier fører til at det stilles større krav til kommunikasjonsløsninger som også vil medføre endringer i IKT-systemene. Eventuell tilleggsfunksjonalitet vil medføre større sikkerhetsutfordringer, slik at det også kan være nødvendig med skjerping av sikkerhetskrav til IKT i nettselskapene.

6.2.1 Oppbygning av AMS

AMS starter med registrering av forbruk i energimåler, der måleverdi blir overført til en kommunikasjonsterminal for videresending [70]. Måler og terminal kan være integrert eller i to separate enheter og omtales da som målernode. Det er en fordel med utskiftbar terminal pga. at kommunikasjonsteknologier kan ha kortere levetid enn en måler [71]. Dersom måler og terminal er to separate enheter, må måleverdier overføres fra måleren til terminalen. Verdier kan overføres med S0-pulser proporsjonale med forbruket eller terminalen kan lese direkte fra målerens registre [72].

Fra terminalen overføres måleverdier via kommunikasjonssystemet til sentralsystemet som ofte omtales som FrontEnd [70]. Figur 6-1 viser oversikt over komponenter i en komplett målekjede med AMS.

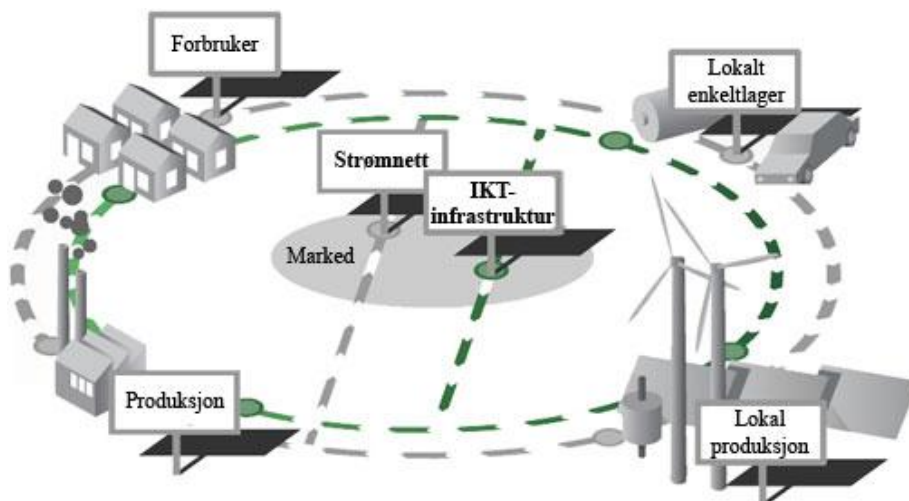


Figur 6-1: Oversikt over komponenter i en AMS-løsning [14]

Kontrollert enhet i Figur 6-1 er utstyr som inngår i betjening av kundenes lokale anlegg, f.eks. styring av enkeltlaster [72]. Tilgrensende system i Figur 6-1 omfatter interne systemer hos nettselskap som kundeinformasjonssystem (KIS), måleverdidatabase (MVDB) og nettinformasjonssystem (NIS) [70]. Sentralsystemet skal fungere som grensesnitt og videreformidle data, som f.eks. styring eller visning av informasjon, mellom tilgrensende system og resten av målekjeden [70]. Det blir viktig at AMS som installeres i tiden framover kan oppgraderes med nye funksjoner ved videre satsing mot smarte nett i fremtiden [73].

6.2.2 IKT-Infrastruktur

Kravet om timesverdier vil medføre at betydelig større datamengder må håndteres og det er anslått at 60 % av kostnadene med AMS-utbygging vil knyttes til kommunikasjon og IT [68]. Ved implementering av tilleggstjenester via AMS-kanalen og nye bruksområder for måledata, vil det være en forutsetning med integrasjon mellom forskjellige IT-systemer for riktig håndtering av data [75]. Med fullskala implementering av AMS vil det derfor etableres en egen IKT-infrastruktur i parallell med strømmettet. Dette er illustrert i Figur 6-2.



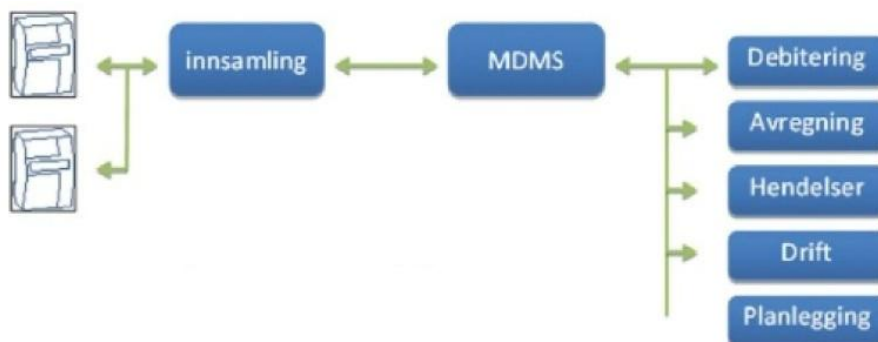
Figur 6-2: IKT-infrastruktur i parallell med strømmettet [74]

IKT-infrastrukturen vil kunne brukes til mer enn kun automatisert måling av energiforbruk. Det kan bl.a. oppnås bedre informasjon om lastflyt og tilstand på nettet som fører til at det kan driftes mer optimalt [76]. Dersom det kun fokuseres på selve AMS-utrollingen uten å ta hensyn til de ekstra nytteverdiene som kan oppnås, kan det bli kostbart på sikt [77].

6.2.3 Informasjonsutveksling

Ved fullskala implementering av AMS må komponentene i AMS kunne kommunisere effektivt med IT-systemer internt hos nettselskap og kraftleverandører, i tillegg til å formidle måledata og annen relevant informasjon [75]. Tradisjonelt har automatisk måleravlesning blitt utført ved at måledata (kWh-verdier) samles i et måleverdisystem (MDMS), der de blir kvalitetssjekket. Videre har validerte måledata for avregning blitt sendt videre til KIS [75].

Fullskala implementering av AMS vil innebære TVK mellom alle involverte IT-systemer ved hjelp av komponenter med serverfunksjonalitet. Informasjon fra AMS importereres til MDMS der informasjonen blir distribuert til det IT-systemet den hører til. Eksempel på en slik løsning er vist i Figur 6-3.



Figur 6-3: Toveis informasjonsutveksling via AMS [75]

Kommunikasjon mellom terminal og FrontEnd kan være direkte eller via en konsentrator som vil gi en punkt til multipunkt-løsning (multiplexer). Konsentrator vil bidra til å redusere kommunikasjonskostnader ved forbindelse til mange terminaler, ved å samle inn data fra underliggende målere og overføre dette samlet inn til sentralsystemet. Konsentratorer kan benyttes for både PLC og radiokommunikasjon [14]. Konsentrator kan ha kommunikasjon med multi-instrument for måling av bl.a. spennings- og strømverdier samt andre verdier relatert til nett [78].

I AMS-kanalen skilles det mellom tilgang til rådata i sanntid og historiske måledata [79]. Rådata i sanntid er ikke kvalitetssikret. Kvalitetssikret data benyttes til energirapportering, mens rådata danner grunnlag for forbruksovervåkning og laststyring. Sanntidstilgang må være automatisert for maks nytte [80]. Erfaringer fra Sverige har vist at utfordringene med å drifte AMS lett blir undervurdert, der flere av de største nettselskapene har valgt å sette bort driften [81]. Det kan være fordelaktig å sette bort drift av AMS-tjenester, men det anbefales ikke å sette bort bryter-/strupefunksjonene [14].

Prinsippet med TVK i AMS og intelligente styringssystem har flere likhetstrekk slik at det også med AMS vil være aktuelt å vurdere PLC, trådløs kommunikasjon over radio eller mobilnett eller en kombinasjon som kommunikasjonsmedier. Både PLC og radiokommunikasjon vil levere måleverdier på et høyt nivå [78]. Den største fordelen med PLC er at det installeres konsentratorer i de fleste nettstasjoner som gir muligheter for overvåkning og eventuelt styring av driften ved flere stasjoner [78].

6.2.4 Håndtering av måleverdier

AMS-kravet om timesverdier vil medføre at antallet måleverdier som skal håndteres mangedobles, i tillegg til nye potensielle feilkilder som ikke var tilfelle ved eldre målerløsninger. Eksempelvis vil det kunne bli inntil 9 000 måleverdier å håndtere årlig pr. kunde etter AMS-utrulling, i motsetning til 6 i dag [83]. Måleverdiene vil imidlertid håndteres via automatiske kontrollrutiner.

I sentralsystemet til AMS utføres det automatisk kontroll av om måleverdier er mottatt eller ikke [84]. Sentralsystemet skal kunne oppdage hvilke målernoder det er oppnådd svar fra og systemet skal automatisk gjenta forsøk på innhenting av måleverdier [70]. Dersom målerstand ikke er innhentet har enkelte netteiere benyttet verdier fra tilsvarende døgn i foregående uke, eller middelverdier basert på kundens forbruk i en periode. Dette vil ikke summeres opp til korrekt målerstand for kunden som følge av f.eks. mørkere tider som vil ha innvirkning [84].

6.2.5 Informasjonssikkerhet

Kravene i AMS-forskriften gir nettselskapene ansvar for sikkerhet mot misbruk av data og uønsket tilgang til styrefunksjoner [12]. Dette fører til at nettselskapene blir kommunikasjonsoperatør i tillegg til strømdistributør [85]. I kraftbransjen vil betydningen av sikkerhet i første rekke omfavne avbrudds- og leveringssikkerhet samt personsikkerhet. Relatert til IKT dreier sikkerhet seg i hovedsak om hacking, personvern, spionasje, sabotasje og tyveri [86].

Sikkerheten skal ivaretas på samme nivå i små nettselskaper som i store og sikkerhetstiltak bør samordnes mellom flere nettselskaper for å unngå forskjellige sikkerhetsnivåer. Dersom det ikke inngås samarbeid mellom nettselskaper kan det i verste fall medføre over hundre ulike IKT-systemer med forskjellige sikkerhetsnivåer [87]. Felles IKT-løsninger er også anbefalt for å redusere risiko for manipulasjon av måledata [88].

Kun litt over halvparten av spurte nettselskaper i en undersøkelse nylig har vurdert konsekvensene av hvordan AMS-utbyggingen vil ha innvirkning på eksisterende IKT-systemer og informasjonssikkerhet [89]. Bryterfunksjonen blir sett på som et av de store risikomomentene i AMS, siden den kan fjernstyres og har kommunikasjon mot et sentralt system [85]. AMS blir en kommunikasjonskanal via nettstasjoner inn mot sentrale komponenter på høyere nivå i målekjeden, der det vil være mulig med fjernstyrt utkobling av større områder [85].

Sintef har utført en overordnet risikovurdering av generell AMS-teknologi og infrastruktur med hovedvekt på basisfunksjoner, behandling av måledata, samt bryting eller struping av effekt. I Sintefs risikovurdering av AMS er følgende elementer vurdert til å ha høyest risiko [14]:

- Uønsket utkobling hos mange kunder.
- Programvarefeil.
- Sentralsystemet feiler eller brukes i et eventuelt angrep.
- Utro tjener (egen ansatt misbruker eller gir uønskede tilgang).

Figur 6-4 viser en oversikt over konsekvens og sannsynlighet for hendelser i tilknytning til datasikkerhet i AMS-kjeden.

	LITE FARLIG	NOE FARLIG	ALVORLIG	KRITISK	KATASTROFALT
MEGET SANNSYNLIG					Teknisk svikt gjør at signaler ikke kommer til mottaker, og rammer alarmsystemer.
SANNSYNLIG	Teknisk svikt slår ut displayet.	Teknisk svikt gjør at elektrisk utstyr slås av og på slik at utstyret skades.	Tyveri av krypteringsdata med manipulering av måler eller bryterfunksjon for én enhet.	Teknisk svikt gir uønsket utkobling hos mange, eller feil eller ingen måleravlesning.	Målrettet angrep på kraftforsyningen i et geografisk område gjennom bryterfunksjonen gir uønsket utkobling hos mange kunder.
NOE SANNSYNLIG	Teknisk svikt i sensor gir ingen måleravlesning.		Manipulering av bryterfunksjonen gir uønsket utkobling hos én kunde.		
LITE SANNSYNLIG	Manipulering av forbruk hos andre som kan få dem til å tro at de bruker mer eller mindre strøm.				
	SINTEF har beregnet risikoen ut fra sannsynlighet og alvorlighet for en uønsket hendelse	■ Rødt: Høy risiko. Hendelser i denne sonen kan ha store konsekvenser.	■ Gult: Middels risiko. Hendelser i denne sonen kan ha uheldige konsekvenser.	■ Grønt: Lav risiko. Hendelser i denne sonen medfører ingen større konsekvenser.	* Dette er en forenklet gjengivelse av et utvalg hendelser i SINTEFs risikomatrikse

Figur 6-4: Sikkerhetsvurdering fra Sintef-rapporten "Risikovurdering av AMS" [85]

6.2.6 Standardisering av grensesnitt

For at forskjellige IT-systemer og komponenter skal kunne utveksle informasjon kreves det standardisering av grensesnitt. Slik NVE har formulert forskriften skal kommunikasjonen baseres på åpne og standardiserte protokoller [13]. Dette er et fortolkningsspørsmål og ideelt sett burde endelig utrulling av AMS avvendes til det ble mer klarhet rundt dette spørsmålet. Dette har imidlertid ikke nettselskapene tid til å vente på, dersom NVEs tidskrav skal innfris [90].

Det eksisterer i skrivende tidspunkt ikke noen standard for AMS, men det pågår standardiseringsarbeid i EU for å hindre monopolisering av utstyrskjeden i AMS. Det er også viktig at det ikke blir mange forskjellige løsninger i det norske markedet for å få et mest mulig kostnadseffektivt system og effektiv informasjonsutveksling mellom systemene.

Standardiseringsarbeidet utføres gjennom at EU-kommisjonen i 2009 opprettet et mandat til CEN, CENELEC og ETSI kalt M/441 [64]. Siden Norge tar del i det europeiske kraftmarkedet vil dette arbeidet også være viktig for Norge. Standardiseringsarbeidet skjer primært mellom måler og innsamlingssystem [75]. Det vil sannsynligvis bli implementert en felles standard for både EU- og EØS-medlemsland i nærmeste fremtid [79].

I tidligere høringsuttalelser anbefalte NVE bruk av IP-kommunikasjon i AMS-kanalen, men dette kravet ble fjernet i endelig forskriftstekst etter anbefalinger fra leverandører og tilbakemelding fra nettselskap [12]. Nå er det imidlertid en utvikling i nettselskapene om ønsket bruk av full IP-kommunikasjon [73]. Mellom energimåler og målerterminal anbefales det at overføring skjer serielt [70]. I kravspesifikasjonen til Sintef er det krav til at leverandør skal levere en detaljert beskrivelse av valgt grensesnitt, for å sikre at leverandører tar ansvar for at hele AMS-kjeden utføres i samsvar med kommende europeiske standarder [70].

6.3 Bruksområder for måledata og terminal i AMS

Med full-skala utbygging av AMS vil det kunne oppnås en bedre oversikt over status i lavspenningsnettet helt ned til enkeltkundenivå, som vil føre til nyttig informasjon i forhold til drift og vedlikehold [9]. De mest aktuelle områdene for overvåkning via AMS generelt er jordfeil, nullpunktsikring, kontroll av dører, temperatur og belastning [78].

Nettselskapene er generelt opptatt av NVEs minstekrav og nettnytte, men det er samtidig mange som vurderer mulighetene for utvikling av overvåkning både i nettstasjoner og lavere nivå, jordfeildeteksjon og bedre spenningskvalitet [90][86]. I tillegg er det en del som er opptatt av tredjepartstilgang og de verdiøkende tjenester det medfører [90].

Mens avlesning og sending av måledata vil inngå i AMS som standard og vil utføres automatisk, vil tilleggstenester som deteksjon av avbrudd eller feil være avhengig av en driftssentral [91]. Med AMS kan feil sted- og tidfestes som vil redusere tidsbruk på feilsøking og feilretting.

6.3.1 Jordfeilregistrering

Siden veglys er utendørsinstallasjoner og dermed vil være utsatt for ytre påvirkninger som regn, er de også utsatt for jordfeil. Ved jordfeil i en installasjon er eier ansvarlig for å utbedre den, og feilen skal utbedres snarest mulig. Jordfeil er ofte kompliserte feil som er tidkrevende å finne ut av, slik at det vil være nyttig å registrere disse automatisk for raskere feilretting.

Med jordfeildeteksjon via AMS vil det bli enklere og raskere å oppdage jordfeil, men selve søket vil bli utført med tilnærmet lik praksis som i dag [9]. Med AMS kan jordfeil registreres hos kunde eller eventuelt i nettstasjon og det kan sendes melding til sentralsystemet og alarm genereres. Databehov knyttet til registrering av jordfeil er følgende [9]:

- Unik identifisering av målepunkt.
- Dato og klokkeslett for registrering av jordfeil (eventuelt varighet).
- Berørte faser.
- Tidspunkt for overføring fra målerterminal.
- Hvordan registreringen har skjedd.

Hvis en jordfeil ikke er stående, bør antallet meldinger som genereres begrenses [9]. Jordfeilvarsling hos sluttbruker vil være dyrere og stille større krav til informasjonshåndtering enn i nettstasjon [9]. Med registrering av jordfeil kan feilen lokaliseres til et spesifikt tennskap for veglys. Vedlegg M viser eksempel på en kravspesifikasjon fra Statens Vegvesen for et tennskap for veglys [30]. Der er det spesifisert at det skal installeres jordfeilbryter i nye tennskap for veglys. Med AMS installert vil da jordfeil kunne varsles ved at status på jordfeilbryter overvåkes og det genereres melding ved utfall.

6.3.2 Avbruddsregistrering

I dagens nettdrift er det vanlig at avbrudd i distribusjonsnettet varsles av sluttbrukere, og det er lite utbredt med automatisk avbruddsvarsling [9]. NVE har ikke stilt krav til automatisk avbruddsregistrering i avregningsforskriften, men i følge kravspesifikasjonen til Sintef skal AMS kunne registrere avbrudd i målernoden i henhold til internasjonale normer og nasjonale krav [70]. Avbruddsregistrering kan være varsling om utkobling av et bestemt relé eller bestemte kurser, samt reduksjon i effekt som følge av bortfall av last. Nettselskap skal registrere data om avbrudd i rapporteringspunkt i eget nett [92]. Avbruddsregistrering kan være med på effektivisere drift.

Avbruddsregistrering kan utføres ved kontinuerlig registrering av spenningsnivåer, der grense for avbrudd spesifiseres. Fra sentralsystemet skal det være mulig å spesifisere spenningsgrenser for start og slutt av avbrudd og varighet utenfor disse grensene som oppfattes som avbrudd [70]. Med avbruddsregistrering via AMS kan feil raskere lokaliseres som vil medføre redusert varighet av avbruddet. Knytting av avbrudd opp mot hendelser med tidspunkt vil medføre lettere identifisering av årsaken til avbruddet.

Databehov knyttet til registrering av avbrudd er [9]:

- Unik identifisering av målepunkt.
- Start- og stopptidspunkt for registrering av avbrudd.
- Registrert spenningsverdi ved avbrudd.
- Avbrutt effekt (målerstand).
- Gjennomsnittseffekt i timen(e) før avbrudd inntreffer.
- Berørte faser.
- Tidspunkt for overføring fra målerterminal.

Avbruddsregistrering kan også benyttes til å detektere utløste vern eller sikringsbrudd direkte ved at aktuell sikring tilknyttes relé på måleren. Historiske data over avbrudd kan benyttes til lokalisering av områder med hyppige avbrudd, der det kan være nødvendig med oppgraderinger av nett eller komponenter. Fra sentralsystemet skal det være mulig å innhente informasjon om registrerte avbrudd i målernode [70].

Måledata for veglyskurser kan benyttes til deteksjon av eventuelle avvik i forbruk, som kan indikere lampeutfall. For optimal nytte av en slik funksjon bør måledata overføres i tilnærmet sanntid, men alternativt kan forbruk for en gitt periode sammenlignes med historiske data.

6.3.3 Registrering av lokal produksjon

Med AMS-teknologi kan lokal produksjon registreres, både for produksjonsanlegg for småkraft og hos enkeltkunder. Produksjonen hos enkeltkunder kan f.eks. være ved solcellepanel på bygninger eller integrert i veglysarmaturer [9]. Figur 6-5 viser et eksempel på en armatur med integrert solcellepanel.



Figur 6-5: Veglysarmatur med innebygd solcellepanel [93]

Med registrering av lokal produksjon vil sluttbruker oppnå oppdatert informasjon om forhold mellom eget forbruk og eventuell innmating via lokal produksjon.

For overføring av registrerte verdier er det nødvendig med følgende AMS-funksjoner i tillegg til kravene i forskriften [9]:

- Syklisk overføring av måleverdier.
- Lagring av måleverdier hos kunde og hos nettselskap.

6.3.4 Overvåkning av komponenter i tennskap

I følge kravspesifikasjonen til Statens Vegvesen i Vedlegg M, skal tennskap utstyres med varmeelement. AMS kan benyttes til å overvåke tilstanden på selve varmeelementet eller tilknyttes sensorer for overvåkning av temperatur i tennskapet. Databehov i forhold til registrering av temperatur [9]:

- Unik identifisering av målepunkt, dvs. identifisering av aktuelt tennskap.
- Dato og klokkeslett for registrering.
- Tidspunkt for overføring fra registreringsenhet.

6.3.5 Andre bruksområder

Måledata fra AMS kan benyttes til balansekontroll i nettet ved at differansen mellom energiforbruk i nettstasjon og hos alle kunder tilknyttet nettstasjon, som utgjør tap i distribusjonsnettet [9]. Med det er det mulig å oppnå en nøyaktig beregning av tap i nettet og unngå å benytte empiriske verdier som prosentvis påslag på installert effekt i veglysanlegg. Balansekontroll forutsetter at måleverdier registreres hos alle kundene tilknyttet nettstasjonen som betyr at måler må installeres i alle veglysanlegg tilknyttet samme nettstasjon. Med balansekontroll vil det også bli lettere å oppdage strømtveri, feilmålinger og eventuelt umålte anlegg [9].

Nettselskap kan via AMS koble inn anlegg fra sentral ved oppstart av abonnement i nye veglysanlegg, som vil gi reduserte kostnader sammenlignet med at nettselskap selv besøker kunden og åpner anlegget [9]. Det vil være begrenset mulighet for besparelse i veglysanlegg i forhold til f.eks. hybelhus med hyppige inn- og utflyttinger. Med AMS vil uklarerheter i faktisk målerstand ved skifte av eierskap av anlegg kunne unngås [9]. Det vil føre til enklere og mer effektiv gjennomføring av kraftleverandørskifte både for kunde og nettselskap.

Bryterfunksjonen i AMS kan benyttes til styring av lastelementer som kan være en veglyskurs. Denne kan styres automatisk via eksternt styringssignal eller den kan benyttes for manuell inn- og utkobling ved vedlikehold samt for utkobling i perioder med lite trafikk nattetid.

6.3.6 Alarmgenerering

Ved generering av alarm for feil er det nødvendig at de viktigste meldingene når fram slik at ikke bruker blir nedlesset med informasjon. F.eks. bør feilmelding på overliggende spenningsnivå ikke sendes til alle kunder. Alarminformasjon skal genereres automatisk og logges [70].

Hendelser som bør generere en alarm er [70]:

- jordfeil
- anlegg uten spenning
- lysbuedeteksjon
- forsøk på manipulasjon av data
- innbruddsforsøk i måler

6.3.7 Nyttevirkninger med tilleggstjenester

Tabell 6-1 viser resultatene fra en spørreundersøkelse fra 2006 blant nettselskap angående tilleggsfunksjonalitet ved utbygging av målere med TVK.

Tabell 6-1: Spørreundersøkelse om tilleggsfunksjonalitet via målere med TVK [94]

Funksjonalitet	Antall selskap med slik funksjonalitet tilgjengelig	Antall selskap som tar i bruk funksjonaliteten
Fjernutkobling av enkeltlaster	73	20
Fjernutkobling av hele anlegg	62	16
Avbruddsregistrering	45	6
Spenningsovervåkning	42	5
Alarm- og sikkerhetstjenester	28	0
Annet (bl.a. gatelys)	11	4

Selv om tallene i Tabell 6-1 er fra 2006 gis det en indikasjon på at tilleggsfunksjonalitet for gate- og veglys har mindre prioritet enn andre funksjoner med AMS. Derfor er det viktig å synliggjøre nyttevirkninger for både sluttbrukere og netteiere, for å øke insentiver for at slik funksjonalitet tas i bruk ved utrulling av AMS.

Følgende nyttevirkninger er aktuelle for sluttbruker [80][94]:

- Automatisk avlesning av målerstand.
- Bedre kvalitet på måledata.
- Korrekt avregning og fakturering som følge av korrekt avregning av forbruk
- Effektivisering av drift.
- Oppdatert informasjon kan føre til økt bevissthet om eget forbruk som kan gi økte insentiver for sparetiltak som avanserte styringssystem.

Netteiere vil kunne oppnå følgende nyttevirkninger [94]:

- Mer effektiv drift og avregning.
- Mer effektive reinvesteringer pga. mer optimal drift av nettet.
- Reduksjon av total kostnader.
- Avbruddsregistrering.
- Bedre forbruksprognoser.
- Økt tjenestetilbud som vil føre til mer fornøyde kunder og bedre omdømme.
- Oppdatert informasjon vil bidra til avlastning på kundesenter og dermed redusere kostnader.

Erfaringer har vist at besparelsen ved automatisk avregning er større enn det som går med til drift og kvalitetssjekk i målekjeden i AMS [82]. I tillegg har det vært positive tilbakemeldinger og mindre klager fra kunder pga. korrekt avregning på faktisk forbruk og ikke estimerte verdier [82].

