



# Energibesparende vegbelysning

Etatsprogram Lavere energiforbruk i Statens vegvesen (LEIV)  
2013-2017

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr.646



**Tittel**

Energibesparende vegbelysning

**Undertittel**

Etatsprogram Lavere energiforbruk i Statens vegvesen (LEIV), 2013-2017

**Forfatter**

Thim Nørgaard Andersen, Allan Ruberg, ÅF Lighting

**Avdeling**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

**Seksjon**

ITS

**Prosjektnummer**

603612

**Rapportnummer**

Nr. 646

**Prosjektleder**

Per Ole Wanvik, Arne Jørgensen

**Godkjent av**

Bob Hamel

**Emneord**

Energiforbruk, energisparing, LED, styring av vegbelysning, spenningsregulering

**Sammendrag**

Statens vegvesen bruker mye energi. Både gjennom strøm og fossilt brennstoff. Statens vegvesen har derfor satt i gang et etatsprogram som heter «Lavere energiforbruk i Statens vegvesen (LEIV)». Hensikten med etatsprogrammet er å senke energiforbruket i Statens vegvesen og i tjenester som Statens vegvesen kjøper inn. Bakgrunnen er både miljømessig og økonomisk.

En av arbeidspakkene i etatsprogrammet handler om å redusere energiforbruk av vegbelysning. I sammenheng med dette har Statens vegvesen i samarbeid med Vestfold fylkeskommune utredet potensiale for energieffektiv drift av vegbelysning med LED og tradisjonelle lyskilder. Denne rapporten beskriver hvilke løsninger som er installert.

**Title**

Energy efficient road lighting

**Subtitle**

Lower energy consumption in the Norwegian Public Roads Administration, 2013-2017

**Author**

Thim Nørgaard Andersen, Allan Ruberg, ÅF Lighting

**Department**

Traffic Safety, Environment and Technology Department

**Section**

ITS

**Project number**

603612

**Report number**

No. 646

**Project manager**

Per Ole Wanvik, Arne Jørgensen

**Approved by**

Bob Hamel

**Key words**

Energy consumption, energy saving, LED, lighting control, voltage regulation

**Summary**

The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) uses a lot of energy. Both With electricity and fossil fuels. NPRA has therefore initiated a research and development program called "Lower energy consumption in NPRA (LEIV)." The purpose of the R&D program is to reduce energy consumption in NPRA and services NPRA is purchasing. The reason is both environmentally and economically.

One of the work packages in the R&D programme is to reduce energy consumption in road lighting. In this context, the Norwegian Public Roads Administration in cooperation with the County of Vestfold has investigated the potential of energy efficient operation of road lighting with LED and traditional lights. This report describes the chosen solutions.

SUMMARY - Energy saving road lighting.....	4
FORORD .....	9
1 Introduksjon.....	11
1.1 Ny teknologi.....	11
1.2 Besparelspotensiale ved utskifting til LED .....	12
1.3 Krav.....	13
1.3.1 Lystekniske krav .....	14
1.3.2 Elektrotekniske krav.....	14
1.3.3 Krav til øvrig materiell.....	14
1.4 Anleggs- og driftsøkonomi .....	14
1.4.1 TCO-beregning.....	14
1.5 Styling av vegbelysning.....	15
2 LED-armaturer til vegbelysning .....	16
2.1 Analysegrunnlag .....	17
2.2 Bedømmelseskriterier .....	18
2.3 Analysens resultater .....	19
2.3.1 Skala for bedømmelseskriteriene .....	19
2.3.2 Vegtype 1: Mindre hovedveg i bynære områder (maks 50 km/t) .....	20
2.3.3 Vegtype 2: Større hovedveg i bynære områder (maks 60 km/t) .....	21
2.3.4 Vegtype 3: Større hovedveg utenfor bynære områder (>60 km/t).....	22
2.4 Oppmerksomhetspunkter vedr. valg av LED-armatur.....	24
2.5 Anbefalinger for valg av LED-armaturer til vegbelysning.....	25
3 Styling av vegbelysning.....	27
3.1 Behovsanalyse.....	27
3.2 Overordnede styringsprinsipper.....	28
3.3 Styringsparametere.....	28
3.4 Valg av styling.....	29
3.4.1 Valg av styling til motorveger .....	29
3.4.2 Valg av styling til lokal- og landeveg.....	30
3.4.3 Valg av styling til gater og hovedveger i bymessige områder.....	31
3.4.4 Valg av styling til tunneler.....	32
3.5 Produkter.....	32
3.6 Oppmerksomhetspunkter vedr. valg av styling .....	35
3.7 Anbefalinger for valg av styling .....	38
4 Energioptimalisering vha. spenningsregulering .....	39
4.1 Konsekvenser av spenningsregulering.....	39
4.2 Forsøk med bruk av spenningsregulering .....	40
4.3 Dempingsprinsipp .....	41

4.4 Damplampers spenningsavhengighet.....	41
4.5 Teoretisk besparelspotensiale .....	42
4.6 Anbefalinger vedr. spenningsregulering .....	42
5 Kvalitet i vegbelysningen .....	43
5.1 Helhetsorientert planlegging .....	44
5.2 Oppmerksomhetspunkter vedr. kvalitet i vegbelysningen .....	44
6 Effektivisering av vegbelysning - de viktigste oppmerksomhetspunkter .....	49
6.1 De viktigste oppmerksomhetspunkter i relasjon til utvikling av energibesparelser i vegbelysning .....	50
7 Bilag.....	52
8 Kildereferanse.....	52

## **SUMMARY - Energy saving road lighting**

As a consequence of the development in the recent years of LEDs and luminaires, technologies for road lighting have had a corresponding development. The development has affected the market making it more difficult to assess products and the possibilities. One of many reasons is that there are very few documented cases and in general the development has led to changes on several levels affecting master planning of road lighting.

Under the governmental program, LEIV (*Lavere Energibruk I Statens Vegvesen – Lower Energy Consumption in the Norwegian Public Road Administration*), the Norwegian Road Administration has conducted an analysis of the LED-based luminaires for road lighting on the market today.

In addition to the analysis a review of the available literature and collection of gain experience with operating road lighting systems using LED-based luminaires was conducted. The review revealed that a number of theoretical considerations on operating and maintaining road lighting systems exists, but there aren't any documented practical experience with operating and maintaining road lighting systems on a large scale. As the purpose of this report is to provide concrete methods for obtaining energy conservation, the theoretical considerations are beyond the scope and are not included.

The project is part of a larger study regarding potential energy savings in the Norwegian society.

As part of the project, the Norwegian Road Administration has established a test facility in Vestfold County Council on parts of road no. FV313 and FV325. Here a number of the most current products for road lighting and control systems are installed. Measurements on the test facility are conducted in parallel to the other project studies and are not yet concluded. This report should be considered as a dynamic report, which will be updated concurrent with the gained experience from the test facility.

The purpose of the report is to provide recommendations to operators and owners of road lighting systems in Norway.

The report is prepared on the basis of the conducted analysis and provides recommendations regarding:

- considerations that should be included in renovation programs and in construction of new road lighting installations, including specific minimum requirements
- choice of principles for control of LED luminaires as well as the possibilities associated with control of road lighting. A number of recommendations for considerations and minimum requirements regarding choice of control principle and equipment is provided
- attenuation of existing lighting systems with conventional light sources by use of voltage regulation

In addition, the report includes a section on quality of road lighting.

The report is divided into the following sections:

- Introduction
- LED luminaires
- Equipment for control and regulation
- Energy optimization by use of voltage regulation
- Quality of road lighting
- The main points of attention

The report is meant as a tool for those responsible for public road lighting in Norway to ensure functional and operational friendly road lighting system in the future.

### **Efficiency improvements of road lighting - the main points of attention**

The scope of the report is to provide recommendations on how to achieve the best possible efficiency in road lighting. On a national level there is a focus is on reducing energy consumption in general. Since road lighting is an area where long operating hours is in effect, it is obvious to reduce energy consumption.

The introduction of LED in outdoor lighting components has been in operation since 2010 and leads a comprehensive change in lighting technology, including control, operation and maintenance. The basic principles for the design of road lighting are still the same as for road lighting with conventional lighting technology.

In order to reduce energy consumption, it is often obvious to replace the existing lighting with an LED-based solution. However, energy optimization of road lighting is achieved not only by changing to LED-based solutions. As stated in the report the use of voltage regulation at an existing installation can also be a option. Moreover, all existing and new LED-based road lighting systems should be equipped with an appropriate control system in order to achieve the best energy efficiency possible.

To ensure efficiency and optimization of the energy consumption one needs to bear in mind a number of considerations as described in the report's sections on LED luminaires (Chapter 2), control (Chapter 3) and energy optimization by use of voltage regulation (chapter 4).

The choice of solution will often be governed by economic considerations. The economy must be coherent and it may be necessary to consider the economy more important than energy efficiency.

Since the development of both LED-based lighting and control systems is progressing significantly faster than for conventional lamp technology, the factual findings of this report must be regarded as a snapshot of lighting technology and control capabilities, in effect in 2014. However, the report's general instructions

for needs, analysis, prioritization and selection of control principle are universal and can be used for future selection of luminaires and control system solutions.

Before choosing luminaires and/or control system, the task should always start with an analysis or a mapping of the actual needs. The analysis or mapping is therefore on the top of the list of the main points of attention associated with choosing LED-based lighting and control systems.

Unless one have the necessary professional skills of lighting technology as well as the specific technical aspects related to road lighting and controlling, it is always a good idea to consults with a skilled professional.

The main points of attention in relation to the development of energy saving road lighting are described below.

### **Analysis or mapping of needs**

In the analysis the needs related to a specific situation or task are mapped and prioritized. The analysis is a crucial element, that applies regardless of whether a new LED-based road lighting installation with a control system is established or a voltage regulation system is installed in an existing high pressure sodium-based system.

In the analysis it is necessary to relate to the specific task to be solved, and simultaneously look at the solution in a broader perspective. For example, it is not appropriate if the lighting installations in a municipality are composed of many different lighting and control solutions each with their own communication protocol that are unable to interact.

This will result in unnecessarily high operating costs. Instead, all lighting and control systems in the municipality should be coordinated in order to optimize energy efficiency, operation, maintenance, road safety and the visual expression of the lighting in the final solution.

### **Energy efficiency**

All new or newly renovated road lighting installations must be energy efficient. It is not possible to identify a single solution that is suitable and effective on all types of roads. One reason is that energy efficiency should not be chosen at the expense of functional and technical requirements, and in the same manner the economy can play a significant role. The suitable and most effective solution will primarily depend on the specific road geometry.

For existing road lighting systems the age of the installation usually determines whether the system needs renovation or should be replaced. If the installation is relatively new and the light sources are suitable for voltage attenuation, this will usually be the most suitable solution rather than choosing an entire replacement of the road lighting installation.

If the road lighting system is old, a new LED-based road lighting installation with a suitable control system can be both the most profitable and the most effective.

## **Operation and maintenance**

In relation to operation and maintenance the long lifetime of the LED is in itself a great advantage. In addition, a control system can optimize operation and maintenance. For example an advanced luminaire will be able to transmit diagnostic data to the operation centre.

However, not all types of lighting control will make the operation easier. The more features a control system have, the more comprehensive operation and maintenance will be, e.g. an advanced control system needs to be updated, and the staff must have the necessary skills to operate the system.

Before deciding on a specific control system, it is necessary to identify the factors that affect the operation and operating economy. This applies to issues relating to software, operation and ease of use.

In addition, it is essential that the systems and technologies covered in the control system are able to cooperate.

## **Holistic approach**

A modern road lighting installation must be functional, aesthetic and optimized in terms of economy, energy and environment. Evaluation and choice of lighting solution and control system should always be based on a holistic approach that weights the demands of energy efficiency, economy, function and aesthetics.

Which LED luminaire that is most appropriate for a given task will depend on the requirements for both lighting quality and the actual road geometry. Similarly, the choice of control system will depend on a number of factors such as AADT (Annual Average Daily Traffic), the type of traffic, the need for dimming and possibly monitoring, cell phone coverage, etc.

The same applies for existing lighting systems that are not obsolete; assessment of relevant opportunities should be based on a holistic approach. In general it should be considered whether the establishment of attenuation by use of voltage regulation is the optimal solution.

## **Lifetime and ensuring the future**

The life time of the light sources and other components plays an important role for the maintenance costs. As a consequence the lifetime of both LED drivers and control components should correspond to the lifetime of LED module, which is typically 50,000 to 100,000 hours. Furthermore, it is crucial that the LED-based solutions are reliable and energy efficient during the entire lifetime.

The more advanced a control system is, the shorter the lifetime of both hardware and software will be. In addition the period during which products and software are available and supported will be shorter.



## **Total cost of ownership (TCO)**

The investment in a new road lighting system should always be assessed in relation to the operating economy. Investment in new technology is often more expensive than investment in conventional technology. It is only by considering the total costs of the road lighting installation during the entire life time of the system, that it is possible to make choices that are best suited in the long term. A higher initial (installation) cost can in some cases lead to reduced operation and energy costs.

It is not always profitable to replace a system that uses conventional light sources. This applies if the system is efficient or established relatively recently. In such cases it is recommended to evaluate the existing system's suitability for attenuation by using voltage regulation and estimate the necessary installation costs and the savings such attenuation will provide.

Before a decision is made for choosing a particular solution, one should examine whether the expectations of the total energy savings during the system's entire lifetime, are equivalent to the total costs of the road lighting installation.

## FORORD

Som følge av LED-lyskilder og LED-armaturers utvikling har det gjennom de senere år skjedd en tilsvarende stor utvikling av teknologien innenfor vegbelysning. Den raske utviklingen har medført, at markedet kan være vanskelig og uoversiktlig å følge med i, bl.a. fordi det foreløpig kun finnes ganske få erfaringer å basere planleggingen av fremtidige vegbelysningsløsninger på. Utviklingen har dessuten medført endringer av flere forhold og på flere nivåer.

Under etatsprogrammet *Lavere Energibruk I Statens Vegvesen*, LEIV, har Statens Vegvesen foretatt en større analyse av LED-armaturer til vegbelysning som finnes på markedet i dag. I tillegg til analysen er det foretatt en studie av den tilgjengelige litteratur samt innsamling av erfaringer med drift av vegbelysningsanlegg med LED. Litteraturstudiet viser at det finnes en rekke teoretiske betraktninger, men det foreligger ikke dokumenterte praktiske erfaringer med drift og vedlikehold av LED-baserte vegbelysningsanlegg i større skala. Da rapporten har til formål å anwise konkrete metoder til energibesparelser, anses de teoretiske betraktninger for å ligge utenfor målsetningen og de er derfor ikke medtatt.

Prosjektet er del av en større undersøkelse som vedrører mulige energibesparelser i det norske samfunn.

I forbindelse med prosjektet har Statens Vegvesen etablert en teststrekning i Vestfold Fylkeskommune på deler av FV313 og FV325 hvor en rekke av de seneste/mest aktuelle produkter innenfor vegbelysning og styring er installert. Målinger på teststrekningen utføres parallelt med prosjektets øvrige undersøkelser, men er ikke avsluttet. Denne rapporten skal derfor betraktes som en dynamisk rapport, som vil bli oppdatert løpende med erfaringer fra teststrekningene.

Formålet med rapporten er å gi anbefalinger til driftsholdere og eiere av vegbelysningsanlegg i Norge.

Rapporten er utarbeidet på bakgrunn av de utførte analyser og inneholder anbefalinger vedr.:

- Overveielser med dels spesifikke minstekrav, som bør inngå både i forbindelse med renovering og etablering av nye anlegg
- Valg av prinsipper for styring av LED-armaturer samt de muligheter, som styring av vegbelysningen gir. I den sammenheng gis også en rekke anbefalinger til overveielse og minstekrav vedr. valg av styringsprinsipp og utstyr
- Demping av eksisterende belysningsanlegg med konvensjonelle lyskilder vha. spenningsregulering

I tillegg inneholder rapporten et kapittel om kvalitet i vegbelysningen.

Rapporten er oppdelt i følgende kapitler:

- Introduksjon
- LED-armaturer til vegbelysning
- Styring av vegbelysning
- Energioptimering vha. spenningsregulering
- Kvalitet i vegbelysningen
- Effektivisering av vegbelysning – de viktigste oppmerksomhetspunkter

Det er Statens Vegvesens ønske å gi de ansvarlige for den offentlige vegbelysning i Norge et verktøy som sikrer funksjonelle og driftsvennlige vegbelysningsanlegg i fremtiden.

