

# Energisparing med bedre styringskriterier for LED-belysning i veitunneler

**Magnus Guntvedt Brevik**

Master of Science in Electric Power Engineering  
Innlevert: februar 2015  
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



## Oppgavetekst

God tunnelbelysning er en viktig sikkerhetsfaktor, men utgjør også en stor driftskostnad. Med moderne LED-belysning er det mulig å dimme belysningen momentant og å kunne skru av belysningen i perioder uten trafikk.

Det er ønskelig å utvikle anbefalinger for valg av løsning for styring av nye belysningsanlegg, basert på gruppering av ulike tunneltyper. Slike anbefalinger kan baseres på beregninger av sparingspotensiale ved bruk av forskjellige styringskriterier og erfaringer gjort med tidligere LED- eller induksjonslampeanlegg.

Kandidaten skal:

- Redegjøre for dagens krav til tunnelbelysning.
- Beregne energisparingspotensiale ved bruk av forskjellige styringskriterier.
- Foreslå styringskriterier for belysningsanlegg for forskjellige grupperinger av tunneler.
- Vurdere erfaringer fra oppførte anlegg med LED-belysning og anlegg med kjøretøystyrt induksjonslampebelysning.

**Oppgaven gitt:** 8. september 2014.

**Hovedveileder:** Førstemanuensis Eilif Hugo Hansen



# Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført i et samarbeid mellom Statens vegvesen og meg, som student ved NTNU. Rapporten utgjør 30 studiepoeng og ble utarbeidet fra 8. september 2014 til 12. februar 2015, i faget TET 4910. Faget er en del av det internasjonale masterprogrammet «Master of Science in Electric Power Engineering» ved NTNU.

Rapporten har vært en videreføring av fordypningsprosjektet fra våren 2014. Arbeidet har belyst mange svakheter ved prosjektoppgaven, slik at jeg nå har mye større oversikt over nyansene i tunnelbelysning som fag. Det har vært veldig givende å arbeide med noe praktisk etter mange år med tung teori.

Utfordringen med oppgaven var at den var todelt. En del besto i å gjøre beregninger og den andre var å hente informasjon om erfaringer fra ulike tunneler. Sistnevnte del har ikke blitt gjennomført på en god måte. Dette er dels på grunn av at det var vanskelig å komme i kontakt med de riktige personene og at det tok lang tid å få svar og dels fordi svarene ikke gikk ordentlig i dybden. Mest av alt var det nok fordi det var veldig tidkrevende å få ferdig beregningsskriptet. Data fra forskjellige tunneler som skulle brukes i beregningene kom heller aldri på plass, slik at det gikk to uker til å lage egne data som kunne brukes.

I det avsluttende arbeidet var det også tydelig at dersom jeg hadde fått svar på alt som ble spurt om, ville oppgaven blitt altfor omfattende. Så selv om det er skuffende å ikke ha fått til alt som ble planlagt, føler jeg at beregningsbiten ble gjennomført på en god nok måte til å dekke en masteroppgave.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til følgende personer:

- Førstemanuensis Eilif Hugo Hansen for stor valgfrihet i oppgaven, veiledning og annen hjelp.
- PhD Pål Johannes Larsen for idé til oppgave og gode innspill.
- PhD Per Ole Wanvik i vegvesenet for oppgaven samt diverse innspill.
- Alle andre som tok seg tid til å svare på spørsmålene mine.

Magnus Guntvedt Brevik, 12. februar 2015



## Sammendrag

Rapporten har som formål å undersøke energisparingspotensialet ved bruk av trafikkstyrt belysning i tunneler. Videre var formålet å komme med anbefalinger for hvilke typer tunneler som vil ha en fordel av forskjellige styringsmetoder.

Gjennomsnittlig energiforbruk ble beregnet for tunneler med fem lengder, fem trafikkmengder og seks styringsmetoder.

Armaturgrunnlaget i beregningene er hentet fra Brekktunnelen i Sør-Trøndelag, som var første tunnel i Norge med 100 % LED-belysning. Som sammenligningsgrunnlag ble det dimensjonert et konvensjonelt anlegg.

I beregningene ble det antatt at kjøretøyenes posisjon i tunnelen ble registrert hvert sekund og at dette ville gi lys 300 meter foran og 100 meter bak bilen.

De faktorene som ikke ble medberegnet ble vurdert til sammenlagt å ville gi høyere sparingspotensiale enn beregningene viste

Det ble funnet at relativt sparingspotensial for kontinuerlig kjøretøystyrt belysning er uavhengig av tunnellengde, bortsett fra for høy ÅDT, hvor det ble funnet at relativ sparing øker når tunnelen blir lengre. For ÅDT 500, 1 500 og 4 000 vil potensialet ligge tilnærmet konstant på 98 %, 94 % og 87 %.

Det årlige sparepotensialet er 1 684 MWh (83,4 %) for en 20 000 meter lang tunnel med ÅDT 12 000 og separate løp.

Anbefalinger for når de forskjellige styringsmetodene bør installeres ble drøftet. Blant annet ble det konkludert med at for tunneler som er 2 000 meter og kortere, med ÅDT 8 000 og høyere, bør det antageligvis ikke installeres kjøretøystyrt lysanlegg, men kun dimming etter luminansreduksjonskurven.

I tillegg ble det tatt kontakt med ansvarlige for lysinstallasjonen i tunneler med LED og kjøretøystyrt induksjonslamper. Dessverre var mengden innhentet informasjon ikke tilstrekkelig nok til å kunne gjennomføre en ordentlig drøfting av driftserfaringer fra de aktuelle tunnelene.





# Abstract

This report aims to investigate energy saving potential by using traffic controlled lighting in tunnels. Furthermore, the purpose was to make recommendations for which tunnels the different control methods should be installed in.

Average energy consumption was calculated for tunnels with five lengths, five traffic volumes and six control methods.

The luminaires used in the calculations is the ones used in Brekktunnelen in Sør-Trøndelag, which was the first tunnel in Norway with 100 % LED lighting. As a basis for comparison, a conventional light installation was dimensioned.

Calculations assumed that vehicle positions in the tunnel was recorded every second. Then light was given 300 meters in front and 100 meters behind the car.

The factors not included in the calculations was considered to overall provide a higher savings potential than the calculated values.

Relative saving potential for continuous vehicle controlled lighting was found to be non-depended of the tunnel length, except for high AADT, where it was found that relative savings rise when length increases. For AADT 500, 1 500 and 4 000 the potential will remain approximately constant at 98 %, 94 % and 87 %.

The annual savings potential is 1 684 MWh (83.4 %) for a 20 000 meters long tunnel with AADT 12 000 and separate tubes.

Recommendations for when the different control methods should be installed was discussed. Among other things, it was concluded that for tunnels which are 2 000 meters and shorter, with AADT 8 000 and higher, vehicle-controlled lighting systems should probably not be installed, but only dimming according to the luminance reduction curve.

In addition, contact was made with persons responsible for light installations in tunnels with LED and vehicle-controlled induction lamps. Unfortunately, the amount of information obtained is not sufficient enough to carry out a proper discussion of the operational experience from the corresponding tunnels.



# Innhold

Forord . . . . .	i
Sammendrag . . . . .	iii
Abstract . . . . .	v
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Introduksjon til rapporten . . . . .	2
1.1.1 Begrensninger i rapporten . . . . .	3
<b>2 Teori og litteraturstudie</b>	<b>5</b>
2.1 Norske belyningskrav . . . . .	5
2.1.1 Relevante håndbøker fra Statens vegvesen . . . . .	5
2.1.2 Faktorer for belyningskrav . . . . .	6
2.1.3 Adaptasjonsluminans . . . . .	7
2.1.4 Tunnelklasser . . . . .	8
2.1.5 Belyningskrav i tunnelens forskjellige soner . . . . .	8
2.1.6 Andre lystekniske krav . . . . .	12
2.1.7 Motlys og symmetrisk lys . . . . .	12
2.2 LED som lyskilde . . . . .	13
2.2.1 Lyskvalitet . . . . .	13
2.2.2 Lysutbytte . . . . .	14

2.2.3	Levetid . . . . .	15
2.2.4	Blending . . . . .	16
2.2.5	LED i tunnelbelysning . . . . .	17
2.3	Styring av belysning i tunneler . . . . .	18
2.3.1	Styringskriterier . . . . .	19
2.4	Deteksjon av trafikk . . . . .	20
2.4.1	Automatisk hendelsesdetektering - AID . . . . .	20
2.5	Tidligere forsøk på beregning . . . . .	22
2.5.1	Resultater . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Presentasjon av datagrunnlag og tunnelinformasjon</b>	<b>25</b>
3.1	Lysanlegg i noen tunneler . . . . .	25
3.1.1	Brekktunnelen . . . . .	26
3.1.2	Tunnelene mellom Sokna og Ørgenvika . . . . .	28
3.1.3	Tunneler i region sør . . . . .	29
3.1.4	Tunneler i region nord . . . . .	29
3.1.5	Tunneler i region vest . . . . .	31
3.2	Datagrunnlag for beregninger . . . . .	32
3.2.1	Adaptasjonsluminans . . . . .	32
3.2.2	Trafikkdata . . . . .	34
3.2.3	Armaturer . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Beregningsskript</b>	<b>41</b>
4.1	Ønskede utregninger . . . . .	41
4.1.1	Lengder og ÅDT . . . . .	41
4.1.2	Forskjellige sparingsmetoder og beregninger . . . . .	42
4.2	Løsninger i skriptet . . . . .	44
4.2.1	Generelle løsninger . . . . .	44

4.2.2	Treghet i styringssystemet . . . . .	47
4.2.3	Løsninger for trafikkdeteksjon . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Resultater fra energiberegningene</b>	<b>49</b>
5.1	Lastkurver . . . . .	49
5.2	Absolutt og relativt forbruk . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>61</b>
6.1	Datagrunnlag og beregningsfaktorer . . . . .	62
6.1.1	Adaptasjonsluminans . . . . .	62
6.1.2	Trafikkdata . . . . .	64
6.1.3	Armaturer og lysberegning . . . . .	66
6.1.4	Faktorer i beregningen . . . . .	68
6.1.5	Oppsummering av beregningsgrunnlaget . . . . .	71
6.1.6	Levetid . . . . .	72
6.2	Energisparingspotensiale . . . . .	73
6.2.1	Absolutt og relativt forbruk . . . . .	73
6.2.2	Valg av metode . . . . .	77
6.3	Trafikkdeteksjon . . . . .	79
6.3.1	Deteksjon på vei ut av tunnel . . . . .	79
6.3.2	Kontinuerlig detektering . . . . .	81
6.4	Tunneler som planlegges med LED . . . . .	82
6.4.1	Mælefjelttunnelen . . . . .	82
6.4.2	Andre tunneler som planlegges med LED . . . . .	83
<b>7</b>	<b>Konklusjoner og videre arbeid</b>	<b>85</b>
7.1	Beregnet energiforbruk . . . . .	85
7.2	Anbefalinger for lysanlegg . . . . .	86
7.3	Videre arbeid . . . . .	87

Bibliografi	88
Vedlegg 1 - Liste over tunneler med LED	I
Vedlegg 2 - Rapport om kjøretøystyrt belysning	V
Vedlegg 3 - Lysberegning av LED-anlegget	XXIII
Vedlegg 4 - Lysberegning av konvensjonelt anlegg	XXXI
Vedlegg 5 - Datablad for LED-armaturene	XLIII
Vedlegg 6 - Datablad for ny LED-armatur	XLIX
Vedlegg 7 - Matlabskript for energiberegning	LIII
Vedlegg 8 - Skript for tilfeldig trafikk	LXI
Vedlegg 9 - Passeringer ÅDT 1 500 ett felt	LXV
Vedlegg 10 - Beregnede lastkurver	LXIX

# Figurer

2.1	Inndeling i tunnelklasser . . . . .	8
2.2	Luminansreduksjonskurve for dagslysforhold . . . . .	10
3.1	Den gjennomsnittlige adaptasjonsluminansen for Brekkunnelen . . . . .	33
4.1	Forenklet flytskjema for beregningskriptet . . . . .	45
5.1	Lastkurve for tunnel på 20 000 m med ÅDT 12 000 og separate løp . . . . .	50
5.2	Lastkurve for tunnel på 4 000 m med ÅDT 500 . . . . .	50
5.3	Metode 2s forbruk relativt til metode 1 . . . . .	56
5.4	Metode 3s forbruk relativt til metode 1 . . . . .	56
5.5	Metode 4s forbruk relativt til metode 1 . . . . .	56
5.6	Metode 5s forbruk relativt til metode 1 . . . . .	57
5.7	Metode 6s forbruk relativt til metode 1 . . . . .	57
5.8	Metode 4s forbruk relativt til metode 3 . . . . .	57
5.9	Metode 5s forbruk relativt til metode 3 . . . . .	58
5.10	Metode 6s forbruk relativt til metode 3 . . . . .	58
5.11	Metode 5s forbruk relativt til metode 4 . . . . .	58
5.12	Metode 6s forbruk relativt til metode 4 . . . . .	59
5.13	Metode 6s forbruk relativt til metode 5 . . . . .	59
6.1	Metode 6 relativt til metode 1 . . . . .	76





# Tabeller

2.1	Krav til dimensjonert luminans i tunnelsonene . . . . .	9
2.2	Oppsummering av fordeler og ulemper for AID-teknologier . . . . .	21
2.3	Energi spart beregnet av Sweco . . . . .	24
3.1	Trafikk fordelt på ukedager og helgedager . . . . .	35
3.2	Prosentvis fordeling av trafikkdata . . . . .	37
3.3	LED-armaturer installert i Brekktunnelen . . . . .	38
3.4	Konvensjonelle armaturer foreslått i Brekktunnelen . . . . .	38
5.1	Alt beregnet forbruk i kWh . . . . .	52
5.2	Forbruk relativt til metode 1 . . . . .	53
5.3	Alt beregnet forbruk for innkjøringssonene . . . . .	54
5.4	Alt beregnet forbruk for grunnbelysning . . . . .	55
6.1	Swecos resultater summert . . . . .	82
6.2	Utdrag fra tabell 5.1 for lengde 10 000 meter . . . . .	82



# Kapittel 1

## Innledning

Norge er et av landene i verden med flest veitunneler hvor mesteparten av disse av disse har svært gamle belysningsanlegg. For de aller fleste tunneler utgjør belysningen én av de to største driftskostnadene [1]. Med en modernisering av gamle anlegg, samt god planlegging av nye, vil sparepotensialet være stort. Norge bruker omtrent 56 GWh årlig på belysning i tunneler [1].

God belysning i tunneler handler ikke bare om å spare energi når det er mulig, det er også et av de viktigste kriteriene for trafiksikkerhet. Ifølge Statens vegvesen er risikoen for en ulykke i tunnel størst utenfor og like innenfor tunnelportalene [2]. En internasjonal rapport om sikkerhet i tunneler fra OECD, understreker at det er «riktig» lysnivå som øker sikkerheten, ikke bare høyere nivå. Med en god overgang fra dagslys til tunnelens lave lysnivå, kan sjåførenes synsprestasjon opprettholdes, uten at det går utover kjøreferdighetene.

Moderne LED-armaturer har nå blitt så kraftige at de kan konkurrere med tradisjonelle lyskilder brukt i innkjøringspartiet [3]. Den store styrken til LED-armaturer er at de kan dimmes momentant og at de da vil beholde sine lystekniske egenskaper. Dette gjør at det svært aktuelt å ta i bruk avanserte lysstyringssysteme-

mer for å spare energi. Styringsystemene kan ta hensyn til både lysnivået utenfor portalene og at trafikkdeteksjon i kombinasjon med LED-armaturer åpner for å kunne skru av lysanlegget når det ikke er trafikk. Sistnevnte har vært brukt som styringskriterie siden 2005 ved bruk av induksjonslamper [4], men det er først med LED-belysning at det vil være mulig å dynamisk endre dimmenivået etter eksakt behov samt at LED er mye mer energieffektiv enn induksjonslamper.

## 1.1 Introduksjon til rapporten

Hovedmålet med denne rapporten har vært å beregne hvor mye energi som potensielt kan spares med kontinuerlig kjøretøydeteksjon. Det var forventet at potensialet skulle være høyt for lavtrafikkerte tunneler, men for tunneler med høy ÅDT var det ikke forventet å finne et så høyt sparepotensial som det ble beregnet.

Et annet mål med rapporten var å sammenfatte erfaringer fra forskjellige tunnelanlegg i Norge med LED-belysning og spesielt erfaringene gjort med trafikkstyrt belysning. Denne delen av oppgaven har blitt mangelfull, mye på grunn av få tilbakemeldinger om de forskjellige installasjonene, men også fordi det krevde mye tid å nå hovedmålet.

Rapporten gir en gjennomgang av krav til tunnelbelysning, muligheter å styre belysningen på og en rapport som tidligere er skrevet om kontinuerlig kjøretøystyrt belysning, før den gjør rede for tunneler i Norge med kjøretøystyrte anlegg. Deretter gjennomgås datagrunnlag for beregninger, beregningene i seg selv og resultatene fra disse. Til slutt diskuteres beregningsresultatene, hvor det ses i sammenheng med teori og aktuelle tunnelanlegg, før det til slutt konkluderes med hva som kan forventes av sparepotensiale. Eventuelle fremmedord forklares i håndbøkene fra Statens vegvesen [3, 5].

### 1.1.1 Begrensninger i rapporten

Rapporten er utarbeidet med følgende forutsetninger, begrensninger og utelatelser:

- Påvirkning i lysnivået fra ledelys på veggen, lys fra kjøretøyene, belysning i tunnelenes havari- og snunisjer og eventuelle monotonibrytende installasjoner er ikke beskrevet.
- Fokuset i oppgaven er på normale driftsituasjoner. Regelverk for nødsituasjoner er ikke beskrevet.
- Det er forutsatt at lyskildene når utsendt pådrag momentant.
- Påvirkning fra startstrømmer og harmoniske strømmer er utelatt.
- Beregningene er ikke gjort for tunnler tillatt for fotgjengere og syklistene i tunneler med  $\text{ÅDT} < 2\,500$ .



# Kapittel 2

## Teori og litteraturstudie

Dette teorikapitlet vil i hovedsak gjøre rede for norske krav og veiledninger til utføring av belyningsanlegg i tunnel, styringsstrategier og styringskriterier for belysningen, bruken av lysdioder som lyskilde og mulige metoder for deteksjon av kjøretøy. I tillegg er det gjort en gjennomgang av én rapport som tidligere har forsøkt å beskrive bruk av kontinuerlig deteksjon av kjøretøy [6].

### 2.1 Norske belyningskrav

#### 2.1.1 Relevante håndbøker fra Statens vegvesen

Statens vegvesen har utarbeidet krav, veiledninger og retningslinjer blant annet for belyningsanlegg i tunneler, og de er gitt hjemmel til dette i forskrifter etter vegloven §13 vedrørende anlegg av veg [5]. Det meste av de lystekniske bestemmelsene er i henhold til CIEs internasjonale standard for tunnelbelysning 088:2004 [7]. Vegvesenet har utgitt dette i flere håndbøker, som skal være til hjelp ved planlegging av vegtunneler. Disse håndbøkene er relevante for rapporten:

**Håndbok N500** [5], *Vegtunneler*, går gjennom kravene til blant annet belysningsanlegget. Håndboken hadde tidligere nummeret 021 [8], men de nye utgavene av håndbøkene fra 2014 har fått ny nummerering hvor «N» står for «normal»

**Håndbok V124** [3], *Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning* er en veiledning til hvordan belysningsanlegg i tunneler bør utformes. Den beskriver hvordan kravene i håndbok N500 kan tilfredsstilles, og er mer omfattende enn denne. Håndboken første gang utgitt i oktober 2013 som håndbok 264, men revidert utgave fra 2014 fikk også nytt nummer hvor «V» står for «veiledning».

Håndbok R511 [9] og R610 [10] omhandler belysning i tunneler i større eller mindre grad, men innholdet er ikke viktig for denne rapporten.

### 2.1.2 Faktorer for belysningskrav

I Norge er det krav om at tunneler over 100 meter, som kun er for motorisert trafikk, skal ha belysning [5]. Er tunnelen kortere enn dette skal det gjøres egne vurderinger om hvorvidt det trengs et belysningsanlegg. Hvor høyt lysnivå belysningsanlegget skal dimensjoneres etter og driftes med, er fastsatt i håndbok N500, og bestemmes ut fra flere faktorer:

- Adaptasjonsluminans
- Tunnellengde
- Trafikkmengde
- Tunnelklasse
- Fartsgrense



### 2.1.3 Adaptasjonsluminans

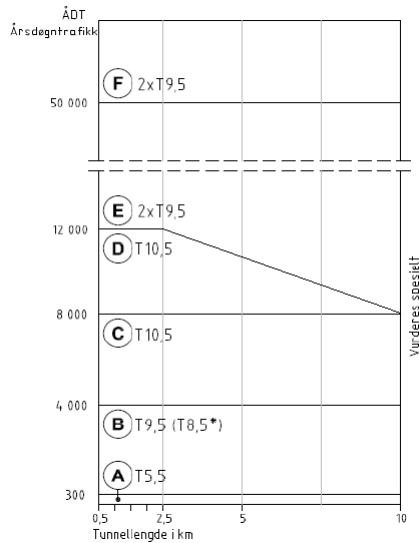
Adaptasjonsluminansen er den midlere luminans bilfører vil oppleve i en romvinkel på  $20^\circ$  synsfelt rettet mot et punkt 1,5 meter over bakken i tunnelåpningen, derav ofte kalt  $L_{20}$ . Avstanden dette skal måles fra, er stopplengden ved gjeldende fartsgrense på veistrekningen inn mot tunnelen. Både håndbok V124 og standard 088:2004 foreslår måter å beregne adaptasjonsluminansen på ved prosjektering av belysningsanlegg og den skal beregnes for verst tenkelige tilfelle slik at nok lys installeres. Tidligere ble ofte  $5\,000\text{ cd/m}^2$  brukt i dimensjoneringen uten at det ble målt eller beregnet, noe som har ført til anlegg som ofte er kraftig overdimensjonert, mens ender beregningene oftest mellom  $3\,000$ – $4\,000$ <sup>1</sup>.

Historisk brukes adaptasjonsluminansen til å dimensjonere størrelsen på anlegget, men den kan også brukes til å regulere lysnivået gjennom døgnet. Nytt i håndbok V124 fra forrige versjon er at det foreslås å bruke nivåregulering etter figur 2.2 for LED-armaturer.

På dagtid er trafikantene adaptert til dagslyset utenfor tunnelen, og vil bruke tid på å adaptere seg til det lavere lysnivået inne i en tunnel, før de oppnår tilnærmet like godt syn. Bortimot fullstendig adaptasjon oppstår ikke før etter en halvtime, men etter ca. 15 sekunder har det allerede skjedd store forbedringer [3, 11]. Det er også en del forskjell på eldre og yngre sjåførere, adaptasjonen går tregere hos eldre. Ifølge Statens vegvesen [2] er risikoen for en ulykke i tunnel størst like utenfor tunnelen og i starten av tunnellopet, mens det i den indre sonen er lavest ulykkesfrekvens. Korrekt gjennomført adaptasjon er kritisk for sikkerheten i tunnelen og bør gjøres i henhold til CIEs adaptasjonskurve [7] i figur 2.2.

---

<sup>1</sup>Opplysning fra ph.d. Pål Johannes Larsen i Norconsult AS.



Figur 2.1: Inndeling i tunnelklasser [5]

## 2.1.4 Tunnelklasser

Tunnelens klasse bestemmer blant annet størrelsen på tunnelrommet og er dermed en faktor som må tas med i dimensjoneringen av lysanlegget. Ellers har tunnelklassen ingen praktisk betydning, unntatt noen få spesialtilfeller som særdeles vanskelig trafikkbilde osv. Figur 2.1 viser inndelingen for tunnelklassene A–F, samt hvilket størrelse de forskjellige klassene skal ha (T-verdien).

## 2.1.5 Belysningskrav i tunnelens forskjellige soner

Tunneler deles inn i fem soner, hvor belysningen skal være slik fordelt at bilføreren adapteres fra mye til lite lys, uten at det påvirker kjøreevnen negativt:

- Tilkjøringssone
- Innkjøringssone
- Overgangssone
- Indre sone
- Utkjøringssone

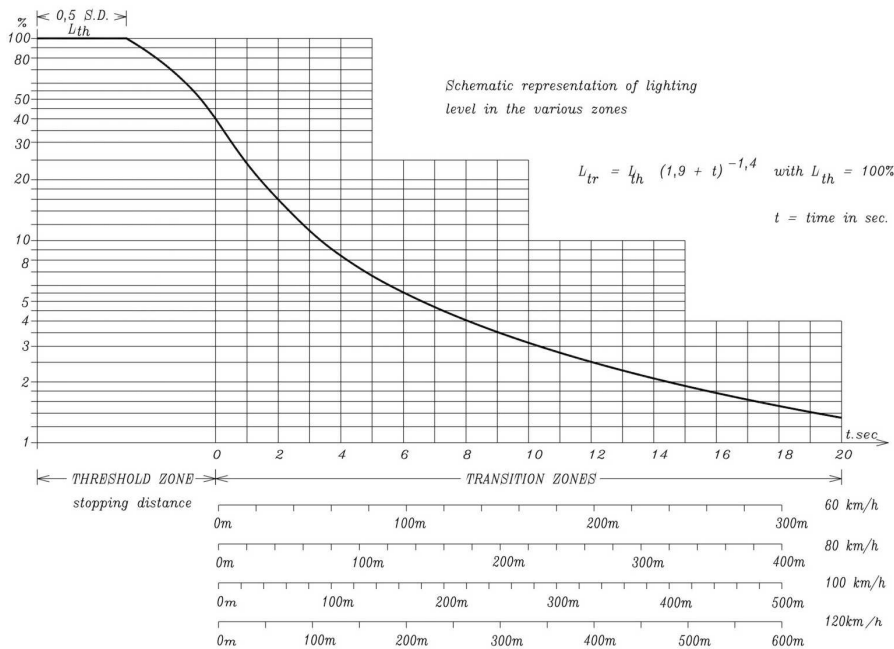
Tilkjøringssonen er sonen utenfor tunnelen hvor man kan gjennomføre tiltak for å redusere (bedre) sjåførenes adaptasjonsluminans. Tilkjøringssonen har ingen satt lengde, men i de siste 250 meterene før tunnelåpningen bør det planlegges tiltak. Adaptasjonsluminansen er avhengig av dagslyset, og solens plassering i forhold til tunnelåpningen, så innkjøringens himmelretning bør vurderes. Valg av materialer og farger på portalkonstruksjon og veidekke, samt vegetasjon rundt, er ting som bør planlegges. Gode tiltak kan senke den dimensjonerende adaptasjonsluminansen betraktelig, og det kan dermed installeres et mindre kraftig belysningsanlegg, som vil spare energikostnader.

Tabell 2.1: Krav til dimensjonert luminans i tunnelsonene [5].

ÅDT (10)	< 2 500	2 500–4000	4 000–8 000		< 8 000	
	Skiltet fart					
Sone	-	50 km/t	80 km/t	50 km/t	80 km/t	-
Innkjøringssonens første halvdel	50 cd/m <sup>2</sup>	1,5 %	3,0 %	2,5 %	5,0 %	5,0 %
Indre sone dag	0,5 cd/m <sup>2</sup>	2 cd/m <sup>2</sup>	2 cd/m <sup>2</sup>	2 cd/m <sup>2</sup>	2 cd/m <sup>2</sup>	4 cd/m <sup>2</sup>
Indre sone natt	0,5 cd/m <sup>2</sup>	1 cd/m <sup>2</sup>	1 cd/m <sup>2</sup>	1 cd/m <sup>2</sup>	1 cd/m <sup>2</sup>	2 cd/m <sup>2</sup>

I tunnelåpningen starter innkjøringssonen, som er sonen der lysnivået skal oppleves omtrent like høyt som utenfor tunnelen. Lengden på sonen skal være like lang som avstanden fra adaptasjonspunktet til tunnelåpningen, altså stopplengden. Kravene sier at luminansnivået i første halvdel av innkjøringssonen skal være konstant i henhold til tabell 2.1, nivået kan så reduseres gradvis til 40 % før overgangssonen starter [3]. I neste utgave av håndbok N500 vil det komme en endring i kravet for belysning i innkjøringssonen<sup>1</sup>. Endringen vil være at tunneler med ÅDT < 2 500 også dimensjoneres etter en prosentverdi av adaptasjonslumi-

<sup>1</sup>Opplysning fra ph.d. Per Ole Wanvik, sjefsingeniør i Statens vegvesen.



Figur 2.2: Luminansreduksjonskurve for dagslysforhold [7].

nansen. Forslaget er at kravet skal være samme prosentkrav som tunneler med ÅDT 2 500–4 000, 3,0 % ved 80 km/t.

Figur 2.2 viser hvordan luminansen skal reduseres gjennom de ulike sonene i tunnelen for å være tilpasset brukbar adaptasjon for sjåførere. Her er  $L_{th}$  bestemt av tabell 2.1, slik at  $L_{th} = 0.05 \cdot L_{20}$  når fartsgrensen er 80 km/t og ÅDT er over 4000. Ved kontinuerlig måling av  $L_{20}$  kan dermed lysnivået i tunnelen dimmes dynamisk til  $L_{th} = 0.05 \cdot L_{20, målt}$ , også for nivåer under den dimensjonerende adaptasjonsluminansen.

I overgangssonen skal sjåførene gradvis adapteres ned til det minimale lysnivået i den indre sonen, uten at sjåførenes synsprestasjon skal ikke bli utilstrekkelig. Som for innkjøringssonen skal luminansen følge reduksjonskurven for

dagslysforshold. Når reduksjonskurven og/eller belysningen som skal gjengi denne omtales, brukes gjerne «innkjøringssone» som uttrykk for både innkjørings- og overgangssonen, men dersom «innkjøringssonens første halvdel» nevnes, gjelder det kun den egentlig innkjøringssonen. Ifølge håndbok V124 kan overgangssonen kuttes når nivået nærmer seg nivået som skal være i indre sone. Avslutningen kan skje der overgangssonens lysnivå er tre eller to ganger indre sonens luminanskrav når dagtidskravene er henholdsvis 2 cd/m<sup>2</sup> og 4 cd/m<sup>2</sup> eller høyere [3]. Tidligere var det to ganger kravet som gjaldt i alle tilfeller<sup>1</sup>.

I tunnelens indre sone kan belysningen være på et konstant lavt nivå, kun regulert etter om det er dag eller natt. Om natten gjelder kravet for indre sone hele tunnelen, slik at gruppen armaturer som står for belysningne i indre sone går gjennom hele tunnelen og ofte kalles grunnbelysningen. Håndbøkene setter ingen krav til hva som utløser overgangen mellom dag- og nattbelysning i indre sone, dermed kan dette vurderes i hver situasjon. I den nye utgaven av håndbok V124 ble det åpnet for å halvere grunnbelysningen etter en avstand tilsvarende 60 sekunder inn i tunnelen, men aldri mindre enn 0,5 cd/m<sup>2</sup>.

Tunneler med trafikk i begge retninger har ingen utkjøringssone. De har to tilkjøringssoner, to innkjøringssoner og to overgangssoner. Har tunnelen separate løp for motgående trafikk, trenger den en utkjøringssone. I motsetning til mørkeadaptasjon, vil det å adaptere fra mørke til lys skje særdeles raskt. Økningen i belysning fra indre sone til utkjøringssonen kan dermed skje på en mye kortere distanse enn nedgangen i innkjøringssonen. Dette er ikke omtalt i håndbøkene, men praksis er at det ikke brukes ekstra belysning i utkjøringssonen, med mindre trafikkbildet er særdeles vanskelig i utkjøringen ettersom dagslyset i utkjøringsportalen anses som tilstrekkelig<sup>2</sup>.

Håndbok V124 sier at det alltid må foretas lysberegninger før en installasjon

---

<sup>1</sup>Opplysning fra ph.d. Pål Johannes Larsen i Norconsult AS.

<sup>2</sup>Opplysning fra ph.d. Per Ole Wanvik, sjefsingeniør i Statens vegvesen.

av belysningsanlegg. Statens vegvesen bruker Relux i sine beregninger, og stiller krav om at beregningene skal kunne gjennomføres med dette verktøyet. Flere krav til beregningen kan ses i håndboken.

## 2.1.6 Andre lystekniske krav

### Blending, jevnhet og flimmer

Belysningen i en tunnel skal dimensjoneres slik at den ikke gir for høy synsnedsettende blending ( $TI < 10$ ), at jevnheten i belysningen er tilstrekkelig ( $U_0 \geq 0,4$  og  $U_1 \geq 0,6$ ) og at det ikke vil oppstå flimmer som gir fare for epilepsianfall (4–11 Hz i over 20 sekunder). Alt dette er en del av beregningene gjort i Relux.

### Monotoni i lange tunneler

Om monotoni sier den kun at *«oppmerksomhetsvekkende tiltak må risikovurderes»* og dermed ingen ting spesifikt om løsninger for den monotone opplevelsen det er å kjøre gjennom lange tunneler. I en rapport fra 2012 [12] konkluderer Vegvesenet også med at det trengs mer forskning på området samt om det kan gjøres tiltak som minsker frykt og ubehag ved å kjøre gjennom lange tunneler. De monotonibrytende fjellhallene i Lærdaltunnelen (24,5 km) fikk i sin tid internasjonal oppmerksomhet og de spesielle lyseffektene hver 1 500. meter i St. Gottard tunnelen i Sveits (16,5 km) førte til en kraftig reduksjon i andelen ulykker grunnet trøtthet/soving [13]. Vegvesenet konkluderer allikevel med at det ennå er lite eller ingen dokumentasjon på at slike tiltak gir sikkerhetsgevinst [12].

## 2.1.7 Motlys og symmetrisk lys

I tunnelers innkjørings- og overgangssoner brukes det ofte armaturer med motlys [3]. Disse øker kontrasten til objekter mellom bilfører og armatur. Motlys

kan også øke energibesparelsen ved at lyset fra armaturen sendes ut i en mer konsentrert retning.

Selv om motlys gir både bedre kontrast for objekter som skal oppdages, og energibesparelse, er det situasjoner hvor effekten vil bli dempet. Ved bruk av motlys i tunnelportalene vil dagslyset bidra til å senke kontrasten. Motlys kan være mindre effektivt i tunneler med mye tungtrafikk, da de store kjøretøyene kan skygge for noe av lyset. Motlys kan også gi mer blending.

I tunneler med toveis trafikk er det vanligst å benytte symmetrisk lys i grunnbelysningen. Slik belysning kan øke kontrasten på objekter når armaturen er så vidt bak fører, eller mellom fører og objekt. Symmetrisk lys belyser også et større område, slik at det trengs færre armaturer.

## 2.2 LED som lyskilde

Lysemmitterende dioder, forkortet LED, har de siste årene gjennomgått stor utvikling. Fra å kun bli benyttet som indikatorer på forskjellige elektriske apparater, kan de nå brukes i omtrent alle slags lysinstallasjoner på lik linje med andre lyskilder – til en konkurransedyktig pris [14].

En lysdiode består av to elektroder, som nesten berører hverandre. Den ene er positivt ladet og den andre negativt. Når det sendes en strøm gjennom disse to halvlederene vil elektrondifferansen utlignes. Dette frigjør energi i form av fotoner i den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret [15, 16].

### 2.2.1 Lyskvalitet

En lyskildes fargegjengivelsesindeks,  $R_a$ , forteller hvor godt lyskilden klarer å gjengi forskjellige farger. Verdien settes etter sammenligning med definerte referanselyskilder, og skalaen går fra 0 til 100, hvor 100 er perfekt fargegjengivelse.

For at en farge skal vises helt korrekt må også lyskilden sende ut lys med riktig bølglengde. Dette kan ses på en lyskildes spektralfordeling, som viser hvilke bølglengder lyset inneholder. Hvite lysdioder har en høy andel blått lys, ofte kalt blåforstyrrelse, fordi blått lys spres lettere i atmosfæren. Kraftige lysdioder kan sende ut såpass mye blått lys at det kan være farlig for øynene, og Statens strålevern anbefaler øyebeskyttelse dersom man utsettes for dette ofte. Dette vil ikke påvirke trafikanter i nevneverdig grad [17].

Spektralfordelingen på lyset vil bestemmes av halvledermaterialene, blandingsforhold og fosforbelegget (lyspulver) på innsiden av kolben dioden er plassert inne i. De fleste andre lyskilder vil ikke kunne opprettholde sine egenskaper når de dimmes [14].

I tillegg angis lyskilders fargetemperatur,  $T_c$ , som indikerer hvilken farge det synlig lyset fra lyskilden har. Fargetemperatur måles i Kelvin og er definert som den temperatur det absolutt svarte legemet har for å lyse med samme farge [11]. Hvite LED har  $T_c$  rundt 4 000–6 000 K.

Det kan være stor variasjon på lyskilder med LED av samme type, til og med innenfor samme produksjonsserie. IEC arbeider med standarder for hvordan dette skal behandles, og hvordan de skal sorteres [18]. Variasjonene gjelder både fargetemperatur og lysmengde som sendes ut.

## 2.2.2 Lysutbytte

En lyskildes lysutbytte beskriver direkte hvor effektivt den omformer den elektriske energien til synlig lys, og måles i lumen per watt [ $\text{lm/W}$ ]. Det er ikke tilstrekkelig å vite en lyskildes lysutbytte, det er lysutbyttet fra armaturen i sin helhet som er viktig. Alle armaturer har en form for optikk av reflektorer, hvor det vil være litt lystap i refleksjonene. I armaturer som trenger lys med en spesifikk retning, kan trenge mye optikk, som vil resultere i lystap. LED er ganske



retningsspesifikk i seg selv og dermed trengs mindre optikk i armaturen.

Andre lyskilder oppgis ofte med en virkningsgrad for lyskilde, og en annen for armatur, siden det er mulig å skifte kun lyskilden, eller velge en annen armatur. LED-lyskilde og LED-armatur selges, monteres og byttes som en enhet og derfor oppgis LED-armaturer med en samlet virkningsgrad.

LED dimmes gjennom forkoblingsutstyret med veldig høyfrekvent PWM (pulsbreddemodulasjon) [19]. Dette forkoblingsutstyret er en del av armaturen og er dermed medberegnet i det totale lysutbyttet. For andre lyskilder som bruker forkoblingsutstyr må også dette effekttapet medberegnes.

Hvor mye lys armaturen faktisk sender ut, og hvor mye effekt den forbruker, er også viktige faktorer i seg selv. Det er viktig å vite hvor mye tilgjengelige lys armaturen gir, ofte kalt «lumenpakken», og effektforbruket er viktig, både med tanke på energisparing og dimensjonering av det elektriske anlegget.

Gjennom observasjoner av lysutbyttet ved dimming av LED kan det merkes en liten oppgang i lysutbyttet fra 0 % til ca 50 % dimming [20]. Dette er minimalt og vurderes ikke i denne rapporten.

### **2.2.3 Levetid**

Den teoretiske levetiden for LED er veldig lang, opp mot 4–5 ganger så lang som tradisjonelle lyskilder [21]. Dessverre er det store variasjoner i kvalitet fra ulike produsenter, selv om samme levetid kan være oppgitt. En armaturs levetid avhenger av flere faktorer, men den viktigste er LED-chipens temperatur. Denne temperaturen avhenger av blant annet: strøm gjennom dioden og temperaturavledningen fra chipen, som igjen er avhengig av omgivelsestemperaturen. Tomelfingerregelen er at levetiden på elektronikk halveres om man øker chiptemperaturen med 10° C over anbefalt omgivelsestemperatur[21, 19]. Et velutviklet kjølesystem er dermed meget viktig. Det er anbefalt at for en ferdig LED-armatur

bør den oppgitte levetiden knyttes opp mot tre mulige omgivelsestemperaturer for armaturen, inkludert 25° C [18]

Selve levetiden oppgis ofte med antall timer brenntid før lystilbakegangen passerer en viss prosent, samt en forventet prosentverdi av forventet variasjon mellom lyskildene. Oppgis det for eksempel 50 000 h B<sub>10</sub>L<sub>70</sub>, forventes det at lyskildene har 30 % lystilbakegang ved 50 000 brenntimer, og at 10 % av armaturene kan forventes å ha mer enn 30 % tilbakegang [18]. Enhetene skal testes på en standardisert måte i 6 000 timer under forskjellige forhold, og det blir så gjort en ekstrapolering etter 6 000 timer inntil antatt levetid.

TM21 er en ny metode for å oppgi levetid på LED, som ikke har blitt standardisert. I tillegg til at armaturene skal gjennom de standardiserte testene, er i tillegg ekstrapoleringsmetoden standardisert. Dette for at sammenligning mellom leverandørene kan gjøres på et enda mer nøyaktig grunnlag. Blant annet innebærer denne standarden at antatt levetid ikke kan oppgis til å være lenger enn seks ganger testperioden <sup>1</sup>.

Lysdioder er, som nevnt, avhengig av en driver (elektronisk forkobling), som normalt er montert i armaturen. Driveren har sin egen levetid, men det er ikke nødvendigvis sammenheng mellom levetiden på driveren og lysdioden. Det er viktig å være oppmerksom på at driverens levetid bør stemme overens med resten av armaturen, siden hele armaturen må skiftes ut samtidig [19].

## 2.2.4 Blending

En av lysdiodenes største fordeler er også en ulempe. De sender ut alt lyset fra en veldig liten overflate og i en ganske konsentrert retning, noe som resulterer i høye luminanser [cd/m<sup>2</sup>]. Dette gjør at LED-armaturer virker mer blendende enn armaturer med andre lyskilder, selv om utregningen gir samme TI. Tradisjonelle

---

<sup>1</sup>Opplysning fra ph.d Pål Johannes Larsen i Norconsult AS.

lyskilder kan sende ut like mye lys, men med en større overflate. Dermed har de lavere luminans og mindre blendingseffekt. Det er særlig med motlysarmaturer at dette kan bli et problem.

### 2.2.5 LED i tunnelbelysning

Det er ikke før de aller siste årene at LED-belysning har blitt kraftig, og pålitelig nok, til å bli tatt i bruk i tunneler. Høytrykks natriumlamper har et lysutbytte rundt 100–140 lm/W. Dagens LED-armaturer for tunnelbelysning kan ha omtrent samme lysutbytte, både for symmetriske armaturer i indre sone og motlysarmaturer i innkjøringssonen [22] samt de lysutbyttet er forventet å stige i årene framover [21].

Tradisjonelle lyskilder brukt i innkjøringssone, høytrykk natriumlamper, har ofte meget lav fargegjengivelse og så lav fargetemperatur at lys og objekter oppleves gult. Disse kan også dimmes ned til et visst nivå, men vil da få enda verre lystekniske egenskaper samt dårligere lysutbytte.

Jo bedre fargegjengivelsen og fargetemperaturen er, jo enklere er det å oppdage objekter i veibanen. I 2012 ble det gjort en studie i Sverige for det svenske Trafikverket på om hvorvidt lyskvaliteten fra LED-armaturer er så god at man trenger et lavere lysnivå enn man gjør ved bruk av høytrykks natriumlamper (HPS) [23]. Sammenligningen er gjort for tunnelens indre sone og sammenligner dermed kun LED og HPS i det mesoptiske (grenselandet mellom dag- og nattsyn). De konkluderer med at i det mesoptiske synet trengs mindre lysstyrke fra LED for å se farge og tekst enn man gjør fra de konvensjonelle.

De siste årene er det forsket på om bruk av LED i vei- og tunnelbelysning er lønnsomt, om det gir nok lys og om lyskvaliteten holder seg over tid [21]. Dels på grunn av dette har det blitt en kraftig økning i bruken av LED i løpet av de to–tre siste årene. I oktober 2014 var det 26 tunneler med LED-belysning i Norge

og 13 av disse hadde også LED-belysning i innkjøringssonen [24].

LED er allikevel fortsatt en dyr engangsinvestering, men når den økonomiske levetiden for hele anlegget tas i betraktning, kan LED komme godt ut og bør dermed vurderes i nye prosjekter. Det er også aktuelt å skifte ut gamle belysningsanlegg med nye LED-anlegg [3, 21].

### **Lystekniske krav ved bruk av LED i tunnel**

Dersom LED vurderes brukt til belysning i tunnel, bør blant annet følgende krav tilfredstilles før innkjøp av armaturer [3]:

- Fargetemperatur,  $T_k$ : 4 000–6 000 K
- Fargegjengivelsesindeks,  $R_a > 75$
- Synsnedsettende blending  $TI < 6$  i hele tunnelen
- Armaturens lysutbytte  $> 90$  lm/W (inklusive alle tap i armaturen)
- Armaturene skal være dimbare.
- Levetid skal oppgis basert på  $L_{80}$ .

## **2.3 Styring av belysning i tunneler**

Styring av lyset i en tunnel er viktig og hovedgrunnen til bruk av styring er å gi godt nok lys i forskjellige situasjoner. I tillegg er det mulig å spare energi. Det er flere parametere av lyset som kan styres (farge, temperatur, styrke, retning osv), men når det er snakk om styring av belysningen i tunneler er det i hovedsak snakk om lysnivået. Med styringssignaler kan man styre lysnivået etter følgende styringsprinsipper:

- Belysning av eller på
- Trinnvis endring av belysningsnivå
- Trinnløs endring av belysningsnivå (dimming)

Lyskilder kan styres i grupper eller som enkeltarmaturer. Trinnvis endring av belysningsnivået fungerer enten som av/på-styring av noen lyskilder i samme armatur eller gruppe av armaturer, eller som forhåndsinnstilte dimmetrinn. Grupper som skrues av/på er vanligvis anvendt i tunneler, fordi lyskilder tradisjonelt installert i tunneler enten gir dårligere lyskvalitet, eller at de ikke har mulighet for dimming. Det er vanlig å arrangere belysningen i innkjøringen i fire trinn/grupper etter lux-målinger av horisontalt lysnivå utenfor tunnelen: «Natt» (av), «skumring», «dag1» og «dag2» [3]. I tillegg bør det alterneres mellom de forskjellige grupperingene, slik at lik driftstid oppnås på alle armaturene.

Dersom det installeres lyskilder som kan dimmes kan anlegget tilrettelegges til å følge optimal luminanskurve gjennom tunnelen (figur 2.2) hele dagen. Slik vil lysnivået alltid være i henhold til det anbefalte nivået fra CIE.

### 2.3.1 Styringskriterier

I tillegg til et styringsprinsipp, styres belysningen etter forskjellige kriterier. Lysnivået kan være tidsstyrt, med manuell endring gjennom året, eller med astronomisk ur. Det kan være styrt av lysnivået utenfor tunnelen, målt med lux-/luminansmeter og i tillegg kan det styres avhengig av tilstedeværelse (trafikkstyring).

Lysnivået fra et lysanlegg synker med levetiden, både på grunn av generell aldring av armatur og lyskilde, men også på grunn av tilsmussing fra støv og andre partikler. I tunneler øker ofte graden av tilsmussing fortere enn for lysanlegg på åpen vei, da det ikke er regnskyll inne i tunnelen som kan vaske bort partik-

lene som opphoper seg på både armaturer og overflatene ellers i tunnelen. Dette inngår i lysanleggets dimensjonerende vedlikeholdsfaktor som brukes i beregningene. Maksimal vedlikeholdsfaktor er satt til 0,75 [3]. Når anlegget er nyinstallert er det altså minst 25 % overdimensjonert og denne energien er det mulig å spare ved å bruke et konstant-lumen-system dersom belysningen kan dimmes [11]. Nivået oppjusteres etterhvert som lysutbyttet fra armaturene synker.

Håndbok V124 nevner også at det er mulig å styre belysningen etter trafikken, men nevner kun muligheten til å ha et lavere lysnivå enn det kravene egentlig tilsier, ikke det å slå lyset helt av.

Selv om konvensjonelle anlegg blir dimensjonert etter tunnelens adaptasjonsluminans brukes denne svært sjeldent som styringskriterium. Vegvesenets håndbok foreslår ingen måte å styre dette på, slik at i de få tilfellene hvor dette brukes istedenfor luxverdier eller tidsstyring settes styringskriteriene uten tidligere erfaring og nivåene er ofte ulike fra gang til gang<sup>1</sup>. Noen tunneler som er styrt på denne måten er tunnelene langs riksvei sju mellom Sokna og Ørgenvika. Kriteriene de er styrt etter omtales nærmere i delkapittel 3.1.

## 2.4 Deteksjon av trafikk

### 2.4.1 Automatisk hendelsesdetektering - AID

For å ivareta sikkerheten i Norges tunneler, med tanke på kollisjoner, brann og andre farer, brukes blant annet automatisk analyse av bilder fra kameraer plassert gjennom tunnelene. Detekteres det uønskede hendelser vil disse detekteres og vises på en skjerm hos ansvarlig vegtrafikkentral. Det er krav til bruk av slike kameraer i tunneler over 3 km i tunnelklasse C–F [5].

De siste årene er det skrevet flere rapporter om temaet AID i tunnel, både

---

<sup>1</sup>Opplysning fra ph.d. Pål Johannes Larsen i Norconsult AS.

av vegvesenet og andre [25, 26, 27, 28]. Det er også skrevet om muligheten til å bruke andre teknologier enn kameraer samt at det er fastklart at alle disse teknologiene kan benyttes i lysstyringssystemet. Kjøretøyenes posisjon kan angis til styringssystemet, som så kan skru på nødvendig belysning. Tabell 2.2 viser en sammenfatning av fordelene og ulempene ved bruk av kamera, radar eller induktive sløyfer som AID.

Tabell 2.2: Oppsummering av fordeler og ulemper for AID-teknologier

	Fordeler	Ulemper
Kamera	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Gir operatør et bilde med en gang</li> <li>· Kun kamera trengs</li> <li>· Mange leverandører av kamera</li> <li>· Mange alarmtyper</li> <li>· Mye erfaringer i Norge</li> <li>· IP-kamera får strøm via ethernetkabel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Krever mye kalibrering i startfase</li> <li>· Mange feilalarmer</li> <li>· Krever mange kamera</li> <li>· Jevnlig renhold</li> <li>· Kan settes ut av stilling av vask</li> <li>· Ser ikke gjennom røyk o.l.</li> <li>· Motlys og blending gir feil</li> <li>· Få leverandører av AID-funksjonen</li> </ul>
Radar	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Påvirkes ikke av ytre forhold</li> <li>· Rask deteksjon</li> <li>· Kan følge mange objekter</li> <li>· Detekterer kjøretretningen</li> <li>· Lang rekkevidde</li> <li>· Lite tilsyn og lang levetid</li> <li>· Få feilalarmer og høyeste nøyaktighet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bør kombineres med video</li> <li>· Foreløpig kun én leverandør</li> <li>· Høy nøyaktighet er dyrere</li> </ul>
Indukiv sløyfe	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Uavhengig av ytre påvirkning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mange hendelser detekteres indirekte</li> <li>· Detekterer ikke røyk</li> <li>· Kort levetid, kostbar utskiftning</li> <li>· Få leverandører</li> <li>· Må kombineres med kamera</li> <li>· Like dyr løsning som kamera</li> </ul>

## 2.5 Tidligere forsøk på beregning

Sweco Norge AS skrev i 2014 en utredning om tunnelprosjektet «E134 Gvammen - Århus», hvor de tok for seg mulige belysningsløsninger og energisparepotensiale ved å bruke LED-armaturer, dimming etter reduksjonskurven og kontinuerlig detektering av trafikk [6]. De har vurdert kostnader ved lysinstallasjonen og om det er mulig å spare penger ved å investere i LED-belysning via og eventuelt få støtte fra Enova, som gir støtte ved investering i ny energisparende teknologi.

Tunnelen skal gå gjennom Mælefjell (på lista i vedlegg 7.3 heter den Mælefjell-tunnelen), blir 9,4 km lang og skal ha en dimensjonerende hastighet på 90 km/t. Den skal erstatte en lengre omkjøring som i dag har en ÅDT på 1 750. Sweco gjorde beregninger for den trafikkmengden og i tilfelle trafikken skulle øke mye de neste tiårene, gjorde de også beregninger for ÅDT 5 000. Armaturvalgene i beregningene er gjort med hensyn til ÅDT 5 000.

