

Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning

VEILEDNING

Håndbok V124



Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet har ansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Denne håndboka finnes kun digitalt (PDF) på Statens vegvesens nettsider, www.vegvesen.no.

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

Nivå 1: ● Oransje eller ● grønn fargekode på omslaget – omfatter *normal* (oransje farge) og *retningslinje* (grønn farge) godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2: ● Blå fargekode på omslaget – omfatter *veiledning* godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet.

Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning

Nr. V124 Statens vegvesens håndbokserie

Forsidefoto: Vidar Moløkken

ISBN: 978-82-7207-769-2

Forord

Denne veiledningen omhandler teknisk planlegging av veg-, gate- og tunnelbelysning. Trafikksikkerhet er den viktigste grunnen til at belysning settes opp. Dette gjelder spesielt veger hvor det ferdes gående og syklende langs kjørebanen og i vegtunneler.

Krav til veg- og gatebelysning er gitt i vegnormal N100 Veg- og gateutforming. Krav til tunnelbelysning er gitt i vegnormal N500 Vegtunneler. Retningslinje R310 Trafikksikkerhetsutstyr definerer material- og funksjonskrav til trafikkutstyr og «NMF01: LED luminaires – requirements» angir gjeldende krav til armaturer. Belysningsanlegg skal ha utførelse iht. kravene gitt i vegnormal N601 Elektriske anlegg.

Det er gjennomført en revisjon av veiledning V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning. Veiledning gjelder fra mai 2021.

Vesentlige endringer som er foretatt i denne revisjonen er:

- Innført maksimalkrav til synsnedsettende blending (TI) for belysningsklasse C og P.
- Tidligere kapittel 5. Elektrotekniske krav er fjernet i sin helhet og relevante krav er overført til N601 Elektriske anlegg. Nytt kapittel 5. Tenning slukking og styring av vegbelysningsanlegg.
- Tidligere kapittel 6. Styring av belysningsanlegg heter nå Rehabilitering av belysningsanlegg.
- Tidligere kapittel 7. Rehabilitering av belysningsanlegg heter nå Energiforbruk.
- Tidligere kapittel 8. Energiforbruk heter nå Armaturer og lyskilder.
- Flere nye underkapitler i kapittel 9.
- Generelle oppgraderinger iht. revidering av internasjonale standarder.
- Lyskilder er nå kun omtalt med LED. Alt som tidligere har vært omtalt i forbindelse med bruk av damplamper er fjernet.

Der det i veiledningen er benyttet **anbefalt** er dette en klar henstilling om utførelse iht. beskrivelsen. Avvik fra dette omtales og begrunnes i risikovurderingen for de elektrotekniske anleggene.

I denne veiledningen er tekst, figurer og tabeller som finnes som krav i vegnormalene angitt med følgende bakgrunnsfarger: N100 har svak oransj og N500 har grå farge.

I tillegg kommer krav fra ulike standarder.

Vegdirektoratet
14.04.2021

Innhold

Forord	3
1 Veg- og gatebelysning - behov og virkning	7
1.1 Formål	7
1.2 Effekter av vegbelysning	7
1.3 Belysningens nytte og kvalitet	8
1.4 Lysforurensning	9
2 Vegbelysningsklasser	10
2.1 Vegdekker	10
2.2 Generelle krav for belysningsklasser	11
2.3 Belysningsklasser for veger gater og områder	12
2.3.1 Overgangssone	14
2.4 Belysningsklasser for gang- og sykkelveger	15
2.5 Blending	16
2.5.1 Ubehagsblending	16
2.5.2 Synsnedsettende blending	16
2.5.3 Blending fra andre belysningsanlegg	17
3 Etablering av vegbelysningsanlegg	18
3.1 Krav om belysning	18
3.2 Belysning av eksisterende veg	19
3.3 Valg av belysningsklasse	19
3.4 Belysning av områder og kryss	19
3.4.1 Vegkryss	20
3.4.2 Fergeleier	21
3.4.3 Parkeringsplasser	21
3.4.4 Rasteplasser	21
3.4.5 Belysning av interimsveg	21
3.5 Belysning av sideveger, avkjørsler og holdeplasser når hovedvegen er belyst	22
3.5.1 Sideveger og avkjørsler	22
3.5.2 Holdeplasser	22
3.6 Belysning av sideveger, avkjørsler og holdeplasser når hovedvegen er ubelyst	22
3.6.1 Sideveger	22
3.6.2 Avkjørsler	23
3.6.3 Holdeplasser	23
3.6.4 Automatiske bommer	23
3.7 Belysning av gang- og sykkelveger	23
3.8 Belysning av gangfelt	24
3.8.1 Intensivbelysning	24
3.8.2 Forsterket belysning	25

4	Utforming av vegbelysningsanlegg	27
4.1	Lysberegninger	27
4.1.1	Luminansberegninger	29
4.1.2	Beregning av belysningsstyrke	29
4.2	Lysmålinger	30
4.2.1	Måleforhold	30
4.2.2	Måling av belysningsstyrke	30
4.2.3	Måling av luminans	31
4.3	Master og fundamenter	31
4.3.1	Master	31
4.3.2	Krav til ettergivenhet	32
4.3.3	Masteplassering	32
4.3.4	Lyspunkthøyde	35
5	Tenning, slukking og styring av vegbelysningsanlegg	37
5.1	Sentral eller lokal styring	37
5.2	Tekniske løsninger	38
5.3	Styring av vegbelysningsanlegg	39
5.4	Fotocelle	39
6	Rehabilitering av belysningsanlegg	40
7	Energibruk	41
8	Armaturer og lyskilder	42
8.1	Armaturkrav	42
8.1.1	Armatur	42
8.1.2	Lyskilder	42
8.1.3	Levetid for armaturer	43
8.2	Vedlikeholdsfaktor	44
8.2.1	Vedlikeholdsfaktor	44
8.2.2	Lysfluksfaktor	44
8.2.3	Fastsettelse av lysfluksfaktor ved bruk av konstant lysutbytte	44
8.2.4	Armaturvedlikeholdsfaktor	45
8.3	Levetid	45

9	Tunnelbelysning	46
9.1	Krav om belysning i tunneler	46
9.2	Krav til belysningen i tunneler	47
9.2.1	Overgangen fra dagslys utenfor til mørke inne i tunnelen (adaptasjonsprosessen)	48
9.2.2	Definisjonen på adaptasjonsluminans	48
9.2.3	Anbefalt metode for å beregne adaptasjonsluminans	49
9.2.4	Forenklet metode for å anslå adaptasjonsluminansen	50
9.2.5	Adaptasjonsluminans	50
9.2.6	Lengde på tunnelens ulike soner	50
9.2.7	Vegdekkets luminans	51
9.2.8	Belysning av tunnelveggene	53
9.2.9	Krav til luminansjevnhet	53
9.2.10	Blendingsbegrensning	53
9.2.11	Belysning av havarinisjer og snunisjer	53
9.2.12	Overgangssone til veg i dagen	54
9.2.13	Toveistrafiikk i envistrafiikkerte tunnellop	54
9.3	Monotoni, trøtthet, epilepsi, tunnelangst	54
9.3.1	Effektbelysning	54
9.4	Symmetrisk lys, motlys eller medlys	55
9.5	Tunnelarmaturer	56
9.6	Lysstyring	57
9.6.1	Innkjøringssone	57
9.6.2	Indre sone	57
9.6.3	Trafikkstyrt belysning	57
9.6.4	Krav til luminansmåler	57
9.7	Nødbelysning	58
9.7.1	Sikkerhetsbelysning	58
9.7.2	Rømningslys	58
9.8	Drift og vedlikehold	59
9.9	Lysberegninger og lysmålinger	60
9.9.1	Lysberegninger	60
9.9.2	Lysmålinger	60
	Litteratur, referanser, standarder m.v.	61
	Vedlegg 1: Terminologi	62
	Vedlegg 2: Eksempel på lysberegning av intensivbelyst gangfelt	65
	Vedlegg 3 Veiledning til prosjekteringsvalg som må gjøres i NMF01	72

1 Veg- og gatebelysning - behov og virkning

1.1 Formål

Veg- og gatebelysning har ett hovedformål: trafiksikkerhet. Belysning settes opp for å redusere antall 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 og statistiske undersøkelser viser at god belysning reduserer faren for slike ulykker vesentlig. Vegbelysning innvirker også på andre faktorer, som for eksempel framkommelighet, trivsel, trygghetsfølelse, kriminalitet og estetikk. Samtidig er det et mål at veg- og gatebelysningen ikke forbruker mer energi enn nødvendig.

1.2 Effekter av vegbelysning

For motorkjøretøy er ulykkesrisikoen i mørket ca. 1,5–2 ganger så høy som i dagslys. Risikoøkningen i mørke er størst for de alvorlige ulykkene. Den er også større for unge førere enn for andre aldersgrupper og den er større for fotgjengere enn for personer i motorkjøretøy. Risikoøkningen i mørke er særlig stor for fotgjengere som krysser vegen på ubelyst eller dårlig belyst veg i regnvær. Det gjelder også fotgjengere som krysser i dårlig belyste gangfelt.

Trafikksikkerhetshåndboka angir vegbelysningens virkning på ulike ulykkestyper på ulike typer veger.

Tabell 1.1: Virkning av vegbelysning på antall ulykker i mørke på alle typer veg. Prosent endring av ulykkestall

Ulykkens alvorlighetsgrad	Ulykkestyper som påvirkes	Prosent endring av antall ulykker	
		Beste anslag	Usikkerhet i virkning
Dødsulykker	Alle ulykker i mørke	-52	(-59; -45)
Personskade/uspesifisert	Alle ulykker i mørke	-26	(-33; -19)
Dødsulykker	Fotgjengerulykker i mørke	-78	(-88; -62)
Personskadeulykker	Fotgjengerulykker i mørke	-51	(-63; -36)
Personskadeulykker	Ulykker i fotgjenger-overganger i mørke	-53	(-66; -37)

Kilde: TØI Trafikksikkerhetshåndboka 2014

Tabell 1.2: Virkning av vegbelysning (prosent endring av antall ulykker)

Tiltak	Ulykkestyper	Prosent endring av antall ulykker	
		Effekt	Usikkerhet
Ny vegbelysning i spredtbygd strøk	Alle ulykker i mørke	-30	(-40; -19)
Ny vegbelysning i tettbygd strøk			
Kryss	Kryssulykker i mørke	-36	(-51; -18)
Strekninger	Strekningssulykker i mørke	-8	-36; +31
Ny vegbelysning på motorveg			
Dødsulykker	Alle ulykker i mørke	-36	(-75; +63)
Personskadeulykker	Alle ulykker i mørke	-14	(-29; +4)

Kilde: TØI Trafikksikkerhetshåndboka 2015

Basert på en rekke rapporter angir Trafikksikkerhetshåndboka også virkningen på ulykker i mørke av å øke belysningsnivået på strekninger med dårlig belysning, se tabell 1.3.

Tabell 1.3: Virkning på antall ulykker av bedre vegbelysning (prosent endring av antall ulykker)

Økning av belysningsnivået inntil	Ulykkens alvorlighetsgrad	Prosent endring av antall ulykker	
		Beste anslag	Usikkerhet i virkning
Inntil det dobbelte av tidligere belysningsnivå	Personskadeulykker	-8	(-20; +6)
To til fem ganger tidligere belysningsnivå	Personskadeulykker	-13	(-17; -9)
Fem ganger tidligere belysningsnivå eller mer	Dødsulykker	-50	(-79; +15)
	Personskadeulykker	-32	(-39; -25)

Kilde TØI: Trafikksikkerhetshåndboka 2014

1.3 Belysningens nytte og kvalitet

Belysningen hjelper førerne til å takle:

- posisjonelle oppgaver (holde riktig kurs og riktig sideveis plassering)
- navigasjonelle oppgaver (finne fram til bestemmelsesstedet)
- situasjonelle oppgaver (som oppstår uventet)

De posisjonelle oppgavene er grunnleggende. Det er viktig at føreren ser vegkantene og vegens videre forløp. Vegoppmerking, kantreflekser eller vegbelysning kan bidra til dette. Dersom de posisjonelle oppgavene er for krevende, blir også de navigasjonelle og situasjonelle oppgavene vanskelige å takle. De navigasjonelle oppgavene blir enklere dersom skilting og kryssutforming er godt synlig. De situasjonelle oppgavene blir enklere hvis hele vegområdet er belyst, slik at andre kjøretøy, fotgjengere eller hindringer i kjørebanelen blir synlige. Foranliggende konfliktområder må være synlige i god nok tid.

Vegoppmerking, kantreflekser og vegbelysning er tiltak som må vurderes i sammenheng og ut ifra hvilke synsoppgaver som er mest kritiske med tanke på trafikksikkerheten. Noen forhold er særlig viktige for at belysningen gir god ulykkesreducerende virkning:

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.

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 (REI), i en bredde tilsvarende en kjørefeltbredde målt fra kantlinje (tabell 2.3). 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 kjørebanelen.

Kontraster

Ulike luminansnivå mellom en hindring i vegbanen og bakgrunnen, bidrar til at bilføreren lettere oppdager eventuelle hindringer. 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. Fordi det er vanskelig å sikre gode kontraster som synliggjør fotgjengere og syklist, er det nødvendig å ha et høyt lysnivå der hvor det ofte er konflikt mellom ulike trafikantgrupper. Ved intensivbelysning av gangfelt ønsker man å oppnå en positiv kontrast, se kapittel 3.7.1.

Lysfarge

Fargen på belysningen angis ved lysets fargetemperatur angitt i grader Kelvin, mens lysets evne til å gjengi farger angis med lyskildens fargegjengivelsesindeks. Hvis fargegjengivelsen er god, er det som regel lettere å se fotgjengere og hindringer i vegen.

Blending

Vegbelysningsanlegg som er utformet etter gjeldende krav gir lite blending. Blending fra andre lyskilder og belyste skilt langs vegen, og direkte eller reflektert lys fra møtende trafikk, kan imidlertid være et problem for trafikksikkerheten. Hvis belysningsnivået på vegen økes, 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 dekke. 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 trafikksikkerhet 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 trafikksikkerhet.

1.4 Lysforurensning

Lysforurensning (iht. CIE, generisk term som indikerer den totale summen av alle uønskede effekter av kunstig lys) er uønsket eller overflødig kunstig lys. Alle arter påvirkes av lys, også kunstig lys. Belysning kan påvirke både dyr og menneskers helse gjennom å påvirke døgnrytmen og planter vekstsyklus. Ved å redusere lysforurensning vil også energiforbruket reduseres. Lysforurensning i et gitt område er avhengig av antall lyskilder, hvor sterkt disse lyskildene lyser, retningen de lyser i, hvor mye av lyset som reflekteres, fargetemperatur/spektralsammensetting og de atmosfæriske forholdene. I tillegg vil refleksjon av lys føre til en jevn glød på himmelen (himmelglød). Dette kan påvirke organismer som bruker månelys som en markør for biologisk aktivitet.

Ved å designe/prosjekttere belysningsanleggene og benytte lysarmaturer som begrenser hvor lyset sendes, slik at lys ikke sendes unødvendig ut i atmosfæren, kan lysforurensningen begrenses, samtidig som lyset kun belyser områdene som trengs å belyses. Mengden lysforurensning kan reduseres ved å benytte lysarmaturer som retter lyset kun nedover, og ved å bruke lavest mulig lysstyrke, samt la være å sette opp flere lyskilder enn nødvendig. I tillegg vil systemer som dimmer ned lyset i perioder hvor behovet er lite og opp i perioder når det trengs og økt bevissthet rundt bruk av fargetemperatur og intensitet bidra til å redusere lysforurensningen.

2 Vegbelysningsklasser

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)
- belysningens jevnhet:
 - total jevnhet på tørt (U_o) og vått vegdekke (U_{ow})
 - langsgående jevnhet på tørt vegdekke (U_l)
- synsnedsettende blanding (f_{TI})
- belysning av omgivelsene (R_{EI})
 - forholdet mellom belysningsstyrken utenfor og på kjørebanelen

Følgende faktorer er også avgjørende for belysningsanleggets kvalitet:

- lyskilde (type, effekt, fargetemperatur, fargegjengivelsesindeks og brenntid)
- armatur og forkoplingsutstyr (lysfordeling, virkningsgrad)
- geometri (vegbredde, masteavstand, lyspunktthøyde 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. For norske forhold benyttes dekkeklasse med speilingsgrad W4 eller unntaksvis W3, se tabell 2.1.

Refleksjonsegenskapene beskrives av den gjennomsnittlige luminanskoeffisient Q_0 og fotometriske data for hver dekkeklasse (r-tabell). Disse er definert og beskrevet av CIE, den internasjonale belysningskommisjonen, i publikasjonene: CIE 47: 1979 Road lighting for wet conditions og CIE 66: 1984 Road surfaces and lighting. Vegdekkets refleksjon kan også beskrives ved luminanskoeffisienten i diffus belysning Q_d , som er beskrevet i CIE 144: 2001 Road surface and road marking reflection characteristics i tillegg til Q_0 .

Q_d er også en gjennomsnittlig luminanskoeffisient, men beregnet med mindre vekt på speilende belysning og derfor med en lavere verdi enn Q_0 . Q_d har den fordel framfor Q_0 at verdien kan bestemmes med håndholdte måleapparater og at verdien ofte er et bedre uttrykk for vegdekkets refleksjon.

Tabell 2.1: Dekkeklasser med faktorer for refleksjonsegenskaper

Dekkeklasse	Visuelt inntrykk	Q_0 tørr	Q_0 våt
C1	Tørt, lyst	0,1	
C2	Tørt, mørkt	0,07	
W3	Vått		0,20
W4	Vått		0,25

- Ved luminansberegninger av tørr veg benyttes dekkeklasse C2.
- Når et vegdekke er vesentlig lysere enn verdiene for C2 tilsier, kan dekkeklasse C1 (for eksempel betong) eventuelt de reelle verdiene for Q_0 , benyttes til å skalere refleksjonstabellen (r-tabellen) for dekkeklasse C2. Det forutsettes da at vegen også i framtiden får et vegdekke med minst like gode refleksjonsegenskaper. En beregning med dekkeklasse C2 anbefales utført for sammenligning.
- Ved luminansberegninger for våt veg benyttes dekkeklasse W4.
- Når et vegdekke er vesentlig mindre speilende enn verdiene for W4 tilsier, kan dekkeklasse W3 benyttes. Det forutsettes da at vegen også i fremtiden får et vegdekke med tilsvarende speilende egenskaper. Det anbefales at en beregning med dekkeklasse W4 gjennomføres 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-dekkeklasse. De fleste vegdekker er mer eller mindre speilende i våt tilstand. Når det benyttes vegdekker som er mindre speilende i våt tilstand enn tilsvarende W4, er jevnheten U_{ow} (se tabell 2.3) høyere enn det som fremgår av beregningen.

2.2 Generelle krav for belysningsklasser

Det er utarbeidet ulike belysningsklasser for forskjellige veger, gater og områder. Disse er beskrevet i NS-EN 13201-2 Vegbelysning-Del 2: Ytelseskrav. Ulike dimensjoneringsklasser for veger og gater er beskrevet i vegnormal N100 Veg- og gateutforming.

For norske forhold gjelder følgende belysningsklasser:

- M: For veger og gater med fartsgrense 40 km/t og høyere
- C: For veger 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 M-klassene
- P: For gang- og sykkelveger

Ved dimensjonering av belysningen foretas beregninger som dokumenterer at kravene i den aktuelle belysningsklassen er oppfylt.

Armaturvedlikeholds faktoren (f_{LM}) som inngår i lysberegningene skal fastsettes etter en vurdering beskrevet i V124 kapittel 8.2 og skal ikke settes høyere enn 0,90.

N100 Veg- og gateutforming

Kravene til luminans og belysningsstyrke er gitt til opprettholdt nivå over anleggets levetid. Anlegget må derfor (over)dimensjoneres slik at kravene er tilfredsstilt selv etter at designet/ installert nivå er redusert med en vedlikeholdsfaktor (f_M) som gir rom for lystilbakegang i lyskilde og armatur (f_{LF}) og lystilbakegang på grunn av tilsmussing (f_{LM}). Beregning av vedlikeholdsfaktoren (f_M) som inngår i lysberegningene utføres iht. pkt. 8.2.

Tabell 2.2: Belysningsklasser med tilsvarende lysnivåer

Gjennomsnittlig luminans i cd/m^2		2,00	1,50	1,00	0,75	0,50			
Klasser	C0	M1 C1	M2 C2	M3 C3 P1	M4 C4 P2	M5 C5 P3	P4	P5	P6
Gjennomsnittlig belysnings- styrke i lux	50	30	20,0	15,0	10,0	7,5	5,0	3,0	2,0
N100 Veg- og gateutforming									

2.3 Belysningsklasser for veger gater og områder

Der vegbelysning etableres skal belysningsklassene i M-serien brukes på veger og gater med fartsgrense 40 km/t eller høyere, se tabell 2.3. (Tabell D.14 i N100)

N100 Veg- og gateutforming

Til hver M-klasse er det satt krav til gjennomsnittlig luminans (L_m), total jevnhet (U_o), langsgående jevnhet (U_l), synsnedsettende blending (f_{Ti}), total jevnhet på vått dekke (U_{ow}) og belysning av omgivelsene (R_{EI}).

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

Klasse	Kjørebansens luminans			Syns- nedsettende blending		Belysning av omgivelsene
	Tørr tilstand			Våt tilstand	Tørr tilstand	
	L_m i cd/m^2 (minimum opprettholdt nivå)	U_o (minimum)	$U_l^{1)}$ (minimum)	$U_{ow}^{2)}$ (maksimum)	$f_{Ti}^{3)}$ (minimum %)	$R_{EI}^{4)}$ (minimum)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30

- 1) Den langsgående jevnheten (U_l) gir et måltall på oppfattelsen av et gjentatt mønster av mørke og lyse felter på vegoverflaten i lengderetningen og er slik sett bare relevant for lengre uavbrutte vegstrekninger og bør følgelig bare benyttes i disse tilfellene. Verdiene i kolonnen er å anse som minimums anbefalte verdier for den respektive belysningsklassen, men kravet kan økes hvis spesielle hensyn med tanke på vegutforming eller nærmere behovsanalyse skulle tilsi det.
- 2) Dette er det eneste kriteriet som er referert til våt veg, og er et krav som kommer i tillegg til jevnhet på tørr veg.
- 3) Verdiene fastsatt i kolonne for f_{Ti} er å anse som maksimum tillatte for den respektive belysningsklassen.
- 4) Dette kriteriet (the edge illuminance ratio) erstatter tidligere SR og benyttes i de tilfeller hvor det ikke er noen trafikkområder med egne belysningsanlegg direkte tilstøtende den aktuelle belyste vegen (f. eks fortau).

N100 Veg- og gateutforming

Kjørebanelens luminans er resultatet av belysningen av vegen, vegdekkets refleksjonsegenskaper og observasjonsretningen. Observasjonsbetingelsene er beskrevet i kapittel 4.1 og gjelder vegstrekninger med sikt lengde 60–180 m. Gjennomsnittlig luminans (L_m) gjenspeiler det generelle luminansnivået på vegen foran føreren. Ved så lave lysnivå som i vegbelysning forbedres synsforholdene med økende luminans, fordi kontrastfølsomheten og synsskarpheten øker og blendingen blir mindre.