## 1 Introduksjon

Introduksjonen av LED til utendørs belysning har vært i gang siden 2010 og medfører en omfattende endring i belysningsteknologi. Dermed følger også en endring i forhold til styring, drift og vedlikehold, samtidig som kravspesifikasjoner og anbud også må tilpasses den nye teknologien.

Selv om bruk av LED til vegbelysning har medført store endringer, er de grunnleggende prinsipper for prosjektering av vegbelysning fortsatt de samme som for veglysanlegg med konvensjonell lysteknologi. LED-teknologien er imidlertid mer komplisert, og det kan være vanskelig å få overblikk over de produkter som finnes på markedet, og ikke minst å holde seg oppdatert.

Med henblikk på å kunne treffe de riktige valg og utnytte den nye teknologien optimalt, har Statens Vegvesen gjennomført en omfattende undersøkelse av LED-baserte armaturer til vegbelysning. Undersøkelsen inneholder følgende tema:

1. Litteraturstudium
2. Markedsundersøkelse og analyse av LED armaturer
3. Markedsundersøkelse og analyse av teknologier, prinsipper og produkter for styring og regulering av vegbelysning med LED
4. Markedsundersøkelse og analyse av teknologier og produkter for spenningsregulering
5. Lys- og el-teknisk prosjektering av teststrekning
6. Måling av lys- og el-tekniske parametere for teststrekning (måleprosedyre)
7. Måling og analyse for regulering av konvensjonelle lyskilder (måleprosedyre)

Resultatet av undersøkelsene 1-4 er samlet i denne rapport, mens de fire delrapporter foreligger i form av bilag til rapporten. Her finnes beskrivelser av hva som er «best practice» i forhold til valg av vegbelysning med LED, herunder både selve utstyret og eventuell tilhørende software.

I tillegg inneholder de enkelte kapitler en rekke oppmerksomhetspunkter som er minst like viktige å forholde seg til.

I de følgende delkapitler beskrives sentrale emner med relevans for fremtidig vegbelysning i Norge.

### 1.1 Ny teknologi

Anvendelse av LED-belysning i alle nye belysningsanlegg på norske veger er som nevnt forbundet med et skift i forhold til både krav, anbud, styring, samt drift og vedlikehold.

Levetiden for LED er så lang (50-100.000 timer), at det ikke gir mening å stille krav om at lyskilden skal kunne skiftes mens armaturet er montert på masten.

Å treffe de riktige valg til en gitt belysningsløsning krever kunnskap. Det er avgjørende at beslutningstakeren, eller dennes rådgiver, har de nødvendige kompetanser i forhold til å kunne vurdere spesifikke produkter og løsninger. For

mange produkter gjelder nemlig at det materiale som beskriver produktet kun har fokus på produktets mange fordeler.

En av de store fordelene er muligheten for å oppnå store energibesparelser. Det er imidlertid også mange forhold som kan være problematiske, og som leverandørene ikke nødvendigvis gjør rede for. For eksempel er de finelektroniske komponenter som finnes i LED-armaturer generelt mer følsomme enn de elektromekaniske komponenter som finnes i konvensjonelle armaturer, f.eks. overfor fukt.

Også selve lysutsendelsen fra LED-armaturer er annerledes enn fra konvensjonelle armaturer. Det får betydning for både fleksibiliteten, lysfordelingen og forhold vedr. blanding. Konvensjonelle armaturer er typisk utstyrt med en optikk som kan tilpasses forskjellige vegdimensjoner, kryss mv. LED-armaturer har ikke denne innebygde fleksibiliteten. Det forventes allikevel, at det innenfor få år utvikles flere varianter av LED-armaturer, så fleksibiliteten økes.

Inntoget av LED har gitt designmessige forandringer og større frihet med hensyn på armaturenes utforming. Det er skapt nye muligheter, men visse forhold er samtidig blitt mer problematiske. Det gjelder for eksempel blanding. De rådgiverne som står for prosjektering av ny belysning, bør derfor ha de nødvendige kompetanser til å vurdere både selve produktene, lystekniske beregninger og øvrige relevante forhold som har relevans i forhold til å oppnå optimale vegbelysningsløsninger og energiforhold.

I forhold til drift, styring og overvåking gir LED mange nye muligheter. Den daglige drift blir mer forenklet, mens selve styringen kan være mer kompleks. LED gir større mulighet for å differensiere benyttelsestiden for belysningen i forskjellige områder, og det har blitt både enklere og billigere å overvåke belysning med LED.

## **1.2 Besparelspotensiale ved utskifting til LED**

Utskiftning av konvensjonelle lyskilder til LED kan gi store besparelser.

Særlig for kvikksølvlyskilder er energieffektiviteten veldig dårlig. Da de wattstyrker som benyttes til vegbelysning samtidig er relativt høye, vil det være store energibesparelser forbundet med å skifte ut disse lyskildene til LED. Derfor har EU også valgt å utfase kvikksølvlyskildene.

For lysstoffrør, kompaktlystoffrør og sparepærer er det særlig de lave wattstyrker, som benyttes på mindre veger, som ikke er så energieffektive. Elforbruket for denne type lyskilder er ikke så stort som for kvikksølvlyskilder, men da en stor del av de armaturer som benytter denne type lyskilder, ikke er særlig effektive, vil det i mange tilfeller være lønnsomt å skifte ut armaturer med lysstoffrør, kompaktlystoffrør og sparepærer til LED-baserte løsninger.

I Tabell 1 er listet de energibesparelspotensialer (2014), som er mulige å oppnå ved utskiftning av de forskjellige konvensjonelle lyskildetyper til LED-baserte løsninger. Verdiene er basert på forskjeller mellom lyskildetyperne og tar ikke

høyde for armaturenes effektivitet. Det inngår heller ikke i sammenligningen, at effektiviteten for LED forventes å stige ytterligere i løpet av de kommende år. Det betyr at man i fremtiden kan forvente stigende energibesparelser ved utskiftning til LED. I tillegg forventes prisene for LED å falle. Bemerk at det er angitt et intervall for besparelspotensialet. Dette skyldes at det relative tap i forkoblingen i konvensjonelle lyskilder varierer og er størst for de laveste wattstyrker. Derfor er besparelspotensialet som regel størst for de laveste wattstyrker.

Lyskildetype	Energibesparelspotensiale v. 1:1 utskiftning (2014)	Bemerkning
Kviksølvlys kilder	50-60 %	Besparelsen varierer avhengig av wattstyrker. Besparelspotensialet er som regel størst for de laveste wattstyrker.
Lysstoffrør	45-60 %	
Høytrykksnatriumlys kilder	0-20 %	
Metalhalogenlys kilder	0-25 %	
Kompaktlysstoffrør	45-60 %	
Sparepærer	40-50 %	

Tabell 1. Verdier (2014) for energibesparelspotensialet ved utskiftning av konvensjonelle lyskilder til LED.

De besparelspotensialene som er opplistet i Tabell 1 er fastsatt ut fra den antagelse av at det benyttes en LED-basert lyskilde som gir den samme lysmengde. Verdiene i tabellen tar ikke høyde for armaturets effektivitet og at deler av belysningsanlegget kanskje ikke lever opp til den krevde belysningsklasse i Håndbok V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning. Dette kan for eksempel gjelde for strekninger med lysstoffrør.

Hvis deler av det eksisterende belysningsanlegg ikke lever opp til kravene i Håndbok V124, kan det bety at den reelle energibesparelse blir mindre enn beregnet. Utskiftning av veldig ineffektive armaturer kan imidlertid gi anledning til større besparelser enn beregnet.

I fremtiden kan man som nevnt forvente stigende energibesparelser ved utskiftning til LED. Effektiviteten av LED-moduler ventes fortsatt å øke, hvilket vil redusere energiforbruket og dermed totalomkostningene pr. km vegstrekning ytterligere.

Effektiviteten på LED-moduler har utviklet seg voldsomt i løpet av de seneste 5 år. Denne utviklingen fortsetter og det forventes at armaturenes effektivitet i perioden 2014 – 2018 årlig stiger med gjennomsnittlig 4-6 %.

### 1.3 Krav

Med henblikk på å oppnå så optimale belysningsløsninger som mulig, bør de krav som stilles til fremtidig vegbelysning på de norske veger omfatte både lystekniske og el-tekniske krav samt krav til selve materiellet.

### **1.3.1 Lystekniske krav**

Lystekniske krav omfatter primært krav til luminans- eller belysningsnivå, regelmessighet og blending, som har avgjørende betydning for både sikkerhet og visuell komfort.

Oppfyllelsen av de lystekniske krav sikres gjennom lystekniske beregninger, som dessuten danner grunnlag for fastleggelse av masteavstand, lyspunkthøyde, wattstyrke og optikktype.

### **1.3.2 Elektrotekniske krav**

De elektrotekniske krav vedrører bl.a. energiforbruk og levetid for både lyskilder og øvrige komponenter.

For å oppnå et så lavt energiforbruk som mulig, bør det stilles krav til effektopptaket for alle relevante komponenter i den samlede belysningsløsning, herunder drivere og styringskomponenter.

Levetiden for lyskilder og øvrige komponenter spiller en stor rolle for vedlikeholdsomkostningene. Derfor bør levetiden for både drivere og styringskomponenter svare til levetiden for LED-modulene, som typisk er 50-100.000 timer.

Belysningsmateriell skal være i isolasjonsklasse II, dvs. dobbeltisolert.

### **1.3.3 Krav til øvrig materiell**

Det materiell som anvendes til vegbelysning bør være robust overfor mekaniske og værmessige påvirkninger.

Derfor bør leverandører av vegbelysningsmateriell kunne sannsynliggjøre en minimumslevetid på 25 år, svarende til de levetider som gjelder for konvensjonelt vegbelysningsmateriell.

Armaturhus skal som minimum oppfylle kapslingsklasse IP65, utstyr til forkoblingen og driveren skal som minimum oppfylle kapslingsklasse IP44 og veglysskap skal som minimum oppfylle kapslingsklasse IP55.

## **1.4 Anleggs- og driftsøkonomi**

Anleggsinvesteringen for et prosjekt bør alltid vurderes i forhold til driftsøkonomien. Investering i ny teknologi er ofte mer kostbart enn investering i konvensjonell teknologi. Derfor er det viktig å se på de samlede omkostningene over hele anleggets levetid. Dette gjelder særlig ved utskiftning på større strekninger. Her kan en såkalt TCO-modell (Total Cost of Ownership) benyttes til å sammenligne de totalomkostningene over anleggets levetid som er forbundet med forskjellige løsningsmuligheter.

### **1.4.1 TCO-beregning**

En TCO-modell tar høyde for både anleggspris og driftsutgifter i løpet av hele belysningsanleggets levetid, som typisk fastsettes til 25 år. Modellen er et godt

redskap når man ønsker å sammenligne anleggsløsninger som har forskjellig anleggspris og driftsomkostninger.

I en beregning av TCO inngår:

- Anleggspris pr. km belysningsanlegg
- Drift og vedlikeholdelsesomkostninger pr. km belysningsanlegg i 25 år
- Energikostnader pr. km belysningsanlegg i 25 år

For å kunne sammenligne forskjellige anlegg må faktorer for energipris, antall årlige driftstimer samt utgifter til drift- og vedlikehold pr. armatur være faste. Selv om den relativt enkle modellen ikke medregner finansieringsomkostninger og fremtidige prisendringer er den et godt redskap til sammenligning av totaløkonomien i alternative belysningsløsninger.

### **1.5 Styring av vegbelysning**

Det er ikke alltid lønnsomt å skifte ut et anlegg med konvensjonelle lyskilder. Det gjelder f.eks. hvis anlegget er energieffektivt eller etablert relativt nylig.

I disse tilfellene anbefales det å vurdere det eksisterende anleggs egnethet i forhold til spenningsdempning, som beskrives i kapittel 4 .

Med mindre sikkerhetsmessige forhold taler imot dette bør nyanlegg med LED alltid inneholde en styringsløsning. Styringen kan være enkel eller avansert og valg av styringssystem bør skje med utgangspunkt i en grundig behovsanalyse for den spesifikke vegstrekning. Styringsløsninger til LED-baserte vegbelysningsanlegg er beskrevet i kapittel 3.

Innen man endelig beslutter seg for en bestemt løsning, bør det alltid undersøkes om forventningene til den samlede energibesparelse over hele anleggets levetid tilsvarer de samlede utgifter, dvs. både anleggsinvesteringer og utgifter til drift, vedlikehold, energiforbruk og styring. Ved sammenligning av alternative løsninger anbefales det at man anvender TCO-metoden, som er beskrevet i kapittel 1.4.1 .



## 2 LED-armaturer til vegbelysning

Tilbake i 2010 begynte LED så smått å kunne benyttes profesjonelt til vegbelysning. I starten var det kun stier og mindre veger, hvor belysningskravene kunne overholdes vha. LED-armaturer. Siden er større veger kommet til. Potensialet for bruk av LED i vegbelysning er fortsatt stort og stigende i takt med LED-teknologiens utvikling.

Introduksjonen av LED til utendørs belysning medfører et omfattende skift i belysningsteknologi med en lang rekke nye muligheter, men også nye krav som skal stilles til armaturet og leverandøren.

De grunnleggende prinsipper for prosjektering av vegbelysning er fortsatt de samme som for vegbelysning med konvensjonell teknologi. Valget av det mest velegnede armatur kan imidlertid være mere komplekst. Det skyldes dels at det har kommet en lang rekke nye leverandører og produkter på markedet, hvor kvaliteten av de nye LED-armaturene er varierende, dels at det stadig er snakk om en ny teknologi som er relativt dyr i anskaffelse, hvor det stadig kan forekomme «barnesykdommer» og hvor driftserfaringene er begrenset. Dertil kommer LED'enes veldig lange levetid, som i enda høyere grad nødvendiggjør at det velges et driftssikkert og energieffektivt armatur, som samtidig kan oppfylle kravene til belysningen.

En annen vesentlig forskjell er at LED er elektronikk. Det betyr at de parametere som er vesentlige i forhold til vurdering og sammenligning av lyskilder, også er forandret. Generelt gjelder, at jo flere funksjonaliteter et anlegg kan levere, jo større vil risikoen for feil også være.

Med henblikk på å kunne treffe de riktige valg og utnytte den nye teknologien optimalt, er det i 2014 gjennomført en større markedsundersøkelse som omfatter lysteknisk og energimessig analyse av 150 eksisterende LED-armaturer og varianter til vegbelysning. Av de 150 LED-armaturene er det foretatt en grundig analyse av 30 armaturer fra følgende produsenter: AEC, CREE, Focus Lighting, GE Lighting, iGuzzini, Schréder, Siteco, Swarco og Thorn. Disse produsentene er alle kjennetegnet ved å ha salgsrepresentasjoner i et eller flere av de nordiske landene.

I dette kapitlet redegjøres det for analysens resultater og den problematikk som knytter seg til valg av LED-armaturer synliggjøres. Det gis således ikke en liste over velegnede armaturer til forskjellige vegtyper, da utviklingen av LED-armaturer skjer så raskt at det ikke er mulig å gi langsiktige anbefalinger på velegnede armaturer. De spesifikke forhold som knytter seg til en gitt vegstrekning spiller også en avgjørende rolle for hvilke armaturer som kan benyttes.

I stedet pekes det på en rekke vesentlige oppmerksomhetspunkter og anbefalinger i forhold til valg av det mest velegnede LED-armatur til en gitt vegstrekning.

## 2.1 Analysegrunnlag

Analysen tar utgangspunkt i tre vegtyper med typiske veg-geometrier som er representative for hovedveger i Norge samt tilhørende anleggsgeometrier. Belysning av kryss, rundkjørsler, fotgjengerfelt o.l. inngår ikke i analysen.

