



Statens Vegvesen

Trafikforvaltning

Utvikling av strømbesparende vegbelysning

Bilag 1 - Markedsundersøgelse og analyse af LED-armaturer

5176not004, Rev. 0, 26.3.2015

Udført: MEH

Kontrolleret: THA

1. Indledning

Tilbage i 2010 begyndte LED så småt at kunne anvendes professionelt til vejbelysning. Til start var det kun stier og mindre veje hvor belysningskravene kunne overholdes vha. LED-armaturer, mens større veje er kommet til siden. Potentialet for brug af LED i vejbelysning er fortsat stort og stigende i takt med LED-teknologiens udvikling.

Introduktionen af LED til udendørs belysning medfører et omfattende skift i belysningsteknologi med en lang række nye muligheder, men også nye krav der skal stilles til armaturet og leverandøren.

De grundlæggende principper for projektering af vejbelysning er fortsat de samme som for vejbelysning med konventionel teknologi. Valget af det mest velegnet armatur kan dog være mere kompleks, dels pga. at der kommet en lang række nye leverandører og produkter på markedet, hvor kvaliteten af de nye LED-armaturer er varierende, dels fordi der stadig er tale om en ny teknologi, der er relativt dyr i anskaffelse, hvor der stadig kan forekomme ”børnesygdomme” og hvor driftserfaringerne er begrænset. Dertil kommer LED’ernes meget lange levetid, der i endnu højere grad nødvendiggør at der er valgt et driftssikkert og energieffektivt armatur, der samtidig kan opfylde kravene til belysningen.

En anden væsentlig forskel er, at LED er elektronik. Det betyder, at de parametre, der er væsentlige i forhold til vurdering og sammenligning af lyskilder, også er forandrede. Generelt gælder, at jo flere funktionaliteter et anlæg kan levere, jo større vil risikoen for fejl også være.

Med henblik på at kunne træffe de rigtige valg og udnytte den nye teknologi optimalt er der i 2014 gennemført en større markedsundersøgelse omfattende en lysteknisk og energimæssig analyse af eksisterende LED-armaturer til vejbelysning.

Formålet med dette notat er at behandle resultaterne af undersøgelsen og analysen, samt at opstille opmærksomhedspunkter og anbefalinger i forhold til valg af det mest velegnede LED-armatur til en given vejstrækning.

2. Metode

I sommeren 2014 blev der foretaget en omfattende markedsundersøgelse af 150 LED-armaturer og varianter på det nordiske marked. Kriterierne for udvælgelse af armaturer til videre analyse var, at det skulle være LED-armaturer til belysning af veje i Norge, og at armaturerne skulle være fra en på markedet anerkendt producent. Ligeledes skulle producenten eller leverandøren skulle have en salgsorganisation i Norden.

Det resulterede i at ca. 30 LED-armaturer blev udvalgt til nærmere analyse af deres lystekniske formåen samt energieffektivitet.

Som grundlag for analysen blev der fastlagt hvilke typiske vejgeometrier, der var repræsentative for hovedveje i Norge. Ligeledes blev det vurderet, hvilke anlægsgeometrier der var repræsentative for de udvalgte hovedveje.

Fastlæggelsen af de typiske vej- og anlægsgeometrier blev foretaget i samarbejde mellem Statens Vegvesen og ÅF Lighting. I alt blev der udvalgt tre repræsentative vej- og anlægsgeometrier. I det følgende refereret til som vejtype 1, 2 og 3.

Herefter blev de tilhørende mindste krav til vejbelysningen og LED-armaturerne fastlagt. Der blev desuden opstillet specifikke bedømmelseskriterier til den videre analyse, herunder beregning af belysningsvirkningsgrad og energiforbrug pr. km vejstrækning.

Belysning af kryds, rundkørsler, fodgængerfelter o. lign. indgår ikke i analysen, da det ligger udenfor rammerne af denne opgave.

3. Analysegrundlag

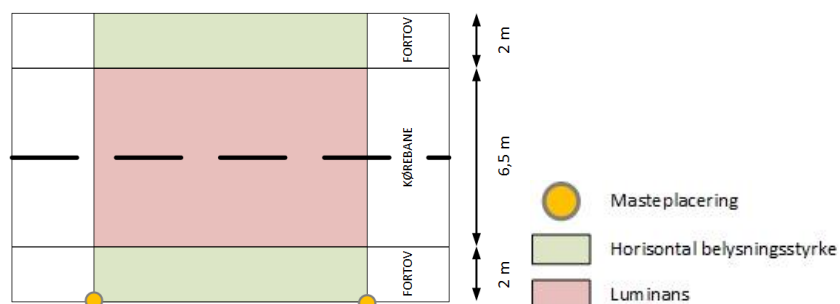
3.1 LED-armaturer

I alt blev der udvalgt ca. 30 LED-armaturer, som alle findes på det nordiske marked. De 30 armaturer er fra følgende producenter: AEC, CREE, Focus Lighting, GE Lighting, iGuzzini, Schröder, Siteco, Swarco og Thorn. Disse producenter er alle kendetegnet ved at have salgsrepræsentationer i et eller flere af de nordiske lande.

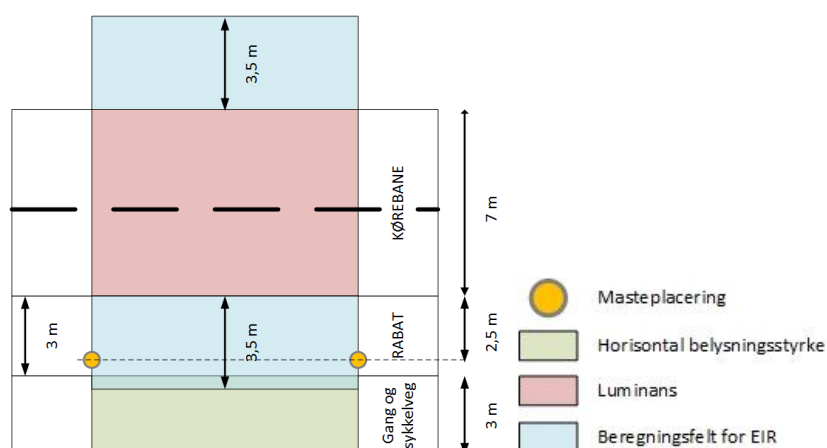
3.2 Vejgeometrier

Følgende tre vejgeometrier blev vurderet som repræsentative for norske hovedveje, hvor belysning er påkrævet (ÅDT > 6.000):

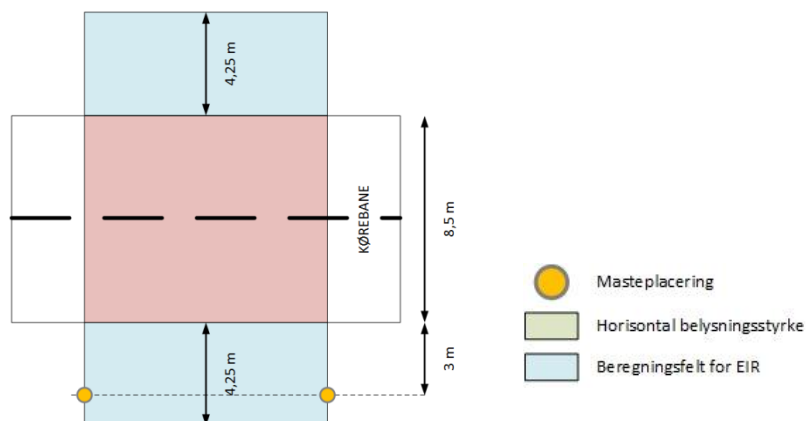
- Vejtype 1 - Mindre hovedvej i bynære områder (max. 50 km/t)
- Vejtype 2 - Større hovedvej i bynære områder (max. 60 km/t)
- Vejtype 3 - Større hovedvej uden for bynære områder (>60 km/t)



Figur 3-1 Vejtype 1 – Mindre hovedvej i bynære områder (max. 50 km/t).
De farvelagte arealer angiver arealer med krav til belysningen.



Figur 3-2 Vejtype 2 – Større hovedvej i bynære områder (max. 60 km/t).
De farvelagte arealer angiver arealer med krav til belysningen.



Figur 3-3 Vejtype 3 – Større hovedvej uden for bynære områder (>60 km/t). De farvelagte arealer angiver arealer med krav til belysningen.

3.3 Anlægsgeometrier

Det blev fundet at nedenstående anlægsgeometrier er typiske på de tre vejtyper.

På vejtype 1, 2 og 3 blev der anvendt en lyspunkthøjde på hhv. 6 m, 8 m og 10 m.

Der blev anvendt ensidig masteplacering, idet både zig-zag og dobbeltsiddet placering, for de valgte vejgeometrier, vil føre til højere energiforbrug og væsentlig højere anlægskostninger.

Masterne blev placeret i bagkant af fortov på vejtype 1 og i siderabatten på vejtype 2 og 3, se hhv. Figur 3-1, Figur 3-2 og Figur 3-3.

For vejtype 1 blev lyspunktets (armaturets) overhæng varieret mellem 0 og -1,5 m. Dvs. armaturet kan hænge direkte over kørebane kant eller op til 1,5 m ud over kørebanen.

Tilsvarende for vejtype 2 blev lyspunktets overhæng varieret mellem 0 og -2 m, og for vejtype 3 mellem 0 og -2,5 m.

Længden på udliggerarm afhænger af masternes endelige placering og det valgte overhæng over kørebanen. For at gennemføre analysen af LED-armaturerne er det ikke nødvendigt at kende den endelige masteplacering eller længde på udliggerarm.

For at minimere gener som blænding, utilsigtet lysspild til omgivelserne og uønsket fjernvirkning blev der anvendt en armaturhældning på max 3°.

3.4 Krav til belysningen og armaturet

3.4.1 Krav iht. Håndbok V124

Belysningen skal overholde kravene i Håndbok V124 Teknisk planlægning av veg- og tunnelbelysning.

På hovedveje stilles der bl.a. krav til overholdelse af MEW belysningsklasserne.

Belysningsklassen mm. udtrykker ønsket om belysningskvalitet gennem krav til:

- Belysningsniveau på vejen (luminans)
- Belysningens regelmæssighed – både for tør og våd vejbelægning (regelmæssighed, langsregelmæssighed og regelmæssighed på våd vej)
- Begrænsning af gener såsom blænding og fjernvirkning

For vejtype 1 og 2 er kravet til langsregelmæssigheden nedsat til 0,30. I Håndbok V124 er det 0,60. Dette skyldes, at belysningsanlæggene alternativt vil blive uforholdsmæssig dyrere.

Krav til begrænsning af blænding og fjernvirkning er givet som krav til

- Threshold increment (TI%)
- G-klasse
- D-klasse

Armaturerne skal opfylde afskærmningsklasse G4.

For vejtype 1 (Mindre hovedveje) skal klasse D6 overholdes. For vejtype 2 og 3 stilles der ikke krav til overholdelse af D-klasser.

Se afsnit 3.4.3 for de specifikke krav.

3.4.2 Øvrige krav

I analysen betragtes LED-armaturer med en farvetemperatur på maksimalt 4000 K og en farvegengivelse på mindst Ra 70.

Vedligeholdelsesfaktoren sættes i denne undersøgelse til 0,8. Bemærk der findes endnu ikke en standardiseret metode til fastsættelse af vedligeholdelsesfaktoren for LED-armaturer. Vedligeholdelsesfaktoren kan derfor variere på sigt. De 0,8 er dog velegnet til brug for sammenligning af LED-armaturerne i denne analyse.

Armaturerne skal opfylde isolationsklasse II.

3.4.3 Sammenfatning

Vej- og anlægsgeometrierne samt de korresponderende belysningskrav er sammenfattet i nedenstående skema.