Total jevnhet (U_o) er et mål på variasjonen i luminans og indikerer hvor godt veibanen fungerer som en bakgrunn for vegoppmerking, gjenstander og andre trafikanter.

Langsgående jevnhet (U_l) er et mål på synligheten av gjentatte mønster av lyse og mørke felt på veien i kjøreretningen. Kravet er mest relevant for lange uavbrutte og belyste vegstrekninger. Det er ikke påvist noen direkte sammenheng mellom langsgående jevnhet og trafiksikkerhet, men dårlig langsgående jevnhet over en lang strekning oppleves av mange førere som ubehagelig og slitsomt.

Terskeløkningen (f_{TI}) indikerer at selv om veibelysningen forbedrer de visuelle forholdene kan den også gi synsnedsettende blending i en grad som avhenger av type armatur, lampe og geometrisk situasjon.

Belysning av kjørebanelen alene er utilstrekkelig for å synliggjøre vegens nærmeste omgivelser og trafikanter ved vegkanten. Kravene til belysning av omgivelsene (R_{EI}) gjelder bare der det ikke er trafikkarealer ved siden av vegen som har egne belysningskrav (for eksempel fortau eller sykkelveg).

Belysningsklassene i C-serien skal brukes i:

- Gater/veger med fartsgrense 30 km/t
- Kryssområder
- Situasjoner med kortere naturlige synsavstander enn 60 m
- Svingete veg med $r < 200$ m
- Konfliktområder med fotgjengere, syklist og/eller motorisert trafikk
- Strekning med gangfelt, minst 50 m før og etter gangfelt
- Bysentra
- Boliggater

Se tabell 2.4. (Tabell D.15 i N100).

N100 Veg- og gateutforming

Tabell 2.4: Belysningsklasser i C-serien

Klasse	Horisontal belysningsstyrke		
	E_m i lux (minimum opprettholdt)	U_o (minimum)	f_{TI} (maksimum) %
C0	50	0,40	15
C1	30	0,40	15
C2	20,0	0,40	15
C3	15,0	0,40	20
C4	10,0	0,40	20
C5	7,50	0,40	20

N100 Veg- og gateutforming

Øvrige krav:

- Det kan vurderes å gå opp en belysningsklasse i følgende områder:
 - i konfliktområder og viktige og 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 belysningsklasser mellom tilstøtende områder.
- Belysningen skal dimmes i tidsrom hvor det er mindre belysningsbehov (for eksempel om natten), med mindre levetidskostnadsanalyser (LCC-analyser) viser at det ikke er lønnsomt å installere et dimbart anlegg.

N100 Veg- og gateutforming

Eksempler på konfliktområder kan være komplekse kryss, rundkjøringer, sentrumsgater, områder med kø og fergekaier. Dette er områder der luminansberegninger ikke kan gjennomføres i henhold til retningslinjene, dvs. der hvor observasjonsavstanden er kortere enn 60 m og hvor det er mange relevante observasjonsretninger.

Til hver C-klasse er det satt krav til gjennomsnittlig belysningsstyrke (E_m), belysningsstyrkens jevnhet (U_o) og synsnedsettende blending (f_{TI}).

2.3.1 Overgangssone

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

Det skal benyttes overgangssoner for klasse M1, M2 og for tilsvarende C-klasser ved avslutning mot ubelyst veg. Overgangssonen skal ha et luminansnivå på minimum klasse M5/C5 og en utstrekning lik stoppsikt som gitt i tabell C.3.

Lyspunkthøyde, masteavstand og armaturens avskjerming beholdes uforandret.

N100 Veg- og gateutforming

Stoppsikt er gitt i vegnormal N100 Veg- og gateutforming i del C Veger for hver dimensjoneringsklasse. Tabell 2.5 angir overgangssonens minste 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 (lik stoppsikt)

Fartsgrense (km/t)	Overgangssonens minste lengde (m)
30	20
40	30
50	45
60	65
70	95
80	115
90	160
100	190
110	227
N100 Veg- og gateutforming	

2.4 Belysningsklasser for gang- og sykkelveger

Belysningsklassene i P-serien brukes for fortau, gangveger, gang- og sykkelveger og andre områder som ligger separat eller langs en kjørebane eller på parkeringsplasser. Belysningsstyrken beregnes horisontalt. Se tabell 2.6, (Tabell D.16 i N100).

N100 Veg- og gateutforming

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

Klasse	Horisontal belysningsstyrke			Tilleggskrav til vertikal belysningsstyrke hvis relevant	
	E_m [lux] ¹⁾ (minimum opprettholdt)	E_{min} [lux] (opprett-holdt)	f_{Ti} (maksimum) %	$E_{v,min}$ [lux] (oppretholdt)	$E_{sc,min}$ [lux] (oppretholdt)
P1	15,0	3,00	20	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	25	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	25	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	30	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	30	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	35	0,6	0,2
1) For å sikre god jevnhet skal den beregnede verdien for E_m ikke overstige 1,5 ganger E_m angitt for belysningsklassen.					
N100 Veg- og gateutforming					

Hvis lysberegningene viser at gjennomsnittsnivået ligger en klasse over følges kravene for denne klassen. For sykkelveier med stor trafikk se kapittel 3.7.

Til hver P-klasse er det satt krav til gjennomsnittlig belysningsstyrke (E_m), minimal belysningsstyrkens (E_{min}) og synsnedsettende blending (f_{Ti}). I tillegg er det gitt verdier for vertikal belysningsstyrke der det anses viktig med ansiktsgjenkjenning.

$E_{v,min}$ = vertikal belysningsstyrke og måles 1,5 m over dekke.

$E_{sc,min}$ = semisylindrisk belysningsstyrke og måles 1,5 m over dekke.

2.5 Blending

Det finnes to typer blending: Ubehagsblending og synsnedsettende blending.

Vegbelysningen skal ha en slik utforming at den ikke blander trafikantene, og det må utføres blendingskontroll for enhver belysningsssituasjon. På gjennomgående veger og i konfliktområder på en gjennomgående veg skal blendingskontrollen utføres ved beregning av f_{Ti} i samsvar med NS-EN 13201 – 3. Kontrollmåling av f_{Ti} utføres i samsvar med NS-EN 13201 – 4. Krav til maksimum f_{Ti} er gitt i tabell 2.3, 2.4 og 2.6. (Tabell D.14, D.16 og D.16 i N100).

N100 Veg- og gateutforming

2.5.1 Ubehagsblending

Ubehagsblending gir en subjektiv følelse av ubehag, og kan virke trettende for gående og syklende.

Lyspunkt klassifiseres i blendingsklasser på grunnlag av lysstyrke og størrelse. I åpne boligområder og langs gang- og sykkelveger (P-klassene) anbefales det benyttet armaturer i klasse D6. Der det er sammenhengende fasader, gågater og lignende kan det benyttes armaturer i klasse D5.

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
N100 Veg- og gateutforming							

2.5.2 Synsnedsettende blending

Synsnedsettende 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 synsnedsettende blending uttrykkes som en terskeløkning (f_{TI}) angitt i prosent. Beregning av f_{TI} utføres for alle belysningsklasser.

Tabell 2.8: Avskjermingsklasser G*1 – G*6

Klasse	Maksimal lysstyrke i cd/klm			Andre krav
	Ved 70 ^{0 1)}	Ved 80 ^{0 1)}	Ved 90 ^{0 1)}	
G*1		200	50	Ingen
G*2		150	30	Ingen
G*3		100	20	Ingen
G*4	500	100	10	Lysstyrke over 95 ^{0 1)} skal være null
G*5	350	100	10	Lysstyrke over 95 ^{0 1)} skal være null
G*6	350	100	0	Lysstyrke over 90 ^{0 1)} skal være null
1) Hvilken som helst retning som gir den spesifiserte vinkelen ut fra lodd linjen, når armaturen er montert og klar til bruk.				
N100 Veg- og gateutforming				

G*1, G*2, og G*3 tilsvarer begrepene delvis avskjerming (semi cut-off) og avskjerming (cut-off) og gjelder for armaturer med dypttrukken skjerm. Disse avskjermingsklassene sikrer ikke mot blending fra armaturene og bør ikke benyttes på veger med biltrafikk.

Tabell 2.8 kan benyttes til å begrense strølys til vegens omgivelser og til atmosfæren.

2.5.3 Blending fra andre belysningsanlegg

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 tabell 2.9 nedenfor.

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

	Ubelyst veg	Belyst veg			
		M4	M3	M2	M1
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
N100 Veg- og gateutforming					

Sløringsluminansen kan bestemmes etter formelen:

$$L_v = 10 * \frac{E_{bl}}{\theta^2}$$

der E_{bl} er vertikal belysningsstyrke i observasjonspunktet.
 θ er vinkelen, i grader, mellom synsaksen og innfallsretningen for det blendende lyset.

Ved bestemmelse av L_v må således vertikal belysningsstyrke og innfallsvinkel θ måles.
 Observasjonsstedet legges der hvor blendingen er størst.

Blending fra sidelysanlegg kan også beregnes i lysberegningsprogram.

3 Etablering av vegbelysningsanlegg

Gater anbefales belyst. I boligområder med liten trafikk og lavt fartsnivå er også hensynet til sosiale funksjoner, trivsel, tilgjengelighet og allmenn sikkerhet viktig.

Vegbelysning anbefales ellers også etablert når sparte samfunnsøkonomiske kostnader oppveier kostnadene til anlegg og drift av belysningsanlegget.

Dimensjoneringsklasser er gitt i vegnormal N100 Veg- og gateutforming. Belysning av tunneler er omtalt i kapittel 9 og i vegnormal N500 Vegtunneler.

3.1 Krav om belysning

For nye veger er kravene om belysning for de ulike dimensjoneringsklassene vist i tabell 3.1 (Tabell C.3 i N100).

Tabell 3.1: Krav til belysning på nye veger

Dimensjonerings-klasse	ÅDT (kjt/døgn)	Farts-grense (km/t)	Veg-Bredde (m)	Krav om belysning
H1	< 6 000	80	9	Ikke krav om belysning
H5	6 000 – 12 000	90	12,5/15	Krav om belysning
H3	>12 000	110	23	Krav om belysning
Hø1	<4 000	80	7,5	Ikke krav om belysning
Hø2	< 12 000	60	7,5	Krav om belysning dersom ÅDT>1 500
L1	<1500	80/60	7,5	Ikke krav om belysning
L2	< 300	50	3,5-4,5	Ikke krav om belysning
N100 Veg- og gateutforming				

Krav om belysning er gitt for hver dimensjoneringsklasse. I tillegg skal følgende steder belyses for å redusere ulykkesrisikoen i mørket:

- gangfelt (belyses etter et av to prinsipper, intensivbelysning eller forsterket belysning).
- kryssende gang- og/eller sykkelveger
- kryss med fysisk kanalisering i hovedvegen
- rundkjøringer
- fergeleier
- etablerte viltkryssinger i plan med vegen, for eksempel åpninger i et viltgjærde
- underganger
- korte strekninger (< 500 m) mellom belyste strekninger, for å få sammenheng i belysningen
- veger med parallelført gang- og sykkelveg
- gang- og/eller sykkelveger som ikke følger hovedvegen
- planskilte eller oppmerkede kanaliserte kryss med stor kompleksitet
- strekninger med mye kryssende vilt og viltkryssinger i plan
- bruer med lengde ≥ 100 m uten fysisk skille mot gang- og sykkeltrafikk
- kjettingplasser og kontrollplasser

N100 Veg- og gateutforming

3.2 Belysning av eksisterende veg

Mange eksisterende veger trenger belysning på grunn av risikosituasjon eller fordi det ferdes gående og syklende langs vegen.

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

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

3.3 Valg av belysningsklasse

Belysningsklasse skal velges i henhold til tabell 3.2. (Tabell D.18 i N100).

N100 Veg- og gateutforming

Tabell 3.2: Valg av belysningsklasse

	ÅDT < 1500	ÅDT 1500 – 6000	ÅDT > 6000
Veger med midtdeler/-rekkverk		M3	M3
Veger/gater uten midtdeler/-rekkverk og med fartsgrense ≥ 40 km/t	M4/C4	M3/C3	M2/C2
Veger / gater med fartsgrense 30 km/t		C3	C3

N100 Veg- og gateutforming

Ved valg av belysningsklasse gjelder generelt følgende:

- Det anbefales å gå opp en belysningsklasse i følgende områder:
 - i konfliktområder, som tilrettelagt kryssinger eller viktige/kompliserte kryss
 - på strekninger med vanskelige trafikkforhold
 - på strekninger med mange myke trafikanter eller forstyrrende lys fra omgivelsene
- Større forskjell enn to relevante belysningsklasser mellom tilstøtende områder anbefales ikke. Eksempel: En gang- og sykkelveg langs en kjøreveg belyses tilstrekkelig i forhold til den mye sterkere belysningen på kjørevegen.
- På strekninger med flere tunneler tett etter hverandre vurderes det å tilpasse vegens luminansnivå om natten til luminansnivået i tunnelene.
- Belysningen nedreguleres i tidsrom hvor det er mindre belysningsbehov.

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

3.4 Belysning av områder og kryss

Det velges belysning i C-klassene i kryss med egne svingefelt, rundkjøringer, fergeleier, sentrumsområder og plasser og eventuelt andre områder der det er nødvendig med belysning. C-klassene kan også brukes for adkomstveger og der det er korte synsstrekninger.

Belysningsklassene vist i tabell 3.3 (tabell D.19 i N100) skal benyttes for områder og kryss.

N100 Veg- og gateutforming

Tabell 3.3: Valg av belysningsklasser C for områder og kryss som skal belyses

Belysnings-klasse	Veg-Kryss ¹⁾	Adkomst-veger	Fergeleie	Toll-stasjoner, kontroll-plasser mv	Buss-terminaler, pakerings-plasser, torg, lommer mv	Gang- og sykkel-veg tunneler
C0			Oppstillings-plass med billettsalg	Manuelt betjenings-område		
C1	M1 er valgt for hovedveg		Fergeleie/ kaiområde	Automatisk betjenings-område		
C2	M2 er valgt for hovedveg				Buss-terminaler	
C3	M3 er valgt for hovedveg		Oppstillings-plass og kjøre-område	Oppstillings-plass og inn- og utkjørings-område	Holdeplasser belyst veg Viltkryssinger i plan	Dag ²⁾
C4	M4 er valgt for hovedveg	Som alternativ til M4		Kjetting-plasser	Parkerings-plasser 3) Åpne plasser og torg 4)	
C5		Som alternativ til M5			Rasteplasser holdeplasser ubelyst veg	Natt
Blendings-klasse						D6
Avskjermings-klasse	I belyste områder skal anlegget tilfredsstille G4. Ved overgang til ubelyste vegområder og der lyset kan forstyrre sjø- eller lufttrafikk skal anlegget tilfredsstille G6.					
1) Vegkryss skal ha samme belysningsnivå som hovedvegen, men for viktige og kompliserte kryss anbefales det å gå opp en belysningsklasse						
2) Ved mange gående/syklende og ikke atskilt gang og sykkelbane benyttes C0. Gjelder kun lange tunneler hvor dagslyset ikke slipper tilstrekkelig inn.						
3) C3 kan velges ved stor trafikk i mørket eller ved store krav til sikkerhet. C5 kan velges der det er mindre behov for belysning						
4) C5 kan velges der omgivelsenes belysningsnivå er lavt						
N100 Veg- og gateutforming						

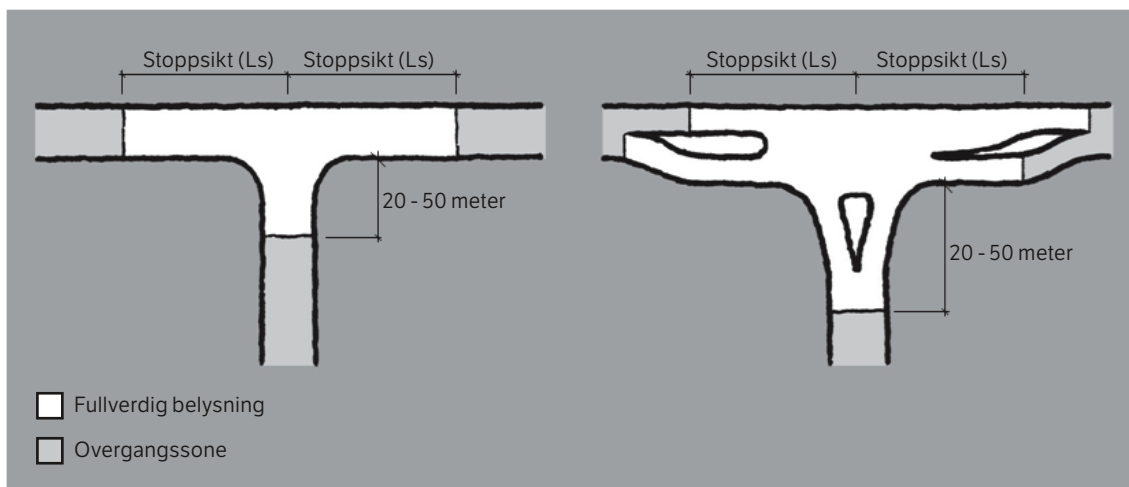
3.4.1 Vegkryss

Vegkryss skal være fullverdig belyst i en avstand som tilsvarer stoppsikt (målt fra midten av krysset). I kanaliserte vegkryss skal den fullverdige belysningen i innkjøringsfeltene strekke seg til enden av kanaliseringen dersom denne er lengere enn stoppsikten. Ved kanaliserte kryss på ubelyst veg skal det være overgangssoner når luminansnivået i krysset er i klasse M1/C1 eller M2/C2.

N100 Veg- og gateutforming

Overgangssoner er omtalt i kapittel 2.3.1.

Sammenhengen mellom M-klasser og C-klasser er vist i tabell 2.2.



Figur 3.1: Belysning av kryssområder

3.4.2 Fergeleier

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

Belysningen anbefales slått av eller dempes utenom fergens driftstid når dette ikke innebærer fare for utforkjøring. Disse kan med fordel utstyres med aktivitetsstyrt system som sørger for dimming ned til 20 % eller slås helt av når det ikke er aktivitet. Langtidsparkeringsplasser belyses av hensyn til faren for tyveri og hærverk. Området utstyres med aktivitetsstyrt system som sørger for dimming ned til 20 % når det ikke er aktivitet, alternativt kan belysningen slås helt av. Det forutsettes at det monteres en detektor i hver armatur og at det ved detektering blir 100 % lys i alle armaturene i det aktuelle området.

3.4.3 Parkeringsplasser

Disse anbefales utstyrt med aktivitetsstyrt system som sørger for dimming ned til 20 % når det ikke er aktivitet. Alternativt kan belysningen slås helt av. Det forutsettes at det monteres en detektor i hver armatur og at det ved detektering blir 100 % lys i alle armaturene i det aktuelle området.

3.4.4 Rasteplasser

Belysning konsentreres rundt bord, oppstillingsplasser og toalett. Disse anbefales utstyrt med aktivitetsstyrt system som sørger for dimming ned til 20 % når det ikke er aktivitet. Det forutsettes at det monteres en detektor i/ved hvert lyspunkt og at det ved detektering blir aktivert 100 % lys i alle armaturene i det aktuelle området.

3.4.5 Belysning av interimsveg

Veger som er belyst belyses også når det anlegges interimsveg med minimum samme belysningsklasse som den tilstøtende belyste vegen. Veger med gang- og sykkeltrafikk som er belyst belyses også når det anlegges interimsveg med minimum samme belysningsklasse som den tilstøtende belyste vegen og gang- og sykkelvegen. Dersom det anlegges interimsveg på en ubelyst strekning med merkbart dårligere standard enn den vegen den erstatter settes det opp midlertidig belysning med minimum belysningsklasse M3/C3 for å minimere risiko for ulykker og sikre en akseptabel trafikkavvikling. Gangfelt belyses enten etter kravene gitt punkt 3.7.1 Intensivbelysning eller punkt 3.7.2 Forsterket belysning.

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

3.5.1 Sideveger og avkjørsler

Det anbefales ikke at belysningen som brukes på avkjørselen eller i sidevegen er sterkere enn belysningen på hovedvegen. Første lysmast plasseres minst 15 m fra kantlinjen på hovedvegen. For parallell ført sideveg til hovedveg anbefales mastene plassert langs sidevegen lengst fra hovedvegen.

3.5.2 Holdeplasser

På belyste veger vil det som regel ikke være behov for separat belysning av holdeplasser. Hvis belysning vurderes som nødvendig kan det settes opp et ekstra lyspunkt ved holdeplassen, og fortrinnsvis slik at det kaster lys inn i leskuret hvis slikt finnes.

Ved tilrettelagt kryssing ved holdeplasser kan det være aktuelt å forsterke belysningen.

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

Generelt anbefales ikke sideveger, avkjørsler og holdeplasser belyst langs en ubelyst hovedveg. Hvis de belyses er det viktig at disse sidelysanleggene ikke reduserer synsbetingelsene for trafikantene på hovedvegen. Selv 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 vurderes som nødvendig, vurderes dette opp mot å belyse en kortere strekning av hovedvegen.

Det er viktig at trafikantene ikke får feil informasjon om vegens linjeføring, for eksempel i forbindelse med belysning av avkjørsler i kurver.

Følgende punkter skal oppfylles:

- Belysningsklasse C5 benyttes. Sterkere belysning kan føre til økt ulykkesrisiko på hovedvegen.
- Belysningen rettes slik at den ikke virker blendende eller synsnedsettende for trafikantene på hovedvegen. Armatur nærmest hovedvegen skal tilfredsstillende avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.
- Det skal unngås at områder der gående ferdes på hovedvegen blir liggende i et mørkere område enn det belyste området.

N100 Veg- og gateutforming

3.6.1 Sideveger

Sideveger skal ikke belyses helt fram mot ubelyst hovedveg. Hvis det likevel anlegges, skal:

- Sidevegen ha en overgangssone i belysningsklasse M5/C5. Eventuelt kan krysset på hovedvegen belyses.
- Første lyspunkt plasseres minimum 15 m fra kantlinjen på hovedvegen.

Parallell ført sideveg til hovedveg skal ikke belyses.

N100 Veg- og gateutforming

Det anbefales at lyspunktet nærmest hovedvegen tilfredsstiller avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.

3.6.2 Avkjørsler

Avkjørsler på ubelyst veg skal ikke belyses særskilt.

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.

N100 Veg- og gateutforming

Det anbefales at lyspunktet nærmest hovedvegen tilfredsstiller avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.

3.6.3 Holdeplasser

Generelt anbefales det ikke belysning av holdeplasser på ubelyst veg. Hvis det velges å belyse holdeplasser benyttes belysningsklasse C5. Belysningen utstyres med aktivitetsstyrt system som sørger for dimming ned til 20 % når det ikke er aktivitet. Sensorens dekningsområde må ikke bli påvirket av passerende biler slik at lyset går opp til 100 %. Det anbefales at armaturen tilfredsstiller avskjermingsklasse G6 eller blendingsklasse D6.

På slike steder anbefales lav lyspunkthøyde. Eventuelt kan det benyttes hæverkssikre armaturer i leskur.

3.6.4 Automatiske bomber

For å øke oppmerksomheten rundt områder med automatiske bomber på ubelyst veg og synbarheten for kameraovervåking anbefales området belyst iht. belysningsklasse C4 ca. 20 m fra bom i hver retning. Ved normal trafikkavvikling anbefales belysningen å være avslått, men tennes straks det iverksettes stenging.

