

Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veilyssystemer

Einar Jochum Rånes Tommelstad

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Februar 2009
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Oppgavetekst

Drift og vedlikehold av veilys utgjør en stor kostnad for norske kommuner og andre veilysholdere. Med ny styringsteknologi kan en i større grad regulere lysnivået etter behov, og således gi reduserte energikostnader. Systemene kan også benyttes for å redusere effekttopper, forenkle vedlikehold, samt å gi mulighet for avregning av anleggene.

Systemer basert på LonWorks på powerline (PLT22-transceiver) er installert som testanlegg både på Gløshaugen i Trondheim og ulike steder i Oslo-området, og disse kan brukes til uttesting av ulike styrestrategier.

Kandidaten skal

- redegjøre for dagens krav til veilys i Norge, og for muligheter for energisparing i ulike typer anlegg

Oppgaven gitt: 01. september 2008

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Forord

På 2000-tallet har flere masterstudenter ved NTNU Institutt for elkraftteknikk skrevet rapporter om intelligent veibelysning. Det er utviklet et luminansmeter til formålet og etablert testanlegg i Høgskoleringen i Trondheim, på Oppsal i Oslo og i Franzefossveien i Bærum. Hensikten er å prøve ut regulering av anlegg samt gjøre målinger av det tilhørende energiforbruket.

Opprinnelig tenkt var oppgaven denne gangen å benytte måledata for luminans og energiforbruk fra testanlegg der luminansmålinger fra veibanen skal kunne regulere anlegget, som har installert dimbare armaturer. Det dukket imidlertid opp problemer i testanleggene, både diskfeil på områdenode og signalfeil for instrument i Franzefossveien, og kommunikasjonsfeil for anlegget i Høgskoleringen. Problemene hindret innsamling av data, og dermed ble fokus for rapporten endret. Det ble investert en god del tid i styringsprogrammet for reguleringen med tanke på å teste siste versjon av programmet mot utstyret det var tenkt til. Dette ble komplisert av ustabile signaler fra luminansmeteret, men hovedsaklig softwareproblemer i Philips' styreprogram Unilon, der nodene i Høgskoleringen knyttes sammen. Inntaking av luminansmeteret til lab resulterte dog i reparasjoner av strømforsyning og skalering og kalibrering av instrumentet.

Rapporten tar derfor for seg andre og mer generelle aspekter ved energisparepotensialet ved norske veilysanlegg.

Jeg har underveis fått god hjelp av veileder Eilif Hugo Hansen, NTNU Institutt for elkraftteknikk og tidligere masterstudent innen veibelysning Pål Johannes Larsen, Norconsult, og vil herved takke dem.

I tillegg har Ingar F Pedersen hos Luminext, Ketil Westgaard hos Datek, Trygve Jarsve hos Siteco og Hans Øien hos Thorn svart på diverse spørsmål om deres systemløsninger.

Trondheim 23. februar 2009

Einar Tommelstad

Sammendrag

Norge har et stort energiforbruk i sine mange vei- og gatelys landet rundt. Anslagene for energiforbruket varierer fra 0,8 til over 2 TWh. Uansett er energiforbruket betydelig høyere enn i Europa. Dette skyldes blant annet Norges særtrekk når det gjelder behov for veilyd og vår svært gode tilgang til billig elektrisk kraft. Mange norske veilysanlegg er imidlertid blitt meget gamle og det ligger derfor et stort sparepotensial ved energiøkonomisering (ENØK) av disse anleggene.

I 2008 ble ny veinormal godkjent av Statens vegvesen og sammen med tilhørende håndbøker angir den krav til norske offentlige veier innen blant annet dimensjoneringsklasser og tilhørende belysningskrav. Offentlige veier er i denne sammenhengen ikke medregnet kommunale veier, der kommunene selv setter krav til belysningen. Dette innebærer blant annet at kommuner vurderer nattslukking for kommunale og eventuelt private veilysanlegg de drifter, mens det ikke er aktuelt for de fylkesveier og riksveier som i følge veinormalen bør ha belysning.

Rapporten dokumenterer gjennom Statens vegvesens håndbøker hvilke veier, klassifisert etter dimensjonsklasser, som bør ha belysning og hvilken belysning som utgjør minstekravene. Gjennom normtall og eksempler fra prosjektering av veilysanlegg kommer energiforbruket frem og disse tallene gir et utgangspunkt for å beregne besparelsene av ulike ENØK-tiltak.

Energisparepotensial ved ulike ENØK-tiltak er i rapporten eksemplifisert gjennom kategorisering av driftsløsninger. De fem kategoriene er: gammelt konvensjonelt anlegg, nytt konvensjonelt, nattslukking, trinnvis dimming og dynamisk dimming. De to siste kategoriene representerer såkalt intelligent veibelysning der styringssentralen nytter toveiskommunikasjon med armaturene for overvåking og dimming. Eksisterende veilysanlegg er imidlertid svært ulike både i forhold til hvordan de er utstyrt og tilknyttet kraftnettet. En generalisering av kostnader for et ENØK-tiltak satt opp mot besparelsen for gitte veityper er derfor vanskelig. Hvor stort energisparepotensial ulike kategorier har er derimot anslått ved beregninger og eksempler fra tidligere rapporter og pilotanlegg der ENØK-tiltak er innført. Gamle anlegg vil ved utskifting til nye armaturer spare 25-40 % av energiforbruket på grunn av bedre reflektoroptikk og høyere lysutbytte, noe som gjør at en kan velge lavere dimensjonerende effekt for lyskildene. Et gitt anlegg vil med nattslukking spare 15-30 %, direkte avhengig av antall timer en velger å slukke lyset. Trinnvis dimming vil gi innsparing på 15-35 % avhengig av dimmeplan, mens det for dynamisk dimming foreløpig kun er anslag (20-40 %) tilgjengelig da lengre måleserier ikke er utført enda. Prosentverdiene kan ikke legges direkte sammen da de er gitt fra ulike utgangspunkt. Det største energisparepotensialet vil være tilstede ved utskifting av et gammelt anlegg til et med dimming. Per i dag er det dog ikke regningsvarende med dimming i anlegg der dimensjonerende effektstyrke er under 100 W.

Det er flere leverandører av styringsystemer med toveiskommunikasjon på det norske markedet. Philips var tidligst ute men har ikke beholdt posisjonen som lengst fremme. I dag er det Luminext og Datek som har sine systemer i flest anlegg og dermed høyest markedsandel. Siteco og Thorn har også utviklet styringsystemer og har sine første anlegg på plass i Norge. De ulike systemene er beskrevet og sammenstilt i rapporten, og de er teoretisk ikke så forskjellige. Den tydeligste forskjellen er valg av powerline eller trådløs kommunikasjon mellom områdenode og lampenoder. Et annet skille, som er av betydning ved valg av systemløsning, er om systemene er basert på åpne kommunikasjonsprotokoller eller er proprietære da dette kan gi føringer for senere valg.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
2	Tekniske begreper.....	2
3	Veinormalen og belyningskrav.....	5
4	Energiforbruk avhengig av veitype.....	9
4.1	Beregninger av energiforbruk.....	11
5	Energiforbruk avhengig av driftsløsning.....	13
5.1	Veilysanlegg delt inn i kategorier.....	13
5.2	Energiforbruk for kategoriene.....	16
5.3	Sparepotensial mellom driftsløsningene.....	19
6	Status fremtidige løsninger.....	21
6.1	Andel intelligent veibelysning i Norge.....	21
6.2	LED.....	21
7	Styresystemer intelligent veily.....	23
7.1	FoU-prosjekt med luminansmeter.....	23
7.2	Leverandører av styresystemer for veily i Norge.....	28
8	Investeringskostnader og energikostnader.....	39
9	Diskusjon.....	41
10	Konklusjon.....	44
11	Referanseliste.....	45

1 Innledning

Norge har et stort energiforbruk i sine mange vei- og gatelys landet rundt. Anslagene for energiforbruket varierer fra 0,8 [1] til over 2 TWh [2]. Uansett er energiforbruket betydelig høyere enn i Europa, der en enkel sammenligning ville gitt et energiforbruk på 0,4 TWh for Norge. Dette skyldes blant annet Norges særtrekk når det gjelder behov for veilyss og vår svært gode tilgang til billig elektrisk kraft. Mange veilysanlegg er dog blitt meget gamle og dette gjør at Norge har et stort sparepotensial ved energiøkonomisering (ENØK) på dette feltet.

Veilysanlegg eies i hovedsak av Statens vegvesen, fylkeskommuner eller kommuner. Energikostnadene for å ha lys i anleggene følger naturlig nok med eierskapet, og det samme gjør vedlikehold og eventuelt investeringer. For mange kommuner, og spesielt dem med trang økonomi, blir utgiftene til veilysanlegg et viktig insentiv for eventuelt å endre hvordan anleggene styres og driftes. Fra et akademisk ståsted, uten de samme begrensningene, er derimot innfallsvinkelen om å spare energi det mest aktuelle. En del kommuner har allerede tatt skrittene mot slukking om natten, et tiltak som i seg selv er meget effektivt i det kutter energiforbruket direkte i perioden lyset er slukket og i noen tilfeller ikke krever stor investering. Men det reduserer trafikksikkerheten og kan være i konflikt med veinormalen.

På 2000-tallet har det ved NTNU Institutt for elkraftteknikk blitt utført flere masteroppgaver innen temaet veibelysning, med henblikk på intelligent veibelysning og utvikling av regulering basert på luminansmålinger av veibanen. Det har blitt laget noen få instrumenter til formålet og etablert testanlegg i Trondheim og Oslo for å prøve ut instrumentene og regulering av anleggene, samt gjøre målinger av det tilhørende energiforbruket. Det har imidlertid oppstått atskillige utfordringer underveis som har forsinket arbeidet til studentene som har vært involvert. Noen av disse vil bli referert til i rapporten.

Rapporten tar for seg den nye veinormalen av 2008 og etablerer krav og hvilke veityper som krever belysning. Det forsøkes gjennom normtall fra Statens vegvesen og eksempler fra anleggsprosjektering av Norconsult å angi energiforbruket til veitypene. Det vil så beskrives ulike kategorier for veilysanlegg basert på driftsløsninger. Energiforbruk og sparepotensial tilhørende de ulike kategoriene vil bli dokumentert gjennom tilgjengelige rapporter og kilder. Gjennom å hente inn informasjon fra leverandører av intelligent veibelysning presenteres en status for kategoriene med forventet høyest sparepotensial. Til slutt vil rapporten angi hvilke ENØK-tiltak som bør vurderes for ulike veier.

2 Tekniske begreper

Luminans

Luminansen angir lysheten av en flate. For en trafikant betyr dette det lyset som reflekteres fra veibanen i retning mot øyet. Luminans måles i candela per kvadratmeter (cd/m^2) [3].

Belysningsstyrke

Belysningsstyrke tilsvarer det fysiske systems irradians, nemlig innstrålingstetthet, som er strålingsfluksen dividert på arealet av flaten som belyses. En benytter lux som enhet for belysningsstyrke.

Veilysarmatur

En armatur er samlebetegnelsen på armaturhuset og de elektrotekniske komponentene som monteres inne i huset. Typisk består en armatur av hus, ballast og lyskilde. I "intelligente" armaturer er det i tillegg en lampenode for kommunikasjon. Lampenoden kan da tenne og slukke etter de meldinger som styringssystemet gir. For å kunne dimme lysnivået fra armaturen må ballasten være elektronisk og ikke konvensjonell. Derav kommer også uttrykkene konvensjonelle og elektroniske armaturer.

Lyskilde

Veilys i Norge har hatt to toneangivende lyskilder; natrium høytrykksdamplampe som gir gult lys og kvikksølv damplampe som gir hvitt lys. Damplampene med kvikksølv har i stor grad blitt faset ut de siste årene på grunn av PCB-sanering og at lampene i seg selv hadde lavt lysutbytte. Metallhalogenlamper har tatt over som lyskilde for hvitt lys. Metallhalogenlamper har ligget bak høytrykksnatrium når det gjelder levetid og lysutbytte (lumen per watt), men dette bedrer seg stadig. Høytrykksnatrium har på sin side vært den foretrukne lyskildene for veilys de siste 20-30 år på grunn av lang levetid (16000 timer) og høyt lysutbytte (90 lumen/watt). Ulempen med høytrykksnatrium er smalspektret lys, i praksis høye verdier kun i den gule delen av spekteret, og dårlig fargegjengivelse (RA-indeks ca 20-25) [1].

Forkobling (ballast)

Gassutladningslamper, som veibelysning i all hovedsak er utstyrt med, trenger forkoblingsutstyr, også kalt ballast, for å generere høy nok tennspenning til å sette i gang gassutladningen i lampekolben. Tradisjonelt har det vært benyttet såkalt konvensjonell forkobling, som på grunn av jern som bestanddel genererer varme under drift – noe som utgjør et tap. I tillegg trekkes det reaktiv effekt på nettet, noe som kompenseres med en kondensator i parallell med kretsen. Virkningen av kondensatoren avtar gradvis og dette vil påvirke lysutbytte hvis den ikke byttes. Elektronisk forkobling derimot reduserer varmeproduksjonen og den reaktive effekten kompenseres elektronisk.

Merkeeffekt og merkespenning

Merkeeffekt er den effekten en lyskilde er oppgitt som, typisk 250 W og 150 W for veilys. Lyskilden skal da være produsert slik at den trekker denne effekten ved merkespenning, typisk 230 V. Forkoblingsutstyr som nyttes må samsvare med merkeeffekten til lyskilden og merkespenningen i nettet. I praksis er det slik at spenningen i en krets ikke vil ligge på merkespenning hele veien og dette vil påvirke den reelle effekten i lyskilden når det nyttes konvensjonell ballast. I tillegg energiforbruket i lyskilden kommer forkoblingen.

Veilyssystem

Sammenknytningen av veilyssystemer og fordelingsnett, og eventuelt en styringssentral, utgjør veilyssystem. For tradisjonelle veilyssystemer er tenningsmekanismen basert på fotocelle og kontaktstyring ved at anlegget slås på om kvelden, og av om morgenen, etter hvor mye lys fotocellen registrerer. En fotocelle kan styre større anlegg bestående av et omfattende nett med fordelingsnett som igjen styrer en gruppe armaturer. Det er vanlig at et fordelingsnett styrer en strekning, noen sammenfallende veier eller eksempelvis et boligområde.

Intelligent veilyssystem

Et veilyssystem der armaturene kan reguleres (dimmes) og kommunisere med en styringssentral, som så igjen kan gi god oversikt over driftssituasjonen samt bruke flere parametere til regulering av systemet, regnes som et intelligent veilyssystem. Dette krever elektronisk ballast, og en lampenode som tar seg av kommunikasjonen mellom armaturene og de resterende deler av anlegget.

Enveiskommunikasjon

I anlegg der det kun er kommunikasjon fra styringssentralen og ut til veilyssystemene, typisk til en mottaker i fordelingsnett som tenner og slukker anlegget, er det enveiskommunikasjon.

Toveiskommunikasjon

I anlegg der det er kommunikasjon både fra styringssentral og ut til fordelingsnett og armaturer, og samtidig kommunikasjon tilbake fra armaturene om driftstilstand og målte verdier, er et anlegg med toveiskommunikasjon.

Tariff

Tariff i denne sammenhengen er prisen en betaler for energiforbruket. Mange veilyssystemer blir fakturert som umålte anlegg fordi de ikke har noen energimåler. Da beregnes tariffen ut fra et antatt antall brenntimer multiplisert med en antatt totaleffekt for anlegget. Det varierer fra selskap til selskap hvor mange brenntimer som nyttes og hvordan en beregner seg frem til totaleffekten. Som regel vil eieren av et veilyssystem oppleve en redusert regning ved å gå over til målt tariff, noe som intelligente veilyssystemer inkluderer.

LonWorks

LonWorks er en kommunikasjonsplattform laget av det amerikanske selskapet Echelon. Det er basert på en standard, åpen kommunikasjonsprotokoll, ANSI/CEA-709.1, og har fått en stor utbredelse innen bygningsautomatisering.

DALI

DALI er en åpen digital protokoll, standardisert av ICE, for styring av elektroniske ballaster og dimmere. Den er etablert som arvtakeren til den fortsatt markedsdominerende analoge 1-10V-styringen.

Powerline

Powerline er fysisk den kraftledningen som forsyner armaturene med elektrisitet. Bruk av LonWorks i sammenheng med veilyssystemer innebærer at powerline er kommunikasjonsmediumet for kommunikasjonssignalet. Dette foregår parallelt med kraftforsyningen i ledningene.

ZigBee

ZigBee er en kommunikasjonsprotokoll for trådløse personlige nettverk, og kommunikasjon foregår

over radiofrekvens. Protokollen er enkel og billig, noe som gjør den lett tilgjengelig. En av fordelene med denne protokollen er at den trekker lite strøm.

GSM og GPRS

GSM, Global System for Mobile Communications, et digitalt mobiltelefonsystem som gir mulighet for dataoverføring og å sende korte tekstmeldinger, også når mobilterminalen er opptatt i samtale. Mobilapparatene i GSM er relativt rimelige, og systemet kan benyttes på tvers av landegrensene. GPRS, General Packet Radio Service, pakke-datateneste, er en videreføring av GSM og benytter samme radiodelen og dermed de samme fysiske installasjonene. Systemet er basert på pakkeoverføring og brukerne deler de 8 tidslukene i GSM-formatet. Dermed kan man være oppkoblet mot internett så lenge man ønsker det og kun betale for den datamengden som er overført. GSM blir regnet som starten på utviklingen av tredje generasjons mobile kommunikasjonssystemer, UMTS [4]. Innen veilysanlegg benyttes GPRS som en alternativ kommunikasjonsmåte mellom områdenode og styringssentral i et intelligent veilyssystem.

Monitorering

I tillegg til energieffektivisering av veilysanlegg vil styringssystemer og kommunikasjon med armaturene åpne for effektivisering av administrasjon og vedlikehold. Ved monitorering av veilysanlegg kan en få tilgjengelig status for hver armatur og fra dette planlegge vedlikehold uten å manuelt reise ut i anlegget for å sjekke det.

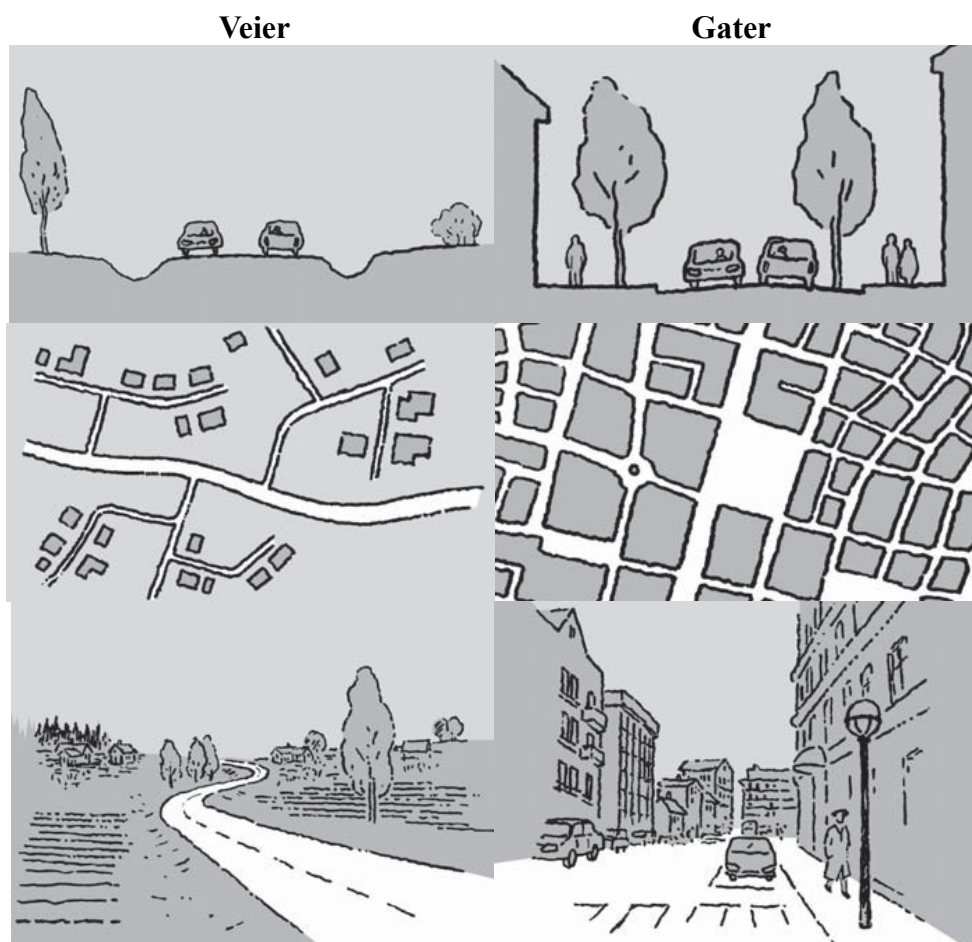
Veinormalen

Veinormalene har hjemmel i forskrift etter veilovens § 13 om anlegging av offentlig vei og gir utfyllende bestemmelser for planlegging og prosjektering av veier og gater. Statens vegvesen gir ut håndbøker på to nivåer for å oppfylle dette og det er Vegdirektoratet som har hovedansvaret for utarbeidelsen og ajourføring.

