



# Vägbelysningens betydelse för fotgängares synbarhet i mörker

Sven-Olof Lundkvist  
Sara Nygårdhs



<b>Utgivare:</b>   581 95 Linköping	<b>Publikation:</b> <b>VTI rapport 751</b>		
<b>Författare:</b> Sven-Olof Lundkvist och Sara Nygårdhs	<b>Utgivningsår:</b> 2012	<b>Projektnummer:</b> 40839	<b>Dnr:</b> 2010/0166-26
	<b>Projektnamn:</b> Fotgängares synbarhet i vägbelysning som funktion av vägytans medelluminans och luminansjämnhet.		
	<b>Uppdragsgivare:</b> Trafikverket		
<b>Titel:</b> Vägbelysningens inverkan på fotgängares synbarhet i mörker			
<b>Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord:</b>  Fotgängares synbarhet i vägbelysning har registrerats i en fullskalig mätserie. Synbarheten har kvantifierats med upptäcktavstånd till en fotgångare som står i begrepp att korsa en gata vilket har mätts med sex försökspersoner som suttit som passagerare i en personbil. Två fotgångare har stått längs en gata och försökspersonernas enda uppgift var att med en tryckknapp registrera då de upptäckte en fotgångare som stod i begrepp att korsa gatan. Försöksplatsen låg i ett industriområde med ingen eller obetydlig annan trafik, varför mätningarna kunde genomföras utan möten eller andra störningar.  Mätningar gjordes i fyra belysningsbetingelser: 100 % eller 65 % effekt på samtliga ljuskällor, 100 % på varannan ljuskälla med varannan släckt samt slutligen helt utan vägbelysning. På så sätt uppnåddes medelluminanserna på vägytan 1,0; 0,5 och 0,0 cd/m <sup>2</sup> för luminansjämnheten 0,4 samt luminansjämnheten 0,0 och 0,4 för medelluminansen 0,5 cd/m <sup>2</sup> . Fotgängarens klädsel var endera ljusgrå eller svart och positionen längs vägen endera strax bakom en ljuskälla eller mitt emellan två ljuskällor.  Varje försöksperson mättes två eller fyra gånger i varje betingelse. De oberoende variablerna var således belysningsbetingelse, klädsel och position enligt ovan, medan beroende variabel alltid var upptäcktavståndet.			
<b>Nyckelord:</b> synbarhet, fotgångare, vägbelysning, vägyteluminans			
<b>ISSN:</b> 0347-6030	<b>Språk:</b> Svenska	<b>Antal sidor:</b> 42 + 1 bilaga	

<b>Publisher:</b>   SE-581 95 Linköping Sweden	<b>Publication:</b> <b>VTI rapport 751</b>		
	<b>Published:</b> 2012	<b>Project code:</b> 40839	<b>Dnr:</b> 2010/0166-26
	<b>Project:</b> The influence of average road surface luminance and luminance uniformity on the visibility of pedestrians in road lighting		
<b>Author:</b> Sven-Olov Lundkvist, Sara Nygårdhs	<b>Sponsor:</b> Swedish Transport Administration		
<b>Title:</b> The influence of road lighting on the visibility of pedestrians			
<b>Abstract (background, aim, method, result) max 200 words:</b>  <p>The visibility of pedestrians has been measured in a full-scale field experiment. The visibility was quantified by the detection distance to pedestrian who is about to cross a street. Six subjects, sitting as passengers in a Volvo, were used for registering the detection distances. Two pedestrians were standing on the pavement along a street and the subject's only task was to push a button when they could detect a pedestrian. The test site was located in an industrial area with no or little traffic, and consequently, the measurements could be accomplished without any disturbance from oncoming vehicles.</p> <p>Four illumination conditions were used: 100 % or 65 % of full effect on every light source, 100 % on every second light source, the others switched off, and finally no road lighting at all. In these lighting conditions the average luminance of the road surface turned out to be 1.0; 0.5 and 0.0 cd/m<sup>2</sup> with the luminance uniformity 0.4. Furthermore, the luminance uniformity was 0.4 and 0.0 at the average luminance 0.5 cd/m<sup>2</sup>. The clothing of the pedestrian was either light-grey or black. The pedestrian's position along the road was either 5 metres behind a light source or half-way between two light sources.</p> <p>Every subject registered every condition two or four times. The independent variables were lighting condition, clothing and position along the road. The only dependent variable was the detection distance.</p>			
<b>Keywords:</b> visibility, pedestrians, road lighting, road surface luminance			
<b>ISSN:</b> 0347-6030	<b>Language:</b> Swedish	<b>No. of pages:</b> 42 + 1 Appendix	

## Förord

Denna studie är i sin helhet finansierad av Trafikverket, där Peter Aalto har varit projektledare.

Fältdelen av studien har genomförts av Sara Nygårdhs, Harry Sörensen, Birgitta Thorslund, Jonas Ihlström och undertecknad, samtliga VTI.

Speciellt tack till Tore Gabrielsson som var ansvarig för de fysikaliska ljusmätningarna samt Björn Dramsvik, Svevia, som ansvarade för belysningsanläggningen.

Linköping maj 2012

*Sven-Olof Lundkvist*

## Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 2012-05-02 av Jan Andersson. Sven-Olof Lundkvist har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2012-05-09. Projektledarens närmaste chef, Jan Andersson, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2012-05-11.

## Quality review

Internal/external peer review was performed on 2 May 2012 by Jan Andersson. 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 11 May 2012.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	5
Summary .....	7
1 Bakgrund och syfte .....	9
2 Sammanfattande resultat från pilotstudierna .....	10
3 Teori och hypoteser .....	11
4 Huvudförsöket.....	13
4.1 Metod.....	13
5 Analys .....	15
5.1 Luminansnivåer .....	15
5.2 Luminansjämnhet .....	16
6 Resultat.....	17
6.1 Medelluminans.....	17
6.2 Luminansjämnhet .....	26
6.3 Effekten av vägbelysning jämfört med endast fordonsbelysning .....	34
6.4 Samband mellan fotgängarens luminans och synbarhet .....	35
6.5 Kommentarer till resultaten .....	37
7 Slutsatser och diskussion .....	39
Referenser.....	42





## Vägbelysningens betydelse för fotgängares synbarhet i mörker

av Sven-Olof Lundkvist och Sara Nygårdhs

VTI

581 95 Linköping

### Sammanfattning

Fotgängares synbarhet i vägbelysning har registrerats i en fullskalig mätserie. Synbarheten har kvantifierats med upptäcktsavstånd till en fotgängare som står i begrepp att korsa en gata vilket har mätts med sex försökspersoner som suttit som passagerare i en personbil. Två fotgängare har stått längs en gata och försökspersonernas enda uppgift var att med en tryckknapp registrera då de upptäckte en fotgängare som stod i begrepp att korsa gatan. Försöksplatsen låg i ett industriområde med ingen eller obetydlig annan trafik, varför mätningarna kunde genomföras utan möten eller andra störningar.

Mätningar gjordes i fyra belysningsbetingelser: 100 % eller 65 % effekt på samtliga ljuskällor, 100 % på varannan ljuskälla med varannan släckt samt slutligen helt utan vägbelysning. På så sätt uppnåddes medelluminanserna på vägytan 1,0; 0,5 och 0,0 cd/m<sup>2</sup> för luminansjämnheten 0,4 samt luminansjämnheten 0,0 och 0,4 för medelluminansen 0,5 cd/m<sup>2</sup>. Fotgängarens klädsel var endera ljusgrå eller svart och positionen längs vägen endera strax bakom en ljuskälla eller mitt emellan två ljuskällor.

Varje försöksperson mättes två eller fyra gånger i varje betingelse. De oberoende variablerna var således belysningsbetingelse, klädsel och position enligt ovan, medan beroende variabel alltid var upptäcktavståndet.

Resultaten kan sammanfattas enligt följande:

- Upptäcktavståndet till en fotgängare på trottoaren ökar med ökad medelluminans om luminansjämnheten är oförändrad.
- Upptäcktavståndet till en fotgängare på trottoaren ökar med ökad luminansjämnhet om medelluminansen är oförändrad. Detta gäller dock inte en fotgängare klädd i ljusgrått som står mitt emellan två ljuskällor.
- En svartklädd fotgängare syns på längre avstånd än en fotgängare klädd i ljusgrått.
- Vägbelysning med god luminansjämnhet och medelluminans minst 0,5 cd/m<sup>2</sup> ger mer än 50 % förlängt upptäcktavstånd till en svartklädd fotgängare jämfört med ingen vägbelysning alls.
- Om en viss summa pengar är avsatt till belysning kan det finnas skäl att överväga belysning av en längre sträcka med lägre belysningsnivå än en kortare sträcka med hög nivå.

Eftersom endast sex försökspersoner, unga människor utan synfel, har använts ska resultatet tolkas i termer av relativa, inte absoluta, upptäcktavstånd. För att mäta absoluta avstånd skulle ett betydligt större antal personer behövt ingå i experimentet, vilket av praktiska och ekonomiska skäl var omöjligt.

Det bör understrykas att ett förlängt upptäcktavstånd inte nödvändigtvis är lika med mindre risk för olycka mellan motorfordon och fotgängare. Sannolikt tas en del av de förbättrade synbetingelserna ut av bilföraren i höjd hastighet, vilket borde undersökas i en kommande studie.



## **The influence of road lighting on the visibility of pedestrians**

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

### **Summary**

The visibility of pedestrians has been measured in a full-scale field experiment. The visibility was quantified by the detection distance to a pedestrian who is about to cross a street. Six subjects, sitting as passengers in a Volvo, were used for registering the detection distances. Two pedestrians were standing on the pavement along a street and the subjects' only task was to push a button when they could detect a pedestrian. The test site was located in an industrial area with no or little traffic, and consequently, the measurements could be accomplished without any disturbance from oncoming vehicles.

Four illumination conditions were used: 100 % or 65 % of full effect on every light source, 100 % on every second light source, the others switched off, and finally no road lighting at all. In these lighting conditions the average luminance of the road surface turned out to be 1.0; 0.5 and 0.0  $\text{cd/m}^2$  with the luminance uniformity 0.4. Furthermore, the luminance uniformity was 0.4 and 0.0 at the average luminance 0.5  $\text{cd/m}^2$ . The clothing of the pedestrian was either light-grey or black. The pedestrian's position along the road was either 5 metres behind a light source or half-way between two light sources.

Every subject registered every condition two or four times. The independent variables were lighting condition, clothing and position along the road. The only dependent variable was the detection distance.

The results are summarized as follows:

- The detection distance to a pedestrian standing on the pavement increases with increasing average luminance of the road surface if the luminance uniformity is constant.
- The detection distance to a pedestrian standing on the pavement increases with increasing luminance uniformity if the average luminance is constant. However, this does not apply if the pedestrian's position is half-way between two light sources and the clothing is light-grey.
- A pedestrian dressed in black has longer detection distance than pedestrian using light-grey clothing.
- Road lighting with good uniformity and an average luminance at least 0.5  $\text{cd/m}^2$  leads to more than 50 % increasing detection distance compared to no stationary lighting at all.
- If a certain amount of money will be used for road lighting, it might be better to light up a long distance with low light level than a short distance with high level.

As only six subjects, young people without any visual defect, were used the results must be interpreted in terms of relative, not absolute, detection distances. Absolute distances can be obtained only if a large number of subjects are used, which was impossible due to practical reasons and costs.

It must be stressed that an increase in detection distance is not necessarily the same as reduction in risk of accident between pedestrian and motor vehicle: Probably, at least a part of the improved visibility conditions is compensated for by higher traffic speed. This problem should be investigated in a future study.

