

# Belysning af vejtunneler

Fælles nordiske vejledende retningslinier

---

Rapport nr. 4: 1995

Udvalg 61: Broer og tunneler, underudvalg tunneler

Forfattere Jens Gudum DK i samarbejde med underudvalgets medlemmer.

Titel Belysning af vejtunneler

Serie NVF-rapporter

Udgivelsessted Helsingfors

Trykning Tryckericentralen AB (Painatuskeskus Oy), Helsingfors

ISSN 0347-2485  
ISBN 951-726-119-5

Referat Rapporten omhandler belysningen i vejtunneler for kørende trafik uden cyklister og fodgængere.  
Rapporten indeholder lystekniske krav til belysningen del om dagen og dels om natten.

Summary The report deals with lighting in road tunnels for motorized traffic without cyclists and pedestrians.  
In the report the photometric requirements for the lighting, by day and by night, are given.

NVF-rapporterne findes hos de respektive landes sekretariater.  
Bestilles via telefon, telefax eller post. Adresserne findes på næstsidste side.

NVF  
c/o Vejdirektoratet  
Postboks 1569  
DK-1020 KØBENHAVN K  
**Danmark**  
Telefon +45-339 333 38  
Telefax +45-333 298 30

NVF  
c/o Vägverket  
Postbox 33  
SF-00521 HELSINGFORS  
**Finland**  
Telefon 358-0 14 87 25 75  
Telefax 358-0 14 87 24 71

NVF  
c/o Landsverkfrødingurin  
Box 78  
FR-110 THORSHAVN  
**Färöarna**  
Telefon 298-113 33  
Telefax 298-149-86

NVF  
c/o Vegdirektoratet  
Postboks 8142, Dep  
N-0033 OSLO  
**Norge**  
Telefon 47-22 07 35 00  
Telefax 47-22 07 37 68

NVF  
c/o Vägverket  
S-781 87 BORLÄNGE  
**Sverige**  
Telefon +46 24 37 59 94  
Telefax +46 24 37 57 73

NVF  
c/o Vejdirektoratet  
Borgartun 7  
IS - 105 Reykjavik  
**Island**  
Telefon +35 45 63 14 00  
Telefax +35 45 62 23 32

---

Alle rapporter kan fås hos de respektive landes sekretariater.  
Bestilles via telefon, telefax eller post.

---

ISSN 0347-2485

ISBN 951-726-119-5

Juni 1995

# **Belysning af vejtunneler**

Fælles nordiske vejledende retningslinier

---

Rapport nr. 4: 1995

Udvalg 61: Broer og tunneler, underudvalg tunneler

# Forord

NVF Udvalg 61, Broer og tunneler har nedsat et underudvalg, der har til opgave at udarbejde forslag til retningslinier for projektering, udførelse samt drift og vedligeholdelse af trafiktunneler.

Underudvalget har tidligere udarbejdet NVF rapport nr. 6, 1993 "Ventilation af vejtunneler", som efter en mindre revision kommer i en engelsk udgave i 1995.

Underudvalget består af faste deltagere, som suppleres med fagspecialister for at give rapporterne et højt teknisk niveau.

For nærværende rapport om belysning af vejtunneler har underudvalget haft følgende sammensætning:

Akademiing. Jens Vejlbj Thomsen, Vejdirektoratet, Danmark

Direktør Jens Gudum, Hansen & Henneberg, Danmark

Dipl.ing. Olli Niskanen, Vägverket, Finland

Overingeniør Erik Norstrøm, Vegdirektoratet, Norge

Overingeniør Jan Eirik Henning, Vegdirektoratet, Norge

Civ.ing. Bernt Freiholtz, Vägverket, Sverige

Civ.ing. Peter Aalto, Vägverket, Sverige

Civ.ing. Bengt Brännvall, Vägverket, Sverige

Rapporten redegør for formålet med og funktionskravene til belysningsanlæg og andre forhold, der har indflydelse på synsforholdene i vejtunneler for motorkørende trafik uden cyklister og fodgængere.

Underudvalget håber, de her udarbejdede retningslinier vil blive anvendt som en vejledning ved projektering, reovering og vedligeholdelse af belysningsanlæg.

Da retningslinierne ikke har status som en fælles nordisk norm, kan der forventes afvigelser i praksis, således at anvendelse af vejledningen ikke nødvendigvis medfører en fælles standard for belysningsanlæg i vejtunneler i de nordiske lande.

Rapporten foreligger også i engelsk udgave.

# Foreword

NVF Committee 61, Bridges and Tunnels, has set up a Sub-Committee whose task is to prepare draft guidelines for the design, construction, operation and maintenance of traffic tunnels.

The Sub-Committee has previously prepared NVF report No. 6, "Ventilation af vejttunneler" ["Ventilation of road tunnels"] (1993), which, after minor revisions, will appear in English in 1995.

The Sub-Committee consists of permanent members, supplemented by specialists to give the reports a high technical standard.

For the present report on tunnel lighting the Sub-Committee had the following composition:

Akademiing. Jens Vejlbj Thomsen, Road Directorate, Denmark.

Director Jens Gudum, Hansen & Henneberg, Denmark.

Dipl.ing. Olli Niskanen, Highway Authority, Finland.

Overing. Erik Norstrøm, Road Directorate, Norway.

Overing. Jan Eirik Henning, Road Directorate, Norway.

Civ.ing. Bernt Freiholtz, Highway Authority, Sweden.

Civ.ing. Peter Aalto, Highway Authority, Sweden.

Civ.ing. Bengt Brännvall, Highway Authority, Sweden.

The report gives an account of the objectives and functional requirements for lighting installations and other factors that influence visibility in tunnels for road traffic without cyclists and pedestrians.

The Sub-Committee hopes that the guidelines will be used in the design, renovation and maintenance of lighting installations.

As the guidelines are not a Nordic standard, departures from them can be expected in practice, and their use does not necessarily involve a common standard for lighting installations in road tunnels in the Nordic countries.

The original text of the report is in Danish.

# Alkusanat

PTL:n jaosto 61, sillat ja tunnelit, on asettanut alajaoston, jonka tehtävänä on valmistella yleisiä suuntaviivoja tieliikennetunneleiden suunnittelua, rakentamista ja käyttöä.

Alajaosto on viimeksi julkaissut PTL:n raportin n:o 6, tieliikennetunneleiden ilmanvaihdosta (Ventilation av vägtunnlar). Se julkaistaan vähäisten tarkistusten jälkeen englanniksi 1995.

Alajaosto koostuu vakituisista jäsenistä sekä kunkin erikoisalan asiantuntijoista.

Tunnelivalaistusraportin valmistelleen alajaoston kokoonpano on ollut tässä työssä seuraava:

Ins. Jens Vejlbj Thomsen, Tanskan tielaitos  
Johtaja Jens Gudum, Hansen & Henneberg, Tanska  
Yli-ins. Erik Nordström, Norjan tielaitos  
Dipl.ins. Bernt Freiholtz, Ruotsin tielaitos  
Dipl.ins. Peter Alto, Ruotsin tielaitos  
Dipl.ins. Bengt Brännvall, Ruotsin tielaitos  
Dipl.ins. Olli Niskanen, Tielaitos

Raportti esittää teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia valaistuslaitteille ja muille tekijöille, jotka vaikuttavat näkyvyyteen tieliikennetunneleissa, joissa ei sallita kevyttä liikennettä.

Työryhmä toivoo, että näistä ohjeista on hyötyä suunniteltaessa, uudistettaessa ja käytettäessä valaistusjärjestelmiä.

Koska ohjeet eivät ole Pohjoismainen standardi, niistä voidaan poiketa käytännössä, eikä niiden käyttö toisaalta tee niistä Pohjoismaista tieliikennetunneleiden valaistusstandardia.

Ohjeen alkuperäinen teksti on tanskankielinen.



# Indholdsfortegnelse

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 0   | Sammenfatning .....   | 6  |
| 0   | Resumé .....  | 7  |
| 1   | Målsætning og funktionskrav .....                                       | 8  |
| 2   | Tunnelbelysningens funktion .....                                       | 9  |
| 3   | Definition af zoner og luminanser .....                                 | 10 |
| 3.1 | Adaptationsluminans ( $L_A$ ) .....                                     | 10 |
| 3.2 | Tærskelzone og tærskelzoneluminans ( $L_T$ ) .....                      | 11 |
| 3.3 | Overgangszone og overgangszoneluminans ( $L_o$ ) .....                  | 11 |
| 3.4 | Indre zone og luminans i indre zone ( $L_i$ ) .....                     | 11 |
| 3.5 | Udkørselszone og luminans i udkørselszone ( $L_{UD}$ ) .....            | 11 |
| 4   | Krav til zonelængder og zoneluminanser om dagen (driftsværdier) ..      | 12 |
| 4.1 | Adaptationsluminansen. $L_A$ .....                                      | 12 |
| 4.2 | Tærskelzonelængde og -luminans $L_T$ .....                              | 14 |
| 4.3 | Luminans i den indre zone. $L_i$ .....                                  | 15 |
| 4.4 | Overgangszonens længde $S_o$ og luminans $L_o$ .....                    | 16 |
| 4.5 | Udkørselszonens længde og luminans .....                                | 16 |
| 5   | Øvrige lystekniske krav (driftsværdier) .....                           | 17 |
| 5.1 | Vejbanens luminansfordeling om dagen .....                              | 17 |
| 5.2 | Hele tunnelzonen om natten .....  | 17 |
| 5.3 | Tunnelvæggenes luminans .....   | 17 |
| 5.4 | Synsnedsættende blænding .....  | 18 |
| 5.5 | Flimmerfrekvens .....   | 18 |
| 6   | Dimensionering og trinopdeling af belysningsanlægget .....              | 19 |
| 7   | Styring af belysningen .....  | 20 |
| 8   | Belysningsanlæggets udformning .....                                    | 21 |
| 9   | Øvrige forhold .....  | 23 |
| 10  | Nødstrømsforsyning .....  | 24 |
| 11  | Dagslysraster ved indkørslen .....                                      | 25 |
| 12  | Vedligeholdelse .....   | 26 |
| 13  | Eksempler på bestemmelse af adaptationsluminansen ved metode<br>3 ..... | 27 |
|     | Litteraturliste .....   | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 2 .....   | 34 |
| Fig. 3 Limfjordstunnelen. Foto taget 100 m før tunnelindkørsel ..... | 35 |
| Fig. 4 Tingstadstunneln. Foto taget 110 m før tunnelindkørsel .....  | 36 |
| Fig. 5 Gnistångstunneln. Foto taget 110 m før tunnelindkørsel .....  | 37 |
| Kurveblad 1: Luminansforløb i tærskel- og overgangszone .....        | 38 |
| Rapportoversigt .....  | 39 |

# 0 Sammenfatning

Rapporten omhandler belysningen i vej tunneler for motorkørende trafik uden cyklister og fodgængere.