3.7 Belysning av gang- og sykkelveger

Når gang- og sykkelveg går parallelt med hovedveg, belyses hovedvegen i samsvar med tabell 3.2.

Gang- og/eller sykkelveger skal belyses i henhold til følgende krav:

- Når belysningsnivået er lavere enn to belysningsklasser under hovedvegen.
- Ved liten og middels gang- og/eller sykkeltrafikk benyttes belysningsklasse P4.
- Ved stor gang- og/eller sykkeltrafikk benyttes belysningsklasse P2.
- Underganger belyses etter belysningsklasse C. I underganger beregnet kun for gående benyttes belysningsklasse C3. I underganger beregnet for gående- og syklende vurderes det behov for å velge belysningsklasse som gir høyere belysningsnivå.
- For å unngå ubehagsblending av gående og syklende ved lave lyspunkthøyder, skal armaturens blendingstall tilfredsstille blendingsklasse D6.
- For å unngå ubehagsblending av gående ved lave lyspunkthøyder, anvende blendingsklasse D6 på armatur.

N100 Veg- og gateutforming

3.8 Belysning av gangfelt

Gangfelt skal belyses etter ett av de to prinsippene, intensivbelysning eller forsterket belysning, hvor intensivbelysning er hovedprinsippet.

N100 Veg- og gateutforming

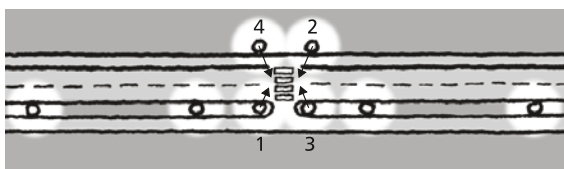
Lysinstallasjon for gangfelt skal ikke dimmes eller slås av i mørke

N100 Veg- og gateutforming

Dårlig belyste gangfelt har meget høy ulykkesrisiko og vurderes derfor individuelt med hensyn til valg av belysningsløsning. Det er likevel en fordel at gangfeltene har lik utførelse og er gjenkjennelige når trafikantene passerer flere gangfelt etter hverandre på en rute eller i et område. Det anbefales derfor at man gjør et prinsipielt valg mellom intensivbelysning og forsterket belysning for å unngå å veksle for mye mellom de to prinsippene.

3.8.1 Intensivbelysning

Intensivbelysning er hovedprinsippet for belysning av gangfelt.



Figur 3.2: Prinsippskisse for intensivbelysning av gangfelt

Ved intensivbelysning blir gangfeltet og kryssende/ventende fotgjengere belyst intensivt og det settes krav til minimum vertikal og horisontal belysningsstyrke (lux).

Intensivbelysning er godt egnet til å synliggjøre gangfeltet og fotgjengerne for førerne. Det er særlig godt egnet der hvor bakgrunnen er mørk, slik den ofte er ved bakketopp og i kurve. Intensivbelysning er ikke så godt egnet der mange fotgjengere krysser utenfor gangfeltet, fordi området «bak» gangfeltet (i begge kjøreretninger) kan bli relativt mørkt. For å bøte på dette kan belysningen på bakenforliggende vegstrekning forsterkes med flere master eller ved å bytte til nye og mer effektive armaturer. Ledegjerder kan også vurderes. Intensivbelysning er heller ikke så godt egnet i sentrumsgater med mange gangfelt ved kryss og det kan bli vanskelig å plassere mastene riktig. I slike tilfeller kan det være bedre å ha forsterket belysning i hele krysset/området.

Krav til intensivbelysning

- Det skal benyttes hvitt lys med god fargegjengivelse, $R_a > 70$ og fargetemperatur maksimum 3000 K.
- Minste vertikale belysningsstyrke (det mørkeste punktet) i et 2 m høyt plan midt i gangfeltet, på tvers av vegen, skal være minst 20 lux i kjørefelt som går mot gangfeltet og minst 10 lux i kjørefelt i motsatt retning.
- Minste horisontale belysningsstyrke i gangfeltet skal være minst 80 lux.
- Et område på hver side av gangfeltet, der fotgjengerne kommer gående eller blir stående å vente, skal også være godt belyst. På høyre side i kjøreretningen skal minste vertikale belysningsstyrke i et 2 m høyt plan i 3 m forlengelse av gangfeltet være minst 10 lux.
- Kravene til belysningsstyrke kommer i tillegg til vegbelysningen (dvs. at det i lysberegningene ikke skal medregnes tilskudd fra vegbelysningen).
- På tilstøtende vegstrekning minst 50 m før og minst 50 m etter gangfeltet skal gjennomsnittlig luminansnivå på kjørebane være iht. belysningsklasse M3/C3.

N100 Veg- og gateutforming

Det utføres lysberegninger som dokumenterer at kravene til vertikal og horisontal belyningsstyrke blir oppfylt, og erfaringsmessig vil følgende utførelse gi tilfredsstillende resultat på tofelts veger:

- Lyspunkthøyde 5–6 m.
- Masteplassering 2–4 m foran gangfeltet og 1,5 –2,5 m ut fra vegkanten. Eventuelt kan det benyttes utliggerarm for å kompensere for annen masteplassering, for eksempel i bakkant av brede fortau. For en veg med to kjøreretninger plasseres to master diagonalt over for hverandre, vist som mast 1 og 2 i figur 3.2. Hvis vegen er bred eller det blir stor avstand mellom lyspunktene 1 og 2, kan det være behov for to master i tillegg, vist som mast 3 og 4 i figur 3.2. Hvis gangfeltet ligger på et sted hvor kjøreretningene er atskilt med trafikkøy i midten, kan lysmastene alternativt plasseres på øya dersom denne ikke er spesielt utsatt for påkjørsel. Når bredden på øya er mer enn tre meter kan det være tilstrekkelig å intensivbelyse gangfeltet i kjøreretningen. Minste vertikale belyningsstyrke på øya anbefales da å være minst 10 lux.
- Det benyttes spesialarmaturer med asymmetrisk lysfordeling.

Lysberegning

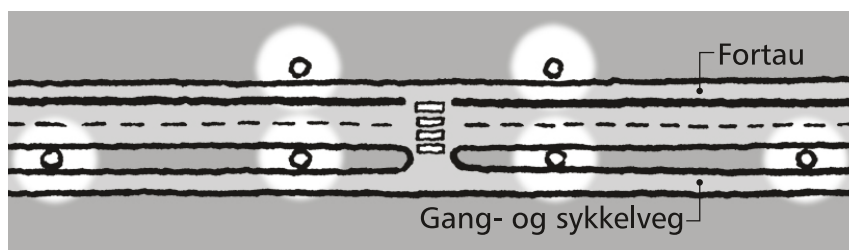
Det opprettes et vertikalplan midt i gangfeltet på tvers av vegen og dette deles inn i to beregningsfelt. For den aktuelle kjøreretningen vil det ene beregningsfeltet dekke kjørefeltet/-feltene som går mot gangfeltet og det andre beregningsfeltet vil dekke kjørefeltet/-feltene i motsatt retning. Hvert beregningsfelt er 2 m høyt og har 5 beregningspunkter i høyden. I bredden har hvert beregningsfelt minst 6 beregningspunkter for hvert kjørefelt. Beregningspunktene fordeles jevnt i et rutemønster hvor de ytterste punktene ligger en halv rutebredde fra kanten.

For å beregne belyningsstyrken i vegens sideområder ved enden av gangfeltet brukes et beregningsfelt som er en 3 m lang direkte forlengelse av vertikalplanet gjennom gangfeltet. Dette beregningsfeltet har 6 punkter i bredden og 5 punkter i høyden. Beregningene utføres for hver kjøreretning når vegen har tovegstrafikk.

Eksempel på utskrift fra en lysberegning er vist i vedlegg 2.

3.8.2 Forsterket belysning

Forsterket belysning benyttes der hvor intensivbelysning ikke er godt egnet, f.eks. i sentrumsområder hvor gangfeltene ligger tett, hvor fotgjengerne krysser «over alt» eller kryssene har kompliserte trafikkforhold med blandet trafikk.



Figur 3.3: Prinsippskisse for forsterket belysning

Krav til forsterket belysning

Belysningen i gangfeltet og området fra minst 50 m foran til minst 50 m etter gangfeltet skal ha to belysningsklasser høyere nivå enn belysningsnivået på tilstøtende vegstrekning slik at kjørebanen danner en lys bakgrunn som fotgjengerne kan sees imot. I sentrumsområder hvor det er mye strølys fra tilliggende områder kan det være tilstrekkelig å øke belysningsnivået med en belysningsklasse. Dog ikke et høyere enn til klasse M1/C1.

- De nærmeste lysmastene plasseres i en avstand fra gangfeltet minst lik lyspunkthøyden, slik at fotgjengerne blir relativt mørke og kan sees i kontrast mot en lysere bakgrunn.
- Det skal benyttes hvitt lys med god fargegjengivelse, $R_a > 70$ og fargetemperatur maksimum 3000 K.

N100 Veg- og gateutforming

- Belysningen i gangfeltområdet anbefales å være tosidig for å sikre et høyt og jevnt luminansnivå. På smale veger og smale gater med sammenhengende fasader på begge sider av vegen kan ensidig plassering av master vurderes.
- Hvis man velger forsterket belysning og det er andre elementer enn vegen som danner en stor del av den bakgrunnen som fotgjengerne sees imot, vurderes det å belyse disse elementene (f.eks. støyskjerm, hekk eller trerekke). Det kan i slike tilfeller være et bedre alternativ å intensivbelyse gangfeltet.
- Det kan noen ganger være greit å benytte forsterket belysning ved gangfeltene på sideveger selv om gangfeltene i hovedvegen har intensivbelysning.

4 Utforming av vegbelysningsanlegg

Ved prosjektering av veg- og gatebelysningsanlegg foretas det en samlet vurdering av tekniske krav, lokale vedtak og bestemmelser, samt funksjonelle, estetiske og økonomiske forhold.

Ved prosjektering av et veglysanlegg, utføres følgende oppgaver:

- Utarbeide beregningsforutsetningene for belysningsanlegget, i dette inngår:
 - krav til belysningsklasse
 - mastetype
 - veidekke
 - kjørebanebredde
 - vedlikeholdsfaktor
 - plassering av master, mastehøyde og eventuelt bruk av utligger der det er krav til dette.
- Utarbeide belysningsplan basert på blant annet tilgjengelig kartgrunnlag og veg geometri.
- Vurdere estetikk og funksjonalitet ved linjeføring, lysfordeling, master og armaturer.

4.1 Lysberegninger

For alle belysningssituasjoner skal det utføres lysberegninger i henhold til NS-EN 13201-3 Vegbelysning-Del 3: Beregning av ytelse.

N100 Veg- og gateutforming

De viktigste prinsipper for beregningsgrunnlaget er gjengitt nedenfor.

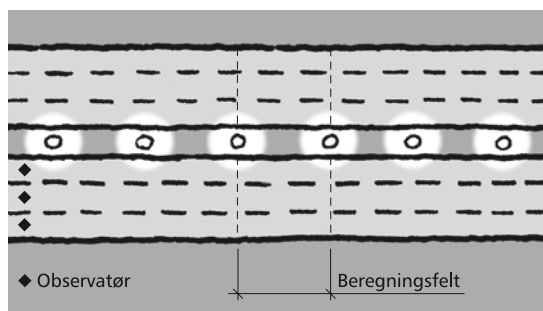
Det gjennomføres lysberegninger for å dokumentere at anlegget oppfyller kravene til lys- teknisk kvalitet. For veger benyttes luminansberegninger, der resultatene beregnes for én observatør i hvert kjørefelt, plassert på vegen utenfor beregningsfeltet, se figur 4.1- figur 4.6. I tillegg til luminansberegningene vedlegges luxmatte for det beregnede området av veg som underlag for sammenligning mot kontrollmålinger av ferdig bygd belysningsanlegg. For gang- og sykkelveger, kryss, rundkjøringer og områder der det er mange mulige observatørposisjoner, benyttes beregning av belysningsstyrke. For veger med krappe kurver må masteavstanden vurderes spesielt.

Det forutsettes at veglysberegninger utføres i et program som kan kontrolleres i Dialux eller Relux og alle tunnelysberegninger i Relux tunnel. Alle resultater dokumenteres med to desimaler.

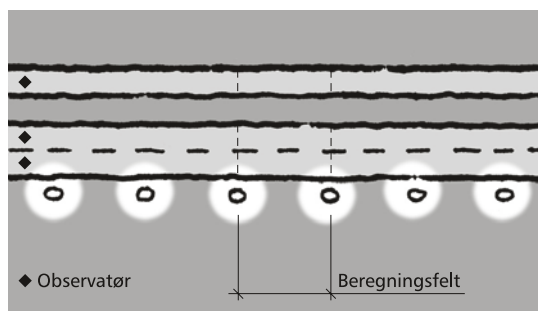
Felles for alle beregninger er at hver lyskilde regnes som en punktkilde for lyset, og det tas ikke hensyn til hvordan lyset reflekteres fra omgivelsene eller om det er elementer som skygger. Vegoverflaten regnes som flat med jevne refleksjonsegenskaper over hele arealet.

For å gjennomføre beregningene, trengs fotometriske data for lysdistribusjonen fra armaturen. Disse dataene finnes i en intensitetstabell (I-tabell). Dersom armaturene har en annen innstilling av lyskilde, linser eller reflektor enn det som er standard innstilling, må dette tas hensyn til i lysberegningene.

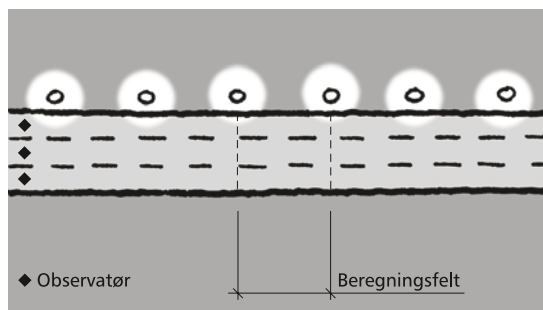
Observatørposisjoner ved luminansberegninger for ulike veger er vist i figur 4.1 - figur 4.6 (side 28).



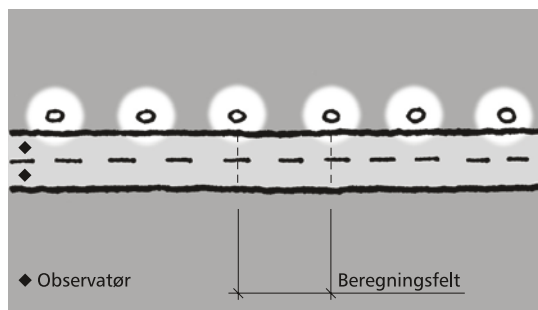
Figur 4.1:
4-8-felts veg med midtrabatt, 2 beregningsfelt



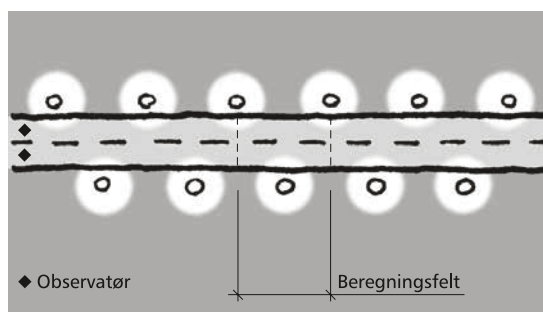
Figur 4.2: 3-felts veg med midtrabatt, ensidig
armaturrekke, 2 beregningsfelt



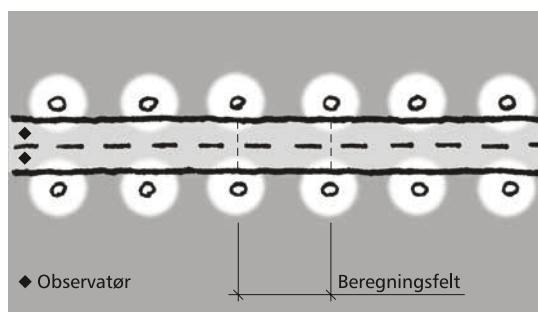
Figur 4.3: 3-felts veg, ensidig armaturrekke



Figur 4.4: 2-felts veg, ensidig armaturrekke



Figur 4.5: 2-felts veg, 2 armaturrekker i sikksakk



Figur 4.6: 2-felts veg, 2 armaturrekker

4.1.1 Luminansberegninger

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

Beregningsfelt for luminans

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

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

Luminansberegninger forutsetter at man i tillegg har fotometriske data for vegoverflatens refleksjonsegenskaper (r-tabell).

Det benyttes 10 beregningspunkter i lengderetning ved armaturavstand 30 m eller mindre. For større armaturavstand fordeles punktene slik at punktavstanden blir 3 m eller mindre. Det benyttes 3 beregningspunkter i bredden for hvert kjørefelt.

Observatørposisjon

Beregning av gjennomsnittlig luminansnivå (L_m), total jevnhet (U_o) og langsgående jevnhet (U_l) tar utgangspunkt i at observatørens øyne er 1,5 m over vegbanen og 60 m foran start av beregningsfeltet. Ved beregning av synsnedsettende blending (f_{Ti}) er observatørens øye 1,5 m over vegbanen og i en avstand foran beregningsfeltet i meter, beregnet etter formelen: $2,75 \times (\text{lyspunkthøyde} - 1,5)$.

Det er én observatør i midten av hvert kjørefelt. For L_m , U_o og f_{Ti} brukes hele beregningsfeltet. For U_l brukes beregningspunktene midt i hvert kjørefelt. For L_m , U_o og U_l gjelder laveste beregningsverdi. For f_{Ti} gjelder høyeste verdi.

4.1.2 Beregning av belysningsstyrke

Belysningsstyrke beregnes på horisontale eller vertikale flater.

Horisontal belysningsstyrke

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

Beregningsfeltet er som for luminansberegninger. Det samme gjelder kravene til beregningspunktene, bortsett fra at antall beregningspunkter i bredden er minst 3 og avstanden mellom punktene er 1,5 m eller mindre. De samme kravene gjelder ved beregning av omgivelsenes lysforhold R_{El} .

Når avstanden mellom armaturene er ujevn, kan det kanskje bli umulig å koble avstanden mellom beregningspunktene til armaturavstanden. Da er regelen at avstanden mellom punktene ikke overskrider 1,5 m i bredden eller lengderetningen.

Vertikal belysningsstyrke

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

4.2 Lysmålinger

Måling av vegbelysningsanlegg er beskrevet i NS-EN 13201-4 Vegbelysning-Del 4: Metoder for måling av belysningens ytelse. Det anbefales at alle nye veglysanlegg kontrollmåles. Dette er spesielt viktig og gjelder også for eksisterende anlegg hvor master beholdes, og nye armaturer blir montert på de eksisterende mastene.

Når man måler for å sammenligne med kalkulerte verdier, må målingene gjennomføres så nøyaktig at sammenligningen blir reell. Hvis målingene bare 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 og godt nok beskrevet til at målingen kan repeteres.

Gjennomførte lysmålinger dokumenteres i en målerapport med måleverdier som sammenstilles med leverandørens lysberegninger.

4.2.1 Måleforhold

Sikre stabilt utsendt lys fra armatur

Anlegget anbefales slått på minst ti minutter før målingene starter. For å sikre at stabiliteten opprettholdes under måleperioden, anbefales det å gjennomføre kontrollmålinger i 1 - 3 målepunkter før, under og etter måleperioden (blant annet for å kontrollere at dimmefunksjon i armatur ikke er aktivert).

Klimatiske forhold

- Høye eller lave temperaturer kan påvirke både lyskilder 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 lyskilder.
- 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 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.

Det er en fordel om måleområdet er fritt for hindringer som kaster skygger, som for eksempel trær, busker, parkerte kjøretøyer eller gatemøbler.

4.2.2 Måling av belysningsstyrke

Kontrollmålinger av nye belysningsanlegg gjennomføres slik:

- Lysberegninger som er utført med en vedlikeholdsfaktor må korrigeres til nyverdi, vedlikeholdsfaktor 1,0. Dette gjøres ved at beregnet belysningsstyrke divideres på benyttet vedlikeholdsfaktor.
- Anlegg basert på lyskilder som trenser innbrennings-/stabiliseringstid bør ha vært i drift i minst 100 timer før måling.

- Anlegget ute i terrenget må stemme med den teoretiske modellen. Spesielt må følgende kontrolleres:
 - o masteavstand
 - o avstand fra kantlinje til mast
 - o kjørebanebredden
 - o at armaturen er montert i riktig høyde over vegen, vinkelrett på senterlinjen og med riktig armlengde
 - o at armaturen har riktig helning og reflektorinnstilling
- Måleinstrumentet må ha en ytelse tilpasset formålet med målingene. Det vises til CIE 53: 1982 Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers og ISO/CIE 19476: 2014 Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters – Performance, Characteristics and Specifications og DIN 5032-7, klasse B.
- Måleinstrumentet har gyldig kalibreringssertifikat.
- Måleområdet bør være tilnærmet horisontalt.
- Alle beregningenes målepunkter på vegbanen markeres.
- Hvis anleggets utsendte lys er spenningsavhengig måles den elektriske spenningen i en av mastene og registreres ved måleperiodens start og slutt.
- Temperaturen 1 m over vegbanen måles ved måleperiodens start og slutt.
- Personen som bærer måleinstrumentet må ikke skygge for lyset og ikke være kledd i lyse klær.
- Måleinstrumentet plasseres horisontalt på vegen, og ikke høyere enn 20 cm over vegbanen.

Hvis det ikke er mulig å gjennomføre målinger i alle målepunktene eller symmetri/gjentagende lysbilder kan forutsettes, kan antall punkter reduseres, men nøyaktigheten vil da bli dårligere.

4.2.3 Måling av luminans

- Luminansmålingene utføres for å måle de reelle luminansverdiene, ikke til å kontrollere de teoretisk beregnede luminansverdiene. (Til å kontrollere belysningsanlegget benyttes lux-målinger, se kapittel 4.2.2).
- Det benyttes et kalibrert luminansmeter som har en ytelse tilpasset formålet med målingene (CIE-publikasjon 53 og ISO/CIE 19476: 2014 Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters).
- Det tas utgangspunkt i rutenettet som er brukt i de teoretiske beregningene. Luminans-meteret plasseres i observatørens posisjon.
- Beregningsfeltet begynner 60 m fra observatøren.
- Hvis luminansmeteret brukes til overvåking av luminansnivået, har man ikke like strenge krav til måleområdets 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 retningslinje R310 Trafikksikkerhetsutstyr – Funksjons- og materialkrav, Del 5 Oppsettingsutstyr. For utforming av sideterreng vises det til vegnormal N101 Rekkverk og vegens sideområde.

4.3.1 Master

Mastene tilpasses det miljøet de monteres i, og i henhold til overordnede belysningsplaner hvor disse finnes. Lyspunkthøyden anbefales å være mest mulig konstant og i samsvar med lysberegningene. Avvik på inntil 2,5 % av mastehøyden er akseptabelt. Ved større varierende høyder kan teleskopmaster benyttes. Ved bruk av store lyspunkthøyder vurderes bruk av nedfellbare master (eventuelt senkbare mastetopper). Master/stolper kontrolleres regelmessig for skader forårsaket av påkjørsler samt korrosjon eller råte.

