

# Energisparetiltak for belysning i lavtrafikkerte tunneler

**Abdulah Karahasan**

Master i energibruk og energiplanlegging  
Oppgaven levert: Mars 2011  
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT



# Oppgavetekst

Norge har mange, og til dels lange, veitunneler.

Til tross for lav trafikk tetthet, er disse belyst, noe som utgjør en stor driftskostnad.

Kandidaten skal i denne oppgaven finne mulige spare-potensialer ved alternative løsninger av tunnelbelysning.

Kandidaten skal

- beskrive dagens krav og løsninger for tunnelbelysning

- foreslå ulike tiltak som kan iverksettes for å redusere energibruken til tunnelbelysning

- for et konkret anlegg undersøke energiforbruk med alternative løsninger

Oppgaven gitt: 12. oktober 2010

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT



# FORORD

Denne masteroppgaven blei gjennomført i samarbeid mellom meg som student ved NTNU og Sweco Norge AS. Målet med oppgaven var å se på hvilke tiltak som kan tas i bruk for å gjøre belysning av tunneler (lavtrafikkerte tunneler) billigere. Oppgaven har i hovedsak dreid seg om beskrivelse av tunnelbelysning generelt, samt beregninger gjennomført i RELUX tunnel for Jønjljotunnelen, en tunnel i Notodden kommune i Telemark. Ved å sammenligne tunnelbelysning med intelligente styringssystemer sammen med tradisjonell tunnelbelysning, ble det lagt grunnlag for hvilke sparemuligheter som ligger til rette. Samtidig var det av interesse å prøve seg frem på ny belysningsmetode som setter fokus på belysning av tunnelen som helhet og ikke bare veibanen, og finne ut hvordan dette ville fungere med tanke på sikkerhet og komfort ved gjennomkjøring i tunnelen.

Gjennom arbeidet er det flere personer som har bidratt til god veiledning og innføring om tunnelbelysning og beregninger underveis. Spesielt har det vært vansker med programmet RELUX Tunnel. Det er et tungt program som tar tid å sette seg inn i, og få et fornuftig resultat.

Spesiell takk til:

Veileder Eilif Hugo Hansen.

Torbjørn Selnes fra Sweco i Trondheim som har bidratt til god introduksjon om tunnelbelysning og hjelp i programmet RELUX Tunnel.

Hans Øien fra Thornlighting som også har bidratt til introduksjon som intelligente styringssystemer og lyskilder som benyttes i tunneler.

Lotsberg Gunnar, Krocak Jolanta og Ølmheim Joar fra Statens Vegvesen som har gitt bidratt til info om tunneler og deres data/installasjon ved valg av tunnel som beregningene skulle gjennomføres på.

Abdulah Karahasan

04.03.2011

Trondheim



# SAMMENDRAG

I dag finnes det mange tunneler med gamle belyningsanlegg. De eldste vil i hovedsak bestå av høytrykksnatrium (HPS) og lavtrykksnatriumlamper (NaL), mens nyere anlegg stor sett har hvitt lys i indre soner av tunnelen og det benyttes enten lysrør eller induksjonslamper.

Grunnen til at lysrør og induksjonslampene tok over for NaL-lamper er ønsket om bedre lysforhold i tunnelen. NaL-lamper har meget dårlig fargegjengivelse, og blir ikke lenger brukt ved utforming av nye belyningsanlegg i tunneler. Tradisjonell styring av lysnivå i tunnelen har en veldig enkel funksjon, nemlig å slå av og på armaturer eller armaturgrupper. Det vanligste er å bruke en PLS med input fra en fotocelle som kobler inn damplamper i to eller tre trinn for dagsbelysning og nattlys i et eller to trinn.

Lavtrafikkerte tunneler er tunneler med  $\text{ÅDT} < 2500$ , og tunneler av klasse A og B faller innenfor denne gruppen. De har en relativ lav trafikk tetthet og i enkelte perioder vil det ikke være trafikk gjennom tunnelen. Med tradisjonell styring av lysanlegget, tas det ikke hensyn til trafikk tettheten, og armaturene lyser konstant over hele døgnet. For lavtrafikkerte tunneler som til tider ikke har noe trafikk, kan det sees på som mye ev energibruken som går til belysning av tunnelene blir bortkastet.

Denne masteroppgaven har som hovedmål å teste ut hvilke tiltak som kan settes inn for å redusere energiforbruket i lavtrafikkerte tunneler. I første omgang blir krav til belyningsanlegget presentert, samt ulike metoder som benyttes under prosjektering/utforming av anlegget. Statens Vegvesen skal gjennomføre en total renovering av Jønjljotunnelen i Notodden kommune i Telemark. Beregning og utforming av det nye belyningsanlegget har blitt gjennomført i programmet RELUX Tunell, der det ble utformet både ved tradisjonelle og moderne metoder. Utforming av det tradisjonelle anlegget bestod av 100W HPS lamper og 106W lysrør, der dagsbelysning har tre reguleringstrinn og ett for natten. Det moderne anlegget som det ble beregnet til består av 100W og 150W HPS lamper samt 45W LED lamper, og styres med et "intelligent styringssystem" som gjør det mulig å dimme armaturene. Moderne anlegg med intelligent styring ga merkbare besparelser i forhold til tradisjonell utforming. Resultatene viser at mesteparten av besparelsen ligger i nattbelysningen, der LED armaturer benyttes i hele tunnelen og kan dimmes ned til 20 % lysnivå og effektverdi. Når dagslyset er på sitt høyeste, er besparelsen lavest og det moderne anlegget har minimum 7,8 % lavere effektforbruk i denne perioden. Nattbelysningen skiller seg ut veldig der moderne belyningsanlegg har 52-90 % lavere effektforbruk, avhengig om det er trafikk til stede eller ikke. Den største delen av energibesparelsen forekommer ved nattbelysning, og grunnen til det er LED-armaturer med lav systemeffekt som dimmes ned til 20 % effektverdi i perioder uten trafikk.

Til slutt har det blitt testet med en meget utradisjonell belyningsmetode. Denne type belysning baserer seg på montering av LED-armaturer i veikanten i tunnelen. LED-armaturer på 12W ble benyttet i hele tunnelen. Her var målet å teste ut hvordan vil vi mennesker oppleve å kjøre gjennom en tunnel der det settes fokus på å belyse tunnelen som helhet istedenfor kun å følge kravene om luminans på veibanen. Denne belyningsmetoden ga riktignok en besparelse på over 90 %. Det lysanlegget har et totalt effektforbruk på kun

2400W. Det er umulig å dekke kravene for veinormalen når armaturene plasseres i bakken og lyser oppover. Dette gjelder sterkt for innkjøring- og overgangssone. Men denne metoden vil møte mange hinder før den kan vurderes å tas i bruk. For det første dekkes ikke kravene om luminans på veien. Deretter vil dette kreve mye oftere renhold av tunnelen siden både armaturene og vegger/tak må holdes rene for best mulig synsforhold. Armaturer montert i veikanten vil fort bli skitne.

Til fremtidig prosjektering og utforming av belysningsanlegg i lavtrafikkerte tunneler vil det anbefales å benytte LED armaturer i størst mulig grad sammen med intelligente styringssystemer. I dag finnes det LED-lamper som kan benyttes i indre sone på dagtid og i helle tunnelen ved nattbelysning. Spesielt bør fokuset rettes mot nattbelysning da mesteparten av besparelsen ligger i denne perioden.

Det anbefales også å forske videre på nye belysningsmetoder som ”inground belysning” og kanskje vil denne metoden tas i bruk en gang i fremtiden. I første omgang kunne det tenkes at en kombinerte tradisjonelle metoder der armaturene monteres i tak sammen med armaturer montert i bakken. Muligens kunne dette føre til enda større besparelser.



## Cntents

1	INNLEDNING .....	7
2	TUNNELKLASSER, NORMALER OG BELYSNINGSKRAV .....	9
2.1	Tunnelsikkerhetsforskriften og håndbøker .....	9
2.2	Tunnelklasser.....	9
2.3	Belysningskrav .....	11
2.3.1	Generelle krav .....	11
2.3.2	Bremselengde og adaptasjonsluminans.....	11
2.3.3	Krav til belysningsnivå i tunellen .....	12
2.3.4	Nattbelysning .....	14
2.3.5	Luminansjevnhet .....	14
2.3.6	Lysarmaturer i tunnel .....	14
2.3.7	Sikkerhetsbelysning.....	15
2.4	Tunnelrenhold og vedlikehold.....	15
3	TRADISJONELL TUNNELBELYSNING .....	17
3.1	Lange og korte tunneler .....	17
3.2	Øyets tilpasning.....	18
3.3	Belysning og soneinndeling .....	19
3.4	Belysningsmetoder .....	21
3.4.1	Plassering av armaturer.....	22
3.4.2	Lysspredning fra armaturer .....	24
4.5	Lyskilder.....	26
4	STYRINGSSYSTEMER.....	27
4.1	Tradisjonell styring .....	27
4.2	Moderne styringssystemer.....	27
5	SPAREPOTENSIALE VED BRUK AV DIMMING I TUNNELER .....	31
5.1	Tunnelklasse A.....	31
5.2	Tunnelklasse B.....	36
5.3	Oppsummering.....	37
6	RENOVERING AV JØNJILJOTUNNELEN.....	39
6.1	Generelt.....	39
6.2	Tradisjonell belysning.....	41

6.2.1	Beregning i RELUX Tunnel .....	41
6.2.2	Effektberegninger.....	47
6.3	Moderne belysning.....	47
6.3.1	Beregning i RELUX Tunnel .....	47
6.2.2	Effektberegning .....	53
6.4	Energisparepotensiale.....	55
7	INGROUNG TUNNELBELYSNING .....	59
7.1	En ny ide .....	59
7.2	Valg av armatur .....	59
7.3	Testing i Relux Tunnel.....	63
7.3.1	Generelt.....	63
7.3.2	Tunnel med 3 m høye vegger med refleksjonsfaktor på 50 %.....	63
7.4	Synlighet av kjøretøy og fotgjengere .....	69
7.5	Luminansnivå i tunnelen .....	73
7.6	Ulemper ved “inground” belysning.....	78
7.7	Sparepotensiale.....	79
8	DIDKUSJON .....	81
9	KONKLUSJON .....	85
	Litteraturreferanse .....	87

## 1 INNLEDNING

Norge og resten av verden har mange tunneler med svært gamle lysanlegg. Eldre lysanlegg vil i hovedsak bestå av høytrykksnatriumlamper (HPS) i innkjøring- og overgangssoner og lavtrykksnatriumlamper (NaL) i indre sone av tunneler. Enkelte tunneler som fortsatt har installert eldre lysanlegg dekker ikke kravene om veiluminans som er satt av veinormalen og CIE (International commission on illumination). Gjennom årene har kravene blitt strengere på grunn av ulykkene som forekom på veiene. Etter hvert har ønsket om bedre lysforhold i tunnelen ført til hvitt lys i indre soner, noe som førte til at lysrør og induksjonslamper tok over NaL-lamper. Tunneler med nyere anlegg følger kravene fra veinormalen, men har en ”enkel” styringssystem som ikke setter stor fokus på energisparing.

Tradisjonell styring av lysnivå i tunnelen har en veldig enkel funksjon, nemlig å slå av og på armaturer eller armaturgrupper. Det vanligste er å bruke en PLS med input fra en fotocelle som kobler inn damplamper i to eller tre trinn for dagsbelysning og nattlys i et eller to trinn. I enkelte tunneler er det så enkelt som kun et innkoblingstrinn for HPS lamper i innkjøringssonen. Teknologisk utvikling gjennom de siste tiårene har gitt mulighet til helt nye metoder for styring og drift av tunnelbelysning. Ved å benytte intelligent styringssystem kommer muligheten for å dimme lyset i tunnelen etter behov, kan det spares mye på energiforbruket. I perioder uten trafikk kan energibruken til som går til belysning av tunneler sees på som bortkastet dersom armaturene lyser konstant på sitt maksimum. Et intelligent styringssystem gir mulighet til å redusere lysnivået og energiforbruket i perioder det er mulig, noe som gir relativt store besparelser for lavtrafikkerte tunneler. Samtidig har utvikling av LED-lamper vært stor de siste årene som på sin måte kan bidra til store besparelser når det gjelder tunnelbelysning.

I denne rapporten gis det først en gjennomgang av lovgrunnlaget for tunnelbelysning og hvordan tradisjonell belysningsanlegg utformes og styres, samt hvilke belysningsmetoder som benyttes. Deretter gis det introduksjon til hva som kan gjøres for å redusere på energiforbruket i lavtrafikkerte tunneler. Senere vil det bli presentert beregninger som har blitt gjennomført i programmet RELUX Tunnel for Jønjliljotunnelen, en tunnel som er under renovering. Det har blitt gjennomført en beregning av lysanlegg for tunnelen etter tradisjonelle metoder og mer modernemetoder med intelligent styring for deretter å se på sparemulighetene som ligger til rette.

Til slutt har det blitt prøvd ut med en helt ny metode for tunnelbelysning, kalt ”inground belysning”. Denne belysningsmetoden vil riktig nok ikke kunne dekke kravene fra veinormalen, men målet var å utforske hvordan det ville være å belyse tunnelen som helhet istedenfor å sette fokus kun om luminans på veibanen. Også her blei programmet RELUX brukt og det drøftes hvor vidt denne metoden vil fungere med tanke på sikkerhet og synlighet i tunnelen. Til slutt gjennomføres det beregninger på sparepotensialet som følger med ”inground belysning” i tunneler.



## 2 TUNNELKLASSER, NORMALER OG BELYSNINGSKRAV

I dette kapitlet gjennomgås de viktigste kravene og normalene som må tas hensyn til ved planlegging og utbygging av vegtunneler samt hvilke håndbøker som legges til grunn. Før det sies noe om kravene til belysning i tunneler gis det en liten introduksjon i tunneltyper og hvordan tunneler deles inn i ulike soner.

### 2.1 Tunnelsikkerhetsforskriften og håndbøker

Tunnelsikkerhetsforskriften er innarbeidet i *håndbok 269, Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler* og *håndbok 021*. Ved planlegging, bygging, drift og vedlikehold av vegtunneler skal derfor disse to håndbøkene legges til grunn. [1]

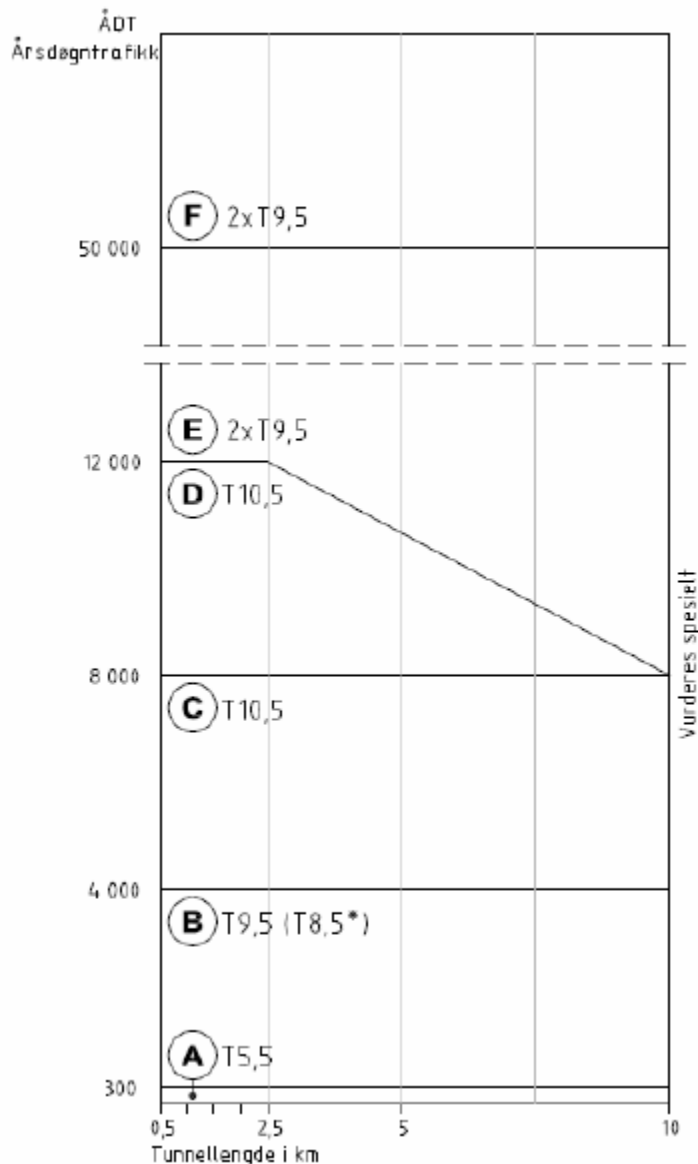
*Håndbok 269* gjelder for alle tunneler på riksvegnettet over 500m, men ved spesielle krav skal den også benyttes for kortere tunneler. Denne håndboken skal benyttes både i planleggingsfasen, prosjekteringen og under selve utbyggingen. Fylkeskommunen kan beslutte at den også skal gjelde for fylkesvegtunneler. [4]

*Håndbok 021* erstatter normalen fra 2006 og gjelder alle typer tunneler. Den brukes som grunnlag både ved planlegging av nye tunneler og rehabilitering av eldre tunneler. Denne normalen omfatter alle områder ved gjennomføring av vegtunnelprosjekt, alt fra tidlig planlegging til ferdig bygd, drift og vedlikehold. [4]

*Guide for the lighting of road tunnels and underpasses, Technical report* fra CIE, gjelder som internasjonal veiledning og standard for planlegging av tunnelbelysning. Den inneholder samme kravene for tunnelbelysning som håndbok 021, men gir en dypere innføring i selve planleggingsprosessen og en mer detaljert beskrivelse beregningsmetodene.

### 2.2 Tunnelklasser

Vegtunneler deles inn i ulike klasser basert på trafikkmengde og lengden av tunnelen. Trafikkmengden oppgis i ÅDT (årsdøgntrafikk), som er total trafikkmengde over ett år dividert på 365 dager. ÅDT angis som summen av all trafikk i begge kjøreretninger, og tunnelklassene blir bestemt på bakgrunn av trafikkmengden som forventes over 20 år, ÅDT(20). Figur 2.2 viser de ulike tunnelklassene.[1]



Figur 3.1: Tunnelklasser.[1]

Det er tunnelklassene som er avgjørende for planleggingen med tanke på tunnelprofiler, antall tunnellop og kjørefelt, nødutganger, sikkerhetsutrusting, behov for havarinisjer, snuplasser og gangbare tverrforbindelser. Ved noen tunneler kan det forekomme store variasjoner i trafikkmengde i ulike perioder av året. Dersom dette er tilfelle, må det gjøres en spesiell vurdering ved valg av tunnelklasse som baserer seg på risikoanalyse.[1]

Det finnes ulike typer tunnelprofiler med blant annet ulik høyde, bredde og antall kjørefelt. I tillegg til at profilene skal gi plass til kjørefeltene, skal de også gi rom for planlagte skilt og alle tekniske installasjoner. Spesielle krav til utforming av tunnelene med hensyn til plassering av blant annet teknisk utstyr og skilt, finnes i *Håndbok 021 Vegtunneler*, utgitt av Statens vegvesen. Siden dette prosjektet ikke handler om den geometriske utformingen av tunnelene, går vi ikke nærmere inn på dette her. For detaljerte tegninger, krav og måledata for ulike tunnelprofiler, henvises det til *Håndbok 021 Vegtunneler*, som nevnt ovenfor.

En vegtunnel deles i hovedsak inn i fem soner: tilgangssone, innkjøringssone, overgangssone, indre sone og utkjøringssone. Denne inndelingen gjelder som standard for Norge i følge

*Håndbok 021 Vegtunneler og International commission on illumination (CIE).* I dette kapitlet gjennomgås de viktigste kravene som omfatter planlegging av tunnelbelysning som gjelder for norske tunneler. I kapittel 4 gis det en nærmere beskrivelse av tradisjonell tunnelbelysning, samt ytterligere anbefalinger fra CIE som må/bør tas hensyn til ved planlegging av tunnelbelysning.

## **2.3 Belysningskrav**

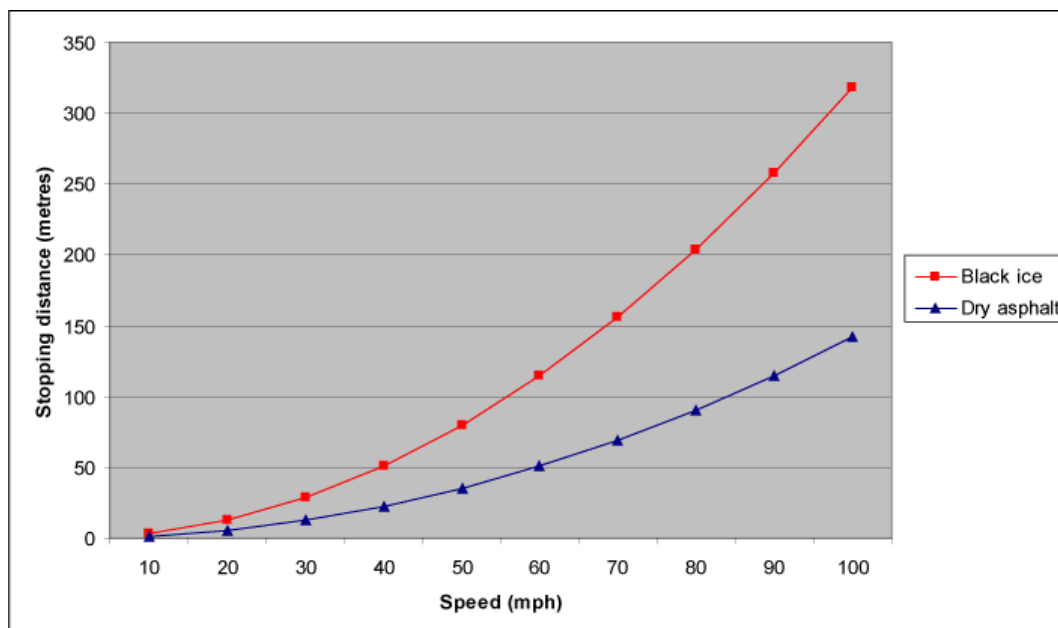
### **2.3.1 Generelle krav**

Generelt for Norge gjelder det at alle tunneler med lengde over 100 m skal ha installert belysning. For kortere tunneler må belysningsbehovet vurderes ut fra dagslysforhold, fare for blinding, belysning på tilstøtende veg og lignende. Noen tunneler har også gang- og sykkelvei, og slike tunneler skal ha belysning dersom de er over 25 m lange.[1]

Belysningsbehovet kan reduseres dersom tunnelen har lyse vegger og dekker, og dette krever som regel mer vedlikehold. I indre sone av tunnelen benyttes hvitt lys, siden den har god fargegjengivelse og gir bedre kontrast. I innkjøringssone og overgangssone er det vanligst med høytrykk natriumlamper (HPS). HPS kan benyttes i innkjøringssone og overgangssone grunnet høyere tilgang på dagslys, samt at det er mye billigere.[1]

### **3.3.2 Bremselengde og adaptasjonsluminans**

Det er adaptasjonsluminansen utenfor tunnelen som er dimensjonerende for luminansnivåene på innsiden av tunnelen. Denne adaptasjonsluminansen defineres om midlere luminans i et synsfelt på 20 grader fra bilistens øye med en synsretning mot et punkt 1,5 m over kjørebanelen. Avstanden er avhengig av farten som gjelder for den aktuelle veien og bremselengden. Bremselengden er selvsagt avhengig av kjøreforholdene, om det er tørr eller våt asfalt eller om det er snø eller is på kjørebanelen. Stoppelengden som funksjon av farten (tørr asfalt og islagt veidekke) illustreres i figur 2.2.



Figur 2.2: Stoppelengde som funksjon av farten.

For å kunne prosjektere tunnelene i detalj, finnes det fast bestemte bremselengder som skal virke dimensjonerende for planlegging og utbygging av tunneler. Tabell 2.1 viser hvilken dimensjonerende bremselengde benyttes ved ulike fartsgrenser.[1]

Fartsgrense (km/h)	Avstand (m)
50	45
60	60
70	80
80	100
90	130
100	160

Tabell 2.1: Dimensjonerende bremselengde ved ulike fartsgrenser.

Avstand fra tunnelåpningen til målepunkt for adaptasjonsluminans er lik bremselengden, og dette er også lengden på tilgangssonen. Tilgangssonen er ikke en del av selve tunnelen, men veibanen rett før tunnelåpningen. Lengden på innkjøringssonen skal være minst like lang som dimensjonerende bremselengde, med andre ord like lang som tilgangssonen.[1][2]

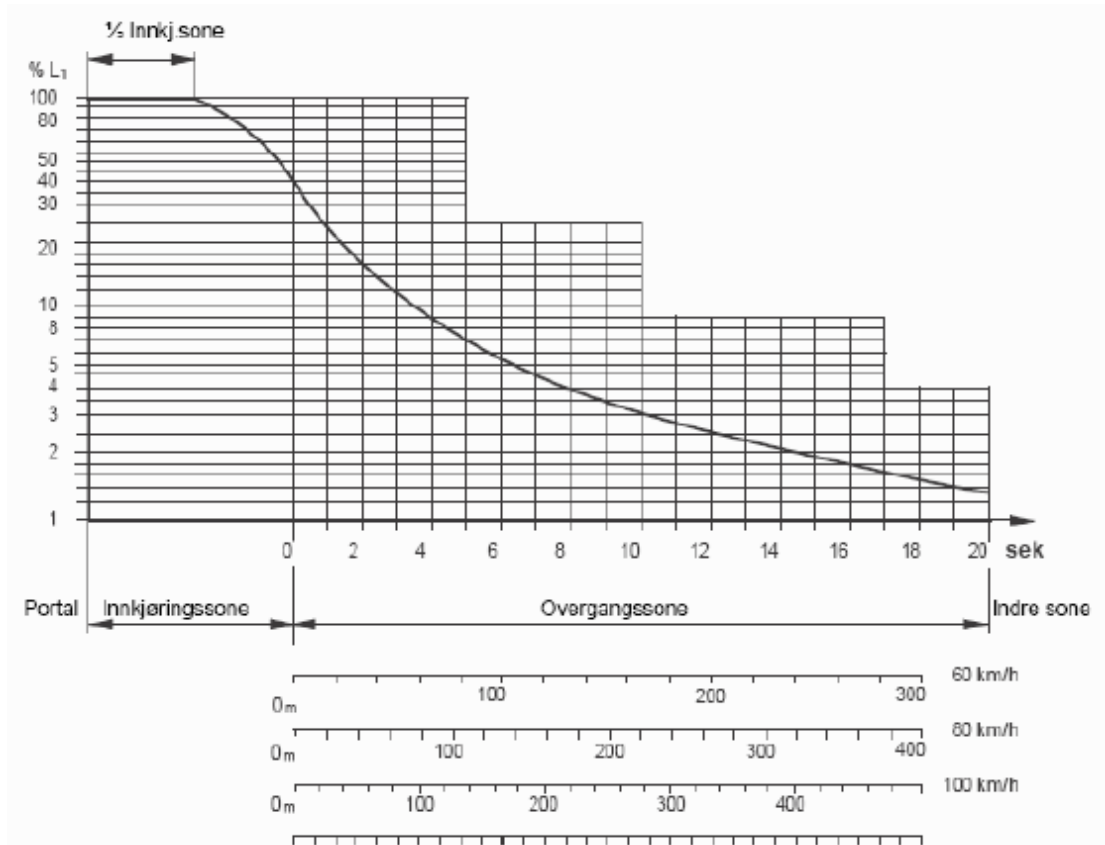
Med adaptasjonsluminansen utenfor tunnelen, bestemmes det hvilket luminansnivå som trengs i innkjøring-, overgang- og indre sone for at innkjøringen skal foregå på en sikker måte. Med tanke på sikkerhet skal ikke adaptasjonsluminansen regnes med lavere verdier enn  $1000 \text{ cd/m}^2$  og av økonomiske årsaker skal ikke den ikke overskride  $8000 \text{ cd/m}^2$ . [1]

### 2.3.3 Krav til belysningsnivå i tunellen

Lysteknisk sett deles tunnelen inn i innkjøringssone, overgangssone og indre sone. Siden øyets tilpasning ved å gå fra lys til mørke er tidsavhengig, vil den gradvise nedgangen i luminans som skal virke tilfredsstillende for øyet, være avhengig av farten på kjørebanelen. Lengden på innkjøringssonen vil være avhengig av farten, og vises i tabell 2.1. Også lengden på overgangssonen vil variere med farten, og dette vises i figur 2.3. Tabell 2.2 viser kravene



til luminansen i de ulike sonene, uttrykt som minste midlere luminans om dagen i % av adaptasjonsluminansen ( $L_1$ ) eller som  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Verdiene i tabellen for innkjøring- og indre sone er funksjon av trafikkmengde ti år etter åpningsåret, ÅDT (10), og fartsgrense i tunnelen. For andre fartsgrenser, kan verdiene beregnes ved interpolering, og de beregnede luminansverdier skal være driftssikre, det vil si minst 75 % av nyverdi.[1]



Figur 2.3: Luminansreduksjonskurve og lengder på overgangssoner.[1]

Figur 2.3 gjelder for dagslysforhold og den heltrukne linjen angir minimumsverdier for luminansnivå i de ulike sonene.

ADT (10)	< 2 500	2 500 - 4 000		4 000 - 8 000		> 8 000
Skiltet fart	-	50 km/t	80 km/t	50 km/t	80 km/t	-
Sone	-	50 km/t	80 km/t	50 km/t	80 km/t	-
Innkjøringssonens første halvdel	50 $\text{cd}/\text{m}^2$	1,50 %	3,00 %	2,5 %	5,0 %	5,0 %
Indre sone dag	0,5 $\text{cd}/\text{m}^2$	2 $\text{cd}/\text{m}^2$	2 $\text{cd}/\text{m}^2$	2 $\text{cd}/\text{m}^2$	2 $\text{cd}/\text{m}^2$	4 $\text{cd}/\text{m}^2$
Indre sone natt	0,5 $\text{cd}/\text{m}^2$	1 $\text{cd}/\text{m}^2$	1 $\text{cd}/\text{m}^2$	1 $\text{cd}/\text{m}^2$	1 $\text{cd}/\text{m}^2$	2 $\text{cd}/\text{m}^2$

Tabell 2.2: Krav til luminans i ulike soner.[1]

**Innkjøringssone:** I første halvpart av denne sonen må luminansen holde seg konstant og lik adaptasjonsluminansen. På slutten kan lysnivået reduseres gradvis ned til 40 %. Den gradvise reduksjonen kan utføres stegvis, men luminansverdiene skal ikke falle under minimumskravene (heltrukket linje).[1][2]

**Overgangssone:** I overgangssonen reduseres luminansnivåene gradvis fra 40 % av adaptasjonsluminansen til luminansverdier som gjelder for indre sone. Også her kan

luminansnivået reduseres stegvis, men verdiene skal ikke falle under det som den heltrukne linjen angir.

*Indre sone:* Indre sone skal ha to nivåer: en for dagsbelysning og en for nattbelysning. Minimumsverdier er oppgitt i tabell 2.2. Som nevnt tidligere beregnes luminansverdier for andre fartsgrenser ved interpolering.

#### 2.3.4 Nattbelysning

Dersom tunnelen er en del av en belyst vei, skal en følge de samme reglene/kravene som gjelder for dagsbelysning, og luminansnivået i første halvdel av innkjøringssonen skal være minst like høy som veiluminansen utenfor tunnelen. Om veien utenfor tunnelen ikke er belyst, skal ikke luminansnivået inne i tunnelen være under  $1 \text{ cd/m}^2$ . [2]

I tunneler med gang- og sykkelvei skal ikke luminansnivåene underskride  $2 \text{ cd/m}^2$  om dagen og  $1 \text{ cd/m}^2$  om natta. [1]

#### 2.3.5 Luminansjevnhet

I følge *Håndbok 021 Vegtunneler* stilles det også krav til luminansjevnhet i de ulike sonene i tunnelen.

For overgangssoner og indre soner er kravet om total luminansjevnhet:

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{mid}}} \geq 0,4$$

Kravet for langsgående luminansjevnhet for overgangssoner og indre sone:

$$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \geq 0,6$$

Unntaket er at dette ikke gjelder for tunneler som har årsdøgntrafikk (ÅDT), lavere enn 2500. [1]

#### 2.3.6 Lysarmaturer i tunnel

Ved valg av lysarmaturer skal det tas hensyn til at de er enkle å skifte ut, vedlikeholde, rengjøre. Samtidig er det viktig å huske på at det i tunneler dannes kondensering av vann fra salt og fuktig luft, noe som fører til at atmosfæren blir korrosiv. Eksosen på bilene slipper ut nitrøse gasser som videre skaper salpetersyring og salpetersyre. Dette kan føre til at vannet som blir liggende i tunnelrommet kan bli svakt surt. Av denne grunn er det satt krav til at all teknisk utstyr, inkludert belysningsutstyr, beskyttes mot korrosjon eller består av korrosjonsbestandig materiale. På denne måten sikres det at minimum forutsatt levetid blir oppnådd. Det finnes spesielle krav til tunnelklasse C, D, E og F samt tunneler som har svært korrosiv atmosfære, for eksempel undersjøiske tunneler. Her skal armaturene leveres i

syrefast stål. For tunneler med ÅDT < 2 500 skal armaturene ha dypptrykket skjerm for å oppnå god visuell føring. [1]

En annen ting som er viktig er plassering av armaturene. Avstanden mellom armaturene er avhengig av veibanens fart. Ved dårlig kombinasjon mellom veibanens fart og valg av armaturavstand kan det lett føre til at bilistene opplever ubehag på grunn av flimring som kan oppstå under gjennomkjøring i tunnelen. Flimringsfrekvensen bestemmes på følgende måte:

$$\text{Flimringsfrekvens} = \frac{\text{fart}[\text{km/h}]}{\text{senteravstand}[\text{m}]}$$

Som regel har ikke flimringen noe å si så lenge frekvensen er under 2,5 Hz eller over 15 Hz. Frekvensene mellom disse to verdiene bør unngås om de har en varighet over 20 sekunder. [1]

### 2.3.7 Sikkerhetsbelysning

Krav til sikkerhetsbelysning er at hver fjerde lysarmatur skal kunne lyse i minst 1 time etter at strømmen har falt ut. I følge *Norsk Standard NS EN 1838*, skal nødutganger og rømningstunneler ha et lysnivå på ca 1 lux på gulvnivå. [1]

## 2.4 Tunnelrenhold og vedlikehold

Tunnelrenhold er viktig når det gjelder belysning. Renere armaturer, veidekke og sideflater gjør at lysnivået blir bedre og sikkerheten øker. Tunnelrenhold omfatter renhold av kjørefelt, sideareal, vegger samt utstyr installert i tunnelen. Hovedgrunlaget for renhold i tunnel er: [5]

- Opprettholde god effekt av tunnellys og gode siktforhold.
- Opprettholde god sikt og visuell føring.
- Opprettholde lav støvkonsentrasjon.
- Bidra til positiv opplevelse for trafikantene.
- Bidra til forlenget levetid for installasjoner og gi lavere driftskostnader.

Renhold skal utføres som etter kravene i følge *håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold av veger og gater*. Enkelte tunneler vil kreve oftere vask en andre. Likevel er det satt opp minimum krav om renhold i tabell 2.3.[5]

Trafikkvolum (ÅDT)	Helvask	I tillegg: Halvvask	I tillegg: Teknisk vask
<300	Hvert 5. år	-	1 pr år
301-4000	1 pr år	-	1 pr år
4001-8000	1 pr år	1 pr år	2 pr år
8001-12000	1 pr år	2 pr år	3 pr år
12001-15000	1 pr år	3 pr år	4 pr år
>15000	1 pr år	5 pr år	6 pr år

Tabell 2.3: Minimum renhold av tunneler.

#### Helvask:

- Feiing av kjørebane og sideareal
- Vask av tak og vegger
- Vask av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefeltsignaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belyningsarmatur/kabelbru, buffere, vifter
- Tømming av sandfang

#### Halvvask:

- Feiing av kjørebane og sideareal
- Vask av vegger
- Vask av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefeltsignaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belyningsarmatur/kabelbru, buffere

#### Teknisk vask:

- Vask av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefeltsignaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belyningsarmatur/kabelbru, buffere
- Feiing og vask av kjørebane og sideareal

### 3 TRADISJONELL TUNNELBELYSNING

Som nevnt tidligere blir belysningen i tunneler dimensjonert etter krav og normer gitt av CIE, og Håndbok 021 gitt ut av Statens vegvesen. I det følgende beskrives det hvordan tunneler i dag blir delt inn i ulike soner og hvordan belysningen utformes. I første omgang kunne det være greit å få med seg hvordan vi som mennesker opplever en tunnel, og øyets tilpasning når vi på dagtid plutselig kjører inn i en mørk tunnel.

#### 3.1 Lange og korte tunneler

De fleste av oss vil si at vi har to typer tunneler: lange og korte. Dette er i grunn riktig, selv om tunnelene deles inn i ulike klasser. Om vi opplever en tunnel som kort eller lang er avhengig av flere faktorer. De viktigste er selve lengden, om vi ser tunnelåpningen på andre siden, men også andre faktorer som bredde, høyde, horisontale og vertikale kurver for tunnelen spiller en viktig rolle.

I enkelte tunneler klarer ikke en bilfører å se enden av tunnelen på grunn av svingninger, selv om denne tunnelen er ganske kort. I en slik tunnel bør dimensjonering av belysningen gjøres på samme måte som for lange tunneler. Slike tunneler kaller vi gjerne for ”optisk lange tunneler”. Etter menneskelig oppfatning deles tunnelene inn i tre grupper: [2]

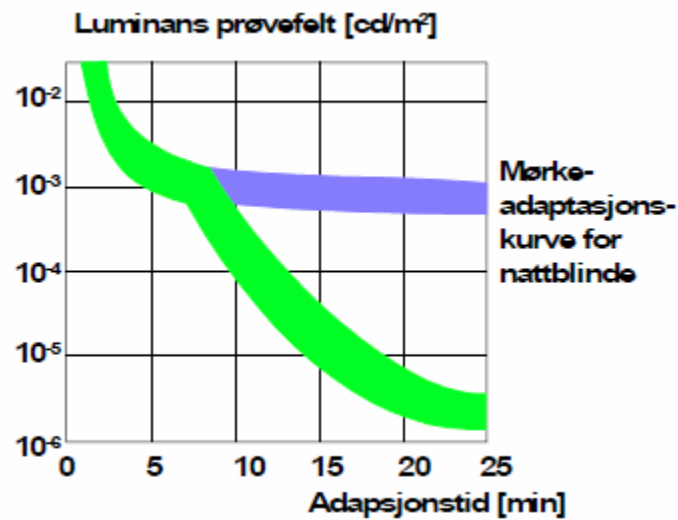
- Geometrisk lange tunneler
- Optisk lange tunneler
- Korte tunneler



*Bilde 3.1: Eksempel på hva vi oppfatter som en lang og kort tunnel.*

### 3.2 Øyets tilpasning

Belysningskravene for tunneler er forskjellig, avhengig om det er dag eller natt. Når mørket faller på er problemet ”enkelt”, da belysningen inne i tunnelen må være minst like høy som på utsiden av tunnelen. På dagtid har dimensjonering av belysningen i tunnelen et kritisk punkt, nemlig det menneskelige visuelle synet. Når en bilist på dagtid plutselig kjører inn i en mørk tunnel, vil det ta tid for øyet å tilpasse seg. Figur 3.1 hvordan øyet tilpasser seg mørke, både for normal syn og for nattblinde, og hvor lang tid det tar.