3 Veinormalen og belyningskrav

Etter lang klekketid ble den nye veinormalen *Vei- og gateutforming*, håndbok 017, godkjent av Statens vegvesen Vegdirektoratet i 2008. Veinormalene er hjemlet i forskrift til veiloven og angir utfyllende beskrivelse av veier og gater. I utgangspunktet gjelder veinormalen alle offentlige veier og gater.

Veinormalen beskriver både overordnet og til dels detaljert hvilke krav som gjelder for bygging eller utbedring av veier og gater. Valget mellom vei- eller gateutforming kan være vanskelig siden det norske landskapet ofte er en mellomting by og landsbygd. For å illustrere noen av forskjellene og dermed ha en bevissthet omkring utformingen, er veinormalen utstyrt med enkelte skisser. Eksempelvis den som som er gjengitt i figur 3.1.

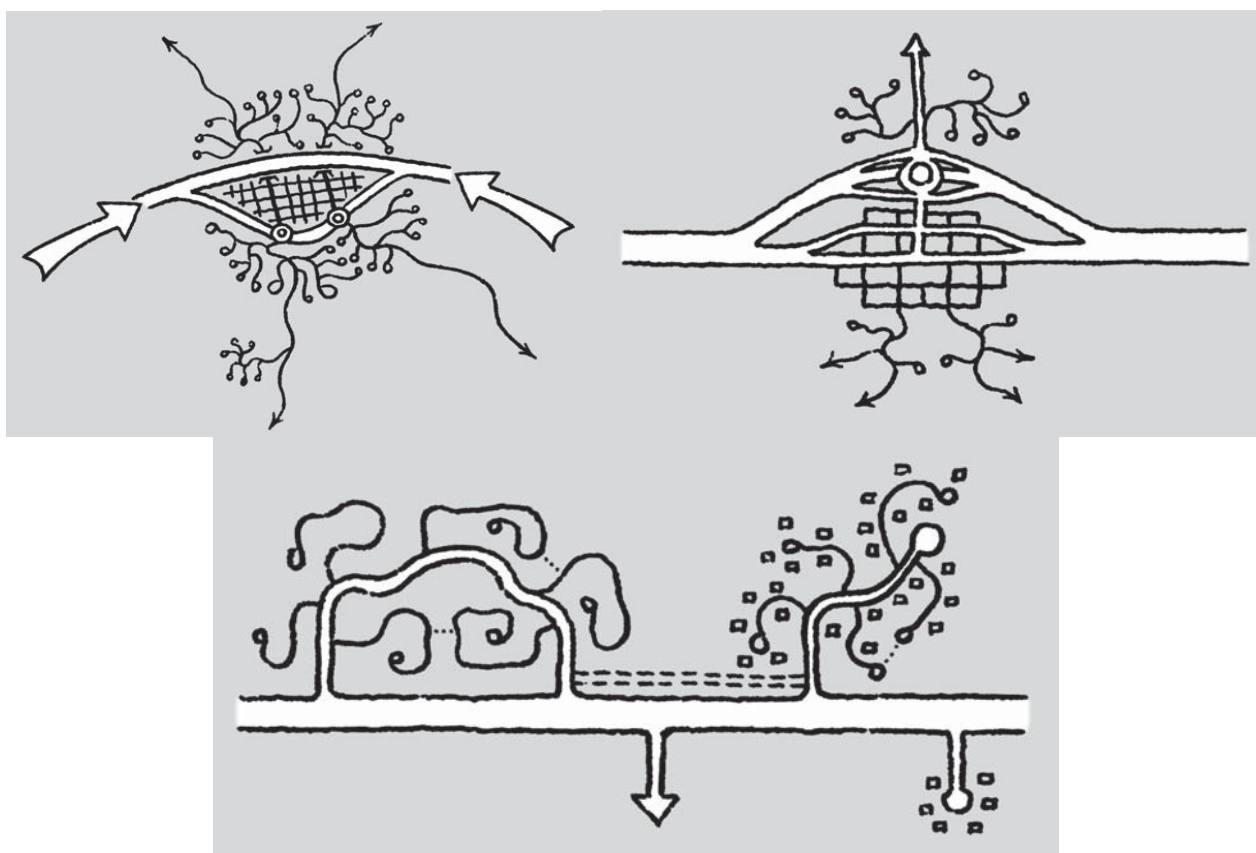


Figur 3.1: Karakteristiske kjennetegn ved veier og gater [5].

Transportnettet består av ulike veier, utformet etter hvilken funksjon de utgjør. Veier og gater dimensjoneres naturlig nok ut fra trafikkmengde, type trafikk og lokalisering i forhold til hvor i byen, i tettstedet eller på landsbyda de er plassert. Dimensjoneringen innebærer dermed differansering og adskillelse mellom gjennomgangstrafikk og lokal trafikk. Veinormalen bruker navnene stamvei, hovedvei, samlevei og adkomstvei når dimensjoneringsklasser beskrives. De ulike dimensjoneringsklassene inndeles hovedsaklig etter trafikkmengde og fartsgrense. Trafikkmengde måles eller beregnes som ÅDT. ÅDT står for årsdøgnsrafikk og er det totale antall kjøretøy som

passerer et snitt på en vei i løpet av ett år, dividert med 365 [5].

I veinormalen finner en også eksempler på hvor dimensjoneringsklassene hører hjemme i transportnettet. Ved større byer vil inn- og utfartsårer og omkjøringsveier være S7-S9, mens S6 er aktuelt for veier som avviker trafikken fra hovedårene og som må være kapasitetssterke. Øvrig vei- og gatenett vil bestå av gater i bykjernen og Sa1-Sa3 og A1-A3 i boligstrøk. Ved tettsteder vil S2-S5 være normalt for innfartsveiene, S1 eller S6 kan være aktuelt for gjennomfartsnettet mens øvrig veier tilpasses lokale forhold. I områder med spredt bebyggelse vil det i tilfeller med stor og tung trafikk på hovedveien være behov for S1 eller S6, eller vei med høyere hastighet ved adskilte veier, mens det ved lite trafikk er S2-S3 og H1-H2 som er aktuelt [5]. Figur 3.2 skisserer hvordan transportnettet kan arte seg i by, tettsted og spredtbygd område.



Figur 3.2. Eksempel på transportnett i henholdsvis by, tettsted og landsbygd [5].

Statens vegvesen har to nivåer på sine håndbøker. Mens håndbok 017 tilhører nivå 1 og er en normal, tilhører *Teknisk planlegging av vei- og gatebelysning*, håndbok 264, nivå 2 og er en veiledning. Håndbok 264 er også av 2008. I veiledningen er det oppgitt at vei- og gatebelysning bør anlegges når innsparte ulykkeskostnader oppveier kostnadene til anlegg og drift. Andre formål enn trafiksikkerhet er ikke en prioritert oppgave i denne sammenheng og derfor ikke inkludert i utarbeidelsen av de generelle behovskriteriene [6].

I håndbok 017 gir tabell C.2 en detaljert oppsummering over dimensjoneringsklasser for vei- og standardkrav. Denne tabellen inneholder mer info enn hva som er relevant for belysningsanlegg og håndbok 264 presenterer en mindre tabell med kravene for nye veier. Denne tabellen er gjengitt under i tabell 3.1.

Dimensjon- erings- klasse	ÅDT (kjt/døgn)	Fartsgrense (km/t)	Veibredde (m)	Antall felt	Krav om veibelysning
S1	0 – 12 000	60	7,5/8,5	2	Bør belyses dersom ÅDT >1 500
S2	0 – 4 000	80	8,5	2	Ikke krav om belysning
S3	0 – 4 000	90	8,5	2	Ikke krav om belysning
S4	4 000 – 8 000	80	10	2	Ikke krav om belysning
S5	8 000 – 12 000	90	12,5	2/3	Bør belyses
S6	> 12 000	60	16	4	Bør belyses
S7	> 12 000	80	19	4	Bør belyses dersom ÅDT >20 000
S8	12 000 – 20 000	100	19	4	Skal belyses
S9	> 20 000	100	22	4	Skal belyses
H1	0 – 1 500	80	6,5	2	Ikke krav om belysning
H2	1 500 – 4 000	80	7,5	2	Ikke krav om belysning
Sa1	< 1 500	50	6	2	Bør belyses
Sa2	> 1 500	50	6	2	Bør belyses
Sa3	< 1 500	80	6,5	2	Ikke krav om belysning
A1		30	3,5 – 5	1 – 2	Bør belyses
A2		50	7	2	Ikke krav om belysning
A3		50	4	1	Ikke krav om belysning

Tabell 3.1: Krav til belysning på nye veier [6].

I tillegg angir håndbøkene trafikksteder som skal eller bør belyses for å redusere ulykkesrisiko i mørket. Dette er steder der ulike typer trafikanter ferdes eller krysser retning, eksempelvis gangfelt og gangveier, veikryss og rundkjøringer, bomstasjoner og ferjeleier. Utover kravene til nye veier oppgir håndboken eksisterende veier som bør vurderes belyst på grunnlag av ulykkesrisiko i mørket. Under dette regnes a) veier med fartsgrense 60 km/t eller lavere og ÅDT større enn 1500 (tilsvarer S1, S6 og Sa2), b) veier med fartsgrense 70 km/t eller høyere og ÅDT større enn 8000 (tilsvarer S5, S7, S8 og S9) og c) veier med myke trafikanter hvor det ikke er gang- og sykkelvei (tilsvarer Sa1, A1 og gater) [6]. Dette innebærer at en kan forholde seg til dimensjoneringsklassene også for eksisterende veier når det gjelder vurderinger for veilysanlegg.

Det er utarbeidet ulike belysningsklasser for forskjellige veier, gater og områder. Disse er beskrevet i *NS-EN 13201-2 Veibelysning Del-2: Ytelseskrav* [6]. For norske forhold benyttes den såkalte MEW-klassen for veier og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere, CE-klassen for lavere hastigheter og konfliktområder, mens S-klassen brukes for gang- og sykkelveier. MEW-serien inneholder kriterier om luminans fra veibanen i tørr og våt tilstand, synsnedsettende blanding og belysning av omgivelsene, mens CE- og S-seriene baseres på belysningsstyrke [5].

Veinormalen oppsummerer sammenhengen mellom belysningsklassene slik som er gjengitt i tabell 3.2.

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

Tabell 3.2: Belysningsklasser med tilsvarende lysnivåer [5].

Når det skal velges belyningsklasse på strekninger hvor det etableres belysning tar en hensyn til om veien har midtrekkverk eller midtdeler og trafikbelastningen for strekningen. Gater er definert som egen type. Tabell 3.3 gjengir valg av belyningsklasse med gater inkludert i ordinær ÅDT-skala.

ÅDT	< 1 500	1 500 – 4 000	4 000 – 8 000	8 000 – 12 000	> 12 000
Veier med midtrekkverk/ midtdeler	-	MEW3	MEW3	MEW3	MEW3
Veier uten midtrekkverk/ midtdeler	MEW4	MEW3	MEW2	MEW2	MEW2
Gater	MEW3	MEW3	MEW2	MEW2	MEW2

Tabell 3.3: Valg av belyningsklasse MEW [6].

Generelt skal det også tas hensyn til eksempelvis konfliktområder og strekninger med mange myke trafikanter ved å gå opp en belyningsklasse, det skal ikke være for stor forskjell mellom tilstøtende områder, ved valg av metallhalogenlamper kan man redusere luminanskravet 10 % og en skal vurdere nedregulering av alle anlegg.

Trondheim kommune skriver i sin veilysnorm av 2008 at veinormalens krav skal normalt gjelde det kommunale veinettet i Trondheim. I Oslo har en valgt å sette luminanskrav til 0,7 cd/m² for veier som kommunen har ansvar for [7].

Kombineres tabell 3.1 og 3.3 kan en lage en oversikt som angir generelle belyningsklasser for de dimensjoneringsklassene som håndbok 264 sier bør belyses. I praksis er det dermed kun disse veiene, både nye og tilsvarende eksisterende, som krever belysning pga trafikksikkerhetshensyn. Aktuelle alternativer som kommer frem i tabell 3.4 brukes senere som veityper.

Dim.- klasse	ÅDT	< 1500	1500 – 4000	> 4000
S1		-	MEW3	MEW2
S5-S9		-	-	MEW3*
Sa1		MEW4	-	-
Sa2		-	MEW3	MEW2
A1		MEW5	-	-
Gate		MEW3	MEW3	MEW2

* ÅDT > 8000 og > 12000

Tabell 3.4: Generelle belyningsklasser aktuelle for veityper som bør ha belysning.

4 Energiforbruk avhengig av veitype

Håndbok 264 presenterer også normtall for energibruk i veibelysningsanlegg. Tallene er basert på relativt nye anlegg og sier hva som tidligere er oppnådd. For planlegging av nye anlegg bør en finne løsninger som er mer energieffektive. Tallene er gjengitt i tabell 4.1. Kolonnen lengst til høyre er føyd til i denne rapporten og inneholder en vurdering av veiklasser de ulike eksemplene tilhører.

Veibredde inkl. skulder	Felt-/ midtdeler- bredde	Belysningsklasse			Tilsvarende dimensjonerings- klasse
		MEW2 [kW/km]	MEW3 [kW/km]	MEW4 [kW/km]	
2 felt / 7,5 m	3 m	5,8	4,6	4	S1, Sa1, A1
2 felt / 8,5 m	3,25 m	6,1	4,6	4,1	S1, Sa1, Sa2
2 felt / 10 m	3,5 m	6,2	5,7	4,1	S5, Sa2, gate
4 felt og midtdeler / 16 m	3,25 m / 1,5 m	9,5	8,5	-	S5, S6, gate
4 felt og midtdeler / 20 m	3,5 m / 2 m	10	8,5	-	S7, S8
4 felt og midtdeler / 26 m	3,5 m / 6 m	11,7	9,9	-	S9

Tabell 4.1: Normert effektbruk for veibelysning per km vurdert mot dimensjoneringsklasse.

Beregningene i tabellen er i følge håndbok 264 gjort med DIALux software, versjon 3.1. Beregnet effekt er inklusiv konvensjonell forkobling. For MEW2 er det benyttet lampeeffekt 250 W, som med tap vil utgjøre omkring 300 W, og dette betyr 20 armaturer per km på tofeltsvei og 33 eller 40 på firefeltsvei. For MEW3 er de to minste veiene i følge håndboken beregnet utfra 250 W, noe som gir så få som 15 armaturer, mens resten av veiene er beregnet med lampeeffekt 150 W, som med tap vil utgjøre omkring 170 W. Dette gir 33 armaturer per km for tofeltsveien og hele 50 eller 58 for firefeltsveiene. For MEW4 er det benyttet lampeeffekt 70 W, som med tap utgjør omkring 80 W, og dette vil hele 50 armaturer per km.

Ut i fra tallene i forrige avsnitt er det flere momenter som taler for andre valg enn dem som kommer frem fra verdiene i tabellen. Antall armaturer vil slå direkte ut på både investerings- og vedlikeholdskostnader for anlegget. Hvis en da kan velge løsninger med færre armaturer og samtidig ikke gå opp på energiforbruket vil dette være et naturlig valg. Et valg av lampeeffekt 250 W for småveiene under MEW3 virker noe ulogisk når større veier har fått tildelt lavere lampeeffekt, og 15 armaturer vil innebære en avstand på 65 meter mellom mastene. Men hvis mastehøyde og reflektoroptikken gjør at armaturen oppfylder belysningskravene vil det være en god løsning. For firefeltsveiene under MEW3 synes det klart at en kan gå opp i lampeeffekt og dermed senke antallet armaturer i retning av slik det er oppgitt for anlegg under MEW2. De mindre veiene under MEW4 er satt opp med en ugunstig lampeeffekt da veilysanlegg med 100 W eller 150 W trolig kan redusere antall armaturer uten å øke energiforbruket for de samme veiene. For mindre veier, smalere enn 8 meter er lav lampeeffekt høyaktuelt.

For å gjøre vurderingene av veibredde og midtdeler i tabell 4.1 er det sammenlignet med tabell 3.1 for å finne tilsvarende veiklasse. Det samme er gjort for konkrete belysningsanlegg prosjektert av Norconsult [7]. Disse anleggene med vurdering av veiklasse er ført opp i tabell 4.2, der de grå kolonnene er beregninger og vurderinger for denne rapporten.

Vei	Veidetiljer	Mast-av-stand [m]	Mast-høyde [m]	Lyskilde [W] Nah	Lum.krav [cd/m ²]	Beregnet energi-bruk [kW/km]	MEW-klasse	Tilsvarende dimensjonerings-klasse
E6 Hovinmoen-Dal	4 felt m/3 m midtdeler, midtstilt belysning	60	14	2 x 250	1	8,3	3	S7, S8, S9
Rv 22 Lillestrøm-Fetsund	2 felt u/midtdeler, 7 m bred 7 m voll mellom vei og gangvei, mast på utsiden av gangvei	50	14	250	1	5,0	3	S1
Kommunal vei Vendla - Nesøya	2 felt 5 m bred, mast plassert 4 m fra vei	35	8	100	0,7	2,7	4	Sa1
Kommunal vei Oslo gate - Geita bru	2 felt 8 m bred, wirestrekk	35	8,5	150	1	4,3	3	Sa2
Rv 4	Smal 4 felt m/1,5 m midtdeler, ensidig belysning 4,5 m fra hvitstripa	50	14	400	1	8,0	3	S6
Fv 174 Nadderudveien	2 felt 6,5 m bred, master utenfor gangvei ca 4 m fra hvitstripa	35	10	250	0,7	7,1	4	Sa2*
Fv 166 Snarøyaveien	4 felt m 7 m midtdeler, midtstilt belysning m/utligger slik at belysning er på hvitstripa	40		2 x 250	1	12,5	3	Sa2**
Kommunal vei Begbyveien Fredrikstad	2 felt 7 m bred, mast plassert 3 m fra hvitstripa	38	12	250	0,75	6,6	4	Sa1

* MEW-klasse 4 skal i følge tabell 3.1 tilsvare Sa1, men ÅDT er trolig >1500 og dermed er Sa2 riktigere.

** Gamle hovedveien til Fornebu lufthavn? Sannsynligvis overdimensjonert i forhold til dagens behov, som mest sannsynlig er Sa2, eller alternativt S6, med ny moderne næringslivspark.

Tabell 4.2: Eksempelanlegg prosjektert av Norconsult [7].

Fra avstanden mellom mastene i tabell 4.2 kan en finne antall armaturer per km i disse eksempelprosjektene fra Norconsult. I motsetning til normtallene fra håndbok 264 er det her mindre ujevnt i antallet armaturer. Med unntak av veistrekningen på Fornebu, som dimensjoneringsmessig er nærmere S9 enn Sa2 som plasseringen i veinettet skulle tilsi, ligger antallet mellom 20 og 33 for alle veiene. 33 for firefeltsveien, 20 for veien med 400 W og resten har 26 eller 29.

For mindre anlegg med lyskilder med lavere effekt er samme beregning og vurdering av dimensjoneringsklasse gjort for en liste med mindre veier der rehabiliteringen av veilysanlegg ble prosjektert av Norconsult. Disse fremgår av vedlegg 3 [7]. Her ble det vurdert at veiene med veilys på 2,5 til 3,3 kW/km tilsvarte Sa1, mens veiene med 4 til 6 kW/km tilsvarte Sa2. Mindre veier ble vurdert som adkomstveier, A1. Vurderingene ble gjort på bakgrunn av veibredde og fortau samt plassering i vei-/gatenettet ved søke dem opp i standard veikartapplikasjon tilgjengelig på internett.

Hensikten med oppgaven er å gjøre generelle betraktninger og det er behov for et overslag for antall armaturer når en skal vurdere investerings- og vedlikeholdskostnader opp mot energiforbruket. På bakgrunn av normtall og eksempler fra Norconsult vil det videre i oppgaven brukes 33 armaturer for alle dimensjoneringsklasser da en finner eksempler med dette i de fleste tilfeller. I praktiske

tilfeller der dette blir langt fra riktig vil høyest sannsynlig heller ikke beregningstall være korrekt og en må uansett gjøre konkrete beregninger for det gitte veilysanlegget.

For å finne en representativ verdi for energiforbruket for hver dimensjoneringsklasse og tilhørende MEW-klasse er de foregående verdiene sammenstilt i tabell 4.3. I den grå kolonnen fremkommer verdien som videre benyttes som grunnlag for beregninger.

