

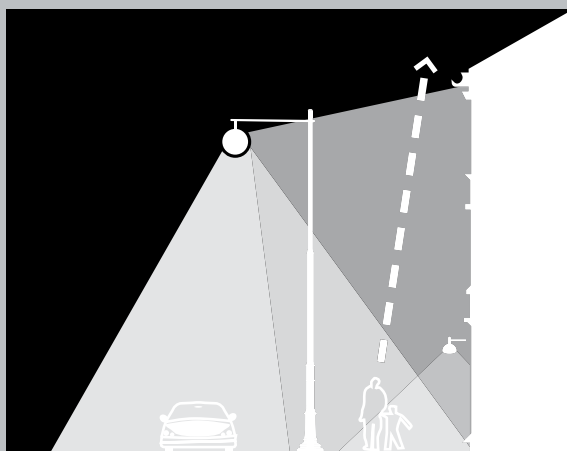
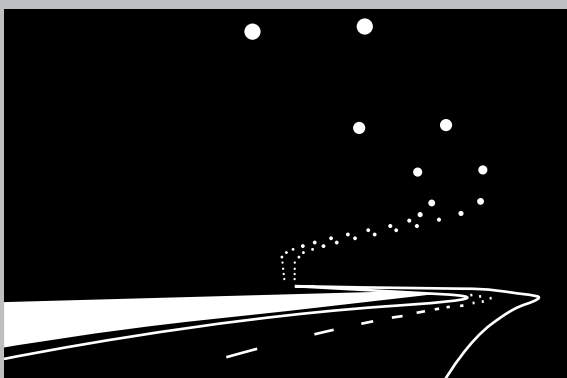


Statens vegvesen

Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning

VEILEDNING

Håndbok 264



Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok nivå 2 i Statens vegvesens håndbokserie. Det er Vegdirektoratet som har hovedansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Ansvar for grafisk tilrettelegging og produksjon har Grafisk senter i Statens vegvesen.

Denne håndboka finnes også på www.vegvesen.no

Vegvesenets håndbøker utgis på 2 nivåer:

Nivå 1 - Gul farge på omslaget - omfatter forskrifter, normaler og retningslinjer godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2 - Blå farge på omslaget - omfatter veiledninger, lærebøker og vegdata godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet.

Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning

Nr. 264 i Vegvesenets håndbokserie

Forside: Siv.ark. Knut Selberg

Opplag: 500

Trykk: Dialecta

ISBN 82-7207-582-2

Kopiering og gjengivelse av innholdet av håndboka skal kun skje etter avtale med utgiver.

Forord

Denne veiledningen omhandler tekniske krav til veg- og gatebelysning.

Trafikksikkerhet er den viktigste grunnen til at belysning settes opp. Dette gjelder spesielt veger hvor det ferdes gående og syklende langs kjørebanelen, veger med store trafikkmengder og veger med fartsgrense 100 km/t.

Det er lagt stor vekt på at de lysanleggene som bygges skal være energieffektive. Derfor er kravene til lysnivå redusert for noen dimensjoneringsklasser (beskrevet i håndbok 017 Veg- og gateutforming) i forhold til tidligere bestemmelser.

Krav til belysning på nye veger, og utformingskrav til belysningsanleggene, er gitt i håndbok 017 Veg- og gateutforming. Håndbok 062 Trafikksikkerhetsutstyr definerer material- og funksjonskrav til trafikkutstyr. Håndbok 237 Veg- og gatelys omhandler planlegging og utforming av veg- og gatebelysning.

Statens vegvesen Vegdirektoratet, juni 2008



Ole Christian Torpp
Veg- og trafikkavdelingen

Innhold

1	Veg- og gatebelysning – behov og virkning	5
1.1	Formål	5
1.2	Effekter av vegbelysning	5
1.3	Forhold med betydning for vegbelysningen	6
2	Belysningsklasser	9
2.1	Vegdekker	10
2.2	Generelle krav for belysningsklasser	11
2.3	Belysningsklasser for veger, gater og områder	12
2.3.1	Overgangssoner	12
2.4	Belysningsklasser for gang- og sykkelveger	13
2.5	Blending	14
2.5.1	Ubehagsblending (blendingsklasser)	14
2.5.2	Synsnedsettende blending (avskjermingsklasser)	15
2.5.3	Blending fra andre belysningsanlegg	16
3	Etablering av belysningsanlegg	17
3.1	Krav om belysning	17
3.2	Belysning av eksisterende veg	18
3.3	Valg av belysningsklasse	19
3.4	Belysning av områder og kryss	20
3.4.1	Vegkryss	21
3.4.2	Ferjeleier	22
3.4.3	Parkeringsplasser	22
3.4.4	Rasteplasser	22
3.5	Belysning av sideveger, avkjørsler og busslommer når hovedvegen er belyst	23
3.5.1	Sideveger og avkjørsler	23
3.5.2	Busslommer	23
3.6	Belysning av sideveger, avkjørsler og busslommer når hovedvegen er ubelyst	23
3.6.1	Sideveger	23
3.6.2	Avkjørsler	24
3.6.3	Busslommer	24
3.7	Miljøgater	24
3.8	Belysning av gang- og sykkelveger	24
3.9	Belysning av gangfelt	25
4	Utforming av belysningsanlegg	29
4.1	Lysberegninger	30
4.1.1	Luminansberegninger	32
4.1.2	Beregning av belysningsstyrke	33

4.2	Lysmålinger	34
4.2.1	Måleforhold	34
4.2.2	Måling av belysningsstyrke	35
4.2.3	Måling av luminans	36
4.3	Master og fundamenter	37
4.3.1	Master	37
4.3.2	Krav til ettergivenhet	37
4.3.3	Masteplassering	38
4.3.4	Lyspunkthøyde	42
4.4	Armaturer	44
4.4.1	Krav til armaturer	44
4.4.2	Forkoplingsutstyr	45
4.5	Lyskilder	46
4.6	Krav til levetid	50
5	Elektrotekniske krav	51
5.1	Kraftforsyning og fordelingsnett	51
5.1.1	Systemspenning	52
5.1.2	Energimåling	52
5.1.3	Fordeling	53
5.1.4	Veglyskabler	54
5.1.5	Jordingsanlegg	54
5.1.6	Oppføringskabel	55
5.1.7	Stolpeinnsats	55
5.1.8	Fotocelle	55
5.1.9	Selektivitet	55
5.2	Styring og regulering av vegbelysning	56
5.2.1	Sentralt eller lokalt?	56
5.2.2	Tekniske løsninger	57
5.2.3	Krav til styring og regulering av veglysanlegg	58
6	Rehabilitering av belysningsanlegg	59
7	Energibruk	63
7.1	Energieffektive lyskilder	64
7.2	Energieffektive armaturer	65
7.3	Normtall for energiforbruk i vegbelysningsanlegg	66
7.4	LED	68
	Litteratur, referanser, standarder m.v.	69
	Vedlegg 1: Terminologi	71
	Vedlegg 2: Metodikk for beregning av levetidskostnader (LCC-analyse)	75
	Vedlegg 3: Dokumentasjon	91

1 Veg- og gatebelysning – behov og virkning

1.1 Formål

Veg- og gatebelysning har ett hovedformål: trafikksikkerhet. Det settes opp belysning for at det skal bli færre ulykker som skyldes vanskelige synsforhold på den mørke tiden av døgnet. Framfor alt ønsker man å beskytte fotgjengere og syklister, som ofte påføres store personskader ved ulykker. Erfaringer viser at god belysning reduserer faren for slike ulykker vesentlig. Samtidig skal veg- og gatebelysningen ikke forbruke mer energi enn nødvendig. Derfor bedømmes først behovet for belysning ut fra ulykkesrisikoen. Deretter vurderer man hvilke tekniske løsninger som tilfredsstillende belysningsbehovet med lavest mulig energiforbruk – og til lavest kostnad.

1.2 Effekter av vegbelysning

For motorkjøretøy er ulykkesrisikoen i mørket ca. 1,5 – 2 ganger så høy som i dagslys. Risikoen i mørket øker sterkere for unge førere enn andre aldersgrupper. Risikoen øker også mer for fotgjengere enn for personer som ferdes med motorkjøretøy.

Tabell 1.1 og 1.2 viser hvor mye ulykkene kan reduseres med ny eller bedre belysning på strekninger med en høy andel mørkeulykker.

Tabell 1.1: Virkninger av vegbelysning på ulykker i mørket gitt i TØI-rapport 851/2006 Effektkatalog for trafikksikkerhet

Tiltak	Endring av antall drepte og skadde [%]		
	Drepte	Hardt skadde	Lettere skadde
Veglys på tidligere ubelyst veg	-69	-25	-19
Utbedring av dårlig veglys	-51	-33	-30

Vegbelysning innvirker også på andre faktorer, som for eksempel framkommelighet, trivsel, trygghetsfølelse, kriminalitet og estetikk. I nytte-/kostnadsberginger, tar man imidlertid som regel bare med ulykkeskostnadene. Nyttens veies mot kostnadene til investeringer, drift og vedlikehold.

Tabell 1.2: Virkninger av vegbelysning gitt Vägverkets publikasjon 2004:80, Văgar och gators utforming

Tiltak	Virkning i mørke på	Mest sannsynlige virkning (%)	Usikkerhet (% poeng)
Innføring av vegbelysning	Antall skadde på motorveg	- 15 ¹⁾	± 15
	Antall drepte på motorveg	- 15 ¹⁾	± 15
	Antall skadde på andre vegtyper	- 30 ²⁾	± 10
	Antall skadde fotgjengere og syklister på andre vegtyper	- 60	± 20
	Antall drepte på andre vegtyper	- 60	± 20
	Antall skadde i vegkryss	- 30 ³⁾	
Fordobling av belysningsnivået ⁴⁾	Antall skadde på motorveg	0	± 10
	Antall drepte på motorveg	- 10	± 10
	Antall skadde på andre vegtyper	- 10	± 5
	Antall skadde fotgjengere og syklister på andre vegtyper	- 20	± 10
	Antall drepte på andre vegtyper	- 20	± 10
	Forbedring av luminansjevnhet	Antall skadde på alle vegtyper	0

1) Virkningen er størst på høytrafikkerte innfartsveger
 2) Virkningen er størst når vegstandarden er dårligst
 3) Virkningen er størst i kryss med stor andel sidevegtrafikk
 4) I utgangspunktet var belysningen så dårlig at det ble ansett som nødvendig å forbedre den

1.3 Forhold med betydning for vegbelysningen

Belysningen skal hjelpe førerne til å se:

- vegkanten
- hindringer eller trafikanter i eller ved vegen
- vegens videre forløp
- foranliggende konfliktområder

Belysningsanlegget skal ikke forstyrre eller villedde føreren, eller gjøre han trett. Belysningen bør heller ikke føre til høyere fart.

For å oppnå dette, må det tas hensyn til følgende faktorer:

Luminansnivå og luminansjevnhet

På veger hvor det ferdes fotgjengere og syklister er det behov for god og jevn belysning. Spesielt ved vått vegdekke og mye møtende trafikk vil god vegbelysning hjelpe bilførerne til å oppdage myke trafikanter i tide. Behovet er spesielt stort på steder hvor fotgjengere krysser vegen. Dette omtales nærmere i kapittel 3.8 og 3.9.

Eldre mennesker trenger mer lys enn yngre for å få en god synsopplevelse. Evnen til å tilpasse seg skiftende lysnivåer avtar også med alderen.

Ved et vegbelysningsanlegg vil vegens faktiske luminansnivå variere med skiftende vær- og føreforhold. Luminansnivået vil også være avhengig av om vegdekket er mørkt eller lyst. Det vil derfor være gunstig å kunne regulere og tilpasse belysningen til disse skiftende forholdene.

Belysning i vegens sideområder

En av hensiktene med vegbelysning er å lage en lys vegoverflate som objekter vil synes godt imot. Det settes også krav til belysningen på hver side av vegen, i en bredde på mellom en halv kjørebane og 5 m. Grunnen er at objekter i vegkanten, spesielt der vegen går i kurve, vil sees med vegens sideområde som bakgrunn. Det samme gjelder øvre del av høye objekter i vegbanen. Når vegens sideområde er belyst, vil det også være lettere å oppdage for eksempel mennesker og dyr som er på veg ut i kjørebanen.

Kontraster

For at bilføreren skal kunne oppdage en hindring i kjørebanen, må hindringens luminans være forskjellig fra bakgrunnens. Kontrasten uttrykkes som forskjellen mellom hindringens og bakgrunnens luminans dividert på bakgrunns luminansen.

Bakgrunnens luminans har stor betydning for hvor lyst objektet trenger å være for å bli sett. Dersom bakgrunnen er svært lys, er det lettere å oppdage en fotgjenger eller hindring som er mørk (negativ kontrast). Dette er det vanlige prinsippet for vegbelysning.

Dersom bakgrunnen er mørk, er det lettest å oppdage en fotgjenger som er lyst kledd eller godt opplyst (positiv kontrast). Det er derfor vanskelig å sikre en god kontrast mellom ulikt kledde fotgjengere og en bakgrunn som også har variabel og uforutsigbar belysning. Lys fra møtende kjøretøy vil også påvirke kontrasten.

Ved intensivbelysning av gangfelt ønsker man å oppnå en positiv kontrast, se kapittel 3.9.

Lysfarge

Fargen på vegbelysningen angis ved lysets spektralfordeling, eller ved lysets evne til å gjengi farger. Hvis fargegjengivelsen er god, er det som regel lettere å se fotgjengere og hindringer i vegen. Hvitt lys har vanligvis best fargegjengivelse. Dette omtales nærmere i kapittel 4.5.

Blending

Vegbelysningsanlegg som er utformet etter gjeldende krav gir lite blending. Men blending fra andre lyskilder langs vegen, og direkte eller reflektert lys fra møtende trafikk, kan være et problem for trafiksikkerheten. Hvis belysningsnivået økes på vegen, vil virkningen av blendingen bli redusert. Blending er nærmere omtalt i kapittel 2.5.

Vegdekker

Et mørkt vegdekke gir dårligere synsbetingelser under kjøring i mørke enn et lyst. Mørke dekker krever høyere belysningsstyrke for å oppnå samme luminansnivå som lyse dekker. Tette, glatte og speilende vegdekker kan gi mye blending og dermed dårligere trafiksikkerhet enn mer åpne og grove dekker. Vegdekker er nærmere omtalt i kapittel 2.1.

Visuell føring

Vegbelysningen vil bidra til å synliggjøre vegens videre forløp, noe som kan gi bedre trafiksikkerhet.

Ledelys langs vegkanten vil også gi bedre optisk leding i mørket. Selv om ledelysene kan føre til økt fart, vil de redusere faren for utforkjørings- og møteulykker. Ledelysene bidrar imidlertid lite til å synliggjøre myke trafikanter, slik vanlig vegbelysning gjør. En fartsøkning vil derfor føre til høyere ulykkesrisiko for fotgjengere og syklister. På veger med gang- og sykkeltrafikk bør vi derfor ikke bruke ledelys.

2 Belysningsklasser

Den belysningstekniske kvaliteten i et vegbelysningsanlegg beskrives ved hjelp av belysningsklasser, se kapittel 2.2. Til hver belysningsklasse settes det krav til følgende egenskaper:

- belysningsnivå:
 - gjennomsnittlig luminans fra kjørebanelen (L_m)
 - gjennomsnittlig belysningsstyrke (E_m)
- belysningsjevnhet:
 - total jevnhet på tørt (U_o) og vått vegdekke (U_{ov})
 - langsgående jevnhet på tørt vegdekke (U_l)
- synsnedsettende blending (TI)
- belysning av omgivelsene (SR) – forholdet mellom belysningsstyrken utenfor og på kjørebanelen

Følgende faktorer er også avgjørende for belysningsanleggets kvalitet:

- lyskilde (type, effekt, fargetemperatur og brenntid)
- armatur og forkoplingsutstyr (lysfordeling, virkningsgrad)
- geometri (vegbredde, masteavstand, lyspunkthøyde og lyspunktets avstand fra kantlinja)
- vegdekke (refleksjonsegenskaper)

2.1 Vegdekker

Vegdekkets refleksjonsegenskaper har direkte betydning for både luminansnivå og jevnhet. Det må derfor tas hensyn til dette ved dimensjonering av vegbelysning.

Tørre vegdekker deles inn i to dekkeklasser C1 og C2, der C1 er et lyst dekke tilsvarende betong og C2 er et normalt mørkt asfaltdekke.

For å gi tilstrekkelig lys i perioder med vått vegdekke, er det gitt et tilleggskrav for beregning av totaljevnheten på vått vegdekke. Når det er fuktig eller vått på vegbanen, vil en generelt få høyere gjennomsnittlig luminans. Jevnheten på langs vil være ganske god, men den totale jevnheten blir dårlig fordi speiling fører til at områder på tvers av vegen i forhold til armaturen vil reflektere lite lys i retning av trafikanten.

Våte vegdekker deles inn i fire dekkeklasser etter speilingsgrad: W1 er minst speilende og W4 er mest speilende. Den speilende vannfilmen er avhengig av dekkets struktur og strukturens dybde, fordi dette bestemmer hvordan dekket dreneres. Speilingen er videre avhengig av hvordan steiner bryter den speilende vannfilmen.

Refleksjonsegenskapene beskrives av luminansfaktoren Q_0 , speilingsfaktor S1 og fotometriske data for hver dekkeklasse (r-tabell). Disse er definert og beskrevet av CIE (International commission on illumination) i publikasjonene: 47: 1979, Road lighting for wet conditions og 66: 1984, Road surfaces and lighting.

Tabell 2.1: Dekkeklasser med faktorer for refleksjonsegenskaper

Dekkeklasse	Visuelt inntrykk	S1 grenser	S1 standard	Q_0 normal	Q_0 tørr
C1	Tørt, lyst	$\leq 0,4$	0,24	0,1	
C2	Tørt, mørkt	$\geq 0,4$	0,97	0,07	
W3	Vått	-			0,097 ¹⁾
W4	Vått	-			0,104 ¹⁾

1) Ved beregning av luminans benyttes r-tabell for vått dekke skalert med faktoren $Q_0 \text{ normal}/Q_0 \text{ tørr}$

- Ved luminansberegninger skal dekkeklasse C2 benyttes med angitt S1 standard og Q_0 normal.
- Når et vegdekke er vesentlig lysere enn disse verdiene tilsier, kan dekkeklasse C1 (for eksempel betong) eventuelt de reelle verdiene for S1 og Q_0 , benyttes til å skalere refleksjonstabellen (r-tabellen) for klasse C2. Det forutsettes da at vegen også i framtiden får et vegdekke med minst like gode refleksjonsegenskaper. En beregning med klasse C2 bør utføres for sammenligning.

Trafikk med sommerdekk har en tendens til å komprimere vegdekket slik at en større andel av steinene blir dekket av bitumen. Strukturen blir da grunnere og mer speilende. Piggdekk øker derimot strukturdybden og blottlegger lysere steinpartikler som bryter vannfilmen, noe som lysteknisk sett er gunstig.

Det har vist seg at det er vanskelig å finne noen tydelig sammenheng mellom et vegdekkes egenskaper i tørr tilstand og dets W-klasse. De fleste vegdekker er mer eller mindre speilende i våt tilstand.

- For å beskrive vegdekket i våt tilstand, skal vi bruke dekkeklasse W4. Skaleringen av refleksjonstabellen for W4 påvirker ikke jevnheten (U_{ov}).
- Ved bruk av drenerende asfaltdekker kan W3 benyttes, men da må det være sikkert at denne typen vegdekke beholdes ved reasfaltering. Kravet til U_{ov} økes til 0,20. Se tabell 2.3.

2.2 Generelle krav for belyningsklasser

Det er utarbeidet ulike belyningsklasser for forskjellige veier, gater og områder. Disse er beskrevet i NS-EN 13201-2 Vegbelysning Del-2: Ytelseskrav. Ulike dimensjoneringsklasser for veier og gater er beskrevet i håndbok 017 Veg- og gateutforming.

For norske forhold gjelder følgende belyningsklasser:

MEW: For veier og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere.

CE: For veier og gater med fartsgrense 30 km/t samt for områder med korte synsavstander (for eksempel kryss) eller andre faktorer som gjør det umulig å benytte MEW-klasse.

S: For gang- og sykkelveier.

Ved dimensjonering av belysningen skal man foreta beregninger som dokumenterer at kravene i den aktuelle belyningsklassen er oppfylt.

Kravene til luminans og belysningsstyrke er gitt som driftsverdier. Det må regnes med at driftsverdien utgjør 80 % av nyverdien for alle lamper (vedlikeholdsfaktor = 0,8).

Tabell 2.2: Belysningsklasser med tilsvarende lysnivåer

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

2.3 Belysningsklasser for veger, gater og områder

Belysningsklassene i MEW-serien skal brukes på veger og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere. Bruken av disse klassene er behandlet i kapittel 3.

Tabell 2.3: Belysningsklasser i MEW-serien for veger og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere

Klasse	Luminans fra kjørebans vegdekke				Synsnedsettende blending	Belysning av omgivelsene
	Tørr tilstand		Våt tilstand			
	L_m i cd/m ² (minimum opprettholdt nivå)	U_o (minimum)	U_1 (minimum)	$U_{ov}^{1)}$ (minimum)	TI i % (maksimum)	$sR^{3)}$ (minimum)
MEW1	2,0	0,4	0,6	0,15	10 ²⁾	0,5
MEW2	1,5	0,4	0,6	0,15	10 ²⁾	0,5
MEW3	1,0	0,4	0,6	0,15	15 ²⁾	0,5
MEW4	0,75	0,4		0,15	15	0,5
MEW5	0,5	0,35		0,15	15	0,5

1) Kravene gjelder dekketype W4. Ved evt. bruk av W3 for drenerende dekker er kravet $\geq 0,20$

2) Ved vanlige mørke omgivelser bør ca 2/3 av angitt TI-verdi ikke overskrides

3) Dette kriteriet benyttes kun der hvor det ikke er tilstøtende trafikkområder med egne krav

Belysningsklassene i CE-serien skal brukes i konfliktområder slik som komplekse kryss, rundkjøringer, områder med kø, ferjekaier og bomstasjoner. Dette er områder der luminansberegninger ikke kan gjennomføres. CE-serien brukes også for veger og gater med fartsgrense 30 km/t.

Tabell 2.4: Belysningsklasser i CE-serien for konfliktområder og veger eller gater med fartsgrense 30 km/t

Klasse	Horisontal belysningsstyrke	
	E_m i lux (minimum opprettholdt)	U_o (minimum)
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Blendingsbegrensning for CE-serien ivaretas ved å velge armaturtyper i henhold til avskjermingsklassene G1 – G6, se kapittel 2.5.2.

2.3.1 Overgangssoner

Et lysanlegg skal ikke startes eller avsluttes på trafikkmessig farlige punkter som for eksempel like før vegkryss, gangfelt, skarp sving, bakketopp, tunnel e.l.