De konkluderte med at ved å skifte fra konvensjonell belysning (høytrykk natrium, løysrør og trinnstyring) til LED forventes det årlige energiforbruket å synke med omtrent 581 400 kWh, eller 1 661 kWh per dag. Med dette ville investeringen så vidt bli ulønnsom gjennom anleggets 11,4 års levetid. De nevner også at videre utvikling og utbredning av LED-armaturer og styringsteknologi sannsynligvis vil gjøre investeringen lønnsom innen 2017/2018 når armaturene skal kjøpes inn. I sin oppsummering av lysanlegget skriver Sweco følgende:

*«Systemet baserer seg på å bruke tunnelens AID-kamera til å dimme armaturene – inkludert Erik Selmers monotonibelysning – når det ikke registreres trafikk. Når kameraene registrerer trafikk, dimmes armaturene opp i en tilstrekkelig lang sone foran og bak bilene. På denne måten «følger» det fulle lysnivået den enkelte bil gjennom de 7 kjøreminuttene i tunnelen».*

Flere detaljer fra beregningene kan leses i vedlegget. Kjøretøydeteksjon forklares på side 8–13.



### 2.5.1 Resultater

Sweco har delt beregningene sine i fem deler for å vise energibesparelsen for ulike styringskriterier:

1. Besparelse grunnet oppvarmingstid for høytrykk natriumslamper
2. Dimming etter luminansreduksjonskurven
3. Dimming etter hvor nye armaturene er
4. Dimming etter hvor rene armaturene er
5. Dimming ved bruk av kontinuerlig trafikkdetektering

Det konvensjonelle anlegget de har beregnet har en installert effekt på 182,2 kW og for LED-anlegget en effekt på 136,2 kW.

Det konvensjonelle anlegget vil bruke i gjennomsnitt 2 519,1 kWh hver dag. Swecos rapport er dessverre ganske uoversiktlig og rotete, slik at det er vanskelig å summere opp besparelsene de har beregnet. Tabell 2.3 viser resultatene av deres energiberegning slik det har vært mulig å gjenskape den fra rapporten. Den daglige sparingen er ikke kvotienten av den årlige sparingen og 365 dager, fordi Sweco i noen av utregningene sine bruker 350 dager per år. Sparingen per dag utgjør 64,8 % og 57,2 %.

Tabell 2.3: Energi spart beregnet av Sweco

	Per dag [kWh]	Per år [kWh]
Oppvarmingstid	27,0	9 845
Reduksjonskurve	768,6	280 548
Levetid	353,5	129 016
Renhold	158,3	57 767
Kjøretøystyring 1 750	325,9	114 065
Kjøretøystyring 5 000	133,6	46 760
Sum sparing ÅDT 1 750:	1 633,2	591 241
Sum sparing ÅDT 5 000:	1 440,9	523 936

## Kapittel 3

# Presentasjon av datagrunnlag og tunnelinformasjon

I dette kapitlet vil det bli gjennomgått informasjon som ble hentet inn i løpet av prosjektperioden samt at datagrunnlaget for beregningene som er gjort presenteres.

### 3.1 Lysanlegg i noen tunneler

I vedlegg 7.3 er det en liste over tunneler i Norge med LED-belysning<sup>1</sup>, som gir veldig enkel informasjon om de forskjellige tunnelene. Vegvesenet oppfordret til å ta kontakt med ansvarlige for tunnelene i region nord og vest, da de mest interessante tunnelene skulle ligge der. Det ble gjort, samt at det ble tatt kontakt

---

<sup>1</sup>Tilsendt fra ph.d. Per Ole Wanvik, sjefsingeniør i Statens vegvesen.

med de resterende tunnelene på lista hvor det er oppgitt at de er kjøretøystyrt. Alle de kontaktede tunnelene er markert i gult, samt at det ble tatt kontakt med ansvarlige for følgende tunneler utenfor lista:

- Rallerudtunnelen, region øst
- Ørgenvikatunnelen, region øst
- Lundesgårdtunnelen, region øst
- Eiavatntunnelen, region nord
- Fjøsaldaltunnelen, region nord
- Raftsundtunnelen, region nord
- Ingelsfjordtunnelen, region nord
- Sjørdaltunnelen, region nord
- Eitråna tunnel, region vest

Det ble tatt kontakt med ansvarlig i vegvesenet for de forskjellige tunnelene, med intensjon om å bli henvist videre til belysningsansvarlige, entreprenør, driftsansvarlig eller andre underleverandører. Kontakten ble gjort per epost og telefon.

Det var spesielt ønskelig å få informasjon om trafikkdeteksjonen som ble brukt, detekteringssikkerheten, gjentatte og langvarige feil, generelle instillinger for styringssystemet og trafikkteillinger.

### 3.1.1 Brekktunnelen

Brekktunnelen ligger på E39 mellom Orkanger og Trondheim, er 1 290 meter lang, har fartsgrense på 80 km/t og har en ÅDT på 10 017 i 2013. Tunnelen ble bygget i 2005 som tunnelklasse D. Den ble bygget med tunnelprofil T9,5 i henhold til datidens håndbok [29], så tunnelen har mindre tunnelrom enn den ville fått i dag. Den fikk i 2012 nytt lysanlegg og var med det den første tunnelen i Norge med 100 % LED-belysning. Det er Skanska som drifter tunnelen i et OPS (offentlig-privat-samarbeid) og de har hyret Oneco AS til å installere og drifte tunnelens LED-belysning fra AEC.

Vegdirektoratet gjennomfører prosjektet «nasjonale utviklingsoppgaver innen tunnelbelysning», hvor blant annet anlegget i Brekktunnelen blir fulgt og etterprøvd. Blant annet skal kvaliteten på LED-lyset over tid, kjøretøystyringen og variable lengder for innkjørings- og overgangssonene dokumenteres. Tilbakemeldingen fra trafikanter har vært god og det meldes ikke om mørk tunnel på grunn av dårlig deteksjon.

Informasjon om anlegget har kommet fra vegvesenet og Oneco AS. Her følger noe informasjon om det installerte LED-anlegget:

- Full LED-belysning
- Styres i henhold til adaptasjonsluminansen
- Min. og maks. armaturpådrag 10 % og 70 %
- Radardeteksjon på vei inn i tunnelen
- Deteksjon gir tre minutter lys
- Innkjøringssonen skrus av ved  $L_{20} < 50$
- Indre sone trinnstyrt til natt ved  $L_{20} < 100$

Overgangen fra dag til natt for indre sone er ikke bekreftet av Oneco. Luminansdataene for tunnelen inneholder også dimmeverdier for de samme tidspunktene og all observert data tilsier at skiftet skjer ved  $100 \text{ cd/m}^2$ .

Skanska og Statens vegvesen har fått gode tilbakemeldinger på anlegget, lyset oppleves som behagelig og jevnt. Det første anlegget fra 2012 fikk allikevel tilbakemeldinger om at det var for blendende, så Skanska oppgraderte til nyere armaturer sent i 2013, som har fungert godt.

Tunnelen rengjøres to ganger i året, hvor den ene gangen er helvask og den andre er vask av vegger. Armaturene vaskes ved begge anledninger. Dette har gitt anlegget en vedlikeholdsfaktor på 0,7.

Radarene er plassert 350 og 500 meter fra hver sin portal. De detekterer kjøretøyene på vei inn i tunnelen, men ikke ut. Høyde og vinkel på radarene har vært jusert ved noen anledninger, slik at de ikke detekterer biler på vei ut av tunnelen ved en feiltagelse. Pulsen fra radarene ved deteksjon av et kjøretøy var opprinnelig 10 sekunder, men har blitt kortet ned for å også kunne telle hvert enkelt kjøretøy. Dimmingen etter adaptasjonsluminansen ser ut til å ha fungert etter hensikten etter noe kalibrering i starten av driften.

Armaturene som er brukt i Brekk-tunnelen og loggede data for adaptasjonsluminansen brukes i energiberegningene som er gjort. Dataene beskrives nærmere i delkapittel 3.2.3 på side 36.

### 3.1.2 Tunnelene mellom Sokna og Ørgenvika

I juni 2014 ble den nye riksvei sju mellom Sokna og Ørgenvika åpnet. På den strekningen lå det tre nye tunneler, Rallerud-, Lundesgård- og Ørgenvikatunnelen, som er henholdsvis 2,8, 0,2 og 3,7 km lange og har en ÅDT på 3 000. De har alle tre LED-belysning som grunnbelysning og konvensjonelle høytrykk natriumlamper i innkjøringssonene. Belysningen er dimensjonert etter en fartsgrense på 80 km/t, adaptasjonsluminans 4 000 cd/m<sup>2</sup> og en ÅDT på 4 000–8 000, ettersom helgetrafikken er spesielt stor og kan komme opp i 10 000 kjøretøy per dag.

Belysningen er hverken kjøretøystyrt eller dimmet etter reduksjonskurven, men disse tunnelene er noen av få tunneler hvor innkjøringssonen trinnstyres i henhold til adaptasjonsluminansen. Som nevnt på side 19 settes trinnenivåene uten klare retningslinjer. For disse tunnelene har instillingene endt på 20 cd/m<sup>2</sup> for «skumring», 150 cd/m<sup>2</sup> for «dag1» og 1500 cd/m<sup>2</sup> for «dag2».

Belysningen i indre sone er tidsstyrt og dimmes istedenfor at den er gruppestyrt av/på.

### 3.1.3 Tunneler i region sør

I region sør var det kun Geiteryggtunnelen som ble kontaktet. Montering av belysningsanlegget er nå ute på anbud til prosjektering og tilbudsgrunnlag er sendt ut. Planen er at den skal få full LED-belysning og kjøretøystyres, siden den har en ÅDT på kun 338. Tunnelen er også åpen for syklistene, som skal kunne trykke på en knapp utenfor tunnelen som skrur på belysningen. Denne belysningen skal være kraftigere enn for biler i henhold til krav om høyere luminans for fotgjengere og syklistene [3].

Tilbudsgrunnlaget skulle sendes på en CD i posten, men den kom aldri fram og kontaktpersonen har ikke svart på henvendelser siden starten av november. Teknisk ukeblad melder om stor interesse for oppgraderingen av Geiteryggtunnelen [30, 31].

### 3.1.4 Tunneler i region nord

Det kom aldri svar om noen av tunnelene på lista i region nord, men det kom svar om fem andre tunneler. Det er mulig kontaktinfo for tunnelene i region nord ikke stemte og den kun gjaldt de tunnelene det kom informasjon om. Informasjonen om tunnelene i region nord har kommet både på epost og ifra en rapport fra vegvesenet [4].

#### **Eiavatntunnelen**

I Eiavatntunnelen (433 meter og lav ÅDT) ble det i 2005 installert kjøretøystyrte induksjonslamper som grunnbelysning. Lyskildene hadde god fargegjengivelse, levetid og rask tenning. De hadde derimot mindre lysutbytte enn tradisjonelle lyskilder. Kjøretøydeteksjonen ble i Eiavatntunnelen gjort på flere forskjellige måter, som sørget for høyere detekteringssikkerhet. Det ble brukt induktive sløyfer og PIR-detektorer. Erfaringene fra Eiavatntunnelen var stort sett gode og

førte til at kjøretøystyrt belysning ble prøvd i flere tunneler i regionen.

Som en del av Lofastprosjektet (Lofoten fastlandsforbindelse) ble det bygget flere tunneler, og fire av disse har kjøretøystyrte induksjonslamper i henhold til erfaringene fra Eiavatn. De har et ganske likt detekteringssystem og felles for alle tunnelene er at dersom en detektor melder konstant signal, vil lyset stå konstant på og melde en alarm.

- Fjøsaldaltunnelen. 1 641 meter og ÅDT 782
- Raftsundtunnelen. 1 568 meter og ÅDT 829
- Sørtdaltunnelen. 6 338 meter og ÅDT 829
- Ingelsfjordtunnelen. 1 260 meter og ÅDT 829

### **Fjøsaldaltunnelen**

Fjøsaldaltunnelen fikk montert induktive sløyfer 200 meter fra portalåpningen, på innløpende kjørefelt. Det meldes om sikker og tidlig deteksjon på biler, men at det er usikkerhet for lettere trafikanter.

En radar er installert ytterst i portaltaket som også skal detektere bevegelse på vei inn. Disse gir «*brukbart god*» deteksjon på lette trafikanter og lave hastigheter. Radaren skal kunne skille på retning, men brukes ikke til dette.

Fotoceller montert ved første nødstasjon fra hver side, som gir ekstra deteksjon for motorsykkel som kan ha sluppet udetektert forbi. Disse kan være for små og for raske for radarene. Fotoceller med separat sender og mottaker har fungert best.

I tillegg er det installert infrarøde detektorer i havarinisjene, som skal detektere trafikanter som har gått ut av kjøretøyene.



## Sørdaltunnelen

Deteksjonen i Sørdaltunnelen er stort sett den samme som i Fjøsaldaltunnelen. Det ble først prøvd med felles sender og mottaker til fotocellene, men mange feil gjorde at det måtte monteres separat istedenfor. Det ble også montert ytterligere tre fotoceller fordelt på nødstasjonene innover i tunnelen. Disse skal gi ekstra deteksjon av trege syklistere eller kjøretøy som har stanset og kjører videre.

I tillegg er det installert ekstra induktive sløyfer i munningene av snunisjene.

## Raftsund- og Ingelsfjordtunnelen

I disse to tunnelene ble det ikke installert like mye deteksjon som i de to andre. Her ble det kun installert induktive sløyfer utenfor endene og to infrarøde detektorer i hver portal.

### 3.1.5 Tunneler i region vest

Høyanger- og Klettatunnelen pårosjekteres begge nå og skal begge ha LED i indre sone, men kun førstnevnte skal være kjøretøystyrt og dimmet (ukjent om det er etter reduksjonskurven). Mer informasjon om disse var ikke mulig å få tak i.

Eitråna tunnel (1 056 meter) er ikke nevnt i vedlegg 7.3, ettersom den har induksjonslamper i indre sone. Disse er detektorstyrt, og region vest melder at den er «*Lavtrafikkert med stor energisparing på nattlys*». Det skulle sendes tall og mer info om denne tunnelen, men det har aldri kommet fram.

Om Isetunnelen kom det kun tilbakemelding om at grunnbelysningen av LED er dimmet 70 % nattetid og at dette tidsstyrt etter et astrour.

## Torsnes-, Jondals-, Nordrepoll- og Bortnetunnelen

Disse fire er alle kjøretøystyrt. De har alle ÅDT på omtrent 350 kjøretøy, men varierer veldig i lengde. Jondalstunnelen er en av Norges lengste på 10085 meter. Alle fire tunnelene har høytrykk natriumslamper i innkjøringssonene som er konvensjonelt styrt etter luxverdier.

Kjøretøystyringen er satt opp etter helt enkel logikk og har ingen egne PLSer eller lignende. Kjøretøyene detekteres med radar, på de to korteste kun utenfor tunnelen, men også inne i tunnelen i de to lengste. Kjøretøyene registreres kun på vei inn. I Jondalstunnelen ble det forsøkt å telle bilene også på vei ut, slik at antall kjøretøy kunne telles, men de gav opp dette. «*Vi la det vekk som litt for komplisert*». Det er ikke meldt om noen annen detektering enn disse radarene.

I alle fire tunnelene styres grunnbelysningen av/på av kjøretøydetekteringen samt for de tre første tunnelene er NaH-lampene dimmet ned til 40 % når det ikke er trafikk.

Energital og sparing fra Bortnetunnelen skulle sendes, men dette kom aldri.

## 3.2 Datagrunnlag for beregninger

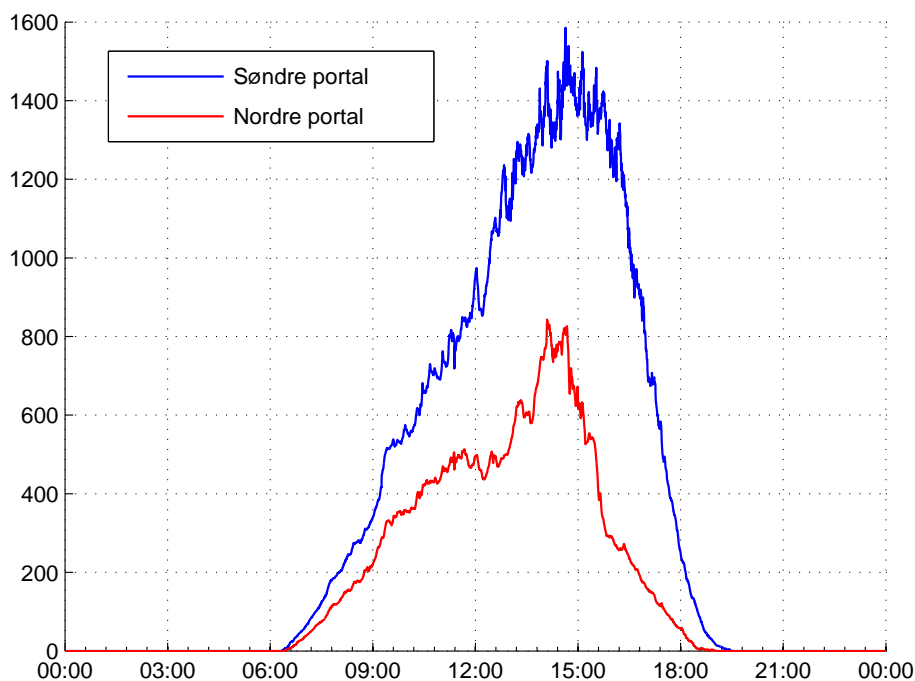
### 3.2.1 Adaptasjonsluminans

Datagrunnlaget for adaptasjonsluminansen i beregningene er basert på de kontinuerlige målingene gjort i Brekktunnelen. De tilgjengelige dataene besto av målinger fra 2014 og er gjort for hvert tiende sekund hele døgnet. Det ble valgt å regne ut et gjennomsnitt for de tre ukene rundt vår- og høstjevndøgn, altså seks uker totalt, og at det ville gi et tilstrekkelig gjennomsnitt for beregningene. Det å hente ut dataene er en tidkrevende prosess, som tok flere dager. Gevinsten for å hente ut data for flere uker ville blitt liten med tanke på tidsbruken.

Jevndøgnene for 2014 falt på 20. mars og 23. september, som ligger i hen-

holdsvis uke 12 og 39 og alle målingene uke 11–13 og 38–40 ble brukt. Figur 3.1 viser det beregnede gjennomsnittet for søndre og nordre portal. Meteorologisk institutt [32] viser både pluss- og minusgrader, snø, sol og regn for disse dagene.

Det ble valgt å kun bruke målingene fra søndre portal.



Figur 3.1: Den gjennomsnittlige adaptasjonsluminansen for Brekktunnelen

I praksis er de laveste målte adaptasjonsluminansene rundt  $65 \text{ cd/m}^2$ . Gjennomsnittet vil gi verdier mellom 0 og  $65 \text{ cd/m}^2$  og i beregningen brukes også disse verdiene.

## Triggetidspunkt for konvensjonell styring

Den gjennomsnittlige adaptasjonsluminansen når triggeverdiene for den konvensjonelle styringen ved tidspunktene under, hvor de få svingingene rundt kl 13:00 er neglisjert (se kapittel 4).

- $L_{20} > 15 \text{ cd/m}^2$ : 06:32:49
- $L_{20} > 100 \text{ cd/m}^2$ : 07:19:29
- $L_{20} > 112,5 \text{ cd/m}^2$ : 07:26:29
- $L_{20} > 1125 \text{ cd/m}^2$ : 12:44:49
- $L_{20} < 1125 \text{ cd/m}^2$ : 16:26:39
- $L_{20} < 112,5 \text{ cd/m}^2$ : 18:27:19
- $L_{20} < 100 \text{ cd/m}^2$ : 18:29:59
- $L_{20} < 15 \text{ cd/m}^2$ : 19:02:59

Dette gir henholdsvis driftstidene for innkjøringslyset og grunnbelysningen:

«AV»: 11:29:50

«Natt»: 12:49:30

«Skumring»: 01:19:20

«Dag»: 11:10:30

«Dag1»: 07:13:00

«Dag2»: 03:31:50

### 3.2.2 Trafikkdata

For å beregne energiforbruk ved bruk av kontinuerlig trafikkdeteksjon trengs det informasjon om hvert kjøretøys passeringstid, som vil representere en eksempel dag. Det har ikke vært mulig å få tak i dette fra noen av tunnelene det har vært tatt kontakt med. Det som har vært mulig å få tak i har vært vegvesenets standardtelling som gir antall kjøretøy passert per time. Dette var mulig å få tak i fra flere tunneler og andre steder, men kun de følgende tunneler hadde tilstrekkelig data fra et helt år til å beregne et gjennomsnitt:

Tabell 3.1: Trafikk fordelt på ukedager og helgedager

ÅDT	Ukedager	Helgedager
500	537	408
1500	1605	1233
4000	4284	3289
8000	8568	6575
12000	12849	9863

- Steigentunnelen i Nordland, ÅDT 319 i 2014 (364,8 dagers data)
- Fjøsdaalen tunnel i Nordland, ÅDT 782 i 2013 (364,9 dagers data)
- Nappstraumstunnelen i Nordland, ÅDT 1 503 i 2013 (352,1 dagers data)
- Brekktunnelen i Sør-Trøndelag, ÅDT 10 004 i 2013 (341,1 dagers data)
- Langnestunnelen i Troms, ÅDT 12 911 i 2010 (330,8 dagers data)

Alle tunnelene har ett løp og ett felt i hver retning. Det ble for hver tunnel regnet ut snittet per time gjennom hele året, før prosentpoengene fra hver tunnel ble brukt til å beregne et snitt for alle tunnelene. På denne måten utgjør hver tunnel like stor faktor i gjennomsnittberegningen.

Videre ble det skrevet et kort skript i Matlab for å fordele trafikken innenfor hver time. I stedet for å fordele trafikken jevnt utover timen ble den fordelt helt tilfeldig, bortsett fra at det skulle være minst tre sekunder mellom hver bil. Det ble beregnet tusen passeringer i hvert felt for hver time, slik at ikke trafikken fra begge sider skulle være helt lik. Den totale ÅDT for ukedager og helgedager, se tabell 3.1, ble derimot fordelt helt likt på de to feltene. De to feltene har altså forskjellige passeringstidspunkter, men samme antall passeringer over ett døgn.

Skriptet er vedlagt i vedlegg 7.3 og passeringstidspunktene for et av feltene for ukedag ÅDT 1 500 er i vedlegg 7.3.

I henhold til tabell 3.1 og 3.2 ble det plukket ut passeringstidspunkter for å få fem filer med passeringstidspunkter: ÅDT 500, ÅDT 1 500, ÅDT 4 000, ÅDT 8 000 og ÅDT 12 000. For å få trafikken mest mulig lik for alle beregninge inngår alle passeringstidspunktene i filen for ÅDT 500 i filen for ÅDT 1 500 osv.

### **3.2.3 Armaturer**

#### **LED-anlegg**

Det var ingen av personene det har vært tatt kontakt med som har sendt armaturlister fra andre tunneler etter oppfordring om dette, slik at armaturene fra Brekktunnelen er de eneste det har vært anledning til å bruke i beregningene. Lysanlegget oppfyller kravene i håndbøkene på en tilfredsstillende måte, bortsett fra to punkter:

- Det er ikke gjennomført beregninger for krav til midlere og langsgående jevnhet i indre sone.
- De to overgangssonene kuttes for tidlig i henhold til håndbok 264. Adaptasjonstiden fra portal til indre sone er 19 % og 21 % for kort.

Siden det ble valgt å kun bruke data for adaptasjonsluminansen fra den siden med høyest gjennomsnitt ble det også valgt å kun bruke innkjøringsarmaturene fra den siden med høyest dimensjonert belysning. Armaturene er gitt i tabell 3.3 og hele lysberegningen kan ses i vedlegg 7.3. De tre nederste armaturene er motlysarmaturer og har, som nevnt i delkapittel 2.1.7, derav et høyere lysutbytte enn den symmetriske.

Tabell 3.2: Prosentvis fordeling av trafikkdata

Time	Ukedager		Helgedager		Snitt hel uke	
	Felt 1	Felt 2	Felt 1	Felt 2	Felt 1	Felt 2
01:00	0,6 %	0,7 %	1,2 %	1,4 %	0,7 %	0,9 %
02:00	0,3 %	0,4 %	1,0 %	0,9 %	0,5 %	0,5 %
03:00	0,2 %	0,2 %	0,8 %	0,7 %	0,3 %	0,3 %
04:00	0,2 %	0,2 %	0,7 %	0,6 %	0,3 %	0,2 %
05:00	0,4 %	0,3 %	0,6 %	0,4 %	0,4 %	0,3 %
06:00	1,0 %	0,8 %	0,6 %	0,4 %	0,9 %	0,7 %
07:00	2,7 %	3,3 %	0,7 %	0,9 %	2,2 %	2,7 %
08:00	4,9 %	5,7 %	1,6 %	1,2 %	4,1 %	4,7 %
09:00	5,3 %	5,8 %	2,2 %	1,8 %	4,5 %	4,9 %
10:00	5,2 %	5,3 %	3,6 %	3,3 %	4,8 %	4,8 %
11:00	5,5 %	6,3 %	4,9 %	5,6 %	5,3 %	6,1 %
12:00	6,4 %	6,2 %	6,7 %	6,4 %	6,5 %	6,3 %
13:00	6,9 %	6,2 %	8,0 %	7,3 %	7,2 %	6,5 %
14:00	7,1 %	6,5 %	8,6 %	7,6 %	7,5 %	6,7 %
15:00	7,8 %	7,2 %	9,3 %	8,1 %	8,2 %	7,4 %
16:00	9,6 %	8,0 %	8,9 %	8,5 %	9,5 %	8,1 %
17:00	8,7 %	7,1 %	8,4 %	8,6 %	8,7 %	7,5 %
18:00	6,9 %	6,5 %	7,8 %	8,3 %	7,1 %	6,9 %
19:00	5,8 %	6,1 %	6,9 %	7,5 %	6,1 %	6,4 %
20:00	4,9 %	5,8 %	5,8 %	6,9 %	5,1 %	6,1 %
21:00	3,6 %	4,8 %	4,5 %	5,6 %	3,8 %	5,0 %
22:00	2,7 %	3,2 %	3,2 %	3,9 %	2,8 %	3,4 %
23:00	1,9 %	2,1 %	2,2 %	2,6 %	2,0 %	2,2 %
00:00	1,2 %	1,2 %	1,6 %	1,6 %	1,3 %	1,3 %
Sum	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabell 3.3: LED-armaturer installert i Brekktunnelen

Armatur	Effekt	Lysutbytte	Sone	Antall
TLED 0B TA 6.-54	87 W	86,21 lm/W	Indre	152
TLED 1F AS -6M 4.7-54	447 W	103,02 lm/W	Innkj.	46
TLED 1F AS -6M 4.7-36	299 W	105,85 lm/W	Innkj.	1
TLED 1F AS -6M 4.7-8	152 W	105,53 lm/W	Innkj.	2

### Konvensjonelt anlegg

For å ha et sammenligningsgrunnlag i beregningene trengtes det data for et anlegg med konvensjonelle armaturer og konvensjonell styring. På oppfordring foreslo Multilux AS et anlegg med armaturene i tabell 3.4. Høytrykk natriumslamper for innkjøringssonene og lysstoffrør som grunnbelysning. Lysberegningene og data om armaturene kan ses i vedlegg 7.3.

Installasjonen oppfyller alle kravene, bortsett fra at overgangssonen kuttes for tidlig (på samme måte som LED-anlegget) og at jevnheten gjennom tunnelen er for lav ved nattbelysning i indre sone ( $U_0 = 0,23$  og  $U_1 = 0,22$ ).

Tabell 3.4: Konvensjonelle armaturer foreslått i Brekktunnelen

Armatur	Lyskilde	Effekt	Lysutbytte	Sone	Antall
TZERO-HST, AS	NAV-T 4Y	440	101,83 lm/W	Innkj.	43
TZERO-HST, AS	NAV-T 4Y	250	94,17 lm/W	Innkj.	8
TZERO-HST, AS	NAV-T Super 4Y	100	72,02 lm/W	Innkj.	13
TZERO FLU-S-IN	T8 Fluo	58	59,57 lm/W	Indre	232

Lysberegningene for dette alternative anlegget kan ses i vedlegg 7.3. Der er armaturene i innkjøringssonen inndelt i tre grupper som utgjør gruppene «skumring», «dag1» og «dag2» i konvensjonell trinnstyring. Gruppene har installert



effekt på henholdsvis 6 875 W, 7 605 W og 8 135 W. I beregningene er dette neglisjert slik at alle trinnene har like høy effekt (7 538,33 W).



# Kapittel 4

## Beregningsskript

### 4.1 Ønskede utregninger

Hovedmålet med denne rapporten har vært å gjøre en god beregning for energisparepotensialet ved bruk LED-armaturer styrt ved bruk av kontinuerlig deteksjon gjennom tunneler. Det var ønskelig å finne ut hva sparepotensialet var ved forskjellig ÅDT og lengder for tunnelene, slik at vegvesenet skal vite hvor det har størst effekt å prøve ut slik trafikkstyrt belysning. Det ble forsøkt med enkle beregninger i Excel, men det viste seg at for å behandle alle dataene ble dette vanskelig uten bruk av makrofunksjoner. Det ble valgt å skrive et skript i Matlab istedenfor å bruke makroer i Excel siden kandidaten var litt bedre kjent med dette programmeringsspråket. Skriptet er gjengitt i sin helhet i vedlegg 7.3.

#### 4.1.1 Lengder og ÅDT

- ÅDT: 500, 1 500, 4 000, 8 000 og 12 000
- Lengde: 500, 2 000, 4 000, 10 000 og 20 000 meter

Tabell 2.1 viser at minstekravet for belysning er satt for  $\text{ÅDT} < 2\,500$ , men det er mange tunneler i Norge med  $\text{ÅDT}$  mye mindre enn dette og det ble derfor valgt å gjøre beregninger for  $\text{ÅDT}$  på 500 og 1 500. Det er valgt å tolke tabell 2.1 slik at  $\text{ÅDT}$  4 000 og 8 000 er nedre grense for å måtte installere et større lysanlegg. I tillegg til disse fire  $\text{ÅDT}$  ble det også valgt å gjøre beregninger for  $\text{ÅDT}$  12 000, både for å se om det ville gi noe sparepotensiale med så høy  $\text{ÅDT}$ , samt at det er grensen for at man må gå over til separate løp dersom det skal bygges en ny tunnel. Beregningerne for  $\text{ÅDT}$  12 000 ble gjort for både enkelt og dobbelt tunnellop, ettersom det kan være aktuelt å bytte belysningsanlegget i tunneler som allerede er bygget med ett løp, men hvor trafikkmengden har økt.

Ifølge figur 2.1 skal det også vurderes to separate løp for tunneler med  $\text{ÅDT}$  8 000 og lengde over 10 km. Det ble valgt å ikke gjøre dette, fordi forholdet mellom  $\text{ÅDT}$  8 000 og 12 000 med et felles løp vil være omtrent likt for separate løp og at en eventuell forskjell ville vært liten og neglisjerbar. Som nevnt i delkapittel 3.2.2 inngår alle passerignene i settet for  $\text{ÅDT}$  8 000 i settet for  $\text{ÅDT}$  12 000.

2 000 meter ble valgt fordi det gir en lengre gjennomkjøringstid enn 60 sekunder. Som forklart i delkapittel 2.1.5 kan grunnbelysningen dermed halveres dersom det kun kommer bil fra den ene siden. 4 000 meter gir en lengre gjennomkjøringstid enn 120 sekunder, slik at grunnbelysningen kan halveres både når det er bil i tunnelen fra en side og fra begge samtidig. 60 sekunder utgjør 1 333 meter ved en fartsgrense på 80 km/t. 500 meter ble valgt som korteste tunnel, siden mange av tunnelene det ble hentet litt informasjon fra lå rundt denne lengden. 10 000 og 20 000 ble valgt som lengder for lange tunneler.

#### 4.1.2 Forskjellige sparingsmetoder og beregninger

I tillegg til å styre belysningen etter om det er trafikk eller ikke kan også LED-armaturene dimmes etter hvor gamle de er, med konvensjonell styring av

lysnivået eller dynamisk styring etter reduksjonskurven og den kan styres med en enklere trafikkdeteksjon hvor bilene kun blir detektert en gang. For å synliggjøre de forskjellige beregningene har de fått et nummer fra 1 til 6 på følgende måte:

**Metode 1:** Konvensjonelle armaturer med konvensjonell styring.

**Metode 2:** LED-armaturer med konvensjonell styring.

**Metode 3:** LED-armaturer dimmet etter vedlikeholds faktoren og ellers konvensjonell styring.

**Metode 4:** LED-armaturer dimmet etter reduksjonskurven og vedlikeholds faktoren.

**Metode 5:** LED-armaturer med enkel deteksjon og dimming etter reduksjonskurven og vedlikeholds faktor.

**Metode 6:** LED-armaturer med kontinuerlig deteksjon og dimming etter reduksjonskurven og vedlikeholds faktor.

Armaturene som benyttes i beregningene er nevnt i kapittel 3. Vedlikeholds faktoren er satt til 0,7 og dynamisk dimming etter reduksjonskurven gjøres i henhold til den gjennomsnittlige adaptasjonsluminansen gitt i delkapittel 3.2.1. I metode 5 detekteres bilene før de kjører inn i tunnelen og i det de har forlatt den. I beregningen for metode 6 detekteres bilene én gang hvert sekund gjennom hele tunnelen. *Videre i teksten henvises det ofte til metodenummeret istedenfor hele beskrivelsen.*

Den konvensjonelle styringen er gjort på samme måte som den blir gjort i tunnelene på strekningen Sokna-Ørgenvika, bare at den er noe justert. Den dimensjonerende adaptasjonsluminansen for tunnelene på den strekningen ble satt til 4 000 cd/m<sup>2</sup>, mens den dimensjonerende adaptasjonsluminansen for armaturoppsettet brukt i beregningene er 2 900 cd/m<sup>2</sup>. Istedenfor trinning ved 20

cd/m<sup>2</sup>, 150 cd/m<sup>2</sup> og 1 500 cd/m<sup>2</sup>, ble det i beregningene brukt verdier omtrent én fjerdedel lavere: 15 cd/m<sup>2</sup>, 112,5 cd/m<sup>2</sup> og 1 125 cd/m<sup>2</sup>.

Belysningen i indre sone styres likt i alle beregninger.

## 4.2 Løsninger i skriptet

### 4.2.1 Generelle løsninger

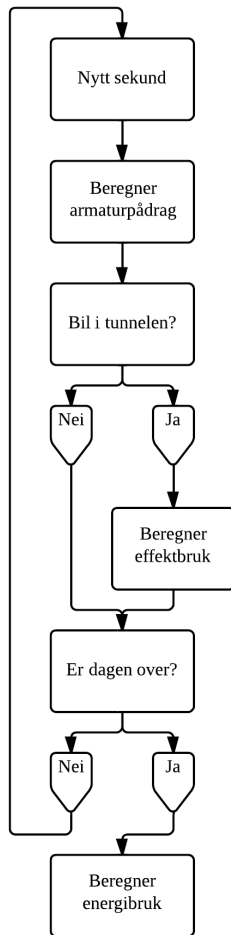
Følgende antagelser er gjort i alle beregningene:

- Lysutbyttet fra LED-armaturene er stabilt ved dimming ned til 10 % pådrag, slik at formen på den beregnede luminanskurven i vedlegg 7.3 er den samme ved hvert pådrag.
- Når det ikke er kjøretøy i tunnelen eller i en «sone» skrur all belysning av (metode 5 og 6).
- Alle kjøretøy holder fartsgrensen gjennom tunnelen.
- Kjøretøyenes lengde er neglisjert.
- Radarer er plassert slik at de detekterer kjøretøy hvert sekund og på de avstander som trengs for å oppfylle løsningene forklart i delkapittel 4.2.3.

I tillegg er minimalt og maksimalt pådrag for LED-armaturene satt til henholdsvis 10 % og 70 %, slik det er gjort i Brekktunnelen. Verdier over 70 % er rundet ned og beregnede pådrag under 10 %, men ikke lik null, er rundet opp.

#### Grenser for dimming og trinning

Både for LED-belysningen og de konvensjonelle armaturene er grensen for dag og natt for indre sone satt til 100 cd/m<sup>2</sup> og belysningen i innkjøringssonen skrur helt av (også skumringstrinnet for konvensjonell styring) ved 15 cd/m<sup>2</sup>.



Figur 4.1: Forenklet flytskjema for beregningsskriptet

Pådraget til grunnbelysningen beregnes først slik at bidraget fra grunnbelysningen trekkes fra i beregningen av pådraget til innkjøringssonens belysning.

Et pådrag på 70 % for innkjøringssonen gir den dimensjonerende luminansen i vedlegg 7.3 og 7.3. Den gjennomsnittlige adaptasjonsluminansen som er brukt vil derimot aldri nå dette nivået, slik at dette har ingen praktisk betydning for resultatet.

### **Justering av armaturer**

Ingen av beregningene er gjort med samme lengde eller ÅDT som Brekktunnelens armaturer er dimensjonert for. For å stort sett kunne bruke det samme datagrunnlaget for alle beregningene ble det gjort justeringer i antall armaturer og i effekten deres.

Endring i ÅDT vil endre dimensjonerende luminans i innkjøringssonens første halvdel og i indre sone i henhold til tabell 2.1. Disse justeringene er gjort etter en antagelse om at installerte effekt er proporsjonal med endring i dimensjonerende luminans. Grunnbelysningens og innkjøringssonens armaturer justeres hver for seg.

Når lengden endres må antall armaturer heves eller senkes. Armaturene i grunnbelysningen har en konstant avstand på 8,5 meter fra hverandre (11,1 meter for lysstoffrør), og en endring i tunnelens lengde på 8,5 meter har gitt en økning eller reduksjon på én armatur.

Vedlegg 7.3 viser at det er to rekker med lysstoffrør i den konvensjonelle lysinstallasjonen. De to rekkene har samme antall armaturer, samme effekt og samme konstante avstand, men det er forskjøvet fra hverandre med 5,4 meter. En forenkling er gjort i skriptet ved at disse armaturene er slått sammen til én rekke, hvor armaturene har dobbel effekt og samme konstante avstand.

Det er ikke gjort beregninger for tunnel kortere enn  $2 \cdot$  innkjøringssone, slik at endringen i antall kun er gjort for grunnbelysningen.



## 4.2.2 Treghet i styringssystemet

Det ble gjort et forsøk på å implementere en treghet i systemet på f. eks. 5 sekunder. Dette var for vanskelig å få til på en ordentlig måte for metode 6 og armaturdimmingen, slik at dette er neglisjert i resultatene. Tregheten er allikevel ikke fjernet fra skriptet, i tilfelle det blir aktuelt å gjøre et forsøk på dette senere.

## 4.2.3 Løsninger for trafikkdeteksjon

Ved beregning av den kontinuerlige deteksjonen er lengden på tunnelen delt inn i soner på omtrent 22,22 meter, som er avstanden kjøretøyene tilbakelegger på ett sekund (antall soner er rundet av til et heltall, som gir en liten variasjon i sonenes lengde). Det er lagt inn at det skal være lys i sonene som er minst 300 meter foran bilen og 100 meter bak (også på vei ut av tunnelen). For eksempel vil beregningen for lengden 4 000 meter omtrent gi en matrise som er  $780 \times 86\,400$  stor, hvor 780 er antall soner og 86 400 er antall sekunder i et døgn.

Hvert sekund regnes det ut hvor langt inn i tunnelen kjøretøyene har kjørt fra hver sin side og hvilke soner som da skal ha lys. Videre sjekkes det hvilke armaturer som ligger i de aktuelle sonene og alle disse dimmes i henhold til pådraget regnet ut fra adaptasjonsluminansen, men ikke slik at det blir dobbel belysning om det er kjøretøy i samme sone fra hver kjøreretning. Dersom det ikke skal være lys for motgående kjøretøy i tunnelens siste 60 sekunder, halveres lysnivået når bilen har kjørt mer enn 60 sekunder (for  $\text{ÅDT} > 2\,500$ ).

For metode 5 skrus belysningen på når kjøretøyet er 300 meter foran tunnelen og av når bilen har kjørt 100 meter ut av tunnelen. På den måten blir passeringstiden for hver bil lik tunnellengden pluss 400 meter.

For begge metodene detekteres kjøretøyene 300 meter foran tunnelen på tidspunktet generert blant annet av koden i vedlegg 7.3.



# Kapittel 5

## Resultater fra energiberegningene

### 5.1 Lastkurver

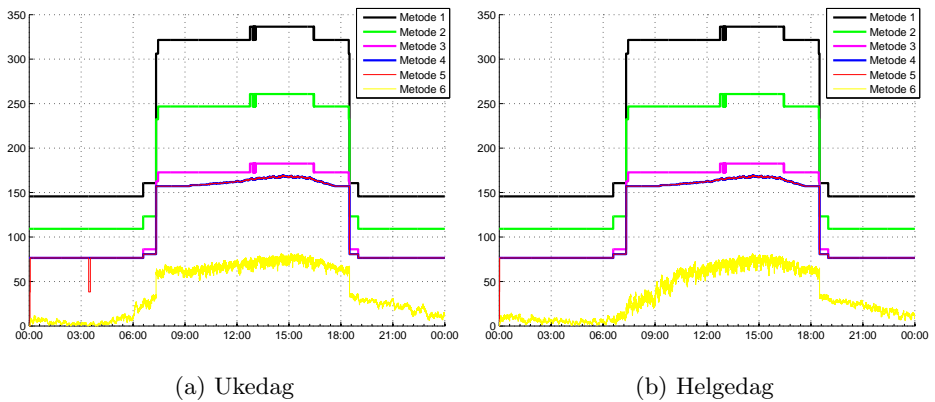
Her følger et utvalg av lastkurvene for de 60 kombinasjonene som ble beregnet. Lastkurver for alle lengder og trafikkmengder kan ses i vedlegg 7.3.

Figur 5.1 viser den beregnede lastkurven til en tunnel på 20 000 meter med ÅDT 12 000 og to separate løp. Den gule kurven for deteksjon (metode 6) viser både at det er mulig å spare mye energi i tunneler som både er lange og har høy ÅDT. På morgenen ser man også tydelig forskjell på ukedag og helg. Den røde kurven, som viser lastkurven for av/på-styring for hele tunnelen er her knapt synlig ettersom den omtrent følger kurven for metode 4 hele tiden.

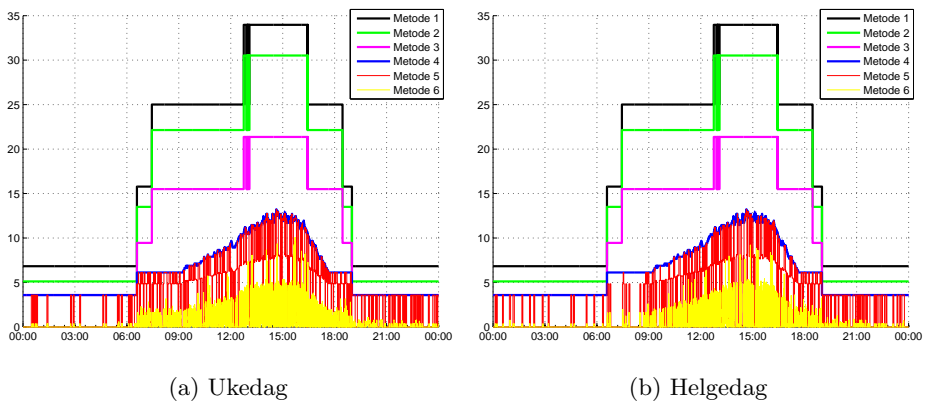
Figur 5.2b viser at belysningen i hele tunnelen ofte kan skrus helt av med metode 5 selv om tunnelen er 4 000 meter. Omtrent fra kl. 06:30 til 18:30 er  $L_{20}$  høy nok til at innkjøringslyset er på og i det tidsrommet er visert den røde grafen

tydelig to forskjellige nivåer, som er skillet mellom at det er biler fra kun én av sidene eller fra begge.

Felles for alle lastkurvene er at tidspunktene for trinning og dimming av innkjøringssonens belysning er lik.



Figur 5.1: Lastkurve for tunnel på 20 000 m med ÅDT 12 000 og separate løp



Figur 5.2: Lastkurve for tunnel på 4 000 m med ÅDT 500

## 5.2 Absolutt og relativt forbruk

Det er vanskelig å lese noe klart om energibruken på lastkurvene, derfor er all beregnet energibruk samlet i tabell 5.1. I tabellen er forbruket det beregnede gjennomsnitt for fem ukedager og to helgedager. I tabell 5.2 vises metodenes relative forbruk til metode 1. «12 000\*» angir ÅDT 12 000 med separate tunnellop.

Tabell 5.3 og 5.4 viser det samme, men delt inn i forbruket for henholdsvis innkjøringssonene og grunnbelysningen. Alle energiberegningene for innkjøringssonene skulle vært lik for samme ÅDT og lengde, men den er litt mindre i beregningene for 500 meter. Årsaken til dette er en avrunding i sonelengden som gjør at én eller flere av armaturene havner i en annen av sonene enn for de andre lengdene.

I tillegg viser figur 5.3–5.13 grafer for det relative forbruket i tabell 5.1 samt relativt forbruk til metode 3 og 4. På disse figurene er det kun den vertikale akse som er skalert.

