

LED Vejbelysning

Udbudskriterier

Vejledning



Akronymer og forkortelser

AECI	Årlig energiforbrugindikator også kaldet D_E (Annual Energy Consumption Indicator)
CIE	Den Internationale Belysningskommission (Commission Internationale de l'Éclairage)
Cd	Candela, SI enhed for lysstyrke (luminous intensity)
CLO	Konstant lysstrøm (Constant Light Output). Via en funktion i driveren reguleres strømmen, således at lysstrømmen er konstant gennem lyskildens levetid
CRI	Farvegengivelsesindeks (Colour Rendering Index)
DALI	Protokol for lysstyring i armaturer (Digital Addressable Lighting Interface)
EPBD	Direktiv om bygningers energimæssige ydeevne (Energy Performance of Buildings Directive)
HID	Højtryksdamplyse (High Intensity Discharge lamp)
IEC	Den Internationale Elektrotekniske Kommission (International Electrotechnical Commission)
IK	Kode for beskyttelse mod ydre mekaniske slag
IKT	Informations- og kommunikationsteknologi
IP	Kode for Kapslingsklasse ang. beskyttelse mod indtrængende genstande og væsker (Ingress Protection class)
K	Kelvin, enhed for korreleret farvetemperatur
LCC	Livscyklus omkostning (Life Cycle Cost)
LED	Lysdiode (Light Emitting Diode)
LOR	Armaturvirkningsgrad (Light Output Ratio)
lm	Lumen, SI enhed for lysstrøm
Lux	SI enhed for belysningsstyrke, $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$
PIR	Tilstedeværelses-sensor (Passive Infrared)
PDI	Effektæthedensindikator også kaldet D_p (Power density indicator)
Ra	Farvegengivelsesindeks på grundlag af 8 standard farveprøver (CIE 1974)
TCO	Total omkostning over livstid (Total Cost of Ownership)
UGR	Metode til bestemmelse af ubehagsblænding (Unified Glare Rating, CIE 117-1995)
ULOR	Armaturvirkningsgrad for det øvre halvrum (Upward Light Output Ratio)
W	Watt = 1 Joule/sekund (hastighed af energi-konvertering/overføring)

Forfattere:

Bernd Schüpfi og Thomas Bogner

Østrigsk Energistyrelse

Mariahilfer Straße 136

Østrig 1150 Wien

Tlf. +43 (1) 586 15 24

E-Mail: office@energiagency.at

Dansk oversættelse og redigering:

Casper Kofod

Energy Piano

Tlf. + 45 40 45 9876

Email: ck@energypiano.dk

Assisteret af:

Peder Øbro

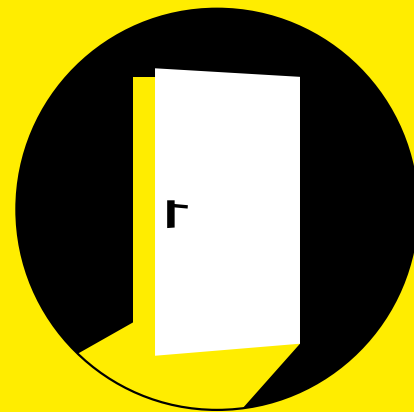
ÅF Lighting

September 2017

Ansvaret for indholdet af denne vejledning påhviler alene PremiumLight-Pro partnerne. Vejledning afspejler ikke nødvendigvis EU Unionens holdning. Hverken EASME eller EU Kommissionen er ansvarlig for brug af information i denne vejledning.

Indhold

Akronymer og forkortelser	2	5 Udbud af vejbelysning	23
1. Introduktion	4	5.1 Introduktion	23
2. Kvalitet, sikkerhed og energieffektivitet	5	5.2 Overordnet udbudsbeskrivelse	25
2.1 Introduktion	5	5.2.1 Plan/Layout af vejsystemet	25
2.2 Lyskvalitet	5	5.2.2 Lysstyring	25
2.2.1 Lysstrøm, lysstyrke, belysningsstyrke og luminans	5	5.2.3 Kommunikation	25
2.2.2 Blænding	6	5.2.4 Kompatibilitet	25
2.2.3 Farvetemperatur og farvekoordinater	7	5.2.5 Måling af energiforbrug	25
2.2.4 Farvegengivelse	7	5.3 Selektion af tilbudsgivere	25
2.2.5 Farvevedligeholdelse	8	5.3.1 Know-how og erfaring	25
2.2.6 Lysforurening	8	5.3.2 Tilbudsgivers kapacitet	26
2.3 Sikkerhed	9	5.3.3 Overensstemmelse med EN og ISO	26
2.3.1 Kapslingsklasse (IP kode)	9	5.4 Tekniske krav	26
2.3.2 Ydre mekaniske slag (IK kode)	9	5.4.1 Energi	26
2.3.3 Overspændingsbeskyttelse	9	5.4.1.1 Energi og effekt indikatorer	26
2.4 Energieffektivitet og levetid	10	5.4.1.2 Effektfaktor	26
2.4.1 Energieffektivitet	10	5.4.1.3 Armatur og LED-modul	26
2.4.2 Levetid	10	5.4.2 Kvalitet og design	27
2.5 Belysningsklasser og indikatorer for energieffektivitet	11	5.4.2.1 Lysfarve (farvetemperatur)	27
2.5.1 Håndbog i vejbelysning og standarden EN 13201	11	5.4.2.2 Farvegengivelse	27
2.5.2 Belysningsklasser	11	5.4.2.3 Farvetolerance og -stabilitet	27
2.5.3 Valg af belysningsklasse	12	5.4.2.4 Luminans og belysningsstyrke	27
2.5.4 Indikatorer for energieffektivitet	12	5.4.2.5 Lysforurening	27
2.5.5 Eksempel: Vej i byområde	14	5.4.2.6 Beskyttelse mod blænding	27
2.5.6 Eksempel: Vej i landdistrikt	15	5.4.3 Beskyttelse af armaturet	27
3. Komponenter i et vejbelysningssystem	16	5.4.3.1 Kapslingsklasse (IP)	27
3.1 Lystekniske komponenter	16	5.4.3.2 Mekaniske slag beskyttelse (IK)	28
3.1.1 Armaturer, lyskilder og lysgivere	16	5.4.3.3 Elektrisk beskyttelse	28
3.1.2 Armaturer	16	5.4.3.4 Overspændingsbeskyttelse	28
3.1.3 Lyskilder	17	5.4.4 Komponent kvalitet (udskiftning)	28
3.2 Mekaniske komponenter	18	5.4.4.1 Overensstemmelse med standarder	28
3.3 Elektriske komponenter	19	5.4.4.2 Armatur levetid	28
4. Lysstyring	20	5.4.4.3 LED-modul levetid	28
4.1 Timere, dæmpere, dagslys-sensorer, tilstedeværelses-sensorer og videokameraer	20	5.4.4.4 Driver levetid	28
4.1.1 Astronomiske timere	20	5.4.4.5 Garanti	28
4.1.2 Dæmpere	20	5.4.4.6 Reparation	28
4.1.3 Dagslys-sensorer	21	5.5 Livscyklusomkostninger	29
4.1.4 Tilstedeværelses-sensorer	21	5.6 Kontrakt	29
4.1.5 Videokameraer	21	5.6.1 Installation	29
4.2 Centraliseret styring eller decentral dynamisk styring	22	5.6.2 Kalibrering	29
4.3 IKT	22	5.6.3 Vedligehold, og genkalibrering	29
4.4 Ansvar og håndtering af fejl	22	5.6.4 Affald og genbrug	29
		5.7 Tildelingskriterier, vægtning og score	20
		Referencer	31



1. Introduktion

LED belysning udvikler sig meget hurtig med stigende energieffektivitet, optimeret armaturdesign og fleksible muligheder for lysstyring, hvilket giver forbedrede muligheder for tilpasning til belysningsbehov og trafikforhold. Skift til LED vejbelysning og brug af avanceret lysstyring er i gang; men der er fortsat et meget stort potentiale for højere lyskvalitet og energisparelser. Kommunal, national og EU politiske initiativer kan støtte denne udvikling.

PremiumLight-Pro projektet er et EU initiativ omfattende:

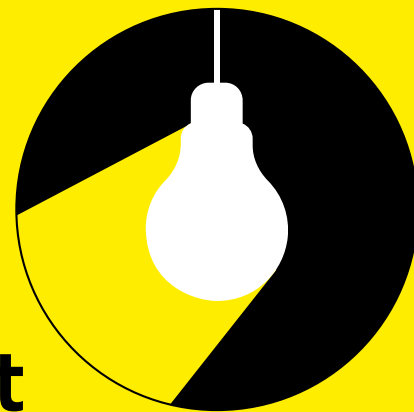
- Opstilling af LED kvalitetskriterier til brug ved offentlige udbud og indkøb;
- Udarbejdelse af vejledninger for henholdsvis udenørs og indendørs belysning inden for privat og offentlig service;
- Uddannelsesstilbud til medarbejdere, der arbejder med offentlige udbud, installatører, rådgivere, arkitekter og konsulenter;
- Best practice eksempler;
- Formidling via hjemmeside og seminarer.

Denne vejledning for vejbelysning henvender sig især til medarbejdere, der indkøber belysningsystemer, beslutningstagere, installatører og ansvarlige for drift og renovering af den eksisterende belysning. Desuden kan vejledningen være nyttig for designere og planlæggere, entreprenørfirmaer, energirådgiverer og konsulenter.

Anvendelsen af vejledningen afhænger af læserens baggrund og arbejdsområde:

- Ekspertter, der allerede er bekendt med LED vejbelysning, kan f.eks. gå direkte til PremiumLight-Pro kvalitetskriterier for indkøb i kapitel 5.
- Hvis man ønsker at studere baggrunden for de anbefalede krav, kan man finde mere information om lyskvalitet og energieffektivitet i kapitel 2 og 3 samt Håndbog Vejbelysning [VEJ] og belysningsstandardEN EN 13201.
- Er man interesseret i muligheder for lysstyring, kan man gå direkte til kapitel 4.

2. Kvalitet, sikkerhed og energieffektivitet



2.1 Introduktion

LED vejbelysning af høj kvalitet er funderet på kriterier for lyskvalitet, energieffektivitet og sikkerhed.

2.2 Lyskvalitet

2.2.1 Lysstrøm, lysstyrke, belysningsstyrke og luminans

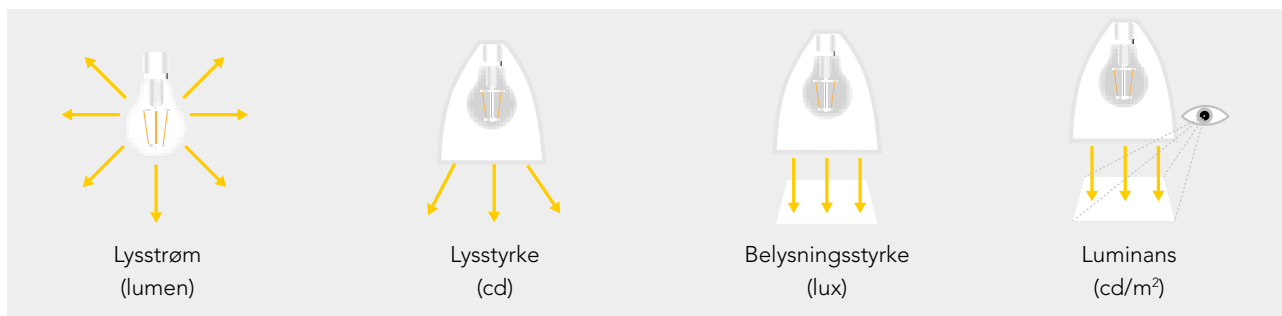
Lys er elektromagnetisk stråling opfattet med synet og vægtet efter øjets varierende følsomhed i det synlige spektrum mellem 380 og 780 nm. Lys fra et belysningsanlæg kvantificeres via nedenstående parametre.

Lysstrømmen (målt i lumen eller lm) er den samlede udstråling af lys fra et legeme ud i rummet omkring legemet (eller et udsnit af rummet). Lysstrøm kan også repræsentere den samlede lysstråling, som falder ind på et legeme eller en overflade.

Lysstyrken (målt i candela eller cd med $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$) repræsenterer den rumlige udstrålingsfordeling af lys målt som lysstrømmen pr. rumvinkelenhed ud fra lyskilden. For vejbelysning skal den rumlige fordeling sikre, at vejen, vejinstallationer og trafikanter er tilstrækkeligt belyste. Belysning opad er ofte uønsket (se lysforurening nedenfor).

Belysningsstyrken (målt i lux eller lx, med $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$) er lysstrømmen pr. arealenhed, som rammer et overfladeelement i et givet punkt fra alle retninger. Belysningsstyrke i punkter på en større overflade f.eks. en vejoverflade repræsenteres ved middelværdien af belysningsstyrken i punkter på overfladen samt en regelmæssighed. Mindsteværdier er angivet for belysningsklasser i EN 13201-2 og i Håndbog Vejbelysning (2015) og varierer fra 7,5 til 50 lx.

Luminansen (målt i cd/m^2) er lysstyrke pr. arealenhed udstrålet fra et overfladeelement (punkt) i en given retning og udtrykker synligheden af de lysende eller belyste overflader eller genstande, sådan som de opfattes af det menneskelige øje. Luminansen i punkter på en vejoverflade repræsenteres ved middelværdi og regelmæssighed af luminans i punkter på overfladen, som det ses af en motortrafikant på minimum 60 m afstand. Mindstekravene til middel-luminans varierer fra 0,3 til 2 cd/m^2 [EN 13201-2]. Luminansen falder normalt inden for det såkaldte "mesopiske område" af det menneskelige syn (som varierer fra 0,001 til 3 cd/m^2), der kombinerer både farve (fotopisk) vision og lavt lys (scotopic) vision. I dette interval bestemmes den menneskelige reaktionstid på nye stimuli af både kontraster i luminans og kontraster i farve, så både luminans og lyskildens farve er vigtige for menneskets opfattelse og dermed trafikikkerheden. Mindstekrav til luminans indgår i belysningsklasser for veje til motoriseret trafik.



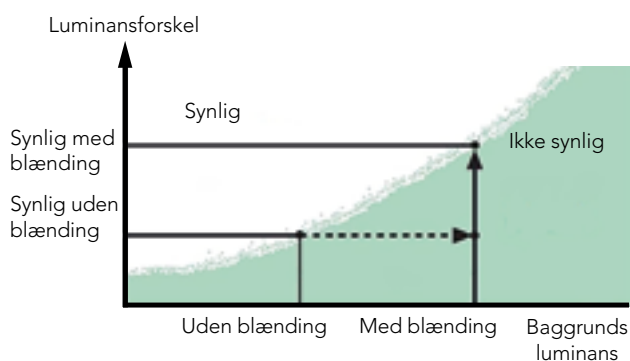
Figur 1 Forskellige parameter der beskriver belysningen

2.2.2 Blænding

Blænding er visuel ubehag forårsaget af ugunstig fordeling af lysstyrke fra armaturerne og/eller modkørende. Det forårsager forringede synsbetingelser eller irritation [se også EN 12665-1]. Der findes to typer af blænding:

1. Synsnedsættende blænding, der skyldes slørende spredning af lysets i øjet fremkaldt af høj lysstyrke i retning mod øjet. Dette slør begrænser kontraster og synligheden af detaljer med lav luminans.
2. Ubehagsblænding, der fremkaldes af lysgivere i synsfeltet med høj luminans i forhold til en mørkere baggrund.