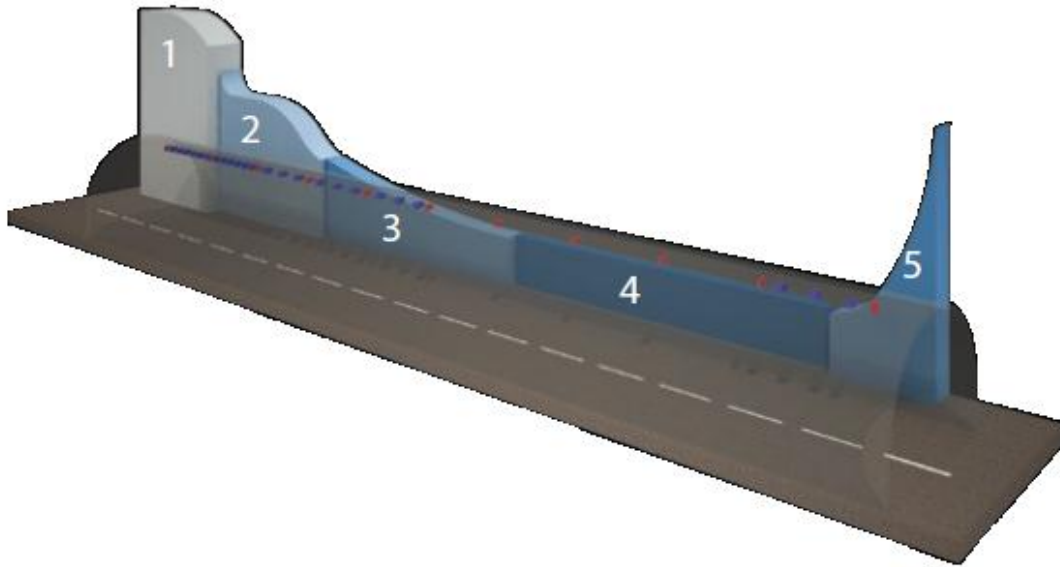


Figur 3.1: Adaptasjonsprosesser for menneskelig øye (Google).

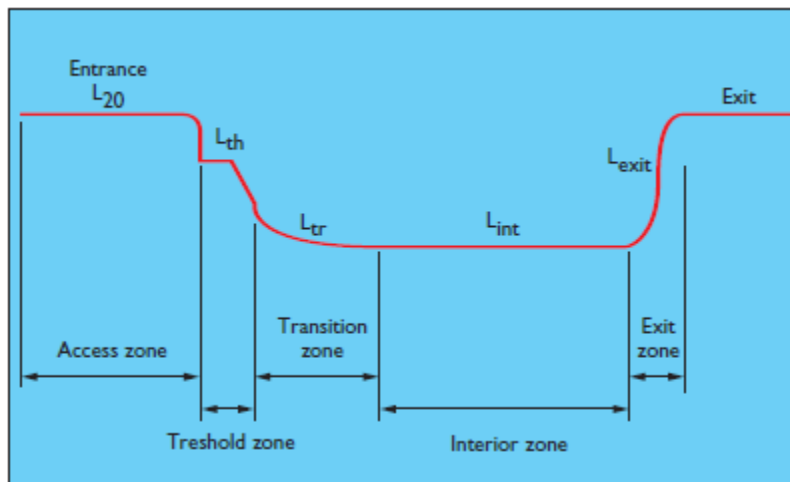
Som illustrert i figuren viser kan det ta opp til nesten en halv time for øyet å tilpasse seg når det plutselig går over fra et veldig belyst område til et mørkt. Dette gjelder når øyet går over fra et veldig belyst område og inn i mørke.[6] Som vi skal se på i det følgende, er dette grunnen til at tunneler i dag har mye høyere belysning i starten av tunnelen enn i de indre sonene.

### 3.3 Belysning og soneinndeling

En tunnel deles inn i fem soner: tilgangssone, innkjøringsone, overgangssone, indre sone og utkjøringsone. [2] Belysningsnivået vil variere fra sone til sone. Figur 3.2 viser inndeling av en tunnel, samt hvordan lysnivået typisk vil variere gjennom hele tunnelen.



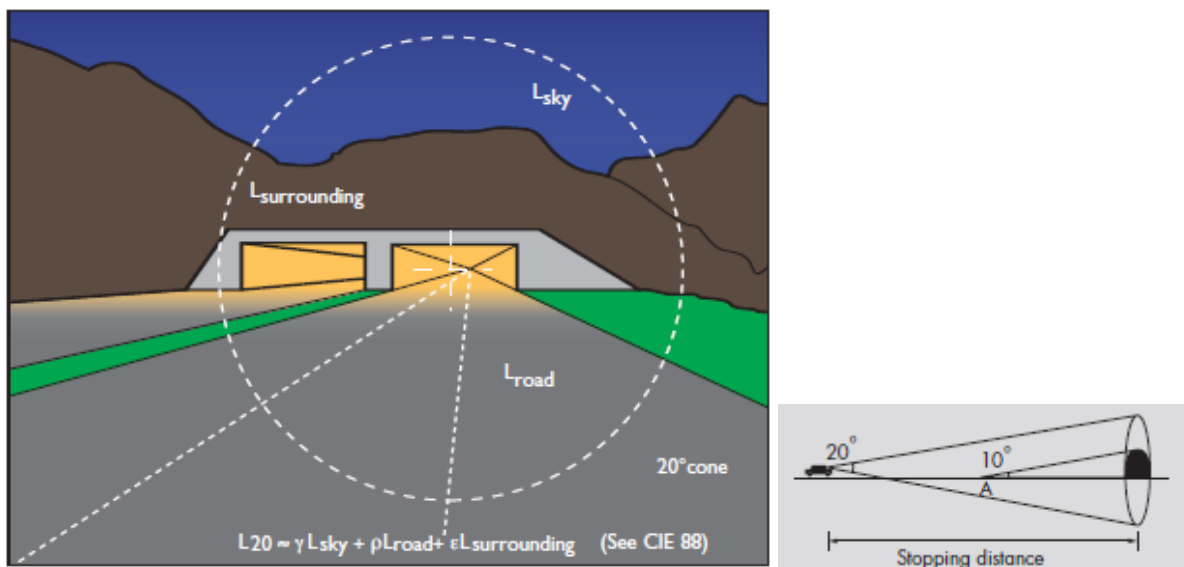
Figur 3.2: Soneinndeling og belysningsnivå (3D). [10]



Figur 3.3: Soneinndeling og belysningsnivå (2D).[7]

### 1: Tilgangssone (access zone):

Tilgangssonen er ikke en del av tunnelen selv. Denne sonen kommer før innkjøringen i tunnelen, og lengden på den er lik stoppelengden som gjelder for den aktuelle veien. I denne sonen skal bilisten kunne se tunnelprofilen og ha mulighet til å stoppe dersom det skulle være nødvendig. Adaptasjonsluminansen i denne sonen er avgjørende for dimensjoneringen av belysning i innkjøringssonen. CIE definerer adaptasjonsluminansen som den samlede luminansen fra himmelen, veibanen og omgivelsene i synsretning på 20 grader mot sentrum av tunnelprofilen, kalt  $L_1$  eller  $L_{20}$  på figur 3.4. Denne luminansen blir som regel målt over en lengre periode og gir grunnlag for videre prosjektering av belysningen. [2][7]



Figur 3.4: Definisjon av adaptasjonsluminansen. [7]

Adaptasjonsluminansen er summen av veiluminansen, luminansen fra himmelen og omgivelsene, slik figuren viser.

### 2: Innkjøringssone (threshold zone):

Innkjøringssonen starter med tunnelprofilen og kommer etter tilgangssonen. Også denne sonen må være minst like lang som stoppelengden som gjelder for veien. Forskjellen i lysnivå mellom tilgangssonen og innkjøringssonen bør være minst mulig slik at bilistene får tilpasse seg overgangen fra lys til mørke. I første halvpart av denne sonen må veiluminansen holde seg konstant og lik adaptasjonsluminansen. På slutten kan lysnivået reduseres gradvis ned til 40 %. [2]

### 3: Overgangssone (transition zone):

I overgangssonen blir belysningen gradvis redusert ned mot kravene som gjelder for indre sone, en sone som kommer like etter overgangssonen. Hvor fort reduksjonen skjer, er i hovedsak avhengig av farten som gjelder på veien. Reduksjonsforholdene skal ikke overskride 1:3, det vil si at neste lysnivå skal ikke være under 1/3 av det forrige lysnivået. For å øke bilførerens komfort når belysningen stegvis reduseres i overgangssonen, kan denne



sonen gjerne forlenges litt (1-2 sekunder) enn det som er kravene i følge CIE eller håndbok 021.[2] Overgangssonen kan ofte deles inn i to deler, kalt overgangssone 1 og 2. Dette vil være aktuelt for tunneler med høy ÅDT og gjerne lengre tunneler, men er et sjeldent tilfelle for lavtrafikkerte tunneler. Det er i hovedsak i innkjørings- og overgangssonen belysningen gradvis reduseres ned slik at trafikantene får tid til å tilpasse seg når de plutselig kjører fra et belyst uteområde til en mørk tunnel.

#### 4: Indre sone (interior zone):

Indre sone er sonen mellom overgangssonen og utgangssonen. Dette er som regel den lengste sonen. Lysnivåene i indre sone er avhengig av farten og trafikk tettheten og kravene er gjengitt i kapittel 3, eller de kan finnes i *håndbok 021* og *Guide for the lightning of road tunnels and underpasses* fra CIE. For lavtrafikkerte tunneler (ÅDT<2500) er det ingen forskjell i krav om luminansnivå på veibanen enten det er dag eller natt. 0,5cd/m<sup>2</sup> gjelder som krav både for dag og natt.[2]

#### 5: Utkjøringszone (exit zone):

Utkjøringssonen kommer helt i enden av tunnelen. Den starter der indre sone slutter og varer helt til tunnelprofilen. Denne sonen skal i utgangspunktet belyses på samme måte som indre sone. I enkelte tilfeller der det finnes større risiko for ulykke eller i tunneler som har veldig lang indre sone, skal det være noe høyere belysning. Hovedgrunnene er:

- Gjøre mindre biler som kjører bak store kjøretøy som f.eks. en lastebil synlige.
- Gjøre bilen som kjører bak en annen synlig i speilene på bilen som kjører foran.
- Utgangen skal fungere som en nødutgang ved eventuell ulykke og skal derfor være belyst. [2][8]

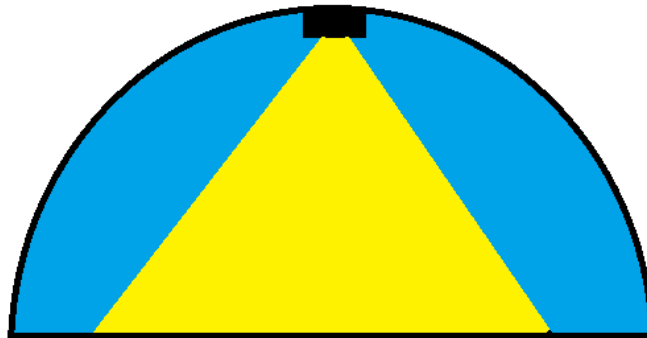
Dersom dette er tilfelle, skal utgangssonen ha en lengde som tilsvarer bremselengden for dimensjonerende fart, og belysningen bør økes stegvis slik at belysningen blir fem ganger høyere 20 m fra tunnelportalen enn i indre sone. Økingen i lysnivået skal ikke overskride forholdet 1:3, det vil si at lysnivået i neste "belysningssteg" ikke er over tre ganger høyere enn i forrige steg.[2]

### 3.4 Belysningsmetoder

Det finnes ulike belysningsmetoder for tunneler. Belysningen i tunneler er først og fremst utformet for bilistenes sikkerhet og komfort. Armaturene kan monteres både i tak og på vegger, samtidig som det kan velges hvordan lysspredningen fra lyskildene skal være. I det følgende beskrives de typiske metodene som benyttes i dagens tunneler, deres fordeler og ulemper.

### 3.4.1 Plassering av armaturer

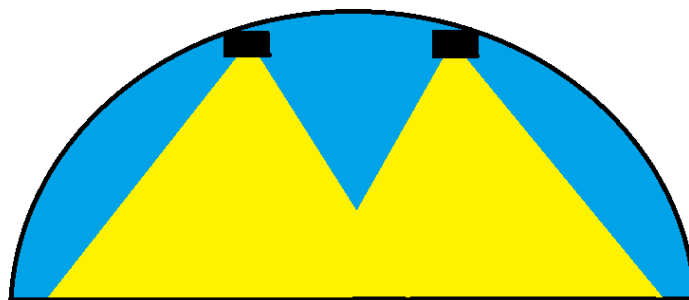
En rekke armaturer i tak:



Figur 3.5: En rekke armaturer montert i tak.

Denne monteringen er den mest vanlige i dagens tunneler, og er mest brukt i tunneler som er utformet med kortere bredde. Skal armaturene kunne monteres i tak, må høyden være stor nok. Den skal ikke være hinder for høyere kjøretøy å bruke tunnelen. Fordelen med å benytte kun en rekke armaturer er lavere investeringskostnader og vedlikeholdskostnader. Ulempen blir at ved rengjøring eller utskifting av armaturene, må som regel hele tunnelen stenges for trafikk. I enkelte tunneler har ikke armaturene blitt plassert midt på, men cirka 0,5 m lenger mot en side av tunnelen slik at det ved vedlikehold er nødvendig å stenge kun ett kjørefelt. [8]

To rekker armaturer i tak:

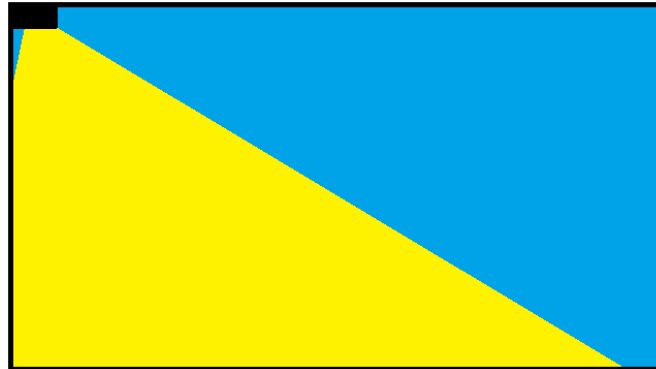


Figur 3.6: To rekker armaturer montert i tak.

Montering av to rekker med armaturer i tak benyttes i hovedsak i bredere tunneler. Dette kan være tunneler som har mer enn ett kjørefelt enten i en eller begge retninger, men kan også benyttes i høytrafikkerte tunneler med kun et kjørefelt i hver retning grunnet ønsket/krav om høyere belysningsnivå. Å benytte to istedenfor en rekke armaturer gir selvsagt høyere investeringskostnader og vedlikeholdskostnader. En annen ulempe er at trafikkskilt kan i enkelte tilfelle være til hinder for lyset som kommer fra lyskildene. Fordelen er at ved

utskifting og rengjøring er det nødvendig å stenge kun ett kjørefelt. Denne metoden reduserer også faren for blending og gir bedre utnyttelse av lyskildene. [8]

En rekke armaturer på vegg:



*Figur 3.7: Armaturer montert på vegg på en side av tunnelen*

Ved lav høyde, kan det ikke plasseres armaturer i tak, og av denne grunn blir alternativet å montere dem på vegg i øverste hjørne i tunnelen. Dette er som oftest tunneler med firkantprofil. Fordelene blir de lave investeringskostnadene og vedlikeholdskostnadene, samt at det er mye lettere å komme frem til armaturene under vedlikehold. Ulempen er som regel at hele tunnelen stenges ved utskifting og renhold. En annen ulempe er at store kjøretøy som lastebiler og busser kan hindre for lyset fra armaturene.[8]

To rekker armaturer på vegg:



*Figur 3.8: Armaturer montert på vegg på begge sider av tunnelen.*

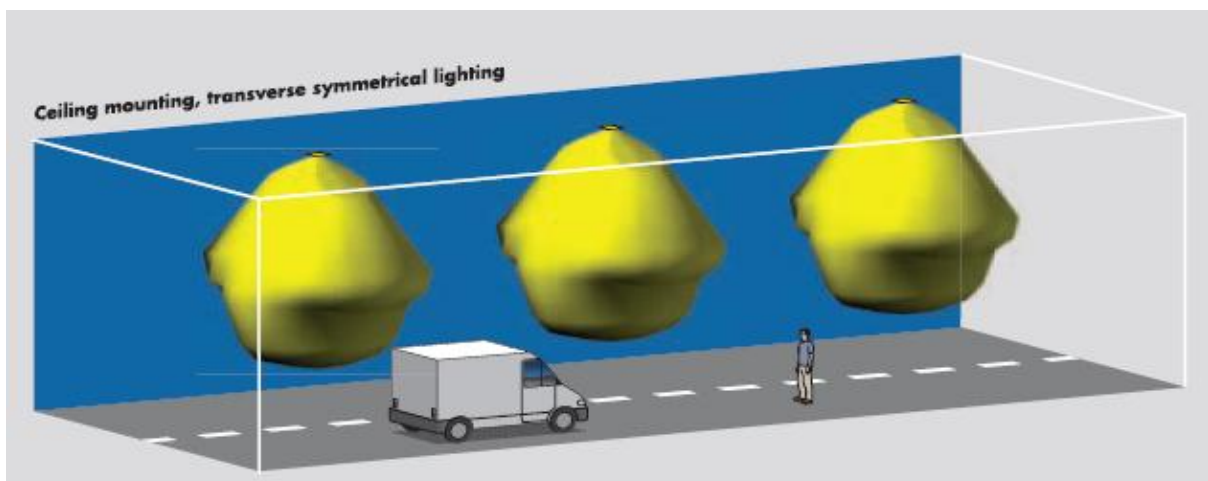
To rekker istedenfor en vil naturlig nok gi bedre lysforhold i tunnelen, samtidig som det vil redusere faren for blinding. Fordelen er at kun et kjørefelt stenges om gangen ved vedlikehold og utskifting. Ulempen blir igjen de høyere investerings- og vedlikeholdskostnader. [8]

### 3.4.2 Lysspredning fra armaturer

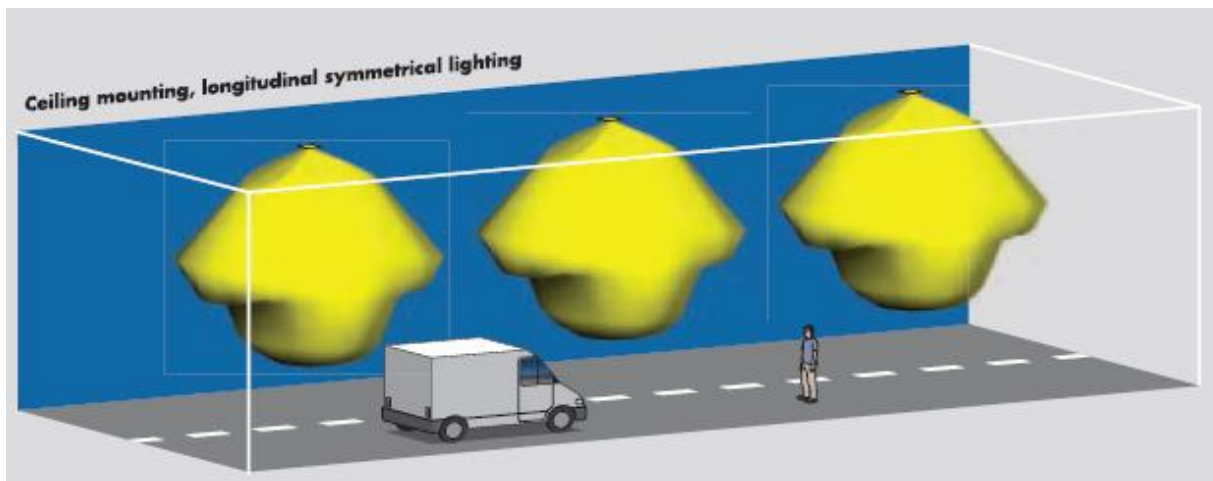
Lys fra armaturene kan spres i ulike retninger ved hjelp av reflektorer. I tunneler velges det armaturer som i hovedsak har tre ulike måter til å spre lyset. De tre er symmetrisk belysning, asymmetrisk belysning og asymmetrisk counter beam belysning.

*Symmetrisk belysning:*

Med symmetrisk belysning menes det at lyset er spredt symmetrisk om midtlinja gjennom tunnelen, med andre ord like mye lys på hver side eller over hvert kjørefelt. Her skiller det mellom langsgående og tversgående symmetrisk belysning. Forskjellen illustreres i figur 3.9 og 3.10 på neste side. Symmetrisk belysning oppnås ved å montere armaturene i tak.



*Figur 3.9: Tversgående symmetrisk belysning.[8]*

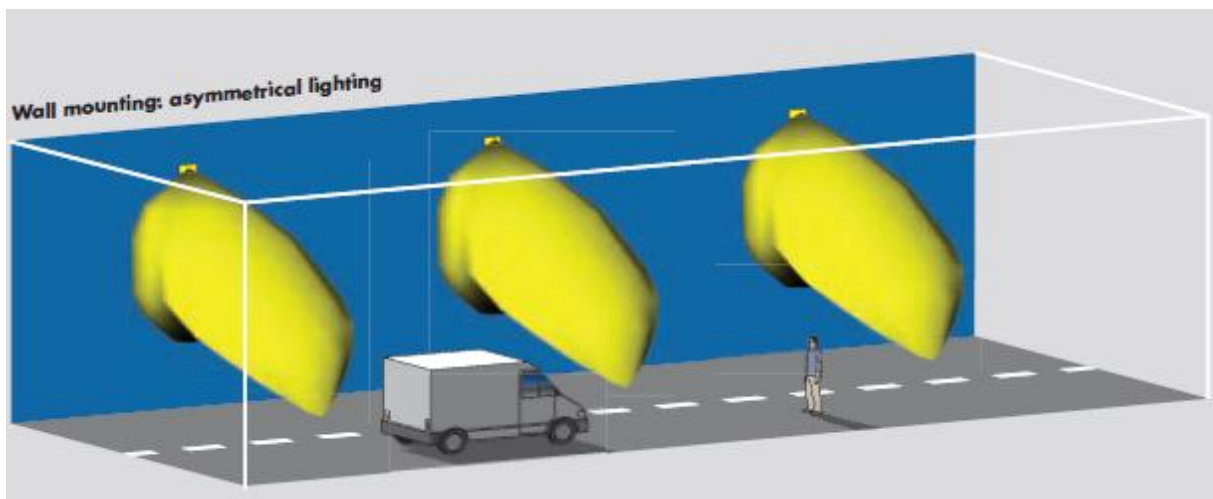


*Figur 3.10: Langsgående symmetrisk belysning.[8]*

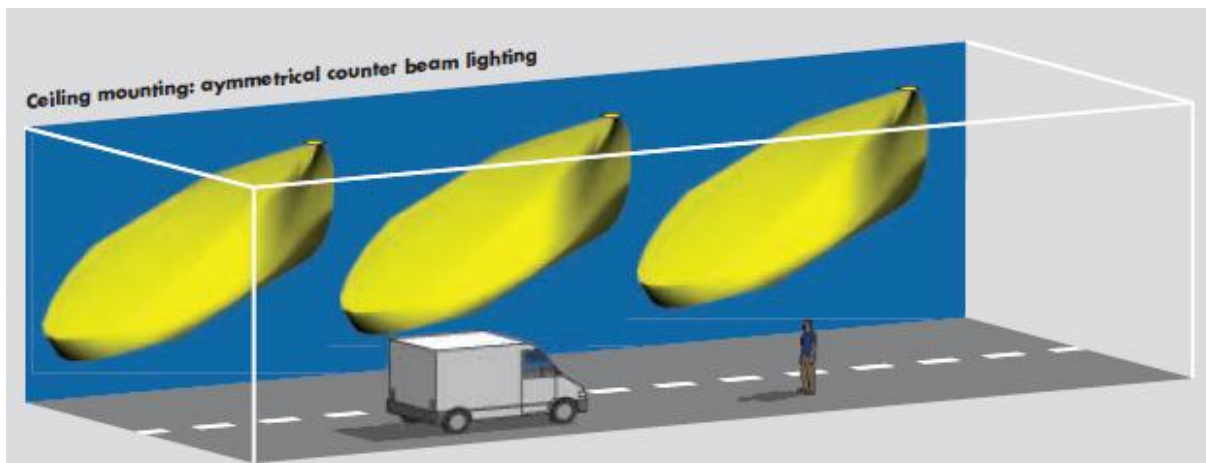
Tversgående symmetrisk belysning vil gi litt bedre visuell føring enn langsgående, samtidig som den minker faren for blanding og hindrer i at det oppstår skygger mellom kjøretøy som er nær hverandre. På den andre siden gir langsgående belysning bedre utnyttelse av lyskildene samtidig som avstanden mellom armaturene kan økes. Ulempen er at det kan oppstå skygger mellom kjøretøy samt at belysningen på veggene blir lavere. Symmetrisk belysning benyttes i hovedsak i indre sone. [8]

#### *Asymmetrisk belysning*

Asymmetrisk belysning oppstår når lysfordelingen i tunnelen blir ujevn. Dette kan forekomme når armaturene monteres både i tak og på vegg. Se illustrasjonen i figur 3.11 og 3.12.



*Figur 3.11: Asymmetrisk belysning når armaturene monteres på vegg.[8]*



Figur 3.12: Asymmetrisk belysning (counter beam) når armaturer monteres i tak.[8]

Counter beam metoden fungerer slik at lysspredningen er rettet mot trafikretningen slik figuren viser. Armaturene sender ikke ut lys i kjøreretningen, men mot kjøreretning (motlys). Denne metoden kan riktig nok gi skygger bak kjøretøyene foran, men den øker kontrasten og gir bedre synsforhold for bilistene. Det er vanligst å benytte asymmetrisk belysning i innkjøring- og overgangssonene, der lyset er rettet mot innkjøringsportalen. Asymmetrisk belysning som forekommer når armaturene monteres langs veggen vil gi høyere lysutbytte, men lavere belysningsjevnhet. En annen ulempe er at det kan forekomme skygger slik figuren viser. [8]

#### 4.5 Lyskilder

Når det gjelder innkjøring- og overgangssone har det tradisjonelt blitt brukt mest høytrykksnatrium lamper som belysningskilde. I lavtrafikkerte tunneler har det tidligere vært benyttet lavtrykksnatrium lamper i indre sone og delvis i overgangssone. Men disse lampene avgir gulaktig lys og har relativt dårligere fargegjengivelse enn hvitt lys. Senere har en vært mer opptatt av å innføre hvitt lys i de indre sonene av tunnelen for bedre fargegjengivelse og kontrast. Lysrør og induksjonslampene tok mer og mer over, og induksjonslampene vært primært brukt i lavtrafikkerte tunneler. I dag finnes det fortsatt mange tunneler med gammel belysningsanlegg som benytter lavtrykksnatrium lamper. Nyere belysningsanlegg som er bare noen år gamle, vil i hovedsak ha hvitt lys i indre sone, og det benyttes enten lysrør eller induksjonslamper.[11] Det er forskjellige meninger om hvilken type lyskilder som bør benyttes i lavtrafikkerte tunneler. Enkelte vil ikke se noen ulemper med lavtrykk natriumlamper i indre soner. De gir dårlig fargegjengivelse, men hvor viktig er dette egentlig? Er det viktig for en bilist å se om en bil er svart eller blå? Eller om fotgjenger har rød eller grønn jakke? For mange kan dette virke helt uvesentlig og det viktigste er at kjøretøy og fotgjengere er synlige. Andre vil mene at det er viktig med best mulig synsforhold, inkludert fargegjengivelse. Av denne grunn har hvitt lys blitt mer vanlig i lavtrafikkerte tunneler.

## 4 STYRINGSSYSTEMER

### 4.1 Tradisjonell styring

Tradisjonell styring av lysnivå i tunnelen har en veldig enkel funksjon: nemlig å slå av og på lyset på armaturer eller armaturgrupper. Det vanligste er å bruke en PLS med input fra en fotocelle som kobler inn dampplamper i tre trinn for dagsbelysning og nattlys i ett eller to trinn. Det skjer kun ved å slå strøm av/på for en armaturgruppe (hver tredje armatur for eksempel), og det er ingen dimming. Med andre ord, styres lysnivået i tunnelen trinnvis avhengig av lysnivået ute, ved å slå på/av strømmen for ulike armaturgrupper. Det er typisk at alle armaturene i tunnelen lyser når lysnivået ute er på sitt høyeste. Når mørket faller på, slukkes armaturgrupper trinnvis slik at energiforbruket reduseres samtidig som kravene fra veinormalen dekkes. Hvor mange grupper armaturene deles inn i vil variere fra tunnel til tunnel, men i prinsippet følges det som blei nevnt ovenfor. Enkelte lavtrafikkerte tunneler har en meget enkel styring, og det gjelder i hovedsak svært gamle lysanlegg. Her er det vanlig at lavtrykksnatrium lampene i indre- og overgangssone lyser konstant hele døgnet, mens høytrykksnatrium lampene i innkjøringssonene kobles av/på i kun et trinn. Et slikt styringssystem vil være lite lønnsomt, og med tanke på at det i enkelte lavtrafikkerte tunneler til tider finnes veldig lite trafikk, blir en stor del av energiforbruket bortkastet.[11][12]

### 4.2 Moderne styringssystemer

I dag finnes det mer moderne styringssystemer for belysningsanlegg, kalt “intelligente styringssystemer”. Slike styringssystemer har hovedfokus på å redusere energiforbruket, og anvendes på alle områder som bolig, kontorbygg, industri, park, idrettsanlegg og lignende. Flere leverandører har utviklet styringssystemer som er spesielt rettet mot vei- og tunnelbelysning.

Med tanke på å redusere energiforbruket er det flere faktorer som bør tas hensyn til ved fremtidig planlegging og prosjektering. De viktigste nevnes under:

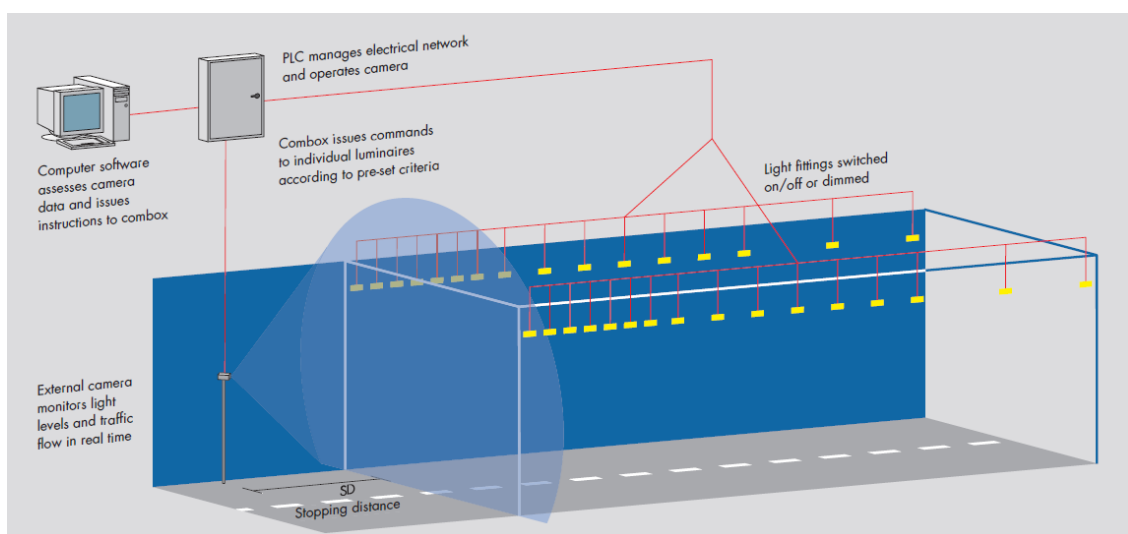
- Trafikktetthet
- Fotgjengere og syklistere
- Lengden på tunnelen

I lavtrafikkerte tunneler, og spesielt tunneler av klasse A, vil det mesteparten av tiden over et døgn ikke finnes noe trafikk. Da er det liten hensikt at armaturene skal lyse konstant med høyt lysnivå med høy effektforbruk. I slike tunneler lønner det seg å inkludere trafikksensorer som styringsparametere, slik at lysnivået kan reduseres i perioder uten trafikk. Dette er den viktigste faktoren når det gjelder energisparing og effektforbruk i lavtrafikkerte tunneler.

I dag finnes det flere leverandører som har utviklet såkalte “intelligente styringssystemer” for vei- og tunnelbelysning. Phillips system kalt “Starsense ” eller Thorn sitt styringssystem spesielt utviklet for tunneler kalt “TELEA” er gode eksempler, men det finnes mange andre.

Felles mål for alle de “intelligente styringssystemene” er å redusere energiforbruket. Når det gjelder tunneler, fungerer styringssystemene i prinsipp ganske likt og inneholder de samme styringsparametere. De viktigste styringsfaktorene vil være adaptasjonsluminansen ute og trafikk tetthet, men også trafikkhastighet kan legges inn dersom det er behov for det. For lavtrafikkerte tunneler som er opp til flere kilometer lange, kan det legges inn trafikkensensorer inne i tunnelen, for eksempel hver 700m slik at armaturene kan styres i segmenter, og det er ikke nødvendig at hele tunnelen er belyst når bare en bil kjører gjennom.

Figur 4.1 viser eksempel på hvordan et moderne styringssystem for tunneler fungerer i praksis. Bildet er hentet fra “Telea Outdoor Lighting Controls” brosjyre fra Thorn, og gjelder for Thorn sitt styringssystem, men i praksis vil styringssystem fra andre leverandører fungere på lignende måte.



Figur 4.1: Eksempel på “intelligent styringssystem” for tunneler.[8]

Fordelene med moderne styring er flere og de viktigste nevnes punktvis under.

- Reduserer effektforbruk og kostnader.
- Enkelt å installere og kan integreres i eksisterende belysningsanlegg uten store kostnader.
- Ikke behov for ekstra kabling siden de fleste styringssystemene har kommunikasjonen over eksisterende kraftledninger, eller trådløst via radiosignal og internett.
- Mulighet for komplett overvåking av hele belysningsanlegget. Kommunikasjonssvikt, utfall av komponenter eller enkeltarmaturer, temperaturmåling, antall brennetimer og gjennomsnittlig effektforbruk for armaturene er viktige faktorer som kan rapporteres konstant.
- Hver enkeltarmatur kan styres separat eller armaturene kan styres i grupper.

Mange tunneler har tillatelse for fotgjengere og syklister. De færreste styringssystem har tatt hensyn til dem når det gjelder energisparing. Krav om luminans på veibanen i tunneler ( $\text{ÅDT} < 2500$ ) uten gang- og sykkeltillatelse er  $0,5 \text{ cd/m}^2$  i indre sone. Om det er tillat for de myke trafikantene å oppholde seg i tunnelen, er kravene satt til  $2 \text{ cd/m}^2$  om dagen og  $1 \text{ cd/m}^2$



om natta. Det er relativt store forskjeller i luminansnivå, og når det i enkelte tunneler finnes svært lite eller ingen fotgjengere og syklistere vil belysningen være overdimensjonert og mye energiforbruk kan sees på som bortkastet. Løsningen kan være å integrere bevegelsesdetektorer og sensorer, som registrerer fotgjengere og syklistere, som en styringsparameter og da vil lysnivået kunne reguleres etter kravene. I første omgang kan det tenkes at dette ville være dyrt og at det vil kreve svært mange bevegelsesdetektorer. Men det trenger ikke nødvendigvis å være slik. Om det legges inn en delay-timer på 10, 15 eller 20 minutter (lyset reguleres ned 10-20 min etter at siste fotgjenger/syklist er registrert) vil det være behov for veldig få bevegelsesdetektorer. Leverandører av moderne styringssystem bør tenke seg å inkludere dette og teste dette ut i praksis. I lavtrafikkerte tunneler vil det for det meste av tiden ikke være noen fotgjengere eller syklistere, noe som fører til at lysnivået i tunneler kan reguleres ned og energiforbruket reduseres betraktelig.



## 5 SPAREPOTENSIALE VED BRUK AV DIMMING I TUNNELER

### 5.1 Tunnelklasse A

Tunneler som hører til klasse A har en ÅDT på maks 300. Tradisjonell utforming av belysningsanlegg gjør at armaturene i tunnelene lyser konstant for å dekke kravene. Damplampene i innkjøring- og overgangssone kobles normalt inn i tre trinn for å dekke kravene. I veldig gamle tunneler finnes det kun et styringstrinn i innkjøring- og overgangssone. Her blir høytrykk natrium armaturene koblet på/av to ganger i løpet av døgnet, avhengig av lysnivået ute. Når det i enkelte tunneler ikke finnes noe trafikk over lenger tid, brukes det unødvendig mye strøm og energi som rett og slett kan sees på som bortkastet. Nyere styringssystem som gir mulighet for å dimme lysanlegget ned når det ikke passerer noe trafikk gjennom tunnelen, gir mulighet til å spare svært mye av energien som brukes til belysning.

Sparepotensialet vil være avhengig av både ÅDT, lengden på tunnelen samt hvilke lyskilder som benyttes. Med lavere ÅDT vil den prosentvise besparelsen bli større. Tunneler som hører til klasse A har lavest ÅDT og sparepotensialet vil derfor være størst i disse tunnelene. Det er ikke besparelsen av strømforbruket i kWh som menes her, men den prosentvise besparelsen av strømforbruket til det installerte lysanlegget i tunnelen. Med andre ord vil tunneler med lav ÅDT ha større sparepotensiale av *egget* lysanlegg i prosent. Generelt er det ofte mer lys som kan dimmes i høytrafikkerte tunneler.[11]

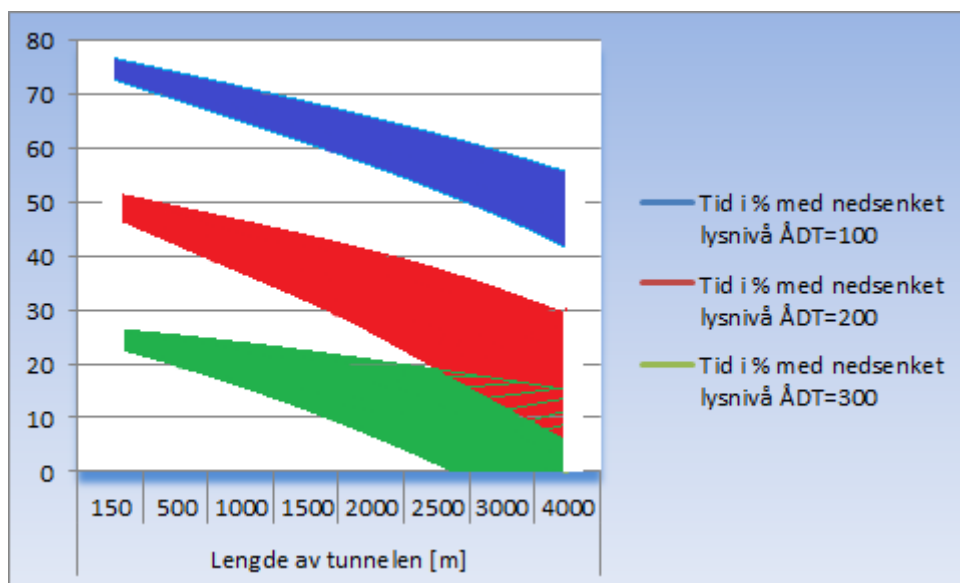
Når det gjelder tunneler av klasse A, vil det passere relativt lite trafikk over et døgn. Av denne grunn vil det være en stor fordel å regulere belysningen momentant ved hjelp av dimming. Dette fungerer slik at belysningen dimmes opp når det registreres kjøretøy på vei inn i tunnelen og dimmes ned når det ikke finnes noe trafikk. Det plasseres trafikkdetektorer på hver side av tunnelen slik både innkommende og utgående trafikk registreres.

Det har blitt gjennomført beregninger som viser hvor mye av tiden det er mulig å regulere ned på belysningen over et døgn, uavhengig av hvilken lyskilde som benyttes. Resultatene finnes i *Vedlegg 2*. Beregningene blei gjort for tunneler med ÅDT fra 100 til 300 med to dimensjonerende fartsgrenser, 50 km/h og 80 km/h. Her blei det antatt at en trafikkensensor plasseres cirka 200 m på begge sider av tunnelen, med en delay-timer på 3 minutt (lyset dimmes ned 3 min etter at siste bil har passert).