Tabell 5.1: Alt beregnet forbruk i kWh

Lengde	ÅDT	Metode 1	Metode 2	Metode 3	Metode 4	Metode 5	Metode 6
500	500	265,6	244,7	171,3	72,6	14,9	5,7
500	1 500	265,6	244,7	171,3	72,6	35,1	15,5
500	4 000	468,6	427,3	299,1	135,4	106,4	64,9
500	8 000	528,7	472,5	330,7	168,1	151,3	116,0
500	12 000	528,7	472,5	330,7	168,1	156,9	132,6
500	12 000*	649,1	562,7	393,9	231,3	210,2	162,1
2 000	500	327,2	290,9	203,6	104,9	45,0	7,1
2 000	1 500	327,2	290,9	203,6	104,9	78,6	19,3
2 000	4 000	649,1	562,7	393,9	230,1	203,0	87,6
2 000	8 000	889,8	743,3	520,3	357,6	327,7	172,4
2 000	12 000	889,8	743,3	520,3	357,6	336,5	192,9
2 000	12 000*	1 210,0	983,4	688,4	525,8	492,4	265,7
4 000	500	408,9	352,3	246,6	147,9	89,6	8,8
4 000	1 500	408,9	352,3	246,6	147,9	125,0	23,6
4 000	4 000	808,7	682,4	477,7	313,9	286,2	111,0
4 000	8 000	1 209,0	982,7	687,9	525,2	495,6	237,8
4 000	12 000	1 209,0	982,7	687,9	525,2	505,9	266,8
4 000	12 000*	1 689,4	1 343,0	940,1	777,4	748,8	368,0
10 000	500	654,6	536,5	375,6	276,9	219,1	13,8
10 000	1 500	654,6	536,5	375,6	276,9	251,2	36,6
10 000	4 000	1 168,7	952,5	666,7	503,0	480,1	150,9
10 000	8 000	1 929,1	1 522,7	1 065,9	903,3	885,4	337,0
10 000	12 000	1 929,1	1 522,7	1 065,9	903,3	896,0	371,0
10 000	12 000*	3 129,5	2 423,1	1 696,1	1 533,5	1 519,0	573,8
20 000	500	1 064,2	843,7	590,6	491,9	420,7	22,2
20 000	1 500	1 064,2	843,7	590,6	491,9	467,9	58,2
20 000	4 000	1 769,0	1 402,6	981,8	818,1	801,4	221,6
20 000	8 000	3 129,5	2 423,1	1 696,1	1 533,5	1 524,8	520,2
20 000	12 000	3 129,5	2 423,1	1 696,1	1 533,5	1 531,3	569,1
20 000	12 000*	5 530,4	4 223,7	2 956,6	2 794,0	2 788,0	916,6

Tabell 5.2: Forbruk relativt til metode 1

Lengde	ÅDT	Metode 1 [kWh]	Metode 2	Metode 3	Metode 4	Metode 5	Metode 6
500	500	265,6	92,2 %	64,5 %	27,3 %	5,6 %	2,1 %
500	1 500	265,6	92,2 %	64,5 %	27,3 %	13,2 %	5,8 %
500	4 000	468,6	91,2 %	63,8 %	28,9 %	22,7 %	13,9 %
500	8 000	528,7	89,4 %	62,6 %	31,8 %	28,6 %	21,9 %
500	12 000	528,7	89,4 %	62,6 %	31,8 %	29,7 %	25,1 %
500	12 000*	649,1	86,7 %	60,7 %	35,6 %	32,4 %	25,0 %
2 000	500	327,2	88,9 %	62,2 %	32,1 %	13,8 %	2,2 %
2 000	1 500	327,2	88,9 %	62,2 %	32,1 %	24,0 %	5,9 %
2 000	4 000	649,1	86,7 %	60,7 %	35,5 %	31,3 %	13,5 %
2 000	8 000	889,8	83,5 %	58,5 %	40,2 %	36,8 %	19,4 %
2 000	12 000	889,8	83,5 %	58,5 %	40,2 %	37,8 %	21,7 %
2 000	12 000*	1 210,0	81,3 %	56,9 %	43,5 %	40,7 %	22,0 %
4 000	500	408,9	86,1 %	60,3 %	36,2 %	21,9 %	2,2 %
4 000	1 500	408,9	86,1 %	60,3 %	36,2 %	30,6 %	5,8 %
4 000	4 000	808,7	84,4 %	59,1 %	38,8 %	35,4 %	13,7 %
4 000	8 000	1 209,0	81,3 %	56,9 %	43,4 %	41,0 %	19,7 %
4 000	12 000	1 209,0	81,3 %	56,9 %	43,4 %	41,8 %	22,1 %
4 000	12 000*	1 689,4	79,5 %	55,6 %	46,0 %	44,3 %	21,8 %
10 000	500	654,6	82,0 %	57,4 %	42,3 %	33,5 %	2,1 %
10 000	1 500	654,6	82,0 %	57,4 %	42,3 %	38,4 %	5,6 %
10 000	4 000	1 168,7	81,5 %	57,0 %	43,0 %	41,1 %	12,9 %
10 000	8 000	1 929,1	78,9 %	55,3 %	46,8 %	45,9 %	17,5 %
10 000	12 000	1 929,1	78,9 %	55,3 %	46,8 %	46,4 %	19,2 %
10 000	12 000*	3 129,5	77,4 %	54,2 %	49,0 %	48,5 %	18,3 %
20 000	500	1 064,2	79,3 %	55,5 %	46,2 %	39,5 %	2,1 %
20 000	1 500	1 064,2	79,3 %	55,5 %	46,2 %	44,0 %	5,5 %
20 000	4 000	1 769,0	79,3 %	55,5 %	46,2 %	45,3 %	12,5 %
20 000	8 000	3 129,5	77,4 %	54,2 %	49,0 %	48,7 %	16,6 %
20 000	12 000	3 129,5	77,4 %	54,2 %	49,0 %	48,9 %	18,2 %
20 000	12 000*	5 530,4	76,4 %	53,5 %	50,5 %	50,4 %	16,6 %

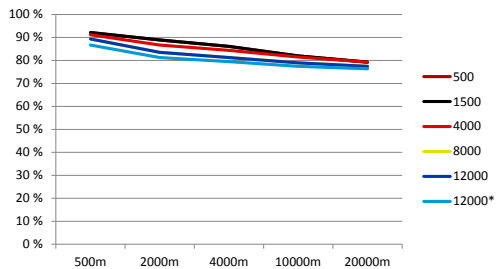
Tabell 5.3: Alt beregnet forbruk for innkjøringssonene

Lengde	ÅDT	Metode 1 [kWh]	Metode 2	Metode 3	Metode 4	Metode 5	Metode 6
500	500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	5,1 %	2,0 %
500	1 500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	12,2 %	5,4 %
500	4 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,4 %	21,1 %	12,3 %
500	8 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	24,8 %	19,1 %
500	12 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,3 %	22,4 %
500	12 000*	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,3 %	22,4 %
2 000	500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	10,8 %	2,1 %
2 000	1 500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	19,9 %	5,6 %
2 000	4 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,4 %	24,8 %	12,7 %
2 000	8 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,5 %	19,4 %
2 000	12 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,6 %	22,6 %
2 000	12 000*	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,6 %	22,6 %
4 000	500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	15,9 %	2,1 %
4 000	1 500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	23,5 %	5,6 %
4 000	4 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,4 %	25,2 %	12,7 %
4 000	8 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,6 %	19,4 %
4 000	12 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	22,6 %
4 000	12 000*	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	22,6 %
10 000	500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	22,7 %	2,1 %
10 000	1 500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	25,0 %	5,6 %
10 000	4 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,4 %	25,4 %	12,7 %
10 000	8 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	19,4 %
10 000	12 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	22,6 %
10 000	12 000*	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	22,6 %
20 000	500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	24,7 %	2,1 %
20 000	1 500	245,0	93,6 %	65,5 %	25,2 %	25,1 %	5,6 %
20 000	4 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,4 %	25,4 %	12,7 %
20 000	8 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	19,4 %
20 000	12 000	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	22,6 %
20 000	12 000*	408,4	93,6 %	65,5 %	25,7 %	25,7 %	22,6 %

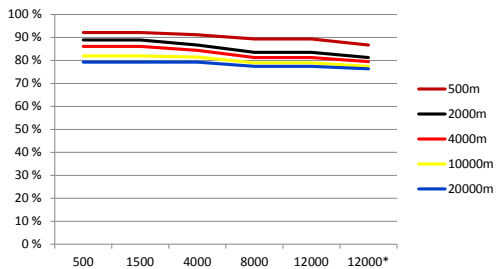


Tabell 5.4: Alt beregnet forbruk for grunnbelysning

Lengde	ÅDT	Metode 1 [kWh]	Metode 2	Metode 3	Metode 4	Metode 5	Metode 6
500	500	20,5	75,0 %	52,5 %	52,5 %	11,6 %	4,1 %
500	1 500	20,5	75,0 %	52,5 %	52,5 %	25,1 %	10,8 %
500	4 000	60,2	75,0 %	52,5 %	52,5 %	33,4 %	24,3 %
500	8 000	120,3	75,0 %	52,5 %	52,5 %	41,6 %	31,7 %
500	12 000	120,3	75,0 %	52,5 %	52,5 %	44,4 %	34,3 %
500	12 000*	240,7	75,0 %	52,5 %	52,5 %	44,4 %	29,4 %
2 000	500	82,1	75,0 %	52,5 %	52,5 %	22,6 %	2,6 %
2 000	1 500	82,1	75,0 %	52,5 %	52,5 %	36,2 %	6,6 %
2 000	4 000	240,7	75,0 %	52,5 %	52,5 %	42,3 %	14,9 %
2 000	8 000	481,4	75,0 %	52,5 %	52,5 %	46,4 %	19,3 %
2 000	12 000	481,4	75,0 %	52,5 %	52,5 %	48,2 %	20,9 %
2 000	12 000*	801,7	75,0 %	52,5 %	52,5 %	48,4 %	21,6 %
4 000	500	163,9	75,0 %	52,5 %	52,5 %	30,9 %	2,3 %
4 000	1 500	163,9	75,0 %	52,5 %	52,5 %	41,1 %	6,0 %
4 000	4 000	400,3	75,0 %	52,5 %	52,5 %	45,8 %	14,8 %
4 000	8 000	800,6	75,0 %	52,5 %	52,5 %	48,8 %	19,8 %
4 000	12 000	800,6	75,0 %	52,5 %	52,5 %	50,1 %	21,8 %
4 000	12 000*	1 281,0	75,0 %	52,5 %	52,5 %	50,3 %	21,5 %
10 000	500	409,6	75,0 %	52,5 %	52,5 %	39,9 %	2,1 %
10 000	1 500	409,6	75,0 %	52,5 %	52,5 %	46,4 %	5,6 %
10 000	4 000	760,3	75,0 %	52,5 %	52,5 %	49,5 %	13,0 %
10 000	8 000	1 520,7	75,0 %	52,5 %	52,5 %	51,3 %	16,9 %
10 000	12 000	1 520,7	75,0 %	52,5 %	52,5 %	52,0 %	18,3 %
10 000	12 000*	2 721,1	75,0 %	52,5 %	52,5 %	52,0 %	17,7 %
20 000	500	819,2	75,0 %	52,5 %	52,5 %	44,0 %	2,1 %
20 000	1 500	819,2	75,0 %	52,5 %	52,5 %	49,6 %	5,4 %
20 000	4 000	1 360,6	75,0 %	52,5 %	52,5 %	51,3 %	12,5 %
20 000	8 000	2 721,1	75,0 %	52,5 %	52,5 %	52,2 %	16,2 %
20 000	12 000	2 721,1	75,0 %	52,5 %	52,5 %	52,4 %	17,5 %
20 000	12 000*	5 122,0	75,0 %	52,5 %	52,5 %	52,4 %	16,1 %

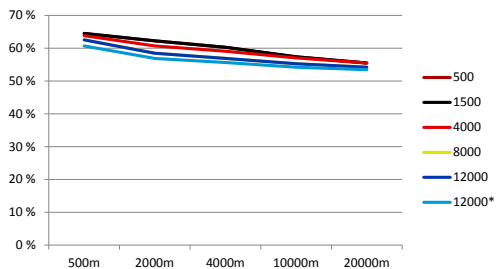


(a) For hver ÅDT

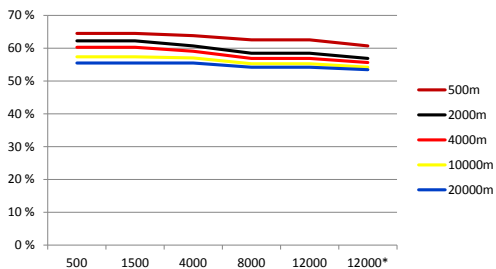


(b) For hver lengde

Figur 5.3: Metode 2s forbruk relativt til metode 1

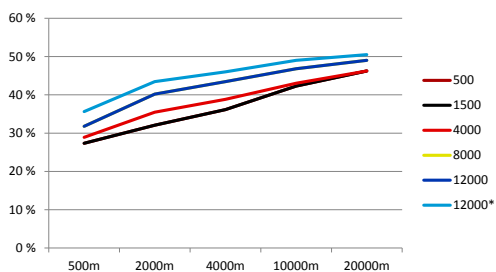


(a) For hver ÅDT

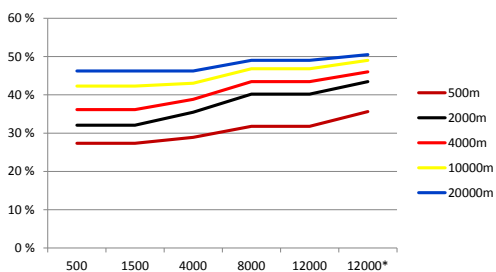


(b) For hver lengde

Figur 5.4: Metode 3s forbruk relativt til metode 1

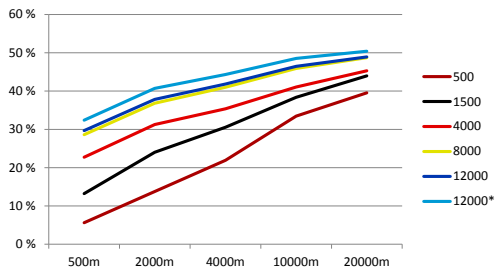


(a) For hver ÅDT

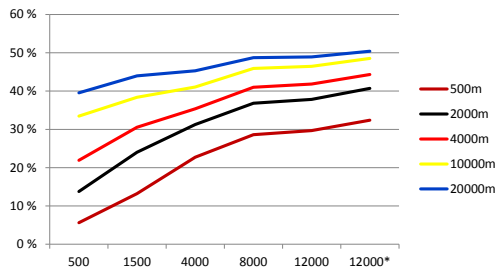


(b) For hver lengde

Figur 5.5: Metode 4s forbruk relativt til metode 1

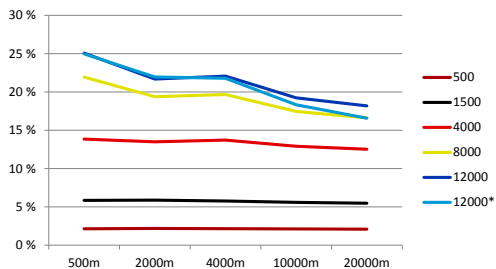


(a) For hver ÅDT

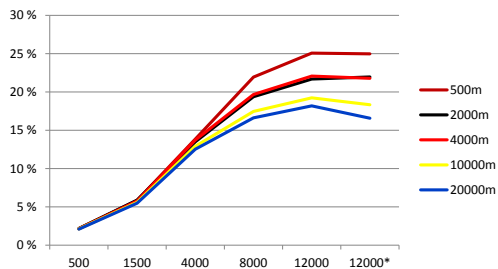


(b) For hver lengde

Figur 5.6: Metode 5s forbruk relativt til metode 1

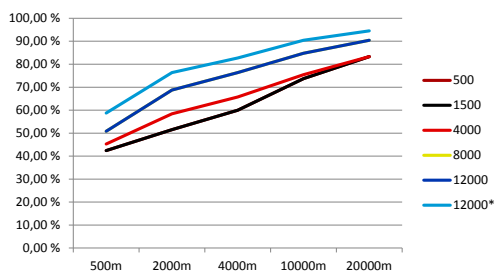


(a) For hver ÅDT

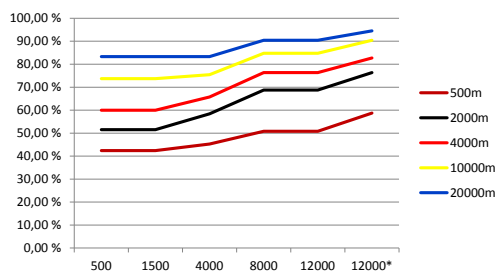


(b) For hver lengde

Figur 5.7: Metode 6s forbruk relativt til metode 1

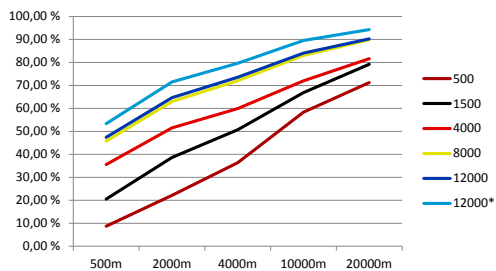


(a) For hver ÅDT

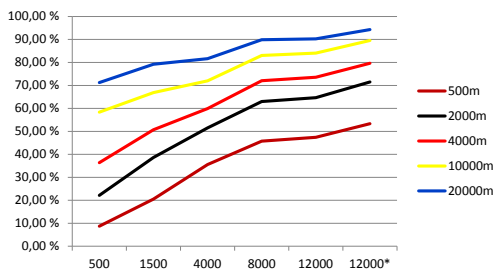


(b) For hver lengde

Figur 5.8: Metode 4s forbruk relativt til metode 3

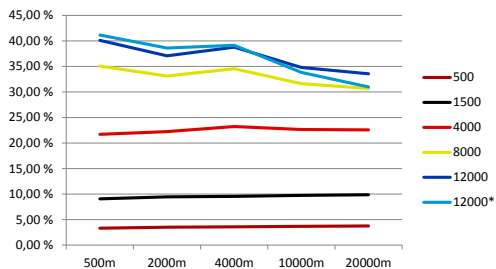


(a) For hver ÅDT

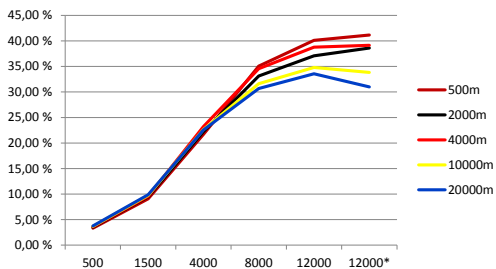


(b) For hver lengde

Figur 5.9: Metode 5s forbruk relativt til metode 3

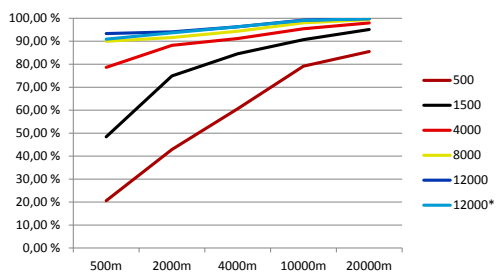


(a) For hver ÅDT

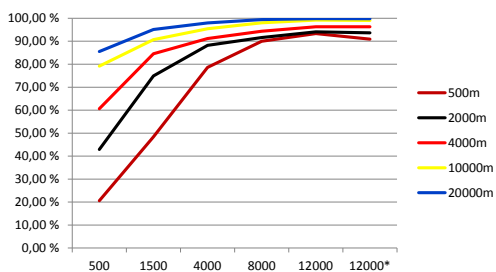


(b) For hver lengde

Figur 5.10: Metode 6s forbruk relativt til metode 3

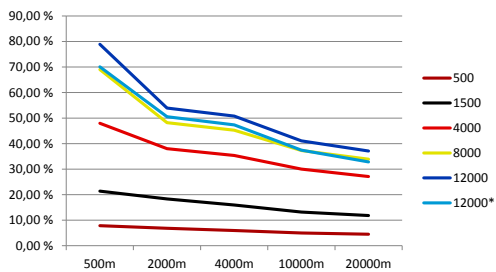


(a) For hver ÅDT

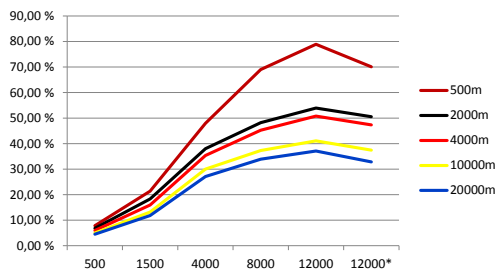


(b) For hver lengde

Figur 5.11: Metode 5s forbruk relativt til metode 4

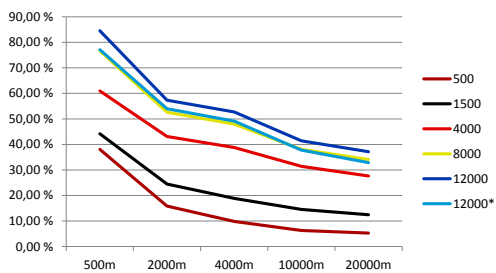


(a) For hver ÅDT

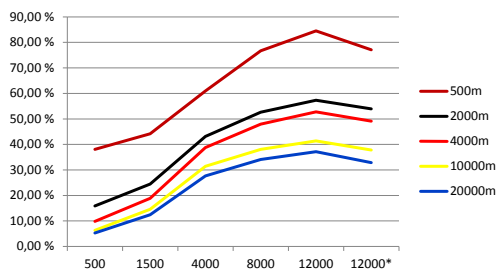


(b) For hver lengde

Figur 5.12: Metode 6s forbruk relativt til metode 4



(a) For hver ÅDT



(b) For hver lengde

Figur 5.13: Metode 6s forbruk relativt til metode 5



# Kapittel 6

## Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres blant annet de forskjellige faktorene i beregningene og hvordan de ville påvirket resultatet dersom de ble endret. Faktorer som ikke er medberegnet og deres eventuelle innvirkning er også diskutert.

Resultatene fra beregningene drøftes for å se på tendenser etter hvert som ÅDT og lengde øker. I tillegg er det gjort antagelser for energiforbruket ved en videre økning av ÅDT.

Videre følger en diskusjon om trafikkdeteksjon og praktiske detaljer for kjøretøystyrt beslysning. Denne skulle vært basert på mer informasjon fra tunneler hvor dette er tatt i bruk, men det ble dessverre ikke nok tilgjengelig informasjon til en solid drøfting av dette.

Energiberegningene som gjøres for aktuelle tunneler i dette kapitlet vil være for andre lengder og annen ÅDT enn det som er beregnet i skriptet. Derfor er det bare gjort en omtrentlig økning eller reduksjon i energiforbruket fra beregningens nærmeste resultat. Endringer i skriptet kan gjøres i etterkant for å gjøre nøyaktige beregninger.

## 6.1 Datagrunnlag og beregningsfaktorer

### 6.1.1 Adaptasjonsluminans

Det ble valgt å kun bruke målingene fra portalen med høyest gjennomsnittlig adaptasjonsluminans av to grunner. En grunn var at gjennomsnittet var veldig lavt (maksverdi 843 cd/m<sup>2</sup>). Den andre var at den dimensjonerende verdien for portalen med minst anlegg i innkjøringssonen kun var 1 800 cd/m<sup>2</sup>, som er langt under gjennomsnittet på 3 000–4 000 cd/m<sup>2</sup>. Etersom styringen av de konvensjonelle armaturene også er beregnet etter adaptasjonsluminansen, ville det hatt svært liten effekt på resultatet å bruke målingene fra begge sider. Den lille effekten ville ført til litt mindre sparing, blant annet siden «dag2» aldri ville blitt koblet inn på den ene siden av tunnelen

#### Styringskriterium for indre sone

Indre sone kan styres annerledes enn det har blitt beregnet for. For eksempel kan man velge at «nattrinnet» kun skal kobles inn mellom 00:00 og 06:00 eller også la denne dimmes gradvis etter adaptasjonsluminansen, f.eks. fra 100 cd/m<sup>2</sup> fram til L<sub>20</sub> ikke er målbar lenger (kun for LED). Etersom trafikken er høyere på kveldstid enn om natten, kan det tenkes at det burde være mer belysning kl. 20:00 enn kl. 04:00, selv om adaptasjonsluminansen skulle være lik. For eksempel har Sweco brukt driftstidene 7 timer «natt» og 17 timer «dag», som ville gitt mer forbruk enn de brukt i beregningen (se side 34). En økning i det gjennomsnittlige pådraget for indre sone i forhold til beregningene er altså sannsynlig.

Dersom «dagtrinnet» hadde stått på lenger enn i beregningene som er gjort ville dette påvirket alle de beregnede pådragene likt og dermed gitt mer sparing for kjøretøystyrt LED,

Med dynamisk endring av indre soner pådrag kunne sparingen med LED-



belysning gått både opp og ned, ettersom det gjennomsnittlige pådraget over hele døgnet hadde gått opp eller ned. Sparepotensialet kunne altså økt eller minsket, men en økning er mest sannsynlig.

Det at det ikke er definert noen krav for denne overgangen i håndbøkene gjør at det er fare for at lettvinte løsninger velges. Vegvesenet bør vurdere nye krav for dette, som både vurderer adaptasjonsluminansen og trafikkmengde gjennom døgnet. Dette vil gi «riktigere» lysnivå, men kan også gi spart energi i noen tilfeller.

### **Styringskriterium for konvensjonell styring**

Valget av styringskriterium for den konvensjonelle styringen sto mellom tre alternativer. For innkjøringssonen var alternativene å få tak i horisontale lux-målinger, tidsstyrte trinninger eller å benytte adaptasjonsluminansen som kriterium. Det viktige var å bruke et alternativ som gav et godt sammenligningsgrunnlag for beregningsmetodene, hvor kjøretøystyringen skulle være hovedfaktoren.

Lux-målinger fra Brekktunnelen ville vært å foretrekke, siden disse ville vært direkte sammenlignbare med adaptasjonsluminansmålingene derfra og fordi det er det mest utbredte styringskriteriet. Dessverre var ikke dette mulig å oppdrive og målinger fra en annen tunnel ville ikke gitt et godt sammenligningsgrunnlag, siden lysnivåene kunne avvike mye fra hverandre over samme tidsperiode.

Trinning etter gitte tidspunkt i løpet av dagen ville vært den enkleste metoden å bruke i beregningen. For å bruke dette måtte det vært gjennomført en vurdering på hvilke tidspunkt som skulle brukes. I Swecos rapport var driftstidene for innkjøringsbelysningen 7 timer «AV», 4 timer «skumring», 4 timer «dag1» og 9 timer «dag2». Dette er veldig høy driftstid, spesielt for «dag2», som egentlig kun skal være nødvendig i en liten periode midt på dagen under de vanskeligste forhold<sup>1</sup>. Å velge et annet sett med tidspunkter ville bare blitt

---

<sup>1</sup>Opplysning fra ph.d. Pål Johannes Larsen i Norconsult AS.

basert på kvalifisert gjetning og det ble dermed ikke gjort.

Å beregne styring etter adaptasjonsluminansen var dermed det eneste gode alternativet. Det vanskelige med dette alternativet var at dette er lite brukt og at det derfor ikke er noen anbefalte luminansnivåer armaturgruppene bør trigges ved. De eneste tunnelene det ble hentet informasjon om, som har slik styring, var tunnelene mellom Sokna og Ørgenvika. Som en forenkling ble det brukt verdier tilsvarende 3/4 av nivåene brukt i disse tunnelene, siden 2 900 cd/m<sup>2</sup> utgjør omtrent 3/4 av 4 000 cd/m<sup>2</sup>. Disse nivåene kunne godt vært høyere, både for «dag1» og «dag2», men de gir i hvert fall mye lavere driftstid enn tidspunktene i Swecos rapport og er basert på det samme utendørs lysnivået som styringen av LED-armaturene.

### 6.1.2 Trafikkdata

Det mest spennende og nøyaktige ville vært å hatt faktiske passeringstidspunkter fra tunneler med veldig forskjellig ÅDT. Slike data ville inneholdt naturlige avhengigheter mellom hvert kjøretøy, som for eksempel avstander mellom dem i rushtrafikk og om bilene ville samlet seg i større eller mindre kolonner resten av døgnet. Dersom flere biler ville kjørt gjennom tunnelen samtidig ville det ha gitt flere tidspunkter å skru av belysningen på. Med 400 meter lys for hvert kjøretøy er det helt klart at det ville gitt større sparepotensiale om flere hadde kjørt gjennom tunnelen samtidig, etter som de beveger seg i 22,22 m/s. Dessverre var slike data ikke mulig å få tak i.

Vegvesenet gjør trafikkteLLinger på forskjellige punkter i veinettet, som viser antall biler passert hver time. Slike tellinger ble brukt av Sweco i deres beregninger [6], men da ble kjøretøyene jevnt fordelt utover de respektive timene. Videre i beregningen har Sweco sagt at det skulle være lys 372 meter foran bilene og 62 meter bak (19,5 sekunder ved 80 km/t), og har sagt at det dermed var teore-

tisk mulighet for å skru av belysningen når det var mer enn 20 sekunder mellom kjøretøyene. Uten å forklare noen videre grunn har de sagt at det skulle være 40 sekunders forsinkelse på neddimming etter disse 20 sekundene, som vil tilsvare 889 meter mer lys bak bilen enn de argumenterte for. Altså har de beregnet at hver armatur står på i ett minutt hver gang det kjører én bil gjennom tunnelen og dermed beregnet at det kan spares ett minutts energi for hvert kjøretøy mindre enn 60 i timen. Dette er veldig konservativt og vil gi lite sparepotensiale. I de tilfeldig fordelte trafikkdataene for ÅDT 12 000 ville dette så vidt gitt litt sparingsmuligheter kl 00:00–05:00 på ukedagene (se vedlegg 7.3).

### **Konstruerte passeringstidspunkter**

Det ble altså valgt å tilfeldig fordele trafikken utover timen, slik at et mer reelt sparepotensiale kunne beregnes. Det ble valgt å ha minimum tre sekunders mellomrom mellom bilene siden det er anbefalt av vegvesenet og politiet. Andre avhengigheter ble ikke brukt, da det ville vært ren spekulasjon, spesielt for de minst trafikkerte tunnelene.

Virkelige data ville nok vist både kortere avstand mellom bilene enn 3 sekunder og en klarere avhengighet til kjøretøyet foran, slik at flere ville kommet i kolonne. I perioder med rushtrafikk og kø kan det tenkes at hastigheten ville vært lavere og at passeringstiden gjennom tunnelen ville vært lengre. Dette vil allikevel vært i situasjoner hvor bilene ville kjørt nærmere enn 100 meter fra hverandre, slik at lyset alltid ville stått på. Antagelig ville kjøretøy, som alene på veien holdt for høy eller for lav hastighet, jevnet ut hverandre.

De konstruerte dataene kan dermed sies å beskrive trafikken på en god nok måte, men at det er sannsynlig at det ville gitt et høyere sparepotensiale med reelle data på grunn av flere avhengigheter mellom kjøretøyene.

### 6.1.3 Armaturer og lysberegning

#### Avvik fra håndbøkene

Både LED-anlegget og de konvensjonelle oppfyller kravene for lysnivå (ihht. tabell 2.1), luminansreduksjon (ihht. figur 2.2), blending, jevnhet og flimmer (ihht. delkapittel 2.1.6) og egne krav for LED-armaturer (ihht. delkapittel 2.2.5). Som nevnt på side 36 er det kun to krav som ikke er tilfredsstillende oppfylt. Disse vil ikke påvirke beregningene mye.

Å rette opp i avviket om lengde på overgangssonen ville kun resultert i noen få ekstra armaturer. Ettersom økningen ville blitt gjort for begge anleggene, ville sammenligningen blitt ganske lik. Den eventuelle forskjellen ville gitt litt mer sparing med kjøretøydeteksjon siden den styrbare lasten da ville vært større.

Installasjon av flere lysrør i grunnbelysningen for å øke jevnheten ved nattinnstillingen ville gitt økt forskjell i sammenligningen med LED-anlegget og dermed høyere sparingspotensiale. Det ble ikke Multilux spurt om å gjøre en redimensjonering av anlegget.

#### Nyere armaturer

Beregningene er gjort med LED-armaturer som var tilgjengelige fra AEC i 2013. Som nevnt i delkapittel 2.2 er det generelt forventet at videre utvikling innen LED for vei- og tunnelbelysning vil resultere i økt lysutbytte og mindre blending. Datablad for LED-armaturene er i vedlegg 7.3 og datablad for en ny tunnelarmatur fra AEC er i vedlegg 7.3. Det er usikkert om armaturene fra 2013 var de beste da de ble levert, men lysutbyttet har i hvert fall økt fra 95,2 lm/W til 105,8 lm/W på knapt to år (42 270 lm/444 W og 46 990 lm/444 W). Dersom denne rapporten resulterer i at nye lysanlegg blir planlagt med LED, vil de kunne observere vesentlig mer energisparing enn det som er beregnet her.

## Tunnelklasse og tunnelprofil

I tillegg til de neglisjerte avvikene, er armaturene heller ikke jusert for krav til forskjellige tunnelklasser (Brekktunnelen er utført som T9,5) og dermed størrelsen på tunnelrommet. Belysningsstyrken er omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden fra armatur til flaten som beregnes [11], slik at antallet armaturer og eventuelt deres effekt burde vært justert for dette. Dette ville også påvirket jevnheten i tunnelen, noe som er neglisjert.

Ifølge figur 2.1 skal tunneler med  $\text{ÅDT} < 300$  ha tunnelklasse A, som det ikke er gjort beregninger for. Tunnelklasse A er også for veier med ett kjørefelt og møteplasser, som ikke ville stemt med trafikkdataene som er benyttet.

Tunnelklasse B kan utføres med profil T8,5 for  $\text{ÅDT} < 1\,500$ , så beregningene for  $\text{ÅDT} 500$  kunne egentlig hatt et litt mindre lysanlegg. Dette ville resultert i et litt mindre sparingspotensiale med LED.

Beregningene for  $\text{ÅDT} 4\,000$ ,  $8\,000$  og  $12\,000$  (felles løp) burde fått et kraftigere lysanlegg i henhold til tunnelprofil T10,5. En slik endring ville gitt litt mer sparing for LED.

Beregningene for  $\text{ÅDT} 1\,500$  og  $12\,000^*$  (separate løp) er de eneste som også skulle hatt tunnelprofil T9,5, så her skulle det ikke vært noen justering.

## Tidligere kutting av overgangssonen

For  $\text{ÅDT} > 2\,500$  (indre soner luminans på dagtid  $\geq 2 \text{ cd/m}^2$ ) vil det være mulig å kutte overgangssonen tidligere ved dimming etter luminansreduksjonskurven. Som sagt vil hele reduksjonskurven synke proporsjonalt med pådraget til innkjøringsbelysningen. Dermed vil punktet i overgangssonen hvor lysnivået blir henholdsvis 3 og 2 ganger høyere enn nivået i indre sone (for 2 og  $4 \text{ cd/m}^2$ ), flytte seg nærmere portalen etter hvert som armaturene får lavere pådrag. Etter hvert kan altså én og én av armaturene lengst inn i overgangssonen skrus av tidligere

enn det som er praksis ved dimming etter reduksjonskurven og det som er brukt i beregningen.

I et styringssystem kan dette gjøres ved at forhåndsinnstilte verdier for adaptasjonsluminansen får de ytterste armaturene i overgangssonen til å skrues helt av istedenfor at de dimmes videre ned.

Dette punktet i håndboken er ment for dimensjoneringen av anlegget, men ettersom styring etter adaptasjonsluminanskurven i praksis er å redimensjonere anlegget for hver nye måling, vil dette ikke være feil i henhold til kravene.

Dette vil ikke gi veldig mye sparing, men vil være enkelt å implementere dersom styringssystemet allerede er i stand til å sende kommandoer til én og én armatur.

Implementering av dette vil gjøre at sparingspotensialet for kjøretøystyrt LED relativt til styring etter reduksjonskurven litt mindre, men potentialet for LED generelt vil øke.

## 6.1.4 Faktorer i beregningen

### Reduksjonskurven

En forutsetning for beregningene og denne rapporten er at styring av dagtidsbelysningen i innkjøringssonen etter luminansreduksjonskurven vil gi korrekt mengde lys i tunnelen. Når man dimmer etter denne kurven og kravene i tabell 2.1 vil man i realiteten redimensjonere lysanlegget for hver nye måling av adaptasjonsluminansen. Så lenge denne reduksjonskurven er vedtatt som gjeldende for lysnivåer på dagtid, vil dimming etter denne være en korrekt måte å styre belysningen på.

## Lyslengder for kontinuerlig deteksjon

I beregningene er det brukt lys minst 300 meter foran og 100 meter bak hvert kjøretøy. Valg av lyslengdene vil være veldig avhengig av geometri og sikt i tunnelen (svingradius, fall osv) og det må selvsagt gjøres en egen risikovurdering av dette. Målet må være at sjåføren skal slippe å føle etter om han/hun føler seg helt trygg på at lyset blir skrudd på i tide. Dersom det gjøres en økning eller innkorting av lyslengdene vil energien spart henholdsvis synke eller øke.

## Vedlikeholdsfaktor

Maksimal vedlikeholdsfaktor i lysberegninger skal ifølge håndbok V124 være 0,75. I beregningene er faktor 0,7 brukt uten at det er tatt noen omfattende vurdering av dette. Den ble valgt av den enkle grunn av at 0,7 er vedlikeholdsfaktoren armaturpådraget i Brekk tunnelen er justert i henhold til.

Innbakt i vedlikeholdsfaktoren er både vask av tunnel og fall i lysstyrke fra armaturene i løpet av levetiden. Høy vedlikeholdsfaktor tilsvarer hyppig vask av tunnelen, som er et viktig tiltak for å holde lyskvaliteten oppe. Det ble valgt å ikke gjøre beregninger med separate metoder for dimming etter levetid og tunnelvask. Luminansreduksjonskurven og kjøretøydeteksjonen skulle være de sentrale faktorene i beregningen.

For metode 3 er det utregnede pådraget fra den konvensjonelle styringen multiplisert med vedlikeholdsfaktoren. En økning av faktoren ville gitt mindre sparing for LED og omvendt. Metode 5 og 6 sin relative sparing i forhold til metode 3 og 4 ville økt dersom faktoren ble økt og omvendt.

## Oppvarming av høytrykk natriumslamper

Sweco beregnet i sin rapport at høytrykk natriumslampers oppvarmingstid i løpet av døgnet ville gi 27 kWh høyere forbruk enn LED. Tallet kan ikke direkte

overføres til denne rapporten, men tilsier at sparingspotensialet med LED ville vært større.

I tillegg burde det, på grunn av oppvarmingstiden, vært lagt inn sperring for hyppig skifte av trinn for den konvensjonelle styringen, men det var en utfordring å få dette implementert i beregningsskriptet. På lastkurvene kan man se at det er omtrent et kvarter i løpet av døgnet at den gjennomsnittlige adaptasjonsluminansen svinger over og under  $1\,125\text{ cd/m}^2$ . Å implementere f.eks. et kvarters sperre for endring av trinn etter forrige skifte, ville gitt en liten endring i det totale energiforbruket i innkjøringssonen og gitt mer sparing for LED-anlegget.

### **Treghet i styringssystemet**

Som nevnt i kapittel 4 ble det gjort et forsøk på å implementere en treghet i systemet på 5 sekunder. Dette ble forsøkt med hensyn til at det i Brekktunnelen meldes om omtrent 3 sekunders treghet fra nytt pådrag sendes til armaturene til de kommer fram. Dette er avhengig av styringssystemet og kommunikasjonsmediumet i lysanlegget og kan være forskjellig fra tunnel til tunnel. I tillegg til at dette var vanskelig å implementere i beregningene, ble det også vurdert at beregningene burde være nøytrale med tanke på at det er mange forskjellige styringssystem. På den måten kan en eventuell treghet i et system legges til som en tenkt prosentøkning dersom det skulle være ønskelig.

En eventuell treghet i systemet ville gitt mindre sparing for trafikkstyring av armaturene, ettersom den totale avstanden med lys for hvert kjøretøy burde vært økt som et sikkerhetstiltak. Et styringssystem med minimal treghet vil altså være å foretrekke.

I Brekktunnelen er problemet håndtert på en slik måte at alle kommandoer for «lys på» får en overstyrende prioritet i systemet og kommer først i «køen».



### 6.1.5 Oppsummering av beregningsgrunnlaget

På de forrige sidene ble det gjennomgått noen faktorer som ble utelatt fra beregningene, men som ville påvirket dem dersom de ble tatt hensyn til. For å vite hvor relevante beregningene ville være, ble en oppsummering av deres sparepotensiale for kjøretøystyrt LED gjennomgått.

**Adaptasjonsluminans fra begge portaler:** Bruk av dette ville gitt litt mindre sparing for LED dimmet etter reduksjonskurven. Korte tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Styringskriterium indre sone:** Både tidsstyring og dynamisk dimming av indre sone ville gitt mer sparing for kjøretøystyrt LED. Lange tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Styringskriterie for konvensjonelle armaturer:** Mest sannsynlig ville styring etter luxverdier gitt mer sparing. Korte tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Lysberegningenes avvik fra V124:** Nye lysberegninger og lysanlegg ville mest sannsynlig gitt mer sparing.

**Bruk av nyere LED-armaturer:** Dette ville gitt en klar fordel for alle beregningene med LED-armaturer.

**Størrelse på tunnelrom:** Denne faktoren ville gitt litt mindre sparing for ÅDT 500, likt resultat for ÅDT 1 500 og 12 000, og mer sparing for ÅDT 4 000 og 8 000. Lange tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Tidligere kutting av overgangssone:** Dette vil gi mer sparing for LED. Korte tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Nøyaktige og konkrete trafikkdata:** Dette ville mest sannsynlig gitt mer sparing for kjøretøystyrt LED. Lange tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Lyslengder i metode 6:** Sparingen med kontinuerlig kjøretøystyrt LED stiger eller synker proporsjonalt med økning eller innkorting av lyslengdene. Korte tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Vedlikeholdsfaktor:** Sparepotensiale vil øke og synke omtrent proporsjonalt endring av vedlikeholdsfaktoren. Lange tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Oppvarming av høytrykk natriumslamper:** Dette ville gitt en økning i forbruket til det konvensjonelle anlegget slik at sparingen for LED-anlegg også ville økt. Korte tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

**Treghet i styringssystemet:** Dette er den eneste faktoren som klart ville gitt mindre sparing for kjøretøystyrte LED-armaturer. Lange tunneler og høy ÅDT blir påvirket mest.

Tendensen er helt klar for disse faktorene – implementering av dem ville gitt lavere energiberegninger for LED-anlegg og spesielt kjøretøystyrt LED. Beregninger med høy ÅDT ville merket dette best, ettersom høy ÅDT gir krav om større installert anlegg i innkjøringssonen. Lange og korte tunneler ville til sammen blitt påvirket omtrent på samme måte.

### 6.1.6 Levetid

#### Levetiden til armaturene i beregningen

LED-armaturene fra Brekk tunnelen har oppgitt levetid i henhold til IECs standard [18], som forklart i delkapittel 2.2.3. TLED 0B TA 6.5-54 er oppgitt med  $\geq 70.000$ hr B20L80 og  $\geq 90.000$ hr L80, mens de andre tre er oppgitt med  $\geq 50.000$ hr B20L80 og  $\geq 80.000$ hr L80. Det siste tallet oppgitt for disse er angitt etter den nye metoden TM21 og som forklart i kapittel 2.2.3, vil dette tilsi at de skal ha blitt testet i henholdsvis 1,7 og 1,5 år.

Levetiden til LED er veldig avhengig av omgivelsestemperaturen, så å få senket temperaturen godt under den oppgitte vil kunne øke levetiden betraktelig. Så at temperaturen i norske tunneler er mye lavere enn  $25^{\circ}\text{C}$  store deler av året [3] vil muligens øke levetiden utover det som er oppgitt.

At armaturene styres med maksimalt pådrag på 70 % fra installasjonsdato vil gjøre at anlegget kan driftes som et konstant-lumen-system litt utover den antatte levetiden, ettersom de er angitt til 90/80.000 timer for 20 % lystilbakegang.

Dersom levetiden er relativt uavhengig av dimmeivå, kan det vurderes om armaturene i innkjøringen bør deles inn i grupper, slik at det kan oppnås en lengre levetid ved at én gruppe skrur av og de andre driftes med et høyere pådrag.

## **Innvirkning på beregningene**

LED-armaturer har lengre levetid enn de fleste andre armaturer, men de vil fortsatt ha et lystap i løpet av denne tiden. Dette lystapet er ikke en del av beregningene, slik at resultatene i realiteten kun vil gjelde for starten av levetiden.

Dersom det skulle vært beregnet energiforbruk over hele levetiden til armaturene ville sparingspotensialet for LED blitt mindre. I slutten av levetiden ville energibruken for hver armatur for metode 3–6 vært omtrent  $1 - 1/0,8 = 25\%$  høyere.

## **6.2 Energisparingspotensiale**

### **6.2.1 Absolutt og relativt forbruk**

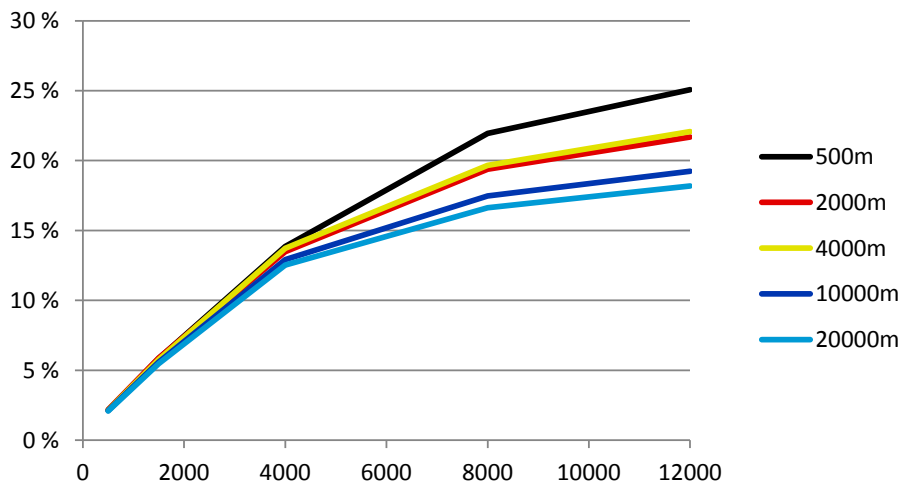
Tabell 5.1–5.4 og figur 5.4–5.13 viser alle de beregnede forbrukene framstilt på forskjellig vis. Følgende tendenser kan observeres for de ulike metodene:

- De beregnede energimengdene ser ikke ut til å være tilfeldige, men har en tydelig utvikling både i tabellene og figurene.

- Installert effekt fra innkjøringsbelysningen settes av ÅDT og er helt uavhengig av lengden, så lengde tunnelen er lengre enn innkjøringssonene.
- Det beregnede forbruket for metode 1–4 i tabell 5.1 vil ha henholdsvis like verdier for ÅDT 500 og 1 500, og for ÅDT 4 000 og 8 000, fordi for disse ÅDTene er kravene like. Lignende likheter ses også mellom ÅDT 12 000\* og ÅDT 8 000 og 12 000 for den doble lengden, da utregningen av separate løp kan ses på som en dobling av lengden. Lignende likheter kan også ses i tabell 5.3 og 5.4 for metode 1–4.
- For metode 2 og 3 er det en tydelig tendens i tabell 5.2 at det relative sparepotensialet øker med lengden og ÅDT, mens det for metode 4 og 5 er motsatt.
- Metode 3 gir et forbruk rundt 60 % for hver beregning relativt til metode 1. Det ser dermed ut til at man kan forvente et stabilt sparepotensiale rundt 40 % i forhold til det konvensjonelle anlegget, bare ved å installere LED og dimme etter vedlikeholdsfaktoren. Potensialet er størst for de lengste tunnelene og så vidt de med høyest ÅDT.
- Med metode 4 er det størst sparepotensiale for korte tunneler, siden innkjøringssonens belysning da utgjør en større del av totalforbruket. Økning i ÅDT og lengde gir en svak gradvis økning i det relative energiforbruket, hvor lengde er faktoren som gir størst bidrag til økningen.
- For de lengste tunnelene er bidraget fra innkjøringsbelysningen så liten at forbruket med metode 4 og 5 er omtrent likt forbruket med metode 3.
- Metode 5 gir gode sparemuligheter for lav ÅDT og korte tunneler. Etersom økning i ÅDT og lengde hver for seg vil minske muligheten for å skru av belysningen når det ikke er trafikk, vil økningen i det relative energiforbruket i forhold til metode 1, 3 og 4 være ganske lineær. For  $\text{ÅDT} > 8\,000$  vil

det omtrent ikke være forskjell på metode 4 og 5. Økning i ÅDT er det som raskest øker det relative forbruket.

- For ÅDT 500 og lengde 500 meter er forbruket for metode 5 og 6 tilnærmet likt i forhold til metode 1.
- Metode 6 viser en liten økning i sparepotensiale når lengden økes, og viser omtrent like mye relativ sparing for innkjørings- og grunnbelysningen.
- Relativt til metode 1 og 3 er forbruket med metode 6 omtrent uavhengig av lengden på tunnelen, kun for  $\text{ÅDT} > 8\,000$  vil det synke litt når lengden på tunnelen øker, ettersom innkjøringsbelysningen vil utgjøre en mindre del av den totale installerte effekten. Relativt til metode 4 er tendensen litt kraftigere og relativt til metode 5 synker det relative forbruket mye, selv for ÅDT 500.
- For høy ÅDT, fra 8 000 og oppover, vil det sparepotensialet med kontinuerlig kjøretøystyring øke relativt til metode 1. Fra 500 til 20 000 meter vil potensialet øke fra 78,1 % til 83,4 %, fra 74,9 % til 81,8 % og fra 75,0 % til 83,4 %.
- Det er ÅDT som er den avgjørende faktoren for energiforbruket med metode 6. Relativt til metode 1, 3 og 4 stiger forbruket henholdsvis med gjennomsnittlig 20 %, 30 % og 35 % fra ÅDT 500 til ÅDT 12 000 og 12 000\*. Stigningen er raskest desto kortere tunnelen er.
- Fra ÅDT 4 000 og oppover gir metode 6 minimum 28,8 prosentpoeng mer sparing enn noen annen metode relativt til metode 1. Disse prosentpoengene vil over et år utgjøre 134,7 MWh, som antagelig vil utgjøre en sum som kan forsvare større investeringer.



Figur 6.1: Metode 6 relativt til metode 1

### Videre økning i ÅDT for metode 6

Figur 6.1 viser figur 5.7b med lineær horisontal akse, men uten forbruket for ÅDT 12 000 og separate tunnellop. Det er en tydelig tendens at forbruket flater ut etter hvert som ÅDT øker. Tendensen relativt til metode 3–5 vil også være at forbruket stiger saktere etter hvert som ÅDT øker. Grunnen til dette er antagelig at mesteparten av trafikkøkningen skjer i timene i døgnet hvor det allerede er mye trafikk. Flere av kjøretøyene vil kjøre tett inntil hverandre gjennom tunnelen og dermed trengs det mindre energi per bil.

Denne tendensen gjør det mulig å anta at sparingspotensialet vil fortsatt å være høyt for videre stigning i ÅDT. Beregninger for ÅDT 20 000, 30 000 og 40 000 burde også blitt utført for å se om sparepotensialet ville fortsatt å følge den samme tendensen, men disse måtte alle blitt gjort med separate løp.

Det relative energiforbruket, for 10 000 og 20 000 meter med ÅDT 12 000, er lavere for separate tunneler enn for felles løp. Det som skjer når trafikken

separeres er at installert effekt omtrent blir doblet. At den ikke blir helt doblet er fordi grunnbelysningen alltid kan være halvert etter 60 sekunder og fordi hvert løp kun har en innkjøringssone. Av tabell 5.4 ser man at overgangen for 20 000 meter bare nesten gir en dobling i energiforbruket for metode 1 i indre sone. Antagelig vil utregninger med høyere ÅDT og separate løp gi samme slake stigning og utflating av energiforbruket.

Tunneler med veldig høy ÅDT vil også ha mer enn ett felt i hvert løp, slik at flere kjøretøy kan passere gjennom tunnelen samtidig. Dermed vil sparepotensialet med kontinuerlig kjøretøystyrt belysning vil være høyere for beregning med to eller flere felt per løp enn samme beregning for færre felt.

## 6.2.2 Valg av metode

Metode 4 bør alltid velges over metode 3 dersom det installeres LED i innkjøringssonen. Etersom armaturene allerede dimmes av styringssystemet anses det som en liten investering å kjøpe luminanskamera og å installere dette.

For tunneler, som er fra 500 til 2 000 meter lange, bør metode 4 vurderes dersom ÅDT er veldig høy. På figur 5.12b ser man at relativt til metode 4, vil metode 6 kun gi omtrent 30 % og 50 % sparing for 500 og 2 000 meter. Med lengde 500 og ÅDT 8 000, 12 000 og 12 000\* vil skillet mellom metode 4 og 6 kun utgjøre henholdsvis 9,9, 6,7 og 10,6 prosentpoeng relativt til konvensjonelt anlegg. For 2 000 meter øker dette til 20,8, 18,5 og 21,5 prosentpoeng. Den ekstra sparingen vil utgjøre 52,3, 35,4 og 68,8 kWh per døgn (19,1, 12,9 og 25,1 MWh per år) for 500 meter og 185,1, 164,6 og 260,2 kWh per døgn (67,6, 60,1 og 95,0 MWh per år). Dette vil antageligvis ikke kunne forsvare store investeringer og driftskostnader for systemet for kontinuerlig deteksjon og dermed bør metode 4 vurderes.

Dette gjelder også for metode 5. Enkel kjøretøydeteksjon bør vurderes brukt

istedenfor metode 6 når tunnelen er kort og har lav ÅDT. Metode 5 gir en god del mer sparing for lav ÅDT enn det metode 4 gjør, men bør ikke velges over metode 4 for ÅDT fra 8 000 og oppover, da den relative forskjellen mellom metode 4 og 5 blir liten og investerings- og driftskostnadene for metode 5 vil antageligvis ikke veie opp for denne forskjellen.

Det beregnede forbruket viser altså at metode 5 er en god løsning som gir mye sparing for de korteste tunnelene og lav ÅDT, mens metode 6 viser særdeles godt sparepotensiale i alle beregninger, særlig de med lav ÅDT.

I absolutte verdier vil sparingspotensialet til metode 6 øke for hver beregning. For ÅDT 12 000, 20 000 meter og separate tunneler vil årlig sparing med metode 6 kunne utgjøre 1 684 MWh. Metode 6 bør vurderes for alle nye lysinstallasjoner, men spesielt ved lengder over 2 000.

### **Måling av energiforbruk**

Energiforbruket i tunneler måles i Norge oftest samlet [1], slik at det vil være vanskelig å etterkontrollere sparingspotensialet etter idriftsettelse. Dersom man for eksempel ønsker støtte fra Enova til oppgradering til ny teknologi, er det krav til etterrapportering av energiforbruket [6].

### **Separering av styringsmetodene**

Alle de forskjellige metodene å styre belysningen på burde ha hver sin funksjon i et styringssystem, slik at de kan kobles inn én og én. Det vil gjøre det enklere å feilsøke i systemet og når man har funnet ut hvilken funksjon som har fått en feil, kan resten av funksjonene kobles inn. På den måten kan energi spares fram til feilen kan utbedres. For eksempel dersom detekteringssystemet for metode 5 og 6 skulle feile, slik at lyset må stå på hele tiden, vil det uansett spares energi i henhold til metode 4.



## 6.3 Trafikkdeteksjon

Det viktigste med trafikkstyrt belysning er at detekteringssikkerheten er 100 % og om det skulle oppstå feil i detekteringen vil alt lys bli slått på. Det er ikke viktig hvilken teknologi som brukes så lenge sjåfører ikke risikerer å kjøre gjennom en mørk tunnel eller gjennom «lommer med mørke» i tunnelen.

Valg av deteksjonsteknologi, om det skal være en del av AID, om det trengs flere forskjellige overlappende deteksjonssystemer og ekstra detektering rundt havarinisjer og lignende, må risikovurderes for hver tunnel hvor det planlegges kjøretøystyrt belysning.

Alle tunnelene i region nord som det ble opprettet kontakt med er utført med flere overlappende deteksjonsteknologier, mens tunnelene i region vest bare rapporterer å ha installert radarer. Spørsmål om hvorvidt deteksjonen har vært tilstrekkelig i alle tunnelene har ikke blitt ordentlig besvart, men allikevel er det ingen av dem som har rapportert om manglende deteksjon.

### 6.3.1 Deteksjon på vei ut av tunnel

Ingen av tunnelene det har vært skaffet informasjon om benyttet deteksjon av kjøretøy på vei ut av tunnelen, selv om alle har rapportert å ha installert radar som kan gjøre dette. De har heller en tidsinnstilling på belysningen som er mye lenger enn gjennomkjøringstiden for gjeldende fartsgrense.

Dersom man stoler nok på systemet til at man er sikker på at kjøretøy blir detektert på tur inn i tunnelen, bør man også kunne stole på at det kan detekteres på vei ut også. Å ha tre ganger så lang belysningstid som gjennomkjøringstid vil i praksis være det samme som å ha deteksjon på tur ut av en tunnel som er tre ganger så lang.

Dersom et kjøretøy på vei ut av tunnelen ikke registreres av detektorene, skal det ikke skje annet enn at lyset blir stående konstant på, ved at systemet

tror det er igjen en bil inne i tunnelen. En slik hendelse bør dukke opp hos vegtrafikksentralen etter en liten stund, i tilfelle det skulle være noe galt. Har tunnelen i tillegg installert AID skal uønskede hendelser som nødstopps uansett detekteres.

### **Tunnelene med kjøretøydeteksjon og tidsinnstilt pådrag**

Brek-, Fjøsodal, Raftsund-, Ingelsfjord-, Torsnes- og Nordrepolltunnelen er alle utført med kjøretøydeteksjon omtrent som beregnet for metode 5, bare at de har tidsinnstilt belysningen. De har alle rapportert om gode sparingsmuligheter på tider av døgnet når trafikkmengden er veldig lav.

