



Vägbelysning

En litteraturstudie

Sara Nygårdhs

Utgivare:  581 95 Linköping	Publikation: VTI rapport 535	
Författare: Sara Nygårdhs	Utgivningsår: 2006	Projektnummer: 12826
Titel: Vägbelysning – En litteraturstudie		
Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord: Under de senaste åren har aktiviteten inom området väg- och gatubelysning ökat inom Vägverket, vilket bl.a. resulterat i en ny strategi för vägbelysning och en revision av Vägar och gators utformning (VGU). Ambitionen med denna litteraturstudie är att täcka in en stor del av den kunskap som finns inom vägbelysningsområdet vad gäller aspekter som synbarhet, olyckor, trygghet, estetik, miljö, energi, fysikalisk mätning och regelverk. Syftet är både att öka kunskapen om väg- och gatubelysning hos VTI och att skapa en användbar källa där det ska gå att finna referenser till studier att fördjupa sig i. Litteratursökningen har gjorts i databaserna TRAX, TRIS och ITRD. Ett urval referenser samlades in för djupare genomläsning medan endast sammanfattningen använts i andra fall. Resultatet blev att litteraturstudien omfattar nästan 200 referenser, varav de flesta är europeiska och publicerade 1990–2005. Denna rapport inkluderar teman som synbarhet, samband mellan olyckor och införande av vägbelysning, belysningsnivå samt förändring av befintlig vägbelysning. Trygghet och jämställdhet, speciellt för trafikanter på gång- och cykelvägar, är andra ämnen som tas upp, liksom estetik samt miljö- och energiaspekter. Slutligen behandlas fysikalisk mätning, drift och underhåll av vägbelysning samt regelverk, rekommendationer och kunskapsluckor.		
Nyckelord: Litteraturstudie, vägbelysning, gatubelysning, synbarhet, olyckor, trygghet, ljusförorening, energi, dimning		
ISSN: 0347-6030	Språk: Svenska	Antal sidor: 62

Publisher:  SE-581 95 Linköping Sweden	Publication: VTI rapport 535	
	Published: 2006	Project code: 12826
	Project: Knowledge survey road lighting	
Author: Sara Nygårdhs		Sponsor: VTI – Swedish National Road and Transport Research Institute
Title: Road lighting – A literature review		
Abstract (background, aim, method, result) max 200 words: During the recent years, Swedish Road Administration has shown an increasing activity in the field of road lighting, which among other things resulted in a new strategy for road lighting and a revision of VGU (the design of roads and streets). The ambition with this literature review is to cover the knowledge in the road lighting area to a large extent, concerning aspects like visibility, accidents, security, aesthetics, environment, energy, physical measuring and recommendations. The purpose is both to increase the knowledge of road and street lighting at VTI and to create a useful source in the area, where it will be possible to find references for deeper studies. The literature search has been carried out in the databases TRAX, TRIS and ITRD. A selection of references was collected for deeper studying, while the summary, only, was used in other cases. The resulting literature review contains almost 200 references, most European, published 1990–2005. This report includes themes such as visibility, relation between accidents and introduction of road lighting, lighting level and change of existing road lighting. Security and equality, especially for road users at walking paths and bicycle tracks, are other subjects that are discussed, as well as aesthetics, environmental and energy aspects. Finally, physical measurement and maintenance of road lighting, along with regulations, recommendations and further research are examined.		
Keywords: Literature review, road lighting, visibility, accidents, security, light pollution, energy, dimming		
ISSN: 0347-6030	Language: Swedish	No. of pages: 62

Förord

Föreliggande litteraturstudie har i sin helhet finansierats av Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI.

Litteraturgenomgången har gjorts av Behzad Kouchehi och Sara Nygårdhs, medan Sara Nygårdhs har redovisat densamma skriftligt. Fotografier i rapporten har tagits av undertecknad, om inte annan fotograf anges.

Ett tack till Hillevi Nilsson Ternström, dokumentalist på BIC, VTI:s bibliotek och informationscenter, som har gjort litteratursökningarna, till övrig personal på BIC som har letat upp och beställt aktuella referenser, till projektledare S-O Lundkvist som har gett handledning och till Vetenskapliga rådet på VTI, som förordade en finansiering av denna studie!

Linköping februari 2006

Sara Nygårdhs

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört 2006-02-14 där Staffan Möller, forskningsledare vid VTI, var lektor.

Sara Nygårdhs, forskningsingenjör, har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2006-02-27. Projektledarens närmaste chef Gudrun Öberg, forskningschef, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2006-03-03.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Inledning	9
2 Vägbelysningens syfte	10
3 Beteckningar	11
4 Synbarhet	13
4.1 Synbarhet på länk	13
4.2 Synbarhet i korsning och cirkulationsplats	15
4.3 Synbarhet på övergångsställe	16
4.4 Synbarhet i tunnel	18
5 Olyckor	22
5.1 Införande av vägbelysning	22
5.2 Samband mellan belysningsnivå och olyckor	24
5.3 Effekten på olyckor vid förändring av befintlig vägbelysning	25
5.4 Olyckor i speciella trafikmiljöer	28
6 Upplevd och verklig miljö	30
6.1 Trygghet och jämställdhet	30
6.2 Estetik	34
6.3 Miljö	37
6.4 Energi	37
7 Fysikalisk mätning, drift och underhåll	40
7.1 Mätning av ljustekniska parametrar	40
7.2 Belysningsstolpar	42
8 Regelverk och rekommendationer	45
8.1 Sverige	45
8.2 Norden	45
8.3 Övriga länder	45
8.4 Tunnel	47
9 Kunskapsluckor, fortsatt forskning	50
Referenser	51

Vägbelysning – En litteraturstudie

av Sara Nygårdhs
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

Under de senaste åren har aktiviteten inom området väg- och gatubelysning ökat inom Vägverket, vilket bl.a. resulterat i en ny strategi för vägbelysning och en revision av *Vägar och gators utformning* (VGU).

Ambitionen med denna litteraturstudie är att försöka täcka in en stor del av den kunskap som finns inom området, vad det gäller aspekter som synbarhet, olyckor, trygghet, estetik, miljö, energi, fysikalisk mätning och regelverk. Syftet är både att öka kunskapen om väg- och gatubelysning inom VTI och att skapa en användbar källa inom området, där det ska gå att finna referenser till studier att fördjupa sig i.

Syftet med vägbelysning är att skapa en säker färd för fordonstrafikanter, att fotgängare ska kunna upptäcka risker, orientera sig och känna sig trygga samt att främja omgivningens gestaltning i mörker. Vid färd på en väg i vägbelysning är det viktigt att upptäcka möjliga faror. Synbarheten och därmed möjligheten att upptäcka ett objekt beror på flera faktorer, bl.a. kontrasten mellan objektet och bakgrunden, ögats adaptation, bländning samt förarens visuella förmåga.

Enligt en finländsk meta-analys leder införande av vägbelysning till att dödsolyckor minskar med 65 %, personskadeolyckor med 30 % och egendomsolyckor med 15 %. Speciellt minskar antalet fotgängarolyckor. En norsk studie visar att trots att vägbelysning leder till högre hastighet, mindre koncentration och ökad trafik upphäver detta inte den trafiksäkerhetshöjande effekt som vägbelysning har. Samband mellan belysningsnivå och olycksreduktion beskrivs bl.a. av CIE (International Commission on Illumination). Flera rapporter redovisar positiva och negativa effekter av ändrade belysningsförhållanden på en vägsträcka.

Vid belysning av gång- och cykelvägar har lågt placerade ljuspunkter med svagt naturligt sken som sprider ljus ut åt sidorna många trygghetsfördelar, till exempel minskad skuggbildning och ökad förmåga till igenkänning. Nackdelar är vandaliseringsrisk, bländningsrisk och att vägens sträckning kan synas sämre.

Ljuskörorening är artificiellt ljus som är riktat åt icke önskvärt håll. Det kan vara dåligt avskärmd vägbelysning som har ljusflöde ut mot öppna landskap eller upp mot himlen. Flera studier behandlar detta problem.

Vägbelysning bidrar inte bara till trafikanteffekter utan även till påverkan på miljö och energiförbrukning. Ett sätt att spara energi och samtidigt minska ljusköroreningen är att reducera belysningsnivån, så kallat dimning.

Ett problem då det gäller belysningsstolpar är rostangrepp. I en undersökning i Sverige blev slutsatserna bl.a. att risken för korrosion och rostangrepp är stor för förzinkade stolpar efter 10–15 år samt att rastande hundar orsakar korrosion på både förzinkade och målade stolpar. Ultraljud används i hög utsträckning för att övervaka och upptäcka korrosion ovan jord medan teknikerna för att upptäcka korrosion under jord är få.

Fysikalisk mätning av vägbelysningsparametrar, t.ex. luminans och belysningsstyrka, kan göras statiskt eller mobilt. Flera sådana studier redovisas. I VGU anges luminansklasser eller belysningsklasser för olika typer av vägar och gator samt hur luminansen ska beräknas och hur belysningsstyrkan ska mätas. CEN-normen prEN 13201 *Road Lighting* är utgångspunkt för flera andra regelverk.

Road lighting – A literature review

by Sara Nygårdhs

VTI

SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

During the recent years, Swedish Road Administration has shown an increasing activity in the field of road lighting, which among other things resulted in a new strategy for road lighting and a revision of *VGU* (the design of roads and streets).

The ambition with this literature review is to try to cover the knowledge in the area to a large extent, concerning aspects like visibility, accidents, security, aesthetics, environment, energy, physical measuring and regulations. The purpose is both to increase the knowledge of road and street lighting at VTI and to create a useful source in the area, where it will be possible to find references for deeper studies.

The purpose of road lighting is to create a safe journey for road-users in vehicles, for pedestrians to be able to discover risks, to orient themselves and to feel secure, and to promote the appearance of the surroundings in the dark. When travelling on a road in road lighting, it is important to become aware of possible dangers. The visibility and thereby the chance to discover an object depends on several factors, for instance the contrast between the object and the background, the adaptation of the eye, glare and the visual capacity of the driver.

According to a Finnish meta analysis the introduction of road lighting leads to decreases in fatal accidents by 65 %, personal injury accidents by 30 % and property accidents by 15 %. Particularly the amount of pedestrian accidents decreases. A Norwegian study shows that although road lighting leads to increased speed, less concentration and increased traffic, this does not neutralize the traffic safety effect of road lighting. The relation between illumination level and accident reduction is described by CIE (International Commission on Illumination), among others. Several reports show positive and negative effects of altered road lighting conditions on a road section.

At footpaths and cycle ways lighting with the luminous points placed low with a dim natural light, spreading light to the sides, has many security advantages, for example less shadows and increased identification capacity. Disadvantages are the risk of vandalism, risk of glare and that the extension of the road can be more difficult to see.

Light pollution is artificial lighting which is directed at an undesirable direction. It can be poorly shielded road lighting which has its flux at open landscapes or to the sky. Several studies deal with this problem.

Road lighting does not only contribute to road-user effects, but also influences the environment. One way to save energy and at the same time reduce light pollution is to reduce the level of illumination, so called dimming.

One problem when it comes to lighting poles is corrosive attacks. In an investigation in Sweden the conclusions were among other things that the risk of corrosion and corrosive attacks is large for galvanized poles after 10–15 years, and that aired dogs cause corrosion both on galvanized and painted poles. Ultrasound is in a large extent

used to survey and detect corrosion above ground level, while the techniques for detecting corrosion below ground level are few.

Physical measurement of road lighting parameters, for example luminance and illumination, can be carried out statically or mobile. Several such studies are shown. In VGU luminance classes or illuminance classes are stated for different kinds of roads, as well as how the luminance should be calculated and how to measure illumination. The CEN-norm prEN 13201 *Road Lighting* is the basis for various regulations.

1 Inledning

Under de senaste åren har aktiviteten inom området väg- och gatubelysning ökat inom Vägverket, vilket bl.a. resulterat i en ny strategi för vägbelysning och en revision av handboken *Vägar och gators utformning* (VGU). I och med detta ökade intresse kommer man förmodligen att vilja ha svar på vissa frågor. En del svar kan stå att finna i tidigare gjorda studier, medan andra problem hittills är outforskade.

Ambitionen med denna litteraturstudie är att försöka täcka in en stor del av den kunskap som finns om väg- och gatubelysning gällande aspekter som fysikalisk mätning, synbarhet, trygghet, estetik, miljö, energi, olyckor och regelverk. Syftet är dels att öka kunskapen om vägbelysning hos VTI och dels att skapa en användbar källa inom området väg- och gatubelysning, där det ska gå att finna referenser till studier att fördjupa sig i.

Litteratursökningen har gjorts i TRAX (VTI:s bibliotekskatalog), Transportation Research Information Services (TRIS) och International Transport Research Documentation (ITRD). Ett urval referenser samlades in för djupare genomläsning medan sammanfattningen använts i andra fall. Resultatet blev att litteraturstudien omfattar nästan 200 referenser, varav de flesta är europeiska och publicerade 1990–2005. Vad gäller olyckor gjordes dock många studier i samband med energikrisen på 1970-talet.

2 Vägbelysningens syfte

Vägbelysning har tre huvudsyften:

- Att tillse att bilister, motorcyklister, cyklister och förare av andra fordon kan färdas säkert.
- Att fotgängare ska kunna upptäcka risker, orientera sig och känna igen andra fotgängare och ge dem en känsla av trygghet.
- Att främja omgivningens gestaltning nattetid.

(Commission Internationale de l'Eclairage, 1995.)

3 Beteckningar

Vid dimensionering och fysikalisk mätning av vägbelysning används några parametrar som kan kräva en förklaring. I detta kapitel ges en uppräknig av olika begrepp som finns i rapporten och som i övrigt används inom vägbelysning. För vidare läsning rekommenderas t.ex. IES Lighting Handbook – Reference Volume (Illuminating Engineering Society of North America, 1984) eller VGU (Vägverket, 2004b). I rapporten används i fortsättningen de förkortningar som används här samt index **min** för minsta värde, **max** för högsta värde samt **med** för medelvärde:

- **Ljusflöde, Φ** , är den totala strålning, inom det synliga området, som utgår från en ljuskälla. Enheten för ljusflöde är lumen (lm).
- **Ljusstyrka, I** , är ljusflödet i en bestämd riktning, definierat som ljusflöde per rumsvinkel. Ljusstyrka mäts i candela (cd).
- **Belysningsstyrka, E** , definieras som det ljusflöde som träffar en yta. Enheten för belysningsstyrka är lux (lx).
 - **Horisontell belysningsstyrka** är det ljusflöde som infaller mot en horisontell yta.
 - **Vertikal belysningsstyrka** är det ljusflöde som infaller mot en vertikal yta.
 - **Halvcylindrisk belysningsstyrka** är ljusflödet som faller på en vertikal halvcylinder dividerat med halvcylinderns yta. Detta mått framhäver ansikten på människor och är viktigt för trygghet.
 - **Halvsfärisk belysningsstyrka** definieras som det ljusflöde som faller på en uppåtvänd halvsfär dividerat med ytan av halvsfären. Denna har betydelse för rumslig struktur, t.ex. ojämnheter och föremål på körbanan.
 - **Medelbelysningsstyrka** (horisontellt) på körbanan är det aritmetiska medelvärdet av beräknade belysningsstyrkor på körbanan.
 - **Belysnings(styrke)jämnhet** (horisontellt) på körbanan definieras som kvoten mellan det lägsta värdet och det aritmetiska medelvärdet av beräknade belysningsstyrkor på körbanan.
 - **Belysnings(styrke)jämnhet** på körbanan längs vägen är lägsta kvoten mellan det lägsta och högsta punktbelysningsstyrkevärdet i en längsgående rad av punktbelysningsstyrkor, belägna mitt i varje medriktat körfält.
- **Luminans, L** , är den ljusmängd som reflekteras i en yta i en bestämd riktning. Luminans mäts i cd/m^2 .
 - **Medelluminansen** på körbanan är det aritmetiska medelvärdet av datorberäknade punktluminansvärden på körbanan.
 - **Luminansjämnhet** är kvoten mellan det lägsta värdet och det aritmetiska medelvärdet av datorberäknade punktluminansvärden i körfältet, $U_o = L_{\text{min}}/L_{\text{med}}$.

- **Längsgående luminansjämnhet** är kvoten mellan det lägsta och högsta punktluminansvärdet i en längsgående rad av punkter belägna mitt i varje medriktat körfält, $U_l=L_{\min}/L_{\max}$.
- **Luminanskoefficient** i diffus belysning, **Qd**, anger hur ljus en yta är i diffus belysning. Qd kan sägas beskriva ytans ljushet i dagsljus en mulen dag eller i vägbelysning och anges i $cd/m^2/lx$.
- **Reflektans** är förhållandet mellan reflekterat flöde och infallande flöde.
- **Färgåtergivning** är ett mått på ljuskällors förmåga att återge färger.
- **Färgtemperatur** används för att ange ljusets färg uttryckt i temperaturenheten kelvin.
- **Ljutfärg** beskriver om den visuella upplevelsen av en ljuskälla är ”kall” eller ”varm”. Begreppet används också av producenterna för att dela in urladdningsljuskällor i olika grupper av färgtemperatur.
- **Ströjluminans** anger den synnedsättande bländning en ljuskälla ger upphov till.

I samband med synen brukar följande begrepp nämnas:

- **Adaptation** – ögats förmåga att anpassa sig till befintliga ljusförhållanden.
- **Fotopiskt** seende – dagsljusseende. Endast tapparna används.
- **Skotopiskt** seende – mörkerseende. Endast stavarna används.
- **Mesopiskt** seende – en blandning av dagsljus- och mörkerseende. I mörkertrafik med vägbelysning är seendet vanligen mesopiskt.

4 Synbarhet

När en trafikant färdas på en väg i vägbelysning är det viktigt att kunna varsebli möjliga faror. Detaljseende är därför av mindre betydelse jämfört med att kunna upptäcka ett objekt och identifiera detta (O'Flaherty, 1997).

Enligt Schreuder (1998) är vägbelysningens kvalitet beroende av:

- medelluminans hos vägytan
- luminansjämnhet
- bländning
- visuell ledning.

Synbarheten av ett objekt beror på flera faktorer (CIE, 1995):

- kontrasten mellan objektet och bakgrunden
- ögats adaptation relativt objektet
- synnedsättande bländning
- tillfällig (transient) adaptation som resultat av ögats fixering
- den visuella komplexiteten hos bakgrunden och rörelsedynamik
- objektens egenskaper som färg, storlek och form
- ålder och visuell förmåga hos föraren.

4.1 Synbarhet på länk

En artikel av Lewin (1999) visar hur ljusspektrum påverkar synbarheten vid låga ljusnivåer. Forskning har visat att spektralfördelningen, eller färgen, hos en ljuskälla har stor effekt på hur bra vi ser på natten. Samma ljusflöde ger inte alltid samma synbarhet, utan även de yttre omständigheterna har betydelse. Lewin diskuterar natriumlampor, metallhalogener, vägbelysningsnivåer och praktiska synbarhetsexperiment i sin artikel.

Vid ett experiment utfört i Holland ville man undersöka hur förarens beteende påverkas av vägbelysningen (Brouwer & Hogema, 2000). Sexton försökspersoner fick köra en instrumenterad bil på natten längs en viss sträcka, där vägbelysningen varierade i tre nivåer: normal, orienterande (dvs. reducerad) och ingen belysning. Resultaten visade att vid vissa vägsektioner som användes som referens körde försökspersonerna närmare högersidan av körfältet vid orienterande belysning än vid normalbelysning, variationen i hastighet var högre vid normalbelysning än utan belysning, och köruppgiften var svårare vid orienterande belysning jämfört med normalbelysning. Enkäter som delats ut efter körningen visade att typen av belysning påverkade hur föraren upplevde körkomfort och förmågan att bedöma motorvägens sträckning. Försöket gav inga belägg för att försökspersonerna skulle köra mindre säkert med orienterande belysning jämfört med normal belysning. Det gick lättare att avgöra motorvägens sträckning med orienterande (eller normal) belysning än utan belysning.

I en holländsk före-efter-studie, sattes vägbelysning upp på en motorväg för att se om vägens kapacitet ökade (van Goeverden m.fl., 1998). Resultaten visade att vid

uppehållsväder kan kapaciteten öka för tvåfiliga motorvägar. Den sträcka som användes vid försöket beräknades få höjd kapacitet med omkring 2,5 %. Fördelen med detta är minskad körtid för bilförare, medan höjd hastighet och ny trafik leder till mer buller och föroreningar.

I Nederländerna gjordes en annan studie av trafiken före och efter att vägbelysning införts på en motorväg (van der Vlist & Droppert-Zilver, 1996). Det kunde konstateras att i eftersituationen användes högerfilen i högre utsträckning än innan. Inga signifikanta skillnader i hastighet kunde påvisas och någon kapacitetsförändring märktes inte heller. Slutsatsen av studien var att belysning inte leder till ökat vägutnyttjande vid fritt hastighetsval.