4.3.2 Krav til ettergivenhet

Ettergivende lysmaster klassifiseres i:

- HE-master 50, 70 og 100 (høyt energiabsorberende master)
- NE-master 50, 70 og 100 (ikke energiabsorberende master)

Fundamenter og master monteres etter produsentenes montasjeanvisninger. For ettergivende master er det viktig å sikre at mast og fundament til sammen tilfredsstiller krav i NS-EN-12767 Ettergivende konstruksjoner for vegutstyr – Krav og prøvingsmetoder (se også vegnormal N601 Elektriske anlegg).

Teorien er at HE-master kan fange opp en personbil med en kort, men myk retardasjon. Masten vil deformeres ved påkjørselen. Bilen vil som regel tilnærmet stanses helt eller få meget betydelig fartsreduksjon. Det monteres ikke skilt eller annet utstyr på HE-master.

NE-master knekker lett ved en påkjørsel. Bilen vil fortsette, men med noe redusert fart. Skadene på bilen blir normalt små. NE-master har normalt en svekket konstruksjon eller et avskjærings- ledd nederst på masten. For å ivareta funksjonen til avskjæringsleddet/svekkelsen forutsettes det at det ligger åpent hele året (ikke dekket av snø/is). Montering av mer enn ett skilt (i størrelse MS) eller annet utstyr på en NE-mast avklares med leverandør.

Ikke-ettergivende master anses som påkjørselsfarlige sidehindre og plasseres ikke innenfor vegens sikkerhetssone, se vegnormal N101 Rekkverk og vegens sideområder.

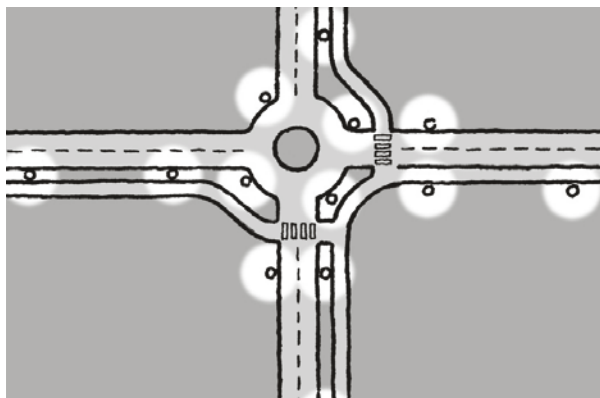
4.3.3 Masteplassering

Det er tre hovedprinsipper for plassering av master langs veg:

- ensidig
- tosidig (parallelt, sikksakk)
- i midten (benyttes sjeldent da dette setter krav til bredere midtdeler enn standardisert).

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

Mastene plasseres ikke 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 er beholdt på samme side.

Avstand til veg og valg av side

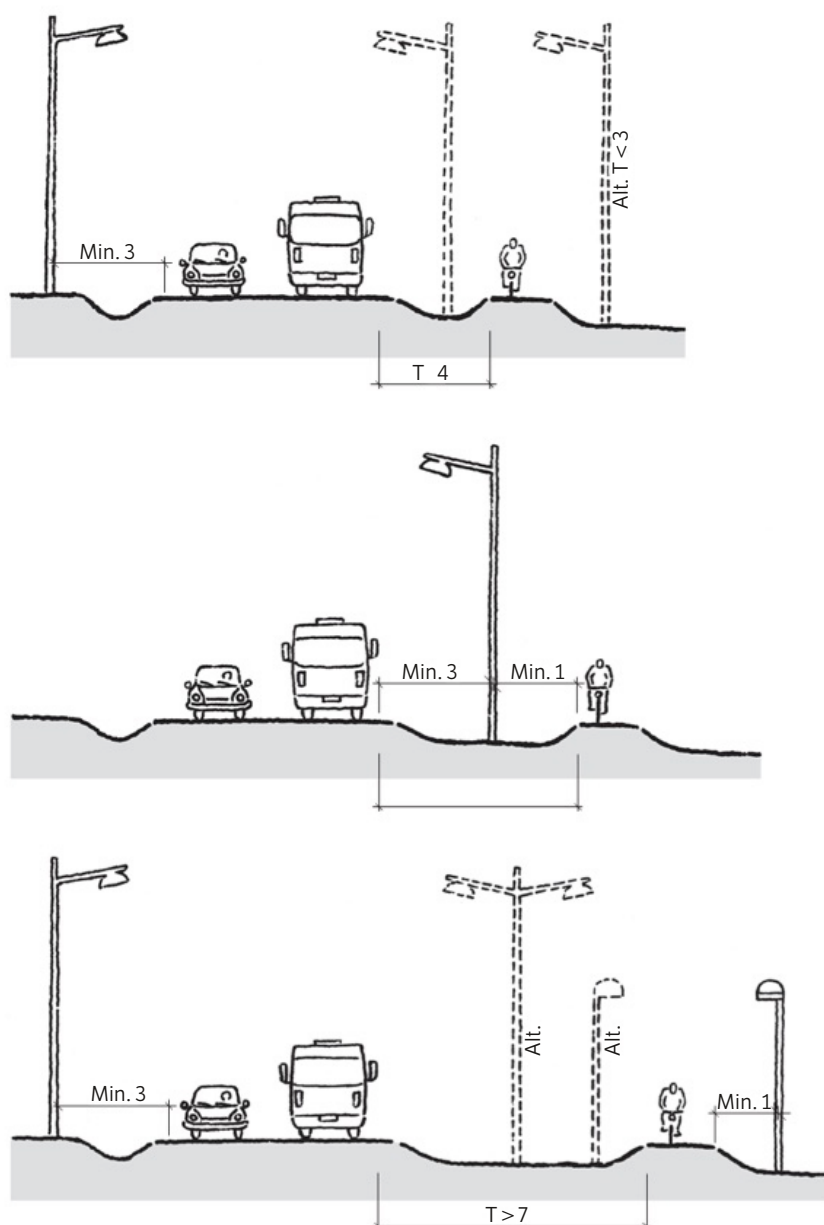
Ettergivende master plasseres minimum 3 m fra kantlinja. Ikke-ettergivende master plasseres utenfor sikkerhetssonen og slik at de ikke representerer noen stor fare for alvorlig personskade ved påkjørsel. Alternativt kan de beskyttes med rekkverk, men de plasseres da utenfor rekkverkets arbeidsbredde. Se vegnormal N101 Rekkverk og vegens sideområde.

På 3-felts veg med midtrekkverk anbefales mastene plassert på den siden som har to kjørefelt av hensyn til drift og vedlikehold.

For dimensjoneringsklasse H2 og H3 med bredde mellom hvit-stripene > 13,0 m anbefales vegbelysning etablert på høyre side av begge kjøreretninger. Alternativt kan vegbelysning plasseres midtstilt når midtdeleren har tilstrekkelig bredde for dette.

N100 Veg- og gateutforming

Det anbefales at midtdeleren er > 6 m før veglysmastene plasseres i midtdeleren.



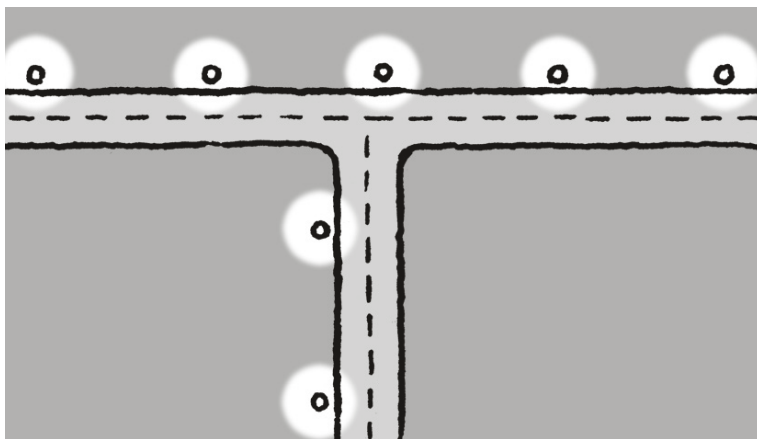
Figur 4.8: Plassering av master i forhold til hovedveg og gang- og sykkelveg avhengig av trafikkdelerens (T) bredde. T regnes fra hvit kantlinje (mål i meter)

Masteplassering i forhold til parallelført gang- og sykkelveg:

- Hvis mastene plasseres mellom hovedvegen og gang- og sykkelvegen, anbefales det å være minst 4 m mellom den hvite kantlinja på hovedvegen og asfaltkanten på gang- og sykkelvegen for å få akseptabel plassering og gunstig belysning på begge vegene.
- Hvis avstanden er mindre enn 4 m, anbefales mastene plassert på den siden av hovedvegen hvor det ikke er gang- og sykkelveg. Plassering på utsiden av gang- og sykkelvegen unngås, da dette gir lavere luminansnivå på hovedvegen enn på gang- og sykkelvegen.
- Hvis avstanden er større enn 7 m, anlegges separat belysning for gang- og sykkelvegen.
- Generelt plasseres mastene i minst 1 m avstand fra asfaltkanten på gang- og sykkelvegen. Avstanden anbefales ikke å være mindre enn 0,5 m.
- For å redusere faren for følgeskade ved påkjøring av master plassert mellom veg og gang- og sykkelveg anbefales det ikke benyttet NE master. Ved denne plasseringen anbefales benyttet HE master.

Kryss

I T-kryss er det viktig at det er lys bakgrunn på motsatt side av sidevegens innkjøring. Det anbefales derfor plassert 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 anbefales ikke plassert 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, kan mastene plasseres i ytterkant av rundkjøringen. Dette vil gjøre at disse trafikantene blir mer synlige.

Siktsoner

Enkeltmaster kan plasseres innenfor siktsonen. Se vegnormal N100, D.1.1.5.

Tollstasjoner, kontrollplasser mv.

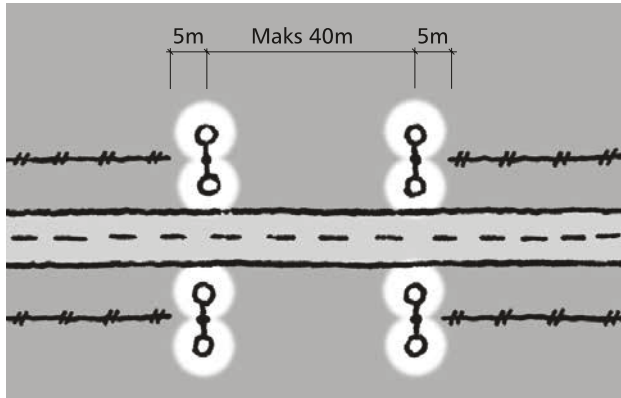
Store kjøretøyer kan lage skygger for de som beveger seg rundt kjøretøyene. Dette tas med i vurderingen av masteplassering.

Bussterminaler

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

Viltkryssinger

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



Figur 4.10: Masteplassering ved viltkryssinger

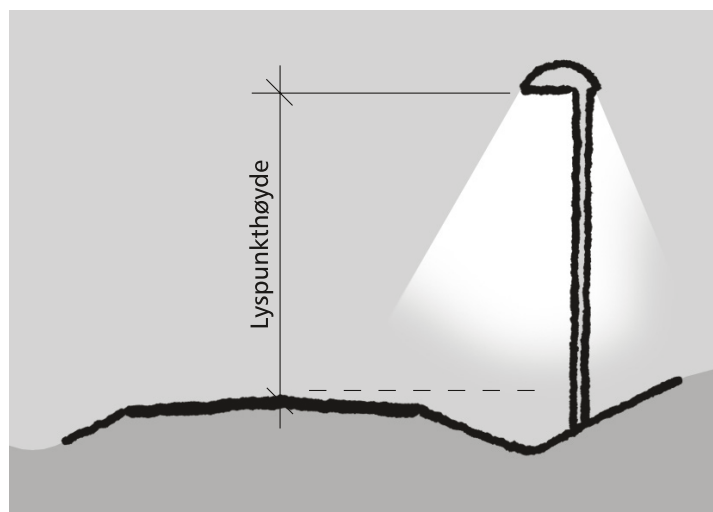
Ved viltkryssinger anbefales mastene plassert som på figur 4.10, for å få opplyst områdene på begge sider av vegen ved kryssingsstedet. Dersom avstanden mellom mastene er større enn ca. 40 m, suppleres det med en mast imellom. Det benyttes 10 m høye master og belysningsnivået mellom mastene i et beregningsfelt mellom to master inn mot terreng tilsvarende klasse C5.

4.3.4 Lyspunkthøyde

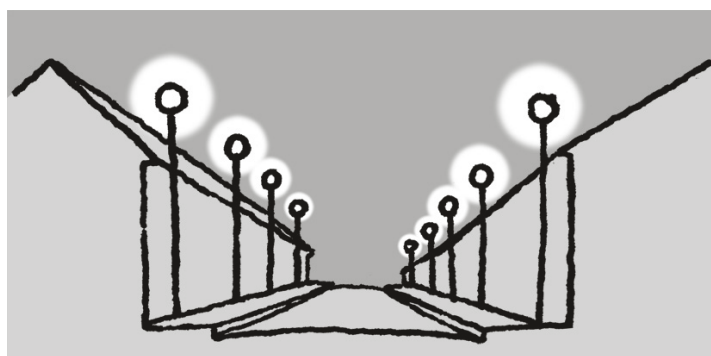
Armaturenes monteringshøyde over vegen tilpasses omgivelsene. Det anbefales følgende lyspunkthøyder:

Tabell 4.1: Anbefalt lyspunkthøyde

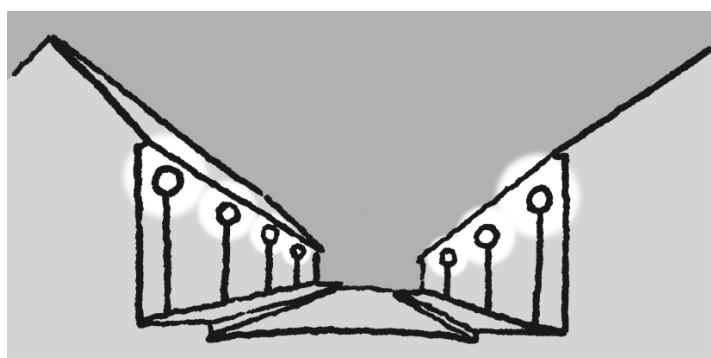
Vegtype	Lyspunkthøyde (m)
Store kryssområder og fergeoppstillingsplasser	Inntil 20
Motorveger	10 – 14
Hovedveger	8 – 12
Lokal-/sideveger	6 – 9
Plasser/terminaler	6 – 10
Gang- og sykkelveger (hvis de er separat belyst)	4 – 6
Bommer	10
N100 Veg- og gateutforming	



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

5 Tenning, slukking og styring av vegbelysningsanlegg

For relevante tekniske krav til utstyr for styring se siste versjon av NMF01 Led luminaires - requirements.

Med styring av belysningsanlegg menes at man ved hjelp av styresignaler kan

- tenne og slukke
- endre belysningsnivået trinnvis
- endre belysningsnivået trinnløst (dimming)

Med regulering menes styring med tilbakemelding om ny tilstand.

Styringen kan være tidsstyrt, for eksempel etter astronomisk ur, eller kontrollert av fotocelle eller luminansmeter. Ved regulering kan det også være aktuelt å benytte styringsparametere som kjørebaneluminans og trafikkthet. Vegbelysningen kan da endres etter ett av to hovedprinsipper:

- 1) "Opprettholdt luminans". Lysfluksen reguleres opp eller ned, avhengig av variasjoner i dagslys, omgivelseslys, værforhold eller vegdekkets lyshet, på en slik måte at luminansen fra kjørebaneluminans holdes konstant på det ønskede nivået. Dette innebærer også at man kan ta hensyn til lyskildens lystilbakegang.
- 2) "Behovstilpasset luminans". Lysstyrken reguleres opp eller ned for å endre kjørebaneluminans etter behov, slik at den økes når trafikktheten, andel myke trafikanter eller tiden på døgnet tilsier at det er behov for høyere luminans.

Undersøkelser har vist at vegbelysningen ofte tennes for tidlig eller slukkes for seint, slik at lyset står på til tider hvor det ikke har noen nytte. Det kan derfor oppnås store besparelser med riktig kvalitet, installasjon, drift og vedlikehold av fotoceller til tenning og slukking.

Å regulere belysningsanlegget etter prinsippet «opprettholdt luminans» eller «behovstilpasset» kan være svært energieffektivt i Norge, hvor vi har lange overgangsperioder mellom natt og dag og hvor vi har lange perioder med snø langs vegene og på vegene.

Anbefalinger for behovstilpasset luminans er gitt av den internasjonale belysnings-kommisjonen i CIE 115 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. Der beskrives det hvordan vi kan redusere gjennomsnittlig luminans tilsvarende maksimalt to belysningsklasser til visse tider og på visse vegstrekninger med lav fart, lite biltrafikk, liten andel gang- og sykkeltrafikk, lite forstyrrende omgivelseslys og/eller god visuell ledning.

5.1 Sentral eller lokal styring

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 kan virke som autonome (selvregulerende) enheter. Anleggene kan styres av lokale målinger hvis kommunikasjonen mot sentrale systemer faller ut.

Det legges til rette for at anlegg kan overvåkes og eventuelt styres fra lokale driftssentraler på fordelingsskap nivå.

Den elektriske installasjonen ses på som én enhet når en planlegger styringen, slik at en kan utnytte felles system og styringskabler, eksempelvis for trafikktekniske installasjoner og tunnelstyring. Det anbefales at systemet kan utvides uavhengig av leverandør.

Valget om sentral eller lokal styring gjøres basert på en analyse av behov og nytte. Store deler av et anleggs energisparepotensialet kan tas ut ved enkle grep og lokal styring. I de fleste tilfeller vil man kunne ta ut en enda større del av energisparepotensialet ved større investeringer som sentral styring gjerne representerer.

5.2 Tekniske løsninger

Det finnes i hovedsak tre måter å styre vegbelysningsanlegg på:

1. Inn-/utkopling av veglyskursene ved hjelp av kontaktorstyring i fordelingen. Dette gjøres tradisjonelt ved hjelp av lokal fotocelle. Alternativt kan dette styres av klokke, luminansmeter, styresignal fra annen fordeling, sensor for trafikk tetthet, værstasjon eller en kombinasjon av disse.
2. Fotocelle for tenning/slukking og midtpunktsdimming (trinning av driver med forhåndsprogrammert dimmeprofil). Armaturene tennes med full effekt, og tidsrommet for trinning regnes som antall timer før og etter et tidspunkt som ligger midt mellom tenning og slukking. Se standard dimmeprofil i NMF01 Led luminaires – requirements.
3. Dimming via drivers DALI/1-10 V inngang. Prinsippet forutsetter kommunikasjon mellom armaturene og et sentral-/toppsystem, enten med en full toveiskommunikasjon eller som en programmert «stand alone» løsning. Dette muliggjør situasjons- og øyeblikkbestemte lysnivåer, noe som gir optimal behovstilpasning. Aktivitetsstyrt belysning med detektering av tilstedeværelse eller andre sensorer for input kan ta ut en enda større del av mulige energisparepotensialer enn de to foregående prinsippene.

Ved full toveiskommunikasjon kan kommunikasjonen med armaturene foregå med signal-/fiberkabel, radio, mobilkommunikasjon eller overlagret frekvens på strømledning. Driveren kan 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. Ved vurdering av denne løsningen inkluderes merkostnaden for oppfølging og drift av installasjonen sammenlignet med de overstående løsningene som er mer «stand alone».

5.3 Styring av vegbelysningsanlegg

- Bruk av fotoceller optimaliseres. Utstyrets kvalitet, plassering og vedlikehold vil være helt avgjørende for effekten.
- Det anbefales bruk av 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 da dimmes slik at målt luminansnivå blir lik kravet til belysningsklassen.
- Et vegbelysningsanlegg kan trinnes eller dimmes i den perioden timetrafikken er betydelig lavere enn timetrafikken for øvrig (natten) og det samtidig er lite gang- og sykkeltrafikk. Tidsperioden kan fastsettes på bakgrunn av gjennomsnittlig trafikkmønster. Trinning eller dimming er særlig aktuelt for belysningsklasse M3/C3 og høyere.
- I trinnet eller dimmet tilstand kan anlegg potensielt dimmes 2 belysningsklasser, se figur 4 i NMF01.
- Aktivitetsstyrt belysning kan dimmes til 20 % av armaturens fulle nivå.
- Viste dimmeprofil legges til grunn for midtpunktsdimming. Ønskes benyttet annen profil for tider eller dimmenivå fra denne skal dette omtales i risikovurderingen og begrunnes.
- Spesielle betraktninger må gjøres for benyttelse av forhåndsprogrammert driver nord for 67 breddegrad.

5.4 Fotocelle

Fotocelle skal ha kapslingsgrad minimum IP 65 med utgangssignal tilpasset det styringssystemet som benyttes. Ved utvidelse av eksisterende veglysanlegg skal utgangssignalet til eventuelt ny fotocelle tilpasses det eksisterende styringssystemet.

Krav til måleområder:

- Vegbelysning: 0 – 100 lux

Samlet nøyaktighet skal være maksimalt +/- 3 % av skala.

- Temperaturområde – 40 til + 50°C

Fotoceller for vegbelysning monteres vertikalt (helst nordvendt) og slik at innstråling fra billys unngås.

Det anbefales at belysningsanlegget tenner og slukker ved ca. 20 lux. Styresystemet skal ivareta en forsinkelsesfunksjon som hindrer lyset i å slukke kort tid etter tenning.

For krav til luminansmåler til tunnel se kapittel 9.6.4.

6 Rehabilitering av belysningsanlegg

Eldre vegbelysningsanlegg på riksvegene er ofte bygget ut av kommuner, netteiere eller velforeninger. Anleggene er vanligvis umålte, og energikostnadene blir beregnet ut fra et bestemt antall brukstimer per år (4 000 – 4 100). Som oftest er belysningsanleggene 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. Når et anlegg blir skilt ut vil forskrift om avansert måle- og styringssystemer (AMS forskriften) gjøres gjeldende fullt ut.

Før rehabilitering eller overtagelse finner sted, vurderes det om det er behov for belysningsanlegget i henhold til gjeldende normaler.

Ved fellesføringer på tremaster, hvor stolpe eiers av andre, 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 vegeier.

Andre belysningsanlegg

Eldre anlegg (ikke LED) er basert på magnetisk forkoblingsutstyr. Fra 2017 var det ikke lenger tillatt å produsere magnetisk forkoblingsutstyr med dårlig effektivitet, og det kan etter hvert bli vanskelig å få erstatningsprodukter til gamle anlegg. Det anbefales derfor å bytte armatur til LED armatur.

7 Energibruk

Energiforbruket til veg- og tunnelbelysning vurderes for enhver tid av døgnet slik at dette ikke blir høyere enn det som er nødvendig for å oppnå god trafikksikkerhet.

Utenfor tettbygd strøk etableres vegbelysning der hvor vegnormalene (vegnormal N100 Veg - og gateutforming) krever det, eller der hvor trafikksikkerhetsmessig nytte er større enn levetidskostnadene. Det anbefales også å vurderes andre, mindre energikrevende tiltak som erstatning for eller supplement til vegbelysning. Dette kan for eksempel være: lysere vegdekke, bedre vegoppmerking eller montering av kantreflekser.