Eiavatntunnelen er oppgitt med 5 minutters belysning for hvert kjøretøy. I henhold til tunnelens 433 meter og deteksjon 200 meter fra tunnelen, er det lys mer enn 4 minutter lenger enn det som er nødvendig. Altså over fire ganger for høyt energiforbruk enn det som trengs for et enslig kjøretøy gjennom tunnelen.

Brekktunnelen er oppgitt med 3 minutters belysning og med sine 1 290 meter er det nesten to ganger for mye energi for en bil alene gjennom tunnelen. Dette kunne utgjort mye energi, men av figur 5.11 kan det observeres at å detektere kjøretøyene på tur ut av tunnelen kun vil gi et sparepotensiale på omtrent 10 %, i forhold til metode 4.

Alle de nevnte tunnelene er utført med radar ved begge portaler som er i stand til å detektere trafikk i begge retninger, men muligheten er dessverre ikke tatt i bruk.

### **Tunnelene med en form for kontinuerlig kjøretøydeteksjon**

Sørdals-, Jondals- og Bortnetunnelen er de tre av tunnelene det har vært tatt kontakt med, som har hatt en form for kontinuerlig detektering gjennom tunnelen.

For Sjørdalstunnelen er det oppgitt at det er ekstra induktive sløyfer ved snu-nisjene gjennom tunnelen. Om deteksjon av kjøretøy starter tidsinnstilt belysning eller om deteksjonene gjennom tunnelen skrur av unødvendig belysning, har det ikke blitt informert om.

For Jondals- og Bortnetunnelen, og resten av tunnelene i region vest, er det ikke oppgitt noen ekstra informasjon om detekteringsystemet enn at det i disse tunnelene også er deteksjon inne i tunnelene.

### 6.3.2 Kontinuerlig detektering

Det vil være en liten fordel for energisparingen om detekteringen ikke gjøres indirekte, som med induktive sløyfer. Radar og kamera vil kunne gi beskjed om hvor i tunnelen alle kjøretøy befinner seg, slik det til en hver tid ikke trenger å være mer lys enn nødvendig. Med indirekte detektering må en lenger strekning være opplyst som en ekstra sikkerhet dersom kjøretøyet skulle stanse osv. Systemet må kjenne posisjonen til hver bil, slik at ikke lyset «forsvinner» forover. Skulle en detekteringsenhet falle ut, kan alle armaturene den skulle styrt enten innlemmes i overlappende detekteringsenheter eller settes konstant på, fram til problemet er fikset.

Som en ekstra sikkerhet for energisparingen bør det vurderes om deteksjon før innkjøring i tunnelen og deteksjonene inne i tunnelen kan separeres fra hverandre i systemet. Det vil gjøre at metode 5 kan avløse metode 6 ved store feil på deteksjonen inne i tunnelen.

En viktig del av en risikoanalyse bør være at installering av kontinuerlig kjøretøystyring kan kombineres med et AID system. Det er ikke krav om AID i tunneler med ÅDT under 4 000, men det er for lav ÅDT at energisparingspotensialet er størst med kontinuerlig deteksjon. Derfor er et stort sparepotensiale og økt sikkerhet to gode argumenter for å installere AID og kjøretøystyring i

Tabell 6.1: Swecos resultater summert

ÅDT	Metode 1 [kWh]	Metode 3	Metode 4	Metode 6
1 750	2 519,1	79,7 %	49,2 %	36,2 %
5 000	2 519,1	79,7 %	49,2 %	43,9 %

Tabell 6.2: Utdrag fra tabell 5.1 for lengde 10 000 meter

ÅDT	Metode 1 [kWh]	Metode 3	Metode 4	Metode 6
1500	654,6	57,4 %	42,3 %	5,6 %
4000	1 168,7	57,0 %	43,0 %	12,9 %
8000	1 929,1	55,3 %	46,8 %	17,5 %

kombinasjon.

## 6.4 Tunneler som planlegges med LED

### 6.4.1 Mælefjeltunnelen

Tabell 6.1 viser Swecos resultater framstilt slik denne rapportens beregnede energiforbruk er framstilt og tabell 6.2 viser denne rapportens resultater som kan sammenlignes med førstnevnte.

Anlegget Sweco har gjort beregninger for er dimensjonert for 90 km/t og ÅDT 4 000-8 000 (5,63 % av  $L_{20}$  i innkjøringssonens første halvdel), som gjør at den installerte lasten er større enn for denne rapportens anlegg. I tillegg har Sweco regnet med havarinisjer, snunisjer, én monotonibrytende fjellhall med ekstra belysning, 15 minutters oppvarmingstid for konvensjonell innkjøringsbelysning og lengre driftstid for de forskjellige styringstrinnene.

Dette ville kunne gitt større relative sparingmuligheter for kjøretøystyrt LED

enn denne rapportens beregninger vil. Energiforbruket i tabell 6.2 er dimensjonert for 80 km/t, ÅDT < 2 500 (3 % av L<sub>20</sub>) og ÅDT > 8 000 (5 % av L<sub>20</sub>).

Allikevel var det forventet at Swecos beregninger ville vise mye lavere sparepotensiale enn denne rapporten, ettersom deres beregning av dimming etter reduksjonskurven og kjøretøydeteksjon var veldig enkelt og forsiktig utført.

Ifølge denne rapportens beregninger burde installasjon av kontinuerlig kjøretøystyrt belysning i Mælefjelltunnelen gi et sparepotensiale på omtrentlig 92–94 % for ÅDT 1 750 og 85–87 % for ÅDT 5 000. Med Swecos beregnede totalforbruk per dag på 2 519,1 kWh, vil det kunne forventes henholdsvis 2 318–2 368 kWh og 2 141–2 192 kWh spart per dag med styring i henhold til metode 6 i denne rapporten (864–846 MWh og 782–800 MWh per år).

#### **6.4.2 Andre tunneler som planlegges med LED**

I tillegg til Mælefjelltunnelen er det flere tunneler på lista i vedlegg 7.3 som ennå ikke har blitt bygget, eller som skal få oppgradert lysanlegg. Dette gjelder Ornes, Storlikollen-, Kråknes-, Sturvika-, Trifonhøgda- og Høyangertunnelen. Sistnevnte er den eneste som det på lista er nevnt at skal få kjøretøydeteksjon, men det kan godt være at det blir vurdert i de andre tunnelene også.

Ornes-, Storlikollen-, Sturvika- og Trifonhøgdatunnelen bør vurdere å installere kjøretøydeteksjon i henhold til metode 5. Dersom de nå kun planlegges med LED dimmet etter vedlikeholdsfaktoren kan de forvente seg å spare følgende mengder energi i året med metode 5 henholdsvis:

- 50–60 MWh (omtrentlig dimensjonert for ÅDT 4000 og lengde 230 meter)
- 55–65 MWh (omtrentlig dimensjonert for ÅDT 4000 og lengde 280 meter)
- 85–100 MWh (omtrentlig dimensjonert for ÅDT 2500 og lengde 1 200 meter)

- 45–55 MWh (omtrentlig dimensjonert for ÅDT 2500 og lengde 695 meter)

Kråknestunnelen bør ta en vurdering mellom kjøretøydeteksjon i henhold til metode 5 eller 6. Den er 2 000 meter og ser ut til å skulle bli dimensjonert for ÅDT < 2 500. Investerings- og driftskostnader må vurderes opp mot årlig energisparing på omtrent 25 MWh i året (for ÅDT 1 500 og lengde litt lenger enn 2 000 meter i tabell 5.2).

Høyangertunnelen bør heller vurdere å installere metode 6, ettersom den er hele 7 500 meter lang. Siden den har ÅDT 500 vil det gi et sparepotensiale på 97,9 % ved å installere kontinuerlig kjøretøydeteksjon, fordi sparepotensialet for ÅDT 500 for metode 6 er uavhengig av lengde. Brukes tabellene med forbruk for henholdsvis innkjørings- og grunnbelysningen, vil sparepotensialet være:

$$245,0 \text{ kWh} + \frac{7\,500}{10\,000} \cdot 409,6 \text{ kWh} = 552,2 \text{ kWh}$$

# Kapittel 7

## Konklusjoner og videre arbeid

### 7.1 Beregnet energiforbruk

Konklusjonene som er gjort om relativt energisparingspotensiale er gjort i forhold til konvensjonelt anlegg.

- Ved å installere LED-armaturer og kun legge til en dimming i henhold til vedlikeholdsfaktoren og ellers styre konvensjonelt, vil man kunne forvente et fast sparepotensiale på omtrent 40 % for alle lengder og ÅDT.
- Legger man til dimming av innkjøringssonen etter luminansreduksjonskurven vil man kunne forvente omtrent 70 % sparing for tunneler rundt 500 meter, med mest sparing ved lav ÅDT. Når lengden på tunnelen øker vil sparepotensialet nærme seg det samme nivået som dimming kun i henhold til vedlikeholdsfaktor.

- Å i tillegg installere kjøretøydeteksjon kun ved inn- og utkjøring, gir et sparingspotensiale på 94,4 % for tunneler med ÅDT 500 og lengde 500 meter.
- Relativt energiforbruk med kontinuerlig kjøretøydeteksjon er omtrent uavhengig av lengden på tunnelen for lav ÅDT. For ÅDT 500, 1 500 og 4 000 vil sparepotensialet ligge tilnærmet konstant på 98 %, 94 % og 87 %.
- Ved  $\text{ÅDT} \geq 8\,000$  vil relativt sparepotensiale med kontinuerlig kjøretøystyring øke når lengden økes.
- Det årlige sparepotensialet er 1 684 MWh for en 20 000 meter lang tunnel med ÅDT 12 000 og separate løp, dersom det installeres kontinuerlig kjøretøydeteksjon.
- Det er sannsynlig at relativt sparepotensialet vil fortsette å være høyt ved økning i ÅDT over 12 000 for tunneler med separate løp. Å øke antall felt per løp vil øke sparepotensialet.

## 7.2 Anbefalinger for lysanlegg

- Ved installasjon av dimbare LED i innkjøringssonen bør det minimum velges å dimme dem etter luminansreduksjonskurven.
- For tunneler som er 2 000 meter og kortere, med  $\text{ÅDT} \geq 8\,000$ , bør det antageligvis ikke installeres kjøretøystyrt lysanlegg.
- I følgende tunneler anbefales det å utnytte mulighet for å detektere kjøretøy på vei ut av tunnelen istedenfor tidsinnstilt belysning: Brekk-, Fjøsdal, Raftund-, Ingelsfjord-, Torsnes-, Jondals-, Bortne-, Sjørdals- og Nordre-polltunnelen.



- Å installere kjøretøydeteksjon kun på hver side av tunnelen bør ikke vurderes for tunneler med  $\text{ÅDT} \geq 4\,000$  og tunneler lengre enn 2 000 meter.
- De forskjellige styringsmetodene bør installeres separat fra hverandre i styringssystemet, slik at feilsøking blir enklere og noe sparing kan opprettholdes ved feil.
- Direkte kjøretøydeteksjon vil gi mer spart energi enn indirekte detektering. Ellers er sparepotensialet uavhengig av deteksjonsteknologi.
- Bruk av deteksjonsteknologi med AID integrert vil gi økt sikkerhet og bør vurderes i tillegg til sparepotensialet.

### 7.3 Videre arbeid

- Videre beregninger med flere av de utelatte faktorene burde gjøres for å øke nøyaktigheten i beregningene.
- Det ville vært interessant å vurdere beregningene mot installasjons- og driftskostnader for LED-armaturenes levetid, slik at bedre anbefalinger for når de forskjellige styringsmetodene ville blitt lønnsomme.
- En ordentlig vurdering av styringssystemer i tunneler kan utgjøre en egen masteroppgave.



# Bibliografi

- [1] Tor Møs m.fl Norconsult AS Pål Johannes Larsen. Moderne vegtunneler – ENØK strategi for bygging av nye vegtunneler, september 2011.
- [2] Harald Buvik. Kapittel 14. Statens Vegvesen, november 2011. Tilgjengelig på [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/290266/binary/512536?fast\\_title=Kap+14+Vegtunneler.pdf](http://www.vegvesen.no/_attachment/290266/binary/512536?fast_title=Kap+14+Vegtunneler.pdf).
- [3] Vegdirektoratet. Håndbok V124 – Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning, juni 2014.
- [4] Hans-Aksel Johnsen. ENØK i vegetaten, juni 2008. Noen eksempler på ENØK- og miljøtiltak fra Statens Vegvesen region nord. NKF-dagene, Bodø, 17.06.2008.
- [5] Vegdirektoratet. Håndbok N500 – Vegtunneler, juni 2014.
- [6] Sweco Norge AS. Vurdering av belysningsløsninger og grunnlagstall for enovasøknad, tunnel Århus–Gvammen, september 2014.
- [7] CIE technical committee 4-35. CIE 088:2004 Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses. Technical report, Commission Internationale de l’Eclairage, International commission on illumination, 2004. 2nd edition, ISBN 3 901 906 31 2.

- [8] Statens Vegvesen. Håndbok 021 – Vegtunneler – Normaler, mars 2010.
- [9] Statens Vegvesen. Håndbok R511 – Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler – Retningslinjer, juni 2014.
- [10] Statens Vegvesen. Håndbok R610 – Standard for drift og vedlikehold av riksveger – Retningslinjer, juni 2014.
- [11] Hans-Henrik Bjørset og Eilif Hugo Hansen. *Lysteknikk*. Classica forlag AS, 2006. ISBN: 82-7610-011-2.
- [12] Statens Vegvesen. Strategi trafikkantsikkerhet og brannsikkerhet i vegtunneler, august 2012.
- [13] Cato Bjørkli og Marianne Flø Gunnar D. Jenssen. Vurdering E39 Rogfast. Trygghet, monotoni og sikkerhet i krisesituasjoner og ved normal ferdsel. Technical report, Sintef teknologi og samfunn, oktober 2006. ISBN 82 14 03967 5.
- [14] Lyskultur. Lysdioder til belysning 2010 – Status for fremtidens lyskilde, mai 2010.
- [15] Store Norske Leksikon. Lysdiode, februar 2009. <http://snl.no/lysdiode>.
- [16] Trygve Tønnesen. *Sammenligning av LED og andre lyskilder – lystekniske og elektrotekniske egenskaper*. masteroppgave, NTNU, juni 2012.
- [17] Statens strålevern. Synlig lys og infrarød stråling, januar 2014. Tilgjengelig på <http://www.nrpa.no/temaartikler/90954/synlig-lys-og-infraroed-straaling>.
- [18] International Electrotechnical Commission IEC. *NEK IEC/PAS 62717 – LED modules for general lighting. Performance requirements*. Norsk Elektroteknisk Komité, 1 edition, januar 2014.

- [19] Lyskultur. LED og nødvendig dokumentasjon, mars 2013.
- [20] Jørgen Anker-Rasch Heide. LED for vei- og gatebelysning, juni 2011.
- [21] Pål Johannes Larsen. *Energy savings in road lighting : Correct lighting at all times and every condition*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Electrical Power Engineering, 2013.
- [22] AEC Illuminazione SRL. AEC tunnel lighting. Tilgjengelig på [http://www.aecilluminazione.com/uploads/kcFinder/files/Brochure\\_Tunnel\\_ENG\\_low.pdf](http://www.aecilluminazione.com/uploads/kcFinder/files/Brochure_Tunnel_ENG_low.pdf).
- [23] Eran Aronson. Research project: lighting Häggvik tunnel, Sollentuna. Technical report, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), oktober 2006. ISBN 82 14 03967 5.
- [24] Per Ole Wanvik. Veileder til V124 – Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning, oktober 2014. Outdoor lighting seminar 2014, Lyskultur.
- [25] Sigmund Hjertvikstein. Hendelsesdetektering (AID) og andre sikkerhetstiltak i tunneler – Vedlegg til TA 263. Technical report, november 2014.
- [26] ViaNova. AID i tunnel – Teknologisammenligning. Technical report, oktober 2013.
- [27] Håkon Wold. Automatisk hendelsesdetektering i tunnel i tunnel – Teknologisammenligning. Technical report, oktober 2006. Teknologidatene Trondheim 24.10.2013.
- [28] Sigmund Hjertvikstein og Øystein Trulsen. AID i vegtunneler. Technical report, juni 2014.
- [29] Statens Vegvesen. Håndbok 021 – Vegtunneler – Normaler, april 2004.

- [30] Teknisk Ukeblad. Elektrojobb i geiteryggtunnelen på anbud. Tilgjengelig på <http://www.tu.no/vareveger/nyheter/2014/12/19/elektrojobb-i-geiteryggtunnelen-pa-anbud>.
- [31] Teknisk Ukeblad. Stor interesse for oppgradering av geiteryggtunnelen. Tilgjengelig på <http://www.tu.no/vareveger/nyheter/2015/01/30/stor-interesse-for-oppgradering-av-geiteryggtunnelen>.
- [32] Meteorologisk institutt. Datoøk, Brekktunnelen. Tilgjengelig på <http://www.yr.no/sted/Norge/S%C3%B8r-Tr%C3%B8ndelag/Skaun/Brekktunnelen/almanakk.html>.

**Vedlegg 1**

**Liste over tunneler med  
LED**





## Oversikt over tunneler med LED belysning

Navn	Region	Veg nr	Belysn år	Lengde	ÅDT	Lyskilde innkjør.	Lyskilde indre	Dimming eller av-på	Lux eller luminans	Kjøretøy-styrt?
Jønjljo	Sør		2011	780	<2500	NaH	LED, Thorn	Dimming	Lux	Nei
Prestura	Sør		2011	1386	<2500	NaH	LED, Thorn	Dimming	Lux	Nei
Vabakken	Sør		2010	850		MH	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Rallerud	Sør	Rv 7	2014	2800		NaH	LED, AEC	Dimming	Luminans	Nei
Ørgenvika	Sør	Rv 7	2014	3700		NaH	LED, AEC	Dimming	Luminans	Nei
Geiteryggen	Sør	Rv 50	2014	3281	<2500	LED	LED	Dimming	?	Ja
Mælefjell	Sør	E134	2017?	9358						
Ljabrudiaagonalen	Øst	Rv 155	2004	110	6000	LED	LED	dimming	Lux	Nei
Mosseporten	Øst	Rv 19	2012	293	20000	Nah	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Evjetunnelen	Øst	Rv 164	2013?	270						
Brekke	Midt	E39	2013/14	1290	10000	LED, AEC	LED, AEC	Dimming	Luminans	Ja, radar
Harang	Midt	E39	2014	785	4500	LED, AEC	LED, AEC	Dimming	Luminans	
Oppdølstranda	Midt		2013	7500	<2500	LED, Thorn	LED, Thorn	Dimming		
Vulviktunnelen	Midt	Rv 70	2014	270	1030	LED	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Kansdaltunnelen	Midt	Rv 70	2014	280	1030	LED	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Vågstrandstnl.	Midt	E136	2014	3655	1790	NaH	LED, Thorn	Dimming	Luminans	Ja (natten)
Måndalstunnelen	Midt	E136	2014	2083	1790	NaH	LED, Thorn	Dimming	Luminans	Ja (natten)
Hjartåbergtnl.	Midt	Fv. 651	2014	3505	1810	NaH	LED, Thorn	Av-på	Luminans	Nei
Årsettunnelen	Midt	Fv. 651	2013	273	1750	NaH	LED, Thorn	Av-på	Luminans	Nei
Molvikhammeren	Nord	Fv.76	2014	2800	<500	LED, AEC	LED, AEC	Av-på	Lux	Ja
Bergsnev	Nord	Fv.78	2014	720	<2500	LED, AEC	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Åsen	Nord	Fv.78	2014	220	<2500	LED, AEC	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Toven	Nord	Fv.78	2014	10700	<1500	LED, Thorn	LED, Thorn	Av-på	Lux	Ja
Svartisen	Nord	Fv.17	2015	7600	<750					Ja

Kråkmo	Nord	E6	2015	518	<1500					
Ornes	Nord	E6	2017	Ca. 230	<4000					
Storlikollen	Nord	E6	2017	Ca. 280	<4000					
Leirvik	Nord	E10	2015	549	<3000					
Trældal	Nord	E10	2015	1110	<3000					
Hamnøy	Nord	E10	2013	1461	<1000	LED, AEC	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Ballesvikskaret	Nord	Fv.86	2013	850	<250	NaH,	LED, AEC	Av-på	Lux	Nei
Kråknes	Nord	E6	2016	2440	<1500					
Storvika	Nord	E6	2016	1200	<1500					
Talvik	Nord	E6	2013	857	<2000	LED, Thorn	LED, Thorn	Dimming	Lux	Nei
Kåfjord	Nord	E6	2013	1200	<2000	LED, Thorn	LED, Thorn	Av-På	Lux	Nei
Tyskhaugen	Nord	E6	2013	200	<2000	LED, Thorn	LED, Thorn	Av -På	Lux	Nei
Aslakheimen	Nord	E6	2013	300	<2000	LED, Thorn	LED, Thorn	Av - På	Lux	Nei
Trifonhøgda	Nord	E105	2016	695	<2500					
Torsnes	Vest	Fv 107	2012	Ca 600		NaH	LED, Thorn	Av-på	lux	Ja
Jondalstunnelen	Vest	Fv 107	2012	10085	350	NaH	QL	Av-på	lux	Ja
Nordrepollen	Vest	Fv 107	2012	Ca 600		NaH	LED, Thorn	Av-på	lux	Ja
Klettatunnelen	Vest	Rv5	2015	300	12000	NaH	LED	Av-På	lux	nei
Bortnetunnelen	Vest	Fv 616	2013	4850	350	NaH	LED, Defa	dimming	lux	Ja
Isetunnelen	Vest	Fv614	2013	1730	350	NaH	LED, Defa	Av-på	lux	nei
Sandetunnelen	Vest	Fv 572	2012	632	600	NaH	Led, Thorn	Av-på	lux	nei
Høyangertunnelen	Vest	Fv55	2016	7500	500	LED	LED	Dimming	lux	ja

Vedlegg 2

# Rapport om kjøretøystyrt belysning



## NOTAT

OPPDRAAG E134 Gvammen Århus - TI	OPPDRAAGSLEDER Torbjørn Kleppe	DATO 26.09.2014
OPPDRAAGNUMMER 256789	OPPRETTET AV Silje Årseth / Carl Olav Larsson	REV 3

### Vurdering av belygningsløsninger og grunnlagstall for Enovasøknad, tunnel Århus Gvammen

#### Sammendrag

Prosjektet E134 Gvammen – Århus består av en ca. 9,4 km lang tunnel og ca. 2,2 km veg i dagen- fra Gvammen i Hjarptal kommune til Århus i Seljord kommune. Dette dokumentet tar for seg mulige belygningsløsninger for tunnelen og mulige måter å spare energi.

Ved å gå over fra konvensjonell belysning (damplamper, lysrør og kontaktorstyring) til LED-belysning med dimming og intelligent styring forventes årlig energiforbruk å synke med ca. 581 400 kWh.

Intelligent styring som er vurdert er:

- Dimming etter hvor lyst det er utenfor tunnelportalene (iht luminansreduksjonskurven).
- Dimming etter hvor nye armaturene er.
- Dimming etter hvor rene armaturene er.
- Dimming om det ikke registreres trafikk / «følgelys».

Estimater så langt viser at både skifte til LED og utvikling av styringssystemer så vidt er ulønnsomt om en regner en levetid på 11,4 år - selv med Enova-støtte. Marginene er imidlertid så små at lavere armaturpris, lengre levetid og mer effektive LED-armaturer, sannsynligvis vil gjøre tiltakene lønnsomme i 2017/2018 når armaturene skal kjøpes inn.

«Følgelys»-systemet er har potensiale for å få Enova-støtte som ny, energibesparende teknologi. Systemet baserer seg på å bruke tunnelens AID-kamera til å dimme armaturene – inkludert Erik Selmers monotonibelysning – når det ikke registreres trafikk. Når kameraene registrerer trafikk, dimmes armaturene opp i en tilstrekkelig lang sone foran og bak bilene. På

1 (30)

Sweco Professor Brochs gate 2 NO-7030 Trondheim, Norge Telefonnummer +47 73 833500 Faks www.sweco.no	Sweco Norge AS Org.nr: 967032271 Hovedkontor: Lysaker	Silje Aasen Årseth Sivilingeniør elkraft Region Trondheim Mobil +47 40294247 silje.aarseth@sweco.no
---	---	---

ÅSA.p:1166256789 e134 gvammen-århus/06 beskrivelse/lys/notat led vs konvensjonell/grunnlagstall for enovasøknad mælfjell/tunnelen.docx

denne måten «følger» det fulle lysnivået den enkelte bil gjennom de 7 kjøremottene i tunnelen. Systemet må ha en viss forsinkelse, sånn at hele anlegget står på fullt hele tiden når trafikkmengden kommer over et visst nivå. Målet er at bilistene knapt skal merke at systemet er der. Teknisk sett skal løsningen være gjennomførbar, men det forventes utfordringer i forhold til feilmeldinger mot veitrafikkentralen ved lave lysnivå / om bilister skulle velge fjernlys.

Kostnads- og besparellesestimater er laget for løsningene, men å anslå kostnader for nybrottsarbeid er imidlertid vanskelig, så det ligger en god del usikkerhet i tallene.

Å innføre et energioppfølgingsopplegg for dette prosjektet vil ikke alene kunne utløse Enova-støtte, men har likevel potensiale til å bli et første steg mot økt energibevisthet/lavere driftskostnader hos Vegvesenet.

#### Løsninger som ikke er vurdert

Vi har valgt å ikke ta med QL-lamper i indre soner i vurderingen, da QL-armaturer generelt er like dyre som LED-armaturer, men har en dårligere evne til å rette lyset dit det skal. Dermed regner vi med at QL taper i forhold til LED både på investeringskostnader og driftskostnader.

Viftene i denne tunnelen vil ha liten driftstid bortsett fra ved brann. Av den grunn er det ikke gjort noen utredning om energisparepotensiale for viftene.

Energisparende tiltak er ikke vurdert for veilysarmaturene i dagen, da investeringen i styresystem forventes å bli uforholdsmessig stor i forhold til sparepotensiale / vegstubbens lengde.

#### Vurdering av belygningsløsninger - fordeler og ulemper med konvensjonell belysning

Hovedfordelen til konvensjonell belysning med natrium høytrykk og lysrør er kanskje at både investeringskostnad, driftskostnad og lysteknisk resultat er forutsigbart. LED er fortsatt så nytt at erfaringstall kan være mangelfulle – og den rivende utviklingen av armaturer betyr at resultatet i én tunnel ikke uten videre kan overføres til en annen.

En annen fordel er at det konvensjonelle anlegget blander mye mindre enn noen av dagens LED-armaturer. Lysrørarmaturene i indre sone kan eksempelvis gi en TI/blendingsgrad på kun 2,9%, mens ulike LED-armaturer kan gi blendingsgrad på alt mellom 3% til over 10%.

Ulemper med den konvensjonelle belysningen er at den vanskelig kan dimmes. Trinnstyring betyr at energiforbruket blir høyere enn ved dimming. Mangelen på dimming gjør at antall armaturer må økes og total systemeffekt for tunnelen blir høyere. For denne tunnelen blir i

2 (30)

NOTAT 26.09.2014
---------------------

ÅSA.p:1166256789 e134 gvammen-århus/06 beskrivelse/lys/notat led vs konvensjonell/grunnlagstall for enovasøknad mælfjell/tunnelen.docx

tillegg lysnivået noe høyere enn nødvendig i midtsonen, fordi antall armaturer må opp for å ivareta jevnhetsskravene. Dette gir også en del «bortkastet» energi.

Lyskildene har mer begrenset levetid i et konvensjonelt anlegg og må derfor skiftes med jevne mellomrom.

Det er vanskeligere å lage effektiv optikk til damplamper og lysrør enn for LED, siden lampens runde form i utgangspunktet sender lys i mange andre retninger enn dit det skal.

### Fordeler og ulemper med LED

Levetid blir ofte tatt fram som den største fordelene med LED. Philips opplyser imidlertid at levetiden til en LED-armatur ofte ikke bestemmes av LED'en – men av forkoblinga. Forkoblinger på denne typen armaturer kan i dag vare i ca. 100 000 timer – og dette timeantallet øker ikke nødvendigvis selv om omgivelsestemperaturen er lav/ om armaturen dimmes. Siden indresonearmaturene står på hele døgnet, bør en regne med en levetid på 100 000/ 8766 timer= 11,4 år.

Med LED-armaturer får en nå høyere antall lumen pr watt og svært effektiv optikk som retter lyset nøyaktig med minimalt med tap.

En LED-løsning gir lavere total systemeffekt og (vanligvis) behov for færre armaturer enn med en konvensjonell løsning.

LED kan dimmes ned i starten av levetiden, siden oppgitt lumentall er for en armatur som har et stort antall driftstimer bak seg. Den vil også kunne dimmes nøyaktig i forhold til adaptasjonskurven og i henhold til hvor lenge det er siden armaturene ble vasket. Alt dette gir mulighet for energibesparelser.

I tunneler med begrenset trafikk kan det også lønne seg å behovsstyre lyset, slik at det dimmes ned når det ikke er trafikk.

LED har bedre fargegjengivelse enn natrium høytrykk, og benyttes med hvit lysfarge (4000K). Natrium høytrykks gule lys er ikke like oppkvikkende som LEDs dagslytsaktige lys. Gult lys er imidlertid enklere for eldre øyne å adaptere seg til. (Ref. Jonny Nersveen.)

En ulempe med LED er at punktluminansene kan være svært høye – spesielt i tunneler der lyset forsøkes sendt så langt som mulig til hver side. Dette gir høyere blendingsgrad / TI.

Styringssystemene for LED har hatt en del barnesykdommer. For powerline-kommunikasjon har en opplevd at signaler har brukt mange minutter på å nå fram til armaturer – muligens på grunn av støy på kommunikasjonsfrekvensene. Blanding av 230V og 400V-systemer har i noen tilfeller gitt problemer. Så langt kan det se ut som om trefasefordeling av strøm til sikkerhetsarmaturer fører til problemer, mens enfasefordelte sikkerhetslyskurser er uproblematisk. Det er derfor tatt med enfasede sikkerhetslyskurser på Mælefjelltunnelen.

Styringssystemer med DALI har gitt en del feil i lange tunneler, men har fungert bra i kortere tunneler.

3 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Overordnede dimmings- og styringssystemer er mer kostbare enn konvensjonell kontaktorstyring – og det komplekse systemet er vanskeligere å programmere, vanskeligere å feilsøke og er mer avhengig av servicepersonell som kjenner både tunnelens oppsett og hvordan programmeringen er gjennomført.

LED-armaturer kan ha taggete kjøleelementer som lett samler opp støv og som er vanskelige å spyle rene. Erfaring fra senere tid tilsier at mengden oppsamlet støv er mindre enn forventet – og varmeavledningsevnen til armaturene blir ikke hemmet av støvet. Vegvesenet rapporterer at de nå bruker like mye tid på armaturrenhold for LED-armaturer som for konvensjonelle armaturer.

Håndboka krever i utgangspunktet armaturer i syrefast stål, men syrefast stål er langt dårligere på å lede vekk varme enn aluminium. De fleste armaturleverandører har LED-armaturer i både syrefast stål og aluminium, men stål er en del dyrere. Veileder 124 tillater aluminiumarmaturer, forutsatt at det er godt galvanisk skille mellom aluminium og stål. Per Ole Wanvik hos Vegvesenet kommenterer at teksten fra veilederen vil bli tatt inn i Tunnelnormalen når den revideres.

### Mulige besparelser med LED

Individuell dimming av hver enkelt armatur i tunnelen gir store muligheter for styring og energibesparelser.

Følgende teknikker kan benyttes i Mælefjelltunnelen:

- Siden LED ikke trenger oppvarmingstid, vil innkjøringssonelyset i gjennomsnitt stå på 15 minutter kortere pr. døgn i et LED-anlegg enn et damplampeanlegg.
- Luminansnivå følger luminansreduksjonskurven nøyaktig. Dette gir stor besparelse i forhold til trinnstyring. Luminansmålere plasseres utenfor hver portal, slik at luminansnivå følger dagslys/vær.
- Nye armaturer har bedre lysytelse enn gamle armaturer. Det betyr at armaturene kan dimmes ned til de når levetid oppgitt av leverandør. Dimmingen utføres enten med innebygd styring i hver armatur, eller via tabell koblet mot styreprogrammet, der dimmingsprosent på forskjellige driftslengder er regnet ut.
- Armaturer kan dimmes ned når de nylig er vasket. Dimmingen utføres ved at en tabell med erfaringsdata for tilmussing pr. passerte bil kobles mot styringsprogrammet. Tabellen har også variasjoner over året, da det erfaringsvis er mer støv og tilmussing i vinterhalvåret.
- Belysningen kan dimmes/skrus av når det ikke er trafikk. Dette forutsetter imidlertid at mengden trafikk til tider er så liten at systemet rekker å dimme.
- Ved bruk av radar eller AID-kameraene, kan tunnelen deles inn i kortere soner som dimmes opp ved trafikk. Her må det imidlertid gås forsiktig fram, da vegtrafikksentralen har fått inn diverse feilmeldinger som følge av for lavt lysnivå i dimmede tunneler samt når trailere velger å bruke fjernlys i dimmede tunneler. Samarbeid med kameraleverandør forutsettes og grundige tester må gjennomføres.

Av hensyn til feilsøking, kan det være en fordel om dimming ihht. luminansnivå, driftstid, tilmussingsgrad og trafikk kan skrus av og på hver for seg i styreprogrammet.

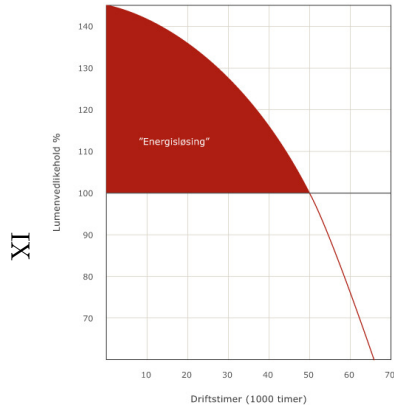
4 (30)

NOTAT  
26.09.2014

## Besparelspotensiale, neddimming fram til oppnådd levetid.

Lysberegninger utføres med lumenverdier for armatur som har oppnådd sin levetid. Dette betyr at armaturene i gjennomsnitt avgir mer lys enn nødvendig fram til levetiden er oppnådd.

Installert lumenpakke som følge av LLMF = 0,7

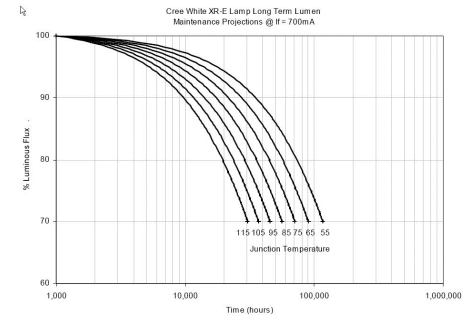


XI

Over tid vil noen av armaturenes lysfluks synke. Noen armaturer vil tape seg mer enn andre – under er et eksempel fra Cree på hvordan deres LED svekkes i lysytelse over tid.

5 (30)

NOTAT  
26.09.2014



Vær obs på at formen på denne kurven vil variere fra leverandør til leverandør. Enkelte armaturer vil tape seg fort i starten av levetiden, for så å flate ut. Andre vil ha stabil ytelse lenge, for så å falle brått.

Som en ser av grafen, vil lavere omgivelsestemperatur ha mye å si for levetid. I eksempelet over øker levetiden fra 30 000 timer til godt over 100 000 timer ved å redusere temperaturen fra 46 grader til 13 grader. I lysberegninger skal omgivelsestemperatur være 25 grader, men faktisk temperatur i tunnelen forventes å være lavere – kanskje 10 grader.

Innkjørings/overgangssone-armaturene fra Multilux er spesifisert med en levetid på L80B20 >=50 000t. Det vil si at 80% av armaturene vil avgis 80% av luminansen som når de var nye – etter 50 000 timer. 20% av armaturene vil gi mindre enn 80% luminans – og enkelte armaturer må forventes å ha gått i stykker. Databladene til Multilux angir dessverre ikke hvor mye levetiden øker ved dimming og lavere omgivelsestemperatur enn 25 grader.

Indresonearmaturene fra Multilux er spesifisert med en levetid på L80B20>=70 000t. Det tar altså lengre tid før indresonearmaturene taper seg, noe som er bra siden indresonearmaturene alltid står på – om enn neddimmet.

Thorn oppgir at deres armaturer har en levetid på L70B10>=100 000 timer ved 35 grader. Dette blir litt å sammenligne epler og pærer, siden tallene representerer ganske forskjellige tilstander. Dessverre må en regne med så forskjellige tall inntil et standardisert format blir valgt i EU. 90% av Thorns armaturer vil altså gi fra seg 70% av ny-luminansen – etter 100 000 timer ved en varmere omgivelsestemperatur enn Multilux' armaturer.

Philips' armaturer har en levetid på L80B10 >= 100 000 timer. Det vil si at 80% av armaturene vil avgis 90% av luminansen som når de var nye – etter 100 000 timer. Siden omgivelsestemperatur ikke er oppgitt, antas denne å være standard 25 grader. Dette er veldig bra tall, men det bør nevnes at Philips lysarmaturer er flunkende nye – og er muligens noe optimistiske av den grunn. I teorien har imidlertid Philips (for øyeblikket) lengre levetid enn sine konkurrenter.

6 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Det er mulig å dimme ned armaturene fram til oppnådd levetid, sånn at armaturene avgir samme lumenlutt hele tiden. Dette gjøres enten ved å gjøre felles målinger med en luminansmåler – eller ved en innebygd måler i hver armatur som måler hvor mye strøm armaturen trekker. Dette kan gi store energibesparelser når armaturene er nye, for så å gi mindre besparelser hvert år fram til levetiden oppnås.

Ved søknad om støtte fra Enova, trenger de kun å vite mengden spart energi som kommer de første årene. Det første året regnes gjerne som et «test-år», der mange tilpasninger gjøres. Velger derfor å se på besparelspotensialet i driftsår 3.

Om en forenkler litt, kan en si at for Thorn-armaturene må en regne med at lumenverdien faller med 30%/100 000 timer = 0,0003% pr. driftstime.

Multilux-armaturene i innkjøring/overgang faller med 20%/50 000timer=0,0004% pr. driftstime. Multilux-armaturene i indre sone faller med 20%/70 000timer=0,00029% pr. driftstime. Philips armaturene faller med 20%/100 000timer=0,0002% pr. driftstime.

For Thorn kan en i driftsår 3 spare ca. 127 320 kWh på denne dimmingen.

Styringsstasjon	Antall armaturer (1 W)	Lumenlutt			Lumenverdi-fall i % år <sup>-1</sup>	Lumenverdi-fall i år 3	Dimmbar armaturer	Lumen pr. watt ved driftsår 1 år	Watt	Total besparelse kWh				
		Effekt (W)	Lumenlutt (lm)	Driftstimer (år)										
Dag 2	1	112	275	25827,1	19887	0,0003	1,08	25548	5651	72	79	10563		
	2	120	20662,2	15894	1200	3600	0,0003	1,08	20439	4545	72	63	101	
	3	185	15496	11520	1200	3600	0,0003	1,08	15329	3409	72	47	111	
Dag 1	1	112	275	25827,1	19887	0,0003	1,8	25548	5651	72	79	10563		
	2	185	15496	11520	2000	6000	0,0003	1,8	15327	3297	72	46	183	
	3	110	10333	7950	2000	6000	0,0003	1,8	10349	2339	72	30	162	
Skjuling	1	275	25827,1	19887	4000	12000	0,0003	3,6	24897	5030	72	70	3134	
	2	220	20662,2	15894	4000	12000	0,0003	3,6	19938	4024	72	66	297	
	2	185	15496	11520	4000	12000	0,0003	3,6	14938	3018	72	42	134	
Dagtid	1	230	87	8632	6640	4760	14280	0,0003	4,284	8262	1822	76	23	23270
	2	490	42	4284	3380	4760	14280	0,0003	4,284	4801	951	76	11	34962
	3	230	41,5	4116	3320	4800	12000	0,0003	3,6	4161	841	76	11	10133
Nett	1	490	21,5	2132	1640	4800	12000	0,0003	3,6	2055	425	76	5	10670
											Totall	129016	kWh i driftsår 3, Thorn	

For Multilux utgjør det 117805 kWh i driftsår 3. For Philips 139 377kWh.

### Besparelspotensiale, neddimming av nyvaskede armaturer

Ihht. vegvesenets håndbok V124 skal ny tunnelbelysning overdimensjoneres så mye at den tar høyde for en lysreduksjon på minst 25%. Maks vedlikeholdsfaktor skal dermed settes til 0,75. Ved lange vedlikeholdsintervaller og lav materialkvalitet kan vedlikeholdsfaktor ende helt nede på 0,4. Lysreduksjonen skyldes både overnevnte lystilbakegang, armaturelding, tilsussing av tunnelen (om veggene er beregnet med refleksjonsfaktor høyere enn 0%) og tilsussing av armaturene.

Lys ut av armatur er målt i bl.a. Brekktunnelen ettersom armaturene blir tilsusset. Dette er en tunnel med ÅDT på 10 000 – altså mye høyere enn Mælefjelltunnelen. Pål Larsen hos

Norconsult melder at denne tunnelen viser en nedsmussing som varierer mellom 2-4,5 % per måned (2 % sommerstid og 4,5 % i høstmånedene – kumulativt for intervallene det her er snakk om). Tallene kan strengt tatt ikke overføres direkte, siden lokalt klima og trafikkmengde vil påvirke tallene.

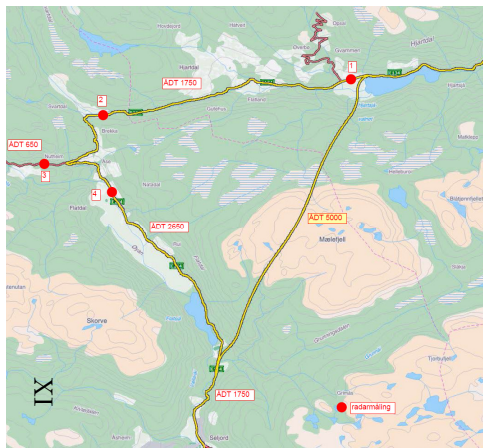
Brekktunnelen har 1 halvask og 2 stk halvask per år. Halvask er egentlig bare opp til 3 m høyde, men Skanska tar også med armaturene i denne vasken, så armaturene blir vasket 3 ganger per år. For Mælefjelltunnelen blir det 2 armaturvask pr. år på grunn av lavere ÅDT. Om en gjør en informert gjettning på 2% nedsmussingsprosent i gjennomsnitt per måned i Mælefjelltunnelen (forenkler til likt tall året gjennom, siden det uansett er så usikkert), vil dette kunne utgjøre 12% pr. halvår. Første punkt for denne nedsmussingen er forutsatt medtatt i vedlikeholdsfaktoren på 0,7. Forenkles denne besparelsen ved å si at armaturene i gjennomsnitt kan dimmes 6% i løpet av et år på grunn av nedsmussingstall. Dette er tatt med lengger ned i driftskostnad / energiforbrukberegningen for LED.

### Analyse av behovstyring av tunnellys, Mælefjelltunnelen.

Vi har mottatt trafikkdata for Århus og Gvammen (tettstedene i hver ende av tunnelen). Det understrekes at vi ikke har grunnlag for å vite om de registrerte kjøretøyene kjørte dagens E134-strekning (om disse ville benyttet tunnelen), eller om kjøretøyene skulle til eller fra selve tettstedene (lokaltrafikk). Trafikkdataene ble innhentet i perioden 05.11.2010-17.11.2010 for Århus og 28.03.2011-03.04.2011 for Gvammen. Disse periodene inneholdt ikke feriedager, og bør da kunne gjelde de største delene av året. Trafikkdataene inneholdt antall registrerte kjøretøy som passerte hver vei forbi målepunktet pr. time. Måledataene sier ingenting om disse kjøretøyene kom samlet (store potensial for å redusere belysningen), eller om de kom med jevne mellomrom (mindre potensial for å redusere belysningen).

Punkt 1 på kartet under viser plassering av radar på Gvammen i mars/april 2011. Punkt 4 viser radarplassering kalt Århus.





Dagens ÅDT mellom Gvammen og krysset ved Nutheim er 1750 kjøretøy per døgn. Dette ÅDT antas å være representativt for tunnelen pr. i dag. Det er lite sannsynlig at trafikken fra Nutheim vil benytte seg av tunnelen. Samme gjelder trafikken fra Flatdal.

Tabellen under viser en sammenstilling av trafikkdataene for Århus og Gvammen, delt på antall dager. I tillegg er prosentfordelingen fra dagens ÅDT brukt til å fordele trafikken i 2040 (ÅDT 5000).

Klokkeslett	Gjennomsnittlig passeringer	% av ÅDT (1750)	ÅDT 5000
01:00	13,2	0,75	38
02:00	8,3	0,48	24
03:00	7,8	0,45	22
04:00	8,0	0,46	23
05:00	9,3	0,53	27
06:00	21,2	1,21	61
07:00	46,6	2,66	133
08:00	70,8	4,05	202
09:00	77,0	4,40	220
10:00	70,8	4,04	202
11:00	79,3	4,53	227
12:00	91,2	5,21	260
13:00	102,3	5,84	292
14:00	115,9	6,63	331
15:00	128,6	7,35	368
16:00	145,4	8,31	413
17:00	145,6	8,32	416
18:00	118,1	6,75	337
19:00	103,6	5,92	296
20:00	79,7	4,56	228
21:00	64,1	3,66	183
22:00	50,3	2,88	144
23:00	29,2	1,67	83
24:00	17,9	1,02	51

Siden trafikk mønsteret gjerne er noe annerledes i helg i forhold til på hverdager, gjorde vi også en sammenstilling av dette:

Klassestet	Gjennomsnittlig passeringer Gvammen ukedager	% av AOT (1750)	AOT 2000	Klassestet	Gjennomsnittlig passeringer Gvammen helg	% av AOT (1750)	AOT 2000
01:00	8,6	0,8	38,0	01:00	7,0	0,75	38
02:00	8,0	0,5	24,0	02:00	9,0	0,48	24
03:00	8,4	0,5	24,0	03:00	9,5	0,49	23
04:00	10,0	0,5	24,0	04:00	5,5	0,48	23
05:00	13,8	0,5	24,0	05:00	6,0	0,53	27
06:00	49,8	1,7	61,0	06:00	10,5	1,21	61
07:00	75,4	2,7	133,0	07:00	14,0	2,66	133
08:00	72,0	4,1	202,0	08:00	20,5	4,09	202
09:00	70,6	4,4	220,0	09:00	27,5	4,4	220
10:00	72,4	4,0	202,0	10:00	39,5	4,54	202
11:00	76,2	4,5	227,0	11:00	38,0	4,53	227
12:00	81,5	5,2	260,0	12:00	108,5	5,21	260
13:00	93,8	5,8	292,0	13:00	110,5	5,84	292
14:00	114,6	6,6	334,0	14:00	120,0	6,82	334
15:00	115,0	7,4	388,0	15:00	133,5	7,35	388
16:00	132,4	8,3	416,0	16:00	147,5	8,31	416
17:00	209,0	8,3	416,0	17:00	147,0	8,32	416
18:00	101,6	6,8	337,0	18:00	131,0	6,75	337
19:00	102,8	5,8	292,0	19:00	105,5	5,92	292
20:00	60,2	4,6	228,0	20:00	46,0	4,56	228
21:00	53,0	3,7	183,0	21:00	46,0	3,66	183
22:00	42,0	3,0	144,0	22:00	29,5	2,88	144
23:00	25,0	1,7	83,0	23:00	18,5	1,67	83
24:00	12,4	1,0	51,0	24:00	7,5	1,02	51

Klassestet	Gjennomsnittlig passeringer Åhus ukedager	% av AOT (1750)	AOT 2000	Klassestet	Gjennomsnittlig passeringer Åhus helg	% av AOT (1750)	AOT 2000
01:00	15,1	0,8	38,0	01:00	10,0	0,75	38
02:00	7,4	0,5	24,0	02:00	10,8	0,48	24
03:00	7,8	0,5	24,0	03:00	9,0	0,49	23
04:00	8,3	0,5	24,0	04:00	6,8	0,48	23
05:00	9,4	0,5	24,0	05:00	6,8	0,53	27
06:00	13,6	1,7	61,0	06:00	14,0	1,21	61
07:00	54,3	2,7	133,0	07:00	11,5	2,66	133
08:00	105,6	4,1	202,0	08:00	23,0	4,09	202
09:00	114,5	4,4	220,0	09:00	29,8	4,4	220
10:00	88,6	4,0	202,0	10:00	43,5	4,54	202
11:00	81,0	4,5	227,0	11:00	79,5	4,53	227
12:00	89,7	5,2	260,0	12:00	97,0	5,21	260
13:00	98,1	5,8	292,0	13:00	138,5	5,84	292
14:00	126,8	6,6	334,0	14:00	134,0	6,82	334
15:00	127,6	7,4	388,0	15:00	150,5	7,35	388
16:00	149,6	8,3	416,0	16:00	147,0	8,31	416
17:00	166,0	8,3	416,0	17:00	140,5	8,32	416
18:00	118,0	6,8	337,0	18:00	120,5	6,75	337
19:00	120,8	5,8	292,0	19:00	106,8	5,92	292
20:00	88,8	4,6	228,0	20:00	88,8	4,56	228
21:00	74,4	3,7	183,0	21:00	80,5	3,66	183
22:00	59,4	3,0	144,0	22:00	49,8	2,88	144
23:00	37,2	1,7	83,0	23:00	25,0	1,67	83
24:00	19,0	1,0	51,0	24:00	14,0	1,02	51

I slutt rapport på Vegvesenets ENØK-prosjekt datert 19.11.2008 er det beskrevet ulike forsøk med lysstyring av belysning i tunneler. Der er det beskrevet at belysningen i Eivatntunnelen lyser i 5 min etter at den er blitt aktivert, ved at et kjøretøy registreres av sensor utenfor tunnelen. Når det er gått lenger enn 5 minutter vil da belysningstyrken kunne reduseres betraktelig, evt. slås helt av frem til neste registrerte kjøretøy.

Om en kan tar utgangspunkt i detektering av trafikk ved portal, kan en si at hvis det kommer bile offere enn hvert 5. minutt vil lyset stå på hele tiden. Gjennomsnittlig må det derfor registreres færre enn 12 kjøretøy i timen større deler av døgnet for at denne typen behovsstyring skal ha ønskelig virkning.

Tabellene over viser at det pr. i dag er muligheter for å redusere lysstyrken pga. lite trafikk for 5-6 av døgnet timer. Møtefjelltunnelen er imidlertid 9,4km lang. Med en fart på 80 km/t tar det ca. 7 minutter å kjøre gjennom tunnelen. Dette gjør at en ikke alene bør basere seg på detektering av trafikk ved portalene, siden bl.a. lav hastighet da kan føre til dimming mens biler fortsatt er i tunnelen.

11 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Vi har fått bekreftet at AID-kameraene i tunnelen kan programmeres til å registrere trafikk / ikke trafikk. Kameraene er plassert ut med 62 meters mellomrom. Dette gir i teorien mulighet til å dele tunnelen opp i opp til 151 lyssoner, der en f.eks. dimmer opp til 100% lys i én sone bak en bil – og 5-6 soner foran – mens resten av tunnelen er dimmet til 10%. En slik løsning vil gi teoretisk mulighet for å dimme hver gang biler har mer enn 20 sekunders avstand. I praksis bør det kanskje legges inn en forsinkelse på neddimmingen, sånn at trafikanter ikke opplever tunnelen som «blinkete». Eksakt hvor mange soner det bør være, hvor mange som skal reguleres samtidig og hvor lang forsinkelse en bør bruke, må selvsagt tilpasses på stedet / etter som erfaringer gjøres. Muligens trenger en heller ikke hente data fra samtlige AID-kamera – men heller gjøre et strategisk utvalg.