6.3.8 Tredjepartstilgang til AMS-kanalen

Maksimal samfunnsmessig nytte med AMS i forhold til veglysanlegg forutsetter tredjepartstilgang til måledata dersom ikke nettselskapet selv er eiere av anlegget. Tredjeparter er i denne sammenheng definert som tilbydere av tjenester for AMS-kanalen utenom måling. For optimal funksjonalitet vil tilleggstjenester være avhengig av mulighet for momentan overføring av etterspurt data, som medfører at det er nødvendig med en fast datalinje for tredjepart [79]. NVE uttalte i høringsutkast til endringene angående AMS i avregningsforskriften at eventuelle tredjeparter må etablere egne kommunikasjonskanaler eller kjøpe tjenester via nettselskapene, siden tredjepartstilgang ikke vil bli forskriftsfestet [11]. Dermed vil nettselskapenes insentiver for å gjøre data fra AMS tilgjengelig være en viktig faktor for omfanget av tilleggstjenester. Nettselskapene plikter imidlertid å levere informasjon mellom sluttbruker og eventuelle tredjeparter. Direkte link til tredjepart vil medføre strengere krav til kommunikasjonsstruktur som også vil øke kostnadene dersom det ikke benyttes eksisterende linjer [79].

I en spørreundersøkelse fra 2010 har flere aktører uttrykt at; *"tjenester som kan produseres og tilgjengeliggjøres automatisk bør være gratis, både for kunde og uavhengige tredjeparter"* [80]. Kommunikasjon via AMS bør inngå i minimumsløsningen kostnadsfritt, med mindre det kan dokumenteres at det påfører netteier store ekstrakostnader. Netteier må sikre at tredjepart kun har tilgang til data for egne kunder [80]. Det vil være avgjørende om det er nok for aktørene å motta måledata ukentlig på etterskudd eller i sanntid [80]. Bruk av sanntidsdata ser ut til å være mer effektivt enn historisk data via f.eks. internett [80]. Tilgang til kvalitetssikret historisk data danner grunnlag for langsiktige ENØK-tiltak og kan være nyttig i planlegging av investeringer med hensyn til å redusere forbruk og [80].

Dersom nettselskaper ikke legger til rette for tilleggstjenester kan det være en mulighet at tredjepart installerer egne parallelle målere for tilgang til styring [79]. Dette vil imidlertid være en dyr løsning med dobbelinfrastruktur, slik at det da like gjerne kan benyttes styringsystem som er spesifisert for ønsket formål. Et annet alternativ er at tjenesteleverandører kommuniserer direkte med eksternt utstyr hos kunden (f.eks. display eller kontrollert enhet), som er tilkoblet målerens grensesnitt [14]. Det er ansett som lite sannsynlig at tredjeparter vil benytte en kanal de ikke gis prioritet til [73]. Det er likevel påpekt at det er viktig at så mye som mulig av datautveksling går gjennom målesystemet, slik at det ikke skapes nye monopoler [80].

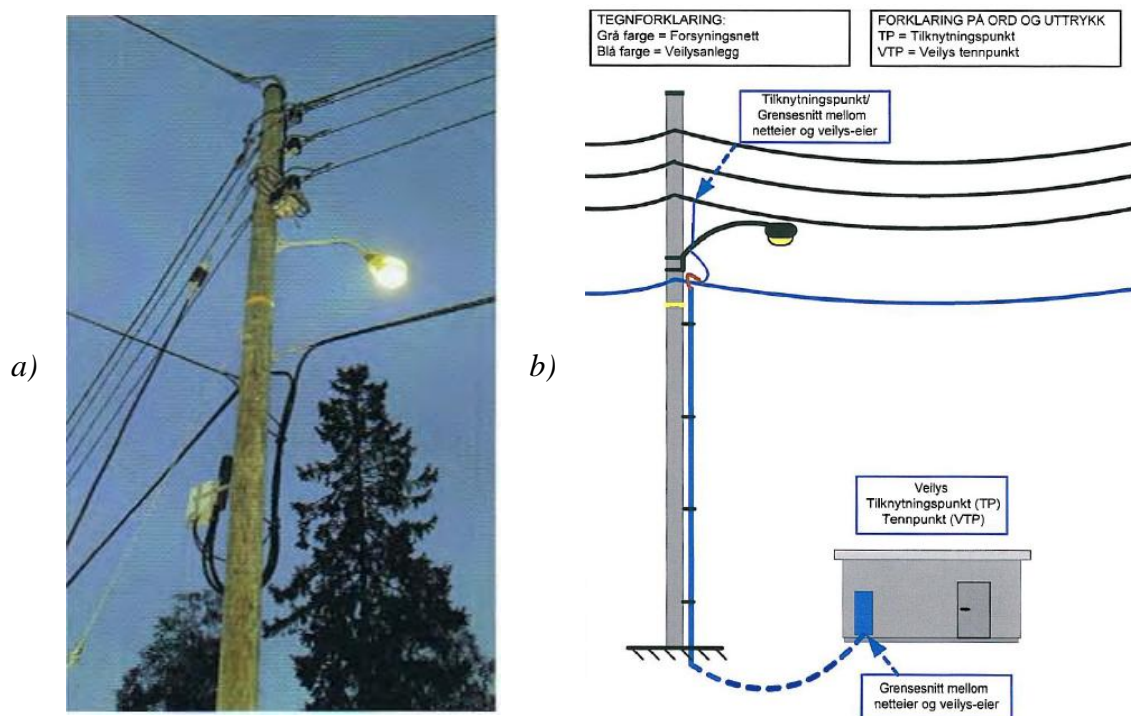
6.4 AMS-utrulling og måling i veglysanlegg

Tidsrammene i den nye AMS-forskriften er kortere i Norge enn i mange andre europeiske land, slik at Norge kan komme i forkant når det gjelder AMS-utrulling. Det kan virke som leverandører vil benytte Norge som utstillingsvindu mot Europa, noe som kan innebære raskere levering for nettselskaper i Norge [95]. Dette kan bli viktig siden det skal leveres målere til 80 % av alle kunder innen utgangen av 2015 [13]. Da vil det ikke være marginer for feil slik at valg av løsninger og teknologi vil bli viktig [96].

6.4.1 Måling av veglysanlegg

I forbindelse med AMS innebærer måling dataflyt fra målepunkt hos kunde til et sentral-system. Det er derfor en forutsetning at måleverdiene fra hver armatur sendes til en felles innsamlingsentral, hvis eiere av veg- og gatelys skal kunne benytte målere integrert i lys-armaturer som grunnlag for avregning [64]. NVE har uttalt at de ikke tar stilling til hvordan nettselskap foretar måling av strømforbruk, slik at det er opp til de enkelte nettselskap å avgjøre hvilke type måleutstyr som godkjennes i forbindelse med vegbelysning [26].

For veglysanlegg spesielt i områder utenfor tett bebyggelse, er det en utbredt løsning med framføring av en fjerde leder som tenntråd for veglysanlegg sammen med fasene i distribusjonsnettet til e-verket [30]. Prinsippskisse for en slik løsning er vist i Figur 6-6.



Figur 6-6: a) Veglysarmatur i e-verkets distribusjonsnett [97] og b) Prinsippskisse av fjerde leder som tenntråd i veglysanlegg [22]

I slike tilfeller vil det være behov for måling på armaturnivå for å unngå vesentlige ombygginger av nettet. Dette vil kreve styringsenheter som kan plasseres direkte i armaturhuset eller i sokkelen på lysstolpen, slik at det kanskje vil være mest aktuelt å benytte intelligente styringssystem med måling på armaturnivå.

Erfaringer har vist at netteiere praktiserer krav om målte anlegg og AMS forskjellig. I noen tilfeller krever nettselskap at det kun benyttes deres egne målere og innsamlingssystem, mens det i andre tilfeller har blitt akseptert alternative løsninger [26]. Dette innebærer at intelligente styringssystem kan benyttes for å oppfylle krav om AMS dersom nettselskapene aksepterer valgt løsning. En slik løsning innebærer at styringsenhetene er godkjent som energimålere, siden NVE forutsetter at enheter som benyttes til måling tilfredsstiller forskrift om krav til energimålere [64].

I en statusrapport fra NVE om utbyggingen av AMS er det oppgitt 22 038 målepunkt for veg- og gatelys basert på data fra 126 nettselskaper [98]. I undersøkelsen som ligger til grunn ble det ikke spesifisert hva som var ment med målepunkt i forbindelse med veglys, men formålet var at nettselskap skulle oppgi eksisterende antall målere/målepunkt som blir benyttet i faktureringen [99]. Dermed er det usikkert hva de enkelte nettselskaper har lagt til grunn for besvarelsen. Mest sannsynlig er det rapporterte antall målepunkter en blanding av punkter med fysisk måler og tilknytningspunkt for veglys som avregnes etter brenntid og installert effekt. Følgelig kan rapporteringen være noe mangelfull.

Det samlede antall veglyspunkter i Norge er anslått til ca. 1,2 millioner [20]. Ved å sammenligne dette med det rapporterte antallet målepunkter blir det gjennomsnittlig ca. 55 veglyspunkt per målepunkt. Dette er sannsynligvis for høyt siden det utenfor tettbebygde strøk kan være ned mot 20 veglyspunkt i gjennomsnitt [30].

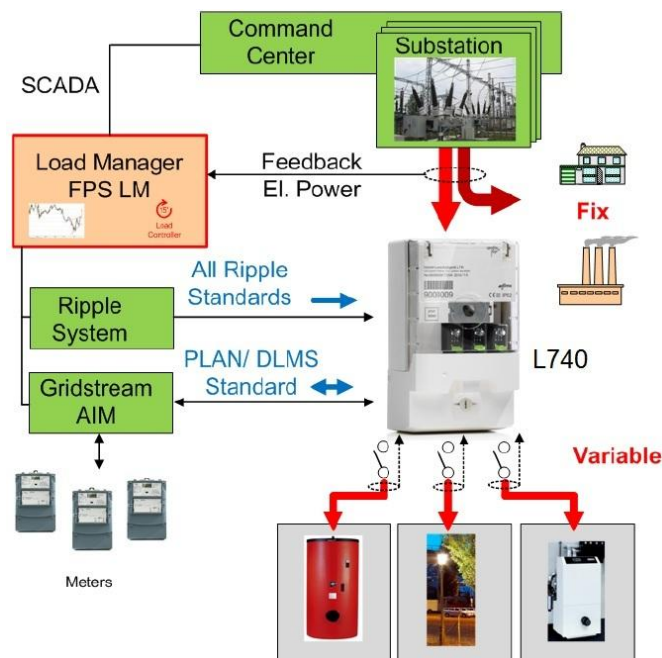
Den samme rapporten gjengir tilbakemeldinger fra 38 nettselskap som har implementert målere med TVK, om at det er 732 målepunkt for veglys med TVK [98]. Det er imidlertid tilfeller der AMS-terminal blir benyttet kun til formidling av styringssignal fra fotocelle til veglys, slik at det kan være unntak blant disse punktene der måler ikke er installert [100].

I kravspesifikasjonen i Vedlegg M er det spesifisert at det skal monteres måler i nye veglysanlegg og de fleste av Statens Vegvesens anlegg har måler installert [17]. I kravspesifikasjonen er det også oppgitt at det skal dimensjoneres for 30 % reserveplass, slik at om det ikke blir installert måler vil det være plass for ettermontering av AMS-utstyr.

Det eksisterer ikke noe tall på totalt antall målte veglys på landsbasis bortsett fra det som er oppgitt i NVEs statusrapport fra 2012. Det er imidlertid slik at de fleste av kommunenes anlegg er umålte. Eksempelvis har ca. 11 % av tennskap i Oslo måler installert [16]. Innføring av AMS vil derfor ha et stort potensial for forbedring av avregningsrutiner innen veglys.

6.4.2 AMS-løsninger for veglysanlegg

Landis+Gyr sin AMS-løsning Gridstream AIM kan benyttes til styring og overvåking av veglys [101]. For kommunikasjon i Gridstream AIM benyttes PLC, GPRS eller Ripple Control som er styring via lave frekvenser på høyspentnett. Landis+Gyr har en styringsenhet kalt L740 som er egnet til styring av laster som veglys. Lastene kan styres i tilnærmet sanntid med en responstid på mindre enn 10 sekunder [102]. Bruk av L740 til laststyring i Gridstream AIM er illustrert i Figur 6-7.



Figur 6-7: Bruk av Landis+Gyr L740 til laststyring i Gridstream AIM [101]

Landis+Gyr L740 har bl.a. følgende funksjoner [102]:

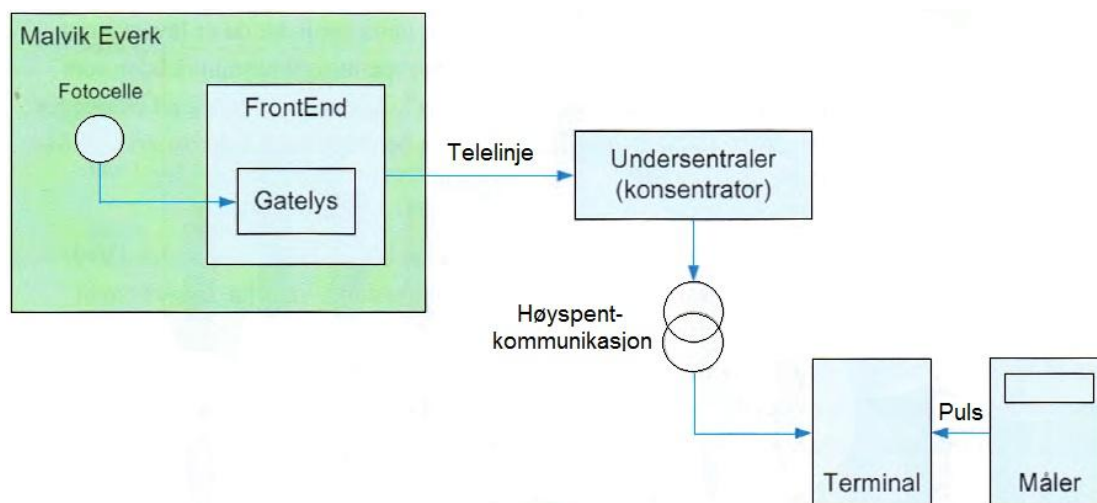
- Deteksjon av brudd i last (f.eks. utfall av armaturer i veglysanlegg).
- Deteksjon av strømbrudd (relé slått ut).
- Deteksjon av brudd i tilførsel.
- Utstyrt med tre relé på 25 A eller 40 A.
- Bekreftelse på reléstatus innstillbar mellom 5 og 30 minutter.
- Veg- og gatelys kan styres via SMS.

Landis+Gyr L740 måler kun ca. 10 x 16 cm og er dermed plasseringsvennlig, men den har ikke måler implementert og må tilknyttes eventuell måler via S0-pulser. L740 inneholder astrour slik at den også kan styre veglys uavhengig av sentral [102].

Embriq har ikke AMS-løsninger spesifikt tilpasset veglysanlegg, men eksisterende løsninger kan tilpasses [103]. Embriq sine AMS-løsninger benytter konsentrator i nettstasjonen som kan overvåke sensorer for bl.a. temperatur, dørkontroll og kortslutningsindikator. Via reléer i konsentrator er det mulig å sende styringssignal til veg- og gatelyskurser og i sentralsystemet kan kurser grupperes [103]. Eiere av veglysanlegg kan enkelt gis tilgang til en slik type styring.

6.4.3 Erfaringer fra bruk av AMS i veglysanlegg

Malvik Everk har utbygget AMS og benytter AMS-terminaler fra Enermet, nå Landis+Gyr, til styring av veglys. De har på nåværende tidspunkt ikke installert måler på noe av veg- eller gatelys, men det er mulighet for å tilknytte terminalene til måler via S0-grensesnitt [100]. Styringssignalet er basert på sentralt plassert fotocelle som sender signal til terminalene via telelinje og PLC. Styringen av veg- og gatelys i Malvik kommune er vist i Figur 6-8.



Figur 6-8: Illustrasjon av styringen av veg- og gatelys i Malvik kommune [82]

Veg- og gatelys i Malvik Everks nett kan grupperes i soner og styres via SMS. Statens Vegvesens veglysanlegg langs E6 i Malvik har måling, men er ikke tilknyttet dette styrings-systemet [100]. Reléene i terminalene er dimensjonert for belastning på 16 A. Ved større last benyttes kontaktorer styrt av reléene [82].

Landis+Gyr har implementert veg- og gatelys i sine AMS-løsninger i flere europeiske land. Bl.a. er løsningen benyttet på ca. 500 000 veglys i Sveits. I det tilfelle er styringsenheten Landis+Gyr L740 benyttet [104]. Plasseringer, hvordan disse er montert eller hvilke tilleggs-funksjoner som benyttes er ikke kjent.

Et eksempel her i Norge er Istad Nett som benytter AMS til styring av veg- og gatelys i Molde og Fræna kommune via Landis+Gyr Gridstream AIM [101]. Ca. 70 % av veglysanleggene er tilknyttet Gridstream AIM med måling og styringssignalet er basert på fotocelle [105]. Systemet har også implementert tidsstyrte kontrolljobber for utkobling i perioder midt på natten på hverdager. Systemet benyttes ikke til andre formål enn måling, tenning og slukking i dette tilfelle.

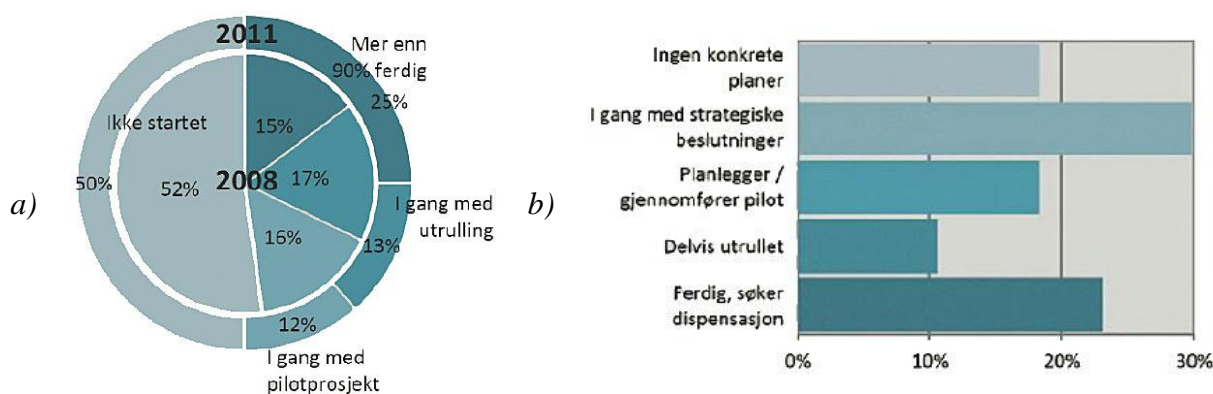
6.4.4 Status AMS-utrulling

Nylig har det blitt utført en undersøkelse av status på planlegging og innføring av AMS blant norske nettselskaper. Undersøkelsen ble utført av EC Group og svarprosenten var på 80 %. Av de selskapene som har ferdig utbygd TVK har hele 80 % målere eller kommunikasjons-løsninger som ikke tilfredsstill alle forskriftskravene.

Av kravene som skiller seg ut er det spesielt bryte- og strupefunksjonaliteten, samt måleverdier med tilstrekkelig tidsoppløsning som er problematisk [89].

Når det gjelder tidsfristen er det bred enighet, spesielt blant mindre selskaper, om at det er mulig å gjennomføre AMS-utrulling innen utgangen av 2016. Kun 20 % av selskapene ønsker å bygge ut AMS uten andre formål enn basisfunksjonalitet som energimåling og måleverdiinnsamling. Halvparten av selskapene som har begynt planlegging av AMS-utrulling oppgir at de ønsker å dra nytte av ekstra funksjonalitet med AMS for å øke nett-nytteten, ved bl.a. jordfeildeteksjon og overvåkning [89].

Gjennomgående er at en del mindre selskaper har vært tidlig ute med AMS-utbygging, mens de store selskapene har avvventet NVEs krav [89]. Figur 6-9 viser status for utrulling av AMS hos nettselskapene, med sammenligning mellom undersøkelse fra 2008 og 2011 i Figur 6-9 a).



Figur 6-9: Status for AMS-utrulling [89]

6.4.5 Dispensasjon fra AMS-forskriften

Unntakene nevnt i endringene i avregningsforskriften vil i utgangspunktet ikke være gjeldende for veglysanlegg slik at det innen 2017 må være installert målere på veglysanlegg som i dag er umålt [12]. Det er likevel mulig å få unntak fra kravene i avregningsforskriften angående AMS, men det må da søkes spesifikt for hvert enkelt tilfelle. Et generelt vilkår for at unntak kan innvilges er at kostnadene med installasjon av AMS blir vurdert som urimelig store i forhold til nytten [64].

Det kan også være mulig å få innvilget unntak dersom det foreligger dokumentasjon på at forbruket i målepunktet er svært lavt og forutsigbart, eller at installasjonen av AMS er til vesentlig ulempe for sluttbruker [12]. Med forutsigbart i denne sammenheng menes passive tilknytningspunkt der forbruket i liten grad påvirkes av pris- og temperatursvingninger, og som kan stipuleres med liten feilmargen [64]. Med ulempe for kunde menes først og fremst i helsemessig forstand, eksempelvis i forhold til trådløs kommunikasjon rundt el-overfølsomme [12].

Det er presisert at alle søknader om dispensasjon vil bli vurdert individuelt [106]. I behandlingen av søknadene vil NVE legge vekt på bl.a. kundenes behov og de samlede virkningene av at krav til AMS ikke oppfylles [107]. Nettselskap som har bygget ut TVK de siste fem-seks årene har målere som kan lese av timesverdier, og vil sannsynligvis kunne få fritak fra noen av de andre funksjonskravene. Derimot er det mer usikkert i tilfeller med eldre målere med TVK [107]. Selv nyere målere som har blitt installert tilfredsstillende ikke bl.a. kravet om bryterfunksjon [106].

I vurderinger av søknader om dispensasjon vil NVE være spesielt opptatt av at installerte målere oppfylder kravene om avlesning og at rask tilgang til strømforbruk for kundene. Bryterfunksjonen blir uttrykt som mindre viktig [106]. Om det skal gjøre unntak for veglysanlegg er det minstekrav at det gjøres innenfor de rammer som avregningsforskriften setter om unntak og dispensasjon [64]. Det er indikasjoner på at NVE vil motta et betydelig antall dispensasjonssøknader i løpet av 2012 [89].

Statusrapporten fra NVE februar 2012 viser at 64 av 126 spurte nettselskap vurderer å søke om unntak fra § 4-1 a) i avregningsforskriften om plikt til å installere AMS [98]. Begrunnelsene gjelder ved følgende tilfeller [98]:

- Lavt og forutsigbart forbruk.
- Hytter med lavt forbruk.
- Gatelys, signalanlegg, skilt o.l.
- Store kostnader ved etablering kommunikasjon.
- Forbruk under 1 000 kWh.

Tabell 6-2 viser en oversikt over antall nettselskap som vurderer å søke om dispensasjon fra funksjonskravene til AMS i § 4-2 i avregningsforskriften. Målepunktene i tabellen er en summering av totalt antall målepunkter med TVK, for selskapene som vil søke unntak fra det aktuelle funksjonskravet [98].

Tabell 6-2: Oversikt over antall nettselskap som vurderer å søke om dispensasjon fra funksjonskrav til AMS [98]

Funksjonskrav	Antall selskap som sier de vil søke om unntak fra funksjonskravet	Totalt antall målepunkt med toveiskommunikasjon hos disse selskapene
§ 4-2 a	19	120 755
§ 4-2 b	26	155 036
§ 4-2 c	17	94 661
§ 4-2 d	3	6 245
§ 4-2 e	30	168 094
§ 4-2 f	29	153 005
§ 4-2 g	6	13 022
§ 4-2 h	27	156 421

7 DISKUSJON

7.1 Måleresultater

Det er utført noen diskusjoner underveis i kapittel 5, slik at dette er ment som en oppsummerende diskusjon.

7.1.1 Konvensjonelle styringssystem

Måleresultater fra styring med fotocelle og astrour er i denne oppgaven kun basert på av-/påstyring, slik at eventuell besparelse mellom de to kun vil være ved antall brenntimer. Måleresultatene har vist at i forhold til energiforbruk stiller astrour og fotocelle forholdsvis likt, selv om fotocelle har hatt marginalt lavere brenntid. For astrour er det imidlertid benyttet rene verdier for inn- og utkobling uten tidsforskyvning. I følge målingene fra luminansmeteret i testanlegget har luminansen stort sett vært høyere enn angitt krav i tidsrommet astrour har koblet inn. Derfor kan muligheten til forskyvning av innkoblingstidspunkt på astrour benyttes for å utligne brenntid i forhold til fotocelle. Det kan også være mulig å oppnå besparelse ved riktig tidsjustering, men det er imidlertid også mulig å justere luxnivå for inn- og utkobling på fotocelle bedre. Slik sett vil de to styringstypene sannsynligvis stille likt i forhold til energiforbruk dersom begge har optimale innstillinger.

7.1.2 Anlegg med behovstyring

Måleresultatene fra testanlegget har vist store variasjoner i pådrag til armaturene og dermed varierende energiforbruk. Som forventet har spesielt snødekke i vegbanen ført til redusert pådrag til armaturene. Ved snødekke er det observert flere døgn med gjennomsnittlig pådrag ned mot 20 %. Ved snødekke vil det også ta lenger tid før luminansen synker under angitt krav. Dette har ført til senere innkobling i perioder spesielt i januar og februar men også i mars, slik at brenntiden reduseres.

Det er observert noen dager med over 90 % pådrag for å opprettholde luminanskrav. Dette har i hovedsak vært i mars, som var preget av mye regn som førte til gjennomsnittlig lavere luminans i vegbanen. Siden luminanskravet benyttet i denne oppgaven er $1,5 \text{ cd/m}^2$ tilsvarende MEW2, som er høyere enn nødvendig for vegstrekningen, vil pådraget følgelig kunne reduseres for mindre veger. Med et gjennomsnittlig pådrag over hele prosjektperioden på 69 %, vil krav på veger med lavere belyningskrav, eksempelvis MEW3, kanskje kunne opprettholdes med et gjennomsnittlig pådrag ned på 50-60 %. Luminansmålingene har vist at gjennomsnittlig luminans i vegbanen, med noen få unntak, holdes over eller tett opp mot angitt krav.

Funksjonstesting av testanlegget i Høgskoleringen har vist at intelligent styring med luminansmeter kan være tidkrevende å drifte når feil oppstår, noe som er en stor ulempe. Sett bort fra problemene beskrevet i Kapittel 5.4.1 på side 51, er det i løpet av prosjektperioden på ca. fire og en halv måned observert kun to enkelttilfeller der testanlegget ikke har vært tent.

