

Störande ljus vid vägarbeten om natten

Pilotförsök 1 och 2 Mötesseparererad landsväg

Anita Ihs
Kai Sörensen
Arve Augdal
Antti Tiensuu

Förord

Föreliggande rapport är en redovisning av två pilotstudier som genomförts inom det nordiska projektet "Störande ljus vid vägarbeten om natten". Projektet är ett uppdrag från NORDFUD i vilken representanter för Vägverken i Sverige, Danmark, Norge och Finland sitter. Projektansvarigt land är Sverige och projektansvarig vid Vägverket är Carl-Henrik Ulegård, Vägverket. Projektledare är Anita Ihs, VTI. Övriga deltagare i projektets styr- och arbetsgrupp är Kenneth Kjemtrup (Vejdirektoratet), Morten Hafting (Vejdirektoratet), Tuomas Österman (Tiehallinto), Jan-Erik Elg (Vägverket), Erik Randrup (Vejdirektoratet), Kai Sørensen (DELTA), Arve Augdal (SINTEF), Britta G Fismen (SINTEF), Esko Tuhola (Tiehallinto), Antti Tiensuu (LiCon-AT Oy), Hans-Olov Johansson (Vägverket).

Kai Sørensen, DELTA, var den som huvudsakligen ansvarade för planering och förberedelser av testplats inför genomförandet av pilotstudie 1.

Anita Ihs och Anne Bolling, VTI, var ansvariga för planering av körförsök och förberedelser inför genomförandet av pilotstudie 2.

Linköping augusti 2008

Anita Ihs

Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts av projekts styr- och arbetsgrupp. Anita Ihs har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Projektledarens närmaste chef, Gudrun Öberg, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2008-08-20.

Quality review

External peer review has been performed by the project management and work group. Anita Ihs has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager, Gudrun Öberg, has examined and approved the report for publication on 20 August 2008.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Introduktion	9
2 Syfte	11
3 Pilotförsök 1	12
3.1 Genomförande	12
3.2 Resultat.....	15
4 Pilotförsök 2	17
4.1 Genomförande – försöksdesign	17
4.2 Resultat.....	23
5 Diskussion och slutsatser	32
6 Referenser	34
Bilaga 1 Pilot 1. Ritning 4.1 i Vejdirektoratets "Afmærking af vejarbejder - tegninger"	
Bilaga 2 Pilot 1. Lighting of road construction work.	
Bilaga 3 Pilot 1. Evaluations of sequential running lights at Værløse airport	
Bilaga 4 Pilot 1. Tests at Værløse flyvestation March 2006. Luminance measurements and glare calculations	
Bilaga 5 Pilot 2. Vägverkets exempelsamling. Mötesseparerad landsväg Ex 3.19 samt Trafikanordningsplan	
Bilaga 6 Pilot 2. Tests at Linköping October 2006. Luminance measurements and glare calculations	
Bilaga 7 Instruktioner till försökspersonerna	
Bilaga 8 Frågeformulär	

Störande ljus vid vägarbeten om natten – pilotförsök 1 och 2. Mötesseparerad landsväg

av Anita Ihs, Kai Sörensen^{*}, Arve Augdal^{**} och Antti Tiensuu^{***}

VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning

För att undvika störningar i tät trafik under dagen genomförs vägarbeten i allt högre utsträckning under de mer lågtrafikerade timmarna nattetid. Kraven på utmärkningen blir dock väsentligt olika under dagsljus och mörker för att godtagbara visuella villkor för trafikanterna ska åstadkommas.

För att föraren ska kunna passera en vägarbetsplats i mörker på ett säkert sätt krävs att utmärkningen av vägarbetet inte kan missförstås. En förutsättning är att de visuella förhållandena är goda. Det senare innebär bland annat att styrkan hos den sammanlagda bländningen från mötande trafik, blinksignaler, arbetsfordon och arbetsplatsbelysning måste begränsas.

Under natten är dessutom vägbeläggningarna ofta våta eller fuktiga, särskilt under vinterhalvåret, vilket ökar vägbeläggningens speglingsgrad. Speglingen kan dölja utmärkningen av vägbanan, dölja utmärkningens färg, bidra till bländning och öka komplexiteten i den visuella informationen till föraren. Risken är därmed att trafikanten misstolkar/missbedömer informationen från utmärkningen och kör in på arbetsplatsområdet.

Inom NORDFUD har man beslutat att genomföra ett omfattande samnordiskt projekt för att undersöka hur man bäst undviker problem med bländning och tillhandahåller en god visuell ledning vid vägarbetsplatser där arbete utförs nattetid.

Syftet med hela projektet är att förbättra säkerheten både för de trafikanter som ska passera en vägarbetsplats när det är mörkt och för de personer som arbetar på vägarbetsplatsen, och då särskilt gällande vägarbeten nattetid på större vägar.

Fyra förstudier har tidigare, huvudsakligen under år 2005, genomförts inom projektet rörande gula rinnande blinkljus, arbetsplatsbelysning, metoder för att mäta bländning samt spegling i olika typer av beläggningar.

I denna rapport redogörs för två pilotstudier, båda avseende stationärt vägarbete på mötesseparerad landsväg, som genomförts under våren respektive hösten 2006.

Den första genomfördes på ett flygfält utanför Köpenhamn där en ”vägarbetsplats” ställts upp på en rullbana. Två typer av arbetsplatsbelysning och ett flertal olika varianter av gula blinkljus (ljusstyrka, frekvens, sekvens, etc.) testades. Samtliga bedömningar gjordes av en expertpanel bestående av projektdeltagarna som stod på ett fixt avstånd från vägarbetsplatsen.

Följande tre varianter av gula rinnande blinkljus bedömdes som fullt acceptabla, dvs. anses kunna rekommenderas för användning vid vägarbeten nattetid:

^{*} DELTA Lys & Optik

^{**} SINTEF

^{***} Licon-AT Oy

- Första lampan tänds och är på i 0,2 s, andra lampan tänds när den första släckts och är på i 0,2 s, osv. Sekvensen börjar om när den sista lampan i raden har släckts. Effektiv ljusstyrka 30 cd.
- Första lampan tänds och förblir tänd, andra lampan tänds efter 0,2 s och förblir tänd, tredje lampan tänds efter 0,4 s och förblir tänd, osv. när sista lampan varit tänd i 0,2 s släckts alla lampor och sekvensen börjar om. Effektiv ljusstyrka 30 cd.
- Som första varianten, men med kortare på-tid (0,02 s) och svag bakgrunds-belysning (8cd).

Pilostudie 2 genomfördes på en verklig 2+1-väg utanför Linköping där ett stationärt vägarbete upprättades på en-fältsdelen av vägen. Pilotstudien omfattade körförsök där försökspersonerna utgjordes av personer äldre än 50 år. På detta vis erhöles en mer realistisk situation där bedömningen gjordes i samband med att försökspersonerna körde förbi vägarbetsplatsen. Försökspersonerna fick svara på ett frågeformulär, dessutom registrerades hastigheten hos deras fordon samt hos den ordinarie trafiken som passerade vägarbetsplatsen.

Fyra varianter av gula rinnande blinkljus testades. Tre av varianterna var de tre som ansågs bäst vid pilotförsök 1. Den fjärde var en variant med kort intensivt blink som förväntades upplevas som sämre pga. dålig visuell ledning.

Det visade sig dock att försökspersonerna inte upplevde någon större skillnad mellan de olika varianterna av gula rinnande blinkljus. En orsak är troligen att hastigheten var så låg (ca 30 km/tim) när man kom fram till överledningen att den visuella ledningen inte utgjorde något problem.

Det som försökspersonerna framförallt lade märke till och i viss mån stördes/bländades av var arbetsplatsbelysningen. Två typer av belysning testades även i pilotstudie 2. Den ena var en symmetrisk strålkastare med vitt ljus och den andra en asymmetrisk strålkastare med gult ljus. Flera försökspersoner uppgav att de var störda av det vita ljuset och föredrog det gula. Nu var de båda strålkastarna även något olika riktade, vilket naturligtvis också påverkar bländningsgraden och därmed bedömningen. Strålkastaren med det vita ljuset var mer riktat mot trafiken.

En separat studie för att ta fram rekommendationer för arbetsplatsbelysningens utformning både ur trafikantens och ur vägarbetarens perspektiv kommer att genomföras inom ramen för detta projekt.

Den typ av vägarbetsplats som valts ut för pilotstudierna kan inte anses vara någon av de mer besvärliga typerna för trafikanterna. Utformningen, ljusstyrkan undantagen, av det gula rinnande blinkljuset (sekvens och frekvens/varaktighet) blir därför inte särskilt kritisk i detta fall. För kommande studier bör den/de typ/-er av vägarbetsplats/-er som kan förväntas utgöra den/de mest besvärliga avseende visuell ledning och bländningsproblem väljas ut. Typen av vägarbetsplats bör också vara sådan att den tillåtna hastigheten hos den passerande trafiken är högre än i denna studie. Våt beläggning, helst i kombination med regn, bör eftersträvas under försöken för att åstadkomma så mycket bländning som möjligt.

Disturbing lights at road works during night – pilot tests 1 and 2. Roads with median barriers

by Anita Ihs, Kai Sörensen^{*}, Arve Augdal^{**} and Antti Tiensuu^{***}
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

In order to avoid disturbances in heavy traffic during daytime, road works are carried out to an increasing extent during off-peak hours at night. The demands on the design of the work zone traffic control differ, however, considerably between daylight and darkness in order to achieve visual conditions that are acceptable for the road users.

In order for the driver to be able to pass in a safe way the design of the work zone traffic control should not be possible to misunderstand. One requirement is that the visual conditions are good. The latter means that the strength of the total glare from opposing traffic, warning lights, work vehicles and work zone illumination must be limited.

During night time the pavements are often wet or damp, particularly during winter time, which increases the reflexion in the pavement. The reflexion can conceal the road markings, alter the colour of the signs and markings, contribute to the glare and increase the complexity of the visual information to the driver. The risk is that the driver then misunderstands/misjudges the information and drives into the work zone.

Within NORDFOU it has been decided to carry out a large co-Nordic project to investigate how to best avoid problems with glare and provide a good visual guidance at work zones where work is carried out during night time.

The objective of the whole project is to improve the safety both for the road users passing the work zone in the dark and for people working within the work zone, and in particular road works during night time on major roads.

Previously, primarily during the year 2005 fore preliminary studies have been carried out within the project concerning yellow running lights, work zone illumination, methods for measuring glare as well as reflexion on various types of pavements.

In this report two pilot studies are described, both dealing with stationary road works on “2+1”- roadways, which were carried out during spring and autumn 2006, respectively.

The first pilot study was carried out on an airfield outside Copenhagen, Denmark, where a work zone was built up on a runway. Two types of work zone illumination and a number of different variants of running lights (brightness, frequency, sequence, etc.) were tested. All assessments were made by a panel of experts consisting of the members of the project team, who were standing on a fixed distance from the work zone.

The following three variants of yellow running lights were assessed as fully acceptable, i.e. were considered recommendable for use at road works during night time:

^{*} DELTA Lys & Optik

^{**} SINTEF

^{***} Licon-AT Oy

- The first lamp is lit and is on for 0.2 seconds, the second lamp is lit when the first is turned off and is on for 0.2 seconds, and so on. The sequence is repeated after the last lamp in the row is turned off. The effective luminosity is 30 cd.
- The first lamp is lit and remains on, the second lamp is lit after 0.2 seconds and remains on, the third lamp is lit after 0.4 seconds and remains on, and so on. When the last lamp has been on for 0.2 seconds, all lamps are turned off and the sequence starts over again. The effective luminosity is 30 cd.
- As the first variant but with shorter on-time (0.02 seconds) and a faint background illumination (8 cd).

Pilot study 2 was carried out on a real 2+1 road outside Linköping, Sweden, where a stationary work zone was established on the single lane part of the road. The pilot study included driving tests where the test subjects (drivers) were people older than 50 years. In this way a more realistic situation was obtained where the assessments were done when the test subjects drove past the work zone. The test subjects had to answer a questionnaire, and the speed of their vehicles as well as the speed of the ordinary traffic passing the work zone was registered.

Four variants of yellow running lights were tested. The three variants that were considered the best in the first pilot and a fourth variant with short intensive flash which was expected to be experienced as worse due to bad visual guidance.

It turned out that the test subjects didn't observe any great difference between the different variants of yellow running lights. One reason is probably that the speed was so low (about 30 km/h) when they reached the passage in front of the work zone that the visual guidance didn't constitute any problem.

What the test subjects primarily observed and to some extent were disturbed/blinded by was the work zone illumination. Two types of illumination were tested also in pilot study 2. One was a symmetrical floodlight with white light and the other was an asymmetrical floodlight with yellow light. Several test subjects stated that they were disturbed by the white light and preferred the yellow. The floodlights were however somewhat differently adjusted, which of course also influences the degree of glare and thereby also the assessment. The white floodlight was directed more towards the traffic.

A separate study to develop recommendations for the design of the work zone illumination both from the road user and the road-worker perspective will be carried out within the framework of this project.

The type of road work that was chosen for the pilot studies can not be considered as one of the more difficult types for the road users. The design, luminous intensity excluded, of the yellow running lights (sequence and frequency/duration) is not very critical in this case. For the future studies the/those type/types of road works that can be expected to be the most difficult concerning visual guidance and glare problems should be chosen. The type of road works should also be such that the allowed speed of the passing traffic is higher than in this study. Wet pavement, preferably in combination with rain, should be aimed at during the tests to cause as much glare as possible.

1 Introduktion

Vägarbetsplatser innebär så gott som alltid en inskränkning av det tillgängliga utrymmet för trafikanten och därmed också en begränsning av framkomligheten. För bilföraren utgör passagen av ett vägarbete en komplicerad situation, vilket ställer stora krav på utmärkningen.

För att undvika störningar i tät trafik under dagen genomförs vägarbeten i allt högre utsträckning under de mer lågtrafikerade timmarna nattetid. Kraven på utmärkningen blir dock väsentligt olika under dagsljus och mörker för att godtagbara visuella villkor för trafikanterna ska åstadkommas.

En väsentlig svårighet för förare som ska passera en vägarbetsplats i mörker är att, trots bländning från mötande trafik, arbetsfordon och arbetsplatsbelysning, få synintryck av tillräckligt god kvalitet. Detta krävs för att få en korrekt uppfattning om vilken hastighet man bör hålla och var man ska placera sitt fordon vid passagen.

För att föraren ska klara denna uppgift krävs att utmärkningen av vägarbetet inte kan missförstås. En annan förutsättning är att de visuella förhållandena är goda. Det senare innebär bland annat att styrkan hos den sammanlagda bländningen måste begränsas samt att belysningen av de sträckor av vägarbetet som ställer särskilt stora krav på trafikanten är av godtagbar kvalitet.

Under natten är dessutom vägbeläggningarna ofta våta eller fuktiga, särskilt under vinterhalvåret, vilket ökar vägbeläggningens speglingsgrad. Detta innebär att ljuset från blinksignaler, mötande fordon och arbetsfordon, armaturer för belysning av arbetsplatsen samt eventuella övriga ljuskällor träffar trafikantens öga både direkt och indirekt genom speglingar i den våta ytan. Speglingarna kan dölja utmärkningen av vägbanan, dölja utmärkningens färg, bidra till bländning och öka komplexiteten i den visuella informationen till föraren.

Detta utgör inte bara en säkerhetsrisk för trafikanten som ska passera vägarbetsområdet utan även för de personer som befinner sig på denna. Risken är att trafikanten misstolkar/missbedömer informationen från utmärkningen och kör in på arbetsplatsområdet.

Inom NORDFUD har man beslutat att genomföra ett omfattande samnordiskt projekt för att undersöka hur man bäst undviker problem med bländning från olika typer av vägarbetsplatser där arbete utförs nattetid.

Syftet med hela projektet är att förbättra säkerheten både för de trafikanter som ska passera en vägarbetsplats när det är mörkt och för de personer som arbetar på vägarbetsplatsen, och då särskilt gällande vägarbeten nattetid på större vägar.

Framförallt säkerheten, men också framkomligheten och komforten, ökas för trafikanterna genom att den visuella ledningen förbättras. En förbättrad visuell ledning för trafikanten som gör att vägarbetsplatsen kan passeras på ett säkert sätt innebär också en ökad säkerhet för de personer som befinner sig på vägarbetsplatsen. Risken för att trafikanten ska misstolka utmärkningen av vägarbetsplatsen minskar och därmed också risken för att trafikanten kör in på vägarbetsplatsområdet.

I projektet ska störningen som de olika elementen – blinkljus, fordonsljus, belysningsarmaturer, speglingar, m.m. – orsakar för föraren som ska passera vägarbetsplatsen, både enskilt och i kombination, undersökas.

Projektet ska leda till förslag till förbättring och samordning av gällande regelverk i Norden genom

- förslag till krav på gula blinksignalers intensitet/ljusstyrka samt reglering och användning av dessa
- förslag till krav på arbetsplatsbelysning vid vägarbeten både med hänsyn till vägarbetarnas behov och till behovet av avskärmning för att undvika bländning av trafikanterna.
- förslag till krav/rekommendationer gällande övrig utmärkning.
- rekommendationer angående hantering av spegling i våta vägbanor

Målsättningen är också att resultaten av projektet ska redovisas i form av en handbok.

Projektet är av intresse inte bara inom Norden. Trenden att man väljer att förlägga allt fler vägarbeten till de mer lågtrafikerade timmarna under natten gäller internationellt. Såvitt känt har inga så omfattande studier som den här föreslagna genomförts tidigare och resultaten kan därför förväntas vara av stort internationellt intresse.

Ett antal förstudier har genomförts under 2005 ((Sørensen, 2006; Tiensuu, 2006; Augdal, 2005; Nygårdhs and Ihs, 2006)). Föreliggande rapport avser två pilotstudier som genomfördes den 28–29 mars 2006 på Værløse flygfält utanför Köpenhamn, Danmark, respektive den 20 oktober 2006 på en trafikerad väg utanför Linköping, Sverige. I dessa har valts att studera en stationär vägarbetsplats på mötesseparerad landsväg, dvs. en så kallad 2+1-väg.

2 Syfte

Syftet med pilotstudierna har i första hand varit att undersöka olika metoder för att utvärdera bländning från olika ljuskällor som används för utmärkning av vägarbetet samt för belysning av vägarbetsområdet och hur detta påverkar trafikanterna. Syfte med den första pilotstudien var också att genom en expertpanelbedömning välja ut några lämpliga varianter av rinnande gula blinkljus att testa i körförsöken i pilotstudie 2.

Syftet har dessutom varit att speciellt studera en stationär vägarbetsplats på en mötesseparerad landsväg och hur olika typer av gula rinnande blinkljus samt arbetsplatsbelysning upplevs av trafikanterna som ska passera vägarbetsplatsen.

3 Pilotförsök 1

3.1 Genomförande

Pilotförsök 1 genomfördes på en ca 2 km lång rullbana på Værløse flygfält utanför Köpenhamn. En vägarbetsplats utmärkt enligt ritning 4.1 i "Afmærkning af vejarbejder – tegninger", Vejdirektoratet 2002 (see www.vejregler.dk) ställdes upp på en rullbana (se figur 3.1 nedan samt bilaga 1).



Figur 3.1 Uppställning av vägarbetsplats på Værløse flygfält.

Följande delmoment ingick i försöken:

1. Utvärdering av två typer av arbetsplatsbelysning (Bilaga 2)
2. ”Expertpanelbedömning” av olika varianter (ljusstyrka, varaktighet, bakgrundsljus) av sekventiella rinnande blinkljus vid dagsljus samt vid mörker (Bilaga 3)
3. Utvärdering av metod för mätning av bländningsgrad. (Bilaga 4)
4. Test och demonstration av utrustning för registrering av hastighet och sidoläge.

De tre första delmomenten finns redovisade i separata rapporter och ligger också som bilagor till denna rapport. Endast en kort sammanfattning av genomförande och resultat redovisas därför i detta kapitel.