## 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). Detta har föranlett att Trafikverket har beviljat medel för studium av fotgängares synbarhet i vägbelysning. Två pilotstudier har redovisats tidigare i VTI notat 21-2011. Föreliggande rapport redovisar resultatet från huvudförsöket.

Syftet med huvudförsöket var att studera synbarhetsavstånden till fotgängare som står i begrepp att korsa en gata relaterade till vägytans medelluminans och luminansjämnhet. Resultatet ska ligga till grund för en eventuell revidering av Trafikverkets Krav på Vägutformning – delen vägbelysning.

## 2 Sammanfattande resultat från pilotstudierna

**I den första pilotstudien** placerades två simulerade fotgängare på en trottoar, som om de stod i färd med att korsa gatan. Dessa ”fotgängare” bestod av platta, matta masonit-skivor, den ena ljusgrå och den andra mörkgrå. En placerades strax bakom en ljuskälla och den andra mitt emellan två armaturer. Sammanlagt registrerade fem försökspersoner upptäcktsavstånden till ”fotgängarna” medan de satt som passagerare i en personbil. Mätningar gjordes i de ungefärliga medelluminansnivåerna 1; 0,5; 0,35 och 0 cd/m<sup>2</sup>. Vid nivåerna 0,5 och 0,35 cd/m<sup>2</sup> gjordes dessutom mätningar vid luminansjämnheten 0,4 och 0,0.

Resultaten blev ganska svårtolkade eftersom vald ljushet på kläderna innebar att kontrasten mellan fotgängare och bakgrund blev mycket låg; ibland svagt negativ och ibland svagt positiv. Detta gav ganska korta upptäcktsavstånd, ca 50–80 meter i vägbelysning och 60–70 meter då vägbelysningen var släckt, dvs. i halvljus. Analysen visade att den ljusgrå fotgängaren hade något längre upptäcktsavstånd i vägbelysning än i halvljus, men att nivån på vägbelysningen (vägytans medelluminans) var av underordnad betydelse. För den mörkgrå fotgängaren var resultaten svårtolkade, vilket förklaras av att kontrasten mot den mörka bakgrunden var mycket nära 0. Detta innebar att denna fotgängare egentligen syntes först då fordonets halvljus nådde fram – på avstånden 55–65 meter.

De två nivåerna på luminansjämnheten visade inte heller på några stora skillnader i upptäcktsavstånd; dock fanns en tendens till längre upptäcktssträckor vid låg luminansjämnhet än vid hög.

Generellt kan sägas att valet av hindrens (fotgängarnas) ljushet var olycklig i denna första pilotstudie. De två grå nyanserna visade sig ge en mycket låg kontrast mot bakgrunden – ibland positiv och ibland negativ, vilket gjorde att resultaten var svåra att tolka. Med detta som bakgrund valdes ett ljusare och ett mörkare tyg att användas i huvudförsöket.

**Den andra pilotstudien** syftade till att studera synbarheten av hinder i själva körbanan, dvs. upptäcktsavståndet till en fotgängare som redan har lämnat trottoaren. Detta mycket begränsade experiment visade på långa synbarhetsavstånd som måste anses vara optimala och låg i området 100–400 meter.

Det ska understrykas att båda pilotförsöken är gjorda på torra vägbanor, utan möte. Tidigare mätningar av upptäckt av hinder placerade i en position som liknade den vänstra trottoaren visade att ett möte förväntas reducera avståndet med 20–30 % [rapport 379]. Vidare har mätningar av upptäcktsavstånd till cyklisterna i vägbelysning visat på ca 10 % längre avstånd på våta vägbanor [rapport 691A]. Alltför långtgående slutsatser ska inte dras av den sistnämnda studien, men en mycket grov skattning kan vara att våta vägbanor inte påverkar synbarheten av fotgängare radikalt. Detta gör upptäcktsavstånden i våta och med möte kan skattas vara i samma storleksordning eller något kortare än under de betingelser som rådde vid de två pilotstudierna (och även i huvudstudien). Detta innebär en grov skattning av synavståndet till en fotgängare på trottoaren i sämsta fall skulle vara 35–50 meter.

### 3 Teori och hypoteser

Belysningsstyrkan,  $E$  [lx], vid en yta kan approximativt skrivas som

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \gamma$$

där  $I$  [cd] är ljusstyrkan från ljuskällan i riktning mot en punkt på ytan,  $r$  [m] avståndet från ljuskällan till punkten på ytan och  $\gamma$  [grader] vinkeln mellan normalen till ytan och belysningsriktningen. Vinkeln mellan vägytans normal och belysningsriktningen är ofta ganska liten, varför  $\cos \gamma$  är nära 1. Däremot blir vinkeln mellan en vertikal yta och belysningsriktningen vanligen stor, varför belysningsstyrkan mot fotgängaren blir liten.

Om den vertikala ytan (fotgängaren) kan anses vara diffust reflekterande blir dennes luminans,  $L_{fotg}$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$$L_{fotg} = \frac{E_{fotg} \cdot \rho}{\pi}$$

där  $E_{fotg}$  är den vertikala belysningsstyrkan vid fotgängaren och  $\rho$  är klädselns reflektans.

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

$$L_{väg} = E_{väg} \cdot Qd,$$

Av ovanstående följer att en fotgängare klädd i svart oftast syns i negativ kontrast, dvs. som en siluett mot en ljus bakgrund. Ju ljusare denna bakgrund är, desto större blir kontrasten, vilket innebär bra synbarhet.

En ljust klädd fotgängare kan ha en både positiv eller negativ kontrast och i värsta fall vara nära 0, vilket ger dåliga synbetingelser.

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

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

**Lägsta luminansen**,  $L_{min}$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]: 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 långsgående 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 istället för luminansen.

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

Dessa två hypoteser har testats i ett fullskaligt synbarhetsförsök i september 2011.



## 4 Huvudförsöket

### 4.1 Metod

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 medelluminansen 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.

Med erfarenheterna från de två pilotstudierna, användes följande metod och betingelser i ett huvudförsök 2011-09-27–09-29:

Liksom i pilotstudie 1 registrerades upptäckbarheten av fotgängare med sex försökspersoner som var passagerare i en personbil i två försöksserier. Bilen var en Volvo 940 med korrekt inställt halvljus. 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.

De två fotgängarna stod på trottoaren i en position som om de var i färd med att korsa gatan och avståndet mellan dem var så långt att inte båda kunde ses samtidigt. Emellertid var de vända med ryggen mot försökspersonerna och hade dessutom en huva, så att hela personen, från topp till tå, hade samma ljushet. I detta huvudförsök användes samma ljushet på kläderna som i pilotstudie 2, dvs. ljus, heltäckande klädsel med reflektansen  $\rho = 0,33 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$  och en mycket mörk heltäckande klädsel med  $\rho = 0,02 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ . Fortsättningsvis benämns dessa ”ljusgrå” respektive ”svart” klädsel.

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. För att erhålla säkra resultat gjordes mätning i varje betingelse med ljusgrå klädsel två gånger och fyra gånger med svart klädsel.

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

- Medelluminans – tre nivåer (1,0, 0,5 och 0,0  $\text{cd/m}^2$ )
- Luminansjämnhet – två nivåer (0,0 och 0,4)
- Fotgängarens klädsel – två nivåer (ljusgrå och svart)
- Fotgängarens position – två nivåer (strax bakom eller mitt emellan ljuspunkter.)

Medelluminansen och luminansjämnheten varierades i fyra steg enligt tabell 1.

Tabell 1 De fyra 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: full effekt på varannan lampa, övriga släckta	0,50	0,0
D: Samtliga lampor släckta	0,00	ej def.

Det ska påpekas att avståndet mellan ljuspunkterna av praktiska skäl inte kunde vara detsamma i betingelse C som i A och B: Enda möjligheten att uppnå luminansjämnheten 0 var att släcka varannan lampa, vilket innebar att ljuspunktsavståndet kom att vara 60 meter, mot 30 meter i betingelserna A och B.

De fyra oberoende variablerna flätades fullständigt och varje betingelse med mörk klädsel mättes fyra gånger och ljus klädsel två gånger. Detta kom att innebära sammanlagt 48 mätningar för var och en av sex försökspersoner; totalt 288 mätningar. För att balansera eventuella effekter av trötthet användes s.k. ABBA-rotation, dvs. betingelserna i tabell 1 mättes i ordningen A, B, C, D, D, C, B, A.

I försöket användes två fotgängare, en som stod 5 meter bakom en tänd armatur och en som stod mitt emellan två tända armaturer. Båda fotgängarna stod alltid i samma position, på trottoaren, nära körfältet, som om de stod i begrepp att korsa gatan. För att inte ansiktet skulle inverka på synbarheten var de emellertid vända med ryggen mot det annalkande försöksfordonet såsom visas i figur 1.



Figur 1 Försökspersonens position på trottoaren. Ljuskällan bakom fotgängarens huvud var släckt under mätningarna.

I samband med avståndsmätningarna gjordes även fysikalisk mätning av den horisontala och vertikala belysningsstyrkan vid försökspersonen samt belysningsstyrkan på vägytan.

## 5 Analys

Försöksupplägget var sådant att den beroende variabeln, upptäcktsavståndet, mättes för samtliga sex försökspersoner vid samtliga betingelser. Detta innebär att data analyseras med variansanalys, within-subject-design (repeated). I denna modell beräknas F-kvoten som

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_{A \times fp}} \quad (1)$$

där  $MS_A$  avser medelkvadratsumman för oberoende variabeln A och  $MS_{A \times fp}$  medelkvadratsumman för interaktionen mellan variabeln A och försöksperson,  $fp$ . Samtliga signifikanstest är gjorda på risknivån 5 %, även om signifikansgraden anges även för 10 % i tabellerna 2–7.

Effekternas storlek har skattats med  $\omega^2$ , vilken anger hur stor del av den totala variansen i experimentet som förklaras av variabeln A:

$$\omega_A^2 = \frac{SS_A - df_A \cdot MS_{A \times fp}}{SS_{tot} + MS_{A \times fp}} \quad (2)$$

där  $SS_A$  avser kvadratsumman för A,  $SS_{tot}$  experimentets totala kvadratsumma,  $MS_{A \times fp}$  medelkvadratsumman för interaktionen mellan A och  $fp$  och  $df_A$  antalet frihetsgrader för den oberoende variabeln A. Oberoende variabeln A är i denna studie ljusbetingelse, klädsel eller fotgängarens position.

Enligt Keppel (1982) kan en ungefärlig skattning av effekternas styrka vara:

$\omega^2 < 0,01$	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

Det skattade värdet på  $\omega^2$  är det mest sannolika värdet. Om effekten är signifikant ( $p < .05$ ) är  $\omega^2$  signifikant större än 0, d.v.s. effekten kan betraktas som sann. Då slutsatser dras från analysen ska man beakta att antalet mätningar är begränsade och att om en effekt som har skattats vara medelstark till stark, ändå inte är signifikant ( $p < .05$ ), kan detta bero på alltför få mätningar. I dessa fall kan ändå redovisas en tendens till effekt ( $p < .10$ ), även om den inte är statistiskt säkerställd på risknivån 5 %.