Feilen har ikke vært vedvarende slik at det antas at det er forårsaket av forstyrrelser eller midlertidige feil på komponenter. Noen av problemene nevnt i rapporten har vært knyttet til selve loggingen av data fra anlegget, som ikke direkte har hatt innvirkning på drift av anlegget. For maksimal nytteverdi av intelligent styring er det imidlertid en forutsetning med historiske data tilgjengelig for å forenkle deteksjon av feil og oppnå optimal drift. Ved å benytte styringssystem med mulighet for å sette bort drift av sentral eller server vil dette sannsynligvis ikke være noe problem.

Ved drift av testanlegget via LonMaker har det oppstått ukjente feilmeldinger som ikke Echelon som leverandør har hatt svar på. At testanlegget består av en blanding av komponenter fra Echelon og komponenter utviklet ved NTNU, fører sannsynligvis til at det er mer utsatt for feil. Tilgang til historiske data har vært til god hjelp i feilsøking i forbindelse med denne oppgaven.

7.2 Energisparepotensial med intelligente styringssystem

Energiforbruket er høyere i mars enn februar til tross for færre brenntimer i mars. Dette viser hvor mye pådraget og føreforhold har å si for besparelse. Beregning av energiforbruk har vist at det hovedsakelig er ved reduksjon av pådrag vesentlig besparelse kan oppnås.

Februar har skilt seg ut i prosjektperioden pga. mye snøfall og flere perioder med snødekke. Dette førte til en besparelse på opp mot 50 %, eller 320 kWh, med behovsstyring i forhold til konvensjonell styring for februar. Prosentvis er differansen mellom forbruket ved luminansmeter og konvensjonell styring for april tett opp mot differansen for januar og mars. Pga. færre brenntimer per døgn blir imidlertid besparelsen i kWh vesentlig mindre i april. Kombinasjonen med høyere antall brenntimer og lysere vegbane som følge av snø gjør at det er spesielt mye å spare vinterstid.

I mai er det oppnådd prosentvis besparelse på over 30 % med behovsstyring i forhold til konvensjonell styring, som er den høyeste prosentvise besparelsen bortsett fra februar. I mai er det imidlertid få brenntimer per døgn slik at besparelsen i kWh ikke blir like utslagsgivende. Differansen i antall brenntimer med behovsstyring og konvensjonell styring er forholdsvis lik over hele prosjektperioden.

LED har størst sparepotensial i forhold til NaH ved snødekke og lavt pådrag, pga. at forholdet mellom pådrag og faktisk effekt er tilnærmet lineært med LED. Ved bart føre og dermed høyere pådrag er forbruket med LED fortsatt lavere enn med NaH, men forskjellen er da betraktelig mindre.

Oppnådd besparelse med behovsstyring av veglysanlegg med 9 armaturer utgjør i gjennomsnitt ca. 70 kWh per armatur for perioden 14. januar til 31. mai. Med tanke på at flere hundre tusen veglyspunkt på landsbasis kun har av-/på-styring på nåværende tidspunkt samt at måleresultatene er basert på godt i underkant av et halvt år, er det gode holdepunkter for at energisparepotensialet vil oppveie investeringskostnader på lengre sikt.

7.3 Bruk av AMS i veglysanlegg

7.3.1 Utrulling av AMS i veglysanlegg

En av de største fordelene med innføring av AMS for sluttbrukere generelt er at bedre informasjon om eget forbruk og kraftpriser kan bidra til økt energisparing samt forskyvning av forbruk til tidspunkt med lavere priser. Veglys er imidlertid en fast last som benyttes til faste tidspunkter slik at varierende pris i utgangspunktet ikke kan utnyttes på samme måte som i f.eks. husholdninger. Avregning basert på faktisk målt energiforbruk vil imidlertid kunne bidra til å synliggjøre effekten av energisparende tiltak som intelligente styringssystem.

Selv om majoriteten av forbruk i veglysanlegg er på nattestid vil veglysanlegg gjennom vinteren gjerne ha effekttopp i rushtid morgen og ettermiddag, som vil si i samme tidsrom som effekttopper i husholdninger. Dersom husholdninger forskyver forbruk slik at effekttoppene forskyves kan det føre til endringer i kraftpris. Med måler installert i veglysanlegg vil det kunne være mulig å dra fordel av dette ved at det oppnås en lavere kraftpris i tidsrommet ved effekttoppene i veglysanlegg. Som måleresultatene fra testanlegget har vist er det mulig å forskyve innkoblingstidspunkter med behovsstyring som også kan ha innvirkning på eventuelle prisendringer.

Når det gjelder datasikkerhet i forhold til AMS i veglysanlegg vil konsekvensene i utgangspunktet ikke være like store som ved f.eks. forsyning av større bygninger. Mørklegging av større vegnett vil gå utover trafikkikkerheten, men sannsynligheten for at noe slikt skjer anses som liten.

At over halvparten av spurte nettselskaper vurderer å søke unntak fra installering av AMS ved tilfeller med forutsigbart forbruk samt gatelys, gir en indikasjon på at AMS ikke vil bli installert i alle veglysanlegg dersom søknadene innvilges. Det er derfor viktig å synliggjøre nyttevirkingene av AMS for å sikre at flest mulig veglysanlegg blir målt i fremtiden. De viktigste nyttevirkingene for sluttbruker vil være at det oppnås korrekt avregning og fakturering basert på faktisk forbruk og at drift kan effektiviseres via den ekstra funksjonalitet som oppnås.

En annen aktuell grunn for å søke om dispensasjon er ved store kostnader til etablering. Dette vil sannsynligvis være gjeldende i veglysanlegg som er direkte tilkoblet distribusjonsnettet til e-verket, kun med framført fjerde leder som tenntråd. I slike tilfeller må nettet bygges om for etablering av måling, noe som naturligvis vil innebære betydelige kostnader. Intelligente styringssystem med måling på armaturnivå vil være mulig å benytte for å oppfylle forskriftskravene uten ombygging av nettet, ved at det benyttes PLC eller trådløs kommunikasjon til hver enkelt armatur.

Indikasjonene på at veglysanlegg i noen tilfeller kan unntas fra kravene til AMS, bør gi sterkere insentiver for å ta i bruk intelligente styringssystem i større grad. Det er da en forutsetning at styringsenhetene er godkjent som energimålere og aksepteres som avregningsgrunnlag av nettselskapene.

Hvis intelligente styringssystem installeres i veglysanlegg i mellomtiden frem mot utrullingsfristen 2017, er det en risiko for å ende opp med både intelligente styringsenheter og AMS i samme anlegg. Det vil derfor bli viktig med avklaring av hvilke styringssystem som kan godkjennes som fullverdige alternativ til AMS i veglysanlegg i tiden fremover. Gode løsninger avhenger av samarbeid mellom nettselskap og eiere av veglysanlegg.

7.4 Vurdering av bruksområder og eksisterende løsninger

Selv om hovedformålet med AMS er måling av faktisk forbruk, er det viktig at tilleggsfunksjonalitet blir tatt i bruk for å oppnå maksimal nytte med AMS for alle parter. I rapporten er det beskrevet noen forslag til bruksområder for måledata i AMS. Dette omfatter bl.a. deteksjon av feil samt overvåkning og styringsfunksjoner.

AMS vil i utgangspunktet kun installeres i tennskap i veglysanlegg, slik at eventuelle feil ikke kan lokaliseres til en spesifikk armatur. For at feil skal kunne spores ned på armaturnivå er det en forutsetning at hver armatur har en kontrollenhet med TVK. Det eksisterer AMS-løsninger med slike enheter, men de innebærer ikke fullgod funksjonalitet som armaturkontrollenheter i intelligente styringssystem. Dette gjelder bl.a. mulighetene for trinnløs dimming i intelligente styringssystem. Måling på armaturnivå med timesintervaller vil innebære et betydelig større antall måleverdier som skal håndteres enn ved måling i tennskap. Innsamling av måleverdiene vil imidlertid utføres automatisk, slik at antallet ikke bør være noen begrensning.

Ved bruk av avvikshåndtering basert på måledata for deteksjon av lampeutfall vil det bli vanskelig å detektere avvik i forbruk fra dag til dag dersom anlegget er behovsstyrt. Grunnen til dette er at måleresultater fra testanlegget i Høgskoleringen har vist store forskjeller i forbruk fra dag til dag, som følge av endring i vær- og føreforhold. Deteksjon basert på timesverdier kan være mulig, men midlertidige forstyrrelser av signal eller endringer i belysning kan gjøre det også vanskelig. Ved bruk av intelligente styringssystem kan lampeutfall imidlertid detekteres direkte via brukergrensesnitt. Ved konvensjonelle anlegg bør det være mulig å benytte forbruksdata til dette formålet. Fotocelle har hatt et gjennomsnittlig avvik fra dag til dag på 449 W mot 160 W med astrour. Med astrour vil det derfor kunne være mulig å detektere utfall av én enkelt armatur ved hjelp av døgnverdier over forbruk. Det optimale for deteksjon av utfall basert på måledata vil likevel være ut fra timesverdier, som genererer en melding.

Registrering av lokal produksjon vil sannsynligvis være mindre aktuelt i Norge pga. forholdsvis liten tilgang på sol gjennom året. Overvåkning av fukt i tennskap via AMS er også en mulighet, men vil være mindre aktuelt siden nye skap skal utføres med kapslingsgrad IP65. Det kan eventuelt være mer aktuelt i eldre anlegg dersom tennskap der ikke er av samme utførelse.

Med jordfeilbryter installert vil direkte skader unngås ved at feilen kobles ut. Likevel vil det være nyttig å detektere at utkobling har skjedd for å oppnå optimal drift og unngå indirekte skader i forhold til trafikkskader som følge av mørke.

Eldre tennskap kan være utstyrt med kun jordfeilvarsling, og det vil da være viktig at slik varsling når fram til driftspersonell før skade på anlegg eller personer.

I rapporten fremgår det at det eksisterer veglysanlegg med AMS implementert uten forbruksmåling, der terminalene kun benyttes til styring. Derfor kan det være at ikke alle oppgitte målepunkter med TVK for gatelys i statusrapporten til NVE, nødvendigvis inkluderer måling. At AMS-terminaler benyttes til kun styring kan være av nevnte grunner tidligere i rapporten angående utbredt bruk av veglys koblet direkte til e-verkets distribusjonsnett.

Tilleggsfunksjonalitet via AMS kan føre til mer effektiv drift, men intelligente styringssystem kan inneholde de samme funksjonene i tillegg til muligheter for store besparelser i energiforbruk. Derfor er det viktig at fokus på slike styringssystem ikke kommer i skyggen av AMS.

7.5 Oppsummering styringsstrategier for vegbelysning

Tabell 7-1 viser en oppsummering og sammenligning av styringsstrategier for vegbelysning basert på fakta og vurderinger tidligere i rapporten.

Tabell 7-1: Oppsummering og sammenligning av styringssystem for vegbelysning

	Fotocelle	Astrour	Intelligent styring
Styring	- av/på	- av/på - (mulighet for egne styringsprogrammer for helg og uke)	- av/på - trinnvis dimming - kontinuerlig dimming
Komponenter (eksempel)	- elektronikkdel - ekstern føler	- elektronikkdel	- styringssentral/server - segmentkontroller - armaturkontrollenhet (lampenode) - evt. luminansmeter
Kommunikasjon	- signalkabel (kobber/fiber)	- signalkabel (kobber/fiber)	- PLC - radio - mobilnett - signalkabel (kobber/fiber)
Fordeler	- Ikke avhengig av type forkobling. - Lett å drifte.		- Belysningsnivå endres etter behov. - Redusert energiforbruk. - Statusmeldinger for armaturer. - Automatisk varsling ved feil. - Lenger levetid på komponenter. - Reduserte driftskostnader. - Endringer uten fysiske inngrep i nettet.
	- Bedre lokal tilpasning enn med astrour.	- Trenger ingen eksterne komponenter. - Forutsigbare inn- og utkoblingstider. - Mulighet for å forskyve inn- og utkoblingstid.	
Ulemper	- Feil må meldes inn manuelt. - Konstant maksimalt lysnivå. - Krever ombygging av nett ved endringer som omgruppering av armaturer.		- Høyere investeringskostnader. - Kan være mer komplisert å drifte. - Forutsetter elektronisk forkobling. - Flere feilkilder kan føre til at det er mer utsatt for feil.
	- Mer utsatt for aldring enn astrour. - Kan være variasjoner mellom målt og innstilt verdi.	- Krever programmering for å settes i drift.	

7.6 Videre arbeid

7.6.1 Videre arbeid med testanlegget

Måleresultater bør logges gjennom både høst- og vårsemester for å få med besparelse gjennom hele vinteren og eventuelt oppnå komplette data for et helt år.

Styringsprogrammet avhenger av signal fra astrour ved slukking noe som gjenspeiles i liten besparelse med utkoblingstidspunkt. Det kan derfor være fordelaktig å videreutvikle programmet for å optimalisere utkoblingstidspunkt, noe som er en utfordring med nåværende luminansmeter som ikke leverer måleverdier ved en viss tilgang på dagslys.

Det kan være fordelaktig å lage en forenklet versjon av styringsprogrammet som bl.a. kun benytter luminans som parameter og ikke sikt og trafikk tetthet. Dette for at det skal bli enklere for andre å drifte og gjøre endringer i senere tid, siden nåværende styringsprogram er omfattende å sette seg inn i.

7.6.2 Videre arbeid med AMS i veglysanlegg

For å bedre kunne vurdere bruksområder for måledata fra AMS bør det simuleres hvordan måledata kan benyttes for feildeteksjon i veglysanlegg.

For feildeteksjon kan det utvikles algoritmer for generering av melding ved avvik i måledata ut fra:

- at veglys står på eller er slukket utenom normaltid
- utfall utover angitt grenseverdi
- forbruk utover angitt grenseverdi

Det bør arbeides videre med å utrede hvilke løsninger nettselskap velger for AMS i veglysanlegg framover mot utrullingsfristen 1.1.2017, samt arbeides videre med å fremheve fordeler med overgang til målte veglysanlegg.

8 KONKLUSJON

Brenntid for styringsstrategiene fotocelle, astrour og luminansmeter har blitt logget over perioden 14. januar til 31. mai 2012. Pga. problemer med logging er ikke måledata fra perioden 25. mars til 18. april med i beregninger av energiforbruk. Beregnet energiforbruk i testanlegget har stemt bra med avlest målerstand. Sammenligning av resultatene med hensyn til energisparepotensial har vist følgende:

- Gjennomsnittlig 40 minutter senere innkobling med luminansmeter enn fotocelle.
- Totalt redusert brenntid med 6,5 % og 8,1 % med behovsstyring i forhold til henholdsvis fotocelle og astrour.
- Forbruk ved astrour og fotocelle tilnærmet likt, med totalt forbruk 35 kWh lavere med fotocelle enn med astrour.
- Gjennomsnittlig pådrag til armaturene i testanlegget på 69 %
- Gjennomsnittlig luminans i testanlegget tilfredsstillende angitt krav.
- Gjennomsnittlig 5,6 kWh redusert forbruk per døgn med behovsstyring.
- Gjennomsnittlig 17 % lavere forbruk per armatur med LED i forhold til NaH i testanlegget.
- Med testanlegget har besparelsen med LED økt i forhold til NaH, ved lavere pådrag.
- Energibesparelse fra 19 % og opp til 47 % med behovsstyring avhengig av vær- og føreforhold.
- Total besparelse på 31,6 % (642 kWh) og 32,8 % (678 kWh) med behovsstyring i forhold til henholdsvis fotocelle og astrour, over perioden 14. januar til 31. mai.

Det eksisterer AMS-løsninger med mulighet for utkobling av enkeltlaster og flere av de samme overvåkningsmulighetene som med intelligente styringssystem for veglys. Intelligente styringssystem med integrert måling har imidlertid bedre muligheter for regulering. Det vil sannsynligvis føre til større besparelse enn med AMS i de fleste tilfeller, dersom nødvendige midler er tilgjengelig.

Følgende bruksområder for måledata i AMS er vurdert med størst nyttevirkning i veglysanlegg:

- Jordfeilregistrering.
- Deteksjon av utløste vern og sikringsbrudd.
- Deteksjon av lampeutfall basert på timesverdier.
- Overvåkning av temperatur i tennskap.

REFERANSELISTE

- [1] Statens Vegvesen. *Håndbok 017 – Veg- og gateutforming*. Oslo, Statens Vegvesen vegdirektoratet, 2008.
- [2] Statens Vegvesen. *Håndbok 264 – Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning*. Oslo, Statens Vegvesen vegdirektoratet, 2008.
- [3] EFO Elektroforeningen, *Elektronisk forkobling i lysarmaturer*. Oslo. Lokalisert 5. oktober 2011 på internett: <http://glamox.com/no/efo-hf>
- [4] Reliant Energy. *Lightning: Fluorescent Ballasts*. Lokalisert 3. mai 2012 på internett: http://www.reliant.com/en_US/Page/Generic/Public/esc_purchasing_-_advisor_fluorescent_ballasts_bus_gen.jsp.
- [5] NVE. *Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester*. 1999.
- [6] NVE. *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariff*. 1999.
- [7] NVE (2009), *NVEs vurdering i klage på Hafslund Netts måling og tariffingspraksis av veilys*. Oslo. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: www.nve.no/global/kraftmarked/enkeltvedtak/vedtak%20nettleieklager%2009/2009-sak04-hafslundnett-veilys.pdf
- [8] Tekniske Nyheter. *Innsparingen på vedlikehold er større enn innsparingen i energiforbruk*. Lokalisert på internett 15. februar 2012: http://www.tekniskenyheter.no/Saker/1en120128innsparingen_storre_enn.html.
- [9] Sæle, H., Nordgård, D.E., Heggset, J. *Bruksområder for AMS-data registrert hos kunder og i MV/LV nettstasjoner*. Sintef, april 2011.
- [10] Tommelstad, E. *Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veilyssystemer*. NTNU, 2009. Masteroppgave.
- [11] Toll- og avgiftsdirektoratet (2009), *Forbruksavgift på elektrisk kraft*. Oslo. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: <http://toll.no/upload/aarsrundskriv/2009Forbruksavgift.pdf>
- [12] NVE (2011). *Avanserte måle- og styringssystem – oppsummering av høringsuttalelser og endelig forskriftstekst*. Oslo.
- [13] NVE. *Forskrift om endring i forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester*. 2011.
- [14] Line, M.B., Johansen, G., Sæle, H. *Risikovurdering av AMS*. Sintef, 2012.
- [15] Holth, R., Skagerak Nett AS (rune.holth@skagerakenergi.no). 19. mars 2012. "RE: Masteroppgave ved NTNU om AMS i veglysanlegg". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).

- [16] Bjelland, E., Oslo Kommune Bymiljøetaten (eirik.bjelland@bym.oslo.kommune.no). 20. mars 2012. "VS: Masteroppgave ved NTNU om veglys og AMS". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).
- [17] Wanvik, P.O., Statens Vegvesen (per.wanvik@vegvesen.no). 27. mars 2012. "SV: Masteroppgave ved NTNU om AMS og styring av veglys". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).
- [18] Justervesenet. *Forskrift om krav til elektrisitetsmålere*. 2008.
- [19] Graabak, I., Sæle, H. *Kravspesifikasjon fullskala utbygging av Avanserte Måle- og Styringssystem(AMS) (toveiskommunikasjon)*. Sintef, september 2011.
- [20] Enova (svarer@enova.no). 15. februar 2012. "Re: (Ticket: #1238940) VS: Masteroppgave ved NTNU ang. veglys og AMS". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no)
- [21] Kristiansen, P. *Hvordan gikk det med funksjonsstyrt veilyst?*. Lys, nr. 04 – 2011, side 48.
- [22] Hafslund Nett/Gjerdrum kommune. *Grensesnitt ved fellesføring av lavspenningsanlegg med forskjellige eiere/parter på samme masterekke*. Lokalisert 5. mai 2012 på internett: http://www.gjerdrum.kommune.no/getfile.aspx/ephdoc/?db%3DEPHORTE%26MO_ID%3D123%26MD_DOKTYPE_DU%3DMI.
- [23] Bjørset, H.H., Risberg, S., Valeur, T. *Vegbelysning – Planlegging, anlegg og drift (Publikasjon nr. 358)*. Norges Energiverkforbund, 1989.
- [24] Micro Matic AS. *Monterings- og betjeningsveiledning – FCN-2P*. Lokalisert 12. mars 2012 på internett: www.micromatic.no/admin/common/getImg.asp?fileid=12251
- [25] Bjørset, H.H. *Undersøkelse av fotobrytere for styring av veglysanlegg*. Elektrisitetforsyningens Forskningsinstitutt AS (EFI), 1989.
- [26] Westgaard, K., Datek Wireless AS (ketil@datek.no). 29. februar 2012. "VS: Masteroppgave ved NTNU om veglys og AMS". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no)
- [27] Micro Matic Norge AS. *Full kontroll på tiden med astrour*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: <http://www.micromatic.no/?ItemID=10735>
- [28] Time and Date AS (2011). *Find sunrise and sunset for your location*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: <http://timeanddate.com/worldclock/sunrise.html>
- [29] Micro Matic Norge AS. *Elektronisk døgn-/ukeur med astrofunksjon*. Lokalisert 27. januar 2012 på internett: <http://www.micromatic.no/?-CatId=2210&ProdNo=LA1049&SearchStr=la1049>

- [30] Kristiansen, P., Veilyskompetanse AS (petter@veilyskompetanse.no). 28. februar 2012. "SV: Masteroppgave ved NTNU om AMS og vegbelysning". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).
- [31] Bjørset, H.H., Hansen, E.H. *Lysteknikk*. Classica Forlag AS, 2006.
- [32] Glamox Luxo Lighting. *DALI*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: <http://glamox.com/no/switch-dim1>
- [33] Kristiansen, P. *Datek Wireless – enda en norsk askeladd*. Lys, nr. 01 – 2009, side 32-34.
- [34] Kristiansen, P. *Et lite firma fra Kongsberg – som blir lagt merke til i "det store utland"*. Lys, nr. 03 – 2008, side 32.
- [35] Kristiansen, P. *Intelligent veibelysning – Må man være intelligent for å ta det i bruk?*. Lys, nr. 02 – 2005, side 48.
- [36] ECON. *Nye målerteknologier – utarbeidet for Norges vassdrags- og energidirektorat*. Oslo, 2007.
- [37] ZigBee Alliance. Lokalisert på internett 26. mars 2012: www.zigbee.org.
- [38] Echelon Corporation. *Power Line Communication*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: <http://www.echelon.com/products/transceivers/Powerline/plcomFAQ.htm>
- [39] LonMark International. *lonmark_logo.gif*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: http://www.lonmark.org/images/lonmark_logo.gif
- [40] Echelon Corporation. *Introduction to the LonWorks System Revision 2*. USA, 1999.
- [41] Echelon Corporation (2012). *Smart Street Lighting*. Lokalisert på internett 26. mars 2012: <http://www.echelon.com/applications/street-lighting/>
- [42] Bonde, M. *Intelligente bygningsinstallasjoner med LonWorks*. El-Fagets Uddannelsesnævn, Danmark, 1999.
- [43] Echelon Corporation (1997). *Centralized Commercial Building applications with the LonWorks PLT-21 Power Line Transceiver*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: www.echelon.com/support/documentation/bulletin/005-0056-01B.pdf
- [44] Datek Wireless. *Datek Lysstyring - Komplette løsninger for styring av utvendig belysning*. Lokalisert på internett 2. februar 2012: www.datek.no/downloads/Datek%20Lysstyring.pdf
- [45] Luminext BV. Lokalisert på internett 26. mars 2012: http://www.luminext.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=54&lang=en.
- [46] LuxSave. *LuxSave lysstyring*. Lokalisert på internett 10. mars 2012: <http://www.luxsave.com/>
- [47] LuxSave. *Fremtidens styringssystem. Gatelys – veilyss – energi*. Datablad.

- [48] Nilsen, J. *Sparer strøm med smart veilys*. Teknisk Ukeblad. Lokalisert på internett 14. februar 2012: <http://www.tu.no/energi/article131599.ece>
- [49] Walraven, H. *E-street Initiative WP 2: Market assessment and Review of Energy Savings*. Echelon, 2006. Lokalisert på internett 15. februar 2012: www.e-streetlight.com/Documents/-WP%20FINAL/WP%20D2.1%20Market%20review.pdf
- [50] Arnesen, O., Enova (odd.erna.arnesen@gmail.com). 5. mars 2012. ”Styring av veglys”. E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).
- [51] Lyskultur, *Lysdioder til belysning 2010*. Oslo, Lyskultur, 2010.
- [52] Skjelsvold, G.M. *Undersøkelse av styrestrategier med bruk av intelligente veilyssystemer*. NTNU, 2006. Masteroppgave.
- [53] Kristiansen, P. *LED, nå også for større veier?*. Lys, nr. 02 – 2011, side 70.
- [54] Kristiansen, P. *LED til utendørs belysning*. Lys, nr. 05 – 2010, side 18-20.
- [55] Heide, J.A.R. *LED for vei- og gatebelysning*. NTNU, 2011. Masteroppgave.
- [56] Philips Lighting B.V (2008). *Starsense - Telemanagement made easy*, Lokalisert 23. januar 2012 på internett: http://www.lighting.philips.no/application_areas/controls/products/starsense/
- [57] Norheim, S. *Utvikling av et avansert styringssystem for veibelysning*. NTNU, 2004. Masteroppgave.
- [58] Connect B.V. *Datablad for PCU-PL22*. Nederland.
- [59] Connect B.V. *Technical Manual – Analog Interface (CN59)*. Nederland, 2005. Kapittel 4.
- [60] Echelon Corporation. *i.lon 100 Internet Server datasheet*. Lokalisert 23. januar 2012 på internett: <http://www.echelon.com/support/documentation/datashts/7210x.pdf>
- [61] Larsen, P.J. *Uttesting og beregning av energisparepotensiale ved bruk av avansert reguleringsystem for veibelysning*. NTNU, 2005. Masteroppgave.
- [62] Lio, S. *Idriftsetting og uttesting av intelligent styringssystem*. NTNU, 2011. Fordypningsprosjekt.
- [63] Sandhaug, S. *Energisparepotensiale ved armaturutskifting i eldre veilysanlegg*. NTNU, 2007. Masteroppgave.
- [64] Gammeltvedt, E., Borgli, E. *Avanserte måle- og styringssystem (AMS) – Høringsdokument februar 2011 (Dokument nr.1-2011)*. NVEs hustrykkeri, Oslo 2011.
- [65] Wangensteen, I. *Power System Economics – the Nordic Electricity Market*. Tapir Academic Press, Trondheim 2007.
- [66] Tjeldflåt, A. *Nettselskapenes rolle i sluttbrukermarkedet – vurderinger av ulike tiltak for et effektivt kraftmarked (Dokument nr. 6-2005)*. NVEs hustrykkeri, Oslo 2005.