I tettbygde områder bidrar vegbelysning først og fremst til at det ikke skjer trafikkulykker med myke trafikanter. Også her må det legges vekt på å finne energieffektive løsninger. Det må tas hensyn til at lys fra omgivelsene kan gi et betydelig bidrag. Ved lysberegning av et vegbelysningsanlegg vurderes bidragene fra alle offentlige vegbelysningsarmaturer innenfor en avstand av to mastehøyder inkludert. I disse tilfellene er det viktig å koordinere lysstyringen.

Belysningsanleggenes energiforbruk blir i stor grad bestemt av gjeldende krav til belysningsnivå og jevnhet. Men det er også flere andre forhold som kan bidra til å redusere energiforbruket:

- Energieffektive lyskilder.
- Energieffektive armaturer.
- Behovstilpasset styring av belysningsanlegget (omtales i kapittel 5).
- Overvåking av belysningsanlegget (omtales i kapittel 5).

For tunneler er det også flere tiltak som kan gjøres både utenfor og inne i tunnelen for å redusere belysningsbehovet. Dette er omtalt i kapittel 9.

8 Armaturer og lyskilder

8.1 Armaturkrav

LED-armaturer skal utføres iht. i tekniske spesifikasjoner NMF01 Led luminaires - requirements.
<https://nmfv.dk/road-and-tunnel-lighting>

N100 Veg- og gateutforming

8.1.1 Armatur

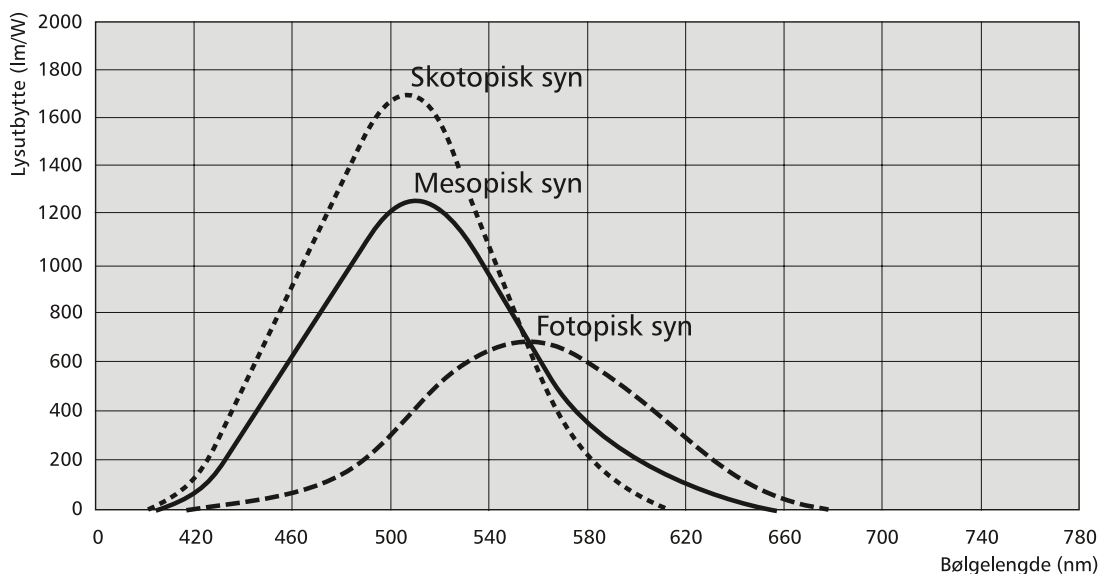
Armaturene velges blant annet ut fra:

- lystekniske egenskaper
- høy virkningsgrad
- lav blendingsklasse
- god avskjermingsklasse
- kapslingsklasse
- estetisk utforming (tilpassing til mast og miljøet omkring)
- funksjonell montasje og drift
- evnen til å motstå ytre påkjenninger (produsenten må kunne dokumentere levetiden).

8.1.2 Lyskilder

Til nyanlegg velges i dag LED som lyskilde. I eksisterende anlegg med natriumhøytrykk lyskilder vil det fortsatt være aktuelt å erstatte og eventuelt supplere disse med tilsvarende. Ønskes det benyttet natriumhøytrykkslamper til nyanlegg begrunnes dette spesielt i risikovurderingen for prosjekteringen av det elektriske anlegget.

Dagslyset sender ut energi fra hele fargespektret, mens de fleste kunstige lyskilder bare sender ut lys i deler av spektret. Kunstig lys har derfor varierende evne til å gjengi naturtro farger på de objektene som belyses. I vegtrafikken er det lettere å se og oppdage fotgjengere og syklist i lys som har god fargegjengivelse. Til veg- og tunnelbelysning benyttes fargegjengivelsesindeks $R_a > 70$. I områder som parker, plasser og ol. hvor god fargegjengivelse er viktig kan denne økes til $R_a > 80$. Det gjøres oppmerksom på at effektiviteten (lm/W) reduseres når fargegjengivelsesindeksen øker fra $R_a > 70$ til $R_a > 80$. Fargetemperaturen, T_c , måles i grader Kelvin (K) og LED leveres vanligvis referert som 2700, 3000, 4000, 5000 eller 6000 Kelvin. Ved høy fargetemperatur oppleves lyset som unaturlig kaldt (blålig). Til vegbelysning anbefales benyttet 3000 K og til tunnelbelysning 4000 K.



Figur 8.1: Øynenes spektrale følsomhet ved dagslys (fotopisk syn), nattlys (skotopisk syn) og kunstig belysning slik som vegbelysning (mesopisk syn)

Ved de relativt lave lysnivåer vi dimensjonerer for i veibelysning vil øynenes maksimale følsomhet og beste synsevne forskyve seg fra den gule delen av fargespektret mot den blå når lysnivået endrer seg fra dagslys til nattlys (Purkinjes fenomen). Figur 4.14 viser kurver for øynenes spektrale følsomhet ved dagslys (fotopisk syn), nattlys (skotopisk syn) og området mellom disse to slik som vegbelysning (mesopisk syn). Lyskilder oppgis som standard med de fotopiske verdiene for lysmengde, men det kan også oppgis et standardisert S/P forhold som angir et forholdstall som gir oss informasjon om den mesopiske responsen for den aktuelle lyskilden.

Fordelen med en god respons i det mesopiske området 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. Denne fordelene omsettes ikke til et lavere krav til fotopiske luminansnivåer, men tas heller ut som en økt trafiksikkerhet.

8.1.3 Levetid for armaturer

For krav til armaturers levetid (systemlevetid som inkluderer LED dioder, drivere og alle materialer) vises til siste versjon av Technical specification, NMF01 Led luminaires - requirements.

8.2 Vedlikeholdsfaktor

8.2.1 Vedlikeholdsfaktor

Vedlikeholdsfaktoren f_M brukes i lysberegningene for å sikre at kravet til belysningsklassene oppfylles gjennom hele installasjonens nominelle levetid når installasjonen vedlikeholdes i henhold til den definerte vedlikeholdsplanen.

Den totale vedlikeholdsfaktoren f_M fastsettes ved bruk av følgende formel:

$$f_M = f_{LF} \cdot f_{LM}$$

hvor

f_M er den totale vedlikeholdsfaktoren,
 f_{LF} er lysfluksfaktoren (se 8.2.2) og
 f_{LM} er armaturvedlikeholdsfaktoren (se 8.2.4).

Eksempel: Vegbelysning, gitt nominell levetid for en armatur = 100 000 h, får gradvise lystilbakegang = L_{90} , ingen CLO, rengjøringsintervall hvert 6 år, (se tabell 8.1).

$$f_M = 0,90 \cdot 0,85 = 0,765$$

8.2.2 Lysfluksfaktor

Lysfluksfaktoren f_{LF} beskriver tilbakegangen av lysstrømmen over tid på grunn av elding av armaturen under vanlig drift (dette utelukker eksterne faktorer). Dette er definert som forholdet mellom tilbakegangen av lysstrømmen til den nominelle lysstrømmen Φ_i .

For utendørs belysning bestemmes f_{LF} på armaturnivå.

Fastsettelse av f_{LF} baseres på den nominelle levetiden til en armatur og leveres av produsenten i henhold til definisjonene i IEC 62722-2-1:2014. Da blir nominell levetid L_x lik f_{LF} .

Eksempel: Nominell levetid $L_{90} = 100\,000$ h betyr 90 % gjenværende lysfluks etter 100 000 h som betyr at $f_{LF} = 0,90$.

8.2.3 Fastsettelse av lysfluksfaktor ved bruk av konstant lysutbytte

Armaturer leveres med system for konstant lysutbytte (CLO) så sant dette er tilgjengelig for armaturtypen. Armaturer som leveres med CLO justerer lysfluksen basert på lyskildens kjente eller forventede lystilbakegang for å muliggjøre en konstant lysfluks over tid. Dette gjøres ved først å dimme lyskilden til den forventede lysfluksen ved slutten av levetiden ved å øke strømmen (og som sådan strømforbruket) over tid for å kompensere for lystilbakegangen på grunn av elding av lyskilden. Produsenten skal oppgi både den nominelle Φ_i (100 %) lysfluksen for den aktuelle armaturen og den korrigerte lysfluksen Φ_{CLO} ved idriftsettelse. Når det utføres lysberegninger er det viktig at det er den korrigerte lysfluks Φ_{CLO} som benyttes.

Produsenten oppgir det gjennomsnittlige effektforbruket ved CLO drift til armaturen for den oppgitte levetiden og effektforbruket på slutten av levetiden. Det er viktig at det elektriske anlegge dimmensjoneres i forhold til det oppgitte effektforbruket til armaturene på sluttene av levetiden.

Lysfluksfaktoren for armaturer med CLO settes til $f_{LF} = 1,00$ når det benyttes korrigert lysfluks Φ_{CLO} i beregningene. Er ikke denne verdien tilgjengelig settes $f_{LF} = 0,90$.

8.2.4 Armaturvedlikeholdsfaktor

Armaturvedlikeholdsfaktoren f_{LM} beskriver reduksjonen av lysutbytte pga. tilsmussing på armaturens glass, optiske komponenter eller andre eksterne faktorer som kan påvirke lysutbytte. Armaturvedlikeholdsfaktoren baseres på armaturens egenskaper og miljøforhold hvor denne benyttes.

Armaturvedlikeholdsfaktoren f_{LM} baseres på kombinasjonen armaturdesign (oppgett IP grad), miljømessig tilsmussing og intervallet for vedlikeholdsvask.

Armaturengjøringsintervallet har stor betydning for vedlikeholdsfaktoren. Minimum vedlikeholdsfaktor gitt i tabell 8.1 er gitt med bakgrunn i rengjøringsintervallet for de angitte områder (likt med det som er gitt i R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger). Dette er å anse som maksimale faktorer og det må vurderes om det er behov for å sette disse lavere i spesielt utsatte områder.

Tabell 8.1: Maksimale armaturvedlikeholdsfaktorer

Armaturvedlikeholds klasse	Anleggstype	Armaturvedlikeholdsfaktor		
		Mastehøyde < 5 m	Mastehøyde ≥ 5 m	Tunnel ¹⁾
1	ÅDT < 4 000 og hastighet ≤ 70 km/t	0,85	0,90	0,85
2	ÅDT < 4 000 og hastighet > 70 km/t	0,80	0,85	
3	ÅDT > 4 000 og hastighet ≤ 70 km/t	0,80	0,85	
4	ÅDT > 4 000 og hastighet > 70 km/t	0,75	0,80	
5	Gang- og sykkelveg med separate master	0,90	0,90	
	Vedlikeholdsintervall	hvert 6. år	hvert 6. år	Basert på renholdsintervall gitt i R610:2012

1) Gjelder også for rømningslysarmaturer (både punktbelysning og sammenhengende stripe).

Armaturvedlikeholdsfaktorene for vegbelysning er gitt under forutsetning av at armaturen er plassert inntil 3 m fra hvit kantlinje. Der armaturene står lenger fra kantlinje f. eks. på utsiden av parallellført gang- og sykkelveg kan armaturvedlikeholdsfaktoren økes med en klasse dog ikke høyere enn til 0,90.

8.3 Levetid

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

Dimensjonerende levetider for belysningsutstyr er vist i tabell 8.2.

Tabell 8.2: Levetider for belysningsutstyr

Master og fordelingsskap	30 år
Kabler	40 år
EX hengeledninger	30 år
Styringsautomatikk og elektroniske deler	20 år
LED armaturer	25 år (100.000 t)
N100 Veg- og gateutforming	

De oppgitte levetidene benyttes i LCC beregninger.

9 Tunnelbelysning

Ulykkesfrekvensen (ulykker per mill. kjt. km) er gjennomsnittlig lavere i tunneler enn på veg i dagen, men konsekvensen av ulykker i tunneler er ofte mer alvorlige. Ulykkesfrekvensen ved tunnelinngangene (50 m utenfor – 50 m innenfor) er ca. tre ganger så høy som i midten av tunnelene. Risikoforhøyelsen ved tunnelinngangene/- utgangene har sammenheng med endringer i veggeometri, føreforhold og lysforhold.

Overgangen fra dagslys utenfor tunnelen til mørke inne i tunnelen er en stor utfordring for synssystemet, særlig for eldre førere. Dersom lysforholdene i innkjøringssonen er for dårlige, kan føreren oppleve at det blir helt mørkt i noen sekunder. I slike situasjoner har det skjedd alvorlige ulykker.

For at belysningsleverandørene skal kunne foreta lysberegninger er det viktig at det blir oppgitt et minimum med beregningsforutsetninger som legges til grunn for beregningen. Dette for å sikre at alle leverandørene benytter de samme forutsetningene og at det skal være mulig å sammenligne de forskjellige tilbudene. Som et minimum av beregningsforutsetninger anbefales oppgitt følgende (uavhengig av kontraktsform):

- adaptasjonsluminans
- hastighet
- ÅDT
- vedlikeholdsfaktor
- tunnelprofil
- kabelbroens plassering (høyde og sideveis plassering over kjørebanelen)
- refleksjonsfaktor for veggene

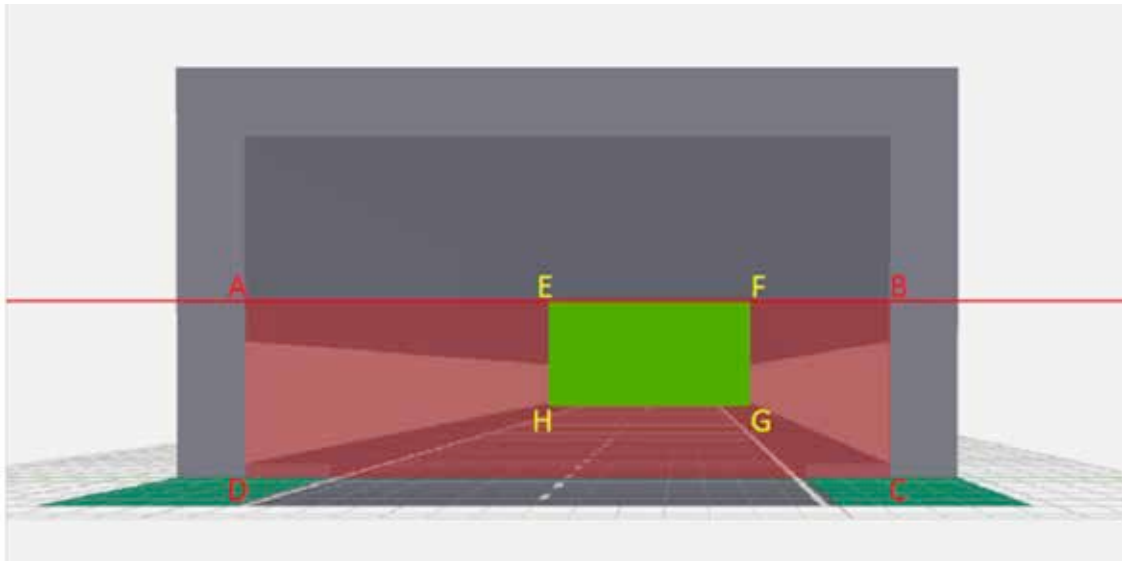
9.1 Krav om belysning i tunneler

Vegtunneler med lengde over 100 m skal ha belysning iht. kravene gitt i 9.2.

N500 Vegtunneler

Behovet for belysning i tunneler $25 \text{ m} < \text{med lengde} \leq 100 \text{ m}$ risikovurderes ut ifra hvor stor %-andel (LTP, Look Through Percentage) av tunnelportalens areal som er gjennomlyst når vi ser mot tunnelen fra adaptasjonspunktet, (dvs. arealet av den synlige delen av utgangen dividert med arealet av inngangen):

- for $LTP > 50 \%$ har ikke behov for belysning.
- for $LTP < 20 \%$ belyses.
- for $20 \% < LTP < 50 \%$ fra stoppavstand på motsatt side anbefales belyst dersom ulykkesrisiko anses som høyere enn gjennomsnitt, f.eks. ved ofte lav sol midt imot og stor andel myke trafikanter.



Figur 9.1: Beregning av gjennomlyst areal

Gjennomlyst areal (LTP, Look Through Percentage) vil variere avhengig av hastighet (stoppsikt) og kurvatur. For en rett tunnel beregnes LTP slik:

$$LTP = 100 * (EF * FG) / (AB * BC)$$

Ligger tunnelen på en belyst vegstrekning og den ikke har behov for dagslys belyses tunnelen i samsvar med relevante kravene til tilstøtende veglysanlegg. Armaturene i tunnelen tennes og slukkes samtidig med tilstøtende vegbelysning.

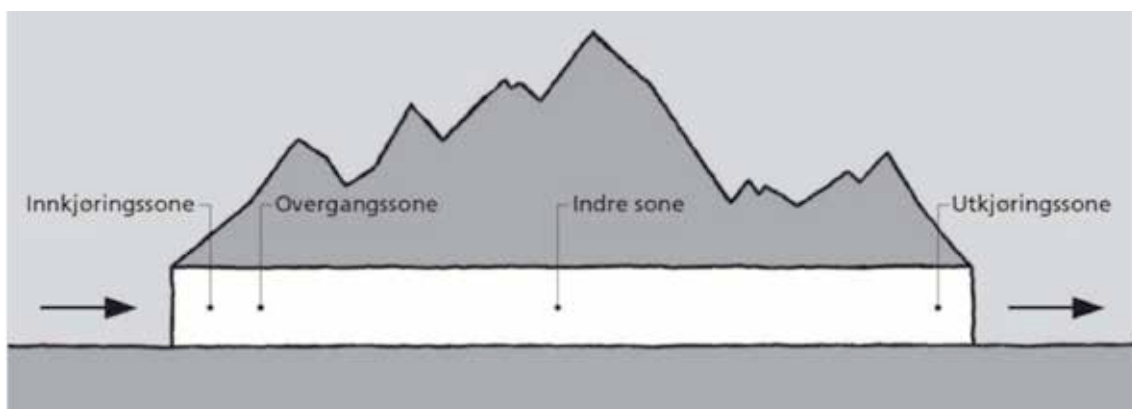
Tunneler som er tilrettelagt for gang-/sykkeltrafikk (håndbok N100), skal belyses dersom lengdene er over 25 m.

N500 Vegtunneler

9.2 Krav til belysningen i tunneler

Soneinndeling

Lysteknisk sett inndeles en tunnel i innkjøringssone, overgangssone, indre sone og utkjøringssone, som illustrert i figur 9.1.



Figur 9.1: Tunnelsoner

9.2.1 Overgangen fra dagslys utenfor til mørke inne i tunnelen (adaptasjonsprosessen)

Menneskets synssystem trenger tid for å tilpasse seg (adaptere) fra dagslyset utenfor tunnelen til mørket inne i tunnelen. Full adaptasjon oppnås først etter en halv time, men mye er unnagjort i løpet av 15–20 sekunder. Jo større forskjell det er mellom dagslyset og mørket, desto lengre er adaptasjonstiden. Eldre mennesker har vesentlig lengre adaptasjonstid enn yngre. Dessuten trenger eldre også mye mer lys enn yngre selv etter at synet er adaptert. Eldre førere velger gjerne å kjøre i dagslys fordi de har problemer med mørkekjøring, og det er jo nettopp da de møter de største synsproblemene i tunnelene. Når vi vet at antallet og andelen eldre førere er økende, vet vi at vi har en stor utfordring i å gjøre adaptasjonsforholdene gode nok til å ivareta trafikksikkerheten i tunneler.

For å redusere behovet for høyt luminansnivå i innkjøringssonen, er det viktig å forsøke å minske luminansene i synsfeltet utenfor tunnelen. Dette kan både øke trafikksikkerheten og redusere energiforbruket og kostnadene til belysning.

Luminansene utenfor tunnelen kan reduseres ved å:

- Legge tunnelinngangen slik at det blir lite himmellys i synsfeltet fram mot tunnelen.
- Plante vintergrønne trær som skjærer for himmellyset.
- Bygge et overbygg foran tunnelportalen som gradvis slipper inn mindre lys.
- Legge mørk asfalt de siste 200 m før tunnelportalen.
- Benytte mørk betong eller mørk stein til utvendige flater på portal og murer.
- Plante grønn vegetasjon som dekker til lyst fjell.

Luminansene inne i tunnelen kan økes ved å:

- Legge lys asfalt som reflekterer mer lys.
- Sørge for lys overflate på tunnelveggene som reflekterer mye lys og er lett å holde ren.
- Øke lysfluksen fra lysanlegget ved hjelp av mer installert effekt og/eller bedre renhold av armaturene.
- Benytte motlys i innkjørings- og overgangssonen som øker andelen reflektert lys mot føreren.

Synsforholdene i tunnelen kan også forbedres ved å:

- Sørge for lyse vegger, særlig der hvor veggen utgjør en betydelig del av synsfeltet inne i tunnelen
- Benytte armaturrekker, kontrastlinjer eller reflekser for optisk ledning.
- Sørge for godt renhold av vegutstyr og vegger.
- Sørge for å holde lufta i tunnelen rein slik at ikke støvpartikler i lufta gir lysspredning og sløringluminans som visker ut kontrastene og skaper dårlige synsforhold.

9.2.2 Definisjonen på adaptasjonsluminans

Luminansforholdene utenfor tunnelen i førerens synsfelt i en gitt avstand fra tunnelportalen er dimensjonerende for de luminansnivåene som kreves i innkjøringssonen og overgangssonen inne i tunnelen.

Adapsjonsluminansen som benyttes ved dimensjonering av tunnelbelysningen defineres som den midlere luminans i et synsfelt, L_{20} , som utgjør 20 grader (2×10 grader) fra bilførerens øyne, med synsretning mot et punkt 1,5 meter over kjørebanelen ved portal og i en avstand angitt i tabell 9.1.

Tabell 9.1: Avstand fra tunnelåpningen til målepunktet for adaptasjonsluminans (iht. CIE 088).