Tærsklen for synsnedsættende blænding varierer fra individ til individ. Følsomheden stiger med alderen. I et bestemt belysningsmiljø vil det menneskelige øje kunne registrere forskelle i luminans ned til en bestemt synlighedstærskel. Man har brug for en større luminansforskel, når der er blænding.



Figur 2 Synlighedstærskel afhængig af baggrundsluminans (vejens luminans) og blænding

Ubehagsblænding er et subjektivt fænomen, og der er ikke enighed om, hvordan den skal bedømmes. 9-punkts DeBoer skalaen (fra "1" = "uacceptabelt" til "9" = "ikke mærkbart") er det mest udbredte mål anvendt ved bilkørsel og offentlig belysning.

Da synsnedsættende blænding reducerer evnen til at opfatte små kontraster, kan det forringe vigtige visuelle opgaver i trafikken som f.eks. at se alt og bedømme kritiske situationer. Blænding fra vejbelysning er påvirket af:

- Forholdet mellem lysstyrken fra blændingskilden for observatørens øje og baggrunds-luminans.
- Vinklen mellem blændingskilden og observatørens synsfelt.

L-belysningsklasserne for trafikveje indeholder krav til begrænsning af synsnedsættende blænding angivet ved maksimalt tilladte TI% værdier (TI = Threshold Increment = tærskelforøgelse).

LED armaturer med høj luminans (f.eks. grundet direkte synlige LED-lyskilder) kan give ubehagsblænding. Derfor indeholder armaturerne ofte diffusorer, der spreder lyset og reducerer armaturets luminans. Et højt niveau af vejens luminans nedsætter generelt blændingen fra såvel modkørende bilers forlygter som fra armaturerne.

Forskellige klassifikationer er blevet indført for synsnedsættende blænding og ubehagsblænding. For synsnedsættende blænding anvendes afskærmningsklasserne G*1 - G*6. G-klasserne har fået nye navne jf. EN13201-2:2015, fordi lysstyrken i cd/1000 lm nu angives i forhold til den udsendte lysstrøm (mod tidligere for G1-G6 i forhold til lyskildens lysstrøm). For ubehagsblænding anvendes blændingstalsklasserne D1 - D6 (se tabel 2).

Tabel 1 Afskærmningsklasser for begrænsning af synsnedsættende blænding [EN13201-2 og VEJ]

Afskærmningsklasse	Maksimal lysstyrke [cd/1000lm]			
	Ved 70°	Ved 80°	Ved 90°	Ved ≥ 95°
G*1		200	50	
G*2		150	30	
G*3		100	20	
G*4	500	100	10	0
G*5	350	100	10	0
G*6	350	100	0	0

Tabel 2 Blændingstalsklasser for begrænsning af ubehagsblænding [VEJ]

Blændingstalsklasse	Blændingstal, maksimum
D0	
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500

Blændingstallet for ubehagsblænding er afledt af formlen for UGR:

$$\text{Blændingstallet} = I \times A^{-0,5}$$

- I Er maksimum værdien af armaturets lysstyrke (cd) i retninger, som danner vinklen 85° med lodlinien.
- A Er det tilsyneladende areal (m²) af armaturets lysende dele set i den retning, hvor lysstyrken I er fundet.

2.2.3 Farvetemperatur og farvekoordinater

Lyskilder opfattes typisk som havende en enkelt lysfarve; men de udsender ofte en lang række forskellige bølgelængder. Hvidt eller hvidligt lys kan tilskrives en farvetemperatur, som svarer til en referencefarve af en ideel "black body radiator", der opvarmes til en bestemt temperatur (målt i Kelvin). Midt på dagen har solen f.eks. en farvetemperatur omkring 5700 K.

Lysfarven for vejbelysning varierer typisk mellem gul, neutral og blåhvid svarende til farvetemperaturer i intervallet 2500 - 5000 Kelvin. Mennesker i forskellige europæiske regioner har i en vis udstrækning delvis forskellige lysfarve-præferencer for både indendørs og udendørs belysning. "Koldt hvidt lys" (blåligt) er mere populært i de sydlige lande, mens der i Mellem- og Nordeuropæiske lande er en vis præference for neutral eller varmt hvidt lys.

I modsætning til andre lysteknologier kan man købe LED lyskilder, hvor man kan justere eller vælge farvetemperaturer fleksibelt til forskellige anvendelser. Valg af farvetemperatur påvirker dog også lysudbyttet og kan fysiologisk påvirke mennesker og dyr (se neden for). Koldt hvidt lys (høje farvetemperaturer) er mere energieffektivt og understøtter det menneskelige øje opfattelsesevne mere effektivt end gulligt lys. Der foretrækkes ofte en farvetemperatur omkring 4000 K for "komplekse veje" med forskellige typer involverede trafikanter (fx biler, cyklister og fodgængere). I modsætning hertil anvendes ofte lavere farvetemperaturer i boligområder.

Farvetemperaturen bestemmes mere præcist ved de såkaldte farvekoordinater. De anvendes til at specificere farveafvigelse mellem forskellige eksemplarer af en bestemt lyskilde eller farveændringer over tid. Forskelle i lysfarven for en serie af lyskilder eller skiftet i lysfarve over tid kan beskrives ved størrelsen af såkaldte MacAdam ellipser.

Mindstekrav til produkter, der sælges på EU-markedet, er specificeret i den relevante EU forordning. Det nuværende ecodesign krav er en fem-trin MacAdam ellipse.

2.2.4 Farvegengivelse

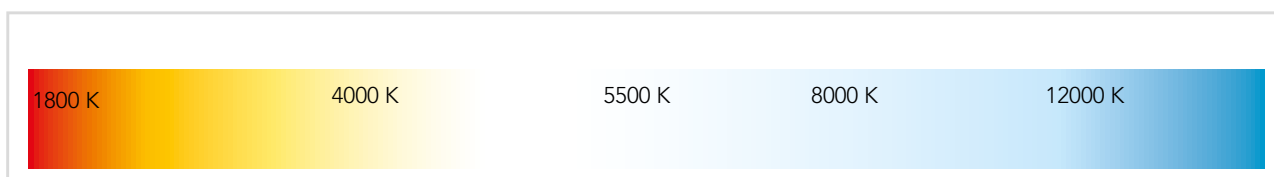
Lyskilder med samme farvetemperatur kan give ret forskellig repræsentation af farverne på belyste områder og genstande. Den specifikke farvegengivelse for en lyskilde afhænger ikke af farvetemperaturen men af alle de spektrale bølgelængder, der udsendes af kilden. Lyskilder, der giver et fuldt spektrum af bølgelængder, gengiver enhver farve af de belyste genstande på en meget naturlig måde. Lyskilder, der kun udsender nogle få bølgelængder/farver, understøtter kun gengivelsen af disse specifikke farver.

For fodgængere er ansigtsgenkendelse vigtig, hvilket kræver, at man kan se farvekontrasten. Undersøgelser har vist, at folk skal kunne genkende ansigter i en afstand på 4 m for at føle sig sikre [LRT].

Farvegengivelsen for lyskilder kvantificeres under laboratoriebetingselser ved hjælp af otte specificerede standardfarver. Farvegengivelsen er repræsenteret af farvegengivelsesindekset (CRI med maksimumværdi 100). Belysningsystemer med farvegengivelse på 80 eller bedre er passende til god ansigtsgenkendelse [LRT]. For LED belysning er også den specifikke gengivelse for rødt lys relevant. Denne såkaldte R9-værdi (rød farve) er ikke en af de 8 standardfarver, der indgår ved beregning af standard CRI, mens det indgår i det udvidede indeks med 14 standardfarver. For LED belysning bør både standard CRI og R9-værdien indgå (R9 bør minimum være >0). Tabel 3 viser typiske farvegengivelsesniveauer for forskellige teknologier, der anvendes til vejbelysning. For veje med et simpelt anvendelsesmønster er en farvegengivelse på Ra 70 ofte tilstrækkelig. For mere komplekse brugs- og belysningssituationer er Ra over 80 ønskeligt.

Tabel 3 Farvegengivelsesindeks for forskellige lysteknologier [BG]

Lamp type	CRI
Metalhalogen	70–95
Lavtryksnatrium	0 (monokromatisk)
Højtryksnatrium	20
LED	80+



Figur 3 Farvetemperatur, <https://academo.org/demos/colour-temperature-relationship/>

2.2.5 Farvevedligeholdelse

Farvevedligeholdelse er en vigtig parameter for LED-belysning, da LED-moduler med alderen ofte ændrer deres farvetemperatur og farvekoordinater. Det kan skyldes nedbrydning af indkapslingsmateriale, linser m.v. eller forurening. Der undersøges aktuelt især virkningen af højere driftstemperaturer, højere driftsstrømme og/eller misfarvning af optiske materialer på grund af blå eller ultraviolet stråling.

Hidtil tilbyder kun få LED producenter garantier for farvevedligeholdelse, og der findes ingen standardprocedurer til forudsigelse af farvevedligeholdelse [ENG]. Farveafvigelse over tid kan specificeres og vurderes via farvekoordinaterne og MacAdams ellipser eller alternativt via en metode beskrevet af ANSI.

2.2.6 Lysforurening

Kunstig belysning kan have skadelige virkninger for mennesker og dyr. Uønsket udendørsbelysning kaldes lysforurening. For mennesker spænder lysforurening fra belysning af nattehimmelen i og nær byer til forstyrrelser af søvncirklen via lysforurening i boligområder herunder lys ind på private grunde, bygninger og ind ad vinduer. Dyr bruger naturlige lyskilder som navigationshjælpemiddel og kan blive forvirret eller skræmt væk af kunstig belysning. Mange dyr opfatter bølgelængder forskelligt i forhold til mennesker. Undersøgelser har vist, at LED-lyskilder tiltrækker færre insekter end andre typer lysteknologier. Varmhvide lysdioder (farvetemperatur på 3000 K) tiltrækker betydeligt færre insekter end koldhvide lysdioder (farvetemperatur omkring 6000 K) [SDN].

Lysforurening kan begrænses ved at bruge armaturer, der kun dirigerer lyset til de områder, der skal belyses. LED lyskilder med veltilpasset optik er specielt velegnede til at opnå en optimeret lysfordeling. Lysudsendelse over armaturet er for det meste ikke ønsket.

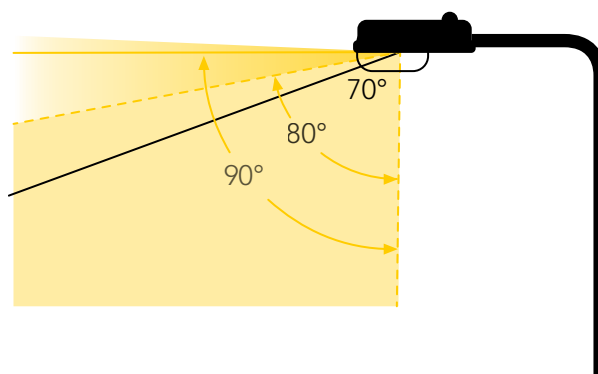
Lyset, der udsendes opad fra armaturet, kvantificeres ved den øvre armaturvirkningsgrad (forkortet ULOR eller RULO):

$$\text{ULOR} = \frac{\text{opadgående lysstrøm}}{\text{lyskildernes lysstrøm}}$$

Afhængigt af deres lodrette lysfordeling er armaturer opdelt i fire kategorier [IIEC]:

- **Full cut-off** armaturer: maksimalt 10% af lyskildens lysstrøm udstråles i en vinkel 80° over lodret og 0% i en vinkel på 90° over lodret.
- **Cut-off** armaturer: maksimalt 10% af lyskildens lysstrøm udstråles i en vinkel på 80° over lodret og 2,5% ved 90° vinkel over lodret.
- **Semi-cut-off** armaturer: højst 20% af lyskildens lysstrøm kan opfattes ved en vinkel på 80° over lodret og 5% ved 90° vinkel over lodret.
- **Non-cut-off** armaturer: udsender lys i alle retninger.

Den traditionelle definition af cut-off er differentieret via 6 afskærmningsklasser i standarden EN 13201-2, som desuden omfatter maksimale værdier for en vinkel på 70° og derover. Se mere om EN 13201-2 i afsnit 2.5.1.



Figur 4 Definition of cutoff kriterier

Andre muligheder for at reducere lysforurening er:

- Reducering af belysningsstyrken: Dette skal afvejes med sikkerhed for de menneskelige trafikanter. Smart lysstyring kan justere armaturernes lysstrøm (og lysstyrke) til passende niveauer for bestemte tidsperioder og situationer (se kapitel 4) [JAE]. Slukning eller reduktion af belysning senere om natten (f. eks. mellem midnat og kl. 05:30) er måske ikke en stor fordel for det lokale dyreliv, f.eks. er flagermus og mange andre natlige arter aktive i de tidlige timer af natten, når vejbelysningssystemerne er på det maksimale niveau [BAT].
- Ændring af spektret: Dyr's følsomhed overfor forskellige lysfarver varierer fra art til art. Alt i alt ser det ud til, at belysningsteknologier, der udsender et smalt varmt-hvidt lysspektrum - som f.eks. højtryksnatriumlyskilder - har en lavere økologisk påvirkning end andre teknologier. Med LED-teknologi kan farvetemperaturen varieres efter behov. Dog skal kvalitets- og sikkerhedskrav opfyldes.

2.3 Sikkerhed

Belysningsarmaturer til vejbelysning skal beskyttes mod fremmedlegemer (både faste og flydende), mekaniske påvirkninger samt spændingsudsving for at sikre deres vedvarende korrekte drift. Til dette formål angives typisk krav om kapsling, mekaniske slag og overspændingsbeskyttelse.



2.3.1 Kapslingsklasse (IP kode)

Armaturernes beskyttelse mod fremmedlegemer er angivet ved den såkaldte kapslingsklasse (engelsk: Ingress Protection, IP class), et tocifret tal defineret i standard IEC 60529. Det første ciffer repræsenterer beskyttelsen mod faste genstande, mens det anden ciffer angiver beskyttelsen mod væsker (se tabel 4).

Til vejbelysning bør bruges IP65 armaturer til at sikre tilstrækkelig beskyttelse mod støv og uvejr [IEA].

Tabel 4 Kapslingsklasse, IP-koder (IIEC, 2015)

IP Kode	Første ciffer	Andet ciffer
0	Ingen beskyttelse	Ingen beskyttelse
1	Beskyttelse mod faste genstande større end 50 mm	Beskyttelse mod dryppende vand/kondensation
2	Beskyttelse mod faste genstande større end 12 mm	Beskyttelse mod regnvand op til 15° fra lodret
3	Beskyttelse mod faste genstande større 2.5 mm	Beskyttelse mod regnvand op til 60° fra lodret
4	Beskyttelse mod faste genstande større 1 mm	Beskyttelse mod vandsprøjt fra alle retninger
5	Beskyttelse mod støv (ingen skadelig indtrængning)	Beskyttelse mod vandstråler fra alle retninger
6	Fuld beskyttelse mod støv	Beskyttet mod bølgelignende vandstråler fra alle retninger
7		Beskyttelse mod nedsækning under vand
8		Beskyttet mod virkningerne af langvarig nedsækning under vand

2.3.2 Ydre mekaniske slag (IK kode)

Udendørsarmaturer kan blive ramt af løse trægrene/andet ved kraftig vind eller kan blive udsat for vandalisme.

