

Fotgängares upptäckbarhet vid olika nivåer på vägbelysningen

En pilotstudie

Sven-Olof Lundkvist
Sara Nygårdhs

Förord

Detta projekt har i sin helhet finansierats av Trafikverket, där Peter Aalto har varit projektledare. Studien har utförts av Sara Nygårdhs, Carina Fors, Birgitta Thorslund samt undertecknad. Ett speciellt tack till Ingemar Johansson, Göteborgs kommun, Svevia och försökspersonerna.

Linköping juni 2011

Sven-Olof Lundkvist

Kvalitetsgranskning

Intern/extern peer review har genomförts 2011-06-13 av Carina Fors. Sven-Olof Lundkvist har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2011-06-20.

Projektledarens närmaste chef, Jan Andersson, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2011-06-24.

Quality review

Internal/external peer review was performed on June 13, 2011 by Carina Fors.

Sven-Olof Lundkvist has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager, Jan Andersson, examined and approved the report for publication on June 24, 2011.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund och syfte	9
2 Teori och hypoteser	10
3 Metod.....	11
3.1 Skattning av vägytans luminans	11
3.2 Mätningar av upptäcktsavstånd till simulerad fotgängare på trottoaren .	11
3.3 Mätning av upptäcktsavstånd till fotgängare stående mitt i egna körfältet.....	13
4 Analys	15
4.1 Pilotstudie 1	15
4.2 Pilotstudie 2	16
5 Resultaten av de fysikaliska mätningarna.....	17
6 Resultaten av synbarhetsmätningarna	18
6.1 Upptäcktsavstånd som funktion av medelluminans	18
6.2 Upptäcktsavstånd som funktion av medelluminans och luminansjämnhet.....	26
6.3 Upptäcktsavstånd till fotgängare i körfältet	32
7 Diskussion och slutsatser	34
Referenser.....	41

Fotgängares upptäckbarhet vid olika nivåer på vägbelysningen – en pilotstudie

av Sven-Olof Lundkvist och Sara Nygårdhs

VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning

Vägbelysningen på landsbygden och i tätorten regleras i Vägars och gators utformning (VGU). På länk anges för de allra flesta vägar och gator ett krav på lägsta medelluminans och luminansjämnhet. En central fråga är om dessa krav är satta på en rimlig nivå? Alltför låga krav skulle kunna innebära försämrade trafiksäkerhet, medan för höga krav betyder slöseri med energi och därmed onödigt stor miljöpåverkan.

I mörker är olyckor med oskyddade trafikanter överrepresenterade, vilket kan antas bero på dålig synbarhet (Nygårdhs, 2006). Det primära syftet med föreliggande studie har varit att undersöka hur vägytans medelluminans och luminansjämnhet påverkar fotgängares upptäckbarhet i vägbelysning.

Denna pilotstudie har genomförts som två fullskaleförsök på Tagenevägen i Göteborg. Denna väg har en belysningsanläggning i vilken varje ljuspunkts effekt kan regleras oberoende av övriga ljuspunkter. Detta möjliggör en reglering av medelluminansen så att skilda nivåer på denna kan studeras för konstant luminansjämnhet och vice versa. I detta experiment studerades vägyteluminanserna 1,0, 0,5, 0,35 och 0,0 cd/m² samt luminansjämnheterna 0,0 och 0,4.

Det första försöket genomfördes med fem försökspersoner som satt som passagerare i en personbil som framfördes på Tagenevägen i cirka 50 km/h. Deras enda uppgift var att trycka på en ljudlös knapp då de upptäckte en ”fotgängare”. Denna fotgängare bestod av ett gråmålat hinder – mörkgrått på den ena sidan och ljusgrått på den andra – placerat på den högra trottoaren. På så sätt kom bakgrunden att delvis vara trottoarens beläggning, delvis buskar alldeles bakom fotgängaren. Försöket flätades fullständigt så att alla belysningsbetingelser studerades för två fotgängare – en alldeles bakom en ljuskälla och en mitt emellan två ljuskällor – och två olika nivåer på fotgängarens ljushet.

De kortaste upptäcktsavstånden, cirka 60 meter, till en **ljus** klädd fotgängare uppmättes då vägbelysningen är helt släckt, det vill säga då denne var belyst endast av fordonets halvljus. Då vägbelysningen är tänd uppmättes något längre upptäcktsavstånd, 70–78 meter, oberoende av luminansnivån, vilket sannolikt förklaras av att då belysningsnivån ökar får inte endast fotgängaren högre luminans, utan även bakgrunden. Med andra ord kommer kontrasten mellan objekt och bakgrund att vara ungefär lika, oberoende av belysningsstyrkan.

Upptäcktsavstånden till en **mörkt** klädd fotgängare var korta, cirka 50–60 meter. De uppmätta avstånden är så korta att fotgängaren alltid syntes först då försöksfordonets halvljus belyste denne, vilket innebar att fotgängaren sågs i positiv kontrast. Kontrasten blir då högre med en mörk bakgrund och detta innebar att de längsta upptäcktsavstånden uppmättes för låg medelluminans.

Vad gäller upptäcktsavståndet som funktion av luminansjämnheten finns en tendens till att låg luminansjämnhet ger längre avstånd, men resultatet är inte statistiskt säkerställt.

Det andra försöket gjordes med en förenklad datainsamling och endast två försökspersoner. Fotgängaren var nu en människa (ingen attrapp) och dess position var mitt i egna

körfältet, varför bakgrunden till största delen kom att utgöras av den upplysta himlen och endast till en liten del av vägytan. Detta kan sägas representera en optimal situation med avseende på upptäckt och de registrerade avstånden var långa; cirka 100–400 meter.

Med resultaten och erfarenheterna från de två pilotstudierna kommer hösten 2011 ett huvudexperiment att genomföras. I detta försök kommer upptäcktsavstånden till ”riktiga” människor placerade på trottoaren (med avsikt att korsa gatan) att registreras. Mätningar kommer att göras både med och utan mötande fordon.

The visibility of pedestrians at different levels of road lighting

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

Summary

In Sweden, road lighting is regulated in Vägars och gators utformning (VGU). Generally, the requirement is an average luminance level and a luminance uniformity of the road surface. An important question is if the requirements are reasonable? Too low requirements would mean poor traffic safety and too high levels would mean waste of energy and undesired impact on the environment.

In night-time traffic, accidents involving vulnerable road users are overrepresented, which may be caused by poor visibility (Nygårdhs, 2006). The aim with the present study was to investigate the influence of the average luminance and the luminance uniformity on the detection distance of pedestrians in road lighting.

Two pilot studies have been conducted as a full-scale trial on Tagenegatan in Gothenburg. This specific street has a road lighting installation where each light source can be dimmed individually. This means that both the average luminance and the luminance uniformity can be regulated independently. Thus, the effect of the average luminance can be studied at certain levels of uniformity and vice versa. In this experiment the average luminance 1.0, 0.5, 0.35 and 0.0 cd/m² were studied along with the luminance uniformities 0.0 and 0.4.

In the first study, five subjects participated, travelling at approximately 50 km/h as passengers in a car. Their only task was to push a silent button when a “pedestrian” was detected. The pedestrian was a grey-painted obstacle, dark grey on one side and light grey on the other and it was located on the right pavement. This meant that the background of the pedestrian partly was the surface of the pavement, partly bushes close behind. The conditions were completely intertwined, which meant that six light conditions were studied, involving four pedestrians; light and dark grey, positioned just behind a light source and between two lanterns, respectively.

The results show that a pedestrian dressed in **light grey** had the shortest detection distance, 60 metres, when the light was switched off, i.e. when the pedestrian was illuminated only by the dipped headlight of the vehicle. When the road lighting was switched on, the detection distance was longer, 70–78 metres, but almost independent of the luminance level. This may be explained by the fact that not only the luminance of the pedestrian increased when the road lighting was on, but also the luminance of the background. In other words, the contrast between object and background was approximately independent of the lighting level.

The detection distance to a pedestrian dressed in **dark grey** was short – approximately 50–60 metres. This distance is so short that the pedestrian was detected not until the dipped headlight reached the obstacle, which in turn meant that it had a positive contrast against the background. In this case, a dark background means a high contrast and the longest detection distances were registered for low luminance levels.

The luminance uniformity shows little influence on the detection distance. There is a tendency that low uniformity is better than high, but this result is not significant.

In the second study, a simplified data collection and only two subjects were used. Furthermore, instead of the detection distance to a dummy, the distance to a “real” person, placed in the middle of the driving lane, was registered. This could be seen somewhat as an optimal situation and the registered distances were long; in the range 100–400 metres.

Based on the results and experiences of the two pilot studies a main study will be designed. In this study, which will be carried out in the autumn 2011, the detection distance to a “real” person placed on the pavement will be registered. Furthermore, also the situation involving an opposing vehicle will be studied.

1 Bakgrund och syfte

Vägbelysningen på landsbygden och i tätorten regleras i Vägar och gators utformning (VGU, Vägverket, 2004). På länk anges för de allra flesta vägar och gator ett krav på lägsta medelluminans och luminansjämnhet. En central fråga är om dessa krav är satta på en rimlig nivå? Alltför låga krav skulle kunna innebära försämrade trafiksäkerhet, medan för höga krav betyder slöseri med energi och därmed onödigt stor miljöpåverkan.

I mörker är olyckor med oskyddade trafikanter överrepresenterade, vilket kan antas bero på dålig synbarhet (Nygårdhs, 2006). Föreliggande rapport redovisar två pilotstudier i vilka fotgängares synbarhet som funktion av vägytans medelluminans och luminansjämnhet har studerats. Syftet med pilotstudierna var främst att testa metoder inför ett kommande huvudförsök.