Fartsgrense (km/t)	Avstand (m)
30	16
40	26
50	39
60	55
70	75
80	99
90	125
100	155
110	187

9.2.3 Anbefalt metode for å beregne adaptasjonsluminans

Adaptasjonsluminansen L_{20} beregnes som midlere verdi av ulike målte luminanser i typiske arealer innenfor 20 graders feltet. For å fastslå adaptasjonsluminansen evalueres først portalens dimensjonerende forhold, sett i forhold til solposisjon, solhøyde og omkringliggende sesongvarierende forhold. I mange tilfeller vil det være nødvendig å vurdere både sommer og vinterforhold for å finne dimensjonerende forhold. Videre vil en kategorisering av synsfeltets oppdeling, i de forskjellige elementer som er til stede, basert på refleksjonsegenskaper være nødvendig. Hver enkelt kategori i den videre prosessen måles og evalueres i forhold til tidspunkt/ sesong for måling og dimensjonerende forhold for å kunne fastsette den totale dimensjonerende adaptasjonsluminansen. Denne evalueringen vil være forskjellig for alle portaler, avhengig av geometri og geografisk plassering. Som dokumentasjon for gjennomføring av denne prosessen utarbeides det en målerapport som minimum inneholder:

- Målt/beregnet luminans etter L_{20} metoden.
- Kategorisering av synsfeltets oppdeling i ulike typer flater.
- Behandle hver enkelt type flate for seg i forhold til antatt verste forhold.
- Kommentere eventuelle mulige tiltak eller variasjon i løpet av driftstiden.

Som et hjelpemiddel, kan tabell 9.2 benyttes som en indikasjon for maksverdier for de forskjellige typer flater for norske tunnel.

Tabell 9.2: Typiske maksverdier for ulike typer flate, til bruk ved bestemmelse av adaptasjonsluminans

Geometri [kategori]	Kjøreretning			
	N [cd/m ²]	S [cd/m ²]	Ø [cd/m ²]	V [cd/m ²]
Asfalt	3000	5000	4000	4000
Himmel	8000	16000	12000	12000
Vertikal mur/fjell	3000	2000	2500	2500
Vintergrønt terreng	1500	1500	1500	1500
Ikke vintergrønt terreng	6000	6000	6000	6000
Portal	700	500	600	600

9.2.4 Forenklet metode for å anslå adaptasjonsluminansen

I en planleggingsfase eller tidlig byggefase vil en konkret måling gi liten nytte utover en analyse av de stedlige solforhold. Det kan i slike tilfeller være nyttig å gjøre et grovt overslag, for tidlig kostnadsoverslag eller prosjektering. For dette formålet kan tabell 9.3 benyttes.

Tabell 9.3: Tabellverdier for forenklet metode for fastsettelse av dimensjonerende adaptasjonsluminans

Andel himmel %	Kjøreretning		
	N	S	Ø/V
0	3250	3900	3600
0 – 10	3600	4600	4100
10 – 30	4250	6000	5150

Det gjøres oppmerksom på at tabellen er utformet for å gi resulterende maksverdier, og den vil i de aller fleste tilfeller gi en verdi som overstiger verdi fra en måling/analyse som beskrevet foran. For denne forenklete tilnærmingen vil man i Norge med den store variasjonen vi har mellom sør og nord, ha vanskeligheter for å etablere tabellverdier som er dekkende for alle geografiske områder.

For benyttelse av tabell 9.3 gjelder følgende kriterier (hvis man ikke oppfyller kriteriene vil man måtte benytte seg av avansert metode):

- himmelkomponent mindre enn 30 %
- beliggenhet sør for 67 breddegrad

9.2.5 Adaptasjonsluminans

Fastsettelse av adaptasjonsluminansen gjøres fortrinnsvis ved måling på det aktuelle stedet som beskrevet over. Dette krever imidlertid at tunnelportalene er ferdige bygd for å få riktige resultater. For nyanlegg er dette ikke mulig da det som regel ikke finnes noen portal å måle mot. I slike tilfeller kan en av metodene beskrevet i pkt. 9.2.3 eller 9.2.4 benyttes. Det anbefales da at det foretas en måling av adaptasjonsluminansen når portalene er tilnærmet ferdige for å kontrollere tidligere anslag. Kontrollmålingen må ikke foretas på et så sent tidspunkt at det ikke er mulig å foreta endringer i lysberegningen og leveransen av armaturer.

Det skal ikke regnes med adaptasjonsluminans høyere enn 8 000 cd/m².

N500 Vegtunneler

Målingene foretas i klarvær og i den perioden hvor det antas at de høyeste luminansnivåene vil forekomme. Det regnes ikke med de 10 % antatt høyeste verdiene og ikke når det ligger snø rundt portalene.

9.2.6 Lengde på tunnelens ulike soner

Lengden på innkjøringssonen fra tunnelportalen og innover i tunnelen er likt målepunkt for adaptasjonsluminansen, se tabell 9.1.

N500 Vegtunneler

Overgangssonens lengde er angitt i figur 9.2.

9.2.7 Vegdekkets luminans

- I tunneler uten gang- og sykkeltrafikk og ÅDT (10) < 2500 tillates midlere luminans 0,5 cd/ m² om natten og i indre sone om dagen.
- I svært lange tunneler kan midlere luminans reduseres til 50 % av kravet i tabellen etter 60 sekunder kjøreavstand fra tunnelinngangen. Midlere luminans skal ikke i være lavere enn 0,5 cd/ m².
- Luminansnivå i innkjøringssonen skal ikke være under 50 cd/ m².
- For tunneler skiltet med 110 km/t gjelder kolonnen for luminans ved 110 km/t uavhengig av ÅDT.
- Luminans, natt vurderes i forhold til årstid og lysforhold ute.

N500 Vegtunneler

Tabell 9.4: Krav til midlere luminans i innkjøringssonens første halvdel og i indre sone, delvis angitt som prosent av adaptasjonsluminansen og delvis som fast luminans

ÅDT (10) < 4000	50 km/t	60 km/t	70 km/t	80 km/t	90 km/t		
Innkjøringssone dag (%)	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50		
Indre sone dag (cd/m ²)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Alle soner natt (cd/m ²)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
Alle soner kl 00-05 (cd/m ²)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		

ÅDT (10) 4000 - 12000	50 km/t	60 km/t	70 km/t	80 km/t	90 km/t	100 km/t	110 km/t
Innkjøringssone dag (%)	2,00	3,00	4,00	5,00	5,50	6,00	7,00
Indre sone dag (cd/m ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00
Alle soner natt (cd/m ²)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Alle soner kl 00-05 (cd/m ²)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00

ÅDT (10) > 12000	50 km/t	60 km/t	70 km/t	80 km/t	90 km/t	100 km/t	110 km/t
Innkjøringssone dag (%)	2,90	3,60	4,30	5,00	5,70	6,40	7,00
Indre sone dag (cd/m ²)	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Alle soner natt (cd/m ²)	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Alle soner kl 00-05 (cd/m ²)	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00

Kommentarer til tabell 9.4:

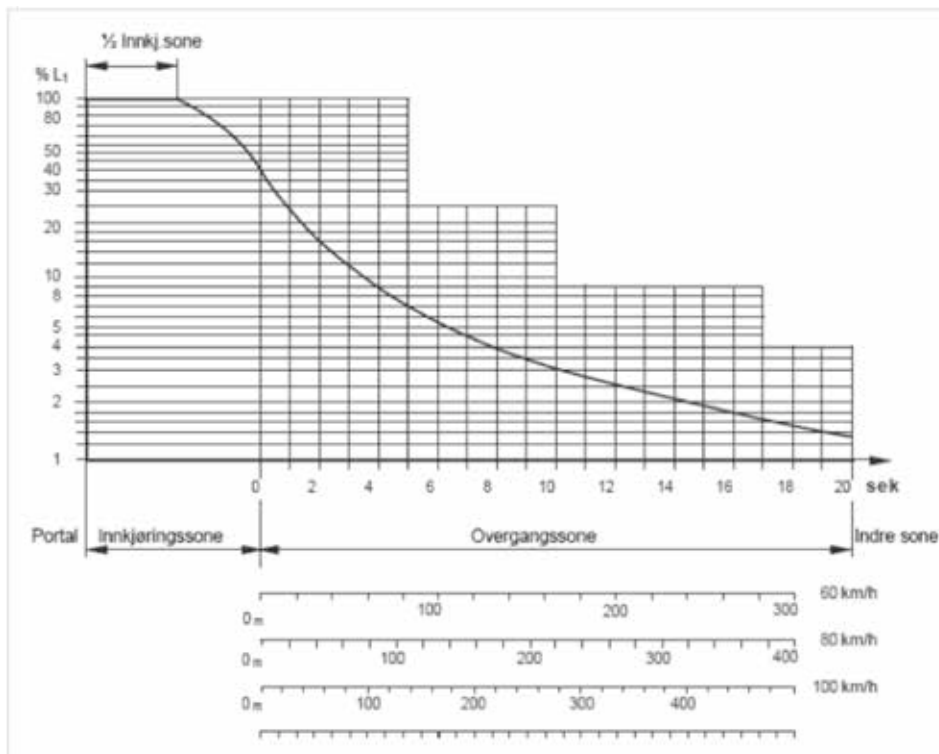
- I tunneler uten gang- og sykkeltrafikk og ÅDT (10) < 2500 tillates midlere luminans 0,50 cd/m² om natten og i indre sone om dagen.
- I svært lange tunneler kan midlere luminans reduseres til 50 % av kravet i tabellen etter 60 sekunder kjøreavstand fra tunnelinngangen. Midlere luminans på dagtid skal ikke være lavere enn 1,00 cd/m².
- Luminansnivå i innkjøringssone ikke under 50 cd/m².

N500 Vegtunneler

- %- satsene som er benyttet i tabellene for å bestemme luminansnivået i innkjøringssonen forutsetter at det benyttes motlysarmaturer (på engelsk counter-beam) med kontrastavsløringsfaktor lik 0,6. Benyttes symmetriske armaturer eller armaturer med kontrastavsløringsfaktor < 0,6 benyttes luminansverdiene for innkjøringssonene beregnet ut i fra oppgitte %-satser og økes med 50 %.
- Luminansnivået for alle soner natt inklusive kl.00-05 tilpasses med nivået på eventuell tilstøtende vegbelysning i dagen. I tunneler med ÅDT (10) > 12 000 kan det være aktuelt å øke midlere luminans til 6 cd/m² om dagen og 3 cd/m² om natten dersom trafikkmiljøet er særlig krevende, f.eks. i tunneler med rampetilslutninger og sterkt belastede vekslingsstrekninger.
- For tunneler som har utstyr som registrerer hastighet kan luminansnivå reduseres. Reduksjonen gjøres i h.t. tabellene når hastigheten går under 20 km/t av skiltet hastighet.
- Belysningsnivået inne i en tunnel anbefales ikke å være lavere enn belysningsnivået på tilstøtende belyst veg i dagen.

- I tunneler tillatt for gang- og sykkeltrafikk anbefales midlere luminans ikke å være mindre enn 2 cd/m² i dagslys og 1 cd/m² i mørke. I tunneler kun for gang og sykkeltrafikk gjelder andre krav, se tabell 3.3.
- Belysningen i tunneler med styring basert på kjøretøysdetektering kan slås helt av i de perioder det ikke blir registrert trafikk. Se punkt 9.6.3.

Luminans i overgangssonen ved dagslysforhold er vist i figur 9.2.



Figur 9.2: Luminansreduksjonskurve for dagslysforhold

Kommentarer til figur 9.2:

- Overgangssonen avsluttes/kuttes der hvor kurven angir et luminansnivå som er tre ganger så høyt som indre sones midlere luminans.

N500 Vegtunneler

- Det kan antas at dagslyset bidrar så mye til luminans i første del av innkjøringssonen at første symmetriske armatur (nattlys) kan plasseres inntil 4 m innenfor tunnelåpningen. Første motlysarmatur plasseres inntil 8 m innenfor tunnelåpningen.

9.2.8 Belysning av tunnelveggene

Tunnelveggene skal belyses i 2 m høyde. Gjennomsnittlig luminans på denne delen av veggen skal minimum være 60 % av gjennomsnittlig luminans på nærmeste kjørefelt, for fjellvegger og vegger med sprøytebetong minimum 30 %.

N500 Vegtunneler

Kravet til luminans på vegg gjelder for alle trinn i indre sone og nattbelysningstrinnene i innkjørings- og overgangssonene.

For beregning av vegguminansen settes refleksjonsfaktoren på vegg til:

- 0,50 for hvite fliser
- 0,25 betongoverflater
- 0,10 for ubehandlede fjellvegger og vegger med sprøytebetong

For ubehandlede fjellvegger og vegger med sprøytebetong gjelder refleksjonsfaktoren uavhengig om overflaten er malt eller ikke.

For kontrollmåling av belysningen på veggene benyttes illuminans (luxmatte fra lysberegningene). For nye anlegg korrigeres verdiene for vedlikeholdsfaktor til $f_m = 1,00$. Se også kapittel 9.8.

Jevnhet på veggene settes lik kravet til jevnhet på kjørebane gitt i punkt 9.2.9. Langsgående jevnhet måles i 1,67 m høyde over kjørebane.

9.2.9 Krav til luminansjevnhet

For alle soner skal den totale luminansjevnheten være:

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{mid}} \geq 0,40$$

For alle soner skal den langsgående luminansjevnhet være:

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 0,60$$

N500 Vegtunneler

9.2.10 Blendingsbegrensning

I tunneler skal ikke synsnedsettende blending f_{Ti} være over 6%.

N500 Vegtunneler

Tunnelbelysningen utformes slik at den ikke blander trafikantene, og det må i lysberegningene utføres blendingskontroll basert på data for armaturenes lysfordeling og installasjonens geometri. Synsnedsettende blending uttrykkes som den prosentvise økningen i luminans som må til for å gjøre et objekt som så vidt er synlig uten blending synlig når blendingen fra armaturene er til stede. Dette betegnes som terskeløkningen, symboliseres med bokstavene f_{Ti} (Threshold increment). Beregningsmetoden er beskrevet i publikasjonene CIE 88-2004 Guide for the lighting of road tunnels and underpasses og i CIE 31-1976 Glare and uniformity in road lighting installations.

9.2.11 Belysning av havarinisjer og snunisjer

For belysning av nisjer benyttes fortrinnsvis samme type armaturer som i hengen. Armaturene dempes tilsvarende som armaturene i hengen. Det forutsettes at belysningsnivået i den delen av nisjen som er parallelt med kjørebane er minst tilsvarende som for kjørebane. Armaturene monteres ca. 3,5 m over kjørebane (på toppen av veggelementet hvor dette er montert). På bakveggen i snunisje monteres en armatur sentrisk i nisjen minimum 4,8 m over kjørearealet.

9.2.12 Overgangssone til veg i dagen

Når en belyst tunnel ligger på en ubelyst veg anbefales det at det settes opp belysning i dagen på begge sider av tunnelen. Belysningen anbefales utført iht. kravene i klasse M5 i en lengde tilsvarende tabell 2.5 for den skilte hastigheten.

9.2.13 Toveistrafikk i envistrafikkerte tunnellop

For tunneler med to løp og enveistrafikk vil det til tider være behov for midlertidig toveistrafikk i et løp. Belysning av innkjørings- og overgangssonen for denne situasjonen utføres ved at det monteres motlysarmaturer på kabelbro sammen med de andre armaturene i midlertidig innkjøring med et luminansnivå 50 cd/m² og innkjøringssonelengde 39 m. Luminansnivået for denne situasjonen styres av luminansmåler i motsatt dagsone for samme løp. Adaptasjonsluminansen for den midlertidige innkjøringen måles/beregnes fra adaptasjonspunktet som er gitt i tabell 9.1 med den skilte hastigheten for toveistrafikk. Denne belysningen benyttes kun i et løp og settes i funksjon når det etableres tovegtrafikk og slukkes når toveisreguleringen opphører. For toveistunneler som ikke har automatisk omlegging til toveistrafikk ivaretas denne funksjonen med en separat kommando satt fra VTS.

9.3 Monotoni, trøtthet, epilepsi, tunnelangst

Trøtthet i trafikken er et stort trafiksikkerhetsproblem. En norsk undersøkelse viste at 30 % av dødsulykkene på rett vegstrekning hadde sammenheng med trøtthet. I lange tunneler forsterkes problemet gjennom monotonien i lyd, lys og opplevelser, og uttalelser fra trafikantene tyder på at det rytmisk monotont pulserende lyset i form av lysende belter på tvers av tunnelrommet fører til trøtthet. Fenomenet er mest tydelig der hvor avstanden mellom armaturene blir stor.

Flimring med frekvens mellom 4 Hz og 11 Hz og varighet over 20 sekunder skal unngås.

N500 Vegtunneler

Flimrende lysblink med frekvens mellom 4 Hz og 11 Hz og varighet over 20 sekunder antas å kunne utløse epilepsianfall og derfor plasseres armaturene slik at flimmereffekt unngås. Problemet er størst ved bruk armaturer med små lysende arealer. Flimmerfrekvensen bestemmes fra hastighet (m/sek) dividert med armaturenes senteravstand. Ved 80 km/t (= 22,2 m/s) oppstår den ugunstige frekvensen ved armaturavstand mellom 2,0 m og 5,5 m.

Oppmerksomhetsvekkende tiltak risikovurderes.

9.3.1 Effektbelysning

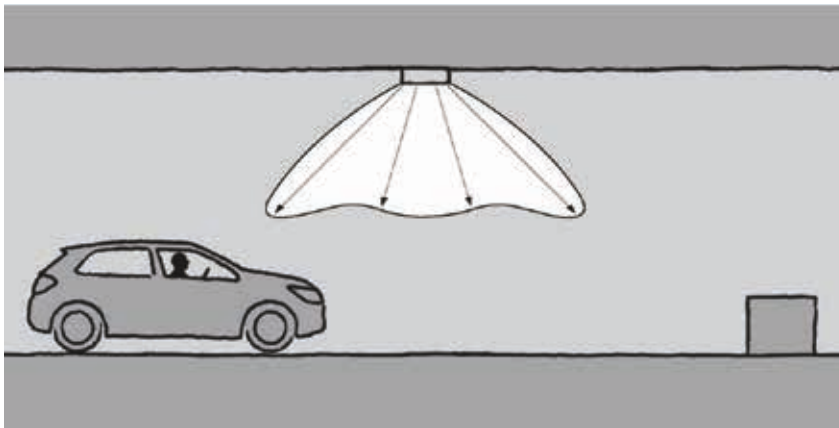
Med effektbelysning menes belysning ut over den funksjonelle belysningen det settes krav til i N500. Effektbelysning kan vurderes benyttet i lange tunneler, > 6 km, som et tiltak for å redusere monotonien og skape en positiv opplevelse ved kjøring gjennom en ensformig og monoton belyst tunnel.

Forsøk og erfaringer har vist at bruk av farget belysning må vies spesiell oppmerksomhet da feil fargebruk kan medføre uønsket adferd hos en del bilister. Blått lys og spesielle spekter av blått er gunstig for å vekke trafikanter og har god effekt på monotoni og frykt/angst for lange tunneler. I undersøkte tunneler anbefales farger og symboler som gir assosiasjoner til vann eller vanninntrenging og som minner trafikantene på at de er under havet anbefales unngått. Det anbefales ikke benyttet rødt og rød-gul belysning. I verste fall kan rød eller rød-gul effektbelysning bli tolket som brann og føre til at trafikanter går i feil retning, eller får lengre strekning til nærmeste rømningsvei.

9.4 Symmetrisk lys, motlys eller medlys

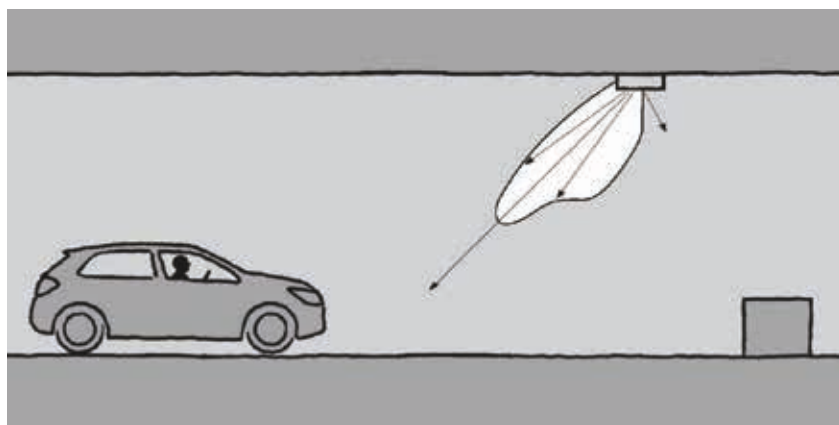
De to prinsippene for tunnelbelysning som blir mest benyttet er symmetrisk lys og motlys. Medlys benyttes nesten ikke.

Symmetrisk lys gir en blanding av positiv og negativ kontrast ved at armaturene fordeler lyset symmetrisk i vertikalplanet i tunnelens lengderetning (se figur 9.3). Slik belysning kan skape gode kontraster mellom flater med ulik refleksans eller flater med ulik orientering i tunnelrommet. Objekter på kjørebanelen vil i de fleste tilfeller sees i kontrast mot en bakgrunn som har ulik luminans.



Figur 9.3: Symmetrisk lys

Motlys skaper negativ kontrast. Motlyset øker luminansen på kjørebanelen ved at en større del av lyset fra armaturene reflekteres mot føreren. Samtidig reduseres luminansen på vertikale flater i førerens synsfelt ved at en mindre andel av lyset er rettet mot slike flater (se figur 9.4). I førerens synsbilde får objekter på kjørebanelen lavere luminans (bli mørkere) enn ved symmetrisk lys og vegdekket får høyere luminans (blir lysere) enn ved symmetrisk lys, særlig hvis det benyttes en asfalt som er speilende. Oftest betyr det at kontrastene blir større og objektene blir mer synlige.



Figur 9.4: Motlys

I tunneler med toveis trafikk benyttes vanligvis armaturer med symmetrisk lys i indre sone og som nattbelysning, og armaturer med motlys i innkjørings- og overgangssonen. Ved motlys vil kontrastene ved kjøring ut av tunnelen bli redusert, men det er ikke så farlig når objektene kan sees mot den lyse tunnelåpningen.

I envegskjørtede tunneler benyttes også motlysprinsippet for innkjørings- og overgangssonen. For envegskjørtede tunneler hvor det tilrettelegges for toveis trafikk benyttes symmetriske armaturer i indre sone. I tunneler hvor det ikke er tilrettelagt for toveis trafikk kan det vurderes å benytte motlysprinsippet også i indre sone. Det er beregnet at man ved å benytte motlys i stedet for symmetrisk lys kan redusere strømforbruket med 30 % mens det påkrevde luminansnivået opprettholdes. I tillegg vil installasjonskostnadene også bli mindre fordi det ikke er behov for like mange armaturer som ved symmetrisk belysning.

For å bestemme vegbaneluminansen i innkjøringssonen benyttes kontrastavsløringsfaktoren q_c 0,6 for motlysarmaturer og 0,2 for symmetriske armaturer. Dette er årsaken til at luminansnivået i innkjøringssonen må økes med 50 % når det benyttes symmetriske armaturer eller armaturen med kontrastavsløringsfaktor $< 0,6$.