I rapporten redegøres først for belysningens primære formål at sikre trafiksikkerheden ved at belyse alle vigtige synsobjekter under hele gennemkørselsforløbet.

Herudfra er de lystekniske krav til belysningen, dels om dagen og dels om natten med tilhørende definition af zoner og zoneluminanser, opstillet.

Tunnelen opdeles i en tærskelzone, en række overgangszoner, en indre zone og en udkørselszone.

I disse zoner stilles krav til vej baneluminansen som funktion af adaptionsluminansens i det fri, hastigheden og trafikmængden. Herudover stilles krav til tunnelvæggenes luminans og belysningsanlæggets blændings- samt flimverbegrænsning.

På grundlag af de lystekniske krav redegøres derpå for dimensionering og trinopdeling af belysningsanlægget samt for styringen.

Endvidere redegøres for belysningsanlæggets udformning, herunder hvilken del af belysningen, der bør nødstrømsforsynes og for andre forhold der har betydning for synsforholdene i tunnelen.

Endelig redegøres for brugen af dagslysraster ved tunnelindkørslen til at lette overgangen fra dagslyset i det fri til tunnelbelysningen.

Rapporten afsluttes med et afsnit om vedligeholdelse samt 3 eksempler på beregning af adaptionsluminansen i standselængden fra tunnelindkørslen.

# 0 Resumé

The report deals with lighting in road tunnels for motorized traffic without cyclists and pedestrians.

The report first describes the primary aim of the lighting - to ensure traffic safety by illuminating all important objects during the entire passage.

The technical requirements for the lighting, by day and by night, with the associated definitions of zones and zone luminances, are then given.

The tunnel is divided into a threshold zone, a number of transition zones, an inner zone and an exit zone.

For each zone, requirements are set up for the carriageway luminance as a function of the adaptation luminance in the open, the speed and the traffic intensity. In addition, requirements are proposed for the luminance of the tunnel walls and the limitation of dazzle and flicker effects of the installation.

On the basis of the technical requirements, the dimensioning, stepping and control of the lighting installation are dealt with.

An account is also given of the form of the installation, including the components to be supplied with emergency power, and other matters affecting visibility in the tunnel.

Finally, the use of daylight screens at the tunnel entrance to facilitate the transition from daylight to the tunnel lighting level is treated.

The report concludes with a section on maintenance and three examples of calculations of the adaptation luminance in the stopping distance from the tunnel entrance.

# 1 Målsætning og funktionskrav

Formålet med belysning i vejtunneler er at sikre, at trafikken såvel om dagen som om natten kan køre ind i, passere og forlade tunnelen med tilnærmelsesvis samme sikkerhed som på de tilstødende vejstrækninger.

For at opnå dette er det nødvendigt, at vejbanen er klart synlig under hele indkørsels- og gennemkørselsforløbet og sammen med tunnelvæggene giver et klart billede af vejforløbet gennem tunnelen.

Endvidere er det vigtigt, at afmærkningen på kørebanen er klart synlig ved at kontrasten mellem vejstribe og vejbelægning er stor.

Endelig er det vigtigt, at genstande på vejbanen er synlige på tilstrækkelig stor afstand ved at kontrasten mellem genstand og vejbane og/eller tunnelvægge er stor.

For at opnå dette stilles der følgende lystekniske krav til belysningen:

- Belysningen skal give vejbanen et luminansniveau, der er tilstrækkeligt højt og luminansen skal være tilfredsstillende jævnt fordelt på kørebanen, såvel når vejbanen er tør, som når den er fugtig eller våd.
- Lysets indfaldsretning i forhold til synsretningen skal give en god kontrastgengivelse af afmærkningen på kørebanen, såvel når kørebanen er tør, som når den er fugtig eller våd.
- Belysningen skal give den nederste del af tunnelvæggen en tilstrækkelig høj luminans.
- Belysningen skal være tilfredsstillende blændingsbegrænset.
- Belysningen må ikke give synsforstyrrende flimmer.

## 2 Tunnelbelysningens funktion

Tunnelbelysningens vigtigste funktion er at belyse tunnelen tilstrækkeligt til, at det der skal ses er synligt under hele indkørsels- og gennemkørselsforløbet.

Synsforholdene og dermed belysningsforholdene er mest kritiske om dagen, fordi det dagslystilpassede syn ikke pludselig kan omstille sig til en mørk tunnel.

Vort syn kan godt klare så stor en omstilling, men da det tager en vis tid, er det nødvendigt, at belysningen fra dagslysniveauet i det fri gradvist reduceres over en vis strækning til det lavere niveau inde i tunnelen.

Hvor lang denne strækning skal være og hvor højt et belysningsniveau, det er nødvendigt at have undervejs, afhænger af hastigheden og af belysningsniveauet i det fri omkring tunnelindkørslen.

### 3 Definition af zoner og luminanser

Til at beskrive den nødvendige belysning og de dertil hørende strækninger i tunnelen, defineres en række zoner med dertil hørende belysningskrav, som vist på principskiten fig. 1.

Endvidere bestemmes værdier for standselængden i overensstemmelse med de geometriske vejudformningsregler, der er gældende i de enkelte lande.

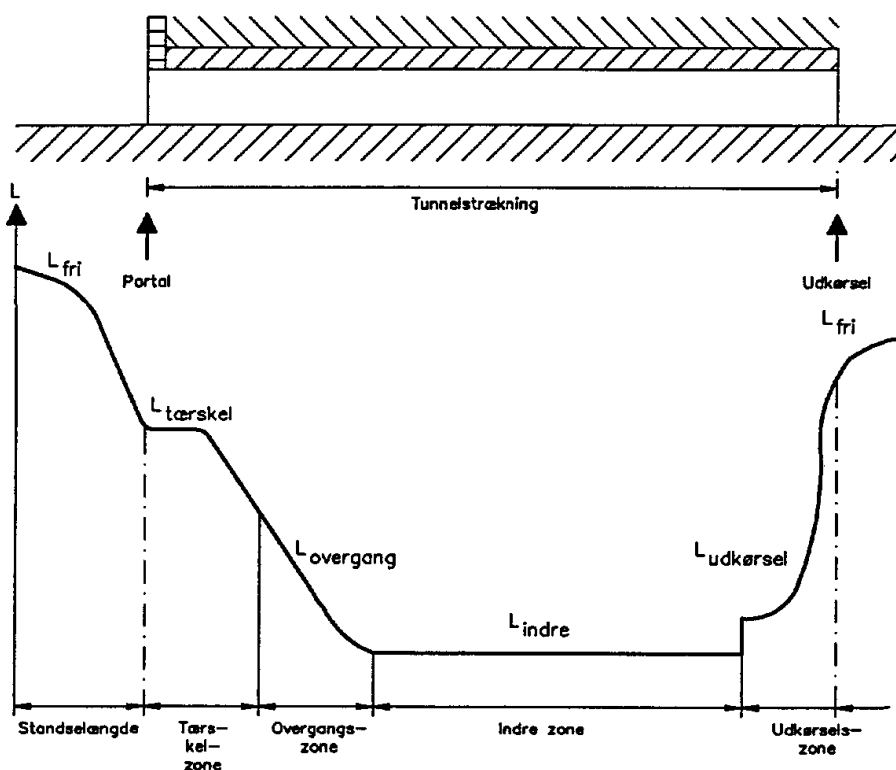


Fig. 1

#### 3.1 Adaptationsluminans ( $L_A$ )

Adaptationsluminansen er den luminans vort syn er tilpasset til i det fri i standselængden fra tunnelindkørslen.

### **3.2 Tærskelzone og tærskelzoneluminans ( $L_T$ )**

Tærskelzonen er den første del af tunnelen, man skal kunne se ind i, før man kører ind i tunnelen.

Tærskelzonens længde er lig med standselængden.

Tærskelzoneluminansen er den nødvendige vejbaneluminans inde i tunnelen, for at man hele tiden under kørsel mod tunnelindkørslen kan se standselængden frem i tunnelen.

### **3.3 Overgangszone og overgangszoneluminans ( $L_o$ )**

Overgangszonen kommer efter tærskelzonen og er den strækning, hvor luminansen aftager til luminansen i den indre zone. Overgangszoneluminansen er den vejbaneluminans, der er nødvendig for, at man i enhver position i tærskelzonen og overgangszonen kan se standselængden frem i tunnelen.

### **3.4 Indre zone og luminans i indre zone ( $L_i$ )**

Den indre zone ligger efter overgangszonen og før udkørselszonen.

Luminansen i den indre zone er den nødvendige vejbaneluminans for sikker færdsel gennem tunnelen om dagen.

### **3.5 Udkørselszone og luminans i udkørselszone ( $L_{UD}$ )**

Udkørselszonen er den sidste del af tunnelen, hvor synet i mærkbar grad begynder at tilpasse sig til det udendørs belysningsniveau.

Luminansen i udkørselszonen er den vejbaneluminans, der er nødvendig for, at vejbanen i tunnelen før udkørslen ikke bliver for mørk i forhold til vejbaneluminansen i det fri.



# 4 Krav til zonelængder og zoneluminanser om dagen (driftsværdier)

## 4.1 Adaptationsluminansen. $L_A$

For at kunne bestemme den nødvendige luminans i tunnelens tærskelzone, må man først bestemme adaptationsluminansen.

I standselængden før tunnelindkørslen er øjets adaptation primært bestemt af tunnelåbningens størrelse i synsfeltet og af luminansen af de flader, specielt vejbanen, der ligger nærmest omkring synsretningen, og i mindre grad af tunnelomgivelserne og en eventuel himmeldel over tunnelen, der ligger længere væk fra synsretningen.

Ved høje hastigheder med stor standselængde fylder tunnelåbningen en mindre del af synsfeltet end ved lave hastigheder med lille standselængde. Med fri horisont over tunnelåbningen ligger himmelen tættere på synsretningen end med lav eller høj bebyggelse eller bevoksning omkring tunnelåbningen.