Der luminansnivået er høyere enn 1 cd/m^2 (MEW1 og MEW2), skal det være overgangssoner ved avslutning mot ubelyst veg. Overgangssonen bør ha et luminansnivå på ca. $0,5 \text{ cd/m}^2$. Lyspunktøyde, masteavstand og armaturens avskjerming bør beholdes uforandret. Overgangssonen bør primært avsluttes etter en kurve, alternativt i en avstand før kurven som tilsvarer én overgangssone.

Tabellen angir overgangssonens lengde ved ulike fartsgrenser. Overgangssonen måles fra et punkt som ligger en halv lyspunktavstand etter siste lyspunkt med fullgod belysning.

Tabell 2.5: Overgangssonens minste lengde

Fartsgrense	Overgangssonens minste lengde
50 km/t	80 m
60 km/t	100 m
70 km/t	120 m
80 km/t	140 m
90 km/t	160 m
100 km/t	200 m

2.4 Belysningsklasser for gang- og sykkelveger

Belysningsklassene i S-serien brukes for fortau, gang- og sykkelveger og andre områder som ligger separat eller langs en kjørebane, samt for gangveger, parkeringsplasser og skolegårder. Belysningsstyrken beregnes horisontalt.

Tabell 2.6: Belysningsklasser i S-serien for gang- og sykkelveger

Klasse	Horisontal belysningsstyrke	
	E_m i lux (minimum opprettholdt)	E_{min} i lux (minimum opprettholdt)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6

Hvis S-klassene ikke gir tilstrekkelig lys, kan CE-serien (tabell 2.4) benyttes for områder som brukes av gående og syklende, for eksempel underganger for gående og syklende.

Belysningsklasser i A-serien med beregning av halvromlig belysningsstyrke kan brukes i stedet for S-serien. Det vises til NS-EN 13201-2 Vegbelysning Del-2: Ytelseskrav for nærmere detaljer.

2.5 Blending

Det finnes to typer blending: Ubehagsblending og synsnedsettende blending.

Vegbelysningen skal ha en slik utforming at den ikke blander trafikantene. Det må utføres blendingskontroll for enhver belysnings situasjon.

Man må også ta hensyn til omgivelsene ved valg av armatur, lyskilde og plassering av lyspunktet.

2.5.1 Ubehagsblending (blendingsklasser)

Ubehagsblending gir en subjektiv følelse av ubehag, og kan virke trettende for trafikantene. En kraftig lysende armatur gir stort ubehag.

Armaturer klassifiseres i blendingsklasser på grunnlag av lysstyrke og størrelse. Det settes krav til blendingsklasse ved bruk av belysningsklasser i S-serien.

Tabell 2.7: Blendingsklasser D0 – D6

Blendingsklasse	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Blendingstall (maksimum) i cd/m^2	–	7 000	5 500	4 000	2 000	1 000	500

Armaturblendingstallet er $I \times A^{-0,5}$, enheten er cd/m^2 .

I er den maksimale lysstyrken (cd) i en hvilken som helst retning i en vinkel lik 85° fra loddlinjen.

A er det synlige arealet (m^2) av den lysende delen av armaturen i samme retning, alternativt horisontalt.

Når det finnes en lysintensitetstabell for armaturen, kan man beregne maksimal lysstyrke ut fra denne.

I åpne boligområder og langs gang- og sykkelveger bør det brukes armaturer i klasse D6. Der det er sammenhengende fasader, gågater og lignende kan det benyttes armaturer i klasse D5.

2.5.2 Synsedsettende blending (avskjermingsklasser)

Synsedsettende blending oppstår når en lyskilde sender lys direkte i øynene på trafikanten. Lyset spres i øynene og legger seg over det skarpe bildet på netthinnen. Dette gjør at kontrasten i bildet reduseres.

Beregning av synsedsettende blending uttrykkes som en terskeløkning (TI) angitt i prosent. TI kan ikke beregnes hvis belysningsklassen er i CE-serien. Da må det i stedet angis krav til avskjermingsklasser (G1 – G6) for å begrense den synsedsettende blendingen.

Tabell 2.8: Avskjermingsklasser G1 – G6

Klasse	Maksimal lysstyrke i cd/klm			Andre krav
	Ved 70° ¹⁾	Ved 80° ¹⁾	Ved 90° ¹⁾	
G1		200	50	Ingen
G2		150	30	Ingen
G3		100	20	Ingen
G4	500	100	10	Lysstyrke over 95° ¹⁾ skal være null
G5	350	100	10	Lysstyrke over 95° ¹⁾ skal være null
G6	350	100	0	Lysstyrke over 90° ¹⁾ skal være null

¹⁾ Hvilken som helst retning som gir den spesifiserte vinkelen ut fra loddlinjen, når armaturen er montert og klar til bruk

G1, G2, og G3 tilsvarer begrepene delvis avskjerming (semicut-off) og avskjerming (cut-off) og gjelder for armaturer med dyprtrukken skjerm. Disse avskjermingsklassene sikrer ikke mot blending fra armaturene.

G4 og G5 gjelder for armaturer med flat skjerm montert med en svak helling, der rørformede lyskilder som regel fører til mindre kraftig avskjerming (G4) enn ellipsoideformede lyskilder (G5).

G6 tilsvarer armaturer med flat skjerm montert slik at den følger kjørebans helning.

2.5.3 Blending fra andre belyningsanlegg

Lyskastere på bygg og anleggsområder, belyste idrettsanlegg og lysreklamer kan gi synsnedsettende blending. Det samme gjelder sterkt opplyste bensinstasjoner og kiosker langs vegen.

Slik blending kan beskrives direkte av sløringsluminansen L_v (cd/m²) fra sidelysanlegget. Maksimal tillatt sløringsluminans er gitt i tabellen nedenfor.

Tabell 2.9: Maksimal tillatt sløringsluminans L_v (cd/m²) fra sidelysanlegg

	Ubelyst veg	Belyst veg			
		MEW4	MEW3	MEW2	MEW1
En enkelt blendingskilde	0,025	0,04	0,06	0,09	0,12
Flere blendingskilder	0,05	0,04	0,14	0,18	0,20

Sløringsluminansen L_v kan bestemmes etter formelen $L_v = 10 \cdot \frac{E_{bl}}{\Theta^2}$

der E_{bl} er vertikal belyningsstyrke i observasjonspunktet

Θ er vinkelen, i grader, mellom synsaksen og innfallsretningen for det blendende lyset.

Ved bestemmelse av L_v må således vertikal belyningsstyrke og innfallsvinkel Θ måles.

3 Etablering av belysningsanlegg

Veg- og gatebelysning bør anlegges når innsparte ulykkeskostnader oppveier kostnadene til anlegg og drift. I den forbindelse må det også vurderes virkninger av alternative trafikksikkerhetstiltak – eller tiltak som utføres samtidig med belysningen.

Veg- og gatebelysning for andre formål enn trafikksikkerhet, for eksempel hensyn til allmenn trygghet, trivsel og miljø, er ikke en prioritert oppgave. Det er derfor ikke utarbeidet generelle behovskriterier for dette.

Statens vegvesen skal normalt eie og ha ansvaret for drift og vedlikehold av vegbelysningsanleggene langs sine veger.

3.1 Krav om belysning

For nye veger er kravene om belysning for de ulike dimensjoneringsklassene vist i tabell 3.1. Dimensjoneringsklasser er vist i håndbok 017 Veg- og gateutforming. Belysning av tunneler er omtalt i håndbok 021 Vegtunneler.

Tabell 3.1: Krav til belysning på nye veger

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

1) Angir trafikkmengden i prognoseåret (vanligvis 20 år etter forventet åpningsår)

2) Dersom veien ikke belyses, skal fartsgrensen settes til 90 km/t

I tillegg skal følgende steder belyses for å redusere ulykkesrisikoen i mørket:

- gangfelt
- kryssende gang- og sykkelveger
- fysisk kanaliserte kryss i hovedvegen
- rundkjøringer
- bomstasjoner
- ferjeleier
- etablerte viltkryssinger i plan med vegen, for eksempel åpninger i et viltgjerde
- gangtunneler (unntatt der det er lite ferdsel og store kostnader for framføring av strøm)
- korte strekninger (< 500 m) mellom belyste strekninger, for å få sammenheng i belysningen

Følgende veger bør belyses:

- veger med parallellført gang- og sykkelveg
- gang- og sykkelveger som ikke følger hovedvegen
- planskilte eller oppmerkede kanaliserte kryss med stor kompleksitet
- strekninger med mye kryssende vilt
- bruer med lengde ≥ 100 m uten fysisk skille mot gang- og sykkeltrafikk

Veger og gater i tettbygd strøk skal normalt ha belysning av hensyn til fotgjengere og syklistene. I boligområder med liten trafikk er det hensynet til sosiale funksjoner, trivsel, tilgjengelighet og allmenn sikkerhet som er viktigst.

3.2 Belysning av eksisterende veg

Mange eksisterende veger trenger belysning på grunn av ulykker eller fordi det ferdes gående og syklende langs vegen. Ulykkesrisikoen i mørket skal legges til grunn for en beslutning om at vegbelysning skal settes opp.

I tillegg til kravene i kapittel 3.1, bør følgende strekninger vurderes belyst:

- veger med fartsgrense ≤ 60 km/t og ÅDT $\geq 1\,500$
- veger med fartsgrense ≥ 70 km/t og ÅDT $\geq 8\,000$
- veger med gang- og sykkeltrafikk hvor det ikke er gang- og sykkelveg

3.3 Valg av belyningsklasse

På strekninger hvor det skal settes opp veg- eller gatebelysning, skal belyningsklasse velges i henhold til tabellene nedenfor. For veger og gater med fartsgrense 30 km/t velges tilsvarende CE-klasse, se tabell 2.2.

Tabell 3.2: Valg av belyningsklasse MEW for dimensjoneringsklasser gitt i tabell 3.1 og for eksisterende veger

ÅDT	< 1 500	1 500 - 4 000	4 000 - 8 000	8 000 - 12 000	> 12 000
Veger med midtrekkverk/middeler		MEW3	MEW3	MEW3	MEW3
Veger uten midtrekkverk/middeler	MEW4	MEW3	MEW2	MEW2	MEW2

Tabell 3.3: Valg av belyningsklasse MEW for gater

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

Ved valg av belyningsklasse gjelder generelt følgende krav:

- Man bør gå opp en belyningsklasse i følgende områder:
 - i konfliktområder, som gangfelt eller viktige/kompliserte kryss
 - på strekninger med vanskelige trafikkforhold
 - på strekninger med mange myke trafikanter eller forstyrrende lys fra omgivelsene
- Det skal ikke være større forskjell enn to relevante belyningsklasser mellom tilstøtende områder. Eksempel: En gang- og sykkelveg langs en kjøreveg må ha tilstrekkelig lys i forhold til den mye sterkere belysningen på kjørevegen.
- Dersom man benytter metallhalogenlamper kan man redusere luminansnivået med 10 % (for eksempel fra 1,0 - 0,9 cd/m²).
- På strekninger med flere tunneler bør det vurderes å tilpasse vegens luminansnivå om natten mot luminansnivået i tunnelene.
- Man skal vurdere om belysningen kan nedreguleres i tidsrom hvor det er mindre belyningsbehov (for eksempel sent på natten). Dette er nærmere omtalt i kapittel 5.2. Dersom det ikke velges å installere et regulerbart anlegg, skal dette begrunnes ut fra LCC-analysen.

Motorveger og veger med midtrekkverk har normalt et enklere trafikkmiljø. Derfor angir tabell 3.2 en lavere belyningsklasse for disse vegene.

Når midtdeleeren er så smal eller midtrekkverket så lavt at man må kjøre med nærlys når det er møtende trafikk, vil strekningen som billysene lyser opp være kortere enn stoppsiktlengden. Bedre vegbelysning vil være til hjelp i slike tilfeller. Vegbelysningen vil også synliggjøre vegens videre forløp, og gjøre det lettere for føreren å få øye på kryss og avkjøringsramper.

På veger med brede midtdeleere kan man redusere blindingen fra møtende trafikk ved å legge en voll med minimumshøyde på 1,3 m over vegbanen, se håndbok 231 Rekkverk.

Det kan være vanskelig og kostbart å oppnå tilfredsstillende total jevnhet på våt kjørebane (U_{ov}) og langsgående jevnhet (U_l) samtidig. Ved lave fartsgrenser bør jevnhet på våt kjørebane prioriteres. På veger med fartsgrense 80 km/t med lite fotgjengertrafikk, kan en legge mer vekt på langsgående jevnhet.

3.4 Belysning av områder og kryss

Det skal velges belysning fra CE-klassene i kryss med egne svingefelt, rundkjøringer, ferjeleier, bomstasjoner og eventuelt andre områder der det er nødvendig med belysning. CE-klassene kan også brukes for atkomstveger. Kravene er vist i tabell 3.4.

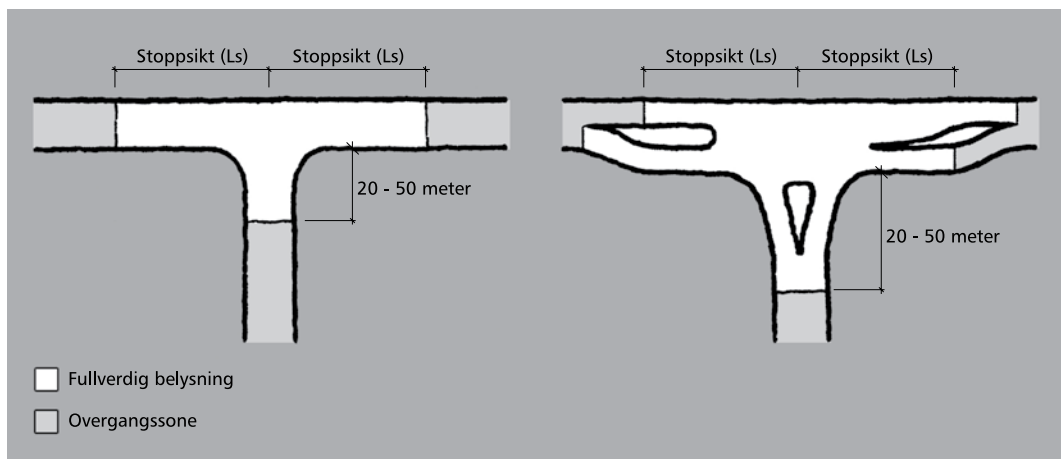
Tabell 3.4: Valg av belysningsklasser CE for områder og kryss som skal belyses

Belysnings-klasse	Vegkryss og rundkjøringer ¹⁾	Atkomst-veger	Ferjeleie	Bomstasjoner, tollstasjoner, kontrollplasser m.v.	Bussterminaler, parkeringsplasser, torg, lommer m.m.	Gang-tunneler
CE0			Oppstillingsplass med billettsalg	Manuelt betjeningsområde		Dag ²⁾
CE1	MEW1 for hovedveg		Ferjeleie / kaiområde	Automatisk betjeningsområde		
CE2	MEW2 for hovedveg				Bussterminaler ³⁾	
CE3	MEW3 for hovedveg		Oppstillingsplass og kjøreområde	Oppstillingsplass og inn- og utkjøringsareal	Busslommer belyst veg Viltkryssinger	Natt
CE4	MEW4 for hovedveg	Som alternativ til MEW4		Kjettingplasser	Parkeringsplasser ⁴⁾ Åpne plasser/torg ⁵⁾	
CE5		Som alternativ til MEW5			Rasteplasser Busslomme ubelyst veg	
Blendingsklasse						D6
Avskjermings-klasse	I belyste områder skal anlegget tilfredsstillende G4. Ved overgang til ubelyste vegområder, og der lyset kan forstyrre sjø- eller lufttrafikk, skal anlegget tilfredsstillende G6.					
¹⁾ Vegkryss skal ha samme belysningsnivå som hovedvegen, men for viktige og kompliserte kryss bør man gå opp en belysningsklasse. ²⁾ Gjelder kun lange tunneler hvor dagslyset ikke slipper tilstrekkelig inn og hvor det er mange gående og syklende. Ved liten gang- og sykkeltrafikk brukes CE3. ³⁾ CE1 kan velges. ⁴⁾ CE3 kan velges ved stor trafikk i mørket eller ved store krav til sikkerhet. CE5 kan velges der det er mindre behov for belysning. ⁵⁾ CE5 kan velges der omgivelsenes belysningsnivå er lavt.						

3.4.1 Vegkryss

Vegkryss skal være fullverdig belyst i en avstand som tilsvarer stoppsikt (målt fra midten av krysset). I kanaliserte vegkryss må den fullverdige belysningen i innkjøringsfeltene strekke seg til enden av kanaliseringen dersom denne er lengre enn stoppsikten.

Ved kanaliserte kryss på ubelyst veg skal det være overgangssoner når luminansnivået i krysset er over 1 cd/m² (se kapittel 2.3.1).



Figur 3.1: Belysning av kryssområder

3.4.2 Ferjeleier

Hvis vegen brukes som oppstillingsplass ved ferjeleier, bør belysningen strekkes så langt som det vanligvis står ventende biler.

Belysningen kan slås av eller dempes utenom driftstiden når dette ikke innebærer fare for utforkjøring. Langtidsparkeringsplasser bør alltid være belyst av hensyn til faren for tyveri og hærverk.

3.4.3 Parkeringsplasser

Blendende armaturer bør unngås. Blendingsklasse D6 anbefales.

3.4.4 Rasteplasser

Belysning bør konsentreres rundt bord, oppstillingsplasser og toalett. Armaturene skal tilfredsstillende blendingsklasse D6.

3.5 Belysning av sideveger, avkjørsler og busslommer når hovedvegen er belyst

3.5.1 Sideveger og avkjørsler

Lyskildene som brukes på avkjørselen eller i sidevegen må ikke være sterkere enn lyskildene på hovedvegen, men de kan ha en annen lysfarge for ikke å forstyrre den visuelle føringen av vegen.

Første lysmast bør plasseres minst 10 m fra kantlinjen på hovedvegen.

Større avkjørsler bør betraktes som vegkryss ved planlegging av vegbelysning.

3.5.2 Busslommer

På belyste veger vil det sjelden være behov for separat belysning av busslommer. Eventuelt kan det settes opp et ekstra lyspunkt ved holdeplassen, og fortrinnsvis slik at det kaster lys inn i leskuret hvis slikt finnes. Man må påse at et slikt lyspunkt ikke virker forstyrrende for den visuelle føring av vegen.

3.6 Belysning av sideveger, avkjørsler og busslommer når hovedvegen er ubelyst

Hvis sideveger, avkjørsler og busslommer belyses langs en ubelyst hovedveg, er det viktig at disse sidelysanleggene ikke reduserer synsbetingelsene for trafikantene på hovedvegen. Et lavt luminansnivå på hovedvegen vil kunne gi fotgjengere som krysser i nærheten en falsk trygghetsfølelse. Det er derfor viktig å trekke lyspunktene unna hovedvegen slik at den blir minst mulig belyst. Hvis belysning likevel vurderes som nødvendig, må dette vurderes opp mot å belyse en kortere strekning av hovedvegen.

3.6.1 Sideveger

Sideveger bør normalt ikke belyses helt fram mot ubelyst hovedveg. Hvis det likevel er behov for belysning, skal:

- denne ha en overgangssone i belysningsklasse MEW5, eventuelt kan krysset på hovedvegen belyses.
- første lyspunkt plasseres minimum 15 m fra kantlinjen på hovedvegen.
- armaturen nærmest hovedvegen tilfredsstillende avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.

3.6.2 Avkjørsler

Avkjørsler på ubelyst veg skal normalt ikke belyses særskilt. Det må heller ikke settes blendende lamper i portstolper og liknende.

Når spesielle hensyn tilsier at en avkjørsel belyses, skal:

- lysarmaturen plasseres slik at kravene til maksimal blending fra sidelysanlegg tilfredsstilles.
- første lyspunkt plasseres minimum 15 m fra kantlinjen på hovedvegen.
- armaturen nærmest hovedvegen tilfredsstillende avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.

Det er viktig at trafikantene ikke får feil informasjon om vegens linjeføring. I kurver bør en derfor være spesielt varsom med å belyse avkjørsler.

3.6.3 Busslommer

Generelt bør busslommer på ubelyst veg ikke belyses. Hvis det likevel velges å belyse busslommer, skal:

- belysningsklasse CE5 velges.
- armaturer tilfredsstillende avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.

Videre bør lyspunkthøyden være liten. Eventuelt kan det benyttes hærværkssikre armaturer i leskur.

3.7 Miljøgater

I miljøgater bør belysningsutstyrets estetiske kvaliteter tillegges stor vekt. Dette er omtalt i håndbok 237 Veg- og gatelys. Gatebelysningens bidrag til det visuelle gatebildet kan også gi bedre trafiksikkerhet. Belysningen kan brukes bevisst for å påvirke trafikantene til mer hensynsfull og trafiksikker atferd.

3.8 Belysning av gang- og sykkelveger

Det er viktig å belyse gang- og sykkelvegene for at gående og syklende skal kunne bruke disse også når det er mørkt.

Når gang- og sykkelvegen går parallelt med hovedvegen, skal hovedvegen belyses i samsvar med tabell 3.2. Samtidig skal det påses at gang- og sykkelvegen får tilstrekkelig belysning i samsvar med tabell 2.6. Det tas på den måten hensyn til at bilistene naturlig fokuserer mot det best belyste området.

Belysning av gang- og sykkelveger skal utformes etter følgende krav:

- Belysningsnivået på gang- og sykkelvegen skal ikke ligge mer enn to belysningsklasser lavere enn hovedvegen.
- Ved liten og middels gang- og sykkeltrafikk benyttes belysningsklasse S4.
- Ved stor gang- og sykkeltrafikk og i sentrumsområder benyttes belysningsklasse S2.
- Underganger belyses etter belysningsklasse CE.
- For å unngå ubehagsblending av fotgjengere ved lave lyspunkthøyder skal armaturens blendingstall tilfredsstillende blendingssklasse D6.

3.9 Belysning av gangfelt

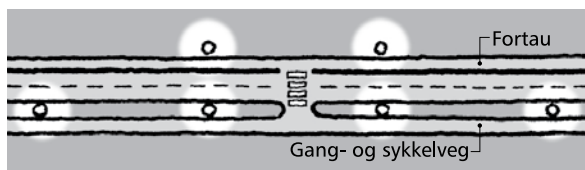
Dårlig belyste gangfelt har meget høy ulykkesrisiko og alle gangfelt må derfor vurderes individuelt med hensyn til valg av belysningsløsning.

Det finnes to prinsipielt forskjellige belysningsmetoder som har vist seg å gi god sikkerhet ved gangfelt; tosidig belysning av vegen med god negativ kontrast og intensivbelysning med god positiv kontrast. Den mest vanlige metoden er å sørge for god negativ kontrast mellom mørk fotgjenger og lys bakgrunn. For at fotgjengeren skal bli mørk må han/hun ikke belyses på den siden som vender mot trafikken. For at bakgrunnen skal bli lys, må belysningen skape mye reflektert lys mot føreren fra flater som utgjør den bakgrunnen som fotgjengeren sees imot. De lyspunktene som skal gi det reflekterte lyset må da stå lenger unna gangfeltet enn den flaten som reflekterer lyset. (Innfallsvinkel er lik utfallsvinkel ved speilende refleksjon fra våt asfalt, mens refleksjonen fra tørr asfalt er mer diffus). Dette belysningsprinsippet egner seg best der hvor kjørebanelen danner bakgrunn i førerens synsfelt.