- [67] Bakken, S.A. *Et veiskille i bransjen*. Bilag til Energiteknikk, nr. 7 – 2011, side 3
- [68] Avenir AS. *Nettselskapets rolle i det fremtidige norske kraftmarkedet med AMS-infrastruktur*. Avenir, 2009.
- [69] NVE. *Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften)*. 1990.
- [70] Graabak, I., Sæle, H. *Kravspesifikasjon fullskala utbygging av Avanserte Måle- og Styringssystem (AMS)*. Versjon 1.0. Sintef, 2011.
- [71] Morch, A.Z., Feilberg, N., Graabak, I. *Dataformat i og kvalitetskrav til måleverdikjeden*. Sintef 2006.
- [72] Feilberg, N. *Måleverditilgjengelighet ved toveiskommunikasjon*. Sintef 2007.
- [73] Bakken, S.A. *AMS er mer enn et målerbytte-prosjekt*. Bilag til Energiteknikk, nr. 1 – 2012, side 8-9.
- [74] Smart Grids Austria. Lokalisert 16. mars 2012 på internett: www.smartgrids.at
- [75] Sæle, H., Livik, K. *Utrulling av AMS – hvordan vil det påvirke IT-strukturen?*. Energiteknikk, nr. 10 – 2009, side 36.
- [76] Tonstad, P.L., *Vil ha mer ut av AMS*. Bilag til Energiteknikk, nr. 01 – 2012, side 11.
- [77] Abelsen, A. *IKT før målere*. Energiteknikk, nr. 02 – 2012, side 13.
- [78] Bakken, S.A. *Stange Energi først ut*. Bilag til Energiteknikk, nr. 7 – 2011, side 4-5
- [79] Devoteam DaVinci og Thema Consulting Group (2011). *AMS tilleggstjenester – tredjepartstilgang*.
- [80] Econ Pöyry. *Utvexling av informasjon ved innføring av AMS*. Econ Pöyry 2010.
- [81] Bakken, S.A. *Godt rustet for AMS*. Energiteknikk, nr. 06 – 2011, side 11.
- [82] Graabak, I., Sæle, H. *Erfaringer fra fullskala etablering av toveiskommunikasjon (TVK)*. Sintef 2009.
- [83] Abelsen, A. *Utfordrende AMS*. Energiteknikk, nr. 6 – 2011, side 9.
- [84] Feilberg, N. *Måleverditilgjengelighet ved toveiskommunikasjon*. Sintef 2007.
- [85] Hamnes, L., Nikolaisen, P.I. *Når hackerne tar strømmen*. Teknisk Ukeblad, nr. 07 – 2012, side 38.
- [86] Abelsen, A. *AMS truer sikkerheten*. Energiteknikk, nr. 08 – 2011, side 17.
- [87] Abelsen, A. *Bransjen må våkne!*. Bilag til Energiteknikk, nr. 7 – 2011, side 13.
- [88] DevoTeam DaVinci. *Felles IKT-løsninger i det norske kraftmarkedet*. Oslo, 2011.
- [89] Johansen, M.R., Jørum, E., Atkinson, O.T. *I startgropa for AMS*. Energiteknikk, nr. 01 – 2012, side 38-39.

- [90] Abelsen, A. *Stille før stormen*. Bilag til Energiteknikk, nr. 07 – 2011, side 11.
- [91] Graabak, I. *Funksjonsbeskrivelse full-skala utbygging av "Avanserte Måle- og Styringsystem" (AMS)*. Sintef Energiforskning AS, 2008.
- [92] NVE. *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet*. 2004.
- [93] Kristiansen, P. *Los Angeles – LED*. Lys nr. 05 – 2011, side 34-36.
- [94] Kolbeinstveit, O., Tjeldflåt, A. *Automatisk måleravlesning og toveiskommunikasjon – Styringsinstrument eller avlesningsautomat?*. NVE 2006.
- [95] Bakken, S.A. *Tester samarbeid – rir på to hester*. Bilag til Energiteknikk, nr. 01 – 2012, side 14.
- [96] Abelsen, A. *Hafslund i teten*. Bilag til Energiteknikk, nr. 01 – 2012, side 12.
- [97] Statens Vegvesen. *Håndbok 237 – Veg- og gatelys*. Statens Vegvesen vegdirektoratet, Oslo 2002.
- [98] NVE (2012). *Rapportering om status og planer for AMS*. Lokalisert på internett 28. februar 2012:
www.nve.no/Global/Kraftmarked/Oppsummering%20rapportering%20status%20og%20planer%20for%20AMS%20jan%202012.pdf
- [99] Venjum, A., NVE (ave@nve.no). 1. mars 2012. "SV: Masteroppgave ved NTNU omhandlende AMS". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).
- [100] Olsen, M., Malvik Everk (marius@malvik-everk.no). 20. mars 2012. "SV: Masteroppgave ved NTNU om AMS i veglysanlegg". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no)
- [101] Landis+Gyr Support (NO.Support@landisgyr.com). 16. mars 2012. RE: Masteroppgave ved NTNU om AMS i veglysanlegg". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no)
- [102] Landis+Gyr. *L740 datablad*. Mottatt på e-post 16. mars 2012
- [103] Hegg, Ø., Embriq (Orjan.Hegg@embriq.no). 9. mars 2012. "FW: Masteroppgave ved NTNU om AMS i veglysanlegg". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no).
- [104] Landis+Gyr. *Smart Metering in Switzerland powered by Landis+Gyr*. Lokalisert på internett 12. mars 2012:
www.landisgyr.eu/files/pdf1/CaseStudy_SuccessStory_EKZ.pdf
- [105] Strande, S., Istad Nett (Svein.Strande@istad.no). 10. april 2012. "SV: Masteroppgave ved NTNU om AMS i veglysanlegg". E-post til Ståle Lio (stalelio@stud.ntnu.no)
- [106] Bakken, S.A. *Bli behandlet individuelt*. Energiteknikk, nr. 08 – 2011, side 18.
- [107] Abelsen, A. *Søker NVE om unntak*. Energiteknikk, nr. 02 – 2012, side 14.

VEDLEGGSLISTE

- Vedlegg A Nomenklaturliste
- Vedlegg B Dimensjoneringsklasser for vegbelysning
- Vedlegg C Målinger av effekt på NaH-armaturer
- Vedlegg D Målinger av effekt på LED-armaturer
- Vedlegg E Oppkobling av komponentene i testanlegget
- Vedlegg F Innstillinger i styringsprogram
- Vedlegg G Måleresultater
- Vedlegg H Utfyllende grafer
- Vedlegg I Kontrollmåling av luminans
- Vedlegg J Beregning av energiforbruk
- Vedlegg K Måledata fra armatur nr. 1 med LuxSave-styring
- Vedlegg L Resultater fra FebDok og beregning av tap
- Vedlegg M Kravspesifikasjon tennskap for veglys

VEDLEGG A: NOMENKLATURLISTE

Belysningsstyrke (E)	-	Mål på utstrålt lysmengde fra en lyskilde mot en flate (måles i lux [lx])
Buss	-	Nettverkstopologi med komponenter tilkoblet felles kommunikasjonsmedie
CEN	-	European Committee for Standardization – Plattform for utvikling av standarder og tekniske spesifikasjoner i Europa
CENELEC	-	European Committee for Electrotechnical Standardization – Standardisering innen elektroteknikk i Europa
DALI	-	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
ENØK	-	Energiøkonomisering
ETSI	-	European Telecommunications Standards Institute – Standarder innen IKT
GPRS	-	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	-	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GWh	-	Gigawatttime
IP-grad	-	Kapslingsgrad angitt av IP etterfulgt av et siffer for faste legemer og et for vann
KIS	-	Kundeinformasjonssystem
Kommunikasjonsprotokoll	-	Sett med regler for datakommunikasjon
LAN	-	Local Area Network
LED	-	<i>Light Emitting Diode</i> (lysdiode)
LON	-	<i>Local Operating Network</i>
Luminans (L)	-	Mål på lysheten til en flate (måles i candela per m ² [cd/m ²])
Luminansjevnhet	-	Forhold mellom minste luminansverdi og gjennomsnittsverdien av luminans i et gitt område
Lysutbytte	-	Forholdet mellom lysmengde og energi i lystråling fra en lyskilde (måles i lumen per watt [lm/W])
MDMS	-	Måleverdisystem
MVDB	-	Måleverdidatabase
NaH	-	Høytrykksnatrium
NIS	-	Nettinformasjonsystem

OLC	- <i>Outdoor Luminaire Controller (Utendørs lampekontrollenhet)</i>
PCU	- <i>Process Control Unit</i>
PLC	- <i>Power Line Communication</i>
Ra-indeks	- Parameter mellom 0 og 100 som angir fargegjengivelse for en lyskilde
Router	- Komponent for fordeling og videresending av datapakker
TVK	- Toveiskommunikasjon
TWh	- Terrawatttime
UMTS	- <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
Vedlikeholdsfaktor (v)	- Faktor for vedlikeholdstilstanden for et lysanlegg (E_m/E_{ny})
ÅDT	- Årsdøgntrafikk

VEDLEGG B: DIMENSJONERINGSKLASSER FOR VEGER OG GATER

Tabell B.1: Dimensjoneringsklasser for stamveger [1]

Vegklasse	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Vegtype	S/H	S	S	S/H	S/H	S/H	S/H	S/H	S/H
Merknad	Innfartsveg	Stamveg	Stamveg	Motorveg	Motorveg	Innfartsveg	Motorveg	Motorveg	Motorveg
ÅDT	0 - 12 000	0 - 4 000	0 - 4 000	4 000 - 8 000	8 000 - 12 000	> 12 000	> 12 000	12 000 - 20 000	> 20 000
Fartsgrense	60	80	90	80	90	60	80	100	100
Belysning	Bør belyses	Ikke krav	Ikke krav	Ikke krav	Bør belyses	Bør belyses	Bør belyses	Skal belyses	Skal belyses
Kriterie for belysning	ÅDT > 1 500	X	X	X	X	X	ÅDT > 20 000	X	X

Tabell B.2: Dimensjoneringsklasser for hovedveger, samleveger og atkomstveger [1]

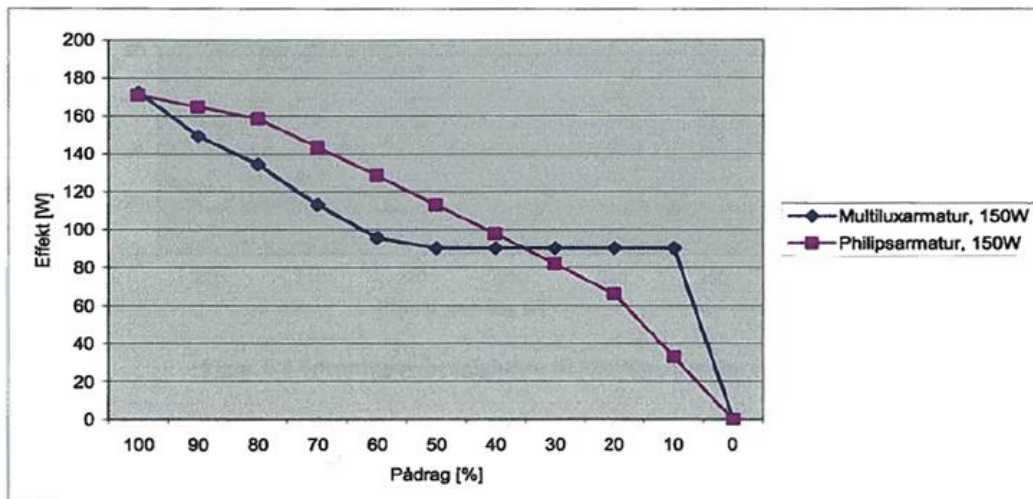
Vegklasse	H1	H2	Sa1	Sa2	Sa3	A1	A2	A3
Vegtype	H	H	Sa	Sa	Sa	A	A	A
Merknad			Boligområder	Mellom bygder/bydeler	Spredtbygd	Boligområder	Industriområder	Spredt bebyggelse
ÅDT	< 1 500	1 500 - 4 000	< 1 500	> 1 500	< 1 500	X	X	X
Fartsgrense	80	80	50	50	80	30	50	50
Belysning	Ikke krav	Ikke krav	Bør belyses	Bør belyses	Ikke krav	Bør belyses	Ikke krav	Ikke krav
Kriterie	X	X	X	X	X	X	X	X

- S = Stamveger og andre hovedveger (lengre strekninger med hovedveg og andre hovedveger med stor trafikkmengde)
- H = Andre hovedveger (andre hovedveger med mindre trafikkmengde)
- Sa = Samleveger (interne vegforbindelser i bebygde områder)
- A = Atkomstveger (veger som gir forbindelse til bygninger)
- X = Ikke angitt

VEDLEGG C: MÅLINGER AV EFFEKT NAH-ARMATURER

Tabell C-1: Måling av effekt ved varierende pådrag på Philips SGS 253 Iridium med høytrykksnatriumlampe [52]

Dimmeprocent	Målt effekt
[%]	[W]
100 %	170,6
80 %	158,4
60 %	128,5
40 %	98
20 %	66,2



Figur C-1: Effekt ved varierende pådrag med Philips SGS 253 Iridium [52]

Verdier for dimmetrinnene i intervall på 10 % er lest av i Tabell C-1 og Figur C-1. For å finne verdiene mellom er det benyttet interpolering i Excel.

Tabell C-2: Interpolering av dimmeverdier for NaH

Pådrag [%]	NaH effekt [W]	Pådrag [%]	NaH effekt [W]	Pådrag [%]	NaH effekt [W]
10 (1 V)	32,0	40 (4V)	98,0	70 (7 V)	144,0
11	35,4	41	99,6	71	145,4
12	38,8	42	101,2	72	146,9
13	42,3	43	102,8	73	148,3
14	45,7	44	104,4	74	149,8
15	49,1	45	106,0	75	151,2
16	52,5	46	107,6	76	152,6
17	55,9	47	109,2	77	154,1
18	59,4	48	110,8	78	155,5
19	62,8	49	112,4	79	157,0
20 (2 V)	66,2	50 (5 V)	114,0	80 (8 V)	158,4
21	67,8	51	115,5	81	159,0
22	69,4	52	116,9	82	159,5
23	70,9	53	118,4	83	160,1
24	72,5	54	119,8	84	160,6
25	74,1	55	121,3	85	161,2
26	75,7	56	122,7	86	161,8
27	77,3	57	124,2	87	162,3
28	78,8	58	125,6	88	162,9
29	80,4	59	127,1	89	163,4
30 (3 V)	82,0	60 (6 V)	128,5	90 (9 V)	164,0
31	83,6	61	130,1	91	164,7
32	85,2	62	131,6	92	165,3
33	86,8	63	133,2	93	166,0
34	88,4	64	134,7	94	166,6
35	90,0	65	136,3	95	167,3
36	91,6	66	137,8	96	168,0
37	93,2	67	139,4	97	168,6
38	94,8	68	140,9	98	169,3
39	96,4	69	142,5	99	169,9
				100 (10V)	170,6

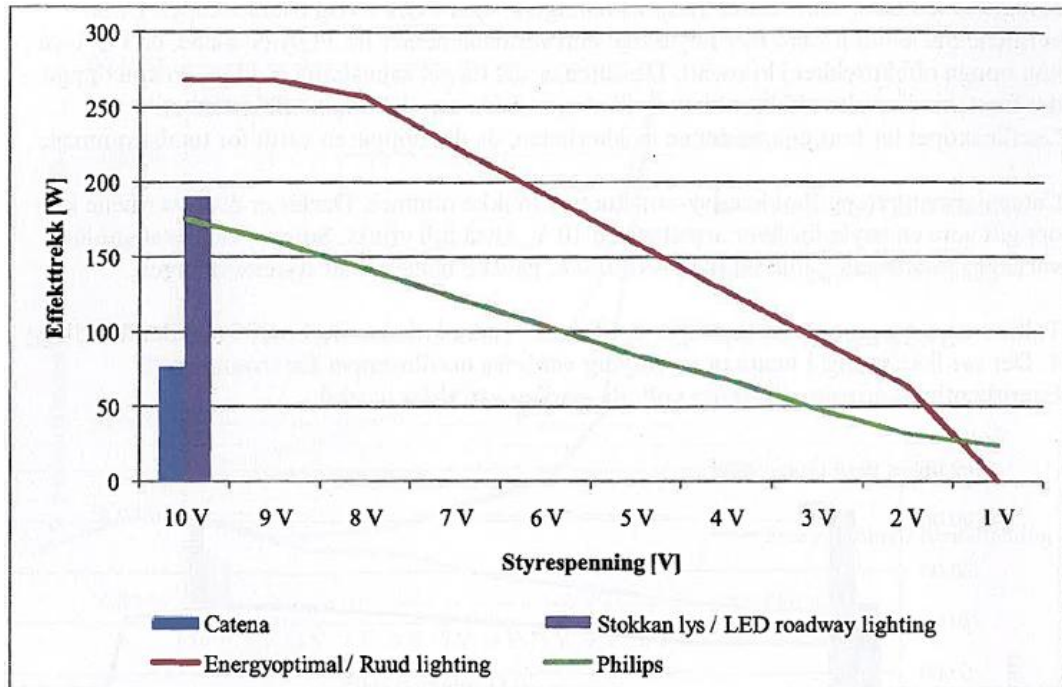
Tabell C.3: Beregnede effekter i henhold til gjennomsnittlig pådrag i testanlegget

Dato	Pådrag [%]	Effekt NaH [W]	Dato	Pådrag [%]	Effekt NaH [W]	Dato	Pådrag [%]	Effekt NaH [W]
14.jan	46	106	22.feb	47	109	23.apr	91	165
15.jan	74	150	23.feb	52	115	24.apr	77	153
16.jan	58	126	24.feb	59	126	25.apr	78	154
17.jan	52	117	25.feb	24	73	26.apr	88	163
18.jan	55	120	26.feb	24	71	27.apr	86	161
19.jan	71	142	27.feb	71	142	28.apr	93	166
20.jan	61	127	28.feb	83	160	29.apr	84	160
21.jan	77	153	29.feb	95	167	30.apr	84	160
22.jan	81	159	01.mar	64	135	01.mai	73	148
23.jan	71	145	02.mar	80	157	02.mai	92	165
24.jan	79	156	03.mar			03.mai	80	157
25.jan	73	147	04.mar	71	145	04.mai	82	160
26.jan	68	139	05.mar	80	157	05.mai	75	150
27.jan	72	147	06.mar	76	151	06.mai	69	142
28.jan	69	141	07.mar	81	157	07.mai	69	142
29.jan	66	138	08.mar	96	168	08.mai	70	144
30.jan	92	165	09.mar	97	168	09.mai	72	147
31.jan	94	166	10.mar	48	111	10.mai		
01.feb	86	162	11.mar	96	167	11.mai	81	159
02.feb	95	167	12.mar	97	168	12.mai	83	160
03.feb	48	109	13.mar	94	166	13.mai	71	144
04.feb	21	68	14.mar	97	168	14.mai	72	145
05.feb	20	63	15.mar	96	167	15.mai	75	151
06.feb	89	163	16.mar	97	168	16.mai	69	142
07.feb	61	127	17.mar	97	168	17.mai	81	158
08.feb	57	123	18.mar	28	79	18.mai	74	148
09.feb	35	88	19.mar	42	101	19.mai	90	164
10.feb	64	135	20.mar	93	166	20.mai	66	138
11.feb	24	73	21.mar	53	117	21.mai	58	126
12.feb	21	63	22.mar	98	169	22.mai	62	130
13.feb	54	118	23.mar	98	169	23.mai	77	153
14.feb	41	100	24.mar	98	169	24.mai	79	157
15.feb	32	84	25.mar	98	169	25.mai	69	142
16.feb	48	109	11.apr	70	142	26.mai	81	158
17.feb	28	77	18.apr	76	151	27.mai	53	117
18.feb	37	92	19.apr	82	160	28.mai	79	156
19.feb	25	73	20.apr	91	165	29.mai	78	156
20.feb	32	84	21.apr	84	161	30.mai	48	109
21.feb	30	80	22.apr	81	157	31.mai	52	115

Merknader:

- Effekter er beregnet med "SAMMENLIGNE"-funksjon i Excel

VEDLEGG D: MÅLINGER AV EFFEKT PÅ LED- ARMATURER



Figur D-1: Målinger av effekt på LED-armaturer [55]

Verdier er lest av for dimmetrinnene på aksetiketten og vist i Tabell D-1.

Tabell D-1: Avleste verdier for effekt ved varierende pådrag:

Pådrag	Effekt [W]	
	Philips LED	EO LED
10	25	20
20	30	50
30	50	80
40	60	110
50	85	140
60	105	170
70	125	200
80	140	230
90	160	250
100	175	250

Eksakte verdier mellom trinnene vist i Tabell D-1 er beregnet med interpolering i Excel og vist i Tabell D-2.

Tabell D-2: Interpolering av dimmeverdier for LED

Pådrag [%]	Ph-LED effekt [W]	EO-LED effekt [W]	Pådrag [%]	Ph-LED effekt [W]	EO-LED effekt [W]	Pådrag [%]	Ph-LED effekt [W]	EO-LED effekt [W]
10 (1 V)	25	20	40 (4V)	60	110	70 (7 V)	125	200
11	26	23	41	63	113	71	127	203
12	26	26	42	65	116	72	128	206
13	27	29	43	68	119	73	130	209
14	27	32	44	70	122	74	131	212
15	28	35	45	73	125	75	133	215
16	28	38	46	75	128	76	134	218
17	29	41	47	78	131	77	136	221
18	29	44	48	80	134	78	137	224
19	30	47	49	83	137	79	139	227
20 (2 V)	30	50	50 (5 V)	85	140	80 (8 V)	140	230
21	32	53	51	87	143	81	142	232
22	34	56	52	89	146	82	144	234
23	36	59	53	91	149	83	146	236
24	38	62	54	93	152	84	148	238
25	40	65	55	95	155	85	150	240
26	42	68	56	97	158	86	152	242
27	44	71	57	99	161	87	154	244
28	46	74	58	101	164	88	156	246
29	48	77	59	103	167	89	158	248
30 (3 V)	50	80	60 (6 V)	105	170	90 (9 V)	160	250
31	51	83	61	107	173	91	162	250
32	52	86	62	109	176	92	163	250
33	53	89	63	111	179	93	165	250
34	54	92	64	113	182	94	166	250
35	55	95	65	115	185	95	168	250
36	56	98	66	117	188	96	169	250
37	57	101	67	119	191	97	171	250
38	58	104	68	121	194	98	172	250
39	59	107	69	123	197	99	174	250
						100 (10V)	175	250

Merknader:

- EO = EnergyOptimal

Tabell D.3: Beregnede effekter i henhold til gjennomsnittlig pådrag i testanlegget

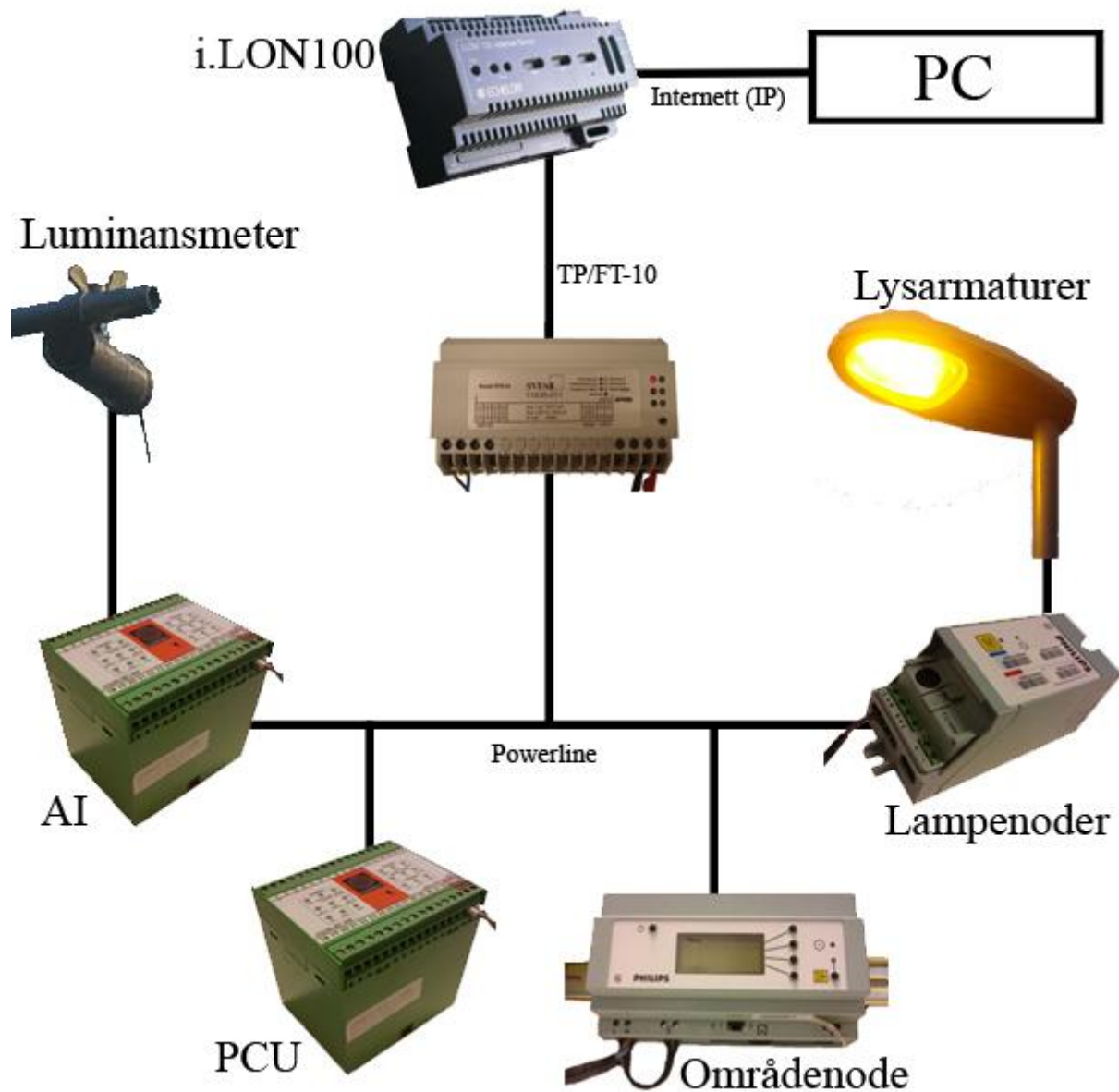
Dato	Gj.sn. pådrag [%]	Effekt LED [W]	Effekt EO-LED [W]
14.jan	46	73	125
15.jan	74	131	212
16.jan	58	101	164
17.jan	52	89	146
18.jan	55	93	152
19.jan	71	123	197
20.jan	61	103	167
21.jan	77	134	218
22.jan	81	142	232
23.jan	71	127	203
24.jan	79	137	224
25.jan	73	128	206
26.jan	68	119	191
27.jan	72	128	206
28.jan	69	121	194
29.jan	66	117	188
30.jan	92	162	250
31.jan	94	165	250
01.feb	86	152	242
02.feb	95	168	250
03.feb	48	78	131
04.feb	21	32	53
05.feb	20	30	47
06.feb	89	156	246
07.feb	61	103	167
08.feb	57	97	158
09.feb	35	54	92
10.feb	64	113	182
11.feb	24	38	62
12.feb	21	30	47
13.feb	54	91	149
14.feb	41	63	113
15.feb	32	51	83
16.feb	48	78	131
17.feb	28	44	71
18.feb	37	56	98
19.feb	25	38	62
20.feb	32	51	83
21.feb	30	48	77