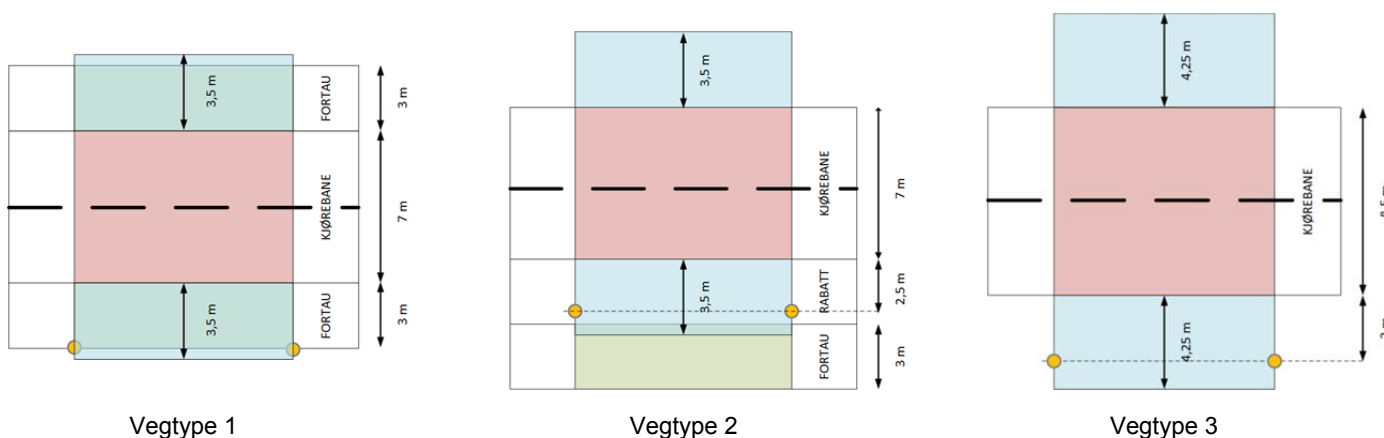
Belysningen skal overholde kravene anført i Håndbok V124, hvor der bl.a. stilles krav til overholdelse av MEW-belysningsklassene. Belysningsklassen uttrykker et ønske om belysningskvalitet gjennom bl.a. krav til:

- Belysningsnivået på vegen
- Belysningens jevnhet
- Begrensning av ubehag slik som blending og fjernvirkning

For de tre vegtypene fremgår spesifikasjonene av Tabell 2. I figur 1 er vegtypene illustrert.

	Vegtype 1: Mindre hovedveg i bynære områder	Vegtype 2: Større hovedveg i bynære områder	Vegtype 3: Større hovedveg utenfor bynære områder
<b>Fartsgrense</b>	maks 50 km/t	maks 60 km/t	>60 km/t
<b>Belysningsklasse</b>	MEW3	MEW3 + S4	MEW2
<b>Vegdekke</b>	C2/W4	C2/W4	C2/W4
<b>Kjørebanebredde</b>	6,5 m	7 m	8,5 m
<b>Rabattbredde</b>	-	1 x 3,0 m	-
<b>Fortausbredde/sykelsti</b>	2 x 2,0 m	1 x 3,0 m	-
<b>Lyspunkthøyde</b>	6 m	8 m	10 m
<b>Armaturhelling</b>	0° - 3°	0° - 3°	0° - 3°
<b>Overheng</b>	0 til -1,5 m	0 til -2 m	0 til -2,5 m

Tabell 2. Tre typiske norske hovedveger med tilhørende belysningsklasser.



Figur 1. Representative veg-geometrier for tre typer hovedveger.

Kravene for belysningsklassene fremgår av Tabell 3.

	MEW2	MEW3	S4
Luminans, kjørebane, $L_m$	1,5 cd/m <sup>2</sup>	1,00 cd/m <sup>2</sup>	-
Jevnhet, tørr veg, $U_0$	0,40	0,40	-
Jevnhet, våt veg, $U_{0v}$	0,15	0,15	-
Langsgående jevnhet, $U_l$	0,60	*0,30	-
Synsnedsettende blending, TI%	10	15	-
Belysning av omgivelser, SR	0,50	0,50	-
Horisontal belysningsstyrke, $E_m$	-	-	5,0
Horisontal belysningsstyrke, $E_{min}$	-	-	1,0

Tabell 3. Kravene til belysningsklassene MEW2, MEW 3 og S4. \*Kravet på 0,60 i Håndbok V124 er nedskrevet til 0,30.

Det er dessuten satt en rekke minimumskrav til LED-armaturene som er sammenfattet i Tabell 4 nedenfor.

	Vegtype 1: Mindre hovedveg i bynære områder	Vegtype 2: Større hovedveg i bynære områder	Vegtype 3: Større hovedveg utenfor bynære områder
Armaturhelling (tilt)	≤ 3°	≤ 3°	≤ 3°
Vedlikeholdsfaktor	0,8	0,8	0,8
G – klasse	G4	G4	G4
D – klasse	D6	-	-
Isolasjonsklasse	II	II	II
Fargetemperatur	4000 K	4000 K	4000 K
Fargegjengivelse	70	70	70

Tabell 4. Minimumskrav som LED-armaturene skal kunne oppfylle.

## 2.2 Bedømmelseskriterier

Utover krav i Håndbok V124 og de minimumskrav som er angitt i kapittel 2.1, er LED-armaturenes egnethet i forhold til de tre vegtyper bedømt ut fra følgende kriterier:

- Belysningsvirkningsgraden
- Energiforbruk pr. km veg pr. år
- S/H-forhold
- Den visuelle komfort

**Belysningsvirkningsgraden** er et uttrykk for hvor mye av det utsendte lys, som treffer de arealene det stilles belysningskrav til. Belysningsvirkningsgraden er dermed et mål for hvor mye av det utsendte lys som treffer kjørebane og fortau.

**Energiforbruk pr. km veg pr. år** angir, hvor energieffektivt belysningsanlegget er og kan brukes som indikasjon for hvor effektiv det enkelte LED-armatur er. Energiforbruket pr. km veg avhenger imidlertid ikke alene av armaturets effektivitet, men også av anleggsutformingen. I undersøkelsen er energiforbruket beregnet for et årlig antall brenntimer på 3.940 timer og uten styring av LED-armaturene. Energiforbruket vil selvfølgelig være lavere om det benyttes styring.

**S/H-forholdet** er et uttrykk for forholdet mellom avstanden mellom mastene (lyspunktavstanden,  $s$ ) og høyden armaturet er montert i (lyspunkthøyden,  $h$ ). Forholdet har betydning for oppfattelsen av proporsjonene for et belysningsanlegg

og er samtidig et nyttig redskap for estimering av omkostningene ved etablering av belyningsanlegg.

*Den visuelle komfort* dekker bl.a. over opplevd blending og fjernvirkning og er i denne analyse kvantifisert vha. enten armaturets avskjermningsklasse (G-klasse) eller blendingstall (D-klasse).

### **2.3 Analysens resultater**

Armaturene er analysert ut fra produktopplysninger, som er innhentet fra produsentene. Den maksimale avstand mellom mastene (lyspunktene) som sikrer oppfyllelse av belyningsklassen, er bestemt via lystekniske beregninger. På bakgrunn av resultatet er de øvrige bedømmelsesparametere som energiforbruk og belyningsvirkningsgrad beregnet.

Resultatet viser at det finnes flere velegnede LED-armaturer på markedet. De beste LED-armaturene har en optikk som er utviklet spesifikt med henblikk på oppfyllelse av kravene til jevnhet på våt veg. For de LED-armaturer som ikke er så velegnede, er det nettopp dette krav som ikke kan oppfylles.

Resultatet viser også at det er vanskelig å finne LED-armaturer som kan oppfylle kravene som gjelder på større hovedveger. Kun de færreste LED-armaturer utsender tilstrekkelig lysstrøm til å kunne oppfylle kravene til belyningsnivå med en fornuftig avstand mellom mastene.

Analysens resultat viser dessuten at evnen til å oppfylle de lystekniske kravene generelt er avhengig av veg-geometrien. LED-armaturenes optikk har pr. i dag ikke den samme innebyggede fleksibilitet som optikken til konvensjonelt baserte armaturer, hvilket resulterer i en større følsomhet overfor endringer i veg-geometrien i forhold til når kravene ikke lenger kan oppfylles.

I de følgende kapittel gis en kort beskrivelse av analysens resultater. En mer utførlig redegjørelse for resultatene finnes i bilag 1 «Markedsundersøgelse og analyse af LED-armaturer».

#### **2.3.1 Skala for bedømmeskriteriene**

På bakgrunn av de utførte beregninger, samt erfaringer, er nedenstående skalaer for bedømmeskriteriene valgt (Figur 2, Figur 3 og Figur 4). Verdiene i de tre skalaene illustrerer hva som kan forventes for belyningsanlegg som etableres på tilsvarende vegtyper med tilsvarende veg-geometrier. Dessuten utgjør verdiene et godt grunnlag for å vurdere om tilsvarende belyningsanlegg er energieffektive eller kan energioptimaliseres.

*Belysningsvirkningsgraden* vil for gode belyningsanlegg ligge på 0,50 eller over. Verdien er ikke spesielt avhengig av veg-geometrien, men i høy grad av den optikk armaturet leveres med. På bakgrunn av analysen kan armaturene inndeles etter verdiene i Figur 2.

God	≥ 0,50
Rimelig	≥ 0,35
Dårlig	< 0,35

Figur 2. Skala for belyningsvirkningsgrad.

**Energiforbruk pr. km veg** er i stor grad avhengig av veg-geometrien. De mest effektive belyningsanlegg for vegtypene 1 og 2 har et energiforbruk på 10-12 MWh pr. km veg pr. år. Energiforbruket for de minst effektive belyningsanleggene er henholdsvis ca. 21 MWh pr. km veg pr. år for vegtype 1, ca. 29 MWh pr. km veg pr. år for vegtype 2 og ca. 50 MWh pr. km veg pr. år for vegtype 3. En oppdeling til hjelp for vurdering av det årlige energiforbruk pr. km veg er vist i Figur 3.

	Vegtype 1	Vegtype 2	Vegtype 3
Høyt	21,2	29,0	50,0
	18,0	24,0	41,0
Middels	15,0	19,0	32,0
	12,0	13,0	23,0
Lavt	9,7	10,9	15,1

Figur 3. Skala for energiforbruk pr. km pr. år.

**S/H-forholdet** er valgt ut fra flere års erfaringer med etablering av belyningsanlegg med konvensjonelle lyskilder. Erfaringene herfra viser, at installasjoner med gode proporsjoner, hvilket har betydning for lyskvaliteten (se kapittel 5 ), har et S/H-forhold på minst 4. Derfor vurderes et S/H-forhold på 4 som godt. En oppdeling til hjelp for vurdering av S/H-forholdet er vist i Figur 4.

Godt	$S/H \geq 4$
Middel	$3 \leq S/H < 4$
Dårlig	$S/H < 3$

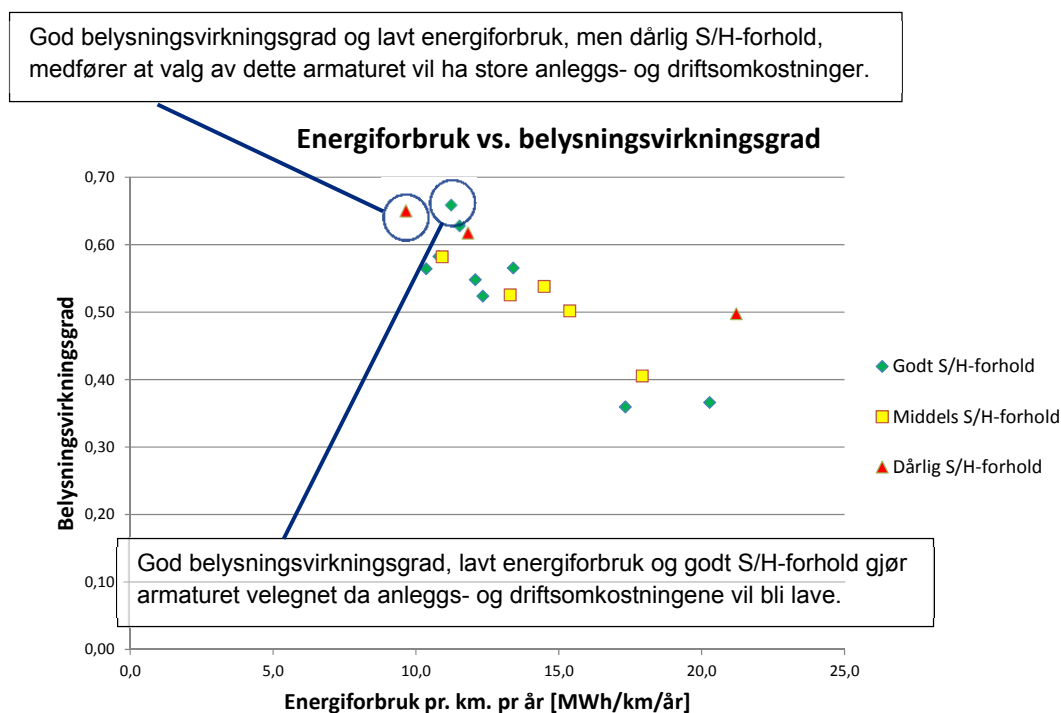
Figur 4. Skala for S/H-forholdet, dvs. forholdet mellom lyspunktavstand og lyspunkthøyde

### 2.3.2 Vegtype 1: Mindre hovedveg i bynære områder (maks 50 km/t)

I alt er 17 LED-armaturer analysert i relasjon til vegtype 1. Resultater av analysen viser at:

- 13 av de 17 LED-armaturene kan oppfylle de formelle krav til belyningsklassen som anført i Håndbok V124 og er derfor anvendelige på vegtype 1.
- For 14 av de 17 undersøkte armaturene kan det oppnås en god belyningsvirkningsgrad (over 0,50).
- For 13 av LED-armaturene ligger det årlige energiforbruket mellom 10 MWh og 15 MWh, hvilket må betraktes som akseptabel, da variasjonen er begrenset.

- Den optimale masteavstand varierer. De beste LED-armaturer kan plasseres med 30 meters avstand, mens avstanden for de dårligste ligger mellom 10 m og 15 m. De sistnevnte armaturene må betegnes som ikke-anvendelige på vegtype 1.



Figur 5. Vegtype 1: Belysningsvirkningsgrad som funksjon av det årlige energiforbruk.

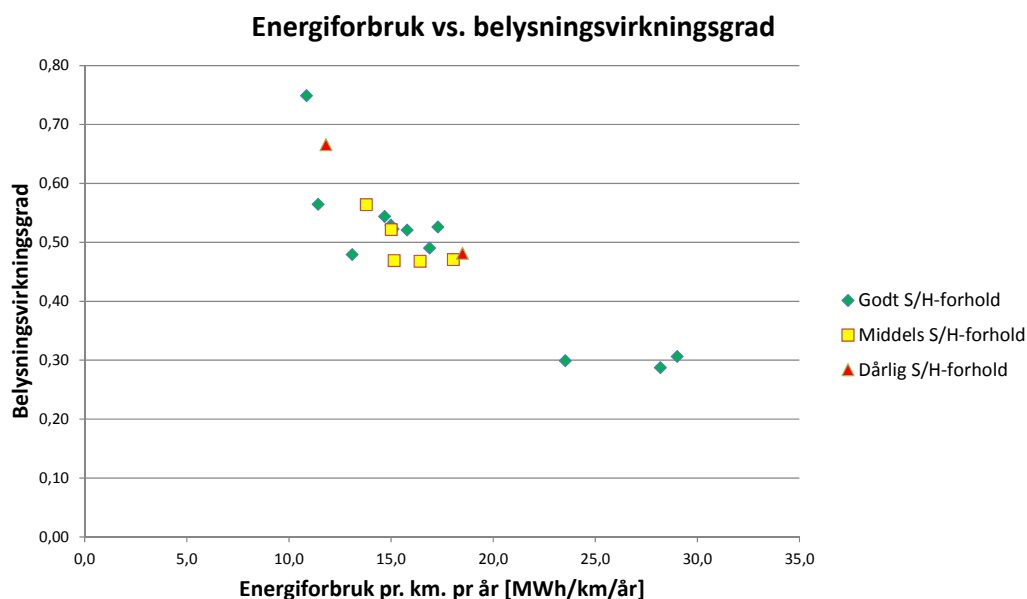
Som det fremgår av Figur 5 er det ikke en entydig sammenheng mellom en god belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbruk og et godt S/H-forhold. Derfor er det ikke tilstrekkelig å velge ut det LED-armatur som er mest energieffektivt og som gir en høy belysningsvirkningsgrad og dermed lave driftsomkostninger. Dette kan nemlig resultere i unødig høye anleggsomkostninger, for eksempel hvis masteavstanden blir for liten. Godt halvparten av armaturene oppnår et godt S/H-forhold på 4-5, hvilket med disse armaturer, er basert på en masteavstand på 25-30 m.