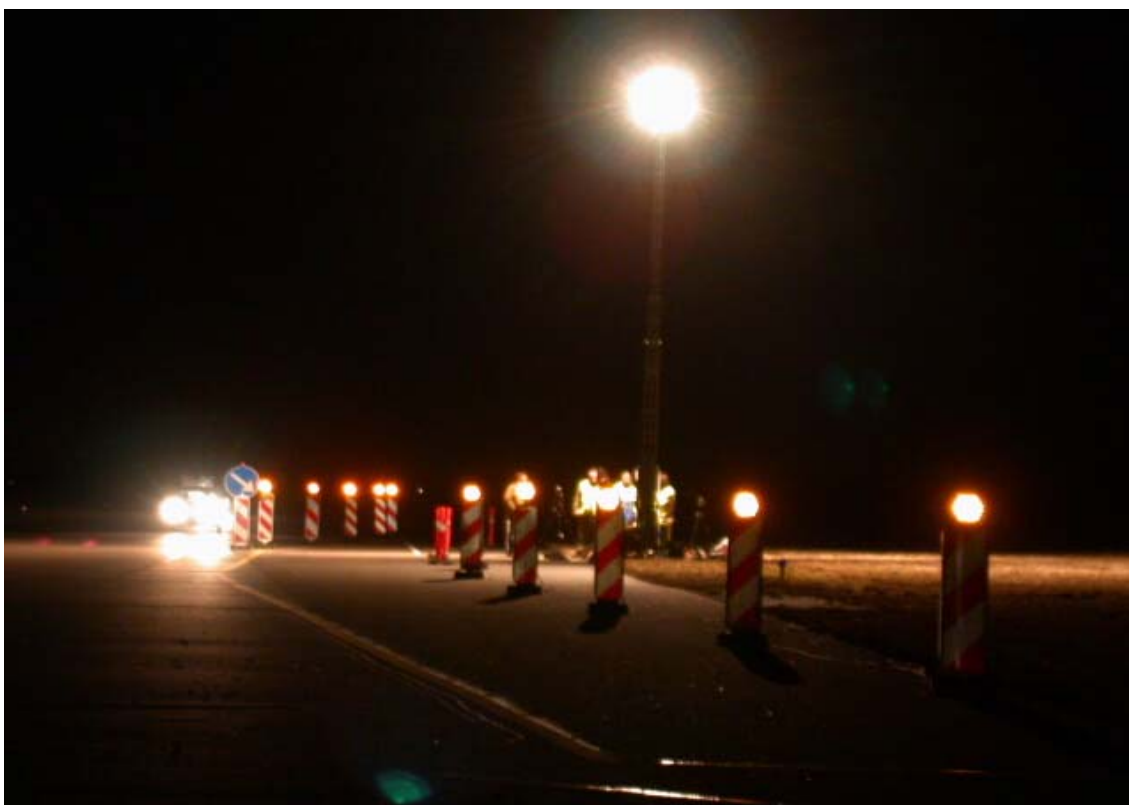
3.1.1 Arbetsplatsbelysning (se även bilaga 2)

Två olika typer av arbetsplatsbelysning testades. Belysningsarmaturen monterades på en 8 m hög mobil mast som var placerad strax utanför ”körfältskanten” och i höjd med mitten på arbetsplatsområdet. Belysningen som testades den första natten utgjordes av tre 1 000 W halogenstrålkastare och den andra natten av två 150 W HPS-strålkastare.

Utvärderingen syftar främst till att undersöka belysningsförhållandena för de personer som ska arbeta inom vägarbetsområdet.

3.1.2 Utvärdering av sekventiella rinnande blinkljus (se även bilaga 3)

De fem gula blinkljusen som användes i pilotförsöken har utvecklats av DELTA. De kan styras avseende den tidsperiod som de är på respektive av samt intensiteten hos ljuset under ”på-tiden”. Dessutom kan en bakgrundsnivå på intensiteten sättas under ”av-tiden”. Ljusen kan vidare kopplas samman för att användas som sekventiella rinnande blinkljus.



Figur 3.2 De centrala delarna av den experimentella uppställningen på Værlose flygfält.

Utvärderingen genomfördes på så sätt att en grupp av observatörer (deltagarna i pilotförsöket) stod på ett avstånd av 50 m från vägarbetsplatsen och bedömde ett antal olika inställningar på de experimentella rinnande blinkljusen.

Bedömningar gjordes både under dagsljus- och mörkerförhållanden. Under mörkerförhållande gjordes bedömningar först utan och sedan med ytterligare störande ljus, innebärande i det förra fallet att arbetsplatsbelysning var släckt och i det senare fallet att arbetsplatsbelysningen var tänd samt att ett fordon med gula blinkfyror på taket stod

inne på arbetsområdet. För den andra bedömningen, med störande ljus, valdes de fem bästa inställningarna från den första bedömningen, utan störande ljus, ut.

I Tabell 1 nedan redovisas vilka inställningar på de gula rinnande ljusen som bedömdes under mörkerförhållanden.

Tabell 1 Inställningar av de gula rinnande blinkljusen vid bedömning under mörkerförhållanden.

Inställning utan(med) störande ljus #	På-tid (s)	Effektiv ljusintensitet (cd) *	Kommentar
1	0,111	100	metod I
2(2)	0,111	30	metod I
3(3)	0,200	30	metod I
4	0,500	30	metod I
5	0,020	30	metod I
6(6)	Som inställning #5 med en bakgrundsnivå på 8 cd		
7(7)	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	30 **	metod II
7b(7b)	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	20 **	metod II
* den effektiva ljusintensiteten uppskattas med Blondell-Reys formel			
** den effektiva ljusintensiteten hos sista ljuset i sekvensen med "på-tiden" 0,2 sekunder			

3.1.3 Luminansmätningar och beräkning av bländning (se även bilaga 4)

I den tidigare genomförda förstudien (Augdal, 2005) redogörs för stegen för att mäta och beräkna bländningen från en vägarbetsplats. I ett praktiskt exempel, dock inte från en vägarbetsplats utan från en signalreglerad korsning, redovisas tillvägagångssättet. Som ett mått på den synnedsättande bländningen beräknas det relativa tröskelvärdet TI (Threshold Increment) enligt

$$TI = 65 * L_v/L^{0,8} \quad \text{för } 0,05 < L < 5 \quad (\text{formel 11})$$

där

L är observatörens adaptionsluminans

L_v är slöjluminansen och beräknas utifrån bidraget från varje enskild ljuskälla

Bländningen är börjar bli märkbar när $TI > 2$ (CIE no 31-1976). Man bör ha $TI < 10$ och aldrig över 15 (CIE no 115-1995)

3.2 Resultat

3.2.1 Utvärdering av två typer av belysningsarmaturer för arbetsplatsbelysning (se även bilaga 2)

Två olika typer av belysningsarmaturer, tre stycken 1000 W halogenstrålkastare respektive 2 stycken 150 W HPS strålkastare, monterades på en 8 m hög mast bredvid vägarbetsplatsområdet.

Mätningarna visade att det med effektiva HID-strålkastare är möjligt att erhålla en adekvat belysning för nattligt vägarbete. De i försöket använda strålkastarna monterade på en hög mast gav en jämn belysning av arbetsytan utan störande bländning.

Effekten av förbipasserande fordon under våta och torra förhållanden undersöktes också. Generellt var inverkan på belysningen, både illuminansen och luminansen, av passerande fordon liten då illuminansen på arbetsområdets horisontella yta var 100 lx eller mer.

3.2.2 Utvärdering av sekventiella rinnande ljus (se även bilaga 3)

En bedömning av olika inställningar av de sekventiella rinnande gula blinkljusen vid förbiledningen inför vägarbetsplatsen gjordes av projektdeltagarna. Bedömningar gjordes både i dagsljus och i skymning/mörker med respektive utan övrigt störande ljus (arbetsplatsbelysning och blinkfyrar på fordon inom arbetsområdet).

Följande preliminära slutsatser redovisas:

- En varaktighet (på-tid) hos det gula blinkljuset på 0,2 sekunder är att föredra framför 0,111 s
- En väldigt kort varaktighet (på-tid) – såsom hos xenonblinkljus – gör det svårt att uppfatta riktningen på sekvensen, såvida inte blinkljusen har en konstant bakgrundsnivå
- En varaktighet på 0,5 s i kombination med en fördröjningstid på 0,2 s från ett blinkljus till nästa är förvirrande eftersom mer än en lampa åt gången är på
- Metoden med individuell varaktighet (där lamporna tänds en efter en och får vara på till dess den sista lampan har tänts) erhöll bra betyg
- Den effektiva ljusintensiteten sattes enligt tidigare experiment för enskilda ljus, och verkade vara passande även för sekventiellt rinnande ljus – eventuellt med en tendens mot lägre nivå

De två inställningar som bedömdes som bäst i kombination med det störande ljuset från arbetsplatsbelysningen och blinkfyrarna på fordonet inom arbetsområdet var #3 och #7 i tabell 1 ovan.

3.2.3 Mätning av luminans och beräkning av bländning (se även bilaga 4)

Två olika utrustningar/metoder för dokumentation och utvärdering av bländning testades:

- 1 Digitalkamera + luminansmeter LMT L1109
- 2 Mätssystem LMK96 bestående av dator + digitalkamera av industriell typ.

3.2.4 Test/demonstration av två olika utrustningar för registrering av hastighet och sidoläge hos passerande fordon.

Kontinuerlig mätning:

VTI:s instrumenterade bil registrerar sidoläge med hjälp av en kamera som sitter bakåtriktad på bilens tak och som följer utvald vägmarkering längs körfältet. Det visade sig dock inte vara tillräckligt mycket ljus under natten för att detta skulle fungera. Ska denna bil användas i kommande försök så måste den kompletteras med en anordning som belyser den vägmarkering som kameran ska registrera. I övrigt kan man med bilen även registrera hastighet, ratt rörelse, bromsanvändning etc.

Punktvis mätning:

Koaxialkablar lades också ut för registrering av hastighet och sidoläge i tre punkter i anslutning till vägarbetsplatsen (vid 50-skylden, strax innan första gula blinkljuset samt i höjd med vägarbetsområdet). I varje mätpunkt läggs tre tunna coaxialkablar som ett "Z" (se fotot i Figur 3.3 nedan). Genom att man känner geometrin samt längden på kablarna kan man beräkna hastighet, sidoläge och spårvidd för det passerande fordonet.



Figur 3.3 Koaxialkablar utlagda som ett "Z" för punktvis mätning av hastighet och sidoläge hos passerande fordon.

4 Pilotförsök 2

4.1 Genomförande – försöksdesign

4.1.1 Testplatsen

Pilotförsök 2 genomfördes under en natt på en verklig, dvs. trafikerad, 2+1-väg (riksväg 636) utanför Linköping. En vägarbetsplats utformad utifrån Vägverkets exempelsamling nr 3.19 (se bilaga 5) etablerades på 1-fältsdelen på en lång raksträcka. Trafiken leddes om från 1-fältsdelen till 2-fältsdelen som därmed fick dubbelriktad trafik.



Figur 4.1 Foto taget i samband med etableringen av vägarbetsplatsen på 2+1-vägen

Den aktuella vägen är dock inte en 110-väg som i Vägverkets exempel utan har en skyltad hastighet på 90 km/tim. I exemplet är dessutom den tillåtna hastigheten förbi vägarbetsplatsen 50 km/tim medan den på testplatsen var sänkt till 30 km/tim.

Inne på vägarbetsområdet placerades en skylift på vars korg två olika typer av armaturer för arbetsplatsbelysning monterades (Se *Tabell 2*). Korgen hissades upp till ca 9 m.



Figur 4.2 Montering av arbetsplatsbelysning på skyliften.

Inne på arbetsområdet placerades dessutom en personbil med två gula blinklyktor på taket. De gula blinkljusen fick avsiktligt stå på under hela körförsöket. På arbetsområdet rörde sig dessutom 2–5 personer med varselkläder hela tiden.

Samtliga kombinationer av fyra olika varianter av gula rinnande blinkljus och två varianter av arbetsplatsbelysning, dvs. totalt åtta kombinationer, testades vid försöken. De olika varianterna av gula rinnande blinkljus och arbetsplatsbelysning redovisas i *Tabell 2* nedan.

Tabell 2 Beskrivning av del olika varianterna av arbetsplatsbelysning samt gula rinnande blinkljus som testades i försöken.

Arbetsplatsbelysning	
A	Gult ljus: 2 x Asymmetrisk strålkastare Lampa: 1 x HPS 150 W (17500 lm)
B	Vitt ljus: 1 x Symmetrisk strålkastare Lampa: 1 x MH 250 W (23000 lm)
Gula rinnande blinkljus	
1	Sekvens: Första ljuset lyser i 0,2 s, omedelbart efter detta lyser det andra blinkljuset i 0,2 s och så vidare till dess femte blinkljuset har lyst i 0,2 s. Efter ytterligare 0,2 s startar ljussekvensen om igen, dvs. under 0,2 s är samtliga blinkljus släckta. Ljusstyrka: Ljusstyrkan i lysperioden är inställd på ca 60 cd. Då lysperioden endast är 0,2 s blir den av ögat upplevda ljusstyrkan ungefär hälften av detta, dvs. 30 cd (beräknat enligt en bestämd formel)
2	Sekvens: Första blinkljuset tänds och lyser i 1 s, efter 0,2 s tänds det andra blinkljuset och lyser i 0,8 s, det tredje tänds efter 0,4 s och lyser i 0,6 s, osv. till dess att det femte ljuset har tänts och lyst i 0,2 s. Då släcks samtliga blinkljus. Efter 0,2 s börjar sekvensen om igen. Ljusstyrka: Det femte blinkljuset som lyser i 0,2 s får samma effektiva ljusstyrka som blinkljuset i alternativ 1. De övriga blinkljusen som lyser längre har högre effektiv ljusstyrka.
3	Sekvens: Första blinkljuset lyser i 0,01 s, efter 0,2 s lyser det andra blinkljuset i 0,01 s, efter 0,4 s lyser det tredje i 0,01 s osv. till dess det femte blinkljuset har lyst i 0,01 s. Efter 1,2 s startar tändningssekvensen om igen (detta innebär en paus på nästan 0,4 s då alla blinkljus är släckta). Ljusstyrka: Ljusstyrkan i den korta lysperioden är ställd till ca 600 cd. Då lysperioden endast är 0,01 s blir den effektiva ljusstyrkan en tjugondel, dvs. ca 30 cd.
4	Sekvens: Blinkljuset aktiveras som i alternativ 3, men i mörkperioden mellan de kortvariga lysperioderna är det en låg konstant ljusstyrka. Ljusstyrka: Ljusstyrkan är ungefär som den i alternativ 3.

4.1.2 Mätning av bländningsgrad

Genomförandet och analyserna av mätningarna redovisas mer i detalj i bilaga 6. Luminansen i förarnas visuella fält då de närmar sig vägarbetsplatsen uppmättes med ett instrument bestående av en standarddigitalkamera kombinerad med LKM 2000 mjukvara.

Av säkerhetsskäl var det inte möjligt att göra mätningar från positioner på vägen. De data som var nödvändiga för att beräkna bländningen vid olika positioner på vägen baseras på luminansen uppmätt vid två skyddade positioner enligt skiss i bilaga 6.

Bedömningen är att de beräknade bländningsparametrarna ganska väl representerar den bländning som upplevs av förarna på vägen.

Som ett mått på bländningen används det s.k. TI (Threshold Increment) som beskrivs i kapitel 3.1.3.

4.1.3 Körförsök

Till körförsöken engagerades 12 försökspersoner, samtliga över 50 år, varav 3 var kvinnor och 9 män (se Tabell 3 nedan). Försökspersonerna delades in i fyra grupper om tre personer. En grupp i taget fick köra igenom samtliga åtta kombinationer av gula rinnande blinkljus och arbetsplatsbelysningar. Ordningföljden varierades för att kompensera för den ofrånkomliga inlärningseffekten. Körschemat för de fyra grupperna av försökspersoner redovisas i

Tabell 4 nedan.

För att undersöka hur försökspersonerna upplevde och eventuellt påverkades av typ av gula rinnande blinkljus och arbetsplatsbelysning så omfattade körförsöket två delar dels registrering av försökspersonernas hastighet och sidoläge när de närmade sig och passerade vägarbetsplatsen, dels ett frågeformulär som försökspersonerna fick besvara efter varje passage.

Tre mätbilar användes för körförsöken för att registrera den hastighet med vilken försökspersonerna närmade sig och passerade vägarbetsplatsen.

Tabell 3 Information om försökspersonernas ålder och körvana.

Försöksperson nr	Kön (Man/Kvinna)	Ålder (år)	Innehav av körkort (år)	Körsträcka per år (mil)
1	M	60	39	1 000
2	K	54	29	1 500
3	M	55	37	2 000
4	K	57	37	400
5	M	60	42	2 000
6	M	62	44	2 000
7	M	51	33	2 000
8	K	59	40	1 500–2000
9	M	60	48	3 000
10	M	57	39	1 0000
11	M	65	47	1 000
12	M	60	42	1 000

Tabell 4 Körschema för de för fyra grupperna av försökspersoner (tre i varje grupp). Ordningen är balanserad.

Försöksgrupp 1		Försöksgrupp 2		Försöksgrupp 3		Försöksgrupp 4	
Tid: 19:00–20:30		Tid: 20:30–22:00		Tid: 22:00–23:30		Tid: 23:30–01:00	
Arbetsplats-belysning	Blink-ljus	Arbetsplats-belysning	Blink-ljus	Arbetsplats-belysning	Blink-ljus	Arbetsplats-belysning	Blink-ljus
A	1	B	2	A	3	B	4
A	2	B	3	A	4	B	1
A	3	B	4	A	1	B	2
A	4	B	1	A	2	B	3
B	4	A	1	B	2	A	3
B	3	A	4	B	1	A	2
B	2	A	3	B	4	A	1
B	1	A	2	B	3	A	4

Eftersom även den ordinarie trafiken tilläts passera vägarbetsplatsen utnyttjades denna för att inhämta ytterligare information om hur kombinationerna av de olika varianterna av gula rinnande blinkljus och arbetsplatsbelysning verkade upplevas av trafikanterna och därmed eventuellt påverkade förarbeteendet. I sju punkter före och i höjd med vägarbetsplatsen, enligt skiss i bilaga 5, mättes hastigheten med hjälp av trafikmätning-utrustning. I tre av punkterna, där överledningen från 1-fältsdelen började, i slutet på överledningen på 2-fältsdelen samt mitt för arbetsområdet, registrerades dessutom sidoläget hos de passerande fordonen.

Försökspersonerna startade från en bestämd startpunkt på en parkeringsplats ca 1,7 km från vägarbetsplatsen. Efter att de passerat vägarbetsplatsen körde de en kortare sträcka fram till en korsning där de vände, körde tillbaka förbi vägarbetsplatsen, fram till och runt en cirkulationsplats och slutligen tillbaka till parkeringsplatsen. Hela rundan tog normalt drygt 10 minuter. De tre försökspersonerna i gruppen släpptes iväg med ca 2 minuters mellanrum för att de inte skulle påverka varandras körning.

Innan försökspersonerna fick börja köra fick de läsa igenom en skriftlig instruktion där det framgick att de skulle passera en vägarbetsplats åtta gånger vid vilka ljussättningen varierades och att de efter varje gång skulle bedöma hur bländade de blev, hur enkelt det var att veta hur de skulle köra, hur vägvisningen var och hur belysningen på arbetsområdet var (se bilaga 7). De instruerades också att köra som de normalt skulle göra. Även muntlig genomgång gjordes med varje försöksperson.

Efter varje passage av vägarbetsplatsen fick försökspersonerna fylla i ett frågeformulär (se bilaga 8). De fick svara på fyra frågor om hur bländade de blev, hur lätt det var att se hur de skulle köra förbi vägarbetsplatsen, hur vägvisningen vid överledningen till 2-fältsdelen fungerade samt hur störande de upplevde att belysningen på arbetsområdet var. Frågorna besvarades genom att de drog ett streck på en skala, en för varje fråga, för att redovisa hur lätt/svårt, bra/dåligt etc. de upplevde att det var. En markering gjordes på samma skala för varje passage av vägarbetsplatsen för att försökspersonerna skulle kunna relatera till hur de svarat vid tidigare passager.