Dimensjonerings-klasse	MEW-klasse	Normtall [håndbok 264]	Eksempler [Norconsult]	Regneark [Norconsult]	Beregningstall (valgt på bakgrunn av de andre)
		[kW/km]	[kW/km]	[kW/km]	[kW/km]
S1	MEW3	4,6 og 4,6	5	-	4,6
	MEW2	5,8 og 6,1	-	-	6
S5	MEW3	5,7 og 8,5	-	-	7
S6	MEW3	8,5	8	-	8
S7	MEW3	8,5	8,3	-	8,5
S8	MEW3	8,5	8,3	-	8,5
S9	MEW3	9,9	8,3	-	9,5
Sa1	MEW4	4 og 4,1	2,7 og 6,6	2,5 – 3,3	3,5
Sa2	MEW3	4,6 og 5,7	4,3	4 – 6	5
	MEW2	6,1 og 6,2	-	4 – 6	6
A1	MEW5	-	-	<3	3
Gate	MEW3	5,7 og 8,5	-	-	6
	MEW2	6,2 og 9,5	-	-	8

Tabell 4.3: Effektförbruk avhengig av dimensjoneringsklasse og belysningsklasse.

4.1 Beregninger av energiförbruk

I beregningene er det kun (tatt utgangspunkt i) teoretiske verdier, nemlig hvilken merkeeffekt lyskildene har og at energiförbruket for en gitt strekning vil være denne merkeeffekten multiplisert med antall lampepunkter. Dette vil sjelden være det korrekte energiförbruket og i det fölgende vil noe av bakgrunnen gjøres rede for. Og situasjonen har mange faktorer som gjør det vanskelig å forutsi det riktige energiförbruket, spesielt i gamle anlegg.

Både ballasten og selve lampen bruker mer effekt under drift enn merkeeffekten alene tilsier. Geir Morten Skjelsvold skriver i sin prosjektoppgave fra 2005 at konvensjonelle armaturer han undersøkte brukte 20 % og 30 % mer energi enn merkeeffekten skulle tilsi for henholdsvis høytrykksnatriumarmaturer med 150 W og 250 W. For elektronisk forkobling var tapet også overraskende höyt – det var lite å spare ved kun bytte av teknologi [8]. Videre ble det funnet at effektbruken ved konvensjonelt forkoblingsutstyr var meget spenningsavhengig både over og under merkespenning, mens elektronisk forkobling ikke var spenningsavhengig innenfor området den klarer å operere under.

Kraftledningen som forsyner veibelysningen med elektrisitet vil ha et spenningsstap underveis. Tapet

blir større desto lenger ledningen er og dermed også forskjellen på spenningen over den første og den siste lyskilden på strekningen. I masteroppgaven til Anders Roberg fra 2007 kommer det frem at mange av veilyskursene i Trondheim har lave spenningsnivå, noe som medfører for lav effekt i armaturene og dertil problemer med å oppfylle krav til luminans [9]. Paradokset blir at for å oppfylle kravene må en fornye deler av anlegget, og tilfredsstillende belysning vil ofte da ha et høyere energiforbruk enn det gamle anlegget. Så selv om en undersøker veilysanlegg i ENØK-øyemed kan en ende opp med økte behov både for investeringer og drift.

De aktuelle beregningene og verdiene som er benyttet anses som et akseptabelt grunnlag å benytte. Nye armaturer antas å ha et mindre merforbruk enn tidligere armaturer. Eventuelle feil vil med beregninger basert på kun lampeeffekt påvirke i retning av et lavere sparepotensial. På den annen side praktiseres det både 4100 og 4000 brenntimer som standard avregning av veilysanlegg. Ved å velge 4100 i beregningene vil et litt for lavt effektforbruk utgjøre en mindre feilkilde i en generalisering.

5 Energiforbruk avhengig av driftsløsning

5.1 Veilysanlegg delt inn i kategorier

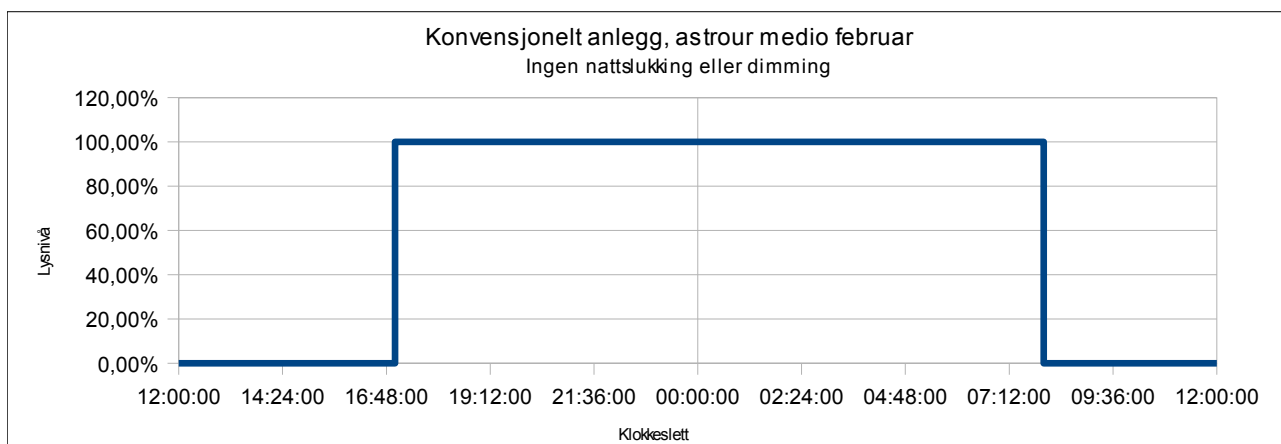
Veibelysningsanlegg er satt sammen av ulike komponenter. Disse komponentene må naturlig nok fungere sammen for å ha lys i anleggene, men de har svært forskjellig levetid og også ofte forskjellig produsent. Denne oppgaven tar ikke for seg detaljnivået for prosjektering av veilysanlegg, men fokuserer på energiforbruket. Derfor er det i hovedsak innmaten i selve veilyssarmaturene og styrings- og reguleringsutstyret som blir behandlet.

Deler av et veilysanlegg brukes om igjen ved utskifting av enkeltkomponenter. Lyskilden er komponenten som skiftes oftest. Mens høytrykksnatriumlamper forventes å ha en levetid på minimum 4 år, har metallhalogen 2,5 år. Ved ordinært skifte av lyskilde skiftes ikke annet utstyr fordi dette har lengre levetid enn lyskilden. Ønsker en derimot å bytte til nyere lyskilder med mindre merkeeffekt må en også skifte forkobling. Og for bedre reflektoroptikk og mer avanserte løsninger som inkluderer kommunikasjon for regulering må en ofte skifte hele armaturen. Lysmastene kan en velge å beholde, selv ved generasjonsskifter av selve belysningen.

Det faktiske utstyret i veilysanleggene rundt omkring i Norge vil variere både i alder og driftsløsninger. En forenkling av ulike styrings- og reguleringsmetoder er derfor nødvendig for å sammenligne dem. Denne oppgaven deler veilysanlegg inn i fem kategorier basert på hvordan styring og energiforbruket endrer seg.

1. Gammelt konvensjonelt anlegg (én inn- og utkobling)

Her menes veilysanlegg der armaturene ikke er fornyet på mange år og lyskildene dermed har høyere merkeeffekt enn tilfellet er for tilsvarende anlegg hvor en har skiftet til mer moderne armaturer eller lyskilder. Konvensjonelle armaturer innebærer at forkoblingen for lyskilden er en magnetisk reaktor i motsetning til det nyere alternativet som er elektronisk forkobling. Styringen er kontaktorstyring av kursene, typisk på bakgrunn av fotocelle og har kun innkobling om kvelden og utkobling om morgenen.



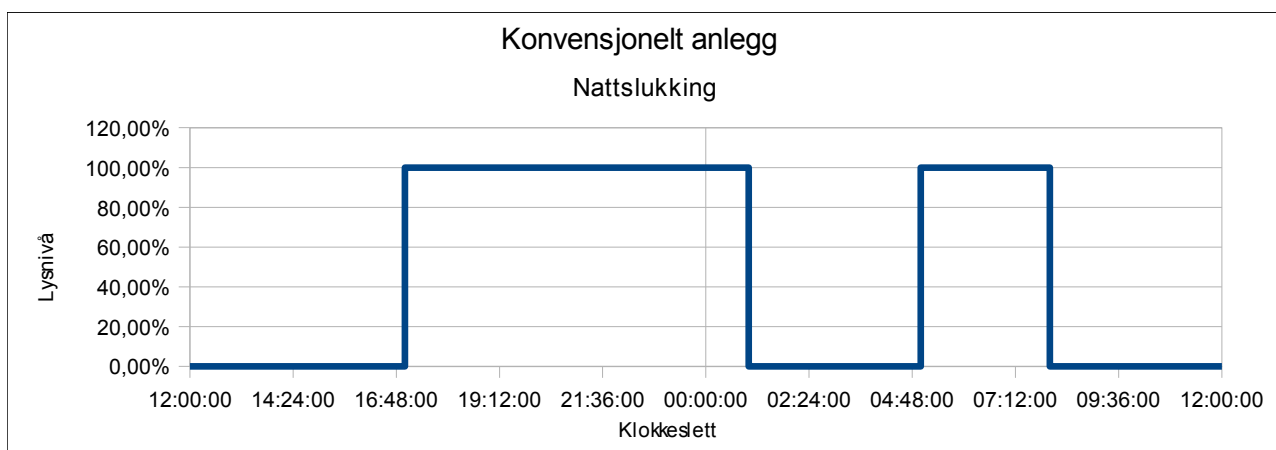
Figur 5.1: Skisse kategori 1 og 2, konvensjonelt anlegg med kun én inn- og utkobling.

2. Nytt konvensjonelt anlegg (én inn- og utkobling)

Her menes tilsvarende anlegg som i kategori 1, men armaturen har lyskilde som har et hakk lavere merkeeffekt. Vanligvis vil det bety at 400 W er erstattet med 250 W, 250 W med 150W, 150 W med 100 W og 100 W med 70 W. Eksempelet er hentet fra Skagerak Energi som har gjort enkelte slike utskiftninger. Årsaken til at en for gamle anlegg kan gå ned så mye på effekten ved å bytte armatur er teknologiske forbedringer innen reflektoroptikk og et høyere lysutbytte fra lyskilden, samt eventuelt ny vurdering av belyningsbehovet for veistrekningen.

3. Sentralstyrt konvensjonelt anlegg (nattslukking)

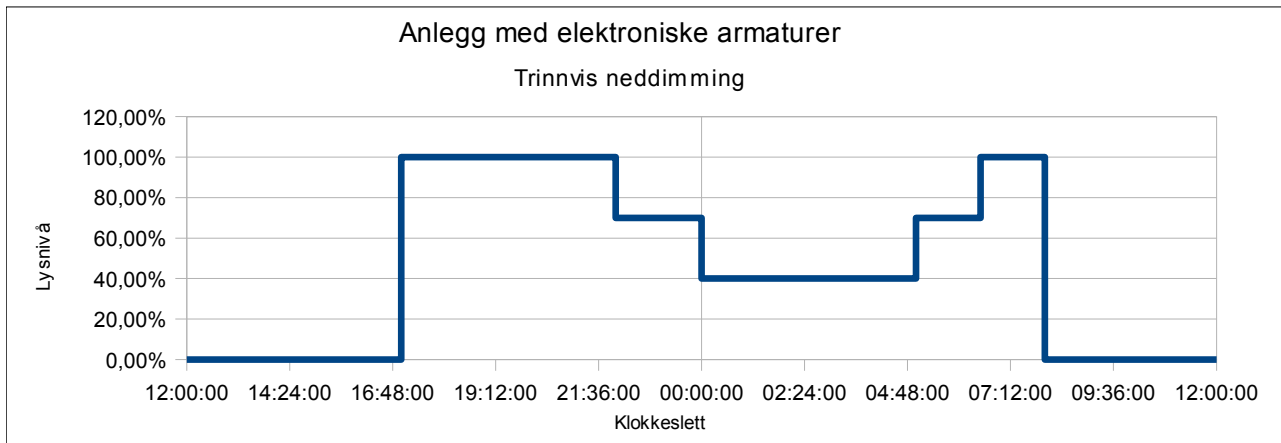
Her menes veilysanlegg med konvensjonelle armaturer og i beregningene samme merkeeffekt som i kategori 2. Styring skjer derimot ved at kursene styres fra sentralt system og ved hjelp av dette slukkes nattestid da det er liten trafikk.



Figurd 5.2: Skisse kategori 3, konvensjonelt anlegg med nattslukking.

4. Anlegg med elektronisk forkobling og trinnvis dimming

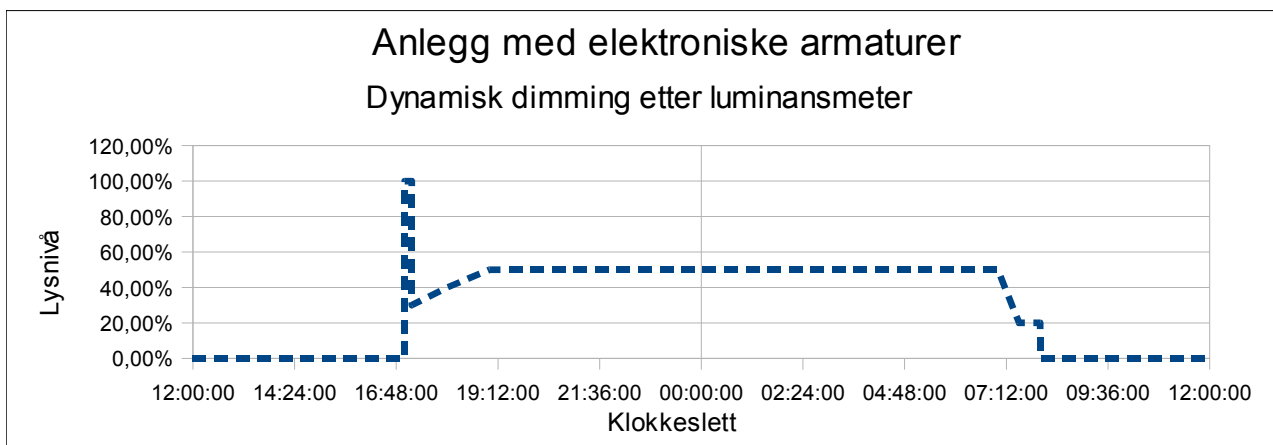
Her menes anlegg der armaturene er utstyrt med elektronisk forkobling som innebærer at lyskilden kan dimmes. Veilyskursene styres og reguleres med et sentralt styresystem som bruker flere kilder (klokke, fotocelle, astronomisk ur) for å bestemme effektnivået i anlegget. Reguleringen innebærer typisk at fotocelle og/eller astrour angir inn- og utkobling mens en forhåndsbestemt tabell følges for når og hvor mye anlegget skal reguleres ned om natten. Det er flere de siste årene kommet flere leverandører som tilbyr løsninger med toveiskommunikasjon i det norske markedet.



Figur 5.3: Skisse kategori 4, anlegg med elektronisk armaturer og trinnvis dimming.

5. Anlegg med elektronisk forkobling og dynamisk dimming

Her menes samme type anlegg som i kategori 4, men styring og regulering tar opp i seg flere parametere. I tillegg til klokke, fotocelle og astrour har systemet luminansmålinger av veibanen slik at det kan regulere ned belysningen mot veinormalens minstekrav. Dette innebærer at belysningen vil dimmes mest ved eksempelvis tørt, klart vær med måneskinn eller ved snø på veien, men også kunne regulere opp ved våt veibane for å tilfredsstille krav til jevnhet. Testsystemer med slik dynamisk regulering etter luminansmålinger er arbeidet med av flere studenter NTNU.



Figur 5.4: Skisse kategori 5, anlegg med elektroniske armaturer og dynamisk dimming.

Tabell 5.1 gir så en oversikt over kategoriene som er beskrevet. Disse kategoriene blir brukt videre i oppgaven.

Gammelt	Nytt	Nattslukking	Trinnvis dimming	Dynamisk dimming
Gammel armatur	Ny armatur	Ny armatur	Ny armatur	Ny armatur
Én inn- og utkobling	Én inn- og utkobling	Flere inn- og utkoblinger	Trinnvis dimming	Dynamisk dimming
Konvensjonell forkobling	Konvensjonell forkobling	Konvensjonell forkobling	Elektronisk forkobling	Elektronisk forkobling
Kun fotocelle	Kun fotocelle	Sentral styring	Sentral styring og regulering	Sentral styring og regulering

Tabell 5.1: Oppsummering styrings- og reguleringskategorier.

5.2 Energiforbruk for kategoriene

Gammelt konvensjonelt

I Norge har det vært et generelt forbud mot bruk av PCB-holdige kondensatorer på 2000-tallet. Som følge av den endelige fristen for veilyssarmaturer 1. januar 2008 har mange eiere av veilysanlegg fått på plass mer moderne armaturer. Det eksisterer likevel mange andre gamle anlegg der lyskildene har høy merkeeffekt. Disse anleggene vil som nevnt tidligere ofte kunne oppnå gode nok lysforhold selv om en eksempelvis erstatter 400 W med 250 W. Effektforbruket per lampepunkt er følgelig høyere enn det trenger å være.

Veilysanlegg som hører hjemme i kategori 1 er beregnet ut i fra eksempel-anlegg av kategori 2 fordi dette er slike anlegg både normtall hos Statens vegvesen og prosjekterte eksempler tilhører. I praksis er det økt et hakk i effekt for lyskildene i beregningene. Eksempler på bytter: 400/250, 250/150, 150/125, 150/100, 100/70 og andre. Praksis som bekrefter eksemplene er Skagerak Energi og et prøveprosjekt hos Statens vegvesen på 4-felts E 18 i nordre Vestfold der en har byttet fra 400 W til 250 W [10].

Sparepotensialet av å bytte til en mindre effektstyrke vil bestemmes av differansen mellom effektstyrkene. Ved stor differanse blir besparelsen opp mot 40 %, men for de mindre effektene vil det innebære ca 25 %. Ved å ta utgangspunkt i beregningstall som tilhører kategori 2 vil sparepotensialet oppleves som presentert feil vei, nemlig mot en løsning der energiforbruket er høyere. Med utgangspunkt i en besparelse på i overkant av 30 % når en bytter fra kategori 1 til 2 vil "økningen" tilsvare 43 % i forhold til kategori 2.

Nytt konvensjonelt

Kategori 2 er rett og slett beregningstallene fra tabell 4.3. Normtallene for årsforbruk i Statens vegvesens håndbok 264 er det enkelt og greit multiplisert med et antatt antall brenntimer per år, 4100. Dette eksempelet benyttes derfor i videre beregninger. Dette er for Oslo og tallet vil naturlig nok være noe høyere når en beveier seg nordover i landet der solen er kortere tid over horisonten.

Nattslukking

Kategori 3, nattslukking, er aktuelt for anlegg som kan styres men ikke reguleres. Slike anlegg er typisk styrt ved at fordelingsskapet inneholder en områdenode, en bryter, som tennes og slukker anlegget etter en tidstabell hos styringssentralen. Anlegget tennes som normalt etter solnedgang men kobles ut et forhåndsbestemt tidsintervall om natten før det det igjen er tent om morgenen når trafikken krever det. Å slukke veilysanlegg om natten vil i utgangspunktet komme i konflikt med kravene til belysning, men for veistrekninger som har belysning til tross for at de ikke har krav kan det være en løsning. Riksveier og fylkesveier skal ha lys i anleggene, og metoden brukes ikke så ofte i sentrum av byer, men kan være særlig aktuell for kommunale veistrekninger med mindre trafikk. Det kan også være naturlig å skille mellom hverdag og helg for tidsintervallet anlegg slukkes.

I forhold til trafiksikkerhet bør nattslukking kun gjøres i timene det er svært liten trafikk. På hverdager har en del kommuner valgt kl 01 til kl 05 og noe forskjøvet for natt til lørdag og søndag. Andre har valgt kortere perioder og færre ukedager, slik som Larvik kommune [11], noe som reduserer besparelsen. Enkelte kommuner har tidvis gått drastisk til verks og slukket for lengre intervall eller sågar all belysning for å spare penger – og fått innbyggere og lokalpresse på nakken. Som grunnlag for beregningene er det brukt 40 uker med slukking. 280 dager med 4 timer slukking gir 1120 færre brenntimer. Og med utgangspunkt i brenntimer fra kategori 2 gir enkel divisjon 27 % redusert energiforbruk. Kortere slukkeperiode som hos Larvik vil da gi tilsvarende mindre besparelse, 200 dager med 3,5 timer gir 17 %, og det motsatte skjer ved å forlenge tidsperioden lyset er slukket.

Dimming, trinnvis

Blant de viktigste insentivene for å investere i styringssystem med toveiskommunikasjon er fremskaffelsen av korrekt energiforbruk. For de fleste veilysanlegg betales det i dag nemlig umålt tariff der forbruket stipuleres fra eksempelvis anleggets overbelastningsvern og brukstiden for belastningen. Frem til 2006 ble brukstiden hos Hafslund satt til 4000 timer og effektgrunnlaget 3 kW ved 16 ampere vern [12]. Med energimåling av veilyskretsen eller i armaturene kan en gå over til målt tariff og spare kostnader fordi en da blir fakturert det faktiske forbruket. Oslo kommune, som er blant de fremste i å ta i bruk moderne styringssystem, hadde i 2008 et energiforbruk på 33,4 GWh for umålte anlegg og 1,6 GWh for gatelys med separate målere [13].