### 2.3.3 Vegtype 2: Større hovedveg i bynære områder (maks 60 km/t)

I alt har 19 LED-vegarmaturer blitt analysert i relasjon til vegtype 2. Resultater av analysen viser at:

- 11 av de 19 LED-armaturene kan oppfylle de formelle krav til belysningsklassen som beskrevet i Håndbok V124.
- For 10 av de 19 undersøkte LED-armaturene kan det oppnås en god belysningsvirkningsgrad (over 0,50). Det beste LED-armaturet har faktisk en belysningsvirkningsgrad over 0,70. Variasjonen er imidlertid stor og flere LED-armaturer har en belysningsvirkningsgrad under 0,50.

- Det årlige energiforbruk ligger mellom 10 MWh og 30 MWh. Herav har 16 av de 19 LED-armaturene et årlig energiforbruk mellom 10 MWh og 20 MWh med en større konsentrasjon omkring 15 MWh.
- Den optimale masteavstanden varierer. De beste LED-armaturene kan plasseres med 40 meters avstand, mens avstanden for de tre dårligste ligger mellom 10 m og 25 m. Disse tre LED-armaturene må betegnes som ikke-anvendelige på vegtype 2. To av de tre armaturene innfrir dessuten ikke det formelle krav til oppfyllelse av belysningsklasse i henhold til Håndbok V124.



Figur 6. Vegtype 2: Energiforbruk vs. belysningsvirkningsgrad.

Heller ikke for vegtype 2 er det en entydig sammenheng mellom en god belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbruk og et godt S/H-forhold. Figur 6 viser at det er en rekke av de undersøkte LED-armaturene som sikrer en god belysningsvirkningsgrad, lange masteavstander (godt S/H-forhold) og et lavt energiforbruk pr. km vegstrekning.

### 2.3.4 Vegtype 3: Større hovedveg utenfor bynære områder (>60 km/t)

I alt er 18 LED-vegarmaturer blitt analysert i relasjon til vegtype 3.

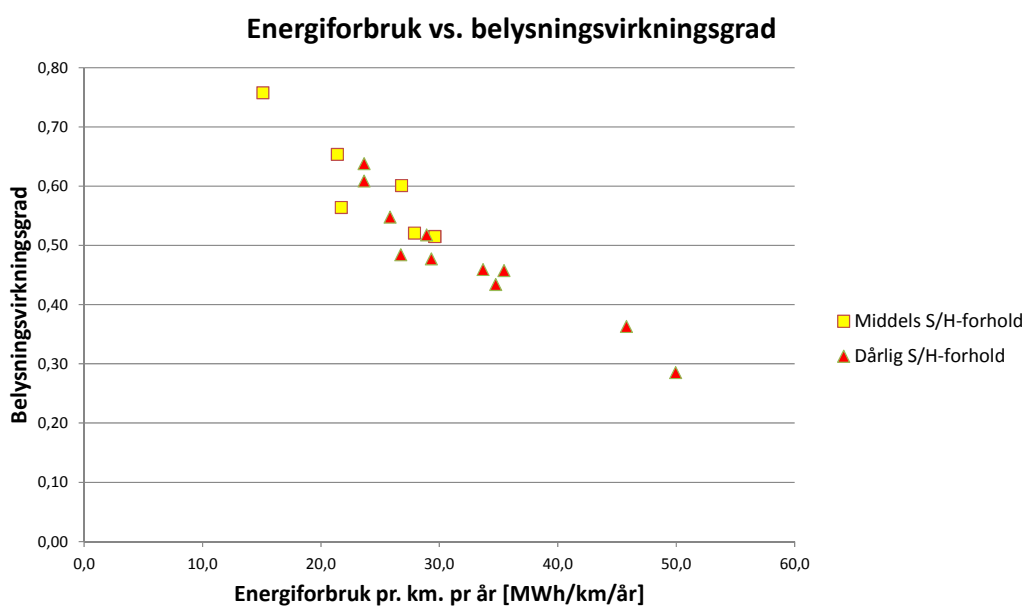
For disse armaturene varierer energiforbruket og belysningsvirkningsgraden noe mer enn for armaturer til vegtype 1 og 2. Samtidig er det vanskelig å oppnå gode proporsjoner for masteavstand og lyspunkthøyde (S/H-forhold); de beste S/H-forhold ligger mellom 3 og 4, hvilket betegnes som «middels». Resultatet av analysen viser at:

- 12 av de 18 LED-armaturer kan oppfylle de formelle krav til belysningsklassen beskrevet i Håndbok V124.
- Belysningsvirkningsgraden er generelt høy. De fleste LED-armaturer (11 av 18) har en belysningsvirkningsgrad over 0,50 og kun to armaturer har en belysningsvirkningsgrad under 0,40.

- 12 av de 18 LED-armaturene har et energiforbruk mellom 20 og 30 MWh pr. km pr. år, mens 2 armaturer har et energiforbruk på nesten 50 MWh pr. km pr. år
- For de beste armaturene (7 av de 18 undersøkte) ligger masteavstanden omkring 35 m. For 4 av de 18 armaturer ligger masteavstanden omkring 25 m, mens den for de resterende 7 armaturer ligger mellom 10 m og 20 m. De siste 7 armaturene anses ikke for å være anvendelige til vegtype 3.

Som for vegtype 1 og 2 er det ikke en entydig sammenheng mellom en god belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbruk og et godt S/H-forhold. Det er en tendens til at anlegg med et middel S/H forhold har en høyere belysningsvirkningsgrad og lavere energiforbruk pr. km veg enn anlegg med et dårlig S/H-forhold, se Figur 7. Dette skyldes at armaturenes lysstrøm utnyttes bedre, idet det ikke skjer noen overbelysning av arealene.

Ingen av armaturene oppnår et godt S/H-forhold og kun de beste armaturene til vegtype 3 (7 stk.) oppnår et rimelig S/H-forhold.



Figur 7. Vegtype 3: Energiforbruk vs. belysningsvirkningsgrad.

I langt de fleste tilfeller er det armaturets lysstrøm som er den begrensende faktor for å oppnå et høyere S/H-forhold. Det betyr at den utsendte lysmengde (lysstrøm) fra mange av de eksisterende LED-armaturene ikke er tilstrekkelig til å kunne belyse større hovedveger. Dette skyldes dels at LED'ene på markedet ennå ikke er effektive nok, dels armaturenes fysiske begrensninger, dvs. at det ikke er plass til tilstrekkelig mange LED'er i armaturhuset. Det forventes imidlertid at LED'ene blir tilstrekkelig effektive innen få år.



## 2.4 Oppmerksomhetspunkter vedr. valg av LED-armatur

Den teknologiske utvikling av LED-armaturer til vegbelysning går raskt og ovenstående resultater skal derfor betraktes som et øyeblikksbilde på LED-armaturenes lystekniske evner i 2014 i forhold til typiske geometrier for hovedveger i Norge. Det betyr at markedet vil endre seg hurtig og at man derfor kan være nødt til å foreta vurderinger av nye armaturtyper og varianter når man skal foreta innkjøp.

Vurderingen og valget av et LED-armatur bør alltid foretas ut fra en helhetsbetraktning som venter krav til både energieffektivitet, økonomi, funksjon og estetikk. Hvilket LED-armatur som er det mest velegnede til en gitt oppgave vil avhenge både av ønsker til belysningskvaliteten og av den aktuelle veggeometri samt evt. begrensninger i anleggsgeometrien.

Resultatene av analysen av LED-armaturer kapittel 2.3 har vist, at det ikke er tilstrekkelig å vurdere et vegbelysningsarmatur ut fra en eller to parametere. Å velge det mest optimale LED-armatur til en gitt vegstrekning krever derimot en grundig vurdering av flere parametere. Vurderingen bør som minimum basere seg på en lysteknisk beregning samt beregning av belysningsvirkningsgraden, S/H-forholdet og energiforbruk (pr. km veg).

Ut fra en anleggs- og driftsmessig betraktning vil et LED-armatur som både er energieffektivt og har en høy belysningsvirkningsgrad, dvs. sender lyset ned på de arealer det stilles krav til, være det beste valg hvis det samtidig gir mulighet for store masteavstander og bruk av lave master (høyt S/H-forhold).

For å bestemme det mest egnede armatur til en gitt vegstrekning, hvis veg- og anleggsgeometrier svarer til vegtype 1, 2 eller 3, kan erfaringstallene i Tabell 5 benyttes.

	Vegtype 1: Mindre hovedveg i bynære områder (maks 50 km/t)	Vegtype 2: Større hovedveg i bynære områder (maks 60 km/t)	Vegtype 3: Større hovedveg utenfor bynære områder (>60 km/t)
<b>Belysningsklasse</b>	MEW3	MEW3 + S4	MEW2
<b>Visuell komfort</b>	≥ G4, D6	≥ G4	≥ G4
<b>Belysningsvirkningsgrad</b>	≥ 0,55	≥ 0,54	≥ 0,51
<b>S/H-forhold</b>	≥ 4,5	≥ 4,6	≥ 3,3
<b>Energiforbruk pr. km vegstrekning</b>	10-12 MWh/km pr. år	10-15 MWh/km pr. år	15-30 MWh/km pr. år
<b>Lyspunktavstand</b>	27	37 -42	33 - 43

Tabell 5. Erfaringstall for de beste av de analyserte armaturer i 2014.

Erfaringstallene i Tabell 5 er basert på de helt spesifikke veg- og anleggsgeometriene som er anvendt i denne analysen.

Bestemmelse av det mest egnede armatur til en gitt vegstrekning, hvis veg- og anleggsgeometrier ikke svarer til vegtype 1, 2 eller 3, bør skje utfra en analyse av et antall armaturer, som vil være relevante for den gitte vegstrekning, f.eks. 2-5 stk.

Analysen av de utvalgte LED-armaturene bør omfatte:

- Lysteknisk beregning, inkl. beregning av avskjermingsklasse og blendingstall
- Beregning av:
  - Belysningsvirkningsgrad
  - S/H-forhold
  - Energiforbruk pr. km vegstrekning
  - Evt. TCO-beregning
- Visuell vurdering av:
  - Estetikk, herunder armaturets formgivning i forhold til de omgivelser det tenkes anvendt i samt LED'enes fargeegenskaper
  - Blendingsforhold
- Vurdering av relevansen av anvendelse av CLO-funksjon (konstant lysstrøm)
- Innhentning av relevant informasjon vedr.:
  - Produktpriser fra armaturprodusenter/leverandører
  - Overslag på anleggs- og driftsomkostninger, f.eks. fra kjente anleggs-entreprenører og driftsholdere
  - Driftserfaringer, f.eks. fra kjente driftsholdere
  - Antagelser eller dokumentasjon vedr. levetider, rengjøringsintervaller mv., som er gjort i forbindelse med prosjekteringen av belysningsanlegget

På bakgrunn av ovenstående kan relevante LED-armaturer sammenlignes og vurderes i forhold til hverandre, slik at det mest egnede armatur til den gitte oppgave kan velges.

Oppmerksomhetspunktene vedr. vurdering av LED-armaturer er utdypet i bilag 1 «Markedsundersøgelse og analyse af LED-armaturer».

## **2.5 Anbefalinger for valg av LED-armaturer til vegbelysning**

Analysen viser at det finnes velegnede armaturer på markedet som kan leve opp til de krav som stilles til belysningen på norske hovedveger. Det er imidlertid langt fra alle undersøkte armaturer som er velegnede.

Resultatene av analysen (kapittel 2.3 ) kan, som tidligere nevnt, kun betraktes som et øyeblikksbilde på LED-armaturenes lystekniske evner i 2014. Det vil skje en videreutvikling av de undersøkte armaturer, samtidig som det kommer nye armaturer på markedet. Derfor er det helt sentralt at fremtidige valg av LED-armaturer skjer med utgangspunkt i en vurdering av armaturer som løpende kommer på markedet.

Det skal i den forbindelse understrekes at analysens resultater baserer seg på typiske, men spesifikke, veg-geometrier. Hvis en gitt vegstrekning har andre geometrier enn vegtype 1, 2 og 3, bør det foretas en tilsvarende analyse av hvilket armatur som er velegnet til den spesifikke vegstrekning. I den forbindelse vil resultatene av analysen kunne brukes som rettesnor, men ikke som fasit.

Det finnes ikke en egentlig fasitliste for velegnede LED-armaturer til forskjellige vegtyper og som analysen viser er det ikke tilstrekkelig å betrakte en enkelt eller to parametere ved vurdering av LED-armaturer. Å bestemme det mest optimale LED-armatur til en gitt vegstrekning krever derimot en grundig vurdering av flere parametere, samt kontroll av overholdelse av krav til belysningsklassen. For å velge det mest velegnede armatur, er det nødvendig å foreta en lysteknikk beregning og derigjennom fastlegge armaturets belysningsvirkningsgrad, energiforbruk pr. km veg og S/H-forholdet for den konkrete vegstrekning.

Da utviklingen av LED-armaturer skjer så raskt at det ikke vil gi mening å gi langsiktige råd på velegnede armaturer, pekes det her i stedet på en rekke vesentlige oppmerksomhetspunkter i forhold til valg av det mest velegnede LED-armatur til en gitt vegstrekning. Vurdering av armaturer til spesifikke vegstrekninger bør derfor ta utgangspunkt i de metoder, erfaringstall og oppmerksomhetspunkter, som er nevnt i dette kapitlet og i kapittel 2.4 .

### **3 Styring av vegbelysning**

Styring av vegbelysning har betydning for energiforbruket og kan dessuten bidra til optimalisering av drift og vedlikehold. De mest effektive løsninger oppnås ved å anvende den teknologi som passer best til den konkrete strekning og belysningsfunksjon.

For å innfri målet om å øke energi- og driftseffektiviteten har Statens Vegvesen valgt å anvende LED i alle nye vegbelysningsanlegg. Med LED-armaturer er det mulig å styre og dempe belysningen mer nyansert enn for armaturer med konvensjonelle lyskilder. Derved er det også mulig å oppnå en større energibesparelse.

Med LED-teknologien kan man oppnå en rekke nye styringsmuligheter som ikke har eksistert tidligere, eller ikke har vært så enkle å implementere. LED innbyr til styring, regulering og demping da det ikke, som med flere konvensjonelle lyskilder, er problemer med demping, gjentening mv.

Med LED kan man styre og dempe med helt nye frihetsgrader. Det er eksempelvis mulig å velge en dempingsprofil avhengig av ukedag, årstid, tidspunkt på dagen, trafikk tetthet og endre den med kort varsel.

Det er også mulig å tenne og slukke strekninger i forhold til om det er ferdsel eller ikke og slik unngå å belyse områder hvor det ikke er noen mennesker. Styring av LED gir således mulighet for å oppnå enda større energibesparelser.

For å utnytte disse mulighetene kreves det at armaturet er utstyrt med elektronikk som kan håndtere demping. I den forbindelse etableres kommunikasjon til de enkelte armaturer eller grupper av armaturer. Kommunikasjonen kan skje via forsyningskabel, separat signalkabel eller trådløst.

Det er vesentlig å understreke at dempingen kun skal omfatte selve vegstrekningen, mens belysningen på steder med særlige trafikale forhold såsom kryss, fotgjengeroverganger, bussholdeplasser etc. ikke må dempes av hensyn til trafiksikkerheten.

#### **3.1 Behovsanalyse**

Når man skal velge en styringsløsning til en spesifikk vegstrekning, vil det ofte skje utfra en avveining av forhold vedr.:

- Energi
- Funksjonalitet
- Trafiksikkerhet
- Økonomi
- Fysiske forhold som vegtype, omgivelser og bebyggelse
- Vedlikehold

De anbefalinger som gis i det følgende forholder seg alene til styring av belygningsløsninger med LED. LED er ytterst velegnet til demping, og fremtidige styringsløsninger skal derfor være tilpasset armaturer med LED.

Valg av styring bør alltid ta utgangspunkt i en grundig analyse av aktuelle behov. Hvilken styringsløsning som er best egnet til en spesifikk vegstrekning, avhenger av flere forhold, inkludert:

- ÅDT (Årsdøgntrafikk)
- Trafikk- og ferdselssituasjon
- Omgivelser/bebyggelse
- Trafikksammensetning
- Tid på døgnet
- Demping/dempingsprofil
- Evt. overvåkning
- Vedlikehold
- Service
- Mobildekning

Resultatet av behovsanalysen vil være en prioritert liste over hvilke forhold som er de viktigste og dermed skal ha høyest prioritet i forbindelse med valg av styringsprinsipp og styringsløsning.

### **3.2 Overordnede styringsprinsipper**

Den enkleste form for styring er tenn/slukk. Denne styring kan kombineres med en spenningsregulering og utbygges med forskjellige styringsinput, som via en simpel logikk kan overstyre tenn/slukk-signalet. I mer avanserte løsninger kan det for eksempel inngå fotoceller, astronomisk ur og GSM (SMS) til fjernstyring.