Schirokoff m.fl. (2001) redovisar en studie i Finland som visade att försökspersoner körde långsammare då vägbelysningens luminans var högre. Detta antas bero på att den mer belysta vägen då upplevdes som en del av stadsområdet och att man därför körde mer långsamt, eller på att kontrasten mellan luminansnivån på vägen kontra vägens sidoområde blev större så att det blev svårare att observera sidoområdet på ett bra sätt. I en annan studie tycktes försökspersonerna också kunna upptäcka fotgängare på ett längre avstånd då belysningsstyrkan var högre än då den var lägre, och yngre försökspersoner tycktes kunna upptäcka dem på längre avstånd än äldre. Dessa resultat är dock inte statistiskt säkerställda.

Menard & Cariou (1994) rapporterar experimentella försök där förhållandet mellan synbarhetsnivå uppskattad av observatörer och beräknad synbarhetsnivå baserad på uppmätta luminansvärden skulle undersökas. De använde sig av ett ”standardhinder”, dvs. en 20 x 20 cm² skiva, med 20 % reflektans. Observatörerna stod 83 m från hindret och fick under en kort tidsperiod se dessa i olika positioner på vägen, och därefter gradera hur bra detta syntes på en skala mellan 0 och 4. Den starkaste korrelationen mellan försökspersonernas skattningar och den beräknade synbarhetsnivån kunde åstadkommas när kontrastvärdet valdes som kvoten mellan hindrets luminans och medelvärde av basbelysningens intensitet till höger och vänster om hindret.

En artikel av Lecocq (1994) behandlar konceptet med synbarhetsnivå (visibility level, VL) utökat till halvsfäriska, massiva föremål och med en minsta synbarhetsnivå som mått istället för medelnivån. Detta koncept utvidgas också till våta vägbeläggningar med hjälp av praktiska försök i Skandinavien och Storbritannien.

Hastighetsdämpande åtgärder, såsom gupp, ska inte belysas för sakens skull, utan istället ska omgivningen belysas på lämpligt sätt så att en förare kan förutse vad fotgängare och andra trafikanter gör eller snart kommer att göra (*Seriously illuminating*, 2003).

På flera platser i Surrey, bl.a. på en huvudgata med bostadsområden bredvid, har man använt vitt varmt ljus för att öka synbarheten och förstärka tryggheten och säkerheten eftersom trafikanterna kan se bättre och tydligare (Bhatti, 2002).

I Belgien bestämdes i början av 1990-talet att alla motorvägar skulle ha vägbelysning för att minska olycksrisken och öka komforten (van Ginderachter & van Heystraeten, 1992). För att detta skulle gå att göra med besparing av energi och ökad effektivitet studerade man särskilt fyra saker:

- Användande av ljuskällor med bättre ljusutbyte i landsbygd.
- Förbättrande av fotometriska parametrar på vägbeläggningar.

- Användande av avancerade optiska system i belysningen.
- Anpassning av motorvägsbelysning till aktuell trafiktäthet och väderförhållanden.

4.2 Synbarhet i korsning och cirkulationsplats

Under de senaste åren har antalet cirkulationsplatser ökat i Sverige och enligt VGU (Vägverket, 2004b) ska alla dessa vara belysta. Belysningsnivån i en korsning eller cirkulationsplats ska vara minst lika hög som den högst belysta anslutande vägen. Om det finns cykelöverfarter eller övergångsställen vid cirkulationsplatsen ska nivån vara ännu högre. Det är viktigt med ljussättning av cirkulationsplatsen både för gestaltning och för trafiksäkerhet (Vägverket, 2000). Belysningsstolpar som placeras runt om i cirkulationen är vanligast. Om stolparna ska stå mitt i rondellen bör de skilja sig från stolparna vid tillfarterna genom att exempelvis vara högre.

Specifikationer för vägbelysning av cirkulationsplatser i Holland återfinns i rapporten "Roundabouts (Rotondes)" utgiven av CROW (1993).



Figur 1 Gång- och cykelöverfart vid cirkulationsplats.

Genom videoupptagningar undersökte Suhre (1993) olyckor i små cirkulationsplatser med fotgängare och cyklister. Den största konfliktpunkten för cyklister var då bilarna körde ut ur cirkulationen medan flest olyckor däremot inträffade vid infarten.

Undersökningen resulterade bl.a. i att författaren rekommenderade att belysning ska finnas på tillfarter och runt, istället för mitt i, cirkulationsplatsen.

En artikel från 1992 (Schreuder) omfattar ett utkast till rekommendationer för mini-rondeller i Holland. Bland de viktigaste var att det ska finnas minst åtta belysningspunkter för att cirkulationsplatsen ska behålla sin runda form, att belysningsstolparna ska vara stationerade utanför cirkulationsplatsen för att få en god synbarhet samt att belysningsnivån ska vara minst 10 lx.

År 1995 rekommenderade Jacoby & Pollard att antalet stolpar i cirkulationsplatsen ska hållas så litet som möjligt, dels för att minska ljusföroreningen och dels för att tydliggöra platsen för förarna. De ansåg också att belysningsnivåerna i många fall kunde sänkas vid cirkulationsplatser, utan försämrad säkerhet.

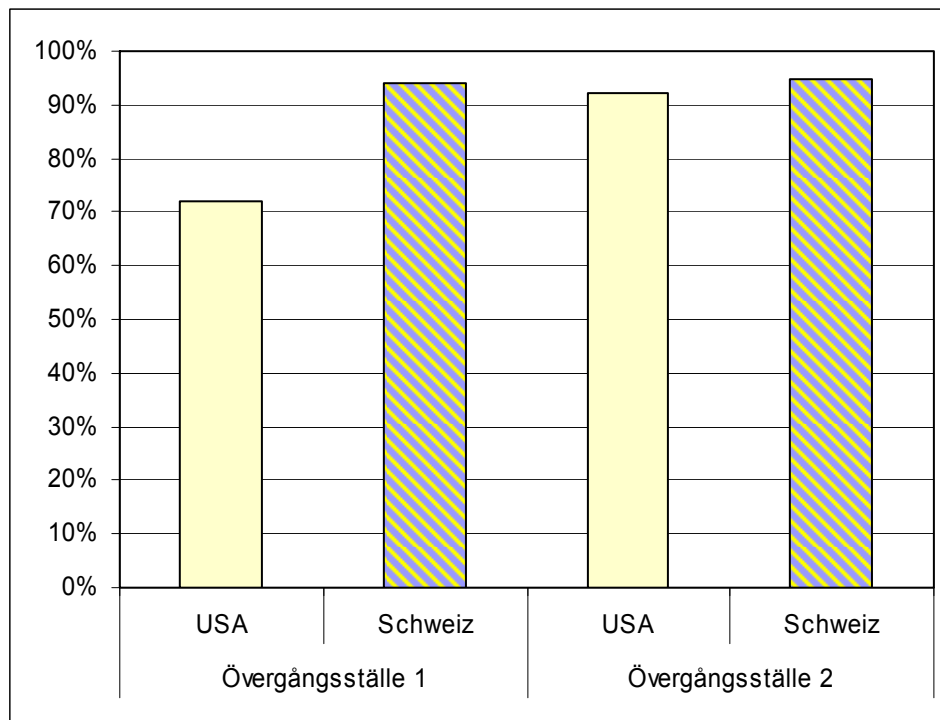
The Federal Highway Administration har givit ut en informationsguide om cirkulationsplatser i USA (Robinson m.fl., 2000). I denna guide står även om hur dessa ska belysas uppdelat på tätort, förort och landsbygd. Generellt sett ges följande rekommendationer för fast belysning av cirkulationsplatser i USA:

- I en cirkulationsplats med fyra vägben ska den allmänna belysningsnivån vara ungefär lika med summan av belysningsnivåerna hos de korsande vägarna. Detta ger belysningsstyrkor från 9 lx för bostadsområden till 36 lx för huvudtrafikleder.
- God belysning ska ges i alla konfliktområden där trafik går in i och ut ur cirkulationsplatsen.
- Det rekommenderas att belysa cirkulationsplatsen utifrån och in mot mitten. Detta ökar synbarheten i mitten och synbarheten av fordon som befinner sig i cirkulationsplatsen.
- Speciell hänsyn ska tas vid belysning av övergångsställen och cykelvägar.

I Australien menar Ogden m.fl. att luminansnivån i korsning ska vara högre än för de anslutande vägarna och särskild hänsyn ska tas till belysningsjämnhet (Ogden m.fl., 1996). Den horisontella belysningsstyrkan ska vara minst 10 lx vid konfliktpunkter där trafikflöden korsar varandra och vid områden nära mittrefuger i korsningen, för att underlätta att trafiken går ihop och att det ska gå att urskilja vägens karakteristika.

4.3 Synbarhet på övergångsställe

Schweiz har, liksom Sverige, infört den lag som innebär att bilister har väjningsplikt mot fotgängare vid obebakade övergångsställen. För att förbättra synbarheten av fotgängare belyser man övergångsstället så att den gående kommer att synas i positiv kontrast mot den mörkare bakgrunden. Detta har tillsammans med ovannämnda lag minskat antalet dödsolyckor med fotgängare med två tredjedelar (Hasson m.fl., 2002). Amerikanska forskare har undersökt den schweiziska typen av belysning på övergångsställen genom att jämföra den med mer konventionell belysning. Försökspersoner i en parkerad bil fick räkna antalet simulerade fotgängare de kunde se under två sekunder på ett övergångsställe. Som fotgängare användes sex figurer utskurna i grå plywood. Två olika övergångsställen i USA användes för försöket och ljusförhållandet var också olika, dvs. både den schweiziska och den amerikanska typen av belysning testades. Figur 2 visar hur stor andel av de simulerade fotgängarna som upptäcktes av försökspersonerna.



Figur 2 Procentandel plywoodfigurer som i medeltal upptäcktes av försökspersonerna på två olika övergångsställen och med den schweiziska respektive den amerikanska belysningsmetoden. Hasson m.fl., 2002, s.6.

Resultatet visar att det blev en skillnad på det ena men inte på det andra övergångsstället. Den schweiziska principen med positiv kontrast tycks göra att fotgängare syns lättare och i högre utsträckning i det första fallet. Denna skillnad är statistiskt säkerställd.

I ett examensarbete av Greisl (2002) beskrivs olika säkerhetsförbättrande åtgärder för övergångsställen. Bland dessa kan nämnas hastighetsdämpande åtgärder som utformning av vägen samt förbättring av siktförhållandena genom bättre vägbelysning. Även en schweizisk artikel (Scaramuzza, 1998) tar upp belysning som en av de viktiga delar som kan göra ett övergångsställe säkrare. Höjden och riktningen på vägbelysningen spelar en avgörande roll för att fotgängare ska kunna upptäckas i god tid.

Övergångsställen ska i Storbritannien belysas så att de syns ordentligt mot bakgrund av andra ljus och skyltar (Department of Transport, 1995). Om det är problem med synbarheten av fotgängare kan extra belysning användas för att ljussätta övergångsstället. Extrabelysningen ska vara utformad så att den inte bländar bilister och korsningsområdet ska vara jämnt belyst.

Sharman diskuterar synbarhet av övergångsställen i artikeln *Lighting of Pedestrian Crossings* (1994). Han menar att den huvudsakliga anledningen till att sätta upp extra belysning vid ett obevakat övergångsställe är att hjälpa fordonsföraren att se fotgängaren vid eller på övergångsstället. Extra belysning som sätts upp utan eftertanke ger bara fotgängaren en falsk säkerhetskänsla och därför ska istället förarens förmåga att se och att tolka situationen korrekt prioriteras. Författaren anser att vägbelysningen kan vara bra samtidigt som yttre omständigheter kan göra att synbarheten blir dålig under de mörka timmarna. Förare kan exempelvis ha svårt att se fotgängare pga. bländning från mötande trafik, dåliga väderförhållanden, reklamskyltar, eller för att träd och parkerade

bilar skymmer sikten. God belysningsjämnhet bakom övergångsstället är viktigt för att fotgängaren ska synas bra.

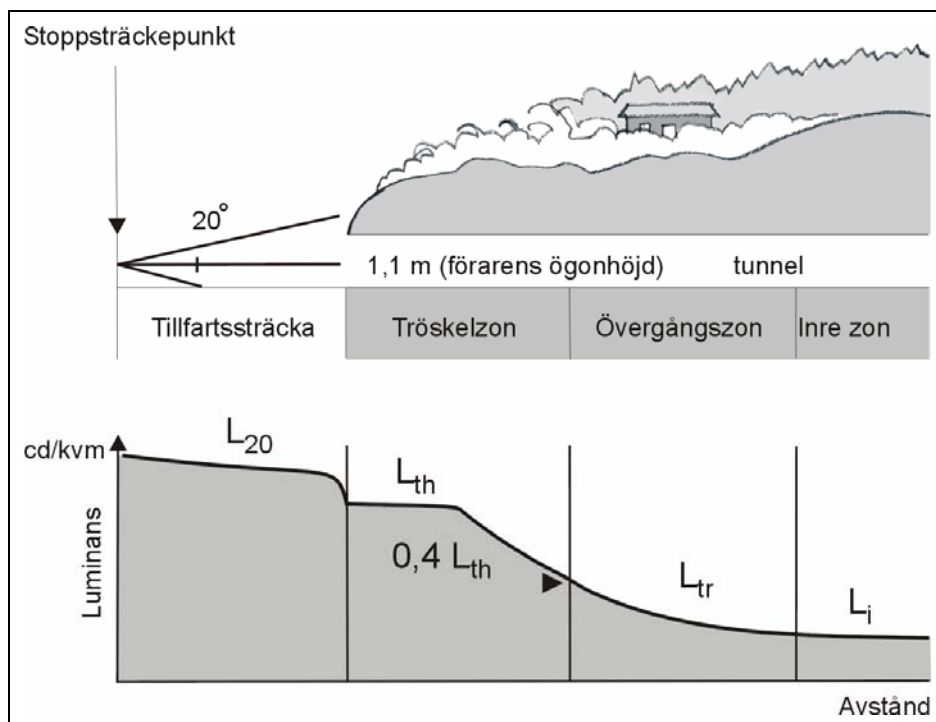
4.4 Synbarhet i tunnel

Tunnlar utgör ett speciellt kapitel inom belysning. En bilförare i en tunnel upplever en extra svårighet då han eller hon befinner sig i ett avgränsat utrymme, i vilket siktförhållanden och rörelsemöjligheter är begränsade i förhållande till den öppna vägen (Baltzer, 1998).

Eftersom ögat kräver en viss adaptationstid, dvs. tid att hinna anpassa sig till olika luminansnivåer, måste ljusnivån i en tunnel anpassas till ljusnivån utanför den. Figur 3 visar de olika zoner som en tunnel kan indelas i, nämligen tillfartssträcka, tröskelzon, övergångszon och inre zon, tillsammans med den luminansnivå som gäller i Sverige. För att erhålla en god synbarhet under dagtid måste belysningen vara utformad så att

- bilförare som i dagsljus närmar sig en tunnel kan upptäcka hinder i tunnelns mynning
- det blir en lämplig övergång från den höga luminansnivån utanför till den låga luminansnivån inne i tunneln (adaptation)
- den inre zonen i tunneln har lämplig luminansnivå.

(Vägverket, 2004b)



Figur 3 Principiell utformning av tunnelbelysning. Vägverket, 2004b, s.30.

Målet med vägbelysning i en tunnel kan sammanfattas i att trafik ska kunna köra in i, åka igenom och ut ur tunneln både under dagtid och nattetid, med samma säkerhetsnivå som på anslutande vägar. I de nordiska riktlinjerna för belysning i tunnlar sägs också att det är viktigt att vägmarkeringar syns tydligt, dvs. har god kontrast mot vägen, samt att objekt på körbanan syns på tillräckligt långt avstånd (Thomsen & Gudum, 1995). För att nå målen ska bl.a. följande krav uppfyllas:

- Belysningen ska ge körbanan en passande luminansnivå som ska vara jämnt fördelad över körbanan under alla normala väderförhållanden.
- Belysningen får inte vara bländande.
- Belysningen får inte vara flimrande.

De nordiska riktlinjerna från 1995 (Thomsen & Gudum, 1995) ger också rekommendationer om luminans och lamptyper i de olika tunnelzonerna, samt andra krav som rör påverkan på synbarheten.

I Tyskland har teststräckor i tunnlar utförts, i syfte att jämföra körförhållanden med ljusförhållanden (Pasderski, 1995). En modell baserad på förändringar i ljusförhållanden, hastighet, användandet av gas- och bromspedaler, himlens och vägytans luminans samt rymddimensionerna hos tunneln gjordes för att bestämma nödvändiga luminanser i tillfartssträckan och längden på denna.

Enligt Riley (1996) krävs tillräcklig belysning under dagtid för att tunnelns mynning inte ska utgöra ett så kallat svart hål. Förare har lättare i övergången från dagsljus till tunnelljus om tunnelväggarna är ljusa och om det är god kontrast mellan vägytan och objekt i tunneln.

En litteraturstudie av Martens & Kaptein (1997) ger en översikt över hur en motorvägstunnels utformning påverkar trafikantbeteendet, och är tänkt som grund för rekommendationer i standarder specifika för tunnelutformning. Ett resultat är att skillnaden mellan luminansnivån utanför och inuti tunneln ska hållas så liten som möjligt för att undvika problem med adaptation och varseblivning. Luminansskillnaderna kan under dagtid minimeras genom ökad luminans i och minskad luminans utanför tunneln, t.ex. genom uppsättande av skärmar.

Riemenschneider (1998) förespråkar dynamisk tunnelbelysning. Vid en utvärdering av driftdata från en tunnelbelysning har man sett hur styrningen av tunnelbelysningen går till och hur luminansvärdena varierar. Då ljusnivån ändras sker en elektronisk anpassning av luminansen till ett förbestämt värde.

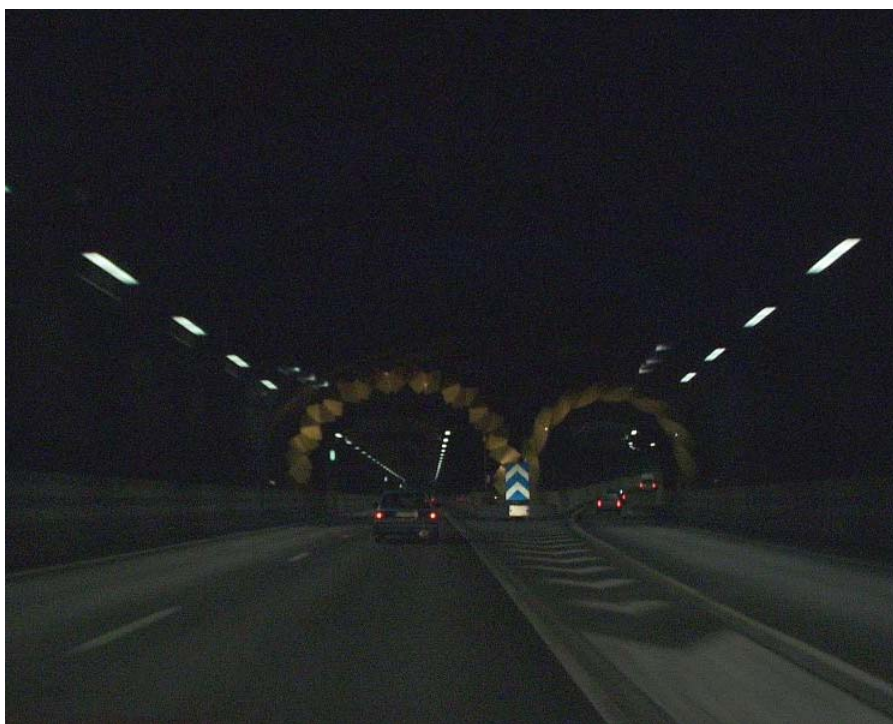
Belysningen i en tunnel ska fungera tillfredsställande oberoende av tid på dygnet och väderförhållanden. Detta kan åstadkommas t.ex. genom motljusstrålande lampor och armaturer (Pearse, 1991).

Motljusprincipen innebär att ljuset riktas i motsatt riktning mot inkommande trafik. Den bygger på att varseblivning av vägobjekt bestäms av både adaptationsluminansen och av kontrasten mellan objektet och dess omgivning (Schreuder, 1991). Motljusprincipen används bl.a. i Schweiz (Schreuder, 1993) och Österrike (Koller, 1995) men kan också tillämpas i Sverige (Vägverket, 2004b). Kvaliteten på ljusinstallationer som denna mäts i hur lätt det är att upptäcka föremål som är viktiga för trafiksäkerheten. Motljusprincipen har också nackdelar som att kontrasten mellan vägyta och vägmarkeringar minskar, att en våt vägyta reflekterar ljuset från lamporna och att luminansjämnheten hos körbanan då blir liten samt att stora objekt kan få en lägre synbarhet jämfört med om symmetriskt ljus används (Gudum, 1995). En metod som baseras på mätning av kontrastkänslighetströskeln på olika ställen i tunneln behandlas i en artikel av Schreuder & Swart (1993). Motljusprincipen är ett kontroversiellt ämne och i en sammanfattning av en konferens med medverkande från Nederländerna, Österrike, Schweiz och Tyskland hanteras bl.a. temat motljusprincip kontra symmetrisk belysning i tunnlar (Lindemuth, 1999).

Efter de senaste årens tunnelolyckor i Tyskland, har frågan om säkerhet vunnit allt mer mark. Därmed är också belysningen en viktig punkt. I tunnlar används högtrycks-natrium för att ge bästa synbarhet (Schmidt, 2002). Genom att dela in belysningsanläggningen i kortare sektioner på tillfartssträckan samt använda en fotometer som mäter luminansen kontinuerligt, går inte mer energi än nödvändigt åt.

