



Prediktion av vägyteluminans i vägbelysning

Sven-Olof Lundkvist

Sara Nygårdhs

Utgivare:  581 95 Linköping	Publikation: VTI rapport 620		
	Utgivningsår: 2008	Projektnummer: 80684	Dnr: 2007/0470-28
	Projektnamn: Luminansprediktion i vägbelysning		
Författare: Sven-Olof Lundkvist och Sara Nygårdhs		Uppdragsgivare: Vägverket	
Titel: Prediktion av vägyteluminans i vägbelysning			
Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord: <p>I mörkertrafik är vägbelysning viktig för trafiksäkerheten. Följaktligen är det viktigt att belysningens funktion är tillfredsställande, inte enbart direkt efter installationen, utan även över tiden. Därför måste funktionen, som i de flesta fall beskrivs av vägytans luminans, kontrolleras regelbundet genom tillståndsmätningar.</p> <p>För att beskriva vägbelysningens funktion i ett större geografiskt område, till exempel en stad, krävs i praktiken att mätningarna kan göras mobilt. Tyvärr är dock luminans svårt, eller rentav omöjligt, att mäta i hastighet. Det skulle dock kunna vara möjligt att beräkna vägyteluminansen från belysningsstyrkan mot vägytan och ytans reflexionsegenskaper. Den förstnämnda parametern kan sannolikt mätas mobilt med en luxmeter, medan den andra, som skulle kunna representeras av luminanskoefficienten, i dagsläget endast kan mätas med handhållna instrument.</p> <p>Denna rapport beskriver ett försök att predicera en vägbelyst vägytas luminans utifrån mobil mätning av belysningsstyrka och handhållen mätning av luminanskoefficienten i några mätpunkter på vägytan. Vägytans luminans kan därefter beräknas som produkten av dessa två storheter.</p>			
Nyckelord: vägbelysning, vägyta, prediktion, tillståndsbedömning, luminans, belysningsstyrka, reflexionsegenskaper			
ISSN: 0347-6030	Språk: Svenska	Antal sidor: 19	

Publisher:  SE-581 95 Linköping Sweden	Publication: VTI rapport 620		
	Published: 2008	Project code: 80684	Dnr: 2007/0470-28
	Project: Prediction of luminance in road lighting		
Author: Sven-Olof Lundkvist and Sara Nygårdhs	Sponsor: Swedish Road Administration		
Title: Prediction of road surface luminance in road lighting			
Abstract (background, aim, method, result) max 200 words: <p>In night-time driving, road lighting is important to road safety. Consequently, it is important that the performance of the lighting is satisfactory, not only immediately after installation, but also over time. Therefore, the performance, which in most cases is described by the road surface luminance, should be checked regularly, using condition assessment.</p> <p>Condition assessment of road lighting is preferably carried out using mobile measurement equipment. However, luminance is difficult, or even impossible, to measure at speed. The luminance of a road surface is partly dependent on the illuminance and partly on the reflection properties of the surface. The first parameter should be possible to measure at speed, while the latter might be characterized by the daylight luminance coefficient, which can be measured using a hand-held instrument.</p> <p>This report describes an attempt to predict the luminance of a road surface in road lighting from mobile measurement of illuminance and hand-held measurement of the luminance coefficient in few measurement points on the surface. The luminance can then be estimated as the product of these two parameters.</p>			
Keywords: road lighting, road surface, prediction, condition assessment, luminance, illuminance, reflection			
ISSN: 0347-6030	Language: Swedish	No. of pages: 19	

Förord

Denna rapport redovisar en del av empirin inom doktorandprojektet ”Karaktärisering av vägutrustningars tillstånd”. Projektet är i sin helhet finansierat av Vägverket, där Stefan Jonsson/Sted har varit projektledare. På VTI har Sven-Olof Lundkvist fungerat som projektledare.

Utrustningen för mobil mätning av vägbelysning har konstruerats av Stig Englundh, VTI, och mätningarna har utförts av nämnde Stig Englundh, Behzad Koucheki, Sara Nygårdhs och S-O Lundkvist, samtliga VTI.

Linköping augusti 2008

Sven-Olof Lundkvist

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 2008-03-06 av Staffan Möller. Författarna har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2008-06-12. Projektledarens närmaste chef Gudrun Öberg har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2008-08-11.