Adaptationsluminansen afhænger således både af hastigheden og af tunnelomgivelserne, således at høj hastighed og fri horisont giver den højeste adaptationsluminans, medens lav hastighed og høj bebyggelse omvendt giver den laveste adaptationsluminans.

Til at bestemme adaptationsluminansen  $L_A$  findes der 3 forskellige metoder.

### Metode 1

Ved metode 1 bestemmes  $L_A$  på grundlag af erfaringstal for hvilken indflydelse omgivelser og hastighed har på  $L_A$ .

Et sådant sæt af erfaringstal for adaptationsluminansen er angivet i tabel 1, hvor omgivelserne er opdelt i 3 kategorier og hastigheden er opdelt i 2 intervaller.

**Tabel 1. Erfaringsmæssig adaptationsluminans  $L_A$  i  $\text{cd/m}^2$  ved forskellige omgivelser og hastigheder**

| Hastighed          | 50-80 km/t                 | 80-110 km/t                |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Omgivelser         |                            |                            |
| Fri horisont       | $\leq 5000 \text{ cd/m}^2$ | $\leq 6000 \text{ cd/m}^2$ |
| Lav bebyg. bevoks. | $\leq 4000 \text{ cd/m}^2$ | $\leq 5000 \text{ cd/m}^2$ |
| Høj bebyg. bevoks. | $\leq 3000 \text{ cd/m}^2$ | $\leq 4000 \text{ cd/m}^2$ |

Metoden er hurtig, men lidt grov og tager ikke hensyn til de konkrete specifikke forhold, der er ved den enkelte tunnelindkørsel.

## Metode 2

Ved metode 2 bestemmes adaptationsluminansen som middelluminansen  $L_{20}$  i et 20° stort cirkulært synsfelt omkring synsretningen, når man befinder sig i standselængden fra tunnelindkørslen.

Metoden kræver en perspektivisk tegning eller et foto af tunnelindkørslen og omgivelserne omkring denne og en måling eller beregning af de enkelte fladers størrelse og luminans.

I CIE 88, 1990 (1) foreslås det at vælge mellem 3 forskellige standselængder på henholdsvis 60, 100 og 160 m, svarende til hastigheder på mellem 60-70 km/t, 90km/t og 110 km/t.

Det foreslås endvidere at inddele omgivelserne i himmel, vej og øvrige omgivelser og beregne  $L_{20}$  som:

$$L_{20} = \gamma * L_G + \rho * L_R + \varepsilon * L_E$$

hvor  $\gamma$  er himmelarealet i % af synsfeltet

$\rho$  er vejbanearealet i % af synsfeltet

$\varepsilon$  er øvrige omgivelser i % af synsfeltet

$L_G$  er himmelluminansen

$L_R$  er vejbaneluminansen

$L_E$  er omgivelsernes luminans

Som retningsgivende størrelser på forskellige luminanser angives følgende værdier som afviger lidt fra de værdier, der er skønnet for nordiske forhold side 19:

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| Himmel      | 8-16 kcd/m <sup>2</sup> |
| Vejbane     | 3-5 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Klipper     | 1-3 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Bygninger   | 4-8 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Marker-enge | 2 kcd/m <sup>2</sup>    |

Metoden tager mere specifikt hensyn til den konkrete tunnel, men for at give et mere rigtigt resultat end metode 1 kræver den et rigtigt valg af luminanser i synsfeltet.

Metoden har den systematiske fejl at alle flader i synsfeltet vægtes ens ved beregningen af adaptationsluminansen uden hensyn til, om de ligger tæt på eller langt fra synsretningen.

## Metode 3

Ved metode 3 bestemmes adaptionsluminansen ved at fladernes luminans vægtes med fladernes position i synsfeltet som ved beregning af sløringsluminansen.

Metoden bygger på den antagelse at nethindens følsomhed påvirkes af omgivelserne på samme måde, som øjet er følsomt for blanding, hvor den ækvivalente sløringsluminans er mål for blandingens størrelse.

Beregning af sløringsluminans til brug for bestemmelse af tærskelzoneluminansen er nævnt i et tillæg i CIE-88-90 og metoden er viderebearbejdet og afprøvet på en række norske tunneler som beskrevet i EFI report TR3728(2).

Herudfra foreslås det at gå et skridt videre og undlade at beregne sløringsluminansen, men blot vægte luminanserne i synsfeltet på samme måde som ved beregning af sløringsluminansen.

Metoden kræver, som metode 2, en perspektivisk tegning eller et foto af tunnelindkørslen og omgivelserne samt en bestemmelse af de enkelte fladers luminans.

Dernæst opdeles synsfeltet i flader, der bidrager med samme vægt, ved hjælp af polardiagrammet fig. 2 side 24 og middelluminansen  $L_{FL}$  af hver flade beregnes. Adaptionsluminansen  $L_A$  bestemmes herudfra ved at beregne middelværdien af de beregnede fladeluminanser.

$$L_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{FL}$$

Metoden har ikke været anvendt i praksis, men skulle give et rigtigere resultat end metode 2 og anbefales, hvis man gerne vil have en mere nøjagtig bestemmelse af  $L_A$  end den der kan opnås ved brug af metode 1.

## 4.2 Tærskelzonelængde og -luminans $L_T$

Den nødvendige luminans i tærskelzonen  $L_T$  er foruden adaptionsluminansen i standselængden fra tunnelindkørslen, også afhængig af den omstilling i adaptationen, øjet er i gang med, ved kørsel mod tunnelindkørslen. Jo højere hastigheden er, jo mindre har synet nået at omstille sig fra luminansen i det fri og til luminansen af tunnelåbningen og dens omgivelser.

Det betyder at den nødvendige luminans i tærskelzonen også er afhængig af hastigheden og skal være en større procentdel af adaptionsluminansen, når hastigheden er høj end når den er lav. Tærskelzonens længde skal være lig med standselængden og er således bestemt af hastigheden. I tabel 2 er tærskelzonens længde og forholdet mellem tærskelzoneluminansen  $L_T$  og adaptionsluminansen  $L_A$  angivet ved forskellige hastigheder.

**Tabel 2. Tærskelzonelængde og forhold k mellem tærskelzoneluminans og adaptationsluminans ved forskellig hastighed**

| Hastighed | Tærskelzonelængde | $k = L_T/L_A$ |
|-----------|-------------------|---------------|
| 50 km/t   | 40 m              | 0.04          |
| 60 km/t   | 50 m              | 0.05          |
| 70 km/t   | 65 m              | 0.05          |
| 80 km/t   | 80 m              | 0.06          |
| 90 km/t   | 100 m             | 0.06          |
| 100 km/t  | 120 m             | 0.07          |
| 110 km/t  | 150 m             | 0.07          |

Som det fremgår af tabel 2 bør tærskelzoneluminansen normalt være mellem 4% og 7% af adaptationsluminansen.

Ved lav trafik kan ovenstående værdier, specielt ved de lavere hastigheder, reduceres med ca. 50%.

Tærskelzoneluminansen  $L_T$  skal være til stede i den første halvdel af tærskelzonen og kan i 2. halvdel aftage kontinuært til 40% ved zonen afslutning jfr. kurveblad 1 side 28.

### 4.3 Luminans i den indre zone. $L_i$

Den nødvendige vejaneluminans om dagen i den indre zone er først og fremmest afhængig af hastigheden og trafikintensiteten.

**Tabel 3. Vejaneluminansen i  $cd/m^2$  i den indre zone som funktion af hastigheden og trafikintensiteten**

| Vejaneluminans<br>i $cd/m^2$ |        | Trafikintensitet |        |     |
|------------------------------|--------|------------------|--------|-----|
|                              |        | Lav              | Middel | Høj |
| Hastighed<br>km/t            | 50-70  | 1                | 2      | 3   |
|                              | 70-90  | 2                | 4      | 6   |
|                              | 90-110 | 4                | 8      | 12  |

Praksis for fastsættelse af luminansværdier varierer for de enkelte lande.

Ved vanskelige syns- eller trafikforhold som mørke vægge, til- og frakørsler inde i tunnelen o.l., bør man hæve belysningsniveauet.

Ved længere tunneler, hvor køretiden overstiger 2-3 min. kan vejluminansen yderligere nedtrappes til niveauet for nattrinnet i h.t. tabel 7, side 12.

#### 4.4 Overgangszonens længde $S_o$ og luminans $L_o$

Overgangszonen er nødvendig for, at øjet i en vis udstrækning kan nå at omstille sig til det lavere belysningsniveau inde i tunnelen. Overgangszonens længde bestemmes idag ved hjælp af nedenstående udtryk, som det ser ud til, der er behov for at revidere, da den længde af overgangszonen, der beregnes, synes at være unødvendig lang.

Overgangszonens længde  $S_o$  der er bestemt af hastigheden ( $V$ ) i km/t og af luminansen i tærskelzonen ( $L_T$ ) og i den indre zone ( $L_I$ ) bestemmes idag af følgende udtryk:

$$S_o = \frac{V}{3.6} \cdot \left( \left( \frac{L_T}{L_I} \right)^{-0.71} - 1.9 \right) \text{ (m)}$$

Luminansforløbet  $L_o$  i overgangszonen kan bestemmes af følgende udtryk.

$$L_o = L_T \cdot \left( 1.9 + 3.6 \cdot \frac{S}{V} \right)^{-1.4}$$

hvor:  $L_T$  er tærskelzoneluminansen i cd/m<sup>2</sup>  
 $S$  er afstanden fra overgangszonens start i m  
 $V$  er hastigheden i km/t

$L_o$  som funktion af distancen  $d$ , der er bestemt af hastigheden, kan aflæses af kurveblad 1, side 28.

Vejbaneluminansen i overgangszonen kan aftrappes i trin, når trinnene ligger over  $L_o$ -kurven og når forholdet mellem luminansen af et trin og det næste højest er 3 eller i specielle tilfælde op til 5.

#### 4.5 Udkørselszonens længde og luminans

Udkørselszonen er den sidste del af tunnelstrækningen, hvor man inde fra ser ud og hvor øjet begynder at omstille sig til det højere udendørs niveau. Herved kommer tunnelvæggene og vejbanen i udkørselszonen til at virke mørke.

Denne virkning kan man kompensere for ved i udkørselszonen på 60 m længde at hæve luminansen til 5 x luminansen i den indre zone.