I materialet från ett OECD-seminarium som hölls i Lugano 1990 kan man läsa mer om drift och underhåll av tunnlar, inklusive belysning (Bundesamt für Strassenbau, 1993).

Norge har en lång tradition av vägtunnlar, i hög grad beroende på att landskapet till stor del är bergigt (Hedalen & Myran, 1994). Ett bekymmer i tunnlar är att synbarheten dämpas på grund av små partiklar i luften. Dessa absorberar och sprider ljus, vilket minskar luminans- och kontrastnivåerna, vilket i sin tur försämrar upptäckbarheten av hinder av olika slag. För att man ska hinna stanna sitt fordon i god tid krävs, förutom stoppsträckan, även att man upptäcker hindret i tid och kan avgöra om man ska stanna. Hedalen & Myran föreslår att synavståndet bör vara minst tre gånger så långt som stoppsträckan.



Figur 4 Södra Länken, Stockholm.

Genom att låta försökspersoner köra genom olika typer av biltunnlar på natten eller dagen jämfördes i en österrikisk undersökning utformning av tunnlar (Christ m.fl., 2002). Studien visar att de tillfrågade föredrog ljusa tunnelväggar. Där kände de sig säkrare och tyckte att det var lättare att orientera sig. Den belysning försökspersonerna tyckte bäst om var sidoplacerad med täta ljuspunkter, medan en tunnel med gula väggar och runda armaturer inte alls uppskattades. Av de tillfrågade upplevde 21 % att en dunkel tunnel gav en större osäkerhet och att de därför körde långsammare, försiktigare och mer koncentrerat, medan 20 % kände sig säkrare och mer avslappnade i ljusare tunnlar, vilket innebar ökade hastigheter och mindre säkerhetsavstånd till framförvarande fordon. 14 % tyckte bäst om en tvåradig belysning som gör att tunneln verkar ljusare och att sidorna lysas upp mer, medan 10 % tyckte att ljuset skulle falla in från sidan så att tunneln verkar bredare. En dryg femtedel av de tillfrågade tyckte att

belysningen inte får vara för stark så att tunneln blir bländande och de ville också ha en kontinuerlig belysning för att undvika att irriterande flimmar uppstår. Ett problem med målade sidoväggar i tunnlar är att de genom upprepad nedsmutsning och rengöring förlorar sina höga reflexionsegenskaper (Hedalen & Myran, 1994). Dessutom försvinner färgen allteftersom väggarna görs rena, vilket innebär att det är svårt att få långvariga effekter på synbarheten i tunneln genom målning av väggarna.

Yttre omständigheter som tunnelns omgivning, riktning, trafikens hastighet, vägbeläggning och portalens utformning har undersökts i förhållande till de kriterier som ställts på tunnelbelysningen, i en undersökning av ett par turkiska tunnlar (Onaygil m.fl., 2003). Det visade sig att det går att sänka tunnelns belysningsnivå kraftigt genom att vidta åtgärder redan i konstruktionsfasen av tunneln, t.ex. genom att välja rätt vägbeläggning och portalutformning.

Carmody (1996) föreslår som strategi för utformning av tunnlar bl.a. att ljusnivåerna ska höjas och att vitt ljus eller ljus med dagsljusspektrum ska användas för att förbättra tunnelns framtoning. Ur perspektivet med ökad framkomlighet och säkerhet i tunnlar föreslår han att man kan använda högre ljusnivåer i tröskelzonen för att få en mjuk övergång till det inre av tunneln.

Adrian & Topalova (1991) ställer i sin artikel *Visibility under transient adaptation* två teorier om längden på övergångszonen mot varandra, sett ur en synbarhetsvinkel. Den ena teorin är att övergångszonen ska vara längre än **två** stoppsträckor och rekommenderas av Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), medan **en** stoppsträcka rekommenderas av the Illumination Engineering Society (IES). Adrian & Topalova utreder ögats anpassning som följd av luminansförändringar i synfältet och kommer fram till att CIE:s riktlinjer som regel är de mest korrekta.

Seidelin (1999) framhåller att de flesta ljussensorer som används vid ingången till tunnlar är fotodetektorer som är riktade uppåt. Därför detekteras inte samma ljus som den upplevda adaptationsluminansen hos föraren. Speciellt stor skillnad är det då solen står lågt och en fordonsförare har starkt solljus i ögonen medan himlens ljus är svagt. För att komma runt detta berättar Seidelin i sin artikel om ett videobaserat system där en videokamera utrustad med receptorer utgör en sensor. Den verkliga adaptationsluminansen erhålls genom att behandla data från sensorn på lämpligt sätt.

5 Olyckor

5.1 Införande av vägbelysning

En finländsk litteraturstudie behandlar europeiska och amerikanska rapporter och tidningsartiklar om vägbelysningens inverkan på trafiksäkerhet och hastigheter (Mäkelä & Kärki, 2004). Denna visade att olycksrisken på obelyst väg är större under den mörka tiden än i dagsljus, och även att följderna av dessa olyckor är allvarligare än genomsnittet.

- Flera studier pekade på att risken för en personskadeolycka var 1,5 gånger högre i mörker än under dagtid.
- Antalet olyckor med dödsfall eller svårt skadade är dubbelt så högt i mörker (i USA 3–4 gånger högre) jämfört med under dagtid.
- Speciellt ökade andelen fotgängarolyckor i mörker.
- Andelen singelolyckor jämfört med flerfordonsolyckor är större i mörker.
- Flera studier pekade på att antalet olyckor och svårighetsgraden ökade mer på landsbygden än i tätorten.
- En studie visade att mörkerolyckorna var koncentrerade till helger.

Införande av vägbelysning reducerar i allmänhet antalet mörkerolyckor med 20–40 %. Antalet svåra olyckor minskade mer än genomsnittet. Enligt en meta-analys i samma studie leder införande av vägbelysning till följande reduktioner:

- Dödsolyckor 65 %
- Personskadeolyckor 30 %
- Egendomsolyckor 15 %.

Speciellt minskade antalet fotgängarolyckor. Av energi- och besparingsskäl har dämpning och delvis släckning av vägbelysningen undersökts. Det visade sig då att olyckskostnaderna ökat mer än den elektricitetsbesparing som gjorts. Vid släckning av vägbelysningen ökar alltid antalet olyckor medan det minskar något om existerande belysning förbättras. En studie på svenska vägar visar att införande av vägbelysning ökar hastigheterna med 3,6 km/h på rak väg och med 0,5 km/h i kurva.

Under 1990-talet utfördes en norsk studie (Assum m.fl., 1999) där man jämförde hastighet och förarens koncentration före och efter att vägbelysning installerats. Hastigheten mättes upp både på en raksträcka och i en kurva och jämfördes med referenssträckor utan vägbelysning. Dessutom gjordes förarintervjuer genom ifyllning av frågeformulär. Samstämmigt visade detta att förare kompenserar för vägbelysning genom att öka hastigheten. Även förarens koncentration då vägen inte var respektive var utrustad med vägbelysning skulle analyseras. Genom att anta att en liten sidolägesvariation hos bilen motsvarar en hög koncentration kunde detta studeras genom videoupptagning. Även här fick förarna fylla i frågeformulär om sin koncentration. Det visade sig att bilisterna svarade olika om sin koncentration beroende på hur frågan ställdes men sidolägesvariationerna indikerade dock att införande av vägbelysning

minskar koncentrationen. Studien behandlar emellertid inte huruvida säkerheten eller olycksfrekvensen ökar eller minskar med vägbelysning. Att hastigheten ökar vid införd vägbelysning behöver inte betyda att effekten av ökad synbarhet helt förloras.

Transportøkonomisk institutt (TØI) i Norge utförde en studie före och efter att vägbelysning införts på en försökssträcka på E18 (Bjørnskau & Fosser, 1996). Med hjälp av videoinspelningar, radar och frågeformulär undersöktes förarnas beteende. Det visade sig att införande av vägbelysning ledde till en hastighetsökning på mellan 1 % och 5 %. Förarna var också mindre koncentrerade, något som de själva uppgav och som också kunde konstateras från sidolägets ökade variation. Andelen kvinnor och äldre bilister i mörkertrafik ökade då vägbelysning införts. Resultaten visar alltså att vägbelysning kompenseras av högre hastighet, mindre koncentration och ökad trafik. Det är dock viktigt att konstatera att dessa fakta inte upphäver den trafiksäkerhets-höjande effekt som vägbelysning har. Totalt sett leder införande av vägbelysning till färre olyckor, bättre framkomlighet och mindre ansträngande körning.

Parallellt med att allt fler äldre amerikaner kör bil allt oftare har antalet dödsolyckor där äldre förare, definierat från 70 år och uppåt, varit inblandade ökat kraftigt (The Road Information Program, 2003). Då äldre förare har försämrad syn, hörsel, reaktionsförmåga och flexibilitet kan en förbättrad vägmiljö, bl.a. genom god vägbelysning, göra att bilkörningen blir säkrare för äldre, men även för övriga trafikanter.

Fler olycksstudier avseende införandet av vägbelysning visar på sänkt antal personskadeolyckor. Gudum & Shiøts (1978) undersökte om det finns någon skillnad i olycksrisker mellan dagsljus och mörker på huvudgator med belysning. Det har inte kunnat påvisas något sådant samband vid studie av alla personskadeolyckor. Det har heller inte gått att påvisa något samband mellan subjektivt upplevd belysningskvalitet och olyckor. Däremot har man funnit att vägbelysning reducerar antalet fotgängarolyckor: På högtrafikerade gator i storstadsmiljö sker större andel fotgängarolyckor i mörker än i dagsljus och en god belysning borde därför kunna reducera dessa olyckor. Studien baseras på cirka 550 personskadeolyckor.

I en litteraturstudie konstaterar Widén (1974) att vägbelysningen medverkar till att antalet olyckor, framförallt singel- och fotgängarolyckor, sjunker. Risken för fotgängare är 2–3 gånger större i mörker än i dagsljus. Regn ökar risken för en fotgängarolycka med dödlig utgång med ungefär 3 gånger i dagsljus och ungefär 9 gånger i mörker.

Lamm m.fl. (1985) studerade en motorväg i Tyskland ett år före införandet av vägbelysning och åtta år efter. De delade in motorvägen i tre delar: en del var alltid obelyst, en del var obelyst före och belyst efter, och en del var obelyst före och belyst kvällar och morgnar efter. Tendensen var att personskadeolyckorna var färre på vägen med belysning, men denna tendens försvann på den del av vägen som var nedsläckt under natten. Materialet omfattar 100–200 mörkerolyckor på var och en av de tre sektionerna och ungefär dubbelt så många dagsljusolyckor.

Svenska Kommunförbundet (1997) har utgivit en skrift som behandlar kollisioner med belysningsstolpar och andra hårda föremål i Sverige 1994–1995. Den visar att av de dödsolyckor som berodde på kollision med ett hårt föremål, var detta hårda föremål i 11 % av fallen en belysningsstolpe, medan det i övriga 89 % av fallen var ett träd, ett vägräcke, en annan typ av stolpe (ej belysningsstolpe), ett vägmärke eller en vägtrumma. Av skriften framgår också att den mest trafiksäkra placeringen av en belysningsstolpe är i innerkurva.

I USA har man identifierat platser där hög olycksfrekvens förmodas bero på dålig utmärkning (Green m.fl., 2003). Dessa föreslås åtgärdas genom uppsättning av några få belysningsstolpar på de platser och vägsträckor det gäller och därmed uppfylls kraven i det amerikanska regelverket AASHTO.

5.2 Samband mellan belysningsnivå och olyckor

Samband mellan belysningsnivå och olycksreduktion beskrivs bl.a. av CIE (1992). I Australien uppgraderades belysningen från en nivå mellan 1 och 13 lx till en nivå mellan 18 och 38 lx. Om en vägbeläggning har luminanskoefficienten $Q_d = 50 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, motsvaras detta av medelluminansnivåerna 0,05-0,7 cd/m^2 före och 0,9-1,9 cd/m^2 efter. Kvoten r definierades som:

$$r = \frac{\text{Antal mörkerolyckor (efter åtgärd) / Antal dagsljusolyckor (efter åtgärd)}}{\text{Antal mörkerolyckor (före åtgärd) / Antal dagsljusolyckor (före åtgärd)}}$$

Det framgår inte vilken typ av gator/vägar studien avser men sannolikt är det alla belysta vägar inom försöksområdet (en del av Australien). Följande förändringar fanns i r :

- Alla olyckor -21 %
- Alla personskadeolyckor -29 %
- Personskadeolyckor utom fotgängare -21 %
- Personskadeolyckor med fotgängare -57 %.

Samtliga förändringar är signifikanta. Slutsatsen är att en höjning av belysningsnivån sänker andelen mörkerolyckor signifikant. Studien omfattar omkring 1 000 personskadeolyckor i föreperioden och lika många efter.

I en studie av Scott (1980) studerades personskadeolyckor på torra 50-vägar (30 mph) i tätort. Man sökte samband mellan belysningsparametrar (medelluminans, omgivande luminans, luminansjämnhet, belysningsstyrka) och olyckor. Det absolut starkaste sambandet fanns mellan medelluminans och olyckor. Även andra signifikanta, men inte lika starka, samband fanns mellan omgivande luminans, horisontell belysningsstyrka, vertikal belysningsstyrka och olyckor. Mellan luminansjämnhet och olyckor verkade sambandet snarare vara negativt eftersom bättre luminansjämnhet gav fler olyckor – detta var dock ej signifikant. Slutsatsen från denna studie är att i intervallet 0,5–2,0 cd/m^2 innebär en höjning av medelluminansen med 1 cd/m^2 att personskadeolyckorna i mörker på torra 50-vägar sänks med 35 %. Detta baseras på 4 600 personskadeolyckor.

Box (1973) studerade sambandet mellan den horisontella belysningsstyrkan och alla olyckor, i detta fall omkring 3 000 i mörker och 4 000 i dagsljus. På huvudvägar verkar en optimal belysningsstyrka vara 1,8 footcandles, vilket motsvarar cirka 20 lx. För en beläggning med $Q_d = 50 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ blir den optimala medelluminansen cirka 1 cd/m^2 . Vid högre eller lägre nivåer ökar kvoten mellan mörker- och dagsljusolyckor. Författaren konstaterar även att gator utan, eller med dålig belysning, har högre olycksrisker i mörker än i dagsljus. Slutsatsen från denna studie är att inte endast en låg belysningsnivå, utan också en hög nivå påverkar mörkerolyckstalet negativt (dvs. att det ökar).

En annan studie av Box (1971) omfattar motorvägar och 21 000 olyckor. Vägarna delades in i tre grupper med avseende på medelbelysningsnivån. Den grupp där nivån var lägst (3–6 lx och 0,15–0,30 cd/m²) hade signifikant lägre mörker-/dagsljus-olyckskvot än de med högre nivå. Dessutom var kvoten lägre för belysta vägar än för obelysta. Slutsatsen av denna studie är att på motorvägar ska det finnas belysning men den ska ha en låg nivå.

5.3 Effekten på olyckor vid förändring av befintlig vägbelysning

En tysk rapport (Uschkamp & Meseberg, 1995) berättar om erfarenheter från före-efterstudier där man ändrat belysningsförhållandena på en vägsträcka, räknat olyckor, och jämfört den med en kontrollsträcka. Ströjlusluminansen vid våt vägbana var omkring 20 % högre än den vid torr vägbana. De ändrade belysningsförhållandena innebar att nattreduktion med 50 % upphävdes eller att belysningsutrustningen förnyats. Belysningsförbättringen medförde att olyckor med egendomsskada minskade med nära 20 % under torra väderförhållanden. Speciellt under tidsintervallet klockan 23 till 5 var effekten ännu större och olyckorna minskade då med drygt 25 %. Upphävning nattreduktion bidrog till att personskadorna på torr vägbana minskade jämfört med kontrollsträckan. Det visade sig också att fotgängar- och cykelolyckorna minskade kraftigt mellan klockan 23 och 5.

Andersen & Ludvigsen (1980) hänvisar till en undersökning från 1973 som visade att när man under oljekrisen släckte varannan lampa så ökade personskadeolyckorna med 3,5 % på icke-motorvägar, baserat på både dagsljus- och mörkerolyckor på alla danska belysta vägar. Hela ökningen sägs vara hänförlig till våt väderlek. Detta skulle motsvara att olyckorna ökar med 10 % i mörker och väta. Inga konfidensintervall anges och på motorvägar erhöles ingen effekt. Slutsatsen är att om avståndet mellan ljuspunkterna fördubblas och medelluminansen halveras är den mest sannolika olycksökningen 10 % i mörker och väta på vägar förutom motorvägar. På torra vägar och på motorvägar sker däremot ingen ändring. Undersökningen baseras på omkring 3000 personskadeolyckor i efterperioden och ett okänt antal i föreperioden.

Richards (1981) undersökte en cirka 12 km lång väg där man släckt belysningen helt i den ena köriktningen men inte alls i den andra riktningen. Antalet olyckor i mörker på den ej belysta vägbanan ökade med 47 %. På den belysta sidan minskade olyckor i både dagsljus och mörker med 20 %. Olyckskvoten på ej belyst vägbana ökade med 27 % medan den minskade på den belysta sidan. Antalet personskadeolyckor fördubblades på den nedsläckta sidan, medan det minskade på den andra. Särskilt uttalat var att fotgängarolyckor och påkörning bakifrån ökade på den nedsläckta sidan. Effekterna är stora och slutsatsen kan dras att nedsläckningen har inneburit olycksökning. Men nedsläckningen av en köriktning innebär också en ökad bländning från andra sidan vägen.

Talbot (1975) studerade olyckor i London under två månader 1973 (före nedsläckning) och jämförde med samma två månader året därpå (efter nedsläckning). Han fann en tendens till att antalet mörkerolyckor ökade, speciellt för fotgängare. Teoretiskt beräknas alla mörkerolyckor öka med 5 % och antalet dödsolyckor med 10 % vid nedsläckning men osäkerheten är stor. Det kan dock vara svårt att dra slutsatser eftersom ingen hänsyn tas till skillnaden i väder och trafik mellan 1973 och 1974.

Under vintern 1973/74 reducerades belysningen i England med 50 % och jämförelser med föregående vinter gjordes. Svåra personskadeolyckor och dödsolyckor ökade med

12 %. Dagtid var olycksökningen 6 %. Även här saknas väder- och trafikdata (Department of Environment, u.å.).

Austin (1976) sammanfattar de två föregående studierna och kompletterar med ett område i London där var tredje lampa släcktes på sekundärvägar. Mörkerolyckorna ökade med 14 % och antalet skadade med 24 %.

I England vidtogs flera åtgärder för att minska bensinförbrukningen (Scott & Barton, 1976). Viktigast var nedsatt hastighetsbegränsning, 50 % dämpning av gatubelysning och införande av tredagarsvecka. Detta ledde till tendensen att olyckorna minskade. Slutsatser kan dock inte dras eftersom olycksmaterialet innehåller både vägar som har släckts ner och sådana som inte har dämpats. Dessutom har nedsläckningen endast genomförts på sådana gator där det kunde förväntas att trafiksäkerheten inte skulle påverkas negativt.



Figur 5 Motorväg med vägbelysning i vått väglag.

Olyckor under rusningstid studerades i 41 danska städer i samband med 50 % nedsläckning 1974 (Friis m.fl., 1976). Under torra väderbetingelser påvisades inga effekter, men däremot ökade andelen mörkerolyckor på våta, ej hala vägbanor kraftigt. Vidare var tendensen att andelen olyckor på länk ökade samt att singelolyckor och påkörning av parkerade fordon också ökade. I vått, men inte halt väglag ökade andelen fotgängarolyckor i mörker. Olycksökningen på grund av nedsläckningen skattades till 4 %.

När en tredjedel av lamporna släckts på en 4 km lång trefilig väg med cirka 40 000 fordon/dygn ökade mörkerolyckorna med 39 % och dagsljusolyckorna med 4 % (Box, 1976). Andelen mörkerolyckor ökade från 20 % till 25 %, dvs. med 25 %. Olyckskvoten i mörker ökade med 36 % och med 1 % i dagsljus. Åren 1973 och 1975 har jämförts men väderförhållandena under försöksperioderna har inte kommenterats.

Stadsbyggnadskontoret i Göteborg (1974) jämförde polisrapporterade olyckor i januari månad 1972–1974. År 1974 släcktes belysningen med 50 %. Det visade sig att antalet dagsljusolyckor minskade med 35 % och antalet mörkerolyckor med 5 %. Andelen mörkerolyckor ökade däremot med 20 %. Antalet olyckor med oskyddade trafikanter ökade med 50 % i mörker och minskade med 25 % i dagsljus medan andelen mörkerolyckor med oskyddade trafikanter ökade med 30 %. Materialet är dock så litet att slutsatser inte kan dras.

Belysningsnivån i Stockholm reducerades med 37 % under vintern 1973/74 och jämfördes med samma period året före (Stockholms gatukontor, 1974). Totala antalet olyckor minskade i såväl mörker som dagsljus med 30 % och andelen mörkerolyckor var oförändrad. Antalet olyckor med oskyddade trafikanter ökade i mörker med 30 % medan de i dagsljus minskade med 30 %. Andelen mörkerolyckor med oskyddade trafikanter ökade med 20 %. Även här är materialet litet.