Quality review

Internal peer review was performed on 6 March 2008 by Staffan Möller. The authors have made alterations to the final manuscript of the report on 12 June 2008. The research director of the project manager, Gudrun Öberg, examined and approved the report for publication on 11 August 2008.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund	9
2 Grundkoncept och regelverk.....	10
3 Mätmetod i praktiken	11
4 Resultat från fältmätningar.....	15
5 Diskussion	18
6 Referenser	19

Prediktion av vägyteluminans i vägbelysning

av Sven-Olof Lundkvist och Sara Nygårdhs
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

I mörkertrafik är vägbelysning viktig för trafiksäkerheten. Följaktligen är det viktigt att belysningens funktion är tillfredsställande, inte enbart direkt efter installationen, utan även över tiden. Därför måste funktionen, som i de flesta fall beskrivs av vägytas luminans, kontrolleras regelbundet genom tillståndsmätningar.

För att beskriva vägbelysningens funktion i ett större geografiskt område, till exempel en stad, krävs i praktiken att mätningarna kan göras mobilt. Tyvärr är dock luminans svårt, eller rentav omöjligt, att mäta i hastighet. Det skulle dock kunna vara möjligt att beräkna vägyteluminansen från belysningsstyrkan mot vägytan och ytans reflexionsegenskaper. Den förstnämnda parametern kan sannolikt mätas mobilt med en luxmeter, medan den andra, som skulle kunna representeras av luminanskoefficienten, i dagsläget endast kan mätas med handhållna instrument.

Denna rapport beskriver ett försök att predicera en vägbelyst vägytas luminans utifrån mobil mätning av belysningsstyrka och handhållen mätning av luminanskoefficienten i några mätpunkter på vägytan. Vägytas luminans kan därefter beräknas som produkten av dessa två storheter.

Mätningar av belysningsstyrka utfördes med hjälp av tre fotoceller monterade på ett fordonstak. Detta betyder att två felkällor introducerats: För kort avstånd och felaktig vinkel mellan ljuskälla och fotocell. Båda dessa felkällor kompenstrades för; den första genom användning av den inverterade kvadratiska belysningslagen och den andra genom justering av den fysiska placeringen av fotocellerna.

Resultatet visar att skattningar som görs vid nivåer högre än 1 cd/m^2 är bra. Vid lägre nivåer introduceras dock ett systematiskt fel, vilket innebär att värdet överskattas. Detta kan förklaras av en skillnad i mätgeometri: Luminans mäts vid observationsvinkeln 1° , medan $2,29^\circ$ används vid mätning av luminanskoefficienten. Möjligen skulle kännedom om vägytans makrotextur kunna förbättra skattningen av luminansen.

Resultaten är lovande och arbetet bör fortsätta, eventuellt genom att anpassa en statistisk modell till data.

Prediction of road surface luminance in road lighting

by Sven-Olof Lundkvist and Sara Nygårdhs
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

In night-time driving, road lighting is important to road safety. Consequently, it is important that the performance of the lighting is satisfactory, not only immediately after installation, but also over time. Therefore, the performance, which in most cases is described by the road surface luminance, should be checked regularly, using condition assessment.

Condition assessment of road lighting is preferably carried out using mobile measurement equipment. However, luminance is difficult, or even impossible, to measure at speed. The luminance of a road surface is partly dependent on the illuminance and partly on the reflection properties of the surface. The first parameter should be possible to measure at speed, while the latter might be characterized by the daylight luminance coefficient, which can be measured using hand-held instrument.

This report describes an attempt to predict the luminance of a road surface in road lighting from mobile measurement of illuminance and a hand-held measurement of the luminance coefficient in few measurement points on the surface. The luminance can be estimated as the product of these two parameters.

Illuminance measurement was accomplished by the use of three photo-cells mounted on the roof of a vehicle. This means that two errors were introduced: Too short distance and incorrect angle between light source and photo-cell. Both errors were compensated for; the former by using the inverse quadratic law of illumination and the latter by adjusting the photo-cells.

The result shows that estimations at levels higher than 1 cd/m^2 are good. However, at lower levels a systematic error is introduced, meaning over-estimation. This might be explained by a difference in measurement geometry: Luminance is measured using an observation angle of 1° , while when measuring the daylight luminance coefficient, 2.29° is used. Possibly, the macro-texture of the road surface might contribute to the luminance prediction accuracy.

The results are promising and the work should continue, maybe by adapting a statistic model to data.

1 Bakgrund

För ökad säkerhet och komfort utrustas större vägar och gator i tätbebyggda områden med vägbelysning. Belysningen gör vägytan ljus och därmed syns ett hinder på vägen, t.ex. en fotgängare, i negativ kontrast. Detta betyder att hindret är mörkare än bakgrunden och ju ljusare bakgrunden är, desto högre är synbarheten av hindret.

Detta förhållande medför att det är rimligt att ställa krav på vägytans luminans i vägbelysning, vilket också är fallet för större vägar. Beroende på bl.a. gällande hastighetsgräns, trafikvolym och förekomst av fotgängare, kräver regelverket en lägsta medelluminans på vägytan i intervallet mellan 0,5 och 2,0 cd/m².