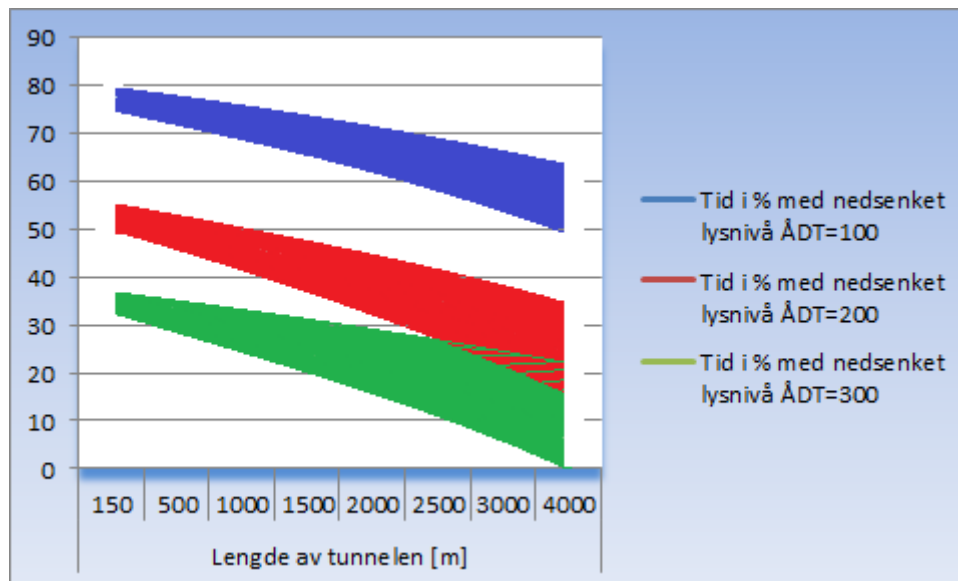
I tabellene (*Vedlegg 2*) viser den siste raden (markert gult) hvor mye av tiden i prosent lysanlegget kan dimmes ned over et døgn. De tre første tabellene viser beregningene for tunneler som har dimensjonerende hastighet 50 km/h og de tre siste 80 km/h. Trafikken vil selvsagt variere mye i ulike perioder av døgnet. I rushtiden vil det være mer trafikk enn for eksempel sent på kvelden eller om natta. Derfor må en være kritisk til resultatene som vises i *Vedlegg 2*. Resultatene vil stemme bedre overens i praksis for korte tunneler. For lengre tunneler, er resultatene avvikende fra det en ville få i praksis. Tidlig på morgenen og på ettermiddagen vil en oppleve at det kjører flere biler gjennom tunnelen samtidig, i hvert fall i lengre tunneler. Og med tanke på en delay-timer på 3 min, vil belysningen ikke kunne dimmes i det hele tatt i enkelte perioder, da det vil komme nye kjøretøy før delay-tiden går ut.

Om natten derimot vil det finnes svært lite trafikk og dimming av belysningsanlegget vil føre til større sparepotensiale. I vedlegg 2 vises det negative verdier i siste rad for tunneler med  $\text{ÅTD} = 300$ . Men andre ord vil dette si det ikke vil være noe mulighet for reduksjon av lysnivået i det hele tatt. Som sagt, vil dette ikke stemme i praksis. I rushtiden vil dette nok stemme for enkelte tunneler, men siden trafikk tettheten avtar relativt ut over kvelden og natten, vil en likevel kunne dimme ned belysningen i enkelte perioder over et døgn. På bakgrunn av resultatene fra beregningene og med tanke på det som blei nevnt tidligere har det blitt satt opp to grafer som illustrerer resultatene som vil være mer realistiske. Dette blei også diskutert med Hans Øien fra Thornlighting. For lengre tunneler har resultatene blitt korrigert en god del med hensyn på at trafikken vil variere mye i ulike perioder.

Figur 5.1 og 5.2 viser hvor mye av tiden over et døgn belysningen i tunnelen kan dimmes ned. Det fargede området viser at dette vil variere en del, og usikkerheten øker jo lengre tunnelen er. Hvor mye belysningen kan dimmes ned vil også variere med geografisk beliggenhet, og lavtrafikkerte tunneler finnes stort sett ved lite bosatte områder eller i områder med ingen bosetning. Dealy-tiden har også mye å si. 2 minutter istedenfor 5 minutter som slukningstid etter at siste bil har passert vil gi relativt mer tid til å senke ned lysnivået over et døgn. Alt tatt i betraktning blir usikkerheten stor når det skal gis en oversikt over tunneler generelt. En slik analyse bør derfor gjennomføres for hver enkelt tunnel når belysningsanlegget er under planleggingsfasen.



Figur 5.1: Tid med unødvendig belysning i tunneler over et døgn oppgitt i % (dimensjonerende fartsgrense 50 km/h).



Figur 5.2: Tid med unødvendig belysning i tunneler over et døgn oppgitt i % (dimensjonerende fartsgrense 80 km/h).

Med tanke på å bruke momentan dimming er det helt klart LED som egner seg best. LED kan dimmes ned til svært lave effektverdier, og er den eneste lyskilden som kan reguleres fra 0 til 100 % momentant. Lysrør kan til en viss grad dimmes hurtig, men gir ikke fullt lys umiddelbart etter at den er slått på. Høytrykknatrium- og metallhalogenlamper er enda tregere i oppstart og bruker gjerne 1-2 minutter på å nå maksimal styrke. Dessuten er de kurante å dimme mens de er varme og kan normalt dimmes ned til 60- 65 % effekt (50 % lys). Av denne grunn vil ikke lysrør, høytrykknatrium- og metallhalogenlamper egne seg godt til denne type dimming. Induksjonslamper som finnes i dag er ikke dimbare, og da står LED igjen som det eneste alternativet.[11]

Sammen med et intelligent styringssystem, vil LED gi svært høye besparelser i forhold til tradisjonell tunnelbelysning. I dag finnes det LED armaturer for lavtrafikkerte tunneler fra flere leverandører, og i noen nyere tunneler har dem blir brukt som nattbelysning. Det strides om hvorvidt LED kan benyttes innkjøring- og overgangssoner. Enkelte vil mene at per i dag har ikke LED-teknologien kommet så langt at de kan benyttes i innkjøring- og overgangssoner på dagtid. Argumentet for dette er at LED får problemer med høyere effekt og kjøling. Om dette ikke er på plass vil en få svært kort levetid og mye lavere lysnivå. Da blir hele poenget med LED borte. Dessuten har LED noe lavere lysutbytte enn HPS lamper. I dag har LED er lysutbytte på ca. 100lm/W, mens HPS lamper ligger på 150lm/W.[11]

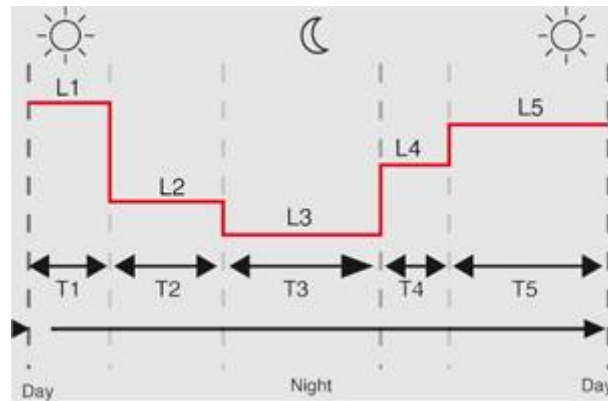
Andre vil argumentere for det motsatte, og at det absolutt er mulig med LED i innkjøring- og overgangssone i dag. I dag kan man finne mye rart på markedet når det gjelder LED. Mange leverandører vil påstå at de har utviklet LED armaturer som kan erstatte dampplamper med høye effekter og som kan benyttes i hele tunnelen både på dagtid og i nattperioden. Det finnes tunneler i både Asia, Europa og Amerika som har installert kun LED armaturer. Dette er som regel anlegg av dårligere kvalitet og en bør være svært kritisk til det man leser. Blending er en annen faktor som er viktig å tenke på. Mindre erfarne leverandører tar ikke noe forhold til

slikt og er ikke engang i stand til å kjøre lysberegninger. [11] Man bør ikke stole på noe av dette med mindre informasjonen kommer fra anerkjente leverandører som Schreder, Philips, Siteco eller Thorn. En av de store truslene til LED i dag er nemlig at markedet oversvømmes av billige “kinavarer”. [11]

Men det er viktig å huske på at LED utvikles med enorm fart, og at stadig bedre armaturer er tilgjengelige på markedet. Om noen få år vil det kanskje være mulig å benytte LED ikke bare i lavtrafikkerte tunneler, men også tunneler med høyere ÅDT.

Når det gjelder dimming, kan det benyttes momentan dimming av LED armaturer og trinnløs dimming av høytrykksnatrium lamper og lysrør. Med trinnløs dimming vil en være i stand til å styre lysnivået mer presist i forhold til den heltrukne linjen i figur 2.3. Istedenfor å slå av/på armaturgrupper, kan det heller benyttes trinnvis eller trinnløs dimming av dampplamper. Figur 5.3 viser eksempel på regulering av lysnivået i innkjøring- og overgangssone med trinnvis dimming. I innkjøring- og overgangssone benyttes det i hovedsak høytrykksnatriumlamper og her kan det ikke benyttes momentan dimming. Målet her er å styre belysningen i forhold til variasjon i adaptasjonsluminansen, og valget er enten å koble inn/ut armaturgrupper eller bruke dimming. Som nevnt tidligere kan HPS lamper dimmes ned til ca. 50 % lys. Dersom adaptasjonsluminansen faller under 50 % av sin dimensjonerende verdi, vil en ikke klare å regulere ned lysnivået i innkjøring- og overgangssone tilsvarende kun ved dimming. Når mørket faller på og adaptasjonsluminansen er på for eksempel 30 %, må det i tillegg kobles ut armaturer eller armaturgrupper dersom veiluminansen skal kunne falle på like lav prosentverdi. Dette vises også i kapittel 6 som handler om renovering av Jønjljotunnelen og planlegging av et nytt belysningsanlegg.

Figuren 5.3 illustrerer hvordan lysnivået i tunnelen kan variere over et døgn når lysanlegget er programmert med fem ulike “lysprogram”. Lysnivået gjelder innkjøring- og overgangssone vil være på sitt høyeste når lysnivået ute om dagen størst. Deretter kan det reguleres ned når mørket faller på, og enda mer i nattperioden. For lavtrafikkerte tunneler har ikke adaptasjonsluminansen noe å si, siden det er faste krav om  $50\text{cd/m}^2$  i første halvdel av innkjøringssonen så lenge adaptasjonen er over  $50\text{cd/m}^2$ . Men adaptasjonsluminansen kan brukes som referanse når adaptasjonsluminansen faller under  $50\text{cd/m}^2$ , slik at lysnivået kan reduseres i takt med den. Figur 5.3 gjelder for innkjøring- og overgangssone.



Figur 5.3: Regulering av lysnivå i innkjøring/overgangssone med trinnvis dimming eller innkobling/utkobling av armaturer.

I indre sone der en har mye lavere krav om luminansnivå, kan det benyttes LED armaturer, og de kan dimmes momentant, avhengig av trafikken. LED kan benyttes både som nattbelysning i hele tunnelen og i indre sone på dagtid. Løsningen som ville lønne seg mest er å styre HPS lampene i innkjøring- og overgangssone vha. fotocelle (dimming eller inn/utkobling av armaturgrupper), mens LED-lampene styres vha. trafikksensorer, der de kan dimmes til for eksempel 10 % lysnivå i perioder uten trafikk. Eventuelt kan det prøves med LED lamper også i siste del av overgangssone der kravene om luminansnivå er mye lavere enn i starten på overgangssonen.

Kort oppsummert, anbefales det å benytte intelligente styringssystemer sammen med LED på nye lavtrafikkerte tunneler som er under planlegging. Et slikt system kan også erstatte gamle belysningsanlegg som må skiftes ut uten alt for store ekstra kostnader. LED er riktig nok dyrere enn andre alternative lyskilder, men med tanke hvor mye besparelse en vil få når det gjelder energiforbruk kan reduksjonen i driftskostnadene jevne ut for de høye investeringskostnadene etter bare noen få år. Hvor lang tid det tar å ta igjen investeringskostnadene er avhengig av størrelsen på belysningsanlegget, men det bør tas hensyn til at LED har mye lengre levetid enn lysrør- eller høytrykksnatriumlamper.

Stadig flere er overbevist om at LED kommer til å ta delvis eller helt over for de andre lyskildene når det gjelder vei- og tunnelbelysning om noen få år. Med tanke på momentan dimming i lavtrafikkerte tunneler av klasse A vil en kunne få en besparelse opp mot 40-50 % dersom det benyttes LED i indre sone på dagtid og som nattbelysning i hele tunnelen. Korte tunneler som er bare noen hundre meter lange, vil ikke ha noe indre sone. På dagtid vil denne type tunnel måtte belyses i hovedsak med HPS lamper, og muligheten for momentan dimming forsvinner. Dersom dette er tilfellet, vil LED kun benyttes som nattbelysning. Sparepotensialet vil da i hovedsak utgjøres av nattbelysning og den prosentvise besparelsen vil bli lavere, rundt 20 - 30 %.

Enkelte leverandører påstår at deres produkter (LED armaturer for tunneler) kan gi en besparelse opp mot 90 %, men dette er nok ikke helt reelt og som nevnt tidligere bør en være kritisk til det man leser og hvem leverandøren er.

## 5.2 Tunnelklasse B

Tunneler av klasse B har en ÅDT mellom 300 og 4000. Lavtrafikkerte tunneler omfatter alle tunneler med  $\text{ÅDT} < 2500$ , og finnes da i klasse B også. Siden trafikkmengden nå er relativt høyere enn for tunnelklasse A, minker sjansene for å benytte seg av momentan dimming. Ved høyere ÅDT vil det i enkelte perioder i døgnet ikke være mulig med dimming, grunnet konstant trafikk i tunnelene. Et eksempel på trafikkfordeling over et døgn kan være som vist i tabell 5.1.

Tid på døgnet	Prosentvis andel av ÅDT [%]
07.00-10.00	25
10.00-14.00	20
14.00-17.00	25
17.00-21.00	15
21.00-24.00	10
24.00-07.00	5

Tabell 5.1: Eksempel på fordeling av trafikk over et døgn.

Tunneler med ÅDT nært 2500, som er grensen for lavtrafikkerte tunneler, vil momentan dimming egne seg dårlig i perioden fra morgen til kveld. Dette vil først og fremst gjelde tidsperioden med rushtrafikk, og ved høyere ÅDT vil dette også gjelde i andre perioder. Når tunnellengden øker, vil det bli mindre tid til å regulere ned på lysnivået siden bilene bruker lengre tid gjennom tunnelen, og med en delay-tid inkludert vil ikke momentan dimming egne seg godt. Momentan dimming på dagtid kan benyttes på enkelte tunneler av klasse B, men da bør dimensjonerende ÅDT ikke være mye høyere enn for tunnelklasse A. Når grensen for å benytte momentan dimming er nådd er vanskelig å si på forhånd, siden den er avhengig av to parameter (ÅDT og tunnellengde), og dette bør vurderes ved hver enkelt tunnel som er under planlegging eller renovering.

Et alternativ er å dele opp dagsbelysning og nattbelysning i to deler som styres separat. Når det gjelder dagsbelysning vil en måtte ha konstant belysning på grunn av høy trafikk tetthet. Av denne grunn kan dagsbelysningen ha eget styringssystem eller eget program som styrer belysningen etter kravene. For nattbelysning er det igjen LED som egner seg best og kan styres momentant avhengig av trafikken.

Korte tunneler er tunneler med ingen eller meget kort indre sone. Tabell 5.2 viser lengden på innkjøring- og overgangssone og summen av dem for fartsgrenser 60 km/h, 80 km/h og 100 km/h.



Fartsgrense [km/h]	Innkjøringssone [m]	Overgangssone [m]	Sum [m]
60	60	300	360
80	100	400	500
100	160	500	660

Tabell 5.2: Summen av innkjøring- og overgangssone for ulike fartsgrenser.

Tunneler som er kortere eller like lange som summen av sin innkjøring- og overgangssone vil måtte følge kravene som gjelder for de ulike sonene. Som regel har slike tunneler kun *en* sone og samme lysnivå i hele tunnelen. Det er verdt å merke seg at lengden på innkjøring- og overgangssonen vil variere med luminansnivået. Eventuelt kun innkjøring- og overgangssone. CIE har en standart dom regulerer lengden på innkjøring- og overgangssonen i takt med luminansnivået. Ved lavere luminansnivå ute for eksempel ved halvmørke, vil kravet om hvor lang adaptasjonssonen (innkjøring pluss overgangssone) mindre enn når luminansnivået er på sitt største (100%). Det har ikke lyktes å få tak i de konkrete verdiene på dette, men verdiene er forhondsprogramert i programmet RELUX Tunnel, som blir brukt ved senere beregninger. I dag er ikke LED-lampene nok utviklet til å kunne benyttes i innkjøring- og overgangssone, slik at momentan dimming på dagtid ikke er aktuelt i denne type tunneler.

I lengre tunneler anbefales det å bruke LED i indre sone, slik at momentan dimming kan benyttes for denne armaturgruppen på dagtid. Sparepotensialet for tunneler av klasse B blir lavere enn for klasse A. Med en ÅDT litt over 300 som er grensen til klasse A, vil det kunne spares opp mot 40 % på energiforbruket, men besparelsen avtar med økende ÅDT. Med en ÅDT opp mot 2500, vil besparelsen i hovedsak være begrenset til nattperioden, og sparepotensialet vil ligge på 20-30 %.

### 5.3 Oppsummering

Kort oppsummert anbefales det å benytte LED-armaturer i størst mulig grad i lavtrafikkerte tunneler. I tunneler som er bare opp til par hundre meter lange kan ikke LED benyttes under dagsbelysning. I lengre tunneler kan de benyttes i indre sone og kan dimmes til f.eks. 10 % lysnivå i perioder uten trafikk. Samme prinsipp gjelder for nattbelysning. Det anbefales å benytte LED i indre sone istedenfor lysrør eller induksjonslamper. Dersom det brukes lysrør eller induksjonslamper på dagtid, vil det kreve at LED armaturer installeres parallelt med dem, siden LED bør brukes som nattbelysning. Dette fører til at antall installerte armaturer blir høyere. Ved å bruke LED i indre soner, kan disse armaturene brukes både til dags- og nattbelysning. Sparepotensialet vil variere for lavtrafikkerte tunneler, avhengig av ÅDT og lengden på tunnelen, og i beste tilfellet kan det spares opp mot 50 %.



## 6 RENOVERING AV JØNJILJOTUNNELEN

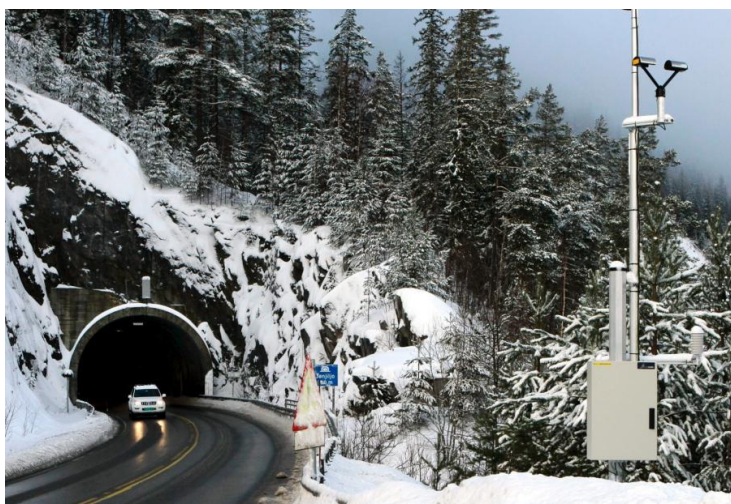
### 6.1 Generelt

Jønjiljotunnelen befinner seg på Tinnsjøvegen i Notodden kommune i Telemark. Tunnelen er av klasse B, og har en lengde på 760m. Gjennomkjøringshastighet er 80 km/h og tunnelen hadde en ÅDT på 900-1000 i år 2008. Statens Vegvesen skal gjennomføre en renovering av tunnelen, som inkluderer en total utskifting av belysningsanlegget. I dag er tunnelen utrustet med et svært gammelt belysningsanlegg som inneholder høytrykk- og lavtrykksnatriumlamper, og det har ikke vært tillat for fotgjengere og syklister å bruke tunnelen. Renovering av tunnelen vil inkludere tillatelse for fotgjengere og syklister, noe som øker kravene om veiluminans. Det gamle lysanlegget bestod av:

- 4 stk 250W HPS lamper i hver ende av tunnelen (8 stk totalt).
- 34 stk 35W lavtrykksnatriumlamper i indre soner av tunnelen.

Belysningen styres av PLS via en fotocelle i hver munning. NaL-lampene lyser døgnet rundt, mens HPS-lampene kobles inn ved behov, avhengig av lysnivået ute. Det er kun et lystrinn på dagtid, slik at alle HPS-lampene tilkoblet samme fotocelle slås på samtidig.

Det gamle belysningsanlegget er svært utdatert og belysningen i tunnelen er relativ dårlig. Bildet under viser tunnelprofilen til Jønjiljotunnelen.



*Figur 6.1: Tunnelåpning til Jønjiljotunnelen.*

Når det planlegges et nytt belysningsanlegg og sparetiltakene vurderes, blir det vanskelig å sammenligne dette med det gamle lysanlegget. For det første er kravene om luminans i tunnelen blitt mye strengere gjennom årene. Om en skiftet ut de gamle armaturene med nye, og brukte samme antall armaturer, ville en ikke være i stand til å dekke dagens krav. For det andre blir det nå tillat for syklister og fotgjengere å bruke tunnelen, noe som gir høyere krav om luminansnivå. Uten tillatelse for de myke trafikantene er luminansen i indre sone satt til  $0,5 \text{ cd/m}^2$  både om dagen og natten. Med tillatelse for fotgjengere og syklister er kravene  $2 \text{ cd/m}^2$  om dagen og  $1 \text{ cd/m}^2$  om natta.

Av denne grunn har det blitt valgt å prosjektere det nye belyningsanlegget på to måter. Det første er å benytte tradisjonelle metoder som omfatter kun innkobling og utkobling av armaturgrupper. Den andre er moderne metode som inkluderer intelligent styring og dimming og bruk av armaturer. Programmet RELUX Tunnel blei brukt til beregningene og i det følgende blir begge metodene nærmere presentert. Armaturdata for beregninger i RELUX Tunnel blei tilsendt både fra Siteco og Multilux. HPS armaturene varierte fra 50W til 100W, lysrør på 58W og LED på 45W. Med stor variasjon i HPS armaturer ble det brukt mye tid på å finne best mulig løsning i RELUX ved å kombinere lamper med ulik effekt.

Ved beregning/prosjektering av tunnelen gjelder følgende (info fra Jolanta Krocak fra Statens vegvesen):

- Tunnelen får forlengelse ved hver portal slik at total tunnallengde blir 810 meter.
- Dimensjonerende ÅDT = 2000.
- Tillat for gang- og sykkeltrafikk.
- Kravene for ÅDT < 2500 for innkjøringsone gjelder fra håndbok 021.
- Kravene for indre sone om dagen er  $2\text{cd/m}^2$  og  $1\text{cd/m}^2$  for nattbelysning.
- Veien utenfor tunnelen er ikke belyst, og krav om  $1\text{cd/m}^2$  luminans som nattbelysning følges.
- Dimensjonerende hastighet = 80 km/h.

Beregningene gjort i RELUX er ikke ment som en direkte ferdig prosjektert løsning på belyningsanlegget. Likevel er beregningene gjort i RELUX gjort i detalj og følger kravene, og kan absolutt presenteres frem som et forslag til den som skal prosjektere belyningsanlegget. En detaljert beregning er uansett nødvendig om en skal kunne sammenligne et tradisjonelt belyningsanlegg med et moderne anlegg med intelligent styring. I vedlegg 3 følger et forkortet utkast for begge tilfellene som inneholder armaturdata, armaturliste med info om avstand mellom armaturene, inndeling av armaturgrupper, hvilke armaturer slukkes/reguleres ned til 50 % eller slås av for de ulike belyningsnivåene samt tredimensjonale figurer for luminans og belyningsstyrke i innkjøring- og overgangssone. De tredimensjonale figurene kan være vanskelig å lese av på papiret, men det kan likevel leses frem til hva de presenterer ved å se på luminansskala og skala for belyningsstyrke under figurene. Ved å se på beregningene direkte på PC er det mye lettere å se på tredimensjonale figurer, samt at tilgangen på flere resultater (kontrast, jevnhet, blinding, sløringsluminans, og mange flere) er tilgjengelig. Det har blitt valgt å ta med de viktigste resultatene med i vedlegg. Hovedmålet var å se på energiforbruket ved og sparepotensialet ved å sammenligne tradisjonell belyningsmetode med moderne metode med intelligent styringsystem og se på sparepotensialet.

## 6.2 Tradisjonell belysning

### 6.2.1 Beregning i RELUX Tunnel

Tradisjonell tunnelbelysning omfatter som sagt kun innkobling og utkobling av armaturer og det er ingen dimming. Til denne type belysningsanlegg har det blitt valgt å bruke HPS lamper i innkjøring- og overgangssone og lysrør i indre sone av tunnelen. Komplette resultat av beregningene for tunnelen vises i vedlegg 3.

Følgende valg ble tatt ved utforming av belysningsanlegget:

- Tre innkoblingstrinn for dagsbelysning (innkjøring- og overgangssone): 100 %, 66,6 % og 33,3 % luminansnivå.
- Styring skjer kun ved innkobling/utkobling av armaturer
- To innkoblingstrinn i indre sone (dags og nattbelysning)
- Armatur for indre sone og nattbelysning: 2x58W lysrør.
- Armatur for innkjøring- og overgangssone: 100W HPS (Hvorfor det ble valgt å bruke kun en type HPS-lampe blir forklart senere).

Tabell 6.1 viser reguleringstrinn for dagsbelysning ved tradisjonell utforming.

Reguleringsgruppe	S1	S2	S3	Indre sone
<b>Adaptasjon</b>				
<b>1</b>	100 %	-	-	-
<b>2</b>	100 %	100 %	-	-
<b>3</b>	100 %	100 %	100 %	-
<b>Indre sone</b>				
<b>4</b>	100 %	100 %	100 %	100 %
<b>Prosent L<sub>th</sub></b>	100 %	67 %	33,3	
<b>L<sub>th</sub> [cd/m<sup>2</sup>]</b>	50	33,35	16,65	
<b>Lengde adaptasjonssone</b>	192 m	158m	119m	

Tabell 6.1: Regulering av armaturgrupper.

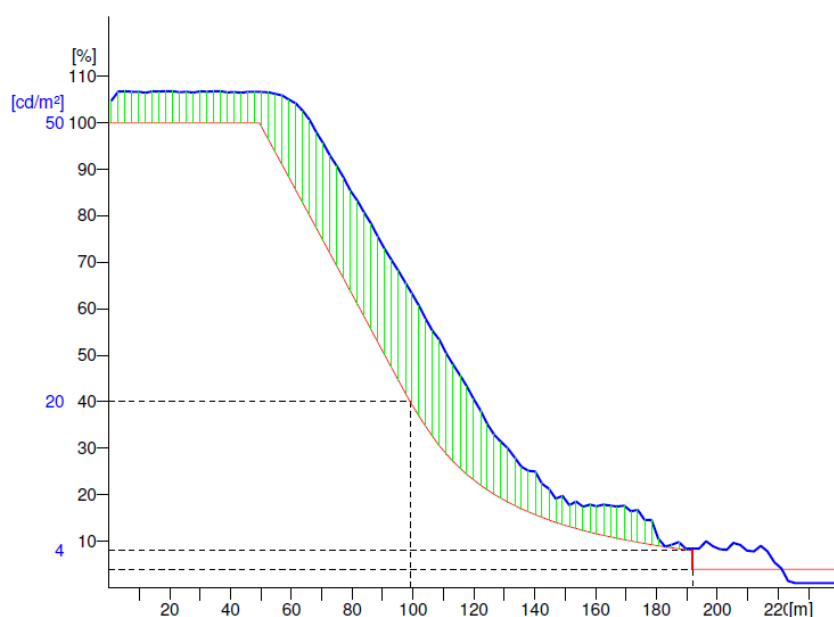
Forklaring til tabellen:

- S1, S2, og S3 er de tre lysnivåene (100 %, 66,7 % og 33,3 %)
- Adaptasjonssone = innkjøringsone + overgangssone
- Reguleringsgruppe 1, 2 og 3 gjelder for innkjøring- og overgangssone.
- Reguleringsgruppe 4 gjelder for indre sone ved dagsbelysning
- L<sub>th</sub> er luminansen i innkjøringssonen og viser minimumskrav.
- Lengden på adaptasjonssonen varierer i takt med lysnivået ute. Ved lavere lysnivå ute, blir adaptasjonssonen kortere i følge kravene fra CIE, som RELUX Tunnel er forhåndsprogrammert med.
- Belysning i indre sone har 3 innkoblingstrinn som ikke vises i tabellen. Med tre ulike luminansnivå (S1, S2, og S3), blir det variasjon i lengden på adaptasjonssonen, noe som medfører tre ulike lengder på indre sone på dagtid der lysrør-armaturene kobles inn/ut etter behov.

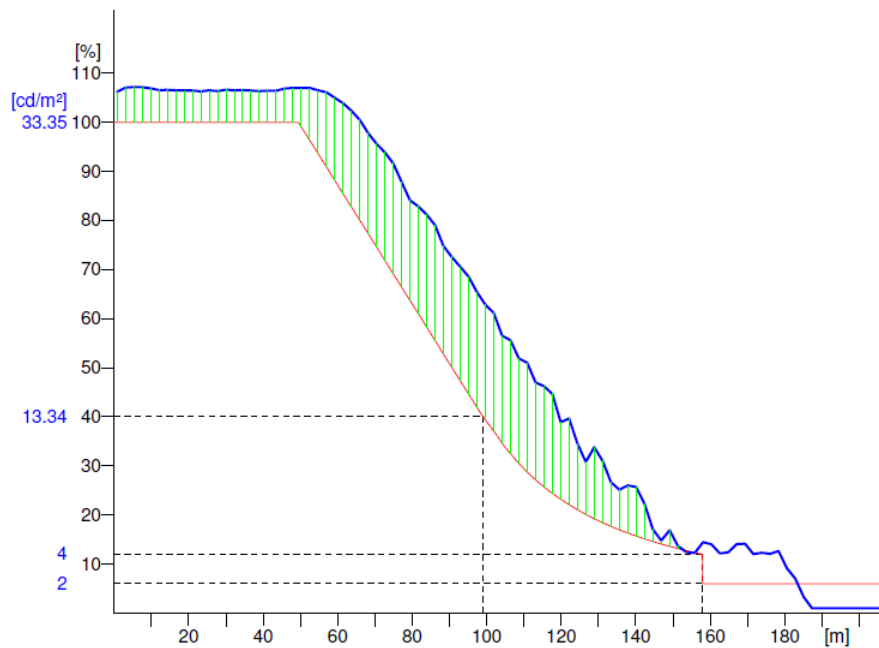
Når lysnivået ute er på sitt høyeste, lyser alle armaturgruppene (reguleringsgruppene) på 100 %, med andre ord *alle* armaturene i adaptasjonssonen er på. Når Adaptasjonsluminansen faller til  $33.3 \text{ cd/m}^2$ , slukkes gruppe 1, og når den faller ned til  $16,65 \text{ cd/m}^2$ , slukkes gruppe 1 og 2 slik at bare armaturgruppe 3 lyser.

Etter mye testing og beregning, blei det konkludert å benytte kun 100W HPS lamper i innkjøring og overgangssonen. Grunnen til dette er at det var satt fokus på å følge den heltrukne linjen i figur 2.3 som angir minimumskravene på best mulig måte.

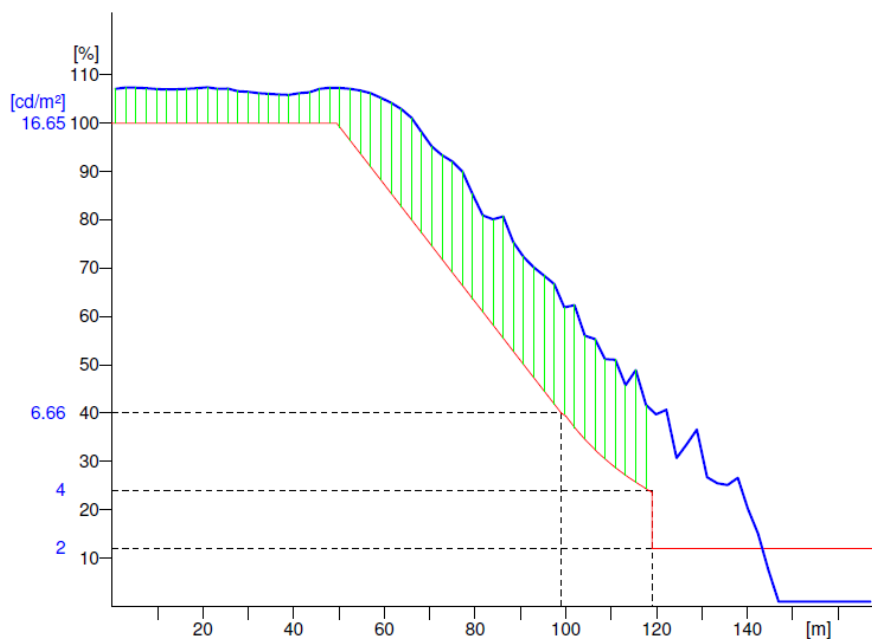
De tre neste figurene viser luminansreduksjonskurve ved 100 %, 66,7 % og 33,3 % luminansnivå i innkjøring- og overgangssonen. Det blei bestemt å sette luminansnivåene litt over de minimale kravene, noe som er normalt under prosjektering. Dette vises i det grønne området på figurene.



Figur 6.2: Luminansreduksjonskurve ved 100 % luminansnivå [ $50 \text{ cd/m}^2$ ]



Figur 6.3: Luminansreduksjonskurve ved 66,7 % luminansnivå [ $33,35 \text{ cd/m}^2$ ]

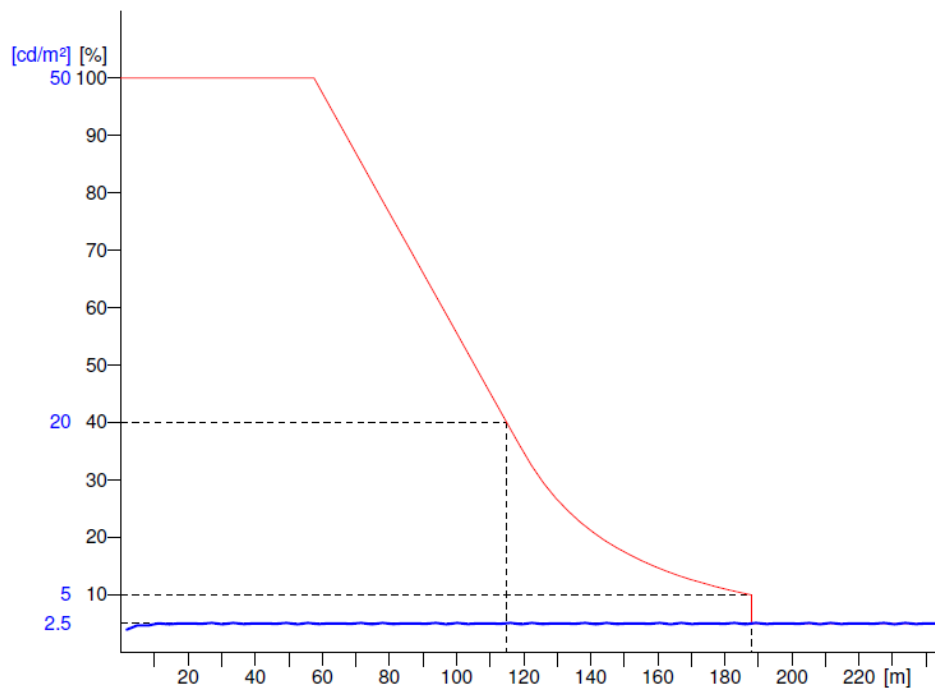


Figur 6.4: Luminansreduksjonskurve ved 33,3 % luminansnivå [ $16,65 \text{ cd/m}^2$ ]

Ved mye testing og beregning blei det kommet frem til at resultatene som vises i figurene 6.2 til 6.4, er de beste med tanke på å følge luminanskurven (heltrukken linje) på best mulig måte. Dette vart oppnådd ved å bruke kun 100W HPS lamper. Som det kan sees på figurene er det mye lettere å følge linjen ved høye luminansverdier. Ved svært lave luminansverdier er det vanskelig å få til like jevnt lysfordeling som ved høye luminans, og luminanskurven blir noe

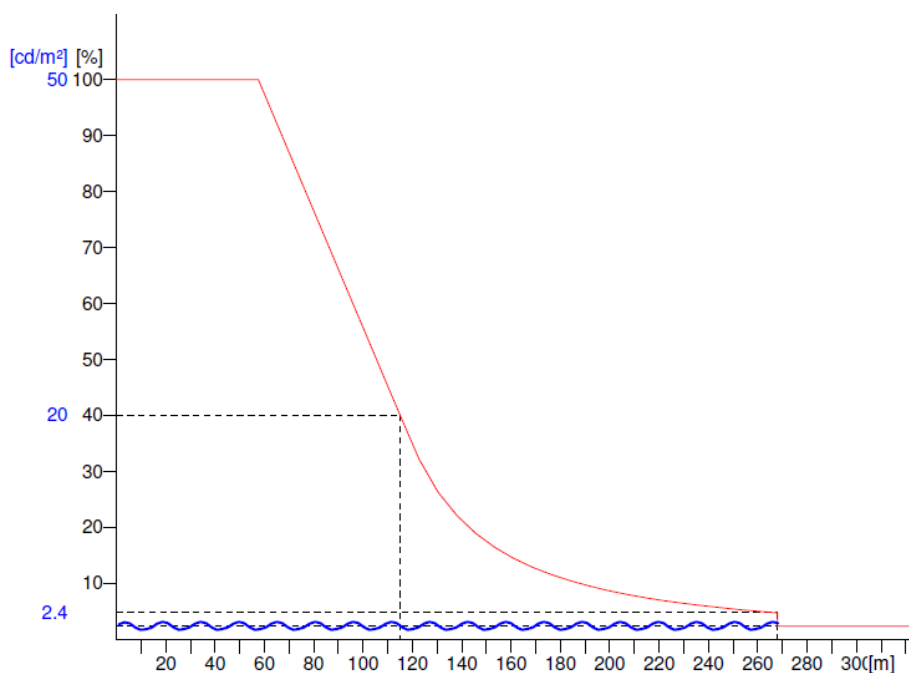
mer ”hakkete” ved slutten av overgangssonen. Likevel er dette det beste som ble oppnådd med tanke på å følge kravene om minimale luminansverdier, lysjevnhet og reduksjonsnivå.

Når det gjelder belysning i indre sone og nattbelysning var det ikke store vansker ved valg og plassering av armaturer. Valget fall på en lysrørarmatur på 2 x 58W, og blir brukt i indre sone på dagtid og hele tunnelen om natta. Det som var viktig å passe på er avstanden mellom armaturene. Målet var at alle lysrørarmaturene lyste om dagen og annenhver om natten. Dersom en plasserte armaturene optimalt for dagsbelysning der kravene er  $2\text{cd/m}^2$ , ville ikke kravene for nattbelysning oppnås ved å slukke annenhver armatur. Derfor vart det bestemt å sette en avstand på 7,5 mellom lysrørarmaturene slik at ved dagsbelysning blei luminansverdien  $2,5\text{cd/m}^2$  og  $1,2\text{cd/m}^2$  om natta når annenhver armatur slukkes. Ved nattbelysning varierer luminansnivåene litt i bølger, men dekker kravene fra veinormalen. De to neste figurene viser luminansverdiene i indre sone på dagtid og hele tunnelen om natten.



Figur 6.5: Luminansverdi i indre sone ved dagsbelysning [ $2,5\text{cd/m}^2$ ].





Figur 6.6: Luminansverdi i hele tunnel ved nattbelysning [ $1,2 \text{ cd/m}^2$ ].

Selv om figurene viser luminansverdier i innkjøringszone, gjelder figur 6.5 for indre sone og 6.6 for hele tunnelen. Dette er fordi RELUX Tunnel presenterer resultatene på denne måten.