### 5.1 Luminansnivåer

För att testa upptäckbarheten vid olika medelluminans gjordes en variansanalys vid ljusbetingelserna A, B och D, dvs. vid de betingelser där luminansjämnheten inte var noll. Beroende variabel var upptäcktsavståndet (m), medan de oberoende variablerna var:

- Ljusbetingelse (medelluminans 1,0; 0,5 eller 0,0 cd/m<sup>2</sup>)
- Klädsel (ljusgrå eller svart)
- Fotgängarens position (5 m bakom ljuspunkt eller mitt emellan två ljuspunkter).

## 5.2 Luminansjämnhet

För att testa luminansjämnhetens påverkan gjordes en separat variansanalys med betingelserna B och C, dvs. vid samma medelluminansnivå. Beroende variabel var synavståndet (m) medan de oberoende variablerna var:

- Luminansjämnhet (0,4 eller 0,0)
- Klädsel (ljusgrå eller svart)
- Fotgängarens position (5 m bakom ljuspunkt eller mitt emellan två ljuspunkter)

Samtliga redovisade upptäcktavstånd är angivna i meter.

## 6 Resultat

### 6.1 Medelluminans

En inledande trevägs variansanalys visar på en signifikant trevägs interaktionseffekt. Detta ska tolkas som att upptäcktsavstånden har varit beroende av medelluminansen, men olika beroende på klädsel och fotgängarens position. Tabell 2 visar resultatet av den inledande variansanalysen. I bilaga 1 finns foton från samtliga betingelser.

Tabell 2 Trevägs variansanalys med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabler medelluminans (L), klädsel (K) och position (P).

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Medellum. (L)	5,79	0,025	0,09
Klädsel (K)	7,23	0,05	0,02
Fotg. pos. (P)	1,66	–	0,00
L×K	15,37	0,001	0,02
L×P	1,04	–	0,00
K×P	2,33	–	0,00
L×K×P	21,97	0,001	0,03

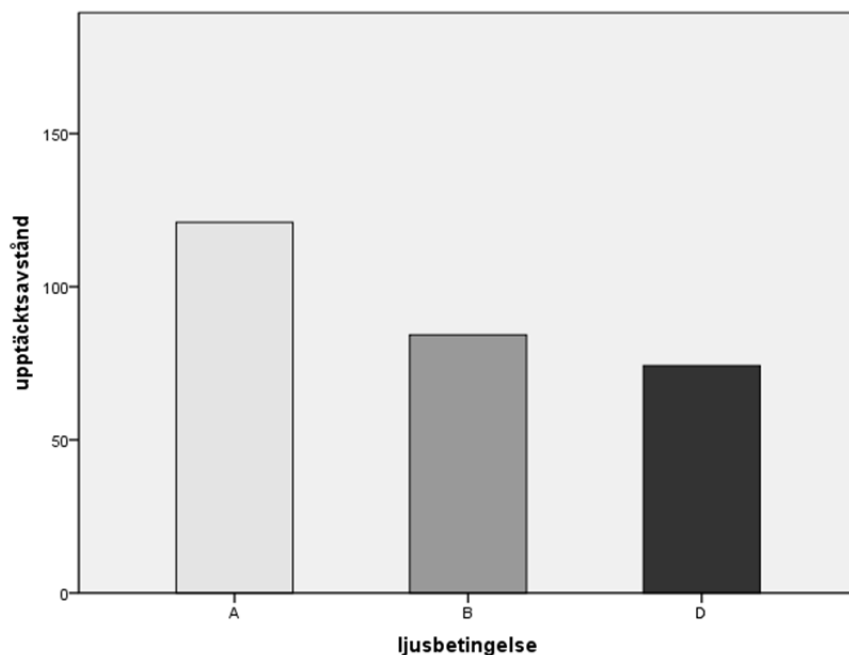
Den signifikanta trevägsinteraktionen i tabell 1 motiverar att upptäcktsavstånden redovisas separat för de fyra kombinationerna av klädsel och position, vilket figurerna 2–5 visar. För samtliga kombinationer av klädsel och position har post-hoc-test utförts med Scheffétest. I detta test är den kritiska F-kvoten

$$F_s = df_A \cdot F(df_A, df_{S \times A}) = 2 \cdot F(2,10)$$

Det kritiska  $F_s$  för skilda risknivåer kommer då att vara som tabell 3 visar.

Tabell 3 Kritiska värden på Scheffé's  $F_s$  för sex risknivåer.

$p <$	$F_s$
0,10	5,84
0,05	8,20
0,025	10,92
0,001	15,12
0,0025	18,86
0,0001	29,82



Figur 2 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i ljusgrått som har positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

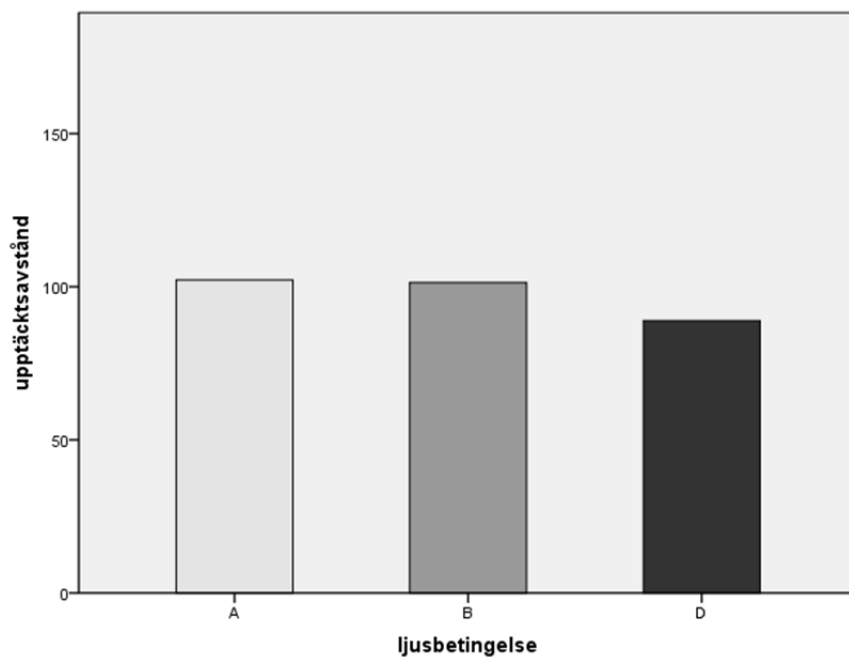
Effekten av ljusbetingelse som figur 2 visar är signifikant,  $F(2,10) = 26,13$ ,  $p < .0001$ , varför post-hoc-test utförs:

Tre Scheffétest med ljusbetingelserna A–B, A–D och B–D ger resultat enligt tabell 4.

Tabell 4 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Avser fotgängare klädd i ljusgrått i positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A–B	22,47	0,0025	0,40
A–D	31,03	0,0001	0,51
B–D	11,65	0,025	0,14

De tre variansanalyserna visar att de tre skillnaderna i upptäcktsavstånd i figur 3 är signifikanta ( $p < .05$ ) och att de kan skattas vara medelstarka till starka.

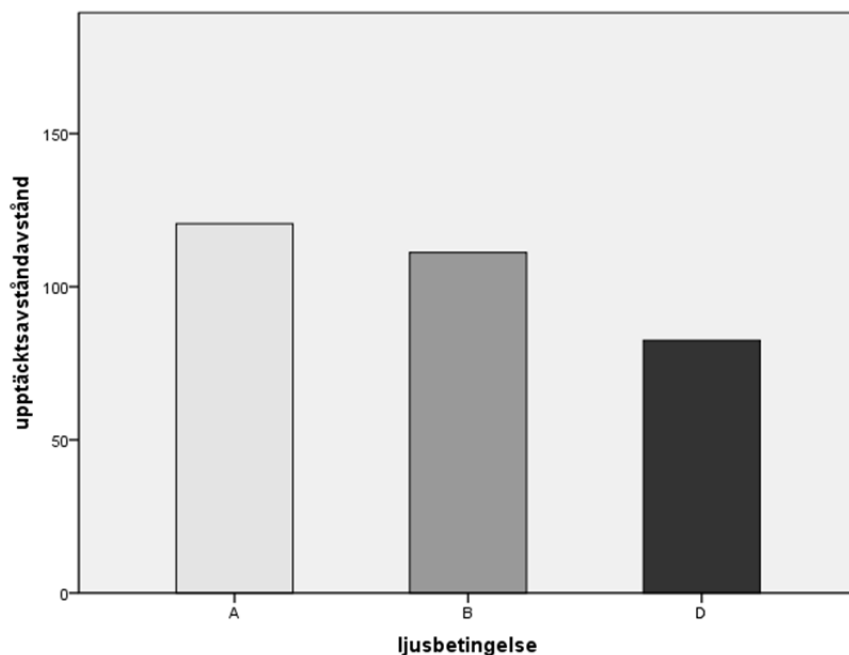


Figur 3 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i ljusgrått som har positionen *mitt emellan två ljuskällor*.

Variansanalys kan inte påvisa någon effekt av ljusbetingelse i figur 3,  $F(2,10) = 0,32$ ,  $p > .05$ , men för att erhålla en skattning av  $\omega^2$  görs ändå tre Scheffétest, vilka redovisas i tabell 5.

Tabell 5 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Avser *fotgängare klädd i ljusgrått i positionen mitt emellan två ljuskällor*.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-B	0,01	–	0,00
A-D	0,28	–	0,00
B-D	0,42	–	0,00



Figur 4 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i svart som har positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

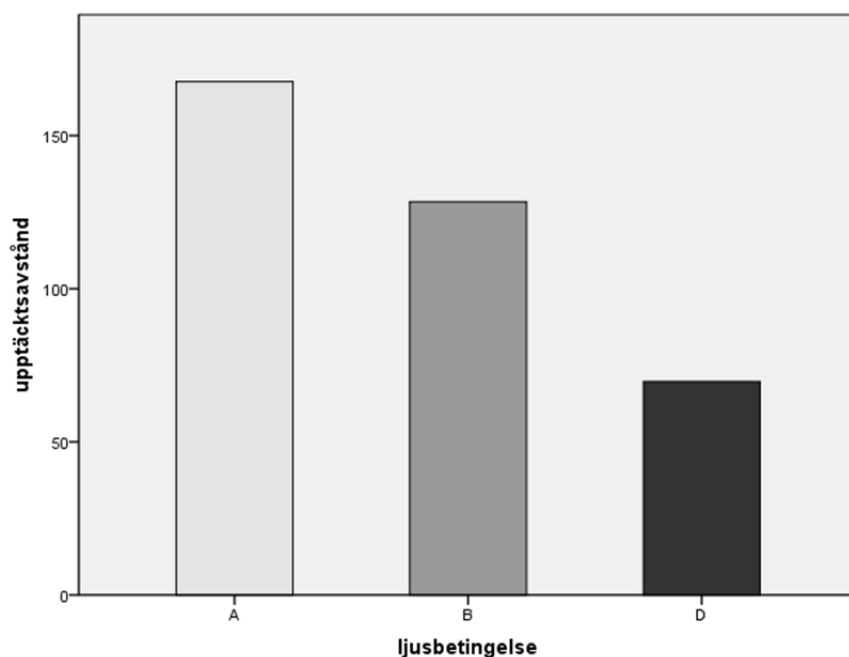
Effekten av ljusbetingelse som figur 4 visar är signifikant,  $F(2,10) = 4,25$ ,  $p < .05$ . Tre Scheffétest avseende resultaten i figur 4 med ljusbetingelserna A-B, A-D och B-D ger resultat enligt tabell 6.