Statens vegvesens håndbok 264 presenter også normtall for energiforbruk for veilysanlegg med nedregulering. Det oppgis at beregning er utført med Chronosense regneark versjon 2.0 og en har beregnet ut fra 50 % reduksjon i lysytelsen i en dimmeperiode 23:00-06:00 og årsvariasjon for Oslo [6]. Chronosense antas å være fra Philips ettersom de leverer en komponent med nettopp dette navnet. Selv om denne komponenten er enkel og dimmer kun et forhåndsprogrammert trinn og periode, er philipsarmaturer utbredt i bruk og beregningen er dermed forholdsvis relevant. Beregningen i håndbok 264 tilsier at en vil redusere energiforbruket med 20-23 % for både MEW2 og MEW3 for alle veieksemplene i tabell 4.1. Reduksjonen er i forhold til belysning i standard 4100 brenntimer.

I Oslo er det installert cirka 6500 lyspunkt med dimming. I følge Bjørn Sandtveit i Hafslund, som til nå har driftet veilyset for Oslo kommune, utgjør dimming omkring 20 % av besparelsen de har oppnådd ved nye armaturer og styringssystem med regulering [14]. Her dimmes anleggene ned til

50 % i tidsrommet kl 00:15-05:30, mens tenne- og slukketidspunkt angis av astroklokke [15].

Pål J Larsen gjør i sin masteroppgave fra 2005 beregninger basert på 70 % lysnivå (30 % reduksjon i lysytelsen) i perioden 24:00-05:00 [16]. Dette gir i henhold til tallene presentert for Oslo så lite som 4 % reduksjon i energiforbruket i forhold til et fotocelleanlegg.

I 2007 skriver Sola kommune at Lyse sine erfaringer tilsier at det ikke er kostnadseffektivt å dimme armaturer med lavere effekt enn 100 W. Dette på bakgrunn av at armaturkostnadene er for høye i forhold til antatt levetid på elektronikken i armaturen [17].

Statens vegvesens nevnte eksempel fra E-18 i nordre Vestfold, med nye 250 W, reguleres ned om natten. Forenklet fremstilt innebærer dette et forbruk på 2500 timer á 275 W (armaturen trekker mer effekt enn bare lyskilden) og 1500 timer á 160 W. Nedreguleringen alene utgjør altså besparelse på 16 %. Nedreguleringen er vurdert til at den ikke sees. Et annet eksempel fra Statens vegvesen er ny belysning i en bygate i Drammen, riksvei 283 Kreftingsgate, der en har installert metallhalogenlamper. Her mener en å ha 20 % besparelse på å benytte 1 cd/m² i stedet for 1,5 cd/m², 7 % besparelse ved at anlegget kjøres på 90 % mens armaturene er nye og 20 % besparelse ved å dimme ned til 60 % lys kl 24:00-05:00. Belysningen synes å være god nok [10].

Saksdokument for Øvre Eiker kommune fra 2005, da en skulle i gang med utskifting av 1300 lamper som ble antatt PCB-holdige, oppgir ca 40 % redusert energibehov ved å bytte fra kvikksølvlamper til natriumlamper, i tillegg 30 % besparelse på dimming og ekstra 15 % redusert dimensjonerende effekt ved at lysstyrken ble opprettholdt gjennom lampens levetid. Utover dette kommenteres det at elektronisk ballast vil fjerne et effekttap på ca 40 % som stammer fra varmetap og reaktiv effekt i mekanisk ballast, noe som ville bli belastet kommunen ved innføring av måling av energiforbruket (oppgitt innført innen 2008) [18]. I forhold til resultater fra andre målinger og beregninger er det overdrevent optimistisk å forvente så store besparelser som saksbehandler her har satt opp. I tillegg ser ut til en at det er en misforståelse i forhold til hva elektronisk forkobling kan spare, sett i forhold til resultatene fra Skjelsvold.

Besparelse av trinnvis dimming vil være avhengig av periodens varighet og prosentnivå. Eksempelet fra Oslo synes å representere en forsiktig nedregulering da en kun har valgt perioden om natten. Et tenkt alternativ kunne være å dimme mer aktivt med flere perioder, eksempelvis dimming først til 70 % lysnivå kl 22:00-24:00 og så ned til 40 % kl 24:00-05:00, for så å regulere opp til 70 % igjen kl 05:00-06:30. Dette vil gi en høyere besparelse da perioden er lengre med delvis mer nedregulerte armaturer. Det er naturlig å velge dimmeplan etter trafikkmengde for den aktuelle veistrekningen. I perioder av døgnet med lite trafikk kan det forsvares å dimme mer, eller senke kravet til belysningen om vi vil. Ved å utnytte alle de nevnte fordelene i et nytt anlegg kan det trolig spares opp mot 35 % med trinnvis dimming, men dette er ikke eksemplifisert gjennom beregninger eller målinger. For standard høytrykksnatriumlamper bør en ikke vente like høy besparelse.

Dimming, dynamisk

Når det gjelder en styringsmetode basert på luminansmeter er det ikke mulig å beregne energiforbruket på forhånd, ettersom anlegget vil reguleres ned og opp etter blant annet værholdene. Energiforbruket må derfor måles over tid for å oppnå korrekte verdier. Videre foreligger det få perioder med slike målinger. Fra anlegget ved NTNU i Trondheim har en registrerte verdier fra

enkelte måneder fra høsten 2004 og våren 2005, mens i Oslo er det en tomåneders periode fra mars til mai 2006 der anlegget i Franzefossveien (i Bærum) både registrerte luminansverdier og ble regulert av disse. At det ikke er flere perioder med logget informasjon forteller mye om utfordringene med testanleggene der det stadig dukket opp større og mindre uregelmessigheter for utstyr, kommunikasjon eller programvare.

Selv om en ikke vet hva slags vær og føre som blir situasjonen kan en likevel gjøre forenklinger og antakelser, og slik sett beregne seg frem til overslag for energiforbruket. Pål J Larsen gjorde i 2005 beregninger på bakgrunn av registrert tallmaterialet fra anlegget ved NTNU og værstatistikk innhentet fra Meteorologiske institutt. For Oslo endte han opp med 3809 brenntimer der anlegget var dimmet ned i gjennomsnitt mer enn 60 % i sommermånedene og mer enn 40 % om vinteren. Beregningene innebar en besparelse på 26 % i energiforbruket i forhold til anlegg uten dimming.

På grunnlag av resultater fra testanlegg i Franzefossveien og målinger av ulike armaturer kom Geir Morten Skjelsvold i sin masteroppgave i 2006 fram til et energisparepotensial på ca 25-30 % for luminansmeterdrift i stedet for fotocelle. Anlegget anses dog trolig å være noe underdimensjonert, noe som begrenser sparepotensialet ved bruk av luminansmeter. Videre skriver Skjelsvold at det er så mange faktorer som påvirker sparepotensialet ved bruk av luminansmeter at det vil være stor forskjell mellom ulike veilysanlegg [19]. Skjelsvold peker også på at en neddimmet armatur er mindre effektiv (lavere lysutbytte) enn en armatur med svakere lyskilde når disse armaturene trekker samme effekt.

Reguleringen av veibelysningsanlegg med luminansmeterdrift vil være meget avhengig av både været og hvordan veistrekningen driftes. På Sør- og Vestlandet blir nedbør i form av snø liggende så korte perioder at et luminansmeter sannsynligvis ikke vil gi større innsparinger. For indre Østlandet og mange områder i Nord-Norge vil derimot snødekte veier i lange perioder være lysere enn veidekket er i utgangspunktet og dermed representere et høyt reguleringspotensial. Men trafikkmengde og tilhørende drift vil legge en demper på sparepotensialet for mange veier, siden stor trafikkmengde og/eller salting av veien vil oppheve mye av den lysheten snøen skaper.

5.3 Sparepotensial mellom driftsløsningene

Sparepotensialet vurdert for de ulike kategoriene er her oppsummert i tabell 5.2.

(Kurveill. 1)	(Kurveill. 2)	(Kurveill. 3)	(Kurveill. 4)	(Kurveill. 5)
Gml.konv.	Nytt konv.	Nattslukking	Dimming, trinn	Dimming, dyn.
Anlegg uavhengig geografi	- 25-40 %			
	Anlegg Oslo	- 15-30 %	- 15-35 %	- 20-30 % ?
	Anlegg Tromsø	- 15-30 %	- 15-35 %	- 20-40 % ?

Tabell 5.2: Sparepotensial i prosent mellom driftsløsningene.

Når en skal anlegge, rehabilitere eller endre et veilysanlegg vil eieren vurdere krav til belysningen og muligheter innen drift opp mot kostnadene det medfører. I motsetning til en kontorbygning, der det er en kjent sak at den som bygger oftest ikke er den som skal betale leiekostnadene, vil det for veilysanlegg ofte være samme eier som skal betale investeringen og driften etterpå. Dette gjør det

mer aktuelt for eier å se kostnadene i sammenheng og dermed utnytte blant annet ENØK-tiltak.

I tillegg vil anlegg i kategori 4 og 5 kunne gi svært gode muligheter for monitorering, gjennom overvåkning av armaturene, og dermed effektivisere deler av driften som må gjøres manuelt for enklere anlegg.

Investering i et anlegg av kategori 4 vil innebære styrings- og reguleringsnoder som er de samme som for anlegg i kategori 5. Slik sett er det kun styringssystemet som må endres for å konvertere til et anlegget i tillegg til implementering av luminansmeter. Per i dag er luminansmeterutstyr svært dyrt og det er fortsatt et behov for testing av slike systemer før en med sikkerhet kan angi besparelsen med dem. Ettersom luminansmeterdrift er usikkert og ikke tilgjengelig kommersielt er det utelatt fra beregningene i tabell 5.3. I beregningene for sparepotensial i tabellen er det valgt å benytte konservative anslag av besparelse. Fordelen er stor grad av sikkerhet i at en minst kan spare resultatene som kommer frem.

		Gml. konv.	Nytt konv.	Nattslukking	Dimming, trinn	Dimming, dyn.
	Brenn-timer	4100	4100	3400	4100 (dim)	4100 (dim)
		Høyere forbruk + 43 % (fra kat.2)	Utgangspunkt	Besparelse – 17 %	Besparelse – 20 %	Ikke hyllevare (– 25 %)
Belysnings-klasser		Ekstra forbruk [kWh/km/år]	Beregningstall * brenntimer [kWh/km/år]	Besparelse [kWh/km/år]	Besparelse [kWh/km/år]	Besparelse (usikker) [kWh/km/år]
S1	MEW3	8110	18860	3206	3772	4715
	MEW2	10578	24600	4182	4920	6150
S5	MEW3	12341	28700	4879	5740	7175
S6	MEW3	14104	32800	5576	6560	8200
S7	MEW3	14986	34850	5925	6970	8713
S8	MEW3	14986	34850	5925	6970	8713
S9	MEW3	16749	38950	6622	7790	9738
Sa1	MEW4	6171	14350	2440	2870	3588
Sa2	MEW3	8815	20500	3485	4100	5125
	MEW2	10578	24600	4182	4920	6150
A1	MEW5	5289	12300	2091	2460	3075
Gate	MEW3	10578	24600	4182	4920	6150
	MEW2	14104	32800	5576	6560	8200

Tabell 5.3: Besparelser i energiforbruket per km per år stilt opp etter veitype og driftsløsning.

I tabellen vil verdiene for energiforbruk være en indikator på hvor store besparelsene er mellom ulike driftsløsninger. Veitypene illustrerer omtrent hvordan besparelsene vil være avhengig av veien der veilysanlegget befinner seg, men tabellen fungerer også som en skala hvis en beregner en konkret vei. Prosentsatsene i tabell 5.3 kan ikke legges sammen eller brukes på et tilfeldig gammelt anlegg. Da må en gjøre vurderinger for den aktuelle veien og forholde seg til tabell 5.2 og infoen som ligger til grunn for den.

6 Status fremtidige løsninger

6.1 Andel intelligent veibelysning i Norge

Underveis i arbeidet med oppgaven er det forsøkt innhentet informasjon om omfang av veilyspunkter og hvordan disse styres i dag. Det er valgt å ta direkte kontakt med de selskapene som leverer driftstjenester til et større geografisk område og dermed sitter med informasjon om et større antall lyspunkt enn hver enkelt kommune som har eier- og driftsansvar kun for sitt område. Informasjonen er presentert i vedlegg 2. Det foreligger ikke noen sentral eller fullstendig oversikt over vei- og gatebelysning i Norge, noe som bekreftes av FoU-prosjektet "Luminansmeter" som heller kjenner til noen nøyaktig registrering av utendørsbelysning i Norge [1]. Noen overslag finnes dog, men cirka 1 million gatelys [20] forblir et tall en bør ta med en stor klype salt.

En ting som kommer frem i oversikten er indikasjoner på hvor mye (lite) av veilysanleggene som har elektronisk forkobling per i dag og hvordan veilysanleggene styres og reguleres. Det er delte meninger blant dem som har besvart spørsmålene om sine veilysanlegg. Flere større selskaper investerte tilbake i tid styringssystem basert på personsøkertjenesten. Da Telenor plutselig bestemte seg å legge ned tjenesten kjøpte disse selskapene rett og slett sendemaster til fortsatt å kunne styre veilyset. BKK styrer eksempelvis veibelysningen i Bergen med seks slike sendere. Dette innebærer enveiskommunikasjon der en fra styringssentralen angir tidspunktene for tenning og slukking av veilyskretsene som er utstyrt med mottaker.

6.2 LED

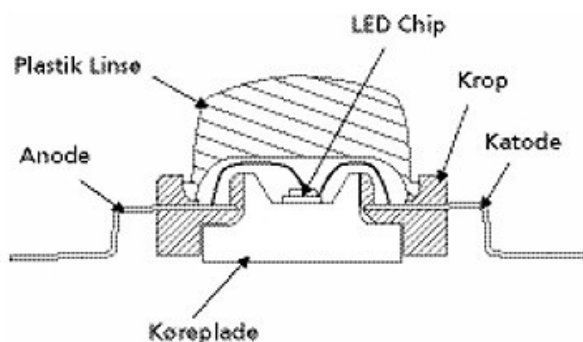
Light Emitting Diode, lysemitterende diode, eller lysdiode eller LED, er spådd å revolusjonere belysningsmarkedet i årene som kommer på grunn av anvendeligheten og redusert energiforbruk. LED har siden 70-tallet vært i bruk i forbrukerelektronikk, da typisk som røde, orange, gule og grønne indikatorer. På 90-tallet kom gjennombruddet for blå lysdioder, som ble avgjørende for utviklingen av hvite lysdioder, og utover 2000-tallet har effektiviteten og lysutbyttet økt i rask takt.

Lysutbyttet for LED-lyskilder på markedet ligger i dag på 50-60 lm/W, det vil si omkring effektiviteten til sparepærer [21]. Sammenligner en med lyskilder for veilyset leverer Philips høytrykk natriumlamper som gir 150 lm/W [22].

Lysdioder er små halvlederdiode der selve halvledermaterialet sender ut energi i form av synlig stråling når elektrisitet sendes gjennom det og ladningsbærerne, hull og elektroner, rekombinerer parvis. Halvledermaterialets grunnstoffer og blandingsforhold samt belegg bestemmer fargen på lyset [23].

Konstruksjonen som vist i figur 6.1 gjør lysdioder mekanisk robuste. Andre gunstige egenskaper i forhold til fremtidig bruk i veibelysning er lang levetid, umiddelbar full styrke ved tenning, de er fullt dempbare og tåler kulde. På den andre siden er lysdioder små og lyser fremover i én retning, noe som gir utfordringer for utformingen ved belysning av en stor flate som en veibane. Per i dag er likevel den største utfordringen lysstyrken, som foreløpig ikke er kraftig nok til veilyset, jevnheten i

produksjonen, som varierer for mye og ikke minst prisnivået per lumen, som ligger 20-40 ganger høyere enn tradisjonelle lyskilder [24].



Figur 6.1: Skisse av hvordan LED er konstruert [24].

Siteco har en LED-gatelys ute på markedet med nytt, buet design og 86 LED montert. Levetiden er oppgitt til 50 000 timer, men eksempelet i brosjyren bruker kun 6 meter høy mast, sannsynligvis for å oppnå sterk nok belysning på bakken. Prisen er oppgitt til over 6000 Euro [25].



Figur 6.2: Illustrasjoner av LED-gatelys fra Siteco [25].

Håndbok 264 tar opp LED i delkapittel 7.4. Her beskrives noen muligheter og erfaringer av lysdioder i bruk langs veier. Plassert som ledelys langs veien gir LED-lyset meget god optisk ledning både i dårlig vær og i områder med forstyrrende lys i nærheten. LED kan vurderes som et alternativ til belysning og i områder der en ønsker minst mulig forstyrrende elementer kan det være hensiktsmessig med lysdioder fremfor normal belysning. Ved bruk av LED i veibanen i linjemerkingen skal en benytte samme farge som merkingen, gult eller hvitt, og det samme gjelder for kantstolper, som skal ha hvitt lys. LED har lavt effektforbruk og en lavere investeringskostnad enn veilyt og forventet levetid er minst 10 år. Men selv om lysdioder gir god optisk ledning krever det mer intensiv vedlikehold i form av feiling og spyling i vinterhalvåret. Problemer med strømbrudd og knuste dioder har også forekommet. I Sverige har en på motorveistrekninger erstattet veilyt med med LED som ledelys. LED-armaturer med fire-fem dioder er plassert på 1,2 meter høye stolper i midtrabatten og disse har et effektforbruk på ca 1,5 W per armatur [6].

7 Styresystemer intelligent veilyys

7.1 FoU-prosjekt med luminansmeter

NTNU deltar sammen med Samferdselsetaten i Oslo kommune, Statens vegvesen og Luminext i et FoU-prosjekt om utvikling av intelligent veibelysning med luminansmålinger. Gjennom å ta i bruk instrumenter som kontinuerlige gjør målinger av luminansverdier fra veibanen ønsker en å regulere veilysanlegg ned mot minimumskravene for belysning i veinormalen og på den måten oppnå tilfredsstillende belysning og samtidig mest mulig energibesparelse. Hos NTNU Elkraftteknikk har det vært gjort flere masteroppgaver innen temaet på 2000-tallet. Det er etablert 3 anlegg med luminansmåler, eller "luminansmeter" om vi vil, der ett er plassert i Høgskoleringen ved NTNU i Trondheim og to i Oslodistriktet.

Anlegget i Høgskoleringen i Trondheim består av 11 veilyspunkt der armaturer og innholdet i dem er levert av Philips. Det er elektronisk forkobling (ballast) og 150 W høytrykks natrium lyskilder. Styrings- og reguleringssystemet er Philips sin første versjon av Starsense og utgjøres av lampenoder i hver armatur som kommuniserer over powerline med områdenoden som er plassert i et fordelingskap i kjelleren på Realfagbygget.



Figur 7.1: Bilde fra Høgskoleringen der luminansmeter har vært montert [26].

Philips leverte også et eget program for å håndtere styringen av Starsense, nemlig Unilon. Dette programmet må nevnes at har gitt flere av masterstudentene som har jobbet med anlegget mye hodebry [16][19].



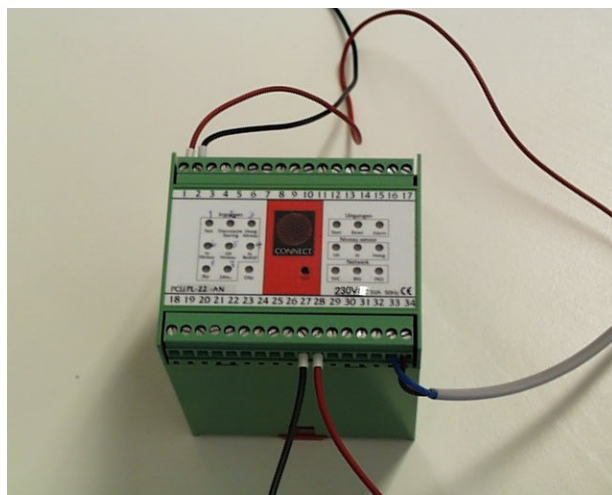
Figur 7.2: Kartskisse fra Unilon som viser plassering av armaturer i Høgskoleringen.

Luminansmålerne som benyttes i anleggene er utarbeidet i samarbeid mellom NTNU Institutt for elkraftteknikk og SINTEF. Det første som ble laget er en strømvariant, der instrumentet gir et strømsignal som så må oversettes til den tilhørende luminansverdien. Dette instrumentet har vært oppmontert i Høgskoleringen ved NTNU. De to neste instrumentene ble konstruert som spenningsvariant der signalet fra instrumentet er en spenning i området 0-5 V. Per februar 2009 er disse plassert i Franzefossveien i Bærum og i Løypeveien på Oppsal i Oslo.