Motlys kan imidlertid ha noen ulemper:

- Det kan være mindre effektivt ved tunnelinn ganger som slipper inn mye dagslys, fordi dagslyset vil belyse objektene og redusere kontrastene
- Det kan være mindre effektivt i tunneler med mye trafikk eller mye tungtrafikk, på grunn av forhold: Det ene er at billysene belyser objektene i synsfeltet og reduserer kontrastene. Det andre er at store kjøretøy skygger for lyset fra armaturene slik at bakenden på kjøretøyet danner en stor mørk flate og samtidig dekker for den lyse kjørebane som objektene egentlig skulle sees imot
- Det kan være større utfordringer å få tilstrekkelig lys på tunnelveggene

9.5 Tunnelarmaturer

LED er det foretrukne alternativet for alle nyanlegg, både for innkjørings- og indre sone. For krav til armaturer vises til siste versjon av Technical specification, NMF01 Led luminaires - requirements. Denne finnes her: <https://nmfv.dk/road-and-tunnel-lighting>

Se også vedlegg 3 Veiledning til prosjekteringsvalg som må gjøres i NMF01.

Kabelstiger, festebolter, ventilasjonsvifter, lysarmaturer, nødstasjoner, skilt, dører, rammer og håndtak skal leveres i rustfritt stål i henhold til NS-EN 10088, type 1.4404. Festemateriell skal være i rustfritt stål A4-80 i henhold til NS-EN-ISO 3506.

Unntak fra dette kan være:

- LED-armaturer, dersom det etableres galvanisk skille mellom armatur og kabelstige.

N500 Vegtunneler

I dag produseres de fleste LED-armaturer i aluminium, helt eller delvis, fordi det gir bedre muligheter for kjøling. Dette skaper problemer i forhold til en anbefaling om at armaturer i rustfritt stål. Dette er begrunnet i at aluminiumarmaturer som er montert på en kabelstige i rustfritt stål kan være svært utsatt for galvanisk korrosjon. Korrosjonen er en følge av elektro kjemisk potensial mellom komponentene. Aluminium er et mindre edelt metall enn rustfritt stål og aluminiumarmaturene vil opptre som offeranoder og etter hvert tæres bort dersom det er direkte kontakt mellom armaturene og kabelstigen. Problemet kan løses ved at det settes inn et galvanisk skille for å unngå kontakt mellom aluminium og det rustfrie stålet. Skillet anbefales å være minimum 3 mm tykt hvis miljøet er lite korrosivt og gjerne 10 mm tykt hvis det er mye fukt. Det kan gjerne være i polypropylen, Teflon eller tilsvarende. Med god kompetanse og riktig utførelse i alle ledd, hos produsent, installatør og driftsentreprenør, kan korrosjonsproblemet dermed reduseres, slik at det ikke begrenser installasjonens levetid. Under disse forutsetningene kan LED-armaturer i aluminium benyttes.

9.6 Lysstyring

Riktig tilpassing av belysningen i innkjørings- og overgangssonen er viktig for trafiksikkerheten og energiforbruket. Innjustering av anlegg ved igangkjøring med kalibrert måleinstrument for korrekte nivåer for adaptasjonsluminans er viktig for korrekt drift.

Adaptasjonsluminansen for belysning i innkjørings- og overgangs-sonene skal kontinuerlig måles ved bruk av luminansmåler.

N500 Vegtunneler

9.6.1 Innkjøringssone

Innkjøringssonens nedtrapping er gitt av «CIE kurven» i figur 9.2. I utførelse har dette vært begrenset til 3 trinn arrangert med oppdeling i kurser styrt via kontaktorer. LED og dimbare anlegg åpner for en bedre tilpasning til kurven ved hjelp av dimming i flere trinn som vil redusere energiforbruket vesentlig.

Det anbefales å definere innkjørings-/overgangssone i 13 trinn henholdsvis 0-5-10-15-20-25-30-40-50-60-70-80-90-100 % alternativt dynamisk (lave dimensjoneringsnivåer for adaptasjonsluminans kan medføre at de laveste trinnene faller bort). Det bør som minimum legges til en hysteresetid på 60 sekunder for endringer i nivåene. Ved varierende trinn vil også lengden av innkjøringssonen variere, og dette er viktig å få implementert for å utnytte energisparepotensialet mest mulig.

9.6.2 Indre sone

Indre sonens belysning reguleres mellom dag og nattnivå, fortrinnsvis ved hjelp av dimming. I tillegg er kravet mellom midnatt og morgen (00:00-05:00) halvert for alle soner, dog ikke levere enn 0,5 cd/m², grunnet lavere trafikkmengde i dette tidsintervallet, med unntak av de tilfeller hvor dagtrinn er aktivt i dette tidsintervallet. I lange tunneler kan nivået i indre sone på dagtid halveres etter 60 sekunders kjøretid, dog ikke levere enn 1,00 cd/m². Klassens krav til jevnhet skal fortsatt opprettholdes. Oppdeling av tilførsel i segmenter slik at kabelfeil eller brudd i en kurs ikke medfører for store mørke områder er å anbefale.

9.6.3 Trafikkstyrt belysning

I lavtrafikkerte tunneler kan det med fordel ses på mulighet for regulering basert på trafikk, hvor lysnivå blir aktivert til dimensjonert nivå kun ved tilstedeværelse av trafikk. Det velges teknologi som sikrer detektering av alle trafikanter uansett hastighet og størrelse. Deteksjonspunktet anbefales plassert på samme sted som for måling av adaptasjonsluminans iht. tabell 9.1. Bruk av et slikt system forutsetter også benyttelse av lyskilde med kort responstid ved aktivering, for eksempel LED (dvs. ikke aktuelt å innføre dette i eksisterende tunneler med alternative lyskilder uten å bytte disse også). Av sikkerhetsmessige årsaker anbefales det at sikkerhetsbelysningen er tent til enhver tid.

9.6.4 Krav til luminansmåler

Luminansmåler inkludert eventuell ekstern styreboks utføres med minimum IP65. Signaloverføringen baseres på frekvens, 4-20 mA signal eller digitalt signal og måleområde 100-8000 cd/m² (endring av grense for maksimalt måleområde kan justeres hvis analyse av stedlige forhold viser lavere maksimal adaptasjonsluminans). Måleren skal peke mot tunnelportalen i en avstand likt målepunkt for adaptasjonsluminansen gitt i tabell 9.1. Måleren plasseres fortrinnsvis i/på portal sentrisk over kjørefelt(ene) i retning mot tunnelmunningen med senter synsakse midt i munningen 1,5 m over

kjørebane. Der hvor det ikke er portal over vegen plasseres måleren på 5 m høy separat mast på høyre side av kjøreretningen. Masten plasseres fortrinnsvis ikke lenger ut til siden enn 3 m fra hvit kantlinje. Ved avvik i avstand fra tunnelmunning, høyde over kjørebane eller sidevegs plassering må dekningsområdet for L_{20} justeres slik at denne blir tilsvarende som for angitt plassering.

Måleren anbefales å fungere automatisk ved oppstart etter et eventuelt midlertidig strømbrudd. Det anbefales at luminansmåler har innebygd termostattyrt varmeelement.

Luminansmålingen utføres etter L_{20} metoden med cd/m^2 som måleenhet. Målenøyaktigheten anbefales å være $\pm 5\%$ innenfor det aktuelle måleområdet.

9.7 Nødbelysning

Nødbelysning omfatter sikkerhetsbelysning og rømningslys.

9.7.1 Sikkerhetsbelysning

Sikkerhetsbelysningen er en del av belysningen som skal fortsette å lyse ved utfall av den ordinære strømforsyningen. Armaturene for sikkerhetsbelysning tilkobles nødstrømsforsyning, men er ikke en del av nødstrømssystemene.

Tunnelbelysningen skal arrangeres slik at utvalgte lysarmaturer (sikkerhetsbelysning) fortsetter å lyse i minimum 1 time etter at normal strømforsyning har falt ut. Sikkerhetsbelysningen arrangeres slik at avstanden mellom armaturene blir ca. 50 – 70 m.

N500 Vegtunneler

9.7.2 Rømningslys

Rømningslys er belysning som gjør det mulig å rømme ut av tunnelen til fots i en nødsituasjon og skal tilkobles nødstrømsforsyning. Krav til rømningslys i trafikkrommet er gitt i NS-EN 16276.

Krav til belysning i rømningsveier bort fra trafikkrommet er gitt i NS-EN 1838. Nivået økes imidlertid til minimum 5 lux målt i senterlinjen av rømningsstunnelen med jevnhet minimum 0,2 (1:5) og ikke lavere enn 0,5 lux 1,0 m til hver side for senterlinjen.

For tunneler med lengde < 5 km skal lysene monteres med innbyrdes avstand mellom lyspunkter på 25 m. Minste opprettholdte lysstyrke fra hvert av lysene, i alle retninger som de ses fra, skal være $0,1 \text{ cd} \times$ lysenes innbyrdes avstand. Med innbyrdes avstand 25 m skal lysstyrken være minst 2,5 cd i alle relevante retninger over hele anleggets levetid.

N500 Vegtunneler

For ettløpstunneler med lengde > 5 km benyttes sammenhengende rømningslysstripe med hvit lys. Denne anbefales å ha klar avskjerming når det benyttes dioder f. eks polykarbonat eller tilsvarende. Materialer som benyttes i stripen anbefales å tilfredsstille kravene til selvslukking iht. UL94 V-0 (Standard for Safety of Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances testing). Stripen monteres vertikalt på vegg eller føringskant.

Rømningslysene i trafikkrommet, uavhengig av om dette er enkeltarmaturer eller sammenhengende stripe, plasseres ca. 1 m over banketten.

For markering av dører til rømningsveier benyttes sammenhengende lysstriper med grønt lys som alltid er tent. Disse benyttes rundt alle dører (på hver side og over) til rømningsveier uavhengig av om det benyttes sammenhengende stripe eller punkter pr 25 m. Stripene avsluttes maks 50 cm over bankett.

Når rømningslyset tennes anbefales at den grønne stripen rundt dørene blinker i 60 sekunder (med lysflux 0/ 100 %) med en frekvens på 1 til 4 Hz.

For krav til armaturers levetid (systemlevetid som inkluderer LED dioder, drivere og alle materialer) vises til siste versjon av Technical specification, NMF01 Led luminaires - requirements.

9.8 Drift og vedlikehold

Et tunnellysanlegg dimensjoneres slik at kravene til gjennomsnittlig luminans og jevnhet er tilfredsstillt selv under de dårligste lysforholdene som oppstår i løpet av belysningens levetid. Ny tunnelbelysning overdimensjoneres så mye at den tar høyde for en lysreduksjon på minst 15 %. Det vil si at det legges inn en vedlikeholdsfaktor på maksimum 0,85.

Lysreduksjonen som oppstår over tid er sammensatt av:

- lyskildens lystilbakegang
- armaturens lystilbakegang på grunn av elding, bl.a. gulning av reflektor og glass
- armaturens lystilbakegang på grunn av tilsmussing innvendig og utvendig
- veggenes reduserte evne til å reflektere lyset, særlig på grunn av tilsmussing

Dessuten vil lyset spres i partikler i en støvete tunneluft slik at konturer og kontraster viskes ut. Belysningsplanleggeren vurderer i samarbeid med tunneleier/-drifter hvor mye lystilbakegang som kan forventes ut ifra hvilket nivå som kan forventes på renhold, lampeskift etc. Utrekning av vedlikeholdsfaktoren kan gjøres i henhold til CIE 154:2003 The Maintenance of Outdoor Lighting Systems. Når man skal regne ut vedlikeholdsfaktoren er det viktig at det blir hentet inn opplysninger vedrørende rengjøringsintervaller for tunnelen som helhet i tillegg til rengjøringintervaller for tunnelarmaturene. For å kunne opprettholde et høyt nok belysningsnivå og trafikksikkerhetsnivå rengjøres tunnelen og belysningsutstyret i samsvar med de forutsetningene som legges til grunn for valg av vedlikeholdsfaktor og for lysberegningene.

Som utgangspunkt for vedlikeholdsfaktor kan følgende eksempler benyttes:

- 0,50 ved lange vedlikeholdsintervaller og materialkvalitet av lav standard
- 0,70 ved normale vedlikeholdsintervaller og vanlig materialkvalitet.

Rapportene CIE 154:2003 The Maintenance of Outdoor Lighting Systems og CIE 097:2005 Guide on the Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems omhandler utregning av vedlikeholdsfaktorer for henholdsvis utendørs- og innendørsinstallasjoner.

Smuss som samles opp etter vask bør kjøres ut av tunnelen slik at ikke gammelt støv virvles opp på nytt og legger seg på armaturene igjen.

Dersom det er installert dimbare armaturer kan lysfluksen reguleres slik at et riktig lysnivå opprettholdes gjennom hele levetiden. Det betyr at belysningen kan nedreguleres når lampene er nye og når armaturene er vasket, slik at det unngås å bruke energi til overbelysning. Strømbesparelsen blir større ved bruk av LED enn ved bruk av andre lyskilder fordi LED opprettholder lysutbyttet ved nedregulering. De mest avanserte metodene for å opprettholde riktig lysnivå i innkjøringssonen og indre sone vil være basert på luminansmeter inne i tunnelen. Dårlig rengjøring vil da resultere i høyere strømforbruk.

9.9 Lysberegninger og lysmålinger

9.9.1 Lysberegninger

Det må alltid foretas lysberegninger før installasjon av et belysningsanlegg. Statens vegvesen benytter programmet Relux til lysberegninger. Alle beregninger skal kunne gjennomføres i dette programmet. Alle resultater skal dokumenteres med to desimaler.

Lysberegningene utføres som angitt i CIE 189:2010 Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria eller eventuelle nyere publikasjoner om tunnelbelysning utgitt av CIE.

I lysberegningene tillates det å ta med reflektert lys fra veggene som bidrag til kjørebans luminans (se pkt. 9.2.8). Andre verdier kan benyttes dersom det finnes grunnlag for det. Det forutsettes at tunnelen vaskes regelmessig i henhold til retningslinje R610 Drift og vedlikehold for at disse verdiene skal kunne benyttes.

For lysberegninger forutsettes det at alle overflater i tunnelene har diffus refleksjon, med unntak av kjørebannen, hvor vanlige vegdekke C2 benyttes.

Det anbefales at belysningsanlegget (på dagtid) i innkjørings- og overgangssonen utformes i henhold til motlysprinsippet, kontrastavsløringsfaktoren q_c dokumenteres med en gjennomsnittsverdi minimum 0,60.

9.9.2 Lysmålinger

Tunnelysanlegg anbefales kontrollmålt ved ferdigstilling (før trafikkpåsetting) og dokumenteres å være i henhold til krav. En verifisering av anlegget sammenlignet med lysberegning, korrigert for vedlikeholdsfaktor (korrigert til nyverdi), oppsummert i en målerapport (måleverdier fra feltmålingene vedlegges rapporten) er en del av anleggets FDV dokumentasjon.

Da flere krav er angitt i luminans er det viktig å være klar over at luminans også er avhengig av overflatens refleksjonsegenskaper og dette har vi sjelden kontroll over, selv på nye anlegg. Derfor må en samtidig foreta kontroll av illuminansen opp mot lysberegning i samme målegrid for en kontroll av installert lysmengde i anlegg. For nivåer gjelder da illuminansmålingene, men for jevnhetskravene er det luminansmålingen som gjelder.

Se kapittel 4.2 for detaljer rundt utførelse.

Lysmålinger utføres med:

- Luxmeter for kontroll av belysningsnivå. For nivåer er det illuminans, kontrollert mot lysberegning korrigert til nyverdi, som benyttes selv om kravet angis i luminans.
- Luminanskamera hvor hele området mellom 2 armaturer registreres og måldata bearbejdes i et tilhørende dataprogram, for krav til jevnhet og eventuelt blending. Luminans registreres både for å bestemme adaptasjonsluminansen, L_{20} , og til å kontrollere at luminansnivået (kontrolleres mot illuminans i samme målegrid) og jevnheten inne i tunnelen er tilnærmet i samsvar med kravene og riktig tilpasset dagslysnivået utenfor (den aktuelle adaptasjonsluminansen). Målegrid og utførelse i henhold til CIE 194:2011 On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting eller evt. nyere publikasjon fra CIE. Målinger kan også utføres med luminansmeter som måler enkeltpunkter i målegridet, men dette er en tidkrevende øvelse som gir et mindre nøyaktig resultat og er ikke å anbefale.
- Grovkontroll for indikasjon av eksisterende belysningsanleggs tilstand kan foretas med luxmeter hvor belysningsnivået måles på et rutenett som er dekkende for variasjonene i belysningsstyrke på et vegareal mellom to armaturer (for eksempel en rekke målepunkter på tvers av vegen rett under den ene armaturen og en tilsvarende rekke med målepunkter på tvers av vegen midt mellom to armaturer, samt en rekke på langs av vegens senterlinje).

Litteratur, referanser, standarder m.v.

Statens vegvesens håndbøker:

- Vegnormal N100 Veg- og gateutforming (2021)
- Vegnormal N200 Vegbygging (2018)
- Vegnormal N500 Vegtunneler (2020)
- Retningslinje R761 Prosesskode 1 (2018)
- Retningslinje R310 Trafikksikkerhetsutstyr – Funksjons- og materialkrav, Del 5 Oppsettingsutstyr (2011)
- Retningslinje R610 Standard for drift og vedlikehold (2012)
- Vegnormal N101 Rekkverk og vegens sideområde (2013)
- Vegnormal N601 Elektriske anlegg (2021)

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 13201-5 Vegbelysning – Del 5: Energiytelsesindikator
- NS-EN 12767 Ettergivende konstruksjoner for vegutstyr – Krav og prøvingsmetoder
- NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner
- NEK 600 El og ekom i vegtrafikksystemer
- 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
- NS-EN 16276 Rømningslys i veitunneler
- NEK EN 50172 Nødlyssystemer for rømningsveier
- NS-EN 1838 Anvendt belysning – Nødbelysning
- NS-EN 13032-1 Lys og belysning - Måling og presentasjon av fotometriske data for lamper og lysarmatur - Del 1: Måling og filformat
- NS-EN 13032-4 Lys og belysning - Måling og presentasjon av fotometriske data for lamper og lysarmaturer - Del 4: LED-lamper, LED-moduler og LED-lysarmaturer
- NS-EN 60598-2-22 Lysarmaturer – spesielle krav til armaturer for nødlys

Normer og øvrige referanser:

- CIE (den internasjonale belysningskommisjonen) 31: 1976 Glare and uniformity in roadlighting installations
- CIE 47: 1979 Road lighting for wet condition
- CIE 53: 1982 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers
- CIE 66: 1984 Road surfaces and lighting (joint technical report CIE/PIARC)
- CIE S 023/E:2013 Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters
- CIE 88: 2004 Guide for the lighting of road tunnels and underpasses
- CIE 100: 1992 Fundamentals of the visual task of night driving
- CIE 115: 2010 Lighting of roads for motor and pedestrian traffic
- CIE 140: 2000 Road lighting calculations
- CIE 154: 2003 The maintenance of outdoor lighting systems
- CIE 189: 2010 Calculation of tunnel lighting quality criteria
- CIE 191: 2010 Recommended system for mesopic photometry based on visual performance
- CIE 193: 2010 Emergency lighting in road tunnels
- CIE 194: 2011 On site measurement of the photometric properties of road and tunnel lighting
- ISO/CIE 19476: 2014 Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters).
- Lyskultur, Norge 2009, 1A Lysboken
- DIN 5032-7 Classification of illuminance meters and luminance meters
- TØI Trafikksikkerhetshåndboka (løpende oppdatert online utgave)
- NMF01 Led luminaires requirements (løpende oppdatert på nmvf.dk]

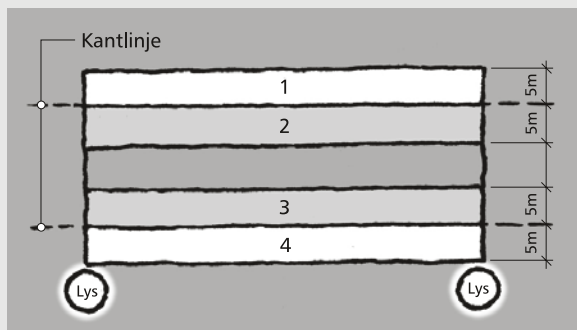
Vedlegg 1: Terminologi

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 normalt på en flate, dvs. hvor stor lysfluks som faller på hver arealenhet av flaten. Illuminans er et annet ord for belysningsstyrke.
Belysningsmiljø		Gode synsebetingelser 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: • 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 _a		En lyskildes evne til å gjengi farger. 100 er høyeste verdi.
Fargetemperatur, T _c	Kelvin	Angir lyskildens farge. Høye fargetemperaturer (over 3000 K) regnes som kalde, mens de lavere regnes som varme.
Forkobling		Forkobling er en generell beskrivelse av forankoblet utstyr til veilysmaturer som muliggjør tenning og kompenserer for eventuelle ugunstige driftsforhold. For gassutladningslamper benyttet man tidligere magnetisk forkobling (ballast), og dette benyttes fortsatt i enkelte tilfeller for høye watt-bestykninger (≤ 250 W). Ellers er det nå et generelt krav om å benytte elektronisk forkobling (ballast). For LED lyskilde benyttes en driver som forkobling.
Gjennomsnittlig belysningsstyrke, E _m = E _{min} /E _{mid}	lux	Et mål for den gjennomsnittlige horisontale belysningsstyrken i et vegområde.
Gjennomsnittlig luminans, L _m	cd/m ²	Gjennomsnittlig luminans fra vegdekkets overflate. Målearealet 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 normalt på en liten halvkule som vender oppover, dividert med arealet av halvkulens overflate.
Horisontal belysningsstyrke, E	lux	Belysningsstyrken på et horisontalt plan.

Begrep	Benevning	Forklaring
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: $\frac{L_o - L_b}{L_b}$
Langsgående jevnhet, $U_l = L_{\min}/L_{\max}$		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 Costs)		Levetidskostnader (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 angir hvor mye lys som stråler ut fra en lyskilde. 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 fordeler seg i rommet. Et stearinlys har en lysstyrke på omtrent 1 cd på tvers av flammen.
Lysutbytte, η	lm/W	Et mål på hvor effektiv lyskilden er ved omdanning av elektrisk effekt til lys.
Omgivelsesens lysforhold, E_{RI} (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. Gjennomsnittlig horisontal belysningsstyrke beregnes for en stripe utenfor kjørebane i samme bredde som kjørefelt og divideres på nærmeste kjørefelts gjennomsnittlige horisontale belysningsstyrke. E_{RI} defineres som det laveste av disse to forholdstallene. Bredden på alle 4 «felt» skal være lik. For veger med to kjørebane og midtdeler mindre enn 10 m, regnes det som én kjørebane ved beregning av E_{RI} . E_{RI} brukes kun der hvor det ikke er tilstøtende trafikkområder med egne krav, for eksempel fortau, gang- og sykkelveger eller nødkjøringsfelt.
Omgivelsesnivå for blanding		Verdi på blanding i de tilstøtende områdene til kjørebane.
Servicelevetid, L_{80}	Timer	Den brenntid (det antall brenntimer) som anlegget har lagt bak seg når lysreduksjonen i lyskildene og det prosentuelle utfallet til sammen har redusert lysytelsen med 20 %. Se gruppeutskifting
Sløringsluminans, L_v	Cd/m ²	Et mål på den luminansen som medfører kontrastreduksjon. Lyset fra blendingskilden blir spredt i øyet som strølys, og virkningen er den samme som om hele synsfeltet var dekket av en jevn luminans.