2 Teori och hypoteser

Vägytans luminans (ljushet) i vägbelysning är beroende av belysningsstyrkan, E [lx], mot densamma samt ytans reflektionsegenskaper. Om ytan antas vara diffust reflekterande, vilket kan anses gälla för de flesta torra vägbeläggningarna, kan dess luminans, L [cd/m^2] beräknas som

$$L = E \cdot Qd,$$

där Qd [$\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$] är vägytans luminanskoefficient. Detta betyder att luminansen kan beräknas som produkten av belysningsstyrkan och luminanskoefficienten.

För en tvåfältsväg definierar Vägar och gators utformning, VGU (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004) följande relevanta luminansbegrepp:

Medelluminansen, L_{med} [cd/m^2]: Det aritmetiska medelvärdet av punktluminansvärden på körbanan.

Lägsta luminansen, L_{min} [cd/m^2]: Den lägsta punktluminansen på körbanan.

Från dessa två luminanser definieras:

Luminansjämnheten på körbanan, U_o (overall uniformity): Kvoten L_{min}/L_{med} .

VGU ställer krav på L_{med} och U_o på de allra flesta gator som är upplåtna för motorfordonstrafik. På motorväg finns möjlighet att dessutom ställa krav på den längsgående luminansjämnheten, vilket dock inte är relevant för denna studie som behandlar fotgängares synbarhet. På miljöprioriterade gator och gårdsgator samt GC-stråk ställs krav på belysningsstyrkan.

I tätort är kravet på medelluminans beroende på typen av gata (lokalgata, genomfart, etc.), hastighetsbegränsningen samt trafikmiljöns svårighetsgrad (t.ex. bländande omgivning) och ligger i intervallet $L_{med} = 0,5 - 1,5 \text{ cd}/\text{m}^2$ för en torr vägbanan. Kravet på luminansjämnhet är alltid $U_o = 0,4$.

Synbarheten av ett objekt i vägrummet är bland annat beroende av kontrasten mellan själva objektet och bakgrunden: ju större kontrast desto bättre synbarhet. En mörkt klädd fotgängare kommer oftast att synas i negativ kontrast, vilket innebär att en ljusare bakgrund skulle ge bättre synbarhet. För en ljusklädd fotgängare kan förhållandet vara det motsatta.

Eftersom regelverket anger lägsta krav på medelluminans och luminansjämnhet kan man fastslå följande två hypoteser:

- Hög medelluminans innebär god upptäckbarhet av fotgängare som står i begrepp att korsa en gata eller befinner sig på vägbanan.
- Hög luminansjämnhet innebär god upptäckbarhet av fotgängare som står i begrepp att korsa en gata eller befinner sig på vägbanan.

Dessa två hypoteser har testats i två fullskaliga pilotstudier, en i oktober 2010 och en i april 2011. I den första studien användes simulerade fotgängare som stod på trottoaren och i den andra ”riktiga” fotgängare som stod mitt i körfältet. Mer om dessa två metoder finns i 3.2 och 3.3.

3 Metod

3.1 Skattning av vägytans luminans

Inför mätningarna av upptäcktsavstånd gjordes mätning av belysningsstyrkan på vägytan, E [lx], och dess luminanskoefficient, Qd [$\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$]. Från dessa två storheter kunde vägytans luminans, L [cd/m^2], skattas med hjälp av sambandet:

$$L = E \cdot Qd$$

Mätningar av belysningsstyrka gjordes inledningsvis då anläggningen hade full effekt. Denna mätning gjordes enligt VGU mellan två armaturer, men endast i det körfält som användes i studien (den sida där belysningen fanns), vilket innebar mätning i 30 punkter – 10 längs och 3 tvärs vägen (VGU, Väg- och gatubelysning, bilaga 2). I samma punkter mättes även luminanskoefficienten, så att en skattning av vägyteluminansen kunde göras för varje mätpunkt.

Vid reducerade belysningseffekter gjordes en förenklad mätning som innebar att belysningsstyrkan mättes i 6 punkter, 3 nära en ljuskälla och 3 mitt emellan två ljuskällor. Därefter antogs belysningsstyrkan vara proportionellt lika mycket reducerad i övriga mätpunkter som den var vid full belysningsnivå. Dessa mätningar visade att en reduktion till 65 % av full effekt halverade belysningsstyrkan och reduktion till 55 % sänkte den till ca 35 %.

Luminanskoefficienten är oberoende av belysningsstyrkan och mättes inte ytterligare.

3.2 Mätningar av upptäcktsavstånd till simulerad fotgängare på trottoaren

Tagenevägen i Göteborg har belysningsanläggning med högtrycksnatrium, HNa, där varje enskild ljuskälla kan styras individuellt. En ljuskälla kan dimmas ner till ca 35 % av full effekt eller släckas helt. Detta möjliggör ett experiment där både medel-luminansen och luminansjämnheten kan varieras oberoende av varandra. Vidare är gatan ca 2 km lång, rak och ligger i ett industriområde. Detta gör den väl lämpad för ett synbarhetsförsök nattetid, då trafiken är obetydlig.

Upptäckbarheten av fotgängare tillgick så att tre försökspersoner satt som passagerare i en personbil. Var och en av försökspersonerna utrustades med en ljudlös tryckknapp med vilken registrering av en simulerad fotgängare skulle göras. Försökspersonerna var instruerade både skriftligt och muntligt att inte chansa. En fotgängare togs ibland bort och en registrering av en sådan ”icke-fotgängare” medförde 100 kr i böter, vilket drogs av från arvodet, som var 1 000 kr. Den simulerade fotgängaren bestod av en matt plywoodskiva 1,0 meter hög och 0,4 meter bred. Den var ljusgrå, med reflektansen $Y = 0,25$, på ena sidan och mörkgrå, med $Y = 0,11$, på den andra. Två omgångar kördes två nätter i rad på torra vägbanor, vilket innebar att sammanlagt sex försökspersoner mättes. Samtliga mätningar gjordes utan mötande fordon. Alla försökspersonerna mättes i samtliga betingelser, dvs. försöket hade en ”within-subject-design”. Denna design ger primärt relativa, inte absoluta, upptäcktsavstånd. Resultaten ska således inte generaliseras att gälla hela populationen passagerare i personbil.

I experimentet var upptäcktsavståndet den beroende variabeln, medan de oberoende variablerna var:

- Medelluminans – fyra nivåer (1,0, 0,5, 0,35 och 0,0 cd/m²)
- Luminansjämnhet – två nivåer (0,0 och 0,4)
- Fotgängarens klädsel – två nivåer (ljusgrå och mörkgrå)
- Fotgängarens position – två nivåer (strax bakom eller mitt emellan ljuspkt.)

Medelluminansen och luminansjämnheten varierades i sex steg enligt tabell 1.

Tabell 1 De sex ljusbetingelserna som studerades.

betingelse	L_{med}	U_o
A: full effekt på samtliga lampor	1,00	0,4
B: 65 % av full effekt på samtliga lampor	0,50	0,4
C: 100 % av full effekt på varannan lampa, övriga släckta	0,50	0,0
D: 55 % av full effekt på samtliga lampor	0,35	0,4
E: 100 % av full effekt på var tredje lampa, övriga släckta	0,35	0,0
F: Samtliga lampor släckta	0,00	ej def.

De tre oberoende variablerna flätades fullständigt och planen var att mäta varje betingelse fyra gånger, vilket skulle innebära sammanlagt $6 \cdot 2 = 12$ betingelser och således $16 \cdot 4 = 64$ mätningar per försöksperson. Av tidsskäl tvingades emellertid mätprogrammet att kortas ner, så att det mörka hindret mättes endast två gånger vid varje belysningsnivå. För att balansera eventuella effekter av trötthet användes s.k. ABBA-rotation, d.v.s. betingelserna i tabell 1 mättes A, B, C, C, B, A.

I försöket användes två ”fotgängare”, en som placerades 5 meter bakom en tänd armatur och en som placerades mitt mellan två tända armaturer. Båda fotgängarna stod alltid i samma position, på trottoaren, nära körfältet, som om de stod i begrepp att korsna gatan, så som figur 1 visar.

Simulerad fotgångare med ljusgrå kläder



Figur 1 Simulerad fotgångare i vägbelysning, ca 1 cd/m^2 .

Det framgår av figur 1 att bakgrunden till fotgångaren inte är homogen; delvis bildar trottoaren, delvis buskar bakgrund. Det finns dock en bakgrund, och även denna påverkas av vägbelysningen. Reducerad belysning ger således inte endast en lägre luminans på fotgångaren, utan även en mörkare bakgrund. Vidare kommer bakgrunden att variera då försöksfordonet närmar sig fotgångaren, men olika för de tre försökspersonerna, beroende på positionen i bilen. Försökspersonerna satt emellertid på samma plats under hela försöket, varför bakgrunden var densamma för varje enskild passagerare under hela försöket.

3.3 Mätning av upptäcktsavstånd till fotgångare stående mitt i egna körfältet

I det andra experimentet skilde sig försökssituationen ganska mycket från det första:

- Upptäcktsavståndet mättes till en människa, inte en attrapp.
- Fotgångaren stod mitt i egna körfältet.
- Den ena fotgångarens klädsel var nästan svart.

I denna pilotstudie gjordes mätningarna av upptäcktsavstånd något förenklade: Två försökspersoner (en förare och en passagerare) satt i en personbil och körde sakta mot fotgångaren. Registreringen av upptäckt gjordes muntligt och avståndet mättes med en trippmätare med upplösningen en meter. Endast ljusbetingelserna A, B, D och F enligt tabell 1 studerades.

Fotgångaren hade heltäckande klädsel med reflektansen $Y = 0,02$ (nästan svart) eller $Y = 0,33$ (ljusgrått). Eftersom bakgrunden till största delen kom att utgöras av den upplysta himlen innebar detta att fotgångaren alltid kom att synas i negativ kontrast.

Figur 2 visar försökuppställningen på avståndet 30 m. Mätningarna visade senare på betydligt längre upptäcktsavstånd.