Dato	Gj.sn. pådrag [%]	Effekt LED [W]	Effekt EO-LED [W]
22.feb	47	78	131
23.feb	52	87	143
24.feb	59	101	164
25.feb	24	38	62
26.feb	24	36	59
27.feb	71	123	197
28.feb	83	146	236
29.feb	95	166	250
01.mar	64	113	182
02.mar	80	139	227
03.mar			
04.mar	71	127	203
05.mar	80	139	227
06.mar	76	133	215
07.mar	81	139	227
08.mar	96	169	250
09.mar	97	169	250
10.mar	48	80	134
11.mar	96	168	250
12.mar	97	169	250
13.mar	94	165	250
14.mar	97	169	250
15.mar	96	168	250
16.mar	97	169	250
17.mar	97	169	250
18.mar	28	46	74
19.mar	42	65	116
20.mar	93	165	250
21.mar	53	89	146
22.mar	98	171	250
23.mar	98	172	250
24.mar	98	172	250
25.mar	98	172	250
11.apr	70	123	197
18.apr	76	133	215
19.apr	82	144	234
20.apr	91	162	250
21.apr	84	148	238
22.apr	81	139	227

Dato	Gj.sn. pådrag [%]	Effekt LED [W]	Effekt EO-LED [W]
23.apr	91	162	250
24.apr	77	134	218
25.apr	78	136	221
26.apr	88	156	246
27.apr	86	150	240
28.apr	93	165	250
29.apr	84	146	236
30.apr	84	146	236
01.mai	73	130	209
02.mai	92	163	250
03.mai	80	139	227
04.mai	82	144	234
05.mai	75	131	212
06.mai	69	123	197
07.mai	69	123	197
08.mai	70	125	200
09.mai	72	128	206
10.mai			
11.mai	81	142	232
12.mai	83	146	236
13.mai	71	125	200
14.mai	72	127	203
15.mai	75	133	215
16.mai	69	123	197
17.mai	81	140	230
18.mai	74	130	209
19.mai	90	160	250
20.mai	66	117	188
21.mai	58	101	164
22.mai	62	107	173
23.mai	77	134	218
24.mai	79	139	227
25.mai	69	123	197
26.mai	81	140	230
27.mai	53	89	146
28.mai	79	137	224
29.mai	78	137	224
30.mai	48	78	131
31.mai	52	87	143

Merknad: - Effekter er beregnet med "SAMMENLIGNE"-funksjon i Excel

VEDLEGG E: OPPKOBLING AV KOMPONENTENE I TEST-ANLEGGET



VEDLEGG F: INNSTILLINGER I STYRINGSPROGRAM

Tabell F-1: Oversikt over de viktigste nettverksvariablene i programmet med innstilte verdier

Navn	Funksjon	Innstilt verdi	Program
nciTimerContrSec	Intervall mellom hver sjekk av målt luminans mot krav	60	Hovedprogram
nciTimerDelaySec	Tidsforsinkelse for av- og påslag	600	Hovedprogram
nciLumDelta	Akseptabelt avvik fra gjeldene luminanskrav før dimming	150	Hovedprogram
nciRoadType	Gjeldende vegklasse	VUM	Hovedprogram
nciNrOfSampels	Antall samplinger av luminans per måling	60	Luminansmeter
nciCalibration	Kalibreringsfaktor	1220/1180	Luminansmeter
nciCalibLow	Fratrekk i kalibrering	0	Luminansmeter

Feilmeldinger i LonMaker:

- "The specified network interface is currently in use. (Subsystem: NI #41)"
- "The host was unable to communicate with the NSI (Subsystem: NS, #8)"
- "Cannot communicate with the device. (Subsystem: NS, #26)"
- "There can only be one LCA Object Server ActiveX control per process. Please make sure that you only have a single Object Server control in this process"

Alle feilmeldinger nevnt over, bortsett fra siste punkt, har tilknytning til oppstart av LonMaker eller tilkobling til nettverket via iLon100.

Echelon support har ikke hatt noen god forklaring på noen av disse. Ved problemer med å få kontakt med iLon100 har det av og til vært en løsning å oppfriske database-mappen (db) til LonMaker, ved å ta backup og fjerne alt i mappen og deretter legge filene inn igjen. Dersom det ikke har fungert har det i verste fall endt med reinstallerings av LonMaker.

Løsningen på det siste punktet i listen over har i noen tilfeller vært *recommission* av noen enheter i nettverket.

VEDLEGG G: MÅLERESULTATER**Januar**

Dato (jan)	Fotocelleanlegg			Astrour			Luminansmeter			Pådrag [%]
	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	
01.-02.										
02.-03.										
03.-04.										
04.-05.										
05.-06.										
06.-07.										
07.-08.										
08.-09.										
09.-10.										
10.-11.										
11.-12.										
12.-13.										
13.-14.										
14.-15.	15:05	09:40	18:35	15:14	09:39	18:25	16:13	09:27	17:14	46
15.-16.	15:20	09:30	18:10	15:17	09:37	18:20	15:57	09:17	17:20	74
16.-17.	15:15	09:20	18:05	15:20	09:34	18:14	16:41	09:05	16:24	58
17.-18.	15:40	09:40	18:00	15:23	09:32	18:09	16:15	09:15	17:00	52
18.-19.	14:55	09:15	18:20	15:26	09:30	18:04	15:53	09:05	17:12	55
19.-20.	15:39	09:11	17:32	15:29	09:28	17:59	16:14	09:05	16:51	71
20.-21.	15:46	09:09	17:23	15:32	09:25	17:53	15:59	08:57	16:58	61
21.-22.	15:35	09:05	17:30	15:35	09:23	17:48	16:07	08:53	16:46	77
22.-23.	15:56	09:00	17:04	15:38	09:20	17:42	16:23	08:51	16:28	81
23.-24.	15:54	08:58	17:04	15:41	09:18	17:37	16:25	08:49	16:24	71
24.-25.	16:02	08:54	16:52	15:44	09:15	17:31	16:11	08:49	16:38	79
25.-26.	15:56	09:04	17:08	15:47	09:12	17:25	16:21	08:59	16:38	73
26.-27.	15:57	09:05	17:08	15:50	09:10	17:20	16:27	08:53	16:26	68
27.-28.	15:59	08:56	16:57	15:53	09:07	17:14	16:15	08:47	16:32	72
28.-29.	16:08	08:49	16:41	15:57	09:04	17:07	16:37	08:35	15:58	69
29.-30.	16:16	08:43	16:27	16:00	09:01	17:01	16:41	08:33	15:52	66
30.-31.	16:18	08:41	16:23	16:03	08:58	16:55	16:45	08:31	15:46	92
31.-01.	16:22	08:37	16:15	16:06	08:55	16:49	16:43	08:31	15:48	94
Total			311:34			317:33			298:15	70

Februar

Dato (feb)	Fotocelleanlegg			Astrour			Luminansmeter			Pådrag [%]
	Inn-kobling [kl]	Ut-kobling [kl]	Brenn-tid [t:m]	Inn-kobling [kl]	Ut-kobling [kl]	Brenn-tid [t:m]	Inn-kobling [kl]	Ut-kobling [kl]	Brenn-tid [t:m]	
01.-02.	16:21	08:40	16:19	16:09	08:53	16:44	16:44	08:47	16:03	86
02.-03.	16:19	08:31	16:12	16:12	08:50	16:38	16:45	08:47	16:02	95
03.-04.	16:15	08:36	16:21	16:16	08:47	16:31	16:41	08:29	15:48	48
04.-05.	16:22	08:28	16:06	16:19	08:44	16:25	19:15	08:35	13:20	21
05.-06.	16:16	08:28	16:12	16:22	08:41	16:19	18:47	08:29	13:42	20
06.-07.	16:33	08:25	15:52	16:25	08:38	16:13	17:01	08:29	15:28	89
07.-08.	16:39	08:16	15:37	16:28	08:35	16:07	17:04	08:29	15:25	61
08.-09.	16:40	08:15	15:35	16:32	08:32	16:00	17:07	08:27	15:20	57
09.-10.	16:24	08:20	15:56	16:35	08:28	15:53	16:59	08:27	15:28	35
10.-11.	16:42	08:15	15:33	16:38	08:25	15:47	17:07	08:15	15:08	64
11.-12.	16:54	08:04	15:10	16:41	08:22	15:41	18:29	08:11	13:42	24
12.-13.	16:52	08:17	15:25	16:44	08:19	15:35	17:23	08:07	14:44	21
13.-14.	16:41	08:28	15:47	16:47	08:16	15:29	17:17	08:05	14:48	54
14.-15.	16:24	08:01	15:37	16:50	08:13	15:23	17:51	08:07	14:16	41
15.-16.	16:57	07:58	15:01	16:54	08:09	15:15	17:27	08:05	14:38	32
16.-17.	17:00	07:51	14:51	16:57	08:06	15:09	17:29	08:03	14:34	48
17.-18.	17:03	07:48	14:45	17:00	08:03	15:03	17:39	07:43	14:04	28
18.-19.	16:46	08:07	15:21	17:03	08:00	14:57	17:29	07:43	14:14	37
19.-20.	17:10	08:03	14:53	17:06	07:56	14:50	17:45	07:47	14:02	25
20.-21.	17:07	07:35	14:28	17:09	07:53	14:44	17:49	07:41	13:52	32
21.-22.	17:12	07:40	14:28	17:12	07:50	14:38	18:45	07:41	12:56	30
22.-23.	17:14	07:37	14:23	17:15	07:47	14:32	17:47	07:41	13:54	47
23.-24.	17:09	07:34	14:25	17:18	07:43	14:25	17:43	07:41	13:58	52
24.-25.	16:55	07:34	14:39	17:21	07:40	14:19	17:51	07:17	13:26	59
25.-26.	17:35	07:19	13:44	17:24	07:37	14:13	18:11	07:17	13:06	24
26.-27.	17:26	07:36	14:10	17:27	07:33	14:06	18:29	07:17	12:48	24
27.-28.	17:14	07:11	13:57	17:30	07:30	14:00	18:09	07:19	13:10	71
28.-29.	17:31	07:24	13:53	17:33	07:27	13:54	18:45	07:22	12:37	83
29.-01.	17:37	07:06	13:29	17:36	07:23	13:47	17:59	07:19	13:20	95

Total			438:09			442:37			413:53	48
-------	--	--	--------	--	--	--------	--	--	--------	----

Merknader:

Snødekke: 4.-5., 5.-6., 18.-19., 19.-20., 21.-22., 25.-26., 26.-27.

Mars

Dato (mars)	Fotocellelegg			Astrour			Luminansmeter			Pådrag [%]
	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	
01.-02.	17:28	07:12	13:44	17:39	07:20	13:41	18:00	07:19	13:19	64
02.-03.	17:34	06:55	13:21	17:42	07:17	13:35	18:57	06:55	11:58	80
03.-04.	17:55	06:53	12:58	17:45	07:13	13:28				
04.-05.	17:50	06:49	12:59	17:48	07:10	13:22	18:13	06:57	12:44	71
05.-06.	17:50	06:49	12:59	17:51	07:06	13:15	18:15	06:53	12:38	80
06.-07.	18:02	06:46	12:44	17:54	07:03	13:09	18:21	06:53	12:32	76
07.-08.	17:48	06:47	12:59	17:57	07:00	13:03	18:13	06:55	12:42	81
08.-09.	18:07	07:06	12:59	18:00	06:56	12:56	19:19	06:57	11:38	96
09.-10.	18:03	06:49	12:46	18:03	06:53	12:50	18:21	06:29	12:08	97
10.-11.	18:07	06:52	12:45	18:06	06:49	12:43	18:51	06:31	11:40	48
11.-12.	17:45	06:44	12:59	18:09	06:46	12:37	18:01	06:51	12:50	96
12.-13.	17:59	06:35	12:36	18:12	06:42	12:30	18:11	06:41	12:30	97
13.-14.	18:02	06:27	12:25	18:15	06:39	12:24	18:35	06:31	11:56	94
14.-15.	18:01	06:25	12:24	18:17	06:36	12:19	18:37	06:27	11:50	97
15.-16.	18:12	06:13	12:01	18:20	06:32	12:12	18:35	06:29	11:54	96
16.-17.	18:12	06:08	11:56	18:23	06:29	12:06	19:49	06:05	10:16	97
17.-18.	18:27	06:07	11:40	18:26	06:25	11:59	20:51	06:03	9:12	97
18.-19.	17:51	06:03	12:12	18:29	06:22	11:53	18:45	06:05	11:20	28
19.-20.	18:19	06:10	11:51	18:32	06:18	11:46	19:03	06:03	11:00	42
20.-21.	18:16	06:11	11:55	18:35	06:15	11:40	20:29	06:10	9:41	93
21.-22.	18:12	06:11	11:59	18:38	06:11	11:33	18:27	06:07	11:40	53
22.-23.	18:25	06:02	11:37	18:40	06:08	11:28	18:51	06:03	11:12	98
23.-24.	18:24	06:04	11:40	18:43	06:05	11:22	18:47	05:58	11:11	98
24.-25.	18:13	06:46	12:33	18:46	07:01	12:15	18:49	06:43	11:54	98
25.-26.	19:14	06:47	11:33	19:49	06:58	11:09	19:29	06:41	11:12	98
26.-27.	19:37	06:50	11:13	19:52	06:54	11:02				
27.-28.	19:39	06:54	11:15	19:55	06:51	10:56				
28.-29.	19:42	06:34	10:52	19:58	06:47	10:49				
29.-30.	19:49	06:24	10:35	20:01	06:44	10:43				
30.-31.	19:40	06:19	10:39	20:03	06:40	10:37				
31.-01.	20:04	06:49	10:45	20:06	06:37	10:31				
Total			376:54			375:53			280:57	82

Merknader:

- Justering for sommertid 24.-25. Mye regn i perioder.
- Innkobling av prototyper på styringsenheter fra LuxSave 22. mars.

April

Dato (april)	Fotocelleanlegg			Astrour			Luminansmeter				
	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Pådrag [%]	Gj.sn. luminans [mcd/m2]
01.-02.	19:55	06:45	10:50	20:09	06:33	10:24					
02.-03.	20:10	06:09	9:59	20:12	06:30	10:18					
03.-04.	20:04	06:07	10:03	20:15	06:27	10:12					
04.-05.	20:18	06:06	9:48	20:18	06:23	10:05					
05.-06.	20:13	05:59	9:46	20:21	06:20	9:59					
06.-07.	20:19	05:59	9:40	20:24	06:16	9:52					
07.-08.	20:29	05:51	9:22	20:27	06:13	9:46					
08.-09.	20:28	05:43	9:15	20:29	06:09	9:40					
09.-10.	20:21	05:43	9:22	20:32	06:06	9:34					
10.-11.	20:51	05:55	9:04	20:35	06:02	9:27					
11.-12.	20:47	06:11	9:24	20:38	05:59	9:21	21:43	06:49	9:06	70	1596
12.-13.	21:02	05:45	8:43	20:41	05:56	9:15					
13.-14.	21:03	05:43	8:40	20:44	05:52	9:08					
14.-15.	21:06	05:41	8:35	20:47	05:49	9:02					
15.-16.	21:09	05:45	8:36	20:50	05:45	8:55					
16.-17.	21:12	05:34	8:22	20:53	05:42	8:49					
17.-18.	21:13	05:28	8:15	20:56	05:38	8:42					
18.-19.	21:20	05:24	8:04	20:59	05:35	8:36	21:43	05:17	7:34	76	
19.-20.	21:23	05:21	7:58	21:02	05:32	8:30	21:47	05:13	7:26	82	1508
20.-21.	21:22	05:34	8:12	21:05	05:28	8:23	21:39	05:29	7:50	91	1435
21.-22.	21:19	05:18	7:59	21:08	05:25	8:17	21:51	05:11	7:20	84	1627
22.-23.	21:30	05:14	7:44	21:11	05:22	8:11	21:51	05:09	7:18	81	1615
23.-24.	20:58	05:21	8:23	21:14	05:18	8:04	22:13	05:17	7:04	91	1396
24.-25.	21:37	05:17	7:40	21:17	05:15	7:58	22:01	05:05	7:04	77	1699
25.-26.	21:13	05:04	7:51	21:20	05:11	7:51	21:47	04:51	7:04	78	1563
26.-27.	21:44	05:27	7:43	21:23	05:08	7:45	22:33	05:05	6:32	88	1538
27.-28.	21:29	04:53	7:24	21:26	05:05	7:39	22:24	04:47	6:23	86	1459
28.-29.	21:43	04:51	7:08	21:29	05:01	7:32	22:13	04:44	6:31	93	1482
29.-30.	21:55	04:45	6:50	21:32	04:58	7:26	22:21	04:35	6:14	80	1557
30.-01.	21:47	04:39	6:52	21:35	04:55	7:20	22:21	04:33	6:12	84	1521

Total		257:32		266:01		99:38	83	1538
-------	--	--------	--	--------	--	-------	----	------

Merknader:

Noe sein innkobling 23.-24. pga. feil med kalibreringsfaktoren til luminansmeteret – endret til riktig verdi 24. april.

Mai

Dato (mai)	Fotocelleanlegg			Astrour			Luminansmeter				
	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Inn- kobling [kl]	Ut- kobling [kl]	Brenn- tid [t:m]	Pådrag [%]	Gj.sn. luminans [mcd/m ²]
01.-02.	21:58	04:53	6:55	21:38	04:52	7:14	21:58	04:53	6:55	21:38	04:52
02.-03.	21:46	05:09	07:23	21:41	04:48	7:07	22:19	04:53	06:34	92	1407
03.-04.	21:54	04:37	06:43	21:44	04:45	7:01	22:29	04:27	05:58	80	1617
04.-05.	22:04	04:30	06:26	21:47	04:42	6:55	22:37	04:27	05:50	82	1566
05.-06.	22:06	04:27	06:21	21:51	04:39	6:48	22:40	04:17	05:37	75	1607
06.-07.	22:09	04:24	06:15	21:54	04:35	6:41	22:41	04:15	05:34	69	1571
07.-08.	22:14	04:19	06:05	21:57	04:32	6:35	22:45	04:13	05:28	69	1654
08.-09.	22:09	04:18	06:09	22:00	04:29	6:29	22:27	04:07	05:40	70	1547
09.-10.	22:22	04:14	05:52	22:03	04:26	6:23	22:53	04:05	05:12	72	1653
10.-11.	22:29	04:10	05:41	22:06	04:23	6:17					1059
11.-12.	21:57	04:32	06:35	22:09	04:20	6:11	22:33	04:15	05:42	81	1477
12.-13.	22:27	04:14	05:47	22:12	04:17	6:05	23:35	04:11	04:36	83	1528
13.-14.	21:47	04:28	06:41	22:15	04:14	5:59	22:33	04:13	05:40	71	1610
14.-15.	22:31	03:58	05:27	22:18	04:10	5:52	22:45	03:53	05:08	72	1595
15.-16.	22:47	03:49	05:02	22:21	04:07	5:46	23:17	03:35	04:18	75	1739
16.-17.	22:27	04:11	05:44	22:24	04:05	5:41	22:55	03:47	04:52	69	1560
17.-18.	22:23	04:01	05:38	22:27	04:02	5:35	23:13	03:51	04:38	81	1485
18.-19.	22:42	03:56	05:14	22:30	03:59	5:29	23:07	03:47	04:40	74	1587
19.-20.	22:42	04:14	05:32	22:33	03:56	5:23	23:22	03:42	04:20	90	1478
20.-21.	23:00	03:47	04:47	22:36	03:53	5:17	23:41	03:31	03:50	66	1703
21.-22.	23:07	03:31	04:24	22:39	03:50	5:11	23:39	02:59	03:20	58	1510
22.-23.	23:08	03:30	04:22	22:42	03:47	5:05	23:21	03:17	03:56	62	1521
23.-24.	23:13	03:22	04:09	22:45	03:45	5:00	23:49	03:13	03:24	77	1735
24.-25.	23:09	03:25	04:16	22:48	03:42	4:54	00:11	03:17	03:06	79	1688
25.-26.	23:26	03:18	03:52	22:51	03:39	4:48	00:33	03:19	02:46	69	1566
26.-27.	23:26	03:12	03:46	22:54	03:37	4:43	23:55	03:13	03:18	81	1675
27.-28.	22:15	03:41	05:26	22:57	03:34	4:37	22:59	03:45	04:46	53	1734
28.-29.	23:13	03:30	04:17	22:59	03:32	4:33	22:59	03:45	04:46	53	1734
29.-30.	23:16	03:18	04:02	23:02	03:30	4:28	23:41	03:49	04:08	79	1499
30.-31.	23:01	03:20	04:19	23:05	03:27	4:22	23:41	03:37	03:56	78	1604
31.-01.	23:35	03:08	03:33	23:07	03:25	4:18	00:07	03:23	03:16	52	1647

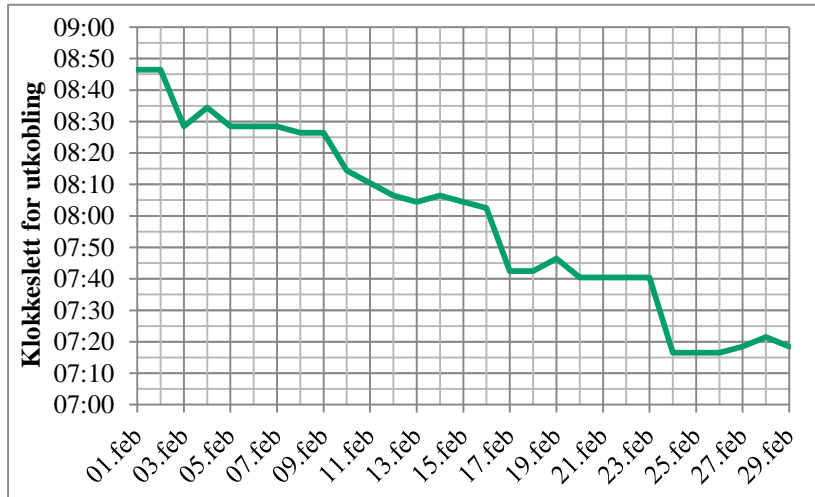
Total			166:43			176:47			140:16	72	1596
-------	--	--	--------	--	--	--------	--	--	--------	----	------

Merknader:

- Ikke innkobling av testanlegget 10.-11.