Luminansmättet är relevant för vägytor i vägbelysning. Det finns dock ett problem: luminans är svårt att mäta i fält; mätningarna är tidskrävande och känsliga för bländning från omgivande ljuskällor, t.ex. ljus från mötande fordon. Därför finns ett behov av en enklare, mobil mätmetod, utifrån vilken luminansen kan prediceras. Syftet är att använda en sådan metod för tillståndsbeskrivning av vägbelysning.

Försök att genomföra mobila mätningar har gjorts tidigare: Todd (1990) beskriver en metod som innebär mätning med en CCD-kamera. Denna metod är förmodligen riktig, men dyr och inte tillämpbar för mobila tillståndsmätningar. Emellertid beskriver Zimmer (1988) mobil mätning av belysningsstyrka med en fotocell monterad på ett biltak. Zimmer försökte dock inte beräkna vägyteluminansen, utan utdata var belysningsstyrkan. Följaktligen finns det fortfarande ett behov av en mobil, enkel metod för mätning av vägytors luminans i vägbelysning.

2 Grundkoncept och regelverk

Ljusflöde [lumen, lm] = total strålning inom det synliga området som utgår från en ljuskälla
Ljusstyrka [candela, cd] = ljusflöde i en viss riktning (ljusflöde per rymdvinkel)
Luminans [cd/m^2] = ljushet hos en yta
Belysningsstyrka [lux, lx] = infallande ljus mot en yta
Luminanskoefficient [$\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lx}$] = en ytas ljushet i diffus belysning

Som tidigare nämnts, anger luminansen ljusheten på vägytan, L [cd/m^2], och denna definieras som ljusstyrkan, I [candela, cd] per areaenhet, A [m^2]:

$$L = \frac{I}{A} \quad (1)$$

Vägytans luminans i vägbelysning beror av det infallande ljuset och vägytans reflexionsegenskaper. Det infallande ljuset beskrivs av belysningsstyrkan, E_{diff} [lx] vid vägytan, medan reflexionsegenskaperna kan beskrivas av luminanskoefficienten i diffus belysning, Qd [$\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$]. I vägbelysning är belysningen inte idealt diffus, men vägytan är ändå belyst från flera riktningar, så Qd -mättet skulle kunna vara användbart.

Luminanskoefficienten i dagsljus definieras som:

$$Qd = \frac{L}{E_{diff}} \quad (2)$$

Ekvation (2) visar att genom att mäta belysningsstyrkan och luminanskoefficienten, kan vägyteluminansen beräknas som produkten av dessa två parametrar.

Belysningsstyrkan kan mätas enkelt med en luxmeter. Mätningar av belysningsstyrka görs snabbt och är inte känsliga för bländning från övrig trafik om fotocellen på luxmetern är horisontellt orienterad.

Luxmeter mäter belysningsstyrka

Fotometer mäter luminans

För mätning av luminanskoefficienten finns några handhållna instrument utvecklade. Ett sådant placeras på vägytan så att ytan belyses absolut diffust, samtidigt som omgivande ljus avskärmas. Under dessa förhållanden mäter instrumentet ljuset i en vinkel som representerar en simulerad vägsträcka av 30 meter.

Nationella standarder i Europa baseras i allmänhet på EN-standard 13201. Denna standard föreskriver att luminansen ska mätas cirka var tredje meter i tre punkter tvärs varje körfält. Detta leder till ett stort antal mätningar och även om belysningsstyrkan kan mätas snabbt, är det inte realistiskt att gå längs vägen och läsa av tusentals värden per kilometer väg. Därför är behovet av en mobil mätmetod stort.

