

**SINTEF IKT**Postadresse: Boks 124, Blindern
0314 OsloBesøksadresse: Forskningsveien 1
Telefon: 22 06 73 00
Telefaks: 22 06 73 50

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORTUTKAST

TITTEL

**Størrende ljos vid vëgarbeten om natten.
Delprosjekt synsnedsettende blending**

FORFATTER(E)

Arve Augdal

OPPDRAGSGIVER(E)

Vägverket, S - 78187 BORLÄNGE

RAPPORTNR.	GRADERING	OPPDRAGSGIVERS REF. Eva Liljegren	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN	PROSJEKTNR. 90J319,00	ANTALL SIDER OG BILAG 31
ELEKTRONISK ARKIVKODE E-V-gver-Rappo-St-rande-ljus-vid-v-dup		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Arve Augdal	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Lars Johnsen
ARKIVKODE	DATO 2008-08-09	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Mats Carlin. Forskningsjef	

SAMMENDRAG

For å lette og effektivisere forholdene omkring vegarbeid er det ikke uvanlig at slikt arbeid utføres om natta. I forbindelse med arbeidet er det ikke uvanlig at trafikken ledes forbi i en tracé som har kurvaturer, vegdekker og hindringer som ikke er normale for vegtypen. Dette gjøres ved informasjon om arbeidsplassen ved hjelp av skilt og visuell ledning med god linjeføring supplert med kantmarkering. En bør se til at synsforholdene er akseptable også ved mørkeforhold, og at synsnedsettende blending på grunn av lys på anleggsstedet og vegtrafikken selv er under kontroll. Blendingen kan skyldes fast belysning eller maskinbelysning på arbeidsstedet. Nærlysene på kjøretøy er normert ut fra visse forutsetninger om retninger som skal ha høy belysning, og retninger hvor en vil ha lavest mulig belysning. Men unormale vegkurvaturer ved vegarbeidsplasser kan også føre til at trafikantene forårsaker uakseptabelt sterk blending av hverandre.

Det gjøres rede for metoder for hvordan ubehagsblending og synsnedsettende blending beskrives og hvilke grenseverdier som anbefales i ulike trafikksammenhenger. Det er utført flere feltundersøkelser for å klarlegge blendingsnivåer for ulike typer lysutstyr ved vegarbeidsplasser. Blendingen som oppstår mellom to kjøretøy i møtesituasjon med nærlys er undersøkt ved hjelp av datasimuleringer. Det oppstår lett blendingsnivåer som er høyere enn de som anbefales som grense ved fast vegbelysning. Det er utarbeidet anbefalinger for hvilke krav som bør stilles til lysutstyr på vegarbeidsplassen, og det er utviklet metoder til hjelp ved kontroll av ferdige anlegg.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1		
GRUPPE 2		
EGENVALGTE		

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn	3
2	Metoder for beskrivelse av blending	3
2.1	Ubehagsblending	3
2.2	Mål for synsnedsettende blending	3
2.2.1	Ekvivalent sløringsluminans	4
2.2.2	Terskelheving som mål for synsnedsettende blending	5
2.2.3	Avsøking av synsfelt og adaptasjonsluminans	6
2.3	Praktiske metoder for beregning og kontroll av blending	6
2.3.1	Hvordan bestemme ekvivalent sløringsluminans ved målinger i felt	7
2.3.2	Beregning av ekvivalent sløringsluminans	9
3	Rapportering feltprøver	9
3.1	Værløse mars 2006	9
3.1.1	Innledning	9
3.1.2	Måleutstyr	9
3.1.3	Resultater	9
3.2	Linköping i oktober 2006	16
3.2.1	Innledning	16
3.2.2	Belysning på vegarbeidsplassen	16
3.2.3	Måleutstyr og målemetode	17
3.2.4	Blendingsberegninger	18
3.2.5	Diskusjon	20
3.3	Varberg i 2007	20
3.3.1	Lysforholdene	20
3.3.2	Adaptasjonsluminans for bilfører	21
3.3.3	Blinkende lys	21
4	Blending mellom biler i møtesituasjon	22
4.1	Skjermer mellom kjøreretningene	27
5	Forslag til retningslinjer for blendingsbegrensning	29
5.1	Belysning av vegarbeidsplasser	29
5.2	Krav til belysningsutstyr	29
5.3	Skjerm mellom kjøreretningene	30
6	Referanser	30

1 Bakgrunn

For å lette og effektivisere forholdene omkring vegarbeid er det ikke uvanlig at slikt arbeid utføres om natta. I forbindelse med arbeidet er det ikke uvanlig at trafikken ledes forbi i en tracé som har kurvaturer, vegdekker og hindringer som ikke er normale for vegtypen. Dette representerer uvante utfordringer for trafikantene, og det er viktig at forholdene forøvrig er slik at det er gode muligheter for sikker manøvrering av kjøretøyet. Dette gjøres ved informasjon om arbeidsplassen ved hjelp av skilt og visuell ledning med god linjeføring supplert med kantmarkering. En bør se til at synsforholdene er akseptable også ved mørkeforhold, og at synsnedsettende blending på grunn av lys på anleggsstedet og vegtrafikken selv er under kontroll. Blendingen kan skyldes fast belysning eller maskinbelysning på arbeidsplassen. Nærlysetene på kjøretøy er normert ut fra visse forutsetninger om retninger som skal ha høy belysning, og retninger hvor en vil ha lavest mulig belysning. Men unormale vegkurvaturer ved vegarbeidsplassen kan også føre til at trafikantene forårsaker uakseptabelt sterk blending av hverandre.