For gangfelt som belyses etter prinsippet for negativ kontrast gjelder følgende:

- Gangfelt bør ha tosidig belysning (se figur 3.2) for å oppnå bedre synsbetingelser for de kjørende, både mot gangfeltet og mot sidearealene på begge sider av vegen. På smale veger og i smale gater med sammenhengende fasader på begge sider av vegen, kan man vurdere om det er nok med lys på den ene siden.

- Ved alle gangfelt skal vegen minst tilfredsstillende MEW3 på de første 50 - 100 m etter gangfeltet sett i kjøreretningen. Det bør vurderes om denne strekningen skal ha et lysnivå som ligger én belyningsklasse høyere enn for resten av vegen og eventuelt med høyere krav til jevnhet. Langsgående jevnhet U_1 kan økes til mellom 0,75 og 0,85 og total jevnhet U_0 til mellom 0,5 og 0,6.
- For å oppnå god nok kontrast mellom de gående og bakgrunnen bør nærmeste lysmast plasseres i en avstand fra gangfeltet minst lik lyspunkthøyden. Et gangfelt plassert midt mellom to master gir best synsbetingelser for begge kjøreretninger.
- Lysanlegg ved gangfelt skal ikke nedreguleres eller slås av i mørket.
- Gangfeltet bør av belysningstekniske årsaker ikke ligge nærmere en kurve eller en bakketopp enn 75 m.

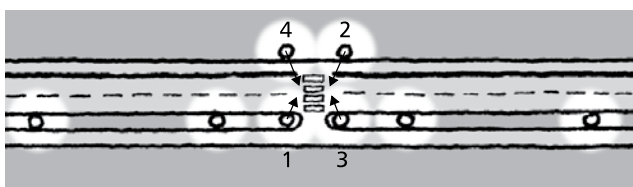


Figur 3.2: Tosidig belysning av gangfelt

Det andre prinsippet for belysning av gangfelt er å intensivbelysning gangfeltet. Ved å plassere tilleggsbelysning rett foran gangfeltet kan man oppnå positiv kontrast mellom en godt belyst fotgjenger mot en mørkere bakgrunn, og man oppnår samtidig at kryssingsstedet skiller seg ut fra vegstrekningen for øvrig med et høyere belyningsnivå. Ved å benytte hvitt lys kan man synliggjøre fotgjengerne bedre enn med gult lys og man kan framheve kryssingsstedet bedre dersom strekningen for øvrig har gult lys. Intensivbelysning må imidlertid benyttes med varsomhet. Det kan være vanskelig å oppnå positiv kontrast dersom en godt belyst kjørebane danner bakgrunn for fotgjengeren i førerens synsbilde. Metoden egner seg derfor best når gangfeltet ligger på en bakketopp, i en kurve eller på en vegstrekning hvor belyningsnivået er lavt. Det kan imidlertid også være vanskelig å oppdage fotgjengere som krysser utenfor et intensivbelyst gangfelt på grunn av at det blir relativt mye mørkere utenfor gangfeltet. Det kan derfor være nødvendig å gjennomføre tiltak som sikrer at kryssingen skjer i gangfeltet.

I figur 3.3 er det vist et prinsipp for intensivbelysning av et gangfelt på en veg med 2 kjøreretninger. God vertikalbelysning av de gående i gangfeltet og der de venter før kryssing, oppnås ved bruk av asymmetrisk armatur plassert på en mast i kort avstand før gangfeltet i begge kjøreretninger. Løsningen gir mest lys mot den siden av fotgjengeren

som vender mot trafikken, men også minst blanding av de kjørende. Belysningen kommer i tillegg til den ordinære belysningen og mast 1 og 2 monteres ved veg smalere enn omtrent 8 m, og mast 3 og 4 monteres i tillegg ved bredere veg.



Figur 3.3: Intensivbelysning av gangfelt

For intensivbelyste gangfelt gjelder følgende:

- Løsningen bør kun brukes der det kan sikres at gående ikke krysser vegen utenfor gangfeltet. Et unntak er gangfelt på en bakketopp.
- Løsningen skal ikke brukes på ubelyste veger.
- Det skal brukes hvitt lys med god fargegjengivelse.
- Det skal beregnes vertikal belysningsstyrke på en 2 m høy flate som står på tvers av vegen midt i gangfeltet. Sett i den kjørendes retning, skal minimum vertikal belysningsstyrke være $E_{v,\min} \geq 20$ lux i kjørefeltene som går mot gangfeltet og $E_{v,\min} \geq 10$ lux for kjørefeltene i motsatt retning (se kapittel 4.1.2).
- Områdene der fotgjengerene står og venter før kryssing skal også være godt belyst.

4 Utforming av belysningsanlegg

Ved prosjektering av veg- og gatebelysningsanlegg skal det foretas en samlet vurdering av tekniske krav, lokale vedtak og bestemmelser, samt funksjonelle, estetiske og økonomiske forhold. Det vises også til håndbok 237 Veg- og gatelys. Den som skal prosjektere den elektrotekniske delen av anlegget skal være registrert hos Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i det aktuelle virkeområdet.

Ved prosjektering av et veglysanlegg, skal minst følgende oppgaver utføres:

- Utarbeide belysningsplan basert på tilgjengelig kartgrunnlag, veggeometri og prosessbeskrivelse.
- Vurdere estetikk og funksjonalitet ved linjeføring, lysfordeling, master og armaturer.
- Utføre lysberegninger i henhold til NS-EN 13201-3 Vegbelysning – Del 3: Beregning av ytelse.
- Utarbeide en FEBdok-beregning eller tilsvarende.
- Utarbeide KAR-analyse (Kompleksitet, Arbeidsomfang, Risiko) for elektriske anlegg i henhold til gjeldende regelverk, samt Statens vegvesen sine krav.
- Beregne levetidskostnad (LCC) for alternative løsninger.

Alt arbeid som utføres på norske veger, og alt materiell og utstyr som brukes, skal være i samsvar med gjeldende lover og forskrifter, samt gjeldende norske normer.

Viktige lover, forskrifter, regler og normer:

- Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr (Eltilsynsloven).
- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF) og Norsk elektroteknisk norm: Elektriske lavspenningsinstallasjoner (NEK 400). Brukes ved dimensjonering av nye elektriske anlegg og ved større ombygginger av eksisterende anlegg.
- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg med veiledning (FEL).
- Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg med veiledning (FSE).
- Forskrift om elektrisk utstyr (FEU).
- Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (internkontrollforskriften).

Ved mindre utbedringer av eksisterende anlegg, benyttes de forskrifter anlegget ble bygget etter. Ombygging og utvidelse skal følge ny forskrift, se Forskrift om elektriske

forsyningsanlegg (FEF § 2-15 og 2-16).

Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter pålegger oss å utarbeide dokumentasjon som skal kunne framlegges for myndighetene. Etilsynsloven og Forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF) forteller hvordan dette skal gjøres for el-anlegg. En oversikt over dokumentasjon som bør foreligge over belyningsanlegget er vist i vedlegg 3.

4.1 Lysberegninger

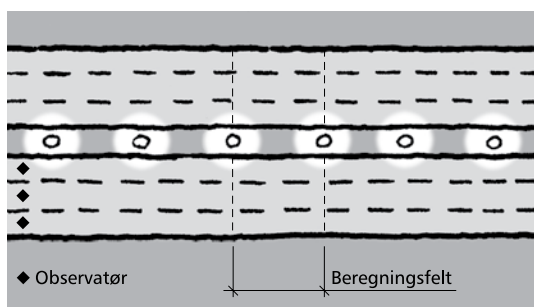
Lysberegninger skal gjennomføres i henhold til NS-EN 13201-3 Vegbelysning Del-3: Beregning av ytelse. De viktigste prinsipper for beregningsgrunnlaget er gjengitt nedenfor.

Det skal gjennomføres lysberegninger for å dokumentere at anlegget oppfyller kravene til lysteknisk kvalitet. For veger brukes luminansberegninger, der resultatene beregnes for én observatør i hvert kjørefelt, plassert på vegen utenfor beregningsfeltet, se figur 4.1 - 4.6. For kryss og områder der det er mange mulige observatørposisjoner, benyttes i stedet beregning av belyningsstyrke.

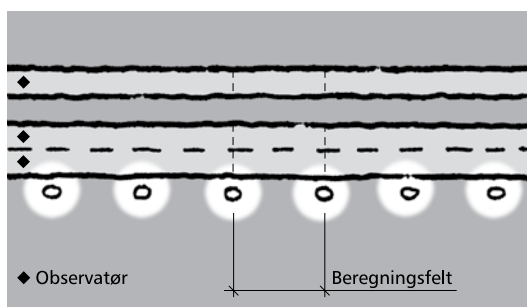
Alle beregninger skal kunne gjennomføres i et leverandøruavhengig program som Novapoint, Relux eller tilsvarende.

Felles for alle beregninger er at hver lyskilde regnes som en punktkilde for lyset, og det tas ikke hensyn til hvordan lyset reflekteres fra omgivelsene eller om det er elementer som skygger. Vegoverflaten regnes som flat med jevne refleksjonsegenskaper over hele arealet.

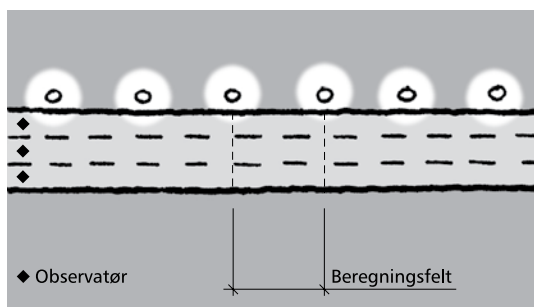
For å gjennomføre beregningene, trengs fotometriske data for lysdistribusjonen fra armaturen. Disse dataene finnes i en intensitetstabell (I-tabell). Observatørposisjoner ved luminansberegninger for ulike veger er vist i figur 4.1 - 4.6.



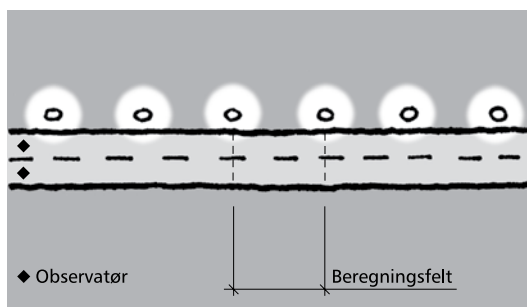
Figur 4.1: 6-felts veg med midtrabatt, 2 beregningsfelt



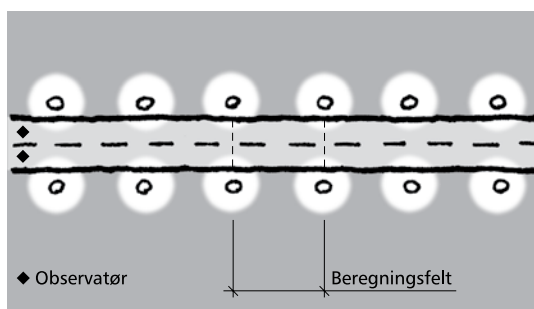
Figur 4.2: 3-felts veg med midtrabatt, ensidig armaturrekke, 2 beregningsfelt



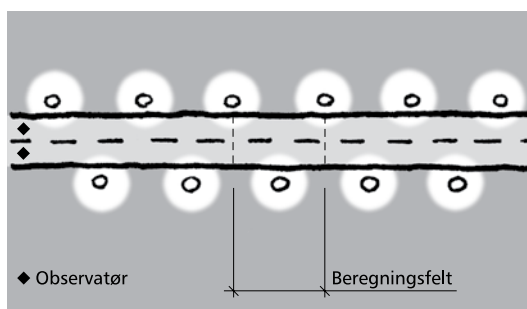
Figur 4.3: 3-felts veg, ensidig armaturrekke



Figur 4.4: 2-felts veg, ensidig armaturrekke



Figur 4.5: 2-felts veg, 2 armaturrekker



Figur 4.6: 2-felts veg, 2 armaturrekker i sikksakk

4.1.1 Luminansberegninger

Luminansberegninger gjennomføres ved dimensjonering av belysning på vegger og i gater.

Beregningsområde for luminans

I lengderetning strekker beregningsområdet seg fra én armatur til neste i rekken. Hvis det er flere armaturrekker, brukes den rekken som har størst armaturavstand. Beregningsområdets bredde begrenses av kjørebanelens kantlinjer. Hvis vegen har to kjørebaneler, vil hver kjørebane ha sitt eget beregningsområde.

Beregningspunktene fordeles som en matrise i beregningsområdet der det er jevn avstand mellom punktene, og første og siste punkt plasseres en halv punktavstand fra kanten av beregningsområdet. Punktavstanden i lengderetningen er forskjellig fra avstanden i bredden.

For luminansberegninger må en i tillegg ha fotometriske data for vegoverflatens refleksjonsegenskaper (r-tabell).

Antall beregningspunkter i lengderetning skal være 10 ved armaturavstand 30 m eller mindre. For større armaturavstand fordeles punktene slik at punktavstanden blir 3 m eller mindre. Antall beregningspunkter i bredden skal være 3 for hvert kjørefelt. Ved beregning av luminans på vegens skulder, brukes samme antall beregningspunkter som for ett kjørefelt.

Observatørposisjon

Ved beregning av gjennomsnittlig luminansnivå (L_m), total jevnhet (U_o) og langs-gående jevnhet (U_l) skal observatørens øye være 1,5 m over vegbanen og 60 m foran beregningsområdet; ved beregning av synsnedsettende blending (TI) skal observatørens øye være 1,5 m over vegbanen og i en avstand foran beregningsområdet i meter, beregnet etter formelen:

$$2,75 \times (\text{lyspunkthøyde} - 1,5)$$

Det skal være én observatør i midten av hvert kjørefelt. For L_m , U_o og TI brukes hele beregningsområdet. For U_l brukes beregningspunktene midt i hvert kjørefelt.

For L_m , U_o og U_l gjelder **laveste** beregningsverdi. For TI gjelder **høyeste** verdi.

4.1.2 Beregning av belysningsstyrke

Belysningsstyrke kan beregnes på ulike flater: horisontal, vertikal, halvsylindrisk eller halvkuleformet (halvromlig). Vi bruker for det meste horisontal og vertikal belysningsstyrke. For de andre variantene vises det til NS-EN 13201-3.

Horisontal belysningsstyrke

Horisontal belysningsstyrke skal beregnes ved blant annet dimensjonering av belysning i vegkryss, på gang- og sykkelveger og på områder/plasser. Slike beregninger brukes også som underlag ved kontrollmåling av nye belysningsanlegg på veg.

Beregningsområdet er som for luminansberegninger. Det samme gjelder kravene til beregningspunktene, bortsett fra at antall beregningspunkter i bredden skal være minst 3 og avstanden mellom punktene skal være 1,5 m eller mindre. De samme kravene gjelder ved beregning av omgivelsenes lysforhold (SR).

For områder med en irregulær form (rundkjøring og lignende) velges et rektangulært beregningsområde. Deler av dette området vil falle utenfor kjørebanelen, men beregningsresultatene skal kun basere seg på de punktene som ligger innenfor kjørebanelen. Når avstanden mellom armaturene er ujevn, kan det kanskje bli umulig å kople avstanden mellom beregningspunktene til armaturavstanden. Da er regelen at avstanden mellom punktene ikke skal overskride 1,5 m i bredden eller lengderetningen.

Vertikal belysningsstyrke

Vertikal belysningsstyrke skal beregnes ved blant annet dimensjonering av intensivbelysning i gangfelt.

Et vertikalplan plasseres midt i gangfelt på tvers av vegen og deles inn i to beregningsområder, ett for kjørefeltene som går mot gangfeltet og ett for kjørefeltene i motsatt retning. Hvert område skal være 2 m høyt og ha 5 beregningspunkter i høyden, der ett punkt ligger i kjørebanelen og ett 2 m over. I bredden skal hvert område ha minst 6 beregningspunkter for ett kjørefelt og 11 punkter for 2 kjørefelt, der ett punkt legges i hver kant-, kjørefelt- og midtlinje.

For å beregne belysningsstyrken i vegens sideområder (ved enden av gangfeltet), brukes et beregningsområde som er en 3 m lang direkte forlengelse av gangfeltet. Dette området har 4 punkter i bredden og 5 i høyden. Første og siste punkt plasseres i beregningsområdets ytterkant.

4.2 Lysmålinger

Måling av vegbelysningsanlegg er beskrevet i NS-EN 13201-4 Vegbelysning Del-4: Metoder for måling av belysningens ytelse. Innholdet i dette kapitlet er basert på denne.

Når man måler for å sammenligne med kalkulerte verdier, må målingene gjennomføres så nøyaktig at sammenligningen blir reell. Hvis målingene bare skal brukes for å vurdere tilstanden til et anlegg, holder det med et mer begrenset sett med målinger. I andre tilfeller vil det være tilstrekkelig med punktmålinger. Det er imidlertid viktig at målingene gjennomføres på samme måte hver gang.

4.2.1 Måleforhold

Stabilisering av lampene etter tenning

De fleste lamper trenger litt tid på å stabilisere seg. Anlegget bør derfor slås på minst en halv time før målingene starter. Ta gjerne kontrollmålinger med noen minutters mellomrom for å finne ut om lampene har stabilisert seg. For å sikre at stabiliteten opprettholdes under måleperioden, bør det gjennomføres flere kontrollmålinger i 1 – 3 målepunkter før, under og etter måleperioden.

Klimatiske forhold

- Høye eller lave temperaturer kan påvirke både lamper og måleinstrumenter.
- Kondens på måleinstrumentets overflate eller elektriske kretser kan påvirke nøyaktigheten.
- Kraftig vind kan få armaturene til å bevege seg i toppen av masten, eller få måleapparatet til å vibrere. Vinden kan også påvirke temperaturforholdene for sensitive lamper.
- Fuktighet på vegbanen kan påvirke luminansen herfra.
- Atmosfærens evne til å overføre lys kan variere. Dette påvirker lysmengden som når fram til den overflaten som skal måles (eller lyset som reflekteres fra overflaten ved luminansmålinger).

Fremmedlys og hindringer for lyset

Der man har direkte eller reflektert lys fra omgivelsene, i tillegg til vegbelysningen, må man korrigere for dette bidraget. Direkte eller reflektert lys kan for eksempel være fra butikkvinduer, lysreklame, trafikksignaler, lys på kjøretøyer eller snø i vegkanten.

For å få riktige verdier, kan det gjennomføres to sett med målinger: med veglyset av og på. Differansen utgjør veglysets bidrag.

Måleområdet bør være fritt for hindringer som kaster skygger (som for eksempel trær, busker, parkerte kjøretøyer eller gatemøbler).

Målinger gjort fra et kjøretøy i bevegelse

Kravene til observatørposisjon og lokalisering av målepunkter kan bli vanskelig å tilfredsstillere når det måles fra et kjøretøy i bevegelse. For å oppnå mest mulig pålitelige måleresultater, bør følgende punkter vurderes:

- For hvert målepunkt må lysmålerens plassering beskrives. Angi høyde og plassering sidevegs og på langs (koordinatsystem) i forhold til et fastpunkt, for eksempel kantlinjen.
- Effekten av for eksempel skygge fra bilen, lysrefleksjon og elektronisk støy fra bilen kan påvirke måleinstrumentet.
- Måleutstyr skal tilfredsstillere kriteriene for måling av belysningsstyrke eller luminans.
- Metodene som er brukt bør beskrives, og usikkerhetsmomentene må vektlegges.

4.2.2 Måling av belysningsstyrke

Kontrollmålinger av nye belysningsanlegg gjennomføres slik:

- Lysberegningene utføres med vedlikeholdsfaktor 1,0 og med den geometrien som gjelder for måleområdet.
- Anlegget bør ha vært i drift i minst 100 timer, slik at lampene har fått tilstrekkelig innbrenningstid.
- Anlegget ute i terrenget må stemme med den teoretiske modellen. Spesielt må følgende kontrolleres:
 - masteavstand
 - avstand fra kantlinje til mast
 - kjørebanebredden
 - at armaturen er montert i riktig høyde over vegen, vinkelrett på senterlinjen og med riktig armlengde
 - at armaturen har riktig helling og reflektorinnstilling
- Måleinstrumentet må ha en ytelse tilpasset formålet med målingene. Det henvises til CIE-publikasjon 53: 1982, Methods of characterising the performance of radiometers and photometers og CIE-publikasjon 69: 1987, Methods of Characterising illuminance meters and luminance meters – Performance, Characteristics and specifications.
- Måleinstrumentet må kalibreres.
- Måleområdet bør være tilnærmet horisontalt.

- Alle beregningenes målepunkter på vegbanen skal markeres.
- Den elektriske spenningen i en av mastene måles og loggføres under hele måleperioden.
- Temperaturen 1 m over vegbanen måles med intervaller på 30 minutter.
- Personen som bærer måleinstrumentet må ikke skygge for lyset.
- Måleinstrumentet skal plasseres horisontalt på vegen, og ikke høyere enn 20 cm over vegbanen.

Hvis det ikke er mulig å gjennomføre målinger i alle målepunktene, kan antall punkter reduseres, men nøyaktigheten vil da bli dårligere. Man kan finne maksimums- og minimumspunkt ved å søke seg fram.

4.2.3 Måling av luminans

- Et kalibrert luminansmeter som har en ytelse tilpasset formålet med målingene (CIE-publikasjon 53 og 69) bør brukes.
- Det tas utgangspunkt i rutenettet som er brukt i de teoretiske beregningene. Luminansmeteret plasseres i observatørens posisjon.
- Beregningsområdet begynner 60 m fra observatøren. Dette betyr at for å unngå overlapp på måleområdene, må luminansmeteret kunne begrense vinkelen på målekjeglen til minimum 2 minutter av buen i vertikalplanet og 20 minutter av buen i horisontalplanet.
- Som et alternativ kan det brukes et luminansmeter med en bredere målekjegle på en kortere avstand og i en lavere høyde. Det anbefales imidlertid at målekjeglen ikke overskrider 30 minutter, og at måleområdet på vegen ikke er større enn 0,5 m på tvers og 2,5 m på langs.
- For målinger av gjennomsnittlig luminans med bare én avlesning, skal måleapparatet ha en maske eller skjerm som gjør at bare lys fra det relevante måleområdet blir inkludert i målingen. Vinkelen på målelinjen skal være på $(89 \pm 0,5)^\circ$ fra normalen til vegoverflaten.
- Hvis luminansmeteret skal brukes til overvåking av luminansnivået, har man ikke like strenge krav til måleområdet avgrensning. Det er heller ikke nødvendig med absolutt kalibrering av instrumentet, men man må ta hensyn til at luminansmeteret svekkes gjennom levetiden.