Figur 7.3: Bilde av luminansmeter utviklet av ved NTNU og SINTEF [26].

For å benytte luminansmålingene i styringen av anlegget er det benyttet en Process Controll Unit (PCU). PCU-en nyttes til flere oppgaver og programmeres deretter. For det første tar den inn det analoge signalet fra luminansmeteret, for det andre inneholder den selve programmet for regulering etter luminansmålinger og for det tredje gir den verdier på variabler som et sentralt styresystem kan lese.



Figur 7.4: Bilde av PCU [26]

Anlegget i Franzefossveien i Bærum består av 22 veilyspunkt og har vært pilotprosjekt for Luminext sitt styresystem. Armatur, forkobling og lyskilde er levert av Multilux. Løypeveien på Oppsal i Oslo er en meget kort vei og har kun 2-3 veilyspunkt. Her var fra begynnelsen av de målte luminansverdiene for lave, sannsynligvis fordi anlegget er underdimensjonert, og det har ikke vært i skikkelig drift etter montering [19].

Den opprinnelige planen for denne masteroppgaven var å analysere måledata fra anleggene med luminansmeter. Omstendighetene ville det slik at ingen av anleggene gav de data som trengtes. På bakgrunn av tidligere rapporter ble det festet mest lit til anlegget i Franzefossveien, siden Løypeveien ikke hadde fungert og software var en barriere for anlegget i Høgskoleringen.

Anlegget i Franzefossveien ble etterspurt sommeren 2008 og kommunikasjon og logging ble sjekket opp av Ingar Pedersen hos Luminext som håndterer programmering av styresystemet – men luminansverdien var 0, en meningsløs verdi. For å få tilgang til videre nødvendig "støttearbeid" var det nødvendig med en økonomiavklaring fra FoU-prosjektet. Dette kom på plass og videre undersøkelser kunne iverksettes. Det viste seg at måleinstrumentet ikke hadde sendt data siden april. Etter runder med restarting, både software over nettverk og hardware ved fysisk besøk, ble det tidlig i oktober konkludert med en diskfeil på i.Lon-komponenten som en av årsakene. Luminansmeteret ble også tatt inn av Pål J Larsen hos Norconsult og lufttørket for dugg. I november ble det gjort nye forsøk med å laste inn programkode, men status forble at kommunikasjon var OK mens målingene var dårlige.

Luminansmeteret med tilhørende PCU i Høgskoleringen ble også tatt inn da det var dogg på innsiden av glasset. Instrumentet ble tatt inn og lufttørket. I kontrollerbare omgivelser på laben ble det satt i gang arbeid der programmet i PCU-en ble gjennomgått.

Skalering

Med god hjelp fra veileder Eilif H Hansen ble LonBuilder tatt i bruk for å sjekke både analoge og digitale signaler som PCU-en behandlet. PCU tar inn strømsignal fra luminansmeteret og sender et annet signal videre over powerline. Det er dette signalet som leses av programvare i styringssentralen, og i vårt tilfelle LonMaker og Unilon. Ved å sette opp PCU mot LonBuilder der en kan overvåke signalverdiene i en såkal browserfunksjon kan en finne en korrekt skala. PCU ble

satt opp med en strømsignalkilde bestående av et 9-volts batteri og en variabel motstand slik at strømsignalet kunne kontrolleres nøyaktig. Resultatene i tabell 7.1.

Strømsignal sendt inn på PCU [mA]	Signalverdi som PCU sendte på powerline
5,13	1055
6,00	1233
7,00	1437
8,00	1644
9,00	1848
10,00	2054
11,00	2259
12,00	2463
13,00	2670
14,01	2877
14,85	3047

Tabell 7.1: Strømsignal inn og powerlinesignal ut ved testing av PCU.

Skalaen blir som følger: Signalverdien som PCU sender på powerline er strømsignalet multiplisert med en faktor på 206.

Kalibrering

Pål J Larsen oppgir i masteroppgaven sin våren 2005 at forholdet mellom strøm og luminans er som følger: $I = 4,36 + 1,56 * \Delta L$ [mA]. Dette er antakelig på bakgrunn av teoretiske verdier benyttet i konstruksjonen av luminansmeteret. Registreringsenheten oppgis å håndtere verdier opp til 20 mA. Måleintervallet for luminans skal gå til 10 cd/m². Mørkestrømmen ble målt til 4,36 mA. Dette gir at måleintervallet fordeles på strømdifferansen 20 mA – 4,36 mA = 15,64 mA. Dermed får en 15,64 mA / 10 cd/m² = 1,56 mA/cd/m² som forhold mellom luminans og strøm.

Ved ny kalibrering av luminansmeteret tidlig i desember 2008 ble mørkestrømmen verifisert til å være 4,36 mA. Metningsstrømmen ble derimot målt til å være 16,2 mA. For å sjekke forholdet mellom luminans og strøm ble det utført en måleserie der en halogenlampe med variac som spenningsforsyning ga økende lysfluks mot måleflaten for luminansmålingene, og en måleserie med taklyset som lyskilde. Luminansmeteret fikk sin spenningsforsyning fra en laboratoriekraftforsyning og ledningen ble jordet for å minske støy og signalpåvirkning. Strømsignalet fra veiluminansmeteret ble målt med Fluke 179 og reelle luminansverdier ble målt med Minolta Chroma meter CS-100A. Resultatene gav kurver som begge var noen lunde lineære, men Minolta kameraet målte høyere luminans fra halogenlampen enn fra taklyset ved samme strømsignal fra veiluminansmeteret. Årsaken til dette ligger i ømfintligheten i fotocellen i luminansmeteret. Halogenlampen gir en del mer lys i den røde enden av skalaen for synlig lys.

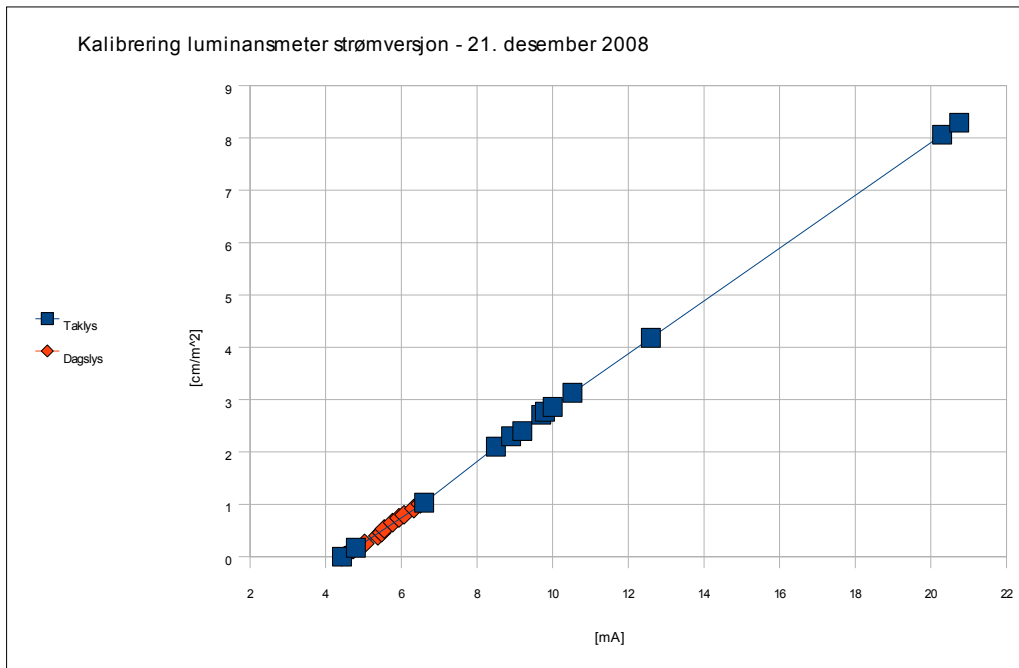
Den første måleserien ble gjort uten å fokusere Minolta-instrumentet, mens måleserie nummer to var med riktig fokusering. Test av ulike fokuseringer med Minolta kameraet viste at på kort avstand (1 meter) hadde fokus ingen ting å si for luminansmålingene. Det antas at det samme vil gjelde for veiluminansmeteret, at forskjellen på måling på 1 meters avstand eller 30 meter ikke påvirker

verdien mer enn akseptabelt. Hvis været innebærer tett sludd- eller snøbyger eller det er tett tåke kan en spekulere i om dette vil påvirke målingene siden luften mellom instrumentet og veibanen vil inneholde mange partikler som kan reflektere lys mot instrumentet. Antakelig vil målingene i slike tilfeller, hvis de er feil, være for høye i forhold til behovet som veibanen representerer.

Ved testingen av veiluminansmeteret innendørs viste strømsignalet seg å være noe ustabil. Strømforsyningen til instrumentet ble reparert av Vladimir Klubicka på servicelaben på Elkraftteknikk og ny oppdatert kalibrering ble utført 21. desember 2008. Her ble mørkestrømmen målt til 4,42 mA og metningsstrømmen til 23,23 mA. Det ble gjort en måleserie med taklys og en med dagslys. Tallverdier i tabell 7.2.

Taklys		Dagslys	
Strømverdier fra veiluminansmeter [mA]	Luminansverdier [cd/m ²]	Strømverdier fra veiluminansmeter [mA]	Luminansverdier [cd/m ²]
4,42	0	4,42	0
4,8	0,17	4,5	0,02
6,6	1,03	4,64	0,1
8,5	2,1	4,73	0,14
8,9	2,3	5,03	0,25
9,2	2,4	5,38	0,4
9,7	2,71	5,48	0,46
9,8	2,77	5,55	0,53
10	2,86	5,77	0,65
10,52	3,13	5,94	0,74
12,6	4,18	6,07	0,8
20,3	8,06	6,33	0,92
20,75	8,29	6,5	1,01
23,23	metning		

Tabell 7.2: Strømsignal fra veiluminansmeter og tilhørende korrekt luminansverdi.



Figur 7.5: Graf som illustrerer at tallverdiene i tabell 7.2 utgjør en lineær kurve.

Tallverdiene gir tilnærmet en lineær kurve, noe som indikerer et jevnt stigningstall. Den riktige omregningen mellom veiluminansmeteret og strømsignal blir da: $I = 4,4 + 2,0 * \Delta L$ [mA].

Arbeid med styringsprogram i PCU

Styringsprogrammet for anlegget i Høgskoleringen er lagt til PCU da styresystemet fra Philips, som utgjør de andre kommunikasjonsnodene og styringssentral, ikke har mulighet for den nødvendige dynamiske reguleringen som luminansmeteret gir anledning til. Det ble arbeid en del med dette styringsprogrammet underveis i masteroppgaven men det foreligger ikke resultater med relevans for denne rapporten, derfor tas det ikke inn.

7.2 Leverandører av styresystemer for veilyst i Norge

Innledning

Det er til dels krevende å finne ut av detaljer om styresystemene som leveres. Brosjyrer og informasjon på leverandørenes websider beskriver naturlig nok kun de positive sidene og mulighetene løsningen deres kan utføre. De følgende beskrivelsene er basert på tilgjengelig informasjon. I vedlegg 1 fremkommer det en mer detaljert oversikt som sammenstiller Philips, Thorn, Siteco, Luminext og Datek. Leverandørene som er presentert har alle levert anlegg i Norge. Det finnes også andre leverandører, så som Harvard & LeafNut. Comlight på sin side er ferske og har et nytt konsept for styring. I tillegg kommer Nidaros Elektro som leverer et system med enveiskommunikasjon.

Philips Lighting

Philips Lighting er en del av det meget store nederlandske industrikonsernet Philips Electronics,

som er verdens største produsent av lyskilder og blant verdens største produsenter av forbrukerelektronikk [27]. Philips Lighting har en historie helt tilbake til hovedselskapets opprinnelse med produksjon av primitive glødelamper på slutten av 1800-tallet. Philips har hele tiden vært markedsorientert med fokus på innovasjon [28].

Philips har i 2008 kommet med en oppgradert versjon av sitt *Starsense* styringssystem. Starsense består av en produktserie utviklet for styring av vei- og gatebelysning. Produktserien består av lampenode (OLC), områdenode (SC) og sentralstyringsprogram (CMS). Starsense benytter LonWorks som kommunikasjonsprotokoll og powerline som medium mellom OLC og SC. Mellom SC og CMS benyttes en internettforbindelse, typisk GPRS. Philips er en stor produsent av lyskilder, ballaster og armaturer og vil dermed kunne levere totalløsning som dekker hele behovet. Hele avsnittet er basert på informasjon fra Philips [29]. I motsetning til første versjon av Starsense vil ny områdenode være én komponent, en i.Lon e4 fra Echelon, som programmeres av Philips. Gamle lampenoder kan oppgraderes softwaremessig og fungere i Starsense 2 [30].



Figur 7.6: Bilder av henholdsvis lampenode, områdenode og skjermbilde som utgjør Starsense 2.

Samme leverandør øker sannsynligheten for at utstyrskomponentene er tilpasset hverandre slik at de fungerer korrekt sammen ved drift. Og det kan også være enklere for innkjøpere med liten kompetanse å benytte en totalleverandør.

NTNU Elkraftteknikk har på 2000-tallet hatt flere masterstudenter som har arbeidet med prosjekt- og masteroppgaver i tilknytning til styring av veibelysning. I denne forbindelse er den forrige versjonen av Starsense benyttet både innendørs på lab og utendørs i testanlegg ved NTNU. I rapportene som er skrevet kommer det dog frem flere avvik som har komplisert arbeidet. Da en testet energimåling kom en frem til at lampenoden målte 11 % feil mens Philips oppgav 2 % feilmargin [31]. Dataarket tilhørende lampenoden sier at spenning og strøm måles samtidig og lagres for at effektforbruket deretter beregnes, samt faseforskyvning. I følge rapportene blir derimot energien beregnet som en verdi etter hvilken dimmeprosent som angis [16].

Det er likevel styringsprogrammet *Unilon* som har medført mest frustrasjon for studentene. Denne programvaren må sies å ha vært direkte underutviklet når en leser om alle problemene som er knyttet til bruken [26] [32]. I Starsense 2 er Unilon byttet ut med Supervisor Software, dette er ikke testet på noe vis i Trondheim. Philips har i liten grad svart på henvendelser om informasjon.

Philips har ikke svart henvendelser og det er derfor ikke oppdaterte detaljer for hvilke forbedringer Starsense 2 representerer i forhold til første versjon av Starsense.

Thorn Lighting

Thorn Lighting har en historie tilbake til 1928 med produksjon av glødelamper i England. Fra og med 2000 har de vært en del av Zumtobel Group, en av de største i Europa og globalt tilstedeværende innen belysning [33].

Thorn Lighting har per januar 2009 levert tre anlegg i Norge med sitt utendørs styringssystem Telea, som er utviklet sammen med søsterselskapene i Østerrike, Luxmate og TridonicAtco [34]. Thorn Lighting er leverandør av både armaturer med alt innhold og eget styre- og reguleringsystem. Styresystemet kan også implementeres i eksisterende anlegg da typisk med lampenoden i masten.

Lampenoden fra Thorn leveres i ulike varianter avhengig av hvordan anlegget skal styres- og reguleres. Det kan velges en løsning med magnetisk ballast som kun har av- og påstyring. For elektroniske ballaster leverer Thorn både ett-trinns spenningsreduksjon og trinnløs dimming. For trinnløs dimming kan en enten velge en kommunikasjonsløsning over powerline eller en løsning med over radiofrekvens mellom områdenoden og armaturene. For powerline har Thorn valgt en proprietær protokoll. Dette vanskeliggjør integrering med andre systemer. Når det gjelder RF-systemet som leveres er det egenutviklet av Thorn og Tridonic. Anlegget nevnt i tabell 4.2, Snarøyaveien, er pilotanlegg med Telea på Fornebu, som vi ser et bilde fra i figur 7.7. Dette anlegget benytter powerline, mens to anlegg på vestlandet, i Deknepollen og Førde, benytter radiofrekvens som kommunikasjonsmedium.



Figur 7.7: Ved gamle Fornebu lufthavn er det installert et anlegg med ca 300 armaturer fra Thorn.

Mellom lampenoden og ballasten benyttes DALI. Thorn har valgt å droppe 1-10 V da dette anses som en standard på vei ut. Ved dimming vil lysnivå være definert i % av fullt lysutbytte [34].

Områdenoder kalles Combox og plasseres typisk i fordelingsskap for anlegget. Opptil 255 lyspunkter kan kontrolleres og overvåkes fra en Combox. Feilmeldinger kan sendes direkte til eksempelvis mobiltelefon hos vedlikeholdsmannskap over GSM-nettet. Combox utstyres også med nettverkstilgang for bærbar PC. Fra Combox og til styringssentralen, Central Management (CME), brukes internett og TCP/IP for kommunikasjon [34].



Figur 7.8: Til venstre en armatur med lampenode og til høyre en tavle med områdenode og tilhørende kommunikasjon fra Thorn

Telea CME danner kjernen i nettverket og gir tilgang til info via vanlig webprogram. På en sentral server logges data og hendelser slik at en kan analysere på detaljnivå i ettetid. Hver server har kapasitet til å støtte inntil 100 Combox-er og en kan i tillegg koble flere servere i et nettverk. I CME kan en tilpasse innstillinger for distribusjon av driftsmeldinger. Infoen fra anlegget lagres i OPC- eller SQL-databaser som igjen kan levere info til overordnet administrasjonssystem [mail]. Telea CME kan også skreddersys med eksisterende GIS-system hos kunden.

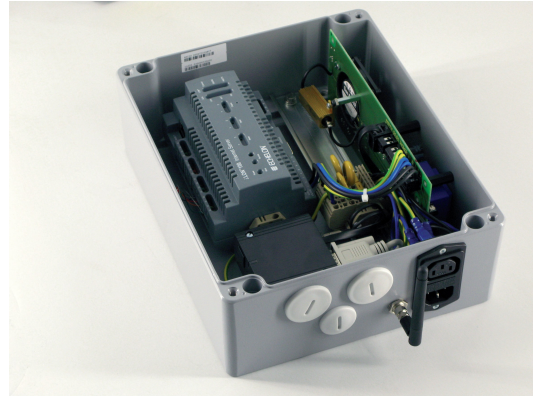
Thorn har inngått et samarbeid med Comlight, et lite nytt selskap i Østfold. Comlight utvikler et konsept der veilyset dimmes ned når det ikke er trafikk, men øker belysningen når trafikk detekteres. Comlight beskrives nærmere senere.

Siteco

Siteco ble etablert i 1949 i industrikonsernet Siemens, med utspring i belysningsteknologien der. Siteco gikk ut av Siemens i 1997 og tok da sitt nåværende navn. Lyskildeprodusenten Osram, som er den andre ledende produsenten av lyskilder i verden ved siden av Philips, er for øvrig fortsatt et heleid datterselskap i Siemens [35]. Den norske avdelingen hos Siteco startet opp i 1999 med folk fra blant annet belysningsavdelingen til Siemens i Norge.

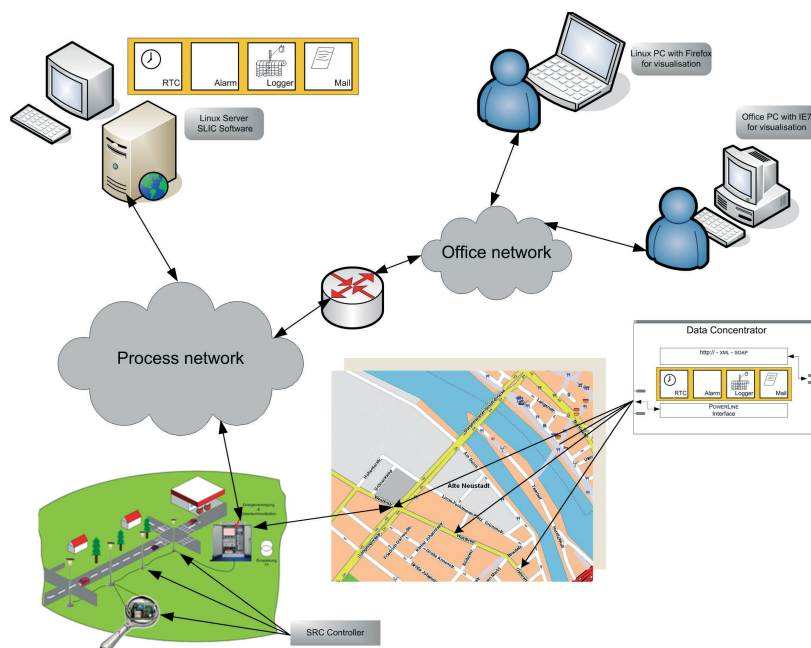
I motsetning til Philips og Thorn produserer ikke Siteco ballaster eller lyskilder, men baserer seg på å levere armaturer med disse komponentene fra Philips eller Osram. Grensesnittet mellom lampenode og ballast er per i dag 1-10 V, men DALI vil komme på plass i løpet av 2009. Osram vil i løpet av 2009 ha leveringsklar en ballast med DALI og da bli et alternativ for Siteco [36].