Hvorvidt denne luminans af sikkerhedsmæssige grunde er nødvendig, er der tvivl om, så om man vil etablere en kraftigere belysning i udkørselszonen er nok en skønssag.

## 5 Øvrige lystekniske krav (driftsværdier)

### 5.1 Vejbanens luminansfordeling om dagen

Luminansfordelingen på vejbanen skal om dagen opfylde regelmæssighedskravene til de højeste belysningsklasse i de fælles nordiske vejbelyningsregler, som angivet i tabel 6.

Tabel 6. Regelmæssighedskrav om dagen

| Hastighed<br>V km/t | Regelmæssighed<br>$L_{\min}/L_{\text{mid}}$ |      | Langsregelmæssighed<br>$L_{\min}/L_{\text{max}}$ |
|---------------------|---|------|--|
|                     | tør   | våd  | tør  |
| $V \leq 80$         | 0,4   | 0,15 | 0,35   |
| $V > 80$            |   |      | 0,6  |

### 5.2 Hele tunnelzonen om natten

Belysningen skal om natten opfylde kravene til belysningsklasse i de fælles nordiske vejbelyningsregler, som angivet i tabel 7.

Tabel 7. Lystekniske krav om natten

| Omgivelser | Hastighed<br>km/t | Luminans<br>$\text{cd}/\text{m}^2$<br>$L_{\text{mid}}$ | Regelmæssighed                   |                                  | Langsregel-<br>mæssighed         |
|------------|-------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|            |                   |  | $L_{\min}/L_{\text{mid}}$<br>tør | $L_{\min}/L_{\text{mid}}$<br>våd | $L_{\min}/L_{\text{max}}$<br>tør |
| Belyst     | $V \leq 80$       | 2  | 0,4                              | 0,15                             | 0,35                             |
|            | $V > 80$          |  |                                  |                                  | 0,6                              |
| Ubelyst    | $V \leq 80$       | 1  |                                  |                                  | 0,35                             |
|            | $V > 80$          |  |                                  |                                  | 0,6                              |

### 5.3 Tunnelvæggens luminans

Da tunnelvæggens synlighed har stor betydning for, at trafikanterne placerer sig rigtigt i tunneltværsnittet og da væggene ved indkørsel er de flader, der inde i tunnelen fylder mest i synsfeltet, er det vigtigt, at de har en vis luminans.

Derfor bør tunnelvæggene være lyse og belyst i mindst 2 m's højde over vejbanen, så deres middelluminans mindst er af samme størrelse som vejbaneluminansen og så det tilstræbes at luminansfordelingen på langs er så jævn som mulig.

## 5.4 Synsnedsættende blænding

Den synsnedsættende blænding fra belysningen skal begrænses, så Threshold Increment (TI) ikke overskrider 15%.

TI værdien beregnes af følgende udtryk:

$$TI = 60 \cdot L_v / L_{mid}^{0,8} \text{ hvis } L_{mid} \leq 5 \text{ cd/m}^2$$

$$TI = 95 \cdot L_v / L_{mid}^{1,05} \text{ hvis } L_{mid} > 5 \text{ cd/m}^2$$

hvor:  $L_{mid}$  er vejbanens middelluminans  
 $L_v$  er sløringsluminansen fra alle armaturer i synsfeltet indtil 20° over vandret.

## 5.5 Flimmerfrekvens

For at undgå ubehagelig flimмерpåvirkning fra armaturerne bør man undlade at anvende lyspunktafstande, hvor passage sker ved en frekvens, der ligger mellem 2,5 og 15 Hz.

Dvs afstanden mellem armaturerne ved forskellige hastigheder skal ligge uden for områderne angivet i tabel 8.

**Tabel 8. Område hvor armaturafstand giver generende flimмер**

| Hastighed | Armatur der giver flimмер |
|-----------|---------------------------|
| 50 km/t   | 0.9 m - 5.6 m             |
| 60 km/t   | 1.1 m - 6.7 m             |
| 70 km/t   | 1.3 m - 7.8 m             |
| 80 km/t   | 1.5 m - 8.9 m             |
| 90 km/t   | 1.7 m - 10 m              |
| 100 km/t  | 1.9 m - 11 m              |
| 110 km/t  | 2 m - 12 m                |

I praksis har flimмерpåvirkningen størst betydning i lange tunneler og en vis flimмерpåvirkning kan godt accepteres i indkørselzonerne og i kortere tunneler med begrænset køretid på op til 2 min.

## 6 Dimensionering og trinopdeling af belysningsanlægget

Belysningsanlægget dimensioneres på grundlag af de lystekniske krav til driftsniveauet i de enkelte zoner i tunnelen.

I tærskel- og overgangszonen samt evt. udkørselszonen er der krav om et højt niveau, der kan reguleres efter dagslysmængden i det fri, medens der i den indre tunnelzone kun er krav om et lavt niveau, der kan ændres fra dag til nat.

Belysningsanlægget opdeles derfor i en række belysningstrin bestående af grundtrinnet, der udgør grundbelysningen gennem hele tunnelen i dagtimerne og tillægstrinnene, der udgør den supplerende belysning i ind- og evt. udkørselszonen. Grundtrinnet reduceres i nattetimerne til nattrinnet ved enten at dæmpe alle armaturerne eller slukke en del af dem.

Tillægstrinnene i tærskel-, overgangs- og evt. udkørselszone indkobles med stigende dagslysniveau, så der hele tiden er det nødvendige belysningsniveau til stede i disse zoner i forhold til dagslyset i det fri i h.t. de i tabel 2 angivne k værdier.

Hvor mange tillægstrin belysningen skal opdeles i, bør fastlægges ved en økonomisk vurdering af elbesparelsen ved hurtigt at kunne udkoble noget af belysningen og den dertil svarende merpris for en installation, der er opdelt i mange trin.

Normalt anvendes et grund- og nattrin og 3-5 tillægstrin.

Ved reversibel drift i 2-rørs tunneler bør der i udkørselszonen kunne etableres en tærskel- og overgangszonelysning tilstrækkelig til, at indkørsel kan ske ved den hastighed, der tillades i den pågældende situation.



## 7 Styring af belysningen

Den nødvendige belysning i tærskelzonen og overgangszonerne er bestemt af adaptationsluminansen.

Adaptationsluminansen kan principielt bestemmes ved i standselængden fra indkørslen at måle sløringsluminansen fra en position, der svarer til billistens observationssted. Udstyr af denne type findes på markedet, men benyttes normalt ikke til styring af tunnelbelysning.

Derimod benyttes udstyr, der måler luminansen  $L_{20}$  i et  $20^\circ$  felt og som ligeledes opsættes i standselængden fra tunnelindkørslen i en position svarende til billistens observationssted.

Da vejbanen ofte er den flade i synsfeltet, der har størst indflydelse på adaptationsluminansen, kan man også styre belysningen efter den vandrette belysningsstyrke på vejbanen.

Denne kan måles med en vandret orienteret fotocelle, der er afskærmet på samme måde som den omgivende bebyggelse afskærmer himmelen mod vejbanen.

Fordelen ved den sidste metode er, at måleudstyret kan placeres et andet sted end tæt på trafikken, så fotocellen kan sidde beskyttet og let tilgængelig for rengøring og eftersyn.

Når den målte værdi over-/underskrider en af de værdier, hvor et tillægstrin skal ind-/udkobles, skal der afgives et styresignal. For at undgå at tillægstrinnene bliver ind- og udkoblet på grund af kortvarige ændringer i belysningen, f.eks. ved drivende skyer, skal koblingen ske med en vis tidsforsinkelse, som bør være justerbar.

Indkobling kan f.eks. tidsforsinkes 5 min. og udkobling 10 min.

Niveauet for ind- og udkobling for det enkelte tillægstrin bør kunne justeres individuelt uden at ændre indstilling af de øvrige trin.

Da adaptationsforholdene ofte er forskellig ved de 2 tunnelindkørsler, bør belysningen i de 2 indkørsler endvidere kunne styres uafhængigt af hinanden.

# 8 Belysningsanlæggets udformning

Armaturerne kan monteres enten på væggene eller på loftet og bør normalt anbringes så højt over vejbanen, som muligt.

De mest effektive og velegnede lyskildetyper er stavformede lysstofrør og højtryksnatriumlamper med klar cylinderformet kolbe. Anvendelig, men mindre velegnet p.g.a. den manglende farvegengivelse, er lavtryksnatriumlampen.

Lysstofrør kan dæmpes til ca. 10% af fuldt lysniveau, medens højtryksnatriumlampen kan dæmpes til ca. 50% af fuldt lysniveau.

Til grund- og nattrinnet er både højtryksnatriumlamper i mindre wattage og lysstofrør velegnede. Til tillægstrinnene er højtryksnatriumlamper i større wattage den mest velegnede lyskildetype. Anvendes lysstofrørsarmaturer i grundtrinnet opnås den bedste optiske føring og den største regelmæssighed af vejbaneluminansen ved at de anbringes i en ubrudt række gennem tunnelen og dæmpes, når niveauet reduceres til nattrinnet.

Anvendes højtryksnatriumarmaturer får man en punktformet belysning, som ud over at skulle opfylde regelmæssighedskravene på vejbanen også skal give væggene i indtil 2 m højde, så jævn en belysning som muligt.

Normalt vil man opsætte armaturerne i grupper med en gruppeafstand, der er større end det kritiske interval for flimrer i h.t. tabel 8.

I den enkelte gruppe er det antal armaturer, der giver det nødvendige niveau det pågældende sted i tunnelen, indkoblet. Nattrinnet kan i nogen tilfælde etableres ved at dæmpe armaturerne i grundtrinnet.

Armaturerne bør normalt have en lysfordeling, der er symmetrisk i det lodrette plan på tværs af tunnelen.

En kontinuert række af armaturer kan have største lysstyrke på tværs af vejen, medens en række punktformede armaturer bør have størst lysstyrke skråt frem og tilbage til de områder af vejbanen, der ligger midt mellem 2 armaturer.

Vægplacerede armaturer skal foruden vejbanen også belyse de 2 nederste meter af den modsatte væg.

Loftsmonterede armaturer kan belyse begge vægge, men sidder armaturerne tæt ved væggene og er det en punktformet belysning, bør armaturerne også belyse den modsatte væg.