Armaturernes modstandskraft mod ydre mekaniske slag angives ved IK koden defineret i IEC standard 62262.

For udendørsarmaturer anbefales minimum IK08. For armaturer i lav højde (under 4 m) anbefales IK10.

Tabel 5 IK koder for beskyttelse mod ydre mekaniske slag

IK kode	Mekanisk slag i Joules
00	–
01	0.15
02	0.2
03	0.35
04	0.5
05	0.7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

2.3.3 Overspændingsbeskyttelse

Transient overspændinger (stigninger i spænding over standardspændingen, der varer fra mikrosekunder til nogle millisekunder) kan forårsage skade på LED-moduler og drivere. Deres modstandskraft mod sådanne fluktuationer måles ved deres overspændingsbeskyttelse.

EN 61547 regulerer minimum kriterier for overspændingsbeskyttelse for 0,5 kV fase til neutral ledning/jord, hvilket er utilstrækkelig for nærliggende lynnedslag. Mange vejbelysningsprojekter inkluderer derfor overspændingsbeskyttelse op til 10 kV [ZVEI2].

2.4 Energieffektivitet og levetid

2.4.1 Energieffektivitet

Sammenlignet med de fleste andre teknologier har LED højere lysudbytte (lm/W), og lysudbyttet stiger forsat for de nye LED produkter, der kommer på markedet.

Tablet 6 Typisk lysudbytte for lyskilder til vejbelysning [BG]

Type	Lysudbytte [lm/W]
Metalhalogen	120
Højtryknatrium	150
LED	150

LED-belysningsystemets samlede effektivitet afhænger ikke kun af LED-modulets lysudbytte, men også af armaturet, lysstyringen og det overordnede lysanlæg design.

Belysningsystemets totale effektivitet påvirkes blandt andet af den rumlige lysfordeling (lysstyrker) og den geometriske indretning af vejen og belysningsanlægget (se afsnit 3.2 og 3.3 for mere detaljerede aspekter). Energieffektiviteten for det totale lysanlæg vurderes ved beregning af effekttæthedsindikatoren (PDI), som giver information om energieffektiviteten for en belysningstilstand.

Vejbelysningen varierer typisk om natten via lysstyring. Energieffektiviteten og energiforbruget over et år kan vurderes ved beregning af den årlige energiforbrug indikator (AECl). Afsnit 2.5.4 beskriver beregning af PDI og AECl.

2.4.2 Levetid

For at kvantificere levetiden for LED-moduler definerer IEC standard 62722-2-1 følgende målemetode:

Den **gennemsnitlige nominelle levetid L_x** angiver den tid det tager, indtil det gennemsnitlige LED-modul giver mindre end x procent af nyværdien, som er den lysstrøm der udsendes, når LED-modulet er nyt og udsender mærkelysstrømmen. For eksempel betyder L₈₀ 50.000h:

- LED-modulet lysstrøm er faldet til 80% af nyværdien efter 50.000 driftstimer.

Den **nominelle levetid L_{xBy}** angiver, hvilken procentdel y af LED-modulerne vil have lavere lysstrøms-procent end x efter den angivne levetid. Således skal L_{80B10} 50.000h læses som:

- Efter 50.000 driftstimer vil 10% af LED'erne udsende 80 % eller mindre af nyværdien.

Tiden til total fejl C_z beskriver den tid, hvorefter z procent af LED-modulerne har fejler. C₁₀ 50.000 t = 35 °C betyder således:

- Efter en tid på 50.000 timer med en omgivelsestemperatur på 35 °C har 10 % af de installerede LED armaturer med det pågældende LED-modul totalfejlet.

De nominelle levetider og fejlratere er statistiske ekstrapoleringer, som bør ses i lyset af den lange LED levetid; og deres forholdsvis korte udviklingscykler (tid før en nyt forbedret LED produkt kommer på markedet). Total fejl og nedgang i lysarmaturets lysstrøm afhænger yderligere af dets elektriske og termiske driftsdata, omgivelsestemperaturen m.v. Planlæggeren skal indhente alle relevante data fra fabrikanterne før valg af et armatur, der er passende til den påtænkte anvendelse, samt lave en passende vedligeholdelsesplan baseret på disse data [ZVEI, 2015]. LED'er har en levetid på 100.000 timer eller mere; men blandt andet driver levetid skal også tages i betragtning. Den udtrykkes normalt som en procentdel chance for fejl i en bestemt periode, f.eks. "En fejlrate på 0,2 % pr. 1.000 timer".

Ved driftsværdien forstås mindsteværdien gennem driftstiden af hhv. middelluminans (Lm), middelbelysningsstyrke på vandret plan (Em) eller halvrumligt belysningsstyrke (Ehr), idet der tages hensyn til nedgang i lyskildernes lysstrøm og til armaturernes tilsmudsning.

Driftsværdien afhænger af vedligeholdelsesfaktoren, der fastlægges ud fra:

- Lyskilder og armaturer der anvendes
- Miljøet lysanlægget befinder sig i
- Udført vedligehold

Vedligeholdelsesfaktoren beregnes som:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF (x SMF)$$

hvor:

LLMF er vedligeholdelsesfaktor for lyskildelysstrøm (Lamp Lumen Maintenance Factor)

LSF er vedligeholdelsesfaktor for lyskildeudfald (Lamp Survival Factor)

LMF er armatur vedligeholdelsesfaktor (Luminaire Maintenance Factor).

SMF er faktor for rumtilsmudsning (Surface Maintenance Factor) som indgår, når det er relevant fx for sti- og vej-tunneller.

LLMF og LSF har lyskildeleverandørerne pligt til at oplyse. Det bliver formentlig også pligtigt at oplyse LMF; men indtil da kan man anvende værdier fra CIE publikation nr. 154:2003/5/.

2.5 Belysningsklasser og indikatorer for energieffektivitet

2.5.1 Håndbog i vejbelysning og standarden EN 13201

Det primære formål med vejbelysning er at skabe sikkerhed og fremkommelighed på vejene i mørke perioder. Gode vejbelysningssystemer gør det muligt for trafikanter at identificere personer, hindringer og farekilder nær eller på vejen, således at trafikanterne kan handle i overensstemmelse hermed, hvilket reducerer antallet af alvorlige ulykker i mørke og forbedrer det trafikale 'flow'.

Kvalitetskriterier for vejbelysning findes i Håndbog Vejbelysning (2015) fra Vejdirektoratet [VEJ]. Denne håndbog indeholder bl.a. vejledning i valg af belysningsklasse til de forskellige vejtyper i Danmark, samt råd og anvisninger om valg af anlægstyper, armaturtyper og lyskildetyper mm.

Håndbogen refererer til den europæiske serie af standarder EN 13201 "Vejbelysning" som omfatter:

- PD CEN/TR 13201-1:2014: Retningslinjer for valg af belysningsklasser. Her anvendes i Danmark ovennævnte håndbog.
- EN 13201-2:2015: Funktionskrav og belysningsklasser
- EN 13201-3:2015: Beregning af funktion
- EN 13201-4:2015: Metoder til måling af lysteknisk funktion
- EN 13201-5:2015: Krav til energieffektivitet

Standarderne EN 13201-2 til -5 er gældende i forbindelse med udbud under udbudsloven og EU's udbudsdirektiv; men da visse af kravværdierne er individuelle for medlemslandene, er det egentlig kun metoderne i disse standarder, som er gældende standard.

En belysningsklasse er et sammenhængende sæt af kvalitetskrav til belysningen med hensyn til styrke, regelmæssighed, begrænsning af blænding mm.

Belysningsklasserne i EN 13201-2:2015 er opbygget på grundlag af medlemsstaternes nationale standarder og CIE 115:2010-rapporten, således at landene i vid udstrækning kunne bibeholde deres belysningsregler efter tilblivelsen af EN 13201 i 2003. Således kunne landene bibeholde deres navngivning af belysningsklasser og til en vis grad kravværdier for nogle af parametrene i belysningsklasserne. Tabel 7 viser navngivningen i den danske håndbog for vejbelysning i forhold til EN 13201-2:2015.

Tabel 7 Forskel i navngivning af belysningsklasser i Danmark og EN 13201-2:2015

EN 13201-2:2015	Håndbog Vejbelysning	Hovedkrav
M-class	L-klasse	Luminans
C-class	LE-klasse	Belysningsstyrke
HS-class	E-klasse	Halvrumlig belysningsstyrke
P-class	Anvendes ikke i DK	
SC-, EV-class	Anvendes ikke i DK	

2.5.2 Belysningsklasser

EN 13201 Del 2 introducerer en række kvalitetsparametre, der bruges til at definere minimums- eller maksimumskriterier for de forskellige belysningsklasser.

L-klasser (M-classes i EN 13201) er baseret på mindstekrav til middelluminans af kørebanen som set af en motorfører samt en minimum regelmæssighed dels langsgående og dels samlet, minimum regelmæssighed af våd kørebane, en højst tilladt synsnedsættende blænding og endelig en minimumsbelysning af kørebanens umiddelbare omgivelser givet som en E-belysningsklasse (E1 eller E2), som normalt også dækker behovet for belysning af eventuel cykelsti og/eller fortovej.

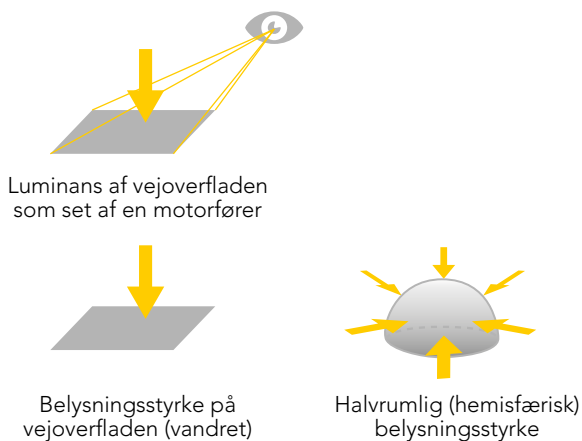
Kravenes opfyldelse er stærkt afhængige af vejoverfladens refleksionsegenskaber, som således må kendes for at sikre opfyldelse af L-klassekravet.

LE-klasser (C-classes i EN 13201) er baseret på mindstekrav til middelbelysningsstyrke på kørebanen og regelmæssighed af belysningsstyrken. LE-klasserne er suppleret med krav om en minimumsbelysning af kørebanens umiddelbare omgivelser (belysningsklasse E1 eller E2) på samme måde som for L-klasserne.

LE-klasserne anvendes i konfliktområder, hvor motorførerene kan forvente andre trafikanter (f.eks. fodgængere eller cyklister) eller på anden måde skal navigere i komplicerede trafiksituationer, som f.eks. komplekse vejkryds, rundkørsler, kø-områder m.v. Kriterierne for L-klasse er ikke anvendelige her på grund af varierende synsretninger. I stedet skal der opretholdes en gennemsnitlig vandret belysning på vejområdet.

E klasser (HS-classes i EN 13201) er baseret på mindstekrav til middel halvrumlig (hemisfærisk) belysningsstyrke og regelmæssighed heraf.

EN 13201-2 bilag A indeholder desuden to sæt klasser for armaturers afskærmning og blændingstal.



Figur 5 Belysningsparametre som er basis for hovedkravene i de forskellige belysningsklasser

2.5.3 Valg af belysningsklasse

Belysningsklasse vælges i Danmark efter vejledningen i Håndbog Vejbelysning, Vejdirektoratet (2015) [VEJ].

Som udgangspunkt belyses kun veje i bymæssig bebyggelse. Her skelnes der overordnet mellem

- Trafikveje, hvor belysningen sker af hensyn til synsforhold for motoriserede trafikanter, og.
- Lokalveje samt stier, pladser gågader o.l., hvor belysning sker af hensyn til fodgængere og cyklister (langsomme trafikanter).

Trafikveje med gennemkørende motoriseret trafik

Der anvendes L-klasser, hvor det detaljerede klassesettrin bestemmes af:

- Designhastighed eller hastighedsklassificering
- Om der er fodgængere og eller cyklister på kørebanen
- Om der er blanding fra modkørende (forekommer når der ikke er en bred midterrabat)

Motorveje

Der anvendes et særligt sæt af L-klasser med højt krav til langsregelmæssighed.

Kryds og Rundkørsler og andre konfliktområder

Der anvendes LE-klasser og valget af klassesettrin bestemmes af den højeste L-klasse, som gælder for de tilstødende trafikveje.

Boligveje, separate stier, pladser, torve og gågader

Der anvendes E-klasser. Normalt anvendes klasse E2 og i tæt høj bebyggelse, gågader mm. klasse E1.

2.5.4 Indikatorer for energieffektivitet

EN13201-5 beskriver de tidligere omtalte mål for energiforbrug: **Effekttæthed** (PDI) D_p (målt i $[W / (lx \cdot m^2)]$) og den **årlige energiforbrugsindikator** (AEI) D_E (målt i $[Wh/m^2]$). Disse indikatorer bør altid bruges sammen til vurdering af den energimæssige ydeevne for et bestemt belysningsystem.

PDI er et mål for den energimæssige ydeevne for en bestemt vejbelysningsinstallation. Den gør det muligt at sammenligne forskellige opsætninger og teknologier i det samme vejbelysningsprojekt, der nogle steder vil have forskellig geometri og miljøforhold. PDI-værdier kan kun anvendes til at sammenligne forskellige opsætninger for samme installation.

PDI beregnes således:

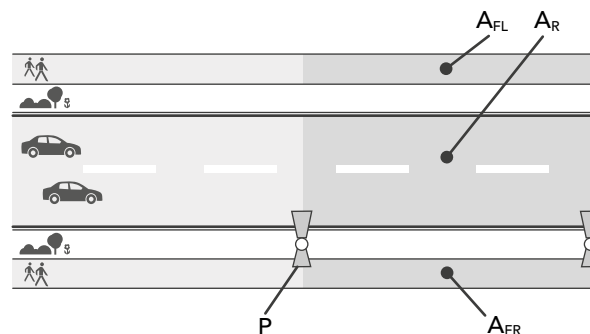
$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

P Den samlede effekt [W] for belysningssystemet (enten for hele installationen eller et repræsentativt udsnit), som omfatter både driftseffekten for alle de enkelte belysningspunkter (lyskilder og tilhørende drivere) samt

\bar{E}_i Vedligeholdt gennemsnitlig vandret belysningsstyrke [lx] for hvert underområde. Græsribat og rabat, der anvendes til at beregne, hvor hurtigt belysningsstyrke falder uden for kørebanen, indgår ikke. Belysningsstyrke kan udledes af målemetoder, som allerede er etableret for at fastsætte vejbelysningsklassen.

A_i Størrelsen af underområdet "i" belyst af lysinstallationen [m^2].

n Antal af underarealer der skal belyses.



Figur 6 Eksempel på layout for PDI/AEI beregning

For belysningsklasserne L og E, der ikke anvender vedligeholdet gennemsnitlig vandret belysningsstyrke, indeholder sektion 4.2 i 13201-5 en konverteringsvejledning.