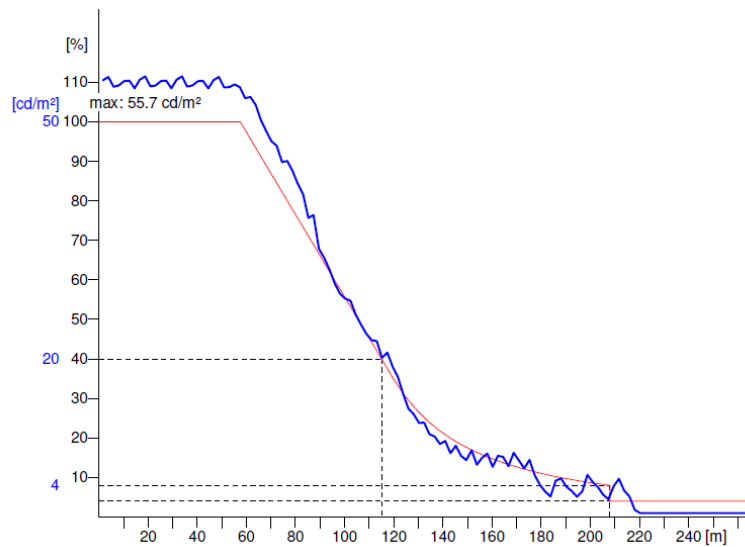
Tabell 6.2 viser et utklipp for de første 12 armaturene i innkjøringssonen og hvilke armaturgrupper er slått på/av ved ulike luminansnivåer for dagsbelysning. Komplette liste finnes i vedlegg 3.

Nr.	Pos. X [m]	Effektnivå	Innkobl.	grS1	S2	S3
1	1.10	115W / 10klm	3	100%	100%	100%
2	1.89	115W / 10klm	2	100%	100%	0%
3	2.68	115W / 10klm	1	100%	0%	0%
4	3.46	115W / 10klm	3	100%	100%	100%
5	4.25	115W / 10klm	2	100%	100%	0%
6	5.04	115W / 10klm	1	100%	0%	0%
7	5.83	115W / 10klm	3	100%	100%	100%
8	6.62	115W / 10klm	2	100%	100%	0%
9	7.40	115W / 10klm	1	100%	0%	0%
10	8.19	115W / 10klm	3	100%	100%	100%
11	8.98	115W / 10klm	2	100%	100%	0%
12	9.77	115W / 10klm	1	100%	0%	0%

Tabell 6.2: Regulering med 3 armaturgrupper for dagsbelysning.

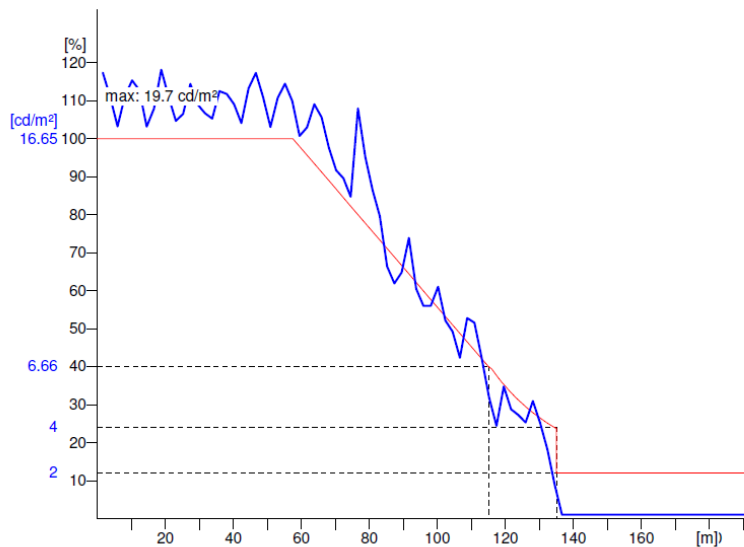
Grunnen til at det ikke ble beregnet med HPS-lamer med forskjellige effekter, er dårlige resultater fra RELUX. Det ble brukt mye tid på å finne noe bra løsning uten å lykkes. Problemet var å følge luminanskurven i figur 2.3 presist. Det ble testet ut med HPS lamper fra 50W til 250W, men resultatene ble dårlige uansett. Hovedproblemet er den dårlige

luminansfordelingen. Et eksempel vises i figur 6.7, der det ble benyttet HPS armaturer med lampeeffekt fra 100W, 150W og 250W.



Figur 6.7. Luminansreduksjonskurve for 100 % lysnivå..

Enda større problem ble det ved lavere luminansverdier. Figur 6.8 viser luminansreduksjonskurven ved 33 % lysnivå med samme armaturvalg.



Figur 6.8. Luminansreduksjonskurve for 33,3 % lysnivå..

Etter mye testing og beregning blei det konkludert at å benytte kun 100W HPS, ga det beste resultatet og konklusjonen falt på å benytte seg kun 100W HPS til belysning i innkjøring- og overgangssone.

## 6.2.2 Effektberegninger

I det følgende beregnes total effektforbruk for belysningsanlegget i hele tunnelen.

Følgene armaturer blei benyttet:

Type	Lampeeffekt	Systemeffekt
HPS	100W	115W
Lysrør	2 x 56W	106W

Tabell 6.3: Lampe og armatureffekt.

I tabell 6.4 vises total effektforbruk ved dagsbelysning og nattbelysning. For dagsbelysning vises effektforbruk for både 100 %, 66,7 % og 33,3 % lysnivå.

Lysnivå	HPS (Systemeffekt)	Antall	Lysrør (Systemeffekt)	Antall	Totalt[W]
S1 (100%)	115W	316	106W	49	<b>41534</b>
S2 (66,7%)	115W	204	106W	60	<b>29820</b>
S3 (33,3%)	115W	98	106W	84	<b>20174</b>
Natt			106W	52	<b>5512</b>

Tabell 6.4: Effektforbruk for hele tunnelen ved ulike lysnivå over døgnet.

Effektforbruket reduseres relativt mye når lysnivået faller. Når lysnivået faller under 50 cd/m<sup>2</sup>, reduseres lengden på adaptasjonssonen (innkjøring- og overgangssone), slik at den indre sonen blir lengre. Av denne grunn blir flere lysrørarmaturer koblet inn etter hvert som luminansnivået faller.

## 6.3 Moderne belysning

### 6.3.1 Beregning i RELUX Tunnel

Moderne belysning inneholder intelligent styring av belysningsanlegget som gir mulighet for dimming av lysarmaturene. Det har blitt valgt å bruke dimming på alle armaturene, både HPS-armaturer i innkjøring- og overgangssonen samt LED armaturer i indre sone og som nattbelysning. Siden Jønjljotunnelen har dimensjonerende ÅDT på 2000, regnes den som en lavtrafikkert tunnel der LED egner seg godt som belysning i indre sone og nattbelysning der armaturene kan dimmes momentant.

Følgende valg blei tatt ved utforming av belysningsanlegget:

- To innkoblingstrinn pluss to dimmetrinn for dagsbelysning (innkjøring- og overgangssone), 100 %, 75 %, 50 % og 25 % luminansnivå.
- Dimming av HPS- lamper i innkjøring- og overgangssonen (ned til 50 %).
- To innkoblingstrinn i indre sone (dags og nattbelysning)
- Dimming av LED (100 % ved trafikk i tunnelen og 20 % i perioder uten trafikk).

- Armatur for indre sone og nattbelysning: 45W LED.
- Armatur for innkjøring- og overgangssone: 100W og 150W HPS.
- Trafikksensorer plasseres 200 m foran hver tunnelåpning med en delay-tid på 3 minutt.

Reguleringsgruppe	S1	S2	S3	S4	Indre sone
<b>Adaptasjon</b>					
<b>1</b>	100 %	50 %	50 %	-	-
<b>2</b>	100 %	100 %	50 %	50 %	-
<b>Indre sone</b>					
<b>3</b>	20-100%	20-100%	20-100%	20-100%	20-100%
<b>Prosent Lh</b>	100 %	75 %	50 %	25 %	
<b>Lth [cd/m<sup>2</sup>]</b>	50	37,5	25	12,5	
<b>Lengde adaptasjonssone</b>	208m	183m	156m	123m	

Tabell 6.5: Regulering av armaturer/armaturgrupper.

Forklaring til tabellen:

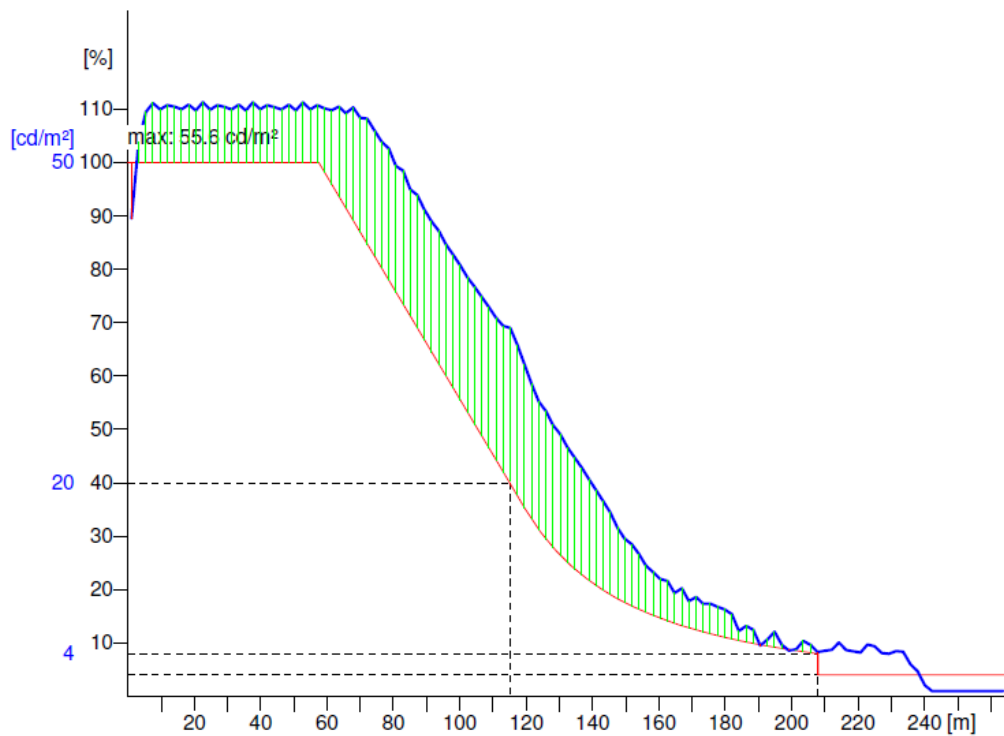
- S1, S2, S3 og S4 er de fire lysnivåene (100 %, 75 %, 50 % og 25 % lysnivå)
- Adaptasjon = innkjøringsone + overgangssone
- Reguleringsgruppe 1 og 2 gjelder for innkjøring- og overgangssone.
- Reguleringsgruppe 4 gjelder for indre sone ved dagsbelysning
- $L_{th}$  er luminansen i innkjøringssonen og viser minimumskrav.
- Lengden på adaptasjonssonen varierer i takt med lysnivået ute. Ved lavere lysnivå ute, blir adaptasjonssonen kortere i følge kravene fra CIE, som RELUX Tunnel er forhåndsprogrammert med.
- Belysning i indre sone har 4 innkoblingstrinn som ikke vises i tabellen. Med fire ulike luminansnivå (S1, S2, S3 og S4), blir det variasjon i lengden på adaptasjonssonen, noe som medfører fire variasjoner i indre sone der LED – armaturene kobles inn/ut etter behov.

Når lysnivået ute er på sitt høyeste, lyser begge armaturgruppene (reguleringsgruppene) på 100 %, med andre ord *alle* armaturene i adaptasjonssonen står på fult. Når Adaptasjonsluminansen faller til 37,5 cd/m<sup>2</sup>, dimmes gruppe 1 til 50 %, mens gruppe 2 lyser på 100 %. Når adaptasjonsluminansen faller ned til 25 cd/m<sup>2</sup>, lyser både gruppe 1 og 2 på 50 %. Ved 12,5 cd/m<sup>2</sup>, slukkes gruppe 1 helt, mens gruppe 2 lyser på 50 %.

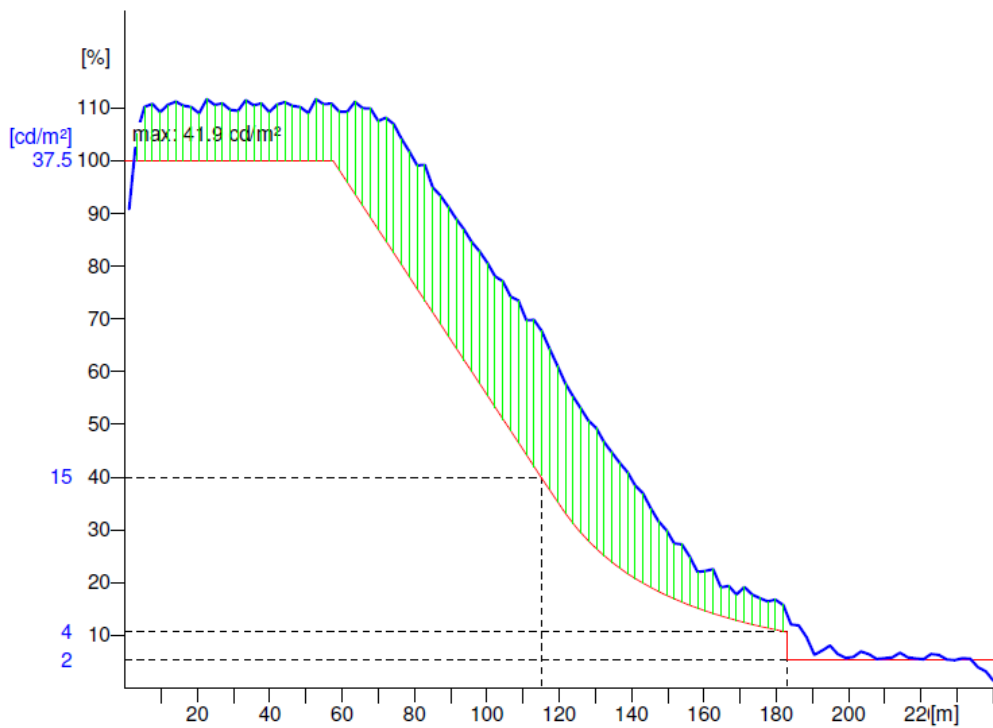
Etter mye testing og beregning, blei det konkludert å benytte 100W og 150W HPS lamper i innkjøring og overgangssonen. Grunnen til dette er at det var satt fokus på å følge den heltrukne linjen i figur 2.3 som angir minimumskravene på best mulig måte.

De fire neste figurene viser luminansreduksjonskurve ved 100 %, 75 %, 50 % og 25 % luminansnivå i innkjøring- og overgangssonen. Igjen blei det bestemt å sette

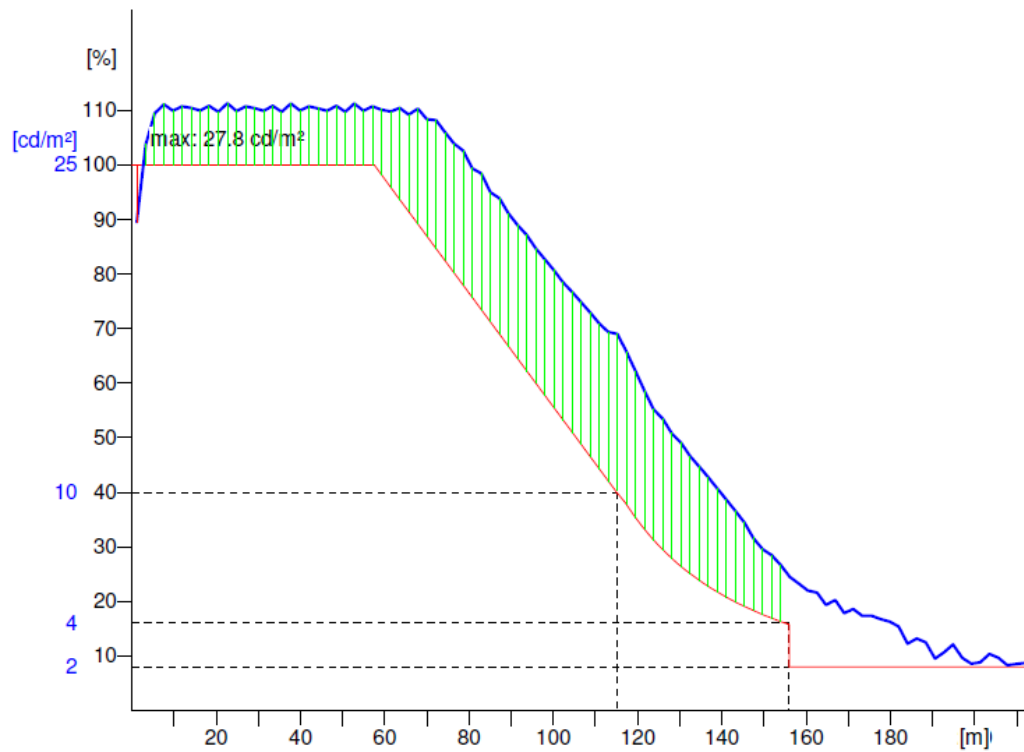
luminansverdiene litt over minimumskrav, noe som er normalt. Dette vises i det grønne området på figurene.



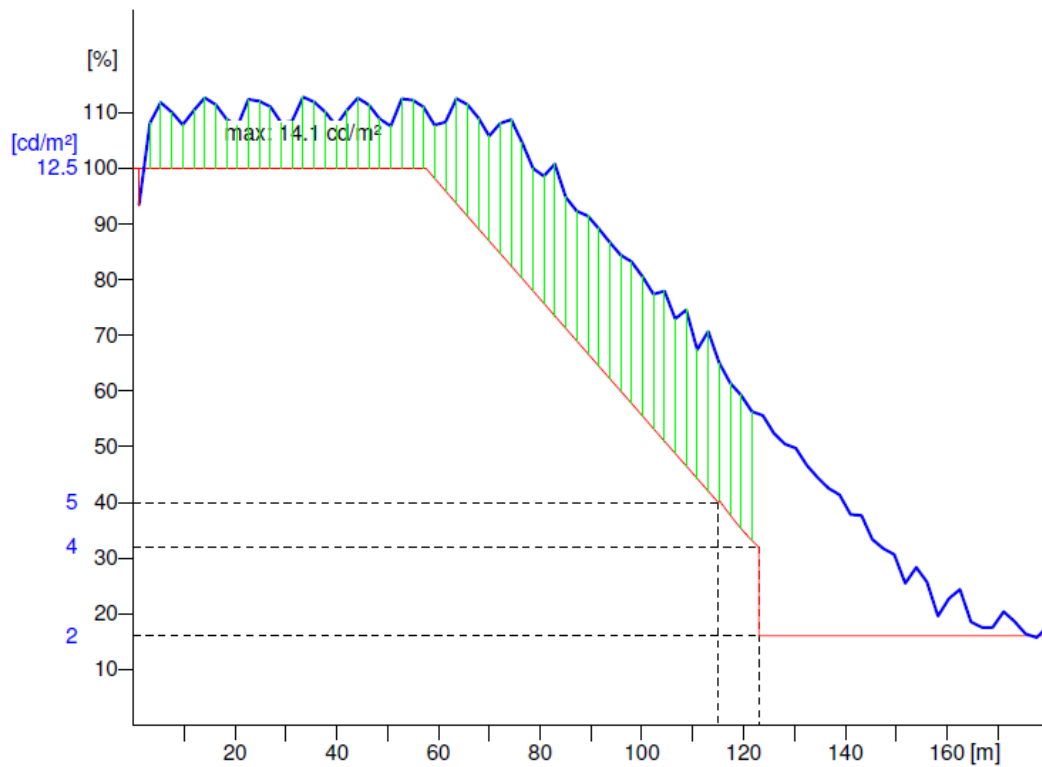
Figur 6.9: Luminansreduksjonskurve ved 100 % luminansnivå [ $50 \text{ cd/m}^2$ ]



Figur 6.10: Luminansreduksjonskurve ved 75 % luminansnivå [ $37,5 \text{ cd/m}^2$ ]



Figur 6.11: Luminansreduksjonskurve ved 50 % luminansnivå [25 cd/m<sup>2</sup>]



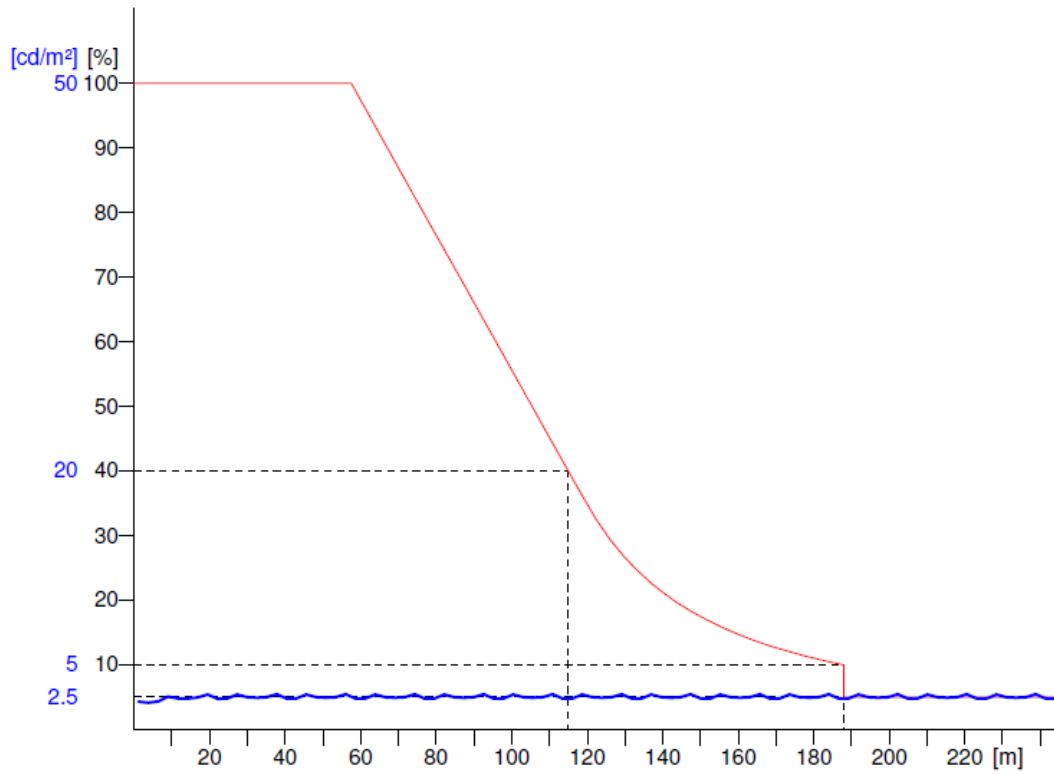
Figur 6.12: Luminansreduksjonskurve ved 25 % luminansnivå [12,5 cd/m<sup>2</sup>]

Luminansreduksjonskurven blir noe finere ved 100 % lysnivå og 50 % lysnivå enn ved 75 % og 25 %. Det er fordi ved 100 % og 50 %, lyser alle lampene på likt nivå, dvs alle lampene lyser på 100 % eller 50 %. Ved 75 % luminansnivå lyser gruppe 1 på 50 %, mens gruppe 2 lyser på 100 %, noe som skaper litt mer variasjon i lysnivå. Det samme gjelder for 25 % luminansnivå der gruppe 1 har slukket helt, mens gruppe 2 lyser på 50 %. Likevel har luminansreduksjonskurvene et fint forløp og faller innenfor kravene.

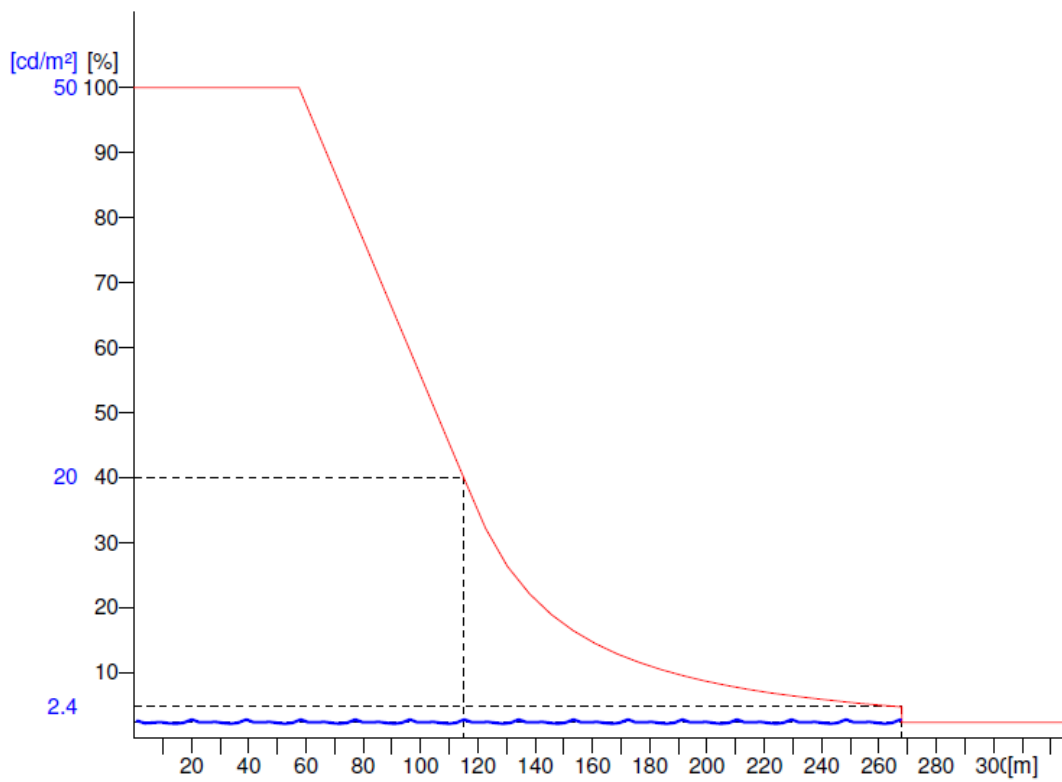
Når det gjelder belysning i indre sone og nattbelysning, falt valget på LED-armaturer. Grunnen til dette er at LED kan dimmes momentant, og i perioder uten trafikk, kan armaturene dimmes helt ned til 20 %. Det blei valgt å ha 20 % som minimumsverdi slik at fotgjengere og syklister kan orientere seg i tunnelen i perioder uten motortrafikk. LED-armaturer benyttes kun i indre sone om dagen og i hele tunnelen om natta. Det som kunne være aktuelt er å inkludere bevegelsesdetektorer som registrerer de myke trafikantene også, slik at armaturene kunne dimmes ned til enda lavere verdier. En annen fordel med dette er at dersom slike bevegelsesdetektorer vært inkludert, kunne armaturene i indre sone dimmes ned til veiluminansen falt til  $0,5 \text{ cd/m}^2$  istedenfor  $2 \text{ cd/m}^2$  på dagtid og  $1 \text{ cd/m}^2$  om natta der det ikke er registrert fotgjengere eller syklister. De to neste figurene viser luminansverdiene for indre sone om dagen og hele tunnelen om natta.

Når det gjelder LED-armaturer, er armaturene delt inn i nattbelysning og dagsbelysning. Siden det er høyere krav om dagen, blir armaturene plassert slik at alle armaturene lyser om dagen, mens annenhver armatur lyser om natta. Etter beregninger i RELUX blei det konkludert å bruke 9,5 m avstand mellom hver armatur der annenhver armatur lyser om natta. Luminansverdiene blir  $2,5 \text{ cd/m}^2$  om dagen og  $1,2 \text{ cd/m}^2$  om natta. Figur 6.13 og 6.14 viser luminansforløpet i de to tilfellene. Verdiene er over minimumskravene, som er normalt å ha ved prosjektering.

Det er verdt å merke seg at selv om figurene viser luminansverdier i innkjøringszone, gjelder figur 6.13 for indre sone og 6.14 for hele tunnelen om natta. Som nevnt før, er det slik RELUX presenterer svarene.



Figur 6.13: Luminansverdi i indre sone ved dagsbelysning [ $2,5 \text{ cd/m}^2$ ].



Figur 6.14: Luminansverdi i indre sone ved dagsbelysning [ $2,5 \text{ cd/m}^2$ ].



Tabell 6.6 viser et utklipp for de første 12 armaturene i innkjøringssonen og hvilke armaturgrupper er slått på/av ved ulike luminansnivåer for dagsbelysning. Komplette liste finnes i vedlegg 3.

Nr.	Pos. X [m]	Effektnivå	Innkobl.	grS1	S2	S3	S4	Int.1
1	5.10	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
2	6.47	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
3	7.84	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
4	9.21	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
5	10.58	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
6	11.95	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
7	13.32	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
8	14.70	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
9	16.07	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
10	17.44	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
11	18.81	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
12	20.18	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%

Tabell 6.6: Regulering med 2 armaturgrupper og 2 dimmefunksjoner for dagsbelysning (innkjøring- og overgangssone).

Akkurat som ved beregning for tradisjonell belysningsanlegg, blei det testet/ beregnet med HPS-lamper med forskjellige effekter for “moderne belysning” med intelligent styringssystem. Det blei forsøkt med høytrykksnatriumlampe på 250W i tillegg til de 150W og 100W som, men uten å lykkes med noe gode resultat. Igjen blei problemet med å følge luminansreduksjonskurven i innkjøring- og overgangssonen presist. Resultatene blei ganske lik det som vises i figur 5.7 og 5.8, med enda verre utfall ved de laveste luminansverdiene. Av denne grunn blei det bestemt å benytte kun 100W og 150W HPS-lamper som enten lyser på 100 %, 50 % eller er slått av.

## 6.2.2 Effektberegning

Total effektforbruk for armaturene som blei benyttet er gitt i tabell 6.7. Armatureffekter for HPS lamper ved 50 % lysnivå blei funnet ved å kontakte Siteco direkte og Multilux for LED-armaturen. Etter samtale med Trygve Jarsve fra Siteco blei det fortalt at ved å dimme HPS lampene til 50 % lys, kan en regne med at total systemeffekt/armatureffekt reduseres med 35 %. Litt variasjon vil det være fra lampe fra lampe, men i gjennomsnitt reduseres armatureffekten med 35 %, og en kan regne med de verdiene uten å få store feil. Når det gjelder LED-armaturer, reduseres systemeffekten lineært med lysnivået. For LED kan en regne med at når lysnivået reduseres til 20 %, reduseres systemeffekten/armatureffekten tilsvarende.

Type	Lampeeffekt	Systemeffekt 100 % lys	Systemeffekt 50 % lys	Systemeffekt 20 % lys
HPS 100W	100W	115W	75W	-
HPS 150 W	150W	176W	115W	-
LED 45 W	45W	66W	-	13W

Tabell 6.7: Armatureffekter ved ulike lysnivå for HPS og LED lamper.

I det neste presenteres det hvor stor effektforbruk belysningsanlegget har ved ulike luminansnivåer (4 for dagsbelysning og en for nattbelysning) og når de ulike armaturgruppene er dimmet eller slått av/på. Siden dimming av LED armaturer avhenger om det er trafikk til stede eller ikke, blir beregningene gjort for begge deler. I tabell 5.8 presenteres effektverdiene for hele tunnelen med og uten trafikk, og forskjellen i effektforbruk i prosent.

HPS armaturene kan ikke dimmes momentant, og har derfor faste verdier i ulike perioder. Enten er dem slått på til full styrke, dimmet til 50 % lysnivå eller slått av, og beholder den samme funksjonen uansett, enten det er trafikk i tunnelen eller ikke.

- Uten trafikk er LED-armaturene dimmet til 20 % lysnivå
- Med trafikk er LED armaturene satt til 100 % lysnivå.

I vedlegg 3 finnes det total armaturliste over armaturene som blir benyttet ved ulike lysnivåer i innkjøring og overgangssone både for S1, S2, S3 og S4. Med andre ord dagsbelysning 1, 2, 3 og 4 og hvilke armaturer er slått på, satt til 50 % lysutbytte eller slått av, samt hvor mange av dem blir benyttet. På bakgrunn av dette som blei resultatene fra RELUX, har det blitt beregnet total effektforbruk for de 5 tilfellene (fire for dagsbelysning og en for nattbelysning).

Tabell 6.8 viser total effektforbruk og reduksjon av effektforbruket i prosent.

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>Natt</b>
<b>Total effektforbruk m/trafikk [W]</b>	38258W	32452W	21982W	13074W	2640W
<b>Total effektforbruk u/trafikk [W]</b>	36251,6W	29970,4W	19289,2W	10117,2W	528W
<b>Reduksjon i prosent</b>	5,2 %	7,6 %	12,3 %	22,6 %	80 %

*Tabell 6.8: Total effektforbruk ved trafikk til stede.*

Som det kan sees på i tabellen blir reduksjonen i effektforbruk lavest når dagslyset er på sitt høyeste (100 % luminansverdi). Når det ikke er noe trafikk i tunnelen i denne perioden, reduseres det totale effektforbruket for tunnelen kun med 5,2 %. Etter hvert som dagslyset reduseres, øker forskjellen i effektforbruk med og uten trafikk i tunnelen. Hovedårsaken til dette er at ved lavere luminansverdier, blir summen av innkjøring- og overgangssonen kortere, noe som gjør at færre HPS-armaturer lyser, mens flere LED-armaturer blir tatt i bruk. Av denne grunn øker antallet armaturer som dimmes momentant og større reduksjon i total effektforbruk forekommer som et resultat av dette. Det er helt klart nattbelysningen som skiller seg ut, og det største sparepotensialet ligger i nattperioden. Effektforbruket reduseres med hele 80 % når det registreres at det ikke er trafikk i tunnelen. For lavtrafikkerte tunneler bør det derfor brukes LED som nattbelysning med momentan dimming.

## 6.4 Energisparepotensiale

Selv om dimensjonerende ÅDT for Jønjljotunnelen er 2000, må ikke beregningene for besparelse i energiforbruk knyttes direkte til den. ÅDT på 2000 gjelder for år 2030 og skal virke dimensjonerende ved utforming av belyningsanlegget. ÅDT for år 2011 er ca. 1000 etter info fra Jolanta Krocak fra Statens vegvesen. Dette vil i si at muligheten for besparelse i dag kan beregnes med ÅDT = 1000, og for 20 år frem i tid er det rimelig å beregne med ÅDT på 2000. Besparelsen i starten vil være størst, og vil gradvis avta etter som årene går. Når det skal sees på hvor de største sparemulighetene ligger ved å benytte intelligent styringssystem, er det nesten nødvendig å se på hvor store mulighetene for dimming er. Derfor har det blitt gjennomført beregninger for å se hvor mye av tiden over et døgn lysanlegget kan dimmes ved å gjøre noen antagelser.

Følgende antagelser blei tatt:

- Trafikksensorer plasseres på begge sider av tunnelen ca. 200m fra tunnelåpningene, dvs avstand mellom registreringspunktene er 1210m.
- Trafikksensorene registrerer både innkommende og utgående trafikk, slik at det til enhver tid vites om det er trafikk i tunnelen eller ikke.
- Delay-tiden er satt til 2 minutt, det vil si at lysanlegget kan dimmes 2 minutt etter at siste bil har blitt registrert.
- Antatt trafikkfordeling over et døgn er vist i tabell 6.9.

Tid på døgnet	Prosentvis andel av ÅDT [%]
<b>07.00-10.00</b>	25
<b>10.00-14.00</b>	20
<b>14.00-17.00</b>	25
<b>17.00-21.00</b>	15
<b>21.00-24.00</b>	10
<b>24.00-07.00</b>	5

Tabell 6.9: Antatt fordeling av trafikk over et døgn.

På bakgrunn av antagelsene som blei gjort har det blitt gjennomført beregninger både for ÅDT på 1000 og 2000, det vil si for i dag og for 20 år frem i tid. Dimensjonerende hastighet er 80 km/h og det tilsvarer at en bil bruker ca. 54 sekunder på å passere begge målepunktene.

	07.00- 10.00	10.00- 14.00	14.00- 17.00	17.00- 21.00	21.00- 24.00	00.00- 07.00
<b>Tid i minutter</b>	180	240	180	240	180	420
<b>Antall biler</b>	250	200	250	150	100	50
<b>Total tid alle biler bruker [min]</b>	227,5	182	227,5	136,5	91	45,5
<b>Total tid + delaytid [min]</b>	727,5	582	727,5	436,5	291	145,5
<b>Tid med dimming [min]</b>	0	0	0	0	0	274,5

Tabell 6.10: Tid med mulighet for dimming i ulike perioder over døgnet (ÅDT 1000).

	07.00- 10.00	10.00- 14.00	14.00- 17.00	17.00- 21.00	21.00- 24.00	00.00- 07.00
<b>Tid i minutter</b>	180	240	180	240	180	420
<b>Antall biler</b>	500	400	500	300	200	100
<b>Total tid alle biler bruker [min]</b>	455	364	455	273	182	91
<b>Total tid + delaytid [min]</b>	1455	1164	1455	873	582	291
<b>Tid med dimming [min]</b>	0	0	0	0	0	129

Tabell 6.11: Tid med mulighet for dimming i ulike perioder over døgnet (ÅDT 2000).

Forklaring til tabellen:

- *Tid i minutter* angir hvor mange minutt det er i den bestemte tidsperioden.
- *Antall biler* viser hvor mange biler passerer i hver enkel periode
- *Total tid alle biler bruker* angir hvor mange minutt alle bilene bruker til sammen i den gjeldende perioden.
- *Total tid + delaytid* er total tid inkludert delaytid.
- *Tid med dimming* angir hvor mange minutt LED-armaturene kan dimmes i de ulike periodene.

Med de antagelsene som blei tatt er det klart at nattperioden skiller seg ut. Det er viktig å merke seg at beregningene blei gjort ved at kun *en* bil passerer tunnelen om gangen, noe som selvsagt ikke er realistisk. Selvsagt vil det være slik at flere biler befinner seg i tunnelen samtidig, og dette gjelder sterkt for perioden fra morgen til kveld. I rushtiden vil det være høyere trafikk tetthet enn sent på kvelden eller om natta. Likevel kan resultatene fortelle litt om hvor store mulighetene en har får å dimme belysningsanlegget. Beregningene gjelder kun for LED-armaturene siden det er kun de som kan dimmes momentant. HPS-lampene lyser på sin forhåndsprogrammerte nivå uansett siden de er trege i oppstart og ikke egner seg godt til momentan dimming.

Det er vanskelig å si på forhånd hvor mye av tiden LED armaturene kan dimmes. Selv om resultatene viser at det ikke vil være noen mulighet for dette fra morgen til kveld, må det likevel antas at det til tider ikke vil være noe trafikk på dagtid slik at dimming skal kunne foregå likevel. På den andre siden er det viktig å huske på at dette er en tunnel med ÅDT rundt 1000 (i dag), noe som er relativt høyt til at momentan dimming skal kunne forekomme på dagtid. Trafikkfordelingen i praksis er heller ikke som antatt, men er en relativt grei antagelse for hvordan trafikk tettheten typisk varierer over et døgn. Det måtte antas en

tilnærmet fordeling av trafikken siden det ikke finnes tilgang på eksakte tall for Jønjljotunnelen.

Alt tatt i betraktning kan det konkluderes med at det er nattbelysning som vil utgjøre den største delen av besparelsen. Først og fremst er total armatureffekt mye lavere for LED-armaturene enn for lysrør som benyttes til tradisjonell tunnelbelysning. For det andre kan LED dimmes til svært lave effektverdier som øker besparelsen enda mer.

Siden tradisjonell belysningsanlegg har tre reguleringstrinn for dagsbelysning, mens det moderne anlegget med intelligent styring har fire, blir reguleringsforløpet ulikt. Det som kan sammenlignes direkte er nattbelysning. Når lysnivået ute er på det høyeste, dvs 100 % luminansnivå i innkjøringssone, kan også effektforbruket i denne perioden sammenlignes. Men med intelligent styring vil perioden med 100 % luminansnivå være kortere enn ved tradisjonell belysning. Det er neste steg for reduksjon av lysnivå med intelligent styring er på 70 % luminansnivå, mens den er 66,7 % ved tradisjonell belysning. Likevel er verdiene ganske nært hverandre og effektforbruket kan sammenlignes.

I tabell 6.12 vises total effektforbruk for 100 % luminansnivå og nattbelysning. Dimmet/ikke dimmet gjelder LED armaturer.

Belysning	100 % (S1)	Redusert effektforbruk	Natt	Redusert effektforbruk
Tradisjonell	41534 W		5512W	
Moderne (ikke dimmet)	38258W	7,90 %	2640W	52 %
Intelligent (dimmet)	36251,6W	12,70 %	528W	90 %

Tabell 6.12: Effektforbruk for S1 og nattbelysning.

