

# Tunneler i Norge – Kunnskapsstatus

## Belysning



E	2012-10-20	Ferdig rapport	PJL	TM	PJL
D0	2012-08-20	For ekstern gjennomgang	PJL	Ekstern	PJL
A01	2012-07-20	For intern fagkontroll	PJL	TM	
Rev.	Dato:	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontroll	Godkjent

# Innhold

<b>1</b>	<b>FORORD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>LYSE TUNNELVEGGER</b> .....	<b>3</b>
3.1	Litteratur/referanser .....	3
3.1.1	VD rapport 16 - Askimporten tunnel.....	3
3.1.2	VTI rapport 724A – The influence of lighting, wall colour and inattention on traffic safety in tunnels. A simulator study. ....	3
3.1.3	UNI 11095: Light and Lighting – Road tunnel lighting. ....	4
3.1.4	The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: Tunnel wall characteristics and influences.....	4
3.1.5	Comfortable lighting for seniors: the effect of illuminance and color temperature on the visual acuity in later life. ....	4
3.1.6	The impact of spectral power distribution on the performance of an achromatic visual task. ....	5
3.1.7	IANSI/IESNA RP-22-11 Tunnel Lighting.....	5
3.1.8	CIE-88 .....	6
3.1.9	Spectrum balanced illuminance reductions for exterior lighting.....	6
3.1.10	Basic Model for Financial Evaluation of Pavement Deterioration and Additional Costs at Road Works. ....	7
3.1.11	Statens Vegvesen Håndbok 111» og tilhørende «Intern rapport nr. 2337 Temahefte til håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold». ....	7
3.1.12	Trafiksikkert med betong i tunnlar. ....	7
3.1.13	Real worlds background luminance for objects viewed by night drivers. ....	8
3.1.14	The effects of colour contrast and pavement aggregate type on road lighting performance .....	8
3.2	Teoretisk oppsett for manipulering av «veggfarge».....	9
3.3	Vedlikeholds strategi.....	10
3.4	Diskusjon .....	11
<b>4</b>	<b>LEDELYS I TUNNELER</b> .....	<b>12</b>
4.1	Litteratur/referanser .....	12
4.1.1	World Highways .....	12
4.1.2	Experiences with LED-based visual guidance systems in tunnels. ....	12
4.1.3	Performance assessment of road equipment- state of the art.....	12
4.1.4	Produktbeskrivelser:.....	12
4.2	Diskusjon .....	15
<b>5</b>	<b>LED TIL TUNNELBELYSNING</b> .....	<b>16</b>
5.1	Litteratur/referanser .....	16
5.1.1	ENØK-prosjektet sluttrapport. ....	16
5.1.2	Case study Upper Thames Street tunnel.....	16
5.1.3	Tinnsjøtunnelene.....	17
5.2	Diskusjon .....	18

<b>6</b>	<b>LYSSTYRING</b> .....	<b>19</b>
6.1	Litteratur/referanser .....	19
6.1.1	Luminance monitoring and optimization of luminance metering in intelligent road lighting control .....	19
6.1.2	Energy-Saving Tunnel Illumination System Based on LED's Intelligent Control. ....	19
6.1.3	ENØK-prosjektet sluttrapport. ....	20
6.1.4	Reverberi, case study Tweede Benelux tunnel .....	20
6.1.5	Mayer produktbeskrivelse: .....	20
6.1.6	Indal WRTL produktbeskrivelse: .....	21
6.1.7	Thorlux produktpresentasjon: .....	22
6.1.8	Luminansmeter for adaptasjonsluminans måling, produkt presentasjon.....	23
6.1.9	Komplette systemer for belyningsstyring i tunnel.....	23
6.2	Diskusjon .....	23
<b>7</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>APPENDIX</b> .....	<b>25</b>

## **1 FORORD**

Som en del av etatsprogrammet «Fremtidens tunneler» ønsket Statens vegvesen utført en kartlegging av dagens kunnskapsbase og status knyttet til noen utvalgte temaer innen tunnelbelysning. Arbeidet var forutsatt utført som litteraturstudie med utfyllende kommentarer i forhold til relevans for norske anlegg. Videre ønsket man konkrete forslag til videre innsats og kartlegging av mulige tiltak og forbedringer.

Pål J Larsen

Norconsult AS

## 2 INNLEDNING

Når man kjører inn i en tunnel kjører man i utgangspunktet inn i et «mørkt rom». Er det kveld eller natt vil en kunne oppnå et noenlunde likt belysningsnivå inne i tunnelen som tilsvarende vegbelysning vil kunne gi. Er det på dagtid så vil lysnivået ute være vesentlig høyere enn hva en rent praktisk kan oppnå med kunstig belysning i en tunnel. Siden vi ikke har mulighet til å oppnå det samme lysnivået som ute er det viktig å se på hvilke andre måter vi kan kompensere for den store forskjellen og gjøre overgangen lettest mulig. I tillegg til direkte tiltak med kunstig belysning kommer også utforming av innkjøringssonen og overflater i tunnelen som viktige elementer. Overflatens egenskaper i tunnelen kan ha stor betydning for både for det direkte lysnivået som blir oppnådd med den installerte belysningen samt påvirke oppfattelsen til bilistene av omgivelsene, samt bidra til å manipulere øyets tilpasning.

Denne rapporten har tatt for seg temaene:

- Lyse tunnelvegger
- Ledelys i tunneler
- LED til tunnelbelysning
- Lysstyring

For hvert tema er det gjort et litteratursøk for å kartlegge dagens kunnskapsstatus og det er foretatt en diskusjon i forhold til hvilke mangler det foreligger i dagens kunnskap, og derav hva det bør arbeides videre med for å oppnå en mer optimal utforming av tunnelbelysningen.

I forhold til kilder er det gjort et bredt søk innen internasjonale databaser for kunnskap innen hvert tema. For kunnskap innen flere av temaene er det mangelfulle relevante referanser fra akademiske referanser og publiseringer, det er for disse temaene brukt henvisninger til leverandør publiserte studier og «piloter». Alle referanser er oppgitt direkte i teksten slik at det er klart der hvor dette er tilfelle.

For fremtiden vil det kunne være et stadig mer aktuelt tema hvilket bidrag billys i seg selv vil kunne bidra med til det totale lysbildet. Vi ser en stadig økende diskusjon rundt muligheten for utnyttning av direkte kommunikasjon med biler og øvrig infrastruktur langs vegen og da også for tunneler. Men dette er foreløpig på et slikt abstrakt nivå i forhold til praktisk utnyttelse at det ikke er videre omtalt og innkalkulert i denne rapporten.

### 3 LYSE TUNNELVEGGER

#### 3.1 Litteratur/referanser

Der er gjort enkelte vitenskapelige forsøk med behandling av vegger med ulike former for maling/kalking, men det finnes få referanser og erfaringsdata på dokumenterte konsekvenser i forhold til drift og vedlikehold over tid. Derimot er det utført flere studier på virkingen av farger både på vegdekke og belysning i forhold til synbarhet av objekter. Det er i dette kapittelet gjengitt essensen av de mest relevante studier og retningslinjer, mens det helt til slutt er en diskusjon av relevansen for Norsk tunnelpraksis.

##### 3.1.1 Statens Vegvesen, «VD rapport 16 - Askimporten tunnel», Statens Vegvesen 2011.

Rapport om oppstarten av et testprosjekt i Askimporten tunnel i Østfold, med oppstart høsten 2010. På et felt inne i tunnelen ble produktene til seks leverandører med til sammen ni ulike produkter testet. Lysrefleksjonsegenskaper syntes ikke å være et hovedfokus i prosjektet, men Sintef hadde oppdrag med å dokumentere og etterprøve blant annet lysheten/gråheten for veggene. Initiell måling ble utført og dokumentert i den delen av rapporten som omtales som et draft i vedlegg «V». Ingen resultater foreligger men det henvises i rapporten til en planlagt oppfølgende resultatrapport.

Leverandør	Produkt	Produktkategori
Sto Norge AS	StoCryl HG 200*	Hydrofobereende impregnering, silanbasert gel
	StoPox WL 50	Belegg, vannbasert epoksybelegg
Sika Norge AS	Sikagard 706 Thixo	Hydrofobereende impregnering, silanbasert krem
All Remove AS	Faceal Oleo CP	Hydrofobereende impregnering
	Faceal Oleo hvitpigmentert	Impregnering/hydrofobereende impregnering**
Nanopool Norge	Stone Protect	Impregnering/hydrofobereende impregnering** (stoffblanding på basis av modifiserte hybridmaterialer i en vannløsning)
SurfaProof Norge AS	Surfapore C	Hydrofobereende impregnering, silikonbaserte molekyler i nanostrukturert emulsjon
	Surfapore C hvitpigmentert	
CemPro AS	CemPro Whitecoat	Belegg, sementbasert

\* benyttet i Knappetunnelen

\*\* uklart ut fra produktdokumentasjon om produktet kan klassifiseres som impregnering eller hydrofobereende impregnering

Figur viser oppsett over produkter/leverandører inkludert i forsøket og er hentet fra omtalt rapport.

##### 3.1.2 VTI, “VTI rapport 724A – The influence of lighting, wall colour and inattention on traffic safety in tunnels. A simulator study”. VTI 2011.