Tidligere erfaringer med dimmede tunneler og AID viser at feilmeldinger kan oppstå ved for lavt lysnivå. Det blir derfor viktig å velge et kamera som fungerer ved neddimmet tilstand uten å sende feilmeldinger til veitrafikkentralen. Det er også rapportert om at bl.a. lastebiler skurrer på fjernlys i dimmede tunneler. Fjernlyset gir gjerne reflekser som igjen gir feilmeldinger i veitrafikkentralen. Sonelengden med lys som følger kjøretøyene må derfor være lang nok til at en ikke føler behov for å skru på fjernlys.

Tunnelen vil inneholde monotoni-brytende belysning i havarinisjer, snunisjer og fjellhall. Eksakt forbruk er noe uklart for denne belysningen, da endelig design først fastsettes ved prøvelssettingen. Ut fra de foreliggende tegningene estimeres armaturantall til monotonibelysning til å bli ca.

- 12 armaturer på ensidige havarinisjer (15 stk)
- 32 armaturer på dobbeltsidige havarinisjer (2 stk)
- 39 i ordinære snunisjer med motstående havarinisjer (4 stk)
- 38 i snunisjer for brøytebil (2 stk)
- 210 armaturer i fjellhall (1 stk)

Totalt blir dette 686 armaturer. Armatureffekt er ukjent, men estimeres til ca. 30W pr. armatur. Uten styring ville disse armaturene da trukket ca. 20,6 kWh i timen / 176 100 kWh i året. Dette forbruket vil kunne senkes betraktelig ved behovstyring/ «følgelys». I tabellen under er monotonilys lagt inn under «indre sone», siden det alltid står på.

For å kunne gi et estimat på besparelse, regner vi videre at hver gang det kjører en bil gjennom tunnelen, vil hver armatur i tunnelen (som skal aktiveres iht luminansreduksjonskurven) stå på i 1 minutt i gjennomsnitt (20 sekunder med «følgelys» etter bilen. 40 sekunder forsinkelse på neddimming). Det betyr at alle timer der det er mindre enn 60 passeringer, er det sparingsmulighet. Da blir det med et ca. 10-12 timer med muligheter for besparelser i dag, samt 6 timer med besparelser i 2040.

Tabellen under gir et eksempel på hvordan denne besparelsen kan slå ut ved værjevndøgn eller høstjevndøgn. (Forbehold: Jeg har ikke sjekket om dette er de vanligste styringssettningene ved værjevndøgn og høstjevndøgn for de forskjellige tidspunktene.) I sommerhalvåret vil en kunne spare mer, siden innkjørings- og overgangssonelys da vil stå på til mye senere på kvelden. På vinteren vil en spare noe mindre, siden kun indresonelys i nattstilling vil stå på store deler av dagen. Enkelte dager vil det være ekstra stor pågang – og dermed ingen besparelse (påske/høytider). Værforhold vil også slå ut på denne statistikken. Bruker derfor høstjevndøgn/vårjevndøgn for å gi et gjennomsnittlig estimat.

12 (30)

NOTAT  
26.09.2014



indresonearmaturer enn før. Dette gjør enkelte produsenter mindre konkurransedyktig akkurat nå, men tallene vil nok bli bedre ettersom rastere findesignes for å unngå blanding.

## Armaturvalg og antall

Ved å gjøre lysberegninger i Relux tunnel får en ut antall armaturer de forskjellige løsningene krever, samt hvor stor effekt de drar. Vi har i eksemplene under brukt armaturer fra Multilux, Thorn og Philips. Resultater fra andre leverandører kan avvike.

Nedenfor er armaturtyper samt nødvendig antall armaturer for de forskjellige alternativene.

Med en konvensjonell løsning – natrium høytrykk med kontaktorstyring, 1x58W lysrør i indre soner, får en følgende armaturoppsett:

206 stk høytrykk natrium 400W armaturer (440W systemeffekt)  
18 stk høytrykk natrium 250W armaturer (275W)  
107 stk høytrykk natrium 100W armaturer (115W)  
472 stk T8 lysrør 1x58W armaturer (54W) (indre sone før 1min kjøretid)  
904 stk T8 lysrør 1x58W armaturer (54W) (indre sone etter 1min kjøretid)  
182,2 kW systemeffekt totalt  
Totalt 1707 armaturer

Armaturene styres med kontaktorstyring. Denne løsningen gir en blendingsgrad / TI i indre sone på 2,9%. Armaturavstand 12,66m for 1 minutt kjøretid. 14,08m etter 1 minutt. Armaturene plasseres imidlertid to og to for å kunne halvere lysmengden på natta. For LED gjør én armatur samme nytte, men med 50% dimming.

Med LED-armaturer fra Multilux får en følgende armaturoppsett:

226 stk Multilux / AEC TLED 2F AS-6M 4.7-54 46050 lm LED armaturer (444W systemeffekt)  
7 stk Multilux / AEC TLED 2F AS-6M 4.7-36 31650 lm LED armaturer (296W)  
27 stk Multilux / AEC TLED 2F AS-6M 4.7-18 16040 LED armaturer (149W)  
506 stk Multilux / AEC TLED 0H TA 4.5-18 8420 lm LED armaturer (30W) (indre sone før 1min kjøretid)  
539 stk Multilux / AEC TLED 0H TA 4.5-18 8420 lm LED armaturer (30W) (indre sone etter 1min kjøretid)  
134,6 kW systemeffekt  
Totalt 1305 armaturer

Armaturene har høye lumenverdier, men løsningen gir også en blendingsgrad / TI i indre sone på 6,72 – altså høyere enn ønsket om  $TI < 6$ . Tunneler med disse armaturene (tunneler som ble bygd før  $TI < 6$  kravet kom) har da også fått enkelte tilbakemeldinger om at belysningen er ubehagelig.

Armaturavstand indre sone før 1 min kjøretid er 5,9m. Etter er armaturavstand 11,8m. Dette gir det høyeste armaturantallet av LED-alternativene. Systemeffekt holdes imidlertid lav.

15 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Med LED-armaturer fra Thorn får en følgende armaturoppsett:

336 stk Thorn GTLED CB 120L70 19867lm LED armaturer (275 W systemeffekt)  
4 stk Thorn GTLED CB 96L70 15894lm LED armaturer (220 W systemeffekt)  
6 stk Thorn GTLED CB 72L70 11920lm LED armaturer (165W)  
8 stk Thorn GTLED CB 48L70 7950lm LED armaturer (110W)  
230 stk Thorn GTLED 36L70 6640lm LED armaturer (87W) (indre sone før 1min kjøretid)  
490 stk Thorn GTLED 18L70 3280lm LED armaturer (43W) (indre sone etter 1min kjøretid)  
136,2 kW systemeffekt  
Totalt 1074 armaturer

IT i indre sone er 3,51 og er dermed det «snilleste» resultatet blendingsmessig av alle. Tilbakemeldinger fra brukere er da også generelt positiv. Armaturavstand indre sone er 13m tvers igjennom. Systemeffekten er så vidt høyere enn Multilux.

Med LED-armaturer fra Philips får en følgende armaturoppsett:

230 stk Philips Flowstar BGB300 DT CB 50150lm 1x200xECO50K 740/NW (435W)  
9 stk Philips Flowstar BGB300 DT CB 30350lm 1x120xECO30K 740/NW (266W)  
12 stk Philips Flowstar BGB300 DT CB 18400lm 1x72xECO18K 740/NW (156W)  
13 stk Philips Flowstar BGB300 DT CB 9250lm 1x36xECO9K 740/NW (79W)  
200 stk Philips Flowstar BGB312 DTS-WB 8200lm 1x36xECO8K 740/NW (68W) (indre sone før 1min kjøretid)  
366 stk Philips Flowstar BGB312 DTS-WB 8200lm 1x36xECO8K 740/NW (68W) (indre sone etter 1min kjøretid)  
143,8 kW systemeffekt  
Totalt 830 armaturer

Dette er flunkende nye armaturtyper og vi har derfor lite erfaringer og dele om dem. Philips er imidlertid veteran og etablert kvalitetsmerke for vegbelysning. Denne løsningen gir en blendingsgrad / TI i indre sone på 5,99 for ett minuts kjøretid og 5,74 etter ett minutt – altså innenfor kravene. Armaturavstand indre sone før 1 min kjøretid er 15m. Etter er armaturavstand 17,4m. Lengst armaturantall slår også ut i lavest armaturantall. Imidlertid er systemeffekten litt høyere enn de to konkurrentene – noe som gjør sparepotensialet noe lavere.

16 (30)

NOTAT  
26.09.2014

## Investeringskostnader

Både Thorn, Multilux og Philips har gitt prisestimater for sine armaturer. Det bør imidlertid påpekes at denne situasjonen sannsynligvis vil være en helt annen ved leveransetidspunktet i 2017/18. Priser for LED-armaturer forventes å bli langt lavere ettersom bruk av LED blir mer vanlig.

Siden oppgitte priser er prosjektpriiser til elektroinstallatør, vil det komme påslag fra entreprenør på anbudsprisen. Hvor stort påslaget er, vil variere fra entreprenør til entreprenør. Entreprenør OneCo har lang erfaring med LED som tunnelbelysning. På forespørsel, svarte deres Børge Lundhaug at prispåslag for ferdig levert og montert armatur vil ligge mellom 15-25% høyere enn prosjektpriisen. Vi velger å regne videre med et gjennomsnittlig prispåslag på 20% - for både konvensjonelle og LED-armaturer.

I tillegg må en for en del LED-armaturer ta med ekstra kostnad for koblingsboks foran hver armatur. (Konvensjonelle armaturer har kobling i selve armaturhuset.) OneCo oppgir at standard boks med viderekoblingsklemmer og automatsikring vil koste 1750,- pr armatur.

Multilux kommenterer at deres armaturer forutsetter denne typen boks med automatsikring og viderekoblingsklemme. De presiserer imidlertid at sikkerhetstest vil kreve bokser som koster 2000,- mens ved belysning vil trenge en enklere boks som koster ca. 1000,-.

Philips kommenterer at flere av deres armaturer kan kobles sammen til samme boks. 3 store armaturer, 5 mellomstore eller 10 små armaturer innen et område på 100m kan kobles til samme «10-way box». Multilux kommenterer at selv om en slikt løsning også er mulig for deres armaturer, så har de gått bort fra den – fordi den ofte gir logistikkproblemer/kompliserer anlegget. Philips har imidlertid videreutviklet konseptet, som de kaller TunneLogic. Vi etterspurte i utgangspunktet powerline-styring, da dette gir mindre kabling – og DALI i lange tunneler har Vegvesenet hatt en del dårlige erfaringer med. Philips har likevel foreslått løsning der koblingsboksene kobles sammen via RS-485-kabling, mens det fra koblingsboks til armatur går DALI-kabling. For å minimere sjansen for feil, skreddersyr Philips kablinganlegget og leverer DALI og RS-485-kabling ferdig med hurtigkoblingsklemmer på hver ende.

Thorn kommenterer at alle deres armaturer kommer med innebygd glassikring. Egen automat i koblingsboksen er derfor ikke nødvendig for deres armaturer. Dessuten har innkjøringssonearmaturene deres plass til 5x6mm<sup>2</sup> kabel inn/ut. Dette betyr at det ikke trengs ekstern viderekoblingsklemme – og dermed ingen koblingsboks - for innkjøringssonearmaturene. For indresonearmaturene må en ha koblingsboks, men da kun med viderekoblingsklemme. Dette prisestimerer Thorn til kr 400-500,- pr. boks.

Montasjekostnad pr armatur for LED vs konvensjonelle armaturer oppgis av OneCo til å være omtrent lik. Børge Lundhaug kommenterer imidlertid at en i LED-prosjekter gjerne er mer framsynt og bruker klipsoppheng – mens en i konvensjonelle anlegg gjerne ender opp med standard braketter med skruerull. Antallet armaturer er imidlertid høyere ved konvensjonell løsning. I vårt tilfelle er det 1303 konvensjonelle armaturer, mens antall LED-armaturer nesten er nede på 800. Total montasjekostnad for konvensjonelle armaturer blir dermed høyere. Lundhaug oppgir at montasje av armatur skjer på 15 minutter når 2 mann jobber med det – dvs

17 (30)

NOTAT  
26.09.2014

0,5 arbeidstime pr. armatur. På et nytt prosjekt så er dette dagtidarbeid som koster kr. 690,- pr time.

Inkludert i investeringskostnadene må en ha med pris for kabling. Bruker vi erfaringstall på kabelengder og priser for konvensjonell belysning (hentet fra Øyer Tretten tunnelen, 3,9 km), får vi en kabelkostnad på ca. kr 2 900 000,-.

Produkt	Kabelengde	Tunnellengde Øyer Tretten	Kabelengde vs tunnellengde (faktor)	Enhetspris	Tunnellengde Århus Gvammen	Estimert kostnad Århus Gvammen
4x10 Cu IFSI	4230	3900	1,11	74	9358	kr 768 844
4x6 Cu IFSI	10346	3900	2,65	55	9358	kr 1 365 380
4x4 Cu BFSI	4222	3900	1,08	47	9358	kr 476 140
4x6 Cu BFSI	304	3900	0,08	77	9358	kr 56 167
2x4 Cu PFXP	3975	3900	1,02	26	9358	kr 247 987
						kr 2 914 518

Denne kostnaden burde være ca. den samme for konvensjonell og PLC-anlegg. For Philips RS-485/DALI-system blir kablingen også ca. den samme, siden buskablinga er tatt med i investeringskostnaden for LED-anlegget. Dermed blir elkablingkostnaden den samme som alternativene.

Utfra leverandørs oppgitte priser, vil investeringskostnad for armaturene for konvensjonell anlegg bli:

Konvensjonell						
Produsent	Type armatur	Lyskilde	Effekt [W]	Antall [stk]	kostnad [kr]	Tot. Effekt [kW]
Multilux	Motlys	HST 1 x 400 W	440	206	2 688,00	90,6
Multilux	Motlys	HST 1 x 250 W	275	18	2 613,00	5,0
Multilux	Motlys	HST 1 x 100 W	115	107	2 528,00	12,3
Multilux	Indre sone (før 1min)	Lysrør 1 x 58 W	54	472	3 040,00	25,5
Multilux	Indre sone (etter 1min)	Lysrør 1 x 58 W	54	904	3 040,00	48,8
TI indre sone: 2,9				Totalt	1707 armaturer	182,2
					Påslag entreprenør, 20%	kr 1 010 859,60
Montasje				kr 345 pr armatur		kr 588 518,00
Kabling						kr 2 914 518,00
Kontaktorstyring						kr 60 000,00
				Totalt kostnad:		kr 9 628 590,60

18 (30)

NOTAT  
26.09.2014

For LED-armaturer fra Multilux med powerline-styring/forkobling blir investeringskostnad:

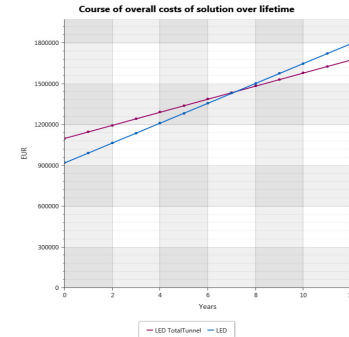
LED m/PL-styring, Multilux							
Produsent	Type armatur	Lyskilde	Effekt [W]	Antall [stk]	kostnad [kr]	Tot. Effekt [kW]	
Multilux	Motlys m/PL	LED	444	226	kr 12 345,00	100,3	
Multilux	Motlys m/PL	LED	296	7	kr 9 152,00	2,1	
Multilux	Motlys m/PL	LED	149	27	kr 5 485,00	0,8	
Multilux	Indre sone (før 1min)	LED	30	506	kr 4 495,00	15,2	
Multilux	Indre sone (etter 1min)	LED	30	539	kr 4 495,00	16,2	
TI indre sone: 6,72			Totalt		1305 armaturer	134,6	
						kr 7 699 404,00	
Koblingsbokser, sikkerhetsarmaturer					261	2000	kr 522 500,00
Koblingsbokser, standardarmaturer					1044	1000	kr 1 043 750,00
					Påslag entreprenør, 20%		kr 1 853 130,80
Montasje					kr 345	pr armatur	kr 450 225,00
Kabling							kr 2 914 518,00
Styringsystem, luminansreduksjonskurvedimming, inkl. programmering, driftsetting og opplæring							kr 1 000 000,00
					Totalt kostnad:		kr 15 483 527,80

Her slår kombinasjonen av mange armaturer (fordi løsningen ikke er designet for 6% TI) og dyre koblingsbokser foran hver armatur dårlig ut. Siden løsningen heller ikke oppfyller kravet til maks TI på 6, regnes det ikke videre med denne løsningen. En må imidlertid gå ut fra at produsenten vil ha en bedre plassert armatur i forhold til Vegvesenets ønsker i 2017/18!

For LED-armaturer fra Philips med RS-485/DALI-styring blir investeringskostnad:

LED m/RS-485/DALI-styring, Philips							
Produsent	Type armatur	Lyskilde	Effekt [W]	Antall [stk]	kostnad [kr]	Tot. Effekt [kW]	
Philips	Motlys m/PL	LED	435	230	mellom	100,1	
Philips	Motlys m/PL	LED	266	9	€ 952	2,4	
Philips	Motlys m/PL	LED	156	12	og	1,9	
Philips	Motlys m/PL	LED	79	13	€ 1 420	1,0	
Philips	Indre sone (før 1min)	LED	68	200		13,6	
Philips	Indre sone (etter 1min)	LED	68	366		24,9	
TI indre sone: 5,99 før ett minutt /5,74 etter ett minutt			Totalt		830 armaturer	143,8	
						kr 7 296 662,00	
Koblingsbokser, sikkerhetsarmaturer					142	2000	kr 283 000,00
Koblingsbokser, standardarmaturer					166	1000	kr 165 866,67
					Påslag entreprenør, 20%		kr 1 549 505,73
Montasje					kr 345	pr armatur	kr 286 350,00
Kabling, el							kr 2 914 518,00
Styringsystem, luminansreduksjonskurvedimming, inkluderer sentral kontrollenhet, skreddersydd RS-485 og DALI-kabling med hurtigkoblinger, driftsettelse og opplæring							kr 1 596 705,00
					Totalt kostnad:		kr 14 094 607,40

Styresystemet (Philips LED TotalTunnel) med kabling blir her en del dyrere enn konkurrentene, men et lavere armaturantall gjør opp for mye av dette. I utgangspunktet høres det noe kompliserende ut å bruke BÅDE RS-485 og Dalı, men om Philips skreddersyr hele systemet til hver kunde, kan dette likevel være en forbedring. Philips mener også at løsningen vil lønne seg i forhold til konkurrerende LED-systemer innen 7 år. Dette er kun dokumentert med en graf – hva som ligger i tallet er ikke nærmere beskrevet.



Produsentene påpeker at DALI-tunnelarmaturer er billigere enn powerline-alternativet. Philips får derfor en fordel av dette. Resultatet bør likevel være sammenlignbart, siden kabelkostnad for styresystemene er inkludert.

For LED-armaturer fra Thorn med PL-styring blir investeringskostnad:

LED m/PL-styring, Thorn							
Produsent	Type armatur	Lyskilde	Effekt [W]	Antall [stk]	kostnad [kr]	Tot. Effekt [kW]	Tot. Kostnad [kr]
Thorn	Motlys m/PL	LED	275	336	11 600,00	92,4	kr 3 897 600,00
Thorn	Motlys m/PL	LED	220	4	10 300,00	0,9	kr 41 200,00
Thorn	Motlys m/PL	LED	165	6	8 200,00	1,0	kr 49 200,00
Thorn	Motlys m/PL	LED	110	8	7 300,00	0,9	kr 58 400,00
Thorn	Indre sone (før 1min)	LED	87	230	5 800,00	20,0	kr 1 334 000,00
Thorn	Indre sone (etter 1min)	LED	43	490	4 200,00	21,1	kr 2 058 000,00
TI Indre sone: 3,51			Totalt		1074 armaturer	136,2	kr 7 438 400,00
Koblingsbokser, kun viderekoblingsklemmer					720		kr 324 000,00
							kr 1 552 480,00
Påslag entreprenør, 20%							
Montasje					kr 345 pr armatur		kr 370 530,00
Kabling							kr 2 914 518,00
Styringsystem, luminansreduksjonskurvedimming, Inkl. programmering, driftsetting og opplæring							kr 1 000 000,00
Totalt kostnad:							kr 13 599 928,00

Thorn har en spesialløsning for indresonearmaturer. De bruker et system som heter Bi Power Line som enkelt switcher mellom 50% og 0% dimming i indre sone via strømlørdning. Ingen programmeringskostnader for indresonearmaturer – og kabelen kan være veldig lang uten at signalet «overdøves». Thorn sparer også mye på at kun indresonearmaturer trenger koblingsboks – og da uten sikring. Siden de kommer best ut av det med tanke på investeringspris og nest best på total systemeffekt, er det Thorns alternativ som brukes videre i lønnsomhetsberegningene.

I mange prosjekter vegrer man seg mot å bruke innkjøringssonearmaturer med LED, da disse har de desidert høyeste enhetsprisene. Et siste alternativ kan da være å kombinere konvensjonelle innkjøringssonearmaturer med LED indresonearmaturer.

Konvensjonelt lys i innkjøring, LED m/PL-styring indresone, Thorn							
Produsent	Type armatur	Lyskilde	Effekt [W]	Antall [stk]	kostnad [kr]	Tot. Effekt [kW]	Tot. Kostnad [kr]
Multilux	Motlys	HST 1 x 400 W	440	206	2 688,00	90,6	kr 553 728,00
Multilux	Motlys	HST 1 x 250 W	275	18	2 613,00	5,0	kr 47 034,00
Multilux	Motlys	HST 1 x 100 W	115	107	2 528,00	12,3	kr 270 496,00
Thorn	Indre sone (før 1min)	LED	87	230	5 200,00	20,0	kr 1 196 000,00
Thorn	Indre sone (etter 1min)	LED	43	490	5 200,00	21,1	kr 2 548 000,00
TI Indre sone: 3,51			Totalt		1051 armaturer	149,0	kr 4 615 258,00
Koblingsbokser, sikkerhetsarmaturer					180	2000	kr 360 000,00
Koblingsbokser, standardarmaturer					540	1000	kr 540 000,00
							kr 1 103 051,60
Påslag entreprenør, 20%							
Montasje					kr 345 pr armatur		kr 362 595,00
Kabling, el							kr 2 914 518,00
Styringsystem LED - 100% dag, 50% natt. Programmering, driftsetting og opplæring.							kr 500 000,00
Kontaktstyring innkjøringssone.							kr 42 000,00
Totalt kostnad:							kr 10 437 422,60

21 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Denne løsningen drar en nytte av LED-anleggets lavere indresonearmatur-antall samtidig som en unngår de store investeringskostnadene for innkjøringssone-LED. Ulempen med denne kombi er at strømsparepotensialet er litt mindre – og en blir nødt til å innføre 2 styringssystemer.

**Sammenligner en konvensjonelt anlegg VS LED, vil altså det rimeligste LED-anlegget koste 3 971 337,- mer enn det konvensjonelle anlegget.**

**Kombinasjon av konvensjonell innkjøringssonearmatur og LED i indre sone vil være kr. 808 832,- dyrere enn rent, konvensjonelt anlegg.**

### Driftskostnader

For det konvensjonelle anlegget estimeres energiforbruket til totalt 919 489 kWh pr. år:

Konvensjonelt lysanlegg:						
Innkjøringssone/Overgangssone						
Styringsstrinn	Prosent	Antall armaturer	Effekt (W)	Total effekt (kW)	Driftstimer (årlig)	Energiforbruk (kWh)
Dag 2	100	206	440	90,64		
		18	275	4,95		
		107	115	12,31		
				107,90	1200	129 474
Dag 1	66	137	440	60,43		
		12	275	3,30		
		71	115	8,20		
				71,93	2000	143 860
Skumring	33	69	440	30,21		
		6	275	1,65		
		36	115	4,10		
				35,97	4000	143 860
Indre sone						
Dagtid						
	100	472	54	25,49	4760	121 323
Dagtid, 1m inn i tunnelen	100	904	54	48,82	4760	232 364
Natt	50	236	54	12,74	4000	50 976
Natt, 1m inn i tunnelen	50	452	54	24,41	4000	97 632
					Totalt årlig energiforbruk	919 489 kWh

Estimat på driftstimer pr år er oppgitt av Pål Larsen, Norconsult.

Å tallsette besparelsen for LED er vanskelig, da det inntil videre er svært å få tunneler med denne typen styring – og den ene som kunne ha hatt nyttige tall (Brekktunnelen i Sør-Trøndelag) er delvis privateid. Dette fører til at vi ikke har fått tak i data fra denne tunnelen.

22 (30)

NOTAT  
26.09.2014

For å ha en viss formening om hva sparepotensialet er, har vi gjort følgende forutsetninger i beregningen:

- Årlig driftstimer i indre sone (dag og natt) blir identisk som for konvensjonell belysning.
- For Dag 2, Dag 1 og Skumring har vi gjort en forenkling ved å si at besparelsen fra dimming minst vil tilsvare reduksjonen i midlere luminans som trinnene representerer på Luminansreduksjonskurven (figur 9.2, håndbok V124). Sannsynligvis er besparelsen større siden armaturene dimmes kontinuerlig etter kurven. I mangel på mer konkrete tall bruker vi dette forsiktede estimatet.
- 9845 kWh er lagt inn som årlig besparelse for LED siden den ikke trenger oppvarmingstid.
- 6% gjennomsnittlig dimming er tatt med som kompensasjon for nyvasket/tilsmusset armatur. (57 767 kWh)
- 129 016 kWh er lagt til som kWh-besparelse som konsekvens av dimming fram til oppnådd levetid (Thorn) – som utregnet tidligere i dokumentet.
- Vi har regnet med at LED beholder sin lumen pr. watt-verdi ved dimming.

LED med styring:									
Innkjøringssone/Overgangssone									
Styringsstrinn	Prosent	Antall armaturer	Effekt (W)	Total effekt (kW)	Driftstimer (årlig)	Energiforbruk (kWh)	Estimert minimum besparelse fra dimming	Resulterende energiforbruk (kWh)	
Dag 2	100	336	275	92,4					
		4	220	0,88					
		6	185	0,99					
		8	110	0,88		1200	144180	6 %	107 329
		336	275	92,4					
Dag 1	66	4	220	0,88					
		6	185	0,99					
		8	110	0,88					
				336	275	92,4	2000	190900	39 %
		336	275	92,4					
Skumring	33	4	220	0,88					
		6	185	0,99					
		8	110	0,88					
				336	275	92,4	4000	380600	72 %
		336	275	92,4					
Indre sone									
Driftid	100	230	87	20,01	4760	93248	6 %	89 533	
Dagtid, 1m inn i tunnelen	100	490	43	21,07	4760	500293	6 %	34 276	
Natt	50	230	43,5	10,005	4000	40020	6 %	37 619	
Natt, 1m inn i tunnelen	50	490	21,5	10,535	4000	42140	6 %	39 612	
Besparelse fra dimming, driftår 3:								-129 016	
								462 003 kWh pr. år	

For LED-anlegget MED dimming av nyvaskede armaturer/ dimming av nye armaturer estimeres energiforbruket til totalt ca. 462 003 kWh pr. år. Uten disse to ekstra styresystemene, blir forbruket ca. 648 786 kWh.

Dette estimatet gir en årlig besparelse på ca. 467 331 kWh årlig i forhold til konvensjonell lysløsning – med ekstra styring. Uten ekstra styring blir besparelsen ca. 280 548 kWh.

I tillegg kan en altså spare ca. 114 066 kWh på følgelysstyring med dagens ÅDT.

Siden følgelysstyringen blir ny teknologi/ annen post i Enovasøknaden, holdes denne besparelsen separat.

En løsning med konvensjonell belysning i innkjøringssonen og LED i indre sone gir energiforbruk på 679 771 kWh.

Innkjøringssone/Overgangssone									
Styringsstrinn	Prosent	Antall armaturer	Effekt (W)	Total effekt (kW)	Driftstimer (årlig)	Energiforbruk (kWh)			
Dag 2	100	206	440	90,64					
		18	220	3,96					
		107	115	12,31				1200	129 474
Dag 1	66	137	440	60,43					
		12	275	3,30					
		71	115	8,30					
Skumring	33	69	440	30,21					
		6	275	1,65					
		36	115	4,10					
Indre sone									
Driftid	100	230	87	20,01	4760	93248	6 %	89 533	
Dagtid, 1m inn i tunnelen	100	490	73	35,77	4760	170205	6 %	160 049	
Natt	50	230	36,5	8,385	4000	33580	6 %	31 565	
Natt, 1m inn i tunnelen	50	490	36,5	17,885	4000	73540	6 %	67 248	
Besparelse fra dimming driftår 3								-71 430 kWh	
Totalt årlig energiforbruk								679 771 kWh	

Her er det da tatt med

-6% dimming av indresonelyset som følge av armaturvask (16 662 kWh)

-68 575 kWh er lagt til som kWh-besparelse som konsekvens av dimming fram til oppnådd levetid – som utregnet tidligere i dokumentet.

Dette estimatet gir en årlig besparelse på ca. 239 718 kWh årlig i forhold til konvensjonell lysløsning – ca halvparten av besparelsen for fullt LED-anlegg. Tar en vekk dimming som følge av armaturvask og dimming fram til oppnådd levetid, er besparelsen 154 481 kWh i året.

Følgelyssystem kun for indresonearmaturene og monotonibelysningen vil gi et ytterligere sparepotensiale på 94 891 kWh ved ÅDT 1750. 41 338 kWh ved ÅDT 5000. Dette utgjør en stor del av besparelsen ved fullt LED-anlegg, men siden dette tallet er under 100 000 kWh sparer det for lite energi til å støttes av Enovas «ny teknologi» program. Dette gjør at kostnaden for eventuell utvikling av følgelyssystem falle 100% på Statens Vegvesen med denne løsningen. Med rent LED-system vil en kunne få 50% av investeringskostnad dekket av Enova – denne ene gangen.



## Vedlikeholdskostnader

En fordel med LED-armaturer framfor damplampe/lysrør, er at en slipper lampeskift. Serieskift av damplamper foretas gjerne hvert fjerde år. Serieskift av longlife lysrør foretas hvert 7. år.

Philips har estimert følgende priser pr. nye lyskilde (20% påslag fra entreprenør er lagt på):  
 400W kr. 252,-  
 250W kr. 240,-  
 115W kr. 216,-  
 Lysrør kr. 24,-

For Mælefjelltunnelen vil dette utgjøre kr. 24 428,- pr. år.

Armaturenerhold anses å ta like mye tid for LED-armaturer og konvensjonelt system. Ihht tall fra Skagerak Elektro må en regne med å bruke ca. 5 minutter på lampeskift/vedlikehold/flytting av lift pr. armatur. 3 av 50 armaturer må en skifte forkobling i – noe som tar 15 minutter. Ekstra vedlikeholdsarbeid med konvensjonelle armaturer vil for Mælefjelltunnelen tilsvare ca. 27,5 arbeidstimer pr. år. I tillegg må en regne med at en del tid forsvinner i feilsøking. Arbeidet vil sannsynligvis måtte utføres på natt for å unngå for mye trafikkøll. Børge Lundhaug hos OneCo estimerer timepris til 690,- pr time på dag. På natt øker prisen til 1242,- pr time. Legger en litt for leie av lift, vil dette gi en kostnad på ca. 36 052,- i året for dette arbeidet.

## Ekstra kostnader, avansert dimmingssystem / oppfølgingsystem

Nye og til dels uprøvde dimmingsløsninger vil medføre ekstra kostnader både i planleggings-gjennomførings- og oppfølgingsfasen. Å gi kostnadsoverslag på nybrottsarbeid er vanskelig, men vi har følgende estimater:

- For å kunne få støtte fra Enova for energioppfølging, må Vegvesenet ha et oppfølgingsystem. For Mælefjelltunnelen betyr det at det trengs to ekstra kWh-måler med kobling mot SD-anlegget i hver eltavle – en for normalkraft og en for UPS. I tillegg må det opprettes rutine for innrapportering av disse tallene. Estimert kostnad; ca. 3000,- pr. måler, 12 tekniske bygg/24 målere samt kanskje 5000,- ekstra i programmering => kr 77 000,-. Årlig oppfølgingskostnad i arbeidstimer for Vegvesenet estimeres til ca. 40 timer første år – deretter 5 timer i året.
- Tilleggs kostnad for rådgivers ekstra prosjektering, oppfølging og rapportering for intelligent styring av tunnel; ca. kr. 150 000,-. 2/3 av dette må forventes brukt på følgelyssystemet.
- Ekstra utstyr / kabling for styringssystemene estimeres til ca. kr. 200 000,-. hvorav 2/3 må forventes brukt på følgelyssystemet.
- For Brekkunnelen estimerer Børge Lundhaug hos OneCo at de har brukt ca. 1000 timer på programmering, testing, idriftsettelse og oppfølging av styringssystemene. Børge påpeker imidlertid at dette har vært nybrottsarbeid, samt at en god del av timene har vært brukt på eksperimenter/ utprøving av løsninger. Ved repetisjon av løsning i ny tunnel forventes timebruk bli langt lavere. Programmerings- og oppfølgingskostnad for

25 (30)

NOTAT  
26.09.2014

kurvedimming, levetidsdimming og tilsmissingsgradsdimming for Mælefjelltunnelen estimeres derfor til ca. kr. 150 000,-.

- Følgelyssystemet vil være nybrottsarbeid, der det forventes at utfordringer dukker opp underveis. Det estimeres derfor brukt ca. 1000 timer på programmering, testing, idriftsettelse og oppfølging av styringssystemene. Timepris settes til ca. kr. 975,- siden denne jobben i stor grad vil utføres av spesialist. Dette gir en ekstra investeringskostnad på ca. kr. 975 000,-
- En må også regne med at et LED-anlegg vil ha en lengre innkjøringstid / barne- sykdommer som krever ekstra vedlikehold i den første tiden. Enova bruker gjerne et standardtall på at ekstra driftskostnad for den energisparende løsningen gjerne er 2% av (mer)investeringskostnaden pr år. I så fall vil LED-løsning ha en vedlikeholdskostnad på ca. kr. 79 427,- mer enn den konvensjonelle løsningen – i alle fall det første året. 24 166,- ekstra vil komme til om en velger følelyssystemet

## Lønnsomhetsanalyse

Besparelser for LED vs konvensjonelt anlegg blir da for den billigste LED-løsningen(Thorn):

### Ren LED-løsning med kun luminansreduksjonskurvedimming:

Ca, kr. **3 971 337,-** **dyrere** i investeringskostnad

Ca. kr. **277 951,-** **spart** på rein luminansreduksjonskurvedimming (280 548kWh til 0,8 kr/kWh) og redusert vedlikeholdskostnad pr år(60 480,-) -minus litt initielle vedlikeholdskostnader delt på antall driftsår (6 967,-) for LED-anlegget.

Denne investeringen gir en tilbakebetalingstid (TT) på 14,3 år og en inntjeningstid (IT) på 21,3 år. Med en levetid på ca. 11,4 år for anlegget er dette i utgangspunktet ikke lønnsomt.

Med Enova-støtte på 1 kr pr kWh vil investeringskostnad gå ned med 280 548 kWh, men samtidig går den opp med 77 000,- på grunn av rapporteringskrav/ekstra energimålere. Dermed er TT 13,6 og IT 19,7 og tiltaket fremdeles ikke lønnsomt.

### LED-løsning med dimming av nyvaskede/nye armaturer:

Legger en til kostnader og besparelser for levetidsdimming og dimming av nyvaskede armaturer til tallene ovenfor, får en:

Ca. kr. **4 238 003,-** **dyrere** i investeringskostnad (Hvorav 267 000,- er dimmesystemene).

26 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Ca. kr. **426 910,- spart**: luminansreduksjonskurvedimming (280 548kWh til 0,8 kr/kWh), dimm nyvaskede/nye armaturer (186 783 kWh til 0,8 kr/kWh), redusert vedlikeholdskostnad pr år(60 480,-), minus initielle vedlikeholdskostnader delt på antall driftsår (7435,-)

Denne investeringen gir en TT på 9,9 år og en IT på 12,8 år – altså så vidt ikke lønnsomt.

Legger en til 467 331,- i Enova-støtte (1 kr pr. spart kWh), men samtidig trekker fra 77 000,- på grunn av kravene Enova-søknad medfører til loggføring av energi, blir TT 9 år og IT 11,3 år. Altså så vidt lønnsomt.

#### LED-løsning med dimming av nyvaskede/nye armaturer og følgelys:

Legger en inn følgelys for indre sone i budsjettet, får en:

Ca. kr. **5 446 337,- dyrere** i investeringskostnad enn konvensjonell løsning (Hvorav 1 208 333,- er følgelyssystemet).

Ca. kr. **516 043,- spart**: luminansreduksjonskurvedimming (280 548kWh til 0,8 kr/kWh), dimm nyvaskede/nye armaturer (186 783 kWh til 0,8 kr/kWh), følgelysstyring (114 066 kWh til 0,8 kr/kWh) redusert vedlikeholdskostnad pr år(60 480,-), minus initielle vedlikeholdskostnader delt på antall driftsår (9555,-)



Denne investeringen gir en tilbakebetalingstid TT på 10,6 år og en inntjeningsstid IT på 13,9 år. Altså så vidt ulønnsomt.

Om en regner med ENOVA-støtte for ny teknologi (50% av ekstra investering) blir TT 9,5 år og IT 12,2 år. Så vidt ulønnsomt. En bør imidlertid merke seg at det ikke er hver dag en bygger tunnel på nesten en mil. En kortere tunnel vil vanskeligere kunne benytte seg av denne støtten fra Enova, siden besparingspotensialet for en kortere tunnel vil ha vanskelig for å komme over 100 000 kWh pr. år. Det må også påpekes at når denne teknologien/programmet først er laget for denne tunnelen, vil den kunne komme framtidige AID-tunneler til gode – til en rimeligere pris.

#### Konvensjonelt anlegg i innkjøringszone og LED-løsning i indre sone:

Besparelser for konvensjonelt anlegg vs LED indresone/konvensjonelt anlegg i innkjøring blir:

Ca, kr. **808 832,- dyrere** i investeringskostnad

27 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Ca. kr. **146 896,- spart** på luminansreduksjonskurvedimming (146 989 kWh til 0,8 kr/kWh) og redusert vedlikeholdskostnad pr år(30 724,-) -minus litt initielle vedlikeholdskostnader delt på antall driftsår (1419,-) for LED-anlegget.

Denne investeringen gir en TT på 5,5 år og en IT på 6,3 år – altså klart lønnsomt.

#### Konvensjonelt anlegg i innkjøringszone og LED-løsning i indre sone – med dimming av nyvaskede/ nye armaturer:

Legger en til kostnader og besparelser for levetidsdimming og dimming av nyvaskede armaturer til tallene ovenfor, får en:

Ca, kr. **1 075 832,- dyrere** i investeringskostnad (Hvorav 267 000,- er dimmesystemene).

Ca. kr. **214 618,- spart** på luminansreduksjonskurvedimming (146 989 kWh til 0,8 kr/kWh) levetidsdimming og dimming av nyvaskede armaturer (85 237 kWh til 0,8 kr/kWh), redusert vedlikeholdskostnad pr år(30 724,-), -minus litt initielle vedlikeholdskostnader delt på antall driftsår (1887,-) for LED-anlegget.

Denne investeringen gir en TT på 5 år og en IT på 5,7 år – altså klart lønnsomt – og mer lønnsomt enn uten levetids/nyvasket dimming.

#### Konvensjonelt anlegg i innkjøringszone og LED-løsning i indre sone – med dimming av nyvaskede/ nye armaturer og følgelysstyring:

Legger en inn følgelys for indre sone i budsjettet, får en:

Ca, kr. **2 284 165,- dyrere** i investeringskostnad (Hvorav 1 208 333,- er følgelyssystemet).

Ca. kr. **288 411,- spart** på luminansreduksjonskurvedimming (146 989 kWh til 0,8 kr/kWh) levetidsdimming og dimming av nyvaskede armaturer (85 237 kWh til 0,8 kr/kWh), følgelysstyring (94 891 kWh til 0,8kr/kWh), redusert vedlikeholdskostnad pr år(30 724,-), -minus litt initielle vedlikeholdskostnader delt på antall driftsår (4007,-) for LED-anlegget.

Denne investeringen gir en tilbakebetalingstid TT på 7,9 år og en inntjeningsstid IT på 9,7 år. Løsninga er dermed lønnsom – uten støtte fra Enova.

28 (30)

NOTAT  
26.09.2014

## Enova

Gjennom flere runder med Enova, Statens Vegvesen og Sweco, er det kartlagt hvor det er potensiale for energibesparelser i de tekniske anleggene og hvor det kan søkes støtte fra Enova. Vi har vurdert følgende tiltak:

- I kategorien «Standard Enovasøknad»:
  - Bytte fra konvensjonelt lysanlegg (natrium-høytrykk og lysrør på kontaktorstyring) til dimmet LED-anlegg.
  - Neddimming av armaturer når de er nye / ihht hvor mye strøm de trekker. Dette er teknologi som er testet før (bl.a. i Brekkunnelen i Sør-Trøndelag), men erfaringstall er begrensede.
  - Neddimming av nyvaskede armaturer ihht erfaringstabell. Dette er teknologi som er testet før, men igjen er erfaringstall begrensede.
- I kategorien «Enovasøknad – Ny teknologi»:
  - «Følgelys» / behovsstyring i form av neddimmet lys (10% av lysnivå) når det ikke er registrert trafikk. AID-kameraene brukes til å registrere trafikk og skru lyset opp igjen.
- I kategorien «Enovasøknad – støtte til energiledelse»:
  - Utvikle og prosjektere løsning for energirapportering i henhold til krav fra Enova. All Enovastøtte forutsetter korrekt energirapportering et visst antall år etter at prosjektet er ferdigstilt.

1XX

Enova kan gi støtte på opptil 60% av merinvesteringskostnad for energibesparende tiltak. Normalt ligger støtten imidlertid mellom 15% og 40% - avhengig av lønnsomhet og mengden sparte kWh. Som tommelfingerregel gir de 1 kr pr kWh spart energi pr år når anlegget er i ordnær drift. Dette forutsetter imidlertid at tiltaket ikke ville vært lønnsomt uten støtte.

For ny teknologi gjelder det at Enova kan støtte den første brukeren av energisparende teknologi med opp til 50% av merkostnadene ved å gjennomføre investeringen. Energibesparelsen må imidlertid minst være 100 000 kWh.

For energiledelse kan Enova gi opptil en million i støtte til bedrifter med et energiforbruk over 10 GWh/år og inntil 0,2 MNOK i støtte mellom 1 og 10 GWh/år. Dette prosjektet alene når ikke slike dimensjoner, men Vegvesenet som helhet har nok et forbruk langt over dette. Tall for dette prosjektet legges inn i søknaden, sånn at det kan legges inn i totalen for Vegvesenet etter hvert.

29 (30)

NOTAT  
26.09.2014

Statens Vegvesen har hatt lite samarbeid med Enova de siste årene og har derfor ikke noe enhetlig system for energirapportering. Sparepotensialet for norske veier og tunneler er imidlertid enormt. Innføring av et energiledelsesystem som kan videreføres til framtidige vei- og tunnelprosjekter vil gjøre det lettere for Statens Vegvesen å få Enova-støtte – og vil muliggjøre sammenligning av løsninger som igjen kan inspirere til energibesparelser andre steder.

## Konklusjon

Om en regner en levetid på 11,4 år på LED-anlegget, vil en få følgende tilbakebetalingstider (TT) og inntjeningstider (IT) i forhold til et konvensjonelt lysanlegg med damplyper og lysrør:

Skifte fra konvensjonell løsning til LED: **TT 14,3år og IT 21,3år (ulønnsom) Enova: TT 13,6år og IT 19,7år (ulønnsom)** – sparepotensiale kWh:280 548 kWh pr. år.  
 LED med dimming av nye/nyvaskede armaturer: **TT 9,9år og 12,8år (så vidt ulønnsom) Enova: TT 9år og IT 11,3år (såvidt lønnsom)** – sparepotensiale kWh:467 331 kWh pr. år.  
 LED med dimming av nye/nyvaskede armaturer + følgelys: **TT 10,6år og 13,9år (så vidt ulønnsom) Enova: TT 9,5år og IT 12,2år (såvidt ulønnsom)** – sparepotensiale kWh:581 397 kWh pr. år.

Konvensjonell lys innkjøring/ LED indresone: **TT 5,5år og IT 6,3år (lønnsom)** – sparepotensiale kWh:146 989 kWh pr. år.  
 Konvensjonell lys innkjøring/ LED indresone med dimming av nye/nyvaskede armaturer: **TT 5år og 5,7år (mest lønnsom)** – sparepotensiale kWh:232 226 kWh pr. år.  
 Konvensjonell lys innkjøring/ LED indresone med dimming av nye/nyvaskede armaturer + følgelys: **TT 7,9år og 9,7år (lønnsom)** – sparepotensiale kWh:327 117 kWh pr. år.

Igen må det presiseres at priser for LED-anlegg forventes å falle ettersom flere og flere går over til LED. Levetider forventes også å bli lengre. Siden armaturer for dette anlegget først vil bli kjøpt inn i 2017/18, vil sannsynligvis ren LED-løsning med nyvasket / ny armatordimming og følgelysdimming kunne lønne seg med Enova-støtte da. Det er liten tvil om at LED er fremtidens tunnelarmatur. Energisparepotensialet er stort og blir større ettersom teknologien utvikler seg. Beregningene ovenfor viser imidlertid at rene LED-løsninger ikke utkonkurrerer konvensjonell løsning helt ennå. En blanding av LED og konvensjonell innkjøringssonelys er alt lønnsomt, men blandingen av natrium høytrykk og LED 4000K vil gi tunnelen et rotete og lite helhetlig preg.

På grunnlag av overnevnte anbefales det at det velges LED i hele tunnelen, med tilhørende dimming i henhold til luminanskurvereduksjon, armaturens alder, tid siden rengjøring samt dimming ved inaktivitet/følgelysstyring.

Støtte fra Enova til energioppfølgingsystem forutsetter langt høyere energiforbruk enn for denne ene tunnelen, men kan med fordel innføres som et steg mot bevisstgjøring om energiforbruk langs alle veier driftet av Vegvesenet.

30 (30)

NOTAT  
26.09.2014



## Vedlegg 3

# Lysberegning av LED-anlegget



## E39 Klett Bårdshaug

Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01

Prosjektnummer :  
 Kunde : Skanska Norge AS  
 Utført av : John Helge Myhre  
 Dato : 25.09.2013

### Prosjektbeskrivelse:

Lengde : 1290 m  
 Adaptasjonsluminans sverover : 2900 cd/m<sup>2</sup>  
 Adaptasjonsluminans nordover : 1800 cd/m<sup>2</sup>  
 Hastighet : 80 km/t  
 Profil : T9.5  
 Kjørefelt : 2 (2-veis)  
 Uk armatur : 5.25

### Innhold

Forside	1
Innhold	2
<b>1 Armaturdata</b>	
<b>1.1 AEC Tunnel, TLED 0B TA 6.5-54 (TLED 0B TA 6.5-54)</b>	
1.1.1 Dataark	3
<b>1.2 AEC Tunnel - TLED, TLED 1F AS-6M 4.7-54 (TLED 1F AS-6M 4.7-54)</b>	
1.2.1 Dataark	4
<b>1.3 AEC Tunnel - TLED, TLED 1F AS-6M 4.7-36 (TLED 1F AS-6M 4.7-36)</b>	
1.3.1 Dataark	5
<b>1.4 AEC Tunnel - TLED, TLED 1F AS-6M 4.7-18 (TLED 1F AS-6M 4.7-18)</b>	
1.4.1 Dataark	6
<b>2 Brekk tunnel</b>	
<b>2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel</b>	
2.1.1 Prosjektdata	7
2.1.2 Armaturliste	10
2.1.3 Planvisning	14
<b>2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel</b>	
2.2.1 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1	15
2.2.2 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 2	16
<b>2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel</b>	
2.3.1 Tabell, Innkjøring (L), S1: 100%, Obs. 1	17
2.3.2 Tabell, Innkjøring (TI), S1: 100%, Obs. 1	18
2.3.3 Tabell, Innkjøring (L), S1: 100%, Obs. 2	19
2.3.4 Tabell, Innkjøring (TI), S1: 100%, Obs. 2	20

Følgende verdier er beregnet basert på laboratoriemålinger av armaturer og referanselyslikilder. I praksis kan avvik forekomme.

Garantikrav for armaturdata er ekskludert.

Relux og armaturprodusentene tar innlet ansvar for følgeskader og skader påført brukeren eller tredjepart.