Igjen er det nattbelysningen som skiller seg ut merkbart. Uten noen dimming av LED-armaturene vil det spares på rundt 52 % når det gjelder nattbelysning. Det vil si at minimal besparelse for nattbelysning er litt i overkant av 50 %, men vil i praksis bli enda høyere siden det vil være lite trafikk over natta og LED-armaturene kan dimmes ned en god del av nattperioden. Det moderne belysningsanlegget gir også en minimal besparelse på 7,9 % i perioden når dagsbelysningen er på sitt høyeste. Det blir vanskelig å sammenligne besparelsene ved 75 %, 66,7 %, 50 % og 25 % luminansnivå i innkjøringssonen direkte, men det er merkbart at moderne belysningsanlegg med intelligent styring gir lavere effektforbruk totalt.

På bakgrunn av beregningene som blei gjort for Jønjljotunnelen, vil det anbefales å benytte LED armaturer i lavtrafikkerte tunneler. De kan benyttes både i indre sone på dagtid og som nattbelysning i hele tunnelen. Det er helt klart at den største delen av besparelsen ligger i nattbelysningen. Tunneler med lavere ÅDT, og spesielt tunneler av klasse A ville hatt enda større besparelser. Spesielt ville besparelsen øke betraktelig for dagsbelysning siden det ved lav trafikk tetthet er mulig å dimme LED-armaturer i indre sone en god del av tiden.

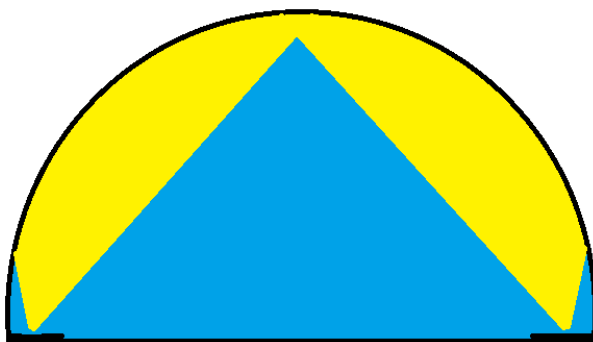


## 7 INGROUNG TUNNELBELYSNING

### 7.1 En ny ide

En ny ide om tunnelbelysning kom allerede i starten i planleggingsfasen. Denne type belysning baserer seg på installasjon av “ingroung-armaturer” eller med andre ord “gulvarmaturer”. Hovedmålet var å gjennomføre en test på belysning av tunnel med armaturer installert på bakken i veikanten inne i tunnelen. Dagens veinormal setter krav om luminansnivå på kjørebane når det gjelder tunnelbelysning. Med tradisjonell utforming av belysningsanlegget der armaturene plasseres i tak, er hovedmålet nettopp å belyse kjørefeltet. Med slik installasjon er fokuset rettet mot luminansen på kjørefeltet, men hva med resten av tunnelen? Så var spørsmålet: hvordan vil vi mennesker oppleve å kjøre gjennom en tunnel der det er større fokus på å belyse hele tunnelen (vegger, tak, kjørebane) istedenfor å ha hovedfokus på kun veibanen?

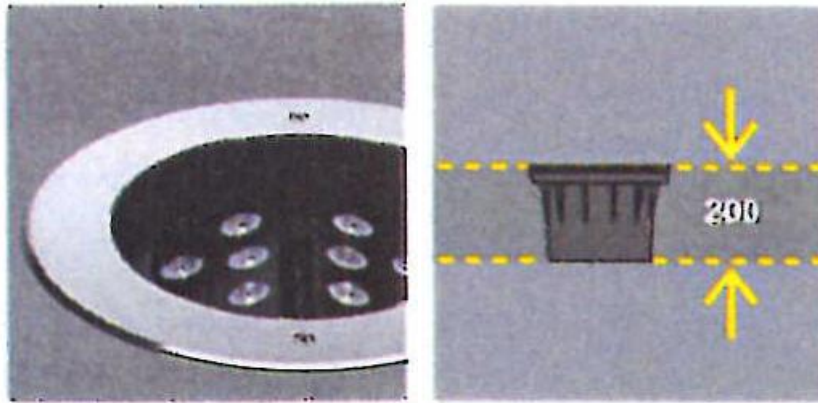
Dette var et interessant emne som ble testet ut gjennom programmet Relux Tunnel. Programmet gir mulighet til å teste ut ulike armaturer med forskjellig installasjonsmetode. Deretter kan en sette inn ulike kjøretøy, samt menneskelige figurer som illustrerer de myke trafikantene for deretter å se om de er bra eller dårlig synlige for en bilist som kjører gjennom tunnelen. Med armaturer plassert i gulv, blir det vanskelig å dekke kravene om luminans på veibanen som oppgis i veinormalen, siden lysspredningen er rettet oppover mot vegger og tak. Derimot var det interesse for å prøve ut den nye belysningsmetoden og se på hvordan den ville fungert med hensyn på komfort og sikkerhet, samt muligheten for å spare på driftskostnadene. Figur 7.1 illustrerer hvordan dette vart tenkt i utgangspunktet.



*Figur 7.1: Ny ide om tunnelbelysning*

### 7.2 Valg av armatur

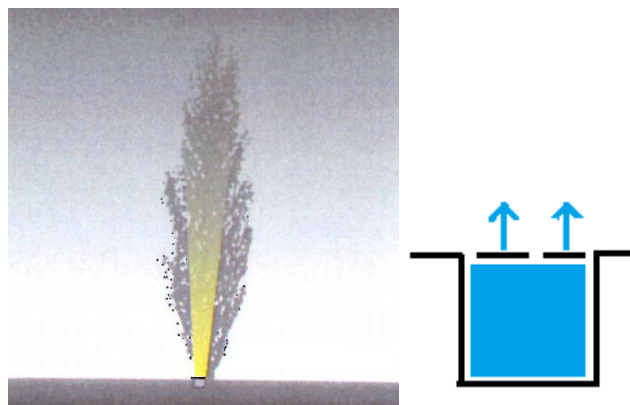
Sammen med Torbjørn Selnes fra Sweco blei det diskutert hvilke armaturer som ville egne seg for denne type belysning. Etter kort gjennomgang kom det forslag om fire ulike LED-armaturer. Eller rettere sagt en type LED-armatur med fire ulike lysspredninger. Figur 7.2 viser hvordan denne armaturen ser ut. Armaturen er utstyrt med 12 stk lysdioder på 1W, det vil si totalt 12W. Total systemeffekt (armatureffekt) er på 15W. Armaturen er delt inn i to deler (halvsirkler) med seks lysdioder på hver side. Deretter kan hver halvdel justeres hver for seg slik at en oppnår forskjellig lysspredning. Bildene fra armaturen, det vil si figur 7.2 til 7.5 er kopiert fra dokument sendt over mail fra Torbjørn Selnes.



Figur 7.2: LED-armatur som blei brukt under testing av “inground” belysning i tunnel.

Som nevnt før, kan de to halvsirklene dreies om i ulike vinkelposisjoner slik at en oppnår ulik lysspredning. Fire ulike lysspredninger vises under, samt hvor stor belysningsstyrke de gir i ulike avstander.

- **Flat belysning, 10 grader lysvinkel:**



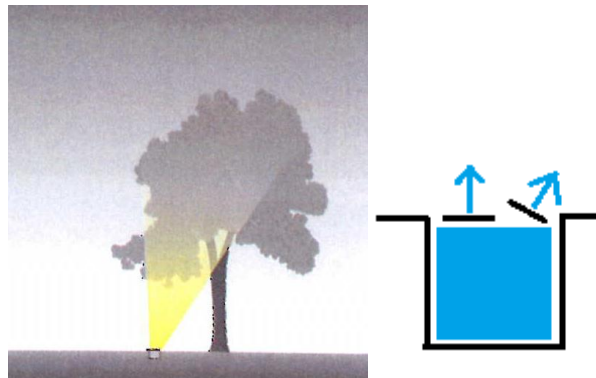
Figur 7.3: Lysspredning på 10 grader, begge halvsirklene orienteres rett oppover.

Avstand	Emax	Emid
16 m	40 lux	30 lux
24 m	20 lux	14 lux
32 m	10 lux	8 lux

Tabbel 7.1: Belysningsstyrke med 10 grader lysvinkel, flat belysning.



- **Semiflat belysning, 20 grader lysvinkel:**

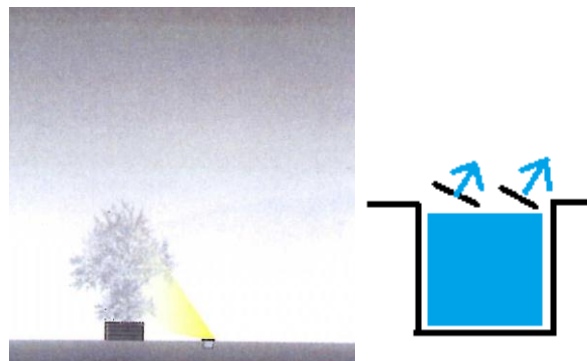


Figur 7.4: Lysspredning på 20 grader, en halvsirkel dreies utover.

Avstand	E <sub>max</sub>	E <sub>mid</sub>
8 m	85 lux	60 lux
16 m	20 lux	15 lux
24 m	10 lux	7 lux

Tabbel 7.2: Belysningsstyrke med 20 grader lysvinkel, semiflat belysning.

- **“Oblique” belysning, 10 grader lysvinkel:**

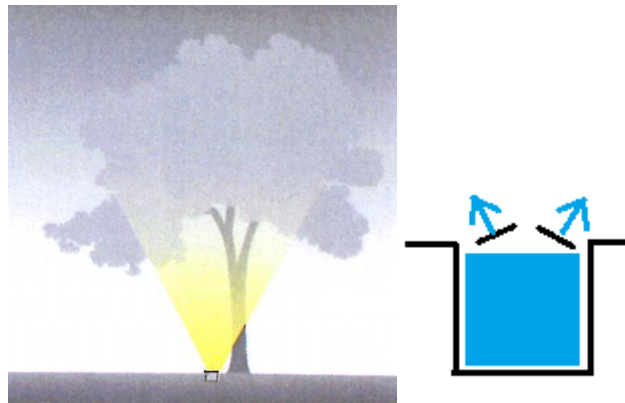


Figur 7.5: Lysspredning på 20 grader, begge halvsirklene dreies utover i samme retning.

Avstand	E <sub>max</sub>	E <sub>mid</sub>
4 m	500 lux	150 lux
8 m	130 lux	40 lux
12 m	60 lux	18 lux

Tabbel 7.3: Belysningsstyrke med 10 grader lysvinkel, “Oblique” belysning.

- “Divergent” belysning, 40 grader lysvinkel:



Figur 7.6: Lysspredning på 40 grader, begge halvsirklene dreies utover motsatt retning.

Avstand	Emax	Emid
4 m	250 lux	85 lux
8 m	60 lux	20 lux
12 m	30 lux	10 lux

Tabbel 7.4: Belysningsstyrke med 40 grader lysvinkel, “Divergent” belysning.

Alle fire typer belysning blei testet ut i Relux. Det ble fort konkludert at armaturer med lav lysvinkel egner seg svært dårlig på grunn av at det oppstår stor forskjell i belysning, med andre ord dårlig belyningsjevnhet. Med en lysvinkel på 10 grader oppstår det stor variasjon i belysning gjennom tunnelen, slik at enkelte områder er veldig godt belyst, mens på andre svært dårlig og fremstår som “mørke flekker”. Dette ble prøvd å forbedre med å benytte flere armaturer, men kunne likevel ikke få frem noe bra belyningsjevnhet slik at det kunne føles naturlig. Selvsagt oppnås det bedre jevnhet med flere armaturer, men med en lysvinkel på 10 grader vil en måtte bruke veldig mange armaturer med kort avstand mellom dem, og det ville slett ikke lønne seg. Dette gjelder både “flat” og “oblique” belysning, selv om oblique-metoden ga noe mer jevnhet.

Semiflat belysning ga noe mer jevnhet, men egnet seg dårligere i forhold til “divergent” belysning. Divergent belysning ble konkludert som den beste metoden å teste videre med, mest på grunn av god belyningsjevnhet samt at det kan benyttes færre armaturer og besparelsen blir større.

## 7.3 Testing i Relux Tunnel

### 7.3.1 Generelt

I Relux ble det testet ut med belysning i tunnel med armaturer montert i bakken på veikanten/gangfeltet der målet var å belyse hele tunnelen, spesielt vegger og tak. Hovedmålet var å belyse tunnelen på en slik måte at mest mulig overflate ble belyst for å gi en følelse av komfort og sikker gjennomkjøring. Siden dette var en ny metode for belysning i tunnel, ble det prøvd ut både med ulik avstand mellom armaturer og ulike monteringsposisjoner. Avstanden mellom armaturene varierte mellom fra 5 m til 20 m, med tre forskjellige monteringsposisjon. Med monteringsposisjon menes det hvordan armaturen er montert i forhold til veibanen. Først ble det testet ut med armaturer montert vannrett, og deretter med en monteringsvinkel på 30 og 60 grader i forhold til veibanen. Tegning og beregninger ble gjort for Jønjljotunnelen, slik at beregningene fra kapittel 6 kunne sammenlignes med resultatene her.

Denne belysningsmetoden vil ikke kunne belyse veibanen nok for at kravene om luminans fra veinormalen skal kunne oppnås. Fokuset ble derfor rettet mot belysning tunnelen som helhet, samt teste ut hvor godt trafikken og fotgjengere ble synlige for en bilist som kjører gjennom. Dette ble testet ut i tunnel med hvite vegger på 3 m med en refleksjonsfaktor på 50 %, og deretter i tunnel der både vegger og tak er komplett dekket med hvitt materiale med samme refleksjonsverdi. Det er vanlig at dagens tunneler, spesielt de med tillat gang- og sykkeltrafikk er utrustet med hvite plater på vegger for å gjøre de myke trafikantene mer synlige, samt øke bilførerens komfort siden hvite vegger gjør tunnelen mer belyst.

I første omgang ble det testet ut antall nødvendige armaturer eller minimal avstand mellom dem for å oppnå en jevn belysning i tunnelen. Ved stor avstand mellom dem oppstår det stor variasjon i belysningsstyrke slik at enkelte områder blir godt belyst, mens andre fremstår som mørke flekker. Denne type belysning fører til at veibanen blir mindre belyst, mens vegger og tak belyses i mye større grad. Dette illustreres bedre gjennom bildene som kommer i det følgende. Deretter ble det testet ut hvor godt synlig bilene og fotgjengere blir ved de ulike metodene.

### 7.3.2 Tunnel med 3 m høye vegger med refleksjonsfaktor på 50 %.

Armaturer montert vannrett i veikanten:

De fire neste bildene viser belysning av tunnelen når armaturene monteres vannrett i veikanten og lyser oppover mot vegger og tak. Avstanden varierer fra 20 m til 5 m. Problemet med vannrett montering av armaturene er den dårlige belysningsjevnheten. Uansett avstand mellom dem, blir det store variasjoner i belysningstyrke, slik at tunnelen blir relativt dårlig belyst, og både kjøretøy og fotgjengere blir svært dårlig belyst. Selvsagt kan det oppnås bedre belysningsjevnhet med å plassere armaturer med kun 1 m eller 0,5 m mellom hverandre, men dette blir ikke tatt hensyn til siden bedre løsning finnes som kommer senere.



*Figur 7.7: 20 meter avstand mellom armaturer montert vannrett.*



*Figur 7.8: 15 meter avstand mellom armaturer montert vannrett.*



*Figur 7.9: 10 meter avstand mellom armaturer montert vannrett.*



*Figur 6.10: 5 meter avstand mellom armaturer montert vannrett*

For å oppnå noe god belyningsjevnhet kreves det minst 5 m avstand mellom armaturene slik figur 6.10 viser. Med økende avstand blir det større variasjon i belysning. Med en avstand på 20 m er belyningsjevnheten så dårlig at mange områder fremstår som mørke flekker. Denne monteringsmetoden gjør at veggene på siden blir mye bedre belyst enn tak og veibane og det oppstår stor ujevnhet i belysning. Senere skal vi se på hvor godt motorkjøretøy og fotgjengere blir belyst ved denne monteringsmetoden, men først presenteres to nye monteringsmetoder og hvordan belyningsjevnheten blir.

Armaturer montert i vinkel 30 grader i forhold til veikanten:

Når armaturene dreies en viss vinkel innover mot kjørebanelen, blir tunnelen relativt bedre belyst. Dette forekommer som et resultat av at lyset fra armaturene treffer større overflate direkte, og dermed blir også mer lys reflektert. Som følge av dette oppnås det bedre belyningsjevnheter i forhold til når armaturene er montert vannrett. Med en monteringsvinkel på 30 grader oppnås det en god belyningsjevnheter over vegger og tak når avstanden er mellom 10 og 15 meter. En avstand på 10 meter gir god belyningsjevnheter på vegger og tak, og tunnelen som helhet blir bedre belyst.



*Figur 7.11: 20 meter avstand mellom armaturer montert 30 grader i forhold til veikanten.*

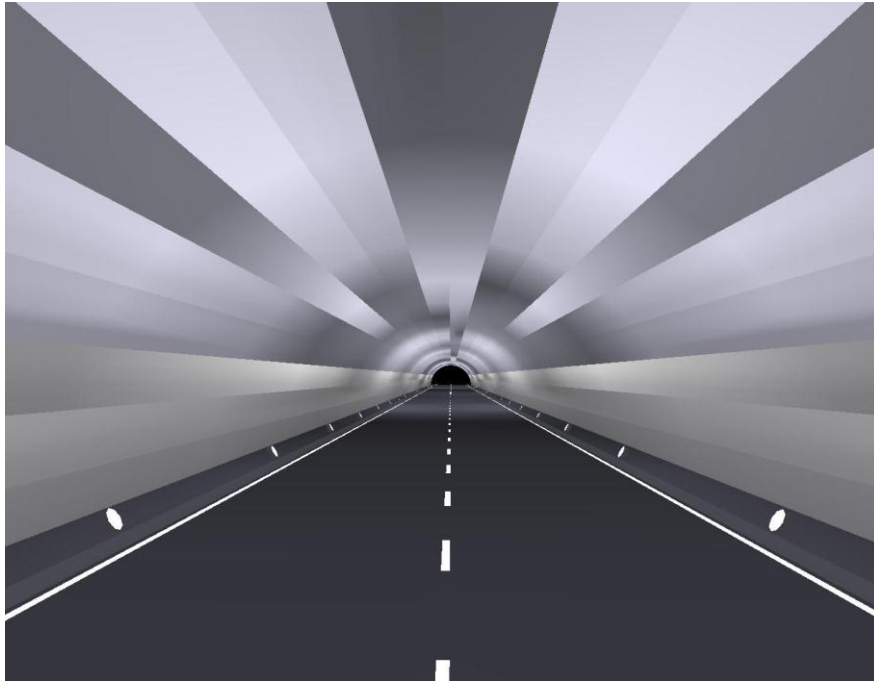


*Figur 7.12: 10 meter avstand mellom armaturer montert 30 grader i forhold til veikanten.*

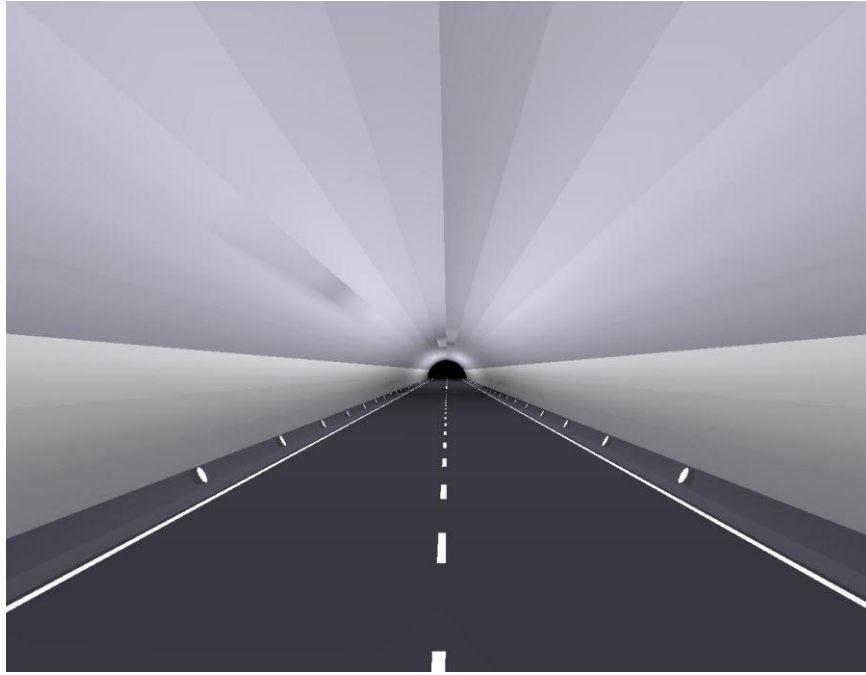
Som det fremstår på figur 7.11, blir belyningsjevnheten meget dårlig ved 20 meter avstand mellom armaturene. Med minkende avstand oppnås det ikke bare bedre belyningsjevnhet, men også vegger blir bedre belyst som et resultat av flere armaturer og mer lys reflektert. Med 10 m som avstand (figur 7.12) oppnås det mye bedre belyningsjevnhet.

Armaturer montert i vinkel 60 grader i forhold til veikanten:

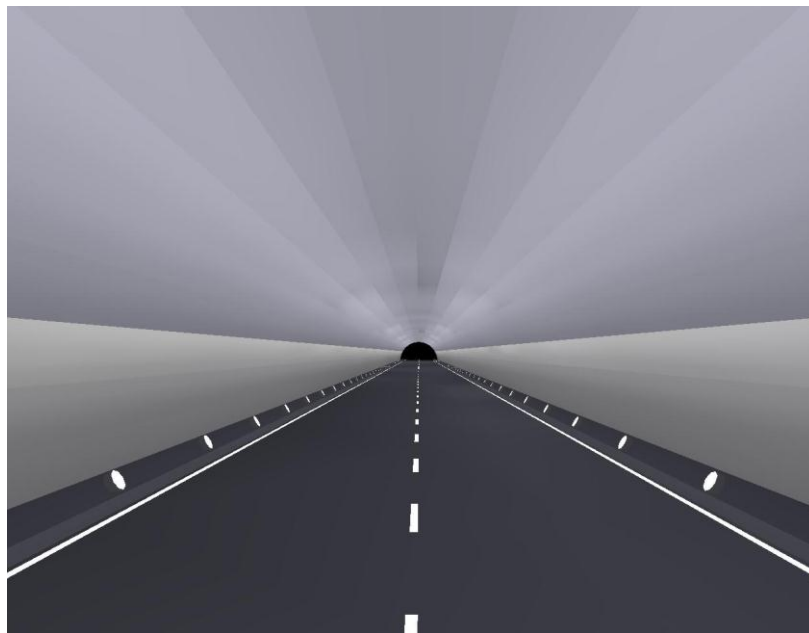
Når armaturene monteres i større vinkel i forhold til veikanten, blir tunnelen enda bedre belyst. Dette forekommer som resultat av at mer lys fra armaturene treffer de hvite veggene direkte og dermed blir enda mer lys reflektert. De tre neste figurene viser belysning av tunnelen når monteringsvinkelen er 60 grader i forhold til veikanten.



*Figur 7.13: 20 meter avstand mellom armaturer montert 60 grader i forhold til veikanten.*



*Figur 7.14: 15 meter avstand mellom armaturer montert 60 grader i forhold til veikanten.*



*Figur 7.15: 10 meter avstand mellom armaturer montert 60 grader i forhold til veikanten.*

Som det kan sees på bildene, blir tunnelen mye bedre belyst når monteringsvinkelen er 60 grader. En meget god belyningsjevnhet oppnås allerede med 15 m avstand mellom armaturene, og enda bedre med 10 m avstand. Som sagt tidligere er dette et resultat av mer lys som sendes direkte mot de hvite veggene, som i neste steg reflekterer mer lys. Tunnelen som helhet blir meget godt belyst. Ved å sammenligne bildene fra de tre monteringsmetodene, merkes det relativ stor forskjell i belyningsnivået i tunnelen og 60 graders monteringsvinkel fremstår helt klart best.



#### 7.4 Synlighet av kjøretøy og fotgjengere

Hovedmålet med belysning i tunnel er først og fremst å gjøre kjøretøy og fotgjengere synlig slik at gjennomkjøringen skal skje på en sikker måte med minimal risiko for ulykker. Da må det testes ut hvordan “inground” belysning forholder seg til dette og hvor synlige blir trafikantene for en bilist som kjører gjennom tunnelen. Dette ble testet ut for de tre belysningsmetodene, med en armaturavstand på 10 m. Med armaturer montert i veikanten det lyset i hovedsak spres mot vegger og tak, ville det være bedre dersom hele tunnelen, det vil si både vegger og tak, er komplett dekket med hvite veggplater. Dette ble derfor testet ut der refleksjonsfaktoren er 50 % og sammenlignet med tunnel som kun har hvite vegger på 3 meter. Resultatene vises best ved å presentere dette gjennom bilder som vises i det følgende.



*Figur 7.16: Armaturer montert vannrett i veikanten, hvite vegger på 3 meter.*



*Figur 7.17: Armaturer montert vannrett i veikanten, komplett tunnel dekket med hvite plater:*

Armaturer montert vannrett i veikanten gir relativ dårlig belysning av kjøretøy og fotgjengere. Når hele tunnelen dekkes av hvite plater istedenfor kun 3 meter høye vegger, blir tunnelen noe bedre belyst, men trafikantene er fortsatt lite synlige. Dette forekommer først og fremst fordi lyset som spres direkte fra armaturene, er rettet oppover. Dette fører til at både kjøretøy og fotgjengere får lite lys rettet mot seg, slik at det reflekteres relativt lite lys fra dem og de fremstår lite synlige for en bilist. Denne metoden egner seg svært dårlig for belysning av tunneler, først og fremst på grunn av trafikantenes sikkerhet, men også fordi den gir en dårlig belysning av tunnelen generelt med tanke på antall installerte armaturer. I det følgende sees det på synlighet av trafikantene når armaturene monteres i en vinkel på 30 og 60 grader i forhold til veikanten. Fortsatt gjelder:

- 10 m avstand mellom armaturer
- Refleksjonsfaktor på hvite plater er 50 %.

Det brukes samme avstand mellom armaturene slik at synligheten av trafikantene skal kunne sammenlignes, og det skal kunne avgjøres hvilken metode gir best resultat.



*Figur 7.18: Armaturer montert 30 grader i forhold til veikanten, hvite vegger på 3 meter.*



*Figur 7.19: Armaturer montert 30 grader i forhold til veikanten, komplett tunnel dekket med hvite plater.*



*Figur 7.20: Armaturer montert 60 grader i forhold til veikanten, hvite vegger på 3 meter.*



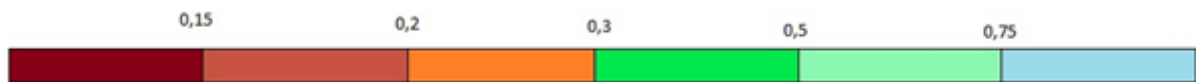
*Figur 7.21: Armaturer montert 60 grader i forhold til veikanten, komplett tunnel dekket med hvite plater.*

Som det fremstår på bildene øker synligheten av trafikantene betraktelig når armaturene dreies 30 grader og enda mer ved 60 graders vinkel. Dette forekommer som et resultat av ved større monteringsvinkel, vil mer direkte lys bli rettet mot kjøretøy og fotgjengere, noe som gir mer reflektert lys fra dem og dermed bedre synlighet. Synligheten blir større når hele tunnelen dekkes av hvite plater istedenfor kun vegger på 3 meter. Det er verdt å merke seg at på bilder med 3 meter vegger, er det litt kortere avstand mellom bil/fotgjengere og bilisten som ser, enn på bilder der hele tunnelen er dekt med plater.

Det er helt klart at 60 grader monteringsvinkel gir det beste resultatet med tanke på synlighet og sikkerhet. Ved 60 grader blir tunnelen som helhet bedre belyst og det oppnås bedre jevnhet i belysningen. Hvorfor det blir, vises best ved å vise hvordan belyningsstyrken varierer i tunnelen ved de ulike tilfellene.

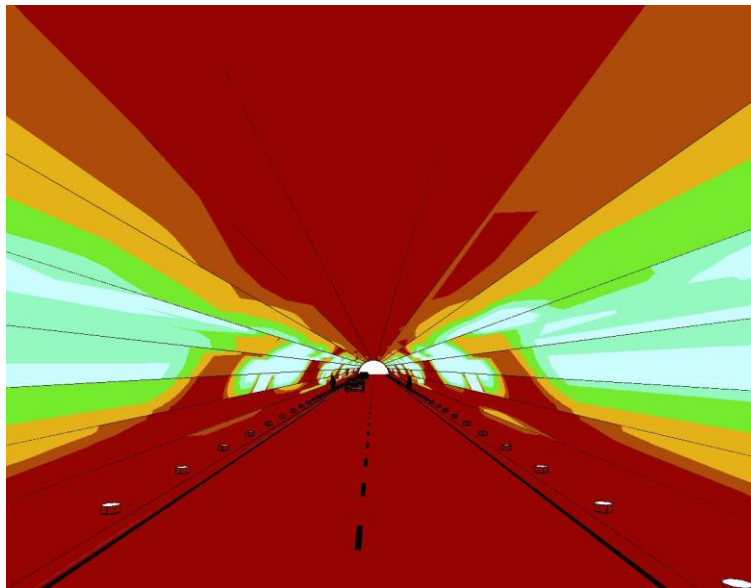
## 7.5 Luminansnivå i tunnelen

Luminansnivå i tunnelen for de tre metodene vil variere mye, avhengig av monteringsvinkelen til armaturene og hvor mye av tunnelen er dekket med hvite plater. I det følgende presenteres luminansverdier i de ulike tilfellene fotografisk med bilder hentet fra RELUX. Her kan det sees på hvordan luminansen varierer, og hvorfor synligheten av trafikantene blir mye bedre 60 grader monteringsvinkel. Figur 7.22 viser skalaen for luminans som gjelder for beregningene i Relux. Først vises luminansfordelingen for tunnel med 3 meter høye veggplater, og dermed for tunnel som er komplett dekket med veggplater.

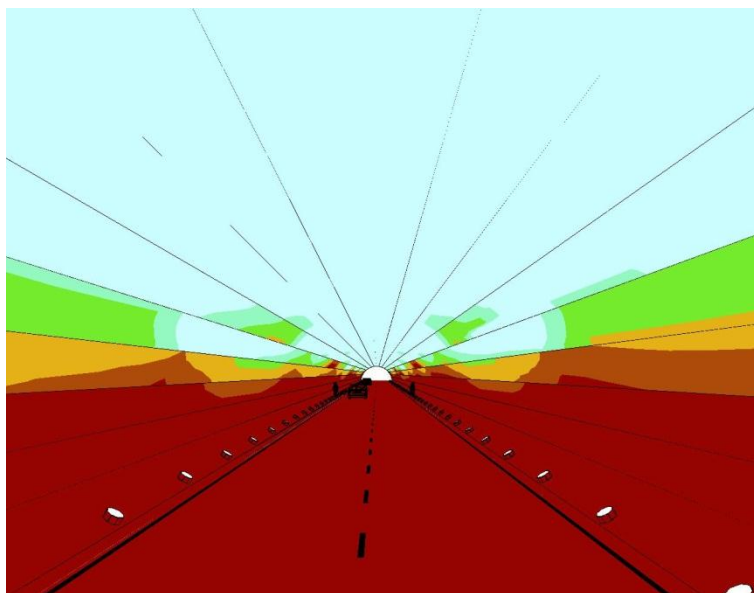


Figur 7.22: Luminansnivå [ $cd/m^2$ ] som gjelder for Relux

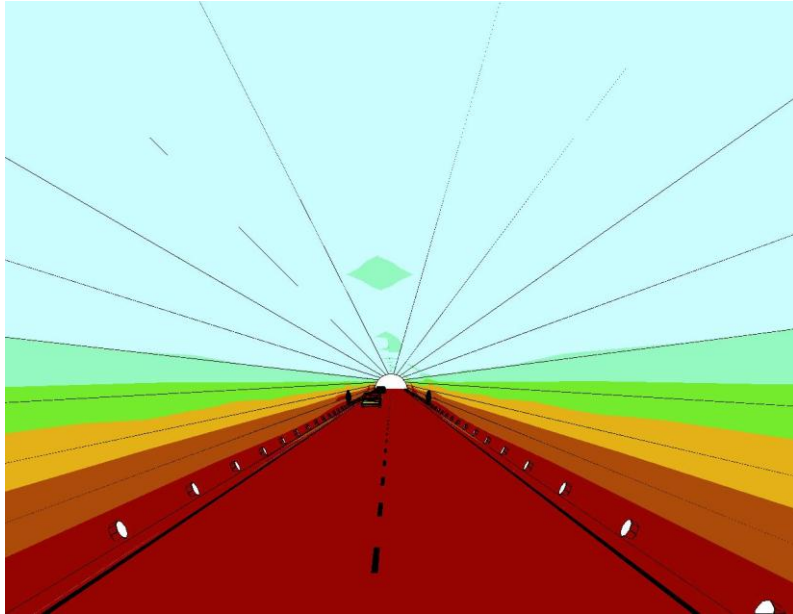
- Luminans i tunnel med 3 meter høye hvite veggplater:



*Figur 7.22: Luminans ved vannrett montering av armaturer, 10 meter avstand.*

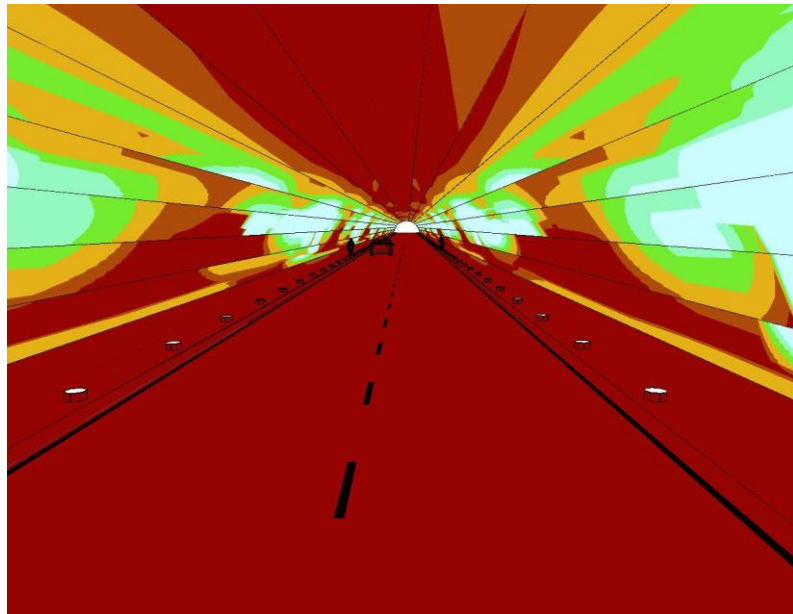


*Figur 7.23: Luminans ved 30 grader monteringsvinkel, 10 meter avstand.*

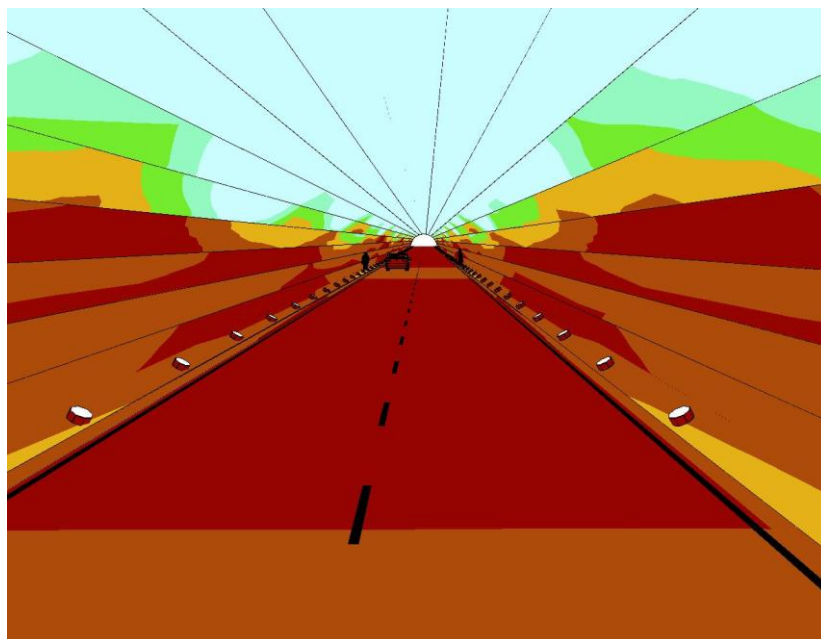


*Figur 7.24: Luminans ved 60 grader monteringsvinkel, 10 meter avstand.*

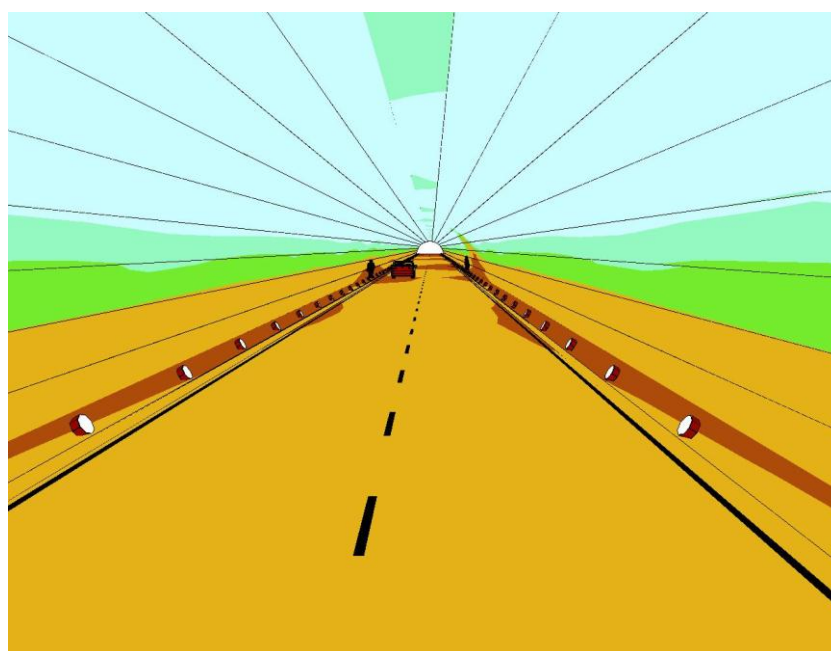
- Luminans i tunnel komplett dekket med hvite veggplater:



*Figur 7.25: Luminansn ved vannrett montering av armaturer, 10 meter avstand.*



*Figur 7.26: Luminans ved 30 grader monteringsvinkel, 10 meter avstand.*



*Figur 7.27: Luminans ved 60 grader monteringsvinkel, 10 meter avstand.*



#### Kommentar til vannrett montering:

Ved å studere luminansnivået gjennom tunnelen, er det stor variasjon med tanke på monteringsvinkel og hvor mye av tunnelen er dekket med hvite veggplater/belegg/maling. Med vannrett montering blir de viktigste områdene, gangfelt og kjørebane svært dårlig belyst. Dette fører til at fotgjengere samt motorkjøretøy blir lite synlige for en person som kjører gjennom tunnelen. Ved denne monteringsmetoden spiller det ikke så stor rolle om tunnelen er utrustet med 3 meter høye veggplater eller om hele tunnelen er dekket. Årsaken til dette er at svært lite lys treffer taket direkte slik at den blir dårlig belyst samtidig som det reflekteres lite lys. Med tanke på sikkerhet og komfort for trafikantene er denne monteringsmetoden et svært dårlig valg og vil absolutt ikke anbefales.

#### Kommentar til 30 graders monteringsvinkel:

Ved å montere armaturene i en vinkel på 30 grader i forhold til veikanten, blir tunnelen som helhet relativt bedre belyst. Som det kan sees på figur 7.23 og 7.26 er det forskjell i luminans avhengig av hvor mye av tunnelen er utrustet med hvite vegger. Når hele tunnelen dekkes hvitt, blir gangfeltområdet bedre belyst, enn ved 3 meter høye vegger. Denne metoden kan anbefales å prøve ut, men da bør det prefereres at hele tunnelen dekkes med hvitt belegg. Dette gjelder sterkt for tunneler med tillat gang- og sykkeltrafikk. På figur 7.18 og 7.19 fremstår fotgjengere godt synlige. For tunneler uten tillatelse for de myke trafikantene, kunne det være aktuelt kun med hvite vegger på sidene i tunnelen. Ulempen blir at kjøretøy blir litt mindre synlige.