Rapporten fra det svenske vegtrafikk instituttet beskriver en simulator test med 24 testpersoner hvor de ble utsatt for 12 forskjellige kombinasjoner av tunnel belysning og veggbehandlinger i en 4 km tunnel. Tunnelene kom i tilfeldig rekkefølge atskilt av en 2 km åpen vegstrekning. Testen viste:

- Så lenge belysningsnivået er tilstrekkelig høyt så har lysere vegger mer å si for trafikksikkerheten enn økt belysningsnivå.
- Tunneler med mørke vegger førte til en større andel av perioder med «lange blikk» vekk fra kjøreretningen, altså en større uoppmerksomhet.
- Vanskelige kjøroppgaver ble oppfattet marginalt enklere ved lyse vegger.

Rapporten konkluderer med at det er vist at lysere vegger fører til bedre trafikksikkerhet og bidrar til førerens trykghetsfølelse, forutsatt at det er et tilstrekkelig belyningsnivå i bunn. Men den adresserer ikke hva «et tilstrekkelig belyningsnivå» er.

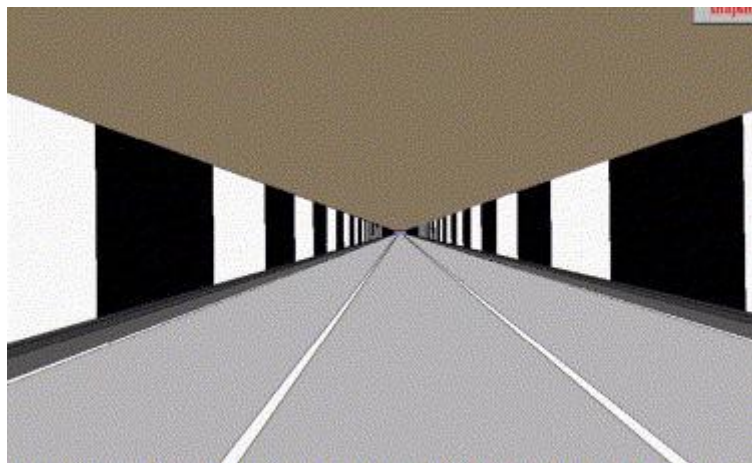
### 3.1.3 UNI, «UNI 11095: Light and Lighting – Road tunnel lighting», UNI 2011.

De Italienske retningslinjene for tunnelbelysning er verdifulle som referanse da dette er det europeiske landet med flest belyste tunneler. Det er i det Italienske regelverket gitt et krav om at for en høyde på minst 2 m skal det opprettholdes et luminansnivå på veggene som tilsvarer minst 60 % av luminansnivået på vegbanen.

Videre er det sagt at om man ikke har de spesifikke refleksjonsverdiene for tunnelveggene så skal man anta en diffus Lambert flate refleksjon tilsvarende  $\rho=0,4$  for «hvitkalket» og  $\rho=0,1$  for «ikke hvitkalket».

### 3.1.4 M.P. Manser, P.A. Hancock, "The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: Tunnel wall characteristics and influences", *Accident Analysis & Prevention*, Volume 39, Issue 1, January 2007, Pages 69-78.

En amerikansk studie av hvilken påvirkning forskjellige mønster (vertikale streker med varierende bredde), har på førerens oppførsel. Spesielt analysert i forhold til kjøretøyets varierende kjørehastighet. Det var inkludert 32 førere som i en kjøresimulator ble "utsatt" for økende, minkende og konstant mellomrom mellom vertikale streker (lyse/mørke) innover i en tunnel. Det ble vist at føreren økte farten ved økende avstand mellom strekene og satte ned farten ved minkende avstand mellom strekene. Det blir antatt at dette har med førerens oppfattelse av fart å gjøre.



*Illustrasjon hentet fra omtalt rapport og viser eksempel på mønster av lyse/mørke felt brukt i forsøk*

### 3.1.5 Leonie Geerdinck et.al. «Comfortable lighting for seniors: the effect of illuminance and color temperature on the visual acuity in later life», *proceedings Luxeuropa Istanbul 2009* s. 357-362.

Dette studiet gjennomført i Nederland er et lab-studie, som ikke i utgangspunktet er relatert til tunnel belysning men som kan relateres til denne bruken. Det ble funnet en klar sammenheng mellom behov for økt illuminansnivå og økende alder for å opprettholde en tilfredsstillende "Visual acuity". I gjennomsnitt trenger den eldre observanden (i dette studiet 70-80 år) 10 ganger mer lys enn den middelaldrende (i dette studiet 45-55 år). Men det ble ikke funnet noen



sammenheng mellom fargetemperatur på belysningen i testinstallasjonen og synsprestasjonen. Det ble benyttet varierende illuminans i området [15-1500] lux og [2700-12000] K.

3.1.6 P.R. Boyce, «The impact of spectral power distribution on the performance of an achromatic visual task», *Lighting Research and technology volume 38 s. 41-52.*

Dette amerikanske laboratoriestudiet tok for seg to forskjellige illuminans nivåer og to forskjellige S/P forhold. To grupper med testpersoner ble undersøkt, en med aldersspenn 18-28 år og en med 61-78 år. Studiet viste at ved bruk av Landolt ring for å angi nøyaktigheten til synet, hadde illuminansen en svak signifikans mens S/P forholdet hadde ingen signifikans.

3.1.7 IESNA, “ANSI/IESNA RP-22-11 “Tunnel Lighting”, IEASNA 2011.

Under kapittel 8.5 i denne amerikanske standarden oppgis en gjennomsnittlig refleksjonsfaktor for ubehandlet fjell til ca. 7 %, ubehandlet PCC ( Portland Cement Concrete) i området 20-40 % og glaserte hvite fliser til området 45-60 %. De oppgir videre at kravene til veggbehandling skal være:

- lett vedlikehold
- høy refleksjon
- ikke spekulær refleksjon
- initiell refleksjonsfaktor minst 50 %

I tillegg til faktoren nevnt i CIE-88 for vedlikeholdsfaktor har denne standarden også med

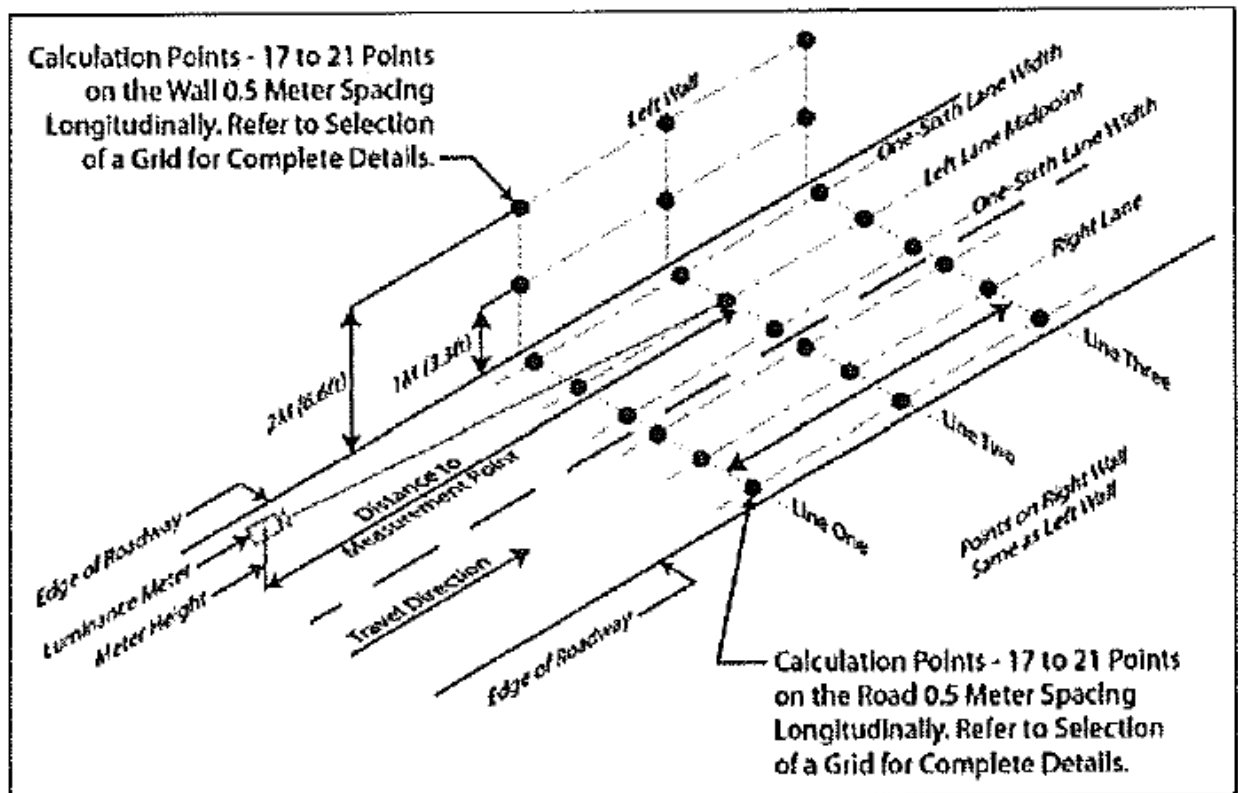
- BOF =Lamp Burnout factor.

Alt dette gjør at det anbefales en vedlikeholdsfaktor i området 0,3-0,65.

<b>Table 9: Typical Values for Maintenance Consideration Factors</b>	
<b>Maintenance Considerations Above</b>	<b>Range of Possible Values</b>
Lamp Lumen Maintenance	0.50 to 0.95
Lamp Burnouts	0.30 to 0.99
Luminaire Dirt Depreciation (LDD)	0.10 to 0.95
Equipment Factors (EF)	0.50 to 0.95
Ambient Temperature	0.20 to 0.99
Voltage	0.87 to 1.13
Ballast & Lamp Factor	0.85 to 0.90
Tunnel Surface Reflectance	0.20 to 0.90
Luminaire Cleaning	0.10 to 0.90
<b>Total Typical Maintenance Factor (TMF)</b>	<b>0.30 to 0.65</b>

*Tabell hentet fra omtalt rapport.*

Det er også angitt en prosedyre for måling av illuminans på tunnelveggen. Det skal være to linjer med 1 m mellomrom startende på 1 m høyde og totalt 6 målepunkter 3 i bredden og 2 i høyden (vist på neste side).