4.3 Master og fundamenter

For klassifisering og krav til materialer og montering, vises generelt til håndbok 062 Trafikksikkerhetsutstyr – Funksjons- og materialkrav, Del 5 Oppsettingsutstyr. Vedrørende utforming vises det til håndbok 237 Veg- og gatelys.

4.3.1 Master

Mastene skal tilpasses det miljøet de monteres i, og være i henhold til overordnede belyningsplaner hvor disse finnes. Mastelengden skal tilpasses lyspunkthøyden, det vil si armaturens høyde over vegens senterlinje. Ved varierende høyder er teleskopmaster et alternativ. Ved bruk av store lyspunkthøyder bør nedfellbare master (eventuelt senkbare mastetopper) benyttes.

Hvis det er flere kabelselskaper som skal føre fram kabler, skal kablene legges i felles kabelgrøft slik at man unngår parallelle masterekker.

4.3.2 Krav til ettergivenhet

Ettergivende lysmaster klassifiseres i HE-master (høyt energiabsorberende, deformerbare master) og NE-master (ikke energiabsorberende, avskjæringsmaster). Mastene er testet etter NS-EN 12767 Ettergivende konstruksjoner for vegutstyr – Krav og prøvingsmetoder.

Ettergivende master skal brukes i følgende tilfeller:

- innenfor sikkerhetssonen når fartsgrensen er 60 km/t eller høyere (alternativt må masten sikres med rekkverk eller på annen måte plasseres slik at den ikke kan bli påkjørt)
- innenfor sikkerhetssonen på veier og gater med fartsgrense 50 km/t, dersom fartsnivået i form av 50 % -fraktilen er høyere enn 50 km/t og masten ikke er skjermet mot påkjøring
- hvis masten er plassert bak et vegrekkverk, men innenfor rekkverkets deformasjonsrom

Det er ikke nødvendig å bruke ettergivende mast i bygater dersom masten står helt inntil en husvegg, mur eller annen stiv innretning.

HE-master skal brukes for å begrense følgeskader eller sekundærulykker etter påkjørsel av masten dersom:

- det er viktig å fange opp kjøretøyer fordi det er fare for at de kan fortsette mot farlige sidehindre eller fjellskjæringer med utstikkende partier
- det er viktig å fange opp kjøretøyer for at de ikke skal kjøre på fotgjengere og syklister som befinner seg på vegens sideområde, for eksempel der det er gang- og sykkelveg

HE-master skal ikke brukes som erstatning for vegrekkverk.

Ved bruk av HE-master i midtdeler, bør minste midtdelerbredde være 3 m for å unngå at en påkjørt lysmast blir stikkende ut i kjørebanelen slik at den utgjør en fare for andre kjøretøyer.

Ved varierende sideterreng med noe behov for HE-master, kan disse brukes konsekvent for å få et enhetlig preg.

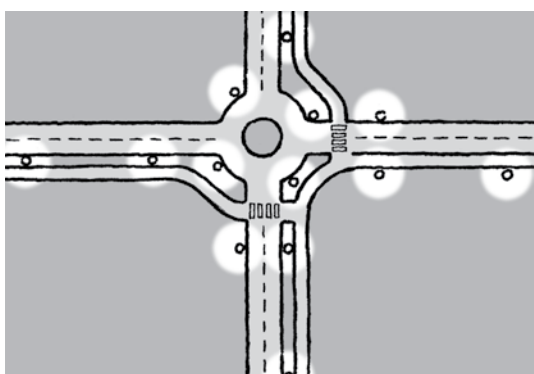
4.3.3 Masteplassering

Det er tre hovedprinsipper for plassering av master langs veg:

- ensidig
- tosidig (parallelt, sikksakk)
- midt

Det bør velges en løsning hvor én rad master løser oppgaven. Mastene bør plasseres inn mot stigende sideterreng. For å framheve den optiske føringen (perlerad) både i dagslys og mørke, bør mastene stå på samme side av vegen over lengre strekninger, uavhengig av inner-/ytterkurve.

Mastene bør ikke plasseres der det er mest sannsynlig at et kjøretøy kjører av vegen i en kurve eller i et vegkryss. Master plassert for eksempel ved utkjøringen fra en rundkjøring er spesielt utsatt.



Figur 4.7: Eksempel på belysning av rundkjøring

Ved belysning av rundkjøringen i figur 4.7 er mastene som omkranser rundkjøringen plassert nærmest innkjøringen for å redusere faren for påkjørsel. Gangfeltene har 2-sidig belysning. Belysningen på gjennomgående veger har beholdt samme side.

Avstand til veg og valg av side

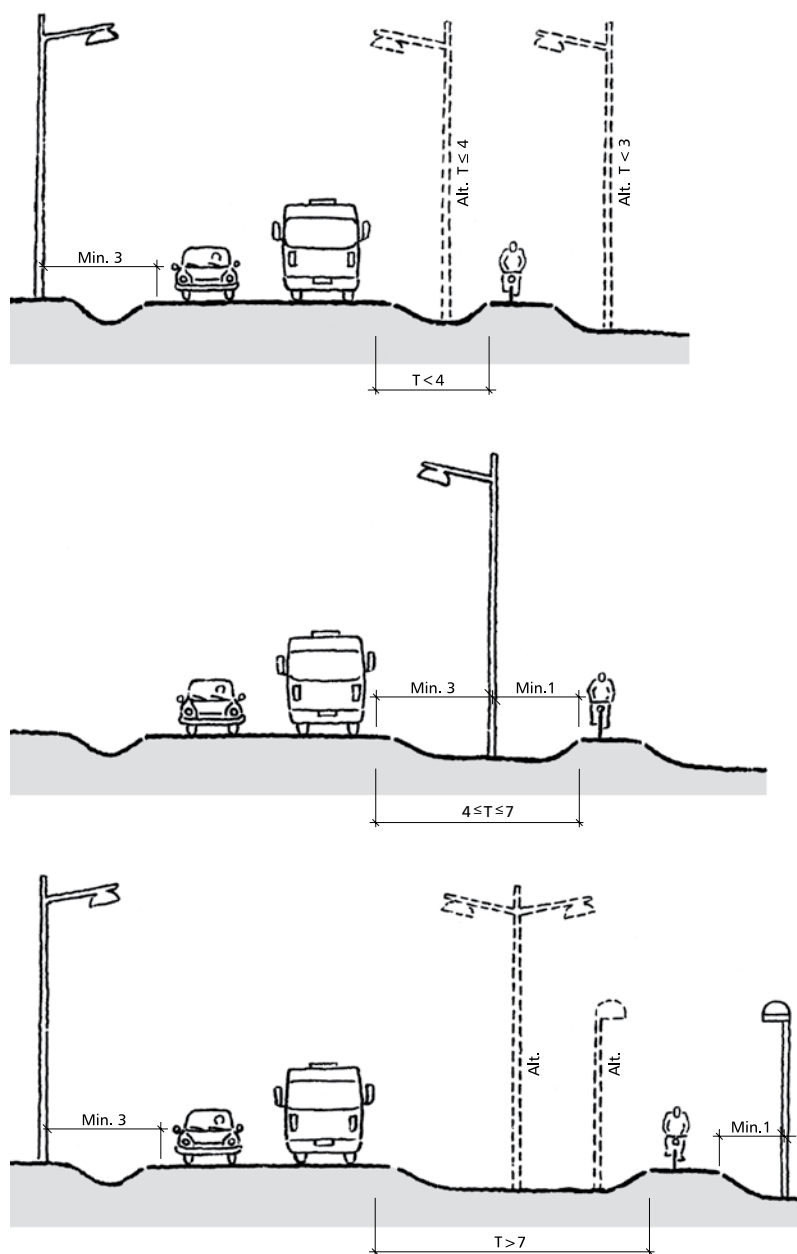
Ettergivende master bør plasseres minst 3 m fra kantlinja. Ikke-ettergivende master skal plasseres utenfor sikkerhetssonen, eller beskyttes med rekkverk, se håndbok 231 Rekkverk.

På veger med atskilte kjøreretninger bør mastene plasseres i midtdeleren hvis:

- midtdeleren er uten rekkverk og avstanden mellom kantlinjene er ≥ 6 m
- midtdeleren har rekkverk på begge sider, og det er tatt hensyn til rekkverkets deformasjonsrom ved valg av mastetype
- midtrekkverket er av betong og er dimensjonert for lysmaster

På 3-felts veg med midtrekkverk bør mastene plasseres på den siden som har to kjørefelt av hensyn til drift og vedlikehold. Utliggerarm må vurderes for å unngå mulige skyggeeffekter fra betongrekkverket.

På veger med høy trafikk bør driftskostnadene (kostnader ved arbeidsvarsling/stengning) tas med i vurderingen av masteplassering.



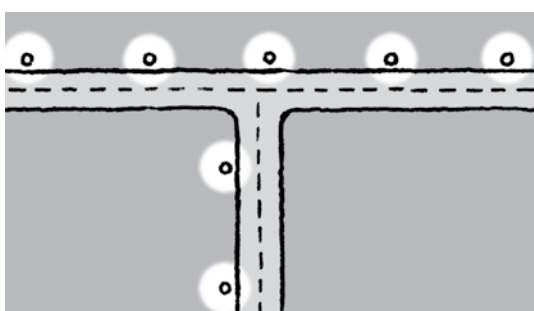
Figur 4.8: Plassering av master i forhold til hovedveg og gang- og sykkelveg avhengig av trafikkdelerens (T) bredde. T regnes fra hvit kantlinje (mål i meter)

Masteplassering i forhold til parallellført gang- og sykkelveg:

- Hvis mastene skal plasseres mellom hovedvegen og gang- og sykkelvegen, bør det være minst 4 m mellom den hvite kantlinja på hovedvegen og asfaltkanten på gang- og sykkelvegen for å få akseptabel plassering og gunstigst belysning på begge vegene.
- Hvis avstanden er mindre enn 4 m, bør mastene plasseres på den siden av hovedvegen hvor det ikke er gang- og sykkelveg. Plassering på utsiden av gang- og sykkelvegen bør unngås, da dette gir lavere luminansnivå på hovedvegen enn på gang- og sykkelvegen.
- Hvis avstanden er større enn 7 m, må det anlegges separat belysning for gang- og sykkelvegen.
- Generelt skal mastene plasseres 1 m fra asfaltkanten på gang- og sykkelvegen.

Kryss

I T-kryss er det viktig at det er lys bakgrunn på motsatt side av sidevegens innkjøring. Det bør derfor plasseres en mast rett overfor sidevegen.



Figur 4.9: Eksempel på belysning av T-kryss

Ved belysning av T-krysset i figur 4.9 gir masten i forlengelsen av sidevegen god oversikt over krysset for dem som kommer fra denne vegen. Mastene i sidevegen er plassert slik at de gir best belysning for de som svinger av.

Lysmaster bør ikke plasseres på trafikkøyer av hensyn til fare for påkjørsel. Et unntak er rundkjøringer. Her kan det settes opp en mast med 3 til 4 armaturer i sentraløya. I de rundkjøringene der det ferdes gående og syklende, bør mastene plasseres i ytterkant av rundkjøringen. Dette vil gjøre at disse trafikantene blir mer synlige. Samtidig må man sørge for at sentraløya er godt synlig.

Siktsoner

Enkeltmaster kan plasseres innenfor siktsonen.

Bomstasjoner, tollstasjoner, kontrollplasser m.v.

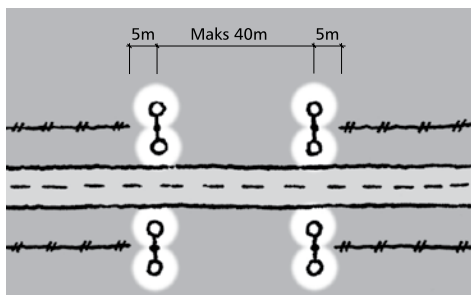
Masteplassering bør ta hensyn til at store kjøretøyer kan lage skygger for de som skal bevege seg rundt kjøretøyene.

Bussterminaler

Mastene plasseres slik at bussene ikke lager forstyrrende skygger for passasjerene.

Viltkryssinger

Det bør plasseres minst to master på hver side av vegen før kryssingsstedet, og hver mast bør ha to armaturer: én armatur rettet mot vegen og én mot terrenget.



Figur 4.10 Masteplassering ved viltkryssinger

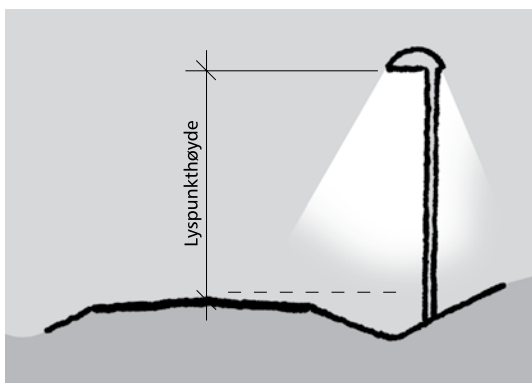
Ved viltkryssinger bør master plasseres som på figur 4.10, for å få opplyst områdene på begge sider av vegen ved kryssingsstedet. Dersom avstanden mellom mastene er større enn ca. 40 m, suppleres det med en mast i mellom.

4.3.4 Lyspunkthøyde

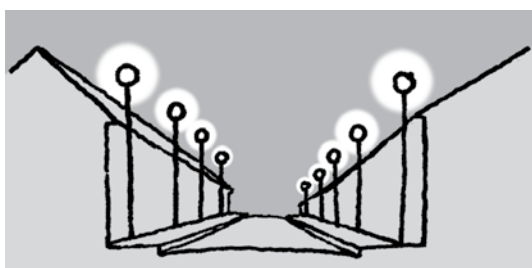
Armaturenes monteringshøyde over vegen tilpasses omgivelsene. Det anbefales følgende lyspunkthøyder:

Tabell 4.1: Anbefalt lyspunkthøyde

Vegtype	Lyspunkthøyde
Store kryssområder	Inntil 20 m
Motorveger	10 - 14 m
Hovedveger	8 - 12 m
Lokal- /sideveger	6 - 9 m
Plasser / terminaler	6 - 10 m
Gang- og sykkelveger (hvis de er separat belyst)	4 - 6 m



Figur 4.11: Lyspunkthøyde



Figur 4.12: Lysstolper som er høyere enn gesimslinjen er alltid vesentlig mer synlig enn lysstolper som er lavere



Figur 4.13: Lysstolper som er lavere enn gesimslinjen gir et rolig og mer visuelt tilfredsstillende inntrykk

4.4 Armaturer

Armaturene skal blant annet velges ut fra:
























- lystekniske egenskaper
- høy virkningsgrad
- lav blanding
- kapslingsklasse
- estetisk utforming (tilpassing til mast og miljøet omkring)
- funksjonell montasje og drift

4.4.1 Krav til armaturer

- Armaturen skal tilfredsstillende FEU.
- Armaturene skal også tilfredsstillende kravene i NEK EN 60598-1 Lysarmaturer – Del 1: Generelle krav og prøver og NEK EN 60598-2-3 Lysarmaturer – Del 2-3: Spesielle krav til armaturer for veg- og gatebelysning.
- Armaturen skal tåle de ytre påvirkninger som kan forventes på installasjonsstedet (for eksempel hærverk i underganger) i henhold til NEK 400, tabell 51A. Det skal kun benyttes armaturhus av metall eller med metallbelegg med gode varmeavledningsegenskaper.
- Armaturer skal minst tilfredsstillende IP 65 for lampehus (optikk) og IP 44 for forkoplingsutstyret. Det kan gjøres unntak for eldre anlegg hvor det er snakk om komplettering.
- Armaturens TA grad (Temperature around) skal være ≥ 25 °C.
- Optikk og forkoplingsutstyr skal være atskilt. Forkoplingsutstyret bør lett kunne skiftes.
- Det skal være montert strekkavlastere. Denne bør være en del av armaturhuset og ikke festes på elektroblokken. Strekkavlasteren skal være dimensjonert i henhold til oppføringskabel (se kapittel 5.1.6).
- Det bør velges løsninger som kan gjøre armaturen spenningsløs ved lampeskift.
- Plan avskjerming bør velges, men andre avskjermingsløsninger kan vurderes i tettbygd strøk.
- Plan eller halvkrummet avskjerming skal være utført i herdet glass.
- Ved bruk av metallhalogenlamper må armaturens skjerm være i herdet glass, hvis ikke lampen er spesiallaget for montering i åpen armatur (bruk av spesiallamper gir lavere lysutbytte). Se NEK EN 62035 Utladningslamper – Sikkerhetsspesifikasjoner.
- Armaturer i klasse 2 (dobbelisolerte) bør brukes hvis teknisk mulig.
- Armaturen skal være fasekompensert $\cos\phi \geq 0,9$ og være utstyrt med utkoplingsautomatikk (cut-off) for å unngå blinkende lys når lampene nesten er utbrent.

- Armaturen skal være merket med symboler. Symbolene brukes til å identifisere lampetype og lampestørrelse, og skal være synlige fra bakken. Se tabell 4.2.
- Toppstykke med kort arm skal monteres på mastetoppen hvis vegen stiger eller faller i lengderetning med 3 % eller mer. Armaturen skal vris slik at den følger vegen. Da blir blendingen redusert og langsgående jevnhet blir bedret.
- Når armaturene er montert på mast, bør dens helningsvinkel være mellom 3 og 10 grader. Enkelte armaturer har vinklet skjermen oppover i forhold til armaturen, og skjermens totale helningsvinkel bør da ikke være større enn 10 grader.

Tabell 4.2: Merkesymboler for lamper til å feste på armaturene.

	35 W	50 W	70 W	80 W	100 W	125 W	150 W	250 W	400 W
Metalldamp (kvikksølv)									
Metallhalogen									
Høytrykknatrium Ellipsoideform									
Høytrykknatrium Rørform									

Symboler merket med E, viser lamper med eksternt tennapparat

4.4.2 Forkoplingsutstyr

Bruk av elektronisk forkoplingsutstyr gir lampene ideelle spenningsforhold som forlenger levetiden betydelig, gir lavere startstrøm for anleggene og reduserer tapet i reaktoren med noen prosent. Det har vist seg at kondensatorens virkning avtar etter noen år slik at strømforbruket øker. De bør derfor skiftes samtidig med hvert andre lampeskift. Dette problemet unngås ved bruk av elektronisk forkoplingsutstyr.

Elektronisk forkoplingsutstyr finnes i to hovedvarianter: dynamiske (for nedregulering) og statiske (ikke for nedregulering).

Elektronisk forkoplingsutstyr skal velges hvis slikt utstyr finnes for den aktuelle lampestørrelsen. Alt elektronisk forkoplingsutstyr skal baseres på kommunikasjon med åpne protokoller, for eksempel bruk av 1 – 10 V som styresignal.

Ved bruk av magnetiske reaktorer bør det være separate utgangsklemmer for 220, 230 og 240 V slik at lampene kan tilkobles med så riktig spenning som mulig i forhold til avstanden fra fordelingen. Metallhalogenlamper er spesielt sensitive for variasjoner i forsyningsspenningen.

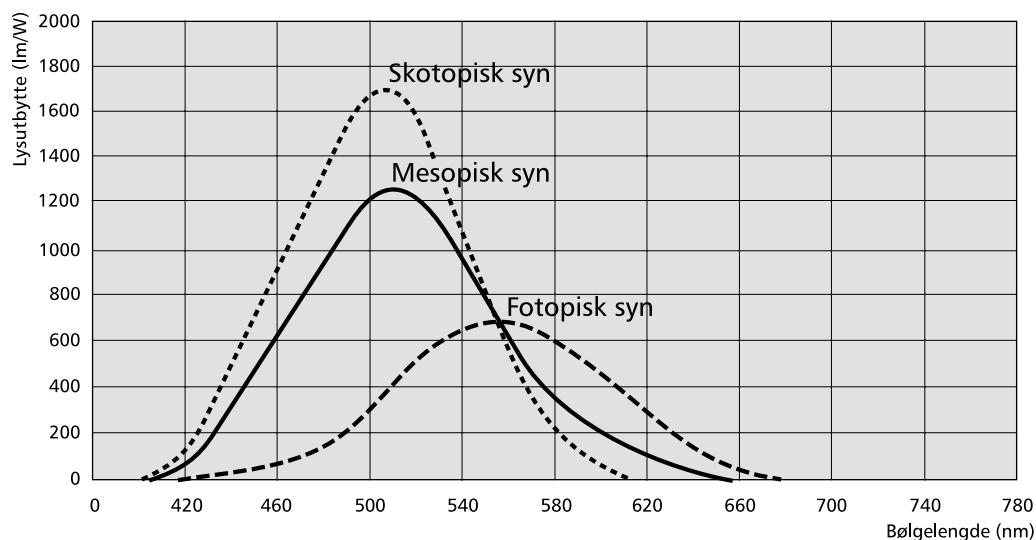
4.5 Lyskilder

Dagslyset inneholder hele fargespektret, mens de fleste kunstige lyskilder bare sender ut lys i deler av spektret. Kunstig lys har derfor dårligere evne til å gjengi riktige farger på de objektene som belyses.

Som lyskilde til vegbelysning står valget i dag mellom høytrykksnatriumlamper og metallhalogenlamper med keramisk brenner. Lysdioder (LED) kan også bli en aktuell lyskilde til vegbelysning, men foreløpig finnes det nesten ikke veglysarmaturer med LED på markedet.

Høytrykksnatriumlamper har i mange år vært dominerende på grunn av høyt lysutbytte og lang levetid. I de siste årene har metallhalogenlamper kommet mer i bruk på grunn av bedre fargegjengivelsesevne. Disse har kortere levetid enn høytrykksnatriumlampene, men levetiden har etter hvert økt kraftig. Lyset fra metallhalogenlampene har en fargesammensetning som er bedre tilpasset øynenes følsomhet enn det lyset høytrykksnatriumlampene har.

Øynenes maksimale følsomhet og beste synsevne forskyver seg fra den gule delen av fargespektret mot den blå delen av spektret når lysnivået endrer seg fra dagslys til nattlys (Purkinjes fenomen). Det er tatt lite hensyn til dette fenomenet selv om det har vært kjent svært lenge. Både normer, kravspesifikasjoner og måleinstrumenter er tilpasset øynenes dagslysegenskaper, og ikke øynenes egenskaper ved de lave belysningsnivåene vi har ved vegbelysning. Figur 4.14 på neste side viser kurver for øynenes spektrale følsomhet ved dagslys (fotopisk syn), nattlys (skotopisk syn) og kunstig belysning slik som vegbelysning (mesopisk syn).



Figur 4.14: Øynenes spektrale følsomhet ved dagslys (fotopisk syn), nattlys (skotopisk syn) og kunstig belysning slik som vegbelysning (mesopisk syn)

Når kurvene for øyets spektrale følsomhet sammenholdes med lyskildenes spektrale energifordeling, ser man at metallhalogenlampene har et spektrum som er bedre tilpasset det mesopiske synet enn høytrykksnatriumlampene. Fordelen med metallhalogen framfor høytrykksnatrium øker med avtagende luminans og med økende avstand fra synsakse til objekt. Det betyr at fordelene er særlig stor når det gjelder å oppdage fotgjengere, dyr, kjøretøy eller andre hindringer i vegkanten eller på veg inn mot vegkanten.