Tabell 6 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Avser fotgängare klädd i svart i positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-B	1,52	–	0,00
A-D	4,41	–	0,13
B-D	4,92	–	0,11

Av tabell 6 framgår att ingen signifikant effekt har kunnat påvisas trots att åtminstone skillnaderna mellan upptäcktsavstånd med och utan vägbelysning (A-D och B-D) har varit ganska stora. Detta är en indikation på att försöket har varit i minsta laget för att analysen ska kunna brytas ner på denna nivå. Trots detta törs man dra slutsatsen att ljusbetingelse D med största sannolikhet ger kortare upptäcktsavstånd än betingelserna A och B.





Figur 5 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i svart som har positionen mitt emellan två ljuskällor.

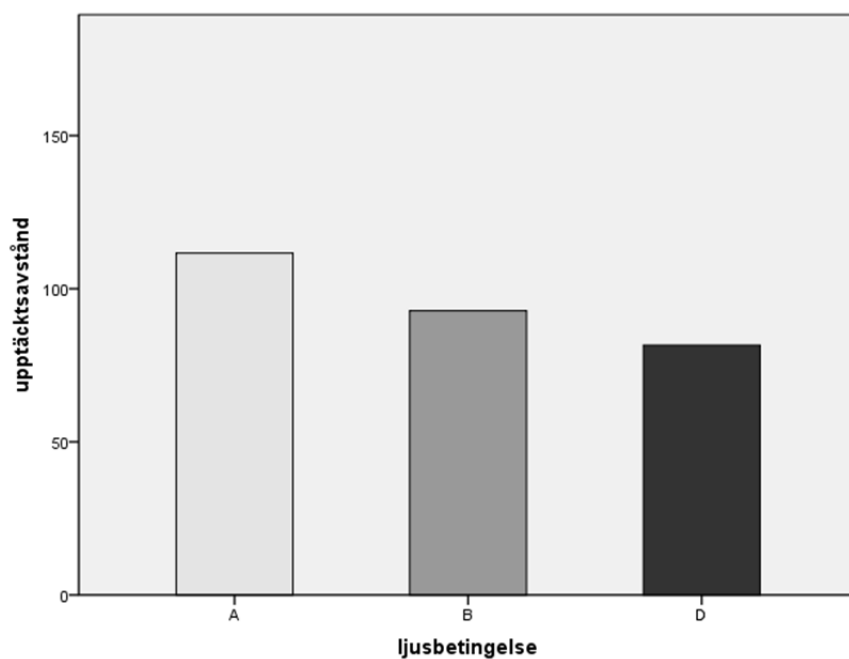
Effekten av ljusbetingelse som figur 5 visar är signifikant,  $F(2,10) = 9,71$ ,  $p < .005$ . Tre Scheffétest avseende resultaten i figur 5 med ljusbetingelserna A-B, A-D och B-D ger resultat enligt tabell 7.

Tabell 7 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Avser fotgängare klädd i svart i positionen mitt emellan två ljuskällor.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-B	9,95	0,05	0,06
A-D	11,59	0,025	0,32
B-D	6,65	0,10	0,25

Resultaten visar på två signifikanta effekter ( $p < .05$ ) och  $\omega^2$  indikerar att effekten av vägbelysning är stark. Skillnaden i upptäcktsavstånd mellan B och D är inte signifikant ( $p > .05$ ), men skattas som stark.

Resultaten i figurerna 2–5 och tabellerna 4–7 sammanfattas i figur 6–7 respektive tabell 8–9. Här redovisas medelvärden över fotgängarens position, strax bakom ljuskälla eller mitt emellan ljuskällor.

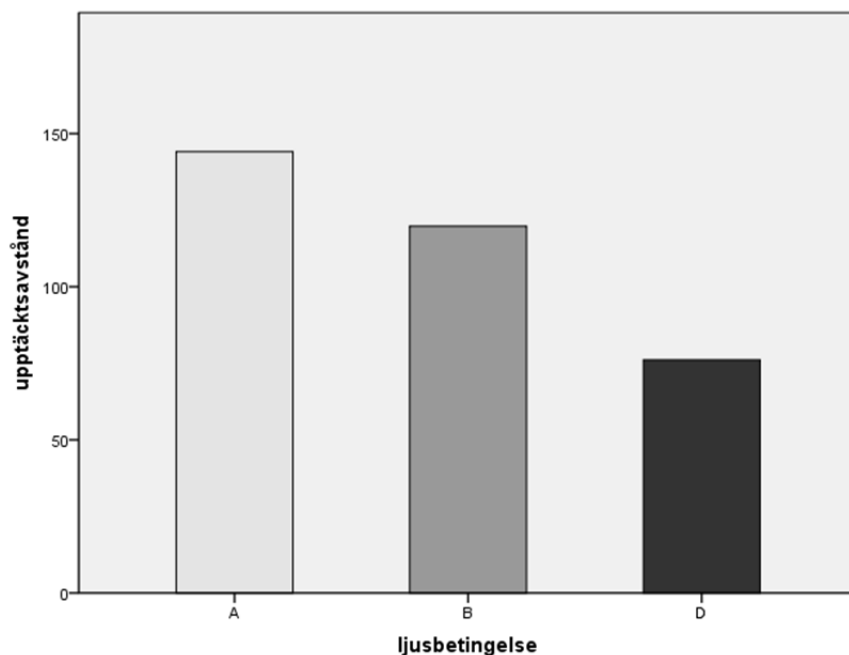


Figur 6 Upptäcktsavstånd till fotgängare klädd i ljusgrått vid tre medelluminansnivåer. Medelvärde över två positioner längs vägen.

Variansanalys kan inte påvisa någon effekt av ljusbetingelse i figur 6,  $F(2,10) = 3,29$ ,  $p > .05$ , men för att erhålla en skattning av  $\omega^2$  görs ändå tre Scheffétest, vilka redovisas i tabell 8.

Tabell 8 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Avser **fotgängare klädd i ljusgrått**. Medelvärde över två positioner.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-B	6,71	0,10	0,04
A-D	3,36	-	0,10
B-D	1,27	-	0,01



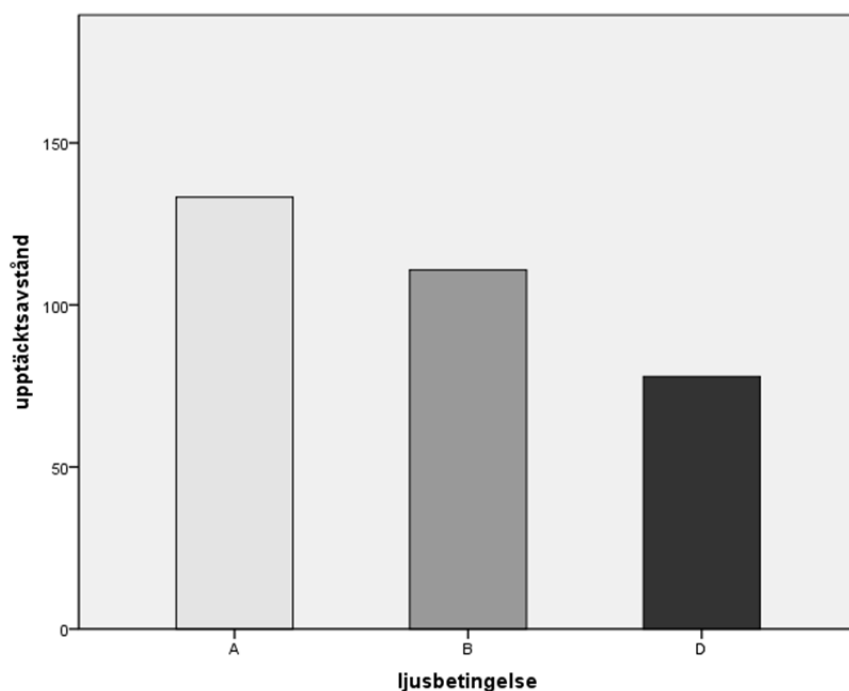
Figur 7 Upptäcktsavstånd till **fotgängare klädd i svart** vid tre medelluminansnivåer. Medelvärde över två positioner längs vägen.

Effekten av ljusbetingelse som figur 7 visar är signifikant,  $F(2,10) = 7,81$ ,  $p < .01$ . Tre Scheffétest avseende resultaten i figur 7 med ljusbetingelserna A-B, A-D och B-D ger resultat enligt tabell 9.

Tabell 9 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Avser **fotgängare klädd i svart**. Medelvärde över två positioner.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-B	7,26	0,10	0,03
A-D	8,74	0,05	0,22
B-D	6,33	0,10	0,19

Figur 8 och tabell 10 visar ett sammanfattande resultat, medelvärdesbildat över klädsel och ljushet.



Figur 8 Upptäcktsavstånd till fotgängare vid tre medelluminansnivåer. Medelvärde över klädelsens ljushet och position längs vägen.

Effekten av ljusbetingelse som figur 8 visar är signifikant,  $F(2,10) = 6,53$ ,  $p < .025$ . Tre Scheffétest avseende resultaten i figur 8 med ljusbetingelserna A–B, A–D och B–D ger resultat enligt tabell 10.

Tabell 10 Tre Scheffétest med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabel ljusbetingelse. Medelvärde över två ljusheter på kläder och två positioner.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A–B	7,91	0,10	0,03
A–D	7,11	0,10	0,18
B–D	4,98	-	0,13

Variansanalyserna i tabellerna 4–10 visar att mätning med sex försökspersoner var i minsta laget. Skulle antalet personer ha fördubblats, så hade förmodligen några, men knappast många, fler signifikanta effekter kunnat påvisas. En fördubbling av antalet försökspersoner skulle innebära  $F_s = 6,88$  för  $p < .05$  att jämföra med  $F_s = 8,20$  då sex personer mättes. Med ovan redovisade resultat skulle detta innebära att ytterligare två effekter skulle ha påvisats vara signifikanta. Först om antalet nivåer på den beroende variabeln, medelluminansen, också hade ökat, skulle ett betydande antal fler signifikanta effekter kunna erhållas. Att utöka denna variabel till fler än tre är dock svårt av tidsmässiga skäl, vilket den första pilotstudien visade.

Slutsatsen av ovanstående resonemang är att effekterna skattade styrka,  $\omega^2$ , i tabellerna 4–10, är av större vikt än signifikansnivåerna då resultaten ska tolkas. Det skattade  $\omega^2$  är

oberoende av antalet observationer, men precisionen visas av F-kvoten: En signifikant effekt visar att  $\omega^2$  är signifikant skild från noll.

Studerar man resultaten för en *fortgångare klädd i ljusgrått* så betyder positionen mycket för belysningens inverkan på synbarheten. Strax bakom ljuskällan är inverkan av ljusnivån stark, medan den i positionen mellan två ljuskällor är försumbar. Detta förklaras av att fotgångarens klädsel var så ljus att denne sågs i positiv kontrast. Fem meter bakom armaturen var belysningen mot fotgångaren stark och varierade kraftigt (1–13 lux) med de tre ljusbetingelserna. Däremot var den svag mellan två ljuspunkter och varierade i denna position endast mellan 1 och 3 lux. Kontrasten mellan fotgångare och bakgrund kom därför att bli liten och nästan oberoende av vägbelysningen. Sannolikt var det därför bakgrundsljuset och fordonets halvljus som kom att avgöra synbarheten.

Resultaten för en *fortgångare klädd i svart* är tydliga: Effekten av vägbelysning är stark och positiv, oberoende av fotgångarens position. Däremot är skillnaden i upptäcktsavstånd liten med avseende på belysningens styrka. Detta förmodas bero på att fotgångarens klädsel upplevs som mycket mörk mot bakgrunden. Utan vägbelysningen är även bakgrunden mycket mörk, men med vägbelysning syns fotgångaren som en siluett mot en ljus bakgrund.