Illustrasjon av definert grid av målepunkter hentet fra omtalt rapport

### 3.1.8 CIE-88

Alle anbefalinger i denne publikasjonen er basert på at synsoppgaven i en tunnel er å se et objekt 0,2\*0,2 m stort med en refleksjonskoeffisient på 0,2. Videre slår publikasjonen fast at veggene er delvis bakgrunn for synbarheten til objektene på vegbanen, i tillegg til å bidra til adaptasjonen for føreren og som en visuell føring. Den setter krav til at opp til minst 2 m høyde skal veggene ha minimum 60 % av vegbanens luminans på samme lokasjon ved «rene forhold». Med tanke på vedlikehold og løpende tilsmussing av vegger og armaturer, anbefales det og også å ha et luminansmeter inne i tunnelen for å kontrollere armaturene på korrekt måte i forhold til nivå til enhver tid.

Definisjonen på vedlikeholdsfaktor er oppgitt i CIE-88. For tunnel er følgende forhold av relevans:

- LLD=Lamp Lumen Depreciation
- LDD= Lamp Dirt Depreciation
- EF = Equipment factor
- Tunnel surface reflectance depreciation

Rapporten konkluderer med en anbefaling for hvilken faktor som bør velges avhengig av type planlagt vedlikehold i området 0,35-0,7:

- 0,35 hvis det er planlagt lite vedlikehold og det kan antas lav kvalitet på materialer
- 0,5 ved normalt vedlikehold og normal materialkvalitet
- 0,7 ved intensiv vedlikeholdsplan og høy kvalitets materialer

### 3.1.9 Steve Fotios et.al, "Spectrum balanced illuminance reductions for exterior lighting", proceedings Lux Europa Istanbul 2009 s. 1207-1212.

Artikkel tar for seg både tilpasning til mesopiske nivåer og muligheten for å redusere krav til illuminansnivå ved en evaluering av oppnådd fargegjengivelsesindeks (CRI/Ra) over hva som er minstekrav. Artikkelen konkluderer med at dagens angivelse av minstekrav til CRI er tilfredsstillende for å skille mellom høytrykksnatrium og metallhalogen, men ikke er tilstrekkelig for å angi parametere for objekt identifikasjon mv. om man skal skille mellom flere forskjellige

lampetyper. Det foreslås å benytte S/P faktor (forholdstall mellom Scotopic og Photopic luminans) for lyskildene. Eventuelt å innføre en mesopisk modell.

**3.1.10 FORMAT (EU støttet prosjekt), «Basic Model for Financial Evaluation of Pavement Deterioration and Additional Costs at Road Works», EU prosjektrapport 2002.**

Denne rapporten som er en delrapport i et større EU-støttet prosjekt med tittelen "Road infrastructure pavement maintenance management», tar for seg optimalisering av vedlikeholdsarbeid med vegdekker. Den tar for seg og analyserer forskjellige tilnærminger til temaet og ser på en optimal planlegging og strategi for dette arbeidet. Den peker på fire hovedpunkter som viktige; vedlikeholdstekniker, kostnytte analyser, sikkerhet ved vegarbeider og overvåkning av dekkets egenskaper. Men som i de fleste andre slike rapporter er ikke de lystekniske kvalitetene i fokus.

**3.1.11 Statens Vegvesen Teknologivdelingen, «Håndbok 111» og tilhørende «Intern rapport nr. 2337 Temahefte til håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold», Statens Vegvesen 2003.**

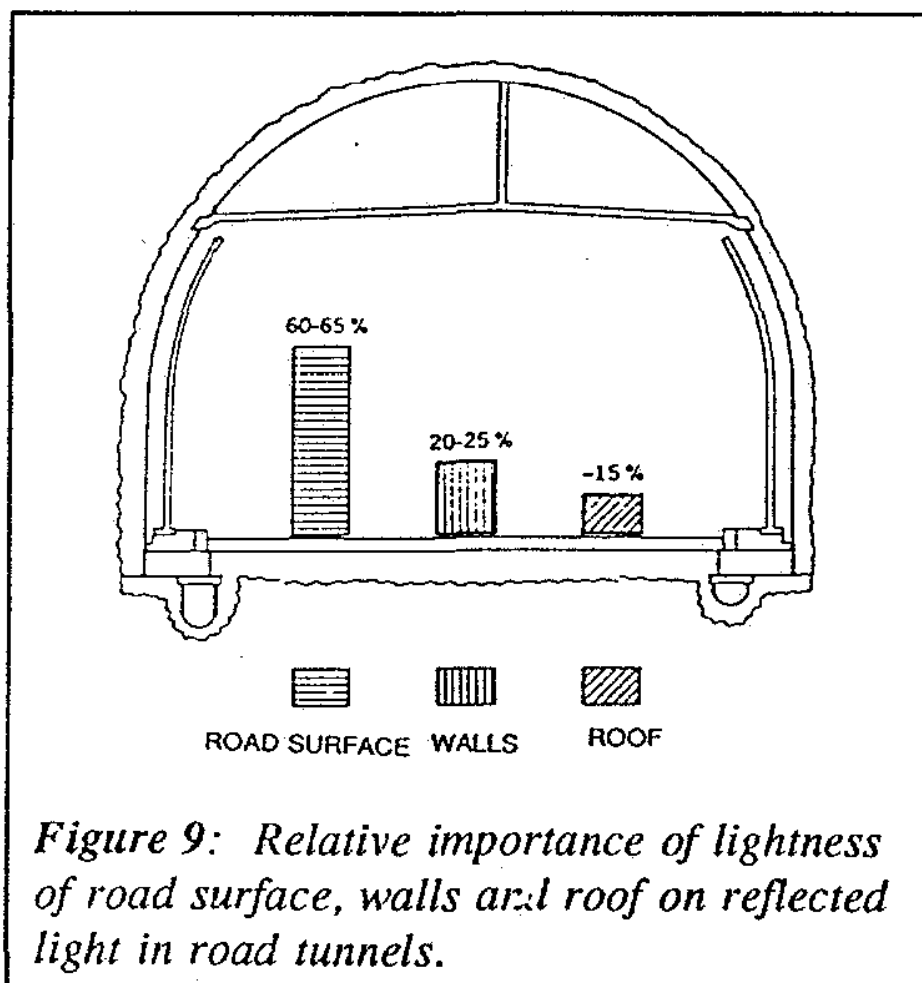
Denne rapporten gir rettleiding til drift og vedlikehold av tunneler. Blant annet føringer for rengjøring av tunnelvegger i Norge. Den gir også en rettleiding til at illuminans skal måles i en høyde av 1,40 m over vegbanen. Dette strider med EN 13201-4 som generelt angir 1,5 m over veibanen for vertikale og semisyndriske illuminansmålinger og må anses som et uheldig/unødvendig avvik.

<i>Minimumskrav til vaskerutiner</i>			
<i>ÅDT pr. tunneløp</i>	<i>Helvask inkl. vask av kjørebanel/bankett</i>	<i>Halvvaske inkl. vask av kjørebanel/bankett</i>	<i>Vegbane/ bankett</i>
<i>&gt; 20000</i>	<i>1 pr. år</i>	<i>5 pr. år</i>	<i>6 pr. år</i>
<i>10001 - 20000</i>	<i>1 pr. år</i>	<i>3 pr. år</i>	<i>4 pr. år</i>
<i>5001 - 10000</i>	<i>1 pr. år</i>	<i>1 pr. år</i>	<i>2 pr. år</i>
<i>1501 - 5000</i>	<i>1 pr. år</i>		<i>1 pr. år</i>
<i>501 - 1500</i>	<i>hvert 5. år</i>		<i>1 pr. år</i>
<i>&lt; 500</i>	<i>hvert 10. år</i>		<i>1 pr. år</i>

*Kravene som settes til vedlikeholdsintervaller vises i tabell over og er hentet fra omtalt rapport*

**3.1.12 Jan Byfors, «Trafiksäkert med betong i tunnlar», Cementa 1.92 pp.24-26, 1992. (Referert i Tom Myran, «Can high strength concrete pavements improve sight conditions in road tunnels?», Sintef).**

Det har ikke vært mulig å framskaffe de originale beregningene fra Byfors som Myran viser til. På bakgrunn av dette kan ikke tallmaterialet vurderes nærmere. Men dette svenske studiet refererer til at 60-65 % av det reflekterte lyset i en tunnel kan relateres til dekkets refleksjon, 20-25 % til tunnelveggene og 15 % til tunneltaket.



Figur illustrerer de forskjellige bygningsdelers bidrag og er hentet fra omtalt rapport

### 3.1.13 EPRI, «Real worlds background luminance for objects viewed by night drivers», EPRI 2005.

Et prosjekt gjennomført av det amerikanske «Electric Power Research Institute» som tar for seg synbarheten av objekter i nattbelysning og tar hensyn til hvilken bakgrunn man ser objektene mot. Det publiseres en rekke gjennomsnittlige luminanser for forskjellige objekter som kan opptre utenfor veibanen «off-road-objects». Rapporten tar blant annet for seg i hvilken synsretningen man observerer objektet og på denne måten dekomponerer (bryter opp) luminansen. Dette kan være relevant i forhold til tunnelbelysning og betraktning av kontraster for synbarhetsevaluering. Ellers er studien lite relevant for tunnelbelysning.