Figur 2 Försökuppställningen i den andra pilotstudien.

I samband med avståndsmätningarna i denna andra pilotstudie mättes även belysningsstyrkan vertikalt mot fotgängaren.

4 Analys

4.1 Pilotstudie 1

I samtliga analyser är alltid upptäcktsavståndet, S , beroendevariabel (responsvariabel). Vanligen är oberoende (förklarande) variabler medelluminans, L , och/eller luminansjämnhet, U .

Eftersom samtliga försökspersoner har mätts i samtliga sex betingelser A - F, är det fråga om en within-subject-design (repeated-design). I denna beräknas F-kvoten som

$$F = \frac{MS_A}{MS_{S/A}}$$

där MS_A är medelkvadratsumman för oberoende variabeln A och $MS_{S/A}$ medelkvadratsumman för interaktionen mellan A och försökspersonerna.

Den försöksdesign som beskrivs i kapitel 3 ger möjlighet till två analyser enligt tabell 2.

Tabell 2 Redovisning av betingelserna i de två analyser som görs.

Betingelse	L	U	analys 1	analys 2
A	1	0,4	×	
B	0,5	0,4	×	×
C	0,5	0		×
D	0,35	0,4	×	×
E	0,35	0		×
F	0	-	×	

Analys 1 innebär således fyra luminansnivåer och en luminansjämnhet som uppfyller kraven i VGU, medan analys 2 innebär en flätning av två luminans- och två luminansjämnhetsnivåer. Eftersom en hypotes är att ljusare hinder har längre upptäcktsavstånd än mörkare samt att hinder strax bakom ljuskällan syns bättre än hinder mitt emellan, så görs i både analys 1 och 2 fyra separata envägs variansanalyser – för de två hinderluminanserna och för de två hinderpositionerna.

Då en sådan variansanalys ger signifikant ($p < .05$) inverkan av den oberoende variabeln görs post-hoc-test för att avgöra var skillnaderna i upptäcktsavstånd finns. Sådana post-hoc-test görs med Scheffe-test (Keppel, 1982) där F-kvoten beräknas som

$$F_{Scheffe} = (a - 1) \cdot F(df_A, df_{S/A}),$$

där a är antalet envägs test som utförs ($a = 4$ i både analys 1 och 2) samt df_A och $df_{S/A}$ är antalet frihetsgrader för oberoende variabel A och interaktionen mellan A och försökspersoner. I dessa analyser anges signifikansnivån för att underlätta tolkningen av ω^2 . En effekt som är signifikant på nivån 10 % ($p < .10$) innebär nämligen att ω^2 är större än 0 med sannolikheten 90 %, signifikans på 5 %-nivån ($p < .5$) innebär 95 % sannolikhet att effekten är sann ($\omega^2 > 0$), etc.

På grund av bortfall kunde endast resultaten från 5 försökspersoner användas. Detta gör att experimentet har ganska svag styrka, vilket i sin tur innebär liten möjlighet att påvisa signifikanta effekter. Emellertid kan effekternas styrka skattas med ω^2 , vilken är oberoende av styrkan. Resultattolkningen kommer därför i huvudsak att vila på denna storhet som i en within-subject-analys beräknas som:

$$\omega^2 = \frac{SS_A - (a - 1) \cdot MS_{S/A}}{SS_T + MS_{S/A}},$$

där SS_A och SS_T avser kvadratsumman för den oberoende variabeln A respektive den totala kvadratsumman i experimentet, $MS_{S/A}$ medelkvadratsumman för interaktionen mellan A och försökspersonerna samt a , antalet nivåer i den oberoende variabeln A . Enligt Keppel (1982) kan effekternas styrka klassas enligt följande:

$\omega^2 < 0,01$	försumbar effekt
$0,01 \leq \omega^2 < 0,06$	svag effekt
$0,06 \leq \omega^2 < 0,15$	medelstark effekt
$\omega^2 \geq 0,15$	stark effekt

Som nämnts tidigare är ω^2 oberoende av experimentets power, men det skattade värdet blir mer osäkert om styrkan är låg. Det skattade värdet är alltid det mest sannolika och har effekten dessutom kunnat påvisas vara signifikant, innebär detta att ω^2 är signifikant större än noll. För att inte dra alltför långtgående slutsatser av mätningarna har endast effekter med $\omega^2 \geq 0,06$ beaktats, dvs. sådana effekter som har skattats vara åtminstone medelstarka och med stor sannolikhet inte är försumbara. Signifikanta ($p < .05$) effekter har emellertid alltid redovisats, oavsett ω^2 .

Vid tolkning av resultaten ska beaktas att egna fordonets halvljus lyser upp hindret på avstånd kortare än ca 65 m (här ligger ca 30 % av hindret nedanför båda strålkastarnas ljus- mörkergräns). Detta innebär att avstånd mycket kortare än 65 m inte borde förekomma om bakgrunden är absolut svart. Vid en ljusare bakgrund torde det dock vara möjligt.

4.2 Pilotstudie 2

Detta försök var förhållandevis litet och någon statistisk analys är inte meningsfull. Därför redovisas endast medelvärden av de uppmätta upptäcktsavstånden. Från den uppmätta belysningsstyrkan mot fotgängaren, E_{vert} , och klädselns reflektans, Y , kunde fotgängarluminansen beräknas som:

$$L_{fotg} = \frac{Y \cdot E_{vert}}{\pi} \text{ [cd/m}^2\text{]}$$

Bakgrundsluminansen är svår att beskriva eftersom den var inhomogen. Emellertid borde ett samband mellan upptäcktsavstånd och fotgängarluminans finnas och detta samband redovisas i en enkel regressionsanalys.

5 Resultaten av de fysikaliska mätningarna

Från mätningarna av belysningsstyrka och luminanskoefficient kunde vägens medelluminans och luminansjämnhet skattas, vilket visas i tabell 3.

Tabell 3 Skattad medelluminans, L [cd/m^2], och luminansjämnhet, U [-] för de sex betingelserna A – F.

betingelse	effekt	L	U
A	100 %	0,95	0,33
B	65 %	0,51	0,38
C	100 % på varannan	0,49	0,00
D	55 %	0,37	0,40
E	100 % på var 3:e	0,34	0,00
F	0 % (släckt)	0,00	ej def.

Resultaten i tabell 3 visar att målet i försöksplanen uppfylldes med god noggrannhet: Medelluminansen antog fyra, och luminansjämnheten tre nivåer. Strävan var, enligt tabell 1, att betingelserna A, B, D och F skulle ha medelluminansen 1, 0,5, 0,35 och 0 cd/m^2 samt godkänd luminansjämnhet enligt VGU. Detta uppfylldes med god precision, även om U i betingelse A var något för låg. Vidare var önskan att B och C samt D och E skulle ha samma medelluminans, liksom B och D samt C och E skulle ha samma luminansjämnhet. Detta uppfylldes med mycket god precision.

Ovanstående innebär att analysen kan utföras enligt planen i kapitel 4.

6 Resultaten av synbarhetsmätningarna

6.1 Upptäcktsavstånd som funktion av medelluminans

I betingelserna som ingår i analys 1 är luminansjämnheten aldrig 0, dvs. samtliga ljuskällor längs provvägen är tända eller samtliga släckta (U_o ej definierad). Försökssituationen illustreras i figur 2 (svart/vitt).



Figur 2 Försökssituationen med ljust hinder strax bakom en ljuskälla som lyser med full effekt. Medelluminansen är ca 1 cd/m^2 och luminansjämnheten ca 0,4.

Figur 2 visar hindret, som i denna betingelse upplevs som ljusare än bakgrunden (positiv kontrast). Observera att en bedömning av synbarheten från denna, eller andra bilder inte blir korrekt: dels har ögat en annan känslighet än kameran, dels är fotot taget på avståndet 50 m. I verkligheten visade sig upptäcktsavståndet vara drygt 80 m.

Från fotona kan man dock avgöra om hindret ses i positiv eller negativ kontrast i de olika betingelserna. Tecknet (positiv eller negativ) kontrast på 50 m avstånd kan med stor säkerhet generaliseras att gälla även det aktuella upptäcktsavståndet. I fallet $U > 0$ (betingelserna A, B, D och F) visar bilderna att hinder som står strax bakom ljuskällan alltid syns i positiv kontrast, vilket också gäller ett ljust hinder mellan två ljuskällor. Däremot syns ett mörkt hinder mellan två ljuskällor, figur 3, i negativ kontrast (siluetteffekt), utom i fallet släckt belysning.



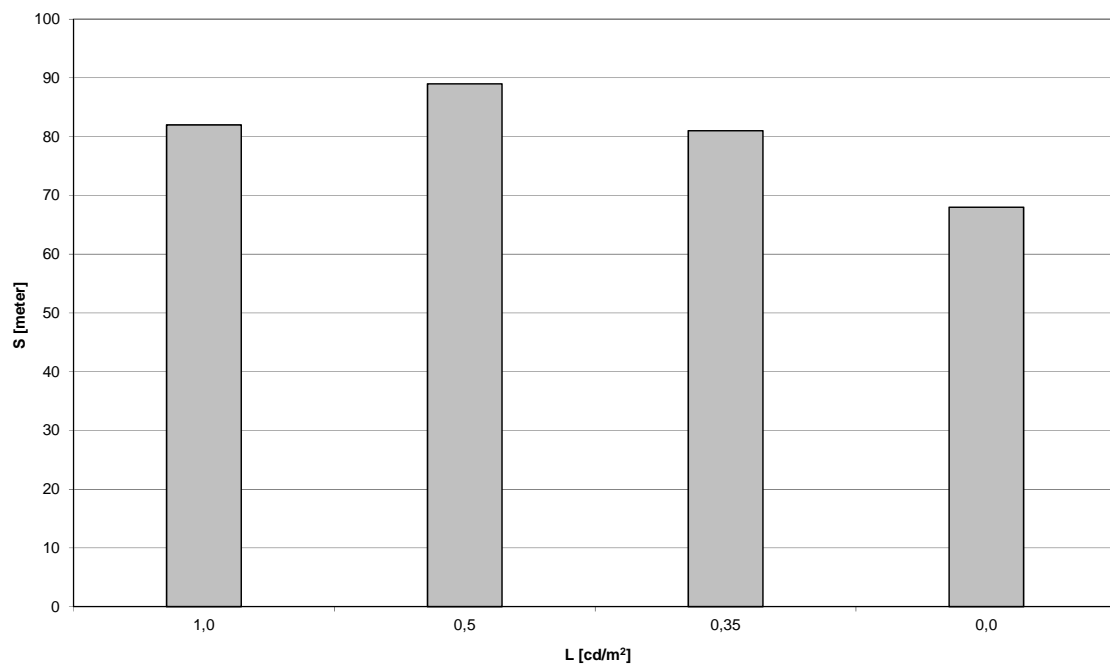
Figur 3 Försökssituationen med mörkt hinder mitt emellan två ljuskällor som lyser med full effekt. Medelluminansen är ca 1 cd/m^2 och luminansjämnheten ca 0,4.