Efter att ha kört alla åtta passagera fick försökspersonerna rangordna de olika alternativen av gula rinnande blinkljus efter hur bra de tyckte att de var samt besvara ytterligare några frågor avseende bländning från arbetsplatsbelysning och andra källor.

4.2 Resultat

4.2.1 Bländning (SINTEF)

Generellt gäller för vägbelysning att TI ska vara lägre än 10 och aldrig högre än 15. Luminansen på vägarbetsområdet uppmättes till ungefär $3,5 \text{ cd/m}^2$ med arbetsplatsbelysning av typ A och $1,5 \text{ cd/m}^2$ med arbetsplatsbelysning av typ B (se *Tabell 2*). Då luminansen för övriga delar av vägen var mycket låg antogs en adaptionsluminans på $0,5 \text{ cd/m}^2$. Vidare antogs att observatörens (förarens) synriktning var parallell med vägens longitudinella riktning.

För ett avstånd av 67 m mellan förare och belysningsmast beräknades TI till $TI=14$ för arbetsplatsbelysning av typ B och $TI=2$ för arbetsplatsbelysning av typ A.

Bländningen beräknades också baserat på fotometriska data för ljuskällorna. Enligt dessa data var det endast arbetsplatsbelysningen av typ B som orsakade bländning. Resultaten för denna ljuskälla för olika avstånd mellan förare och belysningsmast redovisas i *Tabell 5* nedan.

Tabell 5 Beräknade nivåer på TI för arbetsplatsbelysning av typ B (1x250 W MH).

Avstånd (m)	10	90	130	210	410
Threshold Increment (TI)	119	15	14	13	12

Resultaten visar att förarna som passerar arbetsplatsen, både försökspersonerna och den ordinarie trafiken, utsattes för bländningsnivåer överstigande de nivåer som anses acceptabla för vägbelysning. Dessa nivåer är så höga att de reducerar synbarhetsnivåerna för förarna. Detta gäller ännu mer då det även finns andra bländningskällor i synfältet som inte tagits hänsyn till av metodskäl. Dessa källor är de rinnande gula blinkljusen, blinkljusen på varningsskylten, blinkljusen på bilen som stod parkerad på arbetsområdet samt strålkastarna från mötande bilar. Men detta är kanske inte uppenbart för förarna eftersom de är fokuserade på uppgiften att finna vägen förbi vägarbetsplatsen. Detta är en enklare uppgift än att upptäcka objekt som eventuellt kan finnas på vägen.

4.2.2 Arbetsplatsbelysning (Licon-AT Oy)

Arbetsplatsbelysningen anordnades enbart för att märka ut arbetsområdet. I pilotstudien undersöktes i första hand bilförarens upplevelser av att köra förbi arbetsplatsen vid olika trafikreglerings- och belysningsförhållanden.

Belysningen planerades för en "arbetsplats" bakom skyddszonen mitt i det avstängda körfältet. Erfarenheterna från Værløse gjorde det onödigt att här utföra mätningar av hur fordonens strålkastare påverkade belysningen på vägarbetsplatsen. I pilotstudie 1 konstaterades redan att ljuset från fordonstrafiken inte gör det svårare att se vid utförande av arbetsuppgifter eftersom strålkastarljuset från fordonen riktas nedåt. På

själva "arbetsplatsen" utfördes inte belysningsmätningar eller andra undersökningar. Arbetsplatsens belysning bör mätas i en mera verklighetstrogen miljö, där även nödvändig belysning vid arbetsuppgifter på vertikala ytor beaktas.

Belysningsnivån för arbetsplatsen valdes i enlighet med belysningsstandard EN 12646-2 för "Anläggande av dagvattenledningar, lagerområden, transportruttor". Standarden rekommenderar $E_m = 50$ lux för arbetsuppgifter av denna typ. Belysningen planerades för arbetsställe på vägyta. Belysningsberäkningarna visas i bilaga 9.

Vid genomgång av testanordningar och tidplan inför testet överenskomms att två olika belysningar, som är riktade mot trafiken, genomförs. En sådan belysningssituation är tråkigt nog fortfarande verklighetstrogen och ofta förekommande, samtidigt som den med avseende på bländning är den besvärligaste. Belysning, som genomförs på detta sätt, saknar ofta skuggor från olika konstruktioner samt obestämda bländskydd för trafiken. På arbetsplatser är det även i praktiken ändamålsenligt att montera två eller flera belysningspunkter för att undvika att områden hamnar i skugga.

En kran användes som belysningsmast. Strålkastare för de båda alternativen monterades färdigt i hissorgen. Armaturernas monteringshöjd var 8,5 m. Elenergi producerades med ett aggregat. Växling mellan belysningsalternativen kunde utföras snabbt och enkelt med anslutningssladdar.

Alternativ A varmt gult ljus 2x150 W:

Använda armaturer var 510HVM FG 60 1xSON-TPP150W (Philips/Idman).

Använda lampor var högtrycksnatriumlampor med ljusflöde 17500 lm.

För den asymmetriska strålkastaren med smal ljuskägla är vinkeln för ljusstyrkans maxvärde 60°.

Vid monteringen har strålkastarna endast riktats 3 grader uppåt från glasets horisontalplan. Därför kunde man inte se belysta ytor ovanför horisontalplanet.

Alternativ B vitt ljus 1x250 W:

Använd armatur var MNF 300 1xHPI-T 250 W (Philips) som har tagits bort från marknaden.

Använd lampa var metallhalogenlampa med ljusflöde 23 000 lm.

Strålkastaren har en symmetrisk ljusfördelning där ljusstyrkans maxvärde ligger vinkelrätt ut från glasskärmen.

Strålkastaren hade lutats 58° för att få ljusstyrkans maxvärde på området som skulle belysas.

Genomförda beräkningar har visat att en symmetrisk armatur, förutom att orsaka bländning, också är ineffektiv. En symmetrisk armatur sprider i betydande grad ljus över ett stort område alldeles i onödan. Armaturverkningsgraden är avsevärt mindre än hos asymmetriska armaturer. Byggarbetsplatser är alltid tillfälliga och relativt kortvariga. Det är därför inte alltid ändamålsenligt att enbart beakta energiförbrukningen. Det viktiga är att tillhandahålla tillförlitlig arbetsbelysning för olika förhållanden.

Den belysningsgeometri, som användes i testet där symmetriska armaturer riktas mot trafiken, bör förbjudas eftersom belysningsstyrkan som riktas mot bilförarna är stor.

Symmetriska armaturer borde i praktiken, då de ofta är monterade på relativt höga master, endast användas med en lutningsvinkel som är mindre än 30°. Problemet är dock då att få tillräckligt ljus på lodräta ytor som man ska utföra arbete på.

4.2.3 Körförsök – Bedömning av bländning, vägvisning, m.m. (VTI)

Samtliga försökspersoner fick besvara ett frågeformulär i anslutning till körförsöken. Bland annat gjorde de en bedömning av hur bländade de blev av vägarbetsplatsens olika ljuskällor och markerade detta på en skala enligt tidigare beskrivning.

En rangordning av de åtta scenarierna/kombinationerna gjordes för varje försöksperson utifrån hur de hade gjort markeringar på frågornas respektive skala. Analyserna gjordes i SPSS med användande av ”icke-parametrisk Friedman two-way analysis by ranks”.

Den första frågan handlade om att bedöma hur bländad man blev då man närmade sig vägarbetsplatsen.

En signifikant skillnad erhålls mellan de olika scenarierna där B3 upplevs som mest bländande och A1 som minst bländande.

Flertalet försökspersoner upplevde inte att man blev väldigt mycket bländad av vägarbetet, dvs. markeringarna på skalan gjordes huvudsakligen mellan mitten på skalan och ”inte alls bländad”.

På övriga frågor erhöles inte någon signifikant skillnad i rangordningen mellan scenarierna.

Fråga två handlade om hur lätt det var att se hur man skulle köra förbi vägarbetsplatsen. De flesta upplevde detta som mycket till ganska lätt.

Tredje frågan handlade om hur vägvisningen vid överledningen av trafiken till tvåfäldsdelen fungerade. Med något enstaka undantag så upplevde försökspersonerna att det fungerade ganska bra till mycket bra.

Fjärde frågan handlade om hur belysningen på arbetsområdet upplevdes. Här angavs allt från inte alls störande till mycket störande.

En analys gjordes också av om det fanns någon signifikant skillnad i hur försökspersonerna upplevde/bedömde de två typerna av arbetsplatsbelysning utan hänsyn tagen till typ av rinnande gula blinkljus. En nära signifikant skillnad erhöles för fråga ett, dvs. belysningen av typ B (vitt) upplevdes som mer bländande än typ A (gult). För övriga frågor erhöles inga signifikanta skillnader mellan typ av arbetsplatsbelysning.

Motsvarande analys gjordes även för de fyra olika typerna av gula rinnande blinkljus, dvs. bedömning oberoende av typ av arbetsplatsbelysning. Inga signifikanta skillnader erhöles för någon av frågorna.

Övriga frågor

Försökspersonerna fick även besvara några ytterligare frågor. Nedan redovisas samtliga svar på dessa frågor.

Upplevde du någon skillnad avseende bländning av de olika arbetsplatsbelysningarna och vad var i så fall skillnaden?

- Ljustyrkan varierade

- Ja, vid A2, A3, A4 var det ett mildare mer behagligt ljus
- Vitt ljus bländade mer, riktning?
- När den var riktad emot mig
- Gult ljus bländade mindre
- Ja, skarpt ljus i början (B), mildt senare (A) och på slutet en störande "saftblandare"
- Vitt ljus mer bländande, gult bättre
- Bländad de första rundorna (A) (*Kommentar: stämmer inte med hur försökspersonen tidigare har markerat bländning/störning på skalorna. Enligt detta skulle B vara "sämst"*)
- Vitt och gult ljus. Det gula var mindre bländande i samband med de rinnande ljusen.
- Hög mast Vita ljuset var mer bländande. Riktning av strålkastare har betydelse. Gula Ljuset är ej så stickande i ögon. Vita ljuset på högmast störande, **fel** "Vinklad Reflektor"
- Nej.

Blev du vid något tillfälle bländad eller störd av något utöver de gula rinnande blinkljusen och arbetsplatsbelysningen?

- Nej (7 st.)
- En "gubbe" med mkt reflexer gick framför de "rinnande ljusen"
- En bil kom körande emot mig
- Bilen med blinkande ljus.

Hur anser du att utmärkningen (skyltar, blinkljus, ...) skulle kunna göras ännu bättre/tydligare?

- Nej (2 st.)
- Skyltvagnen skylt med pil
- Eventuellt fler färger beroende på ljusförhållande?

Övriga synpunkter

- Svårast och mest störande 1:a ggn jag körde, sedan vänjer man sig – kan påverka upplevelsen
- Med hastighetsnedsättning till 30 km/tim blev det aldrig svårt att uppfatta vilken väg man skulle ta
- Vägmärken tidigare utplacerade. Belysta av solceller, ev. bakgrundsbelysta.

4.2.4 Hastighet och sidoläge (VTI)

Hastigheten hos samtliga passerande fordon registrerades i fem punkter, M1–M5, före, i anslutning till och i höjd med vägarbetsplatsen enligt markeringarna i TA-planen i bilaga 5. I mätpunkterna M3–M5 registrerades dessutom fordonens sidoläge, i detta fall definierat som avståndet mellan det högra hjulet på framaxeln och körfältets högra kantlinje.

Analysen gjordes av mätdata både avseende försökspersonernas fordon och den ordinarie trafiken.

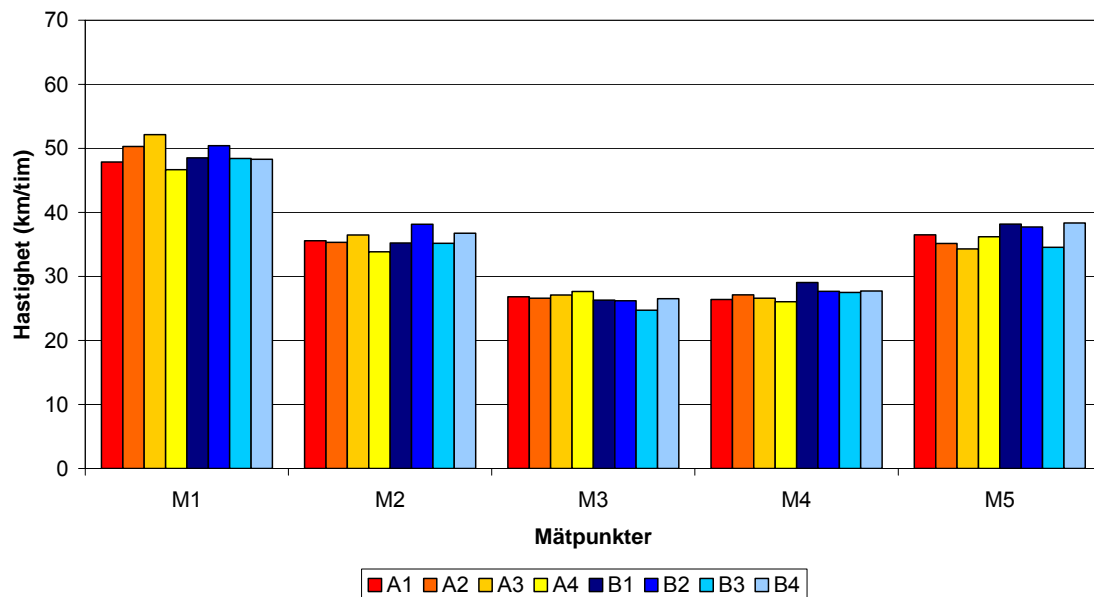
Försökspersonernas fordon – mätpunkterna

Den uppmätta medelhastigheten för de 12 försökspersonerna i mätpunkterna M1–M5 för de 8 olika betingelserna (kombinationer gula rinnande blinkljus och typ av arbetsplatsbelysning) redovisas i Tabell 6 nedan. Inga signifikanta skillnader i hastighet för de olika betingelserna kunde påvisas i punkterna M1, M2 och M3. I mätpunkt M4 erhöles dock en liten men signifikant skillnad i hastighet beroende på typ av arbetsplatsbelysning. Medelhastigheten vid arbetsplatsbelysning av typ A var 26,42 km/tim och vid typ B 27,66 km/tim. I mätpunkt M5 erhöles en signifikant skillnad i hastighet för de fyra olika typerna av gula rinnande blinkljus. Medelhastigheten vid typ 1 var 37,32 km/tim, vid typ 2 36,44 km/tim, vid typ 3 34,42 km/tim och vid typ 4 37,27 km/tim. Parvisa jämförelser (Tukey) gav att hastigheten vid betingelse (typ) 3 var lägre än hastigheten vid övriga betingelser.

Även standardavvikelsen beräknades men inga signifikanta skillnader kunde påvisas för de olika betingelserna.

Tabell 6 Uppmätt medelhastighet i mätpunkterna M1–M5 för försökspersonernas fordon.

Betingelse	Mät punkt				
	M1	M2	M3	M4	M5
A1	47,86	35,59	26,83	26,42	36,50
A2	50,30	35,32	26,61	27,13	35,15
A3	52,15	36,49	27,10	26,06	34,30
A4	46,68	33,85	27,67	26,07	36,18
B1	48,52	35,22	26,28	29,04	38,15
B2	50,40	38,14	26,21	27,69	37,73
B3	48,40	35,17	24,73	27,51	34,54
B4	48,30	36,75	26,54	27,72	38,35



Figur 4.3 Uppmätt medelhastighet i mätpunkterna M1–M5 för försökspersonernas fordon.

Medelvärdet av de uppmätta sidolägena för försökspersonernas fordon i mätpunkterna M3–M5 för de 8 olika kombinationerna redovisas i Tabell 7 nedan.

Den enda signifikanta skillnaden i sidoläge som kunde påvisas var i mätpunkt M5. Man körde något närmare högra körfältskanten då arbetsplatsbelysningen var av typ A än då den var av typ B. Medelsidoläget för typ A var 0,435 m och medelsidoläget för typ B var 0,482 m.

Tabell 7 Medelsidoläge i mätpunkterna M3–M5 för försökspersonernas fordon.

Betingelse	Mätpunkt		
	M3	M4	M5
A1	0,82±0,11	0,72±0,14	0,45±0,08
A2	0,80±0,12	0,74±0,15	0,45±0,11
A3	0,78±0,09	0,70±0,14	0,43±0,11
A4	0,77±0,11	0,67±0,11	0,42±0,06
B1	0,78±0,09	0,79±0,13	0,51±0,07
B2	0,82±0,11	0,74±0,11	0,50±0,09
B3	0,84±0,11	0,78±0,14	0,45±0,10
B4	0,87±0,13	0,80±0,12	0,46±0,09

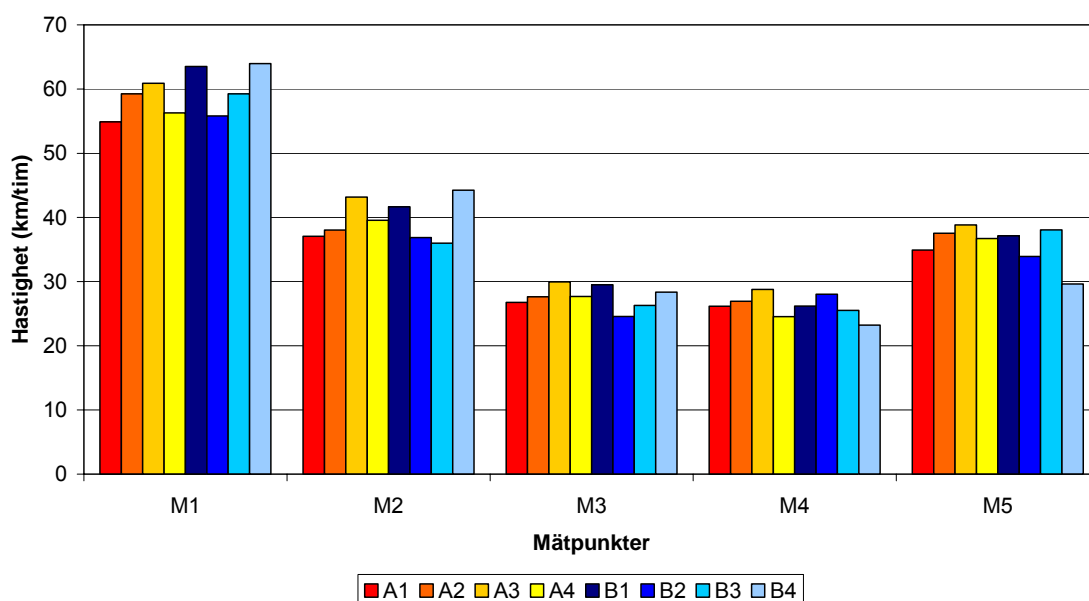
Övrig trafik

Medelhastigheten för den ordinarie trafiken som passerade vägarbetsplatsen under körförsöken redovisas i Tabell 8 nedan.

Den enda signifikanta skillnaden i hastighet som kunde påvisas var i mätpunkt M5 för betingelserna 1–4, dvs. för de olika varianterna av gula rinnande blinkljusen utan beaktande av typ av arbetsplatsbelysning (A och B). Hastigheten vid betingelse 1 var 36,03 km/tim, vid betingelse 2 35,68 km/tim, vid betingelse 3 38,44 km/tim och vid betingelse 4 33,18 km/tim. Parvisa jämförelser gav att hastigheten vid betingelse 3 var högre än vid betingelse 4.

Tabell 8 Uppmätt medelhastighet i mätpunkterna M1–M5 för den ordinarie trafiken.

Betingelse	Mätpunkt				
	M1	M2	M3	M4	M5
A1	54,88	37,06	26,76	26,14	34,94
A2	59,26	38,02	27,64	26,92	37,54
A3	60,91	43,18	29,94	28,79	38,83
A4	56,30	39,55	27,69	24,52	36,73
B1	63,52	41,64	29,50	26,18	37,13
B2	55,82	36,86	24,55	28,04	33,91
B3	59,26	36,01	26,31	25,52	38,05
B4	63,97	44,24	28,34	23,22	29,62



Figur 4.4 Uppmätt medelhastighet i mätpunkterna M1–M5 för den ordinarie trafiken.