### 3.1.14 Ekrias et.al, «The effects of colour contrast and pavement aggregate type on road lighting performance», HUT 2010.

Denne finske studien har sett på sammenhengen mellom lampens spektrum og synbarhet av objekter spesielt med hensyn på type dekke og fargeegenskaper. Konklusjonen er at for å ha en sammenheng med farger må det være en viss fargegengivelse tilstede fra lyskilden. En annen interessant observasjon er at den relative refleksjonen viste seg å være relativt større ved de høye bølgelengdene for de fleste dekkene. Dvs. at i de fleste tilfeller ga høytrykksnatrium lyskildene en bedre refleksjon enn belysning ved hjelp av metallhalogen.

### 3.2 Teoretisk oppsett for manipulering av «veggfarge»

For dette studiet er det i Dialux (leverandøruavhengig lysberegningsprogram) laget en modell av et typisk T9,5 snitt som er ofte benyttet i norske tunneler. Det er for indre sone gjort simuleringer med varierende utførelse av overflatebehandling av vegger for å se på den teoretiske innvirkningen på vegbane-illuminansen.

At tilsmussing over tid har en nedsettende virkning på illuminansen som treffer vegbanen er udiskutabelt. Det som det er verdt å se nærmere på er hvor stor denne innvirkningen er. Under kap. 2.10 er det referert at veggens reflekterte lys har en andel av ca. 20-25 % av vegbanens innfallende illuminans. Denne andelen vil nødvendigvis være avhengig av både tilsmussing av armatur (inkludert armaturens utforming/skjerm) og vegger samt initiell refleksjonskoeffisient for overflaten.

Ved et enkelt oppsett bruker en tunnelvegger i ubehandlet betong som referanse for lysrefleksjon og resulterende illuminansnivå. I tabellen under ser man at ved en behandling av vegger til 3,5 m høyde med en hvitblanding vil det gi en økning fra 14-21 % for det resulterende illuminansnivået på vegbanen. Som en ekstra referanse er det også lagt inn ubehandlet fjell i tabellen, og man ser av tabellen at dette gir 10 % mindre lys på vegbanen enn ved bruk av ubehandlet betong.

Resulterende illuminans på veibanen ved varierende veggbehandling			
Veggbehandling	Refleksjonskoeffisient [%]	Ruhet [%]	Lysnivå [%]
Nullnivå med ubehandlet betong	27 %	10 %	100 %
Medium reflekterende overflatebehandling til 2 m høyde	50 %	5 %	103 %
Høy reflekterende overflatebehandling til 2 m høyde	80 %	5 %	114 %
Medium reflekterende overflatebehandling til 3,5 m høyde	50 %	5 %	114 %
Høy reflekterende overflatebehandling til 3,5 m høyde	80 %	5 %	121 %
Referanse med ubehandlet fjell i hele tunnelen	7 %		90 %

Tabell viser verdier fra teoretisk oppsett



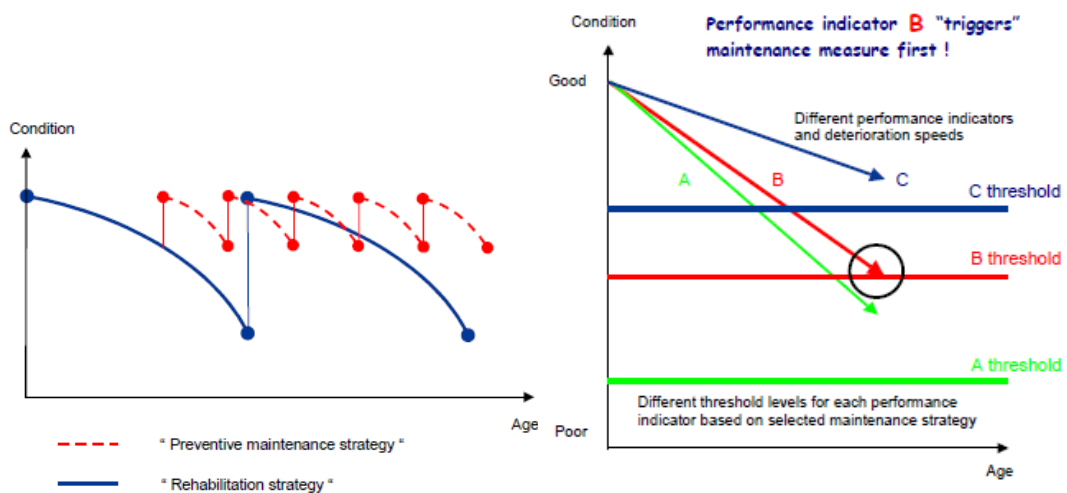
Bilde er hentet fra lysberegning og illustrerer en typisk tunnel med T 9,5 snitt

### 3.3 Vedlikeholds strategi

Problemet med et slikt oppsett som er vist i forrige kapittel er at man vet veldig lite om utviklingen over tid med tanke på nedsmussing av overflater og lystilbakegang fra armatur. Når det gjelder lyskilden kan en få gode data fra leverandører, også nedgangen som skyldes alder i form av degenerering av lystransmisjon i glass og eventuelt nedsatt reflektans i optikk. Men i forhold til overflatene i tunnelen og deres reduserte refleksjon over tid finnes det lite eller ingen nedskrevne erfaringsdata. Det Svenska Vägverket har i NVF opplyst om et igangsatt arbeid med å registrere disse parameterne over tid i enkelt tunneler i Sverige. Men det er nærliggende å anta at disse parameterne vil være sterkt avhengig av:

- trafikkmengde
- type omgivelser
- avstand til tunnelportal
- vedlikeholdsstrategi
- type overflatebehandling i tunnel

Det er likevel og på grunn av ulik praksis og (drifts)forhold til i Sverige et stort behov for å øke erfaringsbasen på dette området i Norge.



Figur viser eksempler på tankegang rundt oppsett av en vedlikeholdsstrategi for en tunnel, og hvilke avveininger man bør innom. Presentert i FORMAT sin prosjektrapport (se ref i kapittel 1):

### **3.4 Diskusjon**

Studiene viser at manipulering av veggfarge eller behandling gir et direkte fysisk bidrag til vegbaneilluminansen/luminansen. Hvor mye er avhengig av referanse alternativet, men da ca. 25 % av vegbaneluminansen kommer fra reflektert lys fra veggene gir det oss en pekepinn på bidraget.

Det man ikke vet så mye om og som det heller ikke finnes gode studier på er vedlikeholdsfaktor en kan benytte i forhold til refleksjonstilbakegangen for vegger. Dette er et tema det burde igangsettes studier på for å framskaffe gode erfaringsdata på. Dette bør ligge til grunn slik at man kan gjøre velbegrunnede vurderinger av mulige tiltak både i eksisterende og nye tunneler.

I tillegg til det direkte bidraget til økt vegbaneilluminans er studiene også entydig i at lysere tunnelvegger gir en økt synbarhet av objekter, det vil si bedre kontrast. Men det er vanskelig å trekke entydige konklusjoner. Likevel er det mulig å konkludere med at ulik fargekontrast så vel som luminansforskjeller (vegg/vegbane) bidrar til økt observasjonsevne.

Det kan derfor argumenteres for at løsningen som den amerikanske RP-22 kan være fornuftig. Man holder seg fortsatt til et krav til luminans på vegdekket, men man angir også et minstekrav til refleksjonsfaktor på veggene ved ny tilstand.

Derimot hvordan man skal kunne sette krav til å sikre opprettholdelsen av refleksjons- og degenereringsparametere i forhold til tilsmussing og vask, er det ikke funnet noe svar på i litteraturen. Det bør være et tema for videre studier.

## 4 LEDELYS I TUNNELER

Når det gjelder ledelys i tunneler er det viktig å skille mellom bruk til visuell leding i vanlige situasjoner, og nødbelysning for leding ved evakuering. For denne gjennomgangen er det bruk av LED som erstatning eller tillegg til den normale allmenbelysningen i tunneler som er behandlet.

### 4.1 Litteratur/referanser

#### 4.1.1 World Highways

Ved renovering av «The George Massey tunnel» i Vancouver (Canada) i 2001 ble det installert det som omtales som det første anlegget med en opplyst ledende midtdeler. Dette er en 6,3 km lang toveis trafikkert tunnel. Worldhighways.com refererer en undersøkelse forsikringsselskapet «Insurance Council of British Columbia» gjorde etter 2 års drift av denne tunnelen hvor det kunne vises til en 27 % reduksjon i både kollisjon med fremmedobjekter og andre type kollisjoner.

<http://www.worldhighways.com/categories/traffic-focus-highway-management/features/led-road-studs-provide-tunnel-guidance/>

#### 4.1.2 D Swarovski, Experiences with LED-based visual guidance systems in tunnels, Tunnelling and underground Space Technology vol. 21 2006.

Slår fast av sidemonterte LED lys bidrar til økt kvalitet på trafikkflyten og minsker stress følelsen for sjåføren med henvisning til forsøk i Østerrike, Tyskland Sveits og Norge. Men ingen referanser til konkrete ulykkestall eller referanser til lysnivå på allmenbelysningen.

#### 4.1.3 Sven-Olof Lundkvist, «Performance assessment of road equipment- state of the art», VTI 2012.

Denne rapporten tar ikke for seg tunneler men er rettet mot veg i dagen. Likevel er det momenter i behandlingen av både vegmerking og sidemarkering av veg som til en viss grad kan overføres til tunneler og leding generelt.