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 1/20

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 2/20

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

### 1 Armaturdata

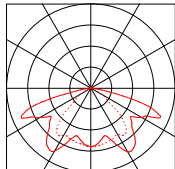
#### 1.1 AEC Tunnel, TLED 0B TA 6.5-54 (TLED 0B TA 6.5-54)

##### 1.1.1 Dataark

Fabrikkat: AEC Tunnel

TLED 0B TA 6.5-54 TLED 0B TA 6.5-54

<b>Armaturdata</b>		<b>Bestykket med</b>	
Armaturvirkningsgrad	: 100%	Antall	: 1
Armaturens lysutbytte	: 86.21 lm/W	Betegnelse	: 54 LED 530mA
Klassifisering	: A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%		: RES
CIE Flux Codes	: 43 79 98 100 100	Farge	: 7500 lm
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)		Lysfluks	: 70
CO / C90	: 35.7 / 25.1	Fargegjengivelse	: 70
Forkoblingsutstyr	: 87 W		
Tot. systemeffekt	: 280 mm		
Lengde	: 530 mm		
Bredde	: 85 mm		
Høyde			



Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

### 1 Armaturdata

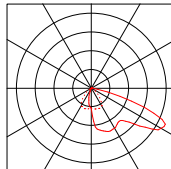
#### 1.2 AEC Tunnel - TLED, TLED 1F AS-6M 4.7-54 (TLED 1F AS-6M 4.7-54)

##### 1.2.1 Dataark

Fabrikkat: AEC Tunnel - TLED

TLED 1F AS-6M 4.7-54 TLED 1F AS-6M 4.7-54

<b>Armaturdata</b>		<b>Bestykket med</b>	
Armaturvirkningsgrad	: 100%	Antall	: 1
Armaturens lysutbytte	: 103.02 lm/W	Betegnelse	: 4000
Klassifisering	: A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%		: 46050 lm
CIE Flux Codes	: 42 74 98 100 100	Farge	: 70
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)		Lysfluks	: 46050 lm
CO / C90	: 41.6 / 26.9	Fargegjengivelse	: 70
Forkoblingsutstyr	: 447 W		
Tot. systemeffekt	: 340 mm		
Lengde	: 750 mm		
Bredde	: 95 mm		
Høyde			



XXV

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 3/20

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 4/20

## 1 Armaturdata

### 1.3 AEC Tunnel - TLED, TLED 1F AS-6M 4.7-36 (TLED 1F AS-6M 4.7-36)

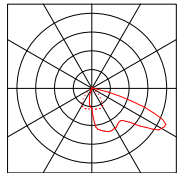
#### 1.3.1 Dataark

Fabrikat: AEC Tunnel - TLED

TLED 1F AS-6M 4.7-36 TLED 1F AS-6M 4.7-36

<b>Armaturdata</b>	
Armaturvirkningsgrad	: 100%
Armaturens lysutbytte	: 105.85 lm/W
Klassifisering	: A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes	: 42 74 98 100 100
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)	
C0 / C90	: 42.1 / 27.3
Forkoblingsutstyr	: 299 W
Tot. systemeffekt	: 340 mm
Lengde	: 465 mm
Bredde	: 95 mm
Høyde	

<b>Bestykket med</b>	
Antall	: 1
Betegnelse	:
Farge	: 4000
Lysfluks	: 31650 lm
Fargegjengivelse	: 70



## 1 Armaturdata

### 1.4 AEC Tunnel - TLED, TLED 1F AS-6M 4.7-18 (TLED 1F AS-6M 4.7-18)

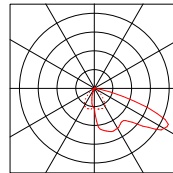
#### 1.4.1 Dataark

Fabrikat: AEC Tunnel - TLED

TLED 1F AS-6M 4.7-18 TLED 1F AS-6M 4.7-18

<b>Armaturdata</b>	
Armaturvirkningsgrad	: 100%
Armaturens lysutbytte	: 105.53 lm/W
Klassifisering	: A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes	: 42 74 98 100 100
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)	
C0 / C90	: 41.5 / 26.8
Forkoblingsutstyr	: 152 W
Tot. systemeffekt	: 340 mm
Lengde	: 304 mm
Bredde	: 95 mm
Høyde	

<b>Bestykket med</b>	
Antall	: 1
Betegnelse	:
Farge	: 4000
Lysfluks	: 16040 lm
Fargegjengivelse	: 70



Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 5/20

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

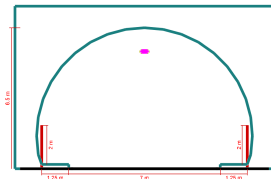
E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 6/20

## 2 Brekk tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.1 Prosjektdata



<b>Tunnelgeometri</b>	
Tunnellengde	: 1290 m
Tunnellengde (beregningsmodell)	: 332 m
Tunnelhøyde	: 6.5 m
Bredde på kjørefelt	: 7 m
Antall kjørefelt	: 2
Overflate / materiale	CIE C2, q0 = 0.07
Høyre kantstripe	: 1.25 m
Venstre kantstripe	: 1.25 m
Høyde på høyre vegg	: 2 m
Overflate / materiale	: diffus 0%
Høyde på venstre vegg	: 2 m
Overflate / materiale	: diffus 0%

#### Spesifikasjoner for beregning

Hastighet	: 80 km/h
Innkjøringssonens lengde	: 99 m
Luminans i innkjøringssonen	: 145 cd/m <sup>2</sup>
Luminans i indre sone	: 4 cd/m <sup>2</sup>

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 7/20

## 2 Brekk tunnel

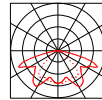
### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.1 Prosjektdata

#### LFK i bruk

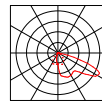
- AEC Tunnel**

Bestillingsnr. : TLED OB TA 6.5-54  
 Armaturnavn : TLED OB TA 6.5-54  
 Bestykning : 1 x 54 LED 530mA RES / 7500 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



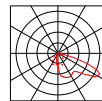
- AEC Tunnel - TLED**

Bestillingsnr. : TLED 1F AS-6M 4.7-54  
 Armaturnavn : TLED 1F AS-6M 4.7-54  
 Bestykning : 1 x L-TLED-1F-4000-700-54 / 46050 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



- TLED 1F AS-6M 4.7-36**

Bestillingsnr. : TLED 1F AS-6M 4.7-36  
 Armaturnavn : TLED 1F AS-6M 4.7-36  
 Bestykning : 1 x L-TLED-1F-4000-700-36 / 31650 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01

Side 8/20



Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

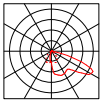
Multilux

## 2 Brekk tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.1 Prosjektdata

4 Bestillingsnr. : TLED 1F AS-6M 4.7-18  
 Armaturnavn : TLED 1F AS-6M 4.7-18  
 Bestykning : 1 x L-TLED-1F-4000-700-18 / 16040 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.2 Armaturliste

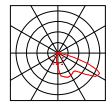
##### Adaptasjon

##### LFK i bruk

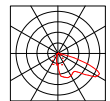
2 46 Bestillingsnr. : TLED 1F AS-6M 4.7-54  
 Armaturnavn : TLED 1F AS-6M 4.7-54  
 Bestykning : 1 x L-TLED-1F-4000-700-54 / 46050 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



3 1 Bestillingsnr. : TLED 1F AS-6M 4.7-36  
 Armaturnavn : TLED 1F AS-6M 4.7-36  
 Bestykning : 1 x L-TLED-1F-4000-700-36 / 31650 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



4 2 Bestillingsnr. : TLED 1F AS-6M 4.7-18  
 Armaturnavn : TLED 1F AS-6M 4.7-18  
 Bestykning : 1 x L-TLED-1F-4000-700-18 / 16040 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



##### Armaturrekke: Innkjøring / overgangssone (2.1)

Antall armaturer: 49 Systemeffekt (totalt): 21.2kW  
 Basisposisjon: x=4.50m y=3.50m, z=5.45m -variable avstander-  
 Rotasjon: z=180.0° C0=0.0° C90=0.0°

Nr.	Pos. X [m]	Effektivnivå	Innkobl. grS1	Int.1	Int.2
1	4.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%
2	6.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%
3	8.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%
4	11.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%
5	13.30	447W / 46.05kim	1	100%	0%
6	15.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

Side 9/20

E 39 Brekkunnelen 2900\_of\_m2 4000K-R01

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

Side 10/20

E 39 Brekkunnelen 2900\_of\_m2 4000K-R01

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.2 Armaturliste

7	17.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
8	19.60	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
9	21.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
10	24.30	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
11	26.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
12	28.00	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
13	30.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
14	33.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
15	35.30	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
16	38.00	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
17	39.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
18	41.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
19	44.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
20	46.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
21	48.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
22	50.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
23	52.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
24	55.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
25	57.30	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
26	59.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
27	61.80	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
28	64.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
29	66.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
30	68.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
31	72.00	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
32	74.20	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
33	75.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
34	80.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
35	82.90	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
36	86.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
37	89.60	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
38	93.30	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
39	97.60	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
40	101.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
41	106.70	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
42	112.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
43	119.50	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
44	128.30	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
45	140.10	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
46	154.60	447W / 46.05kim	1	100%	0%	0%
47	169.00	299W / 31.65kim	1	100%	0%	0%
48	178.40	152W / 16.04kim	1	100%	0%	0%
49	188.90	152W / 16.04kim	1	100%	0%	0%

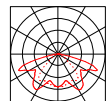
Inndre  
 LFK i bruk

##### AEC Tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.2 Armaturliste

1 Bestillingsnr. : TLED OB TA 6.5-54  
 Armaturnavn : TLED OB TA 6.5-54  
 Bestykning : 1 x 54 LED 530mA RES / 7500 lm  
 Vedlikeholdsfaktor : 0.75



##### Armaturrekke: Indre sone / nattlys (1.1)

Antall armaturer: 152 Systemeffekt (totalt): 13.2kW (1.29 km)  
 Basisposisjon: x=3.25m y=3.50m, z=5.45m Konstant avstand: 8.50m  
 Rotasjon: z=0.0° C0=0.0° C90=0.0° Flimmerfrekvens (v=80 km/h): 2.6 Hz

Nr.	Pos. X [m]	Effektivnivå	Innkobl. grS1	Int.1	Int.2
1	3.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
2	11.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
3	20.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
4	28.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
5	37.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
6	45.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
7	54.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
8	62.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
9	71.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
10	79.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
11	88.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
12	96.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
13	105.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
14	113.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
15	122.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
16	130.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
17	139.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
18	147.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
19	156.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
20	164.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
21	173.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
22	181.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
23	190.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
24	198.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
25	207.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
26	215.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
27	224.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
28	232.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
29	241.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
30	249.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
31	258.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
32	266.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
33	275.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
34	283.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%
35	292.25	87W / 7.5kim	2	100%	100%
36	300.75	87W / 7.5kim	2	100%	100%

XXVII

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

Side 11/20

E 39 Brekkunnelen 2900\_of\_m2 4000K-R01

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

Side 12/20

E 39 Brekkunnelen 2900\_of\_m2 4000K-R01

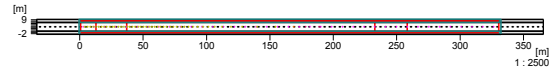
## 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

### 2.1.2 Armaturliste

37	309.25	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
38	317.75	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
39	326.25	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
.	.	.	.	.	.	.
148	1252.75	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
149	1261.25	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
150	1269.75	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
151	1278.25	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%
152	1286.75	87W / 7.5km	2	100%	100%	50%

## 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

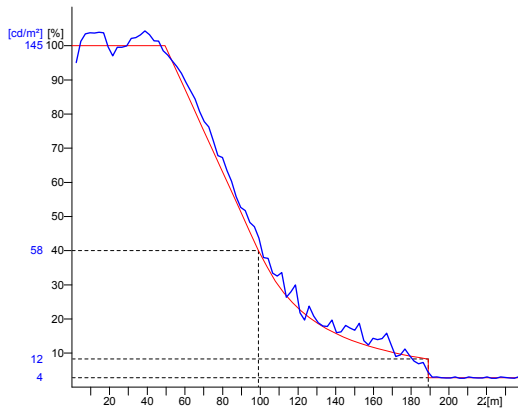
### 2.1.3 Planvisning



## 2 Brekk tunnel

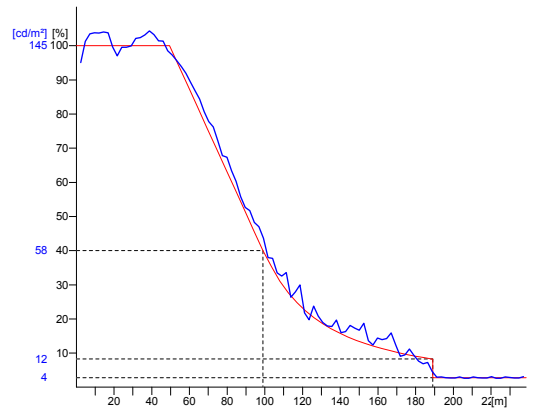
### 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

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



### 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.2.2 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 2



Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

## 2 Brekk tunnel

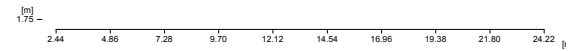
### 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.3.1 Tabell, Innkjøring (L), S1: 100%, Obs. 1

[m]	89	89	85	(84)	85	86	86	89	90	91
6.42	133	133	128	125	130	129	130	134	135	137
5.25	189	189	182	178	184	184	187	191	191	193
4.08	215	(216)	207	202	208	208	209	213	212	214
2.92	161	160	154	150	154	154	154	158	158	159
1.75	101	101	97	95	97	97	97	99	101	101
0.58										
	14.51	16.93	19.35	21.77	24.19	26.61	29.03	31.45	33.87	36.29

### 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.3.2 Tabell, Innkjøring (TI), S1: 100%, Obs. 1



Betrakterposisjon 1 : x = -46.7, y = 1.75, z = 1.5 (dx = 61.21)  
 Gjennomsnittlig luminans Lm : 145 cd/m<sup>2</sup>  
 Laveste luminans Lmin : 83.8 cd/m<sup>2</sup>  
 Totaljevnhet Uo Lmin/Lm : 0.58  
 Langsgående jevnhet Ui Limin/Limaks : 0.93

Betrakterposisjon 1 : x = 2.44, y = 1.75, z = 0 (dx = 0.00)  
 Synsedsettende blending TI : 5.03 %

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01

Side 17/20

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01

Side 18/20

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

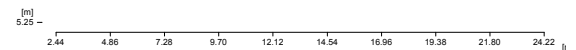
Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 25.09.2013

Multilux

### 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.3.3 Tabell, Innkjøring (L), S1: 100%, Obs. 2

[m]	101	101	97	95	97	98	97	100	101	101
6.42	161	160	154	150	154	154	154	158	158	159
5.25	215	(216)	207	202	208	208	209	213	213	214
4.08	189	189	182	178	184	184	186	191	191	193
2.92	133	133	128	125	130	129	130	134	135	137
1.75	89	89	85	(84)	85	86	86	88	90	91
0.58										
	14.51	16.93	19.35	21.77	24.19	26.61	29.03	31.45	33.87	36.29



Betrakterposisjon 2 : x = -46.7, y = 5.25, z = 1.5 (dx = 61.21)  
 Gjennomsnittlig luminans Lm : 145 cd/m<sup>2</sup>  
 Laveste luminans Lmin : 83.8 cd/m<sup>2</sup>  
 Totaljevnhet Uo Lmin/Lm : 0.58  
 Langsgående jevnhet Ui Limin/Limaks : 0.93

Betrakterposisjon 2 : x = 2.44, y = 5.25, z = 0 (dx = 0.00)  
 Synsedsettende blending TI : 5.04 %

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

Tlf.: 35061300 - post@multilux.no - www.multilux.no  
 Multilux AS, Sandavegen 19, 3800 Bø i Telemark

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01

Side 19/20

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01

Side 20/20



Vedlegg 4

Lysberegning av  
konvensjonelt anlegg



## E39 Klett Bårdshaug

Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01

Prosjektnummer :  
 Kunde :  
 Utført av : John Helge Myhre  
 Dato : 08.01.2015

Prosjektbeskrivelse:  
 KONVENJONELL BELYSNING  
 basert på tre trinn i innkjøring og to trinn indre sone

Lengde : 1290 m  
 Adaptasjonsluminans : 2900 cd/m<sup>2</sup>  
 Hastighet : 90 km/t  
 Profil : T3.5  
 Kjørefelt : 2 (2-veis)  
 Uk armatur : 5,25

### Innhold

Forside	1
Innhold	2
<b>1 Armaturdata</b>	
<b>1.1 MULTILUX AS - AEC, TZERO-HST,AS 400W (35 030 12)</b>	
1.1.1 Dataark	3
1.2 MULTILUX AS - AEC, TZERO-HST,AS 250W (35 030 28)	
1.2.1 Dataark	4
<b>1.3 MULTILUX AS - AEC, TZERO-HST,AS 100W (35 030 30)</b>	
1.3.1 Dataark	5
1.4 AEC ILLUMINAZIONE SRL, TZERO FLU-S-IN 1x68W (T0-FLU-001)	
1.4.1 Dataark	6
<b>2 Brekk tunnel</b>	
<b>2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel</b>	
2.1.1 Prosjektdata	7
2.1.2 Armaturliste	10
<b>2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel</b>	
2.2.1 Resultatoversikt, S1: 100%	16
2.2.2 Resultatoversikt, S2: 66.7%	18
2.2.3 Resultatoversikt, S3: 33.3%	20
2.2.4 Resultatoversikt, Int.1	22
2.2.5 Resultatoversikt, Int.2	23
2.2.6 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 1	24
2.2.7 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 2	25
2.2.8 Forløp, Adaptasjon (L), S2: 66.7%, Obs. 1	26
2.2.9 Forløp, Adaptasjon (L), S2: 66.7%, Obs. 2	27
2.2.10 Forløp, Adaptasjon (L), S3: 33.3%, Obs. 1	28
2.2.11 Forløp, Adaptasjon (L), S3: 33.3%, Obs. 2	29
2.2.12 Forløp, Adaptasjon (L), Int.1, Obs. 1	30
2.2.13 Forløp, Adaptasjon (L), Int.1, Obs. 2	31
2.2.14 Forløp, Adaptasjon (L), Int.2, Obs. 1	32
2.2.15 Forløp, Adaptasjon (L), Int.2, Obs. 2	33
<b>2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel</b>	
2.3.1 Tabell, Innvendig (L), Int.1, Obs. 1	34
2.3.2 Tabell, Innvendig (L), Int.1, Obs. 2	35
2.3.3 Tabell, Innvendig (L), Int.2, Obs. 1	36
2.3.4 Tabell, Innvendig (L), Int.2, Obs. 2	37

Følgende verdier er beregnet basert på laboratoriemålinger av armaturer og referanselysdi. I praksis kan avvik forekomme.

Garantikrav for armaturdata er ekskludert.

Relux og armaturprodusentene tar tilst ansvar for følgeskader og skader påført brukeren eller tredjepart.

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
 TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 1/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 08.01.2015

### 1 Armaturdata

#### 1.1 MULTILUX AS - AEC, TZERO-HST,AS 400W (35 030 12)

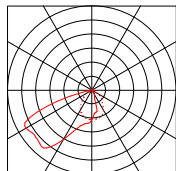
##### 1.1.1 Dataark

Fabrikat: MULTILUX AS - AEC

35 030 12 TZERO-HST,AS 400W

**Armaturdata**  
 Armaturvirkningsgrad : 79.3%  
 Armaturens lysutbytte : 101.83 lm/W  
 Klassifisering : A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%  
 CIE Flux Codes : 39 77 99 100 79  
 UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%) : <10.0 / 30.3  
 CO / C90 :  
 Forbølingsstyr : 440 W  
 Tot. systemeffekt : 460 mm  
 Lengde : 656 mm  
 Bredder : 175 mm  
 Høyde :

**Bestykket med**  
 Antall : 1  
 Betegnelse : 400W NAV-T 4Y  
 Farge : 2000  
 Lysfluks : 56500 lm  
 Fargegjengivelse : 0



Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
 TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 2/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
 Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
 Prosjektnummer :  
 Dato : 08.01.2015

### 1 Armaturdata

#### 1.2 MULTILUX AS - AEC, TZERO-HST,AS 250W (35 030 28)

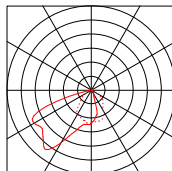
##### 1.2.1 Dataark

Fabrikat: MULTILUX AS - AEC

35 030 28 TZERO-HST,AS 250W

**Armaturdata**  
 Armaturvirkningsgrad : 78%  
 Armaturens lysutbytte : 94.17 lm/W  
 Klassifisering : A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%  
 CIE Flux Codes : 42 78 99 100 78  
 UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%) : <10.0 / 29.0  
 CO / C90 :  
 Forbølingsstyr : 275 W  
 Tot. systemeffekt : 460 mm  
 Lengde : 656 mm  
 Bredder : 175 mm  
 Høyde :

**Bestykket med**  
 Antall : 1  
 Betegnelse : 250W NAV-T 4Y  
 Farge : 2000  
 Lysfluks : 33200 lm  
 Fargegjengivelse : 0



XXXIII

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
 TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 3/37

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
 TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 4/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 1 Armaturdata

### 1.3 MULTILUX AS - AEC, TZERO-HST,AS 100W (35 030 30)

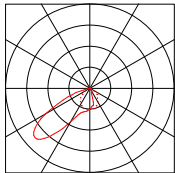
#### 1.3.1 Dataark

Fabrikat: MULTILUX AS - AEC

35 030 30 TZERO-HST,AS 100W

**Armaturdata**  
Armaturvirkningsgrad : 77.4%  
Armaturens lysutbytte : 72.02 lm/W  
Klassifisering : A30 ↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 39 84 100 100 77  
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)  
C0 / C90 : <10.0 / 24.9  
Forkoblingsutstyr :  
Tot. systemeffekt : 115 W  
Lengde : 460 mm  
Bredde : 656 mm  
Høyde : 175 mm

**Bestykket med**  
Antall : 1  
Betegnelse : 100W NAV-T  
SUPER 4Y  
Farge : 2000  
Lysfluks : 10700 lm  
Fargegjengivelse : 0



Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 1 Armaturdata

### 1.4 AEC ILLUMINAZIONE SRL, TZERO FLU-S-IN 1x58W (T0-FLU-001)

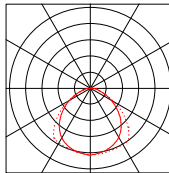
#### 1.4.1 Dataark

Fabrikat: AEC ILLUMINAZIONE SRL

T0-FLU-001 TZERO FLU-S-IN 1x58W

**Armaturdata**  
Armaturvirkningsgrad : 66.44%  
Armaturens lysutbytte : 59.57 lm/W  
Klassifisering : A40 ↓ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 49 82 95 100 66  
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)  
C0 / C90 : 20.1 / 19.0  
Forkoblingsutstyr :  
Tot. systemeffekt : 58 W  
Lengde : 1740 mm  
Bredde : 243 mm  
Høyde : 91 mm

**Bestykket med**  
Antall : 1  
Betegnelse : T8 Fluo 58W  
Farge : 0  
Lysfluks : 5200 lm  
Fargegjengivelse : 0



Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekk tunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 5/37

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekk tunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 6/37

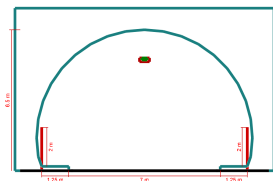
Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2 Brekk tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.1 Prosjektdata



**Tunnelgeometri**  
Tunnellengde : 1290 m  
Tunnellengde (beregningsmodell) : 332 m  
Tunnelhøyde : 6.5 m  
Bredde på kjørefelt : 7 m  
Antall kjørefelt : 2  
Overflate / materiale : CIE C2, q0 = 0.07  
Høyre kantstripe : 1.25 m  
Venstre kantstripe : 1.25 m  
Høyde på høyre vegg : 2 m  
Overflate / materiale : diffus 0%  
Høyde på venstre vegg : 2 m  
Overflate / materiale : diffus 0%  
**Spesifikasjoner for beregning**  
Hastighet : 80 km/h  
Innkjøringssonens lengde : 99 m  
Luminans i innkjøringssonen : 145 cd/m<sup>2</sup>  
Luminans i indre sone : 4 cd/m<sup>2</sup>

XXXIV

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekk tunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 7/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

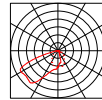
# Multilux

## 2 Brekk tunnel

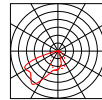
### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.1 Prosjektdata

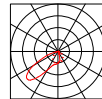
**LFK i bruk**  
**MULTILUX AS - AEC**  
5 Bestillingsnr. : 35 030 12  
Armaturnavn : TZERO-HST,AS 400W  
Bestykning : 1 x 400W NAV-T 4Y / 58500 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



6 Bestillingsnr. : 35 030 28  
Armaturnavn : TZERO-HST,AS 250W  
Bestykning : 1 x 250W NAV-T 4Y / 33200 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



7 Bestillingsnr. : 35 030 30  
Armaturnavn : TZERO-HST,AS 100W  
Bestykning : 1 x 100W NAV-T SUPER 4Y / 10700 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



AEC ILLUMINAZIONE SRL

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekk tunnelen 2900 cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 8/37



Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

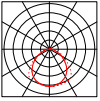
# Multilux

## 2 Brekk tunnel

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.1 Prosjektdata

8 Bestillingsnr. : TO-FLU-001  
Armaturnavn : TZERO FLU-S-IN 1x58W  
Bestykning : 1 x T8 Fluor 58W / 5200 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



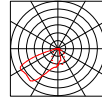
### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.2 Armaturliste

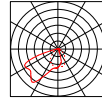
##### Adaptasjon

##### LFK i bruk

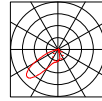
5 43 Bestillingsnr. : 35 030 12  
Armaturnavn : TZERO-HST-AS 400W  
Bestykning : 1 x 400W NAV-T 4Y / 56500 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



6 8 Bestillingsnr. : 35 030 28  
Armaturnavn : TZERO-HST-AS 250W  
Bestykning : 1 x 250W NAV-T 4Y / 33200 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



7 13 Bestillingsnr. : 35 030 30  
Armaturnavn : TZERO-HST-AS 100W  
Bestykning : 1 x 100W NAV-T SUPER 4Y / 10700 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



##### Armaturrekke: Innkjøring (5.1)

Antall armaturer: 64 Systemeffekt (totalt): 22.6kW  
Basisposisjon: x=8.00m y=3.50m, z=5.20m -variable avstander-  
Rotasjon: z=0.0° C0=0.0° C90=0.0°

Nr.	Pos. X [m]	Effektivnivå	Innkobl.	grS1	S2	S3	Int.1	Int.2
1	8.00	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
2	9.93	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
3	11.86	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
4	13.79	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
5	15.72	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
6	17.65	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

Side 9/37

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

Side 10/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

#### 2.1.2 Armaturliste

7	19.58	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
8	21.51	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
9	23.44	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
10	25.37	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
11	27.30	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
12	29.23	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
13	31.16	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
14	33.09	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
15	35.02	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
16	36.95	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
17	38.88	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
18	40.81	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
19	42.74	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
20	44.67	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
21	46.60	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
22	48.53	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
23	50.46	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
24	52.39	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
25	54.32	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
26	56.25	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
27	58.18	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
28	60.11	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
29	62.04	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
30	64.00	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
31	66.79	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
32	69.09	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
33	71.48	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
34	73.97	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
35	76.56	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
36	79.26	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
37	82.10	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
38	85.11	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
39	88.30	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
40	91.72	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
41	95.43	440W / 56.5klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
42	99.53	440W / 56.5klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
43	104.14	440W / 56.5klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
44	107.24	275W / 33.2klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
45	110.58	275W / 33.2klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
46	114.32	275W / 33.2klm	3	100%	100%	100%	0%	0%
47	118.51	275W / 33.2klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
48	123.26	275W / 33.2klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
49	128.66	275W / 33.2klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
50	134.88	275W / 33.2klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
51	142.10	275W / 33.2klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
52	144.84	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
53	147.60	115W / 10.7klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
54	150.53	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
55	153.63	115W / 10.7klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
56	156.93	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
57	160.45	115W / 10.7klm	2	100%	100%	0%	0%	0%
58	164.20	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
59	168.23	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
60	172.57	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
61	177.25	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

Side 11/37

### 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

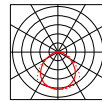
#### 2.1.2 Armaturliste

62	182.32	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
63	187.87	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%
64	193.95	115W / 10.7klm	1	100%	0%	0%	0%	0%

##### Indre LFK i bruk

##### AEC ILLUMINAZIONE SRL

8 Bestillingsnr. : TO-FLU-001  
Armaturnavn : TZERO FLU-S-IN 1x58W  
Bestykning : 1 x T8 Fluor 58W / 5200 lm  
Vedlikeholdsfaktor : 0.75



##### Armaturrekke: Indre sone (1.1)

Antall armaturer: 116 Systemeffekt (totalt): 6.7kW (1.29 km)  
Konstant avstand: 11.10m  
Rotasjon: z=270.0° C0=0.0° C90=0.0° Flimmerfrekvens (v=80 km/h): 2 Hz

Nr.	Pos. X [m]	Effektivnivå	Innkobl.	grS1	S2	S3	Int.1	Int.2
1	5.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
2	16.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
3	27.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
4	38.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
5	49.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
6	60.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
7	71.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
8	82.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
9	93.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
10	104.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
11	116.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
12	127.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
13	138.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
14	149.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
15	160.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
16	171.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
17	182.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
18	193.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
19	204.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
20	215.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
21	227.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
22	238.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
23	249.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
24	260.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
25	271.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
26	282.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%
27	293.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	0%
28	304.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	0%

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

Side 12/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

### 2.1.2 Armaturliste

Nr	Pos.	X [m]	Effektivnivå	Innkob.	gr	S1	S2	S3	Int.1	Int.2
29	315.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
30	326.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
113	1248.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
114	1259.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
115	1270.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
116	1281.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%

### Armaturrekke: Indre sone (2.1)

Antall armaturer: 116 Systemeffekt (totalt): 6.7kW (1.29 km)  
Basisposisjon: x=6.80m y=3.50m, z=5.20m Konstant avstand: 11.10m  
Rotasjon: z=270.0° C0=0.0° C90=0.0° Flimmerfrekvens (v=80 km/h): 2 Hz

Nr	Pos.	X [m]	Effektivnivå	Innkob.	gr	S1	S2	S3	Int.1	Int.2
1	6.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
2	17.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
3	29.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
4	40.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
5	51.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
6	62.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
7	73.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
8	84.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
9	95.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
10	106.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
11	117.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
12	128.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
13	140.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
14	151.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
15	162.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
16	173.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
17	184.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
18	195.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
19	206.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
20	217.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
21	228.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
22	239.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
23	251.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
24	262.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
25	273.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
26	284.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
27	295.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
28	306.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
29	317.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
30	328.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
113	1250.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
114	1261.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
115	1272.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
116	1283.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%

## 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

### 2.1.2 Armaturliste

Armaturrekke: Indre sone (3.1)  
Antall armaturer: 116 Systemeffekt (totalt): 6.7kW (1.29 km)  
Basisposisjon: x=8.60m y=3.50m, z=5.20m Konstant avstand: 11.10m  
Rotasjon: z=270.0° C0=0.0° C90=0.0° Flimmerfrekvens (v=80 km/h): 2 Hz

Nr	Pos.	X [m]	Effektivnivå	Innkob.	gr	S1	S2	S3	Int.1	Int.2
1	8.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
2	19.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
3	30.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
4	41.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
5	53.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
6	64.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
7	75.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
8	86.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
9	97.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
10	108.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
11	119.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
12	130.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
13	141.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
14	152.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
15	164.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
16	175.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
17	186.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
18	197.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
19	208.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
20	219.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
21	230.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
22	241.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
23	252.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
24	263.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
25	275.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
26	286.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
27	297.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
28	308.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
29	319.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
30	330.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
113	1251.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
114	1262.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
115	1274.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
116	1285.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%

### Armaturrekke: Indre sone (4.1)

Antall armaturer: 116 Systemeffekt (totalt): 6.7kW (1.29 km)  
Basisposisjon: x=10.40m y=3.50m, z=5.20m Konstant avstand: 11.10m  
Rotasjon: z=270.0° C0=0.0° C90=0.0° Flimmerfrekvens (v=80 km/h): 2 Hz

Nr	Pos.	X [m]	Effektivnivå	Innkob.	gr	S1	S2	S3	Int.1	Int.2
1	10.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
2	21.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
3	32.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
4	43.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
5	54.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
6	65.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
7	77.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekk tunnelen 2900\_cd\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 13/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2.1 Beskrivelse, Brekk tunnel

### 2.1.2 Armaturliste

Nr	Pos.	X [m]	Effektivnivå	Innkob.	gr	S1	S2	S3	Int.1	Int.2
8	88.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
9	99.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
10	110.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
11	121.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
12	132.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
13	143.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
14	154.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
15	165.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
16	176.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
17	188.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
18	199.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
19	210.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
20	221.30	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
21	232.40	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
22	243.50	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
23	254.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
24	265.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
25	276.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
26	287.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
27	299.00	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
28	310.10	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
29	321.20	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
113	1253.60	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
114	1264.70	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
115	1275.80	58W / 5.2klm	4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
116	1286.90	58W / 5.2klm	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2 Brekk tunnel

### 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.2.1 Resultatoversikt, S1: 100%

##### Adaptasjon, Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: 0.86 m - 329.92 m Points: nx = 155, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = -84.01 m; z = 1.50 m dx = 85.93 m (bevegelig)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

qp: Den bakoverrettede refleksjonen fra veien ble beregnet.

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

### 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.2.2 Resultatoversikt, S2: 66.7%

##### Innkoblingstrinn: S2: 66.7%

###### Adaptasjon

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

###### Indre

4: 100%  
5: 100%

##### Innkjøring, Innkjøringsone (konstant)

Måleområde: 15.72 m - 36.95 m Points: nx = 10, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = -44.28 m; z = 1.50 m dx = 61.06 m (fix)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)  
Lm : 99.38 cd/m<sup>2</sup> 99.03 cd/m<sup>2</sup>  
Uo Lmin/Lmid : 0.58 0.59  
Ui Llin/Llma : 0.96 0.96  
qc(av) : 0.89 cd/m<sup>2</sup>/lx 0.89 cd/m<sup>2</sup>/lx  
Tl max. Max. : 3.35 % 3.02 %

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

##### Innvendig, Indre sone

Måleområde: 230.60 m - 252.80 m Points: nx = 10, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = 170.60 m; z = 1.50 m dx = 61.11 m (fix)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)  
Lm : 4.04 cd/m<sup>2</sup> 4.03 cd/m<sup>2</sup>  
Uo Lmin/Lmid : 0.66 0.68  
Ui Llin/Llma : 0.87 0.87  
Tl max. Max. : 9.12 % 9.02 %

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cf\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 17/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

### 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.2.2 Resultatoversikt, S2: 66.7%

##### Adaptasjon, Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: 0.86 m - 329.92 m Points: nx = 155, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = -84.01 m; z = 1.50 m dx = 85.93 m (bevegelig)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

qp: Den bakoverrettede refleksjonen fra veien ble beregnet.

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cf\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 18/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

### 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.2.3 Resultatoversikt, S3: 33.3%

##### Innkoblingstrinn: S3: 33.3%

###### Adaptasjon

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

###### Indre

4: 100%  
5: 100%

##### Innkjøring, Innkjøringsone (konstant)

Måleområde: 15.72 m - 36.95 m Points: nx = 10, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = -44.28 m; z = 1.50 m dx = 61.06 m (fix)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)  
Lm : 51.59 cd/m<sup>2</sup> 51.41 cd/m<sup>2</sup>  
Uo Lmin/Lmid : 0.56 0.57  
Ui Llin/Llma : 0.94 0.93  
qc(av) : 0.75 cd/m<sup>2</sup>/lx 0.75 cd/m<sup>2</sup>/lx  
Tl max. Max. : 3.35 % 3.02 %

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

##### Innvendig, Indre sone

Måleområde: 230.60 m - 252.80 m Points: nx = 10, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = 170.60 m; z = 1.50 m dx = 61.11 m (fix)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)  
Lm : 4.04 cd/m<sup>2</sup> 4.03 cd/m<sup>2</sup>  
Uo Lmin/Lmid : 0.66 0.68  
Ui Llin/Llma : 0.87 0.87  
Tl max. Max. : 9.12 % 9.02 %

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

XXXVII

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cf\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 19/37

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cf\_m2 4000K-R01 - KONVENJONELL BELYSNING

Side 20/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.3 Resultatoversikt, S3: 33.3%

#### Adaptasjon, Innkjørings- og overgangssone

Måleområde: 0.86 m - 329.92 m Points: nx = 155, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = -84.01 m; z = 1.50 m dx = 85.93 m (bevegelig)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

q: Den bakoverrettede refleksjonen fra veien ble beregnet.

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.4 Resultatoversikt, Int.1

#### Innkoblingstrinn: Int.1

Adaptasjon  
1: 0%  
2: 0%  
3: 0%  
Indre  
4: 100%  
5: 100%

#### Innvendig, Indre sone

Måleområde: 230.60 m - 252.80 m Points: nx = 10, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = 170.60 m; z = 1.50 m dx = 61.11 m (fix)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)  
Lm : 4.04 cd/m<sup>2</sup> 4.03 cd/m<sup>2</sup>  
Uo Lmin/Lmid : 0.66 0.68  
Ul Lmin/Lima : 0.87 0.87  
Tl max. Max. : 9.12 % 9.02 %

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

q: Den bakoverrettede refleksjonen fra veien ble beregnet.

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2\_4000K-R01 - KONVENSJONELL BELYSNING

Side 21/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.5 Resultatoversikt, Int.2

#### Innkoblingstrinn: Int.2

Adaptasjon  
1: 0%  
2: 0%  
3: 0%  
Indre  
4: 0%  
5: 100%

#### Innvendig, Indre sone

Måleområde: 230.60 m - 252.80 m Points: nx = 10, ny = 6, nz = 3  
Betrakter (startpunktkoordinater): x = 170.60 m; z = 1.50 m dx = 61.11 m (fix)  
y = 1.75 m y = 5.25 m

Kjørebane (CIE C2, q0 = 0.07)  
Lm : 2.02 cd/m<sup>2</sup> 2.02 cd/m<sup>2</sup>  
Uo Lmin/Lmid : 0.23 0.24  
Ul Lmin/Lima : 0.22 0.22  
Tl max. Max. : 9.12 % 9.02 %

Venstre vegg (diffus 0%)

Høyre vegg (diffus 0%)

q: Den bakoverrettede refleksjonen fra veien ble beregnet.

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2\_4000K-R01 - KONVENSJONELL BELYSNING

Side 23/37

Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2\_4000K-R01 - KONVENSJONELL BELYSNING

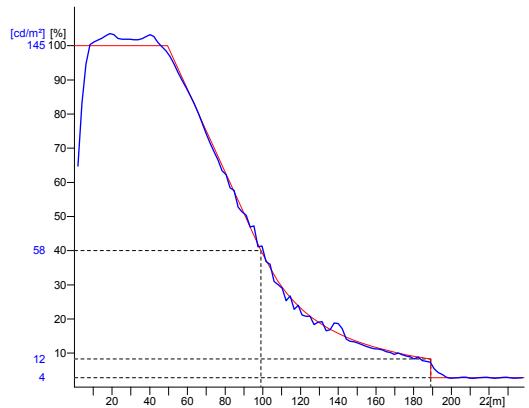
Side 22/37

Objekt : E39 Klett Bårdshaug  
Installasjon : Brekk tunnelen 4000K - R01  
Prosjektnummer :  
Dato : 08.01.2015

# Multilux

## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

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



XXXVIII

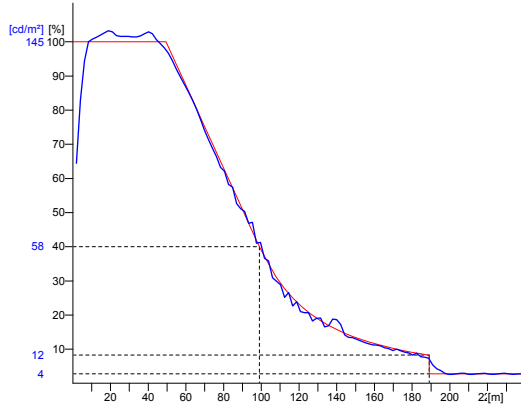
Multilux AS, Sandavegen 19, 3802 Bø i Telemark  
TLF 35 06 13 00 - post@multilux.no - www.multilux.no

E 39 Brekkunnelen 2900\_cd\_m2\_4000K-R01 - KONVENSJONELL BELYSNING

Side 24/37

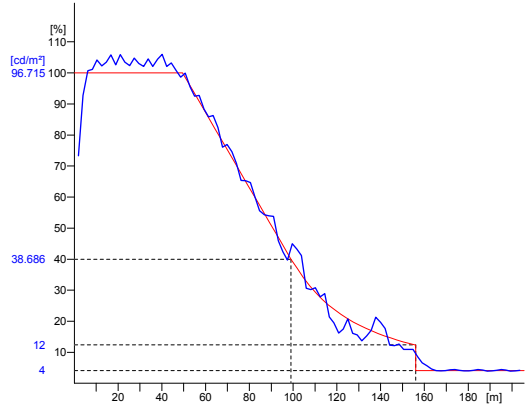
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.7 Forløp, Adaptasjon (L), S1: 100%, Obs. 2



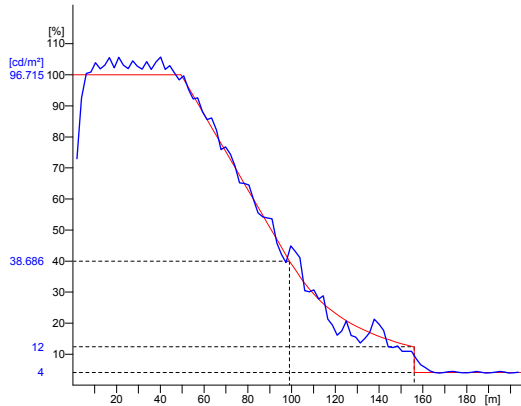
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

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



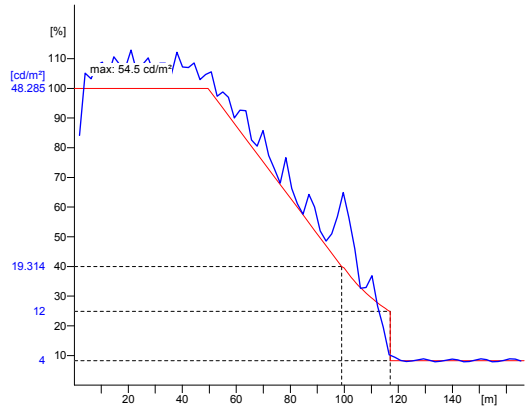
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.9 Forløp, Adaptasjon (L), S2: 66.7%, Obs. 2



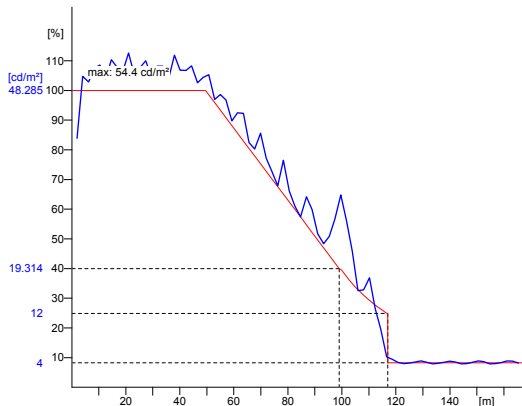
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

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



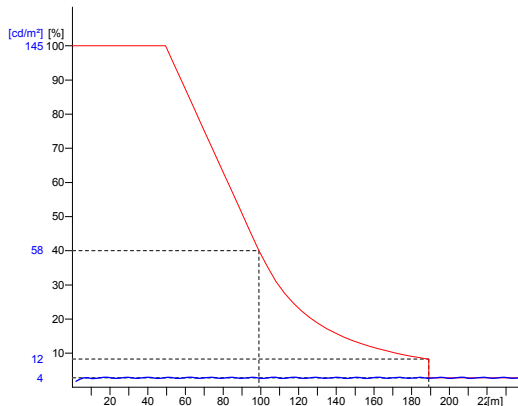
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.11 Forløp, Adaptasjon (L), S3: 33.3%, Obs. 2



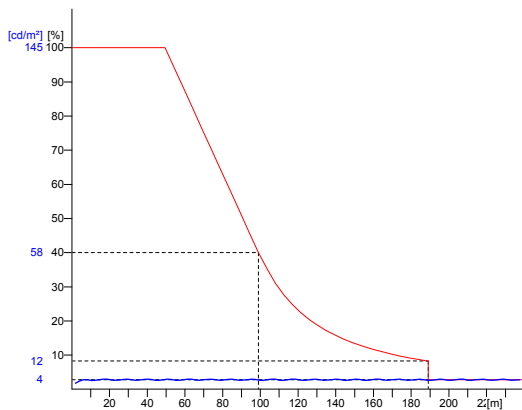
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.12 Forløp, Adaptasjon (L), Int.1, Obs. 1



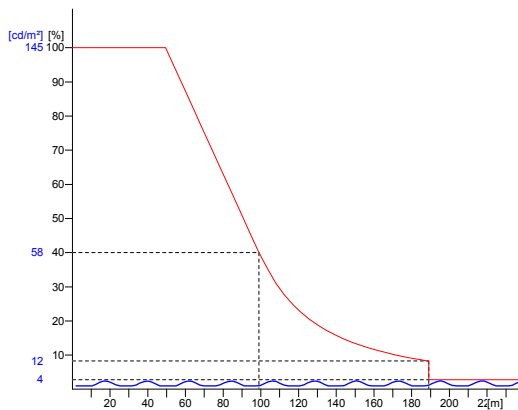
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.13 Forløp, Adaptasjon (L), Int.1, Obs. 2



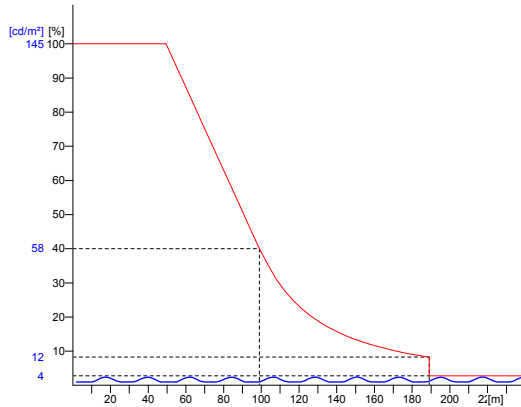
## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.14 Forløp, Adaptasjon (L), Int.2, Obs. 1



## 2.2 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.2.15 Forløp, Adaptasjon (L), Int.2, Obs. 2



## 2 Brekk tunnel

### 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

#### 2.3.1 Tabell, Innvendig (L), Int.1, Obs. 1

[m]	2,73	(2,87)	2,77	2,88	3,01	2,75	2,7	2,79	2,9	3,03
6.42	3,79	3,62	3,79	4,05	4,24	3,82	3,66	3,82	4,09	4,27
5.25	4,84	4,59	4,76	5,02	5,1	4,68	4,53	4,79	5,05	5,13
4.08	5,27	4,99	5,15	5,4	(5,57)	5,26	4,98	5,15	5,4	5,56
2.92	4,18	4,02	4,23	4,47	4,59	4,18	4,02	4,23	4,47	4,59
1.75	2,01	2,07	3,01	3,13	3,22	2,02	2,08	3,02	3,13	3,23
0.58										
	231.71	233.93	236.15	238.37	240.59	242.81	245.03	247.25	249.47	251.69

Betrakterposisjon 1  
 Gjennomsnittlig luminans : 4.04 cd/m<sup>2</sup>  
 Laveste luminans : 2.67 cd/m<sup>2</sup>  
 Totaljevnhet Uo : 0.66  
 Langsgående jevnhet UI : 0.87  
 Synsedsettende blending TI : 9.12 %

Lm : x = 171, y = 1.75, z = 1.5 (dx = 61.11)  
 Lmin :  
 Lmin/Lm :  
 Lmin/Limaks :  
 TI :

## 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.3.2 Tabell, Innvendig (L), Int.1, Obs. 2

[m]	2,86	2,8	2,9	3,01	3,13	2,87	2,81	2,81	3,02	3,13
6.42	4,09	3,94	4,1	4,35	4,51	4,09	3,94	4,1	4,35	4,51
5.25	5,19	4,95	5,1	5,35	(5,43)	5,19	4,95	5,09	5,35	5,42
4.08	4,51	4,53	4,51	5,07	5,24	4,95	4,67	4,84	5,1	5,27
2.92	3,87	3,69	3,91	4,16	4,32	3,9	3,73	3,95	4,2	4,35
1.75	2,78	(2,74)	2,87	2,99	3,11	2,8	2,76	2,89	3,02	3,12
0.58										
	231.71	233.93	236.15	238.37	240.59	242.81	245.03	247.25	249.47	251.69



## 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.3.3 Tabell, Innvendig (L), Int.2, Obs. 1

[m]	0,83	1,12	1,01	2,38	2,56	2,1	1,95	0,87	0,51	(0,46)
6.42	0,99	1,68	2,72	3,38	3,56	2,81	1,95	1,08	0,69	0,7
5.25	1,58	2,48	3,43	4,04	4,01	3,28	2,12	1,35	1	1,12
4.08	1,84	2,74	3,65	4,23	(4,26)	3,42	2,25	1,5	1,17	1,31
2.92	1,24	1,97	3,03	3,64	3,74	2,84	2,05	1,2	0,83	0,86
1.75	0,75	1,28	2,1	2,56	2,68	2,16	1,6	0,91	0,57	0,54
0.58										
	231.71	233.93	236.15	238.37	240.59	242.81	245.03	247.25	249.47	251.69

Betrakterposisjon 2  
 Gjennomsnittlig luminans : 4.03 cd/m<sup>2</sup>  
 Laveste luminans : 2.74 cd/m<sup>2</sup>  
 Totaljevnhet Uo : 0.68  
 Langsgående jevnhet UI : 0.87  
 Synsedsettende blending TI : 9.02 %

Lm : x = 171, y = 5.25, z = 1.5 (dx = 61.11)  
 Lmin :  
 Lmin/Lm :  
 Lmin/Limaks :  
 TI :

Betrakterposisjon 1  
 Gjennomsnittlig luminans : 2.02 cd/m<sup>2</sup>  
 Laveste luminans : 0.46 cd/m<sup>2</sup>  
 Totaljevnhet Uo : 0.23  
 Langsgående jevnhet UI : 0.22  
 Synsedsettende blending TI : 9.12 %

Lm : x = 171, y = 1.75, z = 1.5 (dx = 61.11)  
 Lmin :  
 Lmin/Lm :  
 Lmin/Limaks :  
 TI :

## 2.3 Beregningsresultat, Brekk tunnel

### 2.3.4 Tabell, Innvendig (L), Int.2, Obs. 2

[m]	0,22	1,23	2,01	2,46	2,81	2,14	1,58	0,9	0,56	0,52
6.42	1,2	1,81	2,92	3,54	3,87	2,89	2,03	1,18	0,81	0,84
5.25	1,81	2,7	3,81	4,13	3,38	2,25	1,49	1,16	1,29	
4.08	1,6	2,51	3,47	4,08	4,13	3,32	2,13	1,36	1,01	1,13
2.92	1,01	1,74	2,82	3,47	3,83	2,86	1,96	1,1	0,71	0,71
1.75	0,69	1,17	2,1	2,46	2,13	1,57	0,89	0,53	0,49	0,49
0.58										
	231.71	233.93	236.15	238.37	240.59	242.81	245.03	247.25	249.47	251.69



Betrakterposisjon 2		: x = 171, y = 5.25, z = 1.5 (dx = 61.11)
Gjennomsnittlig luminans	Lm	: 2.02 cd/m <sup>2</sup>
Laveste luminans	Lmin	: 0.48 cd/m <sup>2</sup>
Totaljevnhet Uo	Lmin/Lm	: 0.24
Langsgående jevnhet U1	Limin/Limaks	: 0.22
Synsnedsettende blending	TI	: 9.02 %

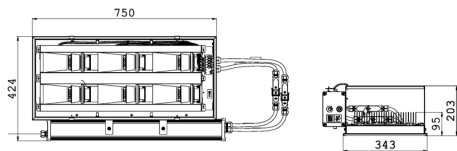


**Vedlegg 5**

**Datablad for**

**LED-armaturene**

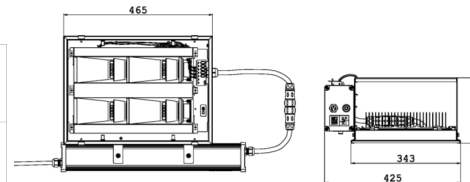




TLED 1F AS-6M 4.7-54 PLM		
MAIN CHARACTERISTICS		
<b>Applications</b>	Tunnel entry/exit lighting	
<b>Optical group</b>	AS-6M: Asymmetric optic for reinforcement lighting. Colour temperature: 4000K CRI ≥ 70 Photobiological Safety Class: EXEMPT GROUP LED Source Efficiency: 110 lm/W @ 700mA, T <sub>J</sub> =85°C	
<b>Tilt angle</b>	0°	
<b>Insulation class</b>	II	
<b>Protection degree</b>	IP66	
<b>Mounting</b>	Fixing brackets not included.	
<b>Gear tray</b>	Separated from the optical unit.	
<b>Dimensions and weight</b>	See the drawing 19Kg	
<b>Main reference standards</b>	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3	
ELECTRICAL CHARACTERISTICS		
<b>Rated voltage</b>	220~240V 50/60Hz	
<b>LED current</b>	700mA	
<b>Power factor</b>	>0,9 (at full load)	
<b>Control system</b>	PLM: Single point communication module.	
<b>Connection</b>	Branch wiring Cable FG7OM1 0.6/1kV 2x1.5mm <sup>2</sup> L.3mt Plug not included	
<b>Optical unit lifetime (Ta=25°C)</b>	≥50.000hr B20L80 (including critical failures) ≥80.000hr L80, TM21	
MATERIALS		
<b>Fixing</b>	-	
<b>Heat sink</b>	Extruded aluminium	
<b>Body</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L	
<b>Optic</b>	High efficiency metalized aluminium	
<b>Screen</b>	Flat tempered glass, 4mm	
<b>Cable gland</b>	Plastic M20x1.5 - IP68	
<b>Screen safety hooks</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L	
54 LED	LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (T <sub>J</sub> =85°C, 4000K, lm)
	42270	46980
54 LED	RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> (T <sub>J</sub> =85°C, W)
	444	424

Values indicated in this technical sheet are to be considered rated values subject to a tolerance of +/-5%.

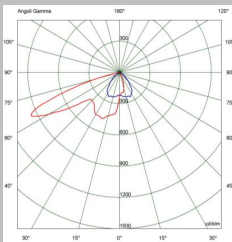
1:Rated data obtained in laboratory  
2:Rated data extrapolated from LED manufacturer datasheet.