Medelvärden av de uppmätta sidolägena för den ordinarie trafiken som passerade vägarbetsplatsen redovisas i Tabell 9 nedan.

I mätpunkt M3 kan signifikanta skillnader i de passerande fordonens sidoläge för de olika betingelserna 1–4, dvs. de olika gula rinnande blinkljusen, påvisas. Sidoläget för betingelse 1 var 0,752 m, för betingelse 2 1,007 m, för betingelse 3 0,799 m och för betingelse 4 0,841 m.

Parvisa jämförelser (Tukey) gav att man vid betingelse 2 höll sig längre till vänster än vid betingelserna 1 och 3.

I de övriga mätpunkterna kunde inga signifikanta skillnader i sidoläge för de olika betingelserna påvisas.

Tabell 9 Medelsidoläge med 95 % konfidensintervall i mätpunkterna M3–M5 för den ordinarie trafiken.

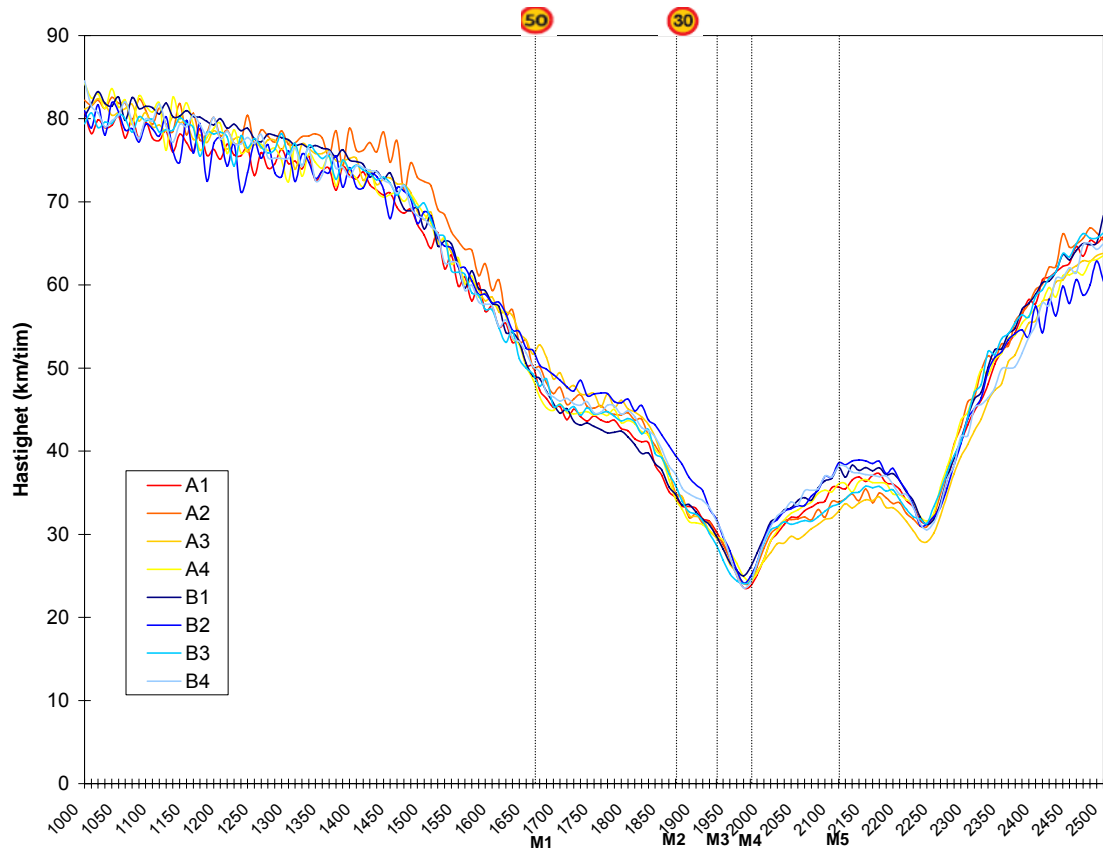
Betingelse	Mätpunkt		
	M3	M4	M5
A1	0,79±0,07	0,69±0,06	0,52±0,05
A2	0,91±0,09	0,73±0,07	0,51±0,06
A3	0,81±0,09	0,65±0,07	0,44±0,06
A4	0,83±0,11	0,72±0,09	0,51±0,07
B1	0,71±0,15	0,82±0,12	0,51±0,10
B2	1,10±0,14	0,73±0,10	0,55±0,10
B3	0,79±0,12	0,73±0,10	0,47±0,08
B4	0,86±0,14	0,75±0,12	0,60±0,09

Försökspersonernas fordon – kontinuerlig hastighetsmätning

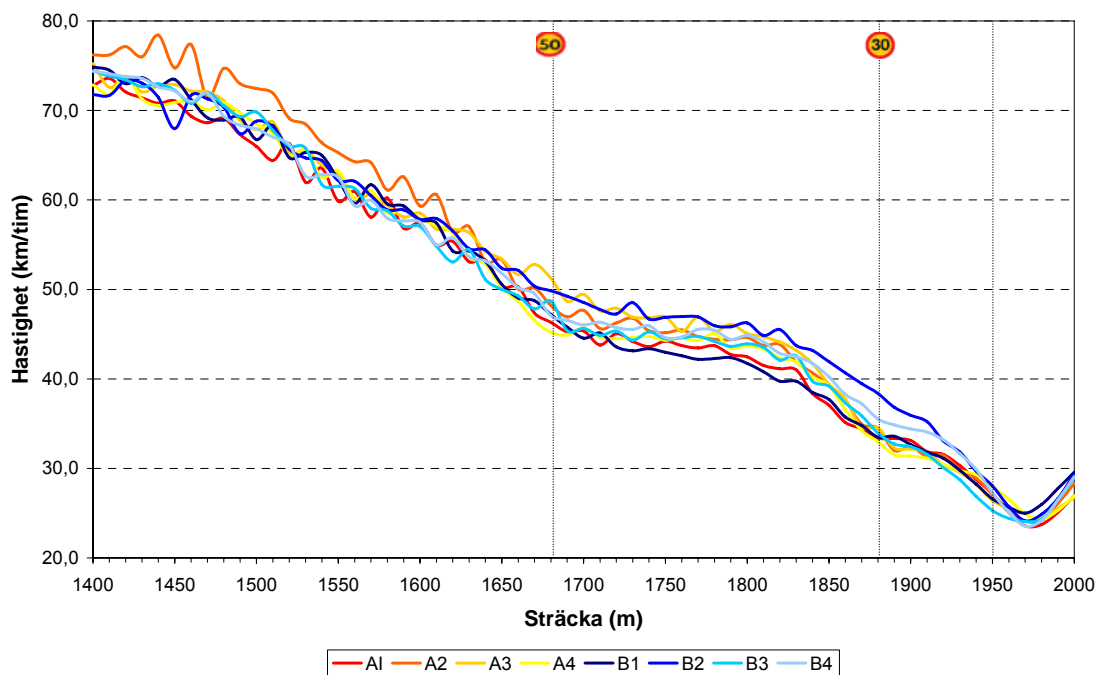
Försökspersonernas hastighet har även registrerats kontinuerligt med en samplingsfrekvens på 0,5 respektive 1,0 sekunder beroende på vilken av de tre mätbilarna de har kört.

De tolv försökspersonernas medelhastighet var 10:e meter har beräknats för varje betingelse och redovisas i Figur 4.5 nedan.

Om analyserna av hastighet och sidoläge i de 5 mätpunkterna hade uppvisat signifikanta skillnader mellan olika betingelser kunde det ha varit av intresse att även studera retardationsförloppen med hjälp av de kontinuerliga mätningarna. Nu var ju detta inte fallet och därför beslutades att inte lägga ytterligare resurser på analyser av de kontinuerliga mätningarna.



Figur 4.5 Försökspersonernas medelhastighet för varje betingelse. I diagrammet är även de fem stationära mätpunkterna markerade.



Figur 4.6 Försökspersonernas medelhastighet för varje betingelse längs "retardationssträckan" fram till överledningen.

5 Diskussion och slutsatser

Två pilotstudier, båda avseende stationärt vägarbete på mötesseparerad landsväg, har genomförts under år 2006. Den första genomfördes på ett flygfält där en ”vägarbetsplats” ställts upp på en rullbana. Två typer av arbetsplatsbelysning och ett flertal olika varianter av gula blinkljus testades. Samtliga bedömningar gjordes av en expertpanel bestående av projektdeltagarna som stod på ett fixt avstånd från vägarbetsplatsen.

Tre varianter av gula rinnande blinkljus bedömdes som fullt acceptabla. Med störande ljus i form av en bil med gul blinkfyr på taket stående inne på arbetsplatsområdet fick en av varianterna sämre bedömning. Orsaken var att de olika ljuskällorna samverkade på ett sådant sätt (frekvens och intensitet) att den visuella ledningen från de gula rinnande blinkljusen försämrades.

Något som i hög grad påverkar den visuella ledningen är nederbörd och våt vägbanan. Detta både försämrar sikten för föraren och ger upphov till förvillande speglingseffekter som även kan orsaka bländning.

Under hela försöket var det i stor sett uppehåll. Ett försök att åstadkomma en speglade beläggningen gjordes genom att ta en brandbil till hjälp för att vattenbegjuta ytan. Beläggningen förblev dock inte tillräckligt våt för att detta skulle skapa spegling som i någon större utsträckning påverkade expertpanelens bedömning eller den uppmätta bländningen.

Pilostudie 2 genomfördes på en verklig 2+1-väg där ett stationärt vägarbete upprättades på 1-fältsdelen av vägen. Pilotstudien omfattade körförsök där försökspersonerna utgjordes av personer äldre än 50 år. På detta vis erhöles en mer realistisk situation där bedömningen gjordes i samband med att försökspersonerna körde förbi vägarbetsplatsen. Tyvärr var det även i detta fall uppehåll under hela den natt som försöken genomfördes, vilket innebär att den besvärligaste situationen avseende bländning inte har kunnat undersökas. Det ansågs inte heller möjligt att åstadkomma en konstant och tillräckligt våt vägyta för att skapa bländningsproblem under körförsöken.

Fyra varianter av gula rinnande blinkljus testades. Tre av varianterna var de tre som ansågs bäst vid pilotförsök 1. Den fjärde var en variant med kort intensivt blink som förväntades upplevas som sämre pga. dålig visuell ledning.

Det visade sig dock att försökspersonerna inte upplevde någon större skillnad mellan de olika varianterna av gula rinnande blinkljus. En orsak är troligen, som någon försöksperson också kommenterade, att hastigheten var så låg när man kom fram till överledningen att den visuella ledningen inte utgjorde något problem.

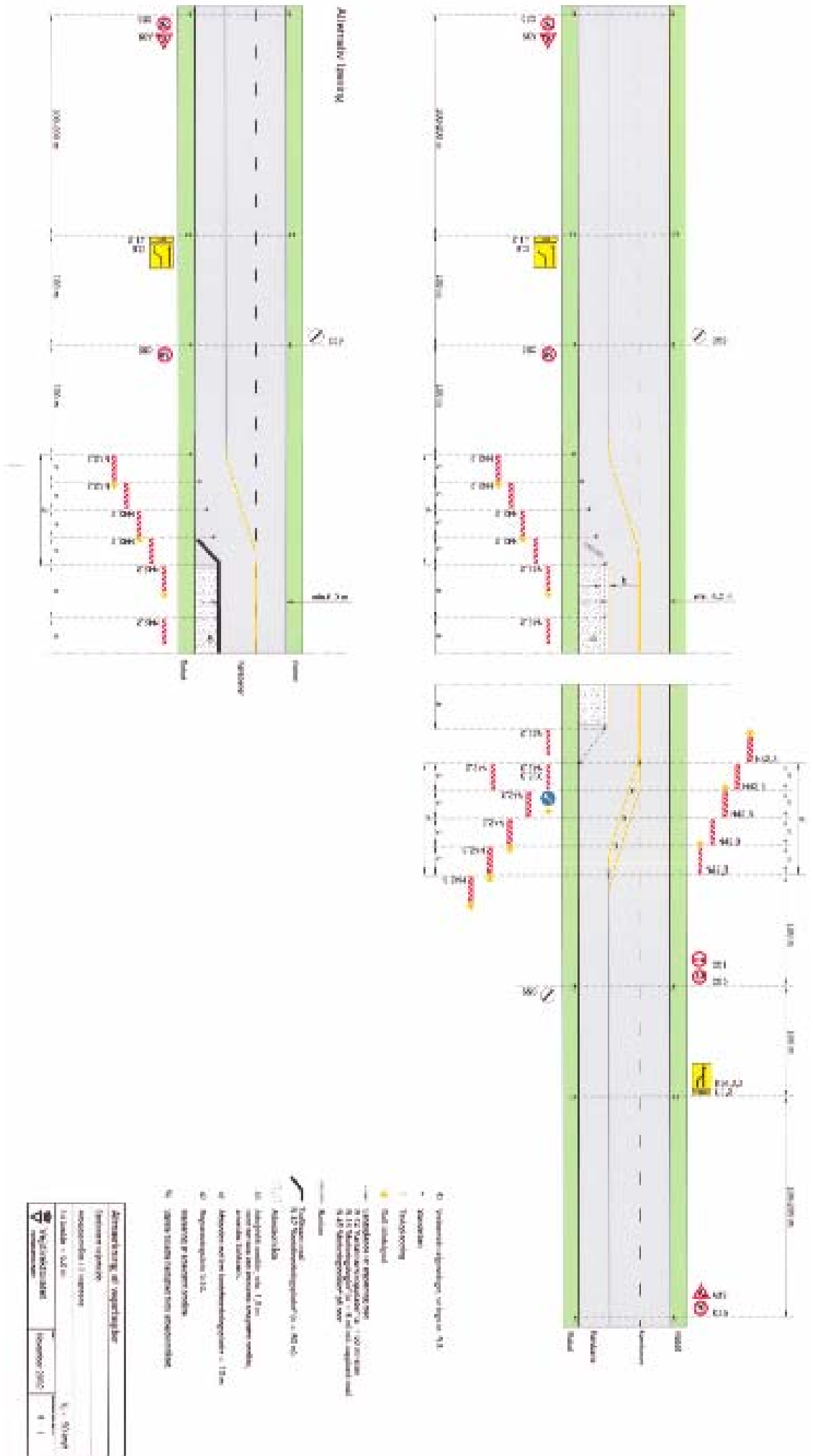
Det som försökspersonerna framförallt lade märke till och i viss mån stördes av var arbetsplatsbelysningen. Två typer av belysning testades även i pilotstudie 2. Den ena var en symmetrisk strålkastare med vitt ljus och den andra en asymmetrisk strålkastare med gult ljus. Flera försökspersoner uppgav att de var störda av det vita ljuset och föredrog det gula. Nu var de båda strålkastarna även något olika riktade, vilket naturligtvis också påverkar bländningsgraden och därmed bedömningen. Strålkastaren med det vita ljuset var mer riktat mot trafiken.

Den vägarbetsplatstyp som valts ut för pilotstudierna kan inte anses vara någon av de mer besvärliga typerna för trafikanterna. För kommande studier bör den vägarbetsplatstyp som kan förväntas utgöra den mest besvärliga avseende visuell ledning och bländningsproblem väljas ut.

En separat studie av hur arbetsplatsbelysningen bör utformas för olika typer av arbeten bör genomföras. Denna studie ska avse utformningen utifrån vägarbetarens behov av belysning för att kunna utföra sitt arbete på bästa sätt.

Referenser

- Augdal, A. (2005) Metoder för å måle synsnedsettende blending. SINTEF, Trondheim.
- Nygårdhs, S. & Ihs, A. (2006) Speglande reflexion i våta vägbeläggningar. VTI notat 27. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Sørensen, K. (2006) Gula blinksignaler – statusrapport juni 2006. DELTA Lys & Optik.
- Tiensuu, A. (2006) Belysning av vägarbetsplats. LiCon-AT Oy.



Helsinki University of Technology
Lighting Laboratory

Lysgener Project

Lighting of road construction work

Pilot measurement at Værløse airport on 28-29th March 2006

Report 30.5.2006

Jorma Lehtovaara
Aleksandr Ekrias



Fig. 4. LMK Mobile camera.

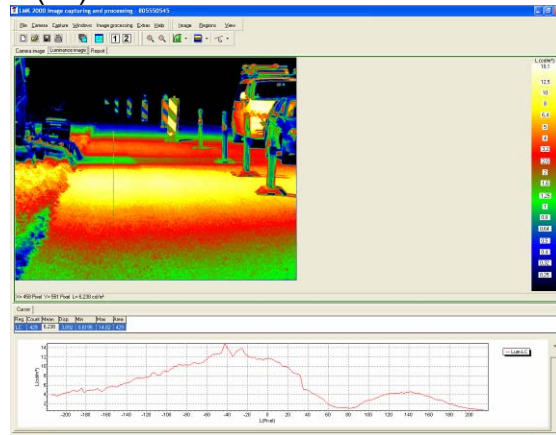


Fig. 5. LMK 2000 software.

Luminance data acquisition system

The dynamic luminance of the road surface was measured with a LMT 1009 spotluminance meter connected via analog output to a National Instruments USB-6009 data acquisition card. The acquisition software was Dewesoft 6.3.3 running in Windows XP. The video capture was taken from Sony DCR-HC39 DV-videocamera by using a USB-connection. The luminance measurement rate was 20 readings/second.

Illuminance meter

The illuminances were measured with LMT Pocket-Lux illuminance meter.

Working area illuminances

Illuminances were measured in two rows at the road surface in the working area. The distance of the measurement points was one meter. The results with both lamp types are shown in Table 1.

The objectives of the study

The aim of the measurements was to study lighting conditions and measurement methods in night-time working conditions. Measuring took place at outdoor road construction workplace when bypassing traffic was present. One driving lane was closed and traffic was controlled with flashing signals and lane paintings as shown in Figures 1 and 2.



Fig. 1. Pilot working area by day.



Fig. 2. Pilot working area from other point of view.

Lighting systems

Measurements were done with two different lighting fixtures. In the first night the mobile 8 m high mast system standing outside the road area was equipped with three 1000 W halogen floodlights and in the second night with two 150 W HPS floodlights.

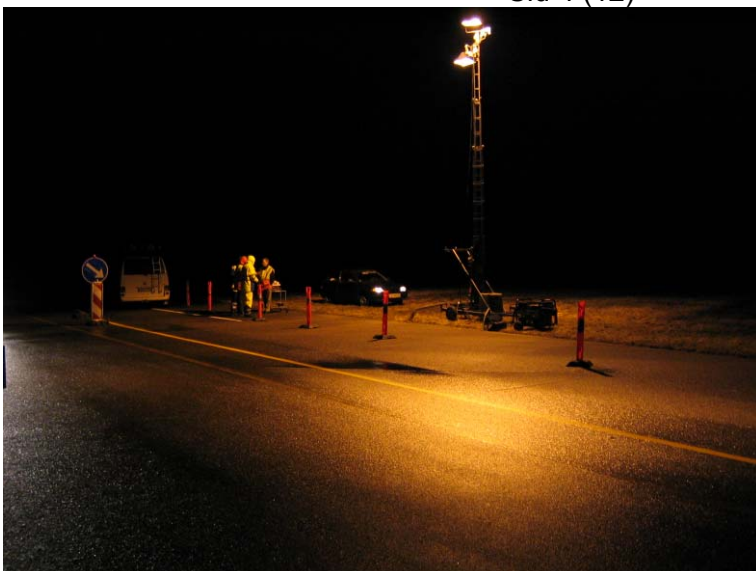


Fig. 3. Pilot working area lit with two 150 W HPS floodlights.

Measuring instrumentation

LMK Mobile

The LMK Mobile is an imaging luminancephotometer and it is used for luminance measurements and analysis in indoor and outdoor lighting. Based on the digital camera Rollei the LMK mobile is a completely mobile measuring system. A CCD matrix is used as a sensor. For calculating the luminance data, a weighted mean value is formed from the channels red, green and blue of the built-in 1-chip colour matrix of the camera having 1300 x 1030 pixels. The pixels of a macro cell, which is composed of two green pixels, one red and one blue pixel, are combined to one luminance value. The size of the luminance image is 650x515 The camera is also equipped with an optical zoom system allowing a flexible adaptation to the scene. With the LMK Mobile camera it is possible to do complex evaluations of luminous and illuminated scenes by means of the photograph's an image-resolved luminance distribution.