Det uppmätta upptäcktsavståndet i figur 3 var knappt 50 m – således betydligt kortare än för det ljusa hindret i figur 2.

Avsnitten 6.1.1 till 6.1.4 visar resultaten för betingelserna A, B, D och F för ljust och mörkt hinder strax bakom och mitt emellan ljuskällor. Dessa resultat kan sägas representera två specialfall; en fotgängare som går över vid ett belyst övergångsställe och en som går över där synbetingelserna borde vara som sämst. Ett medelvärde av dessa skulle kunna sägas grovt beskriva synbetingelserna på vägen i de olika belysningsbetingelserna. Därför redovisas i avsnitten 6.1.5 och 6.1.6 resultaten för betingelserna A, B, D och F för ljust respektive mörkt hinder, medelvärdesbildat över de två hinderpositionerna.

6.1.1 Upptäcktsavstånd till ljust hinder strax bakom ljuskälla

I denna betingelse har hindret alltid synt i positiv kontrast,



Figur 4 Upptäcktsavstånd till ljust hinder placerat strax bakom ljuskälla.

En envägs repeated variansanalys ger $F(3,12) = 7,96$, vilket innebär signifikant effekt av medelluminans ($p < .05$), vilket i sin tur motiverar post-hoc-test. Detta test visar på följande effekter:

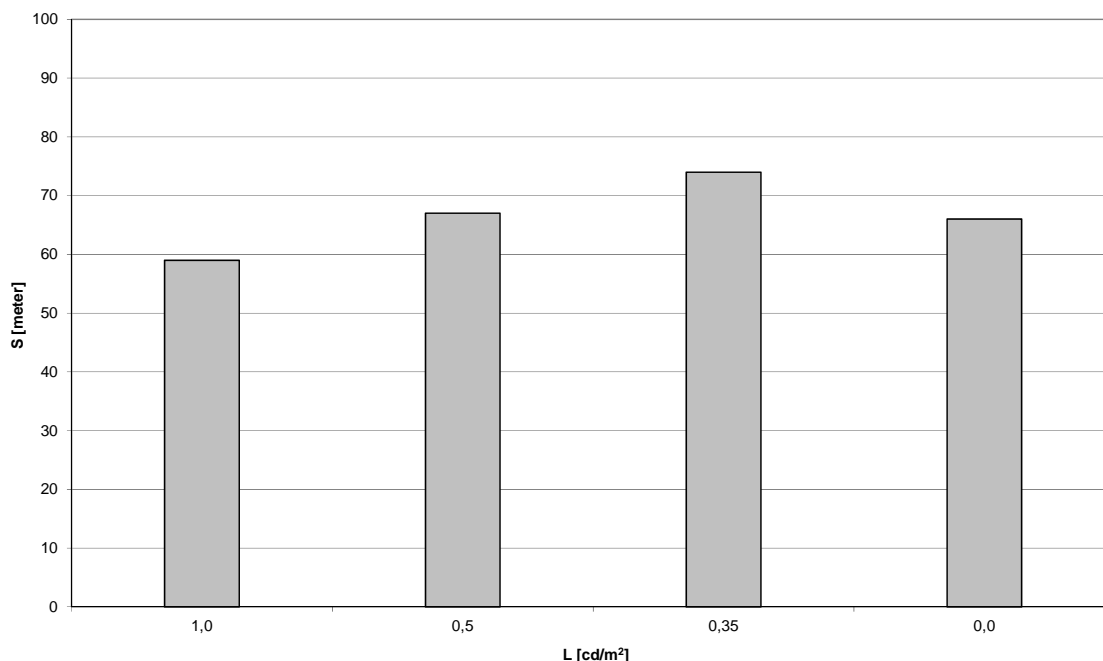
$$S(L=0,5) > S(L=0,0) \quad \omega^2 = 0,11 \quad F = 17,91 (p < .05)$$

$$S(L=0,35) > S(L=0,0) \quad \omega^2 = 0,06 \quad F = 14,68 (p < .05)$$

Övriga skillnader i figur 4 kan anses vara små eller försumbara. Detta delresultat visar en tendens till att vägbelysningen, oavsett effekt, har givit längre upptäcktsavstånd än ingen vägbelysning alls. Om vägbelysning finns, kunde ingen skillnad som förklaras av vägytans luminans påvisas.

6.1.2 Upptäcktsavstånd till ljust hinder mitt emellan två ljuskällor

I denna betingelse har hindret alltid syns i positiv kontrast,



Figur 5 Upptäcktsavstånd till ljust hinder placerat mitt emellan två ljuskällor.

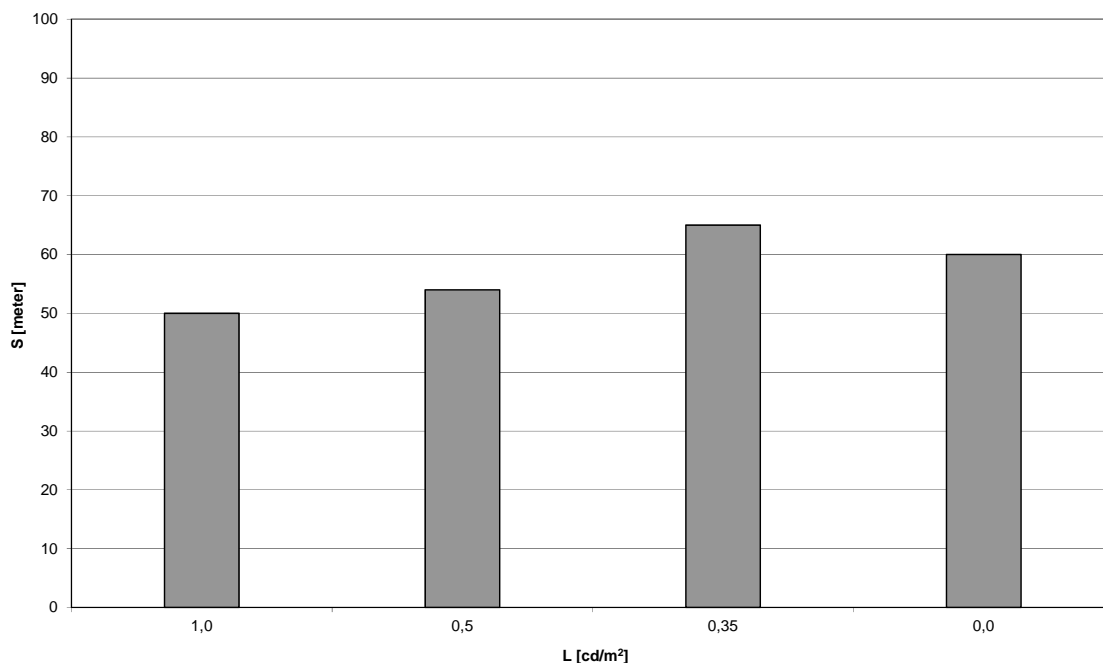
En envägs repeated variansanalys ger $F(3,12) = 4,14$, vilket innebär signifikant effekt av medelluminans ($p < .05$), vilket i sin tur motiverar post-hoc-test. Detta test visar på följande effekter:

$$S(L=0,35) > S(L=1,0) \quad \omega^2 = 0,10 \quad F = 9,91 \text{ (ej sign.)}$$

Analysen visar att upptäcktsavstånden vid $L = 0,35 \text{ cd/m}^2$ är något längre än vid $L = 1,0 \text{ cd/m}^2$. Detta förklaras sannolikt av att hindret syns i positiv kontrast och denna kontrast blir lägre med en ljusare bakgrund. Generellt är avstånden ganska korta och ligger ungefär vid halvljusets ljus- mörkergräns.

6.1.3 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder strax bakom ljuskälla

I denna betingelse har hindret alltid synt i positiv kontrast,



Figur 6 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder placerat strax bakom ljuskälla.