Lyskildens spektralfordeling har også stor betydning for lysets evne til fargegjengivelse. Produsentene oppgir gjerne både den totale fargegjengivelsesindeksen R_a , spektralfordelingen, og den korrelerte fargetemperaturen T_c som måles i Kelvin (K). Man skal være oppmerksom på at det kan være store variasjoner mellom lyskilder av samme type. $R_a > 80$ indikerer god fargegjengivelse, men vi bør også påse at alle deler av fargespektret er godt representert. Fargetemperaturen sier mer om lysfargen enn om fargegjengivelsen. Ved fargetemperaturer under 3 000 K oppleves lysfargen som varm, mens den ved temperaturer over 3 300 K oppleves som kald. Dagslysets fargetemperatur er høy, og på klare dager har himmellyset en fargetemperatur som ligger i området 11 000 – 13 000 K.

Høytrykksnatriumlamper har dårlig fargegjengivelse, og sender ut lys som ligger i den gule, oransje og røde delen av spektret. Objekter med disse fargene (også brunt) blir derfor svært lite synlige.

Metallhalogenlamper har god fargegjengivelse. Nytten av å ha en god fargegjengivelse er særlig stor på veger og områder hvor det ferdes mange fotgjengere.

Metallhalogen gir bedre synsforhold enn høytrykksnatrium ved de luminansnivåer vi får fra vegbelysningen, og fordelene er særlig stor når det gjelder å oppdage fotgjengere og dyr ved vegkanten. Fordelen ved overgang til metallhalogen bør foreløpig hovedsakelig tas ut som trafikksikkerhetsgevinst, men ved valg av belysningsklasse (kapittel 3.3) kan man redusere luminansnivået med 10 %.

Det finnes også andre lyskilder til å belyse ulike trafikkområder, og valg av lyskilde vil avhenge av krav til belysningsnivå, energieffektivitet og evne til fargegjengivelse.

Tabell 4.3: Anvendelsesområde for ulike lyskilder

Lyskilde	Anvendelsesområde
Metallhalogen	Vegbelysning i tettsteder med mye gang- og sykkeltrafikk, miljøgater, gang- og sykkelveger, torg og i parker
Høytrykksnatrium	Vegbelysning utenfor tettbygd strøk og i mindre ømfintlige områder i tettsted, gang- og sykkelveger
Lavtrykksnatrium	Benyttes ikke i nye belysningsanlegg pga dårlig fargegjengivelse
Metalldamplamper (kvikksølv)	Benyttes kun ved komplettering på eksisterende anlegg (Ikke energieffektive)
Kompaktlysrør	Gang- og sykkelveger, torg og parker
Lysrør	Gang- og sykkelunderganger
Induksjonslamper	Gang- og sykkelveger, torg og parker, og på spesielt vanskelig tilgjengelige steder
Lysdioder	Ledebelysning

Det er stor forskjell på lyskildenes kvalitet. Enkeltskift er dyrt, og det er derfor avgjørende for driftsutgiftene at en velger lyskilder som har lite utfall.

Krav til lyskilder:

- Lyskilder skal oppfylle sikkerhetskrav til temperatur i NEK EN 62035 Utladningslamper (unntatt lysrør) – Sikkerhetsspesifikasjoner.
- Lyskilder skal tåle vibrasjon og mindre rystelser som forekommer ved normale driftsforhold uten forringelse av kvalitet.
- Lyskilder skal ha fargetemperatur $T_c \geq 2\ 000\ K$ og fargegjengivelsesindeks $R_a \geq 20$.
- For anlegg i tettbygde strøk, og med stort innslag av syklistene og fotgjengere, skal en legge ekstra vekt på å oppnå gode synsforhold. For slike anlegg bør det velges lyskilder med $T_c > 2\ 800\ K$ og $R_a > 65$. Selv om dette vil gi noe økte driftskostnader, vil synsopplevelsen bedres og trafikksikkerheten øke.
- Høytrykksnatriumlamper skal ha minst 4 års/16 000 timers levetid og ikke utfall på mer enn 2 %.
- Metallhalogen med keramisk brenner skal ha minst 2,5 års/10 000 timers levetid og ikke utfall på mer enn 2 %.
- For andre lampetyper settes det krav om levetid i henhold til hva som er mulig.
- Det skal framlegges dokumentasjon og diagram som viser:
 - servicelevetid
 - økonomisk levetid
 - fargetemperatur (T_c)
 - fargegjengivelse (R_a)

Tabell 4.4: Tekniske data for aktuelle lyskilder

Lyskilde Benevning	Metalldamp lampe	Metall- halogen	Metallhalogen m/keramisk brenner	Høytrykks- natrium	Kompakt- lysrør	Lysrør	Induksjons- lamper
Internasjonal betegnelse, ILCOS	QE	ME, MR, MT	MD	ST, SE	FSD	FD	
LBS - betegnelse	HME	HIT, HIE, HIT-DE	HIT-CRI	HST, HSE	TC-L	T 8	LMT-SIHf
Eks. på produsent- betegnelse	HQL, HPL	HQI, HPI	HCI, CDO	NAV/S SON/T	Dulux L, PL-L	Dulux D, TL-D	Endura, QL
Effekt (W)	50 - 1000	70 - 3500	35 - 150	50 - 1000	18 - 55	36 - 58	55 - 165
Lysytelse (klm)	2 - 58	5,5 - 320	3,4 - 14	3,5 - 130	1,2 - 4,8	2,85 - 4,6	3,5 - 12
Lysutbytte (lm/W)	35 - 60	65 - 120	87 - 100	80 - 150	65 - 80	60 - 96	63 - 80
Fargetemperatur (K)	2900 - 4200	3000 - 6000	2800 - 4200	2000	2700 - 4000	2900 - 4100	2700 - 4000
Fargegjen- givelsesindeks (R_a)	45 - 60	80 - 95	85 - 95	20 - 25	80 - 90	51 - 63	> 80
Levetid (i 1000 timer)	10 - 16	6 - 10	10 - 15	14 - 32	8 - 10	20 - 48	> 60

4.6 Krav til levetid

Komponenter for veglys har varierende levetid. For utstyr som har kortere levetid enn 30 år, skal man ta med kostnader ved utskifting når man beregner driftskostnadene.

Krav til levetid er vist i tabellen nedenfor.

Tabell 4.5: Krav til levetid

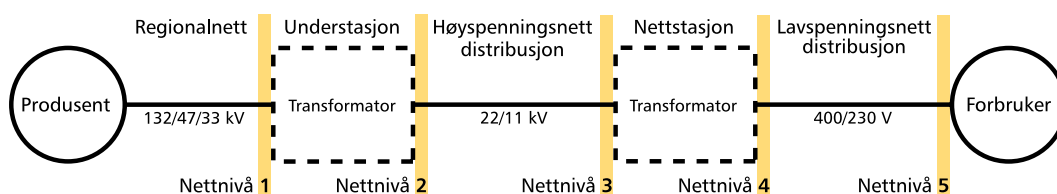
Master og fordelingsskap		30 år
Kabler		40 år
EX hengeledninger		30 år
Lysarmaturer		20 år
Styringsautomatikk og elektroniske deler		minst 10 år
Kondensatorer i armaturer med magnetiske reaktorer ¹⁾		8 år
Lyskilde	Høytrykksnatrium	4 år med maksimalt 2 % utfall
	Metallhalogen	2,5 år med maksimalt 2 % utfall
	Andre lyskilder har annen levetid som må oppgis fra leverandør	
<p>¹⁾ Det har vist seg at kondensatorens virkning etter noen år avtar på en slik måte at strømforbruket øker. De bør derfor skiftes samtidig med hvert andre lampeskift.</p>		

5 Elektrotekniske krav

5.1 Kraftforsyning og fordelingsnett

For å redusere energikostnadene, kan det være aktuelt å kjøpe kraften på et høyere nivå enn nivå 4 og 5 som har vært vanligst til nå. Energiloven åpner for dette.

Besparelsen ved å være tilknyttet på et høyere spenningsnivå kan imidlertid endre seg over tid, fordi nettselskapet har anledning til å endre tariffene. Sluttbruker må betale alt fra og med målepunktet.



Figur 5.1: Ulike nettnivåer

Kraftforsyning og måling på nettnivå 3

Levering og måling skjer i nettstasjonen på høyspenningssiden av transformatoren.

Energiloven sier at de som skal bygge og drive elektriske anlegg med spenning over 1000 volt, må ha anleggskonsesjon. En slik konsesjon tildeles det selskapet som skal stå for bygging og drift av elektriske anlegg. Det er altså drifter, og ikke eier, som skal ha konsesjonen (forutsatt at drifter og eier er to forskjellige selskaper). Krav til søknad om anleggskonsesjon er beskrevet i energilovsforskriften (FOR 1990-12-07 nr. 959). Kravene er nærmere forklart i NVE's veileder i utforming av konsesjonssøknader (Publikasjon nr. 21, 1991).

Firmaer som skal utføre prosjektering, bygging, drift og vedlikehold må være registrert hos Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i det aktuelle virkeområdet.

Hvis Statens vegvesen har bekostet en nettstasjon, kan det være en fordel at Vegvesenet er eier.

Kraftforsyning og måling på nettnivå 4

Levering og måling skjer i nettstasjonen på lavspenningssiden av transformatoren.

Kraftforsyning og måling på nettnivå 5

Levering og måling skjer i fordelingsskapet på lavspenningssiden i abonnentens fordeling.

5.1.1 Systemspenning

For nye anlegg skal systemspenning være 400 V TN-C-S eller TN-S, med bruk av 4- eller 5-leder fra nettstasjon fram til første fordeling, og med videreføring herfra som et rent 5-ledersystem.

Hvor 400 V ikke er tilgjengelig fra nettleverandør, skal det monteres en 230/400 V trafo med atskilte viklinger i fordelingen slik at det blir mulig å etablere et TN-S-anlegg.

5.1.2 Energimåling

Alle anlegg skal energimåles. Foruten bruk av tradisjonelle målere er det blitt tillatt å avregne energi ved hjelp av godkjente registre for veglysanlegg. Målerne bør kunne fjernavleses med toveiskommunikasjon.

Lysanlegget bør forsynes fra nærliggende tunnelanlegg der dette er mulig for å unngå ekstra målepunkt.

Hvis Vegvesenet bekoster nettstasjoner med mellomliggende høyspenningsnett, skal energien summasjonsmåles. For umålte anlegg kan målingen skje ved registrering av innkoplingstiden og installert effekt.

Anlegg med større forbruk enn 100 MWh skal timemåles, se § 3-3 i Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester, FOR 1999-03-11 nr. 301.

5.1.3 Fordeling

Krav til plassering, oppbygging og innhold i strømfordeling:

- Fordelingsskap skal plasseres med tanke på rasjonell og sikker drift, og det skal være mulig å parkere like ved. Det må ved plassering av skap og parkeringsplass påses at de ikke utgjør noen fare for alvorlige trafikkulykker. Skapdør bør vende bort fra vegen, og skapet må merkes med snømarkør.
- Fordelingsskap skal være utført med minimum IP 55, ha trykkutjevningssnippel og være bygget etter NEK EN 60439-5 Lavspennings koblings- og kontrollanlegg del 5.
- Til oppbygging av fordelingen skal det minimum brukes formkrav 2. For anlegg større enn 200 A skal formkrav 4A benyttes, se NEK EN 60439-1.
- Reserveplass for en hensiktmessig utvidelse av fordelingene skal være minst 30 % og gjelder innenfor hver gruppe/hvert felt, samt i ledningskanaler internt i fordelinger.
- Man må ta hensyn til automatikkleverandørens krav til skapet og innholdet i det.
- Alle kabler skal føres inn/ut i bunn av fordelingen via sokkel/fundament.
- Skap skal merkes utvendig med skilt som angir id-nummer, spenningsnivå og eventuelt kompetansenivå for å ha tilgang til innholdet (BA1, BA4 eller BA5 i henhold til NEK 400, tabell 51A).
- Kabler og fordelingskomponenter skal merkes i henhold til forskriftene og normene.
- Jordfeilbrytere bør monteres. Det beste er én for hver mast (kombinert belastningsvern og jordfeilbryter), alternativt én for hver kurs. Jordfeilbrytere må:
 - velges ut fra anleggets normale lekkasjestrømmer og de styresignaler som vil opptre
 - være tidsforsinket og støtstrømsikker opptil 5 kA
 - ikke ha større utløserstrøm enn den dimensjonerende jordfeilstrømmen oppgitt av netteier
- Termostatstyrt varmeelement monteres.
- Måler monteres.
- Fordelingsskapene skal være utstyrt med vendere med stillingene AV – PÅ – AUTO.
- Automatiske og manuelle funksjoner som bør kunne betjenes er:
 - tenning
 - regulering
 - slukking
 - omkopling til lokal funksjon
- Lokal fotocelle i fordelingene skal ivareta tenning og slukking hvis sentral styring faller ut.

- I tillegg kan følgende automatiske funksjoner medtas i forbindelse med prosjektering av anleggene:
 - logging (tilstand og historikk)
 - alarmer til styringssystemet
 Utvidete funksjoner i et moderne veglysanlegg på høytrafikkert veg kan være:
 - logging av effekt via måler eller timeteller
 - rapportering av levetid
 - alarm for kursutfall
 - alarm for jordfeil
 - regulering av lysnivå
 - hendelser
 - omlegging av veg
 - drifts- og vedlikeholdsfunksjoner
 - frakopling for service og vedlikehold

5.1.4 Veglyskabler

Kabler bør legges i trekkør. Reservetrekkør bør også legges (minimum DV 75 mm).

Jordkabel i grøft skal være av type PFSP med minimum tverrsnitt 4 x 25 Al/10 eller 4 x 16/16. Ved oppføring i mast føres kabelen i sløyfe til stolpeinnsatsen i masteluke.

Ved bruk av luftstrekk benyttes isolerte selvbærende hengeledninger type EX med minimum tverrsnitt 4 x 25 Al. Det kan benyttes 4-leder hvis anlegget bygges dobbeltisolert. Skulle det være behov for 5-leder benyttes kabeltype PFSP montert på bærewire (referanseinstallasjonsmetode F, NEK 400). Ved alle koplingspunkt skal N- og jordlederen merkes med henholdsvis blå og gul/grønn farge, eller N og PE. Merkingen skal utføres med krympestrømpe eller merkeskilt som stripses til lederne.

I tremaster skal luftledningene med spenninger på 400 V og høyere merkes med skilt som angir spenningsnivå ved alle masteoppheng.

5.1.5 Jordingsanlegg

Jordingsanlegg etter forskriftene krever maksimalt 50 V berøringsspenning.

Blank jordledning, minimum KHF 25 Cu, skal legges i alle grøfter parallelt med veglyskabelen.

I grøft ved mastefot skal det lages en avgrening med thermicsveis eller C-press med PN 25 gul/grønn ledning som føres isolert opp i mast og tilkoples jordingsklemmen i koplingsluken. Veglyskabelens jordledning tilknyttes den samme klemmen.

Anlegg med luftledninger bør om mulig bygges dobbeltisolert. Det monteres avledere (5 kA) i fordelingene for å beskytte mot atmosfæriske overspenninger i fordelingsnett.

Hvis anlegget ikke er dobbeltisolert og det benyttes master av ledende materiale, må det høyst sannsynlig bygges jordingsanlegg ved hver mast. Kravet til maksimum berøringsspenning og utkoplingstid vil være avgjørende.

5.1.6 Oppføringskabel

Kabel i mast fra stolpeinnsats og jordklemme til armatur skal være i flertrådet utførelse og av type PFXP 2 x 2,5/2,5 eller tilsvarende.

5.1.7 Stolpeinnsats

Stolpeinnsatsen skal være en dobbeltisolert boks i IP 65, med en flerpolet automatsikring, eventuelt også med jordfeilbryter.

5.1.8 Fotocelle

Fotocelle i IP 65 må tilpasses anlegget samt eventuelle krav fra leverandøren av styre- og overvåkingssystemet.

Fotoceller monteres vertikalt (gjerne nordvendt) og slik at det ikke påvirkes av annet lys.

Innkopling bør skje på et belsningsnivå som er litt høyere enn det som skal gjelde for vegbanen, og utkopling bør skje ved et belsningsnivå som er likt eller litt lavere. Problemet er at vanlige fotoceller som oftest vil slukke lyset ved omtrent dobbelt så høy luxverdi som ved tenning. Det er derfor nødvendig å benytte elektroniske fotoceller med to utgangsreléer eller et egnet styringssystem (PLS, dataprogram) som kan greie dette. Det anbefales at lysanlegget tenner ved 20-30 lux og slukker ved ca. 20 lux. I enkelte tilfeller kan det være behov for å legge inn et tidsrelé for å hindre slukking kort tid etter tenning.

5.1.9 Selektivitet

Feil i en mast eller armatur skal, hvis teknisk mulig, ikke føre til utkopling av hele anlegget. Det skal således være tilstrekkelig selektivitet mellom vernet i den enkelte mast og i fordelingen. Sikringsstørrelse og karakteristikk skal velges så man har selektivitet ved kortslutning i belsningsutstyret.

5.2 Styring og regulering av vegbelysning

Med styring menes det at lyset slås av og på med styrekommandoer som kan være tidsstyrt eller kontrollert av fotoceller.

Med regulering menes det at lysstyrken justeres opp eller ned avhengig av variasjoner i for eksempel lysforhold, trafikkforhold, vegdekkets lyshet, tørr og våt veg eller forhold ved omgivelsene. En slik regulering kan være særlig energieffektiv i Norge, hvor vi har lange overgangsperioder mellom natt og dag samt perioder med snødekke langs vegene.

5.2.1 Sentral eller lokal styring?

De fleste anlegg blir styrt ved hjelp av fotoceller som måler belysningsstyrken i lux. Fotocellen kan være montert lokalt og tilknyttet den enkelte fordeling, eller den kan være tilkopleet et sentralt styresystem som gir kommandoer til flere fordelinger langs vegene. Vegbelysningen i Oslo tenner for eksempel på ca. 20 lux og slukker på ca. 50 lux via et sentralt styresystem, men slukking skal generelt skje på et lavere luxnivå enn tenning, se kapittel 5.1.8.

Nye anlegg i Oslo styres etter astronomisk ur, der lyset tennes 15 minutter etter at sola har gått ned og slukkes 15 minutter før sola står opp. Solas posisjon er da 0,8 grader under horisonten, og det tilsvarer et belysningsnivå på omtrent 15 lux ved dårlig vær.

For optimal drift tilpasset lokale lys- og trafikkforhold, vil det være riktig å basere styringen på lysmålinger og trafikkmengde i hvert område. Dette er også en viktig forutsetning for at belysningsanleggene i størst mulig grad skal kunne virke som autonome (selvregulerende) enheter. Anleggene kan styres av lokale målinger hvis kommunikasjonen mot sentrale systemer faller ut.

Det bør legges til rette for at anlegg på hovedveger og i urbane strøk skal kunne overvåkes og eventuelt styres fra vegtrafikksentralene (VTS) eller fra en lokal driftsentral. Den elektriske installasjonen skal ses på som én enhet når en planlegger styringen, slik at en kan utnytte felles system og styringskabler, eksempelvis for trafikktekniske installasjoner og tunnelstyring. Systemet skal kunne utvides uavhengig av leverandør.

5.2.2 Tekniske løsninger

Det finnes i hovedsak tre måter å styre og regulere vegbelysningsanlegg på:

- 1) Inn-/utkopling av veglyskursene ved hjelp av kontaktorstyring i fordelingen. Dette kan styres av klokke, fotocelle, luminansmeter, styresignal fra annen fordeling, sensor for trafikkthet, værstasjon eller kombinasjon av disse.
- 2) Nedregulering til ca. 50 % lysytelse (ca. 30 % energibesparelse) ved hjelp av konvensjonell reaktor med midttuttak (to-trinns nedregulering). Dette kan gjøres med tidsprogrammering av reaktor/armatur. Armaturene tennes alltid med full effekt, og tidsrommet for nedregulering regnes som antall timer før og etter et tidspunkt som ligger midt mellom tenning og slukking. Løsningen krever ingen ekstra styreledninger.

En annen løsning vil være å legge en ekstra styrekabel. Ved å spenningssette denne kablen tilkoples reaktorens laveste ytelse på 50 %.

- 3) Trinnløs nedregulering til inntil ca. 20 % av lampens maksimale lysfluks ved hjelp av elektronisk forkopling. Dette muliggjør situasjons- og øyeblikksbestemte lysnivåer, noe som gir optimal behovstilpasning.

Det er to hovedprinsipper for trinnløs regulering, analog teknikk med 1–10 V signalspenning og digitalteknikk. Digitalteknikken videreutvikles stadig. Spesielt interessant er adresserbare systemer. Her bruker man åpne kommunikasjonsprotokoller basert på industristandard, for eksempel:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface, NEK EN 60929 punkt E), som er en BUS-basert, standardisert, adresserbar protokoll som brukes av de fleste produsenter av elektronisk forkoplingsutstyr i Europa. Det er et fleksibelt avansert system som har hatt stor betydning for belysningsbransjen de siste årene.
- LonWorks og EIB er to andre åpne protokollstandarder som underbygges av mange verdensomspennende firmaer.

Kommunikasjonen med armaturene kan foregå med signal-/fiberkabel, radio eller telefon. Mest aktuelt er imidlertid Power line – kommunikasjon (PLC) via tilførselskablet.

Elektronisk forkoplingsutstyr kan som nevnt avdekke lampeutfall i den enkelte armatur. Måling av lampestrøm vil i tillegg gi mulighet for å følge med i armaturens energiforbruk, samt innstilt nivå ved behovsstyrt lysregulering.

5.2.3 Krav til styring og regulering av vegbelysningsanlegg

- Fotoceller og tidsstyring til tenning, slukking og regulering skal optimaliseres. Utstyrets kvalitet og plassering vil være helt avgjørende for effekten.
- For styring og regulering skal det brukes utstyr med åpne kommunikasjonsprotokoller basert på industristandard.
- På grunn av skiftende vær-, føre- og dekkeforhold og belysningsanleggets tilstand, kan det reelle luminansnivået være høyere enn kravet tilsier. Et anlegg kan nedreguleres slik at målt luminansnivå blir lik kravet til belysningsklassen.
- Ved nedregulering skal minimum følgende krav oppfylles i nedregulert tilstand:
 - MEW4 for vegger uten midtrekkverk
 - MEW5 for vegger med midtrekkverk, boligater med fartsgrense 30 km/t og plasser
- Et vegbelysningsanlegg kan nedreguleres i den perioden timetrafikken er betydelig lavere enn timetrafikken for øvrig i mørket. Dette er særlig aktuelt når luminansnivået er over 1 cd/m². Det er viktig at belysningen ikke nedreguleres for tidlig på kvelden av hensyn til andre trafikantgrupper. Ved trinnløs nedregulering kan en tenke seg en periode med 25 % reduksjon før det blir 50 % reduksjon senere på kvelden/natten. Ved bruk av reaktor med midtuttak vil demping med 1 time før midtpunktet og 5,5 timer etter midtpunktet tilsvare en demping fra klokken 23:00 til klokken 05:30 med vintertid og klokken 00:00 til klokken 06:30 med sommertid.