I Danmark undersökte Ludvigsen & Sørensen (1986) perioden 1976–1982 då gatubelysningen på länk dämpades med 50 %. Dämpning gjordes endast under natten och endast på primärvägar. Man jämförde före åtgärd med efter och fann följande: Personskadeolyckorna ökade med 4 % (ej signifikant ± 15 %). Denna ökning fördelas så att man har en minskning i Köpenhamn på 3 % och en ökning i övriga landet på 54 %. På motorvägar minskade olyckorna med 20 %. Olyckorna minskade med 10 % på länk men ökade med 40 % i korsningar (ej nedsläckta).

Danielsson (1987) gjorde två utvärderingar av förändrad gatubelysning. Den första var då gatubelysningen år 1983 dämpades tämligen drastiskt i Norrköping, medan ingen nedsläckning gjordes i Linköping. Här har Danielsson studerat både polis- och sjukhusrapporterade olyckor under ett år, för att se om det fanns någon skillnad i olyckskvot mellan städerna. Genom att sjukhusstatistiken togs med erhöles drygt 200 mörkerolyckor från vardera stad. Ett räkneexempel visar dock att detta inte är tillräckligt för att påvisa ens en så stor olycksförändring som 20 % (det skulle då behövas 500 olyckor i vardera stad). Några effekter på olyckor har därför Danielsson inte kunnat påvisa.

Den andra studien avser Göteborg, där gatubelysningen rustades upp 1975–1978. Bedömningen var att detta skulle resultera i en olycksminskning på 20 % i mörker. När gatorna som skulle få moderniserad belysning bestämdes, valdes främst sådana som hade en stor andel mörkerolyckor, varför en eventuell effekt kommer att överskattas. Det visade sig dock att andelen mörkerolyckor i hela Göteborg under hela försöksperioden, 1972–1983 var relativt konstant, cirka 33 %. En eventuell effekt skulle dock ha kunnat missas genom att de olyckor som redovisades avsåg alla gator i Göteborg, medan inte alla dessa fått uppgraderad belysning. Därför studerade Danielsson endast de gator som fått ny belysning. Vidare gjorde Danielsson en uppdelning av olika typer av gator och analyserade dessa separat. Han fann då att olycksminskningen är ungefär lika i bostadsområden som på större trafikleder, omkring 10 %. Osäkerheten är dock stor och med 95 % sannolikhet ligger effekten i intervallet 0–20 %. Då måste man komma ihåg att gator med hög olyckskvot företrädesvis valts för åtgärd. Om gatorna valts helt slumpmässigt hade en lägre skattad effekt sannolikt åstadkommit. Danielsson sammanfattar med att den utförda åtgärden troligen inte har haft någon effekt på mörkerolyckorna.

Att antalet olyckor på vägar är oproportionerligt högt på nätterna jämfört med på dagarna konstateras i en CIE-rapport (Commission Internationale de l'Eclairage, 1992). Eftersom både synbarheten och den visuella förmågan försämras i mörker påverkas förarens beteende och körförmåga. Olyckor från 15 länder har analyserats i rapporten och resultatet visar att i ungefär 85 % av olycksfallen har belysningen haft en avgörande betydelse. En slutsats av detta var att vägbelysning skulle kunna reducera mörkerolyckorna. Beroende på vägtyp och konsekvens av olyckan varierar den statistiskt signifikanta olycksreduktionen mellan 13 och 75 % och är i medel 30 %. Studien visar också att den ekonomiska fördelen med minskade olyckor ofta är större än belysningskostnaderna. Inga säkra samband kan ges mellan olycksminskning och

vägbelysningens tekniska parametrar men indikationer finns på att en högre grad av likformighet hos belysningen ökar olycksfrekvensen.

En viktig referens som sammanfattar olycksstudier är *Trafikksikkerhetshåndbok* (Elvik m.fl., 1997). I denna finns sammanfattande tabeller över olyckor och vägbelysning, liksom i CIE-rapporten från 1992. I VGU (Vägverket, 2004b) finns dessutom en tabell över skattade samband mellan belysningsåtgärd och mörkerolyckor, se Tabell 1.

Tabell 1 Skattat samband mellan belysningsåtgärd och mörkerolyckor. "PS" avser personskadeolyckor och "D" dödsolyckor, för samtliga trafikantkategorier. "PS GC" avser personskadeolyckor med gång- och cykeltrafikanter. Negativt tecken innebär en olycksreduktion. Skattad effekt är den mest sannolika effekten. Vägverket, 2004b, s.8.

ÅTGÄRD	EFFEKT PÅ	SKATTAD EFFEKT (%)	OSÄKERHET (%)
Införande av vägbelysning	PS på motorväg	- 15	± 15
	D på motorväg	- 15	± 15
	PS på ej motorväg	- 30	± 10
	D på ej motorväg	- 60	± 20
	PS GC	- 60	± 20
Fördubbling av belysningsnivån	PS på motorväg	± 0	± 10
	D på motorväg	- 10	± 10
	PS på ej motorväg	- 10	± 5
	D på ej motorväg	- 20	± 10
	PS GC	- 20	± 10
Halvering av belysningsnivån	PS på motorväg	± 0	± 10
	D på motorväg	+ 10	± 10
	PS på ej motorväg	+ 10	± 5
	D på ej motorväg	+ 20	± 10
	PS GC	+ 20	± 10
Förbättring av luminansjämnhet	PS på alla vägtyper	± 0	± 10

5.4 Olyckor i speciella trafikmiljöer

År 1991 ansågs antalet korsningsolyckor i mörker minska med 30 % om vägbelysning infördes (Brüde, 1991). Detta var baserat på en analys av olycksdata från Sverige och motsvarade 10 % minskning av det totala antalet korsningsolyckor.

Statistik från Salzburg i Österrike visar att 88 % av fotgängarolyckorna och 92 % av cykelolyckorna under åren 1997 till 1999 inträffade vintertid (Hemetsberger, 2000). Två tredjedelar av fotgängarolyckorna på vintern skedde i skymning, gryning eller mörker. Belysningen är viktig för fordonsföraren såväl som för fotgängaren och påverkar synbarhet, orientering, trygghet och säkerhet. Hemetsberger anser att utformning, anpassad ljusfördelning, typ av anordning och höjd ska begrundas då belysningsarmaturer väljs.

Även i Tyskland har fotgängarolyckor studerats (Mennicken, 2003). Nästan en fjärdedel av de 110 olyckorna **på övergångsställen** inträffade mellan klockan 16 och 18 på kvällen. Av **alla** fotgängarolyckor hände 71 % i dagsljus medan 24 % inträffade i mörker och 5 % i skymning eller gryning. Av olyckorna på övergångsställen inträffade 81 % i dagsljus, 15 % i mörker och 4 % i skymning eller gryning. Fler olyckor än väntat skedde vid belysta övergångsställen och sådana med gulblinkanläggning.

Österrike har många tunnlar och även olyckor i samband med dessa. I Kärnten inträffade t.ex. 48 personskadeolyckor och 217 godsskadeolyckor i motorvägstunnlar

under åren 1997 till 2000 (Anderle m.fl., 2001). Anderle konstaterar att det är viktigt att belysningen vid tunnelinfarten är anpassad till ögats adaptation.

Pasderski (1990) har mätt upp hastigheter vid två tunnelinfarter, där tillfartssträckans luminans ändrats i olika steg för de båda tunnlarna. Det visade sig att hastigheterna inte skilde sig åt nämnvärt men däremot var omkring 20 km/h högre än hastighetsgränsen i båda fallen. Belysningssituationen påverkar således inte hastighetsvalet i någon hög utsträckning vid tunnelinfarten.

6 Upplevd och verklig miljö

6.1 Trygghet och jämställdhet

Ett examensarbete av Susanne Lantz (2003) behandlar trygghet, cykelbanor och belysning. Hon konstaterar att närvaron av andra människor bidrar till trygghetskänslan, även om dessa är främlingar. Gång- och cykeltunnlar som är dåligt belysta och där man inte kan se vad som väntar på andra sidan upplevs som otrygga. Samma sak gäller där gång- och cykelvägar är avskärmade med exempelvis bullerplank eller skymmande buskage. För att öka tryggheten ska cykelbanorna vara väl underhållna och separerade från biltrafiken. Vid belysning av gång- och cykelvägar har lågt placerade ljuspunkter med svagt naturligt sken som sprider ljus ut åt sidorna många trygghetsfördelar: Skuggbildningen blir liten, det går att ha kontroll på vad som händer vid sidan av vägen och ljuset bidrar till igenkänning av människor. Nackdelar är vandaliseringsrisk, som kan lösas med tåliga armaturer eller väl skyddade ljuskällor, samt bländningsrisk och att vägens sträckning kan synas sämre. Detta kan lösas genom en kombination av låga (1 m) och något högre (3–4 m) placerade ljuspunkter.

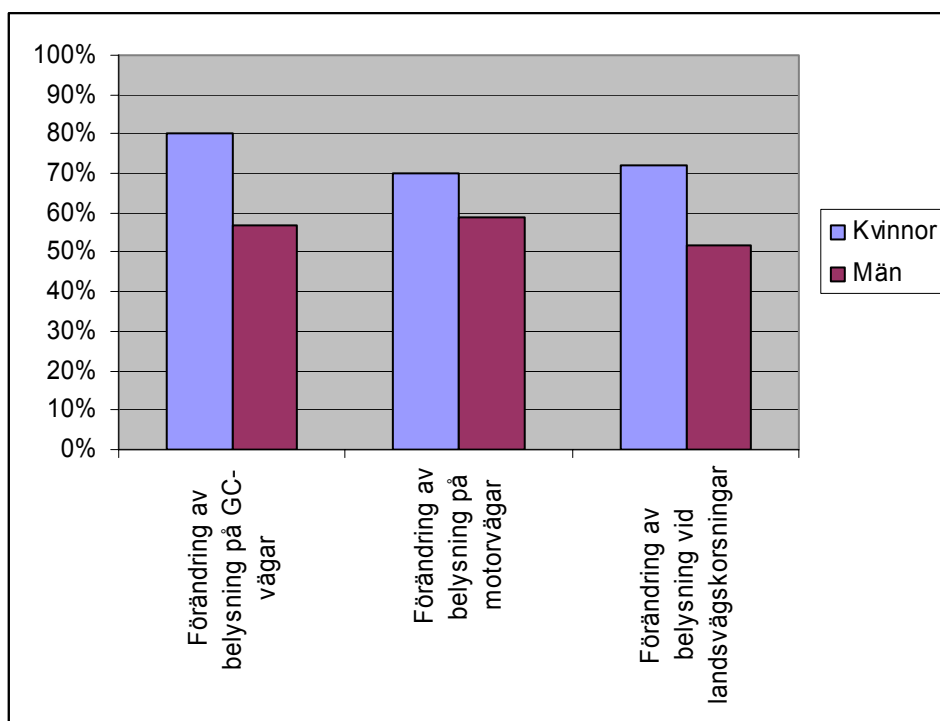
En undersökning av Merritt Polk på Göteborgs Universitet (2005) handlar om kvinnors och mäns värderingar av väginfrastrukturen i Sverige. Den visar att 42 % av de tillfrågade alltid eller ofta undviker att gå i gångtunnlar när det är mörkt, mot 8 % under dagtid. Dålig belysning i allmänhet är alltid eller ofta ett stress- och irritationsmoment för 28 % av kvinnorna och 19 % av männen. I en öppen fråga om vad som skulle få de tillfrågade att känna sig tryggare när de cyklar eller går ensamma var svaret i de flesta fall förbättrad belysning, ibland i kombination med andra insatser. En annan fråga löd: ”Vilka av följande förändringar tycker du skulle behövas?”, där svaret skulle anges på en skala 1–5, där 1 motsvarar ”Behövs inte” och 5 motsvarar ”Behövs”. Det fanns även möjlighet att svara ”Vet ej”. Några av alternativen för denna fråga var: ”Belysning vid korsningar på landsbygden”, ”Belysning vid trafikplatser på motorväg” och ”Belysning på gång- och cykelbanor i glesbygd”. Figur 6 visar andel kvinnor respektive män som tycker att vägbelysningsåtgärder behövs vid gång- och cykelvägar, motorvägar och landsvägskorsningar.

Även Svenska Kommunförbundet tar upp belysning som en viktig punkt i sin skrift om cykeltrafik (Svenska Kommunförbundet, 1998). Mörka partier avskräcker många från att cykla av rädsla för överfall och därför bör vägbelysning finnas och vara kontinuerlig.

I de danska vägreglerna (Vejdirektoratet, 2000) uttrycks klart och tydligt att fotgängarområden ska belysas så att det är tryggt att färdas i dem. Trygghetsaspekten samt önskan om att undvika stöld och skadegörelse ska dock avvägas mot önskan om att spara energi. Hela fotgängarområdet ska vara belyst och ljuset ska vara mjukt, varmt och inte för starkt. Belysningspunkterna ska placeras så att de inte ger upphov till störning för boende kring området.

År 1999 gav Vägverket (Holm m.fl., 1999) ut en idékatalog om gång- och cykeltunnlar. I den sägs bl.a. att en tunnel ska vara inbjudande och inte hotande att passera igenom. Tunnelns bredd ska vara anpassad med mycket ljus och ljusförhållandena ska vara sådana att kontrasterna inte blir för stora i och utanför tunneln. Vidare föreslås att gång- och cykeltunneln inte ska vara helt nergrävd utan att vägen istället ska höjas något, vilket gynnar ljusförhållandena. Innerväggarna av tunneln bör målas i kalla färger som ger en känsla av luft och rymd.

Vid anläggning av nya gång- och cykelvägar tas belysningen allt mer i beaktande även i utomnordiska länder. Ett exempel är Tilburg i Holland där belysningen fanns med i funderingarna redan i första fasen då nya cykelvägar skulle byggas (Gemeente Tilburg, 1993).



Figur 6 Andel kvinnor respektive män i Sverige som tycker att någon typ av åtgärd borde göras angående vägbelysning (Polk, 2005).

I en artikel från Tyskland beskrivs att gång- och cykelvägar som ligger i anslutning till vägar oftast inte belyses i belysningstillverkarnas produktkataloger (Neubert & Wiebusch-Wothge, 2002). Endast ströljus faller därför på dessa, vilket är en anledning till att medborgarna känner sig obekväma.

Enligt en intervjuundersökning av fotgängare i New York (Shriver m.fl., 2000), promenerar kvinnor mer sällan, kortare sträckor och kortare tid än män på kvällen. Att kunna se vem som är på gatan under den mörka delen av dygnet skulle gynna promenerandet kvällstid hos både kvinnor och män. Kvinnor känner sig inte lika trygga som män på kvällen. Även kvinnor på Nya Zeeland tyckte i högre grad än män att belysningen var otillräcklig (Dravitzki m.fl., 2003). Att ansiktsigenkänning är en viktig del för tryggheten hos fotgängare stöds av ett tyskt forskningsprojekt (Carraro m.fl., 2001). Studien påvisar värden för vertikal och halvcylindrisk belysningsstyrka mellan 2,1 lx och 6,0 lx för att man ska kunna känna igen ett ansikte.

I Storbritannien minskade både andelen resor till fots och den totala promenadsträckan per person mellan åren 1985–1986 och 1997–1999 (Walking in towns and cities..., 2001). Orsaken till detta var förutom ett ökat bilanvändande, externa köpcentra osv. att gående har blivit mer förknippat med obehag på grund av vandalism och rädsla för kriminalitet. För att stävja detta rekommenderades bl.a. god vägbelysning. The British Parliamentary Lighting Group (BPLG) gjorde under första hälften av 1990-talet undersökningar på olika platser i Storbritannien (Ramsay, 1996). Sociologer och

kriminologer intervjuade då människor om deras syn på sitt bostadsområde och sin livsstil, allt utan att belysning nämndes. Intervjuerna gjordes både före och efter att ny belysning installerats i kvarteret. Mer än tre fjärdedelar av invånarna upplevde en ökad livskvalitet sedan deras bostadsområde fått ny belysning. Samtidigt minskade försök till eller utförda brott med 40 %.

I de lantliga bostadsområdena Stoke-on-Trent och Dudley har man beräknat att förbättringar i vägbelysningen betalt sig själva på ett år, tack vare besparingar till följd av minskad brottslighet (Painter & Sidell, 1999; Painter, 1998). Allmänhetens attityder, kriminalitetsstatistik, varseblivning och utnyttjande av trottoarer jämfördes ett år före och efter att den nya belysningen satts upp. Samma sak gjordes i områden nära Stoke-on-Trent och Dudley, respektive i kontrollområden. Resultaten blev i bostadsområdena att kriminaliteten minskade, rädslan för brott minskade, livskvaliteten ökade och att fler invånare var ute och gick på gatorna nattetid. I närliggande områden minskade också kriminaliteten något, medan ingen minskning fanns i kontrollområdena.



Figur 7 Vägbelysning på bostadsgata i Linköping.

Även i en av Londons stadsdelar har bättre vägbelysning minskat brottsligheten (Institution of Lighting Engineers, 1999b). En översikt över den forskning som gjorts inom området belysning och kriminalitet finns i en guide som brittiska Institution of Lighting Engineers givit ut (1999a). Där visas också vilken typ av brottslighet som minskat med den förbättrade belysningen. Enligt tidigare studier i Skottland försvinner många av effekterna på kriminalitet efter hand men invånarna känner sig tryggare och mer avspända då de går ut på kvällen (Nair & Ditton, 1994).

Ett konferensbidrag av Havard (2002) behandlar säkerhetseffekterna vid ökad nattsynbarhet genom vägbelysning. Han går igenom resultat från flera studier i ämnet. I Storbritannien har man uppnått en minskad brottslighet genom vägbelysning där förhållandet nytta/kostnad är så högt som 4,45/1 och återbetalningsperioden är mindre än tre månader.

Att tryggheten ökar med god vägbelysning stöds av en brittisk undersökning där de flesta intervjuade ansåg att rätt belysning vore ett bättre sätt att förebygga brott nattetid än att ha patrullerande poliser (Ditton & McNair, 1994).

Janoff (2002) menar att det mest pålitliga resultatet av ökad vägbelysning i USA är att folk känner sig tryggare och att rädslan för brottslighet går ner. Det är lättare att upptäcka och känna igen människor. Data som visar att andelen brott nattetid minskar när belysningsnivån ökar antas inte bero på att det totala antalet brott minskar, utan istället på att **andelen** brott nattetid minskar just i de områden som har en ökad belysningsnivå. Det är alltså möjligt att kriminaliteten nattetid förflyttas till andra områden eller istället sker dagtid.

I Eskilstuna undersöktes om förbättrad belysning vid gång- och cykelöverfarter förbättrade framkomligheten och tryggheten för trafikanterna (Thulin m.fl., 2004). Belysning med starkt fast vitt sken, metallhalogenlampor, sattes upp och jämfördes med de högtrycksnatriumlampor med gulaktigt sken som fanns innan. Tidigare hade man testat att öka belysningseffekten i en korsning och samtidigt sänkt effekten på lampor intill för att inte öka strömförbrukningen. Detta gav dock inte någon egentlig effekt på vare sig framkomlighet eller säkerhet. I försöket med stark fast vit belysning var trafikanterna mer nöjda och menade att både framkomlighet och säkerhet förbättrats. Fotgängare och cyklister kände sig tryggare när de passerade över gatan och de äldre var mer positiva än de yngre. Videofilmning visade att bilisterna oftare lämnade företräde för fotgängare och cyklister med den nya belysningen samt att de kunde anpassa sin hastighet på ett bättre sätt.

Bland annat i Kent i England har man funderat på hur man ska kunna sänka trafikanternas hastighet för att få en tryggare miljö (Kent County Council, 1992). I strategin ingår krav på belysning som en del. Även i USA har man tagit med vägbelysning i tankarna då det gällt att få till stånd säkra fotgängarområden med lägre hastighet och estetiskt tilltalande vägutformning (Ocken, 1999).

Enligt en studie gjord av the Federal Highway Administration i USA tror fotgängare ofta att fordonsförare kan se dem i mörker, därför att de själva kan se ljusen från ett fordon som närmar sig. God kvalitet och placering av belysning kan öka komforten och säkerheten hos fotgängare samtidigt som stämningen i den omgivande miljön förhöjs (Zeeger m.fl., 2000). Längs stora affärsstråk kan tvåsidig belysning med en jämn belysningsnivå stärka gatans atmosfär på kvällen. Övergångsställen kan göras mer iögonfallande genom högre belysningsnivå eller extrabelysning.

År 2000 konstaterade The Road Information Program (TRIP) i USA att äldre amerikaner ökat sitt resande på större vägar i dubbelt så stor utsträckning som andra amerikaner. TRIP gav tre år senare ut en rapport om äldre förarens behov i trafiken (2003). Med äldre förare avses här personer som är minst 70 år. Synförmågan försämras oftast med åldern, vilket gör att denna trafikantgrupp helst kör dagtid. En av de saker som kan öka trafiksäkerheten för dem är förbättrad belysning, särskilt i korsningar. Även Mace & Porter (2002) har studerat äldre förare. De ville undersöka hur olika parametrar i vägbelysningen påverkade säkerheten och komforten hos dessa. För att göra detta mättes synbarhet, bländning, upplevd komfort och förarbeteende. Schieber

(2004) menar att lite arbete har lagts ner på att utröna äldres behov av belysning på natten, därför att denna trafikantgrupp i hög grad undviker mörkerkörning. Problemet är att synbarheten försämras vid mörkerkörning och därför borde vidare forskning göras på att identifiera kritiska faktorer som förknippas med vägbelysning, såsom belysningens placering och intensitet.