En envägs repeated variansanalys ger $F(3,12) = 4,65$, vilket innebär signifikant effekt av medelluminans ($p < .05$), vilket i sin tur motiverar post-hoc-test. Detta test visar på följande effekter:

$$S(L=0,35) > S(L=0,5) \quad \omega^2 = 0,07 \quad F = 9,34 \text{ (ej sign.)}$$

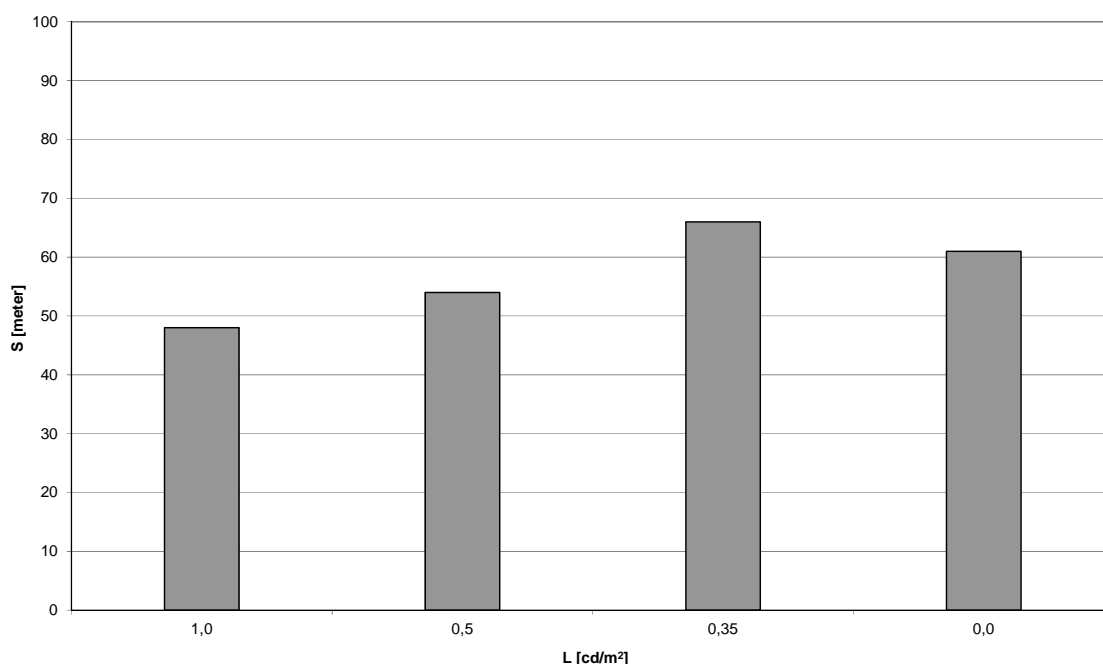
$$S(L=0,35) > S(L=0,0) \quad \omega^2 = 0,15 \quad F = 7,79 \text{ (ej sign.)}$$

$$S(L=0,0) > S(L=1,0) \quad \omega^2 = 0,08 \quad F = 3,79 \text{ (ej sign.)}$$

Upptäcktsavstånden är här så korta att fotgängaren har setts i fordonet halvljus, vilket innebär att den har synt i positiv kontrast. Detta innebär i sin tur att en mörk bakgrund ger hög kontrast, vilket sannolikt förklarar varför upptäcktsavstånden var som kortast för de låga luminansnivåerna.

6.1.4 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder mitt emellan två ljuskällor

I denna betingelse är det oklart om hindret har syns i positiv eller negativ kontrast. Utan fordonsljus, på långa avstånd, är kontrasten negativ, men övergår sannolikt att bli positiv på kortare avstånd.



Figur 7 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder placerat mitt emellan två ljuskällor.

En envägs repeated variansanalys ger $F(3,12) = 4,51$, vilket innebär signifikant effekt av medelluminans ($p < .05$), vilket i sin tur motiverar post-hoc-test. Detta test visar på följande effekter:

$$S(L=0,35) > S(L=0,5) \quad \omega^2 = 0,10 \quad F = 25,54 (p < .01)$$

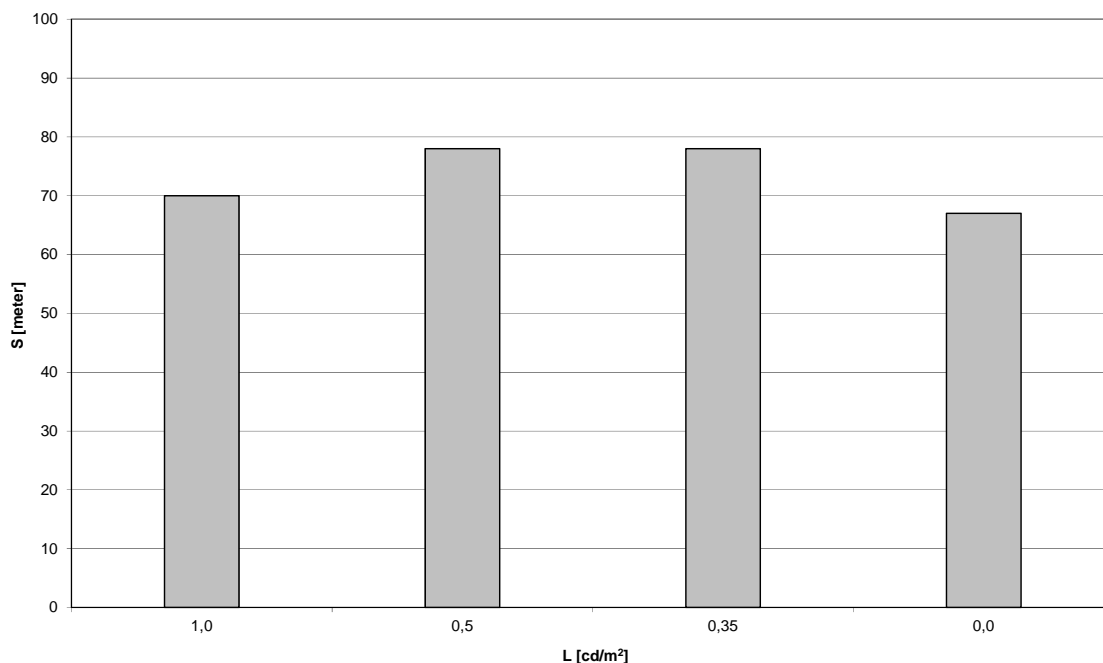
$$S(L=0,35) > S(L=1,0) \quad \omega^2 = 0,21 \quad F = 5,85 (\text{ej sign.})$$

$$S(L=0,0) > S(L=1,0) \quad \omega^2 = 0,17 \quad F = 4,46 (\text{ej sign.})$$

Förklaringen till resultaten för fotgängare mellan ljuskällor är troligen densamma som då denne var placerad strax bakom ljuskällan: Låg bakgrundsluminans ger hög kontrast och längre upptäcktsavstånd.

6.1.5 Upptäcktsavstånd till ljust hinder

Det ljusa hindret kommer alltid att synas i positiv kontrast.



Figur 8 Upptäcktsavstånd till ljust hinder. Medelvärde över två hinderpositioner.

En envägs repeated variansanalys ger $F(3,12) = 7,36$, vilket innebär signifikant effekt av medelluminans ($p < .05$), vilket i sin tur motiverar post-hoc-test. Detta test visar på följande effekter:

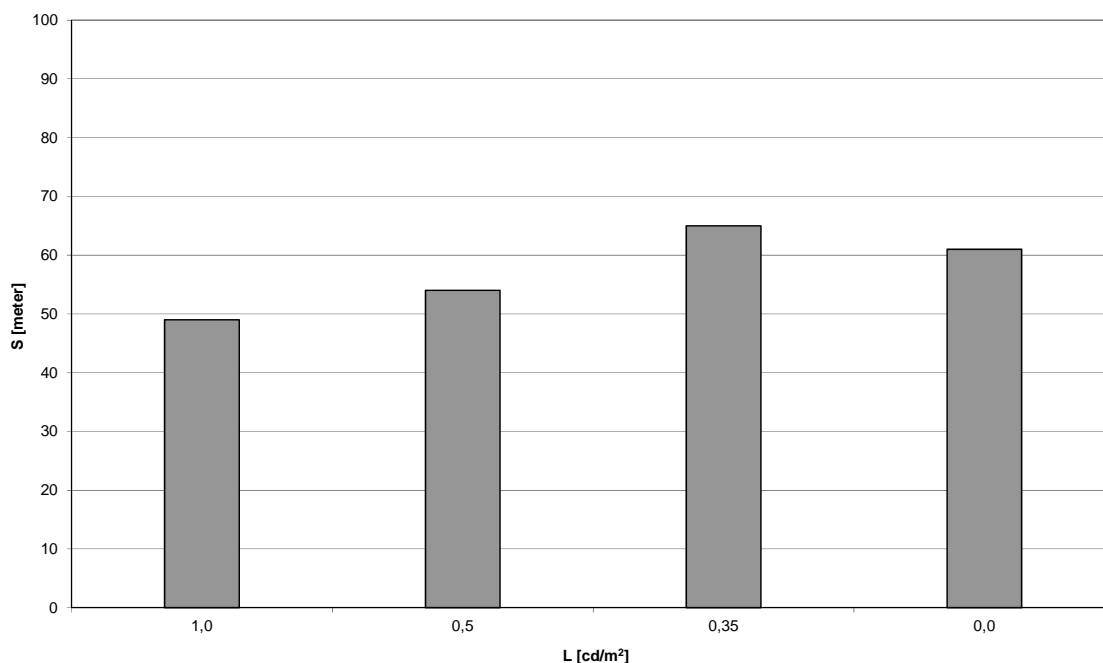
$$S(L=0,5) > S(L=0,0) \quad \omega^2 = 0,05 \quad F = 24,14 (p < .005)$$

$$S(L=0,35) > S(L=0,0) \quad \omega^2 = 0,04 \quad F = 13,62 (p < .05)$$

Resultaten visar att upptäcktsavståndet till det ljusare hindret är längre i vägbelysning än utan, även om effekten inte är signifikant för vägyteluminansen 1 cd/m^2 . Detta måste tolkas som att det är viktigt med vägbelysning, men medelluminansen som den ger upphov till är av mindre vikt.

6.1.6 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder

Det mörka hindret kommer att synas i positiv kontrast då det står strax bakom en ljuskälla. Mitt emellan två ljuskällor är kontrasten svår att avgöra, men den är liten.



Figur 9 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder. Medelvärde över två hinderpositioner.