6 Rehabilitering av belyningsanlegg

Eldre vegbelyningsanlegg på riksvegene er ofte bygget ut av kommuner, netteiere eller velforeninger. Anleggene er vanligvis umålt, og energikostnadene blir beregnet ut fra et bestemt antall brukstimer per år (4 000 – 4 100). Som oftest er belyningsanleggene bygget ut som en del av et større nett, slik at en utskillelse vil kreve en omfattende ombygging. Hvis utskillelse ikke kan forsvares, må drifts- og vedlikeholdsansvaret, samt kostnadsfordelingen avklares mellom partene.

Det er et hovedmål at anleggene skal energimåles, og i størst mulig grad skilles fra andre belyningsanlegg tilhørende kommuner, nettselskap og andre. Dette for å kunne kontrollere energibruken og avklare hvem som har ansvar for drift og vedlikehold.

Generelle krav for overtakelse/rehabilitering

Det legges følgende retningslinjer til grunn for rehabilitering og overtakelse av belyningsanlegg:

- Tidligere eier må beskrive og vise på tegning grensesnittet mellom vegeier og netteier for det elektriske anlegget.
- Tidligere eier må framskaffe tegninger som angir plassering av alle master, fordelingskap, trekkekummer og kabeltrasé. Det som ikke vises på kartet skal måles inn med GPS og overleveres på SOSI-format, se vedlegg 3.
- Tidligere eier må framskaffe lysberegninger for eksisterende anlegg.
- Ved behov for rehabilitering må det gjøres en analyse for å se om det er lønnsomt å bygge videre på det gamle anlegget, eller om det bør bygges nytt.
- Nye belyningsanlegg skal følge kravene gitt i denne håndboken.

Hvis det ikke lenger er behov for belyningsanlegget

Før rehabilitering eller overtagelse finner sted, skal det alltid bedømmes om det er behov for belyningsanlegget i henhold til dagens retningslinjer.

Når det ikke er behov for belyningsanlegget, kan følgende alternativer være aktuelle i prioritert rekkefølge:

1. Belysningsanlegget fjernes av eier.
2. Annen part ønsker å opprettholde belyningsanlegget: Anlegget oppgraderes etter dagens krav av den annen part, som også forestår framtidig drift og vedlikehold.
3. Vegeier og annen part ønsker å opprettholde belyningsanlegget av andre enn rent sikkerhetsmessige grunner: Anlegget oppgraderes etter dagens krav. Kostnadene fordeles etter avtale. Framtidig drift og vedlikehold ivaretas av vegeier.

Hvis det fortsatt er behov for belyningsanlegget

Belysningsanlegg som tilfredsstillter dagens krav overtas vederlagsfritt av vegeier. Ved fellesføringer på tremaster overtas kun luftledninger, utliggere og armaturer. Vegeier inngår avtale med eierne av fellesføringen om hvem som har det driftsmessige ansvaret (FEF § 2-12). Kostnader for eventuell etablering av målearrangement bekostes av vegveier.

Ved overtagelse skal belyningsanlegget være i orden:

- rustne og bøyd stålmaster samt skadde tremaster skiftes ut
- master rettes opp
- armaturer skal være rengjort, ha riktig helling og være montert vinkelrett på vegens senterlinje
- vegetasjon ryddes

Når belyningsanlegget ikke tilfredsstillter dagens krav, legges følgende til grunn:

- Vegeier overtar ikke blanke luftledninger og armaturer med metalldamplamper (kvikksølv). Det vurderes om armaturene må skiftes ut i sin helhet på grunn av elde, avskjerming og energibruk. Dagens eier fjerner gamle ledninger og armaturer og setter opp nye armaturer som tilfredsstillter håndbokens krav. Alternativt må overtagelsen utsettes til vegeier kan prioritere en opprustning over sitt budsjett.
- Ved behov for supplering av master, bekoster vegeier disse.

- Ved behov for utskifting, oppretting og supplering av master i fellesføringsanlegg, fordeles kostnadene mellom partene i henhold til inngått avtale.
- Hvis tidligere belysningsanlegg har vært integrert med andre anlegg, må eiere av disse bekoste ny tilknytning av sine anlegg.
- Gjennomføringen er avhengig av partenes bevilgningstakt.

Hvis vegeier mener at nytt belysningsanlegg bør bygges med stålmaster og framføring av kabler i grøft, bekoster vegeier nytt belysningsanlegg i sin helhet under følgende forutsetninger:

- andre fellesføringsparter tar kostnader for ombygging av egne anlegg
- grøftekostnader fordeles i henhold til deltakelse
- parallellføring av masterekker (stål/tre) på veggrunn tillates ikke
- gjennomføringen er avhengig av partenes bevilgningstakt

Andre belysningsanlegg

Vegeier overtar normalt ikke enkle lyspunkter. Unntak kan være i spredt bebygde områder hvor det er satt opp lys ved busslommer, rasteplasser og lignende.

7 Energibruk

Energiforbruket til vegbelysning bør ikke være høyere enn det som er nødvendig for å oppnå god trafiksikkerhet. Kunnskap om sammenhengen mellom belysning, energiforbruk og ulykkesreducerende effekt må legges til grunn for valg av belysningsanlegg.

Utenfor tettbygde strøk skal vegbelysning som regel bare settes opp der hvor vegnormalene (håndbok 017 Veg - og gateutforming) krever det, eller der hvor trafiksikkerhetsmessig nytte er større enn kostnadene beregnet over anleggets levetid.

Det skal alltid vurderes andre, mindre energikrevende tiltak som erstatning for eller supplement til vegbelysning. Dette kan for eksempel være: lysere vegdekke, bedre oppmerking og montering av reflekser eller LED-lys.

I tettbygde områder skal vegbelysning først og fremst bidra til at det ikke skjer trafikkulykker, spesielt med myke trafikanter i mørket. Men også her må det legges vekt på å finne energieffektive løsninger. Det må også tas hensyn til at lys fra omgivelsene kan gi et bidrag.

Energiforbruket på et vegbelysningsanlegg blir i stor grad bestemt ved valg av belysningsklasse etter tabell 3.2 og 3.3. Men det er også flere andre forhold som kan redusere energiforbruket:

- energieffektive lyskilder
- energieffektive armaturer
- behovstilpasset styring av vegbelysningsanlegget
- behovstilpasset regulering av belysningsnivået
- overvåking av vegbelysningsanlegget

Styring, regulering og overvåking er omtalt i kapittel 5.2.

7.1 Energieffektive lyskilder

Utviklingen av mer energieffektive lyskilder har gjort store framskritt i de seinere årene. Det kommer stadig forbedringer når det gjelder lysutbytte og levetid. Høytrykksnatriumlamper dominerer i nyere vegbelysningsanlegg.

I vegbelysningsanlegg har det vært vanlig å prioritere høyt lysutbytte og lang levetid, mens fargegjengivelse ikke har vært vektlagt like mye. Senere års utvikling av metallhalogenlamper har imidlertid gitt lampetyper som gjengir farger meget godt ($R_a > 80$), og som nærmer seg høytrykksnatriumlampene når det gjelder levetid og som faktisk overgår disse i lysutbytte hvis man tar hensyn til Purkinjes fenomen, se kapittel 4.5.

Ved å benytte metallhalogen som lyskilde kan luminansnivået reduseres med 10 %, se kapittel 3.3. I framtiden vil man få mer erfaring med metallhalogenlamper og man vil vite mer om virkningen av å redusere luminansnivået. Ved å etablere anlegg som kan reguleres trinnløst vil man derfor ha muligheter til å ta ut større energigevinster i framtiden gjennom optimal tilpasning av belysningsnivået.

I framtiden vil det trolig også bli levert lysarmaturer med lysdioder (LED), som kan bli et energioekonomisk alternativ til ovennevnte lyskilder. LED er nærmere omtalt i kapittel 7.4.

7.2 Energieffektive armaturer

I tillegg til lyskilden har følgende faktorer betydning for armaturens energieffektivitet:

- forkoplingsutstyret
- reflektor/optikk
- skjermen

Forkoplingsutstyret har størst betydning. Nye vegbelysningsanlegg bør ha elektronisk forkoplingsutstyr da disse gir mindre tap enn konvensjonelt utstyr. I tillegg vil kondensatorene som brukes sammen med magnetiske reaktorer, øke strømforbruket etter som de blir eldre. Noen typer elektronisk forkoplingsutstyr gir mulighet for å styre armaturens lysnivå etter behov, samtidig som det blir mulig å overvåke lyskildens tilstand.

Reflektorer og optikk har først og fremst betydning for armaturens lysspredning, men spiller også en rolle for den samlede virkningsgraden. Det er særlig viktig å være klar over dette når armaturer skal kunne brukes av ulike lyskilder. Armaturleverandøren bør i slike tilfeller oppgi virkningsgrader for alle aktuelle lyskilder.

Armaturenes skjerm er også kilde til lystap. Skjermer av klart materiale som er plane eller svakt buet, gir minst tap.

7.3 Normtall for energiforbruk i vegbelysningsanlegg

Normtallene viser gjennomsnittsverdier for effekt fra relativt nye vegbelysningsanlegg. De er historiske tall, og sier hva som tidligere er oppnådd når det gjelder energiforbruk og energieffektivitet.

Ved planlegging av nye anlegg vil det være naturlig å søke etter løsninger som er mer energieffektive. Regn ut forventet energiforbruk pr. km veg for ulike løsninger, og sammenhold dette med gjeldende normtall.

Tabellen nedenfor gir normtall for ulike typer veger og ulike belysningsklasser.

Tabell 7.1: Normert effektforbruk for vegbelysningsanlegg pr. km, og normert energiforbruk for vegbelysningsanlegg pr. km pr. år, med og uten nedregulering

Vegbredde inkl. skulder	Felt- /midtdelerbredde	Belysningsklasse				Benevning
		MEW 1	MEW 2	MEW 3	MEW4	
2 felt / 7,5 m	3 m	7,6 ³⁾	5,8 ³⁾	4,6 ³⁾	4 ¹⁾	kW
		31 160	23 780	18 860	16 400	kWh
		24 150	18 430	14 617	12 923	kWh dim
2 felt / 8,5 m	3,25 m	8,1 ³⁾	6,1 ³⁾	4,6 ³⁾	4,1 ¹⁾	kW
		33 210	25 010	18 860	16 810	kWh
		25 738	19 383	14 617	13 246	kWh dim
2 felt / 10 m	3,5 m	8,3 ³⁾	6,2 ³⁾	5,7 ²⁾	4,1 ¹⁾	kW
		34 030	25 420	23 370	16 810	kWh
		26 373	19 701	18 626	13 246	kWh dim
4 felt og midtdeler / 16 m	3,25 m / 1,5 m	11,4 ³⁾	9,5 ³⁾	8,5 ²⁾		kW
		46 740	38 950	34 850		kWh
		36 224	30 186	27 775		kWh dim
4 felt og midtdeler / 20 m	3,5 m / 2 m	12,5 ³⁾	10 ³⁾	8,5 ²⁾		kW
		51 250	41 000	34 850		kWh
		39 719	31 775	27 775		kWh dim
4 felt og midtdeler / 26 m	3,5 m / 6 m	15,7 ⁴⁾	11,7 ³⁾	9,9 ²⁾		kW
		64 370	47 970	40 590		kWh
		48 342	37 177	32 350		kWh dim

Lampeeffekter: ¹⁾ 70 W, ²⁾ 150 W, ³⁾ 250 W, ⁴⁾ 400 W

Tabellen er ment som et hjelpemiddel ved prosjektering av nye veger. Energibesparelsen ved nedregulering er beregnet ut i fra en 50 % reduksjon i lysytelsen. Ved beregning ble Chronosense regneark brukt, versjon 2.0. Det ble tatt utgangspunkt i en dimmeperiode fra 23:00-06:00 og årsvariasjon for Oslo. Antall brenntimer pr. år er satt til 4100.

Tabellen er laget ut i fra beregningseksempler for nyere veger, og beregningene er gjort med DIALux software, versjon 3.1. Det ble ikke tatt hensyn til standardiserte mastehøyder. Tall i tabellen er avrundet i forhold til beregningsresultater. Enhetene er kW/km og kWh/km/år. Effekten er beregnet ut i fra energiforbruk for armaturer inklusiv konvensjonell forkopling. Det er ikke tatt høyde for tap i for eksempel kabler. Dimensjonerende vegdekker er C2 og W4. Vedlikeholdsfaktor er satt til 0,8. I alle eksempler er det brukt rette master uten utligger. Ved masteplassering på sidene, er mastene plassert 3 m fra kantlinje for ytterste felt. Ved masteplassering i midtdeler er mastene plassert i senter av midtdeler.

7.4 LED

Lysdioder har et svært lavt energiforbruk og lang levetid. Plassert som ledelys langs veggen gir LED-lyset meget god optisk leding både i dårlig vær (regn, tåke, snøfall) og i områder med mye forstyrrende lys i nærheten. LED kan vurderes som ett alternativ til vegbelysning dersom teknologien er god nok til dette .

- LED kan monteres i vegbanen langs kant-, kjørefelt- eller midtlinje, og skal da ha samme farge som disse.
- LED kan også monteres på kantstolper, og skal da ha hvitt lys. Kantstolper er utsatt for påkjørsler og bør derfor plasseres bak rekkverket.
- Ved trafikk i begge retninger bør det monteres LED på begge sider av veggen.
- LED kan monteres på bare én side av veggen i ytterkurve og ved envegsrettet trafikk.
- LED kan føre til fartsøkning, og bør derfor ikke brukes der det ferdes fotgjengere.

LED har meget lavt effektforbruk og lavere anleggskostnader enn veglys. Forventet levetid på lysdiodene er minst 10 år.

I områder med sårbar natur ønsker man minst mulig forstyrrende elementer. Her kan LED være hensiktsmessig både med hensyn til det visuelle miljøet og energibruken.

Erfaringer med bruk av LED som ledelys:

- LED-lys er utprøvd i tunneler, montert på skuldrene og langs felt-, kant- og midtlinje. Lysene gir god optisk leding, men krever mer intensiv feiing og spyling i vinterhalvåret. Det har også vært problemer med strømbrudd og knuste glass på armaturene.
- LED er tatt i bruk som ledelys på motorveger i Sverige som erstatning for annet veglys. LED-armaturer med 4-5 dioder er plassert på 1,2 m høye stolper i midtrabatten. Effektforbruket er ca. 1,5 W per armatur.
- Ved omkjøring på veier med to kjørebane er LED montert i kjørebane for å lede trafikken over til én kjørebane når den andre kjørebane er stengt.

Litteratur, referanser, standarder m.v.

Forskrifter om elektriske anlegg:

- Forskrift om elektrisk utstyr (FEU)
- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF)
- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg med veiledning (FEL)
- Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg med veiledning (FSL)
- Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (internkontrollforskriften)
- Forskrift om kvalifikasjoner for elektrofagfolk med veiledning (FKE)
- FOR 1990-12-07 nr. 959. Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften)
- FOR 1999-03-11 nr. 301. Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden for kraftomsetning og fakturering av nettleie
- FOR 1999-03-11 nr. 302. Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntekstramme for nettvirksomheten og tariffer
- NVE Publikasjon nr. 21, 1991. Veileder i utforming av konsesjonssøknader
- Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr (Etilsynsloven)

Statens vegvesens håndbøker:

- Håndbok 018 Vegbygging, vedlegg 11
- Håndbok 021 Vegtunneler
- Håndbok 025 og 026 Prosesskoder
- Håndbok 062 Trafikksikkerhetsutstyr – Funksjons- og materialkrav, Del 5 Oppsetningsutstyr
- Håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold
- Håndbok 140 Konsekvensanalyser, Del I Prinsipper og metodegrunnlag
- Håndbok 231 Rekkverk
- Håndbok 237 Veg- og gatelys
- NA-Rundskriv 27/01 Krav til bruk av ettergivende master

Standarder:

- NS-EN 13201-2 Vegbelysning – Del 2: Ytelseskrav
- NS-EN 13201-3 Vegbelysning – Del 3: Beregning av ytelse
- NS-EN 13201-4 Vegbelysning – Del 4: Metoder for måling av belysningens ytelse
- NS-EN 12767 Ettergivende konstruksjoner for vegutstyr – Krav og prøvingsmetoder
- NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner

- NEK 401 Dokumentasjon i henhold til FEL og NEK 400 – KAR-analyse
- NEK EN 60439-serien: Lavspennings koblings- og kontrollanlegg
- NEK EN 60598-1 Lysarmaturer – Del 1: Generelle krav og prøver
- NEK EN 60598-2-3 Lysarmaturer – Del 2-3: Spesielle krav til armaturer for veg- og gatebelysning
- NEK EN 60929 Vekselstrøms elektronisk forkoblingsutstyr for lysrør. Ytelseskrav
- NEK EN 62035 Utladningslamper (unntatt lysrør) – Sikkerhetsspesifikasjoner

Normer og øvrige referanser:

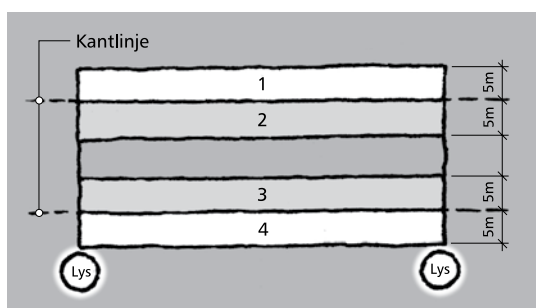
- CIE, Publication no. 47 – 1979. Road lighting for wet condition
- CIE, Publication no. 53 – 1982, Methods of characterising the performance of radiometers and photometers
- CIE, Publication no. 66 – 1984. Road surfaces and lighting (joint technical report CIE/PIARC)
- CIE, Publication 69: 1987. Methods of Characterising illuminance meters and luminance meters – Performance, Characteristics and specifications
- CIE, Technical report 100 – 1992. Fundamentals of the visual task of night driving
- CIE, Technical report 115 – 1995. Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic
- CIE, Technical report 140 – 2000. Road lighting calculations
- CIE, Technical report 154 – 2003. The maintenance of outdoor lighting systems
- Lyskultur, Norge 1994, 1A Lys og belysning – Grunnleggende begreper
- Lysteknisk Selskab, Danmark 1993: Elektriske lyskilder. Lys og belysning
- Nor Energi, Publikasjon nr. 358 – 1989. Vegbelysning – Planlegging, anlegg og drift
- Vägverket publikation 2004:80. Vägar och gators utformning, Väg och gatubelysning”
- Vejdirektoratet mars 1999. Vejbelysningsregler
- Vejdirektoratet mars 1999, Vejbelysning – Håndbog for tekniske forhold
- TØI-rapport 851/2006. Effektkatalog for trafiksikkerhetstiltak
- TØI 1997. Trafiksikkerhetshåndboka
- Hans-Henrik Bjørset og Eilif Hugo Hansen, Lysteknikk, utgave 2003
- Statens forvaltningstjeneste, Finansdepartementet: Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser, Oslo 2000
- ILE, The institution of Lighting Engineers, Technical Report Number 12: Lighting of Pedestrian Crossings, 1997

Vedlegg 1: Terminologi

Den internasjonale belysningsorganisasjonen CIE har definert grunnleggende begreper innenfor belysningsteknikken. For norsk oversettelse av begrepene viser vi til Lyskulturs publikasjon nr. 1A, Lys og belysning – Grunnleggende begreper. Tabellen nedenfor gjengir viktige begreper innen vegbelysning.

Begrep	Benevning	Forklaring
Belysning		Bruk av lys for å gjøre gjenstander og deres omgivelser synlige.
Belysningsklasser (MEW, CE, S)		Det er utarbeidet ulike belysningsklasser for forskjellige områder og formål, se NS-EN 13201-2 'Vegbelysning Del-2: Ytelseskrav'. Til hver belysningsklasse er det definert et sett belysningstekniske krav.
Belysningsstyrke, E	lux (lm/m ²)	Angir hvor mye lys som faller på en flate, dvs. hvor stor lysfluks som faller på hver arealenhet av flaten. Illuminans er et annet ord for belysningsstyrke.
Belysningsmiljø		Gode synsbetingelser er avhengig av en rekke forhold, hvorav flere kan beskrives objektivt, mens andre kan være av mer subjektiv art. Tilfredsstillende belysningsmiljø avgjøres av følgende hovedfaktorer: <ul style="list-style-type: none"> • luminansfordeling • belysningsstyrke • blending og reflekser • lysretning • fargegjengivelse og lysfarge • flimring
Blending		Blir det samlede luminansnivået for høyt, eller kontrasten mellom de enkelte luminanser i synsfeltet for stor, inntreffer blending. Vi skiller mellom synsnedsettende (fysiologisk) blending og ubehagsblending (psykologisk blending).
Fargegjengivelsesindeks, R _s		En lyskildes evne til å gjengi farger. 100 er høyeste verdi.
Fargetemperatur, T _c	Kelvin	Angir lyskildens farge. Høye fargetemperaturer over 3300 K regnes som kalde, mens de under 3000 K regnes som varme.
Gjennomsnittlig belysningsstyrke, E _m	lux	Et mål for den gjennomsnittlige horisontale belysningsstyrken i et vegområde.
Gjennomsnittlig levetid		Tilbakelagt brukstid (antall brenntimer) for et stort antall lyskilder på det tidspunkt da 50 % har brent ut. Alternativt defineres levetiden for en lyskilde som den tiden det tar før lampens lysytelse er redusert med for eksempel 30 %.
Gjennomsnittlig luminans, L _m	cd/m ²	Gjennomsnittlig luminans fra vegdekkets overflate. Måleområdet vil være hele kjørebanelens bredde og mellom 2 lyspunkter i lengderetning.
Gruppeutskifting		Alle lyskildene i et anlegg skiftes – vanligvis ved oppnådd servicelevetid.
Halvromlig belysningsstyrke E _{hs}	lux	Lysfluksen som treffer en liten halvkule som vender oppover, dividert med arealet av halvkulens overflate.
Horisontal belysningsstyrke E	lux	Belysningsstyrken på et horisontalt plan.
Kontrast, C		Når et objekt har en annen luminans enn bakgrunnen, sier vi at objektet har en kontrast. Kontrasten er positiv hvis et lyst objekt sees mot en mørk bakgrunn, og negativ når et mørkt objekt sees mot en lys bakgrunn. Kontrasten uttrykkes som forskjellen mellom gjenstandens (L _o) og bakgrunnens luminans (L _b) dividert med bakgrunns luminansen: $C = \frac{L_b - L_o}{L_b}$

Begrep	Benevning	Forklaring
Langsgående jevnhet, U_l		Forholdet mellom laveste og høyeste luminansverdi i en linje langsetter senter i et kjørefelt. Beregnes for alle kjørefelt. Laveste verdi skal tilfredsstille kravet. Synskomforten øker med øket langsgående jevnhet.
LCC (Life cycle cost)		Levetidskostnad (kostnader forbundet med et anleggs totale livsløp).
LED		Light emitting diode (lysdioder).
Luminans, L	cd/m^2	Begrepet luminans er innført som mål for hvor lys en flate er. En flate som selv sender ut lys, eller som reflekterer lys, vil ha en bestemt lysstyrke i retningen vinkelrett på flaten. Ved å dividere lysstyrken målt i candela med flatearealet målt i m^2 , får vi lysstyrke per m^2 flate. Dette er et mål på hvor lys flaten er, og kalles flatens luminans i denne bestemte retningen. Økende luminans gir føreren bedre kontrastfølsomhet, synsskarphet og forbedrede blendingsforhold.
Lysfluks, Φ	Lumen, lm	Lysfluksen viser hvor mye lys som går fra en lyskilde til en mottaker. Vi tar utgangspunkt i en strålingskilde med kjent spektrum. Strålingen som går ut fra kilden representerer en strålingseffekt, også kalt strålingsfluks, som kan måles i watt. Øyet har imidlertid ikke samme følsomhet for all stråling, slik at den strålingseffekten som øyet oppfatter, må måles på en annen måte. Den betegnes lysfluks, og måles i lumen.
Lysstyrke, I	Candela, cd	Lysstyrken viser hvordan lysfluksen fra en lyskilde fordeles seg i rommet. Et stearinlys har en lysstyrke på omtrent 1 Candela på tvers av flammen.
Lysutbytte, η	lm/W	Et mål på hvor effektiv lyskilden er ved omdanning av elektrisk effekt til lys.
Omgivelsesens lysforhold, SR (se figur V1.1 under tabellen)		For å at bilføreren skal kunne se vegens nærmeste omgivelser og myke trafikanter i vegkanten, setter vi krav til omgivelsesens lysforhold. Defineres som summen av den gjennomsnittlige belyningsstyrken i en 5 m bred stripe på hver side av kjørebanelen, dividert med tilsvarende sum for de to like brede tilstøtende striper inne på kjørebanelen (hvis kjørebanelen er smalere enn 10 m, skal denne stripebredden være en halv kjørebanelbredde). For vegger med to kjørebaneler og midtdeler mindre enn 10 m, regnes det som én kjørebanel ved beregning av SR. SR brukes kun der hvor det ikke er tilstøtende trafikkområder med egne krav, for eksempel fortau, gang- og sykkelveger eller nødkjøringsfelt.
Omgivelsesnivå for blending		Verdi på blending i de tilstøtende områdene til kjørebanelen.