With the LMK Mobile camera, simultaneous luminance values of the whole scene are captured in a few seconds. pixels. After taking a picture it can be analyzed using the LMK 2000 software. Various image-processing algorithms make complex photometric evaluations possible such as coordinate transformations, projective corrections, object recognition, geometrical measurement and filtering. Both the LMK Mobile camera and the LMK 2000 software are designed by TechnoTeam.

Bilaga 2
Sid 5 (12)

Table 1. Measured illuminances on the working area

	y	Halogen		HPS	
		x= 0,5	x=1,5	x=0,5	x=1,5
	6	38	31	79	81
	5	31	16	112	114
	4	13	16	144	115
	3	14	18	149	138
	2	19	23	164	150
	1	59	61	160	165
mast ->	0	92	93	161	127
	-1	132	125	125	115
	-2	162	153	133	136
	-3	183	175	104	90
	-4	179	170	66	61
	-5	152	140	52	48
	average =		87		116
	min/avg =		0,15		0,41

Working area luminances

Working area luminances were measured with LMK Mobile camera. Figure 6 shows the luminance levels of the construction work area lit with three 1000 W halogen floodlights. Figure 7 shows the same area lit with two 150 W HPS floodlights. Colors and palettes on the right show the luminance distribution of the working area. Comparison displays that the luminance levels of the halogen floodlights are much higher, partly because the road surface was wet on the second night of measurements (Fig. 7).

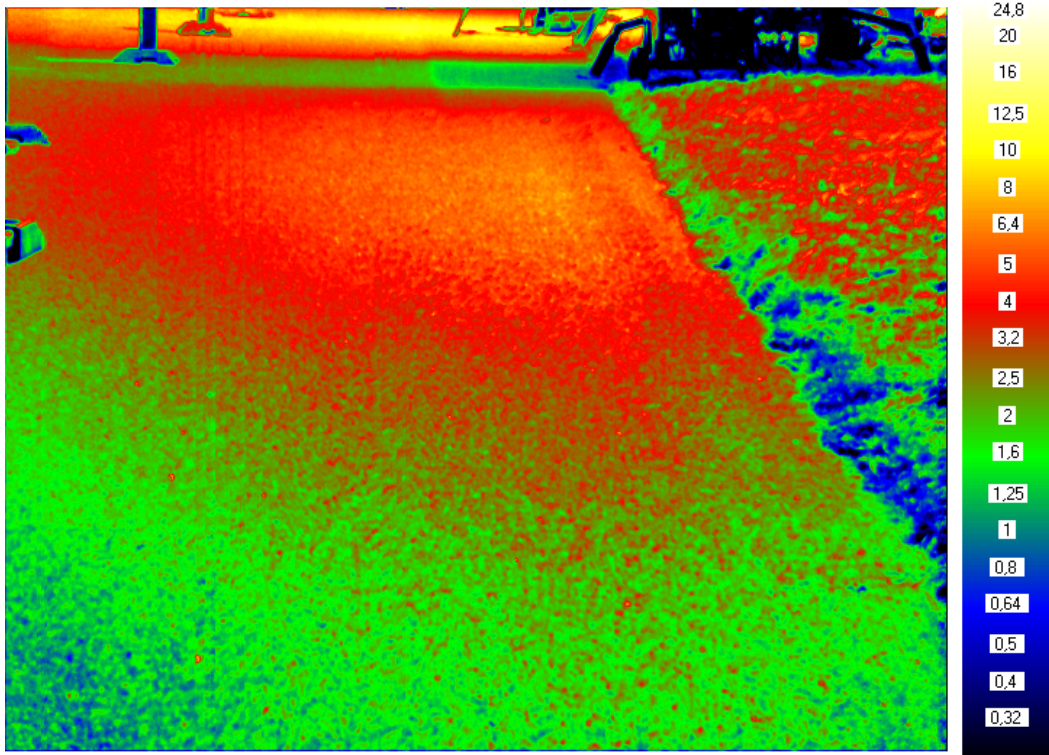


Fig. 6. LMK 2000 software. Luminance levels of the pilot working area lit with three 1000 W halogen floodlights.

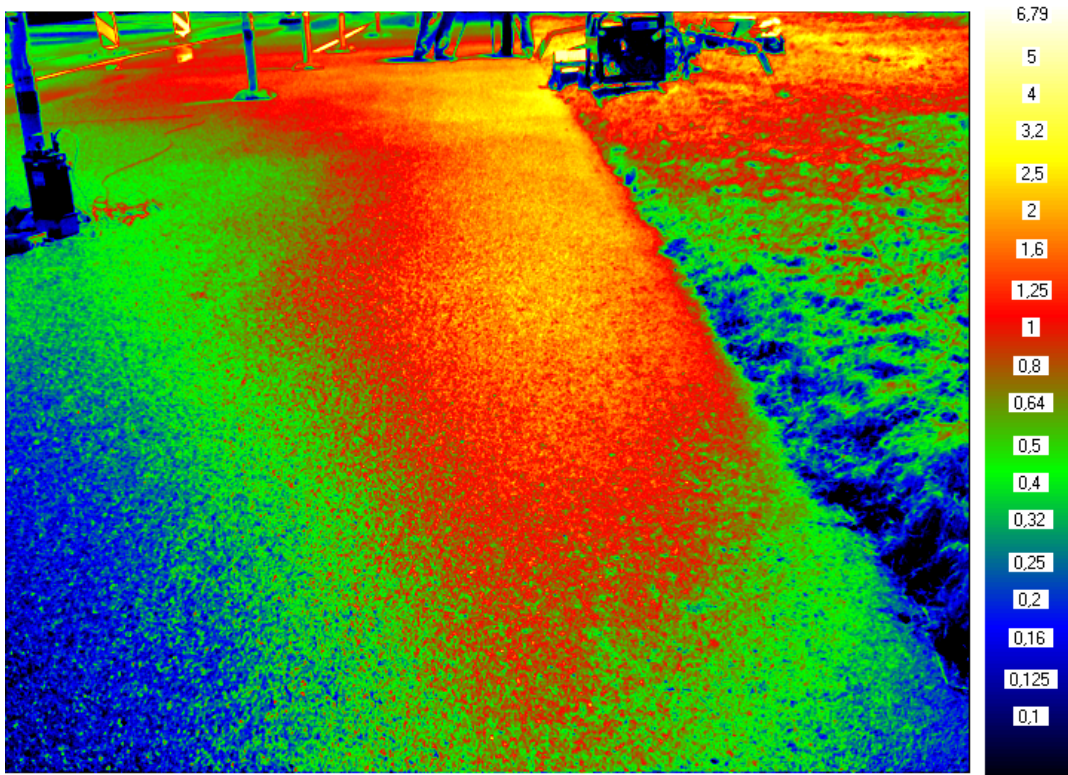


Fig. 7. LMK 2000 software. Luminance levels of the pilot working area lit with two 150 W HPS floodlights. Road surface is wet.

Effect of bypassing traffic on vertical illuminance

The effect of the bypassing car's headlights was measured by using a vertical test surface $h=0,75$ m facing to the traffic. I.e. the reading on the vertical surface without headlights was 1,3 lx and the max value with headlights was 4,5 lx thus the difference was 3,2 lx (Fig. 8). Although the relative difference is rather high, the absolute value has no disturbing effect on the work.



Fig. 8. Measured vertical illuminance on the box without/with bypassing car with low beam headlights.

Effect of bypassing traffic on vertical luminance

The effect of the bypassing car's headlights on vertical luminance levels was also measured using the same vertical test surface $h=0,75$ m. Average luminance results on/of the vertical surface with and without headlights are shown in the Table 2. Luminance levels were measured from two different circle areas as shown in Figures 9 and 10. *Area* readings represent the number of pixels of the measured areas and every pixel has its own luminance value. For example the second circle area consists of 11790 different pixels. *Normal value* is an average of all pixels without car headlights and *With headlights value* represents the average luminance value with the effect of bypassing car.

As also resulted in previous chapter bypassing cars have no disturbing effect on the working conditions. For example *Area 1* reading on the vertical surface without headlights was $0,1352 \text{ cd/m}^2$ and the value with headlights was $0,3641 \text{ cd/m}^2$. Although the difference between these values is rather high the average luminance value $0,3641 \text{ cd/m}^2$ is so small that it has no disturbing effect on the work.

Table 2. Measured vertical luminances (mean values). (Fig. 9 and 10)

No.	Unit	Area (pixels)	Normal (mean)	With headlights (mean)
1	L-cd/m ²	9261	0,1352	0,3641
2	L-cd/m ²	11790	0,1405	0,3609

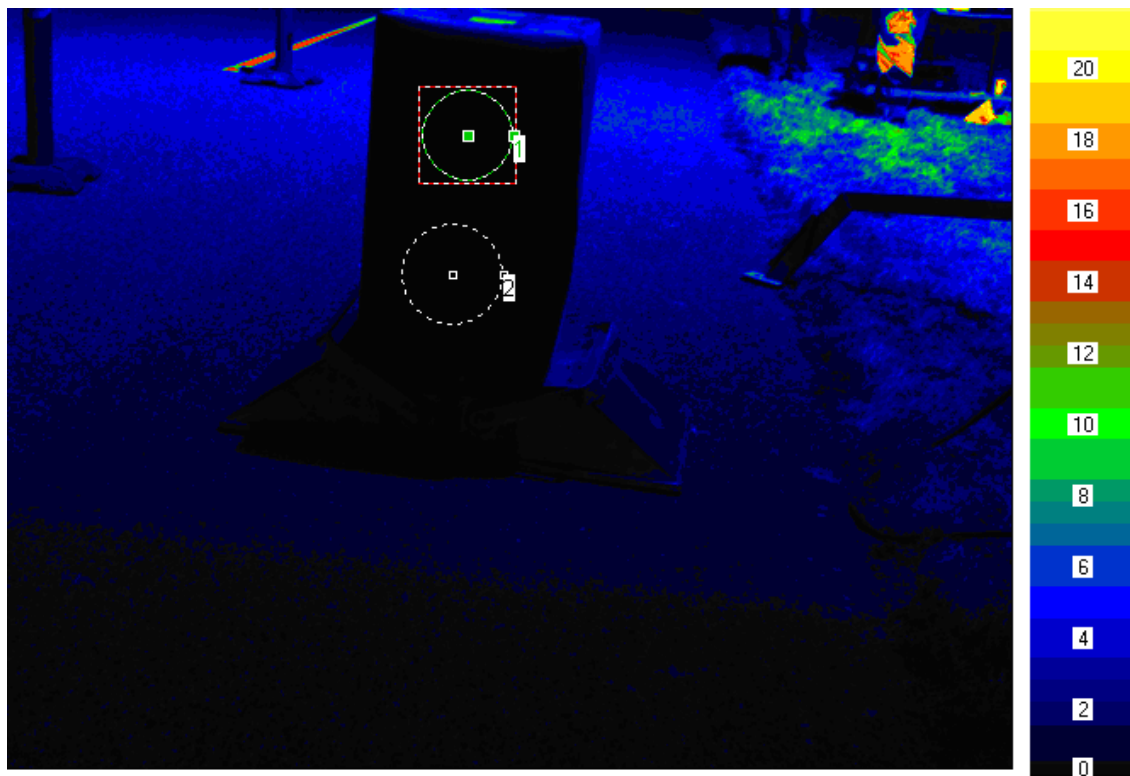


Fig. 9. Vertical luminance measurements. Normal situation.

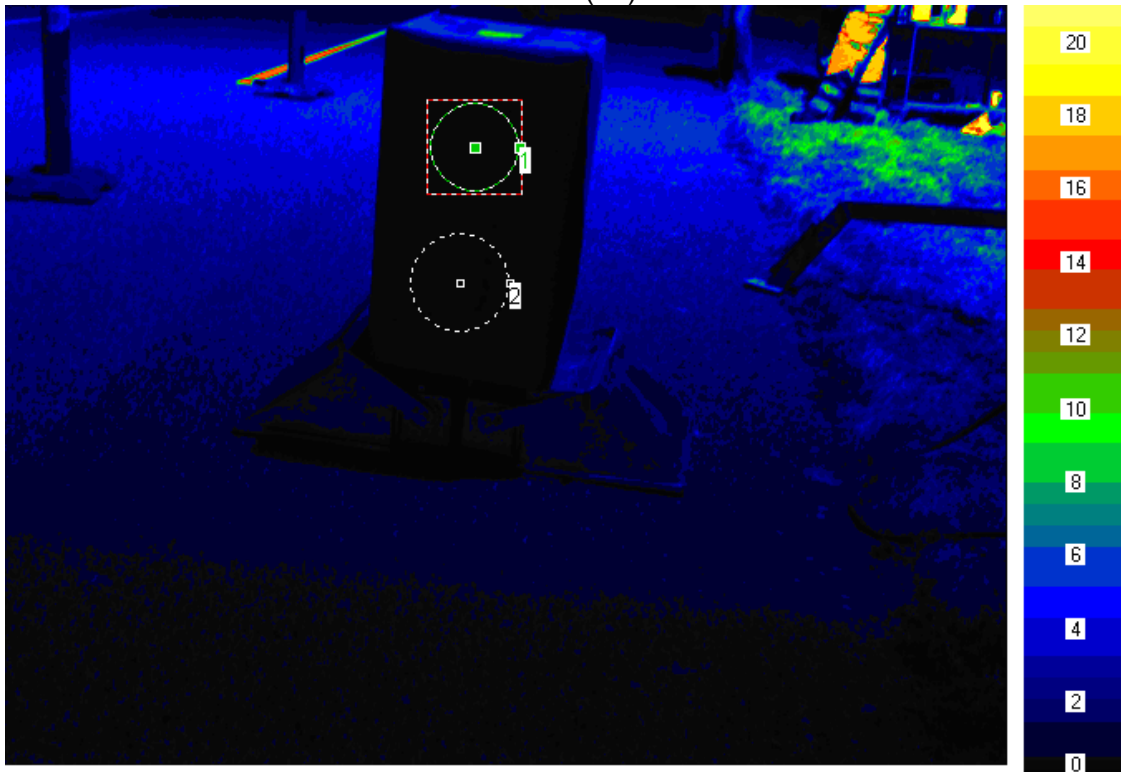
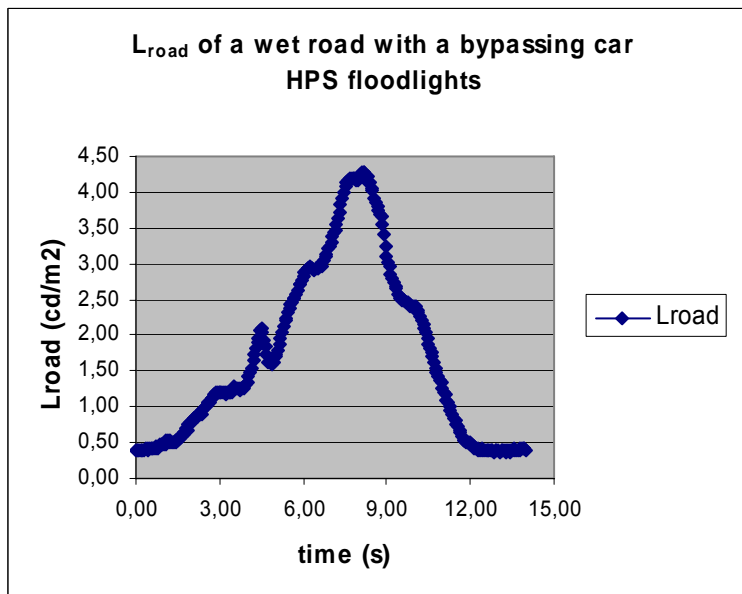
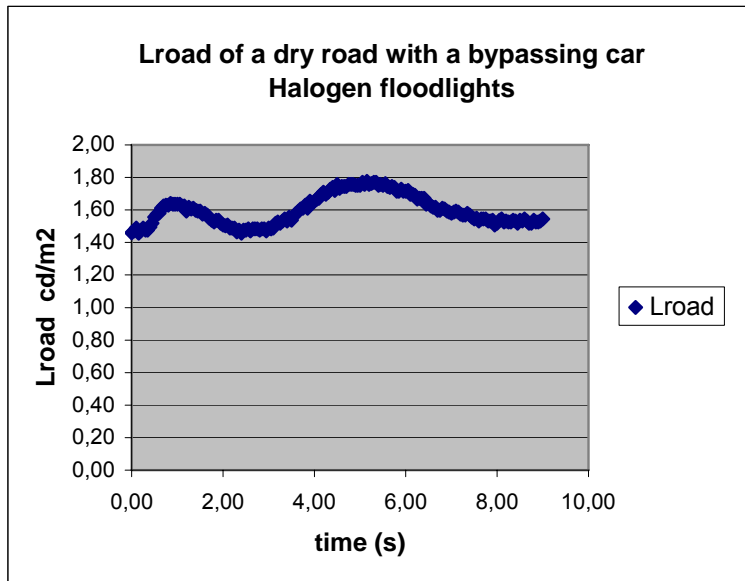


Fig. 10. Vertical luminance measurements. Bypassing car situation.

The effect of bypassing car on the road luminances

The changes in the road luminance of the working area were measured with a standard spot luminance meter connected to a data acquisition card. The car with low beam was moving towards the meter. The height of the camera was about 1.5 m and the measured area on the road was 15 m in front of the camera. The first measurement was made in dry conditions with halogen work floodlights on. The second measurement was made in wet conditions with HPS lighting. These two measurements cannot be compared directly with each other but they show that in dry conditions bypassing traffic has only a small influence on the horizontal luminance of the work area. The measured luminance raised only 20 %. In wet conditions the road surface is glossy and bypassing traffic causes reflections from the road even in the work area. In wet conditions the maximum reading was about 9 times the minimum reading.



The changes in the road luminance of the working area were also measured with LMK Mobile camera. The aim of the measurements was to investigate the effect of bypassing traffic on luminance levels of the working area. The measuring road, road luminances, effects of bypassing car on the road luminances and the measuring areas (circles) are represented in Figures 11, 12, 13 and 14. Figure 11 shows starting luminance levels of the road. In Figures 12, 13 and 14 (Measurements 1, 2 and 3) car is driving by and has an effect on luminance levels. Pictures are taken with different car positions. Average luminance results are shown in the Table 3. Luminances were measured from five different circle areas. Alike in Table 2 *Area* readings represent the number of pixels of the measured areas. *Mean* value is an average luminance value of all pixels of the area. Table 3 shows that the effect of the bypassing car on luminance levels of the road was quite minimal. For example value of the *Area 3* changed only 0,064 cd/m² (3,572 / 3,636 cd/m²) if starting luminance value is compared with *Measurement 3* luminance value (Fig. 14).

Table 3. Measured luminances of the working area (mean values). (Fig. 11, 12, 13 and 14)

			Starting cond.	Measurement 1	Measurement 2	Measurement 3
No.	Unit	Area	Mean	Mean	Mean	Mean
1	L-cd/m ²	11030	3,309	3,442	3,188	3,334
2	L-cd/m ²	12970	1,482	1,549	1,588	1,565
3	L-cd/m ²	17810	3,572	3,673	3,653	3,636
4	L-cd/m ²	6161	2,399	2,53	2,494	3,457
5	L-cd/m ²	10680	2,432	2,508	2,579	3,581

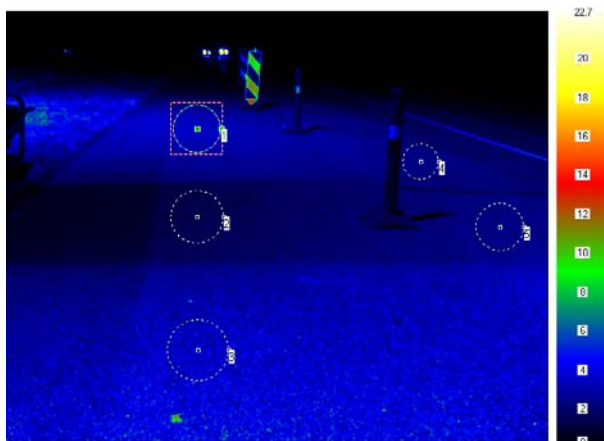


Fig. 11. Starting luminance levels.