Siteco Light Control baserer seg på åpne standarder for kommunikasjon. Lampenoden, med enhetsnavn 5EA3CLA, måler 18 x 7,5 x 5 cm og benytter LonWorksteknologi over powerline. Det benyttes ANSI/CEA 709.2 som protokoll for kommunikasjon med åpne nettverksvariabler mellom lampenode og områdenode. Lampenoden lagrer 48 timers driftsdata og styrer etter dette ved eventuelt brudd på kommunikasjon.



Figur 7.9: Til venstre lampenoden fra Siteco og til høyre områdenode med kommunikasjon.

Områdenoden, DCD100 Communication Module 5EA1BLM, består blant annet av en i.Lon100 som lagrer informasjon i tilfelle utfall av kommunikasjon med styringssentralen. Dette sikrer både styring og regulering av anlegget og logging av driftsinfo slik at anlegget kan fungere autonomt. For kommunikasjon mellom DCD100 og sentral server brukes standard IP-teknologi, noe som åpner for å bruke standard komponenter som støtter GSM, GPRS, fiberoptikk eller bredbånd [36].



Figur 7.10: Skisse fra Thorn som beskriver arkitekturen i styringssystemet.

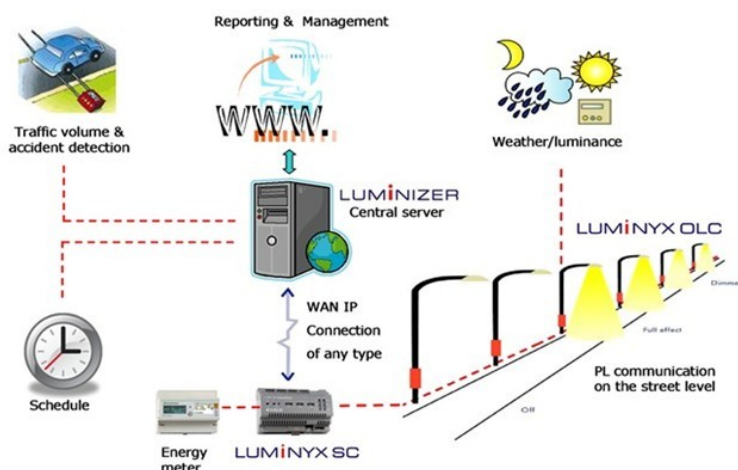
Styringssentralen hos Thorn er en server med SLIZ software installert. Det benyttes XML eller SOAP over internett slik at vanlige webprogrammer kan lese og benytte data. Åpne protokoller muliggjør integrasjon med andre administrasjonssystemer, så som vedlikehold, trafikkteiling eller parkeringsautomater [37].

Luminext

Luminext er norsk selskap og har utviklingsavdeling på Kongsberg og hovedsalgsavdeling i Nederland. De kan regnes blant pionerene på toveiskommunikasjon for veibelysning siden tidlig på 2000-tallet med bakgrunn i samarbeidet med Hafslund og Oslo kommune. I Oslo har en etablert

både flere pilotprosjekter og større anlegg der armaturer styres av systemløsningen til Luminext. Oslo regnes for å være blant de fremste på verdensbasis som er kommet lengst i å ta i bruk intelligent styring av veibelysningen [38].

Mens de store internasjonale selskapene innen belysning, så som Philips og Thorn, leverer både både armaturer, ballast, lyskilde og et tilpasset styringssystem, er Luminext kun leverandør av styringssystemet bestående av kommunikasjonsnoder og styringssentral. Nodene har fått navnet Luminyx mens styringssentralen Luminizer. I Norge er det Luminext som har flest anlegg og armaturer som reguleres av deres styringssystem med over 5000 armaturer installert. Broparten av disse er i Oslo.



Figur 7.11: Skisse fra Luminext over arkitekturen for styringssystemet.

Luminext leverer systemløsning for styring av veibelysning basert på LonWorks over powerline mellom områdenode og lampenodene. Protokollen som benyttes er ANSI 709.2. Lampenoden, Outdoor Lamp Controller (OLC), kan plasseres både i armatur eller i masten og er i stor grad uavhengig av ballastprodusent da den har grensesnitt for både 1-10 V, DALI og spesifikk for eksempelvis SELC og Metrolight. Flexibiliteten i forhold til ballast og armatur gjør systemet til Luminext implementerbart i belysningsanlegg fra ulike leverandører.



Figur 7.12: Bilde av OLC130, lampenoden, til Luminext.

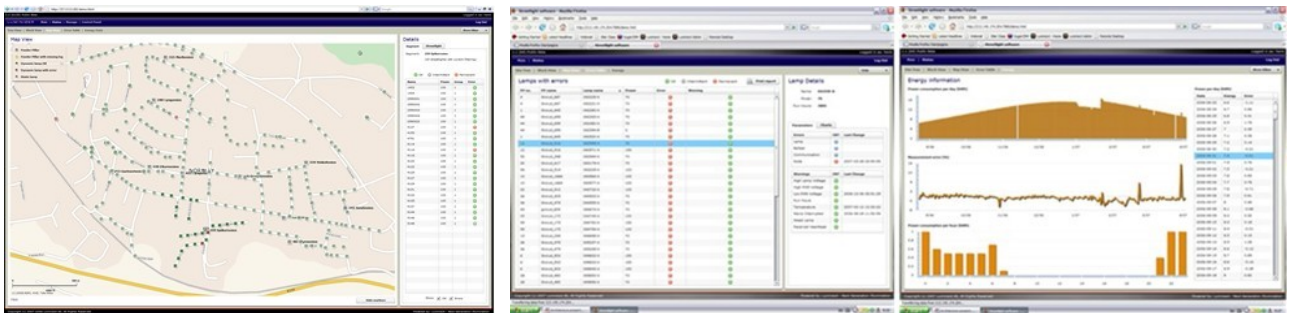
Til områdenode, Segment Controller (SC), benytter Luminext en i.Lon 100 e3/e4 Internet Server som de utvider softwareinnholdet i. Denne har lagret informasjon for å drifte anlegget selv om kommunikasjon med styringssentralen ikke fungerer. Kalender og astronomisk ur vil da bestemme styringen. Ved avbrudd i kommunikasjon med styringssentral kan logget data for opptil fire uker lagres og en unngår dermed å miste info. Ved forhåndsprogrammerte alarmsituasjoner, typisk for

armatur eller kommunikasjon, kan SC sende SMS og e-post om dette. Mellom SC og styringssentral benyttes internett og TCP/IP som protokoll. SC takler både rask forbindelse som bredbånd og løsninger der en bør begrense trafikken, eksempelvis GPRS.



Figur 7.13: Bilde av områdenoden som Lumindex bruker.

Luminizer Software består av fire deler; databehandling, analyseverktøy, grensesnitt mot annen programvare og presentasjon. Luminizer installeres på en server og samler inn data, fra alle SC som knyttes til, i en SQL-database. Fra databasen brukes dataene i sammenstillinger og beregninger for å identifisere unormaliteter og vurderinger av driften. Dataene er tilgjengelig for eksempelvis vedlikeholds- og GIS-systemer via webteknologi som SOAP og XML. Presentasjon, bruk og endringer i driftssituasjon gjøres i et vanlig webprogram.

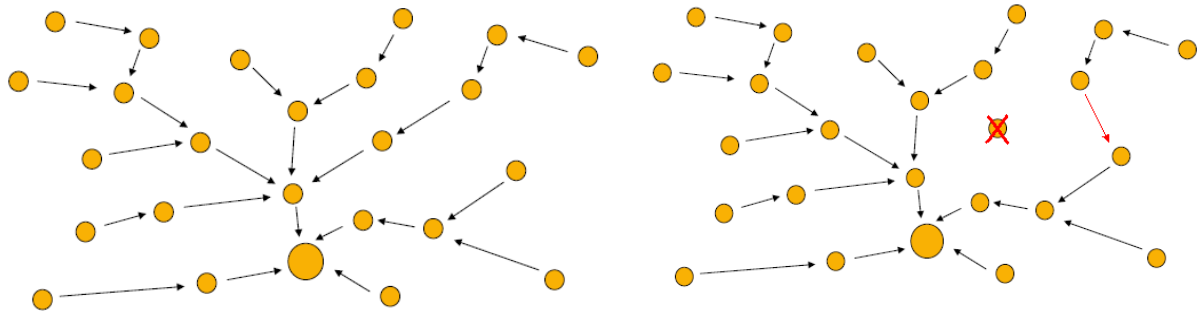


Figur 7.14: Skjermbilder fra styringsprogrammet (webapplikasjon) hos Lumindex.

Datek Wireless

Datek er et norsk selskap, etablert i 1987, og er plassert i teknologiparken på Kjeller. Kjerneområdet er maskin til maskin-kommunikasjon ("M2M") der de leverer maskinvare, programvare og driftsetting av løsninger innen blant annet flåtestyring, datainnsamling, mobile tjenester og lysstyring [39].

Datek benytter trådløs kommunikasjon mellom lampeknoder og områdenode. Kommunikasjonen er basert på ZigBee. ZigBee er åpen protokoll som benytter alle nodene i systemet som kommunikasjonsnoder slik at driftsikkerheten er høy selv om enkeltknoder faller ut. ZigBee er tatt i bruk av mange aktører, både store og små [40].



Figur 7.15: Illustrasjon av automatisk endring av kommunikasjonsvei i ZigBee ved utfall i en node.

Dateks lampenode gjør målinger i enheten, og ikke i ballasten, og kan dermed benyttes sammen med ulike leverandører av ballaster så lenge de har 1-10 V eller DALI for dimming. I samarbeid med armaturleverandør gjøres det tilpasning i hvert enkelt tilfelle. Som vist i figur 7.16 bygges gjerne enheten sammen med ballasten.



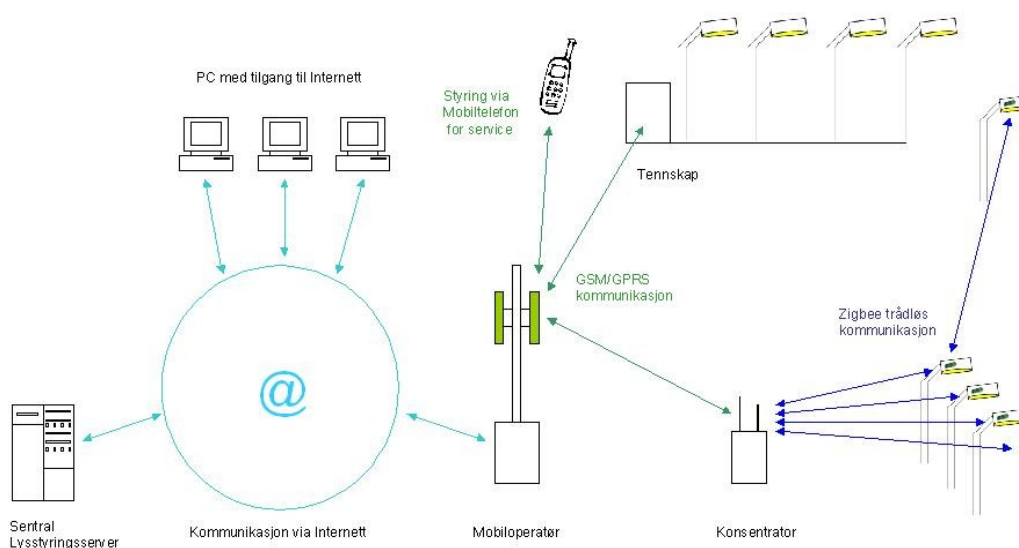
Figur 7.16: Bilde av armatur fra DEFA med lampenode fra Datek [41].

Det trengs en konsentrator per cirka 200 armaturer. Konsentratoren er samlingspunkt for data til og fra lampenodene med nevnte ZigBee radiokommunikasjon. Fra konsentratoren til styringssentral benyttes internett, typisk GPRS. Den sentrale styringen består av server, der data lagres, og webgrensesnitt der bruker får tilgang til dataene via både tabeller og grafiske presentasjoner. Datek tilbyr servertjeneste hos seg eller egen server hos kunden. Figur 7.17 viser et bilde av konsentratoren til Datek.



Figur 7.17: Bilde av konsentrator fra Datek [41]

Akkurat som for løsninger med power line som kommunikasjonsmedium brukes systemløsningen til Datek både for hele kurser (montering i tennskap) og for armaturstyring. Eksempler på ulik bruk er idrettsbaner, lysløyper og veibelysning. Systemskisse er vist i figur 7.18.



Figur 7.18: Systemskisse over styringssystemet fra Datek.

Statens vegvesen har et anlegg med Dateks løsning montert i en ny bygata i Drammen, på riksvei 283 i Kreftings gate. I dette anlegget dimmes lyset ned til 60 % mellom midnatt og kl 06 om morgenen, unntatt ved fotgjengeroverganger. I følge Statens vegvesen har en i akkurat dette anlegget spart 20 % ved å senke kravet fra 1,5 cd/m² til 1 cd/m², 20% ved nevnte nattsinking og i tillegg 7 % ved å sette maxnivå for armaturen til 90 % mens de er nye [10].

Datek mener trådløs styring gir enklere og mer driftsikker installasjon. Den klareste fordelene med trådløs styring fremfor power line er fleksibiliteten i forhold til krafttilførsel. Dette åpner for å koble armaturer direkte i distribusjonsnettet eller i andre eieres nett. Hvis en kan måle korrekt energiforbruk i selve armaturen, og kommunikasjonen er uavhengig av el-tilførsel, kan en enkelt utvide anlegg og plassere armaturer der det er best egnet for belysningsformålet. Uten å måtte

trekke egen forsyningskabel kan en da likevel oppnå avregning av energiforbruket til korrekt instans, noe som er viktig i urban bebyggelse der infrastrukturen og eierforhold fort er komplisert.

Comlight

Comlight ble etablert i 2007 og holder til i Askim, Østfold. Comlight utvikler et styresystem der veibelysningen er halvveis neddimmet når det ikke er trafikk på veien og samtidig gir fullverdig belysning i en sone der trafikantene ferdes. Selskapet har fått en god del oppmerksomhet i pressen for sitt konsept som de også har søkt patent på. Per 2008 er det etablert ett pilotprosjekt, på riksvei 112, Solli – Rolvsøy.

For å detektere trafikanter benyttes beveilsesdetektor basert på radar. Hver armatur blir utstyrt med en enhet bestående av detektor, sender/mottaker, timer og effektdimmer. Enhetene sender en impuls videre til andre enheter ved deteksjon slik at sonen med oppjustert belysning følger trafikanten. Comlight oppgir at systemet kommer til å skille mellom kjøretøy og fotgjengere, men fallende løv skal eksempelvis ikke registreres [42].

Det er sendt en del oppfølgingsspørsmål til Comlight om deres konsept, men Comlight har ikke svart. Comlight har inngått et samarbeid med Thorn Lighting som ser for seg at konseptet kan muliggjøre energibesparelser på enkel måte da utstyret kan monteres opp uavhengig av sentral server. Spesielt i fremtiden ved LED-belysning som kan reguleres mer effektivt [34].

Enveiskommunikasjon

Alle leverandørene av systemer med toveiskommunikasjon for veilysanlegg kan levere enklere løsninger som kan opereres som et system med enveiskommunikasjon. Styring av veilyskretsen fra fordelingsskapet er da styringsmetoden. Dette kan gjøres både for eksisterende anlegg og naturligvis velges for nye anlegg eller ved rehabilitering. Den enkleste implementeringen er montering av en områdenode som fungerer som en bryter i fordelingsskapet. Noden vil da skru på eller av anlegget etter tabell og tidspunkter gitt av styringssentralen.

Ikke overraskende finnes det et antall muligheter mellom enkleste form for styring av en veilyskrets med enveiskommunikasjon, og regulering og overvåking av armaturene med toveiskommunikasjon. Leverandørene av systemer for toveiskommunikasjon lager eksempelvis flere ulike lamper og veilysanlegget kan dermed i stor grad bli tilpasset styring, regulering og overvåking etter det eieren ønsker.

Selskapene som benytter enveiskommunikasjon i dag har gjerne dette kombinert med en interaktiv webtjeneste der innbyggerne kan melde fra om lampeutfall og eventuelle andre feil i veilysnettet. På denne måten oppnår de en god service overfor brukerne som opplever at mørke lamper raskt blir byttet. I et system med toveiskommunikasjon vil overvåkingen av lampen kunne erstatte meldingene om lampeutfall fra webtjenesten.

Nidaros Elektro

Tidligere eksisterte det en personsøker-tjeneste hos Televerket, i dag Telenor, men tjenesten ble lagt ned i 2003 fordi mobiltelefon-teknologien totalt hadde overtatt. Personsøker-teknologien er basert på

radiosignaler sendt fra en base og fungerer kun den ene veien. Det vil si at mottakeren ikke kan kvittere eller sende svar tilbake. Personsøker teknologien ble imidlertid tatt i bruk innen veibelysning ved at fordelingsskap ble utstyrt med mottaker som fungerte som bryter for veilyskretsen. Da Telenor la ned personsøker tjenesten valgte noen selskap som drifter veilysanlegg å kjøpe enkelte basemaster slik at de fortsatt kunne opprettholde styringen av veilyset.

I dag leveres tilsvarende teknologiløsning, som et rimelig alternativ for å kontrollere veilysanlegg, av Nidaros Elektro. Dette styringssystemet er atskillig enklere enn hva som kreves for toveiskommunikasjon da en kun trenger basestasjonen som sender og en bryter med radiomottaker i aktuelle tennskap. Veilysanlegget kan da tennes og slukkes etter en styringssentral som kan operere etter en kombinasjon av klokke, astrour og fotocelle. Styringen blir presis i motsetning til en del gamle anlegg der lyset står på unødvendig lenge fordi fotocellen er upålitelig. Styringssystem med enveiskommunikasjon til bryter i tennskap gir anledning til natsslukking som er en enkel og effektiv måte å oppnå besparelser i energiforbruket. Men det kan kun benyttes på veier der eieren tillates å skru av lyset, noe som i dag ikke er aktuelt for offentlige veier som er oppført i veinormalen at bør belyses.

8 Investeringskostnader og energikostnader

Investeringskostnadene for rehabilitering av et veilysanlegg vil være avhengig av hvor mye som trengs fornyes. For å endre veilysanlegget fra et gammelt anlegg med konvensjonell drift til en løsning dimming må en bytte armaturer og innføre sentralt styresystem. Men en vil også kunne møte større investeringsbehov hvis nettkabler og annet er gammelt og dermed må byttes. På samme vis hvis en vurderer nattslukking kan det være mer komplisert enn bare å bestemme at bryteren skal innføres. Vefsn kommune kan illustrere dette da de vurderte nattslukking i 2004. Rådmannen konkluderte at en ikke burde nattslukke veilyset. Blant momentene som kom fram i vurderingen var: kraftforsyning til kommunale veier var ikke adskilt fra offentlige veier på tidspunktet, nattslukking ville være uheldig for trafikksikkerhet og innbyggernes trygghetsfølelse, men ikke minst var innsparingspotensialet så lavt som kr 60 000 per år selv med den enkleste og rimeligste investeringen [43].

Ser en på tidligere nevnte saksfremlegg i Øvre Eiker fra 2005 anslår saksbehandler totalinvesteringen for skifte 2600 gamle lamper til intelligent veily for å være 9,4 millioner kroner. Dette er et eksempel på skifte fra kategori 1 til kategori 4 og representerer en prislapp på over kr 3500 per armatur. Saksbehandler har beregnet reduserte energi- og vedlikeholdskostnader og satt opp mot investeringen, som avskrives over 25 år, angis en avkastning på investert kapital på 13,5 % [18]. Et annet eksempel, som illustrerer skifte fra kategori 1 til kategori 2, er Nøtterøy kommune som i 2005 anslo kostnaden for utskifting av 1700 PCB-armaturer til ca 4,5 millioner kroner[44]. Dette betyr en prislapp på kr 2600 per armatur. Det antas at begge eksemplene inkluderer nødvendig monteringsarbeid.

De få eksemplene ovenfor illustrerer noe av hvor individuelle ulike veilyanlegg er. Ved rehabilitering av veilyanlegg vil det være forskjellig utgangspunkt med tanke på tilstanden for anlegget (alder), tilknytning til kraftnettet og avstanden mellom mastene – og på toppen av dette veibredde med eller uten krav og trafikkforholdene. På den andre siden blir investering direkte påvirket av nettopp antall armaturer og ulike alternativer for styringssystem. Det er derfor vanskelig å generaliseres korrekte kostnader for investering mellom kategoriene. På samme vis blir det da vanskelig å forutsi hvilke investeringer og ENØK-tiltak som lønner seg for en veitype. En er rett og slett nødt til å se på hvert anlegg for seg. Nedenfor er det oppsummert hovedelementene som inngår i vurderinger for investeringer innen veibelysning.