Begrep	Benevning	Forklaring
Stoppstikt, L_s	m	Nødvendig sikt lengde fram til et objekt for at bilføreren skal kunne oppdage objektet, reagere, vurdere om han skal bremse og bremse kjøretøyet til stopp
Strølyset	Lux	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, f_{Ti}	%	Et mål på tap av synlighet forårsaket av sløringsluminans fra veglyslarmaturen. f_{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} , begge $= L_{min}/L_{mid}$		U_o er forholdet mellom laveste verdi og gjennomsnitts verdien for vegdekkes luminans på tørt vegdekke eller for den horisontale belysningsstyrken. Økt jevnhet gir forbedrede synsbetingelser. Vi stiller også krav til total jevnhet på vått vegdekke (U_{ov}) (bare ved luminansberegninger), for å unngå en kraftig forverring av lysforholdene i fuktige perioder. 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 (UI) for det samme vegdekket i tørr tilstand.
Vedlikeholdsfaktordsfaktor		Vedlikeholdsfaktoren til armaturen varierer med rengjøringsintervallene, mengden forurensning i atmosfæren og IP-graden til armaturens skjerm/reflektordel. Vedlikeholdsfaktoren til lyskilden varierer med lampetype og spenning. Til sammen utgjør dette en reduksjon i lysfluksen som angis med en vedlikeholdsfaktor.
Vegbelysning		Vegdekket representerer den flaten som lyset reflekteres fra. Vegdekkes refleksjonsegenskaper og lyshetsgrad er avgjørende. C2 er et mørkt vegdekke og C1 et lyst vegdekke under tørre forhold. W3 og W4 er våte vegdekker, der W4 er mest speilende.
Vertikal belysningsstyrke, E_v	Lux	Belysningsstyrken på et vertikalt plan
Virkningsgrad η		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.



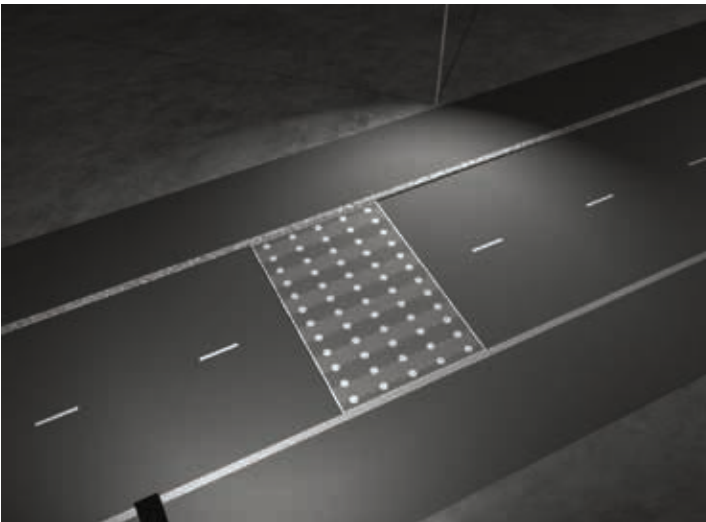
Figur V1.1: Omgivelsesforhold $SR = (1+4)/(2+3)$ der tallene representerer gjennomsnittlig belysningsstyrke i hvert område. Områdebredden reduseres fra 5 m til $\frac{1}{2}$ kjørebanebredde når denne er smalere enn 10 m.

Vedlegg 2: Eksempel på lysberegning av intensivbelyst gangfelt

Figuren nedenfor viser de tre vertikale beregningsfeltene og tilhørende beregningspunkter, i den ene kjøreretningen.



Figuren nedenfor viser det horisontale beregningsfeltet med tilhørende beregningspunkter.

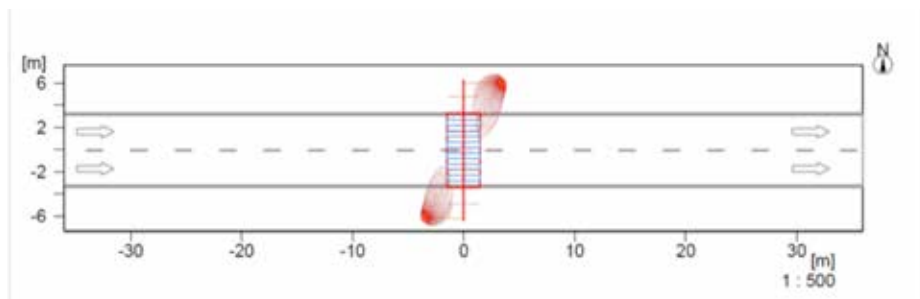


De neste sidene i dette vedlegget viser utdrag fra en lysberegning for intensiv belysning av gangfelt i beregningsprogrammet Relux.

1 V124_Intensivbelysning 2020

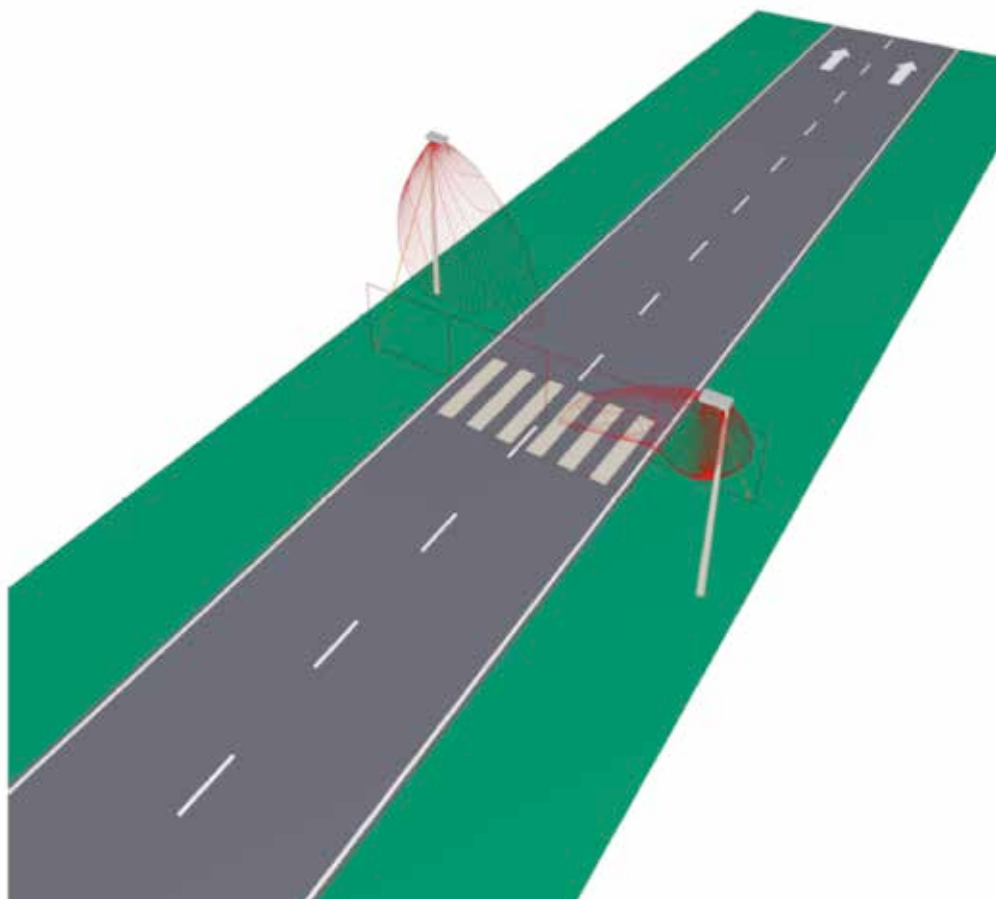
1.1 Beskrivelse, V124_Intensivbelysning 2020

1.1.1 Planvisning



1.1 Beskrivelse, V124_Intensivbelysning 2020

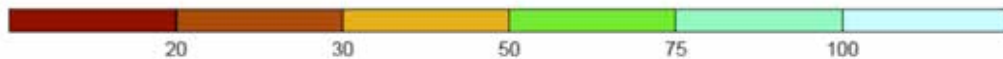
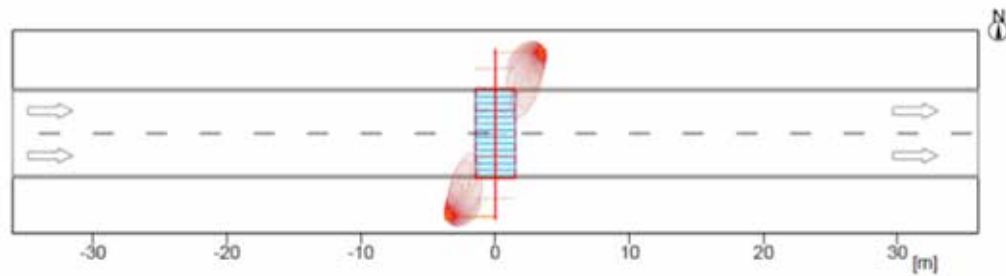
1.1.2 3D visning, Vis 1



1 V124_Intensivbelysning 2020

1.2 Sammendrag, V124_Intensivbelysning 2020

1.2.1 Resultatoversikt, Intensivbelysning - SVV – Eh



Belysningsstyrke [lx]

Generell

Anvendt beregningsalgoritme

Beregningsflatens høyde

Høyde (fot. sentrum) [m]:

Vedlikeholdsfaktor

Høy indirekteandel

0.00 m

5.00 m

0.80

Total lysfluks for alle lyskilder

26000 lm

Totaleffekt

166 W

Totaleffekt per areal (1080.00 m²)

0.15 W/m²

Belysningsstyrke

Gjennomsnittlig belysningsstyrke

Em

139 lx

Laveste belysningsstyrke

Emin

107 lx

Største belysningsstyrke

Emaks

155 lx

Jevnhet U1

Emin/Em

1:1.3 (0.77)

Jevnhet U2

Emin/Emax

1:1.45 (0.69)

Type Ant.\Prod.



Bestillingsnr.

:

Armaturnavn

:

Bestykning

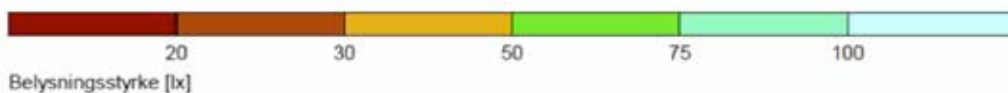
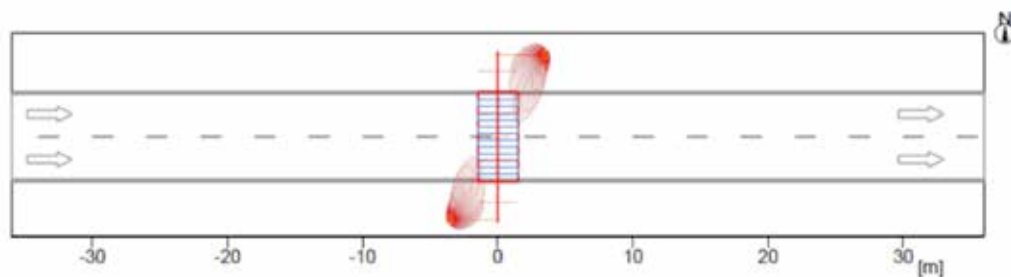
:

5m mast / BGP621 T25 1xLED130-4S/740 DPR1

1 x LED130-4S/740 83 W / 13000 lm

1.2 Sammendrag, V124_Intensivbelysning 2020

1.2.2 Resultatoversikt, Intensivbelysning - SVV - Ev eget kjørefelt – Høyre



Generell

Anvendt beregningsalgoritme

Høyde (fot. sentrum) [m]:

Vedlikeholdsfaktor

Høy indirekteandel

5.00 m

0.80

Total lysfluks for alle lyskilder

26000 lm

Totaleffekt

166 W

Totaleffekt per areal (1080.00 m²)

0.15 W/m²

Belysningsstyrke

Gjennomsnittlig belysningsstyrke

Em

91 lx

Laveste belysningsstyrke

Emin

42 lx

Største belysningsstyrke

Emaks

135 lx

Jevnhet U1

Emin/Em

1:2.18 (0.46)

Jevnhet U2

Emin/Emax

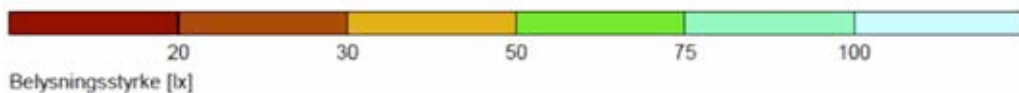
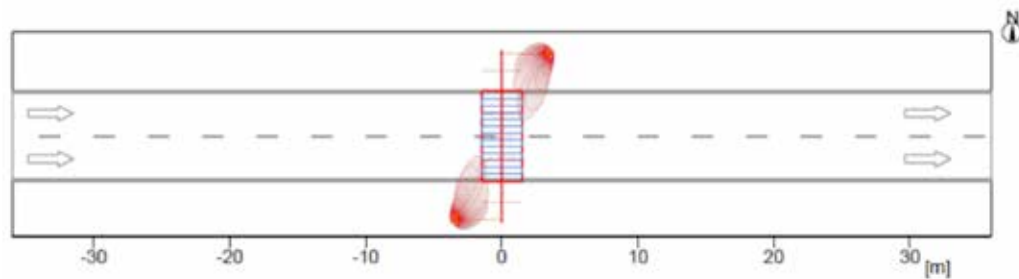
1:3.25 (0.31)

Type Ant. lProd.

1	2	Bestillingsnr.	:	
		Armaturnavn	:	5m mast / BGP621 T25 1xLED130-4S/740 DPR1
		Bestykning	:	1 x LED130-4S/740 83 W / 13000 lm

1.2 Sammendrag, V124_Intensivbelysning 2020

1.2.3 Resultatoversikt, Intensivbelysning - SVV - Ev motsatt kjørefelt – Høyre



Generell

Anvendt beregningsalgoritme
Høyde (fot. sentrum) [m]:
Vedlikeholdsfaktor

Høy indirekteandel
5.00 m
0.80

Total lysfluks for alle lyskilder
Totaleffekt
Totaleffekt per areal (1080.00 m²)

26000 lm
166 W
0.15 W/m²

Belysningsstyrke

Gjennomsnittlig belysningsstyrke
Laveste belysningsstyrke
Største belysningsstyrke
Jevnhet U1
Jevnhet U2

Em	35.8 lx
Emin	12.2 lx
Emaks	67.9 lx
Emin/Em	1:2.94 (0.34)
Emin/Emax	1:5.57 (0.18)

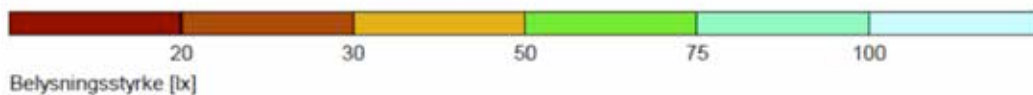
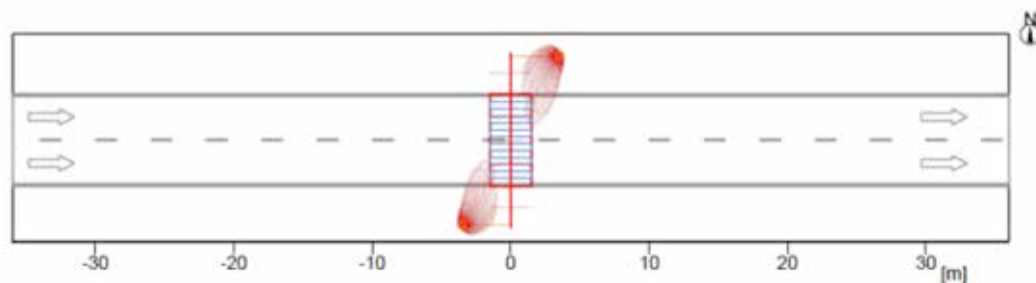
Type Ant.\Prod.



Bestillingsnr.	:	
Armaturnavn	:	5m mast / BGP621 T25 1xLED130-4S/740 DPR1
Bestykning	:	1 x LED130-4S/740 83 W / 13000 lm

1.2 Sammendrag, V124_Intensivbelysning 2020

1.2.4 Resultatoversikt, Intensivbelysning - SVV - Ev sideområde – Høyre

**Generell**

Anvendt beregningsalgoritme

Høyde (fot. sentrum) [m]:

Vedlikeholdsfaktor

Høy indirekteandel

5.00 m

0.80

Total lysfluks for alle lyskilder

26000 lm

Totaleffekt

166 W

Totaleffekt per areal (1080.00 m²)

0.15 W/m²

Belysningsstyrke

Gjennomsnittlig belysningsstyrke

Em

140 lx

Laveste belysningsstyrke

Emin

102 lx

Største belysningsstyrke

Emaks

171 lx

Jevnhet U1

Emin/Em

1:1.37 (0.73)

Jevnhet U2

Emin/Emax

1:1.68 (0.59)

Type Ant.\iProd.

Bestillingsnr.

:

Armaturnavn

:

Bestykning

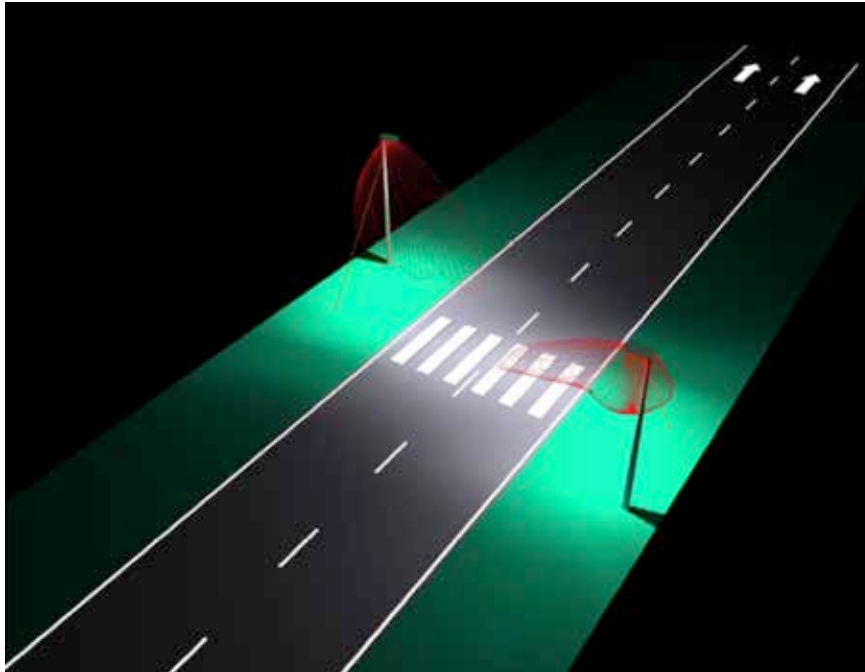
:

5m mast / BGP621 T25 1xLED130-4S/740 DPR1

1 x LED130-4S/740 83 W / 13000 lm

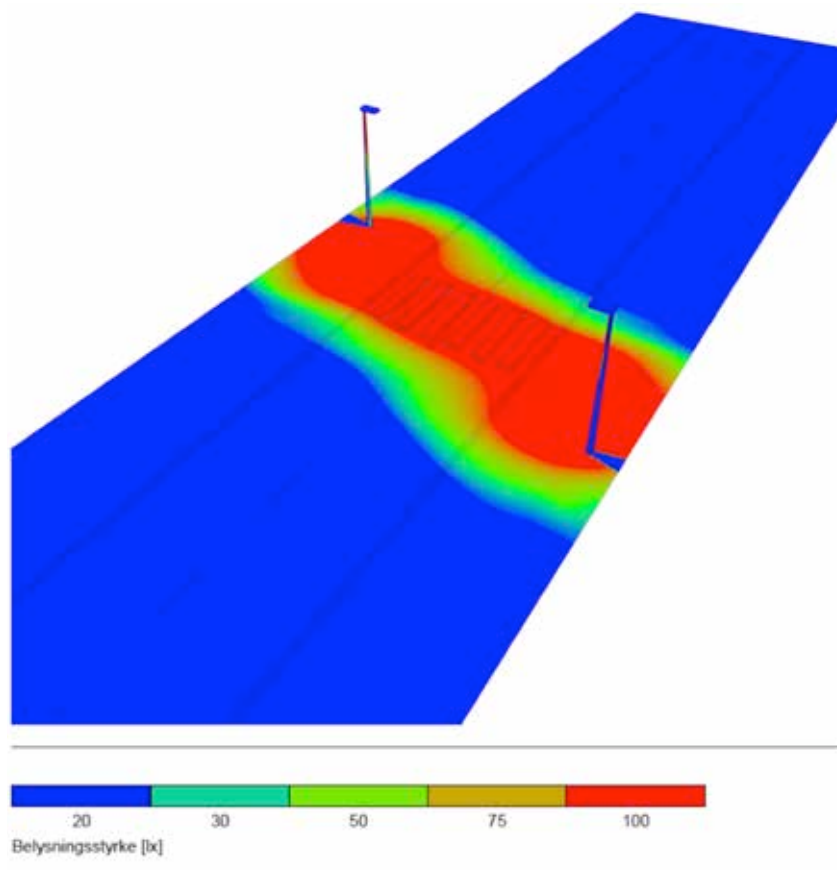
1.3 Beregningsresultat, V124_Intensivbelysning 2020

1.3.15 3D luminans, Vis 1



1.3 Beregningsresultat, V124_Intensivbelysning 2020

1.3.16 3D Fargeskala, Vis 1 (E)



Vedlegg 3 Veiledning til prosjekteringsvalg som må gjøres i NMF01

Igjennom hele håndbok V124 er det referert til «NMF-01 Technical specifications – requirements» for detaljerte tekniske krav til armaturer. Dette vedlegget fremhever de deler av dokumentet hvor det må gjøres beviste valg i en prosjekteringssammenheng.

Generelt er det i NMF-01 henvist til gjeldende IEC standarder for utdypende beskrivelse av relevante krav, men man kan i prosjekteringssammenheng velge å benytte alternative standarder. I så tilfelle må tilstrekkelig dokumentasjon for oppfyllelse av tilsvarende krav fremlegges.

- 6.1 Armaturer skal som utgangspunkt leveres med påmontert kabel, med minimum tverrsnitt $1,5 \text{ mm}^2$. Av mekaniske hensyn kan det i tilfeller med lang kabel være påkrevet med $2,5 \text{ mm}^2$.
- 7.4 Vedlikeholdsfaktor fastsettes utfra oppgitt formel sammensatt av to faktorer;
 - o lyskildens lystilbakegang (kap 7.5 og 7.6).
 - o armaturens vedlikeholdstilbakegang (kap 7.7) som skal settes etter tabell 5 basert på fastsatt eller antatt vedlikeholdsrutiner, maksimum 0,9
- 7.8 Krav til fargetemperatur og fargegjengivelsesindeks settes ifølge tabell 6 basert på type veikategori
- 8.1 Korrosivitets krav settes basert på kategori etter tabell 8 basert på type omgivelser
- 9.1 Styring for veilys velges blant 2 prinsipper (NMF-01 angir 4 prinsipper);
 1. forhåndsprogrammert styring (midtpunktsdimming)
 2. forhåndsprogrammert styring med mulighet for kommunikasjon mellom armaturene (sensorstyrt for eksempel basert på tilstedeværelse).
- 9.3 Plassering av Zhaga plugg skal være i underkant av armatur, hvis det er behov for plugg på armaturens overside skal armatur være utstyrt med plugg både på over- og underside.



www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker

ISBN 978-82-7207-769-2

Trygt fram sammen