Fig. 12. Measurement 1.

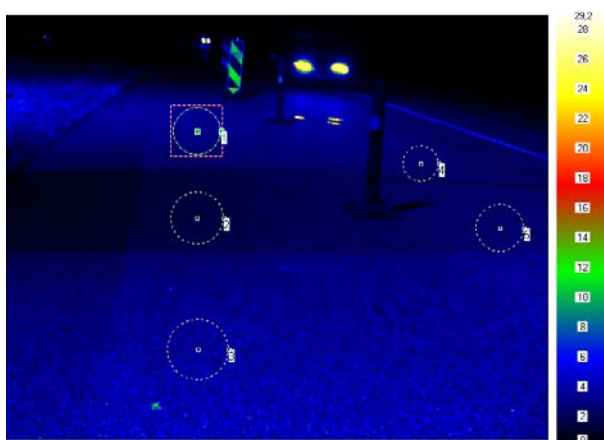


Fig. 13. Measurement 2.

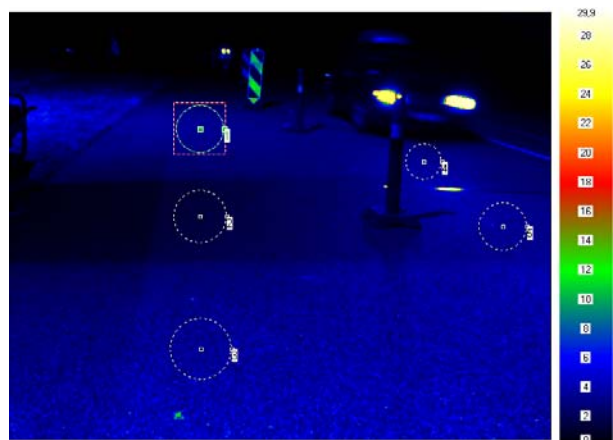


Fig. 14. Measurement 3.

In Figures 15 and 16 are shown the reflection differences between wet and dry surfaces. In Figure 11 the road surface is dry and lit with three 1000 W halogen floodlights. In

Figure 12 the same road surface is wet and lit with two 150 W HPS floodlights. In dry conditions road luminances are higher. Wet conditions causes substantially more glare when bypassing traffic is present.



Fig. 15. Dry surface.



Fig. 16. Wet surface.

Conclusions

The measurements showed that with effective HID floodlights it's possible to get an adequate lighting for a night time road work. The used floodlights installed in a high mast gave an uniform illuminance on the working area without a disturbing glare. In wet conditions road luminances are lower if no reflections from bypassing cars are present. Generally the influence of bypassing cars on the lighting, both on illuminance and luminance, is small when the horizontal work area illuminance was 100 lx or more. The low beam of the car is giving light just to the front area of the car not to the side areas or above the horizon.

Pilot measurement at Værløse airport showed that the imaging luminancephotometer LMK Mobile along with the LMK 2000 software are very efficient luminance measuring system in outdoor lighting. LMK Mobile is very easy to use in mobile measurements because it doesn't necessarily need a stationary power supply or a PC/laptop. Simple object recognition and its photometric analysis allow very fast evaluations and reports.

Evaluations of sequential running lights at Værløse airport

Kai Sørensen, DELTA and Britta Fismen, SINTEF, 3 April 2006

Foreword and preliminary conclusions

The evaluations were carried out as a part of a pilot project of the Nordic project termed 'Lysgéner ved vejarbejder om natten' carried out on a runway at Værløse airport on 28 and 29 March 2006.

The preliminary conclusions of the evaluations are:

- an on-time of the lights of 0,2 second is preferable to 0,111 second
- a very short on-time - as with xenon flash lamps - makes it difficult to perceive the direction of the sequence, unless the lights have a steady background level
- an on-time of 0,5 second combined with a delay time of 0,2 second from one light to the next is confusing because more than one light is on at a time
- the method of individual on-times (turning lamps on one after the other, and leaving them on until the last lamp has been turned on during its on-time) received good marks
- the effective luminous intensities have been set according to previous experiments for individual lights, and seemed to be suitable also for sequential running lights - perhaps with a trend towards lower levels.

The delay-time between lights in the sequence was set to 0,2 seconds in all cases. Such a delay time is found in commercially available sequential running lights and seems to be suitable.

1. The experimental arrangement

The experimental arrangement is according to drawing 4.1 of the Danish road standards for marking of road works "Afmærkning af vejarbejder - tegninger", Vejdirektoratet 2002 (see www.vejregler.dk), except that those parts of the arrangement which were to be placed at the left-hand side of the road were unnecessary and therefore omitted. The central parts of the arrangement are shown in the photo in figure 1.

Five yellow signal lights are seen in the foreground. These lights were made at DELTA for use in experiments with yellow signal lights. The lights can be controlled in terms of a period consisting of an on-time and an off-time, and the intensity of light during the on-time. Additionally, a 'background level' of intensity can be set for the off-time.

The lights have been used previously in an individual manner for experiments with suitable effective intensities and flashing sequences, refer to the report "Gule blinksignaler - statusrapport august 2005".

Additionally, the lights can be used as sequential running lights, in which a delay-time determines the rate of the sequence. This can be done by two methods:

- I each light turns on in its specified on-time and then goes off

Bilaga 3

Sid 2 (6)

- II each light, after being turned on, stays on until the last light has been on in the specified on-time.

The experiments described below uses the lights as sequential running lights by the above-mentioned methods.

Five additional signal lights are seen in the background of the photo in figure 1. These are commercially available sequential running lights working by the above-mentioned method I. The delay time is approximately 0,2 second and the on-time is approximately 0,1 second (the lights use halogen incandescent lamps). This corresponds to the settings #1 or 2 mentioned later for the experimental yellow lights.

NOTE: All the lights seem to be on simultaneously in the photo of figure 1 due to the long exposure of the photo.

The two sets of sequential running lights are intended to lead drivers to the left around a work zone and back again behind the work zone. When the photo was taken, the work zone was illuminated by three floodlights on a pole, each with a 1500 W halogen incandescent lamp. When the evaluation of the yellow signal lamps was carried out, these flood lamps had been replaced with two flood lamps with flat, horizontal glass covers, each with a 150 W high pressure sodium lamp.

The evaluations were carried out in the way that a group of observers (participants in the pilot project) were standing at a distance of 50 m in front of the experimental running lights and successively evaluated a number of settings of the lights. The distance of 50 m is intended to be relevant for a driving speed of 50 km/h.

The age of the observers was between 30 and 65 years; the opinions of eldest observers were weighted the most.



Figure 1: Central parts of the experimental arrangement.

Daylight evaluation

A daylight evaluation was carried out in conditions of an overcast sky with a daylight illumination level of approximately 8 000 lx on the horizontal.

The settings are all based on effective luminous intensities of 400 cd, as found most suitable in previous experiments. The suitability of this level was confirmed in setting #1 and, therefore, the adjustment of the level intended in setting #2 was not carried out.

The settings are described in table 1, while the evaluations are provided in table 2.

Table 1: Settings used for daylight evaluation.

Bilaga 3
Sid 4 (6)

Setting #	On-time (second)	Effective luminous intensity (cd) *)	Comment
1	0,111	400	method I
2	(this setting was not used)		
3	0,200	400	method I
4	0,500	400	method I
5	0,020	400	method I
6	as setting #5 with an background level of 30 cd		
7	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	400 **)	method II
*) the effective luminous intensity is according to the Blondell-Rey formula			
**) the effective intensity of the last light in the sequence with an on-time of 0,2 second			

Table 2: Evaluations for daylight conditions.

Setting #	Evaluations
1	OK.
3	Better than 1.
4	Not good. First light is on before the last is off. Confusing.
5	Too short light pulse. Difficult to find direction
6	Better to have a weak background together with the short pulse.
7	Nice and clear.
The daylight favourites are settings #3, 6 and 7.	

2. Night-time evaluation

Night-time evaluations were carried out in late dusk, a bit before total darkness with an ambient luminance level of approximately 1 cd/m².

The setting #1 assumes that the most suitable effective intensity in darkness at 50 m distance is 100 cd. This was the result for inexperienced observers (employees at DELTA) in previous experiments. However, experienced observers preferred an effective intensity of 30 cd in these conditions, and therefore setting #2 is introduced in order to decide which of the two levels is preferable for sequential running lights.

As the lower of the two levels of luminous intensity was actually preferred in these evaluations, the other settings were used with this level. As an exception, however, setting #7 was repeated in setting #7b with a lower effective luminous intensity of 20 cd. This is sensible, as four of the five yellow lights are operated in this setting with a longer on-time than 0,2 second and therefore has a higher effective intensity than the intensity set for the on-time of 0,2 second.

Bilaga 3
Sid 5 (6)

The evaluations were carried out twice; first with no disturbing lights (other than the second sequential running light) and with the work place lighting turned off; and next with a VTI van placed in the work zone with blinking warning lights turned on - and also with the work zone lighting turned on.

For the two cases, the settings are described in tables 3 and 5 respectively, while the evaluations are provided in tables 4 and 6 respectively.

Setting 3, 6 and 7 were filmed from the VTI instrumented car.

Table 3: Settings used for evaluation in dusk/night without disturbing lights.

Setting #	On-time (second)	Effective luminous intensity (cd) *)	Comment
1	0,111	100	method I
2	0,111	30	method I
3	0,200	30	method I
4	0,500	30	method I
5	0,020	30	method I
6	as setting #5 with an background level of 8 cd		
7	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	30 **)	method II
7b	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	20 **)	method II
*) the effective luminous intensity is evaluated by the Blondell-Rey formula			
**) the effective intensity of the last light in the sequence with an on-time of 0,2 second			

Table 4: Evaluation of dusk/night settings without disturbing lights.

Setting #	Comments
1	Too short pulses. A bit too strong.
2	Better than 1. Not too bright. Could have been even less light (but remember that we were standing at 50 m)
3	Good.
4	Too long pulses. Comments that something in between 0,2 and 0,5 second would be ideal (mix of 3 and 4).
5	Too short pulses. Direction difficult to perceive.
6	Background level too bright. Short pulses are easier to perceive with a little background light in addition.
7	A little too bright.
7b	OK light level.
The dusk/night favourites without disturbing lights are 3 and 7(b). Setting 1 which was "OK" at daylight, was not well received at dusk/night.	

Bilaga 3
Sid 6 (6)

Table 5: Settings used for evaluation in dusk/night with disturbing lights.

Setting #	On-time (second)	Effective luminous intensity (cd) *)	Comment
2	0,111	30	method I
3	0,200	30	method I
6	as setting #5 with an background level of 8 cd		
7	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	30 **)	method II
7b	1,0/0,8/0,6/0,4/0,2	20 **)	method II
*) the effective luminous intensity is evaluated by the Blondell-Rey formula			
**) the effective intensity of the last light in the sequence with an on-time of 0,2 second			

Table 6: Evaluation of dusk/night settings with disturbing lights.

Setting #	Comments
2	Not good. Confusing with the blinking warning lights on the van, which had almost the same frequency as the sequential running lights.
3	OK.
6	Too many blinks at different places. Same problem as in 2.
7	Not very different from 7b, might be better to draw attention away from blinking warning lights of the van.
7b	OK
The dusk/night favourites with disturbing lights are 3 and 7.	



SINTEF ICT		MEMO					
		FOR YOUR ATTENTION	COMMENTS ARE INVITED	FOR YOUR INFORMATION	AS AGREED		
Address: NO-7465 Trondheim, NORWAY Location: O S Bragstads plass 2C NO-7034 Trondheim Telephone: +47 73 59 30 00 Fax: +47 73 59 10 39		MEMO CONCERNS Pilot project. Tests at Værløse flyvestation March 2006. Luminance measurements and glare calculations					
FILE CODE CLASSIFICATION		DISTRIBUTION Participants in the Nordic project "Road works during the night. Disturbing light" ("Störande ljus vid arbeten om natten")				X	
ELECTRONIC FILE CODE Lysgener_ Rapport pilot 1 och 2_v1_061219.doc							
PROJECT NO. 90K213.01	DATE 2006-06-29	PERSON RESPONSIBLE / AUTHOR Arve Augdal		NUMBER OF PAGES 82			

1. Introduction

Tests and measurements were performed the in the evening and the night between March 28/29 and March 29/30 2006 at Værløse Flyvestation, Copenhagen, Denmark. It took place on a part of an approximately 2 km long runway. A rather strong wind was blowing and the temperature was approximately 5 °C. The test site simulating a work place on the right-hand side of a road was designed according to Danish road regulations. A scheme of the test site is shown in Appendix A. A tower approximately 9 m high was raised near the road kerb to provide the work place lighting. The first night three 1000 W symmetrical tungsten halogen floodlights made by Cariboni were mounted in the tower. The second night they were substituted by two Idman Philips Ville 510 HVM luminaires modified to use SON-T 150 W lamps.

The object of the test was to get experience with field measurements of this type and to investigate different methods of documentation and evaluation of the tests.

2. Test equipment

The first and second night a digital camera Canon Digital EOS 350D with a Sigma 18 - 50 mm f2,8 EX DC zoom lens was used to take photographs of the test scene. The camera sensitivity was adjusted to 1600 ASA in order to get the shortest possible

exposure time. The luminances were measured in selected areas with a Lichtmesstechnik LMT L1009 luminance meter with measuring fields switchable between 6' and 3°.

The second night a LMK96 measuring system from TechnoTeam was used. This consists of a computer connected to an industrial type digital camera. In principle it works as an imaging luminance meter where the luminance in each pixel can be read. The system was powered by the same generator as the one powering the work place lighting, connected by a long cable.

3. Results

The measuring situations on the two days are shown in *Figure 1* and *Figure 2*



Figure 1. Measuring situation in the first night (2006-03-28)



Figure 2. Measuring situation in the second night (2006-03-29), wet/moist asphalt.
The measuring fields are shown in Figure 3, which is a schematic presentation of *Figure 1* and *Figure 2*.

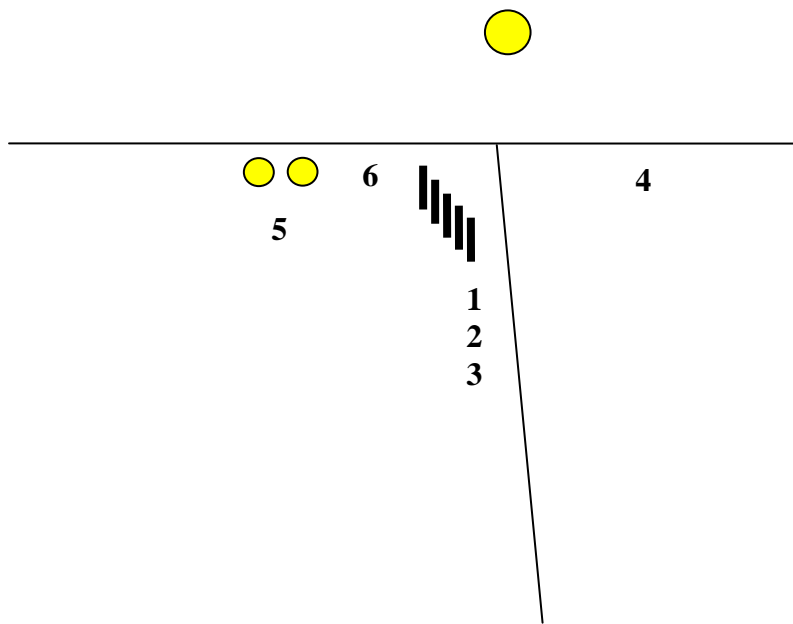


Figure 3. Sketch of setup. Two lines resemble the horizon and the border between grass and asphalt.

In Figure 3 the two yellow spots to the left illustrate a car with headlights switched on. The upper yellow spot illustrates the workplace lighting (tower). Measurement spot 1-3 are on the asphalt surface in front of the flashing lights. Measurement spot 4 is on a brighter stripe of light from the tower, on the grass. Measurement spot 5 is the image of the car headlights in the asphalt. Measurement spot 6 is a brighter stripe of light on the asphalt (the same stripe as number 4).

Luminance measurements were mostly taken on the first night (dry asphalt). Similar values were obtained on the second night. There were some changes from the first night. The asphalt was wet or moist and the headlights and the floodlights were changed, giving different values for these objects. The values for the two nights are given in Table 2.

Bilaga 4
Sid 5 (12)

Table 2. Luminance measurements

Measurement	Measuring distance 70m		Measuring distance 120m		Measuring distance 170m
	Average luminance (cd/m ²)	Measuring field (circular angle)	Average luminance (cd/m ²)	Measuring field (circular angle)	Average luminance (cd/m ²)
1	5.	20'			
2	4.4	20'			
3	3.9	20'			
4	3.9	20'			
5	15-30				
6			3.36	20'	
Tower 1 st night	2140	1°	170	1°	62
Right headlight	200	1°			
Left headlight	300	1°			
Headlights (both) 1 st night	2960	1°	135	1°	100
Tower 2 nd day	1.4	3°	4	1°	
Headlights (both) 2 nd day	48	3°	245	1°	

Using the method described in (1), the threshold increment for an approaching driver at a distance of 70 m from the work place, taking into consideration the opposing car and the luminaires in the tower is in this case $TI = 6,7$. The contribution from the car to the veiling luminance was $0,068 \text{ cd/m}^2$ and from the tower $0,101 \text{ cd/m}^2$.

The method described in (1) can also be used in combination with the LMK96 system. The system has a large dynamic range by taking a series of pictures with increasing exposure time and combining them. Resulting pictures in false colour are

Bilaga 4
Sid 6 (12)

shown in Figure 4 to Figure 7. The scaling used for the colours is shown at the right-hand side of the picture. Average (Ave), minimum (Min) and maximum (Max) luminances in the measuring field are shown at the bottom of the picture. Figure 4 and Figure 5 both show the left-hand side of the test scene, but luminance values are indicated (at the bottom) for different measuring fields. Figure 6 and Figure 7 show the same procedure for the right-hand side of the test scene. Figure 5 and Figure 6 show the same part of the test scene, but both are included to show that though the pictures appear different because of the different scaling (the scaling takes into consideration the highest luminance in the picture) the adaptation luminances are identical. Figure 6 also gives a better indication of the details in the scene.

It is more convenient to use the LMK96 system than the digital camera due to the fact that the software has an option of defining a circular cursor of any size between $0,1^\circ$ and $2,9^\circ$. This makes it unnecessary to find the angular distances described in step one in the method (1). A field of 2° is defined as the measuring field for the car to the left in Figure 4 and the luminaires in the top of the tower in Figure 7. A rectangular field around the driver's direction of view was defined to represent the adaptation field. It has the same size in both Figure 5 and Figure 6.