Figur V1.1: Omgivelsesforhold $SR = (1+4)/(2+3)$ der tallene representerer gjennomsnittlig belyningsstyrke i hvert område. Områdebredden reduseres fra 5 m til $\frac{1}{2}$ kjørebanelbredde når denne er smalere enn 10 m

Begrep	Benevning	Forklaring
Servicelevetid		Den brukstid (det antall brukstimer) som anlegget har lagt bak seg når lysreduksjonen i lyskildene og det prosentuelle utfallet til sammen har redusert lysytelsen med 20 %. Se <i>Gruppeutskifting</i> .
Sløringsluminans, L_v		Et mål på den luminansen som medfører blending. Lyset fra blendingskilden blir spredt i øyet som strølyset, og virkningen er den samme som om hele synsfeltet var dekket av en jevn luminans.
Strølyset		For å forsterke inntrykket av natt i omgivelsene, er det nødvendig å ha kontroll over strølyset (også kalt lysforurensing), som kan forårsake psykologiske og økologiske problemer for omgivelser og mennesker.
Terskeløkning, TI	%	Et mål på tap av synlighet forårsaket av synsnedsettende blending fra veglysmaturlarmen. TI beregnes som den prosentvise økningen i luminans som må til for å gjøre et objekt synlig når blendingen fra armaturen er til stede, i forhold til at objektet så vidt er synlig uten blending til stede – sett fra observatørens posisjon.
Total jevnhet, U_o og U_{ov}		<p>U_o er forholdet mellom laveste verdi og gjennomsnittsverdien for vegdekkets luminans eller for den horisontale belysningsstyrken på tørt vegdekke. Økt jevnhet gir forbedrede synsbetingelser.</p> <p>Vi beregner også total jevnhet på vått vegdekke (U_{ov}) (bare ved luminansberegninger), for å unngå en kraftig forverring av lysforholdene i fuktige perioder.</p> <p>Det kan være vanskelig å oppfylle krav til total jevnhet på et vått vegdekke (U_{ov}), og samtidig oppfylle et høyt krav til langsgående jevnhet (U_l) for det samme vegdekket i tørr tilstand.</p>
Vedlikeholdsfaktor		<p>Vedlikeholdsfaktoren til armaturen varierer med rengjøringsintervallene, mengden forurensning i atmosfæren, og IP-graden til armaturens skjerm/reflektordel.</p> <p>Vedlikeholdsfaktoren til lampen varierer med lampetype og spenning. Til sammen utgjør dette en reduksjon i lysfluksen som angis med en vedlikeholdsfaktor, normalt 0,8. For å finne lampens driftsverdi multipliseres vedlikeholdsfaktoren med nyverdien for lysfluksen til en lyskilde (settes etter 100 timers innbrenning).</p>
Vegbelysning		Vegbelysning omfatter all kunstig belysning av veger, gater, kryss og underganger.
Vegdekke		Vegdekket representerer den flaten som lyset reflekteres fra. Vegdekkets refleksjonsegenskaper og lyshetsgrad er avgjørende. C2 er et mørkt vegdekke og C1 et lyst vegdekke under tørre forhold. W3 og W4 er et våte vegdekker, der W4 er mest speilende.
Vertikal belysningsstyrke, E_v	lux	Belysningsstyrken på et vertikalt plan.
Virkningsgrad η_a		En del av lysfluksen fra lyskildene som er installert i en lysarmatur vil treffe armaturdeler eller andre lyskilder og delvis bli absorbert. Lysfluksen som kommer ut av armaturen er derfor mindre enn den lysfluksen som lyskildene sender ut. Armaturens virkningsgrad angir hvor stor del av lyskildens lysfluks som slipper ut av armaturen.
Økonomisk levetid		Den brukstid (det antall brenntimer) et stort antall lyskilder har lagt bak seg når lysreduksjonen i lyskilden og det prosentuelle utfall til sammen har redusert lysytelsen i installasjonen med 30 %.

Vedlegg 2: Metodikk for beregning av levetidskostnader (LCC-analyse)

Generelt

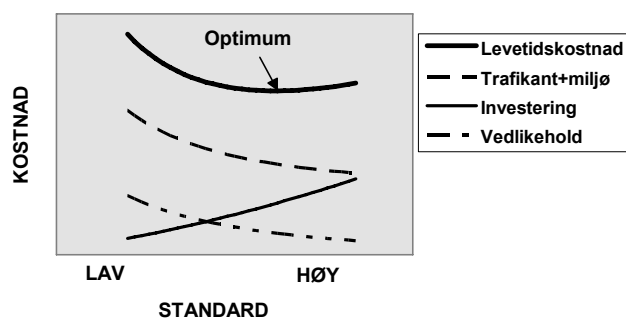
Når vi skal velge mellom flere mulige tekniske løsninger, bør vi ideelt sett velge den løsningen som over tid er best for samfunnet som helhet. Foruten å oppfylle de tekniske og funksjonelle kriteriene, bør løsningen medføre så lave totale kostnader som mulig for samfunnet. De totale kostnadene som en løsning påfører samfunnet i løpet av en definert analyseperiode kalles *levetidskostnadene* eller *livssyklus kostnadene* ("life cycle costs").

Ved valg av løsninger for vegelementer (for eksempel belyningsanlegg), kan ulike alternativer innebære forskjeller i investeringskostnader, men også i framtidige drifts- og vedlikeholdskostnader. I tillegg kan de innebære ulike konsekvenser for trafikanter og miljø. Når vi beregner levetidskostnader, tar vi kun med de prissatte konsekvensene, dvs. de som kan uttrykkes i kroner. En slik analyse behøver ikke å gjøres unødig komplisert. Alle kostnader som er like for de alternativene som sammenlignes kan utelates fra analysen.

Begrep og definisjoner

Levetidskostnader

Som regel forventer vi at en økning i investeringen vil gi en gevinst i form av lavere drifts- og vedlikeholdskostnader i framtiden. På samme måte vil vi gå ut fra at dersom vi sparer på investeringskostnadene, så vil framtidige drifts- og vedlikeholdskostnader kunne øke. I tillegg kommer kostnader for trafikanter og miljø. Teoretisk vil det da finnes et *optimum* som gir de laveste levetidskostnadene, som vist i figur V2.1.



Figur V2.1

Formel for utregning av levetidskostnader:

$$LCC = NV_0 = I_0 + V_0 - R_0 + T_0 + M_0 \text{ hvor:}$$

$$LCC = NV_0$$

NV_0 = levetidskostnaden: nåverdien til alle aktuelle kostnader med år 0 som sammenligningstidspunkt

I_0 = investeringskostnader (midt i år 0)

V_0 = nåverdien av alle drifts- og vedlikeholdskostnader i analyseperioden

R_0 = nåverdien av evt. restverdi av investerings- og vedlikeholdskostnader ved slutten av analyseperioden

T_0 = nåverdien av evt. merkostnader for trafikantene i analyseperioden

M_0 = nåverdien av evt. miljøkostnader i analyseperioden

$\text{År } 0$ = sammenlikningsåret – det året (tidspunktet) alle prissatte konsekvenser og kostnader ved gjennomføring av tiltak diskonteres til i analysen (se håndbok 140 Konsekvensanalyser)

Kostnadene regnes med en fast kroneverdi (f.eks. 2005-kroner) gjennom hele analyseperioden. Hvis vi sammenligner flere separate alternativer, behøver vi ikke ta med kostnader som er like for alle alternativene. Noen kostnader kan også være vanskelige å kvantifisere, for eksempel trafikant- og miljøkostnader. Hvis gjennomføring av tiltak vil innebære store ulemper for trafikantene i form av forsinkelser, bør vi ta hensyn til dette i analysene.

Nåverdi

En krone i dag er ikke verd det samme som en krone om 10 år. Grunnen er at en krone i dag kan investeres og gi avkastning, slik at den får en høyere verdi. Når vi vurderer en investering, vil vi alltid sammenligne den forventede avkastningen i prosjektet med den avkastningen vi kunne fått i 'sikre' pengeplasseringer (f.eks. en bankkonto). Kalkulasjonsrenten som brukes ved beregning av nåverdi kan derfor også sees på som et avkastningskrav på de investerte midlene.

Ved beregning av nåverdi bruker vi en fast kroneverdi knyttet til et bestemt år. Da behøver vi ikke ta hensyn til inflasjonen som uansett er svært vanskelig å forutsi.

Nåverdien til framtidige kostnader kan beregnes som:

$$NV_0 = \sum_{n=0}^N \frac{K_n}{(1+r)^n} \quad \text{eller} \quad NV_0 = \sum_{n=0}^N (K_n \cdot C_n) \text{ hvor}$$

- NV_0 = nåverdien av alle kostnader mellom år 0 og N med år 0 som sammenligningstidspunkt
 N = antall år i analyseperioden
 K_n = kostnader i år n
 r = kalkulasjonsrenten i % (for tiden er denne 4,5 % for analyser innen transportsektoren)

$$C_n = \frac{1}{(1+r)^n} = (1+r)^{-n} = \text{nåverdifaktor}$$

Nåverdifaktoren for ulike nivåer for kalkulasjonsrenten er vist i tabellen under.

År	Nåverdifaktor – C_n Kalkulasjonsrente – r									
	1%	2%	3%	4%	4,5 %	5%	6%	7%	8%	9%
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9569	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174
2	0,9803	0,9612	0,9426	0,9246	0,9157	0,9070	0,8900	0,8734	0,8573	0,8417
3	0,9706	0,9423	0,9151	0,8890	0,8763	0,8638	0,8396	0,8163	0,7938	0,7722
4	0,9610	0,9238	0,8885	0,8548	0,8386	0,8227	0,7921	0,7629	0,7350	0,7084
5	0,9515	0,9057	0,8626	0,8219	0,8025	0,7835	0,7473	0,7130	0,6806	0,6499
6	0,9420	0,8880	0,8375	0,7903	0,7679	0,7462	0,7050	0,6663	0,6302	0,5963
7	0,9327	0,8706	0,8131	0,7599	0,7348	0,7107	0,6651	0,6227	0,5835	0,5470
8	0,9235	0,8535	0,7894	0,7307	0,7032	0,6768	0,6274	0,5820	0,5403	0,5019
9	0,9143	0,8368	0,7664	0,7026	0,6729	0,6446	0,5919	0,5439	0,5002	0,4604
10	0,9053	0,8203	0,7441	0,6756	0,6439	0,6139	0,5584	0,5083	0,4632	0,4224
11	0,8963	0,8043	0,7224	0,6496	0,6162	0,5847	0,5268	0,4751	0,4289	0,3875
12	0,8874	0,7885	0,7014	0,6246	0,5897	0,5568	0,4970	0,4440	0,3971	0,3555
13	0,8787	0,7730	0,6810	0,6006	0,5643	0,5303	0,4688	0,4150	0,3677	0,3262
14	0,8700	0,7579	0,6611	0,5775	0,5400	0,5051	0,4423	0,3878	0,3405	0,2992
15	0,8613	0,7430	0,6419	0,5553	0,5167	0,4810	0,4173	0,3624	0,3152	0,2745
16	0,8528	0,7284	0,6232	0,5339	0,4945	0,4581	0,3936	0,3387	0,2919	0,2519
17	0,8444	0,7142	0,6050	0,5134	0,4732	0,4363	0,3714	0,3166	0,2703	0,2311
18	0,8360	0,7002	0,5874	0,4936	0,4528	0,4155	0,3503	0,2959	0,2502	0,2120
19	0,8277	0,6864	0,5703	0,4746	0,4333	0,3957	0,3305	0,2765	0,2317	0,1945
20	0,8195	0,6730	0,5537	0,4564	0,4146	0,3769	0,3118	0,2584	0,2145	0,1784
21	0,8114	0,6598	0,5375	0,4388	0,3968	0,3589	0,2942	0,2415	0,1987	0,1637
22	0,8034	0,6468	0,5219	0,4220	0,3797	0,3418	0,2775	0,2257	0,1839	0,1502
23	0,7954	0,6342	0,5067	0,4057	0,3634	0,3256	0,2618	0,2109	0,1703	0,1378
24	0,7876	0,6217	0,4919	0,3901	0,3477	0,3101	0,2470	0,1971	0,1577	0,1264
25	0,7798	0,6095	0,4776	0,3751	0,3327	0,2953	0,2330	0,1842	0,1460	0,1160

Tabell V2.1: Nåverdifaktoren for ulike nivåer for kalkulasjonsrenten

Årskostnad

Levetidskostnaden kan også uttrykkes som en årskostnad. Vi konverterer da levetidskostnaden til en kostnadsrekke av like årlige kostnader.

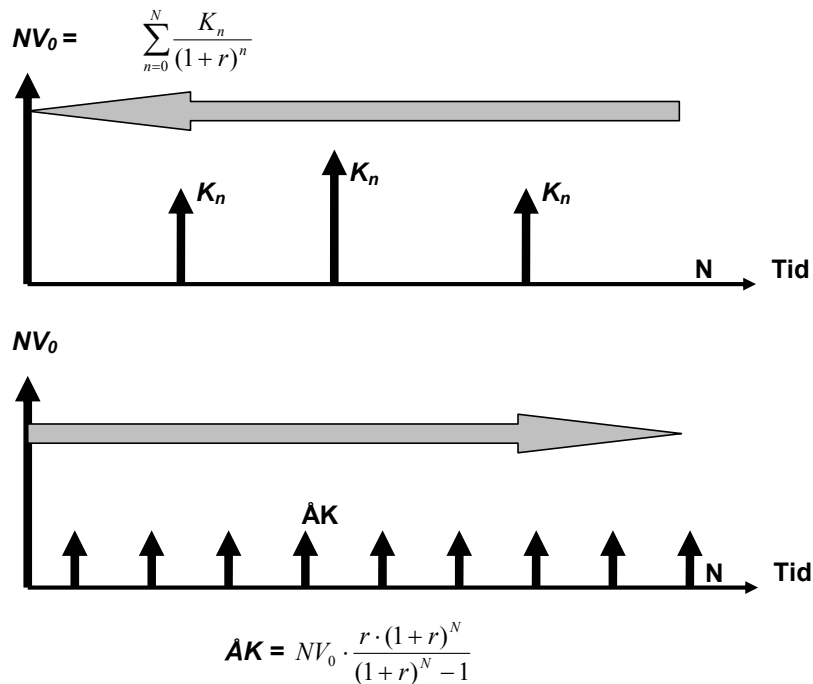
$$\mathring{A}K = LCC \cdot \frac{r \cdot (1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \text{ hvor}$$

LCC = levetidskostnaden: nåverdien til alle aktuelle kostnader med år 0 som sammenligningstidspunkt

r = kalkulasjonsrenten i %

N = antall år i analyseperioden

Sammenhengen mellom nåverdi og årskostnad er illustrert i figur V2.2.



Figur V2.2: Illustrasjon av sammenhengen mellom nåverdi og årskostnad

Kalkulasjonsrente

Størrelsen på kalkulasjonsrenten som brukes i nåverdibetraktninger, kan være avgjørende for hvilket alternativ som kommer best ut. Én tolkning av kalkulasjonsrenten er at denne

representerer den realrenten vi kunne oppnådd ved en alternativ pengeplassering. Den kan også sees på som et avkastningskrav, da penger som brukes på et bestemt prosjekt kunne vært benyttet på en annen måte. Generelt vil en høy kalkulasjonsrente favorisere alternativer som har relativt lav investeringskostnad og høyere framtidige vedlikeholdskostnader. Tilsvarende vil en lav kalkulasjonsrente favorisere alternativer som har relativt høy investeringskostnad og lavere framtidige vedlikeholdskostnader.

Vi bruker for tiden (2006) en kalkulasjonsrente på 4,5 % for investeringsprosjekter innen transportsektoren. For nærmere beskrivelse av momenter rundt fastsettelse av kalkulasjonsrenten henviser vi til Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser, Rundskriv om behandling av diskonteringsrente m.m. og Retningslinjer for bruk av kalkulasjonsrente i transportetatene og Avinor AS.

Skattekostnad

Økonomiske utredninger av statlige tiltak skal inkludere kostnadene ved skattefinansiering (se Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser og Rundskriv om behandling av diskonteringsrente m.m.). Skattekostnaden er satt til 20 %. I praksis betyr det at alle kostnader som finansieres av skattemidler skal gis et påslag på 20 % ved beregning av levetidskostnader.

Investeringskostnader

Alle kostnader forbundet med etablering av vegelementet. For et vegbelysningsanlegg vil dette være kostnader til master, kabler, armatur, fordeling osv. Når vi sammenligner ulike løsninger, er det ikke nødvendig å inkludere kostnader som er like for de forskjellige alternativene.

Drifts- og vedlikeholdskostnader

Kostnader for å holde belysningsnivået innenfor en definert minstestandard i analyseperioden (se håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold). Dette omfatter kostnader til lampeskifte, utskifting av utslitte elementer, strøm osv.

Trafikantkostnader

Trafikantene har utgifter ved ferdsel på vegnettet. Trafikantkostnadene utgjør den delen av disse utgiftene som direkte kan tilskrives vegens tilstand – akkumulert over hele analyseperioden. I tillegg kommer forsinkelseskostnader som trafikantene påføres når vegen for eksempel skal vedlikeholdes. Trafikantkostnadene bør tas med i analysen dersom de antas å være forskjellige for de ulike alternativene.

Trafikantkostnadene kan deles opp i:

- kjøretøykostnader (drivstoff, olje, dekk, avskrivning)
- tidskostnader (tidsforbruk – avhenger av fart som igjen avhenger av vegtilstand)
- ulykkeskostnader
- forsinkelseskostnader (pga. vedlikeholdsarbeid e.l.)
- nytte av evt. oppskrivning av tillatt aksellast

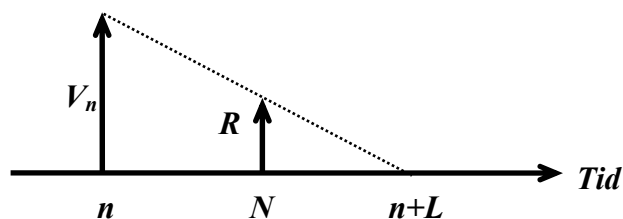
Ved beregning av trafikantkostnader må vi bruke samme enhetskostnader som ved andre konsekvensanalyser (se håndbok 140 Konsekvensanalyser).

Miljøkostnader

For eksempel støy, støv, nedsmussing, luftforurensing og ressursbruk (bestemmes av materialvalg). Tas bare med i analysen i den grad de antas å være forskjellige for de ulike alternativene. Det kan være problematisk å kvantifisere miljøkostnadene i kroner. For nærmere omtale av miljøkostnader viser vi til håndbok 140 Konsekvensanalyser.

Restverdi

For at de beregnede levetidskostnadene for alle alternative løsninger skal bli sammenlignbare, må vi regne inn restverdien av siste vedlikeholdstiltak. Vi foretar vanligvis en lineær avskrivning av den siste forventede vedlikeholdsaktiviteten i analyseperioden, som vist i figur V2.3.



Figur V2.3: Illustrasjon av restverdiregning med lineær avskrivning

Restverdi ved lineær avskrivning beregnes etter følgende formel:

$$R_N = \frac{(n+L) - N}{L} \cdot V_n$$

hvor:

R_N = restverdi av siste vedlikeholdstiltak (V_n) i analyseperioden N

L = antatt levetid for vedlikeholdstiltaket i år n

Hvis analyseperioden er kortere enn avskrivningsperioden (levetiden) for anlegget, tar vi ofte med en restverdi for den opprinnelige investeringen. For et belysningsanlegg vil for eksempel master og kabler kunne ha en forventet levetid på 30-40 år. Slike elementer vil da ha en restverdi ved utløpet av en analyseperiode på 25 år.

Analyseperiode

Analyseperioden for investeringstiltak på veger er vanligvis 25 år.

Følsomhetsanalyser

Parametrene i en slik analyse er mer eller mindre usikre. Det kan derfor være aktuelt å gjennomføre flere beregninger hvor vi varierer de mest usikre parametrene mellom laveste og høyeste nivå. Ved å betrakte hvordan resultatet av analysen endrer seg, får vi en test på hvor robust den opprinnelige konklusjonen var.

Slik beregnes levetidskostnader

1. Framskaff forutsetninger, prosjekteringsgrunnlag (plandata) og mulighetene for variasjon.
2. Definér de aktuelle alternativene, både for investeringen og påfølgende vedlikeholdstiltak gjennom hele analyseperioden. Pass på å få med alle kostnader som er forskjellige for de ulike alternativene. Kostnadskomponenter som er like, kan sløyfes.
3. Beregn eventuelle trafikant- og miljøkostnader.
4. Beregn levetidskostnadene for hvert alternativ.
5. Gjennomfør eventuelt følsomhetsanalyser (aktuelt for parametere som er spesielt usikre eller har stor innvirkning på levetidskostnadene).
6. Beskriv eventuelt ikke-kvantifiserbare faktorer som er forskjellige for de ulike alternativene.
7. Trekk en konklusjon basert på analysene.