#### Kommentar til 60 graders monteringsvinkel:

Det fremstår helt klart at 60 graders monteringsvinkel gir mye bedre belysning i tunnelen. Forskjellen i belysningsstyrke når tunnelen har 3 meter høye veggplater og komplett tunnel dekket er relativ stor. Dette gjelder først og fremst det viktigste området, nemlig gangfeltet og kjørebane. På figur 7.27 er luminansnivået relativt høyere på disse områdene, og dersom det skulle være aktuelt med slik installasjonsmetode, bør hele tunnelen utrustes med hvit belegg. Dette gjelder først og fremst tunneler med tillat gang- og sykkeltrafikk. Det er også viktig å merke seg at dette også gir en mye bedre belysningsjevnhet i tunnelen generelt. Ved å bruke kun 3 meter høye vegger fremstår fotgjengere litt mørkere, selv om de er godt synlige i begge tilfellene. Både 30 og 60 graders monteringsvinkel gjør fotgjengere og kjøretøy synlige, men ved 60 grader er resultatet mye bedre. Dersom denne metoden skulle testes ut i praksis, ville det anbefales å satse på 60 grader eller noe i nærheten. Dessuten kan det ved 60 grader brukes 15 m avstand mellom armaturene, noe som utgjør færre armaturer og lavere energiforbruk.

## 7.6 Ulemper ved “inground” belysning

Det er i hovedsak fire viktige faktorer som gjør at armaturmontering i veikanten ikke egner seg bra i forhold til tradisjonelle metoder.

- Det vil være vanskelig/umulig å dekke kravene fra veinormalen.
- Motorkjøretøy og de store som lastebiler og busser vil danne skyggeområder.
- Større fare for blinding.
- Større behov for rengjøring/vedlikehold.

Kravene fra veinormalen handler om luminans på veibanen. Tunneler med  $\text{ÅDT} < 2500$  har et krav om veiluminans på  $0,5 \text{ cd/m}^2$  i indre sone. Selv om denne verdien er relativ lav, vil det være nærmest umulig å dekke kravene med “inground” belysningsmetode. Enda vanskeligere blir det for innkjøring- og overgangssone som har mye større krav. Av denne grunn vil denne metoden ikke praktiseres i dag om en skal følge loven. Men metoden kunne presenteres for Statens Vegvesen og myndighetene eller CIE, slik at det kunne forskes videre på dette og eventuelt testes ut i praksis. Uansett er dette et interessant emne som kunne forskes videre på. Kanskje kunne dette kombineres med tradisjonelle monteringsmetoder? Dette kunne også jobbes videre med i masteroppgaver for fremtidige studenter/kandidater.

En annen ulempe er skygger som forekommer inne i tunnelen. “Inground” belysning fungerer i hovedsak ved at armaturer på den ene siden av tunnelen belyser motsatt side av tunnelen og omvendt. En lastebil eller buss som kjører gjennom vil av denne grunnen danne skygger på motsatt side av tunnelen. Dette kan igjen føre til at fotgjengere og syklistene blir mindre synlige.

Dessuten vil det være mye større behov for rengjøring av armaturer og spyling av vegger. Støv/grus vil for det meste legges på kjørebane og gangfeltet, samtidig som veggene i tunnelen vil kreve oftere rengjøring/spyling dersom en skal opprettholde belysningsnivået. Av denne grunn vil det være mest relevant å teste ut denne formen for belysning i lavtrafikkerte tunneler, der behovet for vedlikehold er mye mindre enn for høytrafikkerte tunneler.

En siste faktor er faren for blinding. LED-lys har mer retningsorientert lysspredning enn tradisjonelle lyskilder. Hvordan vil dette påvirke en bilist som kjører gjennom tunnelen? Med tanke på den lave monteringshøyden og monteringsvinkelen vil mye lys fra armaturene treffe øyet direkte fra siden. En bilfører har i hovedsak blikket rettet fremover under kjøring, men ser selvsagt til side også. Det kan forekomme ubehagsblinding ved at lyset fra armaturene faller direkte inn på synsfeltet. Dette fører til at det kan bli ubehagelig for en bilist å se til siden, selv om dette ikke nødvendigvis reduserer evnen til å skille ut objekt.

De nevnte faktorene er en stor brems for denne typen belysning, men ideen kan presenteres frem. Om dette skulle prøves ut i praksis, bør det gjøres med erfarne fagfolk som kan gjøre en grundig undersøkelse og teste dette ut i praksis. Dessuten utvikles teknologien i stor fart og det kommer stadig nye og bedre armaturer på markedet, med bedre lysfordeling, lysutbytte og optisk oppløsningsevne. Kanskje vill vi en dag i fremtiden bruke denne typen tunnelbelysning, men det gjenstår at dette utforskes nøye før det anvendes i praksis.

## 7.7 Sparepotensiale

Det har blitt valgt å bruke en LED-armatur med systemeffekt på 15W til å teste ut ”inground belysning” i tunnelen. Denne LED-armaturen har mye lavere systemeffekt enn armaturene som ble benyttet til å prosjektere belyningsanlegget for Jønjljotunnelen i kapitel 5. Det er helt klart at besparelsene vil bli enorme dersom tunnelen kunne utrustes med bakkearmaturer som det ble testet ut med. Tabell 6.5 viser hvor stor forskjellen i total effektforbruk blir i forhold til tradisjonell belysning. For ”inground belyningsanlegg” ble det bestemt å bruke 10 m avstand mellom armaturene, noe som ga totalt antall på 160 armaturer (80 på hver side). Med en systemeffekt på 15W, blir total effekt ved maksimal lysnivå 2400W.

	<b>S1 (100 %)</b>	<b>S2 (66,7 %)</b>	<b>S1 (33,3 %)</b>	<b>Natt</b>
<b>Total effekt tradisjonell anlegg</b>	41534W	29820W	20174W	5512W
<b>Total effelt "inground anlegg"</b>	2400W	2400W	2400W	2400W
<b>Prosentvis reduksjon effektforbruk</b>	94 %	92 %	88 %	56 %

Tabell 7.5: Sammenligning effektforbruk mellom tradisjonell belyningsanlegg og ”inground belysning”

Besparelsene er enorme, og med tanke på å inkludere dimming av LED-armaturene, kan det med stor sikkerhet antas at besparelsen vill ligge i overkant av 90 %. Beregningene i tabell 7.5 gjelder når alle LED-armaturene er slått på til full styrke for å sammenligne total effektforbruk i perioder med trafikk.

Alt tatt i betraktning er ”inground belyningsmetode” meget svak slik den presenteres her. Det vil ikke godkjennes for noen tunneler med det første, men det kunne tenkes å forske videre på akkurat denne type tunnelbelysning. Kanskje kunne det kombineres med vanlige lysanlegg og føre til noen høyere besparelse? Dette kunne jobbes med videre og gjerne testes ut i praksis dersom det er mulig. Besparelsene er riktig nok enorme, men av sikkerhetsårsaker vil mest sannsynlig denne metoden ikke godkjennes. I hvert fall ikke alene. I dette kapitlet har det blitt vist at armaturer montert i veikanten i tunneler kan gjøre fotgjengere og syklistene samt motortrafikk godt synlig. En faktor som virker negativt er at LED-armaturer plassert i 30 eller 60 graders monteringsvinkel vil muligens føre til blanding. I tillegg vil det kreve mye mer renhold av tunnelen. Dersom veggene skal beholde sin refleksjonsfaktor på 50 %, vil det kreve oftere spyling og rengjøring. Samtidig vil mest støv, grus, trafikkfilm og lignende legges på veibanen og veikanten slik at armaturene vil bli skitnet til veldig fort. Det er mye som vil hindre denne belyningsmetoden å bli gjennomførbar, men som sagt, er dette meget interessant emne og bør absolutt jobbes videre med.



## 8 DIDKUSJON

Når det gjelder beregninger i kapitel 5 for hvor mye belysningsanlegget kan dimmes for tunneler av klasse A, må det regnes med en viss usikkerhet. Beregningene viser hvor mye av tiden det ikke er trafikk til stede for tunneler med ÅDT mellom 0 og 300, og det har ikke blitt tatt hensyn til at trafikk tettheten varierer over et døgn. Siden ÅDT er meget lav ble det gjennomført enkel beregning, og resultatene viser at for de korteste tunnelene (150-500m) med ÅDT på 100, så er det ikke trafikk i tunnelen 65-80 % av tiden. Usikkerheten blir større jo høyere ÅDT og dess lengre tunnelen er. Resultatene gir likevel noe greie verdier som kan forutsettes, men en slik analyse anbefales å gjennomføre for hver enkelt tunnel dersom det er av interesse.

Beregningene gjort i RELUX for Jønjljotunnelen er ikke ment som direkte løsning på belysningsanlegget som planlegges. Programmet er nokså tungvint å bruke, og det lykkes å få fine resultat kun ved å bruke 100W og 150W HPS lamper i innkjøring- og overgangssone. Erfarne ingeniører innen tunnelbelysning ville sannsynligvis hatt en løsning som inkluderer flere HPS lamper med forskjellige effekter, forskjellig armaturplassering og reguleringssystem. Likevel er beregningene gjort i detalj og følger kravene fra håndbok 021 og CIE, og kan presenteres for den som skal prosjektere anlegget. En god del av tiden gikk til å lære å bruke programmet og skjønne hvordan den foretar beregningene.

Resultatene viser at det vil kunne spares mye på energibruken ved å innføre intelligent styring av armaturene istedenfor å benytte kun inn- og utkobling av armaturgrupper. Tabell 8.1 viser resultater for total effektforbruk ved sammenligning av tradisjonell lysanlegg med et moderne anlegg med og uten dimmet LED armaturer.

Belysning	100 % (S1)	Redusert effektforbruk	Natt	Redusert effektforbruk
Tradisjonell	41534 W		5512W	
Moderne (ikke dimmet)	38258W	7,90 %	2640W	52 %
Intelligent (dimmet)	36251,6W	12,70 %	528W	90 %

Tabell 8.1: Effektforbruk for S1 og nattbelysning.

Resultatene gjelder for S1 (dagsbelysning på sitt høyeste) og nattbelysning. Beregningene gjelder for belysningsanlegget dersom det blir prosjektert i dag. Jønjljotunnelen har dimensjonerende ÅDT på 2000, men denne verdien gjelder 20 år frem i tid, det vil si år 2030. Når det skal beregnes på sparepotensialet som ligger til rette bør dimensjonerende ÅDT legges til grunn, men heller dagens ÅDT og deretter årene som følger. Etter hvert som tiden går og ÅDT blir større med årene, vil forskjellen mellom effektforbruket for det tradisjonelle anlegget og moderne anlegget bli mindre enn det som resultatene i tabell 8.1 viser.

Det er helt klart at nattbelysningen skiller seg ut og utgjør mesteparten av energibesparelsen. Det er på grunn av nattbelysningen for det moderne anlegget består kun av LED armaturer som dimmes til 20 % effektverdi i perioder uten trafikk. Hvor mye besparelse en vil få totalt er meget vanskelig å beregne på forhånd. Det har blitt gjennomført beregninger som viser når momentan dimming av LED-armaturene kan inntreffe. Beregningene vises i tabell 6.10 og 6.11, men verdiene har meget stor usikkerhet. Beregningene baserer seg på det at det er kun en bil som kjører gjennom tunnelen om gangen, noe som er lang ifra det en vil få i praksis. Resultatene viser at momentan dimming vil kunne inntreffe kun i nattperioden, noe som ikke stemmer. I rushtiden tidlig på morgenen og ettermiddagen kan dette nok stemme, men senere på kvelden vil trafikktettheten avta og momentan dimming av LED armaturene må regnes å forekomme.

En annen viktig faktor som må tas hensyn til er systemeffekten (armatureffekten) for HPS lampene som ble brukt i beregningene bærer p en viss usikkerhet. Det har ikke lyktes å få tilsendt konkrete armaturdata fra Siteco og Multilux som viser hvordan systemeffekten reduseres når lysnivået fra lampene reduseres. Derimot ble det fortalt kun via en telefonsamtale til Siteco og Multilux at systemeffekten til HPS lampene reduseres til 65 % når lysnivået reduseres til 50 %. For LED armaturene ble det fortalt at de har en lineær forhold mellom effekt og lysnivå, slik at når LED armaturene dimmes til 20% nivå, tilsvarer dette ca 20 % systemeffekt. Dette tilsvarer at HPS lamper på 100W og 150W har en systemeffekt på 75W og 115W når de er dimmet til 50 lysnivå. Siden dette er kun muntlig informasjon og ikke konkrete data, må det regnes med en viss usikkerhet i beregningene for effektforbruk i Jønjljotunnelen.

Dessuten må det tas hensyn til at beregningene i RELUX er gjort på egenhånd etter å ha fått en viss innføring i bruk av Torbjørn Selnes. Det er første gang en beregning for belysningsanleggene blir gjort, og det er usikkert om det er en god eller dårlig løsning. Likevel regnes det med at lysanlegget er gjennomført på en god måte der det var størst fokus på å følge kravene så presist som mulig i forhold til luminanskurven i graf 2.3.

Stadig flere tunneler har fått installert LED armaturer som nattlys, siden største delen av sparepotensialet ligger i denne perioden. Dette stemmer godt overens med beregningene i RELUX der det totale effektforbruket er 50-90 % (avhengig om det er trafikk til stede eller ikke) lavere enn ved tradisjonelle anlegg med lysrørarmaturer. Denne besparelsen gjelder kun i nattperioden og den totale besparelsen for et helt døgn vil bli lavere i %. Noen leverandører angir på sine hjemmesider at deres LED armaturer kan benyttes i hele tunnelen, inkluderer innkjøring og overgangssone. Dette er noe en må være forsiktig med å tru helt på. Etter diskusjon med Torbjørn Selnes fra Sweco og Hans Øien fra Thornlighting har det blitt erfart at det ikke er mulig med LED i innkjøring- og overgangssoner. Muligens kan LED benyttes i siste del av overgangssoner der kravet om luminansnivå er relativt lave. For det første har dagens LED som er tilgjengelige på markedet lavere lysutbytte enn HPS lamper. LED har lysutbytte på ca 100lm/W mens HPS lampene ligger på 150lm/W. Dessuten vil LED få problemer ved høye effekter med kjøling. Om dette ikke er på plass, vil en få kort levetid og mye lavere lysnivå.

Når det gjelder ”inground belysning”, er det flere negative sider ved denne belysningsmetoden. Stor fare for blinding, oftere rengjøring av tunnelen og armaturene vil kreve store driftskostnader, store skygger oppstår i tunnelen dersom en eller flere store kjøretøy kjører etter hverandre, og ikke minst vil ikke kravene om luminansnivå kunne dekkes. Riktignok ga beregningene en besparelse på rundt 90 %, men det er så mange bremsefaktorer for at denne metoden skal kunne tas i bruk alene. Det som kunne være interessant er å teste ut denne metoden kombinert med tradisjonelle monteringsmetoder av armaturer. Muligens kunne det oppnås bedre synsforhold totalt og større sparepotensial.

Alt tatt i betraktning kan det med størst sikkerhet sies at LED bør absolutt anvendes ikke bare i lavtrafikkerte tunneler, men også tunneler med høyere ÅDT. Om ikke hele tunnelen, så kunne LED brukes som nattbelysning. Og det er nettopp der de største sparemulighetene ligger.





## 9 KONKLUSJON

I denne oppgaven har det blitt gjennomført beregninger for effektforbruk og energibesparelse for en lavtrafikkert tunnel (Jønjljotunnelen) med både tradisjonell belysningsanlegg og moderne anlegg med intelligent styringssystem.

- Det er merkbare besparelser som kan oppnås ved å styre belysningsanlegget i tunneler med intelligente styringssystemer.
- Med de beregningene som ble gjennomført er det helt klart nattbelysning som står for den største delen av besparelsen i effekt- og energiforbruk.
- Moderne belysningsanlegg har 7,9 % lavere total effektforbruk enn tradisjonelle anlegg når lysnivået i tunnelen er på det høyeste og det er trafikk til stede. Uten trafikk vil det være enda større forskjell og moderne anlegg med intelligent styring har da 12,7 % lavere effektforbruk
- Når dagsbelysningen reduseres etter hvert som mørket faller på blir besparelsene større, og ved nattbelysning er besparelsene mellom 52 og 90 %.
- Om natten har det moderne anlegget 50,2 % lavere effektforbruk totalt når det er trafikk til stede og 90 % lavere i perioder uten trafikk.
- Den store energibesparelsen som forekommer om natten er grunnet LED-armaturer som dimmes ned til 20 % lysnivå (tilsvarende effektnivå) i perioder uten trafikk.

For lavtrafikkerte tunneler bør det satses på mest mulig bruk av LED-armaturer, og jo lavere ÅDT tunnelen har, jo større blir besparelsene. Det blei antatt at nattbelysningen ville utgjøre mesteparten av energibesparelsen noe som stemmer godt med de totale effektberegningene.

- Til beregning av tradisjonell belysningsanlegg i RELUX blei det benyttet kun 100W HPS lamper i innkjøring- og overgangssone. For beregninger av det moderne anlegget ble 100W og 150W lamper brukt.
- Grunnen til at kun en eller to lampetyper ble brukt i beregningene er fordi det var ønskelig å følge den heltrukne linjen i graf 2.3 som angir minimum krav for veiluminans. Det ble forsøkt å bruke flere lamper med forskjellig effekt, fra 50W til 250W HPS lamper, men uten å lykkes med å få gode svar. Det har blitt erfart at RELUX er et tungvint program som tar tid å lære seg skikkelig, og mye tid ble brukt nettopp til å bli kjent med programmet.
- Erfarne ingeniører ville trolig funnet andre løsninger på utforming av belysningsanlegget for Jønjljotunnelen, med ulike lampeeffekter og forskjellig armaturplassering enn det som ble gjort i tapporten her.

”Inground belysning” måtte tegnes opp manuelt i RELUX siden armaturene plasseres i veikanten, noe RELUX ikke gjør automatisk. Det blei på forhånd antatt at denne metoden ville gi enorme besparelser siden den ikke følger kravene fra veinormalen, og bruker færre armaturen med meget lav effekt (12W LED).

- Denne metoden ga en besparelse på ca 90 %, noe som stemmer i utgangspunktet var forventet.
- Belysning av tunnelen som helhet ga bra resultat med tanke på å synliggjøre fotgjengere og motorvogn.
- Likevel er det mange hinder. Først og fremst klarer en ikke å dekke kravene fra veinormalen. Deretter vil det kreve mye oftere rengjøring av tunnelen samt armaturene vil sannsynligvis virke irriterende for en som kjører gjennom tunnelen siden de er plassert i veikanten og lyser direkte inn på føreren fra siden.

Videre arbeid:

- Prøve å utforme belysningsanlegg med LED i siste del av overgangssonen istedenfor HPS lamper. Dette vil øke besparelsene enda mer.
- Prøve å kombinere tradisjonelle metoder der armaturene monteres i tak eller i øvre hjørne sammen med armaturer montert i bakken slik som ved ”inground belysning” Muligens vil dette kunne gi noe lavere energiforbruk

## Litteraturreferanse

- [1] Håndbok 021, Normaler for vegtunneler, Statens vegvesen.
- [2] Technical repport, Guide for the lightning of road tunnels and underpasses, CIE 88:2004 2nd edition
- [3] Road tunnel lightning, lighting power controllers, Reverberi Enetec, RING02E2 – rev.2 – 0206, Et utskrift fått av Torbjørn Selnes fra Sweco
- [4] Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler, håndbok 269, Statens Vegvesen, februar 2007.
- [5] Håndbok 111, Standard for drift og vedlikehold av veger og gater, Statens Vegvesen, 2010.
- [6] Lys og belysning, Eilif Hugo Hansen.
- [7] Tunnel and underpass lighting, Philips indoor & outdoor luminaires catalog.  
*[www.ecat.lighting.philips.com/.../tunnel-and-underpass-lighting/.../aa?...lighting...Tunnel-and-underpass-lighting](http://www.ecat.lighting.philips.com/.../tunnel-and-underpass-lighting/.../aa?...lighting...Tunnel-and-underpass-lighting)*
- [8] Thorn North Star lighting, tunnel lighting, guidehefte nr 283, 2004.
- [9] Telea Outdoor Lighting Controls, brochure fra Thorn, sendt av Hans Øien fra Thorn Lighting
- [10] AEC Tunnel Lighting System  
*[www.aecilluminazione.com/UserFiles/File/Tunnel.pdf](http://www.aecilluminazione.com/UserFiles/File/Tunnel.pdf)*
- [11] Hans Øien, Thorn lighting AS
- [12] Torbjørn Selnes, Sweco AS
- [13] Jolanta Krocak, Statens Vegvesen



# VEDLEGG1: VIKTIGE LYSTEKNISKE BEGREP INNEN TUNNELBELYSNING

---

- **Lysflux [ $\phi$ ]:** Lysflux er et mål for hvor stor lysmengde som kommer ut fra en lyskilde. Med andre ord er dette lysmengde målt mot øyets følsomhetskurve. Benevningen: *lumen [lm]*.
- **Belysningsstyrke [E]:** Belysningsstyrke angir hvor mye lysflux som faller ned på en arealflate. Et annet ord som brukes om belysningsstyrke er illuminans. Benevning:  $lm/m^2$  eller *lux*.
- **Lysstyrke [I]:** Lysstyrke er et begrep som viser hvordan lyset (lysfluxen) fra en lyskilde fordeler seg i rommet. Med andre ord er lysstyrke lysets intensitet i en bestemt retning, dvs lumen pr. romvinkel.  
Formel:  $I = \frac{\phi}{\omega}$ . Benevning: *Candela (cd)*.
- **Luminans [L]:** Luminans er et mål for hvor mye lys som reflekteres fra et punkt eller en arealflate i en bestemt retning.  
Formel:  $L = \frac{I}{A}$  eller  $L = \frac{I}{A} \cos(\varphi)$ . Benevning:  $cd/m^2$ .
- **Lysutbytte [H]:** Lysutbytte angir hvor mye lysflux som kommer ut fra en lyskilde pr forbrukt effekt.  
Formel:  $H = \frac{\phi}{P}$ . Benevning:  $lm/W$ .
- **Fargetemperatur [ $T_c$ ]:** Fargetemperatur er et mål for lyskildens farge, og blir definert som fargen et sort objekt får ved en gitt temperatur. Dersom fargetemperaturen er over 3300 K regnes den som kald, og under 3300 K som varm. Benevning: *Kelvin, K*.



Figur 1.1: Fargetemperaturer

- **Fargegjengivelsesindeks [ $R_a$ ]:** Fargegjengivelsesindeksen viser en lyskildes evne til å gjengi farger, og graderes fra 0 til 100. 100 er beste verdi.

- **Kontrast [C]:** Kontrast oppleves når et objekt har en annen luminans enn dens bakgrunn. Det er det som gjør at vi klarer å skille objekter fra hverandre. Dersom et lyst objekt har mørk bakgrunn, er kontrasten positiv, og negativ dersom et mørkt objekt sees mot lysere bakgrunn.  $L_0$  står for objektets luminans og  $L_b$  for bakgrunns luminansen.

Formel for kontrast: 
$$C = \frac{L_b - L_0}{L_b} .$$

- **Blending:** Det skilles mellom to typer blending: Synsnedsettende blending (fysiologisk blending) og ubehagsblending (psykologisk blending). Blending inntreffer dersom det samlede luminansnivået blir for høyt eller kontrasten blir for stor.
  - *Synsnedsettende blending* vil si at øyets evne til å skille ut objekt fra et annet eller bakgrunnen blir redusert. Resultatet av dette blir at luminansforskjellen som må til for at øyet skal kunne skille ut et objekt må være høyere enn uten blending.
  - *Ubehagsblending* kan oppstå både direkte og ved refleksjon. Denne typen blending gjør at det blir ubehaglig for en person å se i en viss retning der blendingen oppstår, uten at dette nødvendigvis reduserer evnen til å skille ut objekt.
- **Sløringsluminans [ $L_v$ ]:** Lys dra en lyskilde kan bli spredd i øyet som strølys, og konsekvensene av dette er det samme som om synsfeltet var dekket med jevn luminans. Sløringsluminansen er et mål på den luminansen som fører til blending.
- **Strølys:** Strølys blir også kalt lysforurensing. Det er viktig å holde kontroll på lysforurensingen for å forsterke inntrykket av mørke (natt) i omgivelsene, siden dette kan føre til psykologiske og økologiske problemer for omgivelser og mennesker.
- **Terskeløkning [TI]:** Synsnedsettende blending fra vei- og tunnelarmaturer kan føre til tap av synlighet. Terskeløkning er nettopp et mål på dette. Den defineres som den prosentvise økingen i luminans som kreves for at et objekt skal være synlig med blending til stede i forhold til synligheten uten blending.
- **Virkningsgrad [ $\eta_A$ ]:** En armatur's virkningsgrad er et mål for hvor stor del av lyskildens lysflux som slipper ut av armaturen. Noe av lysfluxen fra lyskilder vil treffe armaturdeler eller andre lyskilder og vil bli delvis absorbert. Dette fører til at lysfluxen som slipper ut av armaturene vil bli noe mindre enn den lysfluxen som lyskilden slipper ut.

- **Luminansjevnhet:** Det skilles mellom to typer luminansjevnhet: total luminansjevnhet og langsgående luminansjevnhet.
  - *Total* luminansjevnhet ( $U_0$ ), er forholdet mellom den minste og gjennomsnittlige luminansen på veibanen for horisontal belyningsstyrke på veidekke på tørr asfalt.
 
$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{mid}}}$$
  - *Langsgående* luminansjevnhet er forholdet mellom den minste og maksimale luminansen i en linje langs senteret i et kjørefelt.
 
$$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$$
- **Vedlikeholdsfaktor:** Vedlikeholdsfaktoren er avhengig av hvor ofte armaturene rengjøres, forurensing i atmosfæren og IP-graden til armaturskjermen. Den er også avhengig av hvilken type lampe det er samt spenningen som den er dimensjonert for. Alt dette fører til en reduksjon i lyskildens lysflux og angis med en vedlikeholdsfaktor. Normalt sette vedlikeholdsfaktoren rundt 0,8. Når lampens driftverdi skal beregnes, multipliseres lysfluksens nyverdi med vedlikeholdsfaktoren etter 100 timer innbrenning.
- **Økonomisk levetid:** Tidspunktet når lysytelsen til installasjonen er blitt redusert med 30 %.
- **Servicelevetid:** Tidspunktet hvor 80 % av den totale lysmengden gjenstår.
- **Refleksjonsfaktor:** Refleksjonsfaktoren angir hvor mye lys som blir reflektert fra en flate i %.





# VEDLEGG 2: BEREGNINGER FOR TUNNELKLASSE A

Gjelder 50 km/h

Tunnelklasse A	ÅDT = 100, dimensjonerende fart = 50km/h						
Lengde på tunnel [m]	150	300	500	1000	2000	3000	4000
Avstand mellom bevegelsesdetektorer [m]	550	700	900	1400	2400	3400	4400
Tiden bilen bruker å passere + delay-time [180 sek]	220	230	245	281	353	425	497
Total tid med trafikk pr døgn [sek]	21957	23036	24475	28072	35266	42460	49655
Total tid uten trafikk pr døgn [sek]	64443	63364	61925	58328	51134	43940	36745
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	17,9	17,6	17,2	16,2	14,2	12,2	10,2
Unødvendig belysning i % pr døgn	74,6	73,3	71,7	67,5	59,2	50,9	42,5

Tunnelklasse A	ÅDT = 200, dimensjonerende fart = 50km/h						
Lengde på tunnel [m]	150	300	500	1000	2000	3000	4000
Avstand mellom bevegelsesdetektorer [m]	550	700	900	1400	2400	3400	4400
Tiden bilen bruker å passere + delay-time [180 sek]	220	230	245	281	353	425	497
Total tid med trafikk pr døgn [sek]	43914	46072	48950	56144	70532	84921	99309
Total tid uten trafikk pr døgn [sek]	42486	40328	37450	30256	15868	1479	-12909
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	11,8	11,2	10,4	8,4	4,4	0,4	-3,6
Unødvendig belysning i % pr døgn	49,2	46,7	43,3	35,0	18,4	1,7	-14,9

Tunnelklasse A	ÅDT = 300, dimensjonerende fart = 50km/h						
Lengde på tunnel [m]	150	300	500	1000	2000	3000	4000
Avstand mellom bevegelsesdetektorer [m]	550	700	900	1400	2400	3400	4400
Tiden bilen bruker å passere + delay-time [180 sek]	220	230	245	281	353	425	497
Total tid med trafikk pr døgn [sek]	6587	6910	7342	8421	10579	12738	14896
Total tid uten trafikk pr døgn [sek]	1	8	4	6	9	1	4
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	2052	1729	1297	2184	-19399	-40981	-62564
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	9	2	6				
Unødvendig belysning i % pr døgn	5,7	4,8	3,6	0,6	-5,4	-11,4	-17,4
Unødvendig belysning i % pr døgn	23,8	20,0	15,0	2,5	-22,5	-47,4	-72,4

Gjelder 80 km/h

Tunnelklasse A	ÅDT = 100, dimensjonerende fart = 80km/h						
Lengde på tunnel [m]	150	300	500	1000	2000	3000	4000
Avstand mellom bevegelsesdetektorer [m]	550	700	900	1400	2400	3400	4400
Tiden bilen bruker å passere + delay-time [180 sek]	205	212	221	243	288	333	378
Total tid med trafikk pr døgn [sek]	20477	21153	22054	24306	28811	33315	37820
Total tid uten trafikk pr døgn [sek]	65923	65247	64346	62094	57589	53085	48580
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	18,3	18,1	17,9	17,2	16,0	14,7	13,5
Unødvendig belysning i % pr døgn	76,3	75,5	74,5	71,9	66,7	61,4	56,2

Tunnelklasse A	ÅDT = 200, dimensjonerende fart = 80km/h						
Lengde på tunnel [m]	150	300	500	1000	2000	3000	4000
Avstand mellom bevegelsesdetektorer [m]	550	700	900	1400	2400	3400	4400
Tiden bilen bruker å passere + dealy-time [180 sek]	205	212	221	243	288	333	378
Total tid med trafikk pr døgn [sek]	40955	42306	44108	48613	57622	66631	75640
Total tid uten trafikk pr døgn [sek]	45445	44094	42292	37787	28778	19769	10760
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	12,6	12,2	11,7	10,5	8,0	5,5	3,0
Unødvendig belysning i % pr døgn	52,6	51,0	48,9	43,7	33,3	22,9	12,5

Tunnelklasse A	ÅDT = 300, dimensjonerende fart = 80km/h						
Lengde på tunnel [m]	150	300	500	1000	2000	3000	4000
Avstand mellom bevegelsesdetektorer [m]	550	700	900	1400	2400	3400	4400
Tiden bilen bruker å passere + delay-time [180 sek]	205	212	221	243	288	333	378
Total tid med trafikk pr døgn [sek]	6143	6345	6616	7291	8643	99946	113459
	2	9	2	9	2		
Total tid uten trafikk pr døgn [sek]	2496	2294	2023	1348	-32	-13546	-27059
	8	1	8	1			
Total tid uten trafikk pr døgn [timer]	6,9	6,4	5,6	3,7	0,0	-3,8	-7,5
Unødvendig belysning i % pr døgn	28,9	26,6	23,4	15,6	0,0	-15,7	-31,3

# Vedlegg 3 er beregningsdata fra RELUX Tunnel for Jønjiljotunnelen

---

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 1 Armaturdata

### 1.1 SITECO, Reflektor, Typ 3, asymmetri... (5NA854D1N30N)

#### 1.1.1 Dataark

Fabrikat: SITECO

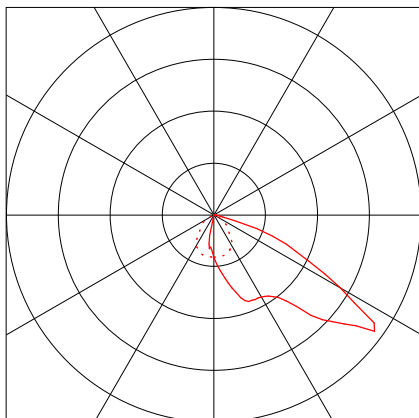
#### 5NA854D1N30N Reflektor, Typ 3, asymmetrisch strahlend

##### Armaturdata

Armaturvirkningsgrad : 67.3% (A30)  
↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 39 81 99 100 67  
Forkoblingsutstyr :  
Tot. systemeffekt : 115 W  
Lengde : 680 mm  
Bredde : 460 mm  
Høyde : 168 mm

##### Bestykket med

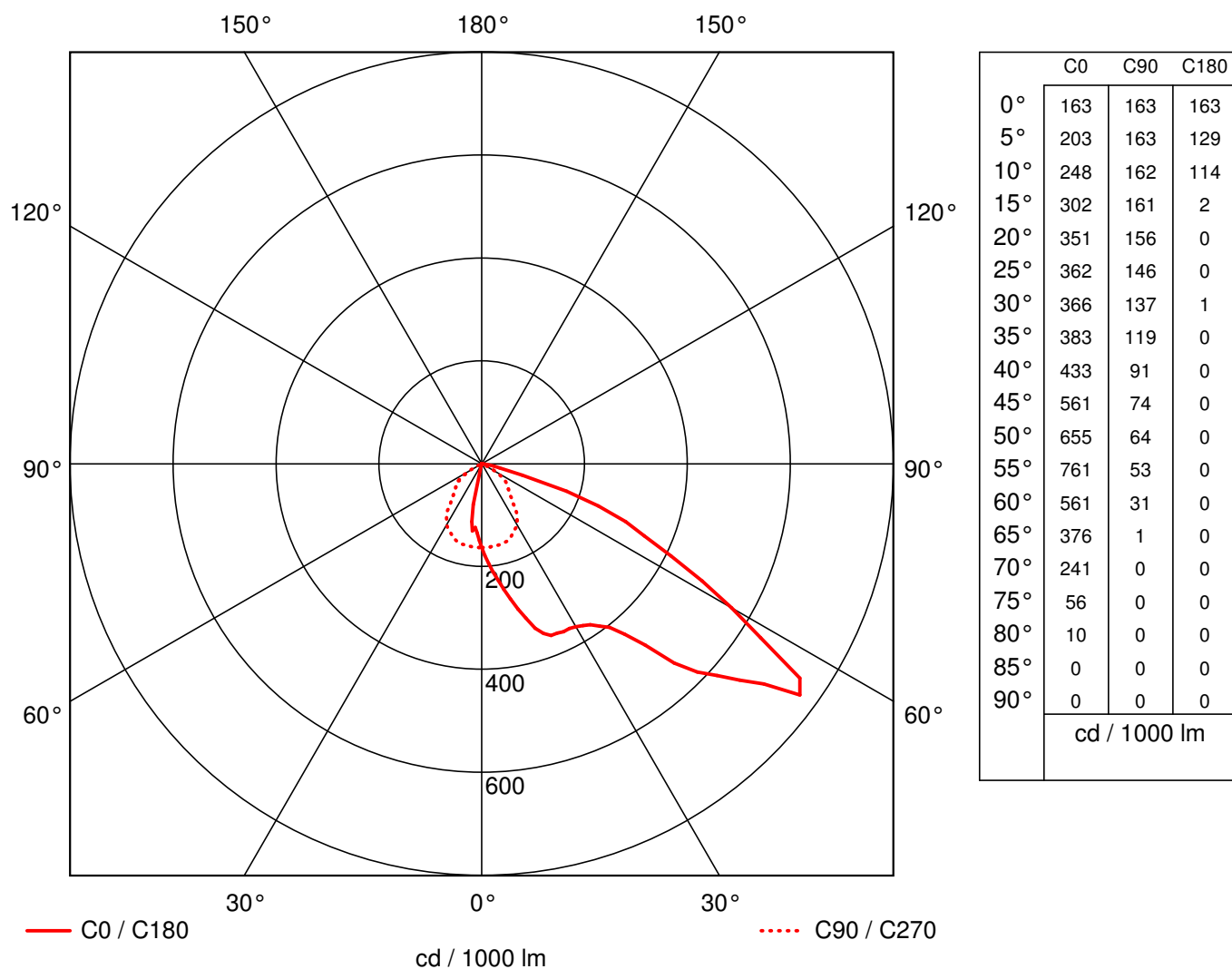
Antall : 1  
Betegnelse : HST 100W  
Effekt : 0 W  
Farge :  
Lysfluks : 10000 lm



Objekt :  
 Installasjon :  
 Prosjektnummer : Jønjljotunell  
 Dato : 04.03.2011

## 1.1 SiTECO, Reflektor, Typ 3, asymmetri... (5NA854D1N30N)

### 1.1.2 LFK



Fabrikat	: SiTECO	Virkningsgrad	: 67.3% (A30)
Artikkelnummer	: 5NA854D1N30N	Lysfordeling	: sym. om C0-C180
Armaturnavn	: Reflektor, Typ 3, asymmetrisch strahlend	Utstrålingsvinkel	: -- C90-C270 64.9° C0 -- C180
Bestykning	: 1 x HST 100W 0 W / 10000 lm		
Dimensjoner	: L 680 mm x B 460 mm x H 168 mm		
Filnavn	: 5NA854D1N30N_1xHST_100W_391		

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 1 Armaturdata

### 1.2 SITECO, Reflektor, Typ 7, symmetris... (5LA80472V70N)

#### 1.2.1 Dataark

---

Fabrikkat: SITECO

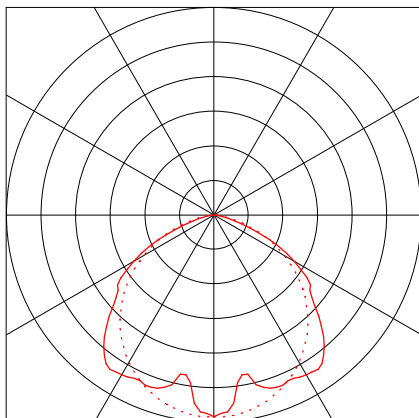
#### 5LA80472V70N Reflektor, Typ 7, symmetrisk strahlend

##### Armaturdata

Armaturvirkningsgrad : 63.5% (A40)  
  ↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 48 82 98 100 64  
Forkoblingsutstyr :  
Tot. systemeffekt : 106 W  
Lengde : 1595 mm  
Bredde : 200 mm  
Høyde : 110 mm