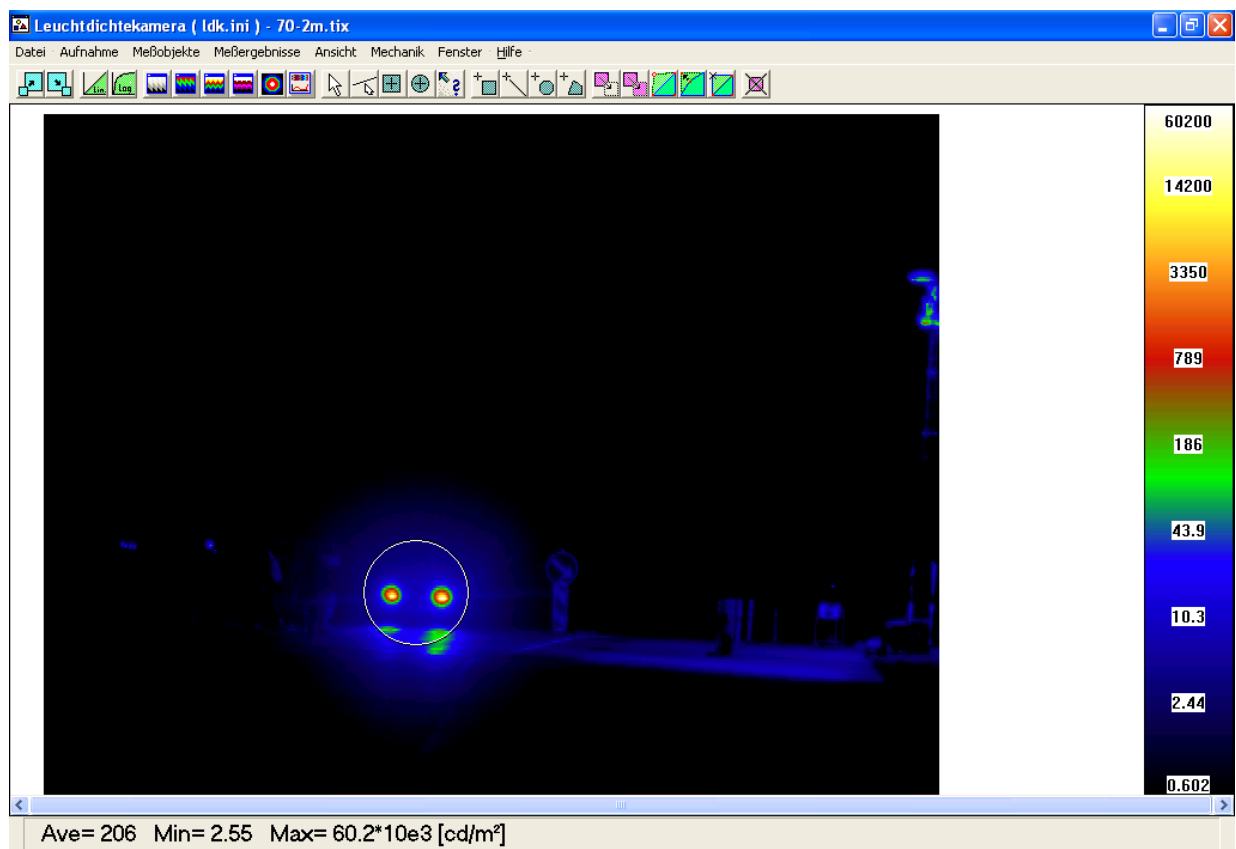


Figure 4. False colour presentation of left-hand part of test site on the second night (2006-03-29), with 2° measuring field and its luminance values

Bilaga 4
Sid 7 (12)

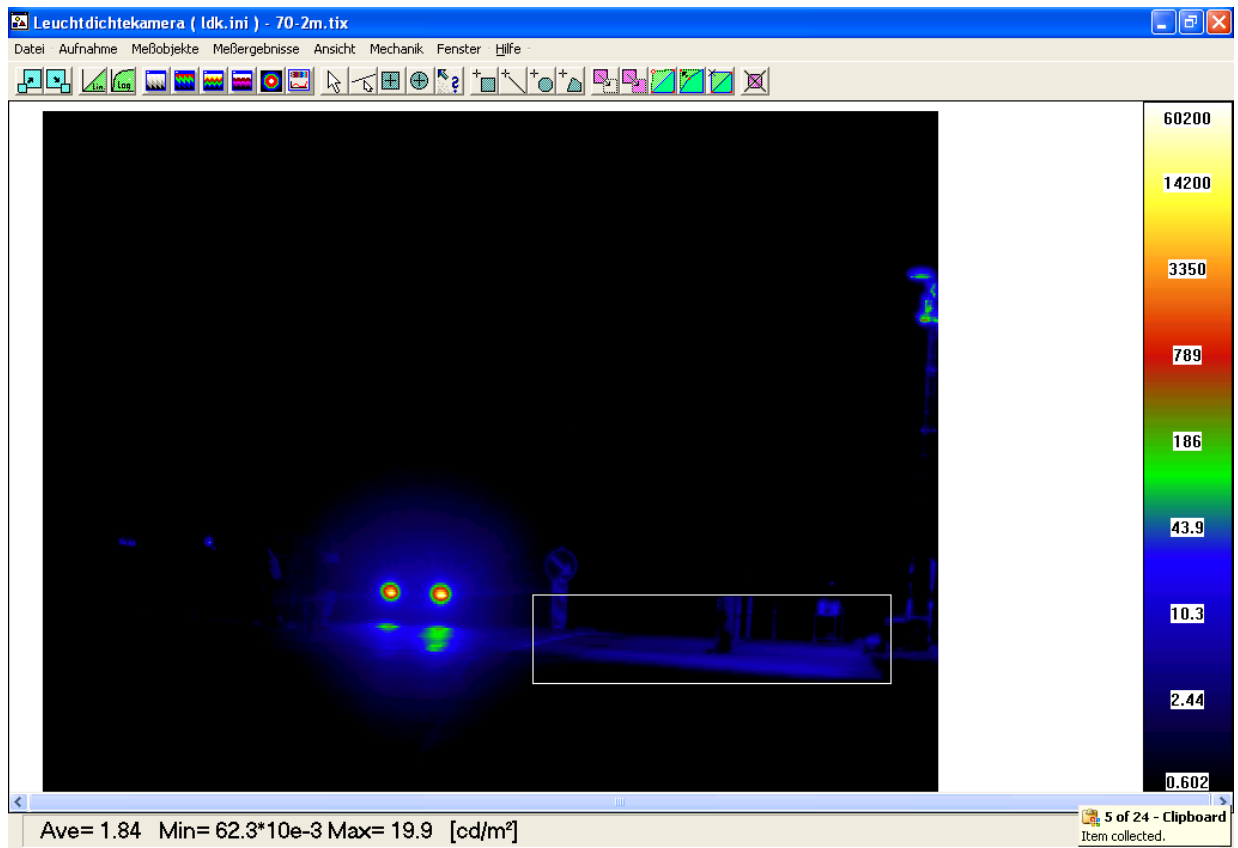


Figure 5. False colour presentation of left-hand part of test site on the second night (2006-03-29), with rectangular measuring field (taken as adaptation field) and its luminance values

Bilaga 4
Sid 8 (12)

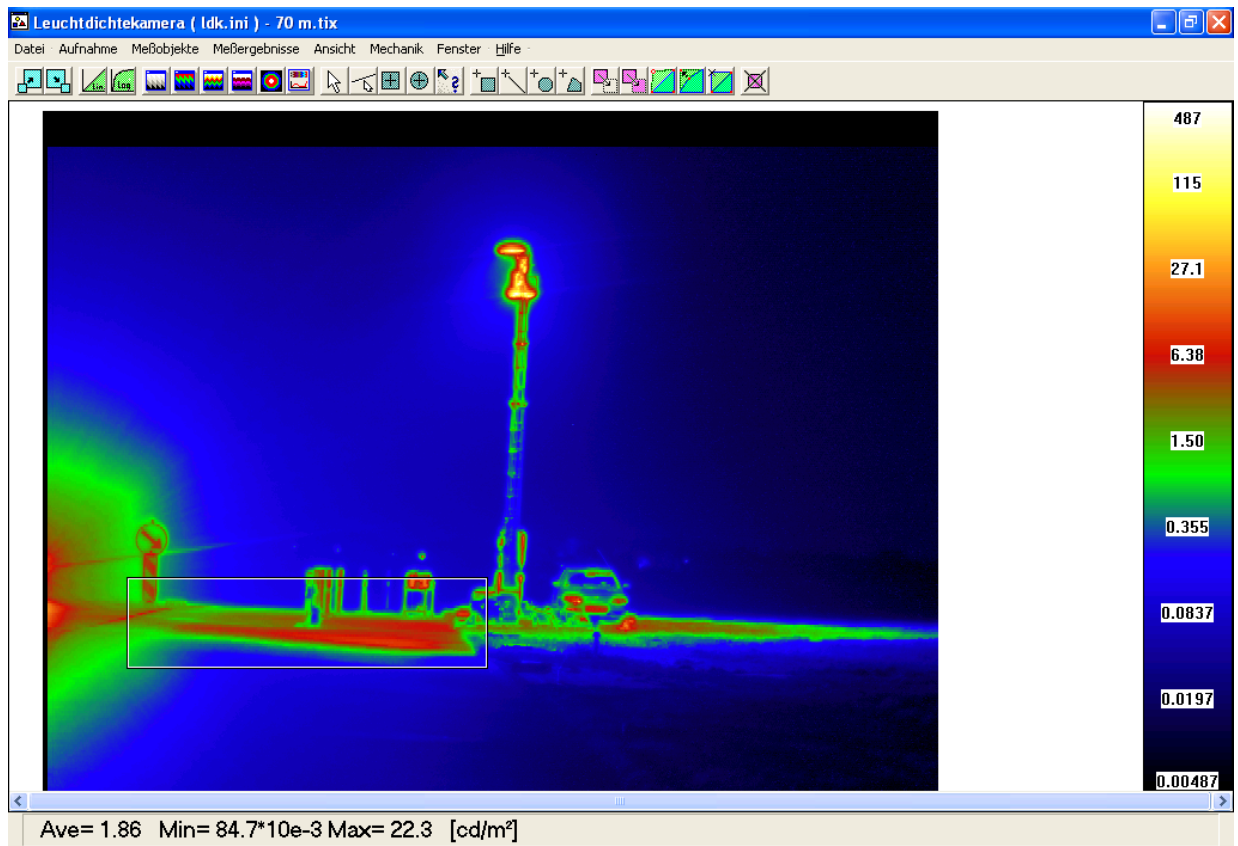


Figure 6. False colour presentation of right-hand part of test site on the second night (2006-03-29), with rectangular measuring field (taken as adaptation field) and its luminance values

Bilaga 4
Sid 9 (12)

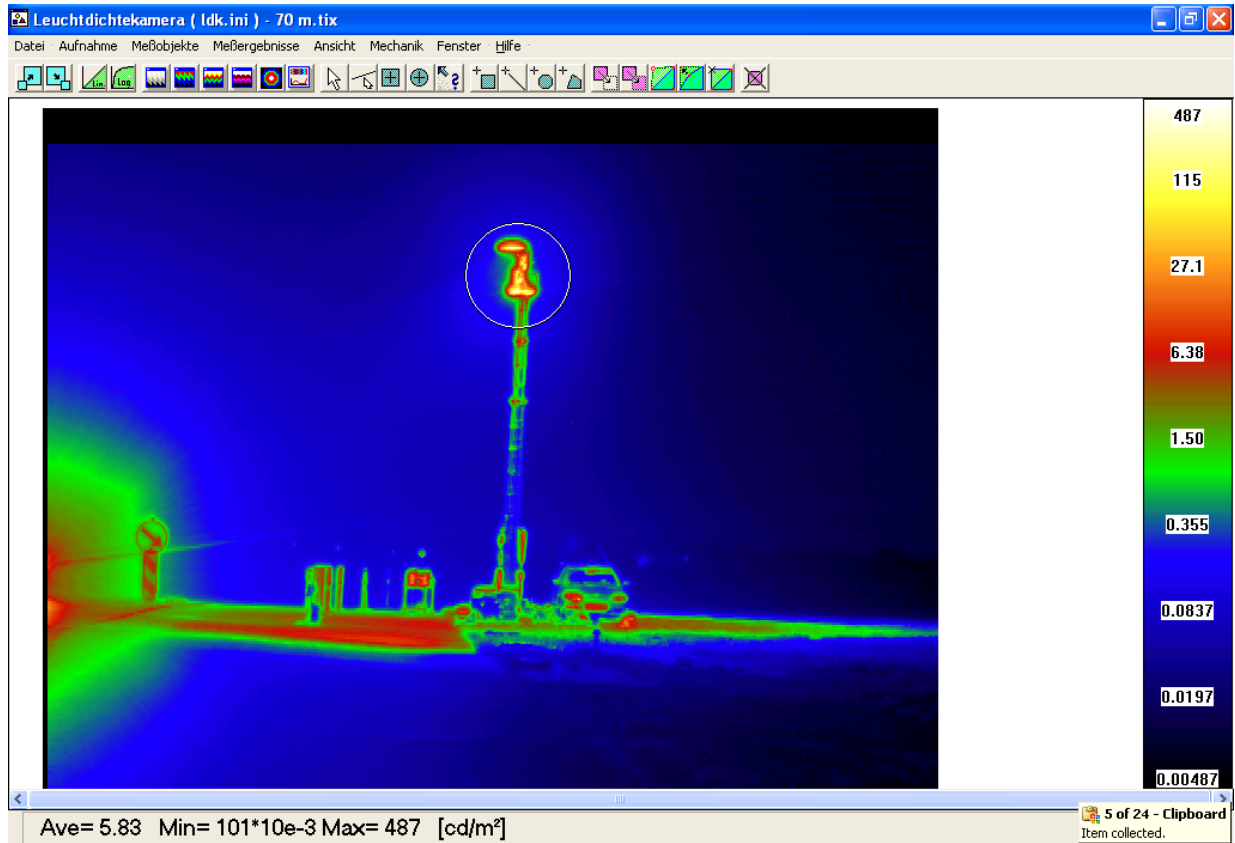


Figure 7. False colour presentation of right-hand part of test site on the second night (2006-03-29), with 2° measuring field and its luminance values

The resulting threshold increment, taking into consideration the opposing car and the luminaires in the tower is in this case $TI = 2,7$. The contribution from the car to the veiling luminance was $0,068 \text{ cd/m}^2$ and from the tower $0,00035 \text{ cd/m}^2$.

The adaptation luminance has a great influence on the calculated values of TI. In both of the measured situations, the value of the driver's adaptation luminance has a considerable uncertainty. The reason is that the angular size of the illuminated field appears so small in the driving direction when viewed in perspective. Some refined method should be developed for the determination of the adaptation luminance. It should be possible to do this on the basis on previous scientific work described in the literature.

4. Conclusions

- A. The method of using the digital camera is convenient due to the fact that the equipment is battery operated and easy to carry around. There will however always be some uncertainty to the documentation of where in the test scene the measurements were taken.
- B. The LMK96 system is convenient by offering a precise documentation of the luminance in any pixel in the picture of the test scene. It is however awkward with the need for exterior power supply.
- C. Although not a clearly expressed item in this pilot project, it is shown that by choosing efficient lamps and properly designed luminaires can give a considerable reduction in glare. The reduction from three 1000 W halogen lamps to two 150 high pressure sodium lamps without reducing the ground luminance represents a reduction of electrical power consumption of 90 %.

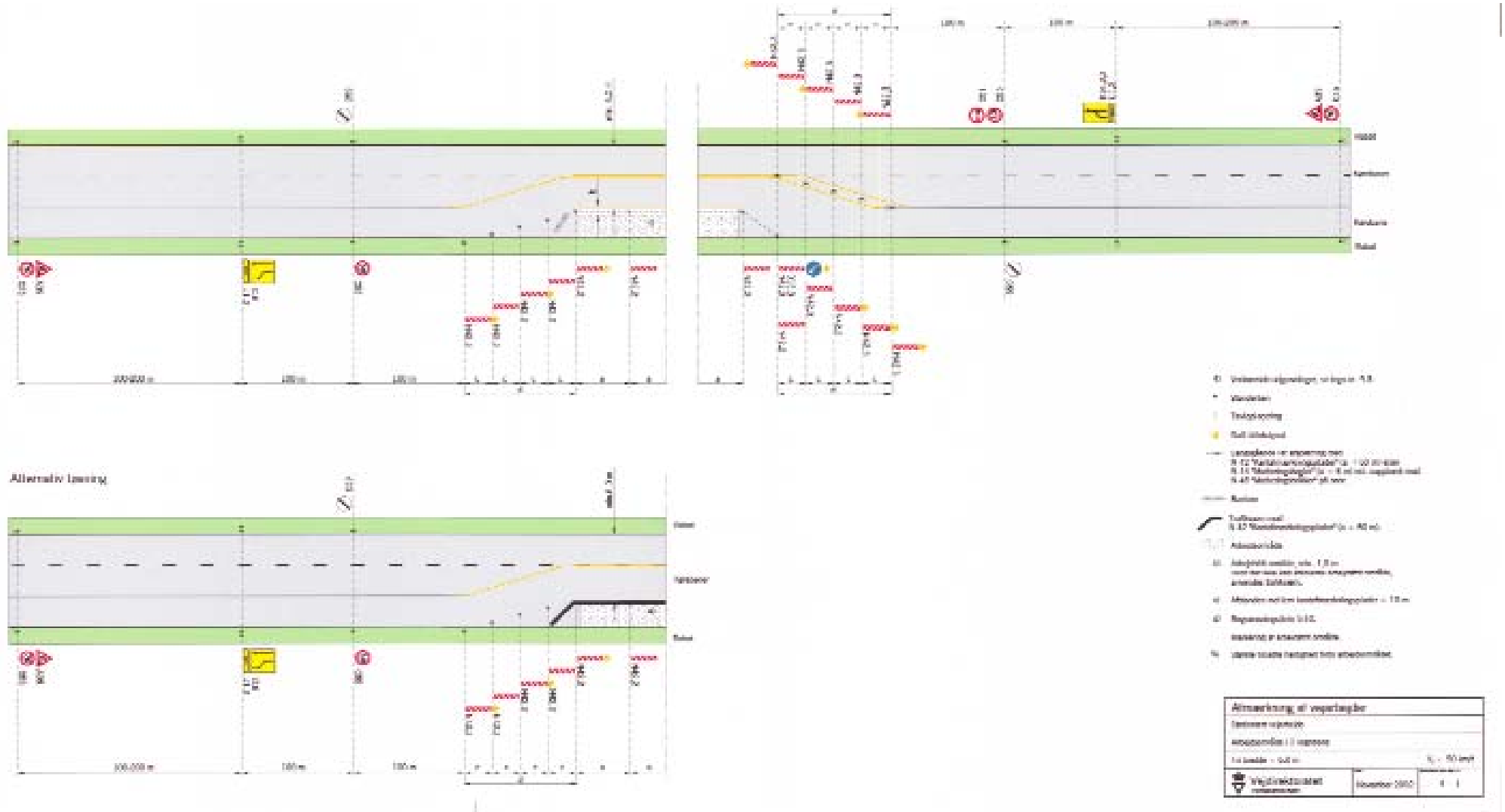
A measuring system combining the benefits of the LMK96 system without the drawback of the need for exterior power supply is ordered for field measurement like those described here in the future.