Resultatet medelvärdesbildat över både klädsel och position visar att effekten av vägbelysning är medelstark. Däremot är effekten av luminansnivå - 1,0 eller 0,5 cd/m<sup>2</sup> - liten.

Resultaten sammanfattas även i tabell 11 och 12.

*Tabell 11 Relativa upptäcktsavstånd med och utan vägbelysning. Avståndet till upptäckt av fotgångare på gata utan vägbelysning har åsatts värdet 1,00.*

ljusstyrka	upptäcktsavstånd till fotgångare klädd i ljusgrått	upptäcktsavstånd till fotgångare klädd i svart	upptäcktsavstånd till fotgångare
ingen vägbelysning	1,00	1,00	1,00
65 % av full effekt	1,22	1,57	1,42
full effekt	1,37	1,89	1,71

*Tabell 12 Upptäcktsavstånd [meter] med och utan vägbelysning.*

ljusstyrka	upptäcktsavstånd till fotgångare klädd i ljusgrått	upptäcktsavstånd till fotgångare klädd i svart	upptäcktsavstånd till fotgångare
ingen vägbelysning	82	76	78
65 % av full effekt	93	120	111
full effekt	112	144	133

Tabell 11 avser således relativa upptäcktsavstånd av den anledningen att försöket inte var designat för att skatta absoluta avstånd; ett sådant försök skulle ha krävt betydligt fler försökspersoner och mätningar och en situation som innebär att försökspersonen kör

fordonet, inte sitter som passagerare. Ett sådant försök måste tyvärr anses vara orealistiskt att genomföra. Tabell 12 visar de uppmätta absoluta avstånden, vilka således måste tolkas med stor försiktighet. Möjligen kan de anses representera de maximala avstånd som kan uppnås, eftersom försökspersonerna var unga, utan synfel och inte hade någon köruppgift.

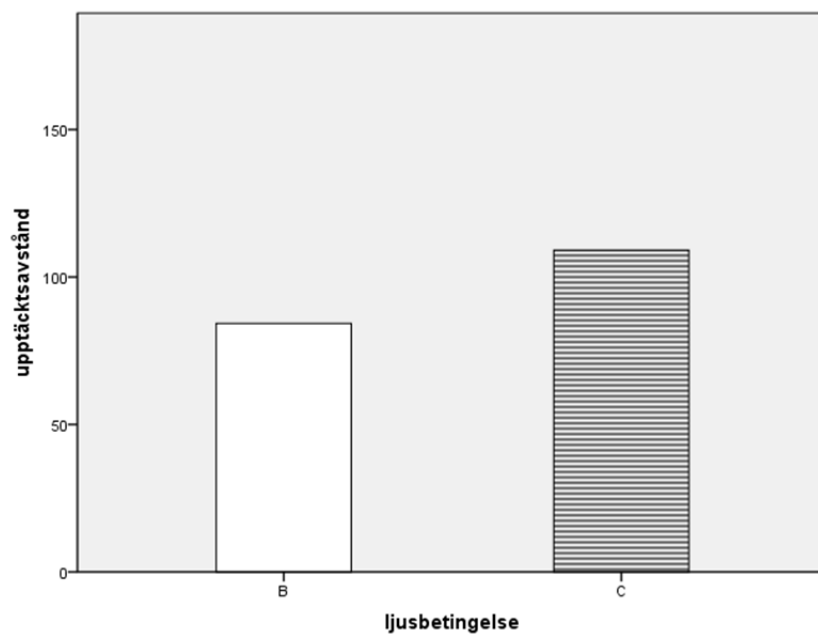
## 6.2 Luminansjämnhet

För att testa luminansjämnhetens påverkan gjordes en separat variansanalys med betingelserna B och C, dvs. vid luminansnivån  $0,5 \text{ cd/m}^2$  och luminansjämnheten 0,4 respektive 0,0. Beroende variabel var upptäcktsavståndet (m), medan luminansjämnheten, fotgängarens klädsel (ljus eller mörk) och dennes position (5 m bakom ljuskälla eller mitt emellan två ljuskällor) var oberoende variabler. En trevägs variansanalys enligt ovan visas i tabell 13. I bilaga 1 finns foton på samtliga betingelser.

*Tabell 13 Trevägs variansanalys med beroende variabel upptäcktsavstånd och oberoende variabler luminansjämnhet (J), klädsel (K) och position (P).*

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn. (J)	22,99	0,005	0,01
Klädsel (K)	4,29	0,10	0,04
Fotg. pos. (P)	0,00	–	0,00
J×K	2,95	–	0,00
J×P	27,73	0,005	0,03
K×P	7,81	0,05	0,02
J×K×P	18,45	0,01	0,02

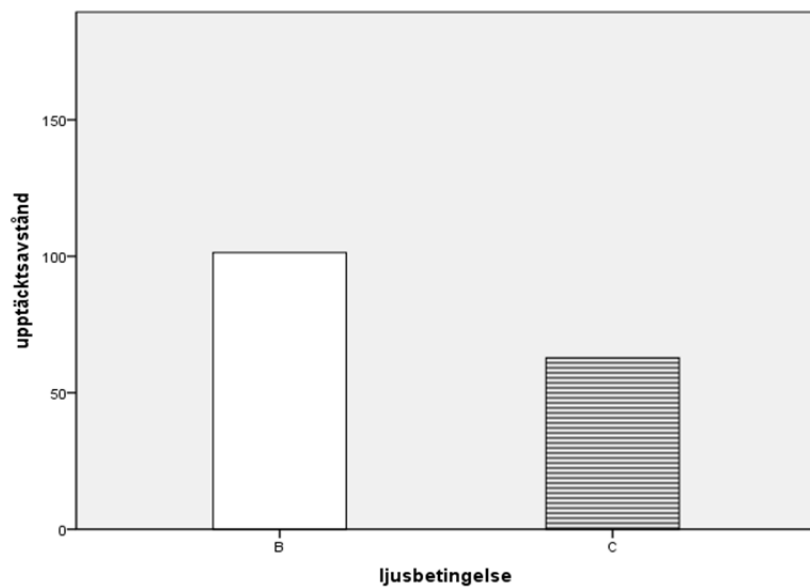
Resultatet av den trevägs variansanalysen liknar motsvarande i 6.1 och det utförs därför separata analyser för de fyra kombinationerna av klädselns ljushet och fotgängarens position. Detta visas i figurerna 9–12 och tabellerna 14–17.



Figur 9 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i ljusgrått som har positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

Tabell 14 Envägs variansanalys avseende en fotgängare klädd i ljusgrått i positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	16,88	0,01	0,28

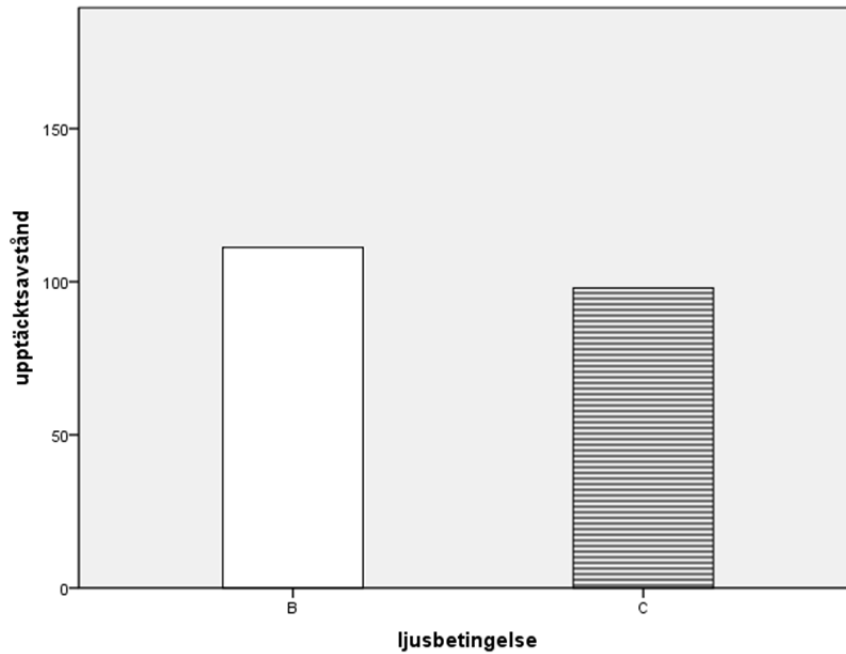


Figur 10 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i ljusgrått som har positionen *mitt emellan* två ljuskällor.

Tabell 15 Envägs variansanalys avseende en fotgängare klädd i ljusgrått i positionen *mitt emellan* två ljuskällor.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	17,12	0,01	0,17

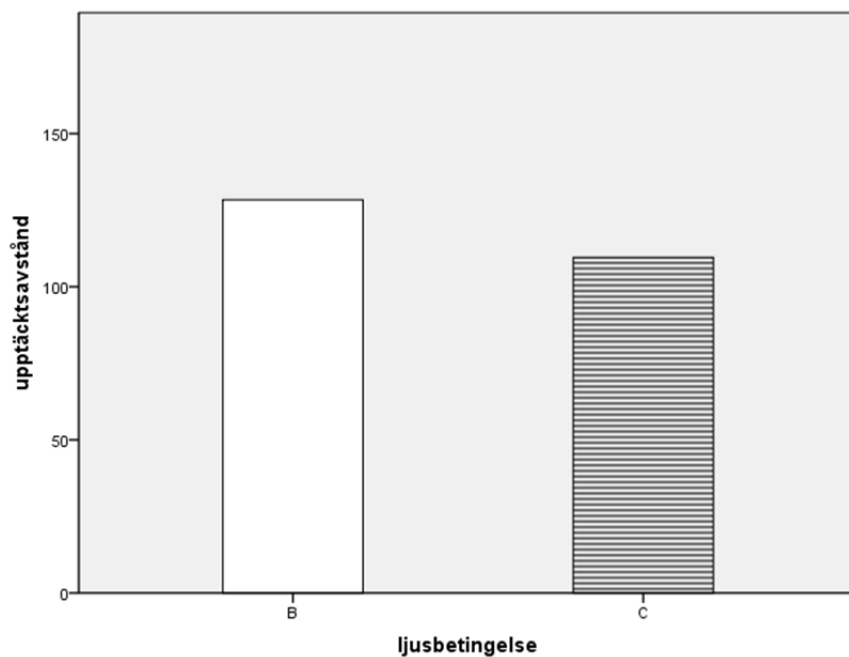




Figur 11 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i svart som har positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

Tabell 16 Envägs variansanalys avseende en fotgängare klädd i svart i positionen 5 meter bakom en ljuskälla.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	23,07	0,005	0,03



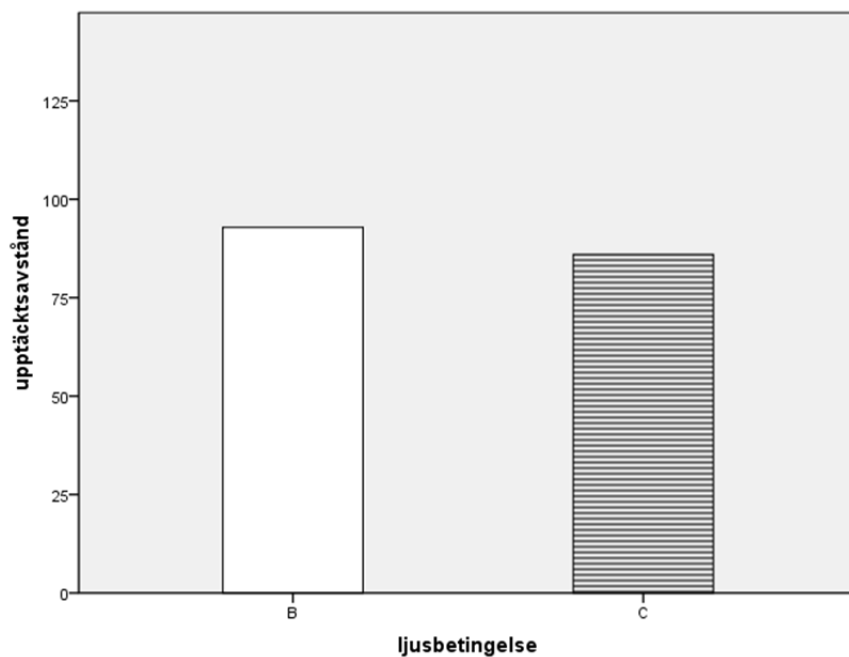
Figur 12 Upptäcktsavstånd till en fotgängare klädd i svart som har positionen *mitt emellan* två ljuskällor.