En armaturplacering i loftet over vejbanekanterne eller på væggene har følgende fordele:

1. Belysningen giver den bedste kontrast mellem vejstriber og vejbelægning.
2. Belysningen giver mindst spejling i vejbanen, når den er våd og dermed den største regelmæssighed af vejbaneluminansen, når vejbelægningen er fugtig eller våd.
3. Armaturerne giver ikke reflekser i egen kølerhjelme eller i bagruden i forankørende biler.
4. Armaturerne kan lettere serviceres uden at standse trafikken.

## Modlysbelysning

En særlig form for belysning i tærskel- og overgangszonen, er modlysbelysning (counterbeam-lighting) som omtales i CIE 88, 1990.

Her lyser man mod synsretningen med det formål at få lodrette flader, så lidt belyst som muligt, for at de kan have så stor en kontrast til den bagved liggende vejbane som muligt.

Da vejbelægningen også i tør tilstand er lidt spejlende, opnår man for det første, at man med en mindre lysmængde kan få den samme vejaneluminans og yderligere mener man, at de bedre kontrastforhold reducerer kravet til vejaneluminansen. Herved opnås lavere anlægs- og driftsudgifter, hvilket får mange til at anvende systemet.

Modlysbelysningen har imidlertid en række ulemper, som måske er mere væsentlige end ovennævnte fordele. De 3 væsentligste ulemper er følgende:

- Modlyset forringer kontrasten imellem vejstribe og vejbane mærkbart.
- Når vejbanen er fugtig eller våd, spejler vejbanen armaturerne og vejaneluminansens regelmæssighed bliver lav.
- Større genstande, der ses på baggrund af den langt mørkere vejbane længere inde i tunnelen, bliver mindre synlige end ved en normal belysning.

## 9 Øvrige forhold

Følgende øvrige forhold der har væsentlig indflydelse på synsforholdene og belysningsanlæggets udformning, bør så vidt muligt tilgodeses.

- Vejforløbet før tunnelåbningen bør være lige i en længde, der mindst svarer til standselængden.
- Vejbelægningen udenfor tunnelen bør være mørk på en strækning, der mindst er lig med standselængden med en middelluminanskoefficient  $q$  på omkring  $0,06 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ .
- Den størst mulige flade omkring tunnelåbningen bør være lodret, så sne ikke kan lægge sig og så mørk som mulig.
- Beplantning op til tunnelåbningen med mørke træer, som gran og fyr, bør anvendes, hvor det er muligt.
- Vejbanen inde i tunnelen bør af økonomiske hensyn være så lys som mulig, når en god kontrast til vejstriberne samtidig skal tilgodeses.
- Vejstriberne bør være lyse og så retroreflekterende som muligt, idet effekten af indkørselsåbningens medlys herved udnyttes til at øge kontrasten mellem stribe og belægning. Virkningen kan forstærkes ved i vejstriberne at anvende færdselssøm (vejbanereflektorer) med en stærkt retroreflekterende refleksflade.
- For at undgå monitoni i lange tunneler, bør der skabes en variation i belysningen ved med passende mellemrum lokalt at afvige i belysningsniveau, lysfarve o.l.
- Linieføringen i udkørselsforløbet bør ligge i en kurve og den udvendige rampevæg, der er synlig indefra tunnelen, bør være mørkest mulig.
- Indkørselsåbningen bør være så stor som mulig og tragtformet for at indkørslen fylder så meget som muligt i synsfeltet samtidig med, at der kommer mest muligt dagslys ind i den første del af tunnelen.
- For at reducere forstyrrende elementer i synsfeltet bør tunnelloftet og installationerne på loftet være mørke og ikke spejlende.

# 10 Nødstrømsforsyning

Ved strømsvigt bør der etableres hastighedsbegrænsning i tunnelen og den hertil svarende nødvendige belysning bør nødforsynes.

Installationen til den nødstrømsforsynede del af belysningen bør være udført med brandsikre kabler.

Dette bør også gælde eventuel belysning til brug ved reversibel drift.

# 11 Dagslysraster ved indkørslen

Til helt eller delvist at erstatte den kunstige belysning i tærskel- og eventuelt overgangszonerne kan man etablere en overdækket strækning før tunnelindkørslen med et dagslysraster, der dæmper dagslyset til det niveau, der foreskrives i den første del af tunnelen.

Herved spares den kunstige belysning i tærskel- og overgangszonerne i tunnelen. Normal dagslysrasterafskærmning med en gitter- eller lamelkonstruktion er dog ikke let at få til at fungere korrekt, idet forskellen, transmittansen, i solskinsvejre og overskyet vejre er meget stor.

Er rasteret soltæt, er transmittansen i gråvejre normalt 4-5 gange større end i solskinsvejre, hvor den ligger på omkring 2%. Denne forskel stiger jo længere sydpå man kommer.

Åbnes gitter/lamelkonstruktionen så meget, at det i visse perioder med stor solhøjde ikke er helt soltæt, stiger transmittansen ved solstrålegennemgang hurtigt til ca. 30%. Til gengæld kan det så åbnes så meget, at det ved lavere solhøjde har en transmittans på 4-8% i solskinsvejre og 15-20% i gråvejre.

Ved at kombinere de 2 typer raster, så man starter med et åbent ikke helt soltæt gitter på den første strækning og derpå med et soltæt gitter på den næste strækning, kan man opnå et passende luminansforløb, hvor man på den ene side ikke i visse dagslyssituationer kører ind i et mørkt hul, men omvendt får dæmpet adaptationen væsentligt, så en mærkbar del af den kunstige belysning kan undværes.

Hvordan rasteret skal være udformet må beregnes nøjere for det enkelte anlæg.

Muligheden for at opnå en stor besparelse på den kunstige belysning ved at anvende et dagslysraster er større jo længere man kommer mod nord, idet gitteret kan åbnes mod en større og større del af himmelen.

Fordelen ved at benytte dagslysraster er størst i åbent land og mindre i fjeldområder og høj bebyggelse.

I områder med sne og isdannelser kan der opstå problemer med istapper og isglat kørebane på rasterstrækningen.

## 12 Vedligeholdelse

Belysningsanlæg bør dimensioneres med en vedligeholdelsesfaktor på 0.75 og belysningsanlægget bør vedligeholdes, så de beregnede driftsværdier aldrig underskrides.

Den udvendige del af armaturerne og tunnelvæggene bør rengøres med intervaller, der fastlægges ud fra den daglige tilsmudsninggrad af tunnelen.

Ved brug af højtrykspuling skal armaturerne være tilstrækkelige tætte (IP klasse).

Den indvendige del af armaturerne bør rengøres ved lyskildeserieudskiftning.

Lyskilderne bør serieudskiftes, når de har brændt i deres økonomiske levetid, som kan opgives af lyskildefabrikanten.

Brændetiden bør registreres for hvert enkelt af belysningsanlæggets belysningstrin.

Udbrændte lyskilder bør udskiftes, hvis udfaldet giver et synligt mørkt område på vejbanen.

Når vejbelægningen udskiftes, skal det ske med en ny vejbelægning med mindst samme lyshed som den eksisterende belægning.

Måleudstyret, der styrer belysningen bør kontrolleres og kalibreres mindst 1 gang om året. Indstillingen af ind- og udkoblingsniveauerne af de enkelte belysningstrin bør ligeledes kontrolleres og justeres.

# 13 Eksempler på bestemmelse af adaptationsluminansen ved metode 3

Bestemmelse af adaptationsluminansen foretages ud fra et foto af tunnelen, der tages fra midten af højre kørebane i standselængden fra tunnelindkørslen.

Polardiagrammet fig. 2 side 24 kan direkte anvendes til at opdele synsfeltet i flader, der giver samme bidrag til adaptationsluminansen, hvis billedformatet er 10x15 cm og billedet er taget med et objektiv med en brændvidde på 28 mm. Polardiagrammet indlægges på billedet, som vist på fig. 3, 4 og 5, idet diagrammets centrum lægges i synsretningen.

Ved beregningen bør man måle luminanserne af de forskellige flader i synsfeltet på stedet i fuldt dagslys, men man kan i mangel heraf anvende følgende overslagsmæssige værdier, som er afpasset nordiske forhold og derfor afviger lidt fra CIE's værdier side 8:

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Himmel            | 6-12 kcd/m <sup>2</sup> |
| Vejbane           | 3-6 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Klipper           | 2-4 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Bygninger         | 1-8 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Markenge, træer   | 1-2 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Snedækkede flader | 8-12 kcd/m <sup>2</sup> |

Beregningen foretages ved at først at opdele synsfeltet i de forskellige typer af flader som himmel, vejbane, siderabet osv. og derpå i polardiagrammets net for hver af delfladerne sammentælle antallet af sektorelementer, der er indeholdt i hver af polardiagrammets 9 ringe.

Hver fladetype bidrager herudfra til adaptationsluminansen med

$$L_{A1} = \frac{n_1}{108} \cdot L_1$$

hvor  $n_1$  er antallet af sektorelementer i alle 9 ringe, der indeholder fladetype 1.

$L_1$  er fladetype 1's luminans.