<http://www.vti.se/en/publications/pdf/performance-assessment-of-road-equipment.pdf>

#### 4.1.4 Produktbeskrivelser:

All den tid det er få akademiske referanser på forsøk med LED lede systemer i tunnel, er det her presentert noen referanser på leverandører. Dette må ikke anses som en uttømmende liste, og utvalget av hvem som er representert skal heller ikke betraktes som en anbefaling.

#### Gifas-electric

Dette er et sveitsisk firma som de senere årene har installert LED guidance i mange mellom europeiske tunneler, deres referanser sier 20.000 LED punkter i mer enn 100 tunneler. De har også et stort segment på belysning til jernbane tunneler.

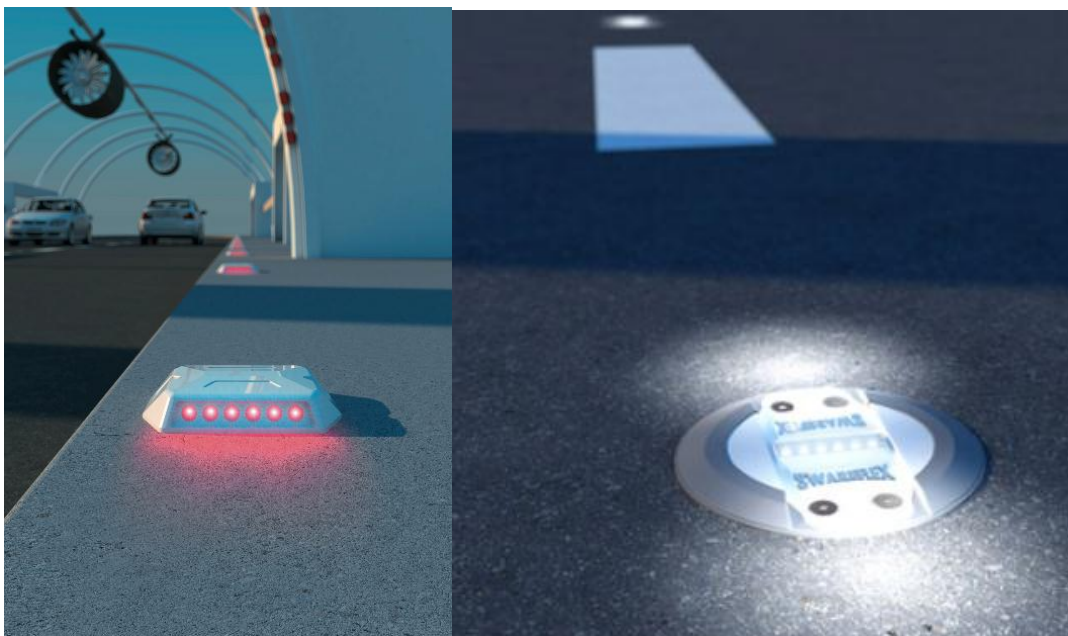


[http://www.gifas.ch/fileadmin/user\\_upload/Broschueren\\_englisch/Reg09a\\_Optical\\_guidance\\_V0\\_210\\_systems.pdf](http://www.gifas.ch/fileadmin/user_upload/Broschueren_englisch/Reg09a_Optical_guidance_V0_210_systems.pdf)



## Swareflex

Som en del av Swarovski gruppen er det et Østerisk firma som ble etablert tilbake i 1950 og har jobbet med belysning siden. De har et segment innen allmennbelysning til tunnel, i tillegg til et eget segment innen «activ guidance systems».



Bilder er hentet fra omtalt web-referanse

<http://swareflex.com/index.php/ts-home/ts-products/active-guidance>

## Viewtron

Et Koreansk firma etablert på 2000-tallet, med forholdsvis liten omsetning (>3 MNOK). Poenget her er å vise spennet i markedet, dette firmaet er ISO 9001/ISO14000/CE sertifisert og er bare en av utallig mange som leverer produkter som tilfredsstillende de kravene som settes til slike systemer i dag.



[http://www.iitp.net/co/viewtron/GC05042926/Tunnel\\_LED\\_GuidanceSystem.html](http://www.iitp.net/co/viewtron/GC05042926/Tunnel_LED_GuidanceSystem.html)

## Schreder

Schreder gruppen er en stor verdensomspennende leverandør av utendørs belysning med opprinnelse i Belgia på 1920 tallet. Referansene på tunnelbelysninger mange, men på ledelys er spesielt referansene på Mount Blanc tunnelen etter brannen i 1999 interessant.



*Bilde er hentet fra omtalt web referanse og viser Mount Blanc tunnelen utstyrt med ledelys fra Schreder.*

[http://www2.schreder.com/documents/BJ/English/Brochure/200607281041/1706\\_BJ\\_UK\\_VF.pdf](http://www2.schreder.com/documents/BJ/English/Brochure/200607281041/1706_BJ_UK_VF.pdf)

## 4.2 Diskusjon

I litteratursøk finnes det lite relevante data som omhandler bruk av ledelys i forhold til ulykker og deres eventuelle sammenheng. Det finnes studier som angir at ledelys har en positiv effekt hva gjelder forbedret orientering i vegbanen og derav bidrar til å minske stressfølelsen som enkelte kan føle ved å kjøre i en tunnel. Slik kan man se på en ulykkesreduserende effekt som en sekundær effekt, men dette blir vanskelig å forsvare rent vitenskapelig.

På den annen side finnes det også i litteraturen henvisninger til at en økende trygghetsfølelse for sjåføren vil kunne medføre en høyere gjennomsnittlig kjørehastighet, som igjen fører til flere og mer alvorlige ulykker. Slike oppgis i litteratur knyttet til vegmerking av veg i dagen, og er derfor ikke referert videre i dette litteraturstudiet.

Når det gjelder bruk i dagsoner på vei er det gjort noen flere prosjekter. I Norge er det på en 12 km lang parsell av E6 mellom Dal-Kolomoen installert ledelys som erstatning for veibelysningen. Også i USA finnes det mange prosjekter da mer vanlig med bruk av retroreflektive materialer, altså passive og ikke aktive lede systemer. Det antas at vei i dagen, med alle faktorer i forhold til varierende vær og synbarhet gjør tilnærmingen til nytte effekten mer kompleks og ikke overførbar til tunnel.

Undersøkelsene tilsier at det er behov for å skaffe mer kunnskap på dette området. Et prosjekt med testtunneler hvor man kunne kjørt en grundig analyse ville ha vært nyttig, men det vil kreve et relativt stort datagrunnlag for å kunne finne signifikante tall, da vår ulykkesstatistikk heldigvis er såpass lav i utgangspunktet. Derfor er trolig undersøkelse av eksisterende tunneler mer relevant, men problemet er at det er få tunneler med ledelys installert. Men de som allerede finnes i Norge anbefales kartlagt og undersøkt som et første stadiet i å skaffe erfaringsdata.



*Bilde viser Vegvesenets teststrekning med LED ledelys på E6 mellom Dal-Kolomoen. Bilde hentet fra Vegvesen.no.*

## 5 LED TIL TUNNELBELYSNING

### 5.1 Litteratur/referanser

#### 5.1.1 ENØK-prosjektet sluttrapport, Vegdirektoratet Teknologiavdelingen Oslo, VDR 19 november 2008.

Veidirektoratets etatsprosjekt på ENØK ble gjennomført med støtte fra Enova i perioden 2004-2008. I dette prosjektet ble det i tunnelen «Ljabru-diagonalen» i region Øst, en 110 m lang tunnel, som den første tunnelen i Norge installert LED som hovedlyskilde i 2005. Anlegget står fortsatt i drift i dag, men det gjøres ingen oppfølging av hvilken utvikling dette anlegget har hatt over driftstiden. Hvis det antas kontinuerlig drift siden installasjon vil brenntiden nå være ca. 60-70.000 t, altså en interessant referanse å følge opp i forhold til å skaffe erfaringer.



*Bilde fra Ljabrudagonalen hentet fra ENØK-prosjektets sluttrapport.*

#### 5.1.2 Indal, «Case study Upper Thames Street tunnel», Indal 15 juli 2011.

Blir beskrevet som den første tunnelen i Storbritannia som blir fullt ut belyst ved hjelp av LED utført som en sammenhengende lysende linje midtplassert i taket. Fordelene som studien trekker frem i forbindelse med innføringen av LED som eneste belysning er:

- Høy jevnhet
- Forbedret fargegjengivelse
- Bedre visuell føring
- Bedre sikkerhet ved enkeltutfall

Andre fordeler som blir trukket frem er produktets mulighet for å sette forkoplingen eller driveren på et annet sted enn lyskilden. I dette prosjektet er dette utnyttet ved å sette den i ventilasjonssjakten. Det er forventet at prosjektet vil kreve en lavere grad av vedlikehold sammenlignet med tilsvarende konvensjonelle løsninger.



Bilde er hentet fra den Nederlandske tunnelen Zeeburger i vedlagte web referanse.

<http://www.indalnewsroom.com/2011/07/15/led-tunnel-lighting-revolution-starts-in-london/>

### 5.1.3 Tinnsjøtunnelene

Tinnsjøvegen FV37 ble åpnet for trafikk høsten 1992. De 2 tunnelene på strekningen, Jønlijo og Prestura (760 og 1370 m) gjennomgikk en total rehabilitering av elektro installasjonene i 2011. Det ble her valgt å benytte LED armaturer for belysning av indre sone. Det finnes ingen videre dokumentasjon av erfaringer og detaljer å henvise til, men som et av få tilgjengelig anlegg med installert LED belysning i Norge bør dette følges opp og dokumenteres for å øke erfaringene med slike anlegg.