Tabell 17 Envägs variansanalys avseende en fotgängare klädd i svart i positionen *mitt emellan* två ljuskällor.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	34,51	0,005	0,03

Således har fyra effekter av luminansjämnheten kunnat påvisas; då fotgängaren var mörklädd var upptäcktsavståndet längre vid hög luminansjämnhet, oavsett fotgängarens position. Med ljus klädsel var upptäcktsavståndet kortare för hög luminansjämnhet, i positionen 5 meter bakom ljuskällan och det motsatta i positionen *mitt emellan* två ljuskällor.

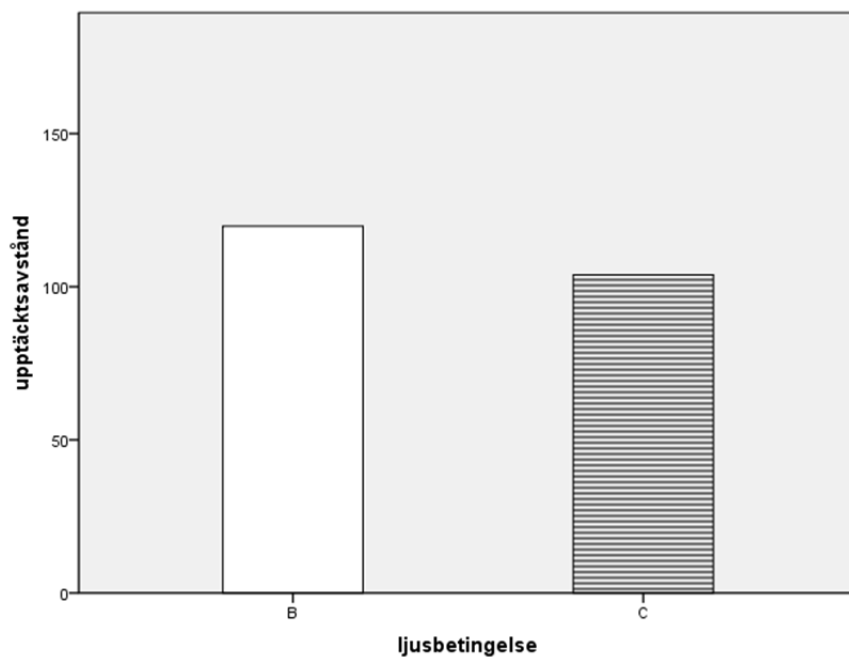
Figureorna 13 och 14 samt tabellerna 18 och 19 visar resultaten medelvärdesbildade över fotgängarens position.



Figur 13 Upptäcktsavstånd till **fo**tgångare klädd i ljusgrått. Medelvärde över två positioner.

Tabell 18 Envägs variansanalys avseende en **fo**tgångare klädd i ljusgrått. Medelvärde över två positioner.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	2,31	–	0,00

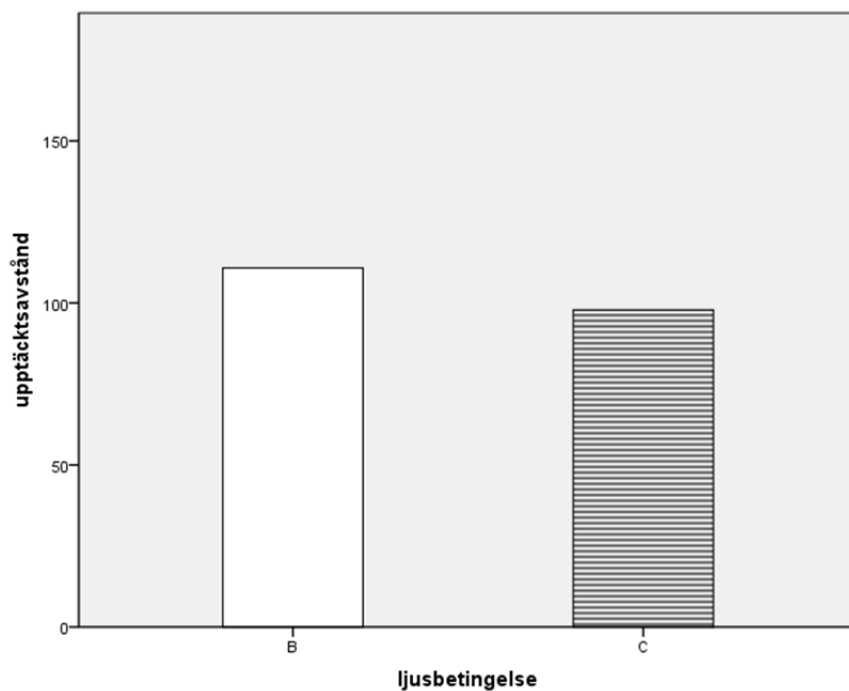


Figur 14 Upptäcktsavstånd till **fo**tgångare klädd i svart. Medelvärde över två positioner.

Tabell 19 Envägs variansanalys avseende en **fo**tgångare klädd i svart. Medelvärde över två positioner.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	39,62	0,005	0,03

Resultaten visar en svag positiv effekt av hög luminansjämnhet för en fotgångare klädd i svart, medan ingen effekt kan påvisas med ljusgrå kläder. Figur 15 och tabell 20 sammanfattar resultaten med en medelvärdesbildning över både fotgångarens klädsel och position.



Figur 15 Upptäcktsavstånd till fotgängare. Medelvärde över två ljusheter på klädsel och två positioner.

Tabell 20 Envägs variansanalys avseende fotgängare. Medelvärde över två ljusheter på klädsel och två positioner.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
Lum.jämn (J)	40,17	0,005	0,02

Resultatet visar att upptäcktsavståndet till en fotgängare är längre vid hög luminansjämnhet än vid låg. Effekten är emellertid svag. Tabell 21 visar de relativa upptäcktsavstånden och tabell 22 de uppmätta absoluta avstånden.

Tabell 21 Relativa upptäcktsavstånd vid två nivåer på luminansjämnhet. Avståndet vid upptäckt av fotgängare på gata med låg luminansjämnhet har åsatts värdet 1,00.

luminansjämnhet	upptäcktsavstånd till fotgängare klädd i ljusgrått	upptäcktsavstånd till fotgängare klädd i svart	upptäcktsavstånd till fotgängare
låg ( $U_0 = 0,0$ )	1,00	1,00	1,00
hög ( $U_0 = 0,4$ )	1,08	1,15	1,13

Tabell 22 Uppmätta upptäcktsavstånd [meter] vid två nivåer på luminansjämnhet.

luminansjämnhet	upptäcktsavstånd till fotgängare klädd i ljusgrått	upptäcktsavstånd till fotgängare klädd i svart	upptäcktsavstånd till fotgängare
låg ( $U_0 = 0,0$ )	86	104	98
hög ( $U_0 = 0,4$ )	93	120	111

Liksom tidigare ska de absoluta upptäcktsavstånden i tabell 22 betraktas som de längsta avstånden som kan uppnås.

### 6.3 Effekten av vägbelysning jämfört med endast fordonsbelysning

Resultaten i avsnitt 6.1 visar att en effektreducering till 65 % ger 17 % kortare upptäcktsavstånd. Vinsten med att använda full effekt är således inte stor och ett tänkbart scenario vid införande av vägbelysning är att man nöjer sig med den reducerade effekten, men belyser en längre sträcka än vad man skulle ha kunna gjort om full effekt hade använts.

Anta att medlen som är avsatta för elförbrukning är  $x$  kr och att dessa räcker för belysning av  $y$  km väg om full effekt används (betingelse A). Om man istället nöjer sig med 65 % av full effekt i varje ljuspunkt (betingelse B) kommer detta att räcka till  $1,54 \cdot y$  km väg. Slutligen, om endast varannan ljuspunkt används, men med full effekt, kommer den belysta sträckan att kunna vara  $2 \cdot y$ . Om beslut att avsätta  $x$  kr till vägbelysning, vilken strategi bör förordas: 100 % på  $y$  km väg, 65 % på  $1,54 \cdot y$  km väg eller 50 % på  $2 \cdot y$  km väg?

En inledande envägs variansanalys med ljusbetingelse som oberoende variabel, där klädsel och position ingår i variansen, ger  $F(3,15) = 6,56$ ,  $p < .005$  och  $\omega^2 = 0,13$ . En separat analys för ljusgrå klädsel ger  $F(3,15) = 3,54$ ,  $p < .0,05$  och  $\omega^2 = 0,08$  och för svart klädsel  $F(3,15) = 7,37$ ,  $p < .005$ ,  $\omega^2 = 0,17$ . Effekten av ljusbetingelse är således signifikant och kan skattas vara medelstark till stark. Det finns således anledning att gå vidare med tre Scheffétest i vilka betingelserna A–D, B–D och C–D jämförs. Tabellerna 23 och 24 visar detta för ljusgrå respektive svart klädsel samt tabell 25 för medelvärdesbildning av ljus och mörk klädsel.

Tabell 23 Scheffétest med ljusbetingelse som oberoende och upptäcktsavstånd som beroende variabel. Jämförelser betingelserna vägbelysning (A, B och C) mot ingen vägbelysning (D). Avser **fotgängare klädd i ljusgrått**.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A–D	3,36	–	0,10
B–D	1,27	–	0,01
C–D	0,31	–	0,00

Tabell 24 Scheffétest med ljusbetingelse som oberoende och upptäcktavstånd som beroende variabel. Jämförelser betingelserna vägbelysning (A, B och C) mot ingen vägbelysning (D). Avser **fortgångare klädd i svart**.

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-D	8,74	p<.05	0,22
B-D	6,33	p<.10	0,19
C-D	2,67	-	0,08

Tabell 25 Scheffétest med ljusbetingelse som oberoende och upptäcktavstånd som beroende variabel. Jämförelser betingelserna vägbelysning (A, B och C) mot ingen vägbelysning (D).

effekt	F-kvot	sign. p<	$\omega^2$
A-D	7,11	p<.10	0,18
B-D	4,98	-	0,13
C-D	2,17	-	0,04

Att effekten inte blir signifikant trots ganska höga värden på F-kvoten beror på att kompensation för masssignifikans har gjorts enligt Scheffé's metod och att antalet försökspersoner har varit litet.