2 Metoder for beskrivelse av blending

Det skjelnes vanligvis mellom to former for blending, ubehagsblending og synsnedsettende blending. For å kunne beskrive blending i form av beregninger og målinger trengs det egnede teoretiske modeller og målemetoder.

2.1 Ubehagsblending

Ubehagsblending er en psykologisk betinget følelse av ubehag som en person opplever når lyskilder med høye luminanser opptrer i synsfeltet. Ulike sykkelig tilstander i øyet kan forsterke denne følelsen. Ulike modeller nyttes for innendørs og utendørs lysanlegg, men her omtales bare én metode for bruk ved utendørsanlegg.

For en bestemt lysarmatur beregnet for bruk i utendørs lysanlegg kan dens årsak til ubehagsblending karakteriseres ved blendingsgraden D (blendingstall D). Blendingsgraden D for en bestemt observasjonsretning finnes av

$D = \frac{I}{\sqrt{A}}$	formel 1
--------------------------	----------

hvor:

I er lyskildens lysstyrke i den aktuelle retningen (candela)

A er lyskildens lysende areal sett i den aktuelle retningen (m^2)

Innen CIE omtales blendingsgraden D som Discomfort Glare Rating (DGR). Den dimensjonerende DGR bestemmes som den maksimale DGR som opptrer for retninger mellom 85° og 90° med loddlinja for alle retninger rundt armaturen. De har en grenseverdi for DGR på 500 for armaturer som skal anvendes i mørke omgivelser og på 1000 for bruk i lyse omgivelser (ref. 4, ref. 7). D og DGR er som det framgår av definisjonen en størrelse som karakteriserer én armatur og ikke et komplett lysanlegg.

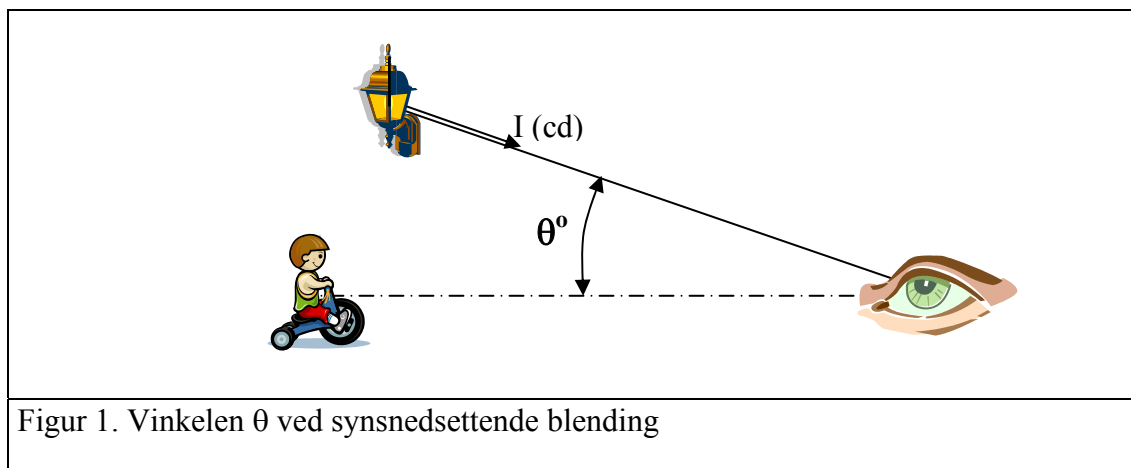
2.2 Mål for synsnedsettende blending

Den synsnedsettende blendingen er fysiologisk og beskriver en negativ innvirkning på

synsforholdene. Lys fra en (blendende) lyskilde spres i de optiske media i øyet og treffer netthinna i tillegg til lyset fra det bildet som er fokusert. Derved reduseres kontrasten mellom synsobjektet og bakgrunnen, og objektet blir vanskeligere å se. Virkningen av dette spredte lyset kan ekvivaleres med at et jevnt slør legges over bildet på netthinna. Luminansen av dette sløret kalles 'den ekvivalente sløringsluminansen'.

2.2.1 Ekvivalent sløringsluminans

Den ekvivalente sløringsluminansen L_v forårsaket av en lyskilde (se Figur 1),



kan finnes ved hjelp av den såkalte Stiles-Holladays blendingsformel for punktformete lyskilder:

$L_v = 10 \cdot E_{bl} / \Theta^2$	(cd/m ²)	formel 2
------------------------------------	----------------------	----------

Her er:

- 10 en aldersbestemt faktor. Verdien 10 gjelder for en gjennomsnittlig, ung person
- θ vinkelen mellom retningen mot objektet som betraktes og retningen mot blendingskilden, målt i grader (°)
- E_{bl} belysningsstyrken fra lyskilden, på et plan vinkelrett på synsretningen, ved observatørens øyne

Gyldighetsområdet for formel 2 er $1^\circ \leq \Theta \leq 30^\circ$.