Energikostnader på sin side har rapporten allerede nevnt i form av forskjellen mellom umålt tariff og målt tariff. Innenfor dette temaet opererer ikke energiselskapene likt heller. Ulik tariff hos ulike selskaper vil gi ulik energikostnad. Dette er nok et element som peker på at hvert veilyanlegg må vurderes separat i forhold til ENØK-tiltak.

Oppsummering kostnad og besparelser

Enkel oppsummering av elementer som inngår i kostnadsberegning av investeringen:

- Armaturer
- Styresystem
- Kabel- og ledningsnett
- Arbeid (montering)

- Kapitalkostnad
- Avskrivings-/levetid for investering/anlegg

Enkel oppsummering av elementer som inngår i besparelsene (intelligent veilys):

- Reduserte energikostnader
 - Mer effektiv armatur, ballast og lampe (reduisert dimensjonerende effekt)
 - Nattslukking eller dimming
 - Målt tariff
- Reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader
 - Overvåkning av armaturene reduserer manuelt kontrollarbeid
 - Lengre levetid for lampe ved dimming

9 Diskusjon

I rapporten er det knyttet en sammenheng mellom dimensjoneringsklasser for vei og energiforbruk i tilhørende veilysanlegg. For veier med parallellført gangvei, og gater med fortau, vil bredden på området som skal belyses øke og dette vil innebære behov for økt dimensjonering av belysningen enn ved tilfeller der veien går alene. Normtallene fra Statens vegvesen er da også knyttet til bredde på veien og ikke dimensjoneringsklasse. Ved utarbeidelse av oversikter basert på dimensjoneringsklasse kan en i tilfeller med fortau se på en annen dimensjoneringsklasse som har tilsvarende bredere belysning.

Offentlige veier, eid av Statens vegvesen eller fylkeskommuner, som bør ha belysning, har gjennom forskrift og veinormalens håndbøker gitte krav til belysning og utforming av denne. Kommunale og private veier derimot har ikke krav, men er likevel ofte utstyrt med veilysanlegg. I mange kommuner er det likevel kommunen som har driftsansvaret for veilysanlegg både for ene og den andre veitypen, og anleggene er ikke nødvendigvis adskilt. Dette er dermed første hinder for kommunene som vil endre styringen av veily. For eksisterende veilysanlegg er natsslukking det enkleste energisparingstiltaket, men for riks- og fylkesveier er dette utelukket etter forskriften.

Allerede i belysningskravene fra Vegdirektoratet ligger det et sparepotensial da de er minimumskrav. Veilysanlegg blir dermed litt eller mye overdimensjonert, særlig ved tørt og fint vær eller snøføre. Sparepotensialet er eksemplifisert gjennom Statens vegvesens prøveprosjekt i Kreftingsgate i Drammen der en har benyttet 1 cd/m² i stedet for 1,5 cd/m² og opplever tilfredsstillende belysning. Overdimensjonering av anlegg er også en viktig motivasjon i utvikling av reguleringssystem basert på luminansmålinger.

Sparepotensialet knyttet til veityper er vanskelig å konkretisere og denne rapporten kommer kun frem til generelle prosentverdier basert på beregninger og tidligere rapporter. Rapporten viser også at det er svært vanskelig å generalisere kostnadene knyttet til opprusting av veilysanlegg for veitypene. Vurdering av hvilke ENØK-tiltak som bør velges for ulike veilysanlegg må gjøres på bakgrunn av forutsetningene for det aktuelle anlegget. Generelt kan en likevel si at fornying av gamle anlegg er meget aktuelt på grunn av deres variable spenningsforhold og lite effektive armaturer. Natsslukking av anlegg kan være effektivt, men er sjelden ønsket av innbyggerne og heller ikke aktuelt for riks- og fylkesveier. Dimming er sannsynligvis ikke regningssvarende for anlegg der effektstyrken er under 100 W i lampene, men desto interessant for anlegg som nytter 250 W.

Generelle vurderinger med utgangspunkt i alder, eierforhold og effektbruken i anleggene:

- Anlegg som er mer enn 30 år gamle bør skiftes ut på grunn av oppbrukt levetid og sannsynlig stort energisparepotensial av nye armaturer. Avhengig av belysningskrav for veien og effektstyrke i anlegget bør en vurdere natsslukking eller intelligente armaturer. For større veier vil det høye energiforbruket sannsynligvis gjøre en investering i dimbare armaturer lønnsomt. For mellomstore og mindre veier kommer det an på eierforhold, plassering i veinettet og hvordan anlegget er tilknyttet kraftnett og eventuell annen infrastruktur.
- Anlegg som er mellom 10 og 30 år gamle bør vurderes i forhold til energiforbruk. Som for eldre anlegg er det anleggets forutsetninger som bestemmer hvilke ENØK-tiltak som kan

forsvares som økonomisk investering og hva veilyseier kan tillate av styring.

- Anlegg som er mindre enn 10 år gamle er sannsynligvis ikke aktuelle å bytte ut hvis lysutbytte hos armaturene og energiforbruket i anlegget ikke tilsier noe annet. Oppgradering til natsslukking eller dimming er aktuelt hvis det er lønnsomhet i en slik oppgradering. Det vil være mer aktuelt hvis slik styring gjelder flere anlegg som driftes av samme part og en kan få utnyttet eventuelle stordriftsfordeler.

Det er også viktig å påpeke at investering i et intelligent styresystem med dimming og overvåkning av armaturene gir innsparing i drift- og vedlikehold da en trenger mindre manuelt kontrollarbeid og vil kunne oppnå lengre levetid for lyskildene.

Sammenligning leverandører

Sammenligning av styringssystemene i denne oppgaven vil sannsynligvis ikke yte leverandørene full rettferdighet. Det er forsøkt å sammenstille dem i vedlegg 1, men dette blir kun en teoretisk sammenligning og vil ikke fortelle omfanget av mulighetene i hvert av systemene eller hvor fleksibel leverandøren er i en prosjektgjennomføring. Fire av fem leverandører av styringssystemer med toveiskommunikasjon har svart på henvendelser og hjulpet med å fylle ut skjemaet. Den teoretiske sammenstillingen viser noe overraskende systemene som forholdsvis like, men ettersom systemene ikke er testet og oppgaven ikke går i dybden av detaljer for systemene er det vanskelig å hevde at de er så like som de ser ut i tabellen.

Noen betraktninger for forskjellene som kommer frem kan en likevel gjøre. Den viktigste forskjellen fra utsiden er kommunikasjonsplattform mellom områdenode og lampenode, nemlig powerline eller radio. Mens alle systemer bruker standard internett, eller alternativt GPRS, for kommunikasjon mellom styringssentral og områdenode har leverandørene valgt ulikt for kommunikasjon ut til lampenodene. Philips, Siteco og Luminext baserer seg kun på powerline, Datek satser på ZigBee radiofrekvens, mens Thorn leverer løsning med powerline eller radio. Ettersom powerline er bundet til kraftledningen gir dette føringer for oppbygging av veilysanlegg med slik kommunikasjon. For trådløse systemer er friheten høyere når det gjelder plassering av armaturer. Dette kan være særlig gunstig i komplekse områder, da typisk bysentrum og gater, der det kan forekomme mange eier- og ansvarsforhold innenfor et mindre område. Begge løsninger har vist seg å være pålitelige når det kommer til kommunikasjonen.

Thorn har valgt en proprietær protokoll for sin powerlinekommunikasjon mens Siteco og Luminext bruker en åpen protokoll, ofte bare kalt ANSI 709.2. Thorn's radiosystem er også egenutviklet. For en kjøper av systemløsning kan det være attraktivt å kunne utvide veilysanlegget i flere omganger, eller gjøre endringer eller vedlikehold, uten å være bundet til en og samme leverandør. Da spiller åpen eller proprietær kommunikasjonsprotokoll inn i vurderingene. Hvis et alternativ til systemløsning ikke kan operere sammen med elementer fra andre leverandører blir en bundet til denne løsningen eller må skifte ut større deler av systemet. Ved engangsinvestering er dog et proprietært system gjerne billigere da det kan operere enklere med egendefinert kommunikasjon. Thorn skiller seg på dette punktet fra Luminext og Siteco som benytter åpen protokoll over powerline.

Analog styring av elektroniske armaturer har til nå vært vanlig, med 0-10 V som signal. Den digitale protokollen DALI tar imidlertid gradvis over og flere av leverandørene tilbyr nå dette også

for veilys. Det kan se ut til at de mindre selskapene, så som Luminext og Datek, raskere kan tilpasse seg slike endringer ettersom Philips og Siteco ikke har vært like tidlig ute med DALI i sine lampenoder. Thorn har valgt å satse direkte på DALI for veilysregulering.

Per 2009 har Luminext og Datek levert styring av flest armaturer og veilysanlegg i Norge. Thorn og Siteco kommer nå etter med sine systemer og har også enkelte monterte anlegg, mens det kan synes som Philips ikke har satset tilstrekkelig for å tilby et tilsvarende produkt for veilysstyring.

10 Konklusjon

Veilysanlegg har lang levetid og blir i tillegg værende i bruk utover det enkelte elektrotekniske komponenters levetid skulle tilsi. Utstyr og løsninger for styring har utviklet seg mye i forhold til standarden på 30 år gamle veilysanlegg. Når tidsrommet mellom oppgraderinger blir langt er det derfor mulig å gjøre store innsparinger i energiforbruket hos gamle veilysanlegg.

- Utskifting av gamle konvensjonelle armaturer til moderne armaturer utgjør en besparelse på mellom 25 og 40 % avhengig av effektstyrker og valg av lyskilder. Årsaken er forbedret reflektoroptikk og høyere lysutbytte. Variasjoner i spenningen i og mellom veilysanlegg påvirker effektforbruket i konvensjonelle armaturer mer enn elektroniske armaturer.
- Besparelser fra natsslukking er kun aktuelt for kommunale og private veier, da offentlige veier i henhold til veinormalen ikke skal slukkes. Natsslukking kan imidlertid innføres i anlegg med konvensjonelle armaturer. Besparelsen er direkte avhengig av tidsperioden en velger å slukke veilyset, noe som innebærer 15-30 % reduksjon.
- Med elektroniske armaturer kaller en veilysanlegget for intelligent i den forstand at armaturen kan dimme lyskilden samt kommunisere med en styringssentral. I tillegg til redusert energiforbruk ved hjelp av dimming kan en få store effektiviseringsresultater i vedlikeholdet fra overvåkingen av armaturene. Besparelsen fra dimmingen av lyskildene vil avhenge av effektstyrke og dimmeplan, og potensialet utgjør 15-35 %.
- Intelligent veibelysning er fortsatt på pilotstadiet. Det er foreløpig forsiktig innføring av slike anlegg. Blant hovedgrunnene til dette er utfordringer innen eierforhold og endringer for avregning av veilysanlegg. Statens vegvesen er med sine nye håndbøker, som krever regulering vurdert, blant pådriverne for å ta i bruk intelligente armaturer og sentralstyring av veilysanlegg.
- Regulering av veibelysning basert på luminansmeter er fortsatt kun på utviklingsstadiet. I implementering av luminansmeter i styringssystemer har det oppstått flere ulike problemer. De eksisterende testanleggene med luminansmeter krever jevnlig oppfølging for å levere måledata og eventuelt kunne inkludere luminansmålinger i regulering av anleggene de er plassert i. I dag synes det som PCU-en er det svakeste leddet på grunn av ømfintlighet hardware og som ekstra ledd med software. Det pågående FoU-prosjektet "Luminansmeter" vil forhåpentligvis komme et stykke lenger i utviklingen av prototypen luminansmeter.
- Leverandørene av intelligent veibelysning i Norge tilbyr styringssystemer som teoretisk sammenlignet ikke er så forskjellige. Dermed blir det prosjektgjennomføring og kompetansen hos leverandøren som blir avgjørende for hvor vellykket anlegg med intelligent belysning blir. Den tydeligste forskjellen er valg av powerline- eller trådløs kommunikasjon mellom områdenode og lampenoder. Per i dag er det Luminext og Datek markedsledende i Norge for levering av styringssystem for veibelysning.
- LED ligger foreløpig et godt stykke bak de tradisjonelle damplampene brukt til veibelysning når det gjelder lysutbytte (lumen per watt). Det er fortsatt usikkert når, eller om, lysdioder vil oppnå en lav nok pris og høyt nok lysutbytte slik at de vil erstatte tradisjonell veibelysning. Som ledelys og annen merking er derimot LED allerede teknologisk klar for utnyttelse.

11 Referanseliste

- 1: Pål J. Larsen og Per Ole Wanvik, Kunnskapsoversikt som grunnlag for FoU-prosjekt "Luminansmeter", 2008
- 2: Energi 21, Energibruk, 2008, <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition%3A&blobheadervalue1=+attachment%3B+filename%3D4-energibruk.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1229378504115&ssbinary=true>, side 30
- 3: Hans-Henrik Bjørset og Eilif Hugo Hansen, Lysteknikk, 2006
- 4: Store norske leksikon, <http://www.snl.no/article.html?id=1158382&o=1&search=gprs>
- 5: Vegdirektoratet, Veg- og gateutforming - Håndbok 017, 2008
- 6: Vegdirektoratet, Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning - Håndbok 264, 2008
- 7: Pål J. Larsen, Norconsult, e-post og telefon,
- 8: Geir Morten Skjelsvold, Prosjektoppgave: Energisparepotensialet ved utskifting av gamle veilysanlegg, 2005,
- 9: Anders Roberg, Masteroppgave: Elektrotekniske forhold i Trondheim kommunes veilysnnett, 2007,
- 10: Per Ole Wanvik, Foredrag ENØK-sluttseminar Statens vegvesen Teknologidagene 2008, ,
- 11: Larvik kommune, 2009, <http://www.larvik.kommune.no/Temaogtjenester/Vei-og-trafikk/Veilys/>
- 12: Hafslund Nett, Retningslinje: Avregning av umålte permanente anlegg, 2004, http://ekstranett.hafslund.no/arkiv/ekstranettarkiv/xtranett_les/Retningslinjer_historiske/TOM_2006/06_Maaling/06_08_Umaalte_anlegg_avregning.pdf
- 13: Oslo kommune Samferdselsetaten, Årsberetning 2008, 2008, [http://www.oslo.kommune.no/getfile.php/samferdselsetaten%20\(SAM\)/Internett%20\(SAM\)/Dokumenter/arsberetning/Årsberetning_SAM-2008.pdf](http://www.oslo.kommune.no/getfile.php/samferdselsetaten%20(SAM)/Internett%20(SAM)/Dokumenter/arsberetning/Årsberetning_SAM-2008.pdf)
- 14: Bjørn Sandtveit, Hafslund, <http://www.zero.no/fornybar/sparer-strom-med-smart-veilys>
- 15: Ingar F Pedersen, Luminext, e-post,
- 16: Pål J. Larsen, Masteroppgave: Uttesting og beregning av energisparepotensiale ved bruk av avansert reguleringssystem for veibelysning, 2005,
- 17: Sola kommune, Gunvar Sværen, Saksfremlegg: Installasjon av "smarte gatelys" etter Oslo-modellen, 2007, <http://www2.sola.kommune.no/k2pub.nsf/viewAttachments/C1256B8300393EB0C125739F0037A3C1!opendocument&frame=yes>
- 18: Øvre Eiker kommune, Harald Astad, Saksfremlegg: Opprusting av veily i Øvre Eiker, 2005, http://www.ovre-eiker.kommune.no/getfile.aspx/ephdoc/?db%3DEPHORTE0507%26ParamCount%3D2%26UB_ID%3D2022%26SakType%3DSaksFremlegg
- 19: Geir Morten Skjelsvold, Masteroppgave: Undersøkelse av styrestrategier med bruk av intelligente veilyssystemer, 2006,
- 20: Dagsavisen, <http://www.dagsavisen.no/innenriks/article269358.ece>
- 21: Elsparefonden, Lysdioder til belysning, 2008, <http://www.elsparefonden.dk/forbruger/produkter/belysning/lysdioder/fakta-om-lysdioder>
- 22: Philips, webside, , http://www.primaecat.lighting.philips.com/ecat/Light/Details.aspx?fh_ed=%C3%9F&fh_location=//prof/no_no/categories%3C%7Bfeplg%7D/countries%3E%7Bno_no%7D/status%3E%7Bact%7D&fh_refview=search&fh_search=MASTER%20SON-T%20PIA%20Plus&fh_secondid=928144809227_2&left_nav=no_no&tab=family

- 23: Store norske leksikon, webutgave, , <http://www.snl.no/article.html?id=664451>
- 24: Elsparefonden, Lysdioder til belysning 2008 - status for fremtidens lyskilde, , http://www.elsparefonden.dk/publikationer/brochurer/lysdioder-til-belysning-2008/publicationHTML_view?ch=0
- 25: Siteco, web, <http://www.siteco.com/en/products/innovation/outdoor-lighting/dl-10.html>
- 26: Sturle Norheim, Masteroppgave: Utvikling av et avansert styringssystem for veibelysning, 2004,
- 27: Store norske leksikon, webutgave, <http://www.snl.no/article.html?id=716508&o=1&search=philips>
- 28: Philips, web, , http://www.lighting.philips.com/no_no/about/sub_feature_4.php?main=no_nb&parent=1&id=no_nb_about&lang=nb
- 29: Philips, web, , http://www.lighting.philips.com/gl_en/controls/products/starsense.php?main=gl_en_Control&parent=8376226416&id=gl_en_Control&lang=en
- 30: Pål J Larsen, Notat: Oppsummering leverandørmøter, 2006,
- 31: Per Gunnar Holmesland, Hovedoppgave: Fullskala uttesting av system for intelligent veibelysning, 2003,
- 32: Pål J Larsen, Prosjektoppgave: Idriftsetting og testing av et avansert reguleringsystem for veibelysning, 2004,
- 33: Zumtobel Group, web, http://www.zumtobelgroup.com/com/en/zumtobelgroup_f.htm
- 34: Hans Øien, Thorn Lighting AS, e-post, 2009
- 35: Store norske leksikon, webutgave, <http://www.snl.no/article.html?id=752922&o=1&search=siemens>
- 36: Trygve Jarsve, Siteco Belysning AS, mail,
- 37: Siteco Lighting, web, <http://www.siteco.com/en/products/light-management/siteco-light-control.html>
- 38: C40Cities, web, http://www.c40cities.org/bestpractices/lighting/oslo_streetlight.jsp
- 39: Datek, webside, http://www.datek.no/om_datek.htm
- 40: ZigBee, webside, http://www.zigbee.org/en/markets/success_stories.asp
- 41: Datek, Ketil Westgaard, e-post,
- 42: Comlight v/Siri Damsleth Skøien, Webside, e-post og tilsendt brosjyre, 2008, <http://www.comlight.no/>
- 43: Vefsn kommune, Steinar Stien, Saksfremlegg natsslukking av gatelys, 2007, <http://www.vefsn.kommune.no/nordland/vefsn/vefsnk/k2pub.nsf/viewAttachments/C1257131002B6A40C12572F400492BDA?opendocument&frame=yes>
- 44: Nøtterøy kommune, Torgeir Bettum, Saksfremlegg: Utskifting av veilyssarmaturer pga. ny forskrift om PCB, 2004, <http://www.notteroy.kommune.no/files/winsak/saksdok/19832040.html>
- 45: E-street, WP 5.2 Topology of administrative systems, http://www.e-streetlight.com/work_packages.htm

Vedlegg 1

Skjematisk sammenstilling av leverandører av intelligent veibelysning

Mange av egenskapene, den grå kolonnen, er hentet fra E-street [45]. Utfylling er basert på info, direkte og indirekte, fra leverandørene. Philips har ikke svart på henvendelser, de andre har stort sett gitt raske og gode svar.