En envägs repeated variansanalys ger $F(3,12) = 5,57$, vilket innebär signifikant effekt av medelluminans ($p < .05$), vilket i sin tur motiverar post-hoc-test. Detta test visar på följande effekter:

$$S(L=0,35) > S(L=0,5) \quad \omega^2 = 0,09 \quad F = 22,15 \quad (p < .005)$$

$$S(L=0,35) > S(L=1,0) \quad \omega^2 = 0,19 \quad F = 8,82 \quad (\text{ej sign.})$$

$$S(L=0,0) > S(L=1,0) \quad \omega^2 = 0,12 \quad F = 4,40 \quad (\text{ej sign.})$$

Resultaten för det mörka hindret är svårtolkade. Sannolikt är det så att hindret syns först då försöksfordonet är så nära att halvljuset når fram. I så fall kommer det att synas i positiv kontrast och en ljus bakgrund (som god vägbelysning ger) skulle i så fall reducera denna kontrast. Det är värt att notera att resultatet är liknande som för ljust hinder mellan två ljuskällor.

6.2 Upptäcktsavstånd som funktion av medelluminans och luminansjämnhet

Analys 2 är balanserad så tillvida att två nivåer på medelluminans är flätade med två nivåer på luminansjämnheten. Detta innebär således att de ungefärliga luminansnivåerna $L = 0,5 \text{ cd/m}^2$ och $L = 0,35 \text{ cd/m}^2$ har studerats för $U = 0,4$ och $U = 0,0$.

För att variera luminansjämnheten släcktes varannan eller var tredje ljuspunkt. Det måste påpekas att luminansjämnheten som den är definierad i VGU då kom att bli 0, men också att det ”mörka bandet” kom att bli längre än då alla ljuspunkter var tända.

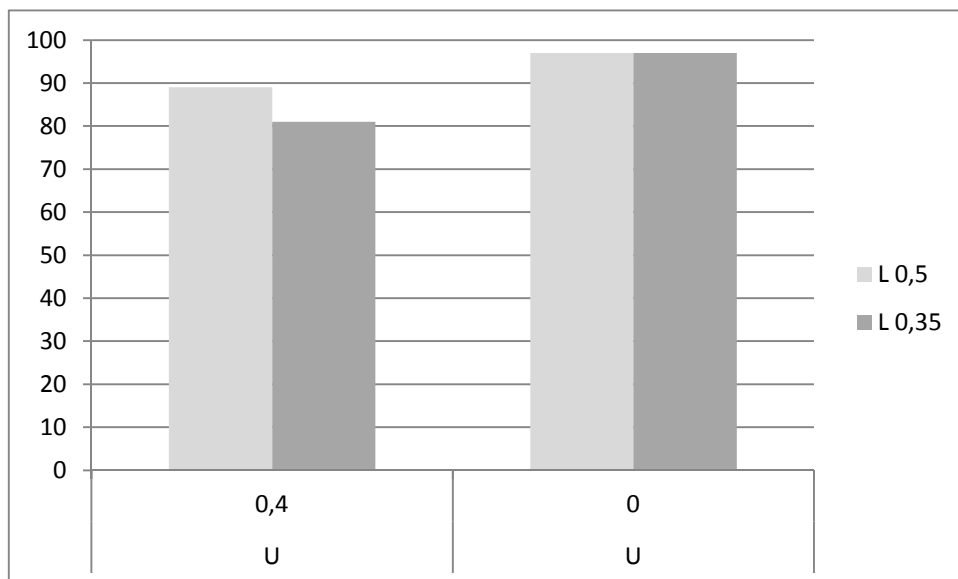
Figur 10 visar betingelsen $L = 0,5 \text{ cd/m}^2$ och $U = 0$, dvs. varannan lampa är tänd och lyser med full effekt.



Figur 10 Försökssituationen med mörkt hinder strax bakom en ljuskälla som lyser med full effekt. Medelluminansen är ca $0,5 \text{ cd/m}^2$ och luminansjämnheten 0. Observera att det egna halvljuset är släckt.

6.2.1 Upptäcktsavstånd till ljust hinder strax bakom ljuskälla

Det ljusa hindret kommer alltid att synas i positiv kontrast då det är placerat strax bakom en ljuskälla.



Figur 11 Upptäcktsavstånd till ljust hinder placerat strax bakom ljuskälla.

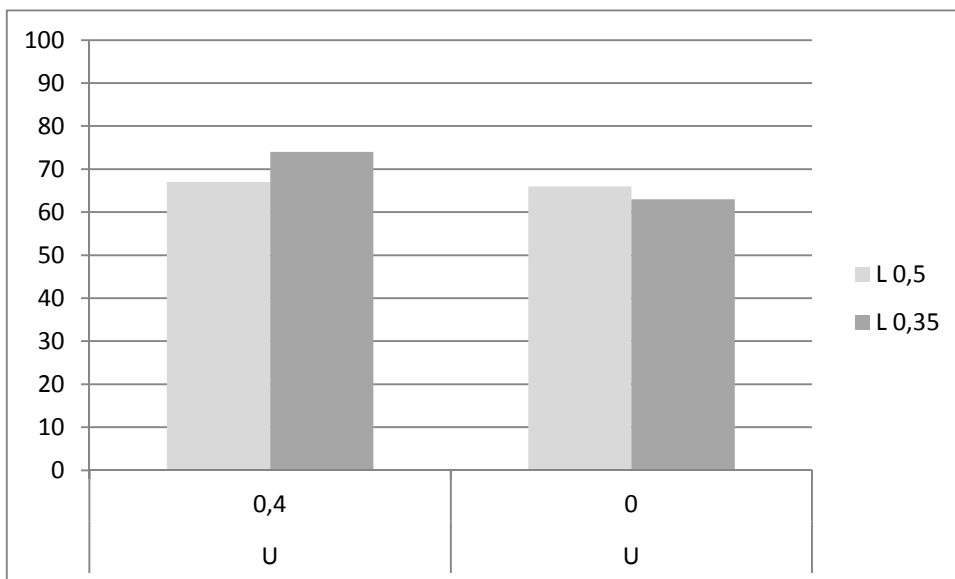
En tvåvägs repeated variansanalys med L och U som oberoende variabler påvisar en effekt av luminansjämnheten:

$$S(U=0) > S(U=0,4) \quad \omega^2 = 0,03 \quad F = 8,06 (p < .05)$$

Således har den låga luminansjämnheten inneburit längre upptäcktsavstånd. Detta förklaras sannolikt av den delvis mörka bakgrunden.

6.2.2 Upptäcktsavstånd till ljust hinder mitt emellan två ljuskällor

I detta fall bedömdes det ljusa hindret synas i positiv kontrast för $U = 0,4$ och negativ kontrast för $U = 0$.



Figur 12 Upptäcktsavstånd till ljust hinder placerat mitt emellan två ljuskällor.

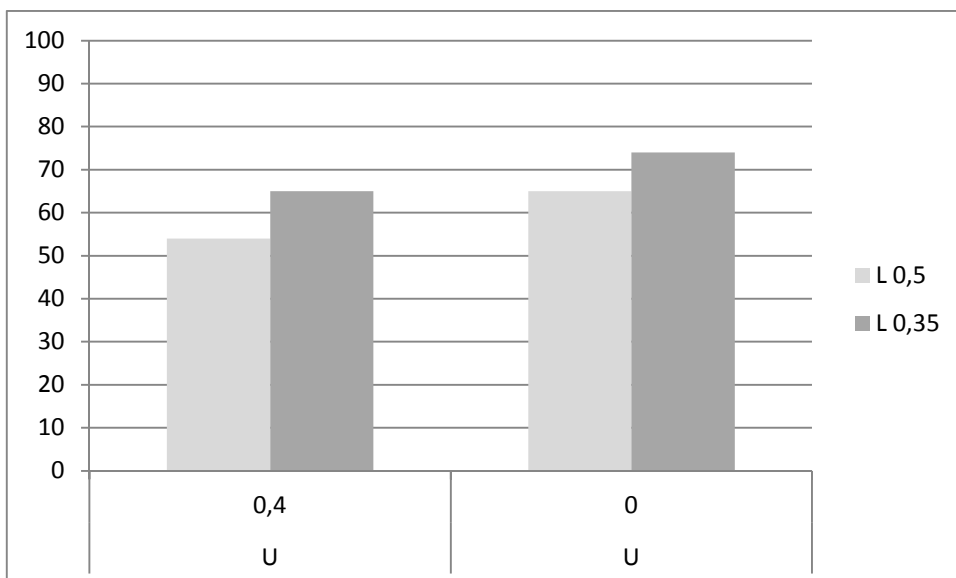
En tvåvägs repeated variansanalys med L och U som oberoende variabler påvisar en signifikant effekt av luminansjämnheten:

$$S(U=0,4) > S(U=0) \quad \omega^2 = 0,03 \quad F = 9,57 (p < .05)$$

Observera att i detta fall ger hög luminansjämnhet längre upptäcktsavstånd.

6.2.3 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder strax bakom ljuskälla

Även det mörka hindret kommer alltid att synas i positiv kontrast då det är placerat strax bakom en ljuskälla.