6.2 Estetik

Ljusförorening eller spilljus är begrepp som används om artificiellt ljus som är riktat åt icke önskvärdt håll. Det kan vara dåligt avskärmat vägbelysning som har ljusflöde ut mot öppna landskap eller upp mot himlen, vilket exempelvis kan leda till att det är omöjligt att se stjärnorna. Flera studier behandlar problemet med ljusförorening. I en metaanalys av Laporte och Gillet (2003) kommer man fram till att om man optimerar det optiska systemet och dess layout i förhållande till den speciella applikationen så kommer även minst andel uppåtgående flöde att skapas. För att mäta och värdera störande ljus som faller in i ett rum mäts den vertikala belysningsstyrkan E i fönsternivån. Beroende på typ av område (bostads-, bland- eller industriområde) och tid på dygnet rekommenderas ett gränsvärde för belysningsstyrkan på 1-20 lx i Tyskland (Deutsche Lichttechnische Gesellschaft, 1996). Om ljuset växlar eller vid intensivt färgat ljus måste dock gränsvärdena minskas. Samma sak gäller om ljuset varierar över tiden. Kramer (2001) menar att man kan skärma av den existerande belysningen för att lösa de problem som finns idag, men att designindustrin i framtiden måste hitta nya och bättre lösningar. Han tar själv upp ett exempel från Tennessee där en vertikalt monterad ljuskälla på en optimal arkitektutformad fixtur gjort att ljusföroreningen minskade, ljusnivåerna på vägen ökade och att färre stolpar behövdes, varför underhållskostnaderna kunde reduceras (Kramer, 1999).

På Rhode Island har en ljusförordning skrivits i samarbete mellan en lokal astronom och ämbetsmän, i syfte att öka säkerheten på natten samtidigt som energi sparas och ljusförorening mot himlen förhindras (*Street Light Upgrades Curb Light Pollution While Saving Money*, 1998). En tumregel vid installation av vägbelysning är att rikta den minst 20° nedanför horisontalaxeln.

Enkla sätt att komma åt problemet med ljusförorening angavs redan 1992 i ”Guidance notes for the reduction of light pollution” (Institution of Lighting Engineers). Dessa sätt kan vara att släcka ljuset där det inte behövs av säkerhets- eller trygghetsskäl, att rikta ljuset nedåt där det är möjligt för att belysa objektet, att använda plattor och skärmar för att avskärma ljuset, att använda speciellt utformad utrustning för att minska ljusspridningen ovanför horisonten och att inte använda ljus i större utsträckning än det som sägs i regelverken. Ett sätt att räkna på ljusförorening är att använda kvoten mellan armaturens uppåtgående flöde och dess totala flöde (Pollard, 1994). Det är dock inte bara de uppåtriktade strålarna som leder till ljusförorening utan även de strålar under horisonten som faller inom området 80–90°. De problem som finns med ljusförorening ifrån vägbelysning samt goda belysningsexempel ges av Stanton (1994). Ett par exempel på hur ljusförorening kan undvikas är att använda välvda lyktor och att utforma armaturen på ett sätt så att ljuset inte är riktat uppåt medan ytor som gångvägar, vägar och parkeringsplatser har god belysning och byggnader har dämpad belysning.

Austrorads i Australien tar också upp ämnet ljusförorening i en allmän guide för vägbelysningsstandarder (Austrorads, 2004). Bland annat framhålls att det ofta går att undvika störande ljus genom att beakta detta redan i planeringsstadiet.

I Ottawa i Kanada mättes spilljusluminansen från vägbelysningen nära byggnader och andra typer av egendomar (Khan, 2003). Påverkan på både invånare och affärer behandlas.

I en artikel av Gardner (1998) kritiseras vägbelysning för att vara utformad alltför mycket ur förarnas perspektiv. Han anser att vägbelysningen är kontrastlös, inte lyckas belysa vertikala ytor på ett korrekt sätt, bländar för mycket och för hårt samt att natriumlamporna visserligen är effektiva men har för dålig färgåtergivning.



Figur 8 Exempel på gatubelysning. Foto: Kurt Nørregaard/Vejdirektoratet.

Ett exempel på ett svårt belysningstekniskt projekt var den engelska terminalen vid kanaltunneln i Cheriton nära Folkestone (Hugill m.fl., 1994). Terminalen var drygt

tre km lång, mer än en km bred och korsades av huvudvägar, servicevägar, parkeringsplatser m.m. vilket innebar att kraven på belysning var mycket varierande. Här användes nya lösningar för att bl.a. klara av att minimera spilljus och bländning. Belysningen i tunneln mellan England och Frankrike beskrivs i artikeln "Light to the end of the tunnel – the French connection" (Cowan, 1994). Där sägs att spårtunnlar ska vara närmast mörka, medan nödutgångarna längs sidorna behöver belysning från säkerhetssynpunkt.

Estetiska aspekter i tunnlar behandlades även på ett symposium i Norge 1997 (Lindström & Grønhaug, 1998). En tunnels uppgift är inte bara att förbättra framkomligheten, utan den ska även säkerställa en komfortabel och säker färd. Belysningen, både i och vid infarten till tunneln, påverkar förarens komfort och visuella kontroll i hög grad. Ju mer ljus det finns inne i tunneln, desto större är den visuella kontrollen. Juncà-Ubierna, som var en av deltagarna på symposiet, föreslår att tunnelbelysningen ska vara nedåtriktad på sidoväggen, så att området där trafik rör sig belyses medan ventilationsområdet är mörkt. Samtidigt måste alla utformningselement bidra till att skapa en god miljö och till exempel samspelar belysning med färger på väggarna.

Det sägs att ljuskvaliteten i en stad talar om vilken säkerhetspolitik som råder för medborgarna (Rau, 2000). Regionen Northmoor "Home Zone" i Manchester används som pilotregion för att testa nya sätt att utnyttja vägområdet på (Burton, 2003). Väggarna har utformats för att prioritera de bofasta, snarare än förarna. Miljön har förstärkts genom att ny gatubelysning monterats på husfasaderna. Belysningen är likformig, har hög färgåtergivning och högre effekt jämfört med förut. Allmänheten tycker att belysningen är utmärkt.

Ett problem vid arkitekturtrad gatubelysning kan vara att trots att designen är estetiskt tilltalande ger den inte tillräckligt mycket ljus för fotgängarna. Detta var fallet i Denver, där optiken i lamporna därför byttes ut till ett fiberoptiskt system för att åstadkomma en högre effektivitet hos belysningen, med både högre ljusutbyte och kraftigt ökad livslängd (Courret, 1999).

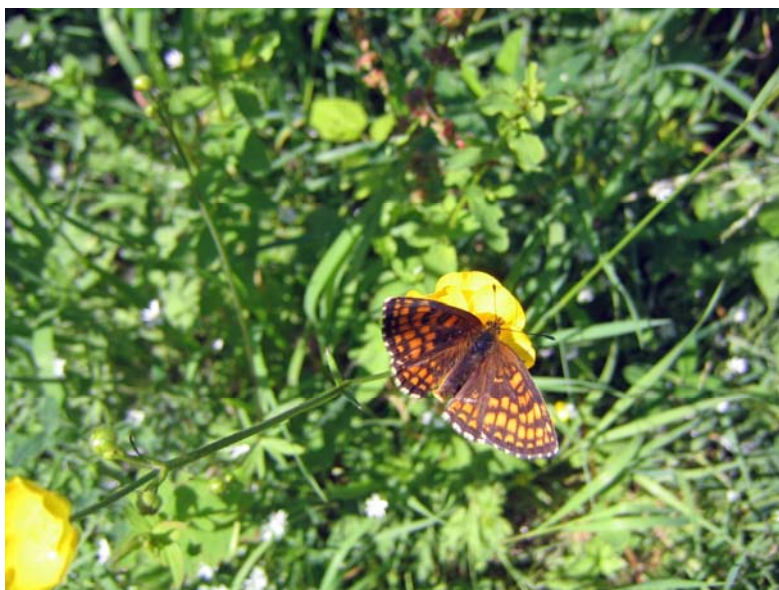
I Danmark utkom nya regler för vägbelysning år 1999. En handbok med exempel på visuell utformning av olika anläggningar i landet utgavs samma år (Vejdirektoratet, 1999a). Att belysningsstolpar och armaturer bör vara avpassade för den miljö de befinner sig i påpekas bl.a. i de danska vägreglerna (Vejdirektoratet, 2000). Estetiken har en viktig roll och man vill dämpa visuella intryck utifrån genom att sänka ljuspunktshöjden i öppna landskap (Vejdirektoratet, 2002). Avskärmade armaturer och lägre stolphöjder används i hög grad på mindre vägar. Ett exempel på nytänkande vad det gäller estetik är på Fyn, där man på en viss väg tänkt på landskapsarkitektoniska värden utan att följa avståndskriterierna vid anläggande av en rastplats (Egebjerg & Plejdrup, 2002).

Belysning kan även användas för att höja förarnas uppmärksamhet. Försök på en särskilt monoton väg i Småland visade att vakenhetsnivån ökade efter införande av konstnärlig belysning av broar och träd (Drottenborg, 2003).

I England har man funderat på hur vägbelysning skulle kunna användas på ett effektivt sätt i naturvårdsområden (Lummis, 2003). Den måste ge tillräckliga ljusnivåer för fotgängare och fordonstrafikanter och samtidigt passa in i sin omgivning. På dagen ska belysningen synas så lite som möjligt och stolpar, armar och lyktor ska utformas i harmoni med varandra (Department of Transport, 1993). Nattetid är det viktigt hur ljuskällan ser ut och hur ljuset återgivs, i vilken riktning ljuset strålar och intensiteten av det utsända ljuset, samt var ljuspunkterna är placerade.

6.3 Miljö

Att vägbelysning inte bara bidrar till trafikanteffekter utan även till påverkan på naturen och energiförbrukningen är något som uppmärksammas allt mer. I Tyskland anordnades exempelvis en kongress med fokus på energi- och kostnadseffektiv drift av vägbelysning med hänsyn till ekologiska aspekter (Dritter IIR-Kongress Strassenbeleuchtung, 2004). Ett exempel på miljöeffekter är hur hotade sköldpaddsorter på Floridas stränder får svårare att häcka eftersom honorna flyr från det artificiella ljuset (Salmon m.fl., 2003). Dessutom påverkas de nyfödda sköldpaddornas förmåga att hitta till havet. Teknik som tar större hänsyn till dessa djur håller på att utvecklas.



Figur 9 Fjäril. Foto: Rolf Jonsson.

Även insekter påverkas av artificiell belysning. Problemet med att vattenlevande insekter lockas till ljuset beskrivs bl.a. i en artikel av Scheibe (2003). I Stuttgart har man undersökt vilken betydelse olika typer av lampor har för att locka till sig insekter (Eisenbeis & Hassel, 2000). Undersökningen visade att bäst var att sätta ett UV-filer på lampglaset, därefter kom högtrycksnatriumlampor, sedan högtrycksnatrium-xenonlampor och sämst var högtryckskviksilverlampor. Detta ledde till en rekommendation att byta till högtrycksnatriumlampor för att skydda insektsfaunan och samtidigt spara energi. Även en bok av Eckert (1996) behandlar belysningens inverkan på insekter och dessutom ämnet ljusförorening.

6.4 Energi

I USA används en typ av ljus betong med hög ljusreflexion på vägen som bidrar till att spara energi och att öka trafiksäkerheten (Environmental Council of Concrete Organizations, 2001). Transportmyndigheterna kan då uppfylla krav i belysningsstandarder med mindre utrustning och lägre effekter.

Även i Europa funderar man på samspelet mellan vägyta och vägbelysning (Gundert, 1998). Ekonomin hos vägbelysningsanläggningar beror både på de tekniska egenskaperna hos belysningsanläggningen och på vägytans reflexionsegenskaper. I ett danskt notat fastställs att vägbanans luminans skapas i samspel mellan belysning,

observationsförhållanden och vägbeläggnings reflexionsegenskaper (Øbro, 1993). Att vägytans reflexionsegenskaper har direkt betydelse för både luminansnivå och jämnhet konstaterades i Norge för nära 20 år sedan (Statens vegvesen, 1987).

Ett sätt att spara energi och samtidigt minska ljusföroreningen är att reducera belysningsnivån under vissa betingelser, ofta kallat dimning. Storbritannien har gjort ett pilotprojekt på en väg där belysningen kontrolleras av trafikflödet (Collins m.fl., 2002). Ljusnivån är 100 % om antalet fordon per timme överstiger 3 000, vid 1 500–3 000 fordon/h är den 75 %, och vid färre än 1 500 fordon/h är den 50 %. På detta sätt har energikostnaden sänkts med drygt hälften mot det gamla belysnings-systemet.

Forskningsprojektet DYNO startades i mitten av 1990-talet i Nederländerna i syfte att studera hur dimning av vägbelysning skulle kunna göras (Hogema & Kaptein, 1998; Hogema & van der Horst, 1998). Med hjälp av en instrumenterad bil, en trafikantundersökning, videospelningar och en olycksanalys samlades data in under tre mätperioder: en före-period (ingen vägbelysning på teststräckan), en noll-period (normal vägbelysning: 100 %) och en efter-period (dynamisk vägbelysning: 20, 100 eller 200 %). Förutom ljusförhållandena utgjorde nederbörd och trafikens intensitet huvudfaktorer. Slutsatsen blev att vid gynnsamma omständigheter, dvs. torrt väder och liten trafikmängd, kan en lägre ljusnivå (20 %) användas utan att trafiksäkerheten påverkas negativt. Annars ska ljuset dock ha normal nivå.

Även i Sverige finns en vägsträcka med varierbara belysningsnivåer (Eklöf, muntligen 2005). Sträckan ligger vid Stava på länsväg 276 och används som demonstrationsanläggning.

Ett tänkbart alternativ för att spara energi skulle kunna vara att släcka ner varannan ljuskälla i vägbelysningen. Detta leder dock till mörka områden mellan de stolpar som har belysning, vilket kan bidra till ökad risk för olyckor (*Lösungen für den effizienten und ökologischen Betrieb von Aussenbeleuchtungsanlagen*, 2004), se även avsnitt 5.3. Ett annat alternativ kan vara att göra som i Wien, där det finns belysningsstolpar med två ljuskällor. I många fall släcks en av lamporna mellan klockan 24 och 5 på morgonen för att spara in på driftkostnaderna (Hafner, 2001).

Enligt Specht (1994) kan man spara energi på vägbelysning genom att:

- byta ut kvicksilverlampor mot högtrycksnatrium
- släcka ner den ena lampan i armaturer med två ljuskällor
- sänka lampspänningen under de trafiksvaga timmarna mellan midnatt och halv sex på morgonen
- tända den allmänna vägbelysningen något senare än belysningen vid övergångsställen.

Eckert & Meseberg (1998) har studerat undersökningar som visar att vägbelysning är ett bra medel för att minska antalet olyckor i mörker. Detta gäller för alla typer av vägar och även för de mer trafiksvaga timmarna av dygnet, mellan midnatt och klockan fyra på morgonen. Enligt författarna kan bara den vägbelysning reduceras som finns i områden med lite trafik nattetid, som industriområden, gågator och 30-km-zoner.

Vägbelysning som drivs med solceller beskrivs i en artikel av Reck (1995) och har testats i ett område i Tyskland (*Solarbeleuchtung für die Strasse*, 1999).

Ett system för vägbelysning som kombinerar solceller, vindenergi och LED-teknik beskrivs i en artikel i *Lighting Journal* (Crampton, 2001). En prototypenhet slår av och på sig själv beroende på omgivande ljusnivåer och tekniken ska också vara bra för att undvika ströljus.

En orsak till hög energiförbrukning kan vara gamla, ineffektiva kondensatorer (Bodle, 2002).

Rapporten ”Kritik på teknik 2004” (Bylund & Lille, 2004) redovisar en undersökning av hur medborgarna uppfattar kommunens tekniska service i 80 svenska kommuner, vilken också innefattar vägbelysning. Rapporten visar att kvinnor i högre grad än män anser att man ska öka resurserna för belysningen på gator och i parker. Av de 15 % av de tillfrågade som ansåg att man kan spara på belysningen föredrar de flesta alternativet att belysningen släcks helt under sommaren, att det är glesare med tända lampor på de stora gatorna klockan 00–5, samt att lamporna släcks tidigare på morgonen och tänds senare på kvällen. Viktigt är dock att påpeka att effekten på olyckor inte behandlas i denna undersökning [författarens anmärkning].

7 Fysikalisk mätning, drift och underhåll

Fysikalisk mätning av vägbelysning kan göras med flera syften:

- Omedelbart efter installation kan man vilja kontrollera belysningsanläggningen och dess samspel med vägytan.
- Under driftstiden kan man vilja kontrollera att anläggningen uppfyller kraven i regelverket, dvs. att den ger ”korrekt ljus”.
- Tillståndsmätningar av funktionen kan användas för att beskriva belysningsanläggningars funktion i en stad eller i ett större geografiskt område.
- Inför nyinvestering i armaturer kan fysikalisk ljusmätning avgöra vilka som behöver bytas ut.
- Inför nyinvestering av stolpar kan fysikalisk mätning av rostangrepp utföras.

Vägbelysningslampor kan bytas ut en i taget, i takt med att de går sönder, så kallat seriebyte, eller så kan ett flertal lampor bytas ut samtidigt efter en viss given tid utan inspektion, så kallat gruppbyte (Sharman, 1998). Vilken metod som är lämplig beror på vilken utgångspunkt man har som användare, leverantör, finansär etc. Den metod som sägs vara mest ekonomiskt effektiv är gruppbyte som görs då armaturerna annars skulle ha tvättats.

Många underhållsåtgärder måste göras under hela året och i alla väder, varav underhåll av vägbelysning är en. Hur radiofrekvensteknologi kan användas i underhållet av vägbelysning beskrivs i en artikel av Murphy (2004). Vägbelysningen dimmas i gångtunnlarna under natten för att stämma överens med omgivande ljusnivåer. Elektronisk fjärrkontrollutrustning baserad på trådlös radiokommunikation och avancerad avståndsmätning gör det möjligt att fjärrstyra dimning och övervakning. Elektroniska sensorer på stolparna kan förutsäga fel, vilket möjliggör ett förebyggande underhållsprogram.

En grupp amerikanska belysningstekniker gjorde år 2000 en studieresa till Finland, Schweiz, Frankrike, Belgien och Nederländerna för att få information om europeiska vägbelysningsanläggningar (Wilken m.fl., 2001). De konstaterade att när en belysningsanläggning väl är projekterad och uppsatt kontrolleras inte den belysningstekniska funktionen mer, något som troligen även gäller i Sverige. Däremot undersöks mekaniska skador och om en lampa överhuvudtaget lyser.

7.1 Mätning av ljus tekniska parametrar

Vägbelysning omfattar ett luminansintervall på i huvudsak mellan 0,1 och 2,0 cd/m² (Khanh, 2004). Detta intervall tillhör det mesopiska området, vilket innebär att känslighetskurvan för det mänskliga ögat förskjuts åt det kortvågiga området. Hittills har vägbelysningsanläggningar utvärderats med avseende på känslighetskurvan för det fotopiska området, vilket innebär att mätvärdena inte stämmer med de sanna psykofysiska resultaten.

Fysikalisk mätning av vägbelysning kan ske på flera olika sätt. Idag försöker man i t.ex. Tyskland (Kaiser, 2004) att utföra mätningarna mobilt för att spara arbetstid och pengar när man samlar in data. Tidsbesparing sker genom att rationalisera insamlandet av data

med hårdvara som är enkel att sköta, som är vattentät och lätt. Mjukvaran ska naturligtvis också vara enkel att hantera. Ett exempel på lösning för mobil mätning är att ha ett dataregister och mjukvara för underhåll av belysningsanläggningen kopplad via ett lokalt nätverk till en mobil internet-server som i sin tur via GPRS (General Packet Radio Service) står i förbindelse med en mobil apparat som exempelvis en handdator. Zimmer (1988) beskriver detaljerat ett mätsystem för mobil mätning av högmastbelysning i artikeln *A Mobile Illumination Evaluation System*. Systemet är enkelt och kostnadseffektivt och kan användas på ett fordon som kör enligt trafikrytmen. Data om belysningsnivåer i medel, minimivärden och maximivärden samlas in och lagras i ett register med hög noggrannhet.

Luminansen mäts genom ett luminansmätsystem som kan installeras på förarplatsen i ett mätfordon (Ewald & Meseberg, 1995). Med en dator och digital bildbehandling kan sedan luminansen i olika vägsituationer utvärderas.