Vejtype	Vejtype 1: Mindre hovedvej i bynære områder (max. 50 km/t)	Vejtype 2: Større hovedvej i bynære områder (max. 60 km/t)	Vejtype 3: Større hovedvej uden for bynære områder (>60 km/t)
Belysningsklasse	MEW3	MEW3 + S4	MEW2
Vejbelægning	C2/W4	C2/W4	C2/W4
Kørebanebredde	6,5 m	7 m	8,5 m
Bredde af rabat	-	1 x 3,0 m	-
Bredde af fortov/cykelsti	2 x 2,0 m	1 x 3,0 m	-
Lyspunkthøjde	6 m	8 m	10 m
Armaturlældning	0° - 3°	0° - 3°	0° - 3°
Overhæng	0 til -1,5 m	0 til -2 m	0 til -2,5 m

Figur 3-4 Tre typiske norske hovedveje med tilhørende belysningsklasser.

Kravene i de enkelte belysningsklasser fremgår af Figur 3-5.

Belysningsklasse	MEW2	MEW3	S4
Luminans, kørebanen, L_m	1,5 cd/m ²	1,00 cd/m ²	-
Regelmæssighed, tør, U_0	0,40	0,40	-
Regelmæssighed, våd, U_{0v}	0,15	0,15	-
Langsregelmæssighed, U_1	0,60	*0,30	-
Synsnedsettende blænding, $TI\%$	10	15	-
Belysning af omgivelser, SR	0,50	0,50	-
Horisontal belysningsstyrke, E_m	-	-	5,0
Horisontal belysningsstyrke, E_{min}	-	-	1,0

Figur 3-5 Belysningskravene i belysningsklasse MEW2, MEW3 og S4. *Kravet på 0,60 i Håndbok V124 er nedskrevet til 0,30.

Mindstekrav til LED-armaturerne er sammenfattet i nedenstående skema.

Vejtype	Vejtype 1: Mindre hovedvej i bynære områder (max. 50 km/t)	Vejtype 2: Større hovedvej i bynære områder (max. 60 km/t)	Vejtype 3: Større hovedvej uden for bynære områder (>60 km/t)
Armatrhældning (tilt)	$\leq 3^\circ$	$\leq 3^\circ$	$\leq 3^\circ$
Vedligeholdelsesfaktor	0,8	0,8	0,8
G – klasse	G4	G4	G4
D – klasse	D6	-	-
Isolationsklasse	II	II	II
Farvetemperatur	4000 K	4000 K	4000 K
Farvegengivelse	70	70	70

Figur 3-6 Mindstekrav som LED-armaturerne skal kunne opfylde.

4. Analyse af LED-armaturer

4.1 Bedømmelseskriterier

Først og fremmest skal armaturerne kunne overholde de krævede belysningsklasser samt øvrige mindstekrav til belysningen og armaturet angivet i afsnit 3.4.3.

Dernæst blev det valgt at betragte følgende parametre til vurdering af LED-armaturenes egnethed på de tre vejtyper:

- Belysningsvirkningsgraden
- Energiforbrug pr. km vej pr. år
- Forholdet mellem lyspunktafstand og lyspunkthøjde – S/H-forholdet. (S står for ”spacing” og H for højde).
- Visuel komfort

Belysningsvirkningsgraden er et udtryk for hvor meget af det udsendte lys, der rammer de arealer der stilles belysningskrav til. Eksempelvis er det for vejtype 1 således et mål for, hvor meget af det udsendte lys der rammer kørebane og fortov. Se Figur 3-1. For vejtype 2 og 3 se hhv. Figur 3-2 og Figur 3-3.

Energiforbrug pr. km vej pr. år angiver hvor energieffektivt belysningsanlægget er og kan bruges som indikation for, hvor effektiv det enkelte LED-armatur er. Energiforbruget pr. km vej afhænger dog ikke alene af armaturets effektivitet men også af anlægsudformningen.

Energiforbruget er beregnet med et antaget årligt antal brændetimer på 3940 timer og med LED-armaturerne ureguleret. Energiforbruget vil selvfølgelig være lavere, hvis der anvendes styring.

S/H-forholdet er et udtryk for mellem afstanden mellem masterne (lyspunktafstanden, s) og højden armaturet er monteret i (lyspunkthøjden, h). Forholdet har betydning for opfattelsen af proportionerne for et belysningsanlæg og er samtidig et nyttigt redskab for estimering af omkostningerne ved etablering af det belysningsanlæg.

Visuel komfort dækker bl.a. over oplevet blænding og fjernvirkning og er i denne analyse kvantificeret vha. enten armaturets afskærmningsklasse (G-klasse) eller blændingstal (D-klasse).

4.2 Indhentning af datagrundlag

Indledningsvis blev de nyeste lysfordelinger indhentet fra leverandører og producenter. De indhentede lysfordelinger er valgt ud fra

at de primært er egnede til opfyldelse af kravene for våd kørebane. Herefter blev der foretaget en indledende udvælgelse af de mest egnede armaturer og lysfordelinger, hvilket resulterede i en nærmere analyse af ca. 30 armaturer med i alt ca. 50 forskellige lysfordelinger.

Lyspunktafstanden blev optimeret indenfor rammerne af den givne belysningsklasse. De lystekniske beregninger blev foretaget i Dialux. Derudover blev energiforbruget og belysningsvirkningsgraden beregnet.

Bemærk: Blændingstallet er i sin tid udviklet til armaturer med konventionelle lyskilder (et lyspunkt). Der er endnu ikke udviklet en standardiseret metode til beregning af blændingstallet for LED-armaturer. Beregnede blændingstal er derfor behæftet med en del usikkerhed, men medtages her som en indikation.

5. Resultat af analyse

Generelt viser analysen, at der findes en række velegnede LED-armaturer til belysning af hovedveje på markedet.

De bedste LED-armaturer har en optik udviklet specielt til belysning af hovedveje, dvs. de er udviklet til at opfylde kravene til regelmæssighed på våd kørebane (MEW belysningsklasser).

De armaturer hvis optik ikke er udviklet målrettet mod overholdelse af MEW belysningsklasserne er uegnede.

LED-armaturernes lysfordelinger er ofte udviklet til specifikke vejgeometrier. Samtidig findes der typisk kun få varianter af lysfordelinger til det enkelte LED-armatur, i modsætning til traditionelle armaturer. Dette kan sætte begrænsninger for optimal belysning

- af forskellige vejgeometrier
- hvis vejgeometrien ændres, f.eks. hvis der tilføjes svingbaner, buslommer og lign
- af kryds, rundkørsler, fodgængerfelter og lign

I det følgende bestemmes først en skala for bedømmelseskriterierne, hvorefter resultaterne for de tre vejtyper gennemgås. Kapitlet afsluttes med en sammenfattende konklusion.

5.1 Skala for bedømmelseskriterierne

På baggrund af de her udførte beregninger, samt erfaringer, er der valgt nedenstående skala for bedømmelseskriterierne.

Det er således en skala, der er baseret på de armaturer, anlægs- og vejgeometrier, der er betragtes i nærværende analyse. Der findes ingen belysningsstandarder mv. der definerer en skalainddeling.

Grøn angives for det bedste resultat og rød det dårligste.

En *belysningsvirkningsgrad* på 0,5 eller bedre vurderes som god, på 0,35 som rimelig og under 0,35 som dårlig.

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

Figur 5-1 Skala for belysningsvirkningsgrad.

Energiforbruget pr. km vej er stærkt afhængig af vejgeometrien. De mest effektive belysningsanlæg for vejtyperne 1 og 2 har et energiforbrug på 10-12 MWh pr. km vej pr. år. Energiforbruget for de mindst effektive belysningsanlæg er henholdsvis ca. 21 MWh pr. km vej pr. år for vejtype 1, ca. 29 MWh pr. km vej pr. år for vejtype 2 og ca. 50 MWh pr. km vej pr. år for vejtype 3. En opdeling til

hjælp for vurdering af det årlige energiforbrug pr. km vej er vist i Figur 5-2.

	Vejtype 1	Vejtype 2	Vejtype 3
Højt	21,2	29,0	50,0
	18,0	24,0	41,0
Middel	15,0	19,0	32,0
	12,0	13,0	23,0
Lavt	9,7	10,9	15,1

Figur 5-2 Skala for energiforbrug i MWh pr. km vej pr. år.

Et *S/H-forhold* på minimum 4 vurderes som godt, mens et forhold på 3-4 vurderes som middel. Et *S/H-forhold* på under 3 vurderes dårligt.

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

Figur 5-3 Skala for forholdet mellem lyspunktafstand og lyspunkthøjde – *S/H*-forholdet.

Da der allerede er fastsat krav til minimumsværdier for hhv. G- og D-klassen, vil der ikke blive udformet en særskilt skala til *visuel komfort*. Se afsnit 3.4.1.

Bemærk skalaerne i dette dokument er baseret på vurderinger af armaturer, der findes på markedet i 2014. Skalaerne bør tilpasses i takt med den teknologiske udvikling.

Vurderingerne for belysningsvirkningsgraden og energiforbruget pr. km. vej pr. år gælder for de tre specifikke vej- og anlægsgeometrier, der er undersøgt. Resultaterne kan dermed være anderledes for andre vej- og anlægsgeometrier.

5.2 Vejtype 1 – Mindre hovedvej i bynære områder (max. 50 km/t)

I alt er 17 LED-vejarmaturer blevet undersøgt nærmere.

13 ud af de 17 LED-armaturer opfylder de formelle krav til opfyldelse af vejbelysningsklasse som anført i Håndbok V124. Tre af de undersøgte armaturer overholder ikke afskærmningsklasse G4, og dermed overholder de ikke kravene i Håndbok V124. Alle armaturerne overholder kravet til blændingstal D6.

På nær et enkelt, overholder alle de undersøgte armaturer kravene til belysningsklasse MEW3. Dog opnås så korte masteafstande med enkelte armaturer, at de reelt ikke vil kunne komme i betragtning til belysning af vejtype 1.