Bilder av Tinnsjøtunnelene, hentet fra Vegvesen.no

## 5.2 Diskusjon

Det finnes ikke mange seriøse akademiske referanser under dette temaet. Men dette er jo ikke ny vitenskap i forhold til belyningsprinsipper, det er kun anvendelse av en ny type lyskilde. Dette skulle tilsi at en må være presise når man angir hvilke krav som settes til sluttresultatet og kvalitetsprestasjonen i lys og elektriske verdier.

I prinsippet skal det ikke være forskjellig fra et konvensjonelt anlegg med høytrykks damplamper som innkjørings belysning og lysrør i indre sone. Allikevel ser man utfordringer med LED som en bør være spesielt oppmerksomme på da de skiller seg fra de tradisjonelle lyskildene som man har lang erfaring med og inngående kjennskap til.

- Elektriske utfordringer knyttet til startstrømmer, effektfaktor og harmoniske forstyrrelser bør kunne opplyses om fra leverandører men har vist seg ved etterkontroll å variere sterkt. På dette punktet burde man gjøre en kartlegging i de tunnelene en allerede har installert LED i for å se om dette er et reelt problem.
- For å avlede varme har tradisjonelt LED armaturer kommet i aluminium. I den norske håndboken er det et krav om syrefast stål (i hvert fall for klasse C, D, E og F samt undersjøiske tunneler). Noen leverandører har derfor valgt å levere armaturhus i syrefast stål men det leveres fortsatt med «ubeskyttede»(vel og merke behandlet aluminium) kjøleribber i aluminium. Det som må vektlegges i disse tilfellene er å være veldig nøye med overgangen mellom metallene og alle fester slik at det ikke skapes unødige korrosjoner. Da vi har noen installasjoner som har stått noen år burde det være mulig å kunne utføre i det minste en visuell sjekk, for å se om dette er en aktuell problemstilling.
- Lysteknikk er blanding et forhold som stadig dukker opp når det gjelder LED som lyskilde. Hvordan man skal behandle blanding i tunneler, og hvorvidt de metodene en benytter i dag for damplamper egnet til å gi gode beskrivelser for LED er det en viss uenighet om. Dette er et tema som behandles både på europeisk og internasjonalt plan (CIE). Det foreslås å avvente en eventuell revisjon av dagens nasjonale beregningsmetodikk og rutiner i påvente av den internasjonale forskningen.

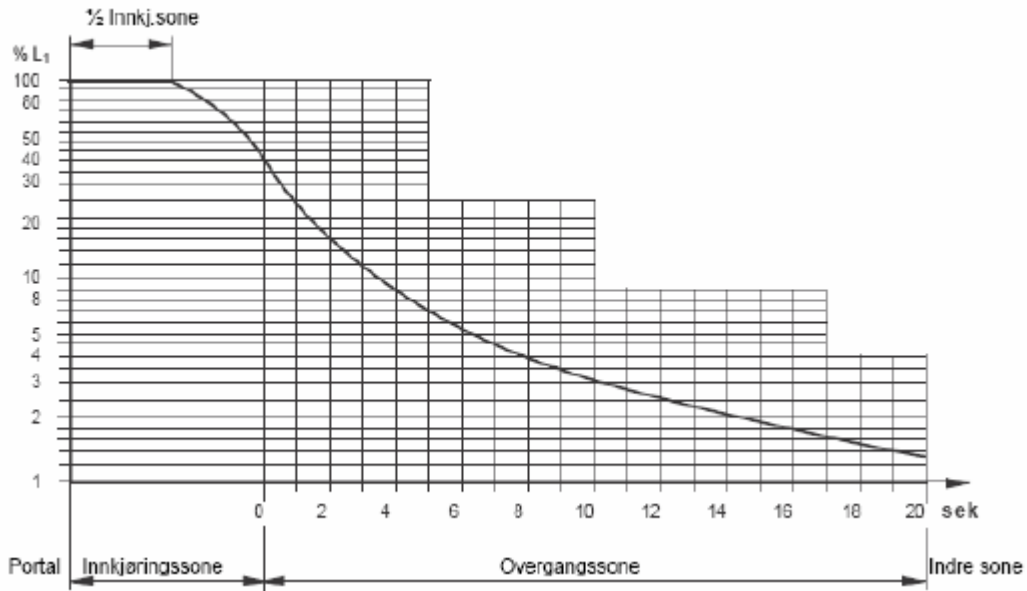
I den senere tiden har det blitt installert noen tunneler med bruk av LED i indre sone i Norge. Vabakken tunnel i Porsgrunn (2009) og Tinnsjøtunnelene i Telemark (2012). Det bør gjøres en oppfølging av disse tunnelene slik at Vegvesenet kan samle informasjon og erfaringer med bruk av denne teknologien. Både i forhold til utvikling av utsendt lys over tid, samt materialteknisk utvikling.



*Bilde av Vabakken tunnel med ny LED tunnel belysning for indre sone, bilde fra Norconsult.*

## 6 LYSSTYRING

Dagens belyningsanlegg i tunneler er i all hovedsak styrt av fotoceller som måler illuminans utenfor tunnelen. Dette benyttes igjen for å styre belysningen i trinn, typisk fullt (dag 1), 2/3 (dag 2), 1/3 (dag 3) og av (natt) i inngangssonen og fullt (dag) og halvt (natt) i indre sone. Dette er gjort ved at armaturer grupperes og styres av/på ved hjelp av kontaktorer og en PLS (Programmerbar Logisk Styring). Ved denne type inndeling vil man styre belysningen i en slags trappetrinn istedenfor den beskrivende kurven for «glidende overgang» mellom sonene (vist under hentet fra Statens Vegvesen HB21).



Figur viser krav til lysnivå i innkjøringssonen, hentet fra Vegvesenets håndbok 021.

### 6.1 Litteratur/referanser

#### 6.1.1 Liping Gua et.al, "Luminance monitoring and optimization of luminance metering in intelligent road lighting control", Helsinki university 2007.

Av vedlikeholdsmessige hensyn bør et luminansmeter monteres mellom 2 til 5 m over vegbanen, men det bør også monteres høyere enn den høyeste bilen på vegen. Minimum 3 m er en anbefaling i denne artikkelen. Artikkelen henviser også videre til andre publiseringer som også anbefaler en illuminanssensor inne i tunnelen for og løpende å korrigere lampetilstand (dimming) i forhold til vedlikeholdsstatus. Videre anbefaler artikkelen at luminansmeter bør måle i vegbanens lengderetning, og i dette tilfellet er ikke målingene vesentlig forstyrret av billys. Men ved kødannelse vil det ikke være praktisk mulig å benytte målinger av luminans. Heller ikke ved våte vegbane vil luminansmålinger gi en relevant måling.

#### 6.1.2 Shanshan Gua et.al. «Energy-Saving Tunnel Illumination System Based on LED's Intelligent Control», International Conference on Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), 2010 .

Artikkelen beskriver detaljert planlegging av et tunnel styresystem for optimal energiforbruksmønster. Med bakgrunn i bruk av LED med umiddelbar respons på dimming og forutsetning om ingen forringing av levetid ved kontroll, bruker de automatisk overvåking av trafikkteiling logging av lysnivå ved innkjøring for behovstilpasning. Dette resulterte i en kartlegging slik som vist i tabell under.

**Table 1.** An example of calculating the illumination and the length of each section in the tunnel.

The time	Traffic flow (/h)	Outside brightness (cd/m <sup>2</sup> )	Entrance section Illuminance (lux)	Transition section illuminance		
				TR1(lux)	TR2(lux)	TR3(lux)
6:00-7:00	213	179.3	67.23	30.00	30.00	30.00
7:00-8:00	298	731.6	274.35	82.31	30.00	30.00
8:00-9:00	386	1723.1	653.31	195.99	65.33	30.00
9:00-10:00	493	2873.9	1138.71	341.61	113.87	39.85
10:00-11:00	576	3965.4	1623.70	487.11	162.37	56.82
11:00-12:00	478	4865.8	1916.29	574.89	191.63	67.07
12:00-13:00	518	5503.6	2202.61	660.78	220.26	77.09
13:00-14:00	638	5833.7	2446.43	733.93	244.64	85.62
14:00-15:00	617	5839.9	2429.46	728.84	242.95	85.03
15:00-16:00	652	5521.5	2327.84	698.35	232.78	81.47
16:00-17:00	618	4895	2037.15	611.15	203.71	71.30
17:00-18:00	600	4004	1654.84	496.45	165.49	57.92

Tabell hentet fra omtalt rapport.

### 6.1.3 ENØK-prosjektet sluttrapport, Vegdirektoratet Teknologidivisjonen, Oslo 19.11.2008.

Med Norges mange tunneler med lav trafikk tetthet, spesielt nattetid, er det et interessant tema å se på muligheten med å skru av installasjoner nattetid. Det rapporteres i denne rapporten om installasjonen i Eiavatntunnelen. Dette er en 420 m lang tunnel med ÅDT= 25. Det er benyttet induktive sløyfer for å detektere biler 50 m før portal, og installert induksjons lamper som tenner umiddelbart med full styrke. Hver femte armatur er definert som sikkerhets belysning og holdes tent til enhver tid. Det er også supplert med IR-detektorer 15 m inne i tunnel, da det er tillatt med myke trafikanter i tunnel. Erfaringer viser med valgt tenntid ved detektert bil eller fotgjengere, en driftstid på ca. 2 timer per døgn, altså en besparelse på ca. 90 %. Prosjektet blir rapportert videreført til 5 tunneler i Lofoten i 2007, med noe høyere ÅDT. Etter antatt 5 års driftstid bør det søkes å innhente erfaringer fra disse prosjektene. I forhold til oppnådde besparelser og andre drifts og stabilitets erfaringer.