3 Mätmetod i praktiken

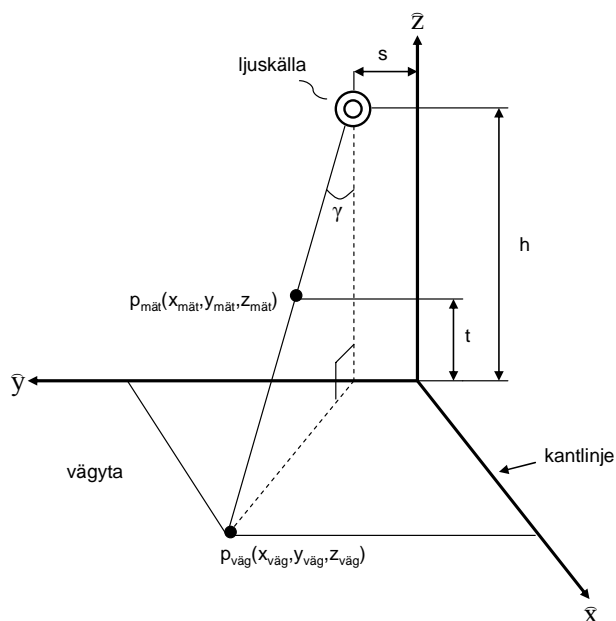
Som tidigare nämnts, kan vägytans luminans skattas från belysningsstyrkan vid vägytan och luminanskoefficienten i diffus belysning. Även om det är möjligt att genomföra mätningar av belysningsstyrka i många mätpunkter genom att helt enkelt sätta ner en luxmeter på vägytan, är detta inte praktiskt och det skulle vara mycket tidskrävande. Istället bör man sträva efter att göra dessa mätningar i övrig trafiks hastighet genom att montera en luxmeter på ett fordon. Den bästa positionen för luxmetern är förmodligen taket på en personbil. I denna position kommer infallande ljus inte att skymmas av något föremål på bilen och bländning från andra fordon minimeras då fotocellen är monterad horisontellt på en höjd av cirka 1,5 meter över vägytan.

Den föreslagna positionen för luxmetern leder dock till två problem:

1. Avståndet mellan fotocell och ljuskälla blir kortare än avståndet mellan ljuskälla och den korrekta mätpunkten på vägbanan.
2. Om fotocellen på taket är placerad rakt ovanför den korrekta mätpunkten på vägbanan, kommer vinkeln mellan ljuskälla och fotocell att bli felaktig.

Figur 1 visar mätgeometrin när man mäter med en fotometer på taket av ett fordon. Följande begrepp används i Figur 1 och/eller i formlerna:

- h ljuskällans monteringshöjd
- d avstånd mellan ljuskällor i längsled
- t fotocellens mätthöjd på taket av fordonet
- γ vinkel mellan mät punkt och ljuskällans normal mot vägytan
- $p_{\text{mät}}$ mät punkt i koordinaterna $(x_{\text{mät}}, y_{\text{mät}}, z_{\text{mät}})$
- $p_{\text{väg}}$ punkt på vägytan där mätningen egentligen borde utföras $(x_{\text{väg}}, y_{\text{väg}}, z_{\text{väg}})$
- s tvärgående avstånd mellan kantlinje och ljuskälla (överhäng).



Figur 1 Geometri vid mätning av belysningsstyrka vid användning av en luxmeter monterad på taket av ett fordon i punkten $p_{\text{mät}}$. Den verkliga mät punkten på vägytan är $p_{\text{väg}}$.

I Figur 1 definieras alltid origo $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ på kantlinjen precis mitt för den ljuskälla som befinner sig närmast mät punkten på vägytan. Kantlinjen har koordinaterna $(x, y, z) = (x, 0, 0)$ och mät punkten på taket, $(x, y, z) = (x_{\text{mät}}, y_{\text{mät}}, t)$.

För att γ ska bli lika för $p_{\text{väg}}$ och $p_{\text{mät}}$, blir förhållandet mellan mät punkten på taket av fordonet och den verkliga mät punkten på vägytan:

$$\begin{cases} x_{\text{mät}} = \left(1 - \frac{t}{h}\right) \cdot x_{\text{väg}} & (3) \\ y_{\text{mät}} = \left(1 - \frac{t}{h}\right) \cdot (y_{\text{väg}} - s) + s & (4) \\ z_{\text{mät}} = z_{\text{väg}} + t & (5) \end{cases}$$

I Figur 1 är vinkeln γ mellan å ena sidan ljuskällans normal mot vägytan och å andra sidan mätpunkterna på taket, $p_{mät}$, respektive på vägytan, $p_{väg}$, lika. Det betyder att ljusintensiteten i riktning mot dessa två punkter också är lika. Vidare anses endast de två ljuskällor som är närmast mätpunkten bidra till belysningsstyrkan på taket av fordonet.

Den inverterade kvadratiske belysningslagen ger:

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \gamma \quad (6),$$

där E [lx] är belysningsstyrkan, I [cd] är ljusintensiteten i riktning mot fotocellen och r [m] är avståndet mellan ljuskällan och fotocellen. Om belysningsstolpen närmast mätpunkten kallas A och den näst närmaste kallas B, är avståndet mellan mätpunkterna på fordonstaket och ljuskällorna $r_{Amät}$ respektive $r_{Bmät}$:

$$r_{Amät}^2 = \left(\left(1 - \frac{t}{h} \right) \cdot x_{väg} \right)^2 + \left(\left(1 - \frac{t}{h} \right) \cdot (y_{väg} - s) \right)^2 + (h - t)^2 \quad (7)$$

$$r_{Bmät}^2 = \left(d - \left(1 - \frac{t}{h} \right) \cdot x_{väg} \right)^2 + \left(\left(1 - \frac{t}{h} \right) \cdot (y_{väg} - s) \right)^2 + (h - t)^2 \quad (8)$$