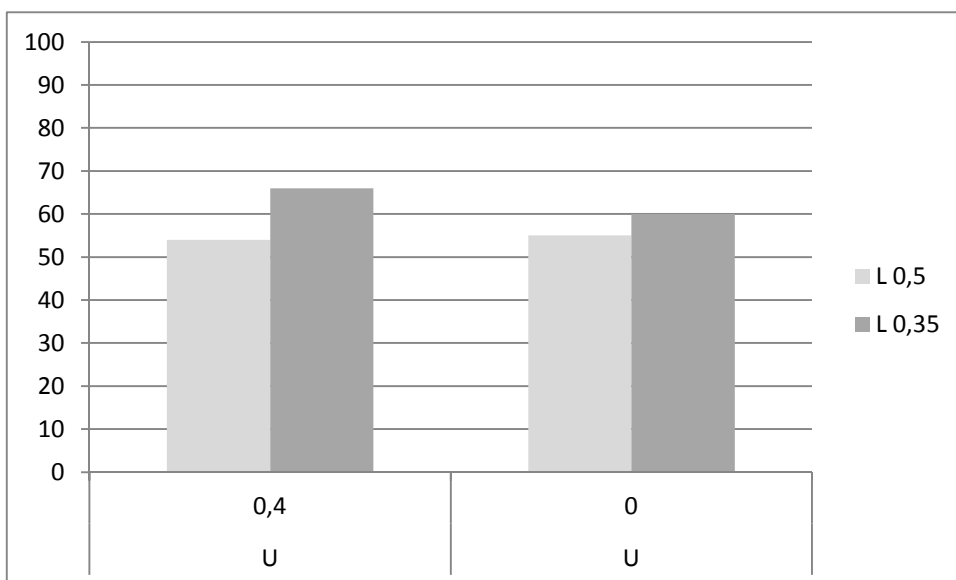
Figur 13 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder placerat strax bakom ljuskälla.

En tvåvägs repeated variansanalys med L och U som oberoende variabler påvisar en effekt av medelluminans, men inte luminansjämnhet:

$$S(L=0,35) > S(L=0,5) \quad \omega^2 = 0,04 \quad F = 10,59 (p < .05)$$

6.2.4 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder mitt emellan två ljuskällor

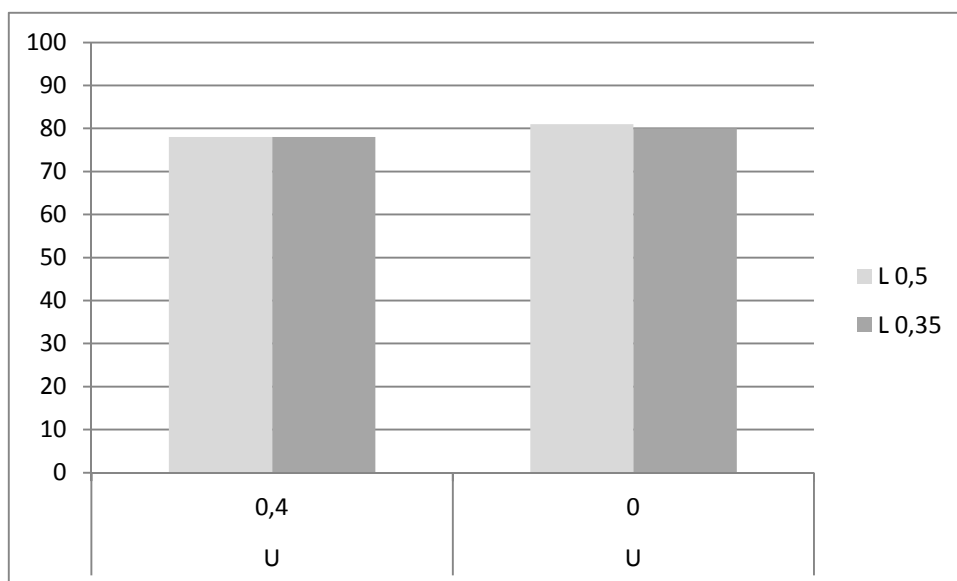
I detta fall bedömdes det mörka hindret alltid synas i negativ kontrast. Upptäcktsavstånden visade sig emellertid bli så korta att halvljuset kan ha gett en positiv kontrast.



Figur 14 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder placerat mitt emellan två ljuskällor.

En tvåvägs repeated variansanalys med L och U som oberoende variabler påvisar en effekt av medelluminansen och även en signifikant interaktionseffekt. Den sistnämnda effekten motiverar att splittra upp analysen i två envägs variansanalyser, en var för de två luminansnivåerna. Dessa två analyser kan inte påvisa någon signifikant effekt.

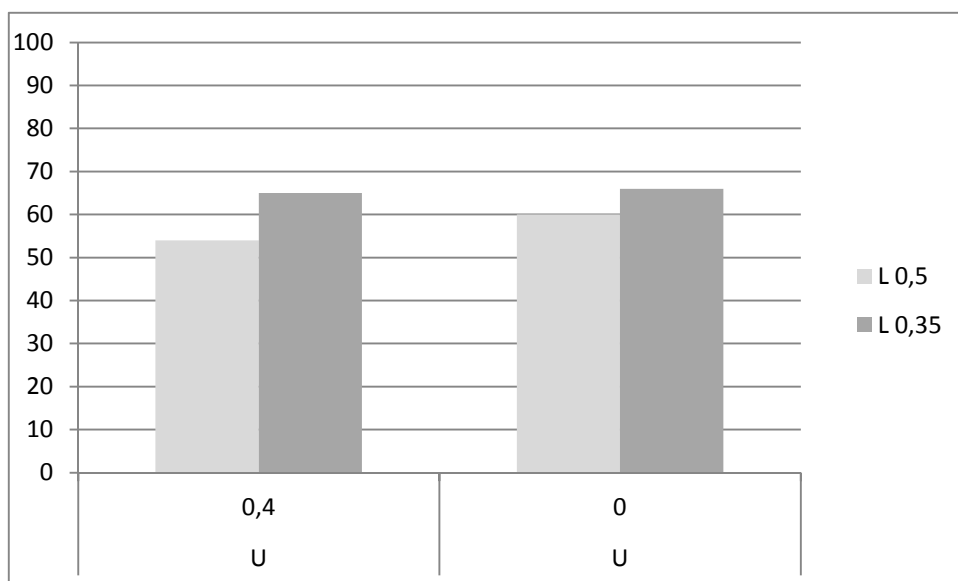
6.2.5 Upptäcktsavstånd till ljust hinder



Figur 15 Upptäcktsavstånd till ljust hinder.

Det finns en tendens till att det ljusa hindret syns på längre avstånd då luminansjämnheten är 0, men skillnaden måste anses vara försumbar och variansanalysen påvisar inte någon signifikant effekt.

6.2.6 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder



Figur 16 Upptäcktsavstånd till mörkt hinder.

För det mörkgrå hindret visar variansanalysen på en signifikant effekt:

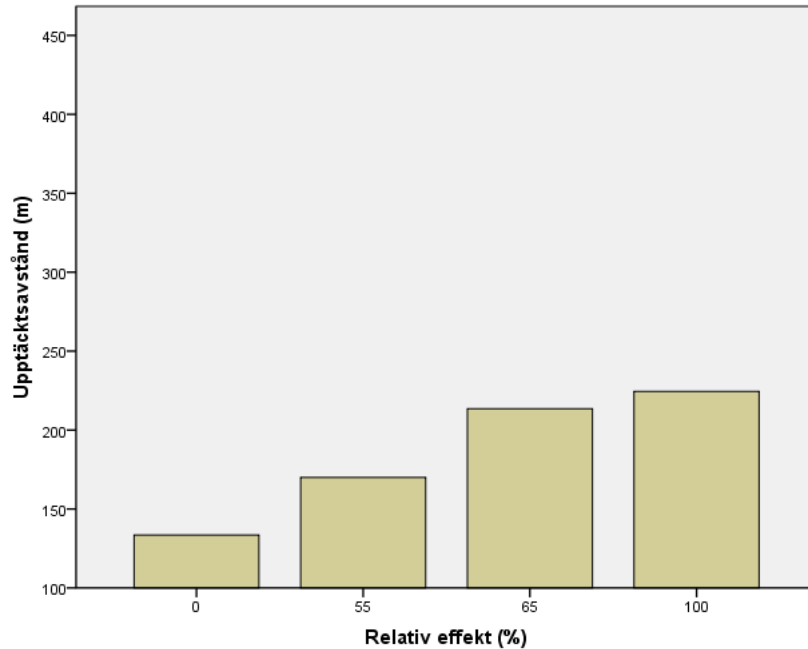
$$S(L=0,35) > S(L=0,5) \quad \omega^2 = 0,04 \quad F = 16,79 (p < .05)$$

Korta upptäcktsavstånd har troligen inneburit att fotgängaren har syns i halvljuset.

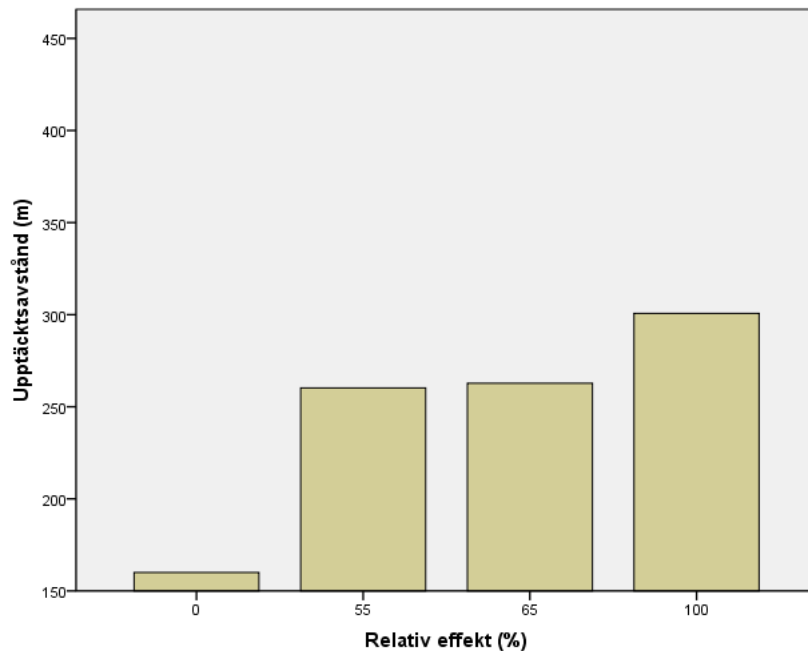
6.3 Upptäcktsavstånd till fotgängare i körfältet

6.3.1 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i ljusgrått

Figur 17 och figur 18 visar upptäcktsavstånden till fotgängare klädd i ljusgrått tyg placerad strax bakom respektive mitt mellan två ljuskällor.