##### Bestykket med

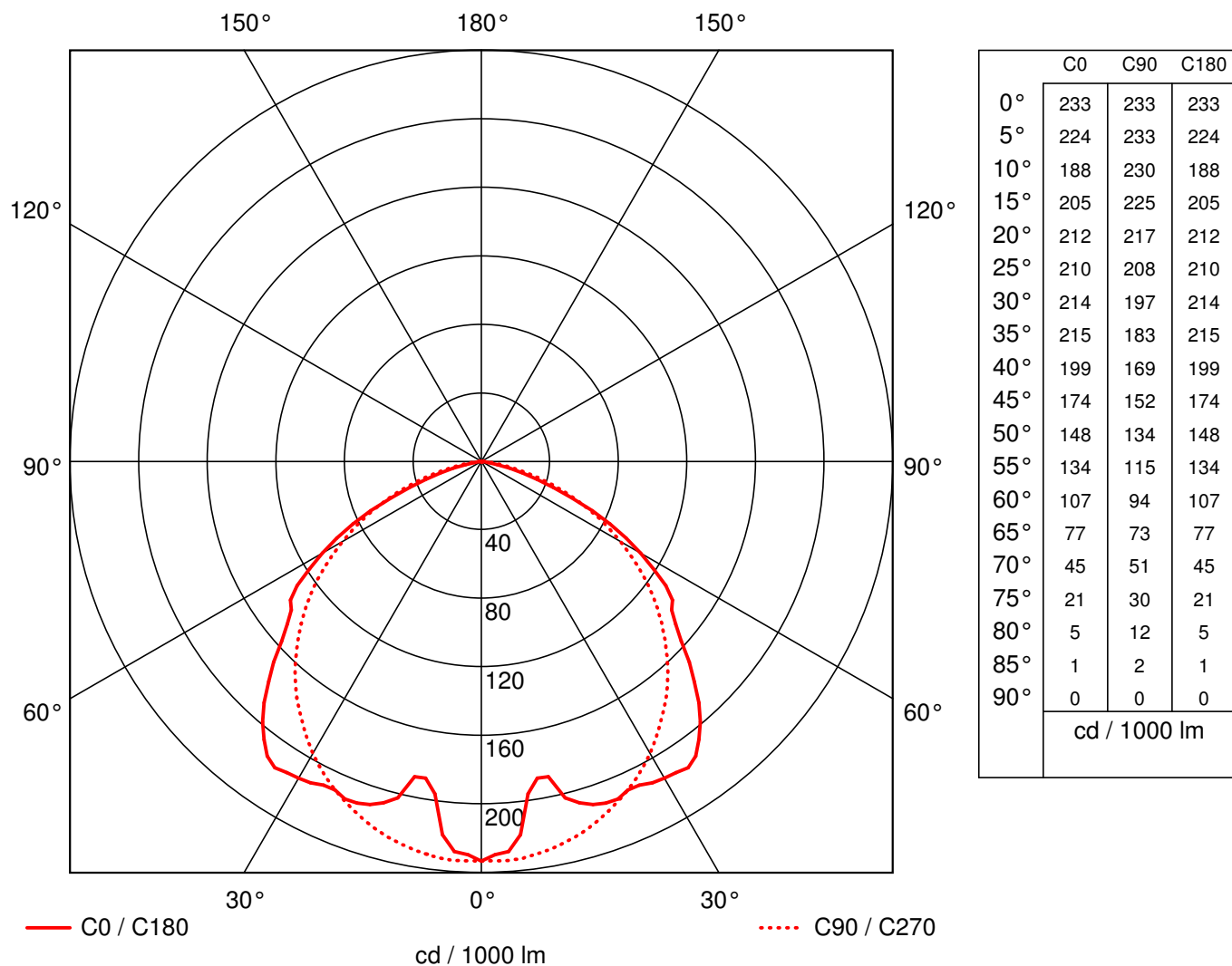
Antall : 2  
Betegnelse : T26 58W  
Effekt : 0 W  
Farge :  
Lysfluks : 5000 lm



Objekt :  
 Installasjon :  
 Prosjektnummer : Jønjljotunell  
 Dato : 04.03.2011

## 1.2 SiTECO, Reflektor, Typ 7, symmetris... (5LA80472V70N)

### 1.2.2 LFK



Fabrikat	: SiTECO	Virkningsgrad	: 63.5% (A40)
Artikkelnummer	: 5LA80472V70N	Lysfordeling	: sym. om C0-C180 / C90-C270
Armaturnavn	: Reflektor, Typ 7, symmetrisch strahlend	Utstrålingsvinkel	: 116.5° C0-C180 109.0° C90-C270
Bestykning	: 2 x T26 58W 0 W / 5000 lm		
Dimensjoner	: L 1595 mm x B 200 mm x H 110 mm		
Filnavn	: 5LA80472V70N_2xT26_58W_39958		

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2 Jønjljotunnel

### 2.1 Beskrivelse, Jønjljotunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

##### Adaptasjon

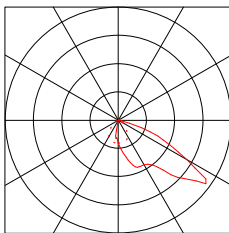
##### LFK i bruk

4 158



##### SiTECO

Bestillingsnr. : 5NA854D1N30N  
Armaturnavn : Reflektor, Typ 3, asymmetrisk strahlend  
Bestykning : 1 x HST 100W 0 W / 10000 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.80



##### ArmaturrekkeRekke 1.1

Antall armaturer: 158

Systemeffekt (totalt): 18.2kW

Basisposisjon: x=1.10m y=4.00m, z=5.60m

-variable avstander-

Rotasjon: z=180.0° C0=0.0° C90=0.0°

Nr.	Pos. X [m]	Effektnivå	Innkobl.	grS1	S2	S3	Int.1	Int.2
1	1.10	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
2	1.89	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
3	2.68	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
4	3.46	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
5	4.25	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
6	5.04	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
7	5.83	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
8	6.62	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
9	7.40	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
10	8.19	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
11	8.98	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
12	9.77	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
13	10.55	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
14	11.34	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
15	12.13	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
16	12.92	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
17	13.71	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
18	14.49	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
19	15.28	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
20	16.07	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
21	16.86	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
22	17.65	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
23	18.43	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
24	19.22	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
25	20.01	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
26	20.80	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
27	21.58	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
28	22.37	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
29	23.16	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
30	23.95	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
31	24.74	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%

-please put your own address here-



Objekt :  
 Installasjon :  
 Prosjektnummer : Jønjljotunell  
 Dato : 04.03.2011



## 2 Jønjljotunnel

### 2.1 Beskrivelse, Jønjljotunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

32	25.52	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
33	26.31	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
34	27.10	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
35	27.89	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
36	28.68	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
37	29.46	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
38	30.25	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
39	31.04	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
40	31.83	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
41	32.62	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
42	33.40	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
43	34.19	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
44	34.98	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
45	35.77	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
46	36.55	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
47	37.34	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
48	38.13	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
49	38.92	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
50	39.71	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
51	40.49	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
52	41.28	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
53	42.07	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
54	42.86	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
55	43.65	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
56	44.43	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
57	45.22	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
58	46.01	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
59	46.80	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
60	47.58	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
61	48.37	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
62	49.16	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
63	49.95	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
64	50.74	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
65	51.52	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
66	52.31	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
67	53.10	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
68	53.89	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
69	54.68	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
70	55.46	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
71	56.25	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
72	57.04	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
73	57.83	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
74	58.62	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
75	59.40	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
76	60.19	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
77	60.98	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
78	61.77	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
79	62.55	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
80	63.34	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
81	64.13	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
82	64.92	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
83	65.71	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
84	66.49	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
85	67.28	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2 Jønjljotunnel

### 2.1 Beskrivelse, Jønjljotunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

86	68.07	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
87	68.86	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
88	69.65	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
89	70.45	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
90	71.26	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
91	72.08	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
92	72.90	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
93	73.73	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
94	74.57	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
95	75.41	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
96	76.27	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
97	77.13	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
98	78.00	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
99	78.89	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
100	79.78	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
101	80.67	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
102	81.58	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
103	82.50	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
104	83.43	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
105	84.37	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
106	85.33	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
107	86.29	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
108	87.27	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
109	88.25	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
110	89.25	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
111	90.27	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
112	91.30	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
113	92.34	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
114	93.40	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
115	94.48	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
116	95.57	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
117	96.68	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
118	97.81	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
119	98.96	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
120	100.12	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
121	101.32	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
122	102.53	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
123	103.77	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
124	105.03	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
125	106.32	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
126	107.64	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
127	109.00	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
128	110.38	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
129	111.81	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
130	113.27	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
131	114.78	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
132	116.33	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
133	117.94	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
134	119.60	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
135	121.33	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
136	123.14	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
137	125.02	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
138	127.01	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
139	129.07	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2 Jønjljotunnel

### 2.1 Beskrivelse, Jønjljotunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

140	131.28	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
141	133.67	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
142	136.26	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
143	139.07	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
144	142.14	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
145	145.30	115W / 10klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
146	148.47	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
147	152.45	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
148	156.88	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
149	161.63	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
150	166.38	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
151	171.13	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
152	175.88	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
153	180.63	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
154	185.38	115W / 10klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
155	194.37	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
156	203.87	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
157	213.37	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
158	222.87	115W / 10klm	1	100%	0%	0%	0%	0%

**Indre**  
**LFK i bruk**

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2 Jønjljotunnel

### 2.2 Beregningsresultat, Jønjljotunnel

#### 2.2.1 Resultatoversikt, S1: 100%

---

##### Innkoblingstrinn: S1: 100%

Adaptasjon

1: 100%  
2: 100%  
3: 100%

Indre

4: 100%

##### Innkjøringszone (konstant)

Måleområde: 17.65 m - 33.38 m Points: nx = 7, ny = 6, nz = 3

Betrakter (startpunktkoordinater): x = -42.35 m; z = 1.50 m dx = 61.12 m (fix)  
y = 2.00 m y = 6.00 m

Kjørebane (R3, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 50%)

Høyre vegg (diffus 0%)

##### Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: -0.33 m - 289.61 m Points: nx = 129, ny = 6, nz = 3

Betrakter (startpunktkoordinater): x = -85.14 m; z = 1.50 m dx = 85.93 m (bevegelig)  
y = 2.00 m y = 6.00 m

Kjørebane (R3, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 50%)

Høyre vegg (diffus 0%)

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.2 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.2.2 Resultatoversikt, S2: 66.7%

---

#### Innkoblingstrinn: S2: 66.7%

Adaptasjon

1: 0%  
2: 100%  
3: 100%

Indre

4: 100%

#### Innkjøringsone (konstant)

Måleområde: 17.65 m - 33.38 m Points: nx = 7, ny = 6, nz = 3

Betrakter (startpunktkoordinater): x = -42.35 m; z = 1.50 m dx = 61.12 m (fix)  
y = 2.00 m y = 6.00 m

Kjørebane (R3, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 50%)

Høyre vegg (diffus 0%)

#### Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: -0.33 m - 289.61 m Points: nx = 129, ny = 6, nz = 3

Betrakter (startpunktkoordinater): x = -85.14 m; z = 1.50 m dx = 85.93 m (bevegelig)  
y = 2.00 m y = 6.00 m

Kjørebane (R3, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 50%)

Høyre vegg (diffus 0%)

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.2 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.2.3 Resultatoversikt, S3: 33.3%

---

#### Innkoblingstrinn: S3: 33.3%

Adaptasjon

1: 0%  
2: 0%  
3: 100%

Indre

4: 100%

#### Innkjøringszone (konstant)

Måleområde: 17.65 m - 33.38 m Points: nx = 7, ny = 6, nz = 3

Betrakter (startpunktkoordinater): x = -42.35 m; z = 1.50 m dx = 61.12 m (fix)  
y = 2.00 m y = 6.00 m

Kjørebane (R3, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 50%)

Høyre vegg (diffus 0%)

#### Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: -0.33 m - 289.61 m Points: nx = 129, ny = 6, nz = 3

Betrakter (startpunktkoordinater): x = -85.14 m; z = 1.50 m dx = 85.93 m (bevegelig)  
y = 2.00 m y = 6.00 m

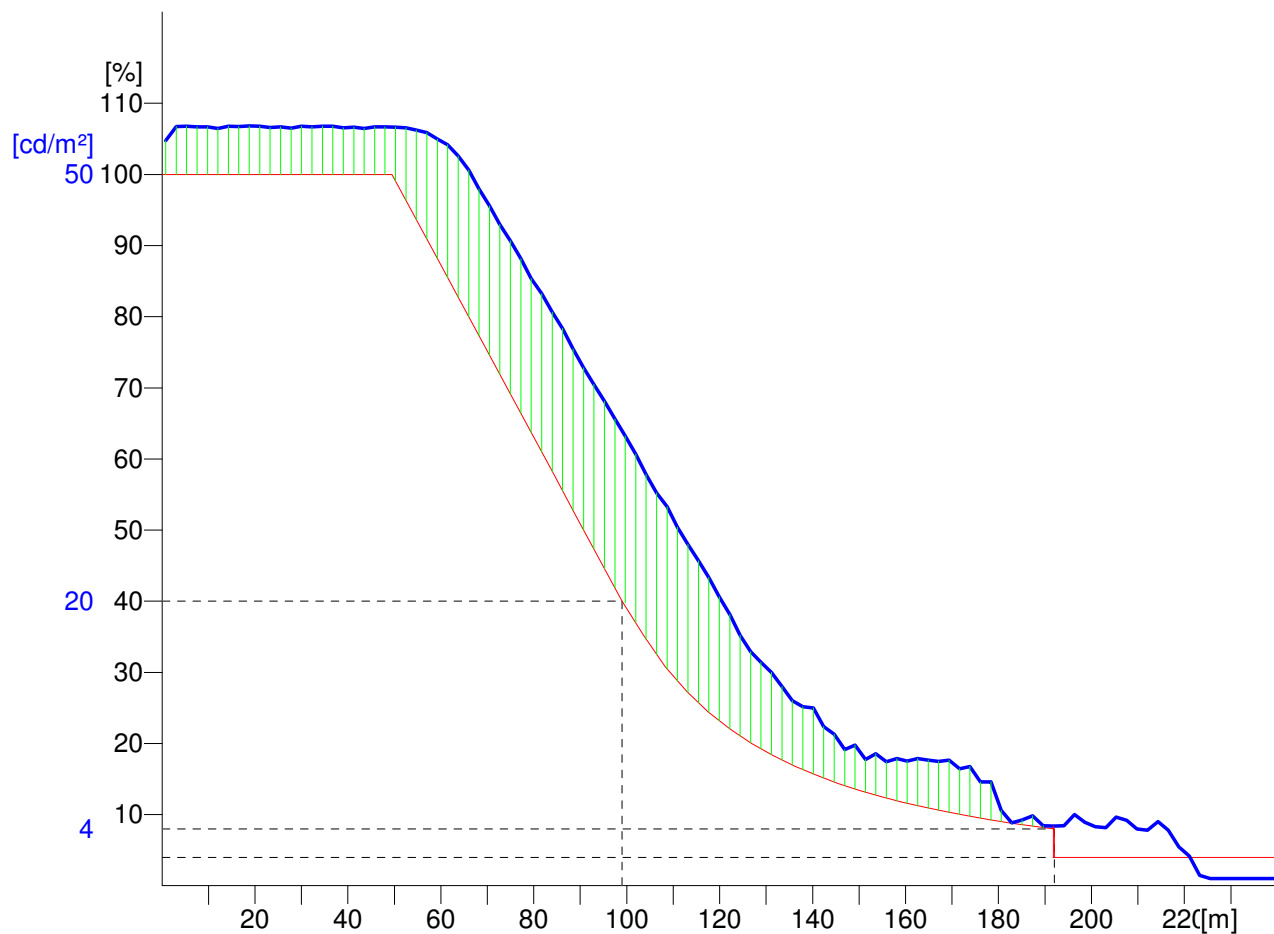
Kjørebane (R3, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 50%)

Høyre vegg (diffus 0%)

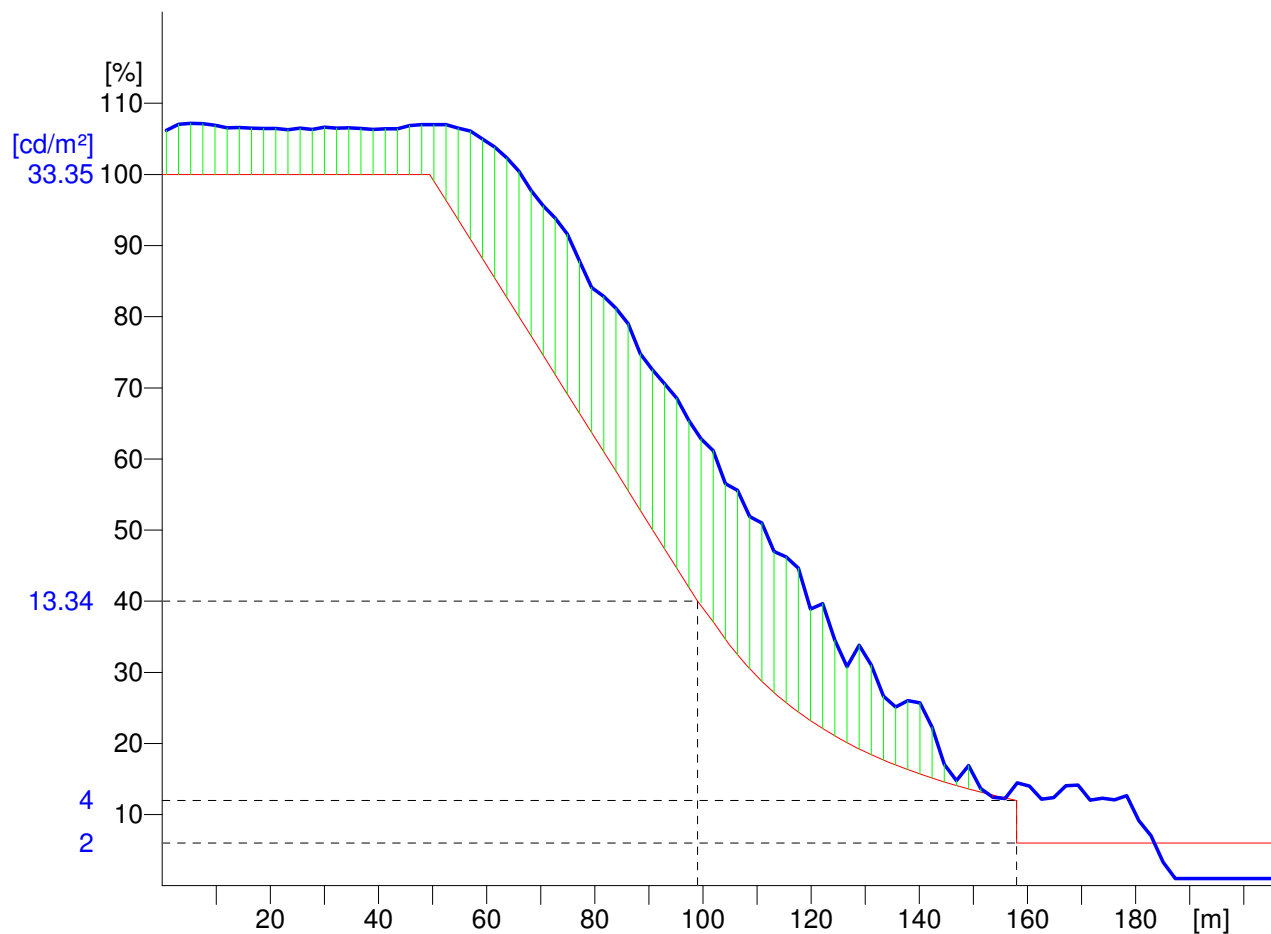
## 2.2 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.2.4 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1



## 2.2 Beregningsresultat, Jønjljotunell

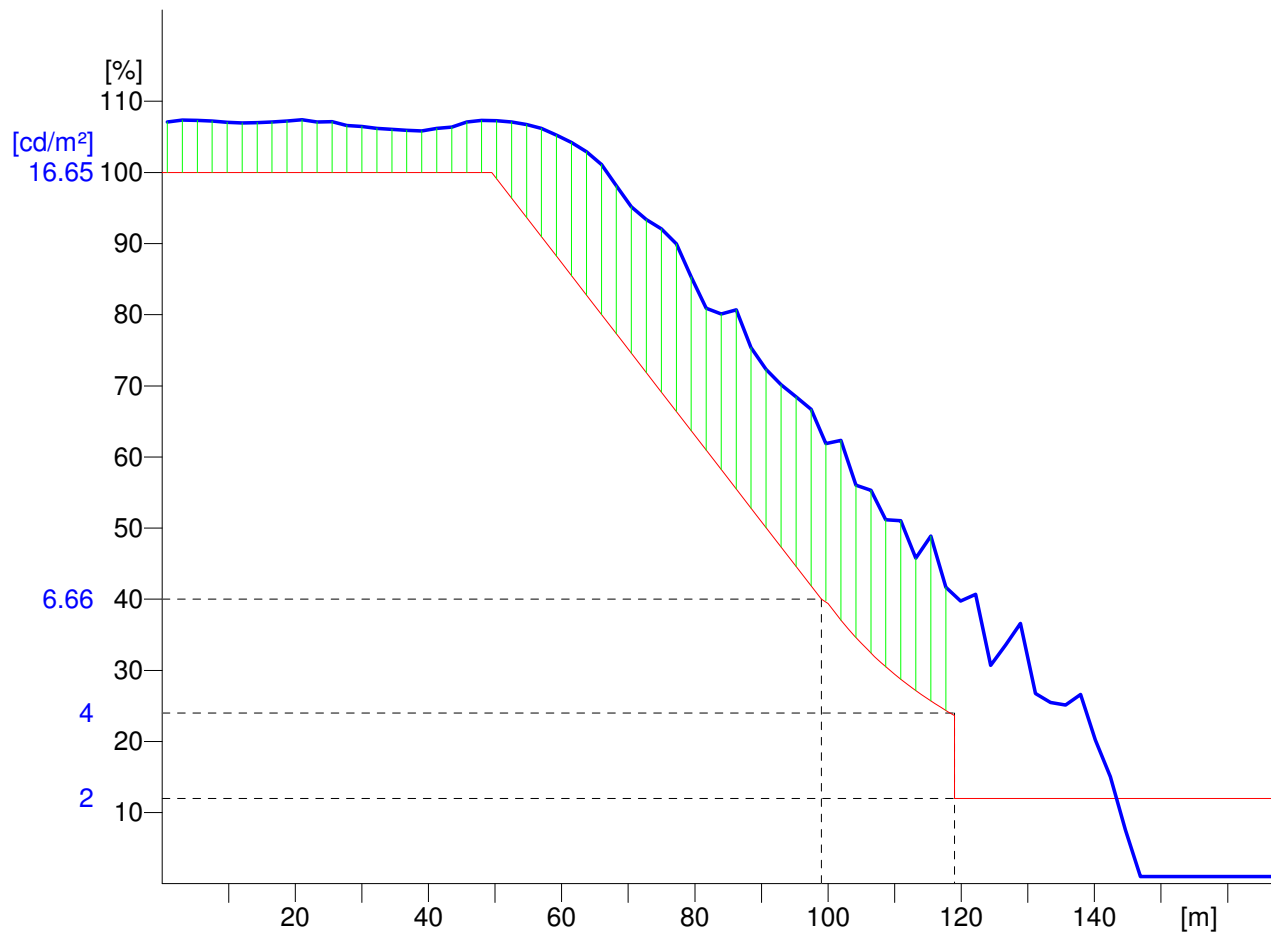
### 2.2.5 Forløp, Adaptasjon (L), S2: 66.7%, Obs. 1





## 2.2 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.2.6 Forløp, Adaptasjon (L), S3: 33.3%, Obs. 1

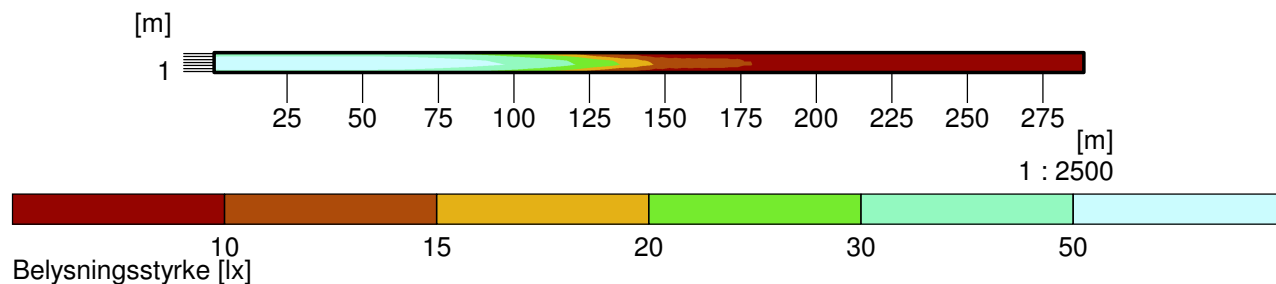


Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2 Jønjljotunnel

### 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunnel

#### 2.3.1 Fargeskala, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1

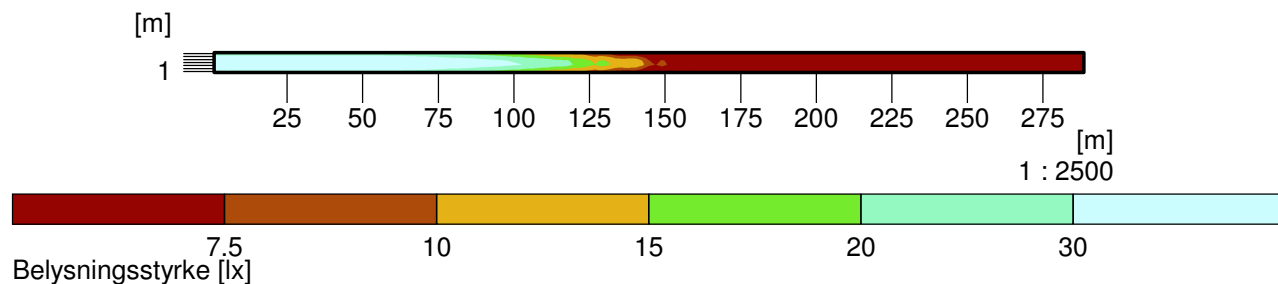


Betrakterposisjon 1 : x = -85.1, y = 2, z = 1.5 (dx = 85.93)  
Gjennomsnittlig luminans Lm : 21.6 cd/m<sup>2</sup>  
Laveste luminans Lmin : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Totaljevnhet U0 Lmin/Lm : ---  
Langsgående jevnhet U1 Lmin/Lmaks : 0

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.2 Fargeskala, Adaptasjon (L), S2: 66.7%, Obs. 1

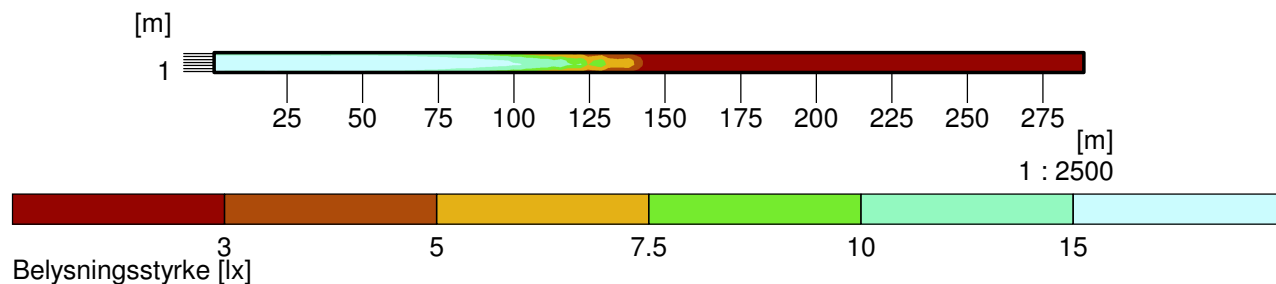


Betrakterposisjon 1 : x = -85.1, y = 2, z = 1.5 (dx = 85.93)  
Gjennomsnittlig luminans Lm : 13.9 cd/m<sup>2</sup>  
Laveste luminans Lmin : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Totaljevnhet U0 Lmin/Lm : ---  
Langsgående jevnhet U1 Lmin/Lmaks : 0

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.3 Fargeskala, Adaptasjon (L), S3: 33.3%, Obs. 1

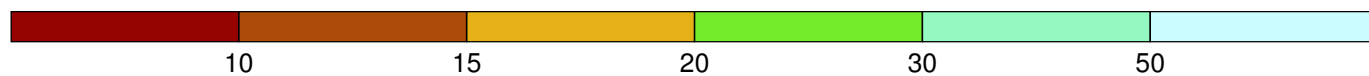
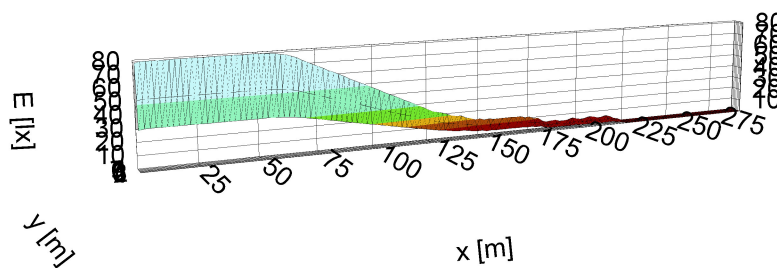


Betrakterposisjon 1 : x = -85.1, y = 2, z = 1.5 (dx = 85.93)  
Gjennomsnittlig luminans Lm : 6.64 cd/m<sup>2</sup>  
Laveste luminans Lmin : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Totaljevnhet U0 Lmin/Lm : ---  
Langsgående jevnhet U1 Lmin/Lmaks : 0

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.4 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1

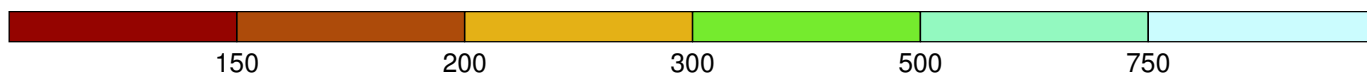
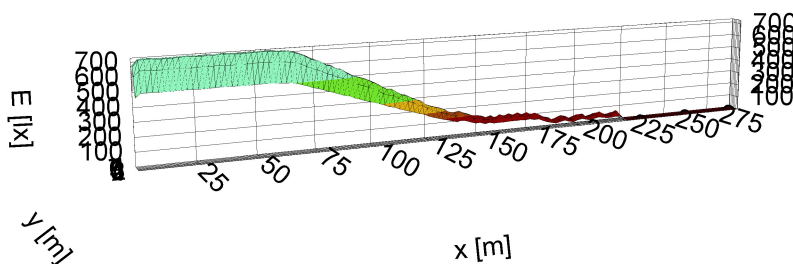


-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.5 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S1: 100%



Belysningsstyrke [lx]

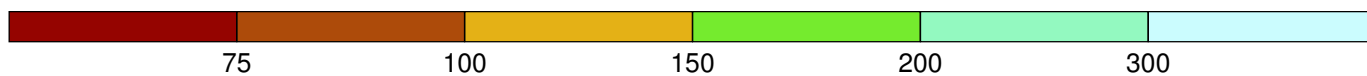
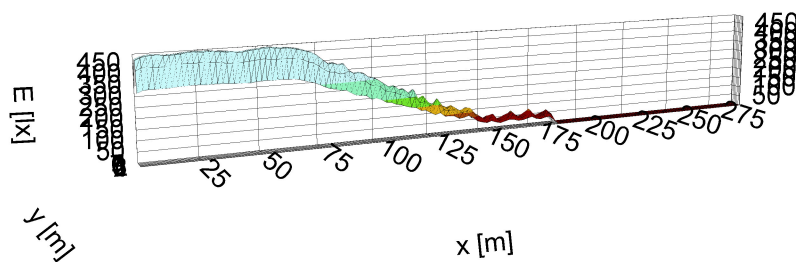
Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 264 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 728 lx
Jevnhet U1	min/ mid	: ---
Jevnhet U2	min/maks	: ---

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.6 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S2: 66.7%



Belysningsstyrke [lx]

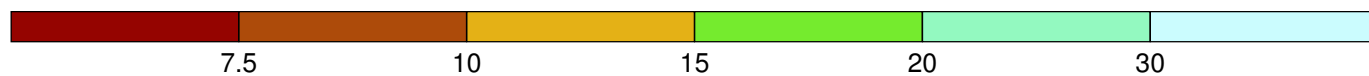
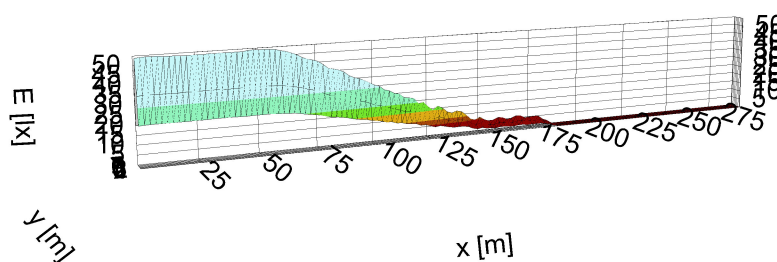
Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 170 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 489 lx
Jevnhet U1	min/ mid	: ---
Jevnhet U2	min/maks	: ---

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.7 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S2: 66.7%, Obs. 1



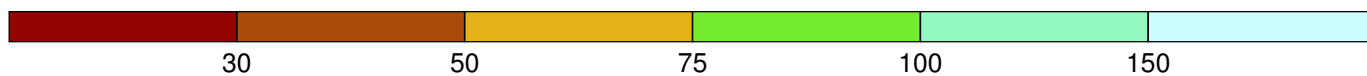
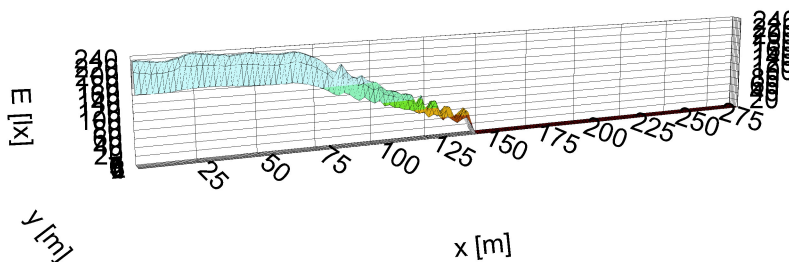
-please put your own address here-



Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.8 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S3: 33.3%



Belysningsstyrke [lx]

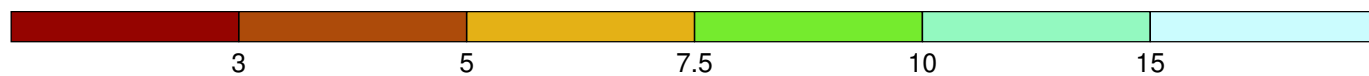
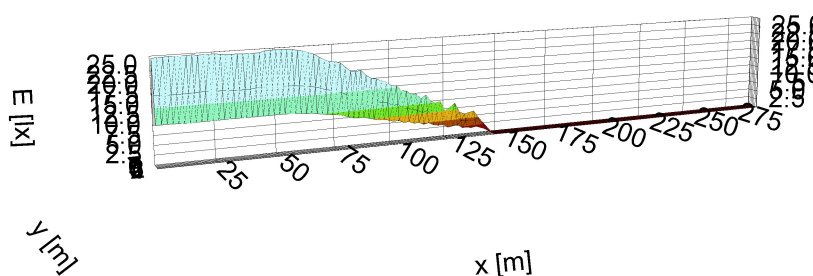
Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 81 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 249 lx
Jevnhet U1	min/ mid	: ---
Jevnhet U2	min/maks	: ---

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Jønjljotunell  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Jønjljotunell

### 2.3.9 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S3: 33.3%, Obs. 1



-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 1 Armaturdata

### 1.1 SiTECO, Reflektor, Typ 3, asymmetri... (5NA854D1P30N)

#### 1.1.1 Dataark

---

Fabrikkat: SiTECO

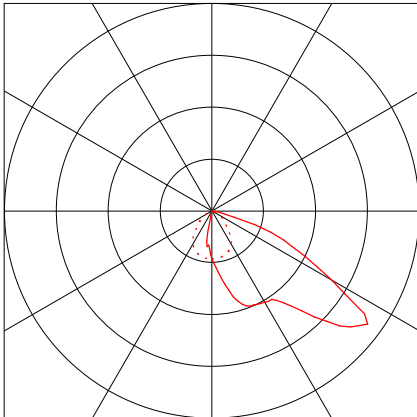
**5NA854D1P30N**      Reflektor, Typ 3, asymmetrisch strahlend

#### Armaturdata

Armaturvirkningsgrad : 71.6% (A30)  
↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 41 82 99 100 72  
Forkoblingsutstyr :  
Tot. systemeffekt : 176 W  
Lengde : 680 mm  
Bredde : 460 mm  
Høyde : 168 mm

#### Bestykket med

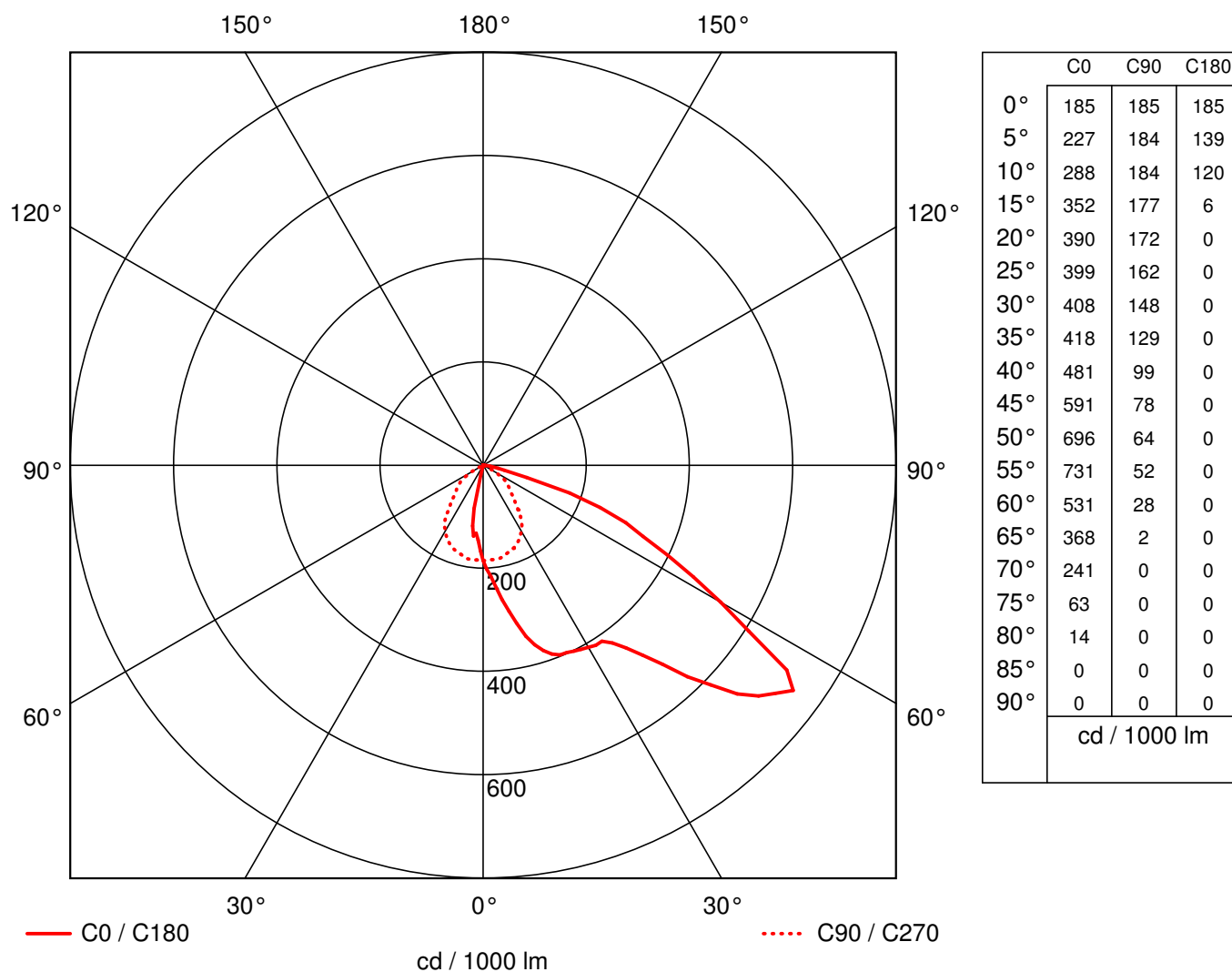
Antall : 1  
Betegnelse : HST 150W  
Effekt : 0 W  
Farge :  
Lysfluks : 17200 lm



Objekt :  
 Installasjon :  
 Prosjektnummer : Tunnel  
 Dato : 04.03.2011

## 1.1 SiTECO, Reflektor, Typ 3, asymmetri... (5NA854D1P30N)

### 1.1.2 LFK



Fabrikat	: SiTECO	Virkningsgrad	: 71.6% (A30)
Artikkelnummer	: 5NA854D1P30N	Lysfordeling	: sym. om C0-C180
Armaturnavn	: Reflektor, Typ 3, asymmetrisk strahlend	Utstrålingsvinkel	: -- C90-C270 65.0° C0 -- C180
Bestykning	: 1 x HST 150W 0 W / 17200 lm		
Dimensjoner	: L 680 mm x B 460 mm x H 168 mm		
Filnavn	: 5NA854D1P30N_1xHST_150W_391		

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 1 Armaturdata

### 1.2 SITECO, Reflektor, Typ 3, asymmetri... (5NA854D1N30N)

#### 1.2.1 Dataark

---

Fabrikat: SITECO

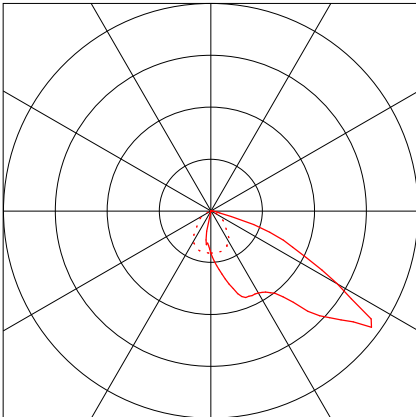
**5NA854D1N30N      Reflektor, Typ 3, asymmetrisch strahlend**