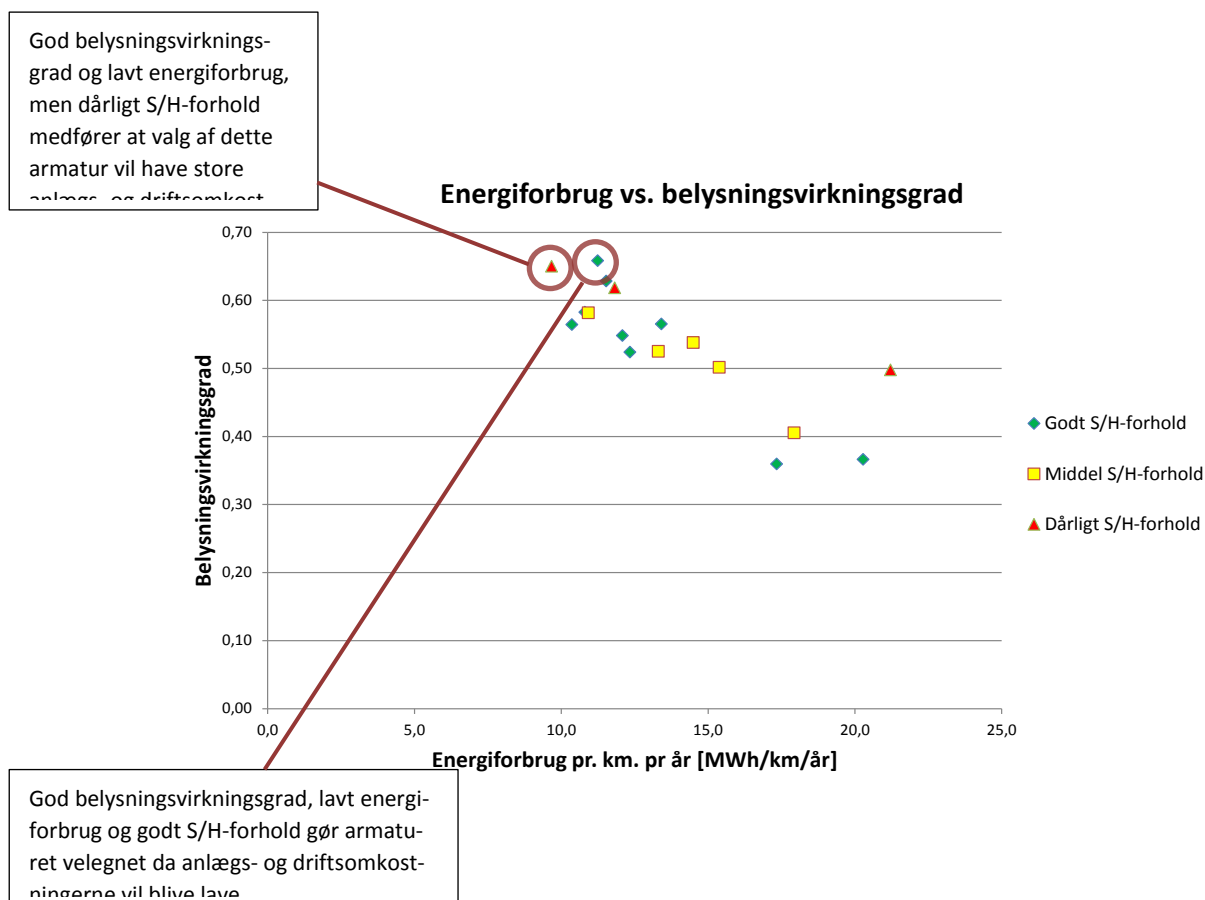
Alle de undersøgte armaturer fås i isolationsklasse II og med en IP-klasse IP66 eller bedre.

For vejtype 1 kan der opnås en god belysningsvirkningsgrad ved anvendelse af de fleste af de undersøgte armaturer. Dvs. mange af armaturerne er velegnede til at sende lyset hen hvor der er brug for det.

Energiforbruget kan være lavt, 10-12 MWh/km pr. år. Forskellen kan dog være op til 10 MWh/km pr. år, idet de mest energiforbrugende armaturer anvender over 20 MWh/km pr. år. For de fleste af armaturerne ligger energiforbruget mellem fra lavt til middel.

Det er muligt at opnå et godt S/H-forhold, og dermed reducere anlægsomkostningerne. Godt halvdelen af armaturerne opnår et godt S/H-forhold på 4-5. Med disse armaturer opnås en mastef afstand på 25-30 m.

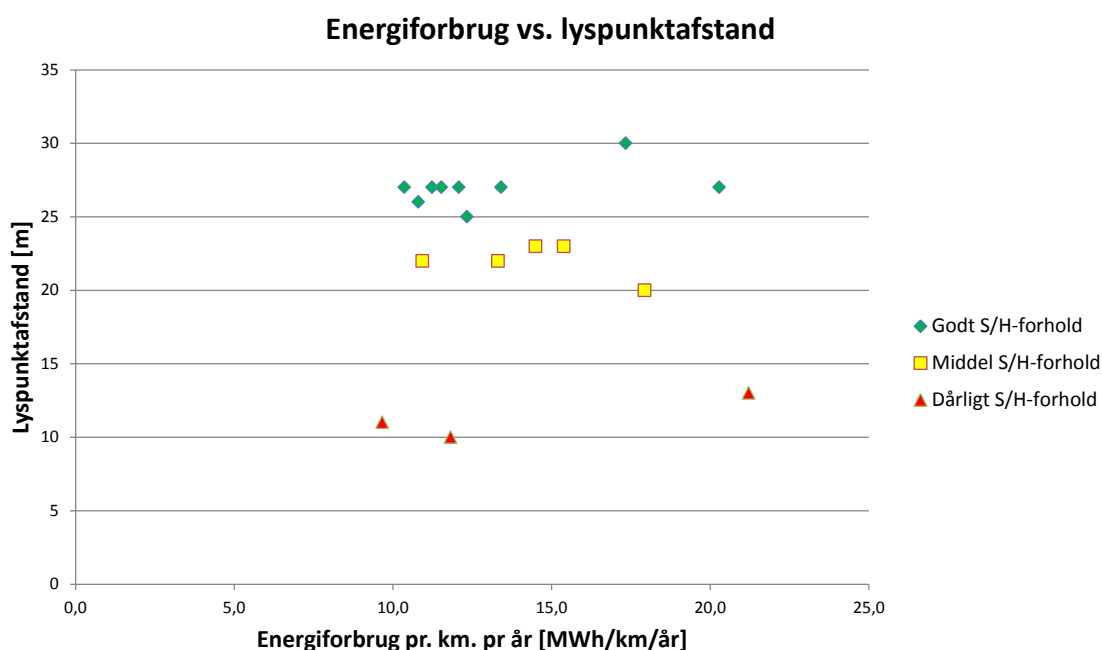
Visuel komfort og lysforureningen begrænses, idet afskærmningsklasse G4 til G6 opnås fordi kun en lille eller ingen armaturhældning er nødvendig.



Figur 5-4 Vejtype 1: Energiforbrug vs. belysningsvirkningsgrad.

Af Figur 5-4 fremgår det, at der ikke er en entydig sammenhæng mellem en god belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbrug og et godt S/H-forhold. Dvs. det er ikke tilstrækkeligt at udvælge det LED-armatur, der er mest energieffektivt, og som giver en høj belysningsvirkningsgrad, og dermed lave driftsomkostninger, da det kan resultere i unødvendig høje anlægsomkostninger - eksempelvis hvis mastefstanden bliver for kort.

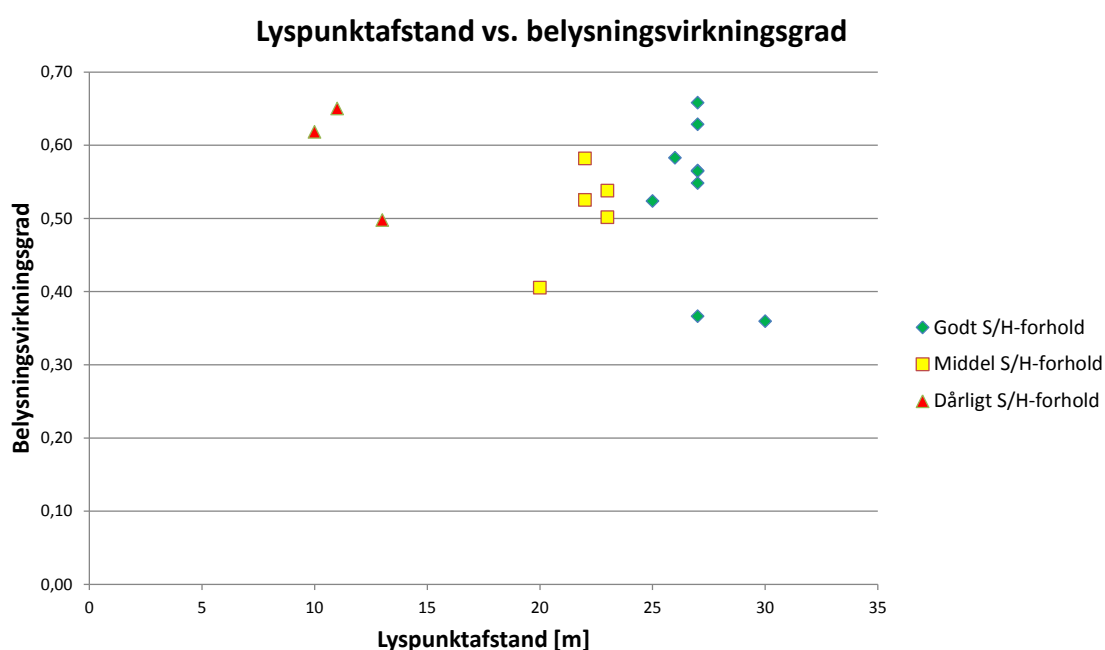
Jo længere afstand der er mellem masterne (lyspunktafstand) desto bedre S/H-forhold. Af Figur 5-5 ses, at en del af de analyserede armaturer både har et godt S/H forhold og et lavt til middel energiforbrug pr. km vej. Ofte vil en længere lyspunktafstand, og dermed anvendelse af færre armaturer, føre til et reduceret energiforbrug, men som det fremgår af figuren, er det ikke en selvfølge. Dette har stor indflydelse på både anlægs- og driftsøkonomien.



Figur 5-5 Vejtype 1: Energiforbrug vs. lyspunktafstand.

Figur 5-6 illustrerer, at det ikke er tilstrækkeligt at vurdere belysningsvirkningsgraden, men at relationen mellem lyspunktafstand og lyspunkthøjde, S/H-forholdet, ligeledes er vigtigt.

Som det ses, kan det være nødvendigt at anvende op til 3 gange så mange master og armaturer på vejtype 1, hvis der anvendes et armatur med dårlig S/H-forhold i stedet for et armatur med et godt S/H-forhold – selvom begge armaturer har en god belysningsvirkningsgrad.



Figur 5-6 Vejtype 1: Lyspunktafstand vs. belysningsvirkningsgrad.

Samlet set kan det konkluderes, at det er nødvendigt at betragte både armaturets belysningsvirkningsgrad, energiforbrug pr. km vej og S/H-forholdet for den givne vejstrækning for at sikre, at det mest velegnede armatur til den pågældende vejstrækning bliver anvendt.

Se bilag A.1 for en oversigt over resultaterne.

5.3 Vejtype 2 – Større hovedvej i bynære områder (max. 60 km/t)

I alt er 19 LED-vejarmaturer blevet undersøgt nærmere.

11 ud af de 19 LED-armaturer opfylder de formelle krav til opfyldelse af vejbelysningsklasse som anført i Håndbok V124.

Af de 19 undersøgte LED-armaturer kan fem armaturer ikke overholde afskærmningsklasse G4, og dermed overholder de ikke kravene i Håndbok V124.

Et enkelt armatur overholder ikke kravene til belysningsklasse MEW3, mens 4 armaturer ikke leverer tilstrækkeligt med lys på fortovet, dvs. overholder belysningsklasse S4.

Alle de undersøgte armaturer fås i isolationsklasse II og med en IP-klasse IP66 eller bedre, på nær et enkelt armatur der fås i IP65.