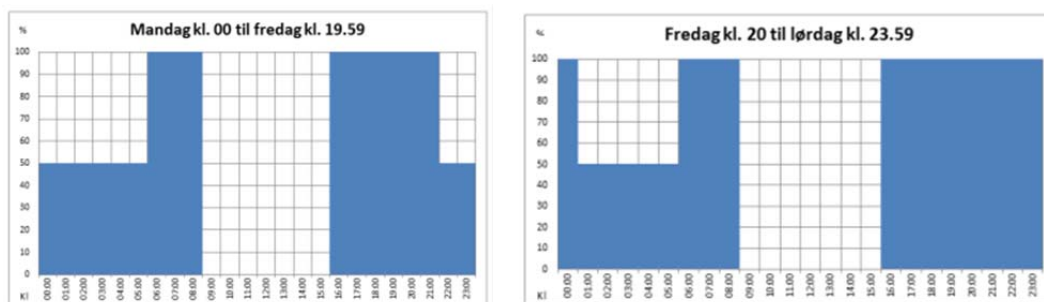
I avanserte styringssystemer kommuniserer armaturer eller veglysskap med én eller flere web-servere. Kommunikasjonen skjer via kabler eller trådløst og systemets web-servere betjenes hos driftsholderen.

Til de enkle typer styring anvendes armaturer som er programmert med en dempingsprofil når de kommer fra leverandøren. Til de mer avanserte typer styring anvendes armaturer med stand-alone demping eller ekstern demping. De mest avanserte armaturer vil dessuten være i stand til å sende diagnosedata til en driftssentral.

### **3.3 Styringsparametere**

Styring av vegbelysning skjer ut fra en rekke parametere, hvorav de primære er tidspunkt på døgnet og trafikintensitet. På mange typer vegstrekninger er det normalt å dempe belysetningen til et lavere nivå på de tidspunkter av døgnet hvor trafikintensiteten er lav.

Figur 8 viser en typisk dempingsprofil for vegstrekning, hvor belysetningen justeres etter en fast dempingsprofil. I en del tilfeller kan det være aktuelt å styre belysetningen etter konkrete forekomster av trafikk.



Figur 8. Eksempel på typisk dempingsprofil.

### 3.4 Valg av styring

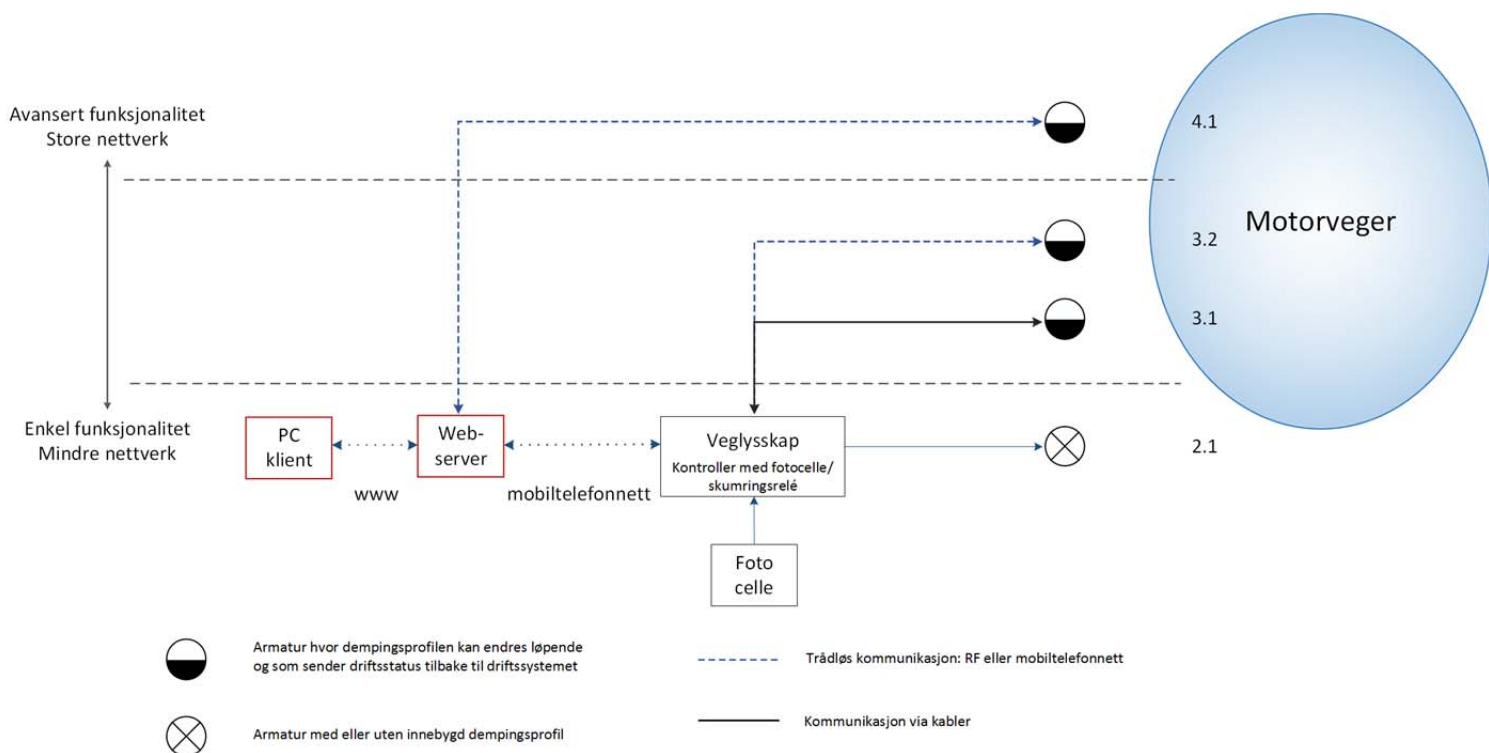
De forskjellige styringsprinsipper er mer eller mindre velegnede til forskjellige typer vegger og tunneller. De krav, ønsker og behov som stilles til belysning og styringsløsning kan være veldig forskjellige.

Noen bymessige strekninger krever full belysning i alle mørke timer, mens andre uten problemer kan dempes i perioder med lav trafikkintensitet. På landeveg er belysningen sjeldent særlig kompleks. Her kan en avgjørende parameter for valg av styring være avstand til styringsenhet eller andre forhold vedr. vedlikehold.

I det følgende gis anbefalinger for valg av styring for forskjellige vegtyper og tunneller.

#### 3.4.1 Valg av styring til motorveger

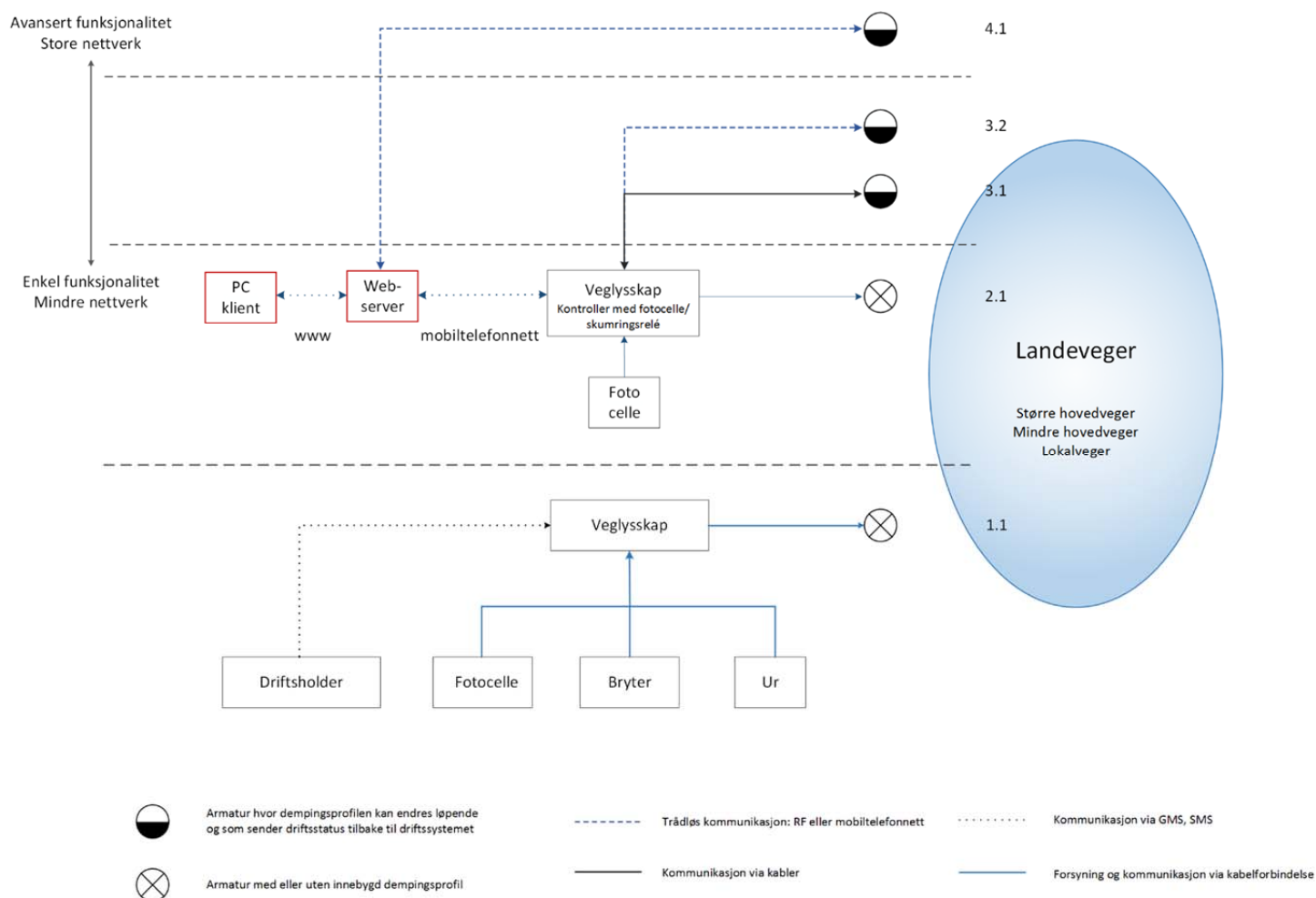
På motorveger anbefales en styringsløsning hvor kommunikasjonen til armaturer eller veglysskap skjer via kabel eller trådløst. På noen motorveger kan man ha behov for en styring som kan ta høyde for trafikkintensitet. Dessuten kan selve utstrekningen av motorvegnettet bevirke at det enkleste vil være å benytte trådløs kommunikasjon.



Figur 9. Avhengig av resultatet av behovsanalysen kan styringsprinsippene 3.1-4.1 være relevante for motorveger.

### 3.4.2 Valg av styring til lokal- og landeveg

På lokalveger og mindre landeveger anbefales en enkel tenn/slukk-styring. På større hovedveger anbefales enten enkel tenn/slukk eller en løsning med standalone-styring innebygget de enkelte armaturer.

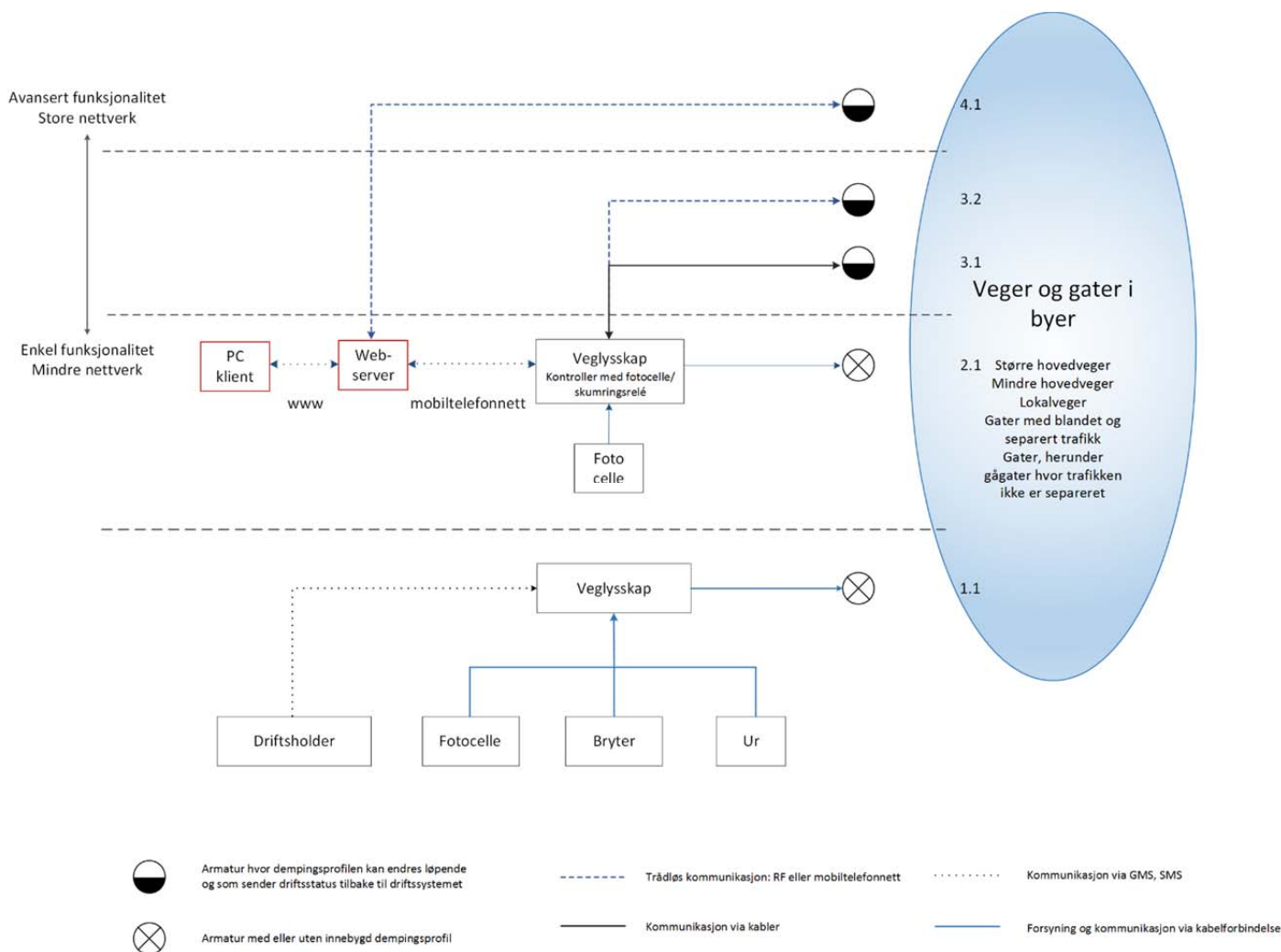


Figur 10 Avhengig av resultatet av behovsanalysen kan styringsprinsippene 1.1-3.1 være relevante for lokal- og landeveger.

### 3.4.3 Valg av styring til gater og hovedveger i bymessige områder

Belysningen i byer og bymessige områder kan være kompleks og det kan være mange forskjellige ønsker som styrer valget av styringsløsning. I noen tilfeller vil en enkel tenn/slukk-styring være passende, andre ganger vil en avansert styring basert på trådløs kommunikasjon være det eneste riktige. Hvilket styringsprinsipp som er det rette til en spesifikk strekning, vil avhenge av resultatet av den behovsanalysen som alltid bør danne grunnlag for valg av styringsprinsipp og styringsløsning.