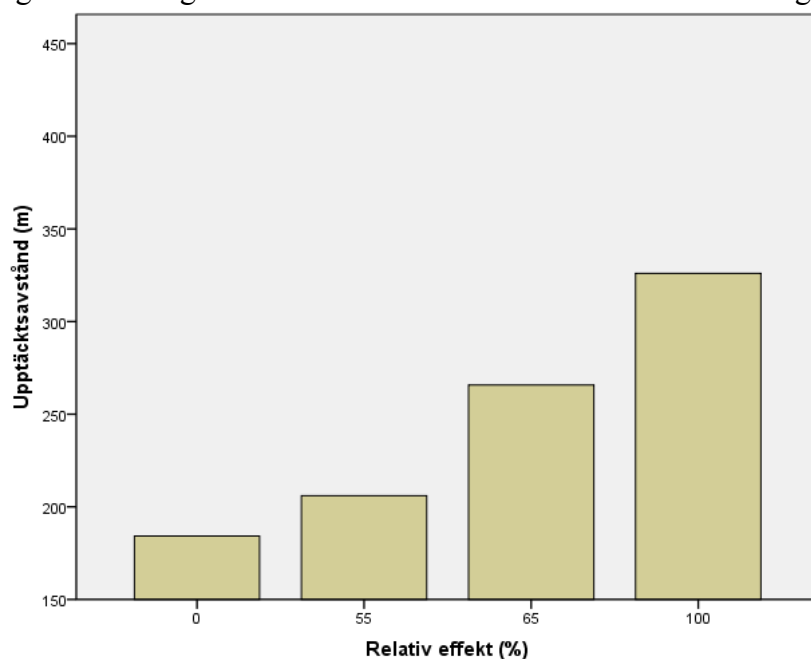
Figur 17 Upptäcktsavstånd till en ljusgrått klädd fotgängare placerad mitt i egna körfältet 3 m bakom ljuskälla.



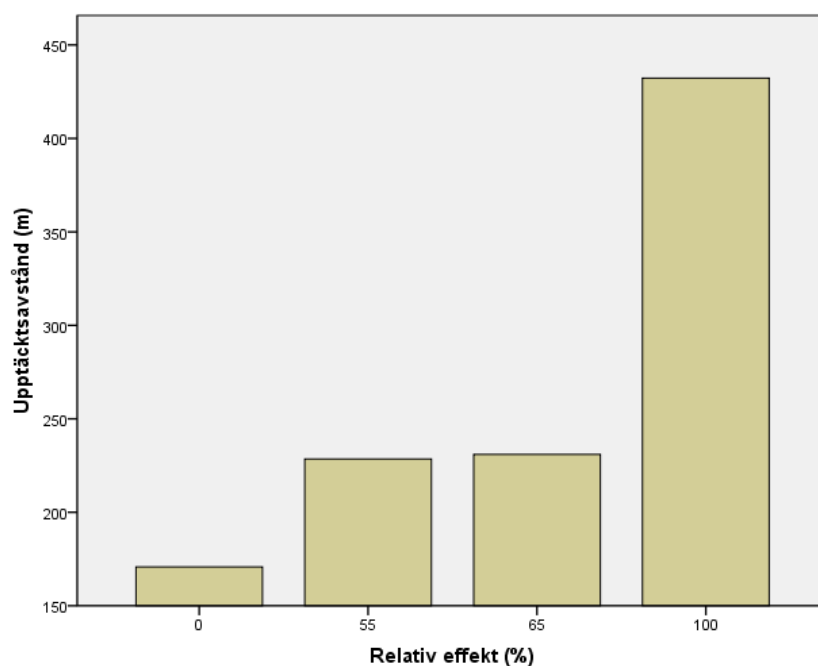
Figur 18 Upptäcktsavstånd till en ljusgrått klädd fotgängare placerad mitt i egna körfältet mitt mellan två ljuskällor.

6.3.2 Upptäcktsavstånd till en svartklädd fotgängare

Figur 19 och figur 20 visar motsvarande för en mörkt klädd fotgängare.



Figur 19 Upptäcktsavstånd till en svartklädd fotgängare placerad mitt i egna körfältet 3 m bakom ljuskälla.



Figur 20 Upptäcktsavstånd till en svartklädd fotgängare placerad mitt i egna körfältet mitt mellan två ljuskällor.

Det är tydligt att de kortaste upptäcktsavstånden registrerades då belysningen var släckt. Då belysningen är tänd finns det ett svagt, inte signifikant ($p > .05$) samband mellan effekten och upptäcktsavståndet. Ett rimligt antagande är att upptäcktsavståndet i första hand inte beror på fotgängarens luminans, utan på bakgrundsluminansen.

7 Diskussion och slutsatser

Resultaten som redovisas i detta notat skiljer sig från de tidigare rapporterade i Ramböll Rapport 2008-12-10 (Lundkvist, 2008), men förhållandena skiljde sig också åt: I det tidigare försöket, på lv 276, fanns inga upprättstående föremål omedelbart bakom fotgängaren. Detta innebar att bakgrundens luminans var konstant låg. I den första pilotstudien i Göteborg däremot, utfördes försöket på en stadsgata där vegetation och byggnader tillsammans med trottoaren bildade bakgrund. Ljusheten hos de vertikala ytor som delvis bildade bakgrund kom att variera med vägyteluminansen, vilket innebar att en ökad luminans på fotgängaren inte nödvändigtvis kom att öka kontrasten mellan denne och bakgrunden. Detta har sannolikt bidragit starkt till det förhållandevis svaga sambandet mellan belysningsstyrka och upptäcktsavstånd.

I det första försöket användes två positioner för fotgängaren, en strax bakom en ljuskälla och en mitt mellan två ljuskällor, i båda fallen på trottoaren. Den första positionen kan sägas representera en fotgängare som står i begrepp att gå över gatan där belysningsnivån är hög, medan den andra speglar en fotgängare som ska passera gatan där det är som sämst ljusbetingelser.

För en ljusst klädd fotgängare nära en ljuskälla, står det klart att vägbelysningen innebär bättre synbarhet. Däremot verkar luminansnivån spela mindre roll: oavsett vägyteluminansen så är upptäcktsavstånden 80–90 meter i vägbelysning, medan den är under 70 meter med släckt belysning. En mörkt klädd fotgängare i samma position har kortare upptäcktsavstånd, 50–65 meter.

Beträffande en fotgängare mitt mellan två ljuskällor så har denne kort upptäcktsavstånd vid den högsta vägyteluminansen. Detta kan endast förklaras med att inte endast fotgängaren, utan också bakgrunden är ljus, vilket ger en låg kontrast och därmed dålig synbarhet.

Generellt kan inte sägas att hög vägyteluminans ger långt upptäcktsavstånd. Detta är en indikation på att belysningsnivån kan sänkas utan att trafiksäkerheten för fotgängare försämras. Emellertid ger helt släckt vägbelysning ofta kortare upptäcktsavstånd.

Beträffande luminansjämnheten, så finns en klar tendens till att låg luminansjämnhet ger längre upptäcktsavstånd då fotgängaren står strax bakom ljuskällan.

Det måste åter understrykas att resultaten i undersökningen är osäkra, men att ändå två viktiga effekter har kunnat fastställas med statistisk säkerhet:

- Ljust hinder strax bakom en ljuskälla har längre upptäcktsavstånd med vägbelysning än utan. Detta gäller oavsett belysningsnivån.
- Ljust hinder strax bakom en ljuskälla har längre upptäcktsavstånd då luminansjämnheten är låg.

Slutsatsen man kan dra från detta experiment är att vägbelysningen oftast förbättrar upptäckbarheten av fotgängaren, men att dess belysningsnivå har mindre betydelse. Det finns snarare en tendens till att en hög vägyteluminans innebär kortare upptäcktsavstånd. Beträffande luminansjämnheten, så finns en tendens till att låg luminansjämnhet ger långa upptäcktsavstånd. Detta gäller främst då fotgängaren står nära ljuskällan och kan då förklaras av att denne syns i positiv kontrast eftersom bakgrunden delvis är mörk om luminansjämnheten är låg.

Mätningarna i den första studien har gjorts i en realistisk situation där en fotgängare står på trottoaren i begrepp att passera gatan. Detta har inneburit att bakgrunden inte var

homogen, vilket sannolikt har gett resultat som ibland kan vara svåra att förklara. Mätningarna visar på hur komplex situationen i vägbelysning är med ett samspel mellan fotgängarens klädsel, position i förhållande till ljuskällorna och bakgrund.

Den andra studien beskriver inte någon realistisk situation: Fotgängaren står mitt i körfältet på en lång raksträcka och möten förekommer inte. Detta kan möjligen betraktas som en optimal situation, dvs. längre upptäcktsavstånd än så kan man inte förväntas registrera. Tillsammans har de två ovan beskrivna försöken givit erfarenheter som gör att metoden i ett huvudförsök kan fastställas:

- Objekten som ska upptäckas ska, av praktiska skäl, vara människor, inte attrapper.
- Fotgängarens position ska vara dels strax bakom en ljuskälla, dels mitt mellan två ljuskällor.
- I båda fallen ska positionen vara på trottoaren.
- Den vertikala belysningsstyrkan mot fotgängaren är sannolikt mer avgörande för upptäckbarheten än vägytans luminans.
- Mötessituation ska studeras.

Referenser

Keppel, G., *Design & Analysis. A reseacher's handbook*, University of California, Berkely, Ca., 1982.

Lundkvist, S-O., *Fotgängares synbarhet i vägbelysning*, Ramböll Rapport 2008-12-10, Linköping, 2008.

Vägverket & Svenska Kommunförbundet, *Vägar och Gators Utformning (VGU)*, VV Publikation 2004:80, Borlänge, 2004.

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.