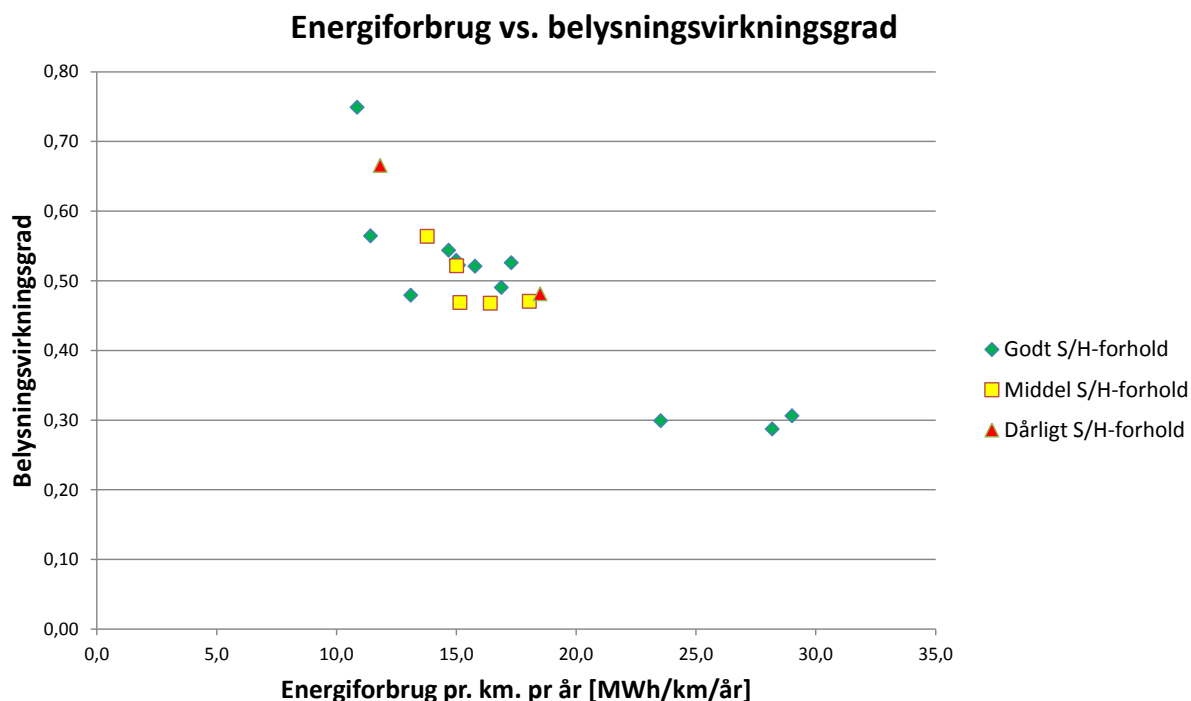
For vejtype 2 har halvdelen af de undersøgte armaturer en god belysningsvirkningsgrad.

Energiforbruget pr. km vejstrækning er lavt til middel for ca. halvdelen af armaturerne. For de undersøgte armaturer varierer energiforbruget med op til en faktor 3, fra ca. 10 MWh/km pr. år til knap 30 MWh/km pr. år.

Lidt over halvdelen af armaturerne har et godt S/H-forhold. De armaturer der opnår et S/H-forhold på 4 eller mere opnår en lyspunktafstand på mere end 30 m. Enkelte armaturer opnår et S/H-forhold på over 5 og en lyspunktafstand på lidt over 40 m.

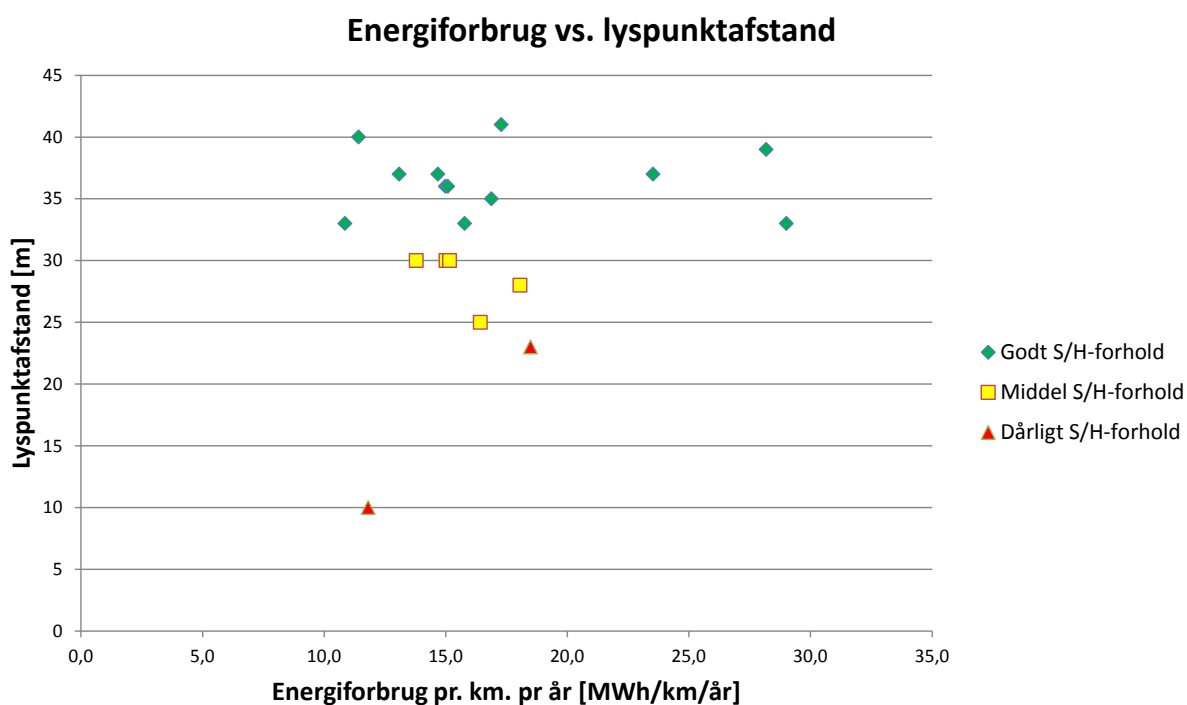
Afskærmningsklasse G4 til G6 kan overholdes, da det kun er nødvendigt med en lille eller ingen armaturhældning, herved er det muligt at opnå god visuel komfort og at begrænse lysforureningen.

For vejtype 2 gælder, som for vejtype 1, at der ikke er en entydig sammenhæng mellem en god belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbrug og et godt S/H-forhold, se Figur 5-7. Som det fremgår af figuren, er der dog nogle armaturer, der både kan sikre en god belysningsvirkningsgrad, lange masteafstande (godt S/H-forhold) og et lavt energiforbrug pr. km vejstrækning.



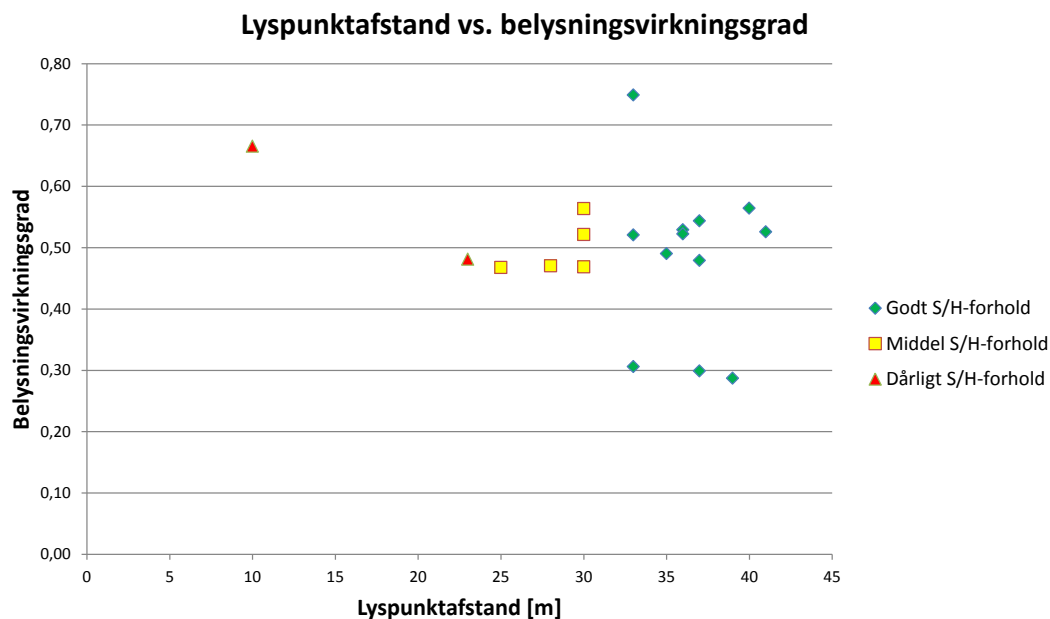
Figur 5-7 Vejtype 2: Energiforbrug vs. belysningsvirkningsgrad.

Af Figur 5-8 ses det naturlige forhold at jo længere lyspunktafstand desto bedre S/H-forhold. Yderligere ses det, at der findes armaturer på markedet, der både har et godt S/H forhold og et lavt til middel energiforbrug pr. km vej. Samtidig fremgår det, som for vejtype 1, at et lang lyspunktafstand, og dermed et godt S/H-forhold, ikke alene sikrer et lavt energiforbrug pr. km vej.



Figur 5-8 Vejtype 2: Energiforbrug vs. lyspunktafstand.

Figur 5-9 viser en god belysningsvirkningsgrad ikke i sig selv sikrer et belysningsanlæg med de længste mastefastande. Vurdering af S/H-forholdet er ligeledes vigtigt.



Figur 5-9 Vejtype 2: Lyspunktafstand vs. belysningsvirkningsgrad.

Se bilag A.2 for en oversigt over resultaterne.

5.4 Vejtype 3 – Større hovedvej uden for bynære områder (>60 km/t)

I alt er 18 LED-vejarmaturer blevet undersøgt nærmere.

12 ud af de 18 LED-armaturer opfylder de formelle krav til opfyldelse af vejbelysningsklasse som anført i Håndbok V124. Fire af 18 undersøgte LED-armaturerne kan ikke overholde afskærmningsklasse G4, og dermed overholder de ikke kravene i Håndbok V124.

På nær et enkelt, overholder alle de undersøgte armaturer kravene til belysningsklasse MEW2. Dog opnås så korte masteafstande med enkelte armaturer, at de reelt ikke vil kunne komme i betragtning til belysning af vejtype 3.

Alle de undersøgte armaturer fås i isolationsklasse II og med en IP-klasse IP66 eller bedre, på nær et enkelt armatur der fås i IP65.

Lidt over halvdelen af de undersøgte armaturer har en god belysningsvirkningsgrad på vejtype 3.

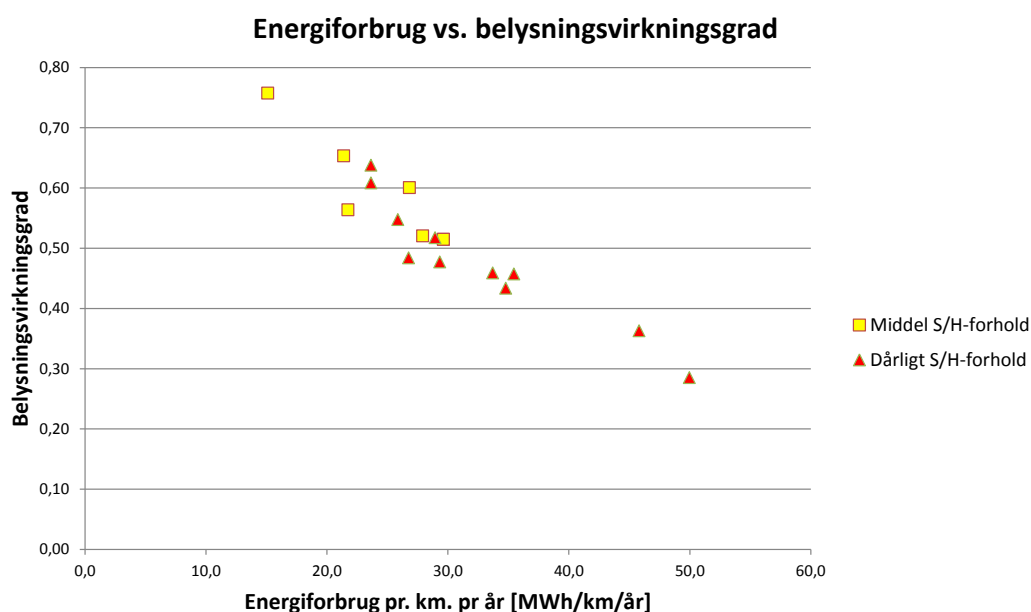
Alle armaturerne har et energiforbrug pr. km vej på middel til højt. Ingen af armaturerne har tilnærmelsesvis et lavt energiforbrug. For de undersøgte armaturer varierer energiforbruget fra 15 MWh/km

pr. år til 50 MWh/km pr. år. Størstedelen af armaturerne forbruger mellem 20 og 35 MWh/km pr år.