Synbarhetsmätning sker i USA genom att luminansen för ett kvadratisk hinder med en viss reflektans mäts i olika punkter i ett rutnät (Janoff, 2002). Sedan används ett datorprogram för att beräkna synbarheten vid varje punkt, samt medelvärden och jämnhetsvärden för belysningsstyrka och luminans. Hindret har typiskt sidan 18 cm och har en reflektans på 20 %. Hur mätningarna går till beskrivs vidare i *Visibility under Roadway Lighting* (Janoff, 2002). Även fotografier eller videoupptagningar kan vara relevanta vid fältmätningar av vägbelysning då exempelvis relativa effekter ska granskas.

Ett tyskt företag utför luminansmätningar i tunnlar dynamiskt (Hölezmann, 2004). Tekniken för detta går ut på att ta bilder från olika områden i tunneln med hjälp av en modifierad digitalkamera och i samband med detta analysera dem med speciella utvärderingsprogram. Även fjärrövervakningssystem via PC eller handhållet över modem finns på vägarna (*Lösungen für den effizienten und ökologischen Betrieb von Aussenbeleuchtungsanlagen*, 2004).

Artikeln *Calibration and use of camera-based systems for road lighting assessment* (Glenn m.fl., 2000) behandlar mobil mätning av vägbelysning med kamerabaserade system. På grund av perspektiveffekten representerar olika pixlar i bilden olika areor. Därför omorganiseras bilden så att varje pixel motsvarar lika stor area oberoende av var den befinner sig i bilden. Genom att använda en serie bilder kan en luminanskarta åstadkommas som väl motsvarar den karta som kunde göras med handhållna mätningar. Att vissa skillnader fanns förklarar artikelförfattarna bl.a. med att det automatiserade systemet har högre upplösning och att variationer därför lättare detekteras och mäts. Därför har det automatiserade systemet mer extrema maximivärden och minimivärden för luminansen än det handhållna.

I Japan har man installerat Closed-circuit-television (CCTV) i stora vägtunnlar för att övervaka dessa (Tomura m.fl., 2002). Med ett bildbehandlingssystem kan man bl.a. mäta luminansen i tunnelarna automatiskt.

Lundkvist (2003) menar att vägbans luminans bäst beskriver vägbelysningens funktion. Eftersom denna är svår att mäta bör man istället mäta belysningsstyrkan och vägytans luminanskoefficient och från dessa skatta luminansvärdet. Mätningen kan påverkas av omgivningsljus från fordon och bör därför utföras under lågtrafik (under natten). Praktiska och enkla metoder för att mäta ljustekniska parametrar saknas.

År 1994 beskriver Schreuder hur reflexionsegenskaperna för en vägyta kan mätas på plats. Ett system som möjliggör mätningar dagtid utan störning från trafiken används.

Mätningarna görs baserade på den standardgeometri som definierats av CIE för definition och mätning av vägytors reflexionsegenskaper.

I praktiken kan enstaka ljuspunkter eller hela belysningsanläggningar vara störande. En sådan störning är svår att mäta men en artikel av van Ratingen (2001) behandlar de metoder som finns till hands. Speciellt går författaren in på bländning från vägbelysning och kriterier för det.

7.2 Belysningsstolpar

Ett problem då det gäller belysningsstolpar är rostangrepp. I en undersökning på initiativ av Svenska Kommunförbundet inspekterades drygt trehundra förzinkade och målade stolpar på olika platser i Sverige (Svenska Kommunförbundet, 1987).

Slutsatserna blev bl.a. att:

- Risken för allvarlig korrosion på förzinkade stolpar under jord är stor efter 10–15 år.
- Rödrostangrepp i regel börjar uppträda under jord på förzinkade stolpar efter 10–15 år.
- På målade stolpar kan allvarlig korrosion förekomma ovan jord.
- Konstruktiv utformning har stor inverkan på risken för korrosion på stolpar.
- Korrosionsangreppen från utsidan av stolpen är mycket större än de från insidan.
- Rastande hundar orsakar korrosion på både förzinkade och målade stolpar.

Eftersom korrosion innebär en säkerhetsrisk är det betydelsefullt att kunna mäta och förebygga förekomsten av rost på belysningsstolpar. Ett sätt att förebygga rostangrepp är varmförzinkning, men detta är inte ett tillräckligt skydd menar Ove Nygren på Korrosionsinstitutet i en artikel (Nygren, 1989). Varmförzinkning är ett sätt att skydda stolpen från atmosfärisk korrosion men den bärande delen står ofta i fuktig sand eller lera. Korrosionsskyddsmålning är en annan metod som kan användas för att förlänga stolparnas livslängd (Jonasson, 1989).

Processen att testa, inspektera och rostskydda belysningsstolpar beskrivs bl.a. i en brittisk teknisk rapport från 1997 (Institution of Lighting Engineers). I Storbritannien (liksom i Sverige) upplever man att vägbelysningsstolparna i hög grad håller på att nå slutet av sin livslängd (Diggory, 2000). År 2000 uppskattade man att hälften av de brittiska belysningsstolparna var äldre än 20 år och att 10 % av dem måste bytas ut inom den närmaste tiden. Därför ville man veta vilka stolpar som borde bytas ut först. Elektroniken troddes vara väl underhållen, medan det var svårare att veta tillståndet hos materialstrukturen. Genom att kombinera ultraljudsmätning av stolpväggens tjocklek med stolpens dimensioner, vindstyrkor och kunskap om korrosionshastigheter kunde man välja ut vilka stolpar som var i störst behov av att bytas ut. Icke-förstörande tester av belysningsstolpar nämns i en artikel av Howard (1998). Visuella inspektioner och sådana där man lyssnar kan fungera som första indikatorer på eventuella problem. Därefter kan man testa problemstolpar i detalj, t.ex. med hjälp av ultraljud som kan användas för att mäta potentiella korrosionsskador på stolpen. Man säger att slumpmässiga metoder som dessa kan användas på cirka 3–5 % av stolparna. Statisk belastning är dock den enda metoden som kan ge ett fullt och detaljerat test av en belysningsstolpe.

1999 utkom en standard för inspektion och underhåll av vägbelysning i Storbritannien (Highways Agency m.fl.). Två typer av inspektioner ska göras – säkerhetsinspektioner och detaljerade inspektioner. Säkerhetsinspektionerna bör göras mobilt och visuellt och i syfte att identifiera och anteckna alla brister i vägbelysningen. De detaljerade inspektionerna innebär visuell noggrannhet och specifik testning av strukturella, elektriska och mekaniska element. Beroende på hur allvarlig en brist är specificeras åtgärdstider mellan 24 timmar och sex månader.



Figur 10 Rostig vägbelysningsstolpe.

I en artikel av Rose (1997) beskrivs orsakerna till att vägbelysningsstolpar i metall rostar och möjliga metoder att reducera detta. Metallkorrosion är en elektrokemisk process där en metall interagerar kemiskt med sin omgivning. Eftersom denna process kan vara komplex är korrosion svår att förutsäga, vilket måste beaktas när nya stolpar installeras. De metoder som används för att kontrollera korrosionen är beläggningar, tejp, skydd av katoder, offeranoder och inlemmade elsystem. Här sägs också att tekniker för att övervaka och upptäcka korrosion ovan jord är välutvecklade och att man i hög utsträckning använder sig av ultraljud. Under jord finns inte många tekniker men en elektrisk teknik som bygger på linjärpolarisation kan användas utan att man behöver gräva upp stolpen.

En artikel av Chambers & Payne (2000) behandlar instrument för att upptäcka korrosion på vägbelysningsstolpar i stål. De områden som är mest känsliga för rost är längst ner och i fogarna på stolpen. Tidigare har man gjort visuella inspektioner eller använt sig av

ultraljud men nu finns också metoder för att genom elektromagnetism mäta medeltjockleken på stolpen ovan och under jord. Därmed kan man välja att granska de stolpar som är i riskzonen och inspektera övriga vid andra tillfällen som valts på ett mer effektivt sätt.

Modeller för att skatta en belysningsstolpes livslängd, med avseende på t.ex. vindförhållanden, har tagits fram av Peil (2000).

8 Regelverk och rekommendationer

8.1 Sverige

Vägverket & Svenska Kommunförbundet gav år 2004 ut Väggar och gators utformning (VGU), i vilken en av delarna behandlar väg- och gatubelysning. Denna har som syfte att öka säkerheten för gång- och cykeltrafik och baseras på europastandarderna SS-EN 13201 och SS-EN 13201-2. I VGU anges luminansklasser för motorvägar, mötesfria vägar samt tvåfältsvägar. I tätbebyggt område anges luminansklasser för genomfarter, infarter, huvudgator samt lokalnätet. För gång- och cykelvägar, miljöprioriterad gata samt separatbelysta övergångsställen anges istället belysningsklasser. Hur luminansen ska beräknas och hur belysningsstyrkan ska mätas anges också i VGU och här finns stora likheter med den tekniska rapporten *Road lighting calculations*, utgiven av CIE (2000).

Tabell 2 MEW-klasser, dvs. luminansklasser för väg- och gatubelysning för torra vägbanor. Väggar och trafikleder byggda för hög eller normal hastighet. Del av Tabell 2-2 i VGU. Vägverket, 2004b s.10.

Luminansklass	L_{med} [cd/m^2] (min)	U_o (min)	U_i ¹⁾ (min)
MEW1	2,0	0,4	0,6
MEW2	1,5	0,4	0,6
MEW3	1,0	0,4	0,6
MEW4	0,75	0,4	
MEW5	0,5	0,4	

1) Användningen av den längsgående likformigheten U_i är frivillig och tillämpas på motorväg.

8.2 Norden

I Danmark är principen att i öppet landskap ska vägbelysning endast användas i konfliktpunkter (Vejdirektoratet, 2002). På mindre vägar är strävan att armaturerna ska vara avskärmade och stolphöjderna låga. Bindande regler i Danmark omfattar bara belysning av cirkulationsplatser och signalreglerade korsningar. För all vägbelysning rekommenderas användning av armaturer som har en god kontrast- och färgåtergivning.

I Norge har man utgått från trafiksäkerhet i kravnivåerna för väg- och gatubelysning (Statens vegvesen, 2002a). Normerna ställer krav på minsta luminansnivå och jämnhet samt maximal bländning, allt utifrån trafikmängd och omgivning. Det finns krav för horisontell och halvsfärisk belysningsstyrka men däremot inte för den halvcylindriska belysningsstyrkan, som har stor betydelse för ansiktigenkänning, därför att detta mått är mer komplicerat att mäta och beräkna. Längs vägar som går längs med fjordar eller genom dalar ska belysningen alltid vara på insidan av vägen mot terrängen. Cirkulationsplatser ska belysas så att bilister uppmärksammas på cirkulationsplatsen och sänker hastigheten.

8.3 Övriga länder

Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) är en belysningsorganisation som i dagsläget har 37 medlemsländer och bl.a. publicerar standarder för belysning. I den tekniska rapporten *Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic* (CIE, 1995) ställs krav på belysning av konfliktområden, där man med

konfliktområde menar korsningar eller områden där olika trafikantslag ska samsas eller där den väg man färdas på övergår i en väg med lägre standard, t.ex. genom minskat antal körfält eller minskad vägbredd. Dessa krav återfinns i Tabell 3.

Tabell 3 Belysningskrav för konfliktområden. CIE, 1995 s.12.

Belysningsklass	E [lx] belysningsstyrka över hela den använda ytan (min)	U _o belysningsjämnhet (min)
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15	0,40
C4	10	0,40
C5	7,5	0,40

CEN-normen prEN 13201 *Road Lighting* är utgångspunkt för flera andra regelverk även om vissa skillnader finns mellan exempelvis den brittiska standarden och det svenska regelverket: British Standard (2003a) föreskriver för motorvägar belysningsklasserna MEW1-MEW2, beroende på svårighetsgrad, medan det svenska regelverket (Vägverket, 2004b) har belysningsklasser från MEW3 och högre på vägar med ÅDT under 70 000 fordon/dygn. Även danska motorvägar har belysningsklasser mellan MEW3 och MEW5, i detta fall beroende på antal körfält och huruvida bländning kan uppstå från motriktad trafik (Vejdirektoratet, 1999b). Detta innebär att kravet på luminans är högre på brittiska motorvägar än på svenska och danska.

I Storbritannien forskar man på samspelet mellan ljusfärg, vägyteluminans, bländning och observatörens ålder (Burtwell, 2002). Nya ljuskällor med hög färgåtergivning ger god synbarhet vid lägre ljusnivåer. Den rådande standarden för vägbelysning (BS 5489) baseras på vägyteluminans och bör revideras, vilket TRL forskat på.

BS 5489 föreslår att belysningsstolpar med en höjd på 10 eller 12 m ska vara ensidiga av ekonomiska skäl och att högtrycksnatrium bör användas (Simpson, 2002). Hur ljusförorening uppåt ska undvikas beskrivs också.

Den tyska normen DIN 5044 trycker på att vägbelysningens likformighet längs vägen är viktig (*Lösungen für den effizienten und ökologischen Betrieb von Aussenbeleuchtungsanlagen*, 2004). Dessutom ska övergångsställen alltid vara belysta för att fotgängare ska kunna synas oavsett ljus- och väderförhållanden (*Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fussgängerüberwegen – R FGUE 2001*, 2001). Övergångsställets belysning rekommenderas därtill att avvika från övrig vägbelysning för att öka iögonfallandeheten. Redan för två decennier sedan ställde man i Tyskland upp riktvärden för belysning av cykelvägar beroende på närheten till andra vägar och om det på dessa fanns belysning eller ej (*Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fussgängerverkehr*, 1987). Se Tabell 4.

Tabell 4 Riktvärden för vägbelysning av cykelvägar i Tyskland (*Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fussgängerverkehr, 1987*).

Kriterier för längsgående värden	Cykelvägar i direkt närhet av vägar utan vägbelysning	Cykelvägar på minst 8 m avstånd från vägar utan vägbelysning	Cykelvägar i närheten av vägar med vägbelysning
E_{\min} [lx]	≥ 3	$\geq 1,5$	≥ 3
E_{\min}/E_{\max}	$\geq 0,3$	$\geq 0,15$	$\geq 0,15$

Amerikanska standarder för vägbelysning grundade sig tidigare på konceptet om horisontell medelbelysningsstyrka på vägytan och på belysningsjämnheten (Janoff, 2002). Senare togs begreppet medelluminans och jämnhet hos vägbeläggningen samt ströjlusluminans med i standarden. Den aktuella standarden innefattar vägytans luminans, belysningsstyrka och synbarhet.

8.4 Tunnel

I den tekniska rapporten *Guide for the lighting of road tunnels and underpasses* utgiven av CIE (1990) står att ljuset i tröskelzonen måste baseras på den visuella perceptionen hos en förare som närmar sig tunneln. Detta är i sin tur beroende av luminanserna i tillfartssträckan. Belysningen i övergångszonen ska gradvis sänkas till samma nivå som för den inre zonen i änden av övergångszonen. I den inre zonen ska belysningen i allmänhet vara konstant. Medelluminansen på tunnelväggarna ska, upp till en höjd på 2 meter, inte vara lägre än medelluminansen på vägytan. En tunnel som är en del av en väg utan stationär belysning ska i mörker ha medelluminansen 1 cd/m^2 , luminansjämnheten $U_o = L_{\min}/L_{\text{med}} \geq 0,4$ och en längsgående luminansjämnhet på $U_l = L_{\min}/L_{\max} \geq 0,6$ för varje körfält.

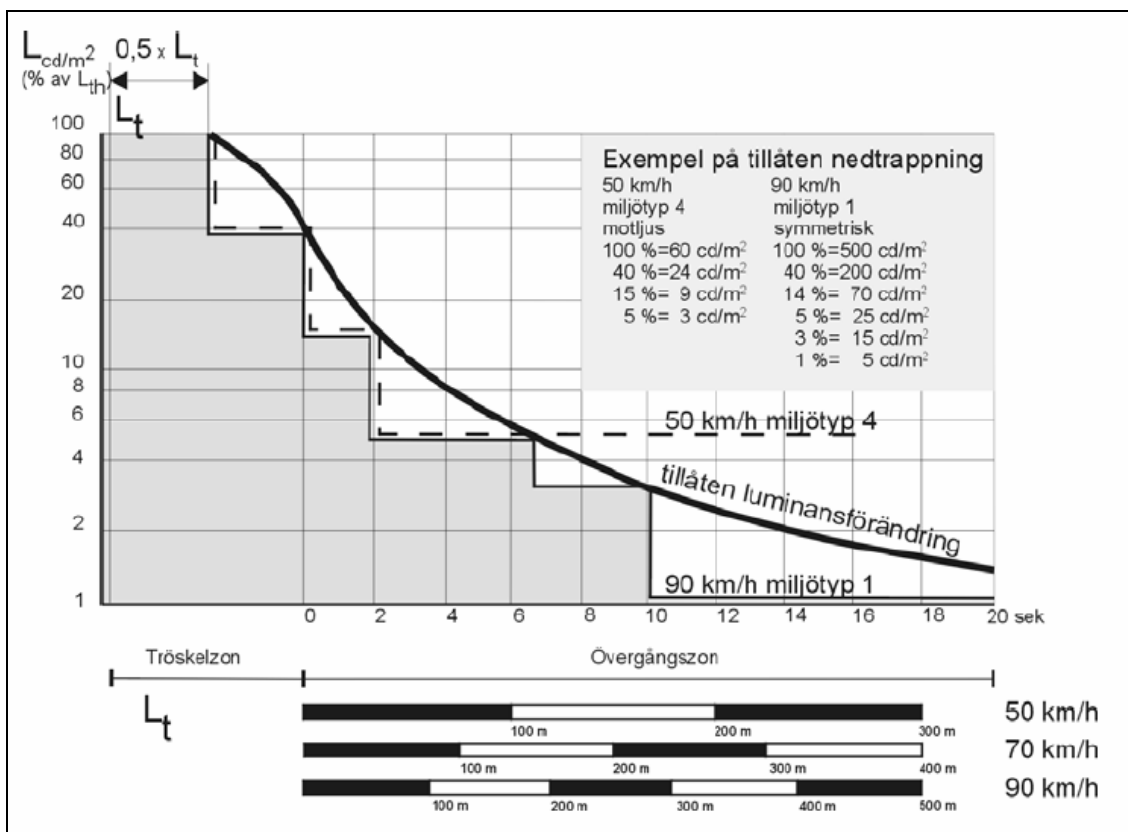
8.4.1 Sverige

Det svenska regelverket för tunnelbelysning (Vägverket, 2004a) säger att tunnlar ska förses med allmänbelysning inklusive infartsbelysning, nödbelysning samt vägledande markeringar. I en kommentar påpekas att tunnelväggarna bör vara belysta upp till 2 m ovanför körbanan, så att deras medelluminans är minst lika hög som körbanans, samt att en ljus väggbeklädnad bidrar till en hög luminans hos tunnelväggarna.

Reservbelysning ska ge en medelluminans på minst $0,3 \text{ cd/m}^2$ på körfält närmast tunnelvägg. För belysningsjämnheten gäller: $U_o = L_{\min}/L_{\text{med}} \geq 0,1$.

Vägledande belysning som kopplas in om allmänbelysningen i en tunnel försvinner eller vid brandlarm ska ha en medelbelysningsstyrka på minst 2 lx. Allmän belysning i driftutrymmen ska ge en belysningsstyrka på 200 lx och i utrymningsvägar ska den vara 40 lx. Skyltar för vägledande markeringar ska ha sådan storlek och luminans att de syns tydligt av trafikanter och ska vara belysta eller genomlysta.

Belysningsarmaturer ska uppfylla materialkrav enligt Rebel 91, kapitel 2.8, punkt V3.14 (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 1995). Injustering och provning av belysningsanläggning ska göras ihop med tillhörande styrutrustning. Luminansen får inte understiga den kontinuerliga gränskurvan som anges i Figur 11.



Figur 11 Tillåten luminansförändring i tröskelzon och övergångszon samt övergångszonens längd för referenshastigheter. Vägverket, 2004b, s.33. I bilden betecknas längden av tröskelzonen L_t , medan L_{th} är tröskelluminansen, se även Figur 3.

8.4.2 Norden

Nordiska vägtekniska förbundet gav år 1995 ut en rapport om belysning i tunnlar (Gudum, 1995). Beroende på hastigheten och om vägytan är torr eller våt beskrivs luminansjämnheten under dagen i Tabell 5.

Tabell 5 Luminansjämnhet dagtid beroende på hastighet och torr eller våt beläggning. Gudum, 1995 s.16.

Hastighet v [km/h]	Luminansjämnhet (U_o)		Längsgående luminansjämnhet (U_l)
	Torr	Våt	Torr
$v \leq 80$	0,4	0,15	0,35
$v > 80$			0,6

På natten kan belysningsnivåerna sänkas, antingen genom dimning av lamporna eller genom att några av dem släcks. Armaturerna kan placeras antingen på väggarna eller i taket och ska i allmänhet vara så högt ovanför körbanan som möjligt. För att motverka monoton i långa tunnlar ska belysningens nivå eller färg variera under korta sektioner vid lämpliga intervall.