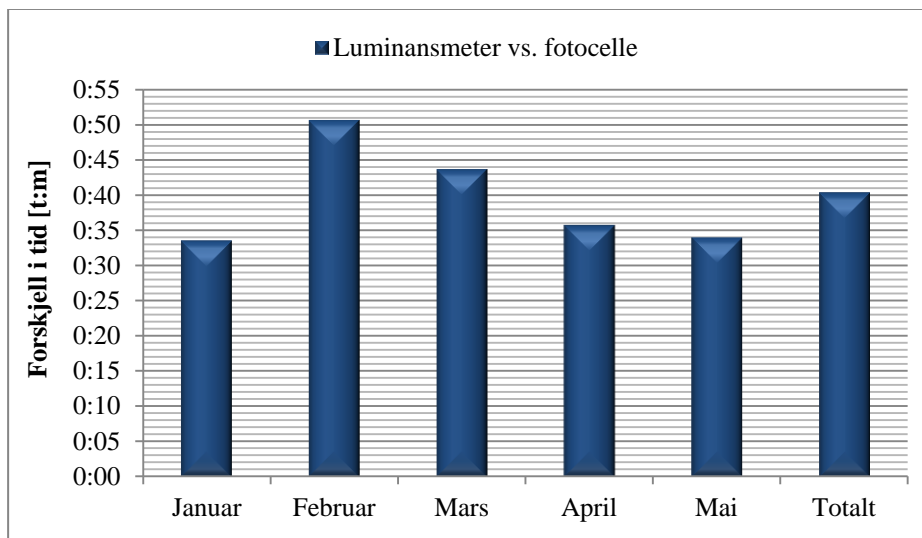
VEDLEGG H: UTFYLLENDE GRAFER

Inn- og utkoblingstider for testanlegg



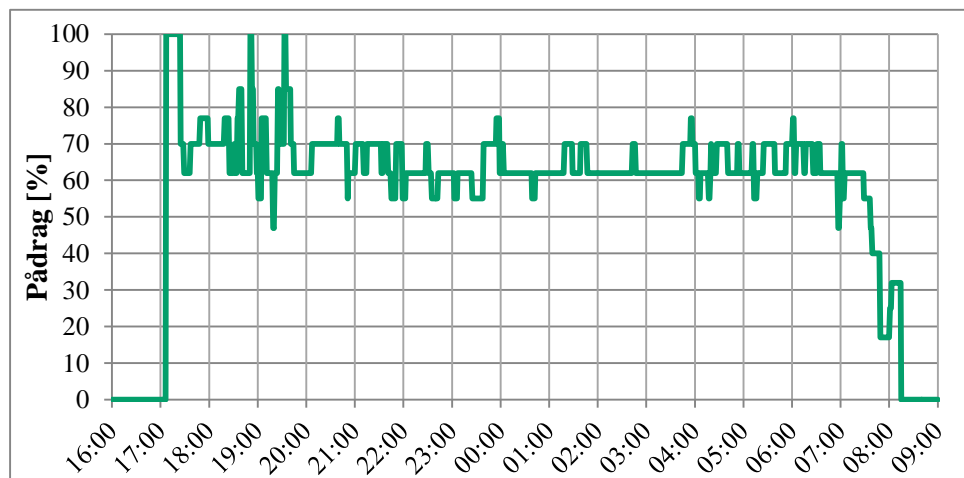
Figur H-1: Utkoblingstider for februar fra testanlegget

Gjennomsnittlig forskjell i innkoblingstid (luminansmeter vs. fotocelle):

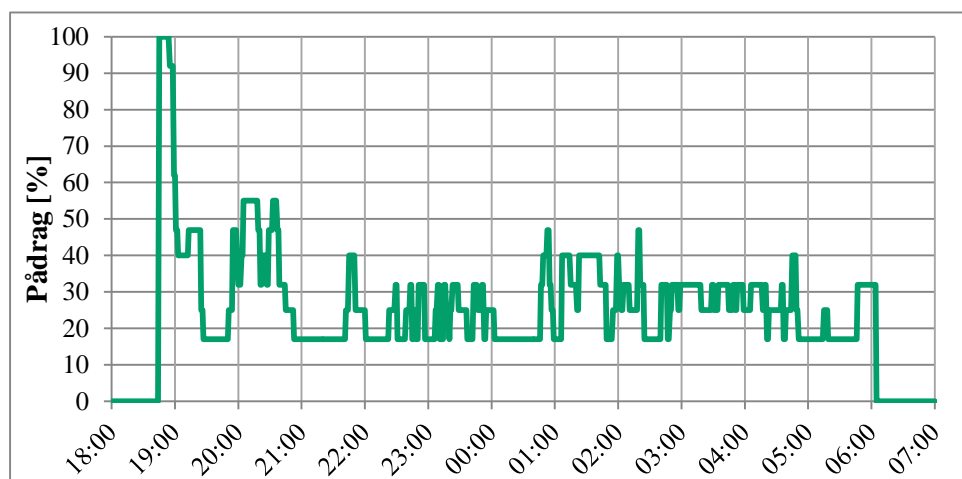


Pådrag til armaturer

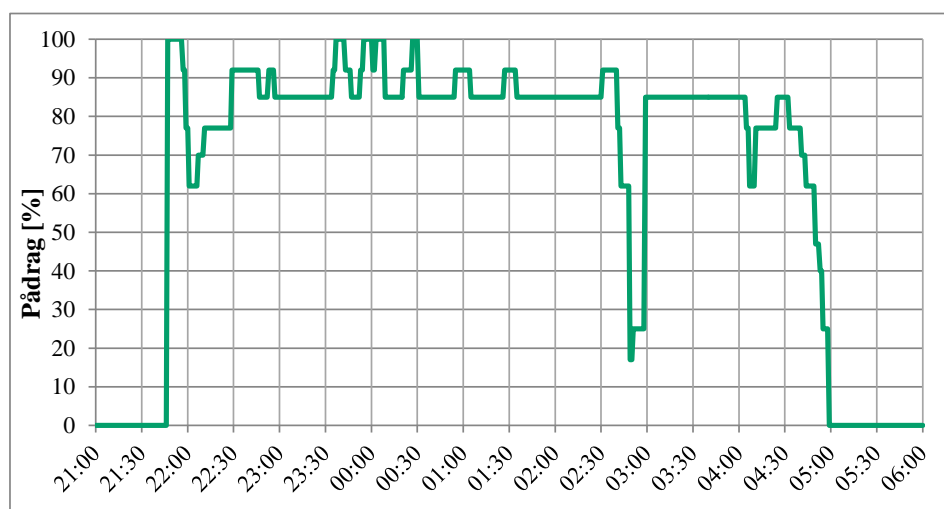
10.-11. februar:



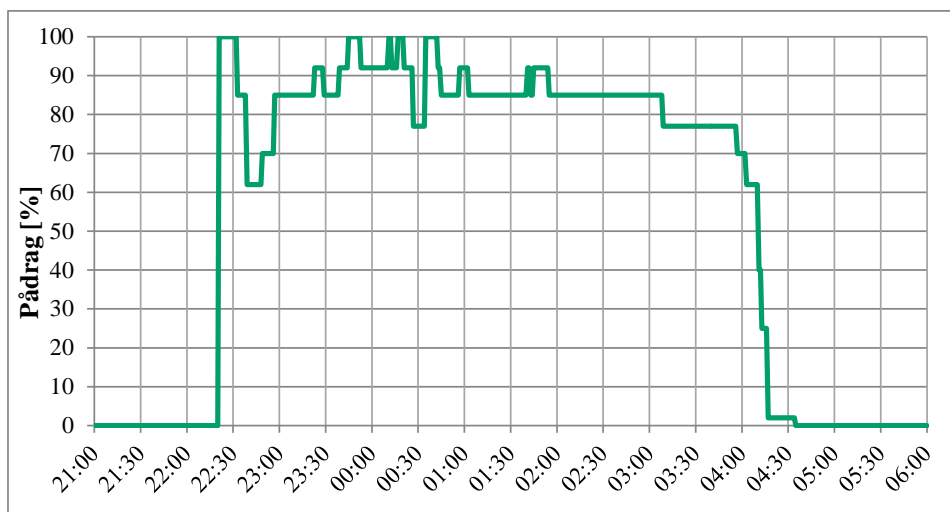
18.-19. mars:



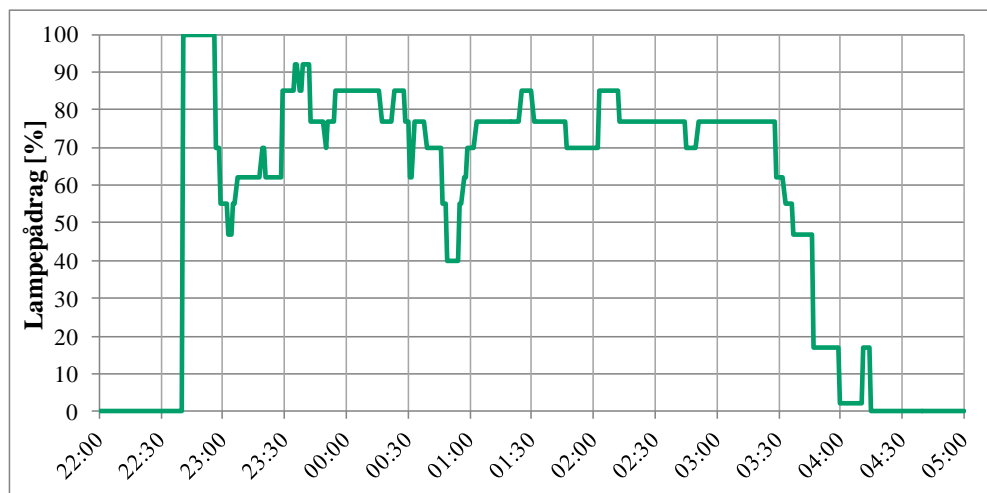
19.-20. april:



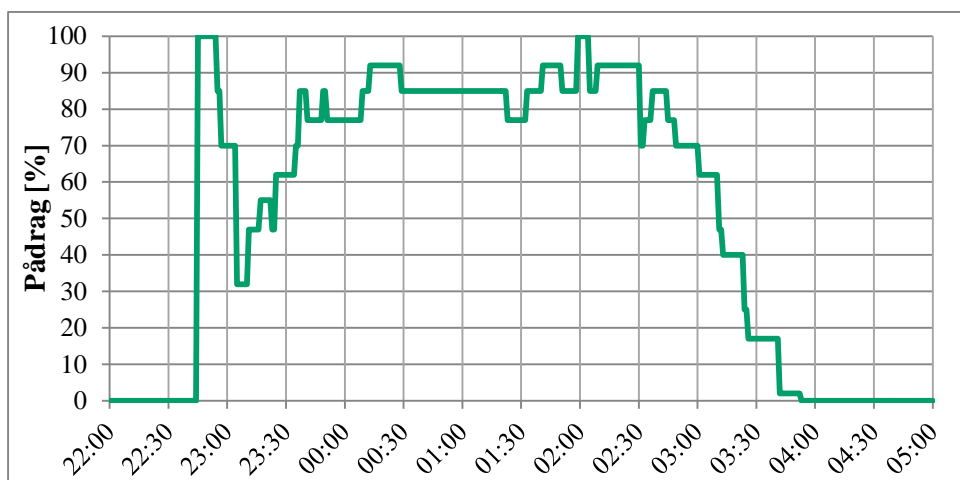
29.-30. april:



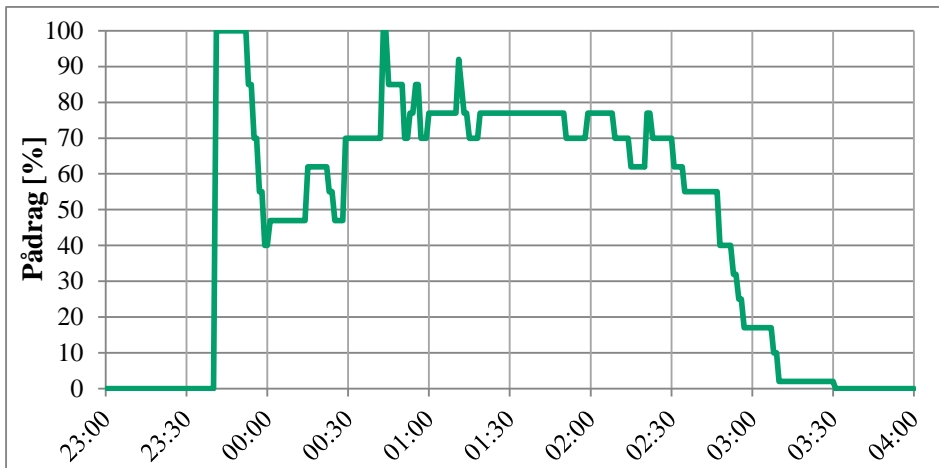
6.-7. mai:



14.-15. mai:

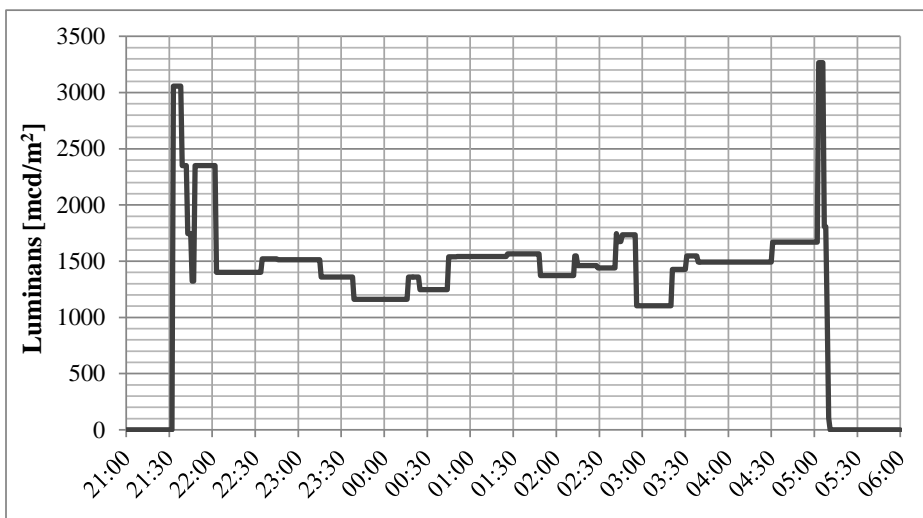


20.-21. mai:

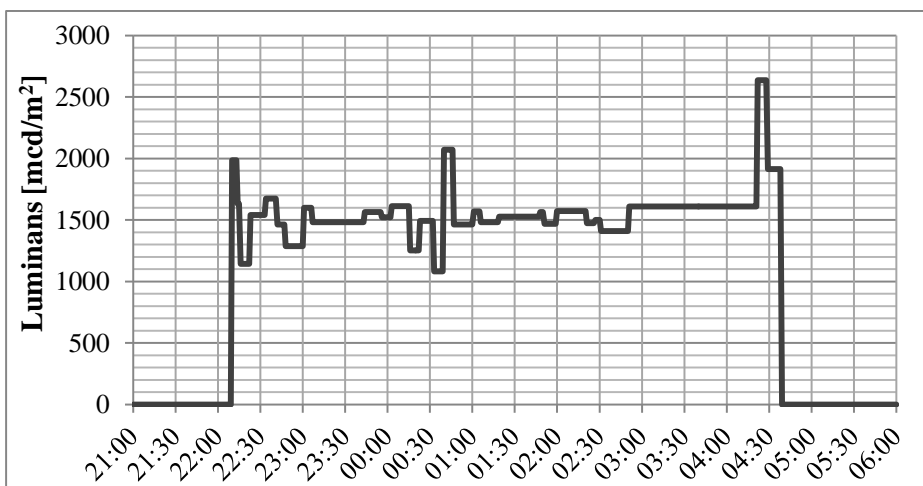


Luminans

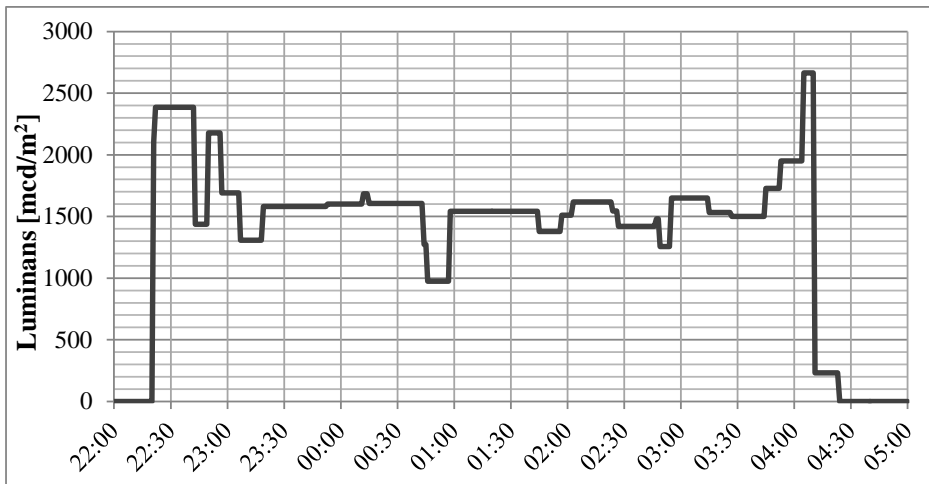
19.-20. april:



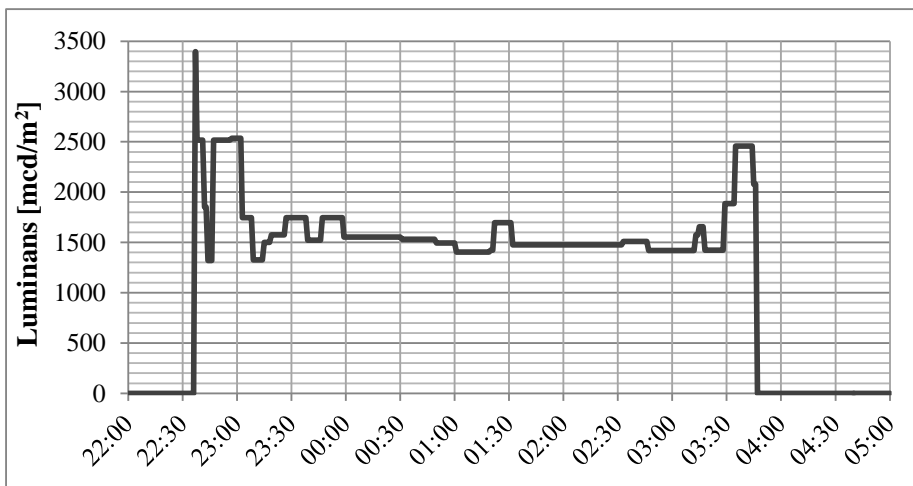
29.-30. april:



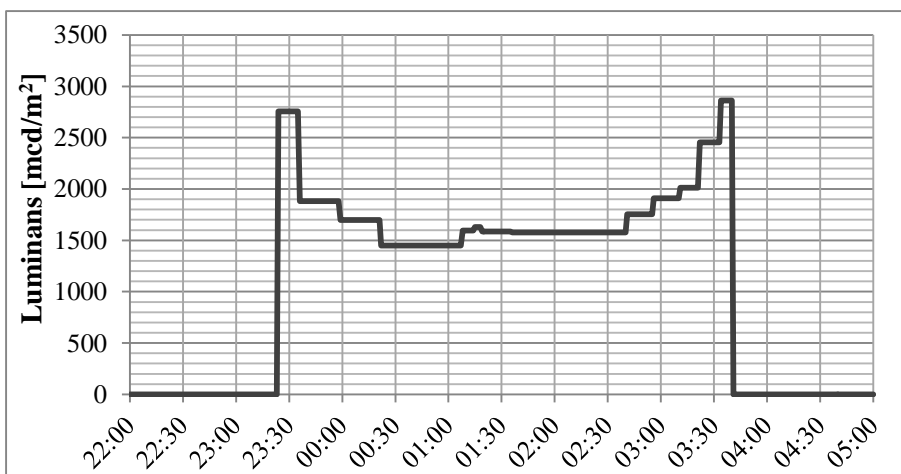
6.-7. mai:



14.-15. mai:

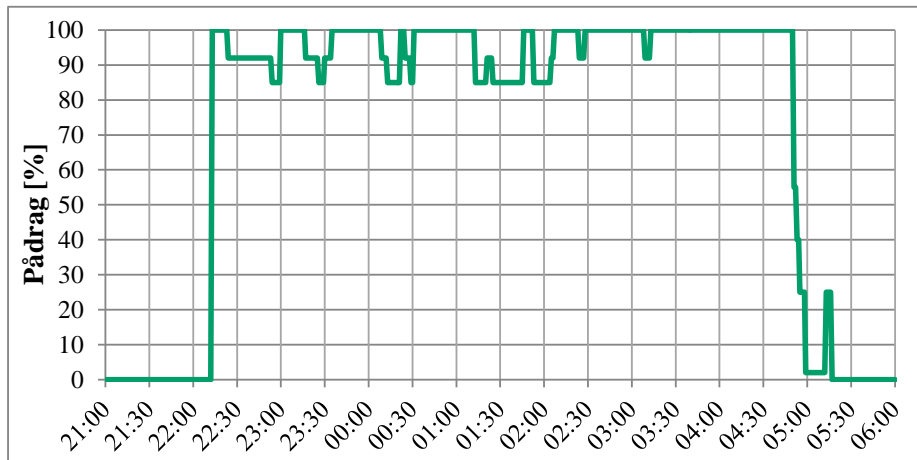


20.-21. mai:

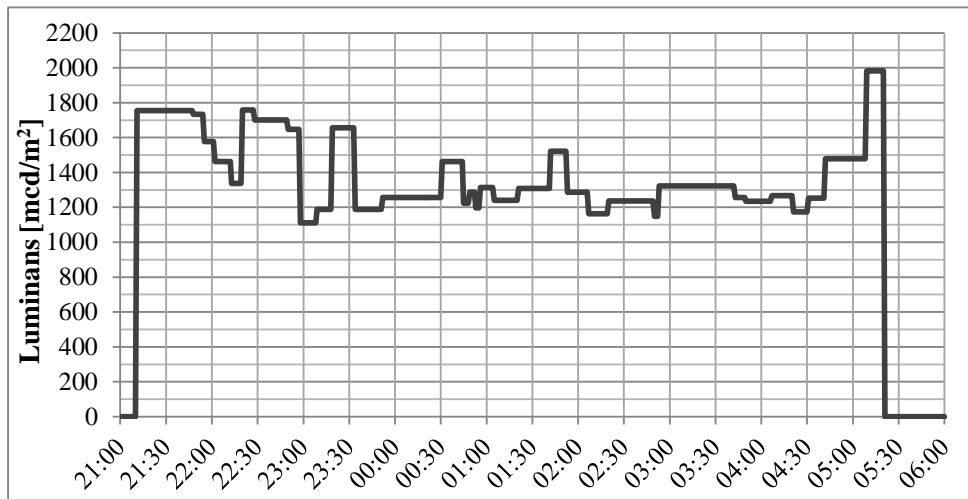


Feilsøking 23.-24. april

Pådrag 23.-24. april:

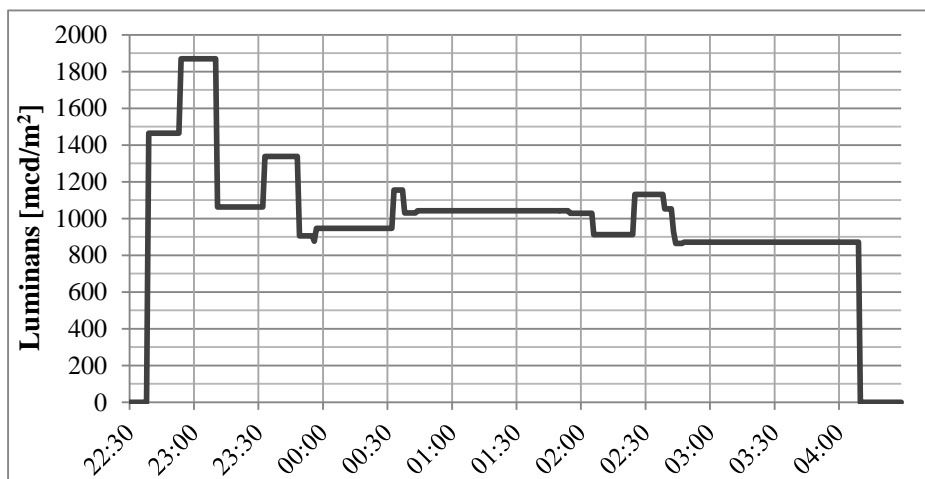


Luminans 23.-24. april:



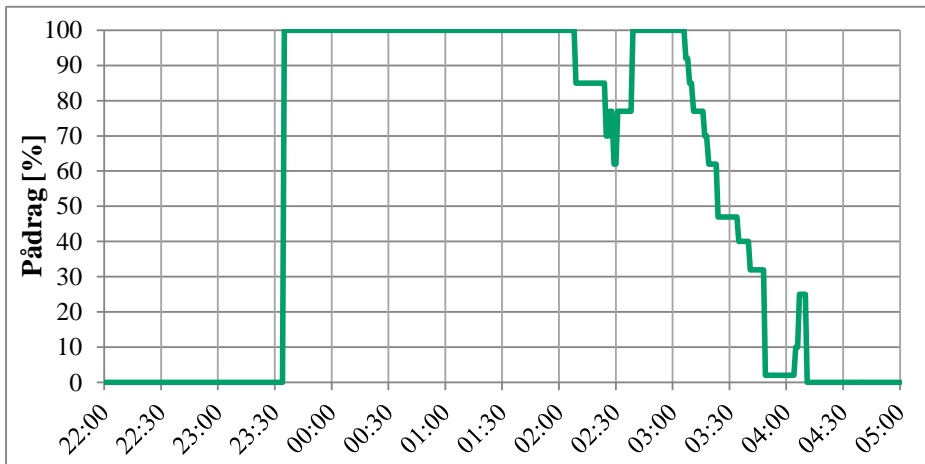
Feilsøking 10.-11. mai

Luminans 10.-11. mai:

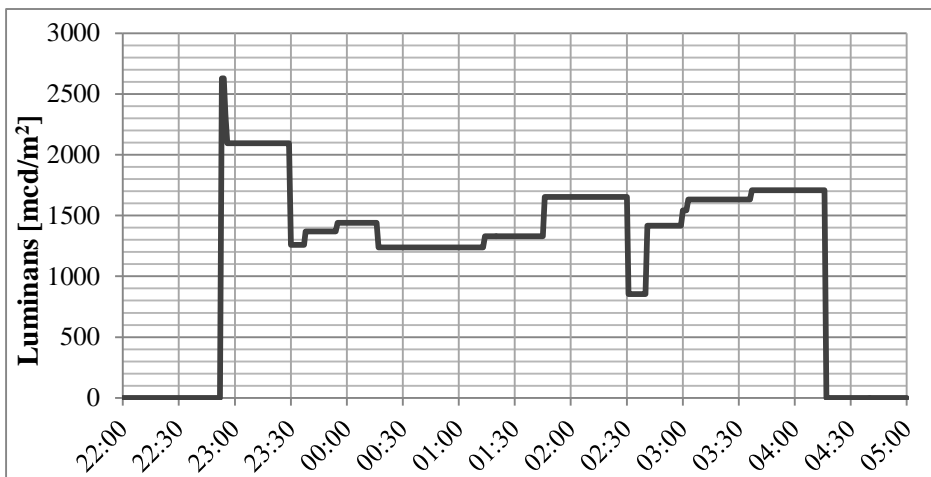


Feilsøking 12.-13. mai

Pådrag 12.-13. mai:

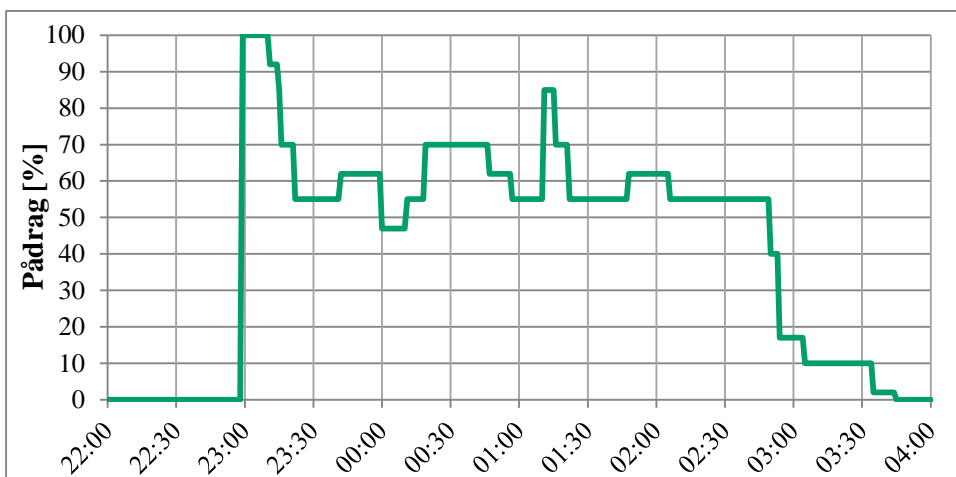


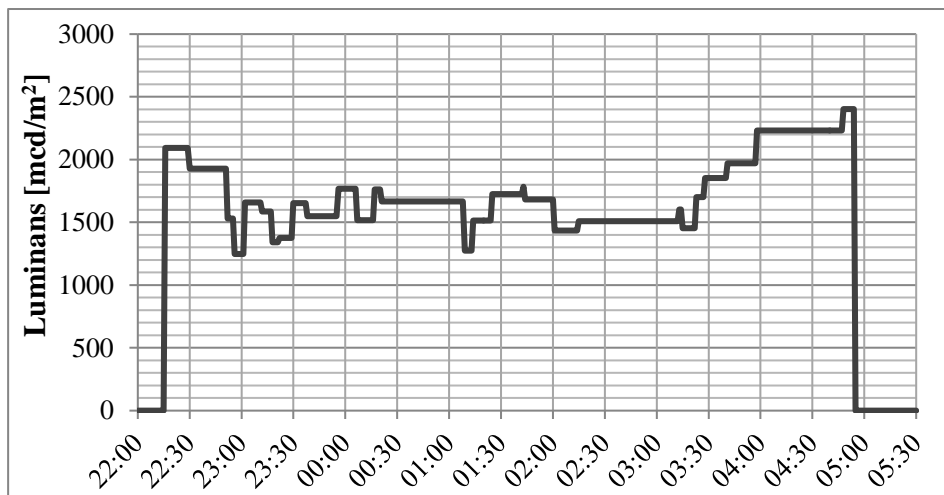
Luminans 12.-13. mai:



Feilsøking 27.-28. mai

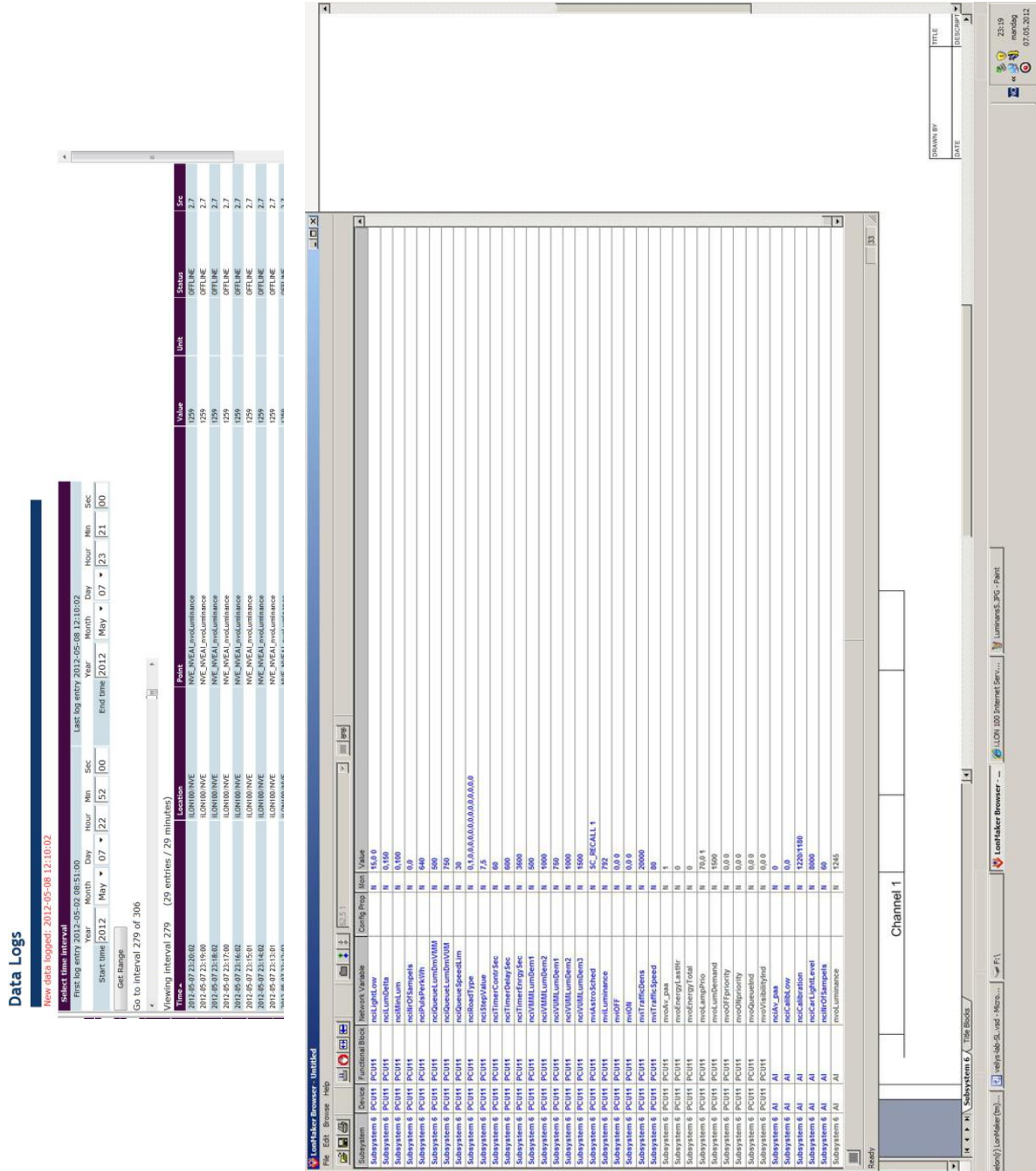
Pådrag 27.-28. mai:

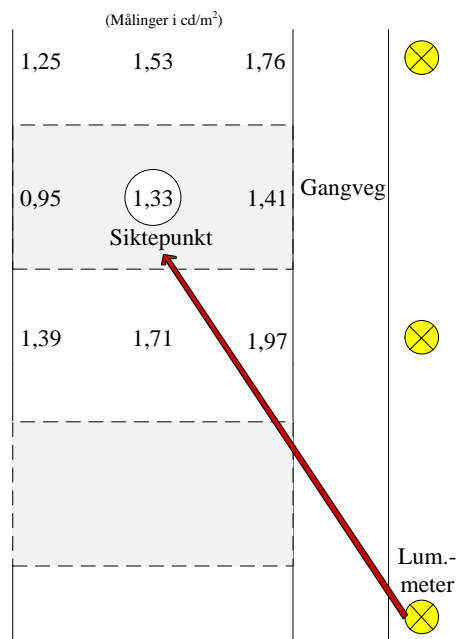


Luminans 27.-28. mai:

VEDLEGG I: KONTROLLMÅLING AV LUMINANS

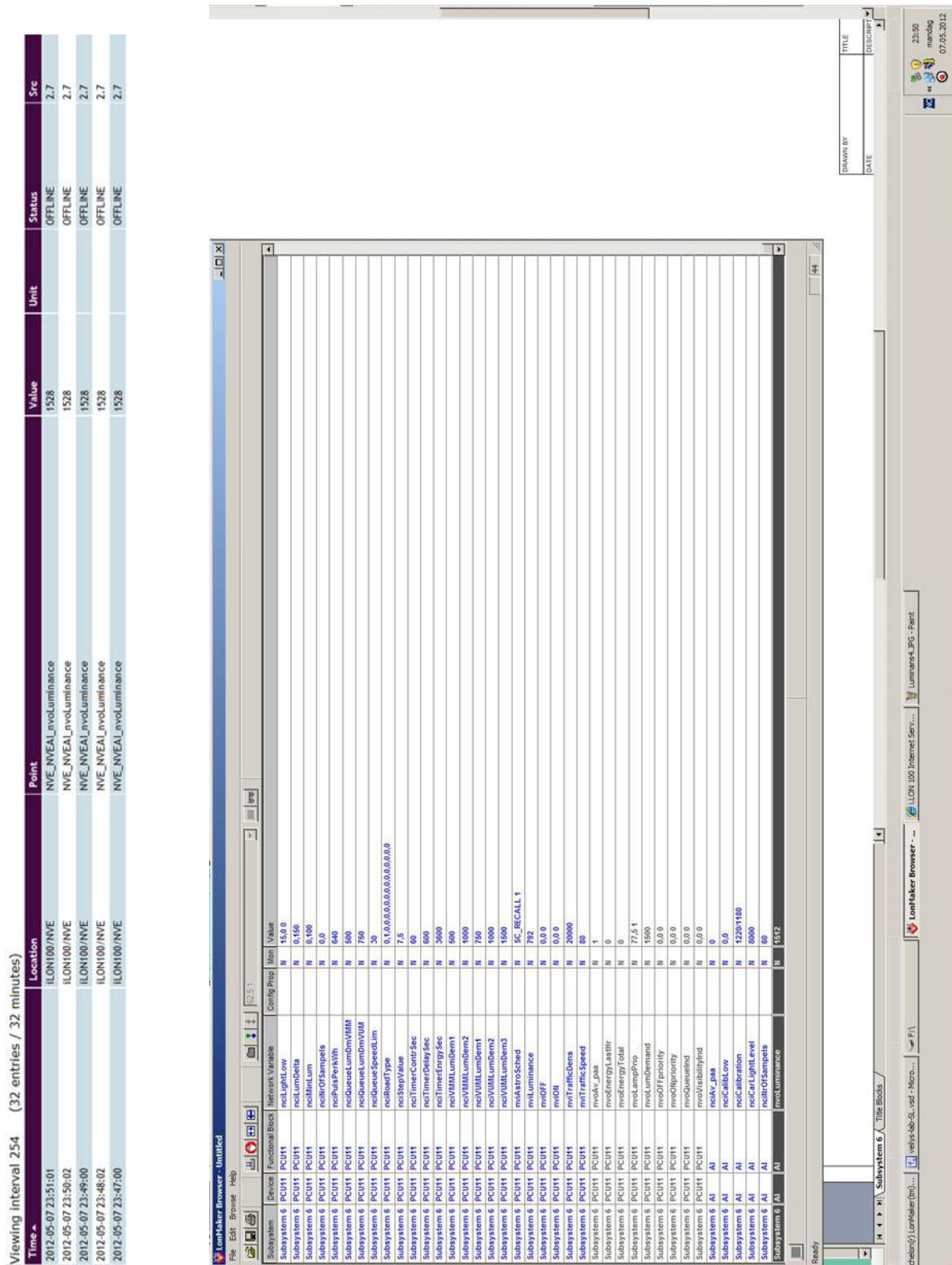
Figur I.1: Skjerm bilde fra LonMaker og iLon100 logg 7. mai ved luminans = 1245 mcd/m² og lampepådrag = 70 %



Figur I.2: Kontrollmåling av luminans

Gjennomsnittlig luminans beregnet med Formel 4.1 = 1 430 mcd/m²

Figur I.3: Skjerm bilde fra LonMaker og iLon100 logg 7. mai ved luminans = 1528 mcd/m² og lampepådrag = 77,5 %



VEDLEGG J: BEREGNING AV ENERGIFORBRUK

Tabell J.1: Måleravlesning for testanlegget i Høgskoleringen

Tidsperiode	Målerstand start av periode [kWh]	Energiforbruk [kWh]
14. - 31. januar	198 086	453
01. - 29. februar	198 539	501
01. - 28. mars	199 040	481
28. mar – 10.apr	199 521	146
10. – 11. april	199 667	13
11. – 30. april	199 680	208
30. apr - 11. mai	199 888	95
11. mai	199 983	-
Totalt		1897
Totalt (for perioder angitt i Tabell J.2)		1738

Tabell J.2: Beregnet forbruk for testanlegget i Høgskoleringen

Tidsperiode	Forbruk [kWh]
14. - 31. januar	443,2
01. - 29. februar	488,8
01. - 25. mars	453,8
18. - 30. april	152,4
30. apr - 11. mai	93,9
Totalt	1631,9

Merknader:

- Beregningene i Tabell J.1 og Tabell J.2 er utført i Excel.
- Beregningene er kun utført fram til 11. mai pga. at måledata fra armatur nr. 1 kun var innhentet for perioden fram til nevnte dato.

Januar (fotocelle og astrour)

Dato (jan)	Fotocelleanlegg			Astrour				
	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]
01.-02.								
02.-03.								
03.-04.								
04.-05.								
05.-06.								
06.-07.								
07.-08.								
08.-09.								
09.-10.								
10.-11.								
11.-12.								
12.-13.								
13.-14.								
14.-15.	18,58	3,3	3,2	28,9	18,42	3,223	3,142	28,6
15.-16.	18,17	3,2	3,1	28,2	18,33	3,208	3,128	28,5
16.-17.	18,08	3,2	3,1	28,1	18,23	3,191	3,111	28,3
17.-18.	18,00	3,2	3,1	28,0	18,15	3,176	3,096	28,2
18.-19.	18,33	3,2	3,1	28,5	18,07	3,162	3,082	28,1
19.-20.	17,53	3,1	3,0	27,2	17,98	3,147	3,068	27,9
20.-21.	17,38	3,0	3,0	27,0	17,88	3,130	3,051	27,8
21.-22.	17,50	3,1	3,0	27,2	17,80	3,115	3,037	27,6
22.-23.	17,07	3,0	2,9	26,5	17,70	3,098	3,020	27,5
23.-24.	17,07	3,0	2,9	26,5	17,62	3,083	3,005	27,4
24.-25.	16,87	3,0	2,9	26,2	17,52	3,065	2,988	27,2
25.-26.	17,13	3,0	2,9	26,6	17,42	3,048	2,971	27,0
26.-27.	17,13	3,0	2,9	26,6	17,33	3,033	2,957	26,9
27.-28.	16,95	3,0	2,9	26,3	17,23	3,016	2,940	26,8
28.-29.	16,68	2,9	2,8	25,9	17,12	2,995	2,920	26,6
29.-30.	16,45	2,9	2,8	25,5	17,02	2,978	2,903	26,4
30.-31.	16,38	2,9	2,8	25,4	16,92	2,960	2,886	26,3
31.-01.	16,25	2,8	2,8	25,2	16,82	2,943	2,869	26,1
Totalt	311,6	54,5	53,2	483,9	317,6	55,6	54,2	493,2

Merknader:

- Forbruk for LED er beregnet ut fra Philips Speedstar
- Beregninger for LED og NaH er per armatur
- Totalt forbruk er beregnet med 4 x LED og 5 x NaH

Januar (luminansmeter)

Luminansmeter							
Dato (jan)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]		Forbruk EO-LED [kWh]	Totalt forbruk inkl. EO-LED og Siteco LED [kWh]
01.-02.							
02.-03.							
03.-04.							
04.-05.							
05.-06.							
06.-07.							
07.-08.							
08.-09.							
09.-10.							
10.-11.							
11.-12.							
12.-13.							
13.-14.	17,23	1,249	1,827	14,1		2,154	16,5
14.-15.	17,33	2,271	2,596	22,1		3,675	24,0
15.-16.	16,40	1,656	2,060	16,9		2,690	18,9
16.-17.	17,00	1,513	1,987	16,0		2,482	18,1
17.-18.	17,20	1,600	2,061	16,7		2,614	18,9
18.-19.	16,85	2,073	2,400	20,6		3,370	22,4
19.-20.	16,97	1,748	2,156	18,0		2,884	20,0
20.-21.	16,77	2,247	2,559	21,8		3,655	23,6
21.-22.	16,47	2,338	2,618	22,4		3,820	24,2
22.-23.	16,40	2,075	2,385	20,2		3,329	22,0
23.-24.	16,63	2,279	2,587	22,0		3,726	23,9
24.-25.	16,63	2,129	2,443	20,7		3,426	22,5
25.-26.	16,43	1,956	2,290	19,3		3,139	21,1
26.-27.	16,53	2,116	2,428	20,6		3,406	22,4
27.-28.	15,97	1,932	2,250	19,0		3,098	20,7
28.-29.	15,87	1,856	2,186	18,4		2,983	20,2
29.-30.	15,77	2,546	2,596	23,2		3,942	24,5
30.-31.	15,80	2,599	2,622	23,5		3,950	24,8
Totalt	298,3	36,2	42,1	355,5		58,3	388,8
Totalt energiforbruk (inkl. armatur nr. 1) [kWh]							443,2

Merknader:

- Verdier for armatur nr. 1 er hentet fra Vedlegg K
- Totalt forbruk i kolonnene til venstre er beregnet ut fra at alle LED-armaturene er Philips Speedstar for sammenligning med fotocelle og astrour
- Siteco LED-armaturen er beregnet med 100 % pådrag siden den ikke støtter 1-10 V-dimming
- EO = EnergyOptimal
- Beregninger for LED og NaH er per armatur (totalt forbruk = 4 x LED + 5 x NaH)

Februar (fotocelle og astrour)

Dato (feb)	Fotocelleanlegg				Astrour			
	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]
01.-02.	16,32	2,9	2,8	25,3	16,73	2,928	2,855	26,0
02.-03.	16,20	2,8	2,8	25,2	16,63	2,911	2,838	25,8
03.-04.	16,35	2,9	2,8	25,4	16,52	2,890	2,818	25,7
04.-05.	16,10	2,8	2,7	25,0	16,42	2,873	2,801	25,5
05.-06.	16,20	2,8	2,8	25,2	16,32	2,855	2,784	25,3
06.-07.	15,87	2,8	2,7	24,6	16,22	2,838	2,767	25,2
07.-08.	15,62	2,7	2,7	24,3	16,12	2,820	2,750	25,0
08.-09.	15,58	2,7	2,7	24,2	16,00	2,800	2,730	24,8
09.-10.	15,93	2,8	2,7	24,7	15,88	2,780	2,710	24,7
10.-11.	15,55	2,7	2,7	24,1	15,78	2,762	2,693	24,5
11.-12.	15,17	2,7	2,6	23,6	15,68	2,745	2,676	24,4
12.-13.	15,42	2,7	2,6	23,9	15,58	2,727	2,659	24,2
13.-14.	15,78	2,8	2,7	24,5	15,48	2,710	2,641	24,0
14.-15.	15,62	2,7	2,7	24,3	15,38	2,692	2,624	23,9
15.-16.	15,02	2,6	2,6	23,3	15,25	2,669	2,602	23,7
16.-17.	14,85	2,6	2,5	23,1	15,15	2,651	2,585	23,5
17.-18.	14,75	2,6	2,5	22,9	15,05	2,634	2,568	23,4
18.-19.	15,35	2,7	2,6	23,8	14,95	2,616	2,550	23,2
19.-20.	14,88	2,6	2,5	23,1	14,83	2,596	2,531	23,0
20.-21.	14,47	2,5	2,5	22,5	14,73	2,578	2,514	22,9
21.-22.	14,47	2,5	2,5	22,5	14,63	2,561	2,496	22,7
22.-23.	14,38	2,5	2,5	22,3	14,53	2,543	2,479	22,6
23.-24.	14,42	2,5	2,5	22,4	14,42	2,523	2,459	22,4
24.-25.	14,65	2,6	2,5	22,8	14,32	2,505	2,442	22,2
25.-26.	13,73	2,4	2,3	21,3	14,22	2,488	2,425	22,1
26.-27.	14,17	2,5	2,4	22,0	14,10	2,468	2,405	21,9
27.-28.	13,95	2,4	2,4	21,7	14,00	2,450	2,388	21,7
28.-29.	13,88	2,4	2,4	21,6	13,90	2,433	2,371	21,6
29.-01.	13,48	2,4	2,3	20,9	13,78	2,412	2,351	21,4
Totalt	438,2	76,7	74,7	680,4	442,6	77,5	75,5	687,4

Merknader:

- Forbruk for LED er beregnet ut fra Philips Speedstar
- Beregninger for LED og NaH er per armatur
- Totalt forbruk er beregnet med 4 x LED og 5 x NaH

Februar (luminansmeter)

Luminansmeter						
Dato (feb)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]		Totalt forbruk inkl. EO-LED og Siteco LED [kWh]
01.-02.	16,05	2,440	2,596	22,7		22,7
02.-03.	16,03	2,686	2,682	24,2		24,2
03.-04.	15,80	1,225	1,725	13,5		13,5
04.-05.	13,33	0,427	0,904	6,2		6,2
05.-06.	13,70	0,404	0,860	5,9		5,9
06.-07.	15,47	2,413	2,519	22,2		22,2
07.-08.	15,42	1,619	1,959	16,1		16,4
08.-09.	15,33	1,487	1,881	15,4		15,4
09.-10.	15,47	0,835	1,367	10,2		10,2
10.-11.	15,13	1,710	2,038	17,0		17,0
11.-12.	13,70	0,521	0,994	7,1		7,1
12.-13.	14,73	0,442	0,925	6,4		6,6
13.-14.	14,80	1,347	1,752	14,1		14,1
14.-15.	14,27	0,892	1,421	10,7		10,7
15.-16.	14,63	0,746	1,223	9,1		9,1
16.-17.	14,57	1,129	1,591	12,5		12,5
17.-18.	14,07	0,619	1,087	7,9		7,9
18.-19.	14,23	0,797	1,304	9,7		9,7
19.-20.	14,03	0,533	1,018	7,2		7,2
20.-21.	13,87	0,707	1,159	8,6		8,6
21.-22.	12,93	0,647	1,040	7,7		7,9
22.-23.	13,90	1,077	1,518	11,9		11,9
23.-24.	13,97	1,215	1,612	12,9		12,9
24.-25.	13,43	1,357	1,687	13,9		13,9
25.-26.	13,10	0,498	0,950	6,7		6,7
26.-27.	12,80	0,461	0,908	6,4		6,4
27.-28.	13,17	1,646	1,876	15,9		16,1
28.-29.	12,62	1,842	2,020	17,5		17,5
29.-01.	13,33	2,213	2,222	20,0		20,0
Totalt	413,9	33,9	45,0	360,5		413,3
Totalt energiforbruk (inkl. armatur nr. 1) [kWh]						488,8

Merknader:

- Beregningene inkluderer ikke armatur nr. 1 tilknyttet LuxSave styringssystem
- Totalt forbruk i kolonnene til venstre er beregnet ut fra at alle LED-armaturene er Philips Speedstar for sammenligning med fotocelle og astrour
- Siteco LED-armaturen er beregnet med 100 % pådrag siden den ikke støtter 1-10 V-dimming
- EO = EnergyOptimal
- Beregninger for LED og NaH er per armatur (totalt forbruk = 4 x LED + 5 x NaH)

Mars (fotocelle og astrour)

Dato (mars)	Fotocelleanlegg				Astrour			
	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]
01.-02.	13,73	2,4	2,3	21,3	13,68	2,395	2,334	21,3
02.-03.	13,35	2,3	2,3	20,7	13,58	2,377	2,317	21,1
03.-04.	12,97	2,3	2,2	20,1	13,47	2,357	2,297	20,9
04.-05.	12,98	2,3	2,2	20,2	13,37	2,339	2,280	20,8
05.-06.	12,98	2,3	2,2	20,2	13,25	2,319	2,260	20,6
06.-07.	12,73	2,2	2,2	19,8	13,15	2,301	2,243	20,4
07.-08.	12,98	2,3	2,2	20,2	13,05	2,284	2,226	20,3
08.-09.	12,98	2,3	2,2	20,2	12,93	2,263	2,206	20,1
09.-10.	12,77	2,2	2,2	19,8	12,83	2,246	2,189	19,9
10.-11.	12,75	2,2	2,2	19,8	12,72	2,225	2,169	19,7
11.-12.	12,98	2,3	2,2	20,2	12,62	2,208	2,152	19,6
12.-13.	12,60	2,2	2,1	19,6	12,50	2,188	2,133	19,4
13.-14.	12,42	2,2	2,1	19,3	12,40	2,170	2,115	19,3
14.-15.	12,40	2,2	2,1	19,3	12,32	2,155	2,101	19,1
15.-16.	12,02	2,1	2,1	18,7	12,20	2,135	2,081	18,9
16.-17.	11,93	2,1	2,0	18,5	12,10	2,118	2,064	18,8
17.-18.	11,67	2,0	2,0	18,1	11,98	2,097	2,044	18,6
18.-19.	12,20	2,1	2,1	18,9	11,88	2,080	2,027	18,5
19.-20.	11,85	2,1	2,0	18,4	11,77	2,059	2,007	18,3
20.-21.	11,92	2,1	2,0	18,5	11,67	2,042	1,990	18,1
21.-22.	11,98	2,1	2,0	18,6	11,55	2,021	1,970	17,9
22.-23.	11,62	2,0	2,0	18,0	11,47	2,007	1,956	17,8
23.-24.	11,67	2,0	2,0	18,1	11,37	1,989	1,939	17,7
24.-25.	12,55	2,2	2,1	19,5	12,25	2,144	2,090	19,0
25.-26.	11,55	2,0	2,0	17,9	11,15	1,951	1,902	17,3
26.-27.	11,22	2,0	1,9	17,4	11,03	1,931	1,882	17,1
27.-28.	11,25	2,0	1,9	17,5	10,93	1,913	1,865	17,0
28.-29.	10,87	1,9	1,9	16,9	10,82	1,893	1,845	16,8
29.-30.	10,58	1,9	1,8	16,4	10,72	1,875	1,828	16,6
30.-31.	10,65	1,9	1,8	16,5	10,62	1,858	1,811	16,5
31.-01.	10,75	1,9	1,8	16,7	10,52	1,840	1,794	16,3
Totalt	376,9	66,0	64,3	585,3	375,9	65,8	64,1	583,7
Totalt (01.-25.)	298,6	52,3	50,9	463,8	297,8	52,1	50,8	462,5

Merknader:

- Forbruk for LED er beregnet ut fra Philips Speedstar
- Totalt forbruk i nederste rad er fra perioden med måleresultater fra testanlegget for sammenligning
- Beregninger for LED og NaH er per armatur
- Totalt forbruk er beregnet med 4 x LED og 5 x NaH

Mars (luminansmeter)