Der er ingen af armaturerne der opnår et godt S/H-forhold. De bedste armaturer opnår en S/H-forhold på 3,3 - 3,6. Årsagen til dette er, at det i langt de fleste tilfælde er armaturets lysstrøm, der er den begrænsende faktor. På de større hovedveje kan mange af de eksisterende LED-vejarmaturer simpelthen ikke udsende tilstrækkelig med lys. Dette skyldes dels at LED'erne på markedet endnu ikke er effektive nok og dels armaturenes fysiske begrænsninger – at der ikke kan være tilstrækkeligt mange LED'er i armaturhuset. Det forventes dog, at LED'erne bliver tilstrækkelig effektive indenfor en kort årrække.

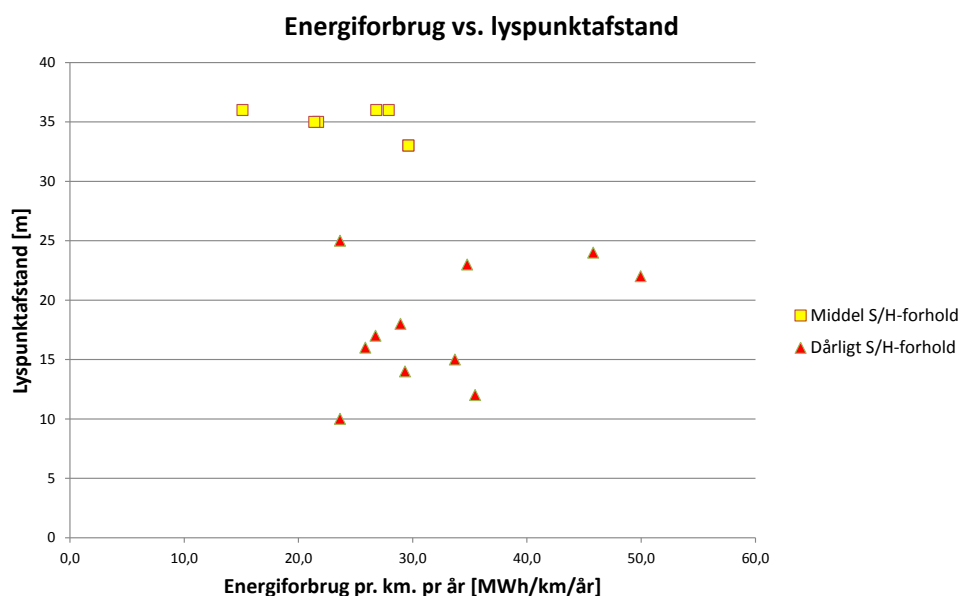
Til gengæld opnås med flere af armaturerne, at belysningens regelmæssighed er langt højere end krævet. Det betyder, at det for en del af armaturerne vil være muligt at opnå længere masteafstande, og dermed et bedre S/H-forhold og anlægsøkonomi, når det bliver muligt at anvende LED'er med en højere lysstrøm.

Som for vejtype 1 og 2 gælder der ligeledes for vejtype 3, at der ikke er en entydig sammenhæng mellem en god belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbrug og et godt S/H-forhold. Af Figur 5-10 fremgår det dog, at der er en tendens til at anlæg med et middel S/H-forhold har en højere belysningsvirkningsgrad og lavere energiforbrug pr. km vej end anlæg med et dårligt S/H-forhold. Dette skyldes, at armaturenes lysstrøm udnyttes bedre – der er ingen overbelysning af arealerne.

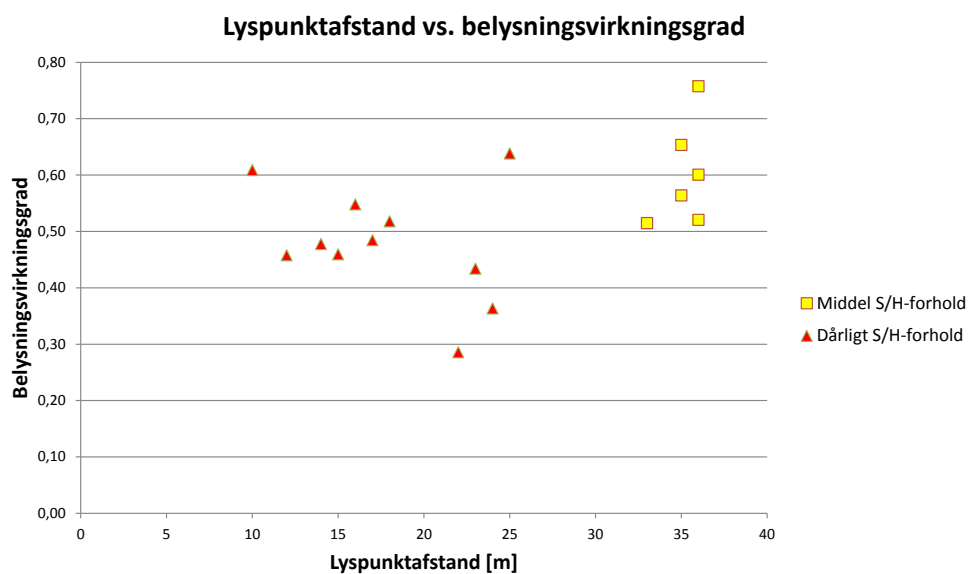


Figur 5-10 Vejtype 3: Energiforbrug vs. belysningsvirkningsgrad.

Af Figur 5-11 og Figur 5-12 fremgår at der for vejtype 3 gælder det samme som for de to øvrige vejtyper, nemlig at jo længere lyspunktafstand desto bedre S/H-forhold og at en god belysningsvirkningsgrad ikke i sig selv sikrer et belysningsanlæg med de længste masteafstande.



Figur 5-11 Vejtype 3: Energiforbrug vs. lyspunktafstand.



Figur 5-12 Vejtype 3: Lyspunktafstand vs. belysningsvirkningsgrad.

Se bilag A.3 for en oversigt over resultaterne.

5.5 Konklusion

Den teknologiske udviklingen af LED-armaturer til vejbelysning går stærkt i disse år, resultaterne af nærværende analyse er således et øjebliksbilledet på LED-armaturenes lystekniske formåen i 2014 på typiske hovedvejsgeometrier i Norge.

Der er foretaget en nærmere analyse af ca. 30 LED-vejarmaturer i forhold til deres anvendelse på tre typiske norske hovedveje. På baggrund af analysen kan følgende konkluderes:

- Der findes en række velegnede LED-armaturer til belysning af norske hovedveje på markedet.
- De bedste LED-armaturer har en optik udviklet specifikt til overholdelse af kravene til belysning af våd kørebane (MEW belysningsklasserne).
- En del armaturer er uegnede fordi optikken ikke er udviklet til MEW belysningsklasserne.
- LED-armaturenes lysfordelinger er ofte udviklet til specifikke vejgeometrier. Samtidig findes der typisk kun få varianter af lysfordelinger til det enkelte LED-armaturer, i modsætning til traditionelle armaturer, hvor det ofte er muligt at foretage justeringer af optikken, og dermed lysfordelingen, i armaturet. Dette kan sætte begrænsninger for optimal belysning
 - af forskellige vejgeometrier.
 - hvis vejgeometrien ændres, f.eks. hvis der tilføjes svingbaner, buslommer og lign.
 - af kryds, rundkørsler, fodgængerfelter og lign.
- Belysningsvirkningsgraden, energiforbruget og S/H-forholdet afhænger af den konkrete vejstrækning.
- Der er ikke en entydig sammenhæng mellem en høj belysningsvirkningsgrad, lavt energiforbrug og et godt S/H-forhold.
- Lang lyspunktafstand fører ikke i alle tilfælde til et lavt energiforbrug. Tilsvarende for et godt S/H-forhold.
- En god belysningsvirkningsgrad resulterer ikke nødvendigvis i lange lyspunktafstande. En vurdering af S/H-forholdet er ligeledes vigtig.

For vejtype 1 og 2

- Det er muligt at opnå
 - et godt S/H-forhold, og dermed reducere anlægsomkostningerne.
 - et lavt energiforbrug pr. km vejstrækning.
 - en god belysningsvirkningsgrad.
 - overholdelse af afskærmningsklasse G4 og blændingsklasse D6 (vejtype 1) og dermed minimere blænding, generende fjernvirkning og lysforurening.

Det er dog kun ganske få armaturer der kan opfylde alle ovenstående krav samtidig. Se Figur 5-13 for specifikke værdier for de bedste af de analyserede armaturer.

For vejtype 3

- For en del af LED armaturerne der findes på markedet i 2014 gælder, at der ikke er tilstrækkelig med installeret lysstrøm i armaturerne til at kunne opfylde belysningskravene på større norske hovedveje og samtidig sikre et lavt energiforbrug og lave anlægsomkostninger.
- Det er muligt at opnå
 - en god belysningsvirkningsgrad.
 - overholdelse af afskærmningsklasse G4 og dermed mindre blænding, generende fjernvirkning og lysforurening.

Ud fra en anlægs- og driftsmæssig betragtning vil et LED-armatur, der samtidig er energieffektivt og koncentrerer lyset ned på de arealer der stilles krav til, dvs. har en høj belysningsvirkningsgrad, være det bedste valg, vis det samtidig giver mulighed for lange masteafstande og brug af lave master (godt S/H forhold).

Som det fremgår af analysen findes der i dag armaturer, der kan leve op til disse krav, men det er langt fra dem alle. Analysen viser videre, at det ikke er tilstrækkeligt at betragte en enkelt eller få parametre. At vælge det mest optimale LED-armatur til en given vejstrækning kræver en grundig vurdering af flere parametre, samt kontrol af overholdelse af krav til belysningsklassen. For at vælge det mest velegnede armatur, er det derfor nødvendigt at bestemme både armaturets belysningsvirkningsgrad, energiforbrug pr. km vej og S/H-forholdet for den konkrete vejstrækning, samt at foretage en lysteknisk beregning.

Erfaringstal fra nærværende analyse

Af de analyserede armaturer kunne de bedste armaturer i 2014 overholde nedenstående værdier for hhv. ”visuel komfort, belysningsvirkningsgrad, S/H-forhold, energiforbrug og masteafstand. Erfaringstallene er baseret på de helt specifikke vej- og anlægsgeometrier anvendt i denne analyse.

Vejtype	Vejtype 1: Mindre hovedvej i bynære områder (max. 50 km/t)	Vejtype 2: Større hovedvej i bynære områder (max. 60 km/t)	Vejtype 3: Større hovedvej uden for bynære områder (>60 km/t)
Belysningsklasse	MEW3	MEW3 + S4	MEW2
Visuel komfort	≥ G4, D6	≥ G4	≥ G4
Belysningsvirkningsgrad	≥ 0,55	≥ 0,54	≥ 0,51
S/H-forhold	≥ 4,5	≥ 4,6	≥ 3,3
Energiforbrug pr. km vej- strækning	10,4 - 12,1 MWh/km pr. år	10,9 - 14,7 MWh/km pr. år	15,1 - 29,6 MWh/km pr. år
Lyspunkt afstand	27	37 - 42	33 - 43

Figur 5-13 Erfaringstal for de bedste af de i 2014 analyserede armaturer.

6. Valg af LED-armatur

Valget af LED-armatur bør foretages ud fra en helhedsorienteret vurdering af krav til både økonomi, energieffektivitet, funktion og æstetik.

Det mest velegnet LED-armatur er forskelligt fra opgave til opgave, idet valget afhænger af den ønskede belysningskvalitet, vejgeometrien og evt. begrænsninger i anlægsgeometrien.