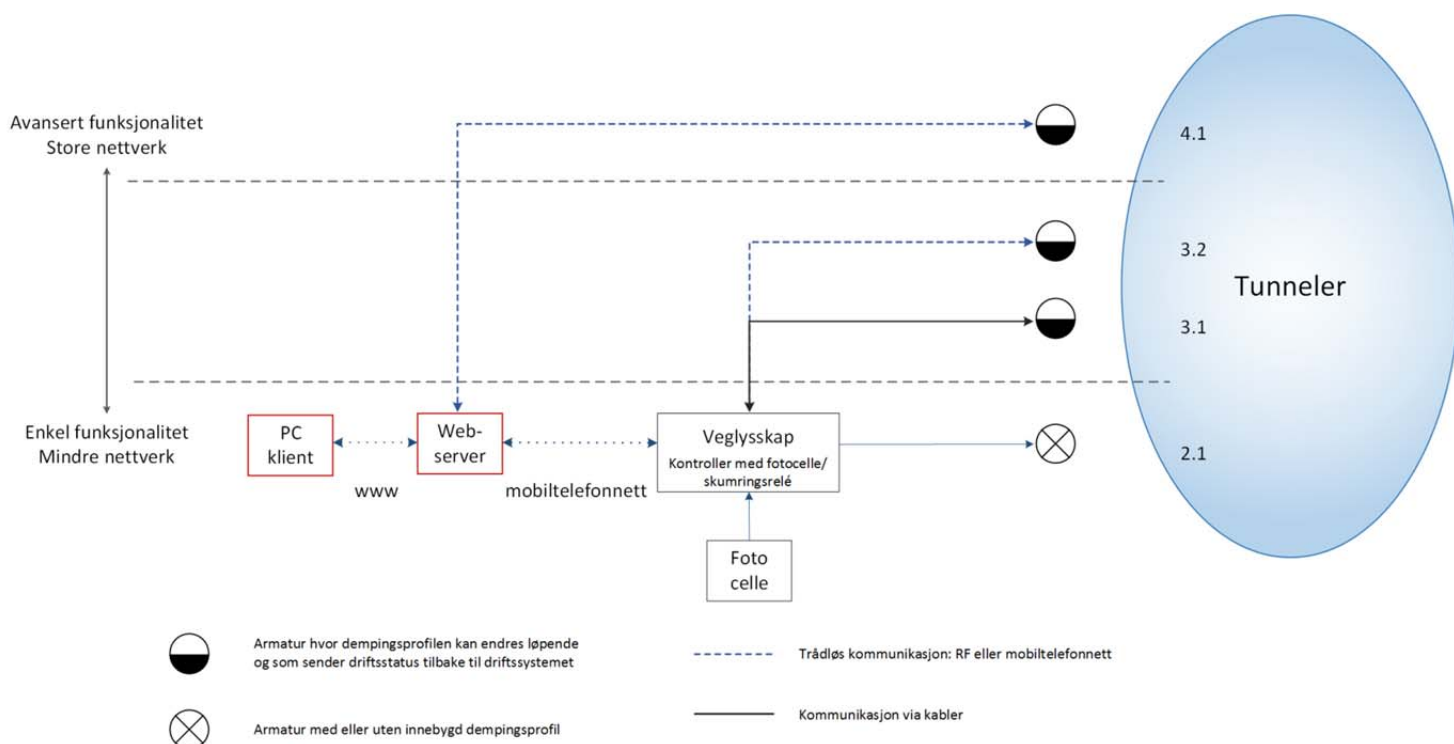
Figur 11. Avhengig av resultatet av behovsanalysen kan alle styringsprinsipper være relevante for gater og hovedveger i bymessige områder.

### 3.4.4 Valg av styring til tunneler

I tunneler er lysforholdene viktige. Derfor er det ønskelig å få data tilbake fra armaturene om hvorvidt de fungerer som ønsket. Samtidig kan vedlikehold i tunneler være forbundet med større risiko og med flere omkostninger enn for andre vegtyper. Et avansert styringssystem som kan gi meldinger om eventuelle feil, kan bidra til å optimalisere vedlikeholdelsen av belysningen i tunneler. Avhengig av de krav og behov som fremkommer av behovsanalysen, anbefales enten en standalone-løsning eller en avansert løsning, evt. med mulighet for tilbakemelding av feil.

### 3.5 Produkter

Der finnes mange styringsløsninger på markedet, og mange produkter kan stort sett gjøre det samme. Derfor vil det ofte være annet enn produktets funksjonelle egenskaper, herunder pris, som avgjør hvilket produkt som velges.



Figur 12. Avhengig av resultatet av behovsanalysen kan styringsprinsippene 2.1-4.1 være relevante for tunneler.

I Norge har man erfaring med anvendelse av styringsprodukter fra bl.a. Philips (Nederland), Thorn (Østerrike), Siteco (Tyskland), Luminext (Belgia) og Datek (Norge). Disse produktene er beskrevet i ”Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veglyssystemer” av Einar Jochum Rånes Tommelstad.

I forbindelse med de undersøkelser som ligger til grunn for denne rapporten, er det undersøkt ytterligere tre produkter, som har direkte relevans i forhold til vegtyper i Norge. De tre produktene er CityTouch fra Phillips (Nederland), Citylight fra SWARCO (Østerrike) og AmpLight fra Amplex (Danmark). Alle tre produktene er internasjonalt velprøvde.

Tabell 6 inneholder en oversikt over funksjonsprinsipper, fordeler og ulemper for CityTouch, Citylight og AmpLight. Til sammenligning er vist funksjonsprinsipper, fordeler og ulemper for Datek Light Control, som p.t. anvendes på norske veier.

Som det fremgår av Tabell 6 er det kun veldig små forskjeller på de fire styringsproduktene. Produktene har nesten de samme funksjonalitetene.

I CityTouch, AmpLight og Datek Light Control skjer kommunikasjonen trådløst. I Citylight skjer kommunikasjonen p.t. via kabel. Utviklingen innenfor

styringsløsninger går imidlertid så raskt, at forskjellene hurtig kan utlignes eller forskyve seg.

Produkt	CityTouch	Citylight	Amplight	Datek Light Control
<b>Leverandør</b>	Philips	SWARCO	Amplex	Datek Wireless AS
<b>Funksjonsprinsipp</b>	Trådløs kommunikasjon til de enkelte armaturer.	Kommunikasjon via forsyningskabel eller trådløst til veglysskap.	Trådløs kommunikasjon til veglysskap.	Trådløs kommunikasjon til veglysskap eller armaturer.
<b>Betjening</b>	Web-basert.	Web-basert.	Web-basert.	Web-basert.
<b>Fordeler</b>	Godt overblikk og mulighet for styring av hvert armatur. God stabilitet.	Godt overblikk og mulighet for styring av hvert enkelt armatur. Kan håndtere forskjellige typer input. Armaturer fra forskjellige leverandører kan tilkobles.	Enkelt og gjennomprøvd. Styring av enkelte vegstrekninger. Godt overblikk over driftsdata.	Godt overblikk og mulighet for styring av hvert enkelt armatur. Kan håndtere forskjellige typer input. Armaturer fra forskjellige leverandører kan tilkobles. Grensesnittene er standard.
<b>Ulemper</b>	Leverandøravhengig. Abonnementer kan være forbundet med store omkostninger. Ikke alle armaturer kan kobles til systemet.	Leverandøravhengig.	Leverandøravhengig.	Leverandøravhengig. Mindre leverandør.

Tabell 6. Overordnede prinsipper for CityTouch, Citylight, Amplight og Datek Light Control.

Opplevelsen av at forskjellene er små og vanskelige å få øye på, er helt normal når det gjelder styringsløsninger til LED-basert vegbelysning. Derfor vil valget av styringsprodukt ofte avhenge av andre forhold, som ikke nødvendigvis har betydning for selve lysstyringen. For de fleste produkter gjelder dessuten at forutsetningene for sammenligning raskt endrer seg.

For eksempel kan betalingen for de enkelte produkter variere betraktelig, og prisstrukturen kan endre seg på grunn av konkurranse og individuelle forhandlinger med leverandørene. Kjøpet av et styringsprodukt svarer til å kjøpe en mobiltelefon som skal holde i minst 5 år. Det betales typisk et abonnement for software inklusive oppgraderinger. Derutover kan det være betaling pr. armatur eller pr. veglysskap.

En annen avgjørende forskjell på de ulike produkter er service og pålitelighet. Forhold vedr. service bør være spesifisert i avtalen som inngås med leverandøren, herunder hvilke ekspertiser leverandøren skal være i stand til å levere.

Videre kan forhold vedr. fleksibilitet være avgjørende, herunder leverandørens evne og vilje til å honorere særlige nasjonale krav eller stedsspesifikke behov.

### **3.6 Oppmerksomhetspunkter vedr. valg av styring**

Til valg av styring knytter det seg en rekke oppmerksomhetspunkter, som gjennomgås i det følgende.

#### ***Behovsanalyse***

Valg av styring bør alltid ta utgangspunkt i en grundig analyse av aktuelle behov. Hvilken styringsløsning som er best egnet til en spesifikk vegstrekning, avhenger av de spesifikke forhold og deres innbyrdes vektning.

#### ***Trafikksikkerhet***

Avanserte styringssystemer gir mange muligheter og kan øke risikoen for at det oppstår feil. Det betyr at trafikksikkerheten faller noe, når den tekniske kompleksitet stiger.

#### ***Levetid og levetidsgaranti***

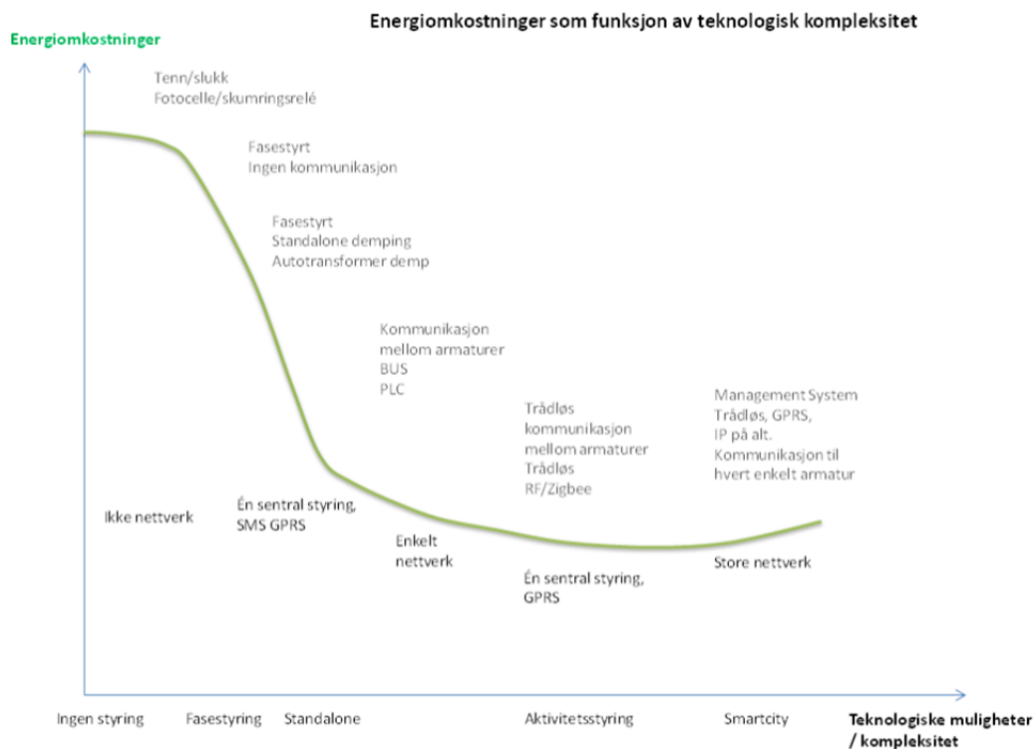
Jo mer avansert en styringsløsning er, jo kortere blir levetiden for både komponenter og software. Samtidig reduseres leveringsgarantien, dvs. at den periode, hvor produkter og software kan leveres og evt. understøttes blir kortere.

#### ***Drift og vedlikehold***

Jo flere funksjonaliteter en styringsløsning inneholder, jo mere omfattende vil drift og vedlikehold også bli. Systemet skal bl.a. oppdateres løpende.

#### ***Omkostninger til etablering og drift inkl. kommunikasjon***

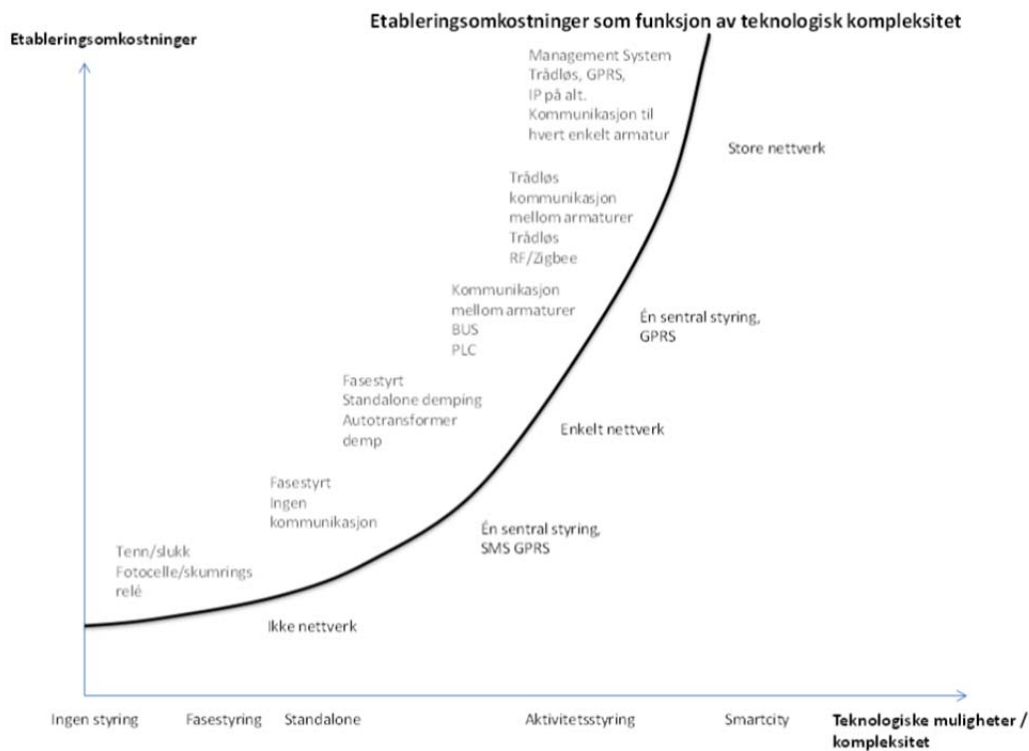
I avanserte styringssystemer er infrastrukturen komplisert og omfatter mange komponenter, software og lisenser, hvilket har betydning for etableringsomkostningene. Også selve idriftsettelsen av et komplisert anlegg kan være dyrt. Ved kommunikasjon via kabel er energiforbruket til styring lavt og medfører typisk ingen eller lave kommunikasjonsomkostninger. Figur 13 viser den tilnærmede sammenheng mellom energi og de teknologiske muligheters kompleksitet.



Figur 13. Tilnærmet sammenheng mellom energiomkostninger og de teknologiske muligheters kompleksitet.

Som det fremgår av figuren, vil energiforbruket avta når systemets kompleksitet økes. Dette gjelder imidlertid kun til en viss grense. Heretter gjelder at jo mere avansert kommunikasjon som inkluderes i vegbelysningen, jo større vil effektforbruk og abonnementsomkostninger til kommunikasjon bli. Hvor store omkostningene blir avhenger av den spesifikke løsning.

Den tilnærmede sammenheng mellom etableringsomkostninger og de teknologiske muligheters kompleksitet er vist i Figur 14.



Figur 14. Tilnærmet sammenheng mellom etableringsomkostninger og de teknologiske muligheters kompleksitet.

### ***Kompatibilitet***

De forskjellige systemer og teknologier, som et styringssystem omfatter, skal kunne fungere sammen. Styringssystemet skal f.eks. kunne kommunisere via gjeldene og anerkjente metoder.

### ***Software og brukervennlighet***

Før man beslutter seg for et bestemt styringssystem, er det viktig å undersøke forhold omkring software, herunder rettigheter og betjening, som kan variere og dessuten kan ha betydelig innflytelse på både driften og driftsøkonomien.

Som det fremgår er det mange forhold som krever oppmerksomhet og som ikke nødvendigvis peker i samme retning. Derfor eksisterer det heller ikke entydige retningslinjer for hvilke styringsløsninger som er velegnede til de forskjellige vegtyper og tunneler. Når man skal velge en styringsløsning til en spesifikk gate, veg- eller tunneltype, må man derfor bestemme seg for hvilke oppmerksomhetsområder som skal ha høyest prioritet.

I bilag 2 «Markedsundersøgelse og analyse af teknologier og produkter for styring og regulering» finnes kurver for de tilnærmede sammenhenger mellom de teknologiske muligheters kompleksitet og:

- Trafikksikkerhet
- Levetid
- Drift og vedlikehold
- Systemfleksibilitet og integrasjonsmuligheter

### **3.7 Anbefalinger for valg av styring**

Den teknologiske utvikling skjer raskt. I motsetning til tidligere, svarer utviklingshastigheten til de mest teknologitunge systemene stort sett til utviklingen innenfor computere og mobiltelefoner.