Leverandør	Philips	Thorn	Siteco	Luminext	Datek
Navn styresyst.	<i>Starsense</i>	<i>Telea</i>	<i>Controll.Intelligent</i>	<i>Luminyx</i>	<i>Datek Lysstyring</i>
Type leverandør (armatur/kommunikasjon)	Armatur og kommunikasjon	Armatur og kommunikasjon	Armatur og kommunikasjon	Kommunikasjon	Kommunikasjon
Samarbeidsbedrifter	-	Luxmate og TridonicAtco. Også Comlight.	Ballast og lyskilder fra Philips og Osram.	Multilux. Noral. Alle armaturer tilpasses ved behov.	Armaturprodusenter/distributører.
Omfang installasjoner i Norge (etablerte anlegg)	- Oppsal pilot (117 stk) - Oppsal (1000 stk)	- Fornebu ca. 350 stk PL - Deknepollen 81 stk RF - Førde 63 stk RF	- Trondheim, E6 Sluppen (62 stk)	- Franzefoss (22) - Oppsal (1000) - Grorud (Enøk 3 prosjektet) (4400) - Oslo neste steg etter Grorud (700) - Hammerfest (60) - Møre og Romsdal (60 + 400 levert pt) - E6 sør (ca 450) - E18 Dørdal/Tangen (ca 280) - Øvre Eiker (420) - Kongsberg (30) - Bergen (200)	- Kreftingsgt Drammen (71). - Lier - Halsnøy-sambandet - 35 kommuner - Fremover: veilysanlegg (kommuner og Statens vegvesen), idrettsanlegg, lysløyper og annen utendørsbelysning (kommuner og private aktører)
Prisnivå (per tennskap, per armatur)	-	Områdenode: ca. 25 000 Lampenode: ca. 1500	-	Områdenode: Avh. av funksj., 8-20.000 Lampenode: 1-3000 (avh. av type og ballast)	Områdenode: 4500. Lampenode: 1450
Lager mer enn lampenoden til armaturer	Produserer egne ballaster og lyskilder.	Produserer egne ballaster. Lyskilder leveres av Osram/Philips.	Ballast og lyskilder fra Philips eller Osram.	Leverer kun nodene og kommunikasjonssystemet.	Leverer kun nodene og kommunikasjonssystemet.
Lampenode	OLC LLC7020	Telea LET (ett-trinn dimming) Telea LDC (trinnløs dimming)	LonWorks armaturstyreenhet 5EA3CLA	Luminyx OLC (flere typer – avh funksj)	LCU – Z2
Grensesnitt (interface) mot ballast	1-10 V	DALI for elektronisk ballast.	1-10 V DALI fra 2009	1-10V DALI Og tilpasset	1-10 V DALI Av/på for konv

Leverandør	Philips	Thorn	Siteco	Luminext	Datek
		Av/på/50% dim for konv ballast.		enkelte andre: SELC, Metrolight m.fl. Meget fleksibel i forhold til ballastprodusent og armatur.	ballast.
Trinnløs dimming	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Dimming – hva er definert og hva dimmes (eksempelvis belysning vs strøm/spenning)	Dimmer lampeoutput (lysnivå?)	50 % lysnivå innebærer 60% effekt. 20% lysnivå innebærer 35% effekt.	Lysnivå dimmes i %.	Avh.av ballast: Selc ballaster dimmer effekt i %. 1-10V og Dali ballaster dimmer lysnivå. (Tidl.masteroppgr.: Multiluks dimmer effekt, ikke lysnivå).	50 % lysnivå innebærer ca 60 % spenning. Metode er lampe- og ballastavh. Kreftingsgate m/Philips ballaster (Arci Light armaturer): 0V=av, 1V=60% til 10V=100%.
Bryter (på-av)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Måle tilstandsdata (funksjonstilstand) som basis for alarmer	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hvordan overvåkes ballast og lyskilde? Hvor måles tilstandsdata (node, før/etter/i ballast)?		Ballast rapporterer tilstand, effektforbruk, temperatur, antall tenninger, antall brenntimer(fordelt på 4 dimmenivå) Måles i elektronisk DALI-ballast, eller kommunikasjonsnode ved bruk av konv.ballast.	Tilstandsdata måles i lampenode før ballast (1-10V). Ved DALI direkte ballast og lyskilde.	Avh. av ballast og nodetype. 1-10 V ballaster gir ingen feedback på noe, så all info samles av node. Nyere noder kan samle mer info enn eldre noder. Selc-ballaster gir mye feedback, mens Dali ballaster varierer etter leverandør (dali kommando settet utvides og tilpasses ballasten).	Målinger gjøres i lampenoden, før ballast. Overvåker strømtrekk og temperatur.
Tilstandsdata som samles inn:					
- status (av/på/dim)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
- brenntimer	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, lagrer informasjon om dimmenivå slik at en kan vekte ved beregning
- antall oppstart	Nei	Ja	Nei	Nei, men data finnes i styringsystem	Nei

Leverandør	Philips	Thorn	Siteco	Luminext	Datek
- spennings-karakteristikk	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
- feilmelding ved kommunikasjons-brudd	-	Ja	Ja	Ja	Ja
- feil hos lampe eller ballast (hvordan)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, varsel om lampeutfall (måler strømtrekk og temp. i armatur)
- temperatur ballast	-	Ja	Nei, men ja ved DALI (neste generasjon).	Ja	Måler temperatur i armaturen (på kretskortet)
- energiforbruk og strømmåling	Ja	Ja	Ja	Tidligere utgaver tatt fra ballast. Nye noder har godkjent meter funksjonalitet.	Ja, strømmåler godkjent for klasse B av Justervesenet i henhold til EN50470-3 (Godkjenningsnummer N-12/2008).
Metode energiforbruk (beregnet fra strøm og spenning / målt forbruk)	Beregnet fra strøm og spenning.	Integrert måling med 10% nøyaktighet. Måler både strøm og spenning.	Effektforbruk beregnes.	Beregnet på gamle noder, målt på nye noder.	Målt. Strømmåling godkjennes av justervesenet.
Nøyaktighet energiforbruk	3,0 %	10,00%	1,00%	-	Klasse B godkjent (bedre enn 2%), (temp=85)
Levetid elektronisk ballast	?	Forventet levetid 10 år for elektronikk.	Leverer ikke ballast.	Leverer kun kommunikasjon.	Leverer kun kommunikasjon.
Manuell overstyring for vedlikehold og testing	Nei	Ja	Nei	Implementeres i områdenoden	Nei
Autonom repeater for kommunikasjonen i systemet	Kontrolleres av SC (hvordan?)	Ja, hvis nødvendig (mest aktuelt på RF).	Nei	Alle nodene kan repetere ved behov.	Ja, automatisk.
Programmert til å sette et nivå ved kommunikasjonsfeil (hva gjøres?)	Ja, går til fotocelle eller klokke	Hver armaturnode har astronomisk ur og intelligens som husker programmet og kan fortsette å operere som normalt uavhengig av kommunikasjonsforbindelse.	Ja, styrer etter 48 timers lagrede data	Nye node ja, gamle noder nei	Ja, hver node har tabell (en løpende uke) med tenn- og slukk som backup. Etter en uke fortsetter den med siste dags tenn- og slukketidspunkter.
Programmert til å	?	Ved	Ja	Nye noder ja,	Ja, automatisk

Leverandør	Philips	Thorn	Siteco	Luminext	Datek
sette et nivå ved alarm (eksempelvis ved overoppheting)		overoppheting vil elektronikken koble ut, men rapportere feil før maks grensen nås. Alle alarmgrenseverdier kan justeres fra server.		gamle noder nei	neddimming ved overoppheting (slår av ved behov). Også sperre mot å slå på innen 15 min (konfig) etter slukking.
Varsel før lampe må byttes (måles spenning over lyskilde?)	Nei.	Ja, når antall tenningsforøk overskrider et visst antall uten at lyskilde forblir tent som normalt.	Nei, men kan komme ved DALI	Ja. (Red.anm: Usikker på metode.)	Nei. Feilmelding ved utfall og antall brenntimer (kan ikke forutse lampeutfall før det skjer).
Kan brukes sammen med konvensjonell ballast	?	Konvensjonell to-trinns ballast suppleres med kommunikasjonsnode for styring og overvåkning.	Ja ved effektrelé (med styreledning) 50% dim	Egen lampenode for magnetisk (reaktiv) ballast.	Ja
Områdenode	LFC7065 i.Lon e4 med tilleggsinnhold software	Combox med Telea-komponenter	DCD100 Communication Module 5EA1BLM	Luminyx SC1 (samme reservedel som Echelon SmartServer)	Konsentrator er kun gateway mellom sentral server og lampenodene. Kommunikasjon gjøres fortløpende.
Hovedkomponent	Echelon (i.Lon?)	Telea-CCTS Combox Styringsenhet og Telea-CTS PL Combox Transceiver (evt RF tranceiver).	Echelon i.Lon(?)	Echelon SmartServer basert	
Kommunikasjon lampenoder	LonWorks powerline	1. LonWorks powerline (proprietær protokoll). 2. RF-system egenutviklet av Thorn/Tridonic.	LonWorks powerline (ANSI/CEA-709.1 og .2)	LonWorks powerline (ANSI 709.2)	ZigBee Radiofrekvens 2,4 Ghz.
Max antall lampenoder per områdenode	100	255	100	Avhenger av data mengder som skal logges. Typisk 100.	200
Logging av alarmer og reagere hensiktsmessig (ved behov sette nivå til 100%, ulykke eller dårlig vær)	?	Helt kurant. Eksternt signal sendes til server som sender manuell 100% override til aktuelle armaturer i en bestemt tid.	Statusinfo og driftsinfo lagres lokalt i armatur og i konsentrator.	Ja	Ja. Ekstern analog eller digital sensor kan settes til å overstyre neddimming av lys.

Leverandør	Philips	Thorn	Siteco	Luminext	Datek
Lagret kalender og skjema for vanlig ur og astro-ur	?	Ja	Ja	Ja	Nei, tabell for neste ukes program/astro-ur. Kalender i styringssentral. Backup i gateway og lampenode.
Automatisk innsamling og logging av data fra lampenoder	?	Ja	Ja	Ja	Gjøres av og i sentral server.
Styre etter scener, tidsprogram, overstyring etc		Ja, enten lokalt eller via toppserver.	Ja	Ja	Ja. Styringssentral og gateway.
Tilgjengelig digitale innganger og utganger (type, egenskaper)	?	Kontaktor-utganger via LET relemodul. Inngang for ekstern fotocelle eller tilsvarende input.	1 inng/1 utg potensialfri, I/O modul med inntil 8 inng kan leveres som tillegg	På segment kontroller 2 in/2 ut. IO moduler med 8+8 eller flere IO tilgjengelig på egne moduler.	Input: 4 digitale og 4 analoge (kan utvides med ekspansjonsmodul) Output: 4 releutganger (kan utvides)
Kommunikasjon til styringssentral	Internett, standard TPC/IP ?	Internett, standard TPC/IP.	Internett, standard TPC/IP.	Internett, standard TPC/IP.	Internett, standard TPC/IP.
Mulighet for GPRS eller annen radio-kommunikasjon	Ja, GPRS	Ja.	Ja, GSM og GPRS	Ja, GPRS.	Ja, GSM og GPRS/G3.
Styringssentral	Supervisor Software	Central Management Entrance (CME) software på server	Sliz software på sentral server	Luminizer Software	Datek lysstyring
Fungere i eksisterende IT-utstyr	Tidligere Unilon på hver PC? Nå web?	Ja, sentral server og webgrensesnitt.	Ja, sentral server og webgrensesnitt.	Ja, sentral server og webgrensesnitt.	Ja, sentral server og webgrensesnitt.
Database, grensesnitt og presentasjon.	?	OPC (XML) eller SQL.	SQL(?). XML eller SOAP.	SQL og Flex. XML eller SOAP.	SQL (støtter de fleste databaser). Integrasjon mot ERP pågår (Enterprise Resource Planning).
Styresentral fremviser hvor områdenode er plassert og tilstanden til alle nodene	?	Nei, kun mastenr/serienr og tilstand. For geografisk kartoversikt kreves ytterligere programvare (f.eks Powell street light)	Ja	Ja	Ja, kart og oversikter via web.
Logger data fra nodene, med info om tidspunkt og	?	Laster ned status flere ganger i døgnet, kan	Ja	Ja	Ja

Leverandør	Philips	Thorn	Siteco	Luminext	Datek
kvalitet på dataene		programmeres. Sanntidsdata ved manuell oppdatering.			
Organisere og lagre data som er logget, også for lengre tidsperiode (struktur i terrabytes med lagrede data)	Sentralserver i tillegg til i.Lon-server ?	Sentral server. Loggfiler (tekst) med kronologisk rekkefølge. Tilnærmet ubegrenset tidsperiode pga. liten datastørrelse.	Sentral server.	Sentral server.	Sentral server.
Fremstille logget data på en godt lesbar måte (kWh fremfor pulser, når må lamper byttes etc)	?	Ja, web-interface med tilstandsoversikt og totale data på energimålinger f.eks fra et gitt område. Anbefaling av lyskildebytte etter antall tenningsforsøk per lampe eller brenntid.	-	Ja, web.	Ja, web. (alarmer på mail, SMS)
Kunne bruke logget data i eksisterende IT-/GIS-programmer	?	Installering av CME kan skreddersys GIS-systemet.	Må tilpasses	Ja.	-
Implementering av tilleggsinfo i styringen (trafikkteiling, vær)		I utgangspunktet ikke, men fullt mulig dersom behovet skulle være tilstede. Som oftest har Vegvesenet eller andre aktører en dedikert toppserver for håndtering av slike data.	Ikke standard men opsjon	Ja, på forespørsel.	Trafikkteiling, beveielles-detektor, luminansmåling.

Vedlegg 2

Enkel oversikt over veily i Norge

Stort sett telefonhenvendelser for å hente inn info. Henvendelse til driftsselskaper fremfor eier (kommunene) da drifter oftest innehar et større geografisk område og vet det samme om anleggene som eier. Listen er ikke fullstendig!

Selskap, kontakt-person	Kommuner (by)	Antall lyspunkt	Konvensjonell vs elektronisk forkobling? Utskiftning/ renovering nylig eller fremover?	Annen styring enn fotocelle? Hvilke systemløsninger / pilotprosj. ?
Mesta (Oddmund Lefdal)	Sør-Norge	100000	En god del elektronisk forkobling. Men det dimmes ikke alle anlegg(?).	Ny vei fra Gardermoen og nordover med Datek.
Agder Energi (Per Langemyr)	Agder-fylkene, samt nedre deler av Telemark, Vestfold og Buskerud	Over 100000	Svært lite elektronisk forkobling (pga grise-grendte strøk). Føler det er lite å hente pga spredt belysning. Skifter lite til elektronisk forkobling.	Mye innkjøp fra Thorn. Har tro på Comlight (som Thorn har giftet seg med). Forsøk med LED-lys (13 stk) ved Arendal.
Hafslund (Pål Larsen, Norconsult)	Oslo Bærum Asker	85000	Totalt ca 8500 (10%) med elektronisk forkobling.	2003: Oppsal pilot 117 armaturer Philips (Unilon) 2004: Fornebu pilot 300 armaturer Thorn (Bærum!) 2004: Franzefoss pilot 22 armaturer Multilux/Luminext (Bærum!) 2004: Oppsal 2000 armaturer; 1000 Philips/Unilion og 1000 Multilux/Luminext 2005-2007: Grorud 4400 armaturer Multilux/Luminext
Skagerak Energi (Svein Ove Sund)	Vestfold og Telemark	70000	Har kun konv. armaturer. Har ikke anbefalt elektronisk forkobling i sine områder, men gått ned på effekt 400->250, 250->150, 150->70 W	Eget styresystem basert på GSM (tidl. personsøker). Dekker 60 %.
BKK	12 kommuner	65000, derav 37000 i Bergen	Skifter kun til elektronisk forkobling. 70-80 % elektronisk nå (Red.anm: Kan dette være riktig?).	Er i dialog med Bergen kommune. Vurderer løsning med radio (fra Datek eller Nidaros) pga for komplekst for powerline. I Bergen styres tennskap med radio (Nidaros). Har 6 master til formålet. Utkantstrøk styres av fotocelle. Har kommet langt med kundesørvis (kart på web).
Lyse Infra (Sinnes)	Rogaland	61000		Prøvestrekninger med 1) Nidaros Elektro 2) Datek i 2009
Eidsiva (Morten Iversen, nå hos SVV)	Hedmark og deler av Oppland	30000	Svært lite elektronisk forkobling	Eget GSM-system (tidl. personsøker). Tennskap styrt fra PC som mottar flere fotoceller. Dekker 65 %.

Selskap, kontakt-person	Kommuner (by)	Antall lyspunkt	Konvensjonell vs elektronisk forkobling? Utskiftning/ renovering nylig eller fremover?	Annen styring enn fotocelle? Hvilke systemløsninger / pilotprosj. ?
Fortum (Roger Elveiård)	Mye av Østfold (både kommune og SVV)	30000	10 % elektronisk. forkobling (SVV). Tror noen kommuner har noen små skianlegg (lysløype) igjen med PCB.	SVV med astrour.
EB Energiselskapet Buskerud	Drammen, Nedre Eiker, Kongsberg	24000		EB drifter tennringen i Drammen Drammen har videre noen testanlegg (Philips 60 og 45 W) (Hafslund drifter).
Trondheim Energi (Tor Erik Brun)	Trondheim	22000	Ikke elektronisk forkobling per i dag (setter spørsmålsteget ved levealder til el. forkobling).	Kun fotocelle i dag. Kritisk til at Oslo sier de sparer 70 % på intelligent styring.
NTE (Rune Bush, avd Steinkjer)	Nord-Trøndelag, både kommuner og SVV.	Steinkjer 3000 +Svv +Levanger +etc	Konvensjonell hos kommune, elektronisk hos SVV	SVV har nattedimming. Steinkjer skal i gang med renovering.
Nettpartner	Nesodden, Ski, Røyken	17000	Kun konv.armaturer hos kommune.	SVV med armaturstyring(?).
Tafjord (Leif Kleivseth)	Ålesund og omegn	15000	Kun konvensjonelle.	GSM (Nidaros Elektro) for 2500.
Tromsø kommune	Tromsø og omegn	9000	Kun konvensjonelle.	Kontaktordrift. Pga nye forskrifter om energimåling blir det noe nytt fremover.
Bodø Energi (Lisbeth Karlsen)	Bodø	9000	50 % med elektronisk forkobling (gjort ved PCB-utskifting).	Alt går på fotocelle per i dag.
Ringerikskraft (Per Vold)	Ringerike og Hole. Hele Øvre Buskerud for SVV.	7000	Har kun konvensjonelle armaturer.	Kun fotocelle.
Øvre Eiker (Gunnar Haugan)	Øvre Eiker	4500	350 med elektronisk forkobling.	Strekning med Luminext 300 punkt siden vår 2008. Mindre prøveprosjekt 2 års tid.
Troms Kraft (Arvid Johansen)	Lenvik	4000	Kun konvensjonelle.	Fococelle og ur.
Istad (Edmund Berg?)	Molde og omegn	3000	Alt er konvensjonelle armaturer.	I Molde brukes GSM til tennskap. I Aukra og Fræna brukers ur og fotocelle.
Hammerfest Energi				Luminext på 46 + 16 punkt (innkjøring pågått halvt år, logging f.o.m nå).

Vedlegg 3

Eksempler for prosjektering av mindre veier. Lista er mottatt av Pål J Larsen hos Norconsult.

Reg. 29/7-05									
Gatenavn:	Kjørebane			Fortau		Stolpe		Krav	
	tot	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre	Avstand	Plassering		
Kristoffer Robins vei	6,5			2,5	2,5	30	venstre	0,7	70 w ensidig
Garver Ytterborgs vei	7,5				2	28,5	høyre	0,7	70 w ensidig
Nedre Rommen	8			2		27	venstre	0,7	70 w ensidig
Lindebergveien	8			2,5		26	venstre	0,7	70 w ensidig
Stålfjæra	6,5				3	35	venstre	0,7	100 w ensidig
Ulvenveien						35			100 w ensidig
Brubbakveien	6,5					34	høyre	0,7	100 w
Brubbakveien	6,5				2,5	34	venstre	0,7	100 w
Ravnkollbakken	11					34	venstre	0,7	100 w ensidig
Odvar Solbergs vei	11					34	venstre	0,7	100 w ensidig
Sverre Iversens vei	11					34	venstre	0,7	100 w ensidig
Maria Dehlis vei	7			2,5		30	høyre	0,7	100 w ensidig
Gransdalen	7			2	2,5	30	Høyre	0,7	100 w ensidig
Jerikoveien	7				2,5	30	venstre	0,7	100 w ensidig
Karihaugveien	7					30	høyre		100 w ensidig
Høybråtenveien	7			2		30	venstre	0,7	100 w ensidig
Høybråtenveien	7,5			2,5	2,5	30	høyre/venstre	0,7	100 w ensidig
Tokeruddalen	7,5			2,5	2,5	30	Høyre	0,7 til 1	100 w ensidig
Åsta Hanstensvei	7,5			2,5		30	Høyre	0,7	100 w ensidig
Brobekkveien	8			2,5	2,5	30	høyre	1	100 w ensidig
Romsåsveien	10					30	venstre	0,7	100 w ensidig
Haavard Marinsens vei	7				3	25	Høyre/venstre	0,7	100 w
Fossumveien	8				2,5	25	høyre	1	100 w ensidig
Prof Birkelands vei	7,5			2,5	2,5	37	Høyre	1	150 w ensidig
Karihaugveien	9,5	4	4			30	tosidig		70 tosidig
Strømsveien	9				2	30	venstre	1	150 w
Persveien (h)	9				2	30	høyre	1	150 w ensidig
Persveien (v)	9				2	30	venstre	1	150 w ensidig
Maria Dehlis vei	13,5	4	3,5			25	tosidig fra midten	0,7	70 w tosidig
Kalbakkveien	8			2,5	2,5	33	staggered	1	100 w tosidig
Sam Eydes vei	7,5			1,5	2	30	staggered	1	100 w tosidig
Grorudveien	7,5			2,5		30	høyre	?	
Lindebergåsen	8			2,5		26	venstre	0,7	100 w ensidig til avkj lir
Kryss Pers/strømsvn/brobekk	11	4,5	4,5		2		staggered	1,2	150 w tosidig
Maria Dehlis vei ved Kr Robins vei						25		0,7	70 w i staggered for forta