I forhold til bl.a. en lysteknisk og energimæssig vurdering af armaturerne viser resultaterne fra analysen af LED-armaturer (se kapitel 5), at det ikke er tilstrækkeligt at betragte en enkelt eller få parametre. At vælge det mest optimale LED-armatur til en given vejs-tækning kræver en grundig vurdering af flere parametre.

Som minimum bør der hver gang foretages en lysteknisk beregning samt beregning af belysningsvirkningsgraden, S/H-forholdet og energiforbrug f.eks. pr. km vej.

For at finde det mest egnede armatur kan erfaringstallene i Figur 5-13 benyttes, hvis vej- og anlægsgeometrierne svarer til vejtype 1, 2 eller 3. Alternativt bør en række relevante armaturer undersøges til den aktuelle strækning for at kunne udvælge det mest velegnet.

I det følgende gennemgås en række opmærksomhedspunkter vedr.

- Lysteknik
- Energieffektivitet
- Visuel komfort
- Æstetik
- Produkttekniske forhold
- Vedligehold
- Styring og regulering
- Økonomi
- Armaturproducent og leverandør

Efter hvert punkt opsummeres kort i en tekstboks, hvorledes de nødvendige informationer tilvejebringes.

Lysteknik

- Belysningskvalitet

De krævede belysningsklasser i Håndbok V124, herunder krav til belysningsniveau/luminansniveau, regelmæssighed på hhv. tør og våd kørebane, blændingskrav og afskærmningsklasse skal opfyldes.

Det er vigtigt at skaffe dokumentation for overholdelsen af belysningskravene.

- Lysfordeling – fleksibilitet
Konventionelle armaturer er typisk udstyret med en optik, der kan tilpasses forskellige vejgeometrier, kryds mv. LED-armaturerne har ikke denne indbyggede fleksibilitet. Det forventes, at der inden for få år udvikles flere optikvarianter, så fleksibiliteten øges.
- Lysfordeling – våd kørebane
Lysfordelingen bør være specifikt udviklet til overholdelse af krav til våd kørebane for at opnå en effektiv belysning af hovedveje.
- Lysfordelingen – skal være effektiv
Lysfordelingen bør sikre, at lyset rammer de arealer der stilles belysningskrav til; dette for at sikre et effektivt anlæg. Uønsket spildlys til omgivelserne bør undgås. Dvs. belysningsvirkningsgraden skal være god.
- Lysstrøm – skal være tilstrækkelig
Armaturet og dermed LED'erne skal kunne udsende tilstrækkelig med lysstrøm for at sikre overholdelse af luminanskrav.

Metode:

- Lysteknisk vurdering af lysfordelingen
- Lysteknisk beregning
- Beregning af belysningsvirkningsgrad

Nødvendig information:

- Kendskab til den konkrete vejgeometri samt evt. krav til anlægsudformning.
- Nyeste lysfordeling fra armaturproducent. (Grundet den hurtige udvikling og effektivisering af LED'er bør lysfordelingerne jævnligt opdateres).

Energieffektivitet

- Energiforbrug
Både ud fra et økonomisk og et miljømæssigt synspunkt er det relevant at vurdere energiforbruget. Dette kan gøres ved, for den specifikke vejstrækning, at beregne energiforbruget pr. km vej pr år.
- Styring og regulering – modvirk overdimensionering
I nogle tilfælde er det kravet til belysningens regelmæssighed, der sætter begrænsningen ved projektering. I disse

tilfælde vil der typisk blive anvendt et armatur med for høj lysstrøm i forhold til hvad der er nødvendigt for at overholde kravet til belysningsniveauet/luminansniveauet. Det betyder ligeledes at energiforbruget vil være højere end nødvendigt. I mange tilfælde vil en mindre "overbelysning" af arealerne være ok. Er der tale om en kraftig overbelysning kan det være relevant at anvende et LED-armatur som har konstant lysstrøm for at opnå en energibesparelse. Det er en funktion, ofte kaldet CLO, der kan installeres i en række af armaturerne der findes på markedet. CLO-funktionen muliggør at den installerede lysstrøm kan nedreguleres til den for strækningen nødvendige lysstrøm. Dette gøres inden armaturerne monteres. Samtidig tages der højde for den naturlige lysstrømsnedgang i takt med at LED'erne ældes, idet CLO-funktionen sikre at den udsendte lysstrøm er konstant gennem hele armaturets levetid.

Metode:

- Beregning af energiforbrug pr. km vejstrækning med udgangspunkt i den maksimalt opnåelige lyspunktafstand, jvf. de lystekniske beregninger.
- Vurder på baggrund af lysberegningen, energiberegningen og armaturprisen om det kan være relevant at anvende armaturer med konstant lysstrøm.

Visuel komfort

- Blænding og fjernvirkning

Det anbefales, at der foretages en visuel vurdering af den visuelle komfort (oplevet blænding og fjernvirkning), hvis armaturet ikke er velkendt på forhånd. Dette er særligt vigtigt til vurdering af blændingsforhold, da armaturenes blændingstal endnu ikke kan beregnes korrekt for LED-armaturer.

Metode:

- Beregning af afskærmningsklasse og blændingstal
- Evt. visuel vurdering af lysende armatur monteret i korrekt lyspunkthøjde, og helst i de omgivelser, eller tilsvarende omgivelser, hvor armaturet tænkes anvendt i – for vurdering af blændingsforhold. NB: Alle vejarmaturer blænder til en vis grad, det er således nødvendigt at kende til de lystekniske forhold vedr. blænding for at kunne udføre en rimelig visuel vurdering af blændingsforholdene.

Æstetik

- Armaturets formgivning og design
Mange armaturer til LED er skabt i en sydeuropæisk eller asiatisk stil, der ikke er i tråd med en nordisk forståelse af design. Armaturets design bør vurderes i forhold til armaturets anvendelse og de omgivelser armaturet skal monteres i.
- LED'ernes farveegenskaber
Lyskildernes lysfarve (farvetemperatur) og evne til at gengive farver (f.eks. målt vha. Ra-værdi) er blandt de vigtigste parametre for oplevelsen af lysets virkning. Farvetemperaturen skal være tilpasset det omgivende miljø, og lyskildernes farvegengivende egenskaber skal sikre en naturlig gengivelse af det, der belyses.

Der kan være stor forskel i den hvide farvetone fra hvide lysdioder (LED), som opsættes lige ved siden af hinanden, selvom de har samme Ra-værdi og farvetemperatur. Øjet har en meget høj følsomhed over for selv små variationer i den hvide farve. Anvendes LED-armaturer i en række ved siden af hinanden, skal man sikre sig, at de har præcist den samme hvide farvetoning. Produktionstolerancerne er stadig så store, at alle LED-producenter sorterer de hvide lysdioder i såkaldte bins eller grupper, der har samme hvide farvenuance. Det anbefales, at vælge lysdioderne i specifikke grupper, så man også på et senere tidspunkt kan få tilsvarende lysdioder ved udskiftning eller reparation.

Metode:

- Visuel vurdering af armaturets formgivning f.eks. vha. produktbilleder, billeder af eksisterende anlæg, visualiseringer eller prøveopsætning.
- Valg af farvetemperatur og Ra-værdi.
- Sikre at leverandøren har en rimelig farvesortering af de hvide LED'er.

Produkttekniske forhold

- Produkttekniske informationer - f.eks. isolationsklasse og IP-klasse
- Levetid - for både LED'er, elektriske komponenter og armaturet som helhed
Levetider på 50.000-100.000 er normale for LED-armaturer, hvilket svarer til 12-25 år i vejbelysningen. Erfaringsgrundlaget er dog relativt lille, så det skal følges nøje. Ved investering i LED er det afgørende at få dokumentation og garanti for levetiden, under hvilke forhold

Levetiden er specificeret samt hvorledes eventuelle udfald håndteres af leverandøren. Der er stor forskel på validiteten af levetider fra forskellige leverandører og levetider specificeres ofte ved forskellige temperaturforhold.

Levetiden bør, som minimum, specificeres ved den såkaldte L70 under samme temperaturforhold som passer til de omgivelser armaturerne skal placeres i. (L70 er levetiden defineret som det tidspunkt, hvor lysstrømmen er faldet til 70 % af lysstrømmens nyværdi).

- Armaturets holdbarhed i forhold til klima (salttåge, UV-stråling og lynnedslag)

Der bør foretages en vurdering af armaturets holdbarhed i forhold til drift og vedligehold. Særligt hvis armaturet opsættes i områder med stor klimapåvirkning eller områder hvor det er vanskeligt eller dyrt at få adgang til armaturerne.

Metode:

- Indhentning af oplysninger fra producent
- Evt. indhentning af erfaringer fra kendte driftsholder

Drift og vedligehold

- Vedligeholdelsesplan

Det bør vurderes hvor rengøringsvenligt armaturet er samt hvor meget det skal vedligeholdes.

- Driftsstruktur

Ved anvendelse af LED-armaturer følger samtidig en ny driftsstruktur. Driften af de traditionelle vejbelysningsanlæg er kendetegnet ved billige reservedele og lyskilder, som skiftes relativt ofte. En driftsstruktur baseret på LED vil medføre dyrere reservedele med en længere udskiftningscyklus. Derudover skal LED-armaturer rengøres og inspiceres på tilsvarende vis, som armaturer med traditionelle lyskilder.

- Driftserfaringer

Driftserfaringerne med LED er stadig relativt begrænset. Det er derfor vigtigt at forsøge at få kendskab til de erfaringer der allerede er gjort i markedet.

- Udskiftnings af LED-modul

LED'ernes effektivitet forventes at blive forbedret en hel del i løbet af det næste årti. Det kan derfor tænkes at det kunne være energiøkonomisk fordelagtigt at udskifte LED-

modulet til en mere energieffektiv version før udløbet af levetiden.

- **Reserve dele**

Armaturerne skal kunne indgå i en normal professionel driftsprocedure. Man skal i løbet af hele belysningsanlæggets forventede levetid kunne indkøbe de nødvendige reservedele eller nye tilsvarende armaturer.

Metode:

- Indhentning af oplysninger fra producent
- Indhentning af antagelser vedr. levetider, rengøringsintervaller mv. der er gjort under projekteringen af belysningsanlægget
- Evt. indhentning af driftserfaringer fra f.eks. kendte driftsholder

Styring og regulering

- Konstant lysstrøm (CLO) – modvirk overdimensionering
Se afsnit "Energieffektivitet, Styring og regulering – modvirk overdimensionering"
- Øvrige forhold vedr. styring og regulering findes i bilag 2 'Markedsundersøgelse og analyse af teknologier for styring og regulering'.

Metode:

Se bilaget 'Markedsundersøgelse og analyse af teknologier for styring og regulering'.

Økonomi

- **Anlægsøkonomi og driftsøkonomi**

Anlægsinvesteringen er ofte den dominerende faktor i beslutningsprocessen, men grundet LED'ernes lange levetid bør driftsøkonomien, der omfatter energiforbrug, lyskildepris og driftsomkostninger, ligeledes dominere i beslutningsprocessen.

De samlede omkostninger gennem hele anlæggets levetid og så kaldet Total Cost of Ownership (TCO) kan beregnes for at sikre en samlet afvejning mellem anlægs- og driftsomkostninger.

Metode:

- Beregning af S/H-forholdet, baseret på lysteknisk beregning
- Indhentning af priser fra producent, anlægsentreprenør, driftsentreprenør
- Evt. beregning af TCO

Armaturproducent og leverandør

- Leveringstid- og sikkerhed

Der kan være stor forskel på leveringstid og leveringssikkerhed for forskellige armaturer og for forskellige producenter og leverandører.