Adaptationsluminansen bestemmes herudfra ved at summere bidragene fra de forskellige fladetyper

$$L_A = L_{A1} + L_{A2} + \dots$$



### Eksempel 1 Limfjordstunnelen

Ud fra billedet fig. 3 skønnes følgende luminanser:

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| Himmel       | 10 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Vejbane      | 6 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Bevoksning   | 2 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Siderabat    | 4 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Brosider     | 2 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Tunnelåbning | 0.1 kcd/m <sup>2</sup> |

| Ring | Himmel | Vejbane | Siderabat | Bevoks. | Bro-sider | Tu.åbn. | Σ sektorer |
|------|--------|---------|-----------|---------|-----------|---------|------------|
| 1    |        | 1       |           |         |           | 11      | 12         |
| 2    |        | 3       |           |         | 4         | 5       | 24         |
| 3    | 0,5    | 4,5     |           |         | 5         | 2       | 36         |
| 4    | 2,5    | 4,5     |           |         | 5         |         | 48         |
| 5    | 3,5    | 6       |           | 0,5     | 2         |         | 60         |
| 6    | 4      | 5       | 0,5       | 1,5     | 1         |         | 72         |
| 7    | 4,5    | 3,5     | 1,5       | 1,5     | 1         |         | 84         |
| 8    | 5      | 4       | 2         | 1       |           |         | 96         |
| 9    | 5      | 3       | 2,5       | 1,5     |           |         | 108        |
| Ialt | 25     | 34,5    | 6,5       | 6       | 18        | 18      | 108        |

$$\text{Himmelbidrag: } \frac{25}{108} \cdot 10 = 2,31 \text{ kcd/m}^2$$

$$\text{Vejbidrag: } \frac{34,5}{108} \cdot 6 = 1,92 \text{ kcd/m}^2$$

$$\text{Siderabat: } \frac{6,5}{108} \cdot 4 = 0,24 \text{ kcd/m}^2$$

$$\text{Bevoksning: } \frac{6}{108} \cdot 2 = 0,11 \text{ kcd/m}^2$$

$$\text{Brosider: } \frac{18}{108} \cdot 2 = 0,33 \text{ kcd/m}^2$$

$$\text{Tunnelåbning: } \frac{18}{108} \cdot 0,1 = 0,02 \text{ kcd/m}^2$$

$$\underline{\underline{L_A = 4,93 \text{ kcd/m}^2 \approx 5000 \text{ cd/m}^2}}$$

## Eksempel 2 Tingstadstunneln

Ud fra billedet fig.4 skønnes følgende luminanser:

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| Himmel       | 10 kcd/m <sup>2</sup>  |
| Vejbane      | 6 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Bevoksning   | 2 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Siderabat    | 6 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Brosider     | 4 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Tunnelåbning | 0.1 kcd/m <sup>2</sup> |

| Ring | Himmel | Vejbane | Siderabat | Bevoks. | Bro-sider | Tu.åbn. | Σ sektorer |
|------|--------|---------|-----------|---------|-----------|---------|------------|
| 1    |        | 2,5     |           |         | 2,5       | 7       | 12         |
| 2    |        | 3,5     |           |         | 3         | 5,5     | 24         |
| 3    | 2      | 4       |           |         | 1,5       | 4,5     | 36         |
| 4    | 2,5    | 5       |           |         | 1,5       | 3       | 48         |
| 5    | 3,5    | 5       | 1         | 1       | 1         | 0,5     | 60         |
| 6    | 4,5    | 5       | 1         | 0,5     | 0,5       | 0,5     | 72         |
| 7    | 4,5    | 5       | 1         | 0,75    | 0,5       | 0,25    | 84         |
| 8    | 5      | 5       | 1         | 1       |           |         | 96         |
| 9    | 5,5    | 5       | 0,5       | 1       |           |         | 108        |
| Ialt | 27,5   | 40      | 4,5       | 4,25    | 10,5      | 21,25   | 108        |

|               |  |
|---------------|--|
| Himmelbidrag: | $\frac{27,5}{108} \cdot 10 = 2,54 \text{ kcd/m}^2$ |
| Vejbidrag:    | $\frac{40}{108} \cdot 6 = 2,22 \text{ kcd/m}^2$    |
| Siderabat:    | $\frac{4,5}{108} \cdot 6 = 0,25 \text{ kcd/m}^2$   |
| Bevoksning:   | $\frac{4,25}{108} \cdot 2 = 0,08 \text{ kcd/m}^2$  |
| Brosider:     | $\frac{10,5}{108} \cdot 4 = 0,39 \text{ kcd/m}^2$  |

Tunnelåbning:  $\frac{21,25}{108} \cdot 0,1 = 0,02 \text{ kcd/m}^2$

$L_A =$

5,51 kcd/m<sup>2</sup> ≈

5500 cd/m<sup>2</sup>

### Eksempel 3 Gnistångstunneln

Ud fra billedet fig. 5 skønnes følgende luminanser:

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| Himmel       | 8 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Vejbane      | 5 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Bevoksning   | 2 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Siderabat    | 3 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Fjeldsider   | 3 kcd/m <sup>2</sup>   |
| Tunnelåbning | 0.1 kcd/m <sup>2</sup> |

| Ring | Himmel | Vejbane | Siderabat | Bevoks. | Fjeldsider | Tu.åbn. | Σ sektorer |
|------|--------|---------|-----------|---------|------------|---------|------------|
| 1    |        | 3       |           |         |            | 9       | 12         |
| 2    |        | 4       |           |         | 2          | 6       | 24         |
| 3    |        | 4       |           | 2       | 6          |         | 36         |
| 4    |        | 4,5     |           | 2,5     | 5          |         | 48         |
| 5    | 2      | 4,5     |           | 0,5     | 5          |         | 60         |
| 6    | 2,5    | 4,75    | 0,25      | 0,5     | 4          |         | 72         |
| 7    | 3,75   | 4,75    | 0,5       | 0,5     | 2,5        |         | 84         |
| 8    | 4      | 4,75    | 0,75      | 0,5     | 2          |         | 96         |
| 9    | 4,5    | 4,75    | 0,75      | 0,5     | 1,5        |         | 108        |
| Ialt | 16,75  | 39      | 2,25      | 7       | 27         | 15      | 108        |

|               |  |
|---------------|--|
| Himmelbidrag: | $\frac{16,75}{108} \cdot 8 = 1,24 \text{ kcd/m}^2$ |
| Vejbidrag:    | $\frac{39}{108} \cdot 5 = 1,81 \text{ kcd/m}^2$    |
| Siderabat:    | $\frac{2,25}{108} \cdot 3 = 0,06 \text{ kcd/m}^2$  |
| Bevoksning:   | $\frac{7}{108} \cdot 2 = 0,13 \text{ kcd/m}^2$     |
| Fjeldsider:   | $\frac{27}{108} \cdot 3 = 0,75 \text{ kcd/m}^2$    |

Tunnelåbning:  $\frac{15}{108} \cdot 0,1 = 0,01 \text{ kcd/m}^2$

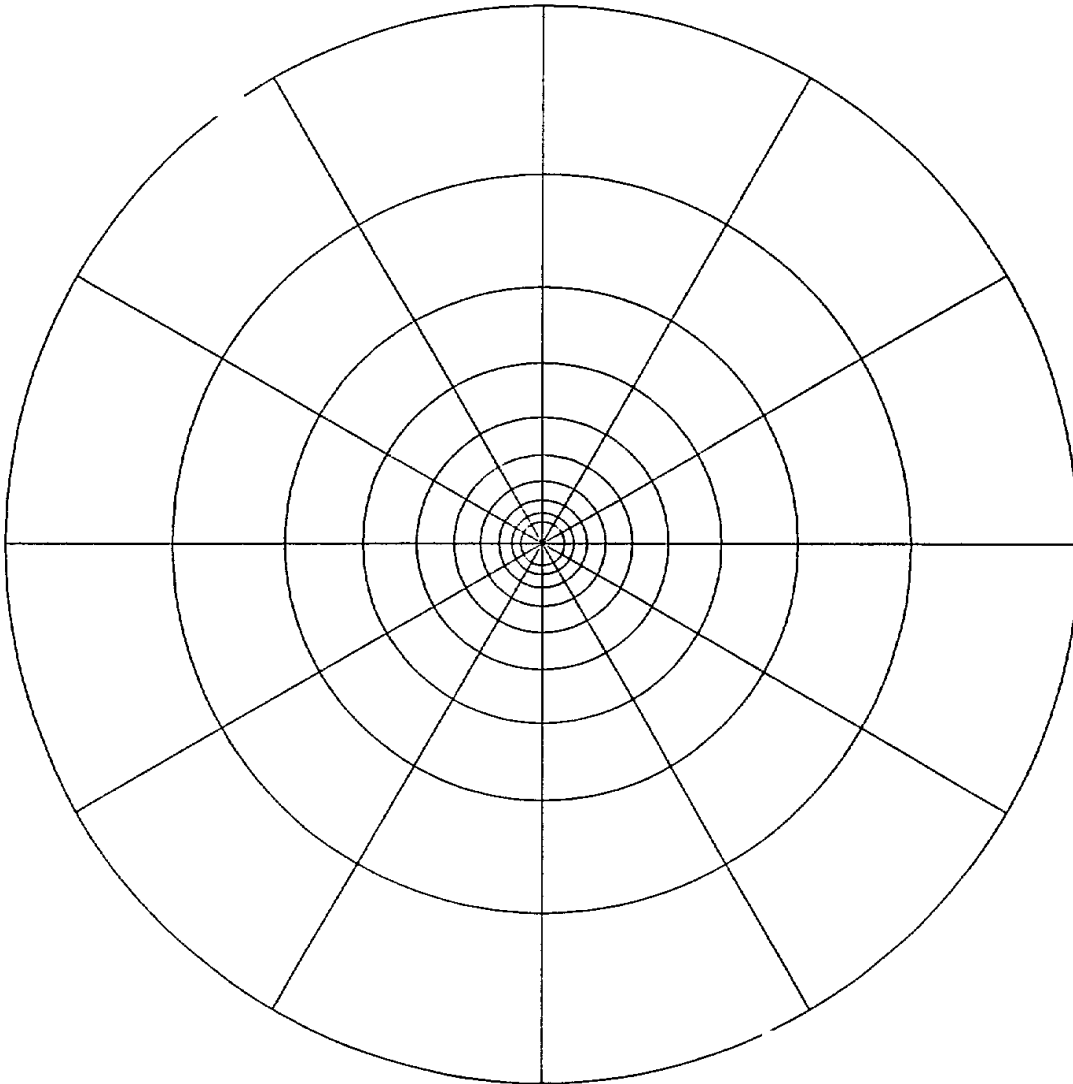
$L_A =$

4,00 kcd/m<sup>2</sup> ≈

4000 cd/m<sup>2</sup>

# Litteraturliste

- (1) Guide For The Lighting Of Road Tunnels and Underpasses  
Publikation: CIE 88-1990  
ISBN 3900734259.
  
- (2) Ekvivalent Sløringsluminans for ulike utformninger ar tunnelers dagsone  
EFI TR 3728 Report  
A. Augdal  
ISBN 82-594-0175-4.