Da belysningsklassen normalt ændres gennem forskellige årstider og over natten, skal PDI beregnes separat for hver relevant klasse. For at sammenligne forskellen i energiforbrug for to forskellige belysningsløsninger ikke kun for en bestemt vejbelystningsklasse men for hele året, er det derfor nødvendigt at beregne AECl.

Da der indgår forskellige niveauer af belysning ved lysstyring af vejbelystningen om natten m.v. er det nødvendigt at opdele året i separate driftsperioder, hvor PDI beregnes for hver af disse perioder.

Bemærk endvidere: PDI er ikke et perfekt mål for energieffektivitet, fordi den ikke tager højde for det overforbrug af effekt, der forårsages af overbelysning af ét eller flere underarealer i forhold til belysningsklassens krav. EN 13201-5:2015 Annex B anviser en metode som "straffer" energiforbrug til overbelysning, og anvendelse af denne metode giver et mere retvisende billede. Når der anvendes lysstyring, så bør man under alle omstændigheder beregne AECl.

Energiforbrugsindikatoren **AECl** beregnes således:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

P_j Total system effekt for periode j af året [W]

t_j Varigheden af periode j af året [h]

A Størrelsen af arealet belyst med samme type af lysanlæg [m²]

m Antallet af perioder med forskellig total effekt

Tabel 8 Værdier for indikatorerne D_P [$\frac{W}{(lx \cdot m^2)}$] / D_E [$\frac{kWh}{m^2}$] for 2-spors motortrafikvej, bredde 7 m

Belysningsklasse	Metalhalogen	Højtryksnatrium	LED
	M1 (L1)	45/5.0	
M2 (L3)	50/4.6		24–27/2.4–2.5
M3 (L5)	47/3.6	40/2.8–3.1	23–25/1.5
M4 (L7)	60/3.1	41–47/2.3–2.5	23/1.1
M5 (L7a)	30/0.9	47/1.7	24/0.8
M6 (L7b)	37/0.6		20–27/0.4–0.5

OBS! Tabelværdierne i tabel 8 stammer fra EN 13201.5:2015, hvor de inkluderede LED armaturer var på udviklingsstadiet for år 2014. Endvidere bygger tabelværdierne på M-klasserne og vejrefleksionstabel R3 med middelluminanskoeficient $Q_0=0,070$. De omtrentligt tilsvarende danske belysningsklasser er tilføjet i parentes; men man må forvente lavere værdier af D_P og D_E i Danmark, fordi der i Danmark normalt anvendes middellys-vejbelysning svarende til vejrefleksionstabel N2 med middelluminanskoeficient, $Q_0=0,090$.

Den akkumulerede varighed af t_j bør være et helt år. Tidsperioder, hvor belysningen ikke er i drift (som om dagen), skal også medtages i beregningen, idet systemet i disse perioder forbruger standby-effekt.

Annex A i EN 13201-5 indeholder PDI/AECI værdier for en lang række belysningsklasser, kørebanebredder og lyskilde typer (baseret på belysningsprodukter tilgængelige i 2014). Nogle få eksempler er vist i tabel 8 for en kørebanebredde på 7 m.

Annex B i EN 13201-5 indeholder en metode til beregning af installationslysudbytte, hvor overbelysning i forhold til kravværdier udkompenseres, så resultatet i hver periode t_j er entydigt sammenhængende med energiforbruget.

Annex C i EN 13201-5 indeholder en forenklet metode til sammenligning af belysningsssystemer for M-belysningsklasser baseret på den gennemsnitlige vedligeholdte vandrette belysningsstyrke E. Bilag D indeholder et skema med energiforbrug indikator information.

2.5.5 Eksempel: Vej i byområde

På EU niveau illustrerer dette eksempel brug af EN 13201 til at foretage vejklassificering og opstille minimumskrav. Som gennemgået oven for anvendes der i Danmark en anden klassificering, lidt andre niveauer og størrelser (se Vejbelysning 2015 tabel 3.10 og 3.11). Den grundliggende metode kan anvendes. Eksemplet er for en meget befærdeet gade i indre by omfattende en fodgængerovergang samt en cykelsti. Der er kraftig trafikbelastning i myldretiden.



Figur 7 Vej i indre by

Ifølge PD CEN / TR 13201-1: 2014 er dette et konfliktområde fordi, det omfatter en fodgængerovergang. Den overordnede belyningsklasse er dermed C (belysningsklasser for konfliktområder). Tabel 3 i standarden anvendes herefter til at bestemme den nøjagtige belyningsklasse.

- Designhastighed eller hastighedsgrænse: I myldretiden er trafikken ret langsom (≤ 40 km/t), hvilket giver en tilsvarende vægtværdi på -1
- Trafikmængde: da trafikvolumen er høj, er vægtværdien 1.
- Trafik sammensætning: Blandet trafik med fodgængerovergangen og cykelbanen, så vægtværdien er 1.
- Adskillelse af kørebane: Der er ingen sådan adskillelse, og vægtningsværdien er således 1.
- Parkerede køretøjer: Generelt er der ingen parkerede køretøjer, så vægtværdien er 0.
- Omgivende belyningsstyrke: I myldretiden er der lyst, og den omgivende belyningsstyrke er høj, så vægtningsværdien 1.
- Navigationsopgave: Grundet fodgængerovergangen er navigationen vanskelig, så vægtningsværdien er 1.

Summen af alle vægtningsfaktorer (VWS) er 4, og den endelige belyningsklasse er så **C2** (= 6 - VWS).

Ifølge tabel 2 i EN 13201-2 resulterer dette i følgende krav til belysningen i myldretid morgen og aften:

- Mindste vedligeholdt gennemsnitlig vandret belyningsstyrke \bar{E} : 20 lx
- Minimal samlet ensartethed af vejoverfladens luminans U_G : 0,4
- Bilag C i EN 13201-2 foreslår også en maksimal tærskelforøgelse f_{TI} på 15% for blanding (se afsnit 2.2.2).

I Danmark vil belyningsklassen være LE4 (15 lx) med krav om afskærmningsklasse G4 eller højere (Se Håndbog Vejbelysning, 2015).

Tabel 9 Bestemmelse af belyningsklasse for indre by (tabel 3 i PD CEN / TR 13201-1: 2014). I Danmark anvendes andre kriterier for klassificering, så derfor kan man ikke direkte anvende det europæiske eksempel, idet metoden skal tilpasses.

Parameter	Valg	Beskrivelse	Vægt*
Design hastighed eller hastighedsgrænse	Meget høj	$v \geq 100$ km/h	3
	Høj	$70 < v < 100$ km/h	2
	Moderat	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Lav	$v \leq 40$ km/h	-1
Trafik volumen	Høj		1
	Moderat		0
	Lav		-1
Trafik sammensætning	Mikset med høj andel ikke-motoriseret		2
	Mikset		1
	Kun motoriseret		0
Seperation af kørebanerne	Nej		1
	Ja		0
Parkerede køretøjer	Til stede		1
	Ikke til stede		0
Omgivende belysning	Høj	Butiksvinduer, reklamer, sportsstadium, benzin station, aflæsningsområde	1
	Moderat	normal situation	0
	Lav		2
Navigation	Meget svær		2
	Svær		1
	Let		0

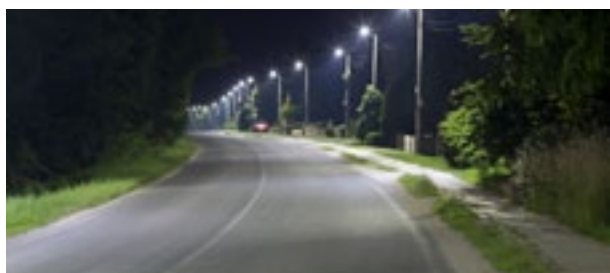
* Vægtene er et eksempel. I mange andre tilfælde vil andre vægte være mere passende.

2.5.6 Eksempel: Vej i landdistrikt

Som gennemgået oven for anvendes der i Danmark en anden klassificering, lidt andre niveauer og størrelser (se Vejbelystning 2015 tabel 3.10 og 3.11). Den grundliggende metode i eksemplet kan anvendes.

Veje i danske landdistrikter belyses kun i bebyggede områder, fx gennemfartsveje i byer. Veje mellem landsbyer belyses kun, hvis der er få hundrede meter mellem de bebyggede områder.

Dette er en vej mellem to landsbyer, så vejbelystning er ikke obligatorisk. Ønskes beskyttelse mod ulykker via vejbelystning, så skal belystningsklassen bestemmes som normalt.



Figur 8 Vej på landet

Vejen er ikke et konfliktområde, da der er en kombineret cykel/gangsti ved siden af vejen. Den gennemsnitlige bil-hastighed er høj, så belystningsklassen er M. Den nøjagtige belystningsklasse bestemmes i tabel 10:

Tabel 10 Bestemmelse af belystningsklasse for vej på landet (tabel 1 i PD CEN / TR 13201-1: 2014). I Danmark anvendes andre kriterier for klassificering, så derfor kan man ikke direkte anvende det europæiske eksempel, idet metoden skal tilpasses.

Parameter	Valg	Beskrivelse		Vægt*
Design hastighed eller hastighedsgrænse	Meget høj	$v \geq 100$ km/h		2
	Høj	$70 < v < 100$ km/h		1
	Moderat	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Lav	$v \leq 40$ km/h		-2
Trafik volumen	Høj	Motorvej, mange vejbaner	To vejbaner	1
	Moderat	35% – 65% af kapacitet	15% – 45% af kapacitet	0
	Lav	< 35% af maksimal kapacitet	< 15% af maksimal kapacitet	-1
Trafik sammensætning	Meget ikke-motoriseret			2
	Mikset			1
	Kun motoriseret			0
Separation af kørebanerne	Nej			1
	Ja			0
Vejkryds tæthed		Vejkryds/km	Vejkryds, km mellem broer	
	Høj	> 3	< 3	1
	Moderat	≥ 3	≤ 3	0
Parkerede køretøjer	Til stede			1
	Ikke til stede			0
Omgivende lysniveau	Høj	Butiksvinduer, reklamer, sportsstadion, benzin station		1
	Moderat	normal situation		0
	Lav			-1
Navigation	Meget svær			2
	Svær			1
	Let			0

* Vægtene er et eksempel. I mange andre tilfælde vil andre vægte være mere passende.

- Designhastighed: 70-100 km/t så vægt 1.
- Trafikmængde: Moderat så vægt 0.
- Trafik sammensætning: Kun biler på vejen. Separat cykel/gangsti. Vægtværdi 0.
- Vejkryds-tæthed: < 3 pr. km så vægt 0.
- Parkerede køretøjer: Ingen så vægt 0.
- Omgivende belystningsstyrke: Lav så vægt -1.
- Navigationsopgave: Let opgave så vægt 0.

Summen af vægtene VVS er 1. Underklassen er 6 - VVS = 6 - 1, så belystningsklassen er M5.

Ifølge standarderne er minimumskravene for M5::

- Mindste vedligeholdte gennemsnitlige vejoverfladens luminans L : 0.5 cd/m²
- Minimal overordnet ensartethed af vejoverfladens luminans U_o : 0.4
- Mindste langsgående ensartethed af vejoverfladens luminans U_o : 0.4
- Minimum samlet ensartethed af vejoverfladens luminans U_{ow} : 0.15 (våde betingelser)
- Tærskelforhøjelse f_{T1} : 15%
- Kantbelystningsforhold R_{E1} : 0.3 (OBS for vejsiden - særskilt cykel/gangsti har egen belystningsklasse).

Den tilsvarende belystningsklasse i Danmark er L7b med lidt andre valg af visse kravværdier (Se Håndbog Vejbelystning, 2015).

3. Komponenter i et vejbelysningsssystem



3.1 Lystekniske komponenter

3.1.1 Armaturer, lyskilder og lysgivere

De vigtige lystekniske komponenter er defineret således:

- "Armatur" er en enhed, som distribuerer, filtrerer eller transformerer lyset, der overføres fra en eller flere lyskilder, og som omfatter alle de dele, der er nødvendige til støtte, fastgøre og beskytte af lyskilderne og om nødvendigt et ydre kredsløb sammen med tilslutning til elforsyning.
- "Lyskilde" er en enhed, hvis ydeevne kan bedømmes uafhængigt, og som består af en eller flere lysgivere. Det kan yderligere omfatte komponenter, der er nødvendige for at starte enheden, strømforsyning, stabil drift af enheden, distribution, filtrering eller transformering af den optiske stråling, i tilfælde hvor disse komponenter ikke kan fjernes uden der sker permanent skade på enheden.
- "Lysgiver" betyder en overflade eller en genstand, der er udformet til at udsende hovedsagelig synlig elektromagnetisk stråling, der frembringes ved en transformation af energi. Udtrykket "synligt" refererer til en bølgelængde på 380-780 nm.

I denne sammenhæng kan et armatur indeholde en eller flere lyskilder, mens en lyskilde kan indeholde en eller flere lysgivere.

3.1.2 Armaturer

Armaturet består af et armaturhus samt alle dele til montering og funktion, herunder lyskilder, lysstyringskomponenter, driver, ledninger osv. LED lyskilder monteres normalt i specielt konstruerede flade armaturer, der sikrer optimal brug af deres optiske egenskaber. Andre LED armaturtyper modelleret efter klassiske armaturer er generelt tiltænkt anvendt til udskiftning af klassiske ikke-LED armaturer. Disse designs gør typisk ikke brug af optimerede optiske systemer og varmeafledningssystemer for LED. Disse løsninger kan dog være passende at anvende på steder, hvor omfattende renovering af belysningssystemet ikke er muligt.

Armaturer til vejbelysning skal i henhold til Stærkstrømsbekendtgørelsen opfylde kravene i IEC 60598-2-3. Armaturer skal være korrosionsbestandige eller beskyttet mod korrosion med passende finish. Armaturer indeholder optiske elementer som reflektorer, refraktorer og linser, der skaber den ønskede lysfordeling, beskytter mod blænding og begrænser lysforurening.



Armaturer på kort dobbeltarm



Høj mast med armaturer på arme



Armatur på mastetop

Figur 9 LED-armatur typer

Reflektorer bruges til at omdirigere lysudgangen. Reflektorspejle skaber flere billeder af lyskilden og derved skabes et relativt regelmæssigt luminansmønster på den belyste overflade. Desuden understøtter reflektorer minimering af blænding og lysforurening (se afsnit 2.2.2 og 2.2.6).

Refraktorer eller prismatiske linser omdirigerer lyset fra lyskilden og reflektoren, og er ofte en del af armaturets ydre skærm.

Linser giver yderligere retningsstyring af lyset og er direkte monteret på LED'erne. I lighed med de øvrige nævnte komponenter understøtter de omdirigering af lys, reduktion af blænding og indtrængnings-beskyttelse (se afsnit 2.1.2.1).

Moderne LED armaturer har typisk LED'er monteret på et printkort, hvorpå der kan monteres forskellige linse-, refraktor- eller reflektorsystemer. Herved kan armaturet leveres med forskellige lysfordelinger til forskellige formål og vejgeometrier og vejbelægninger [RL]. I modsætning til traditionelle armaturer kan lysfordelingen fra et leveret LED-armatur typisk ikke ændres/indstilles.

CIE Technical Report 115: 2010 introducerede afskærmningsklasser for armaturer. Der definerer kriterier for maksimale lysstyrker for forskellige elevationsvinkler. Klassifikationen omfatter niveauerne G1 - G6, der repræsenterer stadig strengere kriterier for højere vinkler (og dermed reducerer lysforurening og blænding), [CIE].