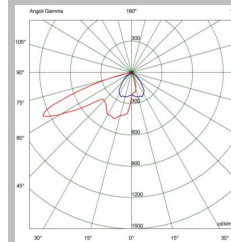
TLED 1F AS-6M 4.7-36 PLM		
MAIN CHARACTERISTICS		
<b>Applications</b>	Tunnel entry/exit lighting	
<b>Optical group</b>	AS-6M: Asymmetric optic for reinforcement lighting. Colour temperature: 4000K CRI ≥ 70 Photobiological Safety Class: EXEMPT GROUP LED Source Efficiency: 110 lm/W @ 700mA, T <sub>J</sub> =85°C	
<b>Tilt angle</b>	0°	
<b>Insulation class</b>	II	
<b>Protection degree</b>	IP66	
<b>Mounting</b>	Fixing brackets not included.	
<b>Gear tray</b>	Separated from the optical unit.	
<b>Dimensions and weight</b>	See the drawing 14Kg	
<b>Main reference standards</b>	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3	
ELECTRICAL CHARACTERISTICS		
<b>Rated voltage</b>	220~240V 50/60Hz	
<b>LED current</b>	700mA	
<b>Power factor</b>	>0,9 (at full load)	
<b>Control system</b>	PLM: Single point communication module.	
<b>Connection</b>	Branch wiring Cable FG7OM1 0.6/1kV 2x1.5mm <sup>2</sup> L.9mt Plug not included	
<b>Optical unit lifetime (Ta=25°C)</b>	≥50.000hr B20L80 (including critical failures) ≥80.000hr L80, TM21	
MATERIALS		
<b>Fixing</b>	-	
<b>Heat sink</b>	Extruded aluminium	
<b>Body</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L	
<b>Optic</b>	High efficiency metalized aluminium	
<b>Screen</b>	Flat tempered glass, 4mm	
<b>Cable gland</b>	Plastic M20x1.5 - IP68	
<b>Screen safety hooks</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L	
36 LED	LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (T <sub>J</sub> =85°C, 4000K, lm)
	28200	31320
36 LED	RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> (T <sub>J</sub> =85°C, W)
	296	283

Values indicated in this technical sheet are to be considered rated values subject to a tolerance of +/-5%.

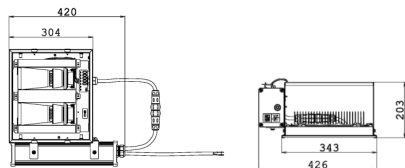
1:Rated data obtained in laboratory  
2:Rated data extrapolated from LED manufacturer datasheet.



All the published photometrical data has been obtained according to EN 13032-1



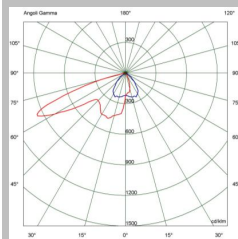
All the published photometrical data has been obtained according to EN 13032-1



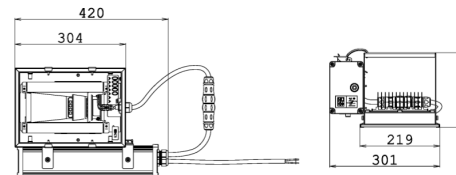
TLED 1F AS-6M 4.7-18 PLM					
MAIN CHARACTERISTICS					
<b>Applications</b>	Tunnel entry/exit lighting				
<b>Optical group</b>	AS-6W: Ottica Asimmetrica per illuminazione rinforzo gallerie Colour temperature: 4000K CRI ≥ 70 Photobiological Safety Class: EXEMPT GROUP LED Source Efficiency: 110 lm/W @ 700mA, Tj=85°C				
<b>Tilt angle</b>	0°				
<b>Insulation class</b>	II				
<b>Protection degree</b>	IP66				
<b>Mounting</b>	Fixing brackets not included.				
<b>Gear tray</b>	Separated from the optical unit.				
<b>Dimensions and weight</b>	See the drawing 9Kg				
<b>Main reference standards</b>	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3				
ELECTRICAL CHARACTERISTICS					
<b>Rated voltage</b>	220-240V 50/60Hz				
<b>LED current</b>	700mA				
<b>Power factor</b>	>0.9 (at full load)				
<b>Control system</b>	PLM: Single point communication module.				
<b>Connection</b>	Branch wiring Cable FG70M1 0.6/1kV 2x1.5mm <sup>2</sup> L.9mt Plug not included				
<b>Optical unit lifetime (Ta=25°C)</b>	≥50.000hr B20L80 (including critical failures) ≥80.000hr L80, TM21				
MATERIALS					
<b>Fixing</b>	-				
<b>Heat sink</b>	Extruded aluminium				
<b>Body</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L				
<b>Optic</b>	High efficiency metalized aluminium				
<b>Screen</b>	Flat tempered glass, 4mm				
<b>Cable gland</b>	Plastic M20x1.5 - IP68				
<b>Screen safety hooks</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>LUMINAIRE FLUX<sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)</th> <th>RATED LED FLUX<sup>2</sup> (Tj=85°C, 4000K, lm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13730</td> <td>15660</td> </tr> </tbody> </table>	LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (Tj=85°C, 4000K, lm)	13730	15660
LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (Tj=85°C, 4000K, lm)				
13730	15660				
18 LED	<table border="1"> <thead> <tr> <th>RATED LUMINAIRE POWER<sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)</th> <th>RATED LED POWER<sup>2</sup> (Tj=85°C, W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>149</td> <td>142</td> </tr> </tbody> </table>	RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> (Tj=85°C, W)	149	142
RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> (Tj=85°C, W)				
149	142				

Values indicated in this technical sheet are to be considered rated values subject to a tolerance of +/-5%.

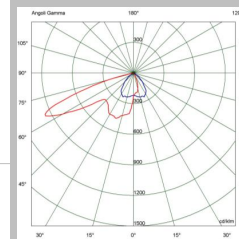
1:Rated data obtained in laboratory  
2:Rated data extrapolated from LED manufacturer datasheet.



All the published photometrical data has been obtained according to EN 13032-1

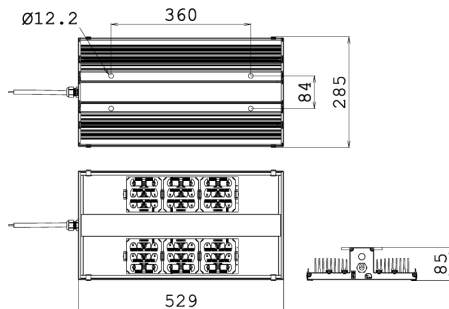


TLED 1F AS-6M 4.7-9 PLM					
MAIN CHARACTERISTICS					
<b>Applications</b>	Tunnel entry/exit lighting				
<b>Optical group</b>	AS-6W: Ottica Asimmetrica per illuminazione rinforzo gallerie Colour temperature: 4000K CRI ≥ 70 Photobiological Safety Class: EXEMPT GROUP LED Source Efficiency: 110 lm/W @ 700mA, Tj=85°C				
<b>Tilt angle</b>	0°				
<b>Insulation class</b>	II				
<b>Protection degree</b>	IP66				
<b>Mounting</b>	Fixing brackets not included.				
<b>Gear tray</b>	Separated from the optical unit.				
<b>Dimensions and weight</b>	See the drawing 9Kg				
<b>Main reference standards</b>	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3				
ELECTRICAL CHARACTERISTICS					
<b>Rated voltage</b>	220-240V 50/60Hz				
<b>LED current</b>	700mA				
<b>Power factor</b>	>0.9 (at full load)				
<b>Control system</b>	PLM: Single point communication module.				
<b>Connection</b>	Branch wiring Cable FG70M1 0.6/1kV 2x1.5mm <sup>2</sup> L.9mt Plug not included				
<b>Optical unit lifetime (Ta=25°C)</b>	≥50.000hr B20L80 (including critical failures) ≥80.000hr L80, TM21				
MATERIALS					
<b>Fixing</b>	-				
<b>Heat sink</b>	Extruded aluminium				
<b>Body</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L				
<b>Optic</b>	High efficiency metalized aluminium				
<b>Screen</b>	Flat tempered glass, 4mm				
<b>Cable gland</b>	Plastic M20x1.5 - IP68				
<b>Screen safety hooks</b>	Stainless steel AISI304 / AISI316L				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>LUMINAIRE FLUX<sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)</th> <th>RATED LED FLUX<sup>2</sup> (Tj=85°C, 4000K, lm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7075</td> <td>7330</td> </tr> </tbody> </table>	LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (Tj=85°C, 4000K, lm)	7075	7330
LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 4000K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (Tj=85°C, 4000K, lm)				
7075	7330				
9 LED	<table border="1"> <thead> <tr> <th>RATED LUMINAIRE POWER<sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)</th> <th>RATED LED POWER<sup>2</sup> (Tj=85°C, W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>76</td> <td>71</td> </tr> </tbody> </table>	RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> (Tj=85°C, W)	76	71
RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> (Tj=85°C, W)				
76	71				



All the published photometrical data has been obtained according to EN 13032-1

1:Rated data obtained in laboratory  
2:Rated data extrapolated from LED manufacturer datasheet.

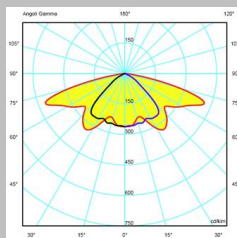


TLED 0B TA 4.5-54 PLM		
MAIN CHARACTERISTICS		
<b>Applications</b>	Tunnel interior lighting	
<b>Optical group</b>	TA: Symmetrical optic for permanent lighting Colour temperature:3950K CRI typical: 65 Photobiological safety class: EXEMPT GROUP LED source efficiency:117 lm/W @ 525mA, T <sub>J</sub> =25°C	
<b>Tilt angle</b>	0°	
<b>Insulation class</b>	II	
<b>Protection degree</b>	IP66	
<b>Mounting</b>	Fixing brackets not included.	
<b>Gear tray</b>	Integrated inside the luminaire.	
<b>Dimensions and weight</b>	See the drawing 9.6Kg	
<b>Main reference standards</b>	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3	
ELECTRICAL CHARACTERISTICS		
<b>Rated voltage</b>	230V 50/60Hz	
<b>LED current</b>	525mA	
<b>Power factor</b>	>0.9 (at full load)	
<b>Control system</b>	PLM: Single point communication module.	
<b>Connection</b>	Branch wiring Cable FTG10-OM1 0.6/1kV 2x1.5 L. 1mt Plug not included	
<b>Surge protection</b>	Pulse withstand 4kV differential/common mode.	
<b>Optical unit lifetime (Ta=25°C)</b>	≥70.000hr B20L80 (including critical failures) ≥90.000hr L80, TM-21	
MATERIALS		
<b>Fixing</b>	-	
<b>Heat sink</b>	Extruded aluminium	
<b>Body</b>	Die-cast aluminium	
<b>Optic</b>	Polycarbonate, metalized high efficiency	
<b>Screen</b>	Flat tempered glass 4mm thickness	
<b>Cable gland</b>	Plastic, M20x1.5 - IP68	
<b>Screen safety hooks</b>	Extruded aluminium	
54 LED	LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 3950K, lm)	RATED LED FLUX <sup>2</sup> (T <sub>J</sub> =25°C, 3950K, lm)
	7700	9720
	RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> ( Ta=25°C, V <sub>in</sub> =230Vac, W)	RATED LED POWER <sup>2</sup> ( T <sub>J</sub> =25°C, W)
	87	83

Values indicated in this technical sheet are to be considered rated values subject to a tolerance of +/-5%.

1:Rated data obtained in laboratory

2:Rated data extrapolated from LED manufacturer datasheet.



All the published photometrical data has been obtained according to EN 13032-1



**Vedlegg 6**

**Datablad for ny**

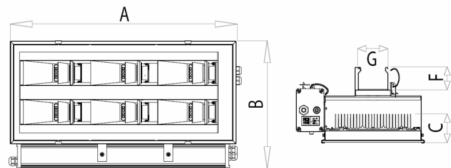
**LED-armatur**



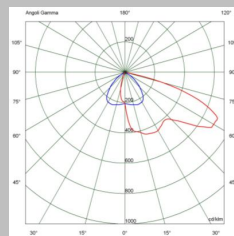




Product Sheet



TLED 2F AS	
MAIN CHARACTERISTICS	
<b>Applications</b>	Tunnel entry/exit lighting
<b>Optical group</b>	AS-6M: Asymmetrical optic max peak 65° narrow.
	AS-6W: Asymmetrical optic max peak 65° wide.
	AA-DX: Asymmetric optic (right).
	AA-SX: Asymmetric optic (left).
	Colour temperature: 5700K (4000K optional) CRI ≥ 70 Photobiological Safety Class: EXEMPT GROUP LED Source Efficiency: 140 lm/W @ 700mA, Tj=85°C, 5700K
<b>Tilt angle</b>	According to the light calculation.
<b>Insulation class</b>	II (optional)
<b>Impact protection</b>	IK08
<b>Protection degree</b>	IP66 totale
<b>Mounting</b>	Mounting system for cable channel with manual double closing-hook and safety lock. GxF: Upon request. (standard 100x75mm)
<b>Gear tray</b>	Separated from the optical unit. Not removable.
<b>Dimensions</b>	750x425x95mm (54 LED) – 19kg    390x425x95mm (18 LED) – 9kg
	580x425x95mm (36 LED) – 14kg    304x300x95mm (9/5 LED) – 6.5kg
<b>Main reference standards</b>	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3
ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
<b>Rated voltage</b>	220-240V 50/60Hz
<b>LED current</b>	525mA (Ta max 50°C) 700mA (Ta max 25°C)
<b>Power factor</b>	>0,9 (at full load)
<b>Control system</b>	F: Fixed, non dimmable. PLM: Single point communication module. DB: Dual power with control wire.
<b>Connection</b>	Branch wiring Cable FG7OM1 0.6/1kV 2x1.5mmq L.1.5mt Plug IEC309 2P+T 16A IP67 Other types of plugs and cables are available upon request.
<b>Surge protection</b>	Pulse withstand 4kV differential/common mode
<b>Optical unit lifetime (Ta=25°C)</b>	525mA
	≥70.000hr B20L80 (including critical failures) >80.000hr L80, TM21
	700mA
	≥50.000hr B20L80 (including critical failures) >80.000hr L80, TM21
MATERIALS	
<b>Fixing</b>	Stainless steel AISI 304 (AISI 316L upon request)
<b>Heat sink</b>	Extruded aluminium
<b>Body</b>	Stainless steel AISI304
<b>Optic</b>	High efficiency metalized aluminium
<b>Screen</b>	Flat tempered glass, 4mm
<b>Cable gland</b>	Nickel-brass M20x1.5 - IP68
<b>Screen safety hooks</b>	Stainless steel AISI304



All the published photometrical data has been obtained according to EN 13032-1



Product Sheet

The tables below describe the flux and output power of the available versions. These parameters are necessary in order to guarantee a correct comparison of the luminaire performance.

In particular, the luminaire efficiency (expressed in lm/W) must be calculated as the ratio between the output luminous flux of the luminaire and the power absorbed by the input power supply unit.

For the sake of completeness the tables also show the data of the nominal flow and power of the used LED.

LUMINAIRE FLUX <sup>1</sup> (Ta=25°C, 5700K, lm)		
N. LED	525mA	700mA
	AS-6W Optic	
5	3590	4500
9	6450	8090
18	13060	16190
36	26030	31930
54	38070	46460
N. LED	AS-6M Optic	
5	3630	4550
9	6530	8190
18	13210	16370
36	26320	32300
54	38510	46990
N. LED	AA-DX / SX Optic	
5	3530	4420
9	6340	7960
18	12840	15910
36	25580	31390
54	37420	45670

RATED LED FLUX <sup>2</sup> (Tj=85°C, 5700K, lm)	
525mA	700mA
4345	5500
7821	9900
15642	19800
31284	39600
46926	59400

RATED LUMINAIRE POWER <sup>1</sup> (Ta=25°C, Vin=230Vac, W) F and DA version at full load		
N. LED	525mA	700mA
	5	33
9	59	76
18	114	149
36	228	296
54	339	444

RATED LED POWER <sup>2</sup> (Tj=85°C, W)	
525mA	700mA
29	39
52	71
105	141
209	282
314	423

LUMINAIRE EFFICIENCY (Ta=25°C, lm/W)		
N. LED	525mA	700mA
	AS-6W Optic	
5	109	107
9	109	106
18	115	109
36	114	108
54	112	105
N. LED	AS-6M Optic	
5	110	108
9	111	108
18	116	110
36	115	109
54	114	106
N. LED	AA-DX / SX Optic	
5	107	105
9	107	105
18	113	107
36	112	106
54	110	103

Note: The characteristics of the product listed above are subjected to change. They will be confirmed in case of order.

Values indicated in this technical sheet are to be considered rated values subject to a tolerance of +/-5%.

1: Rated data obtained in laboratory  
2: Rated data extrapolated from LED manufacturer datasheet.

Multiplier to obtain the luminous flux as a function of Ta and Tk.

Ta (°C)	Multiplier
50	0.94
40	0.97
25	1.00
15	1.02
5	1.04
0	1.05
Tk (K)	Multiplier
3000 (F)	0.98
4000 (F)	0.98
5700 (F)	1.00

Multiplier to obtain the power as a function of Ta.

Ta (°C)	Multiplier
50	0.99
40	0.99
25	1.00
15	1.00
5	1.01
0	1.01

Legenda:

Ta = Ambient temperature.

Tk = Colour temperature.

Example of luminaire data calculation

Ta = 40°C

Tk = 5700K

18 LED, 525mA, Ottica SS-M

Flux: 13060x0.97x1.00 = 12668.2 lm

Power: 114x0.98 = 111.7W

Efficiency: 12668.2/111.7 = 113lm/W



Vedlegg 7

**Matlabskript for  
energiberegning**



```

tic
***** SETT DATO OG BEREGNINGSPERIODE *****
sett_aar = 2014;
sett_maaned = 01;
sett_dag = 1; % SKRIV 2 FOR HELG (gjelder avlesing av trafikdata)
sett_time = 0;
sett_minutt = 0;
sett_sekund = 0;
sett_beregningstid = datenum(0,0,1,0,0,0);
sett_start = datenum(sett_aar,sett_maaned,sett_dag,sett_time,sett_minutt,sett_sekund);
sett_slutt = sett_start + sett_beregningstid; % datenum(0,0,0,0,0,1); %???
trekker fra et sekund for at while-søyfen skal bli riktig
tid_natid = sett_start;
tid_datnummer = [sett_start,tid_natid,sett_slutt];
*****
***** SETT LENGDE, FARTSGRENSE, ÅDT OG ADAPTASJONSLUMINANS *****
tunnel_adt = 1500 % Velg 500, 1500, 4000, 8000 eller 12000 for riktige
trafikkdata
tunnel_lengde = 20001 % 500, 2001, 4001, 10001, 20001. LENGDEN KAN IKKE VERE
DELELIG MED 200!!! Bare legg til 1.
tunnel_fartsgrense = 80;
tunnel_adlum = 2900;
tunnel_fartsgrense_ms = tunnel_fartsgrense / 3.6;
responstid = 0; % Lysanleggets responstid kan legges inn om
ønskelig.
vedlikeholds faktor = 0.7; % Kan ikke endres med mindre armaturgrunnlaget for
LED endres. Må være den samme.
lyslengde_foran = 300; % Brukes evt for å ha annen adlum ved beregning av
fartsgrense_ms
lyslengde_bak = 100;
tunnel_lengde_tot = tunnel_lengde + lyslengde_foran + lyslengde_bak +
responstid * tunnel_fartsgrense_ms;
tunnel_antall_soner = round((tunnel_lengde_tot) / (tunnel_fartsgrense_ms)); %
Hvor mange soner tunnelen deles inn i. Kan ikke ha mindre nevner enn
fartsgrense_ms
tunnel_sone_lengde = (tunnel_lengde_tot) / tunnel_antall_soner; % Må bli
store enn fartsgrense_ms
tunnel_tid_gjennomkjøring = round((tunnel_lengde_tot) /
tunnel_fartsgrense_ms); % 300 og 100 evt lys foran og bak bil.
*****
***** BASEVERDIER *****
% Faste verdier for beregning av forskjellige tannler
tunnel_adlum_base = 2900; % Brukes evt for å ha annen adlum ved beregning av
helt andre tunneler.
tunnel_lengde_base = 1290; % Brukes som til utregningen av antall armaturer i
kortere tunneler.
tunnel_lengde_mellom_arm_indre_base = 8.5;
tunnel_lengde_mellom_arm_indre_base_konvsjonell = 11.1;
tunnel_adt_base = 10000; % Brukes som til utregningen av effekt på
armaturene i kortere tunneler.
tunnel_fartsgrense_base = 80;
tunnel_fartsgrense_ms_base = tunnel_fartsgrense_base / 3.6; % Beregning av
effekt på armaturer.
*****
***** FINNER LUMINANSKRAV *****
% INDRÉ SONE
if tunnel_adt < 2500
lum_krav_handbok_indre = 0.5; % I absolutt luminans. Skal trekkes fra
luminans i innkjøringssonene
lum_krav_nattfaktor = 1;
else
tunnel_adt < 8000
lum_krav_handbok_indre = 2;
lum_krav_nattfaktor = 0.5;
else
lum_krav_handbok_indre = 4;
lum_krav_nattfaktor = 0.5;
end
% INNKJØRINGSSONENE
% if tunnel_adt < 2500 % Dette kravet skal fjernes
% arm_faktor_effekt_adt_inn_beregning = 50 / (tunnel_adlum_base * 0.05);
% Basen endres ved endring av armaturgrunnlag
% lum_krav_handbok_inn = 0.03;
if tunnel_adt < 4000
arm_faktor_effekt_adt_inn_beregning = 3 / 5;
lum_krav_handbok_inn = 0.03;
else
arm_faktor_effekt_adt_inn_beregning = 1;
lum_krav_handbok_inn = 0.05;
end
***** LESE TRAFIKKDATA *****
if sett_dag == 1
if tunnel_adt == 500
trafikk_innfilid_syd = fopen('500 felt 1.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('500 felt 2.txt','rt');
elseif tunnel_adt == 1500
trafikk_innfilid_syd = fopen('1500 felt 1.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('1500 felt 2.txt','rt');
elseif tunnel_adt == 4000
trafikk_innfilid_syd = fopen('4000 felt 1.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('4000 felt 2.txt','rt');
elseif tunnel_adt == 8000
trafikk_innfilid_syd = fopen('8000 felt 1.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('8000 felt 2.txt','rt');
else % Bare 12000 som er igjen
trafikk_innfilid_syd = fopen('12000 felt 1.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('12000 felt 2.txt','rt');
end
else % helg
if tunnel_adt == 500
trafikk_innfilid_syd = fopen('500 felt 1 helg.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('500 felt 2 helg.txt','rt');
elseif tunnel_adt == 1500
trafikk_innfilid_syd = fopen('1500 felt 1 helg.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('1500 felt 2 helg.txt','rt');
elseif tunnel_adt == 4000
trafikk_innfilid_syd = fopen('4000 felt 1 helg.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('4000 felt 2 helg.txt','rt');
elseif tunnel_adt == 8000
trafikk_innfilid_syd = fopen('8000 felt 1 helg.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('8000 felt 2 helg.txt','rt');
else % Bare 12000 som er igjen
trafikk_innfilid_syd = fopen('12000 felt 1 helg.txt','rt');
trafikk_innfilid_nord = fopen('12000 felt 2 helg.txt','rt');
end
end
trafikk_innlesfil_syd = textscan(trafikk_innfilid_syd, '%s', ...
'Delimiter',' ','CollectOutput',1, 'HeaderLines',1);
trafikk_innfilid_syd = trafikk_innlesfil_syd(1,1);
*****
***** LESE LUMINANSDATA *****
if sett_dag == 1
[adlum_kun_tall, adlum_kun_tekst, adlum_alt] =
xlswread('adaptasjonsluminans_ukedag.xlsx');
else
[adlum_kun_tall, adlum_kun_tekst, adlum_alt] =
xlswread('adaptasjonsluminans_helg.xlsx');
end
*****
***** ARMATURDATA *****
% Faktor for justering av effekt
arm_faktor_effekt_adlum_inn = tunnel_adlum / tunnel_adlum_base; % BYTT UT
BASISetallet ved bytte av armaturgrunnlag; Kun spennende ved testing av helt
andre tunneler.
arm_faktor_effekt_adt_inn = arm_faktor_effekt_adt_inn_beregning; % Beregnes
litt lenger oppe
% arm_faktor_effekt_fart_inn = 1; % Brukes ikke
% Faktor for justering av antall og plassering av armaturer
arm_faktor_effekt_indre = lum_krav_handbok_indre / 4; % Armaturene er fra enn
tunnel med ÅDT > 8000, deles derfor på 4.
*****
% Brukes for konvsjonelt belysningsanlegg
% Utregning av hvor mange armaturer indre sone skal bestå av for det
% konvsjonelle systemet
arm_antall_indre_null_konvsjonell = ceil(tunnel_lengde /
tunnel_lengde_mellom_arm_indre_base); % tunnel_lengde_mellom_arm_indre_base
arm_antall_indre_normal_maks_null_konvsjonell = ceil(tunnel_fartsgrense_ms
* 2 * 60 / tunnel_lengde_mellom_arm_indre_base);
arm_antall_indre_normal_maks_60_null_konvsjonell =
ceil(tunnel_fartsgrense_ms * 60 / tunnel_lengde_mellom_arm_indre_base);
arm_antall_indre_half_null_konvsjonell =
arm_antall_indre_normal_maks_null_konvsjonell;
arm_antall_indre_half_60_null_konvsjonell =
arm_antall_indre_normal_maks_60_null_konvsjonell;
if tunnel_adt > 2500
if tunnel_lengde > (tunnel_fartsgrense_ms * 2 * 60) % Da skal de midtre
armaturene ha halv effekt
arm_effekt_indre_null_konvsjonell = [(116 116/2) *
arm_faktor_effekt_indre;
arm_antall_indre_null_konvsjonell];
[arm_antall_indre_normal_maks_null_konvsjonell
arm_antall_indre_half_null_konvsjonell];
arm_tot_eff_indre_null_konvsjonell =
dot(arm_effekt_indre_null_konvsjonell,
arm_antall_indre_null_konvsjonell);
else
arm_effekt_indre_null_konvsjonell = 116 * arm_faktor_effekt_indre;
arm_antall_indre_null_konvsjonell =
arm_antall_indre_normal_maks_null_konvsjonell;
arm_tot_eff_indre_null_konvsjonell =
arm_antall_indre_null_konvsjonell;
end
*****
% Brukes for LED med levetidstyring
arm_effekt_indre_levetid = arm_effekt_indre_null;
arm_antall_indre_levetid = arm_antall_indre_null;
arm_tot_eff_indre_levetid = arm_tot_eff_indre_null;
*****
% Brukes for LED med reduksjonskurve
arm_effekt_indre_kurve = arm_effekt_indre_null;
arm_antall_indre_kurve = arm_antall_indre_null;
arm_tot_eff_indre_kurve = arm_tot_eff_indre_null;
*****
% BRUKES DE TO UNDER HER!?!?!
% Brukes for LED med enkel styring dersom det kommer bil fra hver side
% gjeldende sekund
arm_effekt_indre_enkel = arm_effekt_indre_null;
arm_antall_indre_enkel = arm_antall_indre_null;
arm_tot_eff_indre_enkel = arm_tot_eff_indre_null;
*****
% Disse brukes bare når tunnelen er mer enn 60 sek lang
arm_effekt_indre_enkel_60 = (87 87/2) * arm_faktor_effekt_indre;

```

```

arm_antall_indre_enkel_60 = (arm_antall_indre_normal_maks_60
arm_antall_indre_half_60);
arm_tot_eff_indre_enkel_60 = dot(arm_effekt_indre_enkel_60,
arm_antall_indre_enkel_60);

% Brukes for LED med full styring
arm_effekt_indre_full = (87/872) * arm_faktor_effekt_indre;
arm_antall_indre_full = arm_antall_indre;
arm_tot_eff_indre_full = arm_effekt_indre_full + arm_antall_indre_full;

% Innkjøringssonene for konvensjonell anlegg
arm_effekt_inn_konvensjonell = [440 275 115] * arm_faktor_effekt_adium_inn *
arm_faktor_effekt_adt_inn;
arm_antall_inn_konvensjonell = [43 8 13];
arm_tot_eff_inn_konvensjonell = dot(arm_effekt_inn_konvensjonell,arm_antall_inn_konvensjonell);

% Innkjøringssonene
arm_effekt_inn = [447 299 152] * arm_faktor_effekt_adium_inn *
arm_faktor_effekt_adt_inn;
arm_antall_inn = [46 1 2];
arm_tot_eff_inn = dot(arm_effekt_inn,arm_antall_inn);

% LESING AV ARMATURDATA LED FOR KJØRETØYSSTYRING
% Innkjøringssonene
[armaturliste_inn_kun_tall, armaturliste_inn_kun_tekst, armaturliste_inn_alt]
= xlsread('brekktunnelen_inn.xlsx');
armaturliste_inn = armaturliste_inn_kun_tall;
armaturliste_inn(:,1) = armaturliste_inn_kun_tall(:,1) *
arm_faktor_effekt_adium_inn + arm_faktor_effekt_adt_inn;

% Indre sone. Justeres for lengde på tunnel.
[armaturliste_indre_kun_tall, armaturliste_indre_kun_tekst,
armaturliste_indre_alt] = xlsread('brekktunnelen_indre.xlsx');
arm_tall_1 = length(armaturliste_indre_kun_tall);
teller_arm_1 = 0;
teller_arm_2 = 1;
armaturliste_indre = zeros(arm_antall_indre_full,3);
while teller_arm_1 < arm_antall_indre_full
    armaturliste_indre(teller_arm_2,1) = armaturliste_indre_kun_tall(1,1) *
    arm_faktor_effekt_indre;
    armaturliste_indre(1,2) = armaturliste_indre_kun_tall(1,2);
    armaturliste_indre(1,3) = armaturliste_indre_kun_tall(1,2);
    armaturliste_indre_kun_tall(1,2);
    if teller_arm_2 > 1
        armaturliste_indre(teller_arm_2,2) =
        armaturliste_indre(teller_arm_1,2) + armaturliste_indre_kun_tall(2,2) -
        armaturliste_indre_kun_tall(1,2);
        armaturliste_indre(teller_arm_2,3) =
        armaturliste_indre(teller_arm_1,3) - (armaturliste_indre_kun_tall(2,2) -
        armaturliste_indre_kun_tall(1,2));
    end
    teller_arm_1 = teller_arm_1 + 1;
    teller_arm_2 = teller_arm_2 + 1;
end
% Fjerner en armatur om det har blitt en for mye
if armaturliste_indre(length(armaturliste_indre),3) <= 0
    armaturliste_indre(length(armaturliste_indre),1) = 0;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% UTFYLNING AV SONEMATRISSE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
teller_arm_2 = 1; % Teller for armaturs avstand fra portal
teller_arm_3 = 1; % Teller for hvilken sone det sjekkes opp mot
teller_arm_4 = 1; % ??
while teller_arm_2 < sum(arm_antall_inn(:,1)) % gjøres for alle armaturene
    if (soneinndeling(teller_arm_3+1) - lyslengde_foran -
    armaturliste_inn(teller_arm_2,2)) >= 0
        armaturliste_inn(teller_arm_2,4) = soneinndeling(teller_arm_3);
        teller_arm_2 = teller_arm_2 + 1;
    else
        teller_arm_3 = teller_arm_3 + 1;
    end
end
% Bare fyller ut den siste
if (soneinndeling(teller_arm_3+1) - lyslengde_foran -
armaturliste_inn(teller_arm_2,2)) >= 0
    armaturliste_inn(teller_arm_2,4) = soneinndeling(teller_arm_3);
else
    armaturliste_inn(teller_arm_2,4) = soneinndeling(teller_arm_3+1);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
teller_1 = 1; % En teller for trafikkdata
teller_2_syd = 1; % En teller for trafikkdata
teller_2_nord = 1; % Samme for den andre kjøretretningen
teller_3 = 0; % En teller for trafikkdataloop. Verdien satt her har
ingen betydning
teller_4 = 1; % En teller for luminansdata indre sone
teller_5 = 1; % En teller for luminansdata indre sone
teller_6 = 1; % En teller for luminansdata innkjøringer
teller_soner_1_syd = 0; % En teller for hvor mange meter bilen har kjørt
fra første detektering
teller_soner_1_nord = 0;
teller_soner_2 = 1; % En teller for antall soner passert
teller_soner_3 = 0; % En teller for hvor mange soner som skal fylles ut
hvert sekund når bilen kommer i en ny sone
teller_soner_4 = 0; % En teller for å holder styr på hvilken sone bilen
har kommet til
teller_soner_5 = 0; % En teller for hvor mange soner som skal fylles ut
hvert sekund når bilen ferdig er i samme sone
teller_soner_6 = 0; % En teller for å starte utfyllingen i første kolonne
istedenfor der den forrige bilen var
teller_soner_7 = 0; % En teller for å fiske når bilen kjører ut av
tunnelen
beregningmatrise = zeros(sett_beregningstid * 24 *
3600,8*tunnel_antall_soner); % Gir en matrise med antall rader lik sekunder
beregningstid, og 8*soner kolonner
beregningmatrise_konvensjonell = zeros(sett_beregningstid * 24 * 3600,5); %
matrise for konvensjonell styring av lysst
trafikk_intidspunkt_syd(7000,1)=1; % Bare lager en stor nok
matrise for intidspunktene
trafikk_intidspunkt_nord(7000,1)=1;
bil_inn_syd = zeros(sett_beregningstid * 24 * 3600,tunnel_antall_soner +
11(tunnel_sone_lengde / tunnel_fartsgrense_ms));
bil_inn_nord = zeros(sett_beregningstid * 24 * 3600,tunnel_antall_soner +
ceil(tunnel_sone_lengde / tunnel_fartsgrense_ms));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
while tid_datonummer(2) < tid_datonummer(3)
    natid_mellomlagring = tid_natid;
    % SYD %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

soneinndeling = zeros(tunnel_antall_soner+1,1);
teller_matriser_1 = 1;
teller_matriser_2 = tunnel_antall_soner+2;
teller_matriser_3 = 0;
while teller_matriser_1 < teller_matriser_2
    soneinndeling(teller_matriser_1) = 0 + teller_matriser_3;
    teller_matriser_3 = teller_matriser_3 + tunnel_sone_lengde;
    teller_matriser_1 = teller_matriser_1 + 1;
end
% Fordeling av soner for halvering av effekt etter 60 sekunder
% Sjekker om det er fler soner enn tilsvarende 60 sek inn i tunnelen, og
mindre eller lik 120 sek gjennom tunnelen
if (tunnel_antall_soner > ceil((60 + lyslengde_foran/tunnel_fartsgrense_ms) *
tunnel_fartsgrense_ms / tunnel_sone_lengde)) && (tunnel_antall_soner <=
ceil((120 + (lyslengde_foran + lyslengde_bak)/tunnel_fartsgrense_ms) *
tunnel_fartsgrense_ms / tunnel_sone_lengde))
    soner_foran_60 = ceil((60 + lyslengde_foran/tunnel_fartsgrense_ms) *
tunnel_fartsgrense_ms / tunnel_sone_lengde);
    soner_mellom_120 = 0;
    soner_siste_60 = tunnel_antall_soner - soner_foran_60;
    % MÅ være nok til å fylle første og siste 60 sekunder, samt en ekstra sone.
elseif tunnel_antall_soner > (1 + ceil((120 + (lyslengde_foran +
lyslengde_bak)/tunnel_fartsgrense_ms) * tunnel_fartsgrense_ms /
tunnel_sone_lengde))
    soner_foran_60 = ceil((60 + lyslengde_foran/tunnel_fartsgrense_ms) *
tunnel_fartsgrense_ms / tunnel_sone_lengde);
    soner_mellom_120 = tunnel_antall_soner - (ceil((120 + (lyslengde_foran +
lyslengde_bak)/tunnel_fartsgrense_ms) * tunnel_fartsgrense_ms /
tunnel_sone_lengde));
    soner_siste_60 = tunnel_antall_soner - soner_mellom_120 - soner_foran_60;
else % Under 60 sek
    soner_foran_60 = tunnel_antall_soner;
    soner_mellom_120 = 0;
    soner_siste_60 = 0;
end
sonefordeling = [soner_foran_60 soner_mellom_120 soner_siste_60];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% UTFYLNING AV ARMATURMATRISSE FOR INDRE SONE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
teller_arm_2 = 1; % Teller for hvor mange armaturer som har fått sone
teller_arm_3 = 1; % Teller for armaturs avstand fra portal
teller_arm_4 = 1; % Teller for hvilken sone det sjekkes opp mot
teller_arm_5 = 1; % ??
while teller_arm_2 < arm_antall_indre_full % gjøres for alle armaturene
    if (soneinndeling(teller_arm_3+1) - lyslengde_foran -
    armaturliste_indre(teller_arm_2,2)) >= 0
        armaturliste_indre(teller_arm_2,4) = soneinndeling(teller_arm_3);
        teller_arm_2 = teller_arm_2 + 1;
    else
        teller_arm_3 = teller_arm_3 + 1;
    end
end
% Bare fyller ut den siste
if (soneinndeling(teller_arm_3+1) - lyslengde_foran -
armaturliste_indre(teller_arm_2,2)) >= 0
    armaturliste_indre(teller_arm_2,4) = soneinndeling(teller_arm_3);
else
    armaturliste_indre(teller_arm_2,4) = soneinndeling(teller_arm_3+1);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% UTFYLNING AV ARMATURMATRISSE FOR INNKJØRINGSSONENE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
teller_arm_1 = 1; % Teller for hvor mange armaturer som har fått sone
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if strcmp(datestr(tid_natid),trafikk_intidspunkt_syd(teller_2_syd,1)) %
Kommer det bil dette sekundet?
    teller_3 = 0;
    teller_soner_2 = 1;
    teller_soner_4 = 1;
    teller_soner_5 = 1;
    % Mens den fortsatt ikke har passert gjennom tunnelen:
    while tid_natid <= datenum(trafikk_intidspunkt_syd(teller_2_syd,1))
    + datenum(0,0,0,0,tunnel_tid_gjennomkjoring)
        tid_natid = tid_natid + datenum(0,0,0,0,1); %
Ett sekund går
        beregningmatrise(teller_1 + teller_3, 2) = 1; %
Vanlig utfylling av "bil-syd?"-kolonnen
        teller_soner_1_syd = teller_3 + tunnel_fartsgrense_ms; %
Så mange meter er kjørt for gjeldende bil fra første detektering
        % Her legges det inn bil i sine minst X meter foran bilen
        if (soneinndeling(teller_soner_2) <= teller_soner_1_syd) &&
        (teller_soner_1_syd < soneinndeling(teller_soner_2 + 1)) % Har bilen kommet
inn i en ny sone:
            teller_soner_3 = 0;
            while teller_soner_3 < lyslengde_foran/tunnel_sone_lengde %
Fyller ut riktig antall soner belyst horisontalt i matrisa
                bil_inn_syd(teller_1 + teller_3,teller_soner_4 +
teller_soner_3) = 1;
                %Når bilen faktisk har kjørt inn i tunnelen
                if teller_soner_1_syd > (lyslengde_foran + responstid *
tunnel_fartsgrense_ms)
                    bil_inn_syd(teller_1 + teller_3,teller_soner_4 +
teller_soner_3 - ceil(lyslengde_bak / tunnel_sone_lengde)) = 1;
                end
                teller_soner_3 = teller_soner_3 + 1;
            end
            teller_soner_4 = teller_soner_4 + 1;
            teller_soner_2 = teller_soner_2 + 1;
        else
            teller_soner_5 = 0;
            teller_soner_6 = teller_soner_4 - 2;
            % Skjer kun rett før bilen kjører ut
            if teller_soner_1_syd > (tunnel_lengde_tot -
tunnel_sone_lengde)
                teller_soner_7 = 1;
                while teller_soner_7 <= ceil(tunnel_sone_lengde /
tunnel_fartsgrense_ms)
                    bil_inn_syd(teller_1 + teller_3,1 + teller_soner_6 +
teller_soner_5 + teller_soner_7) = 1;
                    teller_soner_7 = teller_soner_7 + 1;
                end
            else
                while teller_soner_5 < lyslengde_foran/tunnel_sone_lengde
                    bil_inn_syd(teller_1 + teller_3,1 + teller_soner_6 +
teller_soner_5) = 1;
                    teller_soner_5 = teller_soner_5 + 1;
                end
            end
            teller_3 = teller_3 + 1;
        end
        teller_soner_1_syd = 0;
        tid_natid = natid_mellomlagring;
        teller_2_syd = teller_2_syd + 1;
    else
        teller_2_syd = teller_2_syd;
    end
    % NORD %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```



```

effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,1) = arm_tot_eff_inn *
beregningmatrise(teller_7,2) * beregningmatrise(teller_7,4);

% Full kjoretøysstyring - ikke ferdig.
teller_effekt_2 = 1; % Teller antall soner som er fylt ut
teller_effekt_1 = 1; % Teller hvilken armatur som sjekkes
while teller_effekt_2 < (length(sonainndeling) - 1)
    if teller_effekt_1 > length(armaturliste_inn)
        teller_effekt_2 = length(sonainndeling);
    elseif armaturliste_inn(teller_effekt_1,4) ==
sonainndeling(teller_effekt_2)
        effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,1) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,1) + bil_inn_syd(teller_7,teller_effekt_2)
* armaturliste_inn(teller_effekt_1,1) * beregningmatrise(teller_7,4);
        teller_effekt_1 = teller_effekt_1 + 1;
    else
        teller_effekt_2 = teller_effekt_2 + 1;
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%% INDRE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Konvensjonell styring av konvensjonelle armaturer
effekt_hvert_sek_konvensjonell_null(teller_7,2) =
arm_tot_eff_indre_null_konvensjonell *
beregningmatrise_konvensjonell(teller_7,4);

% Konvensjonell styring av LED
effekt_hvert_sek_led_null(teller_7,2) = arm_tot_eff_indre_null *
beregningmatrise_konvensjonell(teller_7,4);

% Konvensjonell styring av LED samt levetidsjustering
effekt_hvert_sek_led_levetid(teller_7,2) = vedlikeholdsfaktor *
arm_tot_eff_indre_null * beregningmatrise_konvensjonell(teller_7,4);

% Kun reduksjonskurve - ferdig?
effekt_hvert_sek_led_kurve(teller_7,2) = arm_tot_eff_indre_kurve *
beregningmatrise(teller_7,5);

% Enkel kjoretøysstyring - ferdig?
if tunnel_adt < 2500 % Da kan ikke belysningen halveres etter 60 sek.
    if (beregningmatrise(teller_7,3) == 1) ||
(beregningmatrise(teller_7,3) == 1)
        % Full belysning på alle armaturer
        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) = arm_tot_eff_indre_enkel
* beregningmatrise(teller_7,5); % Armatureffektene er ikke justert når ådt <
2500
    else
        % Null effekt
        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) = 0;
    end
else
    if (beregningmatrise(teller_7,2) == 1) &&
(beregningmatrise(teller_7,3) == 1)
        % full belysning på alle armaturer som vanlig. trenger ikke ha
med
        % "1" som faktor fordi det allerede er sjekket.
        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) = arm_tot_eff_indre_enkel
* beregningmatrise(teller_7,5); % Armatureffektene er justert når ådt < 2500
og over 120 sek.
    elseif beregningmatrise(teller_7,2) == 1 && kun bil fra syd
        % halv effekt etter 60 sek fra syd
        if tunnel_lengde > 60 * tunnel_fartsgrense_ms

```

matbakskript.docx

2015-02-12

```

        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) =
arm_tot_eff_indre_enkel_60 * beregningmatrise(teller_7,5); % Halv effekt
etter 60 sek
    else
        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) =
arm_tot_eff_indre_enkel * beregningmatrise(teller_7,5); % Halv effekt
etter 120 sek
    end
elseif beregningmatrise(teller_7,2) == 1
    % halv effekt etter 60 sek fra nord
    if tunnel_lengde > 60 * tunnel_fartsgrense_ms
        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) =
arm_tot_eff_indre_enkel_60 * beregningmatrise(teller_7,5); % Halv effekt
etter 60 sek
    else
        effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) =
arm_tot_eff_indre_enkel * beregningmatrise(teller_7,5); % Halv effekt
etter 120 sek
    end
else % Null effekt
    effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,2) = 0;
end

% Full kjoretøysstyring - ferdig?
teller_effekt_2 = 1; % Teller antall soner som er fylt ut
teller_effekt_1 = 1; % Teller hvilken armatur som sjekkes
if tunnel_adt < 2500 % ingen armaturer skal ha halv effekt
    while teller_effekt_2 < (length(sonainndeling) - 1)
        if teller_effekt_1 == length(sonainndeling)
            teller_effekt_2 = length(sonainndeling);
        elseif armaturliste_indre(teller_effekt_1,4) ==
sonainndeling(teller_effekt_2)
            % Er det "bil" i samme sone samtidig? Skal da ikke være
overlappende bidrag
            if bil_inn_syd(teller_7,teller_effekt_2) == 1 &&
bil_inn_nord(teller_7,tunnel_antall_soner + 2 - teller_effekt_2) == 1
                bil_inn_begge(teller_7,teller_effekt_2) = 1;
            else
                effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
                % Om det ikke er det er det bare å kjøre på som vanlig?
            elseif bil_inn_syd(teller_7,teller_effekt_2) == 1
                effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
            elseif bil_inn_nord(teller_7,tunnel_antall_soner + 2 -
teller_effekt_2) == 1
                effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
            end
        % effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + bil_inn_syd(teller_7,teller_effekt_2)
* armaturliste_indre(teller_effekt_1,1) + beregningmatrise(teller_7,5);
        % effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) +
bil_inn_nord(teller_7,teller_effekt_2) *
armaturliste_indre(teller_effekt_1,1) + beregningmatrise(teller_7,5);
        teller_effekt_1 = teller_effekt_1 + 1;
    else
        teller_effekt_2 = teller_effekt_2 + 1;
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%% NORD %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Konvensjonell styring av konvensjonelle armaturer
effekt_hvert_sek_konvensjonell_null(teller_7,3) =
arm_tot_eff_inn_konvensjonell * beregningmatrise_konvensjonell(teller_7,5);

% Konvensjonell styring av LED
effekt_hvert_sek_led_null(teller_7,3) = arm_tot_eff_inn *
beregningmatrise_konvensjonell(teller_7,5);

% Konvensjonell styring av LED samt levetidsjustering
effekt_hvert_sek_led_levetid(teller_7,3) = vedlikeholdsfaktor *
arm_tot_eff_inn * beregningmatrise_konvensjonell(teller_7,5);

% Kun reduksjonskurve - ferdig?
effekt_hvert_sek_led_kurve(teller_7,3) = arm_tot_eff_inn *
beregningmatrise(teller_7,6);

% Enkel kjoretøysstyring - ferdig?
effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_7,3) = arm_tot_eff_inn *
beregningmatrise(teller_7,3) * beregningmatrise(teller_7,6);

% Full kjoretøysstyring - ferdig?
teller_effekt_2 = 1; % Teller antall soner som er fylt ut
teller_effekt_1 = 1; % Teller hvilken armatur som sjekkes
while teller_effekt_2 < (length(sonainndeling) - 1)
    if teller_effekt_1 == length(armaturliste_inn)
        teller_effekt_2 = length(sonainndeling);
    elseif armaturliste_inn(teller_effekt_1,4) ==
sonainndeling(teller_effekt_2)
        effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,3) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,3) +
bil_inn_nord(teller_7,teller_effekt_2) * armaturliste_inn(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,6);
        teller_effekt_1 = teller_effekt_1 + 1;
    else
        teller_effekt_2 = teller_effekt_2 + 1;
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%% TOTALT %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
effekt_hvert_sek_konvensjonell_null(teller_8,4) =
effekt_hvert_sek_konvensjonell_null(teller_8,1) +
effekt_hvert_sek_konvensjonell_null(teller_8,2) +
effekt_hvert_sek_konvensjonell_null(teller_8,3);
effekt_hvert_sek_led_null(teller_8,4) =
effekt_hvert_sek_led_null(teller_8,1) + effekt_hvert_sek_led_null(teller_8,2)
+ effekt_hvert_sek_led_null(teller_8,3);
effekt_hvert_sek_led_levetid(teller_8,4) =
effekt_hvert_sek_led_levetid(teller_8,1) +
effekt_hvert_sek_led_levetid(teller_8,2) +
effekt_hvert_sek_led_levetid(teller_8,3);
effekt_hvert_sek_led_kurve(teller_8,4) =
effekt_hvert_sek_led_kurve(teller_8,1) +
effekt_hvert_sek_led_kurve(teller_8,2) +
effekt_hvert_sek_led_kurve(teller_8,3);
effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_8,4) =
effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_8,1) +
effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_8,2) +
effekt_hvert_sek_led_enkel(teller_8,3);

```

matbakskript.docx

2015-02-12