$\omega^2$  visar att effekten av vägbelysningen är starkast för betingelse A, följd av B och C. För ljusgrå klädsel är förlängningen av upptäcktavståndet 37 %, 14 % respektive 5 % vid en jämförelse av betingelserna A, B och C med D. Motsvarande för svart klädsel är 89 %, 57 % respektive 37 %. Medelvärdesbildat över ljusgrå och svart klädsel blir de förlängda upptäcktavstånden 71 %, 42 % respektive 26 %.

## 6.4 Samband mellan fotgängarens luminans och synbarhet

Fotgängarens synbarhet ges av kontrasten mellan klädselns och bakgrundens luminans. Bakgrunden har emellertid inte samma luminans ner vid fotgängarens fötter (trottoarens luminans) som högre upp (luminans på buskar eller vägg). Den kommer dessutom att variera vartefter fordonet förflyttar sig längs gatan. Det hela är så komplext att det är omöjligt att finna ett värde på kontrasten. Istället kan man söka finna ett samband mellan fotgängarens luminans och synbarheten, där således bakgrundsluminansen kommer att ingå som en felterm.

Den vertikala belysningsstyrkan,  $E_v$  [lx], mäts vid fotgängaren. Eftersom klädseln kan anses reflektera ljuset diffust kan luminansen beräknas som

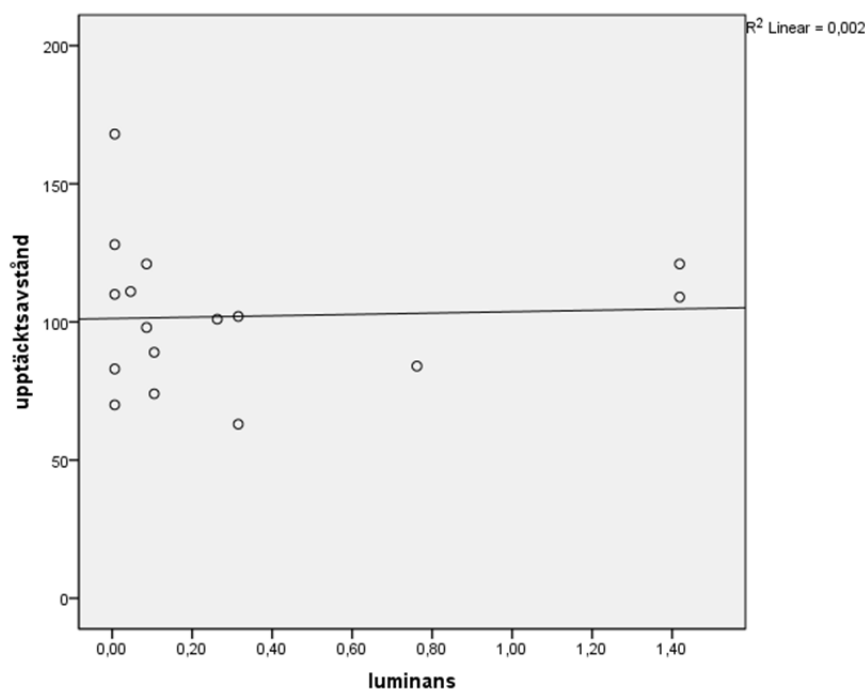
$$L_{fotg} = \frac{E_{fotg} \cdot \rho}{\pi} \text{ [cd/m}^2\text{]}$$

Tabell 26 visar sambandet mellan luminansen och ljusbetingelse, klädsel och position.

Tabell 26 Fotgängarens luminans ( $\text{cd/m}^2$ ) som funktion av ljusbetingelse, position och klädsel. Luminanser med endast vägbelysningen, inget fordonsljus.

ljusbetingelse	ljusgrå klädsel		svart klädsel	
	5 m bakom ljuspunkt	mitt emellan två ljuspunkter	5 m bakom ljuspunkt	mitt emellan två ljuspunkter
A	1,42	0,32	0,09	0,01
B	0,76	0,26	0,05	0,01
C	1,45	0,32	0,09	0,01
D	0,11	0,11	0,01	0,01

I ljusbetingelse D är samtliga lampor släckta. Att luminansen ändå är större än 0 förklaras av ströljus från annan belysning. Observera att luminanserna i tabell 21 är utan fordonsljus. I betingelse D kommer fordonsljuset göra att luminansen ökar ju närmare försöksfordonet kommer fotgängaren. Detta innebär också att fotgängaren kommer att ses i positiv kontrast då denne har ljusa kläder. Figur 16 visar sambanden mellan upptäcktsavstånd och luminans.



Figur 16 Sambandet mellan fotgängarens luminans och upptäcktsavstånd.

Figur 16 visar att något samband mellan klädselns luminans och upptäcktsavstånd knappast finns. Detta måste tolkas som att synbarheten i första hand ges av bakgrundsluminansen, vilken har varierat med vägbelysningen i högre grad än fotgängarens luminans. Med nästan svart klädsel var fotgängarens luminans nära 0 och detsamma gäller då fotgängaren hade ljus klädsel men stod mitt emellan två ljuskällor, således 30 meter bakom en ljuskälla. Endast då en fotgängare klädd i ljusgrått stod 5 meter



bakom en ljuskälla var luminansen på tyget så hög att denne bör ha setts i positiv kontrast.

## 6.5 Kommentarer till resultaten

### 6.5.1 Effekt av belysningsnivån på upptäcktsavståndet till fotgängare klädd i ljusgrått

Beträffande synbarheten av en fotgängare klädd i ljusgrått, så är synbetingelserna något komplicerade. Då en fotgängare klädd i ljusgrått står 5 meter bakom en ljuskälla har kläderna en luminans på ca  $1,4 \text{ cd/m}^2$  och denne syns alltid i positiv kontrast. I positionen mitt emellan två ljuskällor är emellertid luminansen låg och kontrasten mot bakgrunden är liten. Detta innebär att i positionen strax bakom ljuspunkten hade man en effekt av vägbelysningen; ju högre ljusnivå, desto bättre synbarhet. Då fotgängaren stod mitt emellan två ljuspunkter kunde emellertid ingen effekt av vägbelysningen påvisas. Slutsatsen måste bli att vägbelysningens nivå inte har någon eller en svagt positiv effekt på synbarheten av en fotgängare klädd i ljusgrått och att effektens storlek är beroende på dennes position i förhållande till ljuspunkterna. Figureerna A1–A6 i bilaga 1 visar dessa betingelser.

### 6.5.2 Effekt av luminansjämnheten på upptäcktsavståndet till fotgängare klädd i ljusgrått

De kontrastförhållanden som berördes under 6.4.1. kommer även att påverka synbarhetens beroende av luminansjämnheten. Med låg luminansjämnhet och fotgängaren i position 5 m bakom ljuskällan, blir denne belyst med full effekt på kort avstånd, vilket ger en stor positiv kontrast. I positionen mellan ljuskällorna är i betingelsen låg luminansjämnhet, belysningsstyrkan vid fotgängaren mycket låg och kontrasten nära noll, vilket ger dålig synbarhet. Figureerna A13–A16 i bilaga 1 visar dessa betingelser.

### 6.5.3 Effekt av belysningsstyrka på upptäcktsavståndet till fotgängare klädd i svart

Med mörka kläder kommer fotgängaren alltid att upptäckas i negativ kontrast. Detta har inneburit resultat som är lätta att tolka: Sett över de två positionerna för fotgängaren är skillnaden i synbarhet med 100 % och 65 % effekt på vägbelysningen liten. Däremot är den betydligt kortare då belysningen är helt släckt. I detta fall har således vägbelysningen en avgörande inverkan på upptäcktsavståndet. Figureerna A7–A12 i bilaga 1 visar dessa betingelser.

### 6.5.4 Effekt av luminansjämnheten på upptäcktsavståndet till fotgängare klädd i svart

Effekten av luminansjämnheten är tydlig och positiv, dvs. en hög luminansjämnhet ger långt upptäcktsavstånd för en fotgängare klädd i svart. Figureerna A17–A20 i bilaga 1 visar dessa betingelser.

### 6.5.5 Effekten av belysningsstyrka

Medelvärdesbildat över både fotgängarens position och ljushet visar resultaten att vägbelysningen som ger vägyteluminansen  $1 \text{ cd/m}^2$ , dvs. full effekt i aktuell anläggning,

förlänger upptäcktsavstånden med ca 70 % jämfört med ingen vägbelysning alls. Om effekten reduceras till 65 %, vilket ger luminansen  $0,5 \text{ cd/m}^2$ , är upptäcktsavståndet ca 40 % längre än om vägbelysning saknas. Ökning av effekten från 65 % till 100 % ökar således upptäcktsavståndet med 20 %.

#### 6.5.6 Effekten av luminansjämnhet

En hög luminansjämnhet ger, medelvärdesbildat över fotgängarens position och klädsel, längre siktsträcka än en låg jämnhet. Vid konstant medelluminans,  $0,5 \text{ cd/m}^2$ , är upptäcktsavståndet 13 % längre då jämnheten är 0,4 (kravet i VGU) jämfört med 0.

## 7 Slutsatser och diskussion

Slutsatsen som kan dras av ovan redovisade mätningar är att såväl vägytans luminans som luminansjämnheten har betydelse för en fotgängares synbarhet i vägbelysning. Detta gäller främst en fotgängare klädd i svart, medan synbarheten av en ljusare klädd person är något mer komplex.

En fotgängare klädd i svart syns alltid i negativ kontrast. En ökad belysningsstyrka kommer främst att innebära en ljusare bakgrund, vilket ökar den negativa kontrasten och förbättrar synbarheten. Detta gäller generellt i på en stationärt belyst väg.

Om fotgängaren är ljust klädd blir med den ljushet som valdes i föreliggande studie kontrasten positiv, men i vissa fall nära noll. Detta innebär att synbarheten av den ljust klädda fotgängaren i flera situationer är sämre än av den som är svart klädd.

### *Slutsats 1:*

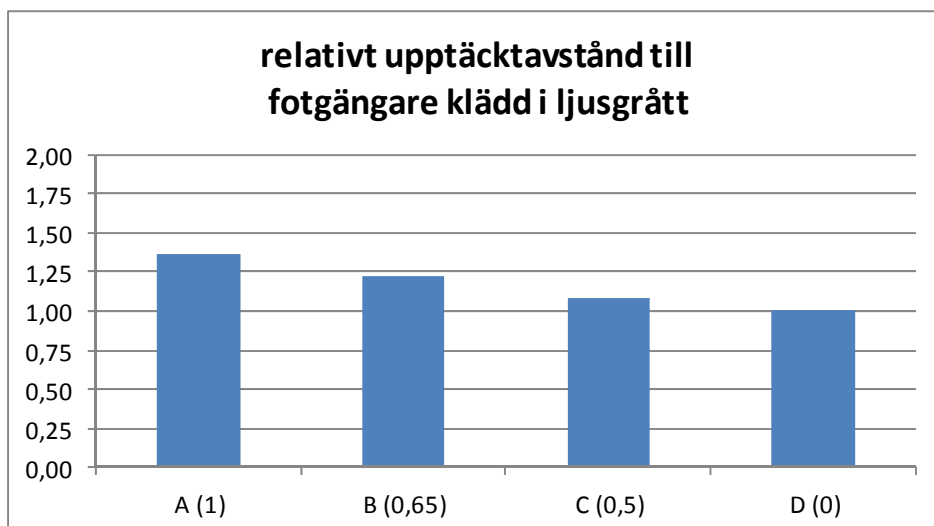
- *Upptäcktavståndet till en fotgängare på trottoaren ökar med ökad medelluminans om luminansjämnheten är oförändrad.*
- *En svart klädd fotgängare syns på längre avstånd än en fotgängare klädd i ljusgrått.*

Luminansjämnhetens inverkan på upptäcktavståndet är mer komplicerat. Med låg jämnhet kommer varje ljuspunkt att lysa med den dubbla effekten jämfört om luminansjämnheten är hög, men medelluminansen densamma i de två betingelserna. Detta innebär att en fotgängare som står strax bakom ljuskällan blir kraftigt belyst då den närliggande ljuskällan lyser med 100 % effekt, vilket för ljusgrå klädsel resulterar i långt upptäcktavstånd (figur A14, bilaga 1). Detta gäller således endast en ljust klädd person i positionen 5 m bakom ljuskällan; i övriga betingelser är upptäcktavståndet längre vid hög luminansjämnhet.