Enligt norska normer ska vägtunnlar med en längd över 100 meter ha belysning medan man för kortare tunnlar måste ta hänsyn till lågt stående sol, bländningsrisk, belysning

på anslutande väg m.m. (Statens vegvesen, 2002b). År 1992 var 77,7 % av den totala tunnallengden i Norge belyst (Amundsen, 1994). Ljusa väggar och tak samt vitt ljus rekommenderas i tunneln för att få god färgåtergivning och god kontrast (Statens vegvesen, 2002b). Adaptationsluminansen utanför tunneln är dimensionerande för belysningsnivån i tunneln. Inne i tunneln ska den totala luminansjämnheten vara $U_o = L_{\min}/L_{\text{med}} \geq 0,4$ medan den längsgående luminansjämnheten för övergångszoner och inre zoner ska vara $U_1 = L_{\min}/L_{\max} \geq 0,6$. Tabell 6 visar luminanskrav i Norge i olika tunnelzoner beroende på hastighet. Vid långa tunnlar ska man också ta hänsyn till flimmer när man tänker ut armaturavstånden. Luminansnivån i gång- och cykeltunnlar ska vara minst 2 cd/m².

Tabell 6 Luminanskrav i Norge i de olika tunnelzonerna, uttryckt som minsta medelluminans på dagen i procent av adaptationsluminansen eller som cd/m². Statens vegvesen, 2002b, s.94.

ÅDT	< 2 500	2 500–5 000		5 000–7 500		> 7 500
		50 km/h	80 km/h	50 km/h	80 km/h	
Zon \ Skyltad hastighet	–	50 km/h	80 km/h	50 km/h	80 km/h	–
Tröskelzon	50 cd/m ²	1,50 %	3,00 %	2,5 %	5,0 %	5,0 %
Övergångszon I	10 cd/m ²	0,30 %	0,60 %	0,5 %	1,0 %	1,0 %
Övergångszon II	2 cd/m ²	0,06 %	0,12 %	0,1 %	0,2 %	0,2 %
Inre zon dag	0,5 cd/m ²	2 cd/m ²	2 cd/m ²	2 cd/m ²	2 cd/m ²	4 cd/m ²
Inre zon natt	0,5 cd/m ²	1 cd/m ²	1 cd/m ²	1 cd/m ²	1 cd/m ²	2 cd/m ²

8.4.3 Övriga länder

Efter en brandkatastrof har riktlinjerna för tyska vägtunnlar setts över (Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 2003). Målet var att höja säkerhetsnivån i tunnlar med trafikanternas förmåga till självräddning som högsta prioritet. Betydande ändringar har gjorts gällande bl.a. belysning. Även i Österrike har säkerheten i tunnlar höjts (Mühlhauser, 2003). En undersökning visar att ljusheten i en tunnel, tillsammans med den visuella ledningen, har stor betydelse för människor som färdas genom tunneln.

År 1991 infördes en projekteringsriktlinje i Österrike som säger att belysningen i en tunnel ska vara beroende av hastighetsgräns, den verkliga dagsljusluminansen och ögats adaptation (Koller, 1995). Fjorton år tidigare infördes motljusbelysning i tröskelzonen.

I Nederländerna har inga standarder eller rekommendationer funnits för belysning av vägtrafiktunnlar, men samma företag har anlåtats i nästan samtliga fall för långa tunnlar (de Groot & de Vlieger, 1997). I en artikel i *Lighting Journal* ger representanter från detta företag (de Groot och de Vlieger, 1997) rekommendationer om tunnelbelysning baserat på sina erfarenheter. De menar att de olika standarder och rekommendationer som finns (DIN, CIE, BS m.fl.) baseras på längden av tunneln. Artikelförfattarna anser dock att även tunnelhöjden har en stor betydelse och ger själva detaljerade rekommendationer för tunnelbelysning.

Den nyaste standarden för tunnlar i Storbritannien kom ut 2003 och heter *Code of practice for the design of road lighting – Part 2: Lighting of tunnels* (British Standard, 2003b).

9 Kunskapsluckor, fortsatt forskning

9.1 Förslag funna i litteraturen

I framtiden borde man kunna tillgodose både ekonomi, estetik, funktionalitet, trafiksäkerhet och trygghet i allt högre utsträckning (Egebjerg & Plejdrup, 2002).

Schieber (2004) ger följande förslag till fortsatt forskning:

- Utför studier som försäkrar och modellerar hur äldre och unga förare avläser den visuella omgivningen genom att använda ögonföljningstekniker.
- Bestäm vilken typ av visuell information förare använder och när de behöver den. Denna input kommer att hjälpa till vid utveckling av ITS-tekniker i fordonet.
- Utvärdera hur olika nivåer i vägbelysningen påverkar äldre förares mobilitet.
- Genomför kostnads-nyttoanalyser för att bestämma om ökad investering i vägbelysningsinfrastruktur kommer att behövas för att tillmötesgå den snabbt ökande andelen äldre förare som upplever problem med att köra på natten.

9.2 Författarens egna förslag

Olycksstudier har främst genomförts i samband med energikrisen på 1970-talet och det är tveksamt om dessa kan generaliseras till nuvarande teknik. Därför borde nya studier genomföras som tar hänsyn till dagens förhållanden.

Eftersom många belysningsstolpar i Sverige bör bytas ut inom en nära framtid har man alla möjligheter att sätta upp belysning som är bättre, dvs. mer energisnål, mer krocksäker och mer estetiskt tilltalande. En viktig sak att tänka på är var belysningen gör mest nytta.

Förslag till vidare forskning:

- Utred vilka miljöer som bör prioriteras vid nyinstallation av belysning.
- Utvärdera nya typer av belysningslösningar, t.ex. med avseende på ekonomi eller trafiksäkerhet.
- Utred hur en gång- och cykelväg ska utformas med avseende på exempelvis belysning för att upplevas som ”trygg”.
- Undersök vilken visuell information äldre trafikanter behöver i mörkertrafik.
- Utveckla praktiska och enkla metoder för mätning av ljustekniska parametrar.
- Utvärdera olika typer och placeringar av vägbelysning i olika typer av cirkulationsplatser.
- Studera hur vägbelysningen vid övergångsställe bör vara utformad för att en fotgängare ska synas bra.
- Undersök hur utformningen av vägbelysning bör vara där en gång- och cykelväg går parallellt med en bilväg.
- Undersök om reduktioner av vägbelysning kan göras utan att detta påverkar trafiksäkerheten negativt.
- Undersök effekter av funktionskontroll av vägbelysning.

Referenser

Adrian, WK & Topalova, RV: **Visibility under transient adaptation**. Transportation Research Record no. 1327. 1991, s.14–20. Washington, D.C., USA. 1991.

Amundsen, FH (Trafiktek A/S): **Studies of Driver Behaviour in Norwegian Road Tunnels**. Tunnelling and Underground Space Technology. 1994/01, s.9–17. Oxford, Storbritannien. 1994.

Anderle, FG, Küttler, E, Franzl, E & Rutter, M: **Strassentunnel in Kärnten an Autobahnen. Untersuchung – Feststellungen – Zusammenfassung**. Klagenfurt, Österrike. 2001.

Andersen, KB & Ludvigsen, H: **Trafikmæssige konsekvenser af reduceret vejbelysning**. Lysteknisk Laboratoriums Informationsgruppe. Notat nr 143-45-TR. Lyngby, Danmark. 1980.

Assum, Terje, Bjørnskau, Torkel, Fosser, Stein & Sagberg, Fridulv: **Risk compensation – the case of road lighting**. Accident analysis and prevention. 1999/09. Oxford, Storbritannien. 1999.

Austin, BR: **Public lighting – the deadly reckoning**. Traffic Engineering and Control 17 (1976):6, s. 262–263. 1976.

Austroroads: **Guide to Traffic Engineering Practice, Part 12 – Roadway Lighting**. Sydney, Australien. 2004.

Baltzer, W: **Betriebstechnik in Strassentunneln**. Strassenverkehrstechnik. 1998. Bonn, Tyskland. 1998.

Bhatti, Muzaffar: **Surrey Gets the White Light Treatment**. Lighting Journal. 2002/09/10. Rugby, Storbritannien. 2002.

Bjørnskau, Torkel & Fosser, Stein: **Bilisters atferdstilpasning til innføring av vegbelysning: Resultater fra en før- og etterundersøkelse ved E18 i Aust-Agder**. Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 332/1996. Oslo, Norge. 1996.

Bodle, S (Doncaster Metropolitan Borough Council, UK): **Power factor and energy consumption in public lighting**. Lighting Journal. 2002/01/02. Rugby, Storbritannien. 2002.

Box, PC: **Relationship between illumination and freeway accidents**. Illuminating Engineering, vol. 66 May/June, s. 365–93. 1971.

Box, PC: **Comparison of accidents and illumination**. Highway Research Record (416), 1–9. 1973.

Box, PC: **Effect of lighting reduction on an urban major route**. Traffic Engineering and Control 46:10 (1976), s. 26–27. 1976.

British Standard: Code of practice for the design of road lighting – Part 1: Lighting of roads and public amenity areas. BS 5489-1:2003. 2003a.

British Standard: Code of practice for the design of road lighting – Part 2: Lighting of tunnels. BS 5489-2:2003. 2003b.

Brouwer, RFT & Hogema, JH: **Evaluatie verlichting Utrechtse Heuvelrug: effecten verlichting op rijgedrag. (Evaluation lighting Utrechtse Heuvelrug: effects of**

- lighting on driving behaviour**). TNO Technische Menskunde TM. Soesterberg, Nederländerna. 2000.
- Brüde, Ulf: **Traffic safety at junctions**. VTI rapport 336A, s.55–61. Statens Väg- och Trafikinstitut. Linköping. 1991.
- Bundesamt für Strassenbau: **Strassentunnelmanagement. Schlussbericht des OECD-Seminars**. 1993/03/09. Bern, Schweiz. 1993.
- Burton, J (Manchester City Council, UK): **The lighting of Northmoor ‘Home Zone’**. Lighting Journal. 2003/09/10. Rugby, Storbritannien. 2003.
- Burtwell, M (TRL, UK): **Visually speaking**. Surveyor. 2002/07/18. London, Storbritannien. 2002.
- Bylund, Elisabeth & Lille, Jan: **Kritik på teknik 2004**. Svenska Kommunförbundet. Stockholm. 2004.
- Carmody, John: **Design issues related to road tunnels. Final report**. University of Minnesota. Center for Transportation Studies. Minneapolis, USA. 1996.
- Carraro, U, Eckert, M, Jordanova, S & Kschischenk, H (alla TU Dresden. Fakultät für Verkehrswissenschaften): **Neue Gütekriterien für die Beleuchtung von Strassen mit gemischtem Verkehr und hohem Fussgängeranteil**. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen. Unterreihe Verkehrstechnik. 2001. Bremerhaven, Tyskland. 2001.
- CEN TC 169/226 JWG: **prEN 13201 Road Lighting**. 2001.
- Chambers, D & Payne, N (båda CMT (Instruments) Ltd, UK): **Getting to the root of the problem**. Lighting Journal. 2000/01/02. Rugby, Storbritannien. 2000.
- Christ, R, Smuc, M, Gatscha, M & Milanovic, M: **Analyse von Tunnelgestaltungselementen**. Zusammenfassender Bericht aus Befragung und Befahrung. 2002/04. Kuratorium für Verkehrssicherheit. Wien, Österrike. 2002.
- Collins, A (Lancashire County Council, UK), Thurrell, T (WRTL Exterior Lighting, UK), Pink, R (Royce Thompson, UK) & Feather, J (UMIST, UK): **Dynamic dimming: the future of motorway lighting?** Lighting Journal. 2002/09/10. Rugby, Storbritannien. 2002.
- Commission Internationale de l’Eclairage / International Commission on Illumination (CIE): **Guide for the lighting of road tunnels and underpasses. Technical report**. CIE 88-1990. Wien, Österrike. 1990.
- Commission Internationale de l’Eclairage / International Commission on Illumination (CIE): **Road lighting as an accident countermeasure**. Pub CIE 93. Wien, Österrike. 1992.
- Commission Internationale de l’Eclairage / International Commission on Illumination (CIE): **Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Technical report**. CIE 115-1995. Wien, Österrike. 1995.
- Commission Internationale de l’Eclairage / International Commission on Illumination (CIE): **Road lighting calculations. Technical report**. CIE 140-2000. Wien, Österrike. 2000.
- Couret, Christina: **Let there be light... but make sure it balances aesthetics and safety**. American City and County. 1999/03. Atlanta, USA. 1999.

- Cowan, Mac (WS Atkins, UK): **Light to the end of the tunnel – the French connection**. Lighting Journal. 1994/03/04. Rugby, Storbritannien. 1994.
- Crampton, M (MoonCell Technologies Ltd): **The ambient energy streetlight**. Lighting Journal. 2001/11/12. Rugby, Storbritannien. 2001.
- CROW (Centrum voor regelgeving en onderzoek in de ground-, water- en wegenbouw en de verkeerstechniek), werkgroep “Verkeerspleinen II”: **Roundabouts (Rotondes)**. Publ CROW. 1993/12. Ede, Nederländerna. 1993.
- Danielsson, Stig: **Trafiksäkerhetseffekter vid en dämpning av gatubelysningen**. Statens Väg- och Trafikinstitut. VTI rapport 315. Linköping. 1987.
- Department of Environment: **Unlit street lighting during the emergency period**. U.å.
- Department of Transport: **Road Lighting and the Environment**. London, Storbritannien. 1993.
- Department of Transport: **The Design of Pedestrian Crossings**. Local Transport Note. 1995. London, Storbritannien. 1995.
- Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG): **Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen**. Berlin, Tyskland. 1996.
- Diggory, I: **Many plans make lights work**. Surveyor. 2000/09/14. London, Storbritannien. 2000.
- Ditton, J (Glasgow University) & McNair, D (Strathclyde Regional Council): **Public Enlightenment (Road Lighting)**. Surveyor. 1994/03/10. London, Storbritannien. 1994.
- Dravitzki, VK, Cleland, BS, Walton, D & Laing, JN: **Measuring commuting pedestrians’ concerns for personal safety and the influence of lighting on these concerns**. Australasian Transport Research Forum (ATRF), 26th, Wellington, New Zealand. New Plymouth, Nya Zeeland. 2003.
- Dritter IIR-Kongress Strassenbeleuchtung. Nachlese zur Veranstaltung mit Intensiv-Workshop am 27. und 28. Januar 2004**. Licht. 2004. München, Tyskland. 2004.
- Drottenborg, Helena: **Konstnärlig belysning ur bilförarperspektiv**. Lunds Tekniska Högskola. Institutionen för Teknik och Samhälle. Bulletin 216. Lund. 2003.
- Eckert, M: **Aussenbeleuchtung**. Lech, Tyskland. 1996.
- Eckert, M & Meseberg, HH (Bundesamt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach): **Strassenbeleuchtung und Sicherheit**. LITG-Publikation. 1998. Berlin, Tyskland. 1998.
- Egebjerg, Ulla (red) & Plejdrup, Mette (red): **Smukke veje: fra ide til virkelighed**. Vejdirektoratet. Köpenhamn, Danmark. 2002.
- Eisenbeis, G & Hassel, F: **Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Strassenlaternen – Eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens**. Natur und Landschaft. 2000. Stuttgart, Tyskland. 2000.
- Eklöf, Leif, Vägverket Region Stockholm, muntligen, 2005.

- Elvik, R, Borger Mysen, A & Vaa, T: **Trafikksikkerhetshåndbok**. Transportøkonomisk Institutt, Norsk Senter for Samferdsselforskning. Oslo, Norge. 1997.
- Environmental Council of Concrete Organizations: **A Bright Idea: Specify Concrete**. Skokie, USA. 2001.
- European Committee for Standardization: **Intensity of illumination for pedestrian area and cycleway**. SS-EN 13201-2.
- European Committee for Standardization: **Luminance and intensity of illumination for streets**. SS-EN 13201.
- Ewald, JH (Mechatronic GmbH, Darmstadt. Fachgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit) & Meseberg, H H (Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach): **Messung der Leuchtdichte von Aussen- und Tunnelbeleuchtung**. Licht. 1995. München, Tyskland. 1995.
- Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen E.V.: **Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln – RABT**. Köln, Tyskland. 2003.
- Friis, A, Jorgensen, NO & Shiøtz, I: **Færdseluheld og vejbelysning under oliekrisen**. Rådet for Trafikksikkerhedsforskning. Notat nr 129 (1976). Danmark. 1976.
- Gardner, C: **Re-thinking Urban Lighting**. Lighting Journal. 1998/05/06. Rugby, Storbritannien. 1998.
- Gemeente Tilburg, Dienst Publieke Werken: **Bicycle plan for the city of Tilburg 1993 (Fietsplan Tilburg 1993)**. 1993/08. Tilburg, Nederlanderna. 1993.
- van Ginderachter, J (Ministry of Public Works, Belgien) & van Heystraeten, G (Belgian Road Research Centre, Belgien): **Savings on Road Lighting**. Seventh Conference of the Road Engineering Association of Asia and Australasia, Proceedings, 22 June – 26 June 1992, Singapore. Volume 2. 1992. Kuala Lumpur, Malaysia. 1992.
- Glenn, J (Queen's University, Belfast, UK), Dodds, G (Queens University, Belfast, UK) & Robinson, R (Dept Environ Northern Ireland, UK): **Calibration and use of camera-based systems for road lighting assessment**. International Journal of Lighting Research and Technology. 2000. 32(1). London, Storbritannien. 2000.
- van Goeverden, Cees D., Botma, Hein & Bovy, Piet H.L.: **Determining Impact of Road Lighting on Motorway Capacity**. Transportation Research Record No. 1646, Highway Capacity Issues 1998, s.1–8. Washington, D.C., USA. 1998.
- Green, ER, Agent, KR, Barrett, ML & Pigman, JG: **Roadway Lighting and Driver Safety**. Kentucky Transportation Center. 2003/05. Washington, D.C., USA. 2003.
- Greisl, G: **Beurteilung der Anlageverhältnisse von Fussgängerquerungsstellen. Unfallanalyse – Stand der Technik – Internationaler Vergleich – Sicherheits- und Qualitätsverbesserungen**. Wien, Österrike. 2002.
- de Groot, Wim (Industria Technische Verlichting) & de Vlieger, Jan (Industria Technische Verlichting): **Underpass and Short Tunnel Lighting**. Lighting Journal 1997/1998, vol 62, nr 6, s.25, 27–29. Rugby, Storbritannien. 1997.
- Gudum, J & Shiøtz, I: **Vejbelysning og trafikksikkerhed**. Lyngby, Danmark. 1978.
- Gudum, Jens: **Road tunnel lighting**. Nordiska vägtekniska förbundet. NVF rapport 4:1995. Helsingfors, Finland. 1995.

- Gundert, L: **Grundlagen für ein kombiniertes Reflexions-Textur-Messverfahren zur Bestimmung der Reflexionseigenschaften von Fahrbahnoberflächen.** Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Strassenwesen, Erd- und Tunnelbau, RWTH Aachen. 1998. Technische Hochschule Aachen. Aachen, Tyskland. 1998.
- Hafner, H: **Öffentliche Strassenbeleuchtung, ein aktiver Faktor des Verkehrsmanagements in Wien.** Aufbau – Perspektiven. 2001. Wien, Österrike. 2001.
- Hasson, P, Lutkevich, P, Ananthanarayanan, B, Watson, P, Knoblauch, R & Nitzburg, M: **Field Test for Lighting to Improve Safety at Pedestrian Crosswalks.** 16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation. Iowa City, USA. 2002.
- Havard, JA: **The Safety Effect of Improved Nighttime Visibility via Fixed Lighting.** 16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation. Iowa City, USA. 2002.
- Hedalen, T (Norwegian Institute of Technology) & Myran, T (SINTEF Rock and Mineral Engineering): **Norwegian road tunnels: Ventilation, pollution and pollution distribution.** 1994/03/21. Rotterdam, Nederländerna. 1994.
- Hemetsberger, U: **Fussgänger und Radfahrer im Winter.** Verkehrssicherheit im Winter. Tagungsband zu den Bezirks-Verkehrssicherheitsseminaren 2000. 2000/11. Salzburg, Österrike. 2000.
- Highways Agency, Scottish Executive Development Department, National Assembly for Wales, Department of the Environment for Northern Ireland: **Design manual for roads and bridges. Volume 8: Traffic signs and road lighting. Section 3. Road lighting. Trunk Roads and Trunk Road Motorways Inspection and Maintenance of Road Lighting.** London, Storbritannien. 1999.
- Hogema, JH (TNO-TM, Nederländerna) & Kaptein, NA (TNO-TM, Nederländerna): **Dynamic public lighting. Phase 3: field evaluation.** Soesterberg, Nederländerna. 1998.
- Hogema, JH (TNO-TM, Nederländerna) & van der Horst, Ara (TNO-TM, Nederländerna): **Dynamic public lighting. Phase 4: synthesis.** Soesterberg, Nederländerna. 1998.
- Holm, Bengt, Dalstrand, Alice & Utstrand, Hans: **Idékatalog om cykel- och gångtunnel: undergång eller trygg genväg?** Vägverket. Link Visualisering AB. Hyltebruk. 1999.
- Howard, A (Mouchel Consult Ltd, UK): **Non-destructive testing of lighting columns: an assessment of current and future testing methods.** Lighting Journal. 1998/11/12. Rugby, Storbritannien. 1998.
- Hugill, JR, Radford, SL & O'Dwyer, B: **Lighting of the Eurotunnel Terminal – Folkestone.** Lighting Journal. 1994/03/04. Rugby, Storbritannien. 1994.
- Hölezmann, B: **Modernes Lichtmanagement für Strasse und Tunnel.** Licht. 2004. München, Tyskland. 2004.
- Illuminating Engineering Society of North America: **IES Lighting Handbook – Reference Volume.** New York, USA. 1984.
- Institution of Lighting Engineers: **Guidance notes for the reduction of light pollution.** 1992. Rugby, Storbritannien. 1992.
- Institution of Lighting Engineers: **Lighting columns and sign posts: planned inspection regime.** Technical Report 22. 1997. Rugby, Storbritannien. 1997.