På samma sätt är avstånden mellan mätpunkten på vägytan och ljuskällorna, $r_{Aväg}$ och $r_{Bväg}$:

$$r_{Aväg}^2 = x_{väg}^2 + (y_{väg} - s)^2 + h^2 \quad (9)$$

$$r_{Bväg}^2 = (d - x_{väg})^2 + (y_{väg} - s)^2 + h^2 \quad (10)$$

Ljusfördelningen från armaturerna är inte känd. Antag dock att ljusintensiteten är densamma från A och B i riktningen mot fotocellen. Detta bör i stort sett vara sant exakt mitt emellan två stolpar (symmetri), men inte nära stolpe A eller B. Detta betyder emellertid knappast något, eftersom bidraget till den uppmätta belysningsstyrkan är mycket högre från den närmaste ljuskällan än från den andra (pga. den inverterade kvadratiske belysningslagen). Således, med ekvation (6) och den ovannämnda approximationen:

$$\frac{E_{Amät}}{E_{Bmät}} \approx \frac{r_{Bmät}^3}{r_{Amät}^3} \quad (11)$$

och

$$E_{Amät} + E_{Bmät} = E_{mät} \quad (12)$$

Om ekvation (11) och (12) kombineras erhålls bidraget från de två ljuskällorna, $E_{Amät}$ och $E_{Bmät}$, till den uppmätta belysningsstyrkan på fordonets tak.

När $E_{Amät}$ och $E_{Bmät}$ är kända, kan den önskvärda belysningsstyrkan på vägytan, $E_{Aväg}$ och $E_{Bväg}$ beräknas enligt:

$$E_{Aväg} = \frac{r_{Amät}^2}{r_{Aväg}^2} \cdot E_{Amät} \quad (13)$$

och bidraget från den andra ljuskällan blir:

$$E_{Bv\u00e4g} = \frac{r_{Bm\u00e4t}^2}{r_{Bv\u00e4g}^2} \cdot E_{Bm\u00e4t} \quad (14)$$

F\u00f6ljaktligen \u00e4r belysningsstyrkan p\u00e5 v\u00e4gytan, $E_{v\u00e4g}$:

$$E_{v\u00e4g} = E_{Av\u00e4g} + E_{Bv\u00e4g} \quad (15)$$

En m\u00e4tning enligt EN-standard 13201 innefattar att belysningsstyrkan ska m\u00e4tas p\u00e5 tre j\u00e4mnt f\u00f6rdelade positioner tv\u00e4rs k\u00f6rf\u00e4ltet. Genom att justera fotocellernas position p\u00e5 fordonstaket enligt ekvation (4), kan korrekta positioner f\u00f6r m\u00e4tpunkterna p\u00e5 v\u00e4gytan erh\u00e5llas. L\u00e4ngs v\u00e4gen samplar fordonet vid fasta, justerbara positioner.

Ett exempel:

K\u00f6rf\u00e4ltsbredden p\u00e5 en gata \u00e4r 3,8 m. L\u00e4ngs ena sidan av v\u00e4gen finns belysningsstolpar var 30:e meter, monteringsh\u00f6jden \u00e4r 7,0 m och armaturen befinner sig 0,4 m fr\u00e5n kantlinjen in p\u00e5 k\u00f6rbanan (\u00f6verh\u00e4ngat \u00e4r 0,4 m). Tre fotoceller \u00e4r monterade p\u00e5 taket av ett fordon 1,43 m \u00f6ver v\u00e4gytan.

Om origo i koordinatsystemet befinner sig s\u00e5 som visas i Figur 1, p\u00e5 kantlinjen mitt f\u00f6r den f\u00f6rsta belysningsstolpen, \u00e4r m\u00e4tpunkterna l\u00e4ngs v\u00e4gen enligt regelverket:

$$x_{v\u00e4g} = 1,5; 4,5; 7,5 \dots \text{ m.}$$

Tv\u00e4rs v\u00e4gen \u00e4r m\u00e4tpunkterna:

$$y_{v\u00e4g} = 0,63; 1,90; 3,17; 4,43; 5,70; 6,97 \text{ m}$$

och $z = 0$ f\u00f6r alla m\u00e4tpunkter.