- Garantiordning og reklamationspolitik

Da der stadig er tale om en ny teknologi, der er relativ dyr i anskaffelse og hvor der stadig kan forekomme "børnesygdomme" er det vigtigt at kende til producenten eller leverandørens garantiordning og reklamationspolitik. Eksempelvis hvilken fejlrate på enkeltstående LED'er i armaturet er forventelig, hvornår kan der reklameres over enkelte LED'er der fejler i et armatur og hvilke omkostninger dækkes ved udskiftning af fejlramte armaturer.

- Armaturoproducent og leverandør – opretholdelse af driftssikkerheden

Da driftssikkerheden har stor betydning for vejbelysningsanlæg er det vigtigt at vælge leverandører og produkter med omhu. Med LED-teknologien er der kommet en lang række nye leverandører på markedet. Ved valg af større LED-installationer skal leverandørerne vurderes i forhold til en række forhold som: produktkvalitet, lyskvalitet, ensartethed (binning), leveringstid og -sikkerhed, økonomisk formåen i forbindelse med reklamationer, vidensniveau, teknisk support, reservedelspolitik, lagerkapacitet med videre. Det er vigtigt at have sikkerhed for at disse kvaliteter opretholdes gennem hele LED-armaturets/lyskildens levetid.

Metode:

- Indhentning af oplysninger fra producent
- Evt. indhentning af erfaringer fra andre aktører i belysningsbranchen.











6.1 Opsummering af metoder








For at sikre det mest optimale valg af LED-armatur til en specifik vejstrækning er det således nødvendigt at foretage følgende:

- Lysteknisk beregning inkl. beregning af afskærmningsklasse og blændingstal
- Beregning af
 - Belysningsvirkningsgrad
 - S/H-forhold
 - Energiforbrug pr. km vejstrækning
 - Evt. TCO-beregning
- Visuel vurdering af
 - Æstetik, herunder armaturets formgivning i forhold til de omgivelser det tænkes anvendt i, samt LED'ernes farveegenskaber
 - Blændingsforhold
- Vurdering af
 - Relevans for anvendelse af CLO-funktion (konstant lysstrøm)
- Indhentning af information
 - Produkt priser fra armaturproducent/leverandør
 - Overslag på anlægs- og driftsomkostninger, f.eks. fra kendte anlægsejere og driftsholder
 - Driftserfaringer fra f.eks. kendte driftsholder
 - Antagelser vedr. levetider, rengøringsintervaller mv. der er gjort under projekteringen af belysningsanlægget











På baggrund af ovenstående kan det ønskede LED-armatur sammenlignes og vurderes i forhold til andre tilsvarende LED-armaturer, således at det mest egnede armatur til den enkelte opgave kan blive valgt. Til sammenligning kan der eksempelvis anvendes erfaringstal givet i nærværende notat, eller der kan udføres sammenlignelige vurderinger af flere armaturer relevante for den pågældende vejstrækning.










Bilag A.1 Resultater af analyser for Vejtype 1

Armaturserie	Ideel belysningsvirkningsgrad [Φmin/Φ]	Lyspunktafstand/lyspunkt-højde (S/H)	Lumenpakker	Afskærmning	Energiforbrug MWh/km/år	Typebetegnelse	Wattage, armatur (inkl. Tab) [W]	Lysstrøm armatur [lm]	Farvegengivelse (Ra)	IP klasse	Isolationsklasse	Maks lyspunkt-afstand [m]	Lyspunkt-højde [m]	Overhæng [m]	Armaturhældning (tilt)	Optiktype/måleposition	Middel-luminans [cd/m ²]	Regelmæssighed (Uo)	Langsgående regelmæssighed (UL)	Tl%	SR	Regelmæssighed våd vej	Belysningsstyrke Emid [lx]	Fortov, modsatte side		Fortov, samme side	
																								Emid [lx]	Emin [lx]	Emid [lx]	Emin [lx]
 Schröder Teceo 2	0,36	5,0	9,3	G4	17,3	331472 Flat Smooth Glass Extra Clear 5121 120 XP-G2	132	14556	70	IP66	I og II	30	6	-1,5	0	5121	1,03	0,43	0,30	10,00	0,95	0,19	21,00	20,74	6,34	20,74	2,34
 Thorn R2L2	0,66	4,5	22,1	G4	11,2	R2L2 S 48L50 RWET L740 CL2	77	7152		IP66	I og II	27		-0,5	2°	RWE T	1,00	0,48	0,31	6	0,51	0,15	19,00	11,82	6,5	11,65	2,41
 Philips Iridium² LED	0,57	4,5	12,8	G4	13,4	BGP352 T15 1xECO99-2S/740 DK	91,9	8327	>70	IP66	II	27	6	-1,5	3	DK	1,08	0,52	0,30	6,00	0,58	0,15	20,00	14,95	10,07	11,58	3,90
 Schröder Ampera	0,37	4,5	9,5	G4	20,3	336062 Flat Smooth Glass Extra Clear 5121 64 XP-G2 (Midi)	139	12861	70	IP66	I og II	27	6	-1,5	0	5121	1,01	0,60	0,42	10,00	0,96	0,28	20,00	20,27	8,92	20,57	3,29
 Philips Milewide² LED	0,56	4,5	9,0	G6	10,4	BPP435 GRN95/740 DK	71	8342	>70	IP66	II	27	6	-1,5	0	DK	1,03	0,45	0,32	4,00	0,51	0,20	21,00	7,67	4,33	17,52	4,15
 Philips Copenhagen Big LED	0,55	4,5	6,6	G6	12,1	BRS441 FG T15 GRN98-2S/740 DK	82,8	8589	>70	IP65	II	27	6	-1,5	0	DK	1,06	0,44	0,32	4,00	0,51	0,19	21,00	7,83	4,40	17,90	4,22
 Thorn Victor2 LED	0,63	4,5	6,2	G4	11,5	Som R2L2 60L35 RWET 740 CL2	79	7491	70	IP66	II	27		-0,5	2	RWE T	1,04	0,48	0,31	6,0	0,51	0,15	20,00	12,38	6,8	12,21	2,53
 Focus NYX 450	0,58	4,3	4,7	G4	10,8	NYX450 LED 3 x FastFlex type II-XWTR	71,3	7781	70	IP66	II	26		-1,5	2	II-XWTR	1,00	0,48	0,30	5,00	0,54	0,25	20,00	7,81	4,66	18,33	5,05
 Swarco Futurlux Streetlight	0,52	4,2	6,0	G4	12,3	Head 5 FX2H5 740 8322 R2 400mA preliminary	78,3	8322	70	IP66	II	25	6	-1,5	2°	R2/W et roads	1,00	0,45	0,45	9,00	0,69	0,15	20,00	10,94	6,11	17,94	7,02
 iGuzzini Archilede HP	0,54	3,8	6,4	G5	14,5	BL75 (Profile_03)	84,6	7450	70	IP67	II	23	6	-1,5	1	A45C	1,01	0,42	0,37	6,00	0,56	0,15	21,00	13,20	6,23	14,25	7,22











Armaturserie	Ideel belysningsvirkningsgrad [Φmin/Φ]	Lyspunktafstand/lyspunkt-højde (S/H)	Lumen-pakker	Afskærmning	Energiforbrug MWh/km/år	Typebetegnelse	Wattage, armatur (inkl. Tab) [W]	Lysstrøm armatur [lm]	Farvegengivelse (Ra)	IP klasse	Isolationsklasse	Maks lyspunkt-afstand [m]	Lyspunkt-højde [m]	Overhæng [m]	Armaturhældning (tilt)	Optiktype/måleposition	Middel-luminans [cd/m ²]	Regelmæssighed (Uo)	Langsgående regelmæssighed (UL)	Tl%	SR	Regelmæssighed våd vej	Belysningsstyrke Emid [lx]	Fortov, modsatte side		Fortov, samme side	
																								Emid [lx]	Emin [lx]	Emid [lx]	Emin [lx]
 iGuzzini Lavinia LED	0,50	3,8	5,3	G5	15,4	BM26 (Profile_01-04)	89,8	7990	70	IP66	II	23	6	-1,5	2	A45C	1,10	0,41	0,33	7,00	0,54	0,15	23,00	14,91	6,19	14,31	7,08
 AEC Italo	0,58	3,7	26,7	G3	10,9	ITALO 1 0F3 STW 4.5-3M	61	6590	70	IP66	II	22	6	0	3	STW	1,31	0,60	0,70	13,00	0,53	0,15	22,00	13,66	9,76	16,40	3,60
 Siteco Streetlight 10 Midi LED	0,53	3,7	8,5	G1	13,3	5XA5823K1 C08	74,3	7300	≥ 70	IP66	II	22	6	-1,5	3°	(ST1.2)	1,26	0,51	0,79	12,00	0,57	0,15	23,00	10,04	7,88	20,09	7,97
 iGuzzini Wow	0,41	3,3	6,9	G6	17,9	BI42 (Profile_01-04)	91	8600	70	IP67	II	20	6	-1,5	0	A45C	1,36	0,46	0,49	7,00	0,54	0,15	28,00	14,08	9,25	21,33	10,99
 CREE LEDway Road	0,50	2,2	17,9	G4	21,2	LYDTSB703 E** klasse II (LXDTSB703 E** klasse I)	70	4554	70	IP66	I og II	13	6	-1,5	3	TSB	1,42	0,60	0,88	10,00	0,60	0,15	25,00	11,00	6,69	26,32	20,12
 GE Lighting Spinella	0,65	1,8	15,9	G1	9,7	SP L1/F/C/27/4 0/	27	2950	70	IP66	I og II	11	6	0	2	CX	1,21	0,69	0,91	7,00	0,50	0,15	20,00	9,81	5,35	16,15	12,83
 AEC LED-In	0,62	1,7	10,1	G4	11,8	LIN-1H-ST-012 LED-in 1H ST 4.5-18	30	2820	70	IP66	II	10	6	0	0	ST	1,23	0,52	0,87	7,00	0,59	0,10	19,00	8,44	5,75	18,25	14,77