Komponenterne i et armatur skal være modulære for at tillade udskiftning i tilfælde af fejl eller opgraderinger med en identisk eller kompatibel komponent, og dermed undgå udskiftning af armaturet som helhed. Som forklaret i det foregående afsnit, er varmeafledning specielt vigtig for LED armaturer. Udover at sikre god varmeledning mellem lyskilden og armaturet, så forbedrer følgende funktioner armaturets varmeafledning:

- Armaturets størrelse: Jo større størrelsen er, desto mindre er temperaturen i armaturet.
- Materialet armaturhuset er lavet af: Det bestemmer, hvor hurtigt varmen overføres til den omgivende luft. De fleste metaller giver passende varmeafgivelse, mens plastik er en termisk isolator, som kræver et særligt termisk design af armaturet og tillader mindre effekt.
- Køleflader: Kan også bruges til at forbedre varmeoverførslen til omgivelserne, da de øger armaturets overfladeareal; men de er vanskelige at gøre æstetisk acceptable. Med LED-lyskildernes stigende effektivitet mindsket behovet for køleflader.

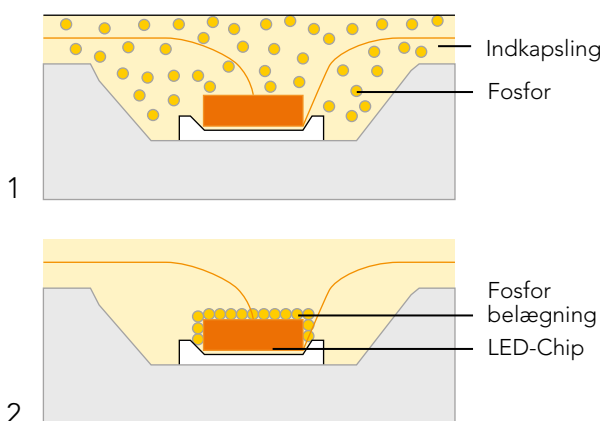
Armaturer er generelt klassificeret efter den maksimale omgivelsestemperatur " T_a ", hvorunder de kan give en god drift. Hvis ingen T_a -værdi er angivet for et armatur er den maksimale omgivelsestemperatur 25°C .

LED armaturer til vejbelysning i Danmark kan være beregnet til 15°C omgivelsestemperatur, da de kun skal fungere om natten.

3.1.3 Lyskilder

LED belysning kan med fordel bruges i stedet for stort set alle andre lysteknologier - specielt er det rentabelt ved etablering af nye vejbelysningssystemer. Højtryksnatrium (HPS) lyskilder er dog stadig et energieffektivt alternativ for nogle belysningsopgaver som motorveje; men de giver lav farvegengivelse, hvilket dog er acceptabelt for nogle anvendelser. Metalhalogen lyskilder forventes at blive udskiftet med LED inden for en begrænset tidshorisont.

I LED-lyskilder produceres lys ved den såkaldte elektroluminescens-effekt, hvor elektroner bevæger sig fra anoden til katoden og udsender en foton, når de falder til et lavere energiniveau. Bølgelængden af det udsendte lys og dermed lysfarven afhænger af de anvendte materialer. Til vejbelysning anvendes typisk blå LED'er, der giver hvidt lys, når de indkapsles i en gul fosforbelægning jf. figur 10. Blå LED'er har i øjeblikket den højeste effektivitet af alle LED-typer, med et effektkonverteringsforhold på 55 %. De resterende 45 % omdannes til varme. Da en højere "junction temperatur" (LED-halvleder materialets temperatur) reducerer både effektivitet og levetid, er et godt termisk design nødvendigt. For at føre varmen væk er LED-chip og reflektorkop monteret på en køleflade, som overfører varme til armaturet, som igen overfører varmen til miljøet omkring.



Figur 10 Fosfor i silicium indkapsling hhv. fosforbelægning

En anden type LED er en organiske lysdiode (OLED), der bruger et fladt lag af organiske molekyler i stedet for en halvleder som det lysemitterende stof. OLED anvendes i dag til flere steder, f.eks. i dyre fladskærms TV, men OLED anvendes ikke til vejbelysning.

Da lysstrømmen fra en enkelt LED er lav sammenlignet med lysstrømmen, der kræves til vejbelysning, så samles flere LED-chips i et printkort, hvor de kan blive kombineret med yderligere komponenter. Der skelnes mellem flere niveauer af integration, hvor EU forordninger 874/2012 og 1194/2012 giver følgende definitioner:

- **LED** (diode) er en lysgiver bestående af en halvleder-anordning med en p-n-overgang af uorganisk materiale. P-n-overgangen udsender optisk stråling, når den exciteres af en elektrisk strøm;
- **LED-pakke** er en sammenbygning med én eller flere lysdioder. Den kan have et optisk element og termiske, mekaniske og elektriske grænseflader;
- **LED-modul** en sammenbygning, uden sokkel, af ét eller flere LED pakker på et trykt printkort. Den kan have elektriske, optiske, mekaniske og termiske komponenter, grænseflader og en driver;
- **LED-lyskilde** inkluderer et eller flere LED-moduler. Lyskilden kan være forsynet med en sokkel;
- **LED-driver** er en elektronisk enhed mellem 230V elforsyning og LED-modulet/modulerne, der sørger for at give præcis den strøm og spænding, som LED'erne behøver for at udsende den ønskede lysstrøm. Den kan have interface til lysstyring (dæmpning) f.eks. til DALI.

Dette svarer til belysningsindustriens beskrivelse i tabel 11 [RL], hvor niveau 2 og 5 desuden indgår.

Tabel 11 Forskellige niveauer af LED integration

Integration niveau	Beskrivelse
0	LED/LED diode
1	LED-pakke med elektrisk interface, mekanisk interface og beskyttelse, køleflade og basal optiske komponenter.
2	LED-cluster der er en samling af flere LED'er på en printkort.
3	LED-modul (på LED engine). Et modul omfatter LED cluster, køleflade, elektrisk driver og nogle gange en optisk enhed. Et LED-modul fungerer som en lyskilde.
4	Armatuur med LED-modul (Level 3), hus og sekundær optik.
5	LED belysningsystem inklusiv lysstyring.

Levetiden for LED-lyskilder kan overstige 100.000 h (angivet for L80, jf. Kapitel 2.1.4), men er stærkt afhængig af den faktiske driftstemperatur samt effektiviteten af armaturets termiske styring for at lede varme væk.

I modsætning til andre lysteknologier er LED-modulerne ofte fastgjort til armaturet og er ikke designet til at blive udskiftet. Flere industriaktører samarbejder om at etablere en åben standard kaldet Zhaga for interoperabilitet og udskiftelighed af LED-moduler og armaturer fra forskellige leverandører. Zhaga certificerede produkter (LED-moduler og armaturer) udgør imidlertid stadig kun en lille del af det totale marked.

Driveren bør have en høj virkningsgrad på 0,7 - 0,9. Driveren kan være indrettet, så LED'erne drives med konstant lysstrøm over levetiden (CLO, Constant Light Output), hvilket øger vedligeholdelsesfaktoren, så lysstrømmens nyværdi kan sænkes med energibesparelse til følge.

3.2 Mekaniske komponenter

Master skal opfylde teknisk kvalitet baseret på standarderne DS/EN 40-serien og for eftergivelige master tillige DS/EN 12767 ("Passiv Sikkerhed for Støttekonstruktioner til Vejudstyr")

Hvor vidt der skal anvendes eftergivelige master beror på:

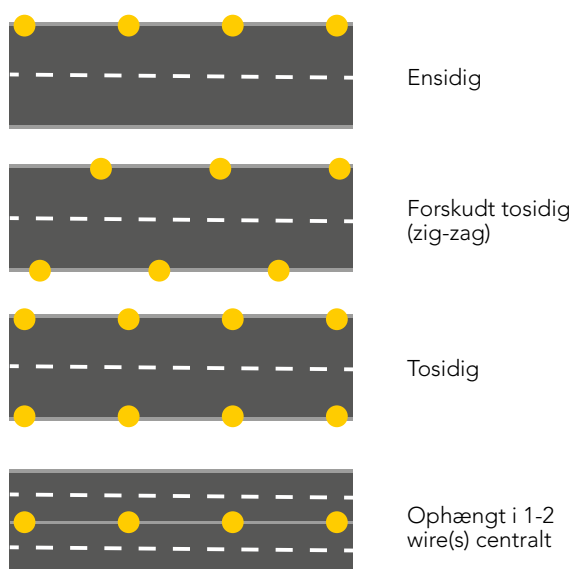
- om vejen er beliggende i by eller på landet
- om masten er placeres inden for vejens sikkerhedszone
- om masten placeres bag autoværn.

Bestilleren af master skal specificere en række tekniske parametre angående bl.a. vindbelastning og korrosionsbekyttelse. For eftergivelige master skal desuden specificeres:

- hastighed
- energiabsorbering
- sikkerhedsklasse.

Der henvises i øvrigt til beskrivelsen i Håndbog Vejbelysning (2015) kapitel 5.

Med stationære lysmaster er en levetid på flere årtier til sigtet. Lysmaster af stål er nu galvaniseret; mens de tidligere var beskyttet mod korrosion ved rustbeskyttelse. Rustfrit stålmaster bruges kun i repræsentative områder. De elektriske eller andre installationer efterses og udskiftes meget hyppigere end selve masten. Miljøpåvirkninger som sol, almindelig regn og vind er ret ukritiske for komponenterne. Store storme, tung sne eller is-gardiner kan udgøre en trussel for masterne.



Figur 11 Forskellige muligheder for mastepacering

Masternes placering såvel som deres højde er tekniske beslutninger, der baseres på vejens geometri, systemkarakteristika, vejens overflade, mastens fysiske egenskaber, miljøkrav, plads til vedligeholdelse, det tilgængelige budget, æstetik og mål for lyskvalitet.

Den valgte lyspunktplacering bestemmer omtrentligt den mindste lyspunkthøjde og monteringshøjde af armaturerne som en funktion af den effektive vejbredde (målt fra armaturets vandrette position til den fjerne side af vejen). For de mest almindelige mastepaceringer gælder:

- Ved **ensidig placering** kan den effektive vejbredde være op til armaturets monteringshøjde. Dog vil belysningen på vejfladen i modsætning til for de øvrige placeringer være lidt uens på de to vejhalvdele.
- Ved **forskudt tosidig (zig-zag)** kan den effektive vejbredde være op til 1,5 gange armaturets monteringshøjde. Denne mastepacering medfører lidt færre master end tosidig placering. Den langsgående placering kan tilpasses indkørsler, træer mv. med et udmærket helhedsindtryk. Under vådt vejr dækker de hele vejen bedre end ensidig placering.
- Ved **tosidig** kan den effektive vejbredde være op til 2 - 2,5 gange armaturets monteringshøjde. Hvis arrangementet anvendes til en dobbelt kørebane med en midterrabat på mindst en tredjedel af kørebanen, eller hvis den midterrabat indeholder andre væsentlige synsobstruktioner såsom træer eller skærme, bliver det reelt to ensidige placeringer og skal behandles som sådan.

- Ved **én centralt** er armaturerne ophængt i en såkaldt spændewire trukket over vejen, normalt mellem bygninger. Den effektive vejbredde kan være op til to gange armaturets monteringshøjde.
- Ved **to centralt** er to armaturer ophængt i midten 'ryg mod ryg' eller opsat på mast i midterrabat. Den effektive vejbredde kan være op til armaturets monteringshøjde.

Ved anvendelse af en centralt eller to centralt på en vej med dobbelte kørebaner (min. 4 spor evt. med en midterrabat), så belyser alle armaturer begge kørebaner, hvilket er mere effektivt end de andre mastepaceringer.

Beslutning om mastepacering og armaturets monteringshøjde er en del af designprocessen og foretages normalt med specialiseret software. Målet er både opnå en minimum luminans eller belysningsstyrke samt en minimum luminans regelmæssighed.

Der skal vælges et armatur med passende lysstyrkefordeling samt en harmonisk mastehøjde og -placering. Se mere i Håndbog Vejlysning [VEJ].

3.3 Elektriske komponenter

Elektrisk materiel til vejbelysning i Danmark skal være ekstrabeskyttet via dobbeltisolering (isolationsklasse II) eller ved automatisk afbrydelse ved fejl. Det er således ikke tilstrækkeligt alene at udføre jordforbindelse.

Den mest funktionelle ekstrabeskyttelse er anvendelse af isolationsklasse II for alt elektrisk materiel omfattende armaturer, mastindsatser/sikringsholdere, vejbelysningsskabe og forgreningsskabe. Materiel af isolationsklasse II har ingen tilslutningsmuffe for beskyttelsesleder (jordforbindelse), og beskyttelsesleder må ikke fremføres i til materialet.

Modstanden i ledninger og kabler for et vejbelysningskredsløb vil medføre et energitab og et fald i spænding. For at reducere energitabet og sikre korrekt spændingsforsyning til alle armaturer skal kabler og ledninger dimensioneres, så spændingsfaldet mellem fødepunktet og armaturerne længst væk i kredsløbet ikke overstiger 4%.

Vejbelysningsskabe og forgreningsskabe skal være regntætte kabinet IP44 eller bedre, og de skal opfylde Stærkstrømsbekendtgørelsen Elektriske Installationer (SBEI). Se i øvrigt Håndbog Vejbelysning (2015).

4. Lysstyring



Styring af vejbelysning kan give store besparelse. Styringen kan ske ved brug af astronomiske ure, dagslys-sensorer, tilstedeværelses-sensorer og videokameraer til detektering af trafik. Valg af styringsstrategi og kommunikation i forbindelse med styringen afhænger af vejklasse, placering og trafiksamensætning og -mængde.

Fordelene ved styring er energibesparelser, øget komfort for trafikanter, reducerede gener for nærliggende beboere og mindre lysforurening.

Ulemperne er øget kompleksitet (måske er man afhængig af eksperter), større omkostninger ved installation, drift og vedligehold, og man skal sørge for at man ikke tilføjer trafikanterne en øget risiko i trafikken [CEE]. Ved styring af indendørsbelysning har brugerne typisk mulighed for at ændre styring manuelt. Denne mulighed findes ikke for vejbelysning, hvor brugeren må leve med styringen, som den er her og nu. Der bør styringssystemerne vende tilbage til en default situation i forbindelse med fejl i systemet.

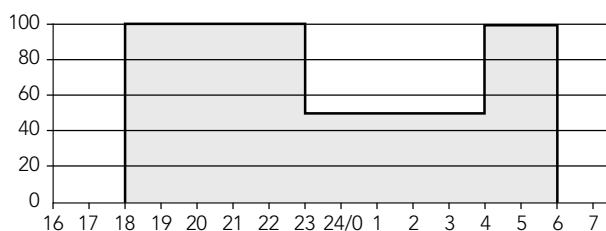
4.1 Timere, dæmpere, dagslys-sensorer, tilstedeværelses-sensorer og videokameraer

Neden for er gennemgået de forskellige muligheder for styring af vejbelysning. Ofte anvendes nogle af disse kombineret. Med denne rette lysstyring kan opnås meget store elbesparelser. I nogle projekter rapporteres helt op til 85% elbesparelse.