### 6.1.4 Reverberi, case study Tweede Benelux tunnel

En «case study» fra en Italienske leverandøren Reverberi. Tunnelen er en T 9,5 tunnel med 6 to kjørebanelers løp. Det er her gjort en sammenligning av en konvensjonelt styrt tunnel med 8 trinn for belysning og en med deres styresystem som baserer seg på prinsipielt på samme kontrollutstyr som beskrevet for referanse 5.1.1.

Det blir (i det riktignok udokumenterte) case studiet beskrevet en dobling av levetiden for lyskilder på grunn av måten det blir styrt på, en reduksjon i nødvendige armaturer på 300 stk samt en energibesparelse på 230.000 kWh/år.

<http://www.reverberi.it/en/application/tweede-benelux-tunnel-holland>

### 6.1.5 Mayer produktbeskrivelse:

Tilbyr et komplett system for styring og kontroll av tunnelbelysning. Omfatter luminansmeter for registrering av adaptasjonsluminans, styreenhet for kontaktorstyring av elektriske kurser og en illuminans sensor for kontinuerlig overvåking av opprettholdt belysningsnivå ( lux) nivå i indre sone. Angir montering av luminanssensor til ca. 200 m i forkant av portal, på minimum 4,5 m høyde.

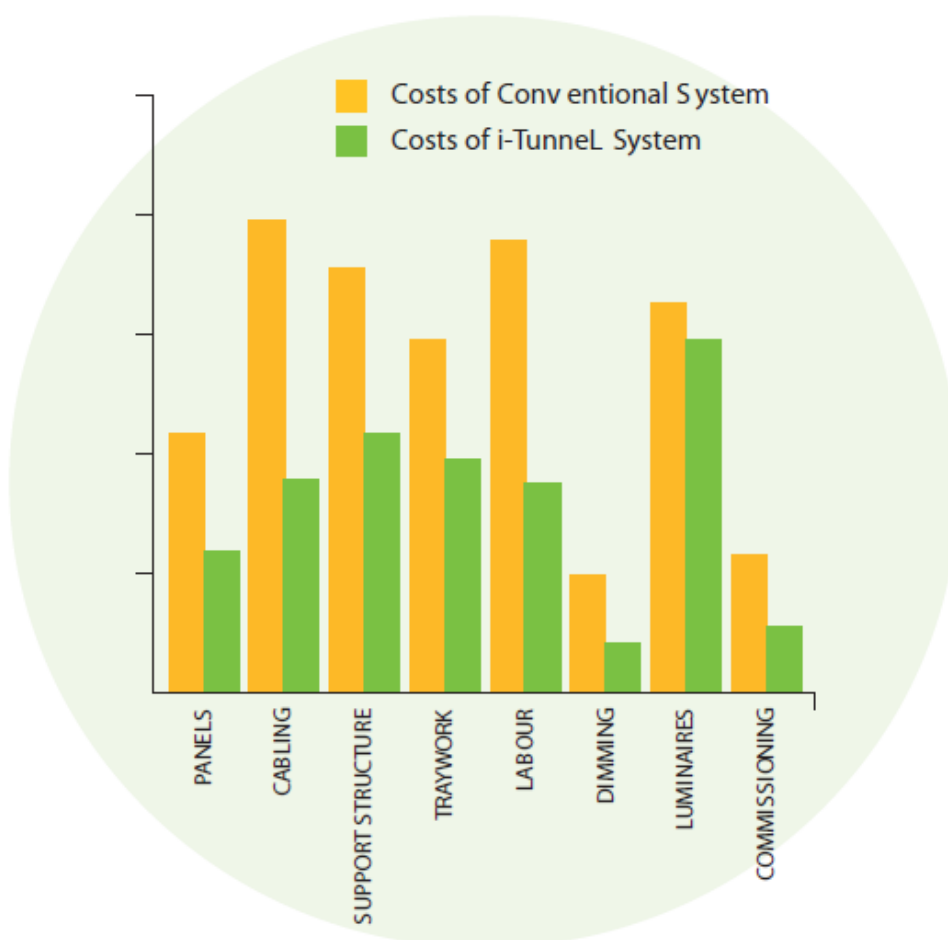
<http://www.tunnel-lighting-control.com/>



### 6.1.6 Indal WRTL produktbeskrivelse:

Tilbyr komplett produkt for tunnelbelysning og kontroll. Deres presentasjon av produktet viser en interessant oppdeling av kostnader for prosjektet i 8 forskjellige deler.

- Kontrollpaneler
- Kabling
- Bygningsmessige arbeider (fester osv.).
- Kabelbruer
- Arbeid
- Dimmestrategi/kontrollstrategi for belysningen
- Innkjøpskostnad for armaturer
- Implementering av kontrollsystem

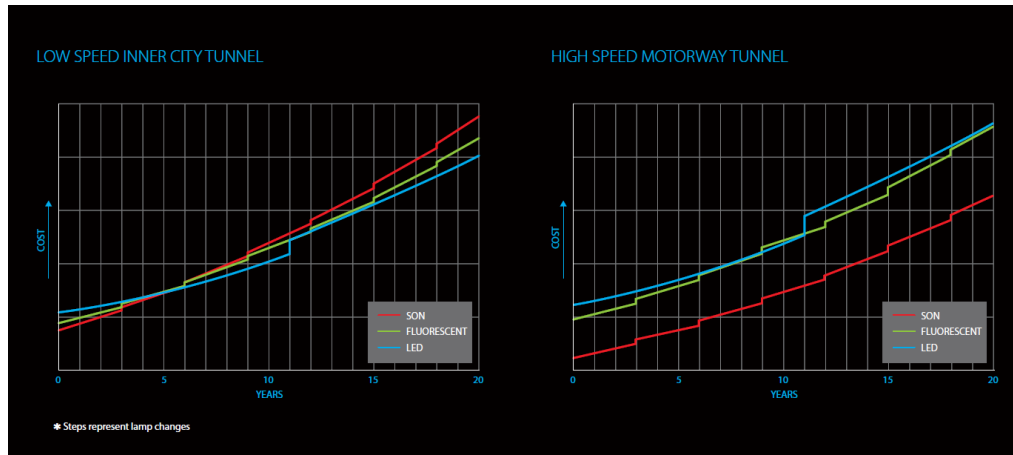


Figur hentet fra omtalt rapport

<http://www.wrtl.co.uk/Content/FileManager/about/itunnell/i-tunnel%20brochure.pdf>

### 6.1.7 Thorlux produktpresentasjon:

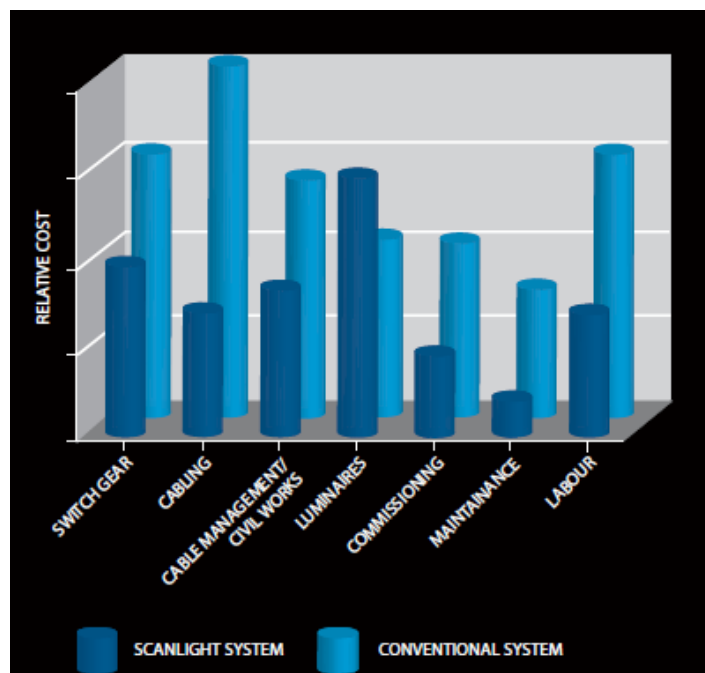
De slår fast at høytrykk damplamper fortsatt har sin plass i tunnel belysning, og fortsatt er foretrukket alternativ for innkjøringsbelysning på grunn av den høye lysytelsen for enkelt lyskilder. Den siste lanseringen deres er en fullt dimmbar 600 W høytrykksnatrium armatur med full DALI kompatibilitet. Med full elektronisk forkobling garanterer de en lav innkoblingsstrøm, nesten ingen harmonisk komponent og høyere enn 0,9 i fasevinkel (cos phi faktor) på alle dimmenivåer. En interessant fremstilling av totale LCC kostnader er vist fra deres side under.



Figur hentet fra omtalt web referanse

Beregningen inkluderer investeringskostnader, driftskostnader, vedlikeholdskostnader og lampeskift/lyskildeskift over en 20 års periode. Armaturene i seg selv antas å ha en levetid på mer enn 20 år. For lysrør og damplamper som blir driftet 24 t i døgnet vil det si lampeskifte hvert 3-4 år, og for LED med 100.000 t forventet levetid vil det si rundt 11 år før utskiftning. Hvis det er et integrert LED produkt må alt skiftes eller hvis det er en variant med utskiftbar «array» så holder det å skifte LED chipen.