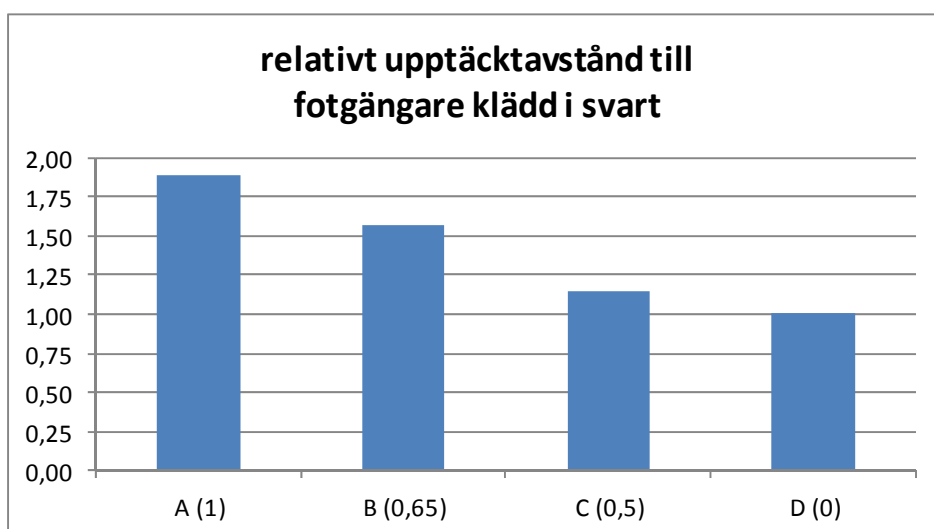
### *Slutsats 2:*

- *Upptäcktavståndet till en fotgängare på trottoaren ökar med ökad luminansjämnhet om medelluminansen är oförändrad. Detta gäller dock inte en fotgängare klädd i ljusgrått som står mitt emellan två ljuskällor.*
- *En svart klädd fotgängare syns på längre avstånd än en fotgängare klädd i ljusgrått.*

Jämförs upptäcktavstånd på väg med och utan stationär belysning framkommer att vägbelysningen alltid ger längre upptäcktavstånd. I tabell 27 görs en jämförelse av driftkostnaderna (endast energi) för betingelserna A, B, C och D. Här har betingelse A åsatts värdet 1,00 och upptäcktavståndet 1,00.



Figur 17 Relativt upptäcktavstånd till **fotgängare klädd i ljusgrått** för belysningsbetingelserna A, B, C och D. Inom parentes anges för varje betingelse den relativa energiåtgången för att belysa en given sträcka.



Figur 18 Relativt upptäcktavstånd till **fotgängare klädd i svart** för belysningsbetingelserna A, B, C och D. Inom parentes anges för varje betingelse den relativa energiåtgången för att belysa en given sträcka.

Figureorna 17 och 18 visar att vägbelysningen har mindre effekt på upptäcktavståndet till en fotgängare klädd i ljusgrått än i svart. Med tanke på att, speciellt under den mörka årstiden, fotgängare vanligen klär sig mörkt, så kan figur 18 anses vara mer relevant för fotgängares synbarhet än figur 17. Figur 18 visar att vägbelysning med god luminansjämnhet ett förlängt upptäcktavstånd på över 50 % till en svartklädd person. Medelluminansen  $0,5 \text{ cd/m}^2$  ger 57 % förlängning av avståndet medan  $1,0 \text{ cd/m}^2$  ger 89 % längre upptäcktavstånd. Medelluminansen  $0,5 \text{ cd/m}^2$ , men låg luminansjämnhet ger endast 15 % ökning av avståndet.

### **Slutsats 3:**

- **Vägbelysning med god luminansjämnhet och medelluminans minst 0,5 cd/m<sup>2</sup> ger mer än 50 % förlängt upptäcktavstånd till en svartklädd fotgängare jämfört med ingen vägbelysning alls.**
- **Det kan finnas skäl att belysa en längre sträcka med lägre belysningsnivå i stället för en kortare sträcka med hög nivå.**

Konklusionen av detta är att om energi ska sparas är det möjligt sänka belysningsnivån, men med bibehållen luminansjämnhet, utan att förlora alltför mycket synbarhet. Med andra ord: om det finns en viss budget avsatt till belysning kan det vara bättre att belysa en längre sträcka med låg effekt än en kort sträcka med hög effekt.

Synavstånden i denna studie ska inte jämföras med avstånden i förförsöken: Klädseln var annan i huvudförsöket (mörkare) än i det första förförsöket och fotgängarens position på trottoaren var, i stället för som i det andra förförsöket, mitt i körfältet. Dessutom var inte försökspersonerna desamma i de tre försöken.

Vidare kan försökssituation sägas vara ideal: torra vägbanor, inga störande ljus från mötande eller reklam och försökspersonen har endast *en* uppgift att leta fotgängaren. Upptäcktavstånden kan således i verkligheten vara kortare, beroende på de yttre omständigheterna, och det är viktigt att endast beakta relativa skillnader.

Det är viktigt att inga trafiksäkerhetseffekter dras av denna studie. Införande av bra vägbelysning kan innebära ökade hastigheter som helt eller delvis ”äter upp” de förbättrade synbetingelserna. Det finns därför alla anledning att gå vidare med en studie av sambandet mellan spontant vald hastighet och belysningsnivå och koppla resultaten från en sådan studie med de ovan presenterade resultaten.

## Referenser

Helmers, G., Lundkvist, S-O., Siktsträcka i halvljus till hinder på torra och våta vägbanor relaterade till vägbanornas reflexionsegenskaper. VTI Rapport 279, Linköping 1992.

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

Lundkvist, S-O & Nygårdhs, S.: Fotgängares upptäckbarhet vid olika nivåer på vägbelysningen. En pilotstudie. VTI notat 21-2011. Statens väg- och transportforskningsinstitut. 2011.

Nygårdhs, S.: Vägbelysning. En litteraturstudie. VTI rapport 535. Statens väg- och transportforskningsinstitut. 2006.

Nygårdhs, S., Fors, C., Eriksson, L. & Nilsson, L.: Field test on visibility at cycle crossings at night. VTI rapport 691A. Statens väg- och transportforskningsinstitut. 2010.

Vägverket & Svenska Kommunförbundet: Vägar och gators utformning. VV publikation 2004:80. Vägverket. 2004.

Foton på de betingelser som har mätts visas i figurerna A1–A20. De är tagna på avståndet 70 meter från fotgängaren, samtliga foton är tagna i halvljus och fotgängaren har zoomats in något för att göra bilderna tydligare. Bilderna som är tagna strax bakom en ljuskälla stämmer tyvärr inte helt med hur det såg ut vid mätningarna. Synbarheten mättes hösten 2011 och under vintern kom några skyltar upp som stör fotografierna något, men knappast synbarheten av fotgängaren. På de bilder som avser betingelsen C står fotgängaren 15 m bakom ljuskällan och har således något för mycket ljus på sig jämfört med i mätningen, då avståndet var 30 m. Generellt måste påpekas att foton inte kan göra rättvisa till vad det mänskliga ögat ser, varför de ska tolkas med försiktighet.

Bilderna visar att den ljust klädda fotgängaren alltid har syns i positiv kontrast och den mörkt klädda i negativ kontrast. För den ljust klädda fotgängaren stämmer vad som kan ses i figurerna väl med de empiriska resultaten. Då fotgängaren är mörkt klädd är det svårt att från bilderna avgöra synbarhet, men de motsäger åtminstone inte resultaten i kapitel 6.

Fotona visar tydligt att vägbelysningen har störst effekt på synbarheten då en ljust klädd fotgängare står strax bakom ljuskällan och då en mörkt klädd fotgängare står mitt emellan två ljuskällor. För motsatta betingelser (ljusa kläder, mellan och svarta kläder strax bakom) är effekterna av vägbelysningen mindre, men sannolikt ändå positiva.

Effekten av god luminansjämnhet är liten för mörkt klädda fotgängare. För ljusa kläder är den positiv då fotgängaren står strax bakom ljuskällan, men negativ mellan två ljuskällor.



*Figur A1 Fotgängare strax bakom ljuskälla, ljusgrå klädsel, effekt 100 % (jfr. figur 3)*



*Figur A2 Fotgängare strax bakom ljuskälla, ljusgrå klädsel, effekt 65 % (jfr. figur 3)*





*Figur A3 Fotgängare mellan två ljuskällor, ljusgrå klädsel, effekt 100 % (jfr. figur 4)*



*Figur A4 Fotgängare mellan två ljuskällor, ljusgrå klädsel, effekt 65 % (jfr. figur 4)*



Figur A5 Fotgängare strax bakom ljuskälla, ljusgrå klädsel, ingen belysning (jfr. figur 3)



Figur A6 Fotgängare mellan två ljuskällor, ljusgrå klädsel, ingen belysning (jfr. figur 4)



*Figur A7 Fotgängare strax bakom ljuskälla, svart klädsel, effekt 100 % (jfr. figur 5)*



*Figur A8 Fotgängare strax bakom ljuskälla, svart klädsel, effekt 65 % (jfr. figur 5)*



*Figur A9 Fotgängare mellan två ljuskällor, svart klädsel, effekt 100 % (jfr. figur 6)*



*Figur A10 Fotgängare mellan två ljuskällor, svart klädsel, effekt 65 % (jfr. figur 6)*



*Figur A11 Fotgängare strax bakom ljuskälla, svart klädsel, ingen belysning (jfr. figur 5)*



*Figur A12 Fotgängare mellan två ljuskällor, svart klädsel, ingen belysning (jfr. figur 6)*



Figur A13 Fotgängare strax bakom ljuskälla, ljusgrå klädsel, 65 % effekt på samtliga (jfr. figur 10)



Figur A14 Fotgängare strax bakom ljuskälla, ljusgrå klädsel, 100 % effekt på varannan (jfr. fig. 10)



*Figur A15 Fotgängare mellan två ljuskällor, ljusgrå klädsel, 65 % effekt på samtliga (jfr. figur 11)*



*Figur A16 Fotgängare mellan två ljuskällor, ljusgrå klädsel, 100 % effekt på varannan (jfr. figur 11)*



*Figur A17 Fotgängare strax bakom ljuskälla, svart klädsel, 65 % effekt på samtliga (jfr. figur 12)*



*Figur A18 Fotgängare strax bakom ljuskälla, svart klädsel, 100 % effekt på varannan (jfr. figur 12)*





*Figur A19 Fotgängare mellan två ljuskällor, svart klädsel, 65 % effekt på samtliga (jfr. figur 13)*



*Figur A20 Fotgängare mellan två ljuskällor, svart klädsel, 100 % effekt på varannan (jfr. figur 13)*



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, däckprovsningsanläggning, 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.