```

end
else
    while teller_effekt_2 < (length(sonainndeling) - 1) % Denne kan brukes
til å kjøre gjennom alle sonene
        if teller_effekt_1 == length(sonainndeling) % Avslutter når alle
armaturene er sjekket.
            teller_effekt_2 = length(sonainndeling);
        elseif armaturliste_indre(teller_effekt_1,4) ==
sonainndeling(teller_effekt_2) % Ligger armaturen i sone teller_effekt_2?
            % Er det "bil" i samme sone samtidig? Kun halvering av effekt
i midten.
            if bil_inn_syd(teller_7,teller_effekt_2) == 1 &&
bil_inn_nord(teller_7,tunnel_antall_soner + 2 - teller_effekt_2) == 1
                bil_inn_begge(teller_7,teller_effekt_2) = 1;
            if teller_effekt_2 <= sonefordeling(1) % full effekt
                effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
            elseif teller_effekt_2 <= sonefordeling(2) % Dette er
midten og ganges med 0.5
                effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + 0.5 *
armaturliste_indre(teller_effekt_1,1) * beregningmatrise(teller_7,5);
            else % Så er det slutten. Ingen halvering siden bil i
sone teller_effekt_2 fra begge sider
                effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
            end
            % Om det ikke er det er det bare å kjøre på som vanlig?
            elseif bil_inn_syd(teller_7,teller_effekt_2) == 1
                if teller_effekt_2 <= sonefordeling(1) % full effekt
                    effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
                else % teller_effekt_2 <= sum(sonefordeling(:)) % halvere
effekten i midten OG SLUTTEN
                    effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + 0.5 *
armaturliste_indre(teller_effekt_1,1) * beregningmatrise(teller_7,5);
                end
            elseif bil_inn_nord(teller_7,tunnel_antall_soner + 2 -
teller_effekt_2) == 1
                if teller_effekt_2 <= sonefordeling(1) % full effekt
                    effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + armaturliste_indre(teller_effekt_1,1)
* beregningmatrise(teller_7,5);
                elseif teller_effekt_2 <= sum(sonefordeling(:)) % halvere
effekten i midten OG SLUTTEN
                    effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) =
effekt_hvert_sek_led_full(teller_7,2) + 0.5 *
armaturliste_indre(teller_effekt_1,1) * beregningmatrise(teller_7,5);
                end
            else
                teller_effekt_1 = teller_effekt_1 + 1;
            else
                teller_effekt_2 = teller_effekt_2 + 1; % Gjeldende armatur lå
ikke i sonen, sjekker neste.
            end
        end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

matbakskript.docx

2015-02-12

LVIII

matbakskript.docx

2015-02-12







**Vedlegg 8**

**Skript for tilfeldig trafikk**



```

tic
A1 = (0:3599)';
A2 = (3600:3599+3600*1)';
A3 = (3600*2:3599+3600*2)';
A4 = (3600*3:3599+3600*3)';
A5 = (3600*4:3599+3600*4)';
A6 = (3600*5:3599+3600*5)';
A7 = (3600*6:3599+3600*6)';
A8 = (3600*7:3599+3600*7)';
A9 = (3600*8:3599+3600*8)';
A10 = (3600*9:3599+3600*9)';
A11 = (3600*10:3599+3600*10)';
A12 = (3600*11:3599+3600*11)';
A13 = (3600*12:3599+3600*12)';
A14 = (3600*13:3599+3600*13)';
A15 = (3600*14:3599+3600*14)';
A16 = (3600*15:3599+3600*15)';
A17 = (3600*16:3599+3600*16)';
A18 = (3600*17:3599+3600*17)';
A19 = (3600*18:3599+3600*18)';
A20 = (3600*19:3599+3600*19)';
A21 = (3600*20:3599+3600*20)';
A22 = (3600*21:3599+3600*21)';
A23 = (3600*22:3599+3600*22)';
A24 = (3600*23:3599+3600*23)';
B1 = zeros(3000,1);
B2 = zeros(3000,1);
B3 = zeros(3000,1);
B4 = zeros(3000,1);
B5 = zeros(3000,1);
B6 = zeros(3000,1);
B7 = zeros(3000,1);
B8 = zeros(3000,1);
B9 = zeros(3000,1);
B10 = zeros(3000,1);
B11 = zeros(3000,1);
B12 = zeros(3000,1);
B13 = zeros(3000,1);
B14 = zeros(3000,1);
B15 = zeros(3000,1);
B16 = zeros(3000,1);
B17 = zeros(3000,1);
B18 = zeros(3000,1);
B19 = zeros(3000,1);
B20 = zeros(3000,1);
B21 = zeros(3000,1);
B22 = zeros(3000,1);
B23 = zeros(3000,1);
B24 = zeros(3000,1);
r1 = zeros(1000,1);
m = 1200;
count = 1;
r1(count);
for i = 1 : m
    n = 1;
    S1 = setdiff(A1,B1);
    S2 = setdiff(A2,B2);
    S3 = setdiff(A3,B3);
    S4 = setdiff(A4,B4);
    S5 = setdiff(A5,B5);
    S6 = setdiff(A6,B6);
    S7 = setdiff(A7,B7);
    S8 = setdiff(A8,B8);
    S9 = setdiff(A9,B9);
    S10 = setdiff(A10,B10);
    S11 = setdiff(A11,B11);
    S12 = setdiff(A12,B12);
    S13 = setdiff(A13,B13);
    S14 = setdiff(A14,B14);
    S15 = setdiff(A15,B15);
    S16 = setdiff(A16,B16);
    S17 = setdiff(A17,B17);
    S18 = setdiff(A18,B18);
    S19 = setdiff(A19,B19);
    S20 = setdiff(A20,B20);
    S21 = setdiff(A21,B21);
    S22 = setdiff(A22,B22);
    S23 = setdiff(A23,B23);
    S24 = setdiff(A24,B24);
    r1(count) = S1(randi(numel(S1),n,1));
    r2(count) = S2(randi(numel(S2),n,1));
    r3(count) = S3(randi(numel(S3),n,1));
    r4(count) = S4(randi(numel(S4),n,1));
    r5(count) = S5(randi(numel(S5),n,1));
    r6(count) = S6(randi(numel(S6),n,1));
    r7(count) = S7(randi(numel(S7),n,1));
    r8(count) = S8(randi(numel(S8),n,1));
    r9(count) = S9(randi(numel(S9),n,1));
    r10(count) = S10(randi(numel(S10),n,1));
    r11(count) = S11(randi(numel(S11),n,1));
    r12(count) = S12(randi(numel(S12),n,1));
    r13(count) = S13(randi(numel(S13),n,1));
    r14(count) = S14(randi(numel(S14),n,1));
    r15(count) = S15(randi(numel(S15),n,1));
    r16(count) = S16(randi(numel(S16),n,1));
    r17(count) = S17(randi(numel(S17),n,1));
    r18(count) = S18(randi(numel(S18),n,1));
    r19(count) = S19(randi(numel(S19),n,1));
    r20(count) = S20(randi(numel(S20),n,1));
    r21(count) = S21(randi(numel(S21),n,1));
    r22(count) = S22(randi(numel(S22),n,1));
    r23(count) = S23(randi(numel(S23),n,1));
    r24(count) = S24(randi(numel(S24),n,1));
    B1(count) = r1(count);
    B2(count) = r2(count);
    B3(count) = r3(count);
    B4(count) = r4(count);
    B5(count) = r5(count);
    B6(count) = r6(count);
    B7(count) = r7(count);
    B8(count) = r8(count);
    B9(count) = r9(count);
    B10(count) = r10(count);
    B11(count) = r11(count);
    B12(count) = r12(count);
    B13(count) = r13(count);
    B14(count) = r14(count);
    B15(count) = r15(count);
    B16(count) = r16(count);
    B17(count) = r17(count);
    B18(count) = r18(count);
    B19(count) = r19(count);
    B20(count) = r20(count);
    B21(count) = r21(count);
    B22(count) = r22(count);
    B23(count) = r23(count);
    B24(count) = r24(count);
    l = 1 + 3;
end
toc

B24(count) = r24(count);
B1(count + 1) = r1(count) + 1;
B2(count + 1) = r2(count) + 1;
B3(count + 1) = r3(count) + 1;
B4(count + 1) = r4(count) + 1;
B5(count + 1) = r5(count) + 1;
B6(count + 1) = r6(count) + 1;
B7(count + 1) = r7(count) + 1;
B8(count + 1) = r8(count) + 1;
B9(count + 1) = r9(count) + 1;
B10(count + 1) = r10(count) + 1;
B11(count + 1) = r11(count) + 1;
B12(count + 1) = r12(count) + 1;
B13(count + 1) = r13(count) + 1;
B14(count + 1) = r14(count) + 1;
B15(count + 1) = r15(count) + 1;
B16(count + 1) = r16(count) + 1;
B17(count + 1) = r17(count) + 1;
B18(count + 1) = r18(count) + 1;
B19(count + 1) = r19(count) + 1;
B20(count + 1) = r20(count) + 1;
B21(count + 1) = r21(count) + 1;
B22(count + 1) = r22(count) + 1;
B23(count + 1) = r23(count) + 1;
B24(count + 1) = r24(count) + 1;
B1(count + 2) = r1(count) + 2;
B2(count + 2) = r2(count) + 2;
B3(count + 2) = r3(count) + 2;
B4(count + 2) = r4(count) + 2;
B5(count + 2) = r5(count) + 2;
B6(count + 2) = r6(count) + 2;
B7(count + 2) = r7(count) + 2;
B8(count + 2) = r8(count) + 2;
B9(count + 2) = r9(count) + 2;
B10(count + 2) = r10(count) + 2;
B11(count + 2) = r11(count) + 2;
B12(count + 2) = r12(count) + 2;
B13(count + 2) = r13(count) + 2;
B14(count + 2) = r14(count) + 2;
B15(count + 2) = r15(count) + 2;
B16(count + 2) = r16(count) + 2;
B17(count + 2) = r17(count) + 2;
B18(count + 2) = r18(count) + 2;
B19(count + 2) = r19(count) + 2;
B20(count + 2) = r20(count) + 2;
B21(count + 2) = r21(count) + 2;
B22(count + 2) = r22(count) + 2;
B23(count + 2) = r23(count) + 2;
B24(count + 2) = r24(count) + 2;
count = count + 3;
end

l = 1;
for j = 1 : m
    passeringer(j,1) = B1(l);
    passeringer(j,2) = B2(l);
    passeringer(j,3) = B3(l);
    passeringer(j,4) = B4(l);
    passeringer(j,5) = B5(l);
    passeringer(j,6) = B6(l);
    passeringer(j,7) = B7(l);
    passeringer(j,8) = B8(l);
    passeringer(j,9) = B9(l);
    passeringer(j,10) = B10(l);
    passeringer(j,11) = B11(l);
    passeringer(j,12) = B12(l);
    passeringer(j,13) = B13(l);
    passeringer(j,14) = B14(l);
    passeringer(j,15) = B15(l);
    passeringer(j,16) = B16(l);
    passeringer(j,17) = B17(l);
    passeringer(j,18) = B18(l);
    passeringer(j,19) = B19(l);
    passeringer(j,20) = B20(l);
    passeringer(j,21) = B21(l);
    passeringer(j,22) = B22(l);
    passeringer(j,23) = B23(l);
    passeringer(j,24) = B24(l);
    l = l + 3;
end
toc

passeringer(j,10) = B10(l);
passeringer(j,11) = B11(l);
passeringer(j,12) = B12(l);
passeringer(j,13) = B13(l);
passeringer(j,14) = B14(l);
passeringer(j,15) = B15(l);
passeringer(j,16) = B16(l);
passeringer(j,17) = B17(l);
passeringer(j,18) = B18(l);
passeringer(j,19) = B19(l);
passeringer(j,20) = B20(l);
passeringer(j,21) = B21(l);
passeringer(j,22) = B22(l);
passeringer(j,23) = B23(l);
passeringer(j,24) = B24(l);
l = l + 3;
end
toc

```



Vedlegg 9

Passeringer ÅDT 1 500 ett

felt



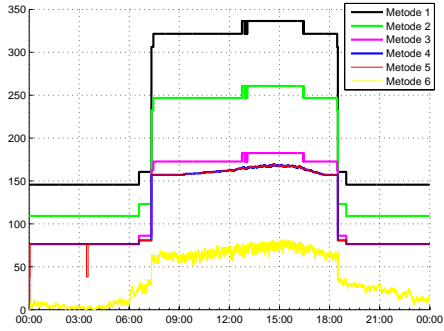


00:21:08	07:19:09	08:49:42	10:19:50	11:37:24	12:43:26	13:44:45	14:45:29	15:37:21	16:18:03	17:17:34	18:26:41	19:51:36	22:22:29
00:34:57	07:20:49	08:50:11	10:21:35	11:37:29	12:43:52	13:45:44	14:45:31	15:37:54	16:19:02	17:20:14	18:26:59	19:53:31	22:23:26
00:41:41	07:20:56	08:52:52	10:24:57	11:38:12	12:44:55	13:46:09	14:46:04	15:38:07	16:19:37	17:20:43	18:29:05	19:54:21	22:27:55
00:45:27	07:27:18	08:54:00	10:25:33	11:38:46	12:45:00	13:46:38	14:46:21	15:39:18	16:20:16	17:21:43	18:30:18	19:54:52	22:29:49
00:47:13	07:28:15	08:58:35	10:25:42	11:39:52	12:46:52	13:47:38	14:46:54	15:40:29	16:21:52	17:21:57	18:32:51	19:55:07	22:35:28
01:20:28	07:32:14	08:59:24	10:25:50	11:40:04	12:48:13	13:48:02	14:46:58	15:41:13	16:22:54	17:22:07	18:34:23	19:59:10	22:37:45
01:22:59	07:32:55	08:59:39	10:25:52	11:40:53	12:48:28	13:48:34	14:47:39	15:41:51	16:23:10	17:22:59	18:35:29	20:01:52	22:40:48
01:36:32	07:33:57	09:00:45	10:26:41	11:41:08	12:49:16	13:50:10	14:47:59	15:41:59	16:23:17	17:23:04	18:36:22	20:02:56	22:42:05
02:44:37	07:35:39	09:00:51	10:29:16	11:41:35	12:50:02	13:50:25	14:48:02	15:42:08	16:23:55	17:25:56	18:36:53	20:03:15	22:46:03
02:49:28	07:38:13	09:01:48	10:30:52	11:42:23	12:50:13	13:52:46	14:48:54	15:42:34	16:26:42	17:26:01	18:38:45	20:06:48	22:47:24
03:16:14	07:38:26	09:03:49	10:32:14	11:45:29	12:50:47	13:52:49	14:50:20	15:42:48	16:26:54	17:27:24	18:38:54	20:08:46	22:48:41
03:31:45	07:42:34	09:05:35	10:32:27	11:46:26	12:51:54	13:52:59	14:51:43	15:43:00	16:27:03	17:28:15	18:42:17	20:13:57	22:53:52
04:42:00	07:46:01	09:05:38	10:33:32	11:47:23	12:51:01	13:53:50	14:52:07	15:43:22	16:27:14	17:30:10	18:43:18	20:14:18	23:03:31
04:42:33	07:46:15	09:06:41	10:35:22	11:47:40	12:52:24	13:54:39	14:55:14	15:43:45	16:27:17	17:31:20	18:43:33	20:15:44	23:10:23
04:46:33	07:47:12	09:11:13	10:37:12	11:47:50	12:53:03	13:55:37	14:55:27	15:44:17	16:29:37	17:32:43	18:43:35	20:16:22	23:11:56
05:01:36	07:48:12	09:12:07	10:39:46	11:48:00	12:54:36	13:56:42	14:56:06	15:45:39	16:31:23	17:32:45	18:43:45	20:19:33	23:39:57
05:23:04	07:48:43	09:12:19	10:39:49	11:50:05	12:55:01	13:57:05	14:57:17	15:46:00	16:34:21	17:35:34	18:47:38	20:20:01	23:41:19
05:30:48	07:49:45	09:16:48	10:40:07	11:50:08	12:56:33	13:58:53	14:58:12	15:48:47	16:34:55	17:35:39	18:50:19	20:20:27	23:46:45
05:31:55	07:50:23	09:21:12	10:40:34	11:50:21	12:57:13	14:00:05	14:58:40	15:49:00	16:35:58	17:36:10	18:50:58	20:24:38	23:50:38
05:32:04	07:52:09	09:21:17	10:41:40	11:52:04	12:57:25	14:01:35	14:59:48	15:49:03	16:36:22	17:36:26	18:53:19	20:24:46	23:54:35
05:41:15	07:52:45	09:21:42	10:43:29	11:52:36	12:59:55	14:02:31	14:59:59	15:49:53	16:36:29	17:36:32	18:54:27	20:25:36	23:55:30
05:56:14	07:53:01	09:22:15	10:44:43	11:55:12	13:00:56	14:03:25	15:00:59	15:49:56	16:36:44	17:40:06	18:55:00	20:26:18	
05:56:41	07:55:04	09:23:29	10:44:49	11:57:10	13:01:26	14:03:33	15:02:14	15:50:05	16:37:36	17:40:30	18:55:24	20:26:27	
06:05:22	07:56:21	09:27:25	10:46:52	11:57:49	12:53:09	14:07:01	15:02:38	15:52:30	16:39:26	17:40:39	18:56:48	20:28:43	
06:15:07	07:58:35	09:27:30	10:47:43	11:57:58	13:07:38	14:11:16	15:02:44	15:52:42	16:39:31	17:41:40	18:57:09	20:35:03	
06:15:37	08:00:58	09:29:43	10:48:40	12:00:49	13:07:45	14:12:19	15:03:04	15:52:55	16:39:49	17:42:23	18:58:04	20:37:25	
06:21:31	08:06:12	09:30:16	10:50:35	12:00:59	13:07:56	14:13:10	15:03:11	15:53:14	16:40:42	17:43:38	18:59:32	20:37:37	
06:21:58	08:06:36	09:30:36	10:52:01	12:01:35	13:08:26	14:13:59	15:03:47	15:54:42	16:41:08	17:43:43	19:02:42	20:39:34	
06:24:38	08:07:26	09:30:42	10:54:44	12:02:05	13:08:48	14:15:08	15:06:19	15:54:43	16:41:49	17:44:31	19:04:48	20:42:50	
06:26:17	08:09:13	09:31:23	10:55:43	12:02:09	13:12:37	14:15:30	15:06:20	15:55:43	16:43:09	17:45:00	19:04:56	20:42:57	
06:33:00	08:10:42	09:33:09	10:56:32	12:03:18	13:13:29	14:15:48	15:09:04	15:56:51	16:43:23	17:47:05	19:06:49	20:43:00	
06:36:05	08:10:48	09:33:26	10:57:02	12:03:32	13:13:54	14:15:57	15:09:26	15:57:35	16:43:30	17:48:39	19:07:48	20:50:03	
06:37:30	08:11:05	09:35:48	10:57:24	12:09:04	13:14:40	14:17:48	15:10:32	15:57:47	16:43:36	17:48:45	19:12:19	20:51:06	
06:40:12	08:11:08	09:36:24	11:01:30	12:09:36	13:18:07	14:18:44	15:11:40	15:57:52	16:45:20	17:48:57	19:13:06	20:56:01	
06:41:20	08:11:41	09:37:08	11:03:16	12:09:39	13:19:10	14:18:53	15:11:52	15:59:37	16:46:13	17:49:19	19:14:42	20:56:34	
06:43:11	08:12:16	09:37:09	11:04:08	12:09:58	13:19:54	14:18:54	15:11:59	15:59:38	16:47:55	17:49:42	19:16:59	21:00:48	
06:48:05	08:12:31	09:40:02	11:06:49	12:11:00	13:20:27	14:20:38	15:12:53	16:00:07	16:48:57	17:52:08	19:18:47	21:07:25	
06:48:42	08:13:02	09:41:01	11:10:49	12:12:17	13:21:08	14:20:58	15:16:12	16:03:22	16:49:36	17:56:21	19:21:17	21:13:07	
06:49:03	08:14:00	09:42:18	11:11:19	12:16:57	13:22:15	14:21:18	15:17:50	16:03:43	16:50:34	17:56:24	19:21:46	21:14:21	
06:49:11	08:15:26	09:43:50	11:12:31	12:17:42	13:23:06	14:24:14	15:18:20	16:04:20	16:51:20	17:56:27	19:22:14	21:15:17	
06:52:36	08:15:58	09:44:09	11:13:09	12:19:10	13:23:31	14:24:19	15:20:12	16:05:04	16:52:29	17:59:58	19:22:50	21:17:36	
06:53:45	08:16:09	09:45:43	11:13:22	12:19:49	13:23:43	14:27:08	15:24:06	16:05:05	16:54:12	18:00:46	19:22:57	21:26:04	
06:53:53	08:17:46	09:48:44	11:14:13	12:20:09	13:23:58	14:27:16	15:25:34	16:06:14	16:54:20	18:00:49	19:24:04	21:29:49	
06:55:34	08:23:10	09:50:03	11:14:19	12:20:46	13:24:15	14:27:53	15:26:21	16:06:44	16:55:26	18:01:11	19:26:09	21:30:25	
06:55:37	08:26:29	09:50:06	11:15:18	12:22:10	13:25:16	14:29:22	15:27:00	16:06:56	16:56:58	18:01:57	19:27:12	21:32:22	
07:00:04	08:28:53	09:50:36	11:16:44	12:22:30	13:25:54	14:29:56	15:27:32	16:07:04	16:57:59	18:03:04	19:28:55	21:34:00	
07:00:40	08:29:18	09:53:17	11:17:16	12:23:17	13:27:12	14:30:17	15:28:19	16:07:11	17:00:37	18:04:17	19:29:25	21:35:25	
07:00:54	08:31:58	09:57:19	11:17:31	12:28:50	13:28:21	14:30:19	15:29:07	16:08:52	17:00:50	18:05:25	19:29:30	21:35:49	
07:01:24	08:32:20	09:57:38	11:18:06	12:32:07	13:29:04	14:33:42	15:29:18	16:09:51	17:02:56	18:06:49	19:30:39	21:36:35	
07:04:01	08:32:43	10:00:36	11:20:36	12:32:08	13:30:20	14:34:09	15:30:46	16:10:33	17:08:19	18:07:04	19:31:33	21:40:07	
07:04:17	08:36:59	10:01:54	11:22:50	12:36:05	13:30:38	14:35:18	15:31:04	16:10:47	17:08:59	18:11:02	19:33:11	21:40:19	
07:05:13	08:37:25	10:04:13	11:25:34	12:36:37	13:31:58	14:35:36	15:31:22	16:10:54	17:10:08	18:12:09	19:33:17	21:42:58	
07:05:37	08:38:22	10:06:49	11:27:34	12:36:52	13:32:48	14:35:48	15:32:15	16:11:11	17:11:49	18:13:49	19:34:13	21:47:38	
07:09:59	08:39:26	10:06:54	11:28:58	12:39:18	13:34:44	14:36:32	15:33:19	16:11:18	17:13:37	18:15:23	19:34:30	21:49:09	
07:10:28	08:40:44	10:08:48	11:30:44	12:39:38	13:36:10	14:37:34	15:33:34	16:13:18	17:15:26	18:15:37	19:36:53	21:52:07	
07:10:51	08:40:52	10:09:02	11:31:07	12:39:58	13:36:24	14:40:18	15:34:39	16:14:04	17:16:05	18:19:30	19:36:56	21:58:57	
07:13:01	08:40:56	10:09:13	11:31:09	12:41:48	13:39:53	14:40:32	15:34:40	16:16:15	17:16:26	18:20:11	19:37:25	21:59:15	
07:14:50	08:44:14	10:11:07	11:31:46	12:41:58	13:40:49	14:40:44	15:35:53	16:17:21	17:16:42	18:20:23	19:45:04	22:01:30	
07:15:14	08:44:43	10:11:26	11:35:09	12:42:14	13:41:36	14:44:05	15:36:32	16:17:31	17:16:45	18:23:07	19:46:34	22:06:00	

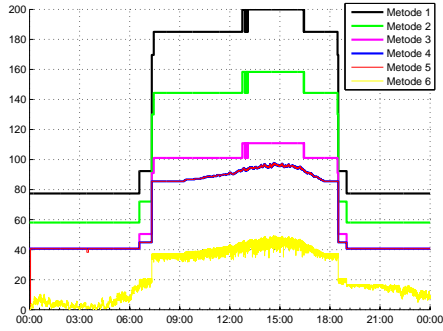


Vedlegg 10

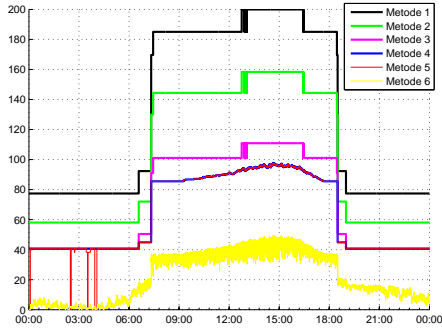
# Beregnete lastkurver



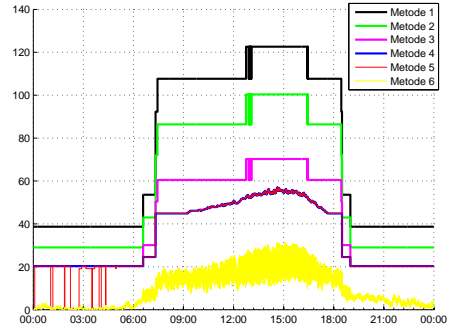
Ukedag separat 20 000 m ÅDT 12 000



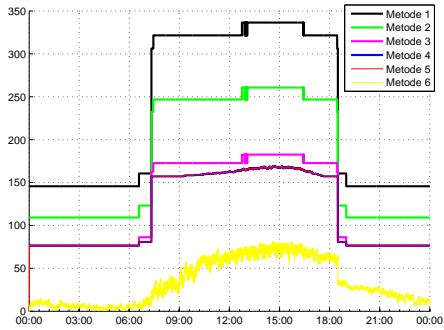
Ukedag 20 000 m ÅDT 12 000



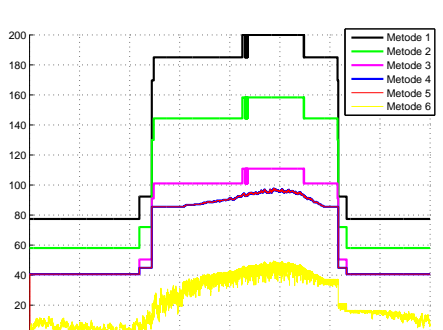
Ukedag 20 000 m ÅDT 8 000



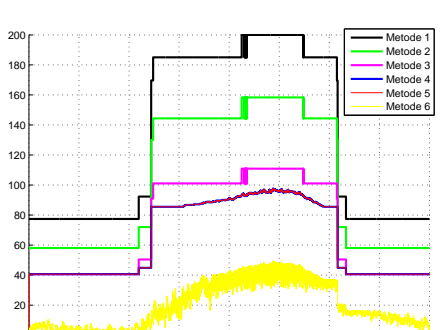
Ukedag 20 000 m ÅDT 4 000



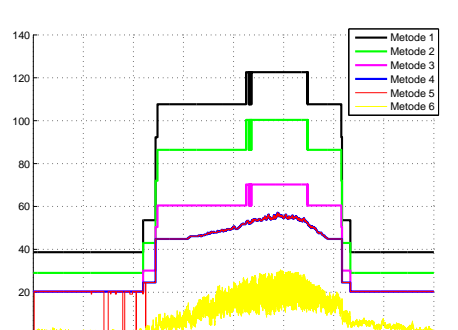
Helgedag separat 20 000 m ÅDT  
12 000



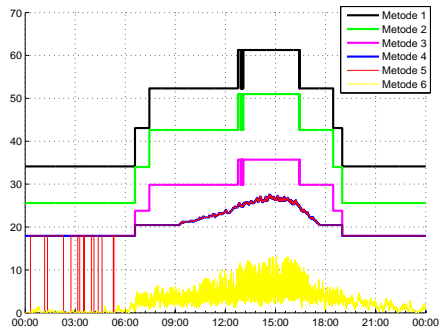
Helgedag 20 000 m ÅDT 12 000



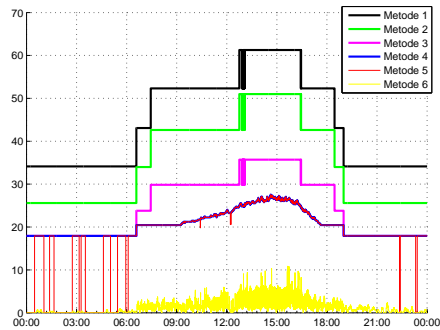
Helgedag 20 000 m ÅDT 8 000



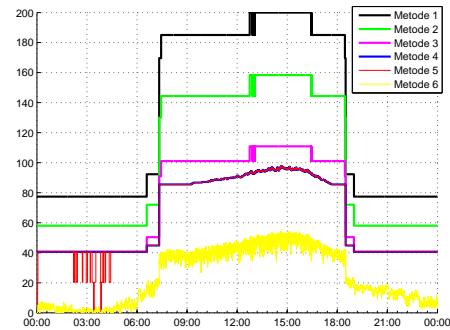
Helgedag 20 000 m ÅDT 4 000



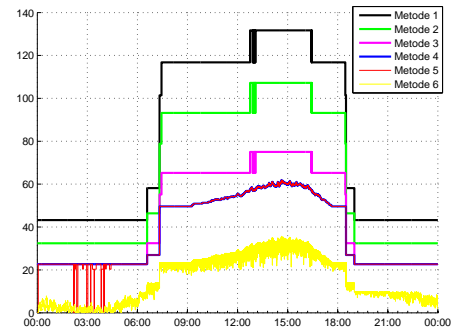
Ukedag 20 000 m ÅDT 1 500



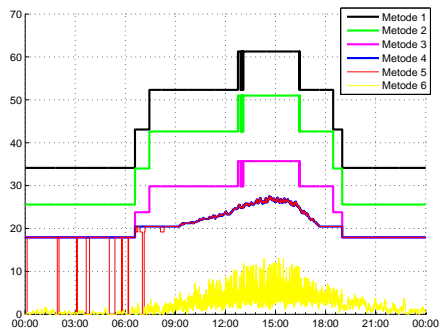
Ukedag 20 000 m ÅDT 500



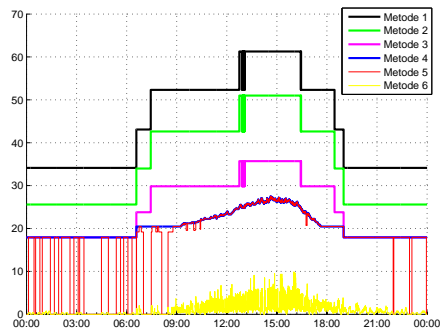
Ukedag separat 10 000 m ÅDT 12 000



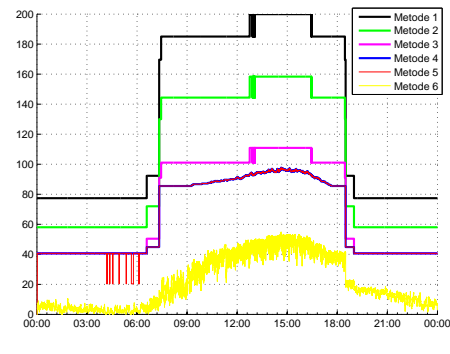
Ukedag 10 000 m ÅDT 12 000



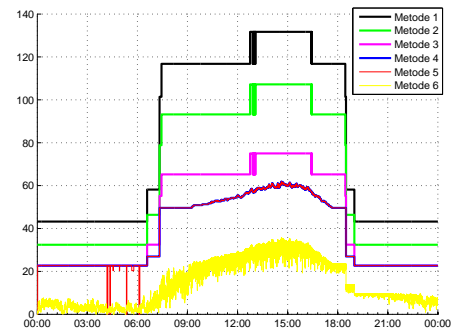
Helgedag 20 000 m ÅDT 1 500



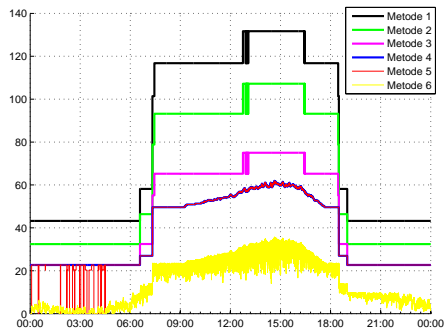
Helgedag 20 000 m ÅDT 500



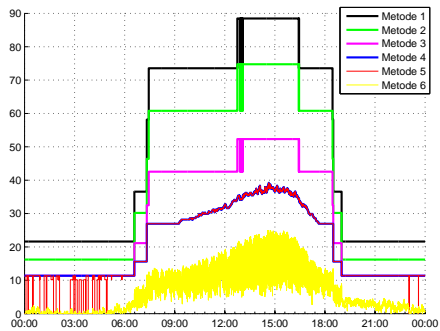
Helgedag separat 10 000 m ÅDT  
12 000



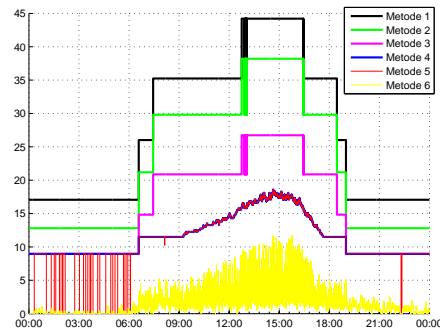
Helgedag 10 000 m ÅDT 12 000



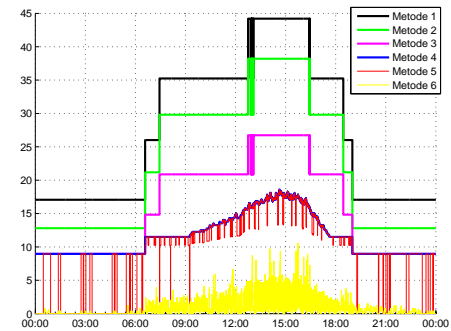
Ukedag 10 000 m ÅDT 8 000



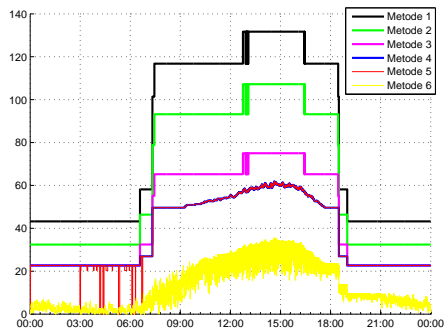
Ukedag 10 000 m ÅDT 4 000



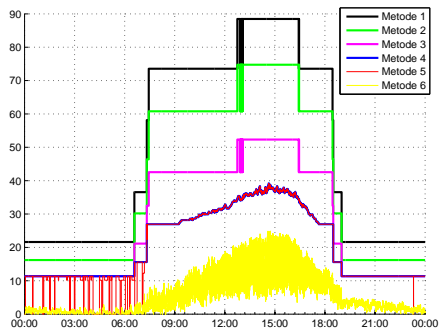
Ukedag 10 000 m ÅDT 1 500



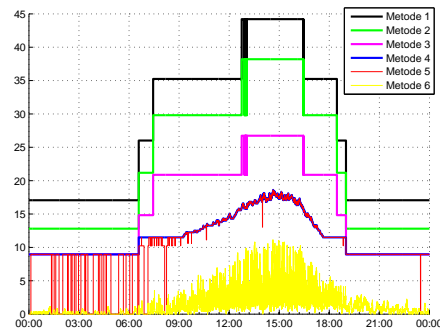
Ukedag 10 000 m ÅDT 500



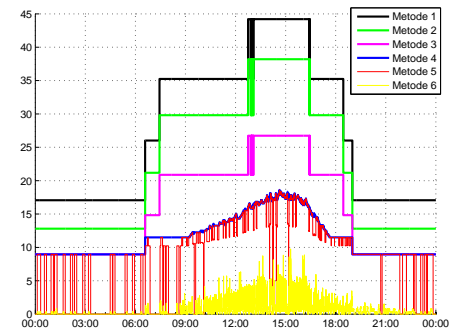
Helgedag 10 000 m ÅDT 8 000



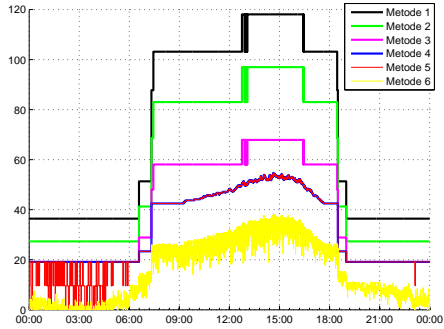
Helgedag 10 000 m ÅDT 4 000



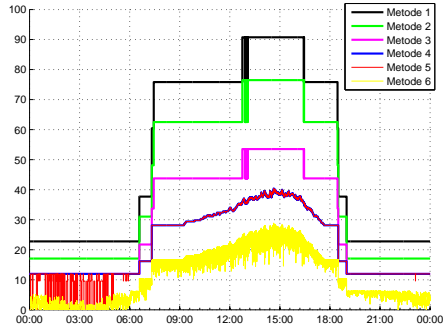
Helgedag 10 000 m ÅDT 1 500



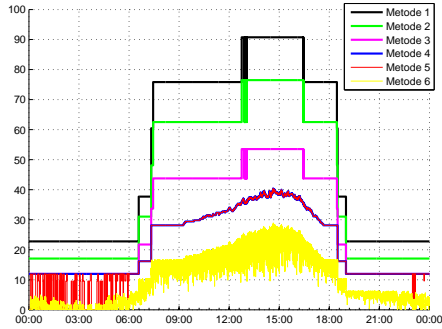
Helgedag 10 000 m ÅDT 500



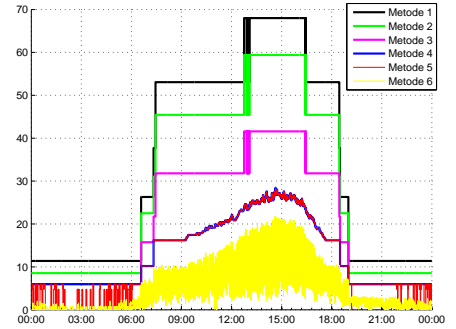
Ukedag separat 4 000 m ÅDT 12 000



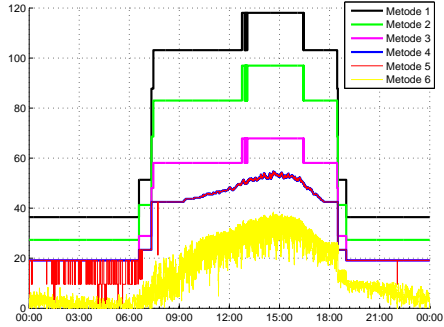
Ukedag 4 000 m ÅDT 12 000



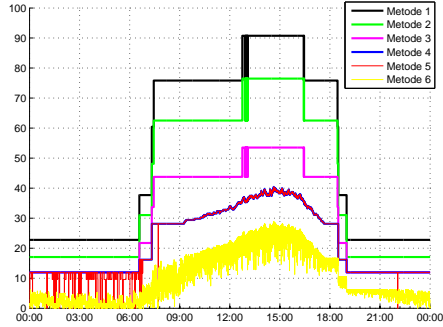
Ukedag 4 000 m ÅDT 8 000



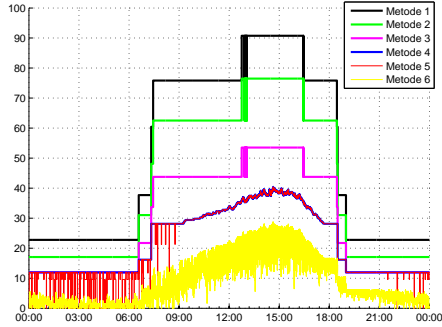
Ukedag 4 000 m ÅDT 4 000



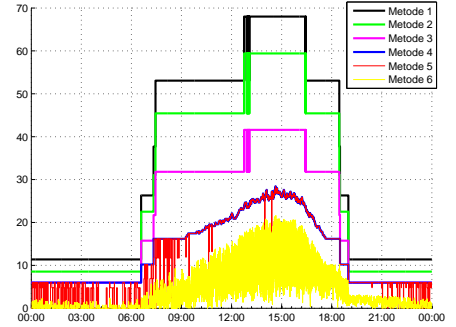
Helgedag separat 4 000 m ÅDT 12 000



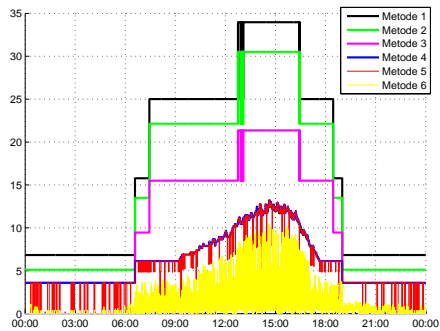
Helgedag 4 000 m ÅDT 12 000



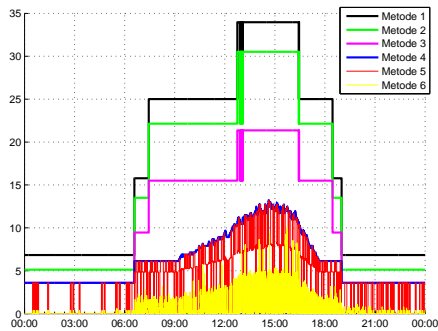
Helgedag 4 000 m ÅDT 8 000



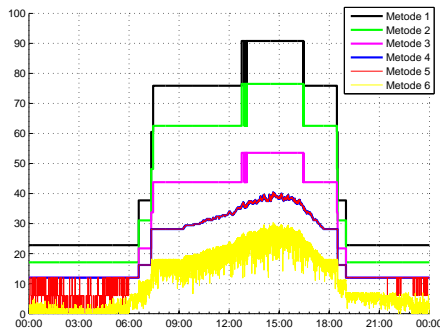
Helgedag 4 000 m ÅDT 4 000



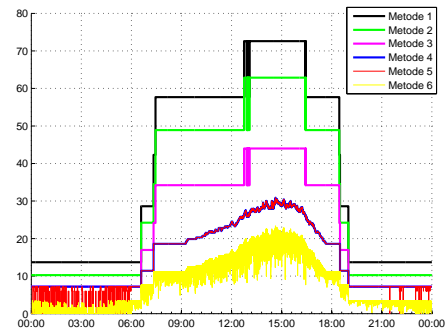
Ukedag 4 000 m ÅDT 1 500



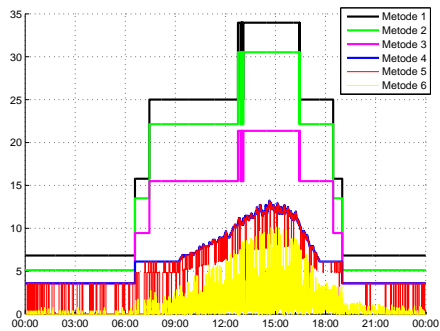
Ukedag 4 000 m ÅDT 500



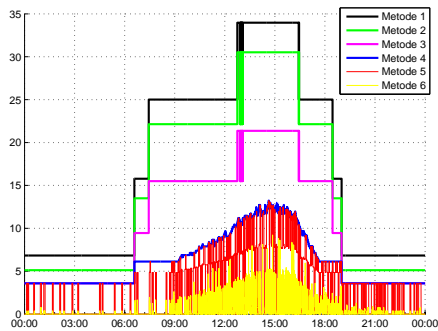
Ukedag separat 2 000 m ÅDT 12 000



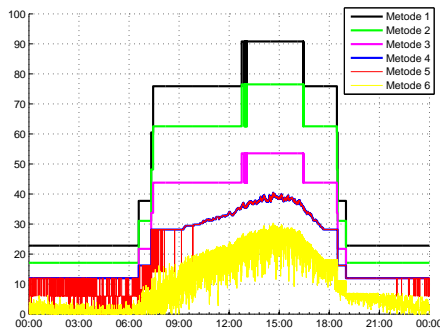
Ukedag 2 000 m ÅDT 12 000



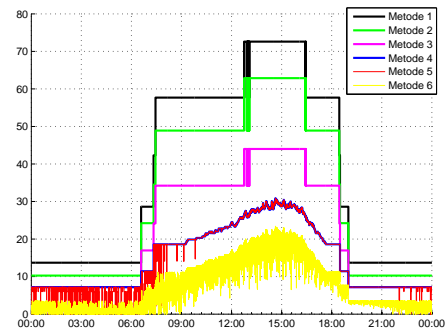
Helgedag 4 000 m ÅDT 1500



Helgedag 4 000 m ÅDT 500

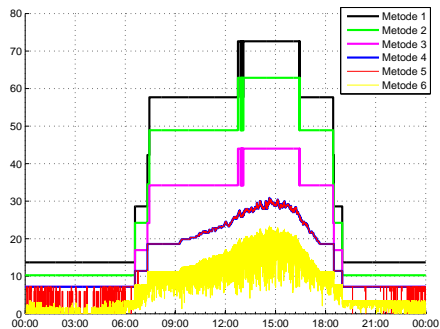


Helgedag separat 2 000 m ÅDT 12 000

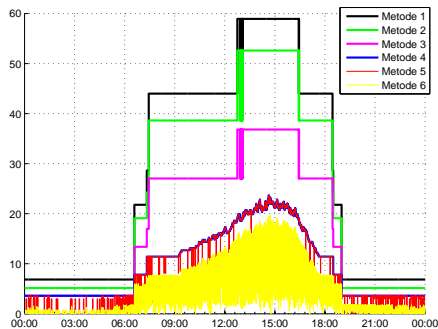


Helgedag 2 000 m ÅDT 12 000

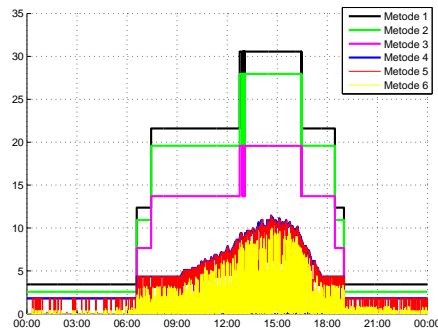




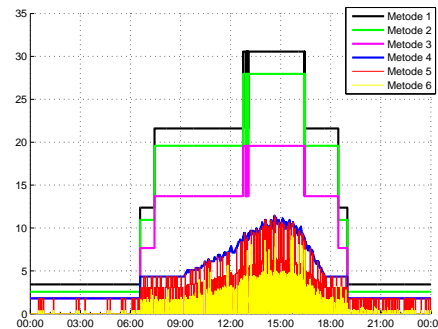
Ukedag 2 000 m ÅDT 8 000



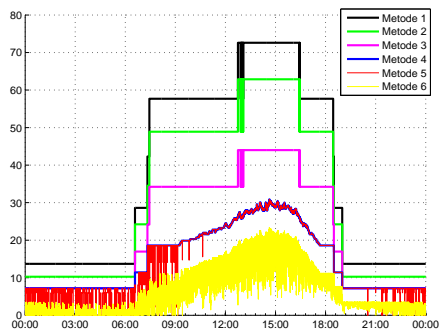
Ukedag 2 000 m ÅDT 4 000



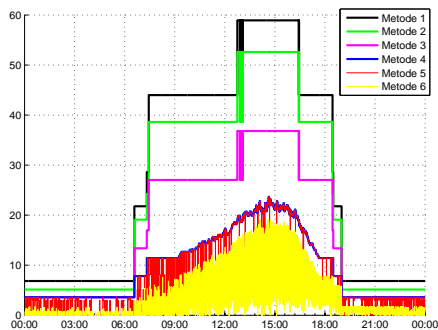
Ukedag 2 000 m ÅDT 1 500



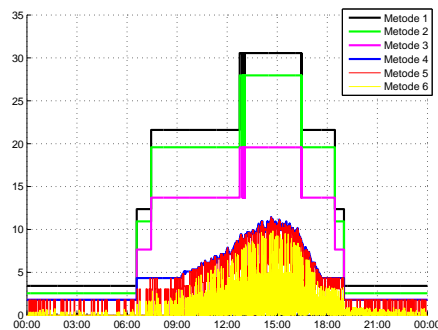
Ukedag 2 000 m ÅDT 500



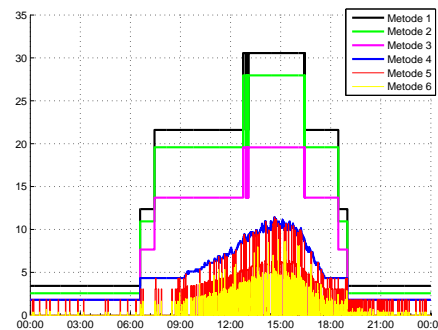
Helgedag 2 000 m ÅDT 8 000



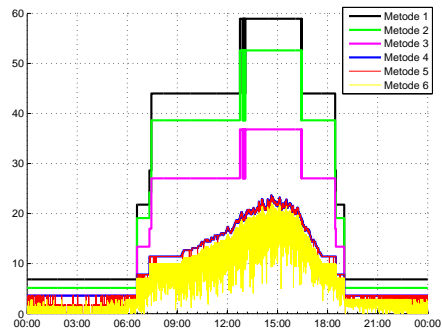
Helgedag 2 000 m ÅDT 4 000



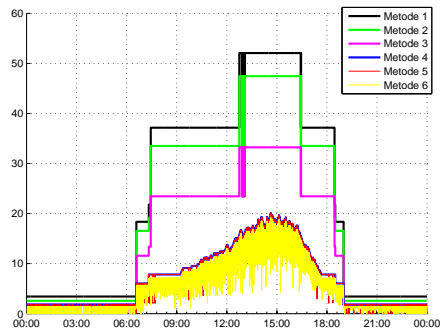
Helgedag 2 000 m ÅDT 1 500



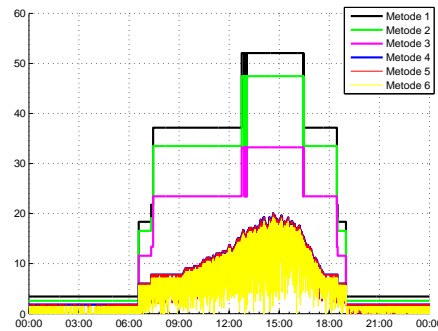
Helgedag 2 000 m ÅDT 500



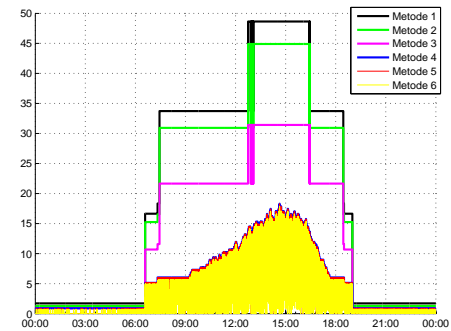
Ukedag separat 500 m ÅDT 12 000



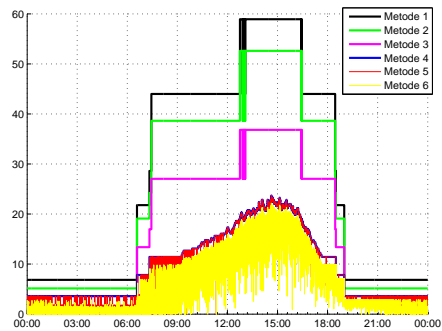
Ukedag 500 m ÅDT 12 000



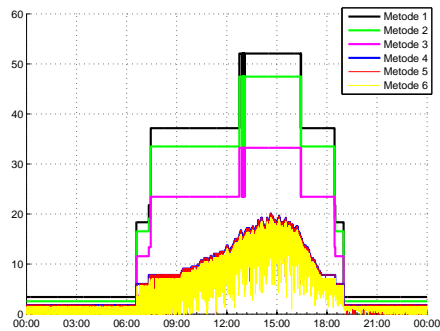
Ukedag 500 m ÅDT 8 000



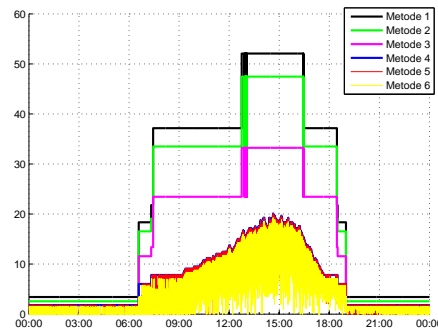
Ukedag 500 m ÅDT 4 000



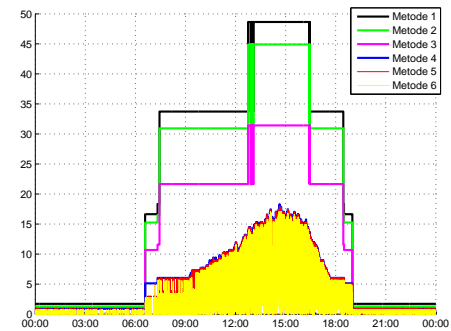
Helgedag separat 500 m ÅDT 12 000



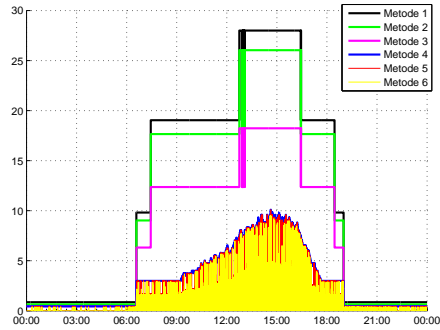
Helgedag 500 m ÅDT 12 000



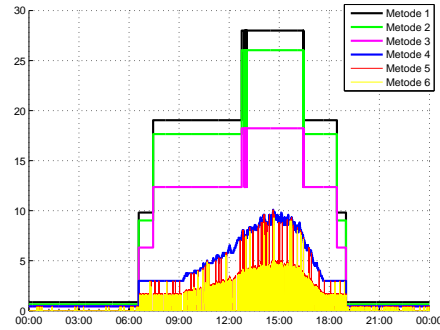
Helgedag 500 m ÅDT 8 000



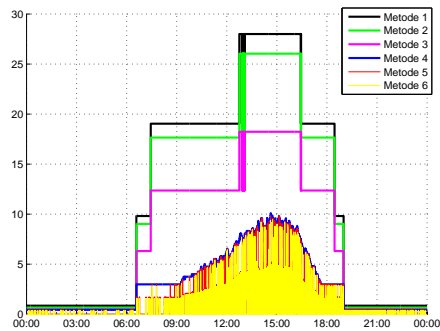
Helgedag 500 m ÅDT 4 000



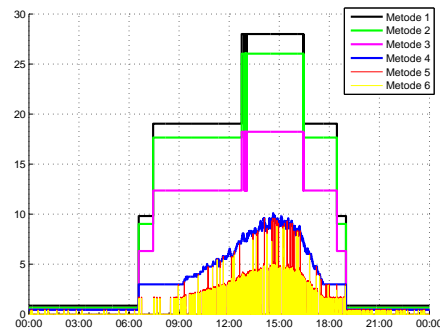
Ukedag 500 m ÅDT 1 500



Ukedag 500 m ÅDT 500



Helgedag 500 m ÅDT 1 500



Helgedag 500 m ÅDT 500