Luminansmeter							
Dato (mars)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]		Forbruk EO-LED [kWh]	Totalt forbruk inkl. EO-LED og Siteco LED [kWh]
01.-02.	13,32	1,505	1,794	15,0		2,424	16,5
02.-03.	11,97	1,675	1,896	16,2		2,752	17,5
03.-04.							
04.-05.	12,73	1,611	1,852	15,7		2,585	17,1
05.-06.	12,63	1,750	1,983	16,9		2,868	18,3
06.-07.	12,53	1,661	1,895	16,1		2,695	17,5
07.-08.	12,70	1,778	2,012	17,2		2,921	18,6
08.-09.	11,63	1,966	1,954	17,6		2,908	18,5
09.-10.	12,13	2,051	2,038	18,4		3,033	19,3
10.-11.	11,67	0,933	1,293	10,2		1,563	11,7
11.-12.	12,83	2,150	2,147	19,3		3,208	20,3
12.-13.	12,50	2,113	2,100	18,9		3,125	19,8
13.-14.	11,93	1,963	1,981	17,8		2,983	18,7
14.-15.	11,83	2,000	1,988	17,9		2,958	18,8
15.-16.	11,90	1,993	1,991	17,9		2,975	18,8
16.-17.	10,27	1,735	1,724	15,6		2,567	16,3
17.-18.	9,20	1,555	1,545	13,9		2,300	14,6
18.-19.	11,33	0,521	0,894	6,6		0,839	8,2
19.-20.	11,00	0,715	1,113	8,4		1,276	10,0
20.-21.	9,68	1,593	1,607	14,4		2,421	15,2
21.-22.	11,67	1,038	1,364	11,0		1,703	12,5
22.-23.	11,20	1,910	1,889	17,1		2,800	17,8
23.-24.	11,18	1,924	1,893	17,2		2,796	17,9
24.-25.	11,90	2,047	2,014	18,3		2,975	19,0
25.-26.	11,20	1,926	1,896	17,2		2,800	17,9
26.-27.							
27.-28.							
28.-29.							
29.-30.							
30.-31.							
31.-01.							
Totalt	281,0	40,1	42,9	374,4		61,5	400,7
Totalt energiforbruk (inkl. armatur nr. 1) [kWh]						453,8	

Merknader:

- Beregningene inkluderer ikke armatur nr. 1 tilknyttet LuxSave styringssystem
- Totalt forbruk i kolonnene til venstre er beregnet ut fra at alle LED-armaturene er Philips Speedstar for sammenligning med fotocelle og astrour
- Siteco LED-armaturen er beregnet med 100 % pådrag siden den ikke støtter 1-10 V-dimming
- EO = EnergyOptimal
- Beregninger for LED og NaH er per armatur (totalt forbruk = 4 x LED + 5 x NaH)

April (fotocelle og astrour)

Dato (april)	Fotocelleanlegg				Astrour			
	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]
01.-02.	10,83	1,9	1,8	16,8	10,40	1,820	1,774	16,2
02.-03.	9,98	1,7	1,7	15,5	10,30	1,803	1,757	16,0
03.-04.	10,05	1,8	1,7	15,6	10,20	1,785	1,740	15,8
04.-05.	9,80	1,7	1,7	15,2	10,08	1,765	1,720	15,7
05.-06.	9,77	1,7	1,7	15,2	9,98	1,747	1,703	15,5
06.-07.	9,67	1,7	1,6	15,0	9,87	1,727	1,683	15,3
07.-08.	9,37	1,6	1,6	14,5	9,77	1,709	1,666	15,2
08.-09.	9,25	1,6	1,6	14,4	9,67	1,692	1,649	15,0
09.-10.	9,37	1,6	1,6	14,5	9,57	1,674	1,632	14,9
10.-11.	9,07	1,6	1,5	14,1	9,45	1,654	1,612	14,7
11.-12.	9,40	1,6	1,6	14,6	9,35	1,636	1,595	14,5
12.-13.	8,72	1,5	1,5	13,5	9,25	1,619	1,578	14,4
13.-14.	8,67	1,5	1,5	13,5	9,13	1,598	1,558	14,2
14.-15.	8,58	1,5	1,5	13,3	9,03	1,581	1,541	14,0
15.-16.	8,60	1,5	1,5	13,4	8,92	1,560	1,521	13,8
16.-17.	8,37	1,5	1,4	13,0	8,82	1,543	1,504	13,7
17.-18.	8,25	1,4	1,4	12,8	8,70	1,523	1,484	13,5
18.-19.	8,07	1,4	1,4	12,5	8,60	1,505	1,467	13,4
19.-20.	7,97	1,4	1,4	12,4	8,50	1,488	1,450	13,2
20.-21.	8,20	1,4	1,4	12,7	8,38	1,467	1,430	13,0
21.-22.	7,98	1,4	1,4	12,4	8,28	1,450	1,413	12,9
22.-23.	7,73	1,4	1,3	12,0	8,18	1,432	1,396	12,7
23.-24.	8,38	1,5	1,4	13,0	8,07	1,412	1,376	12,5
24.-25.	7,67	1,3	1,3	11,9	7,97	1,394	1,359	12,4
25.-26.	7,85	1,4	1,3	12,2	7,85	1,374	1,339	12,2
26.-27.	7,72	1,4	1,3	12,0	7,75	1,356	1,322	12,0
27.-28.	7,40	1,3	1,3	11,5	7,65	1,339	1,305	11,9
28.-29.	7,13	1,2	1,2	11,1	7,53	1,318	1,285	11,7
29.-30.	6,83	1,2	1,2	10,6	7,43	1,301	1,268	11,5
30.-01.	6,87	1,2	1,2	10,7	7,33	1,283	1,251	11,4
Totalt	257,5	45,1	43,9	399,9	266,0	46,6	45,4	413,1
Totalt (18.-30.)	99,8	17,5	17,0	155,0	103,5	18,1	17,7	160,8

Merknader:

- Forbruk for LED er beregnet ut fra Philips Speedstar
- Totalt forbruk i nederste rad er fra perioden med måleresultater fra testanlegget for sammenligning
- Beregninger for LED og NaH er per armatur
- Totalt forbruk er beregnet med 4 x LED og 5 x NaH

April (luminansmeter)

Luminansmeter						
Dato (april)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]		Totalt forbruk inkl. EO-LED og Siteco LED [kWh]
01.-02.						
02.-03.						
03.-04.						
04.-05.						
05.-06.						
06.-07.						
07.-08.						
08.-09.						
09.-10.	9,10	1,119	1,296	11,0	1,793	12,0
10.-11.						
11.-12.						
12.-13.						
13.-14.						
14.-15.						
15.-16.						
16.-17.						
17.-18.						
18.-19.	7,57	1,003	1,144	9,7	1,627	10,6
19.-20.	7,43	1,070	1,186	10,2	1,739	11,0
20.-21.	7,83	1,265	1,290	11,5	1,958	12,2
21.-22.	7,33	1,085	1,178	10,2	1,745	11,0
22.-23.	7,30	1,022	1,156	9,9	1,679	10,7
23.-24.	7,07	1,141	1,164	10,4	1,767	11,0
24.-25.	7,07	0,947	1,079	9,2	1,541	10,0
25.-26.	7,07	0,958	1,089	9,3	1,562	10,0
26.-27.	6,53	1,019	1,064	9,4	1,607	10,0
27.-28.	6,38	0,958	1,029	9,0	1,532	9,6
28.-29.	6,52	1,072	1,082	9,7	1,629	10,2
29.-30.	6,23	0,863	0,978	8,3	1,415	9,0
30.-01.	6,20	0,905	0,992	8,6	1,463	9,2
Totalt	90,5	13,3	14,4	125,4	21,3	134,4
Totalt energiforbruk (inkl. armatur nr. 1) [kWh]						152,1

Merknader:

- Beregningene inkluderer ikke armatur nr. 1 tilknyttet LuxSave styringssystem
- Totalt forbruk i kolonnene til venstre er beregnet ut fra at alle LED-armaturene er Philips Speedstar for sammenligning med fotocelle og astrour
- Siteco LED-armaturen er beregnet med 100 % pådrag siden den ikke støtter 1-10 V-dimming
- EO = EnergyOptimal
- Beregninger for LED og NaH er per armatur (totalt forbruk = 4 x LED + 5 x NaH)

Mai (fotocelle og astrour)

Dato (mai)	Fotocelleanlegg				Astrour			
	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]
01.-02.	6,92	1,2	1,2	10,7	7,12	1,245	1,214	11,1
02.-03.	6,92	1,2	1,2	10,7	7,02	1,228	1,197	10,9
03.-04.	7,38	1,3	1,3	11,5	6,92	1,210	1,180	10,7
04.-05.	6,72	1,2	1,1	10,4	6,80	1,190	1,160	10,6
05.-06.	6,43	1,1	1,1	10,0	6,68	1,170	1,140	10,4
06.-07.	6,35	1,1	1,1	9,9	6,58	1,152	1,123	10,2
07.-08.	6,25	1,1	1,1	9,7	6,48	1,135	1,106	10,1
08.-09.	6,08	1,1	1,0	9,4	6,38	1,117	1,089	9,9
09.-10.	6,15	1,1	1,0	9,6	6,28	1,100	1,072	9,8
10.-11.	5,87	1,0	1,0	9,1	6,18	1,082	1,055	9,6
11.-12.	5,68	1,0	1,0	8,8	6,08	1,065	1,038	9,4
12.-13.	6,58	1,2	1,1	10,2	5,98	1,047	1,021	9,3
13.-14.	5,78	1,0	1,0	9,0	5,87	1,027	1,001	9,1
14.-15.	6,68	1,2	1,1	10,4	5,77	1,009	0,984	9,0
15.-16.	5,03	0,9	0,9	7,8	5,68	0,995	0,970	8,8
16.-17.	5,73	1,0	1,0	8,9	5,58	0,977	0,953	8,7
17.-18.	5,63	1,0	1,0	8,7	5,48	0,960	0,935	8,5
18.-19.	5,23	0,9	0,9	8,1	5,38	0,942	0,918	8,4
19.-20.	5,53	1,0	0,9	8,6	5,28	0,925	0,901	8,2
20.-21.	4,78	0,8	0,8	7,4	5,18	0,907	0,884	8,0
21.-22.	4,40	0,8	0,8	6,8	5,08	0,890	0,867	7,9
22.-23.	4,37	0,8	0,7	6,8	5,00	0,875	0,853	7,8
23.-24.	4,15	0,7	0,7	6,4	4,90	0,858	0,836	7,6
24.-25.	4,27	0,7	0,7	6,6	4,80	0,840	0,819	7,5
25.-26.	3,87	0,7	0,7	6,0	4,72	0,825	0,805	7,3
26.-27.	3,77	0,7	0,6	5,8	4,62	0,808	0,788	7,2
27.-28.	5,43	1,0	0,9	8,4	4,55	0,796	0,776	7,1
28.-29.	4,28	0,7	0,7	6,7	4,47	0,782	0,762	6,9
29.-30.	4,03	0,7	0,7	6,3	4,37	0,764	0,745	6,8
30.-31.	4,32	0,8	0,7	6,7	4,30	0,753	0,734	6,7
31.-01.	3,55	0,6	0,6	5,5	7,12	1,245	1,214	11,1
Totalt	166,7	29,2	28,4	258,9	176,8	30,9	30,2	274,5
Totalt (minus 10.-11.)	160,1	28,0	27,3	248,7	170,6	29,9	29,1	264,9

Merknader:

- Forbruk for LED er beregnet ut fra Philips Speedstar
- Totalt forbruk i nederste rad er fra perioden med måleresultater fra testanlegget for sammenligning
- Beregninger for LED og NaH er per armatur
- Totalt forbruk er beregnet med 4 x LED og 5 x NaH

Mai (luminansmeter)

Luminansmeter						
Dato (mai)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]	Forbruk NaH [kWh]	Totalt forbruk [kWh]		Totalt forbruk inkl. EO-LED og Siteco LED [kWh]
01.-02.	6,28	0,842	0,959	8,2		8,8
02.-03.	6,57	1,070	1,086	9,7		10,3
03.-04.	5,97	0,826	0,937	8,0		8,6
04.-05.	5,83	0,840	0,931	8,0		8,6
05.-06.	5,62	0,736	0,841	7,1		7,8
06.-07.	5,57	0,685	0,793	6,7		7,3
07.-08.	5,47	0,672	0,779	6,6		7,2
08.-09.	5,67	0,708	0,816	6,9		7,5
09.-10.	5,20	0,666	0,764	6,5		7,0
10.-11.						
11.-12.	5,70	0,809	0,906	7,8		8,4
12.-13.	4,60	0,672	0,736	6,4		6,8
13.-14.	5,67	0,708	0,816	6,9		7,5
14.-15.	5,13	0,649	0,747	6,3		6,9
15.-16.	4,30	0,570	0,650	5,5		6,0
16.-17.	4,87	0,599	0,693	5,9		6,4
17.-18.	4,63	0,649	0,734	6,3		6,8
18.-19.	4,67	0,604	0,692	5,9		6,4
19.-20.	4,33	0,693	0,711	6,3		6,7
20.-21.	3,83	0,449	0,528	4,4		4,9
21.-22.	3,33	0,337	0,419	3,4		3,8
22.-23.	3,93	0,421	0,512	4,2		4,7
23.-24.	3,40	0,456	0,519	4,4		4,8
24.-25.	3,10	0,429	0,487	4,2		4,5
25.-26.	2,77	0,340	0,394	3,3		3,6
26.-27.	3,30	0,462	0,523	4,5		4,8
27.-28.	4,77	0,424	0,557	4,5		5,1
28.-29.	4,13	0,566	0,643	5,5		5,9
29.-30.	3,93	0,539	0,612	5,2		5,6
30.-31.	4,43	0,344	0,484	3,8		4,4
31.-01.	3,27	0,284	0,377	3,0		3,4
Totalt	134,6	17,2	19,7	167,0	27,7	181,8
Totalt energiforbruk (inkl. armatur nr. 1, perioden 1.-11. mai) [kWh]						93,9

Merknader:

- Beregningene inkluderer ikke armatur nr. 1 tilknyttet LuxSave styringssystem
- Totalt forbruk i kolonnene til venstre er beregnet ut fra at alle LED-armaturene er Philips Speedstar for sammenligning med fotocelle og astrour
- Siteco LED-armaturen er beregnet med 100 % pådrag siden den ikke støtter 1-10 V-dimming
- EO = EnergyOptimal
- Beregninger for LED og NaH er per armatur (totalt forbruk = 4 x LED + 5 x NaH)

VEDLEGG K: MÅLEDATA FRA LUXSAVE-STYRING**Januar**

Dato (jan)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]
01.-02.		
02.-03.		
03.-04.		
04.-05.		
05.-06.		
06.-07.		
07.-08.		
08.-09.		
09.-10.		
10.-11.		
11.-12.		
12.-13.		
13.-14.		
14.-15.	18,42	3,1
15.-16.	18,35	3,1
16.-17.	18,27	3,1
17.-18.	18,17	3,1
18.-19.	18,08	3,1
19.-20.	18,00	3,1
20.-21.	17,90	3,1
21.-22.	17,82	3,0
22.-23.	17,73	3,0
23.-24.	17,43	3,0
24.-25.	17,53	3,0
25.-26.	17,46	3,0
26.-27.	17,39	3,0
27.-28.	17,23	2,9
28.-29.	17,13	2,9
29.-30.	17,15	2,9
30.-31.	17,87	3,0
31.-01.	16,83	2,9
Totalt	318,77	54,4

Februar

Dato (feb)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]
01.-02.	16,73	2,9
02.-03.	16,63	2,8
03.-04.	16,53	2,8
04.-05.	16,43	2,8
05.-06.	16,33	2,8
06.-07.	16,23	2,8
07.-08.	16,12	2,7
08.-09.	16,00	2,7
09.-10.	15,90	2,7
10.-11.	15,80	2,7
11.-12.	15,70	2,7
12.-13.	15,60	2,7
13.-14.	15,50	2,6
14.-15.	15,38	2,6
15.-16.	15,27	2,6
16.-17.	15,17	2,6
17.-18.	15,07	2,6
18.-19.	14,97	2,6
19.-20.	14,85	2,5
20.-21.	14,75	2,5
21.-22.	14,65	2,5
22.-23.	14,53	2,5
23.-24.	14,43	2,5
24.-25.	14,33	2,4
25.-26.	14,22	2,4
26.-27.	14,12	2,4
27.-28.	14,02	2,4
28.-29.	13,90	2,4
29.-01.	13,80	2,4
Totalt	442,96	75,6

Mars

Dato (mars)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]
01.-02.	13,70	2,3
02.-03.	13,58	2,3
03.-04.	13,48	2,3
04.-05.	13,37	2,3
05.-06.	13,27	2,3
06.-07.	13,17	2,2
07.-08.	13,05	2,2
08.-09.	12,95	2,2
09.-10.	12,83	2,2
10.-11.	12,73	2,2
11.-12.	12,63	2,2
12.-13.	12,53	2,1
13.-14.	12,43	2,1
14.-15.	12,32	2,1
15.-16.	12,22	2,1
16.-17.	12,10	2,1
17.-18.	12,00	2,0
18.-19.	12,00	2,0
19.-20.	11,78	2,0
20.-21.	11,70	2,0
21.-22.	11,58	2,0
22.-23.	11,48	2,0
23.-24.	11,37	1,9
24.-25.	12,27	2,1
25.-26.	11,15	1,9
26.-27.	13,70	2,3
27.-28.	13,58	2,3
28.-29.	13,48	2,3
29.-30.	13,37	2,3
30.-31.	13,27	2,3
31.-01.	13,17	2,2
Totalt	311,70	53,2

Merknader:

- Det er ikke dimming på armaturen slik at pådraget er 100 % i hele perioden

April

Dato (april)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]
01.-02.		
02.-03.		
03.-04.		
04.-05.		
05.-06.		
06.-07.		
07.-08.		
08.-09.		
09.-10.		
10.-11.		
11.-12.		
12.-13.		
13.-14.		
14.-15.		
15.-16.		
16.-17.		
17.-18.		
18.-19.	8,62	1,5
19.-20.	8,52	1,5
20.-21.	8,42	1,4
21.-22.	8,30	1,4
22.-23.	8,20	1,4
23.-24.	8,10	1,4
24.-25.	7,98	1,4
25.-26.	7,88	1,3
26.-27.	7,78	1,3
27.-28.	7,67	1,3
28.-29.	7,57	1,3
29.-30.	7,47	1,3
30.-31.	7,33	1,3
Totalt	103,83	17,7

Mai

Dato (mai)	Brenntid [t]	Forbruk LED [kWh]
01.-02.	7,23	1,2
02.-03.	7,13	1,2
03.-04.	7,02	1,2
04.-05.	6,92	1,2
05.-06.	6,82	1,2
06.-07.	6,72	1,1
07.-08.	6,62	1,1
08.-09.	6,50	1,1
09.-10.	6,40	1,1
10.-11.	6,30	1,1
11.-12.		
12.-13.		
13.-14.		
14.-15.		
15.-16.		
16.-17.		
17.-18.		
18.-19.		
19.-20.		
20.-21.		
21.-22.		
22.-23.		
23.-24.		
24.-25.		
25.-26.		
26.-27.		
27.-28.		
28.-29.		
29.-30.		
30.-31.		
31.-01.		
Totalt	67,65	11,5

VEDLEGG L: RESULTATER FRA FEBDOK OG BEREGNING AV TAP

C 20 A 330 m PFSP 4x16 CU C 6 A 6 m PFSP 2x2.5 CU Høgskoleringen
 Q-21

Venn merket med @ tilmedisletter ikke alle krav stillt i forskriftene og/eller normer.

LOGO Lag din egen	NTNU O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM tel.: 73591287 fax: 73595431	Anlegg Veglys - testanlegg Høgskoleringen Prosjekt U4 - Realfagsbygg Febdok	Dato: 11.05.2012 NEK 400:2002 230 V TN-S Side 1 av 1
Kunde, eller		Anleggets adresse	

Kurs nr. : **Q-21**

Distribuert last :

Lastbeskrivelse : Høgskoleringen
 Jordingsforhold : Ingen egen jordelektrode
 Merkespenning : 230 V
 Laststrøm : 0,783 A
 Cos phi : 0,99
 Merkeeffekt, Pn : 0,178 kW
 Merkeytelse, Sn : 0,18 kVA

Antall faser : 2
 Fasekobling : L1-N

Stigekabel : PFSP 4x16 CU
 Avgreningskabel : PFSP 2x2.5 CU

Spenningsfall totalt : **4,2** V **1,84** %
 ... til siste fordeling : 0 V 0 %

Klemmespenning : 225,7 V

Merking :
 Fabrikat : CHINT
 Typebetegnelse : NB1-63H
 Elnummer :

Karakteristikk : C
 Merkestrøm : 20 A
 I2-verdi : 29 A
 I5- (Im-) verdi : 200 A
 Bryteevne : 10 kA Ics

Vernet tilfredsstiller ikke alle krav stillt i forskriftene og/eller normer

Overbelastningsvern
 Merking :
 Fabrikat : CHINT
 Typebetegnelse : NB1-63H
 Elnummer :

Karakteristikk : C
 Merkestrøm : 6 A
 I2-verdi : 29 A
 I5- (Im-) verdi : 200 A
 Bryteevne : 10 kA Ics

Fellsituasjon	Stigekabel og -vern, strøm/tid					Avgreningskabel og -vern, strøm/tid				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k²S²/I² [s]	t _{utkobling} [s]	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k²S²/I² [s]	t _{utkobling} [s]
Ik l p max	3,5	0,9	5,059	0,276	0,012	3,5	0,98	1,654	0,063	0,012
Ik l p max ende	0,281	0,994	0,405	43,026	0,019	0,281	0,995	0,365	1,289	0,019
Ik l p min	0,197	0,99	0,284	87,523	3,59	0,197	0,992	0,259	2,56	3,59 @
Ijfl p max	3,5	0,9	5,059	0,276	0,012	3,5	0,985	1,662	0,062	0,012
Ijfl p max ende	0,281	0,997	0,406	42,774	0,019	0,281	0,997	0,366	1,282	0,019
Ijfl p min	0,197	0,993	0,285	87	3,574	0,197	0,994	0,26	2,547	3,574 @

Max utkoblingstid : 0,4 s

Utløsetider merket med @ indikerer at vernet kobler ut den aktuelle fellstrømme for sent i forhold til kabelens tåleevne.

Kunde, eier	Anlegg	Dato: 11.05.2012
	Veglys - testanlegg Høgskoleringen	
	Fordeling	NEK 400:2002
	U4 - Realfagsbygg	230 V TN-S
LOGO Lag din egen	NTNU O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM	febdok vs. 3.4.00 24.10.2005
		Side 1 av 1

Beregning av tap fram til siste armatur

Kursen testanlegget er koblet inn på er i utgangspunktet en kurs med 3-fas+nøytralleder, men det benyttes kun én fase og N-leder til armaturene i testanlegget. Pga avgreininger til andre anlegg som gjør det vanskelig å beregne evt. strøm i N-leder, er det gjort en forenkling i beregningene ved at resistans i N-leder er sett bort fra. Tap er også kun beregnet ved 100 % pådrag til armaturene.

Beregningene er utført med veglys-funksjonen i FebDok der det kun er mulig å benytte samme avstand mellom alle armaturer og lik fordeling av last i alle punkter. Derfor er total belastning fordelt likt på alle punkter.

Beregningen her er ment som et anslag til bruk i sammenligning av beregnet og avlest forbruk i testanlegget.

Resistans i ledere hentet fra FebDok:

PFSP 4 x 16 mm² Cu: $r = 1,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$

PFSP 2 x 2,5 mm² Cu: $r = 14,82 \text{ m}\Omega/\text{m}$

$$R_{kabel} = 330\text{m} \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} + 6\text{m} \cdot 14,82 \cdot 10^{-3} = 0,424 \Omega$$

Spenningsfall til siste armatur (fra FebDok): 4,2 V

$$P_{\text{tap}} = \frac{U^2}{R_{\text{kabel}}} = \frac{4,2^2}{0,424} = 41,6 \text{ W}$$

$$P_{\text{tap, \%}} = \frac{P_{\text{tap}}}{P} \cdot 100 \% = \frac{41,6}{1780} \cdot 100 \% = 2,34 \%$$

VEDLEGG M: KRAVSPESIFIKASJON FOR TENNSKAP FOR VEGLYS

Skapet skal ha to utgående kurser, og være forberedt for to reservekurser.

Skapet skal inneholde nødvendig sikringsmateriell, kontaktorer, styrevender, rekkeklemmer og kortslutningsvern.

Det skal monteres hjelpeblokker på sikringer og kontaktorer, for videreføring av feilmeldinger til Datek-enhet.

Det skal monteres komplett målerarrangement, kWh-måler med S0-utgang tilkoblet Datek-enhet. I tillegg skal det være dimensjonert for minimum 30 % reserveplass.

Skapet leveres i fabrikkferdig utførelse og skal være isolert mot kondens og fuktighet. Det skal være dobbeltvegget, av sjøvannsbestandig aluminium for utendørs bruk og med tilstrekkelig stivhet i både vegger og dører og med mekanisk styrke av anerkjent merke. Det skal leveres med sokkel, forberedt for montasje på fundament.

Dør skal være hengslet med min. 3 fester, og lukkefunksjon av dør skal ha ett håndtak som skal tette døren oppe og nede og i senter av dør, ved en operasjon.

Kapslingsgrad skal være IP 65, og standard farge og lås godkjent av Statens Vegvesen.

Følgende utstyr monteres i tennpunktskapet:

- 1 stk Styrevender "Auto - 0 - Man"
- 1 stk Varmeelement 200 W med bryter og elektronisk termostat.
- 1 stk Stikkontakt 2/16+j dobbel, montert på skinne i skapet.
- 1 stk. lysarmatur med dørbryter
- 1 stk. overspenningsvern tilpasset gjeldende fordeling
- Jordfeilbryter

I tillegg kommer automatsikringer og kontaktorer i henhold til fordelingsskjema. Ved dimensjonering av kortslutningsvern skal hensyn til kapasitive strømmer i kablene tas.

Alle sikringer, brytere og apparater i skapet skal ha holdbar og tydelig merking av sikringsstørrelse, ledningstverrsnitt og hvor kursen fører. Det skal anvendes graverte skilt i overensstemmelse med det utførte anlegg.

Alle kabler føres inn/ut i bunn av skap. Det skal være nipler for alle inn- og utgående kabler. Interne ledningsforbindelser skal legges i plastkanaler eller tilsvarende, tilstrekkelig dimensjonert for det aktuelle antall ledninger og fylles opp til maksimalt 70 % av total kapasitet.

Rekkeklemmelister skrånstilles ved horisontal montering. Alle rekkeklemmer skal merkes tydelig. Alle kabler skal merkes med unikt nummer for å hindre forveksling.

Merkingen skal være preget i plastbrikker som festes til kablene med plaststrips.

Kursfortegnelse i plast leveres og henges opp i fordelingen.

Skapene skal merkes utvendig med graverte skilt med Statens vegvesens logo og skapnummer.