Bilag A.2 Resultater af analyser for Vejtype 2

Armaturserie	Ideel belysningsvirkningsgrad [Φmin/Φ]	Lyspunktafstand/lyspunkt-højde (S/H)	Lumen-pakker	Afskærmning	Energi-forbrug MWh/km/år	Typebetegnelse	Wattage, armatur (inkl. Tab) [W]	Lysstrøm armatur [lm]	Farve-gengivelse (Ra)	IP klasse	Isola-tions-klasse	Maks lyspunkt-afstand [m]	Lyspunkt-højde [m]	Overhæng [m]	Armatur-hældning (tilt)	Optik-type/måle-position	Middel-luminans [cd/m²]	Regel-mæssighed (Uo)	Langsgående regelmæssighed (UL)	Tl%	SR	Regelmæssighed våd vej	Belysningsstyrke Emid [lx]	Fortov, modsatte side	
																								Emid [lx]	Emin [lx]
 Schröder Ampera	0,53	5,1	11,1	G3	17,3	341182 Back light 5141 80 LED 700mA NW Flat Glass Extra Clear Smooth	180	14634	70	IP66	I og II	41	8	-2,0	0	5141	1,18	0,57	0,47	15	0,61	0,17	21,00	5,12	0,78
 AEC Italo	0,56	5,0	14,3	G3	11,4	ITALO 2 OF3 STW 4.5-6M	116	13300	70	IP66	II	40	8	-2,0	2	STW	1,04	0,50	0,54	15	0,70	0,15	18,00	9,05	0,87
 Schröder Ampera	0,29	4,9	5,4	G4	28,2	341062 5121 128 LED 700mA NW Flat Glass Extra Clear Smooth	279	25490	70	IP66	I og II	39	8	-2,0	0	5121	1,04	0,50	0,31	8	1,03	0,22	21,00	18,80	2,19
 Philips Iridium² LED	0,54	4,6	8,3	G4	14,7	BGP353 T15 1xECO156-2S/740 DC	137,9	12773	>70	IP66	II	37	8	-2,0	2	DC	1,04	0,46	0,57	15	0,76	0,15	18,00	11,14	1,56
 Philips Milewide² LED	0,48	4,6	5,4	G4	13,1	BPP436 GRN165/740 DK	123	14489	>70	IP66	II	37	8	-2,0	1	DK	1,04	0,40	0,30	4	0,64	0,16	21,00	10,14	2,80
 Schröder Teceo 2	0,30	4,6	5,3	G4	23,5	331472 Flat Smooth Glass Extra Clear 5121 144 XP-G2	221	23231	70	IP66	I og II	37	8	-2,0	0	5121	1,01	0,55	0,36	7	1,01	0,24	20,00	17,50	2,27
 Thorn R2L2	0,53	4,5	13,0	G4	15,0	R2L2 M 84L50 RWET 740 CL2	137	12770		IP66	I og II	36	8	-1,0	2	RWET	1,05	0,47	0,31	5	0,66	0,15	20,00	7,20	1,70
 Philips Iridium² LED	0,52	4,5	7,6	G6	15,1	BGP353 T15 1xECO156-2S/740 DK	137,9	12929	>70	IP66	II	36	8	-1,5	0	DK	1,00	0,44	0,31	4	0,61	0,15	19,00	8,59	2,58
 Siteco Streetlight 10 Midi LED	0,49	4,4	5,2	G1	16,9	5XA5823K1 A08P	150	13400	≥70	IP66	II	35	8	-2,0	3	(ST1.2)	1,18	0,56	0,57	11	0,66	0,15	21,00	6,23	1,33
 GE Lighting Spinella	0,75	4,1	10,8	G3	10,9	SP L1/F/N/91/4 O/	91	8270	70	IP66	I og II	33	8	0,0	3	NX	1,02	0,54	0,53	10	0,51	0,15	18,00	2,01	0,27

Armaturserie	Ideel belysningsvirkningsgrad [Φmin/Φ]	Lyspunktafstand/lyspunkt-højde (S/H)	Lumen-pakker	Afskærmning	Energi-forbrug MWh/km/år	Typebetegnelse	Wattage, armatur (inkl. Tab) [W]	Lysstrøm armatur [lm]	Farve-gengivelse (Ra)	IP klasse	Isolations-klasse	Maks lyspunkt-afstand [m]	Lyspunkt-højde [m]	Overhæng [m]	Armatur-hældning (tilt)	Optik-type/måle-position	Middel-luminans [cd/m²]	Regelmæssighed (Uo)	Langsgående regelmæssighed (UL)	Tl%	SR	Regelmæssighed våd vej	Belysningsstyrke Emid [lx]	Fortov, modsatte side	
																								Emid [lx]	Emin [lx]
 CREE LEDway Road	0,31	4,1	5,8	G5	29,0	(LXDAC711 E** klasse I)*	243	20236	70	IP66	I og II	33	8	-2,0	1	AC	1,08	0,41	0,36	4	0,79	0,18	21,00	17,03	6,02
 Philips Copenhagen Big LED	0,52	4,1	4,2	G6	15,8	BRS441 FG T15 ECO142-2S/740 DK	132,2	11895	>70	IP65	II	33	8	-1,5	0	DK	1,01	0,58	0,40	4	0,61	0,22	20,00	9,00	2,95
 Siteco Streetlight 10 Midi LED	0,52	3,8	5,4	G3	15,0	5XA5823K1 C08P	114,3	10800	≥70	IP66	II	30	8	-2,0	0	(ST1.2)	1,15	0,57	0,75	10	0,63	0,15	20,00	7,19	1,99
 Thorn Victor2 LED	0,56	3,8	3,8	G6	13,8	VICTOR2 60L50 RWET 740 CL2	105	9988	70	IP66	II	30	8	-1,0	0	RWET	1,01	0,64	0,52	4	0,63	0,21	19,00	6,89	2,29
 Swarco Futurlux Streetlight	0,47	3,8	3,8	G4	15,2	SWF Head 6 FX2H6 740 12014 R2 500mA preliminary	115,4	12010	70	IP66	II	30	8	-1,5	1	R2/Wet roads	1,01	0,56	0,51	6	0,75	0,15	19,00	12,77	6,57
 iGuzzini Archilede HP	0,47	3,5	3,9	G6	18,1	BL76 (Profile_03)	128,3	11170	70	IP67	II	28	8	-1,5	0	A45C	1,01	0,50	0,44	5	0,68	0,15	20,00	4,34	2,41
 iGuzzini Wow	0,47	3,1	4,2	G6	16,4	BK35 (Profile_01-04)	104,2	10030	70	IP67	II	25	8	-2,0	0	A45C	1,03	0,51	0,50	6	0,62	0,16	21,00	5,75	3,14
 iGuzzini Lavinia LED	0,48	2,9	3,3	G6	18,5	BM26 (Profile_02)	108	8970	70	IP66	II	23	8	0,0	0	A45C	1,02	0,75	0,63	5	0,75	0,17	18,00	2,64	1,79
 AEC LED-In	0,67	1,3	6,2	G4	11,8	LIN-1H-ST-012 LED-in 1H ST 4.5-18	30	2820	70	IP66	II	10	8	0,0	0	ST	1,00	0,60	0,94	5	0,73	0,10	15,00	7,42	4,83

Bilag A.3 Resultater af analyser for Vejtype 3

Armaturserie	Ideel belysningsvirkningsgrad [Φmin/Φ]	Lyspunkt afstand/lyspunkthøjde (S/H)	Lumen-pakker	Afskærmning	Energiforbrug MWh/km/år	Typebetegnelse	Wattage, armatur (inkl. Tab) [W]	Lysstrøm armatur [lm]	Farvegengivelse (Ra)	IP klasse	Isolationsklasse	Maks lyspunkt afstand [m]	Lyspunkt-højde [m]	Overhæng [m]	Armaturlædning (tilt)	Optik-type/måle-position	Middel-luminans [cd/m ²]	Regelmæssighed (Uo)	Langsgående regelmæssighed (UL)	TI%	SR	Regelmæssighed våd vej	Belysningsstyrke Emid [lx]
 Thorn R2L2	0,52	3,6	5,7	G6	27,9	R2L2 L 156L50 RWET 740 CL2	255	23645		IP66	I and II	36	10	-2,0	0	RWET	1,59	0,6	0,6	4	0,63	0,24	31,00
 Schröder Ampera Midi	0,60	3,6	4,9	G3	26,8	341182 Back light 5141 112 LED 700mA NW Flat Glass Extra Clear Smooth	245	20487	70	IP66	I og II	36	10	-2,0	0	5141	1,56	0,57	0,62	10	0,63	0,15	27,00
 Philips Milewide² LED	0,76	3,6	2,4	G6	15,1	BPP436 GRN185/740 DK	138	16245	>70	IP66	II	36	10	-2,5	0	DK	0,98	0,61	0,60	3	0,65	0,25	19,00
 AEC Italo	0,56	3,5	6,7	G3	21,7	ITALO 3 0F3 STW 4.5-10M	193	21220	70	IP66	II	35	10	-1,5	0	STW	1,66	0,59	0,69	10	0,69	0,15	28,00
 GE Lighting Spinella	0,65	3,5	4,2	G3	21,4	SP L1/F/N/190/40/	190	18310	70	IP66	II	35	10	-2,5	3	NX	1,56	0,43	0,71	9	0,50	0,15	29,00
 Philips Iridium² LED	0,51	3,3	3,3	G6	29,6	BGP353 T15 1xECO255- 2S/740 DK	248,1	21921	>70	IP66	II	33	10	-1,5	0	DK	1,51	0,60	0,64	3	0,63	0,23	29,00
 Philips Iridium² LED	0,51	3,3	3,3	G4	29,6	BGP353 T15 1xECO255- 2S/740 DK	248,1	21921	>70	IP66	II	33	10	0,0	1	DK	1,51	0,68	0,60	4	0,68	0,23	28,00
 Siteco Streetlight 10 Midi LED	0,64	2,5	2,6	G3	23,6	5XA5823K1A0 8P	150	13400	≥ 70	IP66	II	25	10	0,0	0	(ST1.2)	1,56	0,67	0,79	6	0,61	0,15	25,00
 Schröder Ampera Midi	0,36	2,4	2,9	G4	45,8	341072 Back light 5121 128 LED 700mA NW Flat Glass Extra Clear Smooth	279	22600	70	IP66	I og II	24	10	0,0	0	5121	1,51	0,79	0,87	4	0,78	0,24	29,00
 CREE LEDway Road	0,43	2,3	3,7	G4	34,8	LYDTS709E** klasse II	203	18131	70	IP66	II	23	10	-2,5	3	TS	1,65	0,64	0,86	8	0,76	0,15	29,00

Armaturserie	Ideel belysningsvirkningsgrad [Φmin/Φ]	Lyspunkt afstand/lyspunkthøjde (S/H)	Lumenpakker	Afskærmning	Energiforbrug MWh/km/år	Typebetegnelse	Wattage, armatur (inkl. Tab) [W]	Lysstrøm armatur [lm]	Farvegengivelse (Ra)	IP klasse	Isolationsklasse	Maks lyspunkt afstand [m]	Lyspunkt højde [m]	Overhæng [m]	Armaturhældning (tilt)	Optik-type/måle-position	Middel luminans [cd/m ²]	Regelmæssighed (Uo)	Langsgående regelmæssighed (UL)	TI%	SR	Regelmæssighed våd vej	Belysningsstyrke Emid [lx]
 Schröder Teceo 2	0,29	2,2	2,3	G4	50,0	LXDT5709E** klasse I	279	26380	70	IP66	I og II	22	10	-2,5	0	5121	1,54	0,80	0,84	4	1,01	0,32	31,00
 Philips Copenhagen Big LED	0,52	1,8	1,8	G6	28,9	331472 Flat Smooth Glass Extra Clear 5121 128 XP- G2	132,2	11895	>70	IP65	II	18	10	0,0	0	DK	1,53	0,78	0,88	2	0,66	0,25	29,00
 Swarco Futurlux Streetlight	0,48	1,7	1,8	G6	26,7	BRS441 FG T15 ECO142- 2S/740 DK	115,4	12010	70	IP66	II	17	10	0,0	0	R2/Wet roads	1,56	0,83	0,94	4	0,82	0,20	20,00
 Thorn Victor2 LED	0,55	1,6	1,6	G6	25,9	SWF Head 6 FX2H6 740 12014 R2 500mA preliminary	105	9988	70	IP66	II	16	10	-1,5	0	RWET	1,50	0,70	0,86	3	0,64	0,24	29,00
 iGuzzini Archlede HP	0,46	1,5	1,7	G6	33,7	VICTOR2 60L50 RWET 740 CL2	128,3	11170	70	IP67	II	15	10	0,0	0	A45C	1,54	0,88	0,87	4	0,74	0,23	27,00
 iGuzzini Wow	0,48	1,4	1,9	G6	29,3	BL76 (Profile_03)	104,2	10030	70	IP67	II	14	10	0,0	0	A45C	1,59	0,83	0,95	4	0,64	0,20	28,00
 iGuzzini Lavinia LED	0,46	1,2	1,4	G6	35,5	BK35 (Profile_01-04)	108	8970	70	IP66	II	12	10	0,0	0	A45C	1,55	0,90	0,95	4	0,77	0,22	28,00
 AEC LED-In	0,61	1,0	2,6	G4	23,6	BM26 (Profile_02)	60	5620	70	IP66	II	10	10	0,0	0	ST	1,60	0,61	0,91	5	0,74	0,11	24,00