#### Armaturdata

Armaturvirkningsgrad : 67.3% (A30)  
                                     ↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes        : 39 81 99 100 67  
Forkoblingsutstyr     :  
Tot. systemeffekt     : 115 W  
Lengde                 : 680 mm  
Bredde                 : 460 mm  
Høyde                 : 168 mm

#### Bestykket med

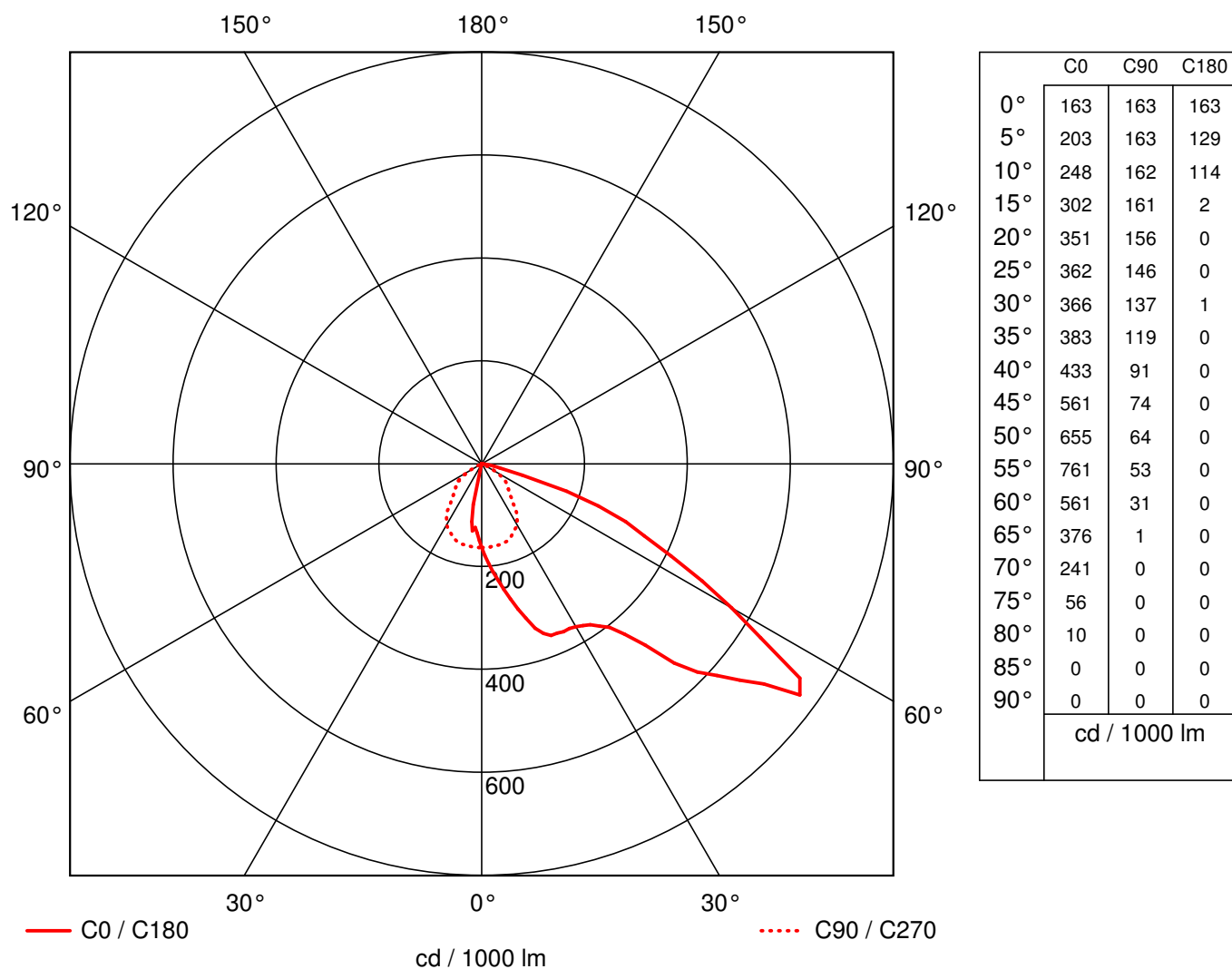
Antall                 : 1  
Betegnelse            : HST 100W  
Effekt                 : 0 W  
Farge                 :  
Lysfluks              : 10000 lm



Objekt :  
 Installasjon :  
 Prosjektnummer : Tunnel  
 Dato : 04.03.2011

## 1.2 SiTECO, Reflektor, Typ 3, asymmetri... (5NA854D1N30N)

### 1.2.2 LFK



Fabrikat : SiTECO  
 Artikelnummer : 5NA854D1N30N  
 Armaturnavn : Reflektor, Typ 3, asymmetrisk  
                   strahlend  
 Bestykning : 1 x HST 100W 0 W / 10000 lm  
 Dimensjoner : L 680 mm x B 460 mm x H 168 mm  
 Filnavn : 5NA854D1N30N\_1xHST\_100W\_391

Virkningsgrad : 67.3% (A30)  
 Lysfordeling : sym. om C0-C180  
 Utstrålingsvinkel : -- C90-C270  
                           64.9° C0  
                           -- C180

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 1 Armaturdata

### 1.3 AEC ILLUMINAZIONE SRL, TLED 0B TA 6.5-36 (TLED 0B TA 6.5-36)

#### 1.3.1 Dataark

---

Fabrikat: AEC ILLUMINAZIONE SRL

TLED 0B TA 6.5-36

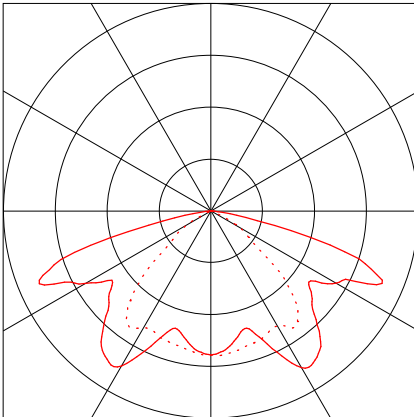
TLED 0B TA 6.5-36

#### Armaturdata

Armaturvirkningsgrad : 100% (A30)  
↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 43 79 98 100 100  
Forkoblingsutstyr :  
Tot. systemeffekt : 66 W  
Lengde : 530 mm  
Bredde : 280 mm  
Høyde : 85 mm

#### Bestykket med

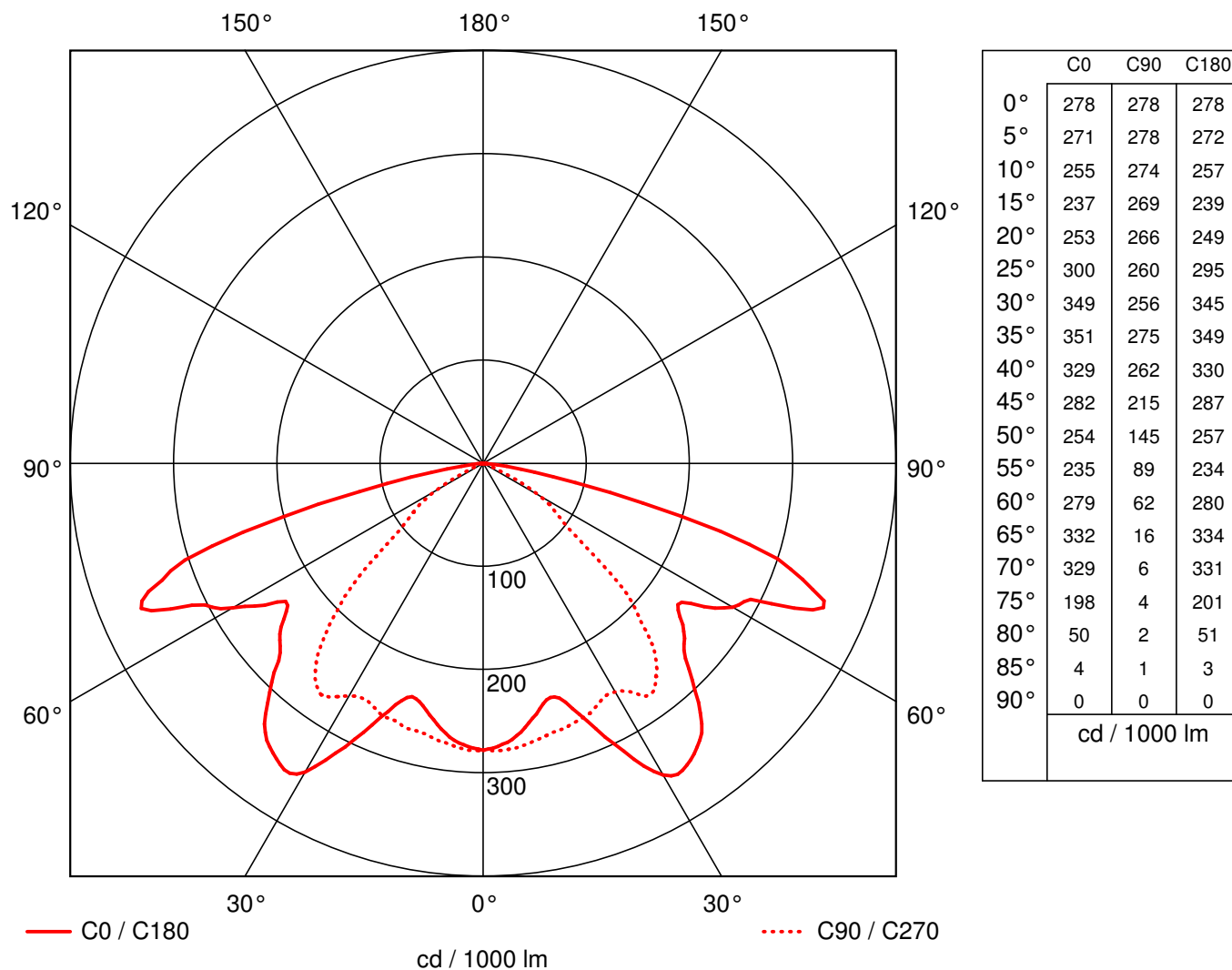
Antall : 1  
Betegnelse : 36 LED 530mA  
RES  
Effekt : 0 W  
Farge :  
Lysfluks : 5211 lm



Objekt :  
 Installasjon :  
 Prosjektnummer : Tunnel  
 Dato : 04.03.2011

### 1.3 AEC ILLUMINAZIONE SRL, TLED 0B TA 6.5-36 (TLED 0B TA 6.5-36)

#### 1.3.2 LFK



Fabrikat : AEC ILLUMINAZIONE SRL  
 Artikkelnummer : TLED 0B TA 6.5-36  
 Armaturnavn : TLED 0B TA 6.5-36  
 Bestykning : 1 x 36 LED 530mA RES 0 W / 5211 I  
 Dimensjoner : L 530 mm x B 280 mm x H 85 mm  
 Filnavn : TLED\_0B\_TA\_6\_5-36.LDT

Virkningsgrad : 100% (A30)  
 Lysfordeling : asymmetrisk  
 Utstrålingsvinkel : 75.2° C0  
 47.5° C90  
 75.3° C180  
 45.7° C270



Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2 Tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Tunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

##### Adaptasjon

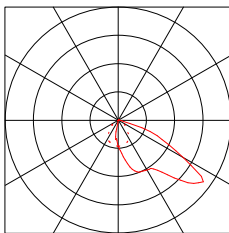
##### LFK i bruk

2 80



##### SiTECO

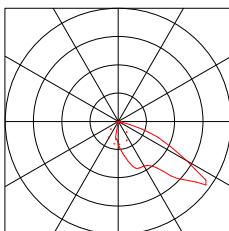
Bestillingsnr. : 5NA854D1P30N  
Armaturnavn : Reflektor, Typ 3, asymmetrisk strahlend  
Bestykning : 1 x HST 150W 0 W / 17200 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.80



3 33



Bestillingsnr. : 5NA854D1N30N  
Armaturnavn : Reflektor, Typ 3, asymmetrisk strahlend  
Bestykning : 1 x HST 100W 0 W / 10000 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.80



#### ArmaturrekkeRekke 1.1

Antall armaturer: 113

Systemeffekt (totalt): 17.9kW

Basisposisjon: x=5.10m y=4.00m, z=5.50m

-variable avstander-

Rotasjon: z=180.0° C0=0.0° C90=0.0°

Nr.	Pos. X [m]	Effektnivå	Innkobl.	grS1	S2	S3	S4	Int.1
1	5.10	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
2	6.47	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
3	7.84	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
4	9.21	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
5	10.58	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
6	11.95	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
7	13.32	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
8	14.70	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
9	16.07	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
10	17.44	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
11	18.81	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
12	20.18	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
13	21.55	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
14	22.92	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
15	24.29	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
16	25.66	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
17	27.03	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
18	28.40	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2 Tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Tunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

19	29.77	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
20	31.14	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
21	32.52	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
22	33.89	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
23	35.26	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
24	36.63	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
25	38.00	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
26	39.37	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
27	40.74	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
28	42.11	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
29	43.48	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
30	44.85	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
31	46.22	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
32	47.59	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
33	48.97	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
34	50.34	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
35	51.71	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
36	53.08	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
37	54.45	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
38	55.82	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
39	57.19	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
40	58.56	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
41	59.93	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
42	61.30	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
43	62.67	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
44	64.04	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
45	65.41	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
46	66.79	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
47	68.16	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
48	69.53	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
49	70.90	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
50	72.27	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
51	73.64	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
52	75.01	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
53	76.38	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
54	77.75	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
55	79.12	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
56	80.51	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
57	81.93	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
58	83.36	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
59	84.81	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
60	86.29	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
61	87.78	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
62	89.30	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
63	90.84	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
64	92.41	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
65	94.00	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
66	95.62	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
67	97.26	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
68	98.94	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
69	100.65	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
70	102.39	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
71	104.17	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
72	105.99	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2 Tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Tunnel

#### 2.1.1 Armaturliste

73	107.85	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
74	109.75	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
75	111.69	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
76	113.69	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
77	115.74	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
78	117.86	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
79	120.03	176W / 17.2klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
80	122.28	176W / 17.2klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
81	123.62	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
82	124.99	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
83	126.39	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
84	127.83	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
85	129.29	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
86	130.80	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
87	132.34	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
88	133.93	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
89	135.56	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
90	137.25	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
91	138.99	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
92	140.79	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
93	142.67	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
94	144.63	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
95	146.67	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
96	148.80	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
97	151.10	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
98	153.58	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
99	156.28	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
100	159.21	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
101	162.42	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
102	165.94	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
103	169.82	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
104	174.12	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
105	178.87	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
106	183.62	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
107	188.37	115W / 10klm	2	100%	100%	50%	50%	0%
108	194.98	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
109	202.68	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
110	211.72	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
111	221.22	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
112	230.72	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%
113	240.22	115W / 10klm	1	100%	50%	50%	0%	0%

Indre  
LFK i bruk

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2 Tunnel

### 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

#### 2.2.1 Resultatoversikt, S1: 100%

---

##### **Innkoblingstrinn: S1: 100%**

Adaptasjon

1: 100%

2: 100%

Indre

3: 100%

##### **Innkjøringssone (konstant)**

Måleområde: 21.55 m - 36.62 m Points:  $n_x = 7$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -38.45$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 61.08$  m (fix)

$y = 2.00$  m                       $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

##### **Innkjørings- og overgangssone**

Måleområde: 0.02 m - 269.13 m Points:  $n_x = 125$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -84.84$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 85.93$  m (bevegelig)

$y = 2.00$  m                       $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.2.2 Resultatoversikt, S2: 75%

---

#### Innkoblingstrinn: S2: 75%

Adaptasjon

1: 50%  
2: 100%

Indre

3: 100%

#### Innkjøringssone (konstant)

Måleområde: 21.55 m - 36.62 m Points:  $n_x = 7$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -38.45$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 61.08$  m (fix)  
 $y = 2.00$  m  $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

#### Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: 0.02 m - 269.13 m Points:  $n_x = 125$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -84.84$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 85.93$  m (bevegelig)  
 $y = 2.00$  m  $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.2.3 Resultatoversikt, S3: 50%

---

#### Innkoblingstrinn: S3: 50%

Adaptasjon

1: 50%

2: 50%

Indre

3: 100%

#### Innkjøringssone (konstant)

Måleområde: 21.55 m - 36.62 m Points:  $n_x = 7$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -38.45$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 61.08$  m (fix)  
 $y = 2.00$  m  $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

#### Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: 0.02 m - 269.13 m Points:  $n_x = 125$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -84.84$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 85.93$  m (bevegelig)  
 $y = 2.00$  m  $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.2.4 Resultatoversikt, S4: 25%

---

#### Innkoblingstrinn: S4: 25%

Adaptasjon

1: 0%  
2: 50%

Indre

3: 100%

#### Innkjøringssone (konstant)

Måleområde: 21.55 m - 36.62 m Points:  $n_x = 7$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -38.45$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 61.08$  m (fix)  
 $y = 2.00$  m  $y = 6.00$  m

Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

#### Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: 0.02 m - 269.13 m Points:  $n_x = 125$ ,  $n_y = 6$ ,  $n_z = 3$

Betrakter (startpunktkoordinater):  $x = -84.84$  m;  $z = 1.50$  m  $dx = 85.93$  m (bevegelig)  
 $y = 2.00$  m  $y = 6.00$  m

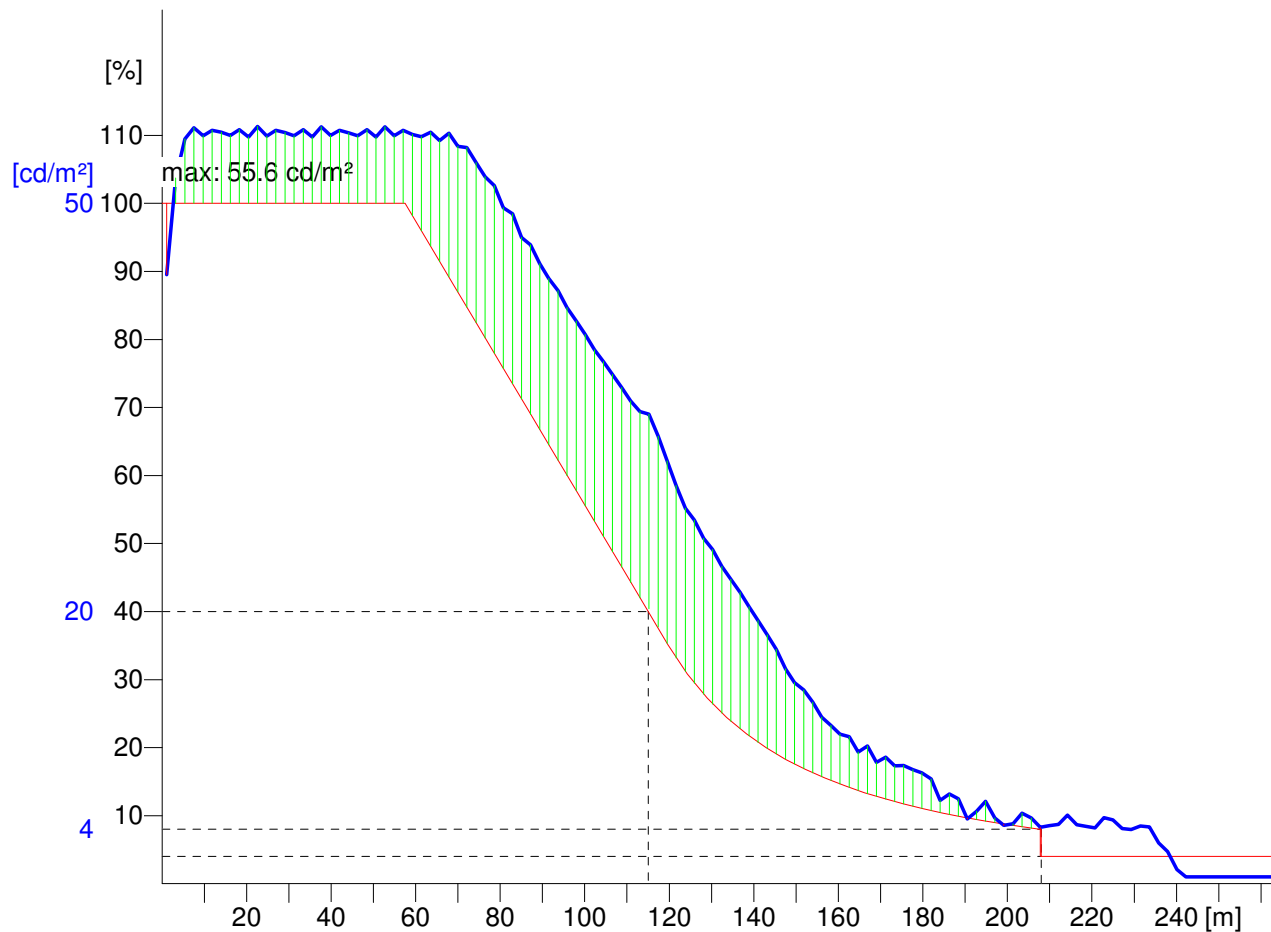
Kjørebane (R3,  $q_0 = 0.07$ )

Venstre vegg (diffus 30%)

Høyre vegg (diffus 30%)

## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

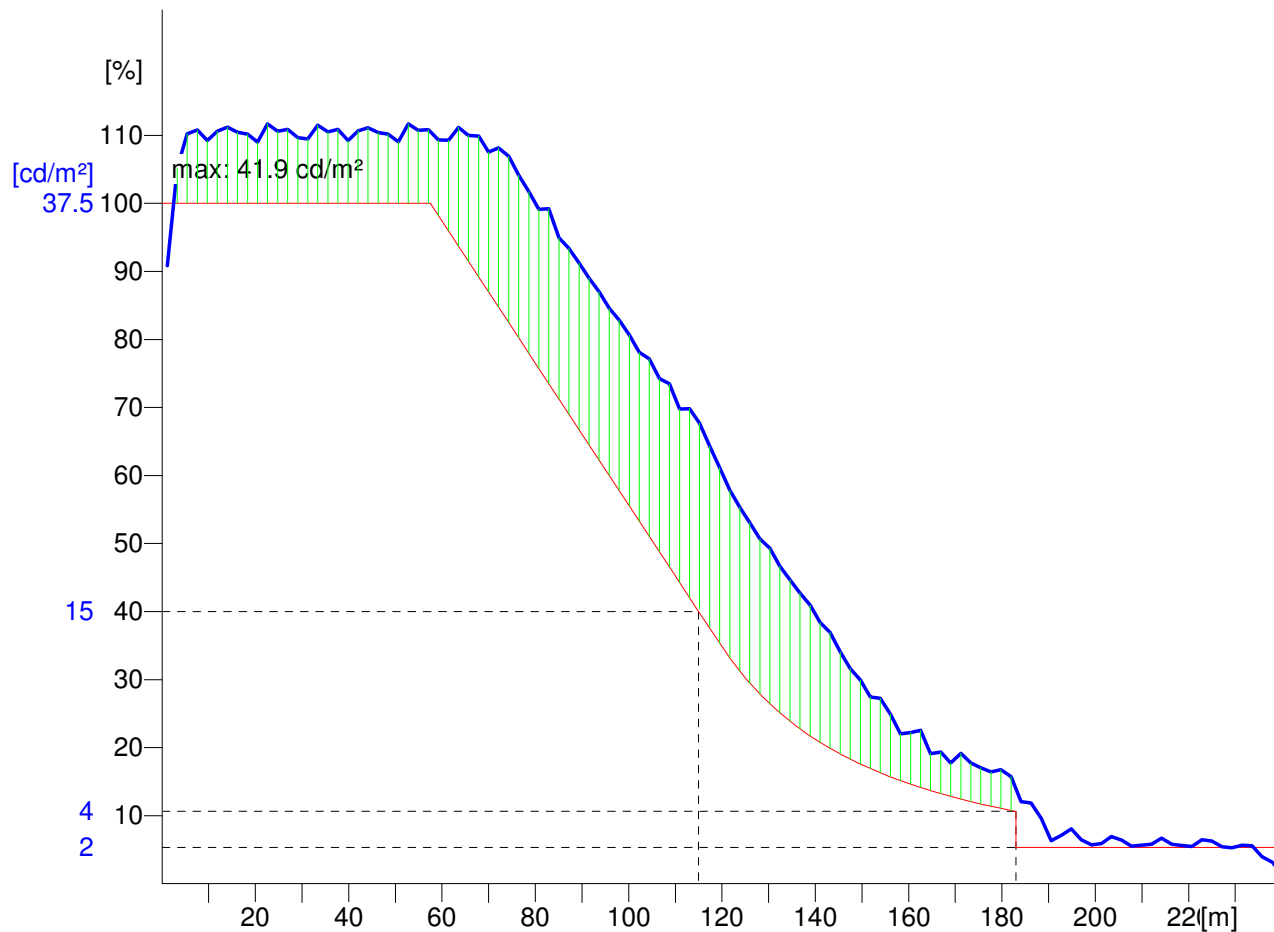
### 2.2.5 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1





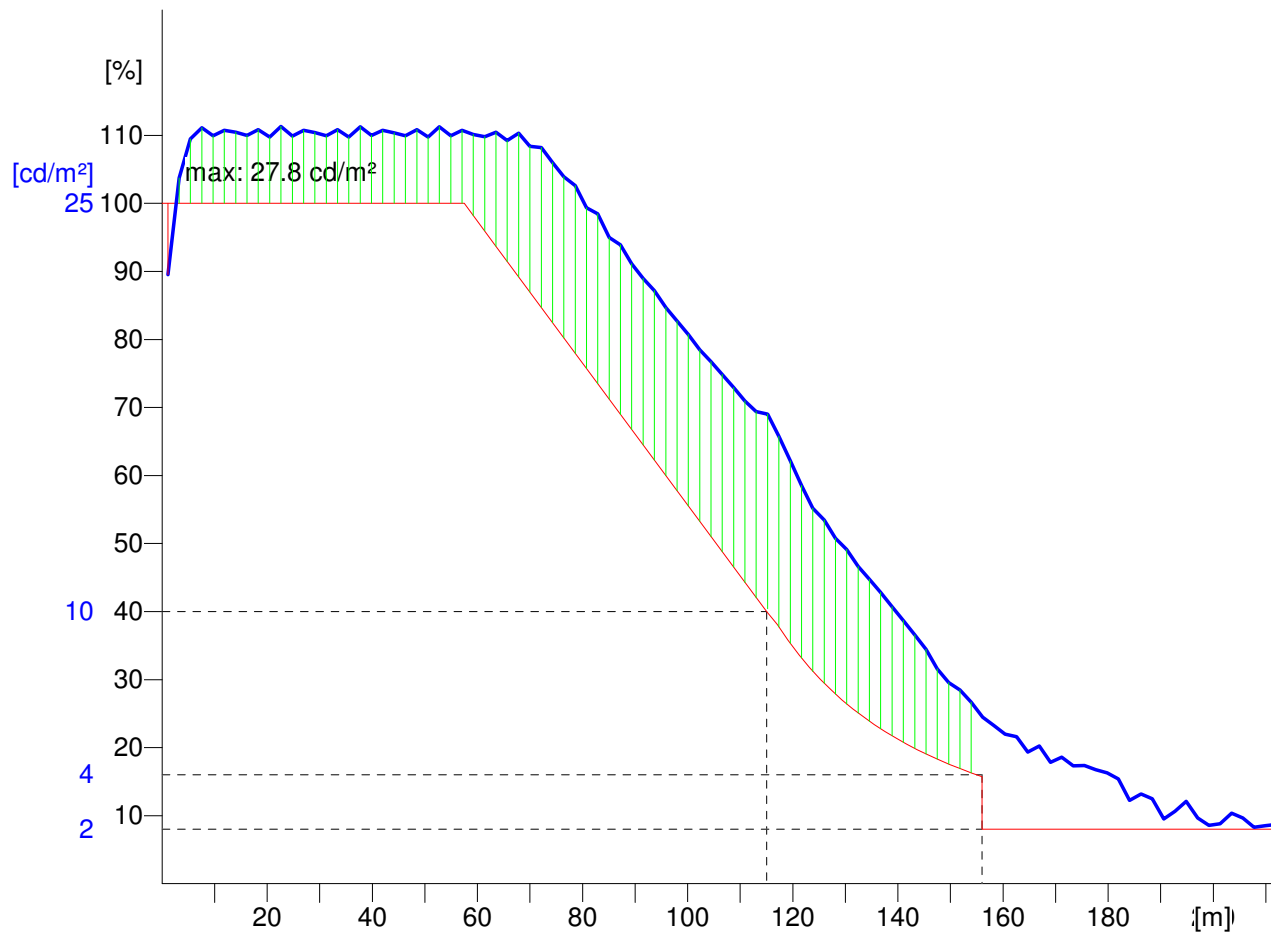
## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.2.6 Forløp, Adaptasjon (L), S2: 75%, Obs. 1



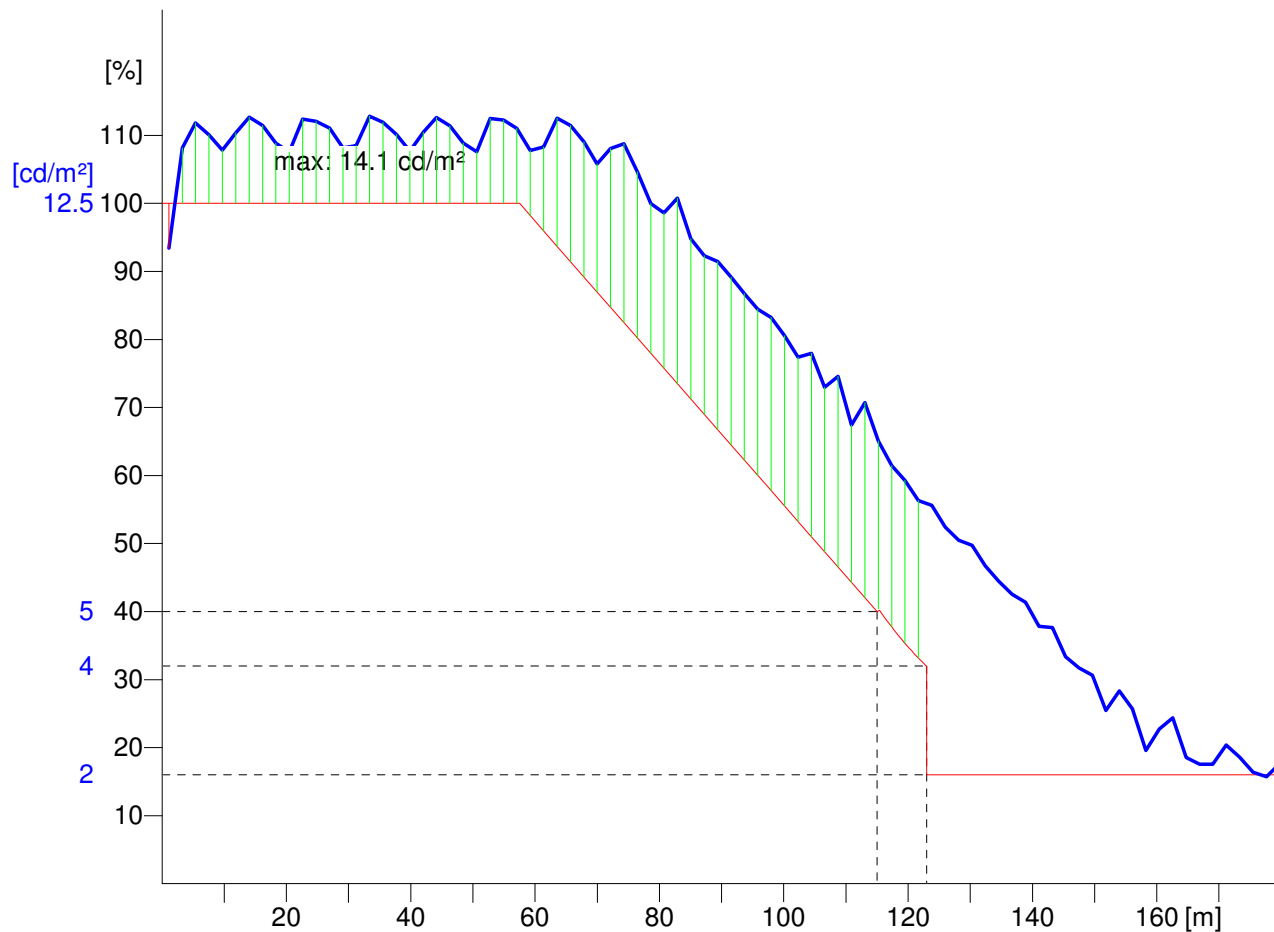
## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.2.7 Forløp, Adaptasjon (L), S3: 50%, Obs. 1



## 2.2 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.2.8 Forløp, Adaptasjon (L), S4: 25%, Obs. 1



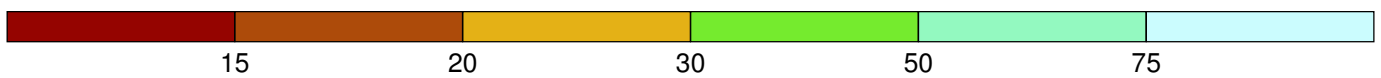
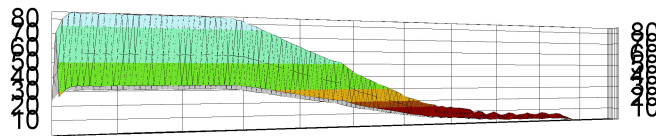
Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2 Tunnel

### 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

#### 2.3.1 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1

---



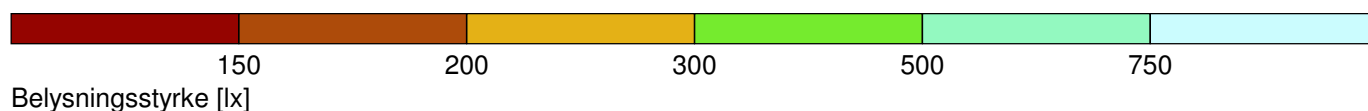
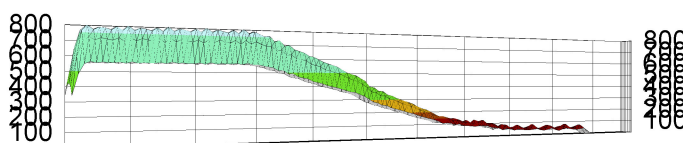
---

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.2 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S1: 100%

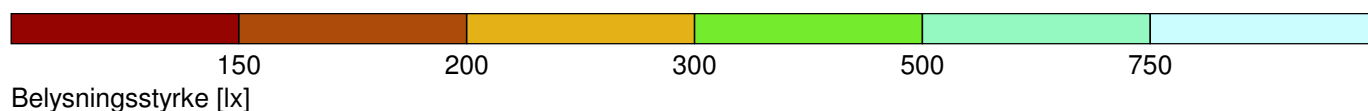
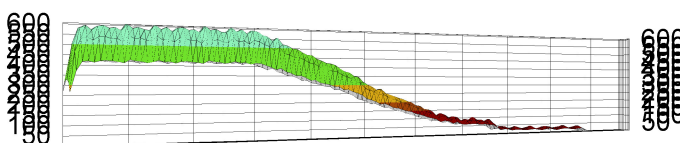


Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 337 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 801 lx
Jevnhet U1	min/mid	: 1: 206000 (0)
Jevnhet U2	min/maks	: 1: 489000 (0)

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.3 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S2: 75%



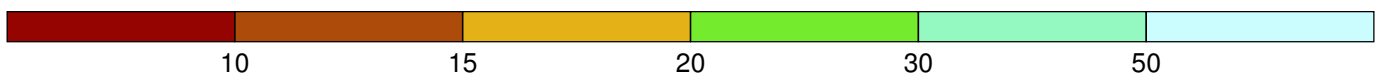
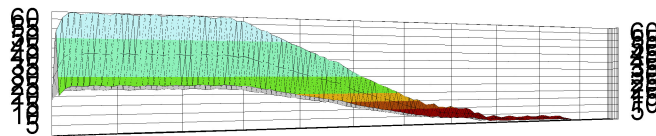
Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 250 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 606 lx
Jevnhet U1	min/ mid	: ---
Jevnhet U2	min/maks	: ---

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.4 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S2: 75%, Obs. 1

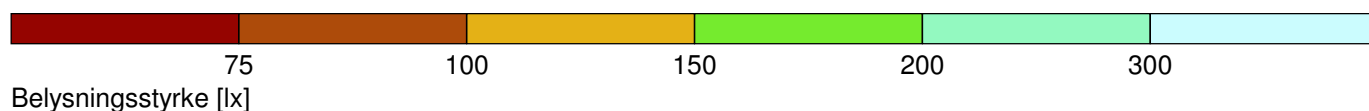
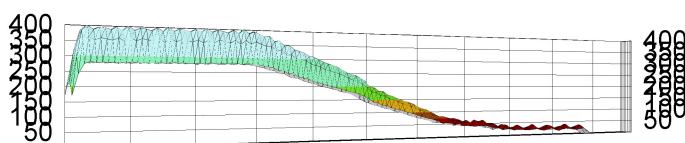


-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.5 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S3: 50%



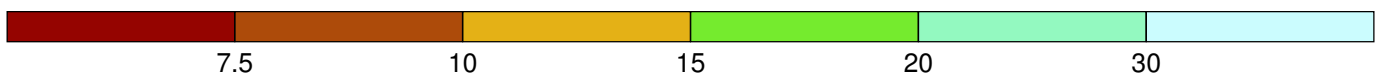
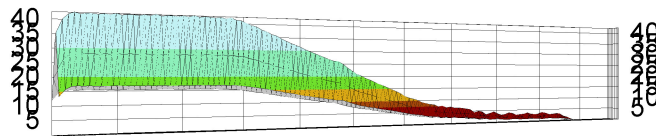
Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 169 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 401 lx
Jevnhet U1	min/ mid	: ---
Jevnhet U2	min/maks	: ---



Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.6 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S3: 50%, Obs. 1

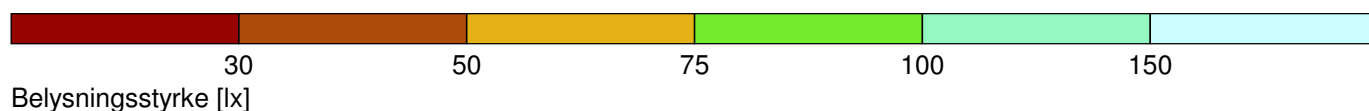
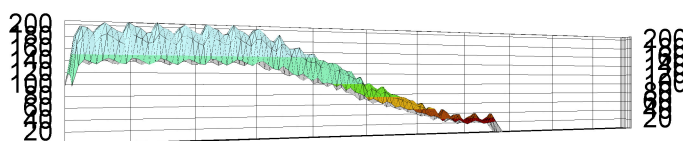


-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.7 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (E), S4: 25%



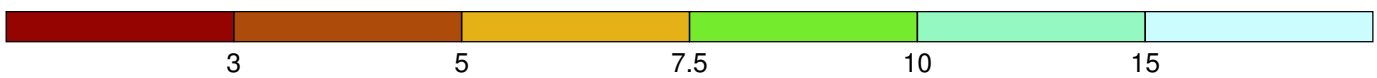
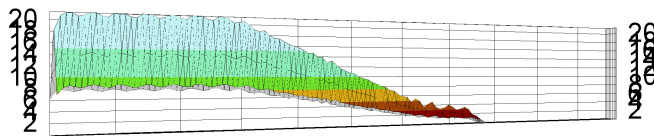
Gjennomsnittlig belysningsstyrke	Em	: 82 lx
Laveste belysningsstyrke	Emin	: 0 lx
Største belysningsstyrke	Emaks	: 206 lx
Jevnhet U1	min/ mid	: ---
Jevnhet U2	min/maks	: ---

-please put your own address here-

Objekt :  
Installasjon :  
Prosjektnummer : Tunnel  
Dato : 04.03.2011

## 2.3 Beregningsresultat, Tunnel

### 2.3.8 3D-fjelldiagram, Adaptasjon (L), S4: 25%, Obs. 1



-please put your own address here-