Eksempel:

Nyanlegg – Valg mellom armaturtyper med og uten nedreguleringsmulighet

Du skal velge armaturtype for et prosjektert lysanlegg. Valget står mellom tre alternativer:

- Tradisjonelt vegbelysningsanlegg med konvensjonelt forkoplingsutstyr – ingen nedregulering

- Vegbelysningsanlegg med to-trinns nedregulering uten styringskabel
- Vegbelysningsanlegg med trinnløs nedregulering og overordnet styringssystem

Forutsetninger

Trafikkmengde:	ÅDT = 10 000 kjt/døgn (2 kjørefelt)
Analyseperiode:	25 år
Kalkulasjonsrente:	4,5 %
Krav til midlere luminansnivå:	1,5 cd/m ²
Minimum luminans i nedregulert tilstand:	0,75 cd/m ²

Mast med veglyssarmatur og jordkabel:	20 000 kr/stk (inkl. mva.)
Kostnad for vanlig armatur inkl. montering:	2 600 kr/stk (inkl. mva.)
Ekstra kostnad ved to-trinns nedregulering:	400 kr/stk (inkl. mva.)
Ekstra kostnad ved trinnløs nedregulering:	1 900 kr/stk (inkl. mva.)

Angitte kostnader er eksempler, slik at kostnadene ved de ulike alternativene vil variere med hensyn til valg av løsning, anleggets størrelse m.m.. Kostnader for et overordnet styringssystem er ikke tatt med for alternativet med trinnløs nedregulering i dette eksemplet.

Antatt levetid for master og fordelingsskap:	30 år
Antatt levetid for kabler:	40 år
Antatt levetid for armaturer:	20 år
Utskifting av lamper:	Hvert 4. år for tradisjonelt og to-trinns anlegg Hvert 6. år for anlegg med trinnløs nedregulering
Utskifting av kondensatorer:	Hvert 8. år for tradisjonelt og to-trinns anlegg
Utskifting av elektronikk:	Hvert 10. år for anlegg med trinnløs nedregulering
Årlig brenntid:	4 100 timer
Effekt lampe:	150 W

Kravet om midlere luminansnivå på 1,5 cd/m² gir en masteavstand på 25 meter, som tilsvarer 40 master pr. kilometer veg.

Strømprisen antas i utgangspunktet å være 70 øre/kWh (inkl. el-avgift, nettleie og merverdiavgift). Det er i dette eksemplet tatt utgangspunkt i nettleietariff for bolig. Hvis

anlegget eventuelt skal betale nettleie med en tariff etter installert effekt må dette legges til grunn i beregningene.

Beregning

Investeringskostnaden for master og kabler er antatt å være den samme for alle tre alternativer, og behøver derfor ikke tas med i analysen. Investeringskostnader for armatur inkl. tenner og evt. styringsenhet blir som følger:

Ingen nedregulering: $2\,600 \times 40 = 104\,000$ kr/km (inkl. mva)

To-trinns nedregulering: $3\,000 \times 40 = 120\,000$ kr/km (inkl. mva)

Trinnløs nedregulering: $4\,500 \times 40 = 180\,000$ kr/km (inkl. mva)

Vedlikeholdskostnader knyttet til lampeskift, kontroll og mindre reparasjoner er antatt å være:

Tradisjonelt og to-trinns nedregulerbart anlegg: 300 kr/armatur pr. år (inkl. mva)

Anlegg med trinnløs nedregulering: 170 kr/armatur pr. år (inkl. mva)

Den antatt lavere årlige vedlikeholdskostnaden for anlegget med trinnløs nedregulering skyldes besparelser knyttet til overvåking ved bruk av datamaskin samt lenger periode mellom lampeskift.

For tradisjonelt og to-trinns nedregulerbart anlegg er det antatt at en må skifte kondensator hvert 8. år til en kostnad på 300 kr/armatur. Kondensatorene må da skiftes ut to ganger før levetiden for armaturen er nådd. Da hele armaturen må skiftes ut etter 20 år regnes det ikke med noen restverdi for kondensatorene som skiftes ut etter 16 år. Ved bruk av formelen for beregning av årskostnad gir dette en årlig kostnad på:

$$\left[300 \cdot \left((1,045)^{-8} + (1,045)^{-16} \right) \right] \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 24 \text{ kr/armatur pr. år}$$

Det første leddet i beregningen over utgjør nåverdien av kostnadene. Det andre leddet innebærer konvertering av denne nåverdien til en ekvivalent årlig kostnad.

For anlegg med trinnløs nedregulering antas det i dette eksemplet at elektronikk må skiftes ut hvert 10. år til en kostnad på 1 900 kr/armatur. Ved beregning av nåverdien må det her trekkes fra en restverdi ved slutten av analyseperioden. Dette innebærer en årlig kostnad på:

$$\left[1900 \cdot \left((1,045)^{-10} + (1,045)^{-20} - \frac{5}{10} \cdot (1,045)^{-25} \right) \right] \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 114 \text{ kr/armatur pr. år}$$

Armaturene er for alle tre alternativer antatt å ha en levetid på 20 år. Kostnaden for å skifte ut armaturen etter 20 år (inkl. restverdi ved slutten av analyseperioden) uttrykt som årlige kostnader er beregnet som følger:

Ingen nedregulering:

$$Utskift_a = \left[2600 \cdot \left((1,045)^{-20} - \frac{15}{20} \cdot (1,045)^{-25} \right) \right] \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 29 \text{ kr/armatur pr. år}$$

To-trinns nedregulering:

$$Utskift_b = \left[3000 \cdot \left((1,045)^{-20} - \frac{15}{20} \cdot (1,045)^{-25} \right) \right] \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 33 \text{ kr/armatur pr. år}$$

Trinnløs nedregulering (uten elektronikk, denne avskrives over 10 år):

$$Utskift_c = \left[2600 \cdot \left((1,045)^{-20} - \frac{15}{20} \cdot (1,045)^{-25} \right) \right] \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 29 \text{ kr/armatur pr. år}$$

De samlede årlige vedlikeholdskostnadene inkl. pæreskift, skifte av kondensatorer for det tradisjonelle og det to-trinns nedregulerbare anlegget, utskifting av elektronikk for det trinnløse anlegget og utskifting av armaturer etter 20 år for alle tre alternativene blir da:

Ingen nedregulering: $300 + 24 + 29 = 353$ kr/armatur pr. år (inkl. mva)

To-trinns nedregulering: $300 + 24 + 33 = 357$ kr/armatur pr. år (inkl. mva)

Trinnløs nedregulering: $170 + 114 + 29 = 313$ kr/armatur pr. år (inkl. mva)

Ved beregning av strømforbruk må det bl.a. tas hensyn til:

- tap i armaturer og kabler
- hvor stor andel av brenntiden anlegget er nedregulert
- at nye lamper har et noe høyere luminansnivå og at man ved trinnløs nedregulering kan oppnå samme luminansnivå gjennom lampens levetid

For den lampetypen som er valgt (150 W) er det i dette eksemplet antatt følgende strømforbruk for de tre alternativene:

Ingen nedregulering: 750 kWh/lampe pr. år
 To-trinns nedregulering: 600 kWh/lampe pr. år
 Trinnløs nedregulering: 500 kWh/lampe pr. år

Kostnadsgrunnlaget for beregning av levetidskostnadene er oppsummert i tabellen under. Kostnadene gjelder pr. kilometer veg og inkluderer en skattekostnad på 20 %, da alle kostnader er antatt å være skattefinansiert.

	Ingen nedregulering	To-trinns nedregulering	Trinnløs nedregulering
Investeringskostnad [kr/km]	124 800	144 000	216 000
Årlig vedlikeholdskostnad inkl. avskrivning [kr/km]	16 944	17 136	15 024
Årlig energikostnad [kr/km]	25 200	20 160	16 800

Tabell V2.2: Kostnadsgrunnlag for beregning av levetidskostnadene i eksempel

Ved gjentakende årlige kostnader kan disse regnes om til nåverdi ved bruk av følgende formel:

$$NV = K \cdot \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N}$$

hvor

NV = nåverdien
 K = den gjentatte årlige kostnaden
 r = kalkulasjonsrenten i %
 N = analyseperiodens lengde (år)

Nå kan vi beregne levetidskostnaden:

Ingen nedregulering:

$$LCC_a = 124800 + \left[(16944 + 25200) \cdot \frac{(1,045)^{25} - 1}{0,045 \cdot (1,045)^{25}} \right] = 749720 \frac{kr}{km}$$

To-trinns nedregulering:

$$LCC_b = 144000 + \left[(17136 + 20160) \cdot \frac{(1,045)^{25} - 1}{0,045 \cdot (1,045)^{25}} \right] = 697033 \frac{kr}{km}$$

Trinnløs nedregulering:

$$LCC_c = 216000 + \left[(15024 + 16800) \cdot \frac{(1,045)^{25} - 1}{0,045 \cdot (1,045)^{25}} \right] = 687893 \frac{kr}{km}$$

Med de forutsetningene som er gjort i dette eksemplet er det trinnløs nedregulering som gir lavest levetidskostnader. Kostnadene er ca. 1 % høyere for to-trinns nedregulering og ca. 9 % høyere for det tradisjonelle anlegget uten nedregulering. Det er viktig å presisere at konklusjonen vil kunne endres ved andre forutsetninger, noe som også vises i følsomhetsanalysen senere i eksemplet.

Levetidskostnaden kan også uttrykkes som en ekvivalent årskostnad, hvor vi konverterer levetidskostnaden til en kostnadsrekke av like årlige kostnader.

$$\dot{A}K = LCC \cdot \frac{r \cdot (1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

For vårt eksempel blir de ekvivalente årlige kostnadene:

$$\dot{A}K_a = 749720 \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 50560 \frac{kr}{km \cdot \text{år}}$$

$$\dot{A}K_b = 697033 \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 47007 \frac{kr}{km \cdot \text{år}}$$

$$\dot{A}K_c = 687893 \cdot \frac{0,045 \cdot (1,045)^{25}}{(1,045)^{25} - 1} = 46391 \frac{kr}{km \cdot \text{år}}$$

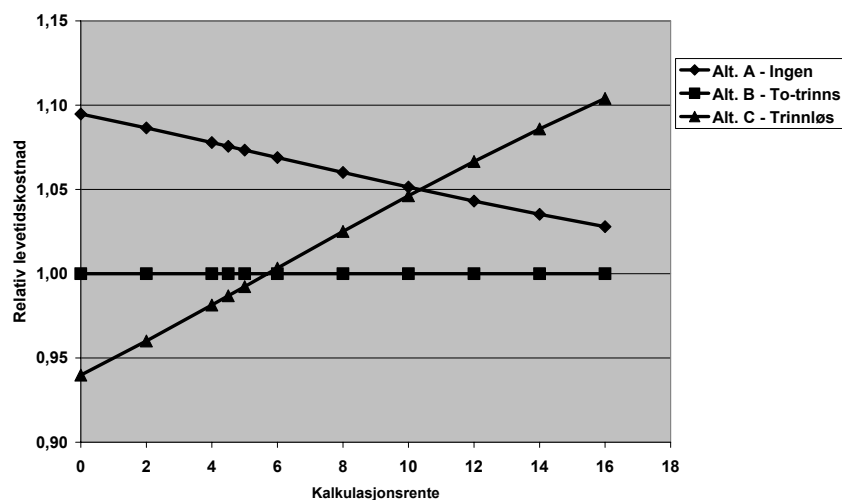
Følsomhetsanalyse

Vi har gjennomført en følsomhetsanalyse av to sentrale parametere: kalkulasjonsrenten og strømprisen. Kalkulasjonsrenten påvirker resultatene ved at høye verdier gir lavere vekt på framtidige kostnader. For dette eksemplet er de totale levetidskostnadene som funksjon av kalkulasjonsrenten gitt i tabellen på neste side.

Kalkulasjonsrente	Alternativ A Ingen nedregulering	Alternativ B To-trinns nedregulering	Alternativ C Trinnløs nedregulering
0	1 178 400	1 076 400	1 011 600
2	947 597	872 147	837 314
4	783 177	726 641	713 157
4,5	749 720	697 033	687 893
5	718 775	669 648	664 526
6	663 542	620 768	622 818
8	574 678	542 126	555 714
10	507 343	482 537	504 868
12	455 341	436 518	465 600
14	414 453	400 333	434 724
16	381 756	371 397	410 034

Tabell V2.3: Totale levetidskostnader som funksjon av kalkulasjonsrenten i eksempel [kr/km]

Dette er også vist i figuren under, hvor resultatene er angitt relativt til to-trinns nedregulering. Vi ser at med en kalkulasjonsrente lavere enn 6 % blir 'Trinnløs' gunstigere enn 'To-trinns'. Ved økt kalkulasjonsrente er det motsatt. Når kalkulasjonsrenten stiger over 10 % blir 'Trinnløs' også mindre gunstig enn 'Ingen'.



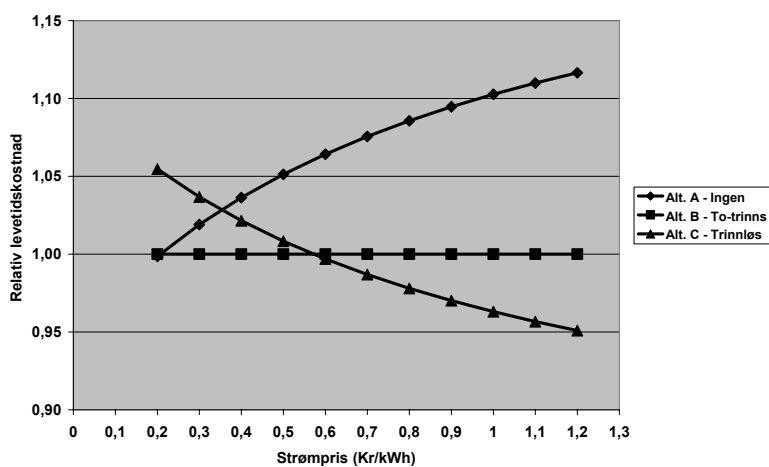
Figur V2.4: Totale levetidskostnader som funksjon av kalkulasjonsrenten i eksempel

Strømprisen påvirker resultatene ved at energisparende tiltak blir mer lønnsomme ved høyere energipris. Resultatet av følsomhetsanalysen for strømprisen er gitt i tabellen under.

Strømpris (kr/kWh)	Alternativ A Ingen nedregulering	Alternativ B To-trinns nedregulering	Alternativ C Trinnløs nedregulering
0,2	482 812	483 507	509 954
0,3	536 194	526 212	545 542
0,4	589 575	568 917	581 130
0,5	642 957	611 622	616 718
0,6	696 338	654 328	652 305
0,7	749 720	697 033	687 893
0,8	803 102	739 738	723 481
0,9	856 483	782 443	759 068
1,0	909 865	825 149	794 656
1,1	963 246	867 854	830 244
1,2	1 016 628	910 559	865 831

Tabell V2.4: Resultatet av følsomhetsanalysen for strømprisen i eksempel [kr/km]

Dette er også vist i figuren under, hvor resultatene er angitt relativt til to-trinns nedregulering. Vi ser at for en strømpris lavere enn ca. 20 øre/kWh blir 'Ingen' det gunstigste alternativet. Ved en strømpris på over ca. 60 øre blir 'Trinnløs' det gunstigste alternativet. Mellom disse to nivåene er det 'To-trinns' som gir lavest levetidskostnad.



Figur V2.5: Resultatet av følsomhetsanalysen for strømprisen i eksempel

Trafikanteffekter

Vi har ikke tatt med merkostnader for trafikantene ved redusert belysning visse deler av døgnet. Det kan være økt fare for ulykker ved å nedregulere belysningen midt på natten. Hvis vi tar utgangspunkt i at én enkelt lettere personskade verdsettes til 800 000 kroner (2005), ser vi at de beregnede forskjellene i levetidskostnader er små. En økning med én lettere skadd pga. nedregulering i løpet av 25-årsperioden vil kunne endre konklusjonen med hensyn til hva som er det samfunnsøkonomisk mest gunstige alternativ.

Vedlegg 3: Dokumentasjon

Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter pålegger oss å utarbeide dokumentasjon som skal kunne framlegges for myndighetene. Etilsynsloven og Forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF) forteller hvordan dette skal gjøres for el-anlegg.

Med utgangspunkt i forskriftene, bør dokumentasjonen for veg- og gatebelysningsanlegg minst bestå av følgende:

Gjelder både prosjekterende firma og utførende entreprenør:

- Samsvarserklæring(er) med liste over anvendte normer. En felles samsvarserklæring kan utarbeides dersom samme firma står for både prosjektering og gjennomføring. Det stilles også krav til dokumentasjonen som skal følge samsvarserklæringen, se FEF/NEK 400.
- KAR-analysens krav til dokumentomfang.
- For alle veger og områder som skal belyses: Lysberegninger i henhold til NS-EN 13201-3 Vegbelysning Del-3: Beregning av ytelse. Lysteknisk dokumentasjon er en forutsetning for å kunne vurdere armaturens kvalitet opp mot den aktuelle belysningsoppgaven.
- Hele det elektriske anlegget skal beregnes i FEBDOK eller et tilsvarende program.

All dokumentasjon i forbindelse med prosjektering og beregning skal foreligge i de elektroniske formater som kreves av Statens vegvesen.

Gjelder prosjekterende firma:

- Dokumentasjon på hvilke ytre påkjenninger anlegget er dimensjonert etter.
- Beskrivelse av anlegget basert på håndbok 025 Prosesskode - 1 og håndbok 026 Prosesskode - 2.
- Belysningsplaner (I og N-tegninger) minimum i målestokk 1:2000 (A3) med angivelse av alle master/armaturer, fordelingsskap, kabeltraseer og trekkør/ trekkekummer etc. Tegningene skal inneholde en tabell hvor hvert enkelt lyspunkt er angitt med:
 - nummer
 - koordinater (X, Y og Z for topp fundament)
 - fundamenttype og -størrelse
 - mastetype med opplysninger om lengde, lyspunkthøyde, evt.

- avskjæringsledd, utliggerarm, toppdiameter og farge
- armaturtype med opplysninger om lampetype, effekt, skjerm, innstillinger (helling, reflektorposisjon, lampeposisjon), eventuelt nedreguleringssystem, farge og tilknytningspunkt (skap, kurs)

Tegningene skal også inneholde opplysninger om:

- fordelingsskap og trekkekummer (nummer, koordinater og type)
- kabler og trekkør (dimensjoner, type og antall)
- oversiktsskjema, prinsipiell kopling av fordelinger med tilførsel.
- élinjeskjema for de enkelte fordelingene.

Gjelder utførende entreprenør:

- Dokumentasjon av entreprenørens kompetanse i henhold til Forskrift om kvalifikasjoner for elektrofagfolk.
- Armaturdata i et format som tillater lysberegning også i et bransjenøytralt beregningsprogram som brukes av Statens vegvesen.
- Kopi av melding(er) og bestilling(er) av nettabonnement.
- Anleggsadresse og måleridentitet.
- Minimum dokumentasjon i henhold til KAR-analyse, nivå B.
- Nødvendige lysmålinger etter 100 timers driftstid i henhold til NS-EN 13201-4 Vegbelysning Del-4: Metoder for måling av belysningens ytelse, se kapittel 4.6. Luminansmålinger er vanskelige å gjennomføre og gjøres kun i spesielle tilfeller. Vi krever derfor beregninger av belysningsstyrke med vedlikeholdsfaktor 1,0 for alle belysningssituasjoner. På denne måten kan vi få bekreftet om leveransen er i henhold til beskrivelsen og som tilbudt.
- Oppdatert dokumentasjon og tegninger for anlegget overleveres i elektronisk versjon i forbindelse med ferdigbefaring ved overtakelsen.
- Innmålte koordinater (GPS) for alle master, fordelingsskap, kummer og traseer for kabler/trekkør. Det skal angis X-, Y- og Z-koordinater i gjeldende koordinatsystem. Målte objekter skal kodes etter gjeldende SOSI-standard, og inneholde måledato samt kvalitetskode. Innmålte data leveres på SOSI-fil.

Forvaltnings-, drifts- og vedlikeholdsdokumentasjon skal være på norsk, og leveres i fire eksemplarer (ett eksemplar leveres på papir og tre eksemplarer leveres elektronisk).

I tillegg til dokumentasjonskravene ovenfor, skal følgende være med:

- Navn og adresser på entreprenører og leverandører.
- Eventuelle godkjenninger for kryssinger av vegger og høyspentlinjer.
- Viktige detaljer samt alle kabeltraséer som passerer bruer/kulverter skal dokumenteres med beskrivelse og digitale bilder.
- Datablad-materiell: For alle produkter leveres spesifikasjoner (datablad) med angivelse av alle relevante data som navn, nummer, fabrikat, leverandør, dimensjon og farge m.m.

Dette gjelder:

- fundamenter
- master (med kopi av ordrebekreftelse)
- armaturer (inkl. innstillinger av skjerm, reflektor, helling og nedregulering)
- kabler
- koplingsklemmer
- skap inkludert komponenter i skap, samt tennings- og styresystem
- Tilsyns- og vedlikeholdskort: For alle produkter som krever regelmessig vedlikehold eller utskifting av komponenter (kretskort, lyskilder etc.), skal det i tillegg til datablad leveres en vedlikeholdsbeskrivelse samt angivelse av tidsintervall for vedlikehold og oversikt over de materialer som skal brukes. For disse produktene kreves et fotokort (foto av produktet med angivelse av alle betjeningshendler o.l.).
- Drifts- og systeminformasjon: For alle produkter som forutsetter kontinuerlig drift, skal det i tillegg til datablad og tilsyns- og vedlikeholdskort, leveres en driftsbeskrivelse inkl. koplingsskjema, feilsøkingrutiner, rutinebeskrivelse og reservedelsliste. Beskrivelsen skal omfatte eventuelle brosjyrer og kopi av garantikort. For disse produktene kreves et fotokort (foto av produktet med angivelse av alle betjeningshendler o.l.).
- Spesifikasjoner: Apparatspesifikasjoner skal inneholde betegnelse for strømveisskjema, navn, fabrikat, type, data, leverandør m.m.

Krav til eier:

- Eier av anlegget skal oppbevare all dokumentasjon så lenge anlegget er i drift.
- Anleggene skal registreres i vegdatabanken (vegreg).
- Eier skal sørge for at det blir foretatt nødvendig ettersyn og vedlikehold slik at anlegget til enhver tid tilfredsstiller sikkerhetskravene i kapittel 2 i FEF. Dette skal inngå i HMS-systemet.



Statens vegvesen

Håndbøker bestilles fra:

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Bok 8142 dep.
0033 Oslo

Tlf. 22 07 35 00
Faks. 22 07 37 68
publvd@vegvesen.no

ISBN 82-7207-582-2