Den f\u00f6rsta m\u00e4tpunkten p\u00e5 v\u00e4gytan \u00e4r $(x_{v\u00e4g}, y_{v\u00e4g}, z_{v\u00e4g}) = (1,5; 0,63; 0)$. Genom att anv\u00e4nda ekvationerna (3), (4) och (5) ber\u00e4knas motsvarande m\u00e4tpunkter p\u00e5 fordonstaket till $(x_{m\u00e4t}, y_{m\u00e4t}, z_{m\u00e4t}) = (1,19; 0,58; 1,43)$. Ekvationerna (7) och (8) ger avst\u00e5ndet mellan m\u00e4tpunkterna p\u00e5 fordonstaket och de tv\u00e5 n\u00e4rmaste ljusk\u00e4llorna:

$$r_{Am\u00e4t} = 5,70 \text{ m och } r_{Bm\u00e4t} = 29,34 \text{ m.}$$

Antag nu att luxmetern p\u00e5 fordonstaket visar 50 lx. Om ekvation (11) och (12) kombineras blir bidraget fr\u00e5n ljusk\u00e4lla A, $E_{Am\u00e4t} \approx 49,6$ lx och fr\u00e5n B, $E_{Bm\u00e4t} \approx 0,4$ lx. Ekvationerna (13) och (14) ger motsvarande v\u00e4rden p\u00e5 v\u00e4gytan $E_{Av\u00e4g} \approx 31,5$ lx och $E_{Bv\u00e4g} \approx 0,4$ lx. Slutligen ger ekvation (15) $E_{v\u00e4g} \approx 31,9$ lx. En typisk standardm\u00e4ssig svensk v\u00e4gyta har $Qd \approx 60$ mcd/m²/lx, vilket skulle inneb\u00e4ra (med ekvation (2)) att luminansen av denna yta \u00e4r cirka 1,9 cd/m².

4 Resultat från fältmätningar

Validering av de indirekta luminansmätningarna har utförts i tre steg:

1. Uppmätt luminans jämfördes med luminansen predicerad från luminanskoefficienten och belysningsstyrkan uppmätt på vägytan.
2. Belysningsstyrkan mätt på vägytan jämfördes med belysningsstyrkan predicerad från mätningar på taket av en Volvo 850.
3. Uppmätt luminans på vägytan jämfördes med luminansen predicerad från belysningsstyrkan, mätt på taket av en Volvo 850, och vägytans luminanskoefficient.

I det **första steget** mättes luminansen på sju vägytor med sju olika typer av vägbelysningsanläggningar, med hjälp av en spotmeter med aperturen $0,33^\circ$. Mätningar gjordes i minst sex punkter på vägytan, enligt EN-13201, men nedskalad så att mätavståndet blev 20 m. Vid samma tillfälle mättes även belysningsstyrka och luminanskoefficient i samma punkter. Från dessa mätningar predicerades luminansen på ytan med hjälp av ekvation (2). Resultatet visas i Tabell 1.

Tabell 1 Uppmätt luminans, $L_{mät}$ [cd/m^2], belysningsstyrka på vägytan, $E_{väg}$ [lx], luminanskoefficient, Qd [$mcd/m^2/lx$], och predicerad luminans, L_{pred} [cd/m^2], på sju vägbelysta vägytor. Objekt benämnda "a" är positionerade i hjulspår och "b" mellan eller på sidan om. L_{reg} är gränsvärdet i det svenska regelverket.

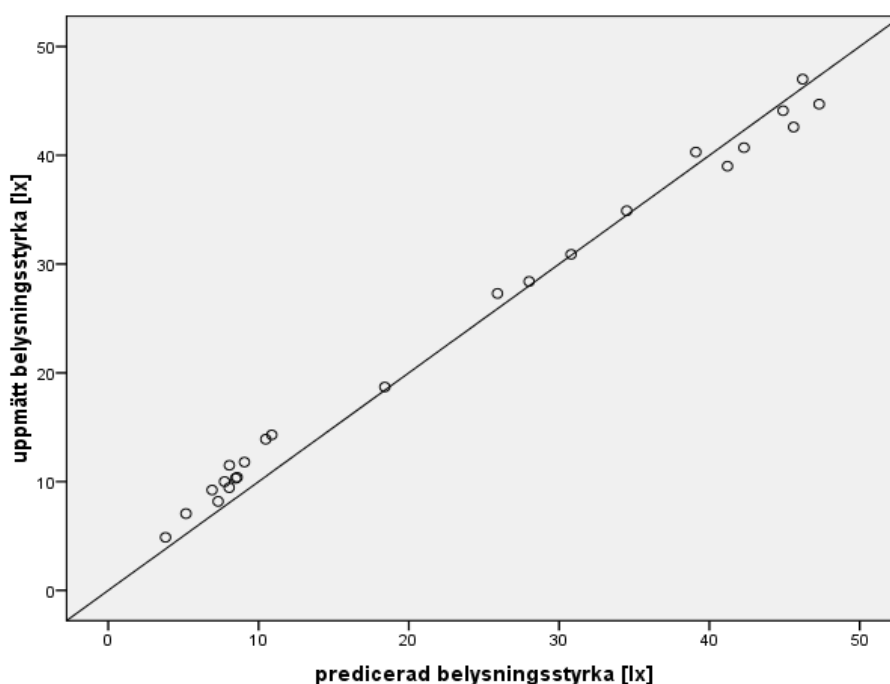
Objekt nr.	$L_{mät}$	$E_{väg}$	Qd	L_{pred}	L_{reg}
1a	1,9	19	85	1,6	
1b	1,8	19	87	1,7	
1	1,9	19	86	1,7	1,0
2a	3,5	87	58	5,0	
2b	5,3	82	66	5,4	
2	4,4	84	63	5,2	3,0
3a (inga hjulspår)	–	–	–	–	
3b	0,5	7,3	30	0,22	
3	0,15	7,3	30	0,22	inget krav
4a	0,43	2,4	48	0,11	
4b	0,62	3,7	45	0,17	
4	0,53	3,1	47	0,14	0,75
5a	0,037	0,50	49	0,024	
5b	0,057	0,57	53	0,029	
5	0,047	0,53	51	0,026	inget krav
6a	1,4	17	56	1,0	
6b	1,3	16	62	1,0	
6	1,3	17	59	1,0	1,0
7a	1,8	22	52	1,1	
7b	1,6	20	52	1,0	
7	1,7	21	52	1,1	1,0