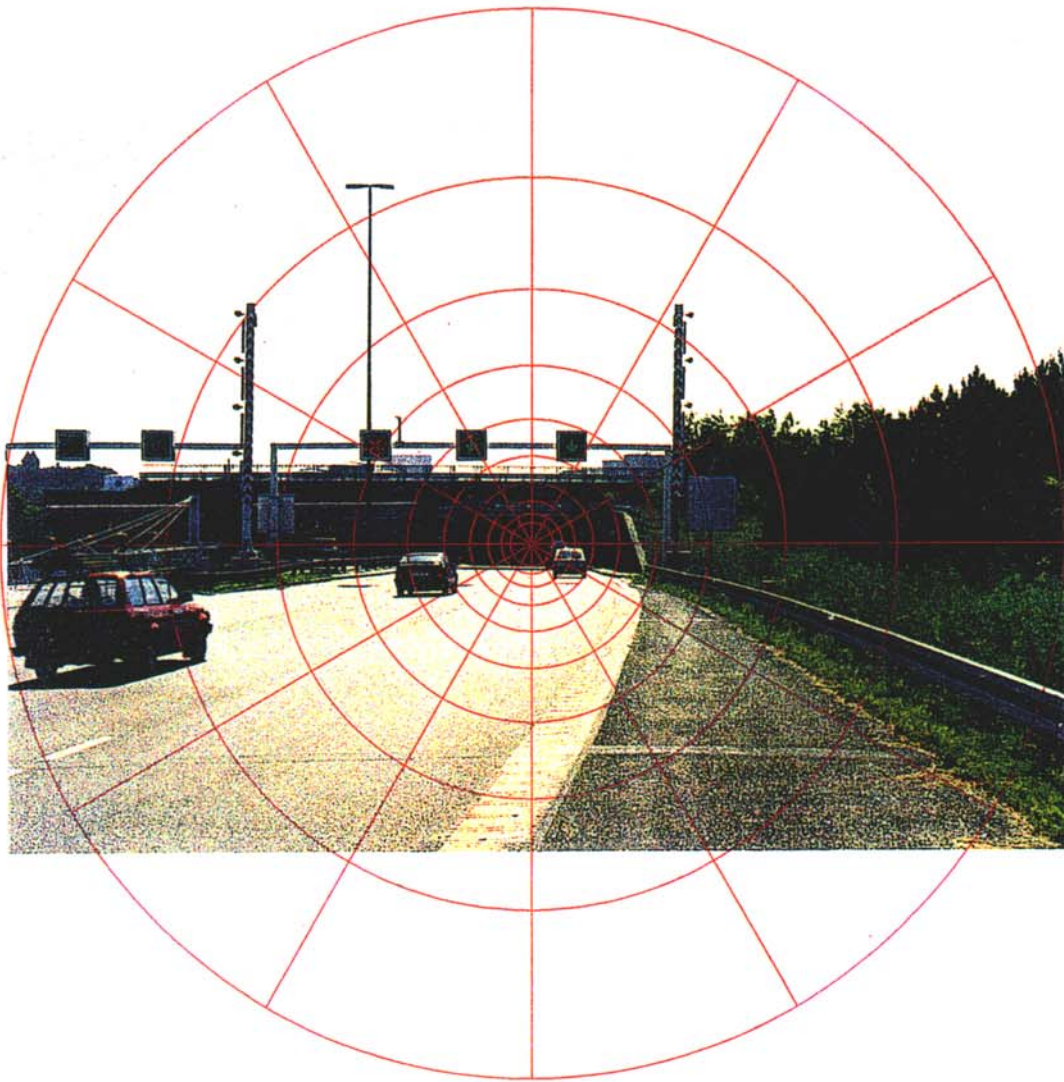


**Fig. 2**

Polardiagram, der inddeler synsfeltet i flader, der indgår med samme vægt ved beregning af adaptationsluminansen.

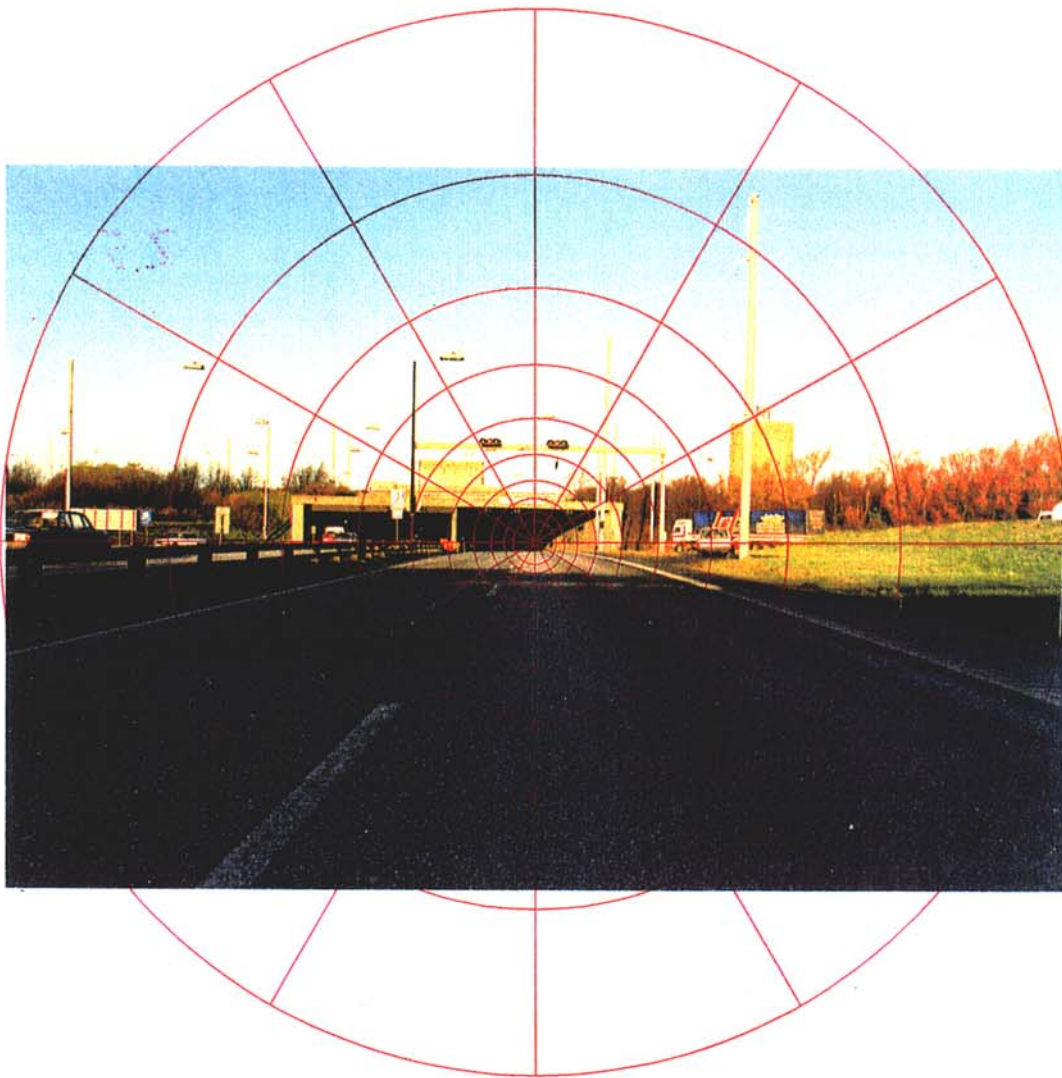
Den inderste er det centrale synsfelt, som ikke medtages i beregningen.

Diagrammets målestok svarer til et billedformat på 10x15 cm og en objektivbrændvidde på 28 mm. Billedet tages i standselængden fra tunnelindkørslen midt i højre kørespor i en højde over vejbanen svarende til bilførerens øjenposition.



**Fig. 3** Limfjordstunnelen. Foto taget 100 m før tunnelindkørsel





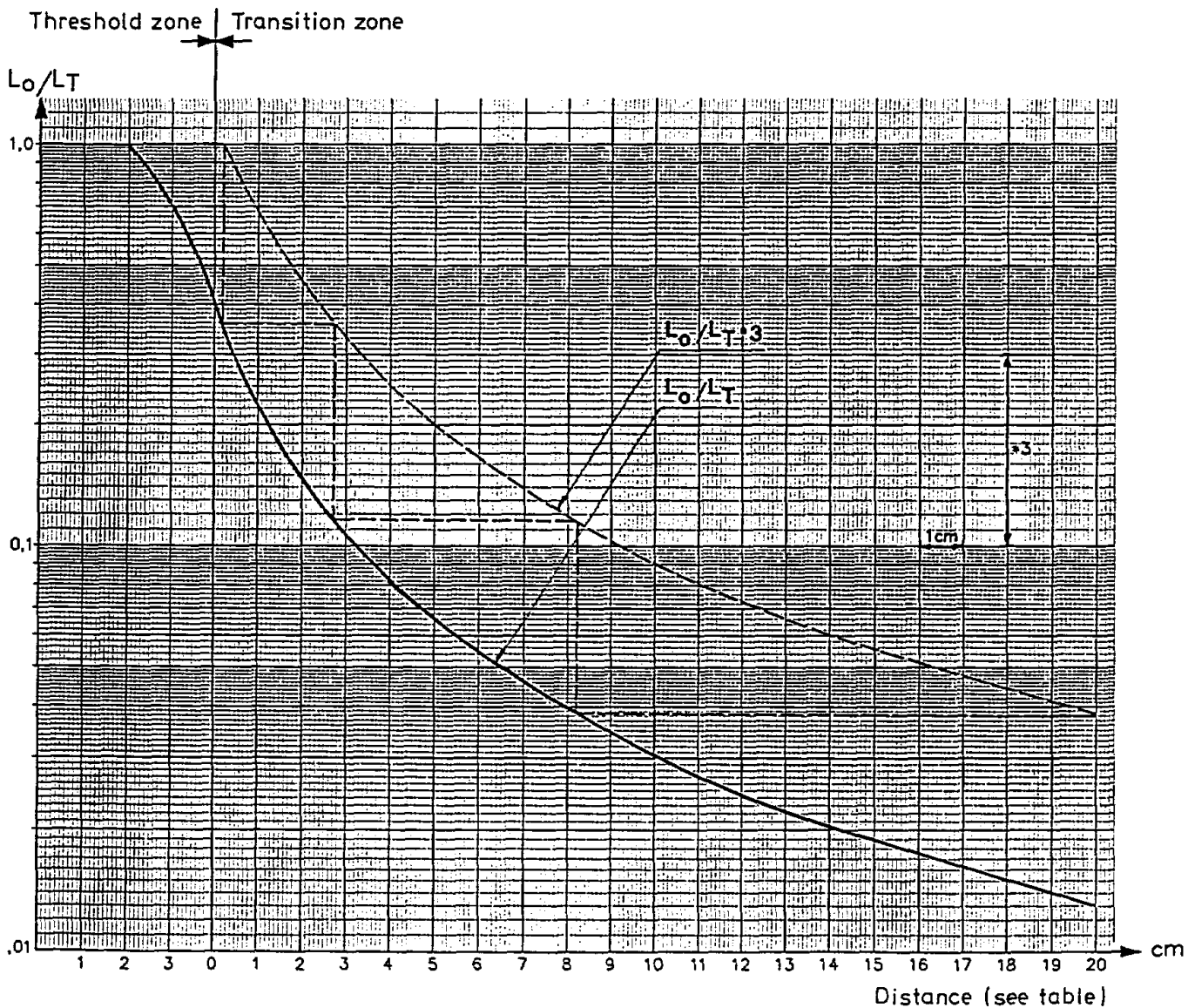
**Fig. 4** Tingstadstunneln. Foto taget 110 m før tunnelindkørsel