4.1.1 Astronomiske timere

Astronomiske timere indeholder præcise oplysninger mange år frem i tiden om solopgang- og solnedgangstider for diverse geografisk positioner. Med disse timere kan etableres et simpelt on/off skema for belysning, der indeholder tidspunktet for aktivering om

aftenen og deaktivering om morgenen. Timere kræver ikke kompleks iKT (Informations- og Kommunikations-Teknologi). Der kan også inkluderes specielt styring i weekenden og på helligdage. Timerne kan ikke tage højde for lokale geografiske forhold (f.eks. store bakker eller bygninger), der skygger for dagslyset ved daggrø eller skumring. Desuden kan timerne ikke forudsige dårlige vejrforhold som f.eks. kraftigt skydække og storme, hvor der er behov for kunstig belysning i det gryende eller svindende dagslys.

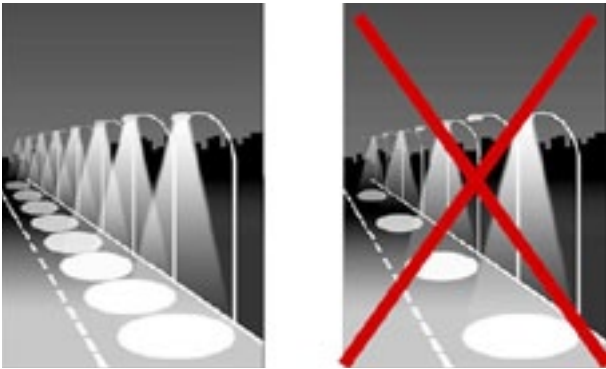


Figur 12 Eksempel på lysstyring via astronomisk timer eller dagslys-sensor med dæmpning til halv belysning midt på natten.

4.1.2 Dæmpere

Med lysdæmpere kan man tilpasse vejbelysningen efter vejrforhold og trafikmængde. I kombination med astronomiske timere, kan lyset dæmpes med et eller flere lavere niveauer om natten. I kombination med dagslys-sensorer kan belysningen sænkes ved solopgang eller øges ved solnedgang; men besparelsen herved er begrænset. I kombination med tilstedeværelses-sensorer eller videokameraer kan belysningen øges eller dæmpes afhængig af trafikmængden.

LED lyskilder er velegnede til lysdæmpning, da de kan dæmpes jævnt fra fuld belysning til ingen lys, og der synes også at forekomme færre problemer med farveskift ved dæmpning end for andre teknologier.



Figur 13 Standarderne CIE115-2010 og EN13201 tillader et reduceret vejbelysning i perioder med lidt trafik så længe belysningen regelmæssighed opretholdes.

4.1.3 Dagslys-sensorer

Dagslys-sensorer detekterer det omgivende dagslys, således at lyset tændes eller slukkes, når det omgivende lysniveau passerer fastlagte tærskelværdier. Korrekt styring forudsætter, at dagslys-sensorerne rengøres regelmæssigt (BFE).

Indledningsvis skal styringens nøjagtighed besluttes, hvor man dog skal tænke på, at vejbelysning på 5 - 40 lux er så svagt i forhold til dagslys, at det kun er et begrænset tidsrum ved gryende eller svindende dagslys, at en meget nøjagtig gradvis styring har betydning - og besparelserne er begrænsede. Vil man styre store geografiske områder med samme sensor eller vil man optimere styringen ved brug af lokale sensorer for hvert mindre geografisk lokalområde? Endelig kan anvendes individuel styring med en sensor for hver mast/lyskilde. Den første mulighed reducerer systemkompleksiteten, men afspejlet ikke lokale forhold (f.eks. lokalt overskyede områder ved solopgang og solnedgang eller passage af uvejr), så der kan optræde forkert styring lokalt, og derfor vil man ikke kunne dæmpe belysningen så meget. Jo flere sensorer der anvendes jo mere fleksibelt og optimalt kan man styre; men omkostninger til investering, drift (IKT) og vedligehold øges også. Med sensorer i hver mast/lyskilde har man mulighed for realtid detektering og direkte adressering af fejl i vejbelysningssystemet; men man kan opleve, at armaturerne på en vejstrækning er uens tændt.

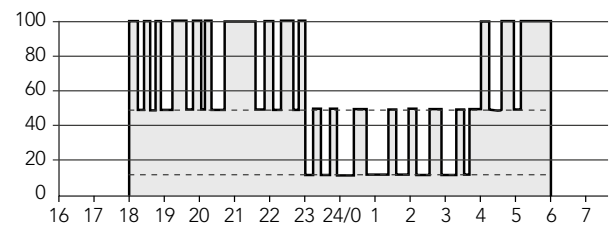
4.1.4 Tilstedeværelses-sensorer

Når trafikken er lav sent om aftenen og natten kan man spare energi ved at reducere belysningen; men man bør så af hensyn til trafikikkerheden anvende tilstedeværelses-sensorer til at detektere øget trafik (biler, cykler og/eller fodgængere) og i så fald øge belysningsstyrken.

Der findes tre typer af tilstedeværelses-sensorer:

- **Ultralyd** sensorer opfatter via skift i lydbølger, der returnerer fra et bevægeligt objekt. De kræver et synsfelt, er billige, kan registrere genstande uanset deres materiale og påvirkes lidt af luftstrømme op til 10 m/s (36 km/t). Registreringsområdet er begrænset, og de kan påvirkes af fugt og høje temperaturer.
- **Mikrobølger** sensorer detekterer skift i mikrobølger, der returnerer fra et bevægeligt objekt. De kan opdage selv små bevægelser og påvirkes ikke af den omgivende temperatur; men de er dyre, og falsk styring fra bevægelse uden for zonen kan forekomme.
- **Infrarøde** sensorer registrerer varmen fra et objekt i forhold til omgivelserne. Falsk styring kan forekomme som følge af varm luft, nedbør eller varme genstande.

Sikkerheden for korrekt styring bliver meget høj, hvis man kombinerer brug af to typer af sensorer.



Figur 14 Eksempel på lysstyring via astronomiske timer eller dagslys-sensor med dæmpning til halv belysning midt på natten samt niveauskift via tilstedeværelses-sensorer.

4.1.5 Videokameraer

Videokameraer (fotosensorer) kan anvendes til at identificere bevægelige objekter via smarte algoritmer. De kan overvåge et større område end tilstedeværelses-sensorer, og de kan opdage andre objekter som dyr og uheld.

Et sådan system kan inkludere automatiske beslutninger om justering af vejbelysningen, hvilket kaldes dynamisk adaptiv lysstyring. Denne styring er i øvrigt karakteriseret ved: lav sandsynlighed for falsk styring, øgede software-omkostninger, behov for lidt belysning altid - dog begrænset ved brug af infrarøde filtre, samt løbende beregning af lyskildernes brændtider, så udskiftning sker rettidig.

Lysstyring for mere end et fodgængerområde med tilstedeværelses-sensorer og/eller foto-sensorer er næsten altid integreret i et større IKT-system, hvor man også kan registrere nyttige data vedrørende trafikikkerhed, byplanlægning, nødtjeneste m.v.

4.2 Centraliseret styring eller decentral dynamisk styring

I systemer med centraliseret styring er der som regel envejskommunikation til en eller få store grupper af armaturer. Der modtages således ikke information retur om lokale forhold. Systemerne er forholdsvis enkle og billige at installere og vedligeholde (kun få sensorer). Eksempler på centraliseret styring:

- Styrekommandoer sendes fra et centralt sted.
- I simple anlæg går kommandoerne til vejbelysnings-skabet, hvorefter alle armaturer tilsluttet skabet styres samlet.
- Tænd- og sluk-kommandoer kan være baseret på enten et astronomisk ur eller en dagslys-sensor. Anvendelse af dagslys-sensor giver den bedste funktionalitet for brugerne.
- Kommando om dæmpning i trafiksvage timer af natten kan være baseret på et astronomisk ur.

Ved decentral dynamisk styring kommunikerer til mindre grupper af lyskilder eller individuelt til de enkelte lyskilder. I det sidste tilfælde kan man indsamle oplysninger om lyskildernes status fx fejl, elforbrug, omgivende belysning, drift- eller omgivelsestemperatur, trafikmængde og fodgængere.

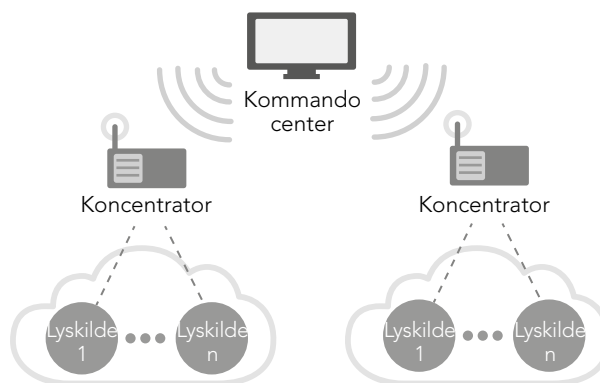
4.3 IKT

Både centraliserede og decentrale dynamisk styrings-systemer inkluderer IKT (Informations- og KommunikationsTeknologi). Jo mere optimalt man styrer, jo mere energi sparer man; men det øger også kompleksiteten, risikoen for systemfejl, omkostninger til mandtimer og til ekspert hjælp ved implementering, drift og vedligeholdelse. Ved indkøb skal man sørge for, at der indgår eksperter, træning af operatører, og der er support til rådighed i alle faser.

De nyeste intelligente systemer styrer generelt via et centralt kommandocenter typisk på en server, som sender kommandoer, der bestemmer status for de individuelle lyskilder. Kommandoerne modtages ikke direkte af lyskildernes styringsystemer, men kommer først til koncentratorer, som herefter sender meddelelserne til de lokale netværk og lyskilder i hver af disse [PE].

Kommunikation mellem kommandocentret og koncentratorer i kabelskabe sker via kabel eller trådløst via diverse kommunikationsprotokoller fx. Ethernet [PE], GPRS (meget udbredt i Danmark), WiFi eller WiMax.

Kommunikation fra koncentrator til lyskilder kan ske via kabel (ofte elnettet) eller trådløst via et maskenet, hvilket har den fordel, at der kan kommunikeres ad flere veje til de individuelle lyskilder, og signalstyrken kan evt. forstærkes undervejs, hvor passende kommunikationsprotokoller er DALI (kan styre op til 64 punkter), ZigBee (lavt strømforbrug med relativ lav kommunikations-hastighed) eller 6LoWPAN.



Figur 15 Arkitektur for lysstyring

4.4 Ansvar og håndtering af fejl

Vejbelysningen skal installeres med fejlsikre systemer, der garanterer grundlæggende trafiksikkerhed også om natten med håndtering af situationer, hvor der ikke modtages kommandoer, eller der modtages fejlkommandoer fra styresystemet [BFE]. En løsning på dette er, at armaturerne ved sådanne fejl vender tilbage til en default-tilstand. Ved total systemfejl, skal de ansvarlige for driften tilsvarende være i stand til at bringe dele af eller det komplette vejbelysningssystem i en standard lysstyringstilstand uden, at det kræver hjælp fra eksterne eksperter.

Vejbelysningssystemer med dynamisk styring kan være komplekse, og derfor er det normalt bedst, hvis tilbudsgiveren med ansvar for installationen også er ansvarlig for support og vedligeholdelse gennem en årrække. Dette kan beskrives i en udvidet servicekontrakt. Det er især vigtigt, hvis der indgår integration af delsystemer og komponenter fra flere leverandører, hvor der lejlighedsvis skal ske opdatering. Hvis der optræder tekniske systemfejl, skal det endvidere være klart, hvilken part, der er ansvarlig for at få rettet fejlene.

5. Udbud af vejbelysning



5.1 Introduktion

Dette kapitel vedrører udbud for indkøb af energieffektiv vejbelysning af høj kvalitet.

Kapitlet består af følgende sektioner:

- A)** Overordnet teknisk udbudsbeskrivelse af rammebetingelserne for at udarbejde et tilbud. Det drejer sig om planer for veje, gader og stier i udbud. Specifikation af krav til lysstyring, kommunikation, kompatibilitet og måling af elforbrug.
- B)** Obligatoriske krav for at en tilbudsgiver kan komme i betragtning.
- C)** Tekniske krav som er obligatoriske og/eller tildelingskriterier til evaluering af tilbud.

D) Økonomi hvor det har første prioritet at udregne livcyklusomkostningerne. I fald dette ikke kan lade sig gøre at udregne livscyklusomkostninger anvendes investeringsomkostninger.

E) Krav i forbindelse med kontrakten for sikre sig at belysningsystemet bliver afleveret i korrekt drift, og at man har fået alt, hvad man har bedt om.

F) Evaluering og valg mellem forskellige tilbud. Der er vist en metode, hvor hvert tildelingskriterium tildeles en karakter og indgår med en relativ vægt, og der udregnes en samlet score for hver tilbud for at bestemme, hvilket tilbud der er bedst.

Tabel 12 giver et samlet overblik over specifikationer og krav som kan findes i sektionerne neden for i dette kapitel.

Tabel 12 PremiumLight-Pro Minimum Krav og Tildelingskriterier

A) Overordnet teknisk udbudsbeskrivelse	
Plan/layout for vejbelysningsystemet	Udbyderen skal udarbejde planer og kort for veje, gader og stier, som belysningsystemet skal omfatte. Der skal specificeres vej/gadetyper med lyspunkter (armaturer og master). Krav i Håndbog Vejbelysning [VEJ] skal indgå for alle dele/sektioner af belysningsystemet.
Lysstyring funktioner	Brug af lysstyringsfunktioner skal vurderes. De trufne valg skal specificeres med krav i udbudsmaterialet.
Kommunikation	Krav til kommunikation i lyssystemet skal fastlægges og beskrives.
Kompatibilitet	Krav til kompatibilitet for dæmpning og styring skal beskrives.
Energiforbrug måling	Krav til måling af elforbrug i relation til lysstyringen skal beskrives.