Valg av styringssystem bør skje med utgangspunkt i den spesifikke vegtype eller strekning. Da er det helt sentralt at man fortar en grundig behovsanalyse, hvor man forholder seg til hvilke krav ønsker og behov som er de primære for den spesifikke strekning. I den forbindelse anbefales det, at man tar utgangspunkt i de særlige oppmerksomhetspunkter, som er nevnt i kapittel 3.6 .

Velges eksempelvis en løsning som er basert på trådløs kommunikasjon fremfor en standalone-løsning, bør man undersøke, om de forventninger, man har til den samlede energibesparelse i løpet av hele anleggets levetid, motsvarer de samlede utgifter, dvs. både anleggsinvesteringer og utgifter til drift, vedlikehold, energiforbruk og styring.

Først deretter kan man legge seg fast på et styringsprinsipp og undersøke markedet for hvilke produkter som er til rådighet, og eventuelt hvilke som er på vei. Produktene sammenholdes heretter med de krav og ønsker man har til systemet.

## 4 Energioptimalisering vha. spenningsregulering

Mange veglysanlegg i Norge er etablert eller skiftet ut de seneste 20 år. Selv om disse anleggene er bestykket med konvensjonelle lyskilder, som ikke nødvendigvis er så effektive som LED, vil det i mange tilfeller være mere lønnsomt å renovere disse anleggene fremfor å skifte dem ut til LED-baserte anlegg.

Når hensikten er å oppnå energibesparelser på en økonomisk fornuftig måte, bør man derfor overveie å etablere demping vha. spenningsregulering på eksisterende anlegg som ennå ikke er utdatert.

Formålet med demping vha. regulering av forsyningsspenningen er å oppnå energibesparelser. Som regel foretas dempingen i de perioder av døgnet, hvor trafikintensiteten er lav og belyningsnivået derfor kan reduseres.

Demping vha. spenningsregulering er kun relevant for konvensjonelle lyskilder, forsynt over konvensjonelle forkoblinger. Dette skyldes at elektroniske forkoblinger vil kompensere for den reduksjon i nettspenningen, som spenningsreguleringen forårsaker.

Ikke alle damplamper er velegnede til demping. Demping av metalhalogenlamper påvirker lyskildens lysutbytte og fargeegenskaper i så høy grad at leverandørene ikke har forberedt metallhalogenlampene til å kunne dempes.

Demping av natriumlamper ned til 50 % av lampens nominelle lysstrøm er teknisk mulig, hvis man nøye følger leverandørens anvisninger og benytter rett utstyr samt passende neddemningsfrekvenser. Demping har kun liten effekt på natriumlampens lysutbytte og ingen innflytelse på levetiden (se bilag 3 «Markedsundersøgelse og analyse af teknologier og produkter for spændingsmanipulation»).

### 4.1 Konsekvenser av spenningsregulering

Spenningsregulering har betydning for energiforbruk, lysstrøm og lysutbytte samtidig som levetiden til lyskilder og forkoblinger kan påvirkes, da utstyret til reduksjon av forsyningsspenningen vil utjevne variasjoner hvis nettspenningen er høy eller ustabil.

Dempingen utføres ved hjelp av en autotransformator, som typisk monteres i veglysskapet.

Spenningsregulering kan være hensiktsmessig og lønnsom å etablere i eksisterende anlegg dersom følgende forhold er oppfylt:

- Armaturene må være i god stand og ha en betydelig restlevetid, ellers anbefales i stedet utskiftning til LED.



- Kabelanlegget må være brukbart til spenningsreguleringen og det må være mulig å opprettholde full belysning på de steder hvor lyset ikke skal dempes, f.eks. kryss, rundkjøringer og tunneler.
- Som utgangspunkt må det være mulig å bygge inn transformatorer med tilhørende styresystem i et eksisterende veglysskap. Hvis veglysskapet skal skiftes ut, vil det nedsette den samlede lønnsomhet betraktelig.

I tillegg skal følgende funksjoner og utstyr tas i betraktning:

- Mange lyskilder har behov for en normal spenning til tenning og oppvarming av lyskilden. En dempetransformer kan derfor først kobles inn når lyskildene er oppvarmet.
- Den ønskede demping skal stilles inn med utgangspunkt i den spenning som skal oppnås på det ytterste punktet i installasjonen, hvilket avhenger av den konkrete lyskildetype. Det presise nivå skal altså baseres på lyskildetype og leverandør samt på det konkrete kabelanlegg.

Forhold vedr. utførelse og konsekvenser av spenningsdempingen er utdypet i bilag 3 «Markedsundersøgelse og analyse af teknologier og produkter for spændingsmanipulation».

## 4.2 Forsøk med bruk av spenningsregulering

Spenningsregulering har hittil kun vært brukt på forsøksbasis i Norge. I andre land, bl.a. Danmark, har man benyttet spenningsregulering siden 90 tallet. Her har man typisk innført demping i forbindelse med nyetablering eller rehabilitering av anlegg med nye veglysskap, hvorpå merkostnaden for dempetransformere har vært lav.

I 2013 ble det utført et forsøk med spenningsdemping på FV23 Gullaug, en fylkesveg i Lier kommune, øst for Drammen.

Forsøkets hovedresultater fremgår av Tabell 7.

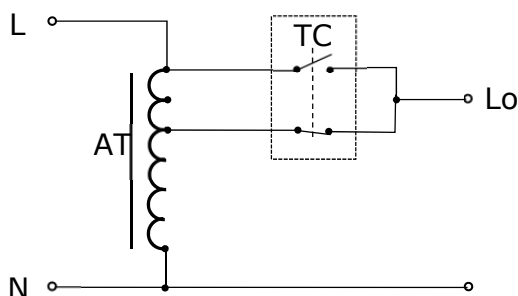
	Lysnivå	Effekt
<b>Full spenning (230V)</b>	100%	100%
<b>Dempet (200V)</b>	72%	79%
<b>Maksimalt dempet (188V)</b>	63%	70%

Tabell 7. Hovedresultatet av forsøk med spenningsdemping av høytrykksnatriumlyskilder på FV23. Forsøkene er utført på et konvensjonelt belysningsanlegg med armaturer med høytrykksnatriumlamper, lyspunkthøyde 10 m og masteavstand 40 m. Dempingsutstyret er levert av firmaet Viritech ApS, Danmark.

Dempingen resulterte dessuten i et lite fall i fargetemperatur og en betydelig reduksjon av Ra-indeksen. Denne virkning er ikke tidligere dokumentert i praksis. Forsøkets resultater stemmer godt overens med erfaringer fra Danmark.

### 4.3 Dempingsprinsipp

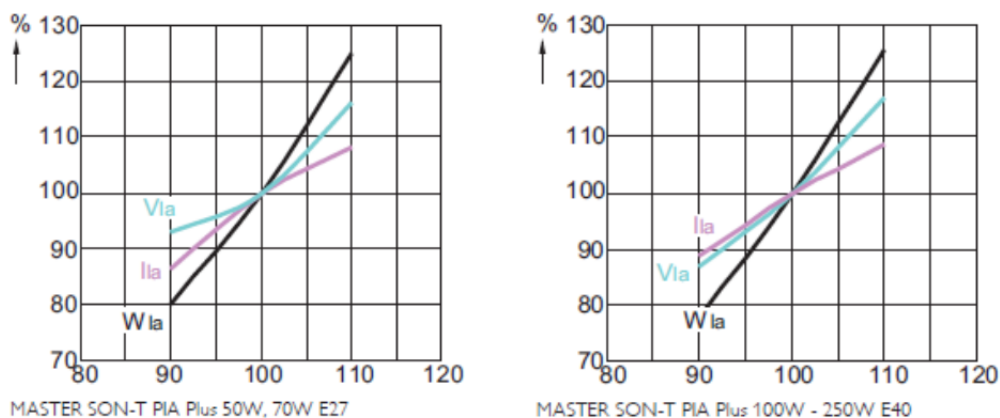
Spenningsdemping foregår typisk med autotransformatorer med styrings- og omkoblings-enheter, som bygges inn i veglysskapet etter prinsipp vist i Figur 15.



Figur 15. Prinsipp for spenningsdemping med autotransformatorer (AT), som er enkle robuste og har et lavt tap når spenningsreduksjonen er liten. En tidsstyrt omkoblingsenhet (TC) sørger for at lyskildene starter på full spenning for så å koble om til redusert spenning i det innstilte intervall av brennetiden.

### 4.4 Damplampers spenningsavhengighet

For høytrykksnatrium er det en tilnærmet lineær sammenheng mellom den potensielle energibesparelse og den påtrykte spenningen. Samtidig vil lyskildens lysstrøm og effektivitet ( $lm/W$ ) falle da lyskilder typisk er mest effektive ved merkespenningen. Et eksempel på sammenhengen mellom den påtrykte spenning, effekt, lysstrøm mv. er vist i Figur 16.



Figur 16. Eksempler på diagrammer for moderne høytrykksnatriumlampers avhengighet av forsyningsspenningen i % (y-aksen) av nominell spenning (x-aksen).  $V_{la}$  er lampespenning,  $I_{la}$  er strøm og  $W_{la}$  er effekt (effekten er angitt eksklusiv tap i forkoblingen). Kilde: Philips 2013.

Selv om leverandørens diagrammer kun viser data innenfor området  $\pm 10\%$  av nominell spenning (230V), antar man normalt, at den noenlunde lineære avhengighet fortsetter til de ca. 190V som anvendes i praksis. Spenningsavhengigheten kan dessuten variere avhengig av fabrikat og wattstyrke, og mye tyder på at demping av moderne høytrykksnatriumlamper gir en mindre energibesparelse enn demping av de eldre typene.

Når lyskilder drives utenfor det spenningsområde de er merket for eller med annet utstyr enn det fabrikanten har testet dem til, tar lyskildefabrikantene forbehold med hensyn til garanti for lyskildenes holdbarhet mv.

Erfaringer fra Danmark viser imidlertid at demping med transformatorer på opptil 20% av nominell spenning fungerer godt, og det kjennes ikke til eksempler på at den nevnte innskrenkning av fabrikantens garanti har fått konsekvenser.

#### **4.5 Teoretisk besparelespotensiale**

Det finnes ikke konkrete erfaringstall for hvor stor energibesparelse man kan oppnå med spenningsregulering.

Generelt gjelder at man oppnår en bedre effektivitet i selve dempingen ved å dempe på høye wattstyrker fremfor lave. Derfor vil den relative besparelsen også være størst for de største wattstyrker.

Besparelespotensialet med moderne høytrykksnatriumlyskilder er undersøkt med utgangspunkt i bl.a. leverandørens data for moderne høytrykksnatriumlampers spenningsavhengighet. Undersøkelsene viser at man typisk kan forvente besparelser på energiforbruket som følge av spenningsregulering av moderne høytrykksnatriumlamper på 15-40 %, når spenningen dempes til 190V. Undersøkelsen viser også at det er temmelig store forskjeller mellom de forskjellige fabrikater og wattstyrker.

Spenningsdempingen medfører at belsningsnivået reduseres med helt opp til 50 %, samtidig som lysets fargeegenskaper, i særdeleshet fargegjengivelsen, forringes. Når man overveier å etablere spenningsregulering på et konkret belsningsanlegg bør disse forhold alltid inngå i overveielene.

I Norge vil etablering av spenningsregulering sannsynligvis kreve at en del av veglysskapene skiftes ut på grunn av plassmangel. Dette gjør dessverre metoden mindre lønnsom.

#### **4.6 Anbefalinger vedr. spenningsregulering**

Det er ingen tekniske hindringer for å anvende spenningsdemping på enkelte vegstrekninger.

Vurdering av hvorvidt det på konkrete vegstrekninger i Norge skal etableres spenningsdemping, bør alltid ta utgangspunkt i spesifikke vurdering av:

- Etableringsomkostninger for veglysskap med dempetransformatorer
- Kost/nytte for det aktuelle prosjekt

Hvis sistnevnte ikke gir en klar konklusjon anbefales det at det etableres et prøveanlegg samt eksperimentelle målinger i anlegget.

## 5 Kvalitet i vegbelysningen

Uansett valg av belysningsteknologi og styring, er det vesentlig at lyskvaliteten i vegbelysningsløsningen er høy, og at den er tilpasset den konkrete situasjon og det miljø den skal stå i.

Lyskvalitet handler i høy grad om visuell komfort. Lysets fargeegenskaper (lysfarge og fargegjengivelse) spiller en vesentlig rolle for lyskvaliteten, samtidig som graden av blending er avgjørende. Utover dette har lysets fordeling og dets samspill med omgivelsene betydning for vår opplevelse av det visuelle miljø og dermed for lyskvaliteten.

Lyskvaliteten vektet ofte høyere i byrom, hvor der ferdes mange myke trafikanter og hvor lyset skal gi stemning og identitet. På motorveger eller større hovedveger er det typisk fremkommelighet og sikkerhet som er i fokus.

Kvalitet i vegbelysningen har fokus på å skape et godt visuelt miljø på vegen eller i byrommet, tunnelen etc. Visuell komfort spiller imidlertid også en rolle i forhold til sikkerheten. Hvis trafikantene opplever ubehag fra vegbelysningen som f.eks. blending, faller sikkerheten.

De beste vegbelysningsløsningene oppnås når belysning og styring planlegges ut fra et inngående kjennskap til anleggets formål og funksjon. Dette er særlig viktig siden utviklingen av LED-belysning i høy grad er rettet mod energiforbruk og økonomi fremfor kvalitet.

Derfor er det også vesentlig at kunnskapen om og fokus på kvalitet i vegbelysningen som er opparbeidet gjennom de seneste tiår, opprettholdes. Både lysets og armaturenes kvalitet har betydning for vår oppfattelse og gjenkjennelse av omgivelsene og for hvordan offentlige arealer fremstår og oppleves. Dette er særlig viktig i de nordiske land, hvor mørket preger en stor del av dagen i vinterhalvåret og hvor det våte klima medfører uhensiktsmessige refleksjoner på kjørebanelen.

Formålet med vegbelysning er å sikre:

- Fremkommelighet
- Trafikksikkerhet
- Trygghet
- Gode opplevelser
- Mindre kriminalitet

I tillegg skal vegbelysningen være optimalisert mht. energieffektivitet og driftssikkerhet.

I det følgende presenteres en rekke anbefalinger for hvilke parametere som er særlig viktige i forhold til å skape gode vegbelysningsløsninger med LED.

## 5.1 Helhetsorientert planlegging

Belysningsanlegg bør alltid planlegges ut fra en helhetsorientert vektning av både funksjonelle, estetiske, miljømessige og økonomiske aspekter.



*De funksjonelle aspektene* knytter seg til tekniske krav til utstyret. Belysningsanlegget skal oppfylle en rekke lystekniske krav herunder belysningsklasse, krav til utforming og funksjon av master, armaturer, lyskilder samt forsynings- og styringsforhold. De forskjellige krav varierer avhengig av hvilken type veg og område belysningsanlegget skal etableres i.

*De estetiske aspektene* knytter seg til belysningsanleggets formspråk og til lysets farge, retning og innvirkning på omgivelsene. Til de estetiske aspektene hører også belysningens bidrag til å skape sammenheng, identitet og stemning i et område.

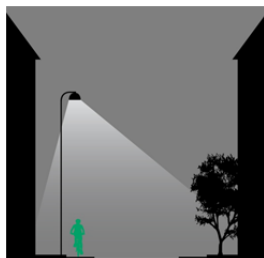
*De miljømessige aspektene* knytter seg til belysningsanleggets drift og livssyklusomkostninger. Gjennom løpende vedlikehold skal belysningsanlegget være optimalt i forhold til energieffektivitet, drift og vedlikehold.

*De økonomiske aspektene* knytter seg til anleggs- og driftsøkonomi, noe som bør sees samlet. Ofte vurderes anleggsøkonomien uten å ta hensyn til driftsøkonomien og omvendt. Det er imidlertid helt sentralt, at de to kostnadene betraktes under et. Kun ved å ta hensyn til totalutgiftene i hele belysningsanleggets levetid, kan de beslutninger som treffes bli langsiktige. En høyere anleggsutgift kan i noen tilfeller redusere drifts- og energiomkostningene.

## 5.2 Oppmerksomhetspunkter vedr. kvalitet i vegbelysningen

Til et vegbelysningsanlegg knytter det seg alltid en rekke funksjonelle krav. Vektingen av de estetiske, økonomiske og miljømessige krav kan derimot variere alt etter hvilket sted man befinner seg på og hva formålet med belysningen er. Det kan være stor forskjell på prioriteringene for et belysningsanlegg i et byrom i forhold til en motorveg.