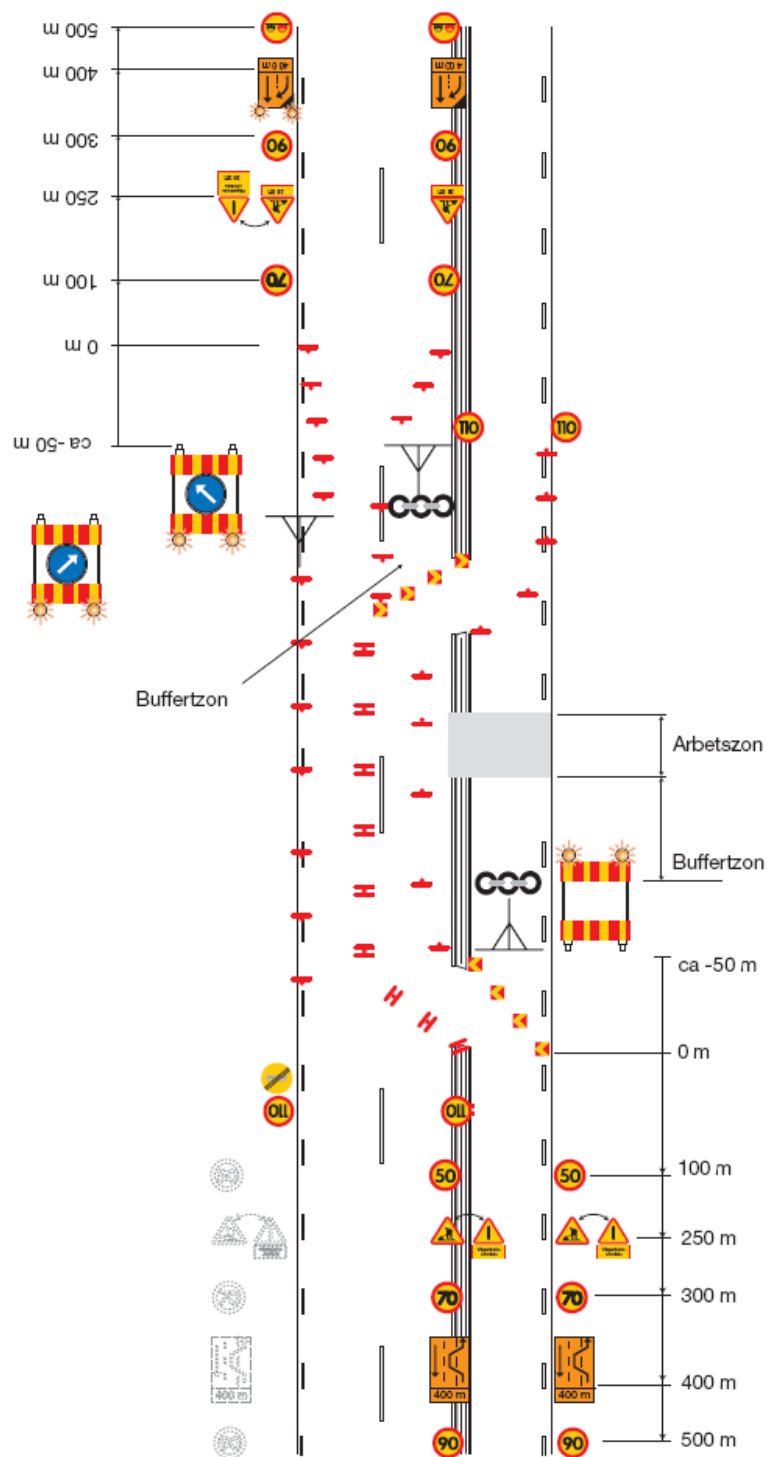
References:

1. Augdal, A.: SINTEF-notat "Metoder for å måle synsnedsettende blending". 2005-11-22.

Appendix A. Scheme of test site

Bilaga 4
Sid 12(12)





Ex. 3:19b
Ver. 2004-05

Bilaga 5
Sid 2 (2)

J06 Okt 09 9:25

NCC DoU MJÄ LBY

014283676

513

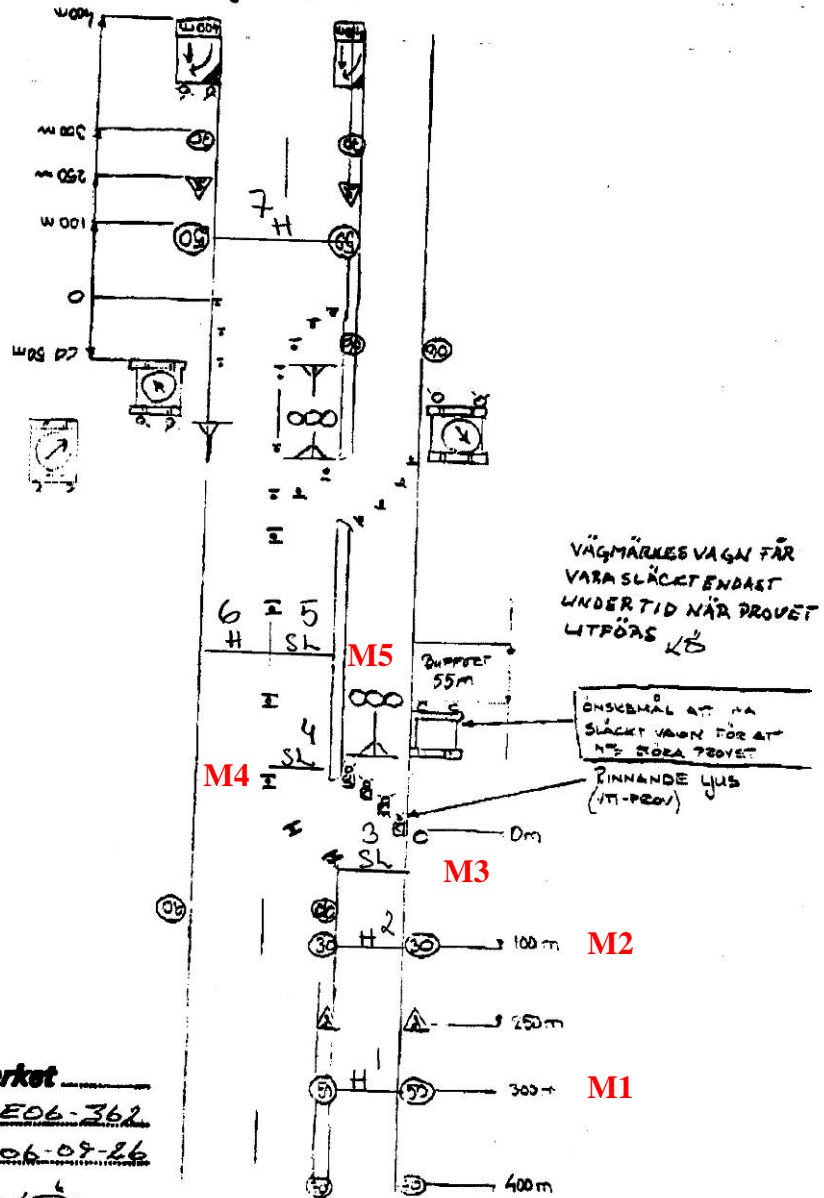
26-SEP-2006 13:57 FRAN:USD LINKÖPING

013289010


TI:014283676

S.2/4

TA-PLAN VÄG 636, UTPROVNING AVSTÄMNINGSLYS OCH
ARBETSBELYSNING (VTI).



Vägverket
Löp nr. TA-plan E06-362
Godkännes 2006-09-26
Ort och datum
Kenneth Öberg
Tel. 013-289019

		MEMO						
		MEMO CONCERNS Pilot project. Tests at Linköping October 2006. Luminance measurements and glare calculations			FOR YOUR ATTENTION	COMMENTS ARE INVITED	FOR YOUR INFORMATION	AS AGREED
SINTEF ICT Address: NO-7465 Trondheim, NORWAY Location: Høgskoleringen 5 NO-7034 Trondheim Telephone: +47 73 59 30 00 Fax: +47 73 59 70 40		DISTRIBUTION Participants in the Nordic project "Road works during the night. Disturbing light" ("Störande ljus vid arbeten om natten")						
FILE CODE	CLASSIFICATION							
ELECTRONIC FILE CODE								
Notes from Linköping.doc								
PROJECT NO.	DATE	PERSON RESPONSIBLE / AUTHOR			NUMBER OF PAGES			
90J284.01	2006-12-12	Arve Augdal			82			

Luminance measurements and glare calculations

Introduction

Tests and measurements were performed the in the evening and the night between October 12/13 on highway 636, close to Linköping, Sweden. The test site simulating a work place on the right-hand side of a road was designed according to Swedish road regulations. A scheme of the test site is shown in Figure 8 . The traffic signs are not shown however.

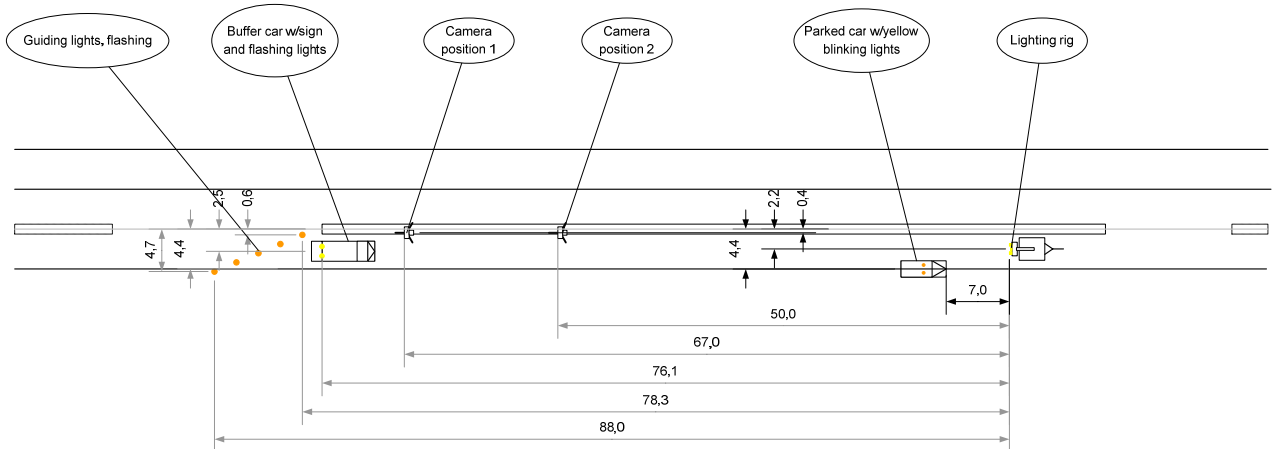


Figure 8. Scheme of the test site (to scale)

A mobile lighting mast approximately 9 m high was raised near the road kerb to provide the work place lighting. The tower was fitted with two Idman Philips Ville 510 luminaires modified to use SON-T 150 W lamps electrically connected as one group and one Philips MVF 300 250 W luminaire fitted with a 250 W metal halide lamp as another group. The two groups were switch on, one at a time.

Five running warning lights were used to inform the drivers about the redirection of the traffic around the work place. Different operating modes of these warning lights were part of the experiment. A mobile warning trailer with two flashing lights at the top was placed just behind the running lights. A Volvo estate car was parked on the road side some 70 m further behind the trailer. The normal parking lights of the Volvo were lit together with a flashing warning light on its roof.

The purpose of the test was to get data showing how drivers reacted to situations where they were forced to manoeuvre around a road work place when they at the same time were exposed to realistic level of glare from the work place. Among these glare sources, the luminaires in the mast are the main contributors, and they are the main object of the glare calculations.

Measuring equipment and method

A TechnoTeam LMK Mobile advanced instrument was used to measure the luminances in the visual field of drivers approaching the work place. That instrument consists of a standard digital camera Canon Digital EOS 350D with a Sigma 18 - 50 mm f2,8 EX DC zoom lens in combination with LMK 2000 software. However, in order to work as a luminance metering system, the software relies on calibration data for the combined camera and lens system. The system measures the luminance in every one of the 3456 x 2304 pixels (8 Megapixels). This system has a repeatability of 1,3 % and a measuring uncertainty of 5,8 %.

In some of the test situations, the floodlights were tilted towards the test drivers, resulting in that the discharge tube of the lamp was visible. This part of the lamp has an extremely high luminance. To capture this high luminance, over exposure of the discharge tube had to be avoided. In this case, this was done by defocusing the camera. In this way, average luminance of the luminaires was measured in a correct way, but the luminance of different parts of the luminaire was lost. This is considered to be of no relevance for the glare parameters calculated from the measurements. Glare parameters have to be calculated as any way of measuring glare directly is not known.

For the safety of the test personnel, it was not possible to take measurements from positions on the road. Data necessary for calculating glare at different positions on the road are based on luminances measured at the protected positions. It is estimated that the calculated glare parameters will be very good representations for the glare experienced by the drivers on the road. Closing the road to make the measurements from positions on the road was considered not necessary. Figure 8 shows the test arrangement and the measurement positions.

Glare calculations

Threshold increment (TI) is used as a measure of the glare as it is a familiar measure in road lighting. In general, for road lighting systems, it should be lower than 10 and never higher than 15. The luminance of the work place was measured to be approximately 3,5 cd/m^2 for the situation with two floodlights and 1,5 cd/m^2 for one floodlight. The luminances of the other parts of the road were low as they were unlit, but the dipped headlights of the vehicles provided some light. The sky was dark, and the luminance close to the horizon was measured to approx 0,02 cd/m^2 . On this background, it has been decided to do the calculations for an adaptation luminance of 0,5 cd/m^2 . To simplify the calculations, the direction of view has been assumed to be parallel to the longitudinal direction of the road. The influence of the drivers direction of view as well as the adaptation luminance have considerable influence on the glare level, and it may well be discussed if other presumptions should have been done. The methods used are described in reference no. 1.

Figure 9 shows an example of how the data from the LMK Mobile Advanced are analysed and presented by the LMK2000 software. The luminances are presented in the form of a false colour picture, and the colour explanation is shown to the right. The highest luminance in the picture is 34200 cd/m^2 . The circular measuring field constitutes an angle of 1,5 degrees and is laid over the floodlights. In the results field it can be read that the mean luminance is 170,5 cd/m^2 .

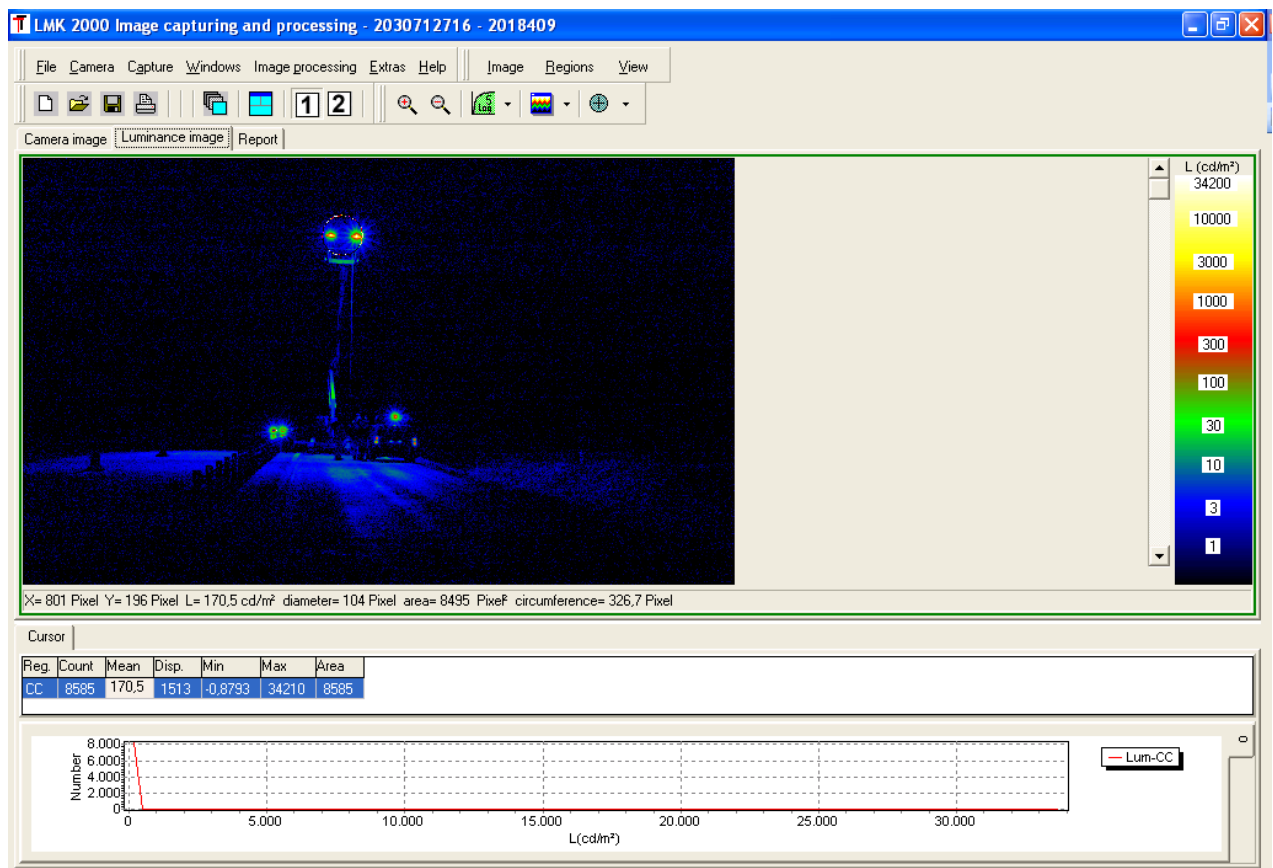


Figure 9. Example of output from the LMK2000 software

Bilaga 6
Sid 4 (4)

With these assumptions, the TI is calculated to $TI = 14$ for the 1x 250 W metal halide luminaire at a distance of 67 m between driver and mast, and $TI = 2$ for the 2x150 W high pressure sodium lamps.

Glare was also calculated based on photometric data for the luminaires. According to the photometric data, only the 1x 250 W metal halide luminaire will cause glare. The results for this luminaire for different distances between driver and mast are shown in Table 3.

Table 3. Calculated levels of threshold increment for 1x 250 W metal halide

Distance (m)	10	90	130	210	410
Threshold Increment TI	119	15	14	13	12

Discussion

Having the same set of assumptions, the measured and calculated results are in good agreement. They show that the test drivers as well as the drivers in the ordinary traffic were exposed to glare levels considered to be above the levels considered acceptable for road lighting. These levels are so high that they will reduce the visibility levels of the drivers. This will be more so as there are other glare sources in the visual field that not are taken into consideration for methodical reasons. These are the running warning light, the flashing lights of the warning trailer, the lights of the parked Volvo and the headlights of opposing cars. But this may not be obvious to the drivers, as they presumably are focused on the task of finding their way around the work place. This is an easier task than seeing objects that might be located on the road. It is considered that it is not ethically acceptable to test this hypothesis by placing small objects on the road surface.

References:

1. Augdal, A.: SINTEF-notat "Metoder for å måle synsnedsettende blending". 2005-11-22.

Instruktioner

Din uppgift är att köra förbi en vägarbetsplats. Du kommer att passera vägarbetsplatsen åtta gånger och vi kommer att variera ljussättningen vid vägarbetet.

Efter varje passage av vägarbetet ska du bedöma hur **bländad** du blev, hur enkelt det var att veta **hur du skulle köra**, hur **vägvisningen** var och hur **belysningen på arbetsområdet** var. Dina bedömningar noteras i ett frågeformulär som du fyller i varje gång du kommer tillbaka hit efter att du kört klart passagen av vägarbetet.

Kör som du normal skulle kör förbi vägarbetet. När du passerat vägarbetet fortsätter du och vänder vid första korsningen. Kör sedan tillbaka hela vägen till Kåparpsrondellen och tillbaka hit.

Om det är trafik på vägen när du ska starta ska du vänta tills du kan köra utan att hindra eller hindras av annan trafik.

Efter att du har kört hela försöket får du svara på ytterligare några frågor.

Du har alltid möjlighet att avbryta om du inte vill fortsätta försöket.

Frågeformulär

Frågor efter varje passage av vägarbetet:

Svara med ett streck på skalan. Du kommer att få göra ett streck på skalan för varje passage av vägarbetet (sätt nummer för passage över strecket) så att du hela tiden kan se vad du svarat tidigare.

Hur bländad blev du när du närmade dig vägarbetet?

Inte alls bländad

Mycket bländad

Hur lätt var det att se hur du skulle köra förbi vägarbetsplatsen?

Mycket lätt

Mycket svårt

Hur tyckte du att vägvisningen vid överledningen av trafiken till tvåfäلتsdelen av vägen fungerade?

Mycket bra

Mycket dåligt

Hur upplevde du belysningen på arbetsområdet?

Inte alls störande

Mycket störande

Frågor som besvaras efter hela försöket:

- **Rangordna (1-4 där 1 är bäst) de olika alternativen av rinnande ljus och den vanliga skyltvagnen utifrån vad du tycker är bäst.**

~~___ Skyltvagn med gula varningslyktor~~

___ Rinnande ljus där en lampa i taget lyser

___ Rinnande ljus med ett svagt bakgrundsljus hela tiden

___ Rinnande ljus där en lampa i taget tänds och alla lamporna sedan släcks samtidigt

- **Upplevde du någon skillnad avseende bländning av de olika arbetsplatsbelysningarna och vad var i så fall skillnaden?**

- **Blev du vid något tillfälle bländad eller störd av något utöver de gula rinnande blinkljusen och arbetsplatsbelysningen?**

Beskriv: _____

- **Hur anser du att utmärkningen (skyltar, blinkljus,..) skulle kunna göras ännu bättre/tydligare?**

Övriga synpunkter:

Namn: _____

Ålder: _____

Innehav av körkort : _____ år

Ungefärlig körsträcka per år: _____ mil

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.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 760

SE-781 27 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 55685

SE-102 15 STOCKHOLM

TEL +46 (0)8 555 770 20

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8077

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 26 00