B) Selektion af Tilbudsgivere		
	Obligatorisk krav	Tildelingskriterium
Know-how og erfaring for design team og for installations-team	✓	
Tilbudsgiverens kapacitet til at levere inden for tidsrammen	✓	
Overensstemmelse med ISO og EN standarder	✓	

C) Tekniske krav		
Energikriterier – System niveau	Obligatorisk krav	Tildelingskriterium
Årligt energiforbrug og effekttæthedsindikator	✓	✓
Effektfaktor	✓	
Lysstyring funktioner: option specificeret (specificeret oven for under A)		✓
Energiforbrug måling: option specificeret (specificeret oven for under A)		✓
Energikriterier for Komponenter (Komponent-udskiftning)	Obligatorisk krav	Tildelingskriterium
Armaturlysudbytte	✓	✓
LED-modul lysudbytte	✓	✓
Driver virkningsgrad	✓	✓
Kvalitet og Design	Obligatorisk krav	Tildelingskriterium
Lysfarve (farvetemperatur)	✓	
Farvegengivelse	✓	
Farve tolerance og farve vedligehold	✓	✓
Luminans og belysningsstyrke	✓	
Regelmæssighed af belysningsstyrke og luminans	✓	
Lysforurening opad (ULOR)	✓	✓
Blændingsbeskyttelse og lysforurening nedad, G*-klasse og D-klasse	✓	✓
Design som helhed		✓
Beskyttelse af Armaturet	Obligatorisk krav	Tildelingskriterium
Kapslingsklasse (IP kode)	✓	
Beskyttelse mod mekaniske slag (IK kode)	✓	
Elektrisk beskyttelse (dobbeltisolering Klasse II)	✓	
Overspændingsbeskyttelse	✓	
Komponent Kvalitet (komponentudskiftning)	Obligatorisk krav	Tildelingskriterium
Mærkning for overensstemmelse for alle komponenter	✓	
Armaturlivetid	✓	✓
LED-modul levetid	✓	✓
Driver levetid	✓	✓
Garanti (for hele system og komponenter)	✓	✓
Reparation (for komponenter i systemet)	✓	✓
D) Økonomi		
Livscyklus/TCO beregning (første prioritet)	✓	✓
Investerings-omkostninger (hvis livscyklus beregning ikke er mulig)	(✓)	(✓)
E) Kontrakt		
Installation	✓	
Kalibrering	✓	
Vedligehold, udskiftning og genkalibrering	✓	
Affald og genbrug	✓	

5.2 Overordnet udbudsbeskrivelse

5.2.1 Plan/Layout af vejsystemet

Udbyderen skal udarbejde planer og kort for veje, gader og stier, som udbuddet omfatter. Som grundlag for tilbuddet og evaluering af dette skal - afhængig af udbuddets omfang - for hver af et mindre antal vej/gadetyper specificeres:

- Vejtypens tværprofil
- Belysningsklasse(r) i ht. Håndbog Vejbelysning, Vejdirektoratet (2015) og DS/EN 13201-2:2015
- Foretrukken anlægsudformning herunder masteplacering, mastehøjde, armudlæg, armaturtype og armaturhældning)
- Ønsker til visuel fremtræden af master og armaturer.

5.2.2 Lysstyring

Fra starten af projektet skal behovet for lysstyring vurderes og specificeres for hver vejtype. Simple styring kan være tilstrækkelig for mange veje/gader stier; mens man i andre tilfælde kan have behov for mere avanceret intelligent styring, som matcher kravene til sikkerhed.

Verifikation: Livscyklusomkostninger bør beregnes for alternative løsninger.

Valgfri krav: Man kan vælge armaturer med integreret konstant lysstrøm styring (CLO) gennem hele levetiden, ellers vil der med tiden være en gradvis nedgang i lysstrømmen, som der skal tages hensyn til i designfasen.

5.2.3 Kommunikation

PremiumLight-Pro krav: Der skal kommunikeres via kabel, elnet eller trådløst til driveren i hvert armatur med mulighed for at programmere funktioner samt modtage en alarm, hvis der optræder fejl.

5.2.4 Kompatibilitet

PremiumLight-Pro krav: Armaturer skal være kompatible med dæmpning og andre styringsfunktioner (fx tidsstyring, tilstedeværelsessensor, dagslysstyring etc.).

Verifikation: Tilbudsgiveren skal fremlægge dokumentation, der beskriver dæmpningsmetoden og dæmpnings-grænsefladen. En option er, at IKT systemet til lysstyring er åbent (interface), modificerbart (følger standard) og kan opgraderes, hvilket giver mulighed

for senere at tilføje yderligere funktioner. Åbenhed og modificerbarhed kan vurderes via følgende kriterier:

- Planlægning af opgraderinger/opdateringer
- Skalering af systemet
- Systemgrænser og iboende begrænsninger
- Modulgrænseflader og standardisering af softwaregrænsefladerne
- Evnen til at kommunikationsudveksling og udskiftelighed af moduler
- Tilgængelighed til netværket, infrastruktur og deling af data i systemet
- Tilslutning af systemet til andre relevante systemer, applikationer og domæner

5.2.5 Måling af energiforbrug

Formålet med måling er at 1) sikre optimal drift, 2) foretage hurtig fejlregistrering og vedligehold, 3) understøtte nogle typer af lysstyring samt 4) verificere AECI værdier.

PremiumLight-Pro krav: Hvis man vælger at inkludere lysstyringsfunktioner og måling i projektet, skal den specifikke funktionalitet beskrives i udbuddet.

Verifikation: I tilbud skal udgifter og fordele ved lysstyring og måling indgå i de samlede beregninger af livscyklus-omkostninger.

5.3 Selektion af tilbudsgivere

Tilbudsgivernes skal dokumenterer, at de er kvalificeret ud fra deres ekspertise og erfaring, kapacitet samt overensstemmelse med ISO og EN standarder.

5.3.1 Know-how og erfaring

Tilbudsgiver skal sørge for at **design og installation** udføres af teams med tilstrækkelig faglig ekspertise.

PremiumLight-Pro Krav: Det regnes positivt ind, hvis tilbudsgiver (eller eksperter der indgår i projekttilbuddet) succesfuldt har gennemført projekter af lignende karakter, størrelse og kompleksitet inden for de sidste 3 år.

Verifikation: Information om de ansvarlige personers (inkl. underleverandører) faglige kvalifikationer, erfaring og certifikater med en liste over lignende gennemførte projekter inden for de sidste 3 år.

5.3.2 Tilbudsgivers kapacitet

PremiumLight-Pro krav: Tilbudsgiver skal vise og bekræfte at have kapacitet til at gennemføre projektet inden for den angivne tidsplan.

Verifikation: Tilbudsgiver skal specificere afsatte ressourcer til projektet og den konkrete tidsplan.

5.3.3 Overensstemmelse med EN og ISO

PremiumLight-Pro krav: Tilbudsgiver skal overholde de relevante EN og ISO standarder.

Verifikation: Tilbudsgiver skal bekræfte overensstemmelse med de relevante standarder.

5.4 Tekniske krav

De tekniske krav omfatter kvalitet og energieffektivitet, som er obligatoriske kriterier, hvor nogle også er tildelingskriterier.

5.4.1 Energi

5.4.1.1 Energi og effekt indikatorer

AECI (Årlig Energiforbrug Indikator) og PDI (Effekt-tæthed-indikator) anvendes på belysningsniveau (beskrevet i kapitel 2). Det er nødvendigt at verificere de produktinformationer, der indgår i beregningen af AECI og PDI. AECI dækker aspekter som dæmpning, overbelysning og konstant lysstrøm (CLO) (EN 13201-5: 2016. AECI er generelt den foretrukne indikator. Det er typisk ikke nødvendigt at beregne både AECI og PDI.

PremiumLight-Pro krav:

AECI og PDI skal beregnes som beskrevet detaljeret i afsnit 2.5.3.

I denne udgave af PremiumLight-Pro udbudskriterier indgår AECI og PDI indikatorerne kun som tillægskriterier uden obligatoriske minimumskrav.

Hvis udbyderen ønsker at inkludere minimumskrav kan man eventuelt anvende kriterier som aktuelt foreslået i

august 2017 af EU JRC, Sevilla. Neden for er vist disse simplificerede formler:

$$PDI < M / (\eta \times F_m \times 0,07 \times RW)$$

$$AECI < M \times PDI \times F_{dim} \times E_m \times T \times 1kW/1000 W$$

F_m: Vedligeholdelsesfaktor for lyssystemet

RW: Vejbredde

F_{dim}: Dæmpningsfaktor

E_m: Belysningsstyrke

T: Tid

η: Armatureffektivitet

M: Tilpasningsfaktor:

- M = 1,3 for eksisterende lyssystemer hvor positionen for lyskilder og for master ikke kan ændres
- M = 1,2 for nye belysningsystemer

Verifikation: For et udvalgt vejsegment skal tilbudsgiver beregne AECI-værdierne eller PDI-værdierne i henhold til standarden EN 13201-5: 2016. Høje AECI- eller PDI-værdier i forhold til ovenstående krav kan være acceptable, hvis der er specifikke dokumenterede begrænsninger. Tilbudsgiver skal levere fotometriske data for armaturerne og de komponentparametre, der er nødvendige for at beregne AECI- og PDI. Desuden skal de tekniske specifikationer for lyskilden tilvejebringes (erklæringer skal baseres på state-of-the-art målemetoder, herunder harmoniserede europæiske standarder). Hvis der indgår lysdæmpning, skal forudsætninger specificeres i henhold til EN 13201-5: 2016.

5.4.1.2 Effektfaktor

PremiumLight-Pro krav:

- Normal system med 100 % belastning effektfaktor ≥ 0,9
- Dæmpbare system med 50 % belastning effektfaktor ≥ 0,8

Verifikation: Tilbudsgiver specificerer og bekræfter effektfaktoren i den tekniske dokumentation i tilbuddet. Stærkstrømsbekendtgørelsen kræver effektfaktoren >0,90 for servicesektoren.

5.4.1.3 Armatur og LED-modul

Disse krav gælder renoveringsprojekter, hvor eksisterende komponenter udskiftes med LED komponenter.

PremiumLight-Pro krav:

- Armatur lysudbytte: Minimum 140 lm/W
- LED-modul lysudbytte: Minimum 160 lm/W

Verifikation: Tilbudsgiver skal specificere og bekræfte lysstrøm og effekt i henhold til de relevante standarder.

5.4.2 Kvalitet og design

5.4.2.1 Lysfarve (farvetemperatur)

Valg af lysfarve (farvetemperatur) skal ske efter vejtype, anvendelsesområde og præferencer.

PremiumLight-Pro anbefaling:

- Farvetemperatur 3000K for boligveje/-områder og især fodgængerområder.
- Farvetemperatur 4000 K for hovedveje, motorveje og områder med blandet trafik.

5.4.2.2 Farvegengivelse

Udover farvetemperaturen er farvegengivelsen også vigtig for opfattelsen af genstande og farver.

PremiumLight-Pro anbefaling:

- Farvegengivelse $R_a > 70$ for motorveje og hovedveje
- Farvegengivelse $R_a > 80$ for boligveje/-områder, gågader, lokalveje og veje med blandet trafik (biler, cyklister og fodgængere).

5.4.2.3 Farvetolerance og -stabilitet

Farvetolerancen angiver afvigelsen af lysfarven fra standard-lysfarven (specifikt punkt i farvekoordinatsystemet). Farvestabilitet beskriver farvens afvigelse over tid. Begge afvigelser er specificeret ved MacAdams Ellipse (for detaljer se kapitel 2).

PremiumLight-Pro krav: Lyskildens eller armaturets farvetolerance (nyværdi) skal være inden for en 5-trins MacAdams Ellipse. Lyskildens eller armaturets farvestabilitet skal være inden for en 6-trins MacAdams Ellipse.

Verifikation: Tilbudsgiver skal specificere og bekræfte parametrene i den tekniske dokumentation i henhold til gældende standarder og lovgivning.

5.4.2.4 Luminans og belysningsstyrke

Luminansniveauet og belysningsniveauet skal specificeres efter behovene for de specifikke vejtyper og følge kravene i Håndbog Vejbelysning [VEJ] og EN13201.

PremiumLight-Pro krav: Luminans og belysningsstyrke skal opfylde kravene i [VEJ].

5.4.2.5 Lysforurening

Lysforurening er defineret som lys-emission, der ikke vedrører den specifikke belysningsopgave, men belyser områder, hvor belysning er uønsket (fx nathimmel, huse osv.), hvilket kan have negative virkninger både

for mennesker og dyr. Lysforurening bør vides mulig undgåes ved passende belysningsdesign. Krav til ULOR (mængden af lys, der udsendes over det vandrette plan i armaturets position) er specificeret i CIE 126: 1997.

I Danmark har der siden 1970'erne generelt været anvendt armaturer med flad skærm og minimal hældning i montagestillingen for at begrænser lysforureningen.

LED-armaturer med flad skærm falder naturligt ind i denne tradition. LED-armaturer udstråler typisk mindre lys bagud end konventionelle HID-armaturer.

PremiumLight-Pro krav: Armaturets opadgående lysforhold ULOR skal være 0% for alle belysningsklasser og belysningssituationer, hvor ingen andre værdier udtrykkeligt er ønsket I Danmark anbefales armaturer med afskærmningsklasse minimum G*4 i montagestillingen til mange formål, hvorved ULOR er tæt på 0%.

Verifikation: Tilbudsgiveren skal levere fotometriske data (fil), som skal indeholde oplysninger om det oprettede lysudsendelses-forhold.

5.4.2.6 Beskyttelse mod blænding

Blænding er en vigtig kvalitetsparameter for vejbelysning, da den har betydning for sikkerhed og komfort. For både synsnedsettende blænding og ubehagsblænding findes som gennemgået i kapitel 2 en klassificering med forskellige blændingsniveauer: G1-G6 for synsnedsettende blænding og D1-D6 for ubehagsblænding.

PremiumLight-Pro krav: For **synsnedsettende** blænding anbefales brug af produkter med minimum beskyttelsesklasse G4. For **ubehagsblænding** anbefales brug af produkter med blændingsklasse D6 til lokale veje og beboelsesområder samt D5 til gågader [VEJ].

Verifikation: Blændingsklasser skal indgå i tilbuddet.

5.4.3 Beskyttelse af armaturet

5.4.3.1 Kapslingsklasse (IP)

Lyskvalitet og lumenudgang påvirkes af mængden af snavs og vand, der kommer ind i armaturet. Armaturet skal derfor have en tilstrækkelig beskyttelse mod indtrængning af genstande, støv og vand, som er angivet ved en IP kode ifølge CIE 154: 2003. IP koden er relevant for armaturets vedligeholdelsesfaktor. EC/245/2009 angiver IP65 som benchmark for M-belysningsklasserne.

PremiumLight-Pro krav: For alle belysningsklasser IP65 som omfatter ingen indtrængning af støv samt for alle typiske vejforhold ingen indtrængning af vand.

5.4.3.2 Mekaniske slag beskyttelse (IK)

I Danmark anvendes klasse IK06 - IK10 [VEJ].

PremiumLight-Pro krav: Klasse IK08 eller større.

Verifikation: Tilbudsgiver skal dokumentere alle krav på armaturniveau er opfyldt via produktinformation og-deklarering i henhold til EU's regler og standarder.

5.4.3.3 Elektrisk beskyttelse

Elektrisk beskyttelse sker i form af isolering, der yder beskyttelse ved fejl (Se afsnit 3.3).

PremiumLight-Pro krav: Alle armaturer skal have elektrisk beskyttelse af klasse II [WB og VEJ]. Den sikrer, at der anvendes to lag isolering som beskyttelse.

5.4.3.4 Overspændingsbeskyttelse

Overspændingsbeskyttelse giver beskyttelse mod høj-spændingsskader.

PremiumLight-Pro krav: Installationen skal have en overspændingsbeskyttelse på 10 kV niveau. Dette sikrer, at lyskilden har beskyttelse mod alt undtagen ekstreme transiente overspændinger.

Verifikation: Spændingsniveauet og overspændingsbeskyttelsen skal oplyses af tilbudsgiveren.

5.4.4 Komponent kvalitet (udskiftning)

5.4.4.1 Overensstemmelse med standarder

Mærker for overensstemmelse sikrer, at belysnings-systemets komponenter overholder de væsentlige standarder for elektriske produkter. CE-mærkning er obligatorisk for alle produkter, der sælges i EU, og indgår derfor ikke som specifikt krav.

PremiumLight-Pro krav: Alle komponenter i belysnings-systemet skal have ENEC (European Norm Electromechanical Certification) mærke for overensstemmelse.

Verifikation: Tilbudsgiver skal fremlægge en deklaration for overensstemmelse for alle komponenter.