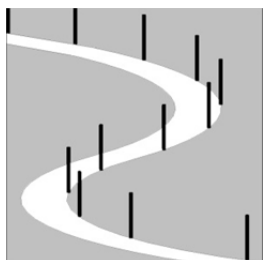
Derfor er det vesentlig at man forholder seg til hva som er viktig i forhold til den konkrete vegstrekning. I det følgende er det listet opp en rekke oppmerksomhetspunkter som bør overveies og danne grunnlag for planlegging og etablering av ny vegbelysning.



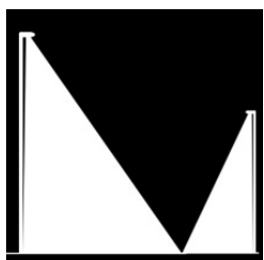
### **Armaturer og master**

Det designmessige uttrykk for de armaturer og master som benyttes skal passe inn i en nordisk designforståelse. Armaturer og master bør velges så de virker naturlige i det området hvor de plasseres.

Materiellets utforming og skala bør være sammenhengende og logisk. Mastehøyde og mastearm bør tilpasses omgivelsene og masterne bør plasseres slik at de understreker vegens forløp.

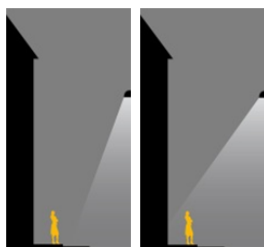


I utvalgte områder hvor man ønsker å styrke det estetiske uttrykk eller fremheve en særlig identitet, kan man velge å benytte farget belysningsmateriell. Da et belysningsanlegg typisk har en levetid på 25 år eller mer, bør man ofte velge en avdempet nøytral farge.



### **Lysfordeling**

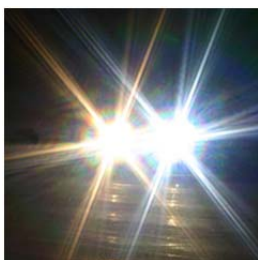
Armaturenes lysfordeling skal være tilpasset de aktuelle belysningsbehov, så lyset faller der hvor der er behov for det. I noen tilfeller kan man velge å belyse fasader, fjell eller nærstående trær, enten for å skape stemning og romlighet eller av sikkerhetsmessige grunner.



### **Sikkerhet og trygghet**

Alle relevante typer trafikanter skal tilgodeses av belysningen. Derfor skal belysningen alltid planlegges med utgangspunkt i en grundig analyse av den aktuelle vegstrekning, herunder hvilke typer trafikanter vegstrekningen er beregnet for.

Hvis det er myke trafikanter på vegen, er det viktig at disse er synlige for de øvrige trafikanter.



### **Blending**

Blending oppstår typisk når kontrasten mellom lys og mørke er for stor, f.eks. på grunn av synlige lyskilder eller sterkt lysende armaturdeler. Blending slører vårt bilde av omgivelsene eller er veldig ubehagelig for øyet. Ved planlegging skal man derfor være oppmerksom på blendingstall og avskjermningsklasser. Noen armaturer med LED har direkte innsyn til LED-lyskildene, noe som kan føre til blending.



### **Fjernvirkning**

Lys eller lyspunkter som imot hensikten kan sees på lang avstand, kan forstyrre helhetsopplevelsen av omgivelsene. Disse virkningene kommer f.eks. fra dårlig avskjermede eller for høyt plasserte armaturer. Det anbefales derfor at det velges armaturer med plan lysåpning og tilbaketrukne eller velavskjermede lyskilder.

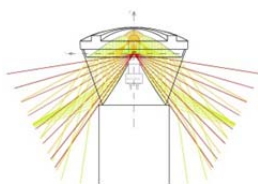


### **Fargeegenskaper**

Lyskildenes  $R_a$ -verdi (fargegjengivelsesindeks) og fargetemperatur (lysfarge) har stor betydning for hvordan lyset oppleves. Fargetemperaturen skal være tilpasset det omkringliggende miljø, og lyskildenes fargegjengivende egenskaper skal sikre en naturlig gjengivelse av det som belyses.

En høy  $R_a$ -verdi og passende fargetemperatur bidrar til at omgivelsene fremstår tydelig.

Lysets fargeegenskaper har særlig stor betydning for personer med nedsatt synsevne. Kravene til lyskvalitet varierer og avhenger bl.a. av vegtypen.



### **Optikk**

De beste konvensjonelle vegbelysningsarmaturene er utstyrt med en optikk som kan stilles, slik at den tilpasses den vegstrekning som belyses. Lysfordelingen for de forskjellige innstillingene varierer typisk fra symmetrisk til sterkt asymmetrisk, hvilket gjør konvensjonelle armaturer fleksible i forhold til anvendelse i kryss og på veier med forskjellige dimensjoner. Denne funksjonen finnes stort sett ikke for LED-armaturer, hvilket stiller store krav til planlegging og prosjektering av belysningsanlegg med LED.



### **Drift og vedlikehold**

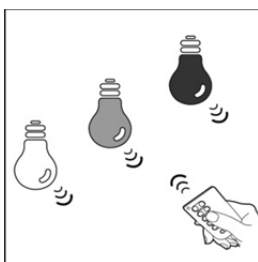
Master, armaturer og lyskilder skal kunne inngå i en normal driftsprosyre. Derfor skal der være garanti for at nødvendige reservedeler og lyskilder kan leveres i hele belysningsanleggets forventede levetid.

I tillegg skal energiforbruket ikke overstige det nivå som ble forutsatt da teknologien ble valgt.



### **Belysningskrav**

Belysningsanlegg skal i utgangspunktet oppfylle kravene i Håndbok V124. Utviklingen går imot at det stadig er flere LED-armaturer som kan oppfylle disse kravene. Det finnes imidlertid en del LED-armaturer på markedet som ikke kan oppfylle kravene i Håndbok V124. I forbindelse med anskaffelse og valg av LED-armatur, bør man derfor stille krav om at armaturene oppfylder kravene i Håndbok V124.



### **Styring**

Mulighetene for styring og overvåking av belysningsløsninger med LED er mange. Teknologien er fortsatt under utvikling. Innen det endelige valg treffes bør der foretas en behovsanalyse.



### **Bæredyktighet**

Energieffektivitet og miljø er sentrale parametere i alle vegbelysningsprosjekter. For å sikre et lavt energiforbruk og dermed minimum CO<sub>2</sub>-utslipp, skal energiforbruk og økonomi betraktes og optimaliseres i forhold til hele anleggets levetid. I forhold til øvrige krav kan vekten av økonomi og miljø variere fra prosjekt til prosjekt. På motorveger vil økonomi og energieffektivitet ofte være de viktigste parameterne. I bymiljøer vil vekten av økonomi og energieffektivitet være avstemt med kravene til estetikk og kvalitet.

De enkelte oppmerksomhetspunkter har betydning for forskjellige forhold og vekten av dem avhenger av det konkrete prosjekt. I noen tilfeller vil sikkerhet og trygghet ha høyest prioritet, i andre vil det være energiforbruk, drift og vedlikehold som vektet høyest, noen ganger vil armaturenes lysfordeling og fargeegenskaper ha størst betydning, etc.



Uansett hvilke forhold som har størst betydning, bør beslutninger vedr. en ny vegbelysningsløsning alltid treffes med utgangspunkt i en helhetsbetraktning, som beskrevet i kapittel 5.1. Videre skal vegbelysningsanlegget utformes med utgangspunkt i norske krav vedr. belysningsklasser, blending mv., som er spesifisert i Håndbok V124.

I kapittel 6 gjennomgås de viktigste oppmerksomhetspunkter vedr. valg av prinsipper for vegbelysning.

## **6 Effektivisering av vegbelysning - de viktigste oppmerksomhetspunkter**

Denne rapport handler om hvordan man effektiviserer vegbelysningen best mulig. På nasjonalt plan er det fokus på å redusere energiforbruket. Ettersom vegbelysningen er et område med lange driftstider, er det opplagt å redusere energiforbruket.

Introduksjonen av LED til utendørsbelysning har vært i gang siden 2010 og medfører et omfattende skift i belysningsteknologi, herunder styring, drift og vedlikehold. De grunnleggende prinsipper for prosjektering av vegbelysning er imidlertid fortsatt de samme som for vegbelysning med konvensjonell lysteknologi.

Med ønsket om reduksjon av energiforbruket, er det ofte opplagt å skifte ut den eksisterende belysningen til LED. Energieffektivisering av vegbelysningen oppnås allikevel ikke bare ved å skifte til LED-baserte løsninger. Som det fremgår av rapporten kan løsningen også være å benytte spenningsregulering på et eksisterende anlegg. All eksisterende og ny belysning med LED bør sees i sammenheng med en passende styringsløsning med tanke på å oppnå så god energieffektivitet som mulig.

For å sikre effektivisering og optimalisering av energiforbruket er man nødt til å foreta en rekke overveielser som beskrevet i rapportens kapitler om hhv. LED-armaturer (kapittel 2), styring (kapittel 3) og energioptimalisering vha. spenningsregulering (kapittel 4).

Valg av løsning vil ofte også være styrt av økonomiske betraktninger. Noen ganger vil det være nødvendig å vekte økonomien høyere enn energieffektiviteten.

Da utviklingen av både LED-basert belysning og styring skjer vesentlig raskere enn for konvensjonell teknologi, skal rapportens faktuelle resultater betraktes som et øyeblikksbilde på lystekniske og styringsmessige ferdighetene som er gjeldende i 2014. Rapportens overordnede anvisninger vedr. behovsanalyse, prioritering og valg av styringsprinsipp er allikevel universelle og kan benyttes i forbindelse med fremtidige valg av armaturer og løsninger.

Enhver oppgave bør alltid starte med en kartlegging av de reelle behov. Derfor står nettopp behovsanalysen øverst på listen over de viktigste oppmerksomhetspunkter i forbindelse med valg av LED-basert belysning og styring.

Med mindre man selv har den nødvendige faglige kjennskap til både de tekniske og lystekniske aspekter vedr. vegbelysning og styring, vil det alltid være en god idé å rådføre seg med en fagperson.

De viktigste oppmerksomhetspunkter i relasjon til utvikling av energibesparende vegbelysning er listet opp på de følgende sider.

## **6.1 De viktigste oppmerksomhetspunkter i relasjon til utvikling av energibesparelser i vegbelysning**

### **1. Behovsanalyse**

I behovsanalysen kartlegges og prioriteres de behov som knytter seg til en konkret situasjon eller oppgave. Behovsanalysen er sentral, uansett om det skal investeres i ny LED-basert vegbelysning med en styringsløsning eller etablering av spenningsregulering på et eksisterende høytrykksnatriumbasert anlegg.

I behovsanalysen er det nødvendig å både forholde seg til den konkrete oppgave som skal løses, og samtidig se oppgaven i en større sammenheng. Det er f.eks. ikke hensiktsmessig at belysningen i en kommune er satt sammen av mange forskjellige belysnings- og styringsløsninger som ikke kan fungere sammen. Dette vil bl.a. gi unødig høye driftsutgifter. Her skal hele kommunens belysning og styring i stedet sees i sammenheng, så både energieffektivitet, drift, vedlikehold samt trafikksikkerhet og belysningens visuelle uttrykk er optimalisert i den ferdige løsning.

### **2. Energieffektivitet**

Alle nye eller nyrenoverte vegbelysningsløsninger skal være energieffektive. Det er allikevel ikke mulig å peke på én løsning som er god og effektiv på alle vegstrekninger. Dette skyldes bl.a., at energieffektiviteten ikke kan skje på bekostning av funksjonelle og lystekniske krav, likesom økonomien kan spille en vesentlig rolle. Den riktige og mest effektive løsning vil primært avhenge av den spesifikke veg-geometri.

For eksisterende anlegg vil det som regel være anleggets alder som er bestemmende for om anlegget skal renoveres eller bør utskiftes. Hvis anlegget er relativt nytt og lyskildene er velegnet til spenningsdemping, kan dette som regel være mest lønnsomt fremfor å skifte ut belysningen helt.

Hvis anlegget er gammelt kan en ny LED-basert belysning med en passende styring både være mest lønnsom og mest effektiv.

### **3. Drift og vedlikehold**

I forhold til drift og vedlikehold er LED'enes meget lange levetid i seg selv en stor fordel. Derutover kan en lysstyring bidra til å forenkle og optimalisere drift og vedlikehold, f.eks. vil et avansert armatur være i stand til å sende diagnosedata til en driftssentral.

Det er imidlertid ikke alle typer styring som gjør driften enklere. Jo flere funksjonaliteter en styringsløsning inneholder, jo mere omfattende vil drift og vedlikehold som regel også bli. F.eks. skal et avansert styringssystem oppdateres, og personalet skal ha de nødvendige kompetanser til å betjene styringen. Før man går til anskaffelse av et bestemt styringssystem er det derfor viktig å undersøke de forhold som har innflytelse på driften og driftsøkonomien. Det gjelder forhold vedr. software, betjening og brukervennlighet. I tillegg er det helt sentralt at de systemer og teknologier som styringssystemet omfatter kan fungere sammen.

#### **4. Helhetsbetraktning**

En moderne vegbelysningsløsning skal være både funksjonelt, estetisk og optimalisert i forhold til økonomi, energi og miljø. Vurdering og valg av en belysningsløsning inkl. styring bør derfor alltid skje utfra en helhetsbetraktning, som vektet krav til både energieffektivitet, økonomi, funksjon og estetikk.

Hvilket LED-armatur som er det mest velegnede til en gitt oppgave, vil avhenge både av ønsker til belysningskvaliteten og av den aktuelle veg-geometri. Den rette styringsløsning vil tilsvarende avhenge av en rekke forhold som ÅDT, trafiksammensetning, behov for demping og evt. overvåkning, mobildekning etc. Også for eksisterende anlegg som ikke er utdaterte, bør vurdering av relevante muligheter skje utfra en helhetsbetraktning. I alle tilfeller bør det overveies om etablering av demping vha. spenningsregulering er den optimale løsning.

#### **5. Levetid og fremtidssikring**

Levetiden for lyskilder og øvrige komponenter spiller en stor rolle for vedlikeholdsomkostningene. Derfor bør levetiden for både drivere og styringskomponenter svare til levetiden for LED-modulene, som typisk er 50-100.000 timer. I tillegg er det helt sentralt, at de LED-baserte løsningene er driftssikre og energieffektive i hele levetiden.

Jo mere avansert en styringsløsning er, jo kortere kan levetiden for både hardware og software bli. Samtidig reduseres leveringsgarantien, dvs. at den perioden hvor produkter og software kan leveres og evt. supporteres, blir kortere.

#### **6. Total cost of ownership (TCO)**

For et nytt vegbelysningsanlegg bør anleggsinvesteringen alltid vurderes i forhold til driftsøkonomien. Investering i ny teknologi er ofte dyrere enn investering i konvensjonell teknologi. Derfor er det viktig å se på de samlede omkostninger gjennom hele anleggets levetid. Kun ved å ta hensyn til totalutgiftene i hele belysningsanleggets levetid, kan de beslutninger som treffes bli langsiktige. En høyere etableringsutgift kan i noen tilfeller redusere drifts- og energiomkostningene.

Det er ikke alltid lønnsomt å skifte ut et anlegg med konvensjonelle lyskilder. Det gjelder f.eks. hvis anlegget er energieffektivt eller etablert relativt nylig. I disse tilfeller anbefales det å vurdere det eksisterende anleggs egnethet i forhold til spenningsdemping, herunder å estimere de nødvendige etableringsomkostninger og de besparelser en spenningsdemping vil gi.

Innen man bestemmer seg for en bestemt løsning, bør man undersøke om forventningene til den samlede energibesparelse i løpet av hele anleggets levetid, tilsvarer de samlede utgifter. Ved sammenligning av alternative løsninger anbefales det at man bruker TCO-metoden som er beskrevet i kapittel 1.4.1 .

## **7 Bilag**

Følgende bilag er tilgjengelig som separate dokumenter:

Bilag 1 - Markedsundersøgelse og analyse af LED-armaturer

Bilag 2 - Markedsundersøgelse og analyse af teknologier og produkter for styring og regulering

Bilag 3 - Markedsundersøgelse og analyse af teknologier og produkter for spændingsmanipulation

## **8 Kildereferanse**

”Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veilyssystemer”, masteroppgave av Einar Jochum Rånes Tommelstad ved NTNU, 2008.



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO  
Tlf: (+47 915) 02030  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**