Baserat på 156 observationer är korrelationen mellan uppmätta och predicerade luminansvärden, $L_{mät}$ och L_{pred} , 0,949. En stegvis regressionsanalys visar att både $E_{väg}$ och Qd bidrar till noggrannheten för modellen (ekvation 2), men $E_{väg}$ i en högre grad än Qd . Alltför långtgående slutsatser bör inte dras från värdena i Tabell 1: Korrelationen mellan $L_{mät}$ och L_{pred} är hög men det prediktiva värdet är lågt eftersom luminansens varians är stor.

Det tycks dock som att relativt noggranna prediktioner av vägytans luminans kan göras från mätningar av belysningsstyrkan och luminanskoefficienten. För endast ett objekt var skillnaden mellan observerade och predicerade värden stor: För objekt nr 4 var det uppmätta värdet nästan fyra gånger det predicerade. Detta kan kanske förklaras av makrotexturen på vägytan, men borde undersökas närmare. Dessutom är det värt att kommentera att objekt nr 2 är en tunnel (hög belysningsstyrka) och att objekt nr 3 har en helt ny asfaltyta (låg luminanskoefficient).

I **steg 2** utrustades taket på en Volvo 850 med tre fotoceller som kunde utföra mätningar av belysningsstyrka simultant. Fotometrarna justerades på så sätt att vinkeln γ i Figur 1 var korrekt, jämfört med vad den skulle ha varit i mätpunkten på vägytan.

Genom användning av tekniken som beskrivits i föregående avsnitt, kan belysningsstyrkan på vägytan beräknas utifrån belysningsstyrkan på taket. Som kontroll mättes även den förstnämnda belysningsstyrkan. Resultaten från dessa mätningar visas i Figur 2.

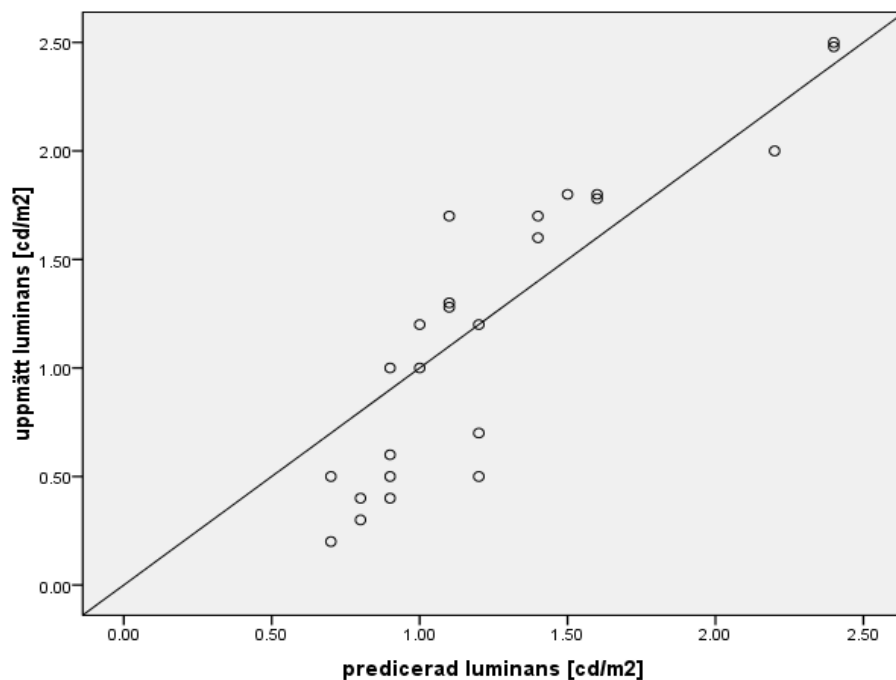


Figur 2 Belysningsstyrka uppmätt på vägytan och predicerad från mätningar på taket av en Volvo 850.