**Fig. 5** Gnistängstunneln. Foto taget 110 m før tunnelindkørsel

urveblad 1: Luminansforløb i tærskel- og overgangszone

| Hastighed | 1 cm på kurvebladet er<br>i tærskelzone | i overgangszone |
|-----------|---|-----------------|
| 50 km/t   | 10 m                                    | 13,9 m          |
| 60 km/t   | 12,5 m                                  | 16,7 m          |
| 70 km/t   | 16,25 m                                 | 19,4 m          |
| 80 km/t   | 20 m                                    | 22,2 m          |
| 90 km/t   | 25 m                                    | 25 m            |
| 100 km/t  | 30 m                                    | 27,9 m          |
| 110 km/t  | 37,5 m                                  | 30,6 m          |



Ajour: 26. juni 1995

- |        |   |         |  |
|--------|---|---------|--|
| 1/1989 | Trafiksikkerheten nu och i framtiden.<br>Utskott 52. Trafiksikkerhet.   |         |  |
| 2/1989 | Accelererad provning i Norden.<br>Ad hoc utskott.   | 3/1992  | Informationsteknologi i nordisk trafik.<br>Utskott 53. Informationsteknologi och trafikreglering.                  |
| 3/1989 | Utførelsens betydning for holdbarhet og jævnhed af asfaltbelægninger under klimaets og trafikens påvirkninger.<br>Udvalg 33. Asfaltbelægninger. | 4/1992  | Mennesket i vegmaskinen II.<br>Utvalg 63. Vegmaskiner.   |
| 4/1989 | Modifiserte bindemidler til vegformål.<br>Utvalg 33. Asfaltbelegninger.   | 5/1992  | Miljøeffekter av drift och underhåll av vägar och gator.<br>Utskott 41. Drift och underhåll av vägar och gator.    |
| 5/1989 | 70-talets betongvägar. Tillstånd och underhållskostnader.<br>Utskott 34. Vägens konstruktion.   | 6/1992  | Piggdekk og vintervedlikeholdsstrategi i Norden.<br>Utvalg 41. Drift og vedlikehold av vegeer og gater.            |
| 6/1989 | Broseminarium 22.-24.5.1989. Dokumentationsrapport.<br>Utskott 61. Broar och tunnelkonstruksjoner.  | 7/1992  | Utmattingskriterier for asfaltbelegninger.<br>Utvalg 33. Asfaltbelegninger.  |
| 1/1990 | Tunge køretøjer's nedbrydning af vejbefæstelser - et pilot projekt.<br>Udvalg 34. Vejes konstruktion.   | 8/1992  | Utbildning av maskinförare i Finland.<br>Utskott 63. Vägmaskiner.  |
| 2/1990 | Drift och underhåll i konkurrens.<br>Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.   | 9/1992  | Nya vägtyper.<br>Utskott 22. Projektering av vägar och gator.  |
| 3/1990 | Proportionering af asfaltmasser.<br>Utvalg 33. Asfaltbelegninger.   | 10/1992 | Trafikkavvikling i nordiske tunneler.<br>Utvalg 22. Projektering av vegeer og gater.                               |
| 4/1990 | De nordiske vejdatbanker - i dag og i morgen.<br>Udvalg 62. Datateknologi og måleteknik.  | 11/1992 | Kvalitetssikring i vägprojektering.<br>Utskott 22. Projektering av vägar och gator.                                |
| 5/1990 | Kvalitetssikring.<br>Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.   | 12/1992 | Ett miljöanpassat transportsystem - tre framtidsbilder.<br>Utskott 24. Miljö.                                      |
| 1/1991 | Det større byers situation og midler til at forbedre den.<br>Ad hoc udvalg. Transport i større byer.  | 13/1992 | Resmönstret och dess utveckling.<br>Ad hoc utskott. Transport i större städer.                                     |
| 2/1991 | Polymer-modificeret asfalt.<br>Udvalg 33. Asfaltbelægninger.  | 14/1992 | Ombygning af det eksisterende trafiknet - muligheder og følgerikninger.<br>Ad hoc udvalg. Transport i større byer. |
| 3/1991 | Alternative finansieringsformer og brugeravgifter i vejsektoren - Nordiske erfaringer og perspektiver.<br>Udvalg 23. Vejtrafikøkonomi.          | 15/1992 | Veg, buss eller bane? - virkninger av transportinvesteringer.<br>Ad hoc udvalg. Transport i større byer.           |
| 4/1991 | Avgiftsinnkrevning på veg.<br>Utvalg 53. Informasjonsteknologi og trafikregulering.   | 16/1992 | Avgiftsordninger i byer.<br>Ad hoc udvalg. Transport i større byer.  |
| 5/1991 | Nye slite- og bærelagstyper.<br>Utvalg 33. Asfaltbelegninger.   | 17/1992 | Storstadstrafik och miljö.<br>Ad hoc utskott. Transport i större städer.   |
| 1/1992 | Teknisk utvikling innenfor vegarbeidsdrift.<br>Utvalg 63. Vegmaskiner.  | 18/1992 | Hur påverkas bygg- och anläggsmaskinerna av EG.<br>Utskott 63. Vägmaskiner.  |
| 2/1992 | Lastföreskrifter, broförvaltning och armeringskorrosion. Rapport från seminarium i Nynäshamn.<br>Utskott 61. Broar och tunnelkonstruksjoner.    | 19/1992 | Trafiksikkerhetsåtgärder i väg- och gatumiljö.<br>Utskott 52. Trafiksikkerhet.                                     |
|        |   | 20/1992 | ADB-strategi. Statusrapport.<br>Utskott 62. Datateknologi och mätteknik.   |

- 21/1992 Utbildningssituationen i Norden.  
Ad hoc utskott. Utbildning inom väg- och trafiksektorn.
- 22/1992 Stadsport - att forma en stadsentré.  
Utskott 24. Miljö.
- 23/1992 Kvalitet.  
Utskott 41. Drift och underhåll av vägar och gator.
- 24/1992 Miljökapasitet.  
Utvalg 24. Miljö.
- 25/1992 Asfaltdekker för lavtrafikerade vejer.  
Utvalg 33. Asfaltbelegninger.
- 1/1993 Menneskets kapasitet som trafikant.  
Utvalg 52. Trafikksikkerhet.
- 2/1993 Broförvaltning, broestetik. Beständig brobetong och teknisk livslängdsmodulering.  
Utskott 61. Broar och tunnelkonstruktioner.
- 2b/1993 Fire foredrag fra NVF-kongressen i Tammerfors 1992.  
Utvalg 65 - Kjøretøyer utforming og egenskaper.
- 3/1993 Nordisk strategi för trafiksäkerhetsarbete i tätort.  
Utskott 52. Trafiksäkerhet.
- 4/1993 Tunge køretøyer's nedbrydning af vejbefestelser - Supersingeldæk  
Udvalg 34 - Vejes konstruktion.
- 5/1993 Vejafvandning.  
Udvalg 34 - Vejes konstruktion.
- 6/1993 Ventilation av vägtunnlar.  
Utskott 61 - Broar och tunnelkonstruktioner.
- 7/1993 Informasjon til vejholder.  
Utvalg 41 - Drift og vedligeholdelse af veje og gader.
- 8/1993 Prioritering av mindre trafiksäkerhetsåtgärder i tätort.  
Utskott 52 - Trafiksäkerhet.
- 9/1993 Rapport från NVF-seminarium i Reykjavik, augusti 1993.  
Utskott 61 - Broar och tunnelkonstruktioner.
- 1/1994 Rør i vegbygging.  
Utvalg 34 - Vegens konstruksjon.
- 2/1994 Däckens betydelse för ett säkert väg väggrepp vintertid.  
Utskott 65 - Fordons utformning och egenskaper.
- 3/1994 Har kollektivtrafiken en framtid.  
Utskott Ad hoc - Transport i større städer.
- 4/1994 Information til vejholderen.  
Utvalg 41 - Drift og vedligeholdelse af veje og gader.
- 5/1994 Udbud af og tilsyn med driftsarbejder.  
Utvalg 41 - Drift og vedligeholdelse af veje og gader.
- 6/1994 Tema "Overvåking" - Info om politiets trafikkarbeide i Danmark, Finland, Norge og Sverige.  
Utvalg 52 - Trafikksikkerhet.
- 7/1994 Seminar om drift och underhåll av entreprenader för vägar och gator.  
Utskott 13 - Administration och arbetsorganisation, och utskott 41 - Drift och underhåll av vägar och gator.
- 8/1994 Trafikinformationsteknikens (RTI) framtid i Norden: Delphi-undersökning.  
Utskott 53 - Trafikinformationsteknik.
- 9/1994 Aktuellt om broar och tunnlar. Belysning och -underhåll, kloridskador, häng- och snedkabelbroar, träbroar, upphandling och kvalitetssäkring.  
Utskott 61 - Broar och tunnlar.
- 1/1995 Livslängdskostnader för olika beläggningstyper och underhållsåtgärder.  
(Redovisning av 1994 års huvudemne)  
Utskott 33 - Asfaltbeläggningar.
- 2/1995 Nordisk asfaltforskning 1994.  
(Redovisning av 5 nordiska FoU-projekt)  
Utskott 33 - Asfaltbeläggningar.
- 3/1995 Ledelsesinformasjonssystemer i Norden  
Statusrapport  
Utvalg 62 - Datateknologi og måleteknikk
- 4/1995 Belysning af vej tunneler  
Utvalg 61 - Broer og tunneler (underutvalg tunneler)