- Institution of Lighting Engineers: **A guide for crime and disorder reduction through a public lighting strategy**. Rugby, Storbritannien. 1999a.
- Institution of Lighting Engineers: **Lighting and crime**. Rugby, Storbritannien. 1999b.
- Jacoby, RG & Pollard, NE: **The lighting of rural roundabouts**. Lighting Journal. 1995/06/07, s.149-159. Institution of Lighting Engineers. Rugby, Storbritannien. 1995.
- Janoff, MS: **Visibility under Roadway Lighting**. Human Factors in Traffic Safety. Tucson, USA. 2002.
- Jonasson, Ing Stig (International Färg AB): **Korrosionsskyddsmålning**. Belysningsstolpar och vägtrummor rostar! 24-25 maj 1989. Korrosionsinstitutet. Stockholm. 1989.
- Kaiser, G: **Rationalisierungspotential durch mobile Datenerfassung in der Strassenbeleuchtung**. München, Tyskland. 2004.
- Kent County Council: **Traffic calming. A code of practice. 2nd edition**. Maidstone, Storbritannien. 1992.
- Khan, AM: **Highway Light Trespass: Human and Social Factors**. ITE Journal. 2003/05. Washington, D.C., USA. 2003.
- Khanh, TQ: **Neue lichttechnische Systeme für den mesopischen Bereich für die Strassenbeleuchtungstechnik und Automobilindustrie / New measuring Systems for the mesopic Range for the Road and Automobile Lighting**. Strasse und Autobahn. 2004. Bonn, Tyskland. 2004.
- Koller, R: **Tunnelbeleuchtung als wesentliches Sicherheitselement**. Enquete Angst im Tunnel. Sicherheit in Österreichs Strassentunneln. Wien, 14. Dezember 1995. Tagungsband. 1995. Wien, Österrike. 1995.
- Kramer, EJ: **Technology means better road lighting**. Better Roads. 1999/10. USA. 1999.
- Kramer, EJ: **New lighting designs offer advantages**. Better Roads. 2001/01. USA. 2001.
- Lamm, R, Klockner, JH & Choueiri, EM: **Freeway lighting and traffic safety – a long-term investigation**. Transportation Research Record nr 1027, s. 57–63. 1985.
- Lantz, Susanne: **Ett ljus i mörkret**. Examensarbete Högskolan i Borås, Institutionen Ingenjörshögskolan. 2003.
- Laporte, J F (Genlyte-Thomas Group) & Gillet, M (Schreuder Group): **A meta-analysis of upward flux from functional roadway lighting installations**. Lighting Journal. 2003/09/10. Rugby, Storbritannien. 2003.
- Lecocq, J: **Visibility and lighting of wet road surfaces**. Lighting Research and Technology. London, Storbritannien. 1994.
- Lewin, I: **Lamp spectral effects at roadway lighting levels**. Lighting Journal. 1999-03/04. Rugby, Storbritannien. 1999.
- Lindemuth, F: **Aktuelles zur Tunnelbeleuchtung. LiTH-Sondertagung**. Licht.1999. München, Tyskland. 1999.

Lindström, Mona (ed) & Grønhaug, Arne (ed): **Road tunnel linings: Design for safety, comfort and aesthetics**. Symposium, October 9–10 1997, Oslo. Statens vegvesen. Vegteknisk avdeling. Oslo, Norge. 1998.

Ludvigsen, HS & Sørensen, K: **Natreduktion af vejbelysning – den sikkerhedsmessige effekt**. Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger. Vejregelforberedende rapport I (1986). Danmark. 1986.

Lummis, P (Huntingdon County Council, UK): **Has modern lighting a place in our conservation areas?** Lighting Journal. 2003/03/04. Rugby, Storbritannien. 2003.

Lundkvist, S-O: **Tillståndsmätning av vägutrustning: state of the art**. Statens väg- och transportforskningsinstitut. VTI rapport 471. Linköping. 2003.

Lösungen für den effizienten und ökologischen Betrieb von Aussenbeleuchtungsanlagen. Licht. 2004. München, Tyskland. 2004.

Mace, DJ & Porter, RJ: **Fixed Roadway Lighting to Benefit Older Drivers**. 16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation. Iowa City, USA. 2002.

Martens, MH & Kaptein, NA: **Effects of tunnel design characteristics on driving behaviour and traffic safety: a literature study**. TNO Human Factors Research Institute. Soesterberg, Storbritannien. 1997.

Menard, J & Cariou, J: **Road lighting: an assessment of an installation based on the contrast of a standard target**. International Journal of Lighting Research and Technology. 1994 v26 n1 s.19–22. London, Storbritannien. 1994.

Mennicken, C (Universität Hannover. Institut für Verkehrswirtschaft, Strassenwesen und Städtebau): **Unfälle an Fussgängerüberwegen**. Schriftenreihe Verkehrssicherheit. 2003. Bonn, Tyskland. 2003.

Murphy, J: **The right frequency**. Surveyor. 2004/04/01. London, Storbritannien. 2004.

Mühlhauser, I: **Tunnelwelten. Annäherung an die Gestaltaltungsmöglichkeiten in Strassentunneln**. Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen. 2003. Wien, Österrike. 2003.

Mäkelä, Olli & Kärki, Jutta-Leea: **Tievalaistuksen vaikutus liikenneturvallisuuteen ja ajonopeuksiin (Vägbelysningens inverkan på trafiksäkerhet och hastigheter / Impact of road lighting on road safety and driving)**. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 18/2004 (Finnish Road Administration. Finnra reports). Helsingfors, Finland. 2004.

Nair, G (Paisley University) & Ditton, J (Glasgow University): **“In the dark, a taper is better than nothing”. A one year follow-up of a successful street lighting and crime prevention experiment**. Lighting Journal. 1994/02. Rugby, Storbritannien. 1994.

Neubert, K & Wiebusch-Wothge, R: **Betrieb und Ausstattung von Fussgänger-verkehrsanlagen**. Strassenverkehrstechnik. 2002.

Nygren, Ove: **Lyktstolpar rostar av i markytan: Varmförzinkning räcker inte**. Ytforum nr 5. Sverige. 1989.

Ocken, R: **Improving pedestrian access to transit: City of Gresham’s Ped-to-MAX program**. Sixth National Conference on Transportation Planning for Small and Medium-Sized Communities. Spokane, Washington, USA. 1999.

- O'Flaherty, CA (Ed) & O'Flaherty, CA: **Transport Planning and Traffic Engineering 4th Edition. Chapter 23: Road Lighting**. London, Storbritannien. 1997.
- Ogden, KW (Ed), Taylor, SY (Ed) & Mackintosh, IL (Mackintosh Consult PTY Ltd): **Road Lighting**. Traffic Engineering and Management. 1996, s. 279–302. Victoria, Australien. 1996.
- Onaygil, S, Gueler, O & Erkin, E: **Determination of the effects of structural properties on tunnel lighting with examples from Turkey**. Tunnel and Underground Space Technology Elsevier Science Ltd. Oxford, Storbritannien. 2003.
- Painter, K (University of Cambridge): **Value for Money: Street Lighting and Crime Reduction**. Lighting Journal. 1998/11/12. Rugby, Storbritannien. 1998.
- Painter, K (Cambridge University) & Sidell, A (Cambridge City Council): **Bright future**. Surveyor. 1999/05/20. London, Storbritannien. 1999.
- Pasderski, U: **Auswirkungen verschiedener Fahrbahnleuchtdichtesprünge bei der Einfahrt in Strassentunnel auf das Geschwindigkeitsverhalten**. Mitteilung des Lehrstuhls und Instituts für Strassenwesen, Erd- und Tunnelbau. Aachen, Tyskland. 1990.
- Pasderski, U: **Ein aus dem Fahrverhalten entwickeltes modifiziertes Kriterium zur Festlegung notwendiger Fahrbahnleuchtdichten für die Einfahrt von Richtungsverkehrstunneln**. Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Strassenwesen, Erd- und Tunnelbau, rwth Aachen. Aachen, Tyskland. 1995.
- Pearse, G: **Tunnel lighting**. World Tunnelling. 1991/02. London, Storbritannien. 1991.
- Peil, U (TU Braunschweig. Institut für Stahlbau): **Ermüdung von Beleuchtungs- und Signalmasten durch den boeigen Wind**. Düsseldorf, Tyskland. 2000.
- Polk, Merritt: **Women's and men's valuations of road system infrastructure in Sweden**. Göteborgs Universitet. Göteborg. 2005.
- Pollard, N: **The Low Down on Lighting**. Surveyor. 1994/09/15. London, Storbritannien. 1994.
- Ramsay, B: **Switched on**. Surveyor. 1996/01/11. London, Storbritannien. 1996.
- van Ratingen, R: **Lichtimmissionen bei Aussenbeleuchtung. Bewertungsmethoden für Blendung – eine kritische Betrachtung**. Licht. 2001. München, Tyskland. 2001.
- Rau, P (Büro für integrierte Planung (BiP), Herdecke): **Einleitendes zum Fussverkehr. Qualitatives: Zur Identitätsträgerschaft der Stadt**. ILS-Schriften. 2000. Dortmund, Tyskland. 2000.
- Reck, G: **Einsatz von Solar-Aussenleuchten-Anlagen**. Licht. 1995. München, Tyskland. 1995.
- Richards, SH: **Effects of turning off selected roadway lighting as an energy conservation measure**. Transportation Research Record nr 811, s.23-5. 1981.
- Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fussgängerüberwegen – R FGUe 2001**. Köln, Tyskland. 2001.
- Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fussgängerverkehr**. Köln, Tyskland. 1987.

- Riemenschneider, W: **Aussagen der Betriebswerte von Tunnelbeleuchtungen**. Licht 98. Tagungsband der 13. Gemeinschaftstagung der lichttechnischen Gesellschaften Österreichs, Deutschlands, der Niederlande und der Schweiz. Mödling, Österrike. 1998.
- Riley, A: **Banishing black holes**. Highways, 1996/11. Kent, Storbritannien. 1996.
- The Road Information Program: **Traffic Safety and Older Americans: Making Roads Safer for Motorists**. Washington, D.C., USA. 2000.
- The Road Information Program: **Designing Roadways to Safely Accommodate the Increasingly Mobile Older Driver: A Plan to Allow Older Americans to Maintain their Independence**. 2003/07. Washington, D.C., USA. 2003.
- Robinson, BW, Rodegerdts, L, Scarborough, W, Kittelson, W, Troutbeck, R, Brilon, W, Bondzio, L, Courage, K, Kyte, M, Mason, J, Flannery, A, Myers, E, Bunker, J & Jacquemart, G: **Roundabouts: An Informational Guide**. 2000/06. Federal Highway Administration. USA. 2000.
- Rose, L (Rose Corrosion Services Ltd): **Corrosion Monitoring and Control of Street Lighting Columns**. Lighting Journal. 1997/98. Rugby, Storbritannien. 1997.
- Salmon, M, Wyneken, J & Foote, J: **Impacts of coastal roadway lighting on endangered and threatened sea turtles**. Washington, DC, USA. 2003.
- Scaramuzza, Gianantonio: **Differences between safe and unsafe pedestrian crossings in Switzerland**. VTI konferens 10A:2, s.109-24. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping. 1998.
- Scheibe, MA: **Über den Einfluss von Strassenbeleuchtung auf aquatische Insekten** (Ephemeroptera, Plecoptera, Tricoptera, Diptera: Simuliidare, Chironomidae, Empididae). Natur und Landschaft. 2003. Stuttgart, Tyskland. 2003.
- Schieber, F: **Highway Research to Enhance Safety and Mobility of Older Road Users**. Conference Title: Transportation in an Aging Society: A Decade of Experience. Washington, D.C., USA. 2004.
- Schirokoff, A (VTT), Luoma, J (VTT), Kummala, J (VTT) & Hautala, P: **Effects of the intelligent road lighting on traffic flow and nighttime pedestrian recognition on a rural road**. Conference Title: 8th World Congress on Intelligent Transport Systems. Location: Sydney, Australia. Washington, D.C., USA. 2001.
- Schmidt, K (Werk für Industrie- und Aussenbeleuchtung GmbH, Laatzen): **Wirtschaftliche Tunnelbeleuchtung / Cost-effective and safe tunnel illumination**. Licht. 2002. München, Tyskland. 2002.
- Schreuder, DA (DUCO Schreuder Consultancies, Nederländerna): **Counterbeam lighting in tunnels. An overview of the existing literature**. (Tegenstraalverlichting in tunnels. Een overzicht van de beschikbare literatuur.) Leidschendam, Nederländerna. 1991.
- Schreuder, DA (SWOV, Nederländerna): **Considerations on the lighting of mini-roundabouts**. Contribution to the 'Light on Traffic' congress day of the NSVV (Nederlandse stichting voor verlichtingskunde), Amsterdam, 13 April 1992. Leidschendam, Nederländerna. 1992.
- Schreuder, DA: **Contrast Observations in Tunnels. A measuring method** (Contrastwaarnemingen in tunnels. Een meetmethode.). Nederländerna. 1993.

- Schreuder, DA (DUCO Schreuder Consultancies, Nederländerna) & Swart, L (Ministry of Transport and Public Works, Building Department, Nederländerna): **Energy saving in tunnel entrance lighting**. Proceedings of the 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting “Right Light”, 26–29 September 1993, Arnhem, the Netherlands. 1993. Arnhem, Nederländerna. 1993.
- Schreuder, DA: **The In Situ Measurement of Road Reflection**. Lighting Journal. 1994/02. Rugby, Storbritannien. 1994.
- Schreuder, DA (SWOV, Nederländerna): **Road Lighting for Safety**. London, Storbritannien. 1998.
- Scott, PP & Barton, AJ: **The effects on road accident rates of the fuel shortage of November 1973 and consequent legislation**. TRRL Supplementary Report 236 (1976). Transport and Road Research Laboratory. Storbritannien. 1976.
- Scott, PP: **Relationship between road lighting quality and accident frequency**. Transport and Road Research Laboratory. Laboratory report no 929. Crowthorne, Storbritannien. 1980.
- Seidelin, P (Hansen & Henneberg Consult Eng): **Optimised control of lighting in road tunnels**. Tunnel Management International. 1999/12/2000/01. Bedford, Storbritannien. 1999.
- Seriously illuminating**. Surveyor. 2003/07/17, s.14–15. London, Storbritannien. 2003.
- Sharman, J: **Lighting of Pedestrian Crossings**. Lighting Journal. 1994/02. Rugby, Storbritannien. 1994.
- Sharman, J (London Borough of Hounslow, UK): **To burn or not to burn...?** Lighting Journal. 1998/04. Rugby, Storbritannien. 1998.
- Shriver, K, Tillett, L & Berry, G: **An Intercept Survey of Walking Along New Lots Avenue Prior to a Street Lighting Improvement** (Abstract only). Women’s Travel Issues Second National Conference. Baltimore, Maryland. 2000.
- Simpson, D: **How to do it No. 10: The lighting of traffic routes**. Lighting Journal. 2002/05/06. Rugby, Storbritannien. 2002.
- Solarbeleuchtung für die Strasse. Patentierte Strassenbeleuchtung für die Gemeinde Rosengarten**. Licht. 1999. München, Tyskland. 1999.
- Specht, H: **Energiefragen bei der Strassenbeleuchtung**. Gemeinde und Stadt. 1994. Düsseldorf, Tyskland. 1994.
- Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, trafikavdelningen: **Bensinransoneringens inverkan på trafiken i Göteborg**. Rapport 1974:8. Göteborg. 1974.
- Stanton, I: **Light pollution**. Lighting Journal. 1994/10/11 v29 n5 s.283-286. Institution of Lighting Engineers. Rugby, Storbritannien. 1994.
- Statens vegvesen: **Vegbelysning**. Særtrykk fra normalhåndbok ”Vegutforming -88”. Oslo, Norge. 1987.
- Statens vegvesen: **Veg- og gatelys: om planlegging og bruk av lys, stolper og armaturer**. Håndbok 237. Oslo, Norge. 2002a.
- Statens vegvesen: **Vegtunneler**. Håndbok 21. Oslo, Norge. 2002b.

Stockholms gatukontor: **Trafikutvecklingen i Stockholm under bensinransoneringen och under första kvartalet år 1974**. Stockholmstrafiken. Trafikbyråns rapport nr 41. Stockholm. 1974.

Street Light Upgrades Curb Light Pollution While Saving Money. Public Works. 1998/05. Ridgewood, USA. 1998.

Suhre, R: **Sicherheit des Fuss- und Radverkehrs auf kleinen Kreisverkehrsplätzen**. Dortmund, Tyskland. 1993.

Svenska Kommunförbundet. FoU-gruppen för gator och trafik: **Rostskador på belysningsstolpar: Slutrapport etapp 1**. Rapport 10. Stockholm. 1987.

Svenska Kommunförbundet: **Farligt nära – Färre och lindrigare olyckor mot stolpar, träd och andra hårda föremål**. Stockholm. 1997.

Svenska Kommunförbundet: **...det finns bara dåliga kläder. Kommunen planerar för ökad och säkrare cykeltrafik**. Stockholm. 1998.

Talbot, MF: **The effect of street lighting**. Reductions of accidents. Research Memorandum RM 459, Greater London Council. London, Storbritannien. 1975.

Thomsen, JV & Gudum, J: **New Nordic guidelines for tunnel lighting**. XXth World Road Congress, Montreal, 1995. Individual papers presented under the auspices of the committees and working groups. 1995, s.195–200. Paris, Frankrike. 1995.

Thulin, Hans, Gustafsson, Susanne & Obrenovic, Alexander: **Effekt av belysningsåtgärder på Strandgatan i Eskilstuna**. Statens väg- och transportforskningsinstitut. VTI notat 32-2004. Linköping. 2004.

Tomura, Y, Sudou, S, Fujinmai, K & Nakayama, T: **Multifunctional Image Processing System**. 9th World Congress on Intelligent Transport Systems. Chicago, Illinois. 2002.

Uschkamp, H & Meseberg, HH: **Zusammenhang zwischen dem Niveau der Strassenbeleuchtung und dem Verkehrsunfallgeschehen**. München, Tyskland. 1995.

Vejdirektoratet: **Smukke veje: en håndbog om vejarkitektur**. København, Danmark. 2002.

Vejdirektoratet – Vejreglerådet: **Vejbelysning – Håndbog for visuel udformning**. København, Danmark. 1999a.

Vejdirektoratet – Vejreglerådet: **Vejbelysning – Vejregler for vejbelysning**. København, Danmark. 1999b.

Vejdirektoratet – Vejreglerådet: **Byernes trafikarealer. Hæfte 8: Fodgaengerområder**. København, Danmark. 2000.

van der Vlist, MJM (TNO-INRO) & Droppert-Zilver, MN (TNO-INRO): **Traffic processing on the Dutch A50 motorway without and with illumination**. Delft, Nederländerna. 1996.

Vägverket & Svenska Kommunförbundet: **REBEL 91: Tekniska beskrivningar för anordnande av vägbelysning**. Del 2: Planering och projektering. Publikation 1991:17. Borlänge. 1995.

Vägverket: **Cirkulationsplatser: en idéskrift**. Göteborg. 2000.

Vägverket: **Tunnel 2004**. VV Publikation 2004:124. Borlänge. 2004a.

Vägverket (Sektion Utformning av vägar och gator), Svenska Kommunförbundet:
Vägar och gators utformning, VGU. Väg- och gatubelysning. VV
Publikation 2004:80. Borlänge. 2004b.

Walking in towns and cities: Volume 1. Eleventh report and proceedings of the Committee. London, Storbritannien. 2001.

Widén, S: **Mörkertrafikolyckor – en litteraturstudie.** Statens Väg- och Trafikinstitut. VTI rapport 56. Stockholm. 1974.

Wilken, D, Ananthanarayanan, B, Hasson, P, Lutkevich, PJ, Watson, CP, Burkett, K, Arens, J, Havard, J & Unick, J: **European road lighting technologies.** Federal Highway Administration. Washington, D.C., USA. 2001.

Zeeger, CV, Seiderman, C, Lagerwey, P, Cynecki, M, Ronkin, M & Schneider, B: **Pedestrian Facilities Users Guide: Providing Safety and Mobility.** U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. 2000/08. USA. 2000.

Zimmer, Richard A: **A mobile illumination evaluation system.** Transportation Research Record. 1988, nr 1172, s. 68–73. USA. 1988.

Øbro, Peder: **Belysning av trafikveje: Kravspecifikationer, Eksempler og Synsbetingelser samt Vejbelægningens indflydelse.** Delta Lys & Optik. Informationsgruppen. Notat 30. Lyngby, Danmark. 1993.

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovingsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

vti

HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 760

SE-781 27 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 6056

SE-171 06 SOLNA

TEL +46 (0)8 555 77 020

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8077

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 26 00