Som framgår av Figur 2, är korrelationen mellan uppmätt och predicerad belysningsstyrka nära ett.

Genom att kombinera steg 1 och 2 erhålls **steg 3**, i vilket vägytans luminans prediceras från mätningar av luminanskoefficienten och belysningsstyrkan på fordonstaket. Lumi-

nanskoefficienten är i stort sett konstant längs ett spår av vägen, men är beroende av om det är i eller utanför hjulspår. Därför utfördes analysen för mätpunkter i och utanför hjulspåren. Resultaten presenteras i Figur 3.



Figur 3 Uppmätt, $L_{mät}$ [cd/m^2] och predicerad luminans, L_{pred} , från belysningsstyrkan på ett fordonstak och luminanskoefficienten på vägytan.

Figur 3 visar att prediktionerna är någorlunda bra, åtminstone vid nivåer högre än 1 cd/m^2 . Vid lägre nivåer, på mörka, släta ytor, är den predicerade luminansen högre än den uppmätta, vilket förmodligen kan förklaras av en överskattning av Q_d för dessa ytor. Detta kan i sin tur förklaras av en skillnad i mätgeometri: Luminans mäts (enligt standarden) i observationsvinkeln 1° , medan Q_d mäts i $2,29^\circ$.

Så långt är data starkt begränsad, men det är sannolikt möjligt att predicera luminansen, åtminstone om kraven på noggrannhet inte är alltför höga. Metoden duger i de flesta fall för "scanning" av en väg i syfte att undersöka om värdena i regelverket för vägbelysning är uppfyllda. Om luminansen är nära gränsvärdet kan det vara nödvändigt att göra en mer noggrann mätning, med användande av en fotometer. Prediktionerna kan dock säkerligen förbättras, vilket diskuteras i följande kapitel.

5 Diskussion

Metod och mätningar beskrivna ovan har visat att det är möjligt att utföra ”mätningar” av luminans på en vägyta i vägbelysning indirekt genom att mäta belysningsstyrkan på taket av ett fordon och luminanskoefficienten på vägytan, enligt vad som beskrivits ovan.

Prediktioner av belysningsstyrka på vägytan utifrån mätningar på taket av ett fordon är mycket noggranna, vilket visas i Figur 2. Svårigheten är att översätta värden på belysningsstyrka till vägytans luminans. I Danmark, enligt det danska regelverket, görs detta genom antagande av att vägytans luminanskoefficient alltid är $Qd = 0,058 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$.

Från detta värde och den uppmätta belysningsstyrkan på vägytan, prediceras luminansen enligt ekvation (2). Det grundläggande antagandet är att luminanskoefficientens variation är liten bland olika vägbeläggningar och att luminansen till övervägande del är beroende av belysningsstyrkan. Detta är, enligt Tabell 1 sant, men Qd bidrar fortfarande till noggrannheten av prediktionen till en viss grad och bör, om möjligt, inkluderas i modellen.

En felkälla i de beskrivna mätningarna är sannolikt den faktiskt uppmätta vägyteluminansen. Trots att luminansen mättes nedskalat kom mätområdets längd att bli ca 6 m. Inom detta mätområde finns en sann luminansvariation som inte fångas upp vid luxmetermätningen.

I en fortsättning av projektet bör även mätning av vägytans textur inkluderas. Som nämnts tidigare ska luminansmätningen enligt standarden göras med observationsvinkeln 1° , medan luminanskoefficienten mäts i $2,29^\circ$. Exakt hur denna skillnad påverkar prediktionerna beror sannolikt på beläggningsens makrotextur, varför en modell bör innefatta även denna parameter.

Referenser

European Committee for Standardization, Road lighting, Part 1: Performance requirements, Part 2: Calculation of performance, Part 3: Methods of measuring lighting performance, European Standard EN 13201, Bryssel, Belgien, 2001.

Todd, R: Measurement of luminance to BS5489, part 2, The Lighting Journal, Ruby, Storbritannien, 1990.

Zimmer, R: A mobile illumination evaluation system, Transport Research Record 1173, TRB, Washington, D.C., USA, 1988.

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-transportsystem 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.



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