5.4.4.2 Armatur levetid

Retningslinjerne fra topstreetlight.ch anbefaler en LED armatur levetid på mindst 100.000 h [SES].

PremiumLight-Pro krav: Armaturet indeholdende LED skal have en nominel levetid på $L_{80}B_{10}$ for 100.000 h.

Verifikation: Tilbudsgiveren skal fremlægge teknisk dokumentation for armaturet estimerede levetid baseret på den nyeste målemetode om muligt indeholdt i en harmoniserede europæisk standard.

5.4.4.3 LED-modul levetid

PremiumLight-Pro krav: LED-moduler skal have en nominel levetid på $L_{80}B_{10}$ for 100.000 h.

Verifikation: Tilbudsgiveren skal fremlægge teknisk dokumentation for LED-modulets estimerede levetid baseret på den nyeste målemetode om muligt indeholdt i en harmoniserede europæisk standard.

5.4.4.4 Driver levetid

Driveren er ofte den første komponent, der fejler og skal udskiftes. Ved høj kvalitet er levetiden op mod 100.000 timer; men den er ofte lavere fx 30.000 timer.

PremiumLight-Pro krav: Enhedens fejlfrekvens skal være lavere end 0,1 % pr. 1.000 timer på linje med fejlraten efter 100.000 timer skal være lavere end 10 %.

Verifikation: Tilbudsgiveren skal fremlægge tekniske dokumentation for driverens estimerede levetid baseret på den nyeste målemetode/standard.

5.4.4.5 Garanti

Garanti for belysnings-systemet og dets komponenter er væsentligt for vejbelysningens levetid.

PremiumLight-Pro krav: Garanti- og/eller serviceaftale perioden skal dække mindst ti år og omfatte:

a) Udskiftning af defekte LED-moduler (omfatter også lysstrømsnedgang til under specifikationen), drivere eller armaturer uden omkostninger.

b) Komplet udskiftning af serier af armaturer, hvis mere end 10 % af armaturerne i serien er defekte.

Garantien tænkes ikke at omfatte:

b) Armaturer der er defekte på grund af hærværk, ulykker, lyn eller storm

c) Lyskilder og armaturer der er i drift under unormale forhold (fx med forkert spændingsforsyning).

5.4.4.6 Reparation

I en del tilfælde er LED-modulerne helt integreret i armaturerne uden at kunne udskiftes, hvilket ikke harmonerer med lang levetid i en cirkulær økonomi.

PremiumLight-Pro krav: Reservedele tilgængelige ti år frem. Reparation let tilgængelig og mulig i armaturets monteringshøjde med standardværktøjer.

Verifikation: En reservedelsliste skal leveres sammen med en manual og et diagram over armaturet til brug for demontering og montering af reservedele.

5.5 Livscyklusomkostninger

Økonomien for et nyt LED-belysningssystem kan bedst vurderes via en livscyklus eller TCO (Total Cost of Ownership) beregning.

PremiumLight-Pro Krav: Tilbudsgiver skal beregne livscyklusomkostningerne og oplyse hvilken metode, der er anvendt f.eks.:

- Nutidsværdimetoden som specificeret i CIE 115: 2010 Technical Report, s. 24 [CIE].
- Den gennemsnitlige årlige omkostningsmetode som specificeret i CIE 115: 2010 Technical Report, s. 24 [CIE].
- Metoden specificeret af KravID: 10677: 1 af Det Svenske Nationale Agentur for Offentlige Udbud [UM].

Verifikation: Tilbudsgiveren skal levere en LCC/TCO beregning baseret på en accepteret beregningsmetode eventuelt specificeret af udbyderen.

5.6 Kontrakt

Korrekt installation er et grundlæggende krav for at opnå en sikker og effektiv drift. Desuden er det nødvendigt at modtage information og dokumentation om vedligeholdelse.

5.6.1 Installation

Der skal stilles krav, der sikrer installation af et belysningssystem med passende belysningsniveauer og lyskvalitet i overensstemmelse med de relevante specifikationer og standarder.

PremiumLight-Pro krav: Tilbudsgiver skal:

- Sikre at alt lysudstyr (lyskilder, armaturer, lysstyring og målesystem) installeres præcis som designet.
- Fremlægge dokumentation for al installeret belysningsudstyr, der bekræfter det overholder specifikationen.
- For et tilfældigt udvalgt vejafsnit fremlægges målinger, der bekræfter, at lyssystemet er i overensstemmelse med specifikationerne og relevante standarder. F.eks. skal PDI og AECI beregnes ud fra målinger over en uge, som beskrevet i EN 13201 (beregning med en tolerance på +/- 10%).
- Verificere at kriterierne for lysforurening overholdes ved måling af hældningsvinklen for et sæt tilfældigt udvalgte armaturer (max +/- 2° tolerance).

Verifikation: Tilbudsgiver skal fremlægge alle angivne dokumenter og resultater fra målinger.

5.6.2 Kalibrering

PremiumLight-Pro krav: Tilbudsgiver skal sikre, at lysstyringen fungerer korrekt, og at energiforbruget ikke er højere end angivet i designet. Der skal især kontrolleres, at følgende typer lysstyringsfunktioner er kalibreret og fungerer korrekt:

- dagslysstyring
- trafikbaseret styring
- tidsstyring

Verifikation: Kontraktmodtageren skal justere systemet i overensstemmelse med krav og specifikationer med tilhørende dokumentation. Endvidere skal tilbudsgiveren levere alle relevante oplysninger og dokumentation, der er nødvendige for drift og vedligehold af lysstyringsfunktionerne.

5.6.3 Vedligehold og genkalibrering

PremiumLight-Pro krav: Der skal leveres dokumentation indeholdende alle relevante oplysninger vedrørende effektiv drift og vedligehold herunder:

- Demonteringsanvisninger for armaturerne
- Instruktioner for udskiftning af lyskilder
- Instruktioner for drift og re-kalibrering af lysstyring og justering af udkoblingstider.

Verifikation: Tilbudsgiveren skal levere al relevant dokumentation samt instruktion til det ansvarlige personale.

5.6.4 Affald og genbrug

Når ny LED vejbelysning erstatter et gammelt lysanlæg skal affaldet adskilles og afleveres til genbrug.

PremiumLight-Pro krav: Ved demontering af det gamle lysanlæg skal komponenterne adskilles og afleveres til genbrug i overensstemmelse med WEEE-direktivet [WEE].

Verifikation: Tilbudsgiver skal informere om, hvordan affaldet kan adskilles.

5.7 Tildelingskriterier, vægtning og score

For projekter, hvor der kan anvendes en robust livscyklus beregning (omfattende investering, drift og vedligehold), behøver man kun at inkludere få tildelingskriterier, da investering, drift (el) og vedligeholdelse er inkluderet i beregningen af livscyklusomkostninger. Derfor vægtes dette kriterium højt.

Vægtning for projekter **med** livscyklusberegning

Tildelingskriterier	Vægtning [%]
Økonomi	
Livscyklusomkostninger	50
Kvalitet og design	
Højere lyskvalitet (f.eks. for belysningsstyrke, regelmæssighed, lysudbytte, farvegengivelse og blændingsbeskyttelse)	15
Visuel fremtræden	15
Garanti og genbrug	
Garanti	10
Tilgængelighed af reservedele Designet til genbrug	10
Total	100

Hvis livscyklusomkostningerne ikke kan beregnes indgår investering, elforbrug, levetid og vedligehold.

Vægtning for projekter **uden** livscyklusberegning

Tildelingskriterier	Vægtning [%]
Økonomi	
Investering	25
Kvalitet og design	
Højere lyskvalitet (f.eks. for belysningsstyrke, regelmæssighed, lysudbytte, farvegengivelse og blændingsbeskyttelse)	15
Levetid	10
Visuel fremtræden	10
Energiforbrug	
AECI (1. prioritet), PDI (2. prioritet) eller komponent lysudbytte (3. prioritet)	20
Drift og vedligehold	
Let tilgang til at vedligeholde/reparere	10
Garanti, tilgængelighed af reservedele	10
Total	100

For hvert tilbud skal kontrolleres, at de obligatoriske krav er opfyldt for alle parametre. De modtagne tilbud kan herefter evalueres ved:

- Hver tildelingskriterium tildeles en karakter for graden af opfyldelse af kriteriet (f.eks. et tal mellem 1 og 20).
- Alle tildelingskriterier skal vægtes indbyrdes.
- Der udregnes en samlet score for hvert tilbud bestående af summen af karakter x vægt for alle tildelingskriterier.
- Normalt vælges tilbudet med højest samlet score.

Valg af tildelingskriterier og vægtning af disse skal tilpasses efter det enkelte projekt, så tabellerne ovenfor skal kun opfattes som eksempler.

6. Referencer

BAT - Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World (2016). C. Voigt, T. Kingston (Editors). Springer Open

BFE - Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED (2016). Energie Schweiz, BFE

BG - Beleuchtungstechnik Grundlagen (2016). Baer, Barfuß, Seifert. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin

BGH - Buying green (2016). A handbook on green public procurement. 3rd edition, Publications Office of the European Union

CIE – CIE 115:2010 Technical Report “Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic”

European Commission (2015a): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energi Labelling Krav ('Lot 8/9/19'), Final report Task 3: Use of Light Sources

European Commission (2015b): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energi Labelling Krav ('Lot 8/9/19'), Final report Task 4: Technologies

PD CEN/TR 13201-1:2014: Road lighting. Guidelines on selection of lighting classes;

EN 13201-2:2015 - Road lighting – Part 2: Performance requirements;

EN 13201-3:2015 - Road lighting – Part 3: Calculation of performance;

EN 13201-4:2015 - Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance;

EN 13201-5:2015: Road lighting – Part 5: Energi performance indicators;

ENG - Engineering: Progress in Understanding Color Maintenance in Solid-State Lighting Systems, M. Y. Mehra mfl., Volume 1, Issue 2, 2015, Pages 170–178

GPP - Revision of the EU Green Public Procurement Kriterier for Street Lighting and Traffic Signals (2016); Technical report and kriterier proposal (1st draft)

IIEC - Energi Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific; 2015, Bangkok

LRT - An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307–316

LRT2 - A smart LED luminaire for energi savings in pedestrian road lighting, E. Juntunen mfl., Lighting Res. Technol., 2015; Vol. 47: 103–115

PE - The design and implementation of an energi efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a

RO – Lighting (2014).D.C. Pritchard. Routledge

RL - Road Lighting (2015): Fundamentals, Technology, and Application. Wout van Bommel, Springer

SdN - Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft (2013). BfN-Skripten 336, Bundesamt für Naturschutz, M. Held m.fl.

SEN - Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño mfl., PMC

SES – Straßenbeleuchtung (2016). Effiziente Systeme - Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. topstreetlight.ch

VEJ – Håndbog Vejbelysning (2015) Vejregler, Vejdirektoratet "<http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?t=%2fv1%2fNavigation%2fTillidsmandssystemer%2fVejregler%2fAnlaegsplanlaegning%2fUdstyr%2fBelysning%2f&docId=vd-2015-0057-full>"

WEEE - Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)

ZHA - Zhaga Interface specification book 1 (2015): overview and common information, Edition 1.7

ZHA5 - Zhaga Interface Specification Book 5 (2014): Socketabel LED Light Engine with Separate Electronic Control Gear, Edition 1.2

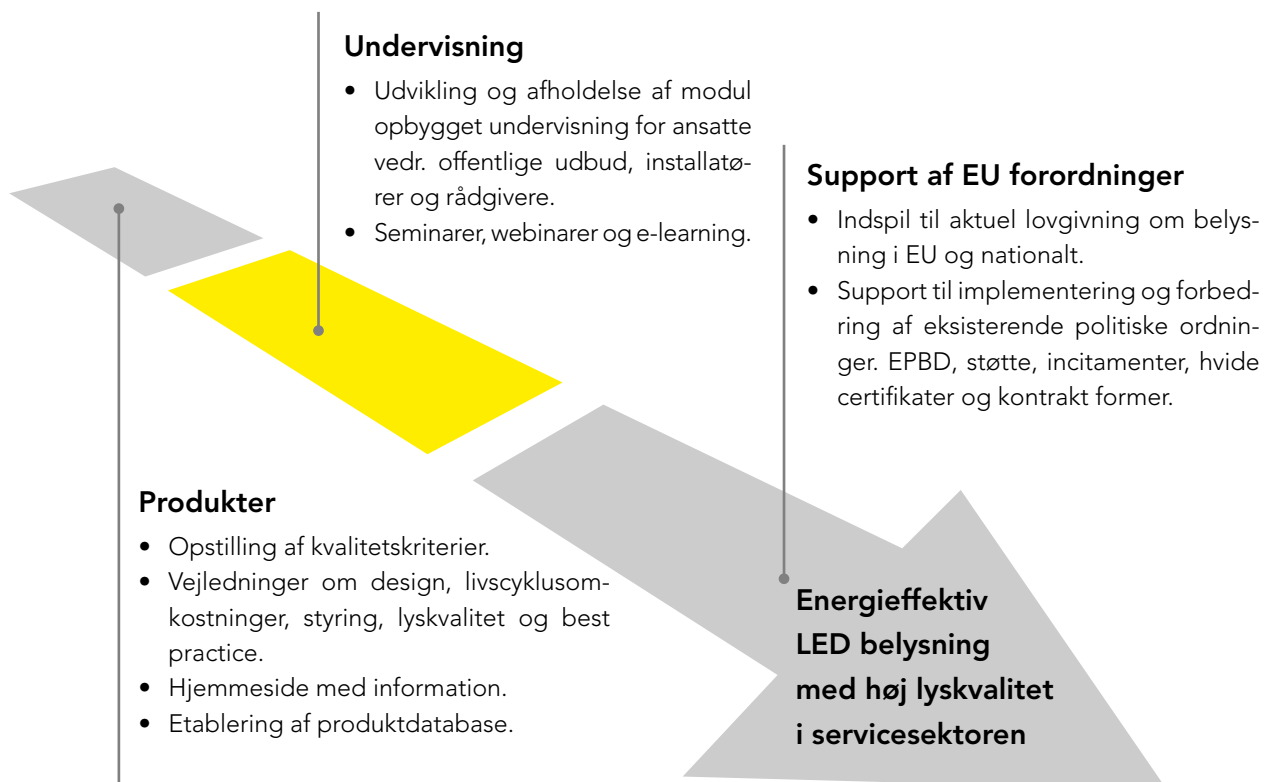
ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2016): Leitfanden Planungssicherheit in der LED- Beleuchtung Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit

ZVEI2 - Überspannungsfestigkeit in Leuchten der Schutzklasse II für die Straßenbeleuchtung (2014). Informationspapier, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

ZVEI3 - Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014). ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2014

EU projektet PremiumLight-Pro

Der er potentiale for meget store energibesparelser samt forbedret lyskvalitet ved skift til LED-belysning. EU-projektet PremiumLight-Pro (2016-19) søger at fremme dette skifte inden for offentlig såvel som privat service.



Austria

Austrian Energy Agency



Czech Republic

SEVEn, The Energy Efficiency Center



Energy piano

Denmark

Energy piano



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Portugal

Institute for Systems and Robotics,
University of Coimbra



United Kingdom

Energy Saving Trust

co2online

Germany

co2online gGmbH



Italy

Politecnico Milano



Spain

Ecoserveis



Poland

FEWE, Polish Foundation
for Energy Efficiency