En lignende fremstilling av kostnadsfordeling og sammenligning mellom et konvensjonelt anlegg og deres egen løsning, som Indal WRTL er vist i figur under:



Figur hentet fra omtalt web referanse

<http://www.thorlux.com/shared/catalogs/files/tunnel.pdf>

### 6.1.8 Luminansmeter for adaptasjonsluminans måling, produkt presentasjon

Under vises refererte spesialprodukter for måling av adaptasjonsluminans for portal. Utstyr har spesialbygget hus beregnet for enkelt vedlikehold, og spesifisert åpningsvinkel for måling av L20 luminans (luminans i et definert måleområde 20 grader rundt synsaksen). Som standard har utstyr et analogt 4-20 mA utgangssignal, kalibrerbart for spesifisert måleområde for bruk i styre/reguleringssystem. Som en bemerkning kan det nevnes at et analogt målesignal med såpass lav oppløsning for et så stort måleområde det er snakk om her, kan være et tema som kan skape utfordringer.

<http://www.hagner.se/pdf/tls420.pdf>

<http://www.tunnelsensors.com/brochures/LUMIOSBrochurev2.pdf>

<http://www.photometricsolutions.com/Specialised%20Photometric%20Equipment.html>

<http://www.tunnel-lighting-control.com/luminancesensor.html>

### 6.1.9 Komplette systemer for belysningsstyring i tunnel

Under vises en samling av europeiske leverandører som tilbyr totale systemer for styring av tunnel belysning. Felles for de fleste er at de baserer sin styring på benyttelse av luminansmeter. Både eksternt for kontroll av nivå for innkjøringssonen men også internt for kontroll og styring av indre sone i takt med vedlikeholds statusen.

<http://www.scribd.com/doc/20258149/Lighting-Handbook-THORN-Tunnel-Lighting>

<http://www.luxsave.com/test/funksjoner>

<http://www.wrtl.co.uk/about/i-tunnel>

<http://www.nyx-hemera.com/>

## 6.2 Diskusjon

Norske tunneler er hovedsakelig styrt med lux-føler utenfor portal. Det er ingen tvil om at dette ikke gir et korrekt bilde av adaptasjonsluminansen utenfor tunnelene. Som referansene over viser, finnes det i marked en lang rekke produkter som gir en løpende måling av både luminans og illuminans slik at det egentlig ikke er noen god grunn til at dette ikke skal benyttes. Eneste betenkeligheten må være vedlikeholdet som kan være mer krevende enn ved dagens løsning. Men samtidig er det mye energi og kostnader å spare med en mer optimal styring. Samtidig er det sparsommelig med driftserfaringer, men da må slik utstyr implementeres slik at man får et erfaringsgrunnlag.

Det finnes også komplette systemer på markedet som kan benyttes for direkte DALI dimming i tunneler. Uavhengige referanser på sparepotensialet (energi og kostnader) finnes ikke i dagens litteratur. En motivasjon for å implementere slike systemer kan være å sette opp trafikkteiling og luminanslogging for en tunnelportal, og gjøre kalkulasjoner av potensielt sparepotensiale ved optimal styring.

Som sluttrapport fra ENØK prosjektet viser er det gjort enkelte tiltak med installasjon av direkte behovsprøvd belysning i enkelte tunneler i Norge. Disse ble installert i en tid hvor det ikke fantes så mange lyskilder på markedet som var godt egnet til slik kontroll. Med dagens utvikling innen LED finnes det en lyskilde som er godt egnet til denne bruken, og det bør søkes å innhente de erfaringene som er skaffet i regionene på dette området.

## 7 KONKLUSJON

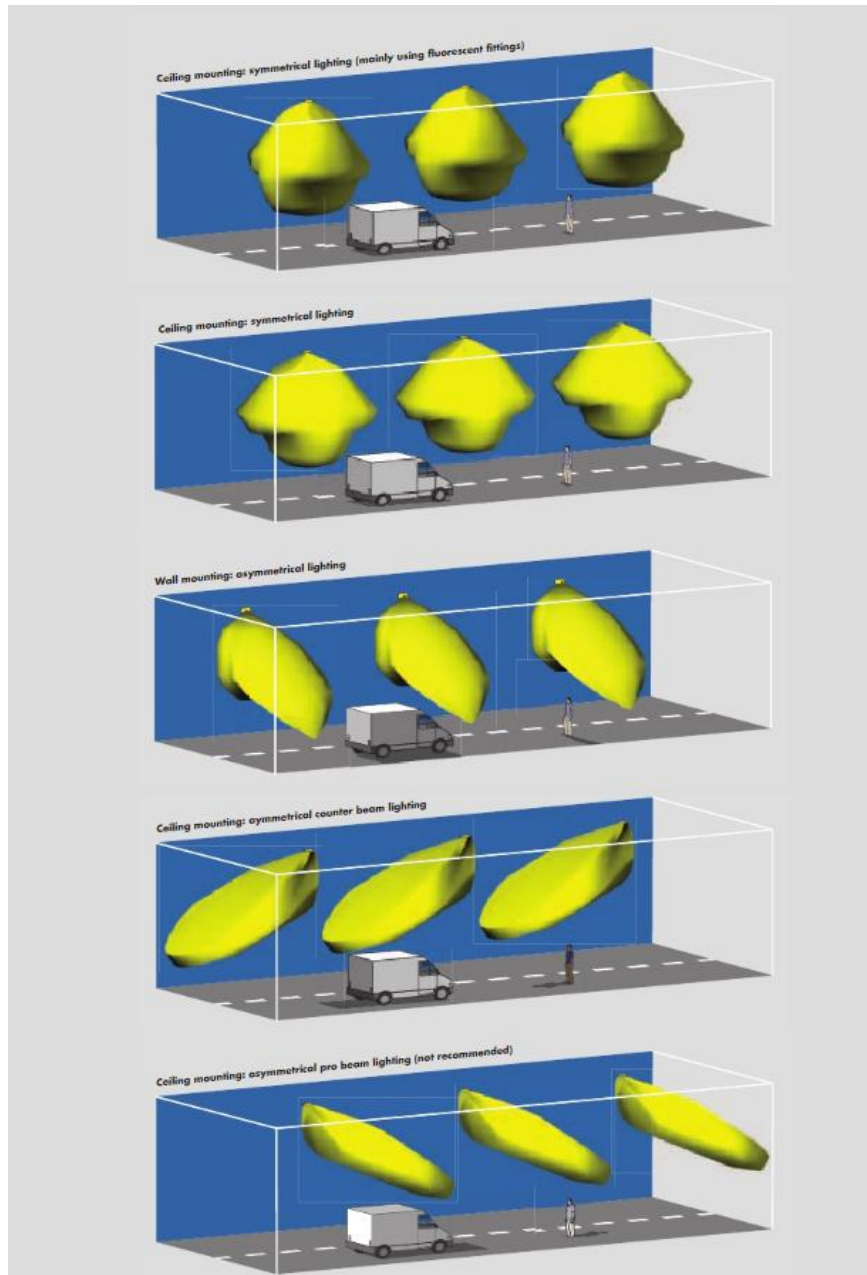
Det finnes få dokumenterte uavhengige undersøkelser av tunneler og forskjellige typer tekniske løsninger for belysning eller støttesystemer for lys (ledelys etc.). De mest vanlige referansene er case-studies eller tilsvarende ofte forfattet og publisert av leverandørene selv.

Det er i denne rapporten pekt på enkelte områder som det tilrådes at Vegvesenet opparbeider seg mer erfaringer på. Dette kan skje ved å gjøre sine egne (eller i samarbeid med andre) uavhengige undersøkelser og kartlegginger.

- Led anlegg:
  - Elektriske-, lystekniske- og materialutfordringer bør kontrolleres og undersøkes nærmere.
- Ledelys:
  - Gjennomføre statistisk analyse av ulykkesdata om dette i det hele tatt er tilgjengelig i stort nok omfang. Om ikke søke samarbeid med andre.
- Hvite vegger:
  - Gjennomføre fullskala lys- og materialforsøk, spesielt med tanke på vedlikehold. (Samt å videreføre/slutføre enkelte prosjekter som er igangsatt)
- Styring:
  - Det bør gjennomføres praktisk forsøk for å se på hvilke energibesparelser og kostnadsreduksjoner bruk av luminansmeter og dimmbart anlegg vil ha for belysningsanlegg i tunnel. I dette bør også inngå en kost/nytte-analyse (LCC) for å se på hvilken samlet samfunnsnytte et slikt tiltak vil ha. Det bør også gjøres en oppfølging og erfaringsamling med de installasjoner som har blitt gjort i Norge med behovstilpasset kontroll av belysning (spesielt region Nord).

## Lysfordeling – utenfor rapportens scope

En interessant vinkling på synbarhet i både veg og tunnelbelysning er jevnhet. I noen tilfeller kan man undres på om den kan bli for bra? Teoretiske studier tilsier at, i hvert fall for tunnelbelysning, vil en jevnhet opp mot 1 virke mot sin hensikt og hindre synbarhet av objekter. Dette skulle tilsa at man i krav bør oppgi både et minimum- og et maksimumskrav når det gjelder jevnhet. For eksempel mellom 0,3-0,7 for den totale luminansjevnheten.



Illustrasjon hentet fra Thorn:

<http://www.scribd.com/doc/20258149/Lighting-Handbook-THORN-Tunnel-Lighting>

- 8.1.1 Ito H et. Al. , «Visibility of critical objects and preceding cars for tunnel entrance lighting, CIE SA 2012.