E_{bl} beregnes ut fra formelen

$E_{bl} = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \Theta$	(lux)	formel 3
--	-------	----------

Her er:

- I blendingskildens lysstyrke mot observatøren (cd)

Andel av strølys i øyet tiltar med alderen. Dersom en ønsker å ta hensyn til denne effekten, anbefaler CIE at en bruker den såkalte aldersjusterte Stiles-Holladays blendingsformel (ref. 5):

$L_v = 10 \cdot \frac{E_{bl}}{\Theta^2} \left(1 + \left(\frac{A}{70} \right)^4 \right)$	(cd/m ²)	formel 4
---	----------------------	----------

Her er:

A observatørens alder (år)

Den ekvivalente sløringsluminansen beregnet med formel 4 er for 40 års alder ca 10 % høyere og for 70 års alder 100 % høyere enn ved beregninger med formel 2.

I praksis kan et lysanlegg bestå av flere lyskilder. Med antall lyskilder lik n må bidragene fra hver enkelt summeres for å finne den totale effekten. Av formel 2 får en da:

$L_v = 10 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_{bli}}{\Theta_i^2} \right)$	(cd/m ²)	formel 5
---	----------------------	----------

Her er det ikke tatt hensyn til alderens innvirkning.

2.2.2 Terskelheving som mål for synsedsettende blending

Innen vegbelysningen og annen utendørs belysning er det vanlig å supplere beskrivelsen av synsedsettende blending med terskelhevingen (Threshold Increment) TI. TI angir hvor mye kontrasten mellom synsdetaljen og dens bakgrunn må økes for at detaljen skal være like godt synlig med blending som uten. TI bestemmes av:

$TI = 65 \cdot L_v / L^{0,8}$	(%)	formel 6
-------------------------------	-----	----------

Her er:

L_v den ekvivalente sløringsluminansen (cd/m²)
 L observatørens adaptasjonsluminans (cd/m²)

Formelen gjelder for $0,05 \text{ cd/m}^2 < L < 5 \text{ cd/m}^2$. Dette området er tilstrekkelig for bruk innen vegbelysning.

I Mørkertrafik rapport nr. 1 (ref. 6) foreslås at sløringsluminansen fra belysningsanlegg utenfor vegen begrenses som vist i Tabell 1. I tabellen er formel 6 brukt for å regne om den maksimalt tillatte sløringsluminans til maksimal tillatt terskelheving, TI.

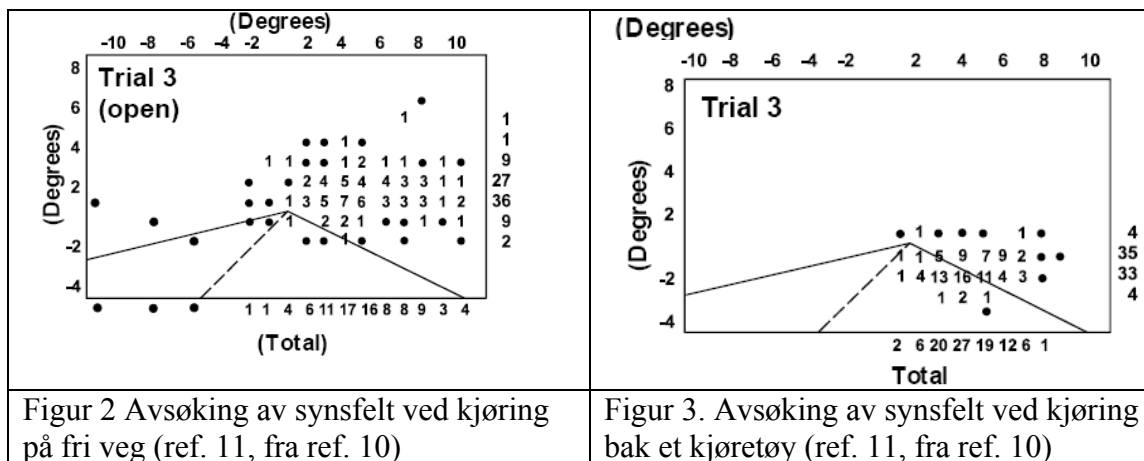
Tabell 1. Anbefalt blendingsbegrensning fra Mørkertrafik rapport nr. 1 (ref. 6)

Vegens belysning	Vegens middelluminans	Maksimal blending (sløringsluminans)	Maksimal Threshold Increment, TI
Ubelyst veg		0,050 cd/m ²	
Vegbelysning	0,5 cd/m ²	0,068 cd/m ²	7,7
	1,0 cd/m ²	0,140 cd/m ²	9,1
	1,5 cd/m ²	0,200 cd/m ²	9,4
	2,0 cd/m ²	0,280 cd/m ²	10,5

CIE angir at blendingen er merkbar når TI er større enn 2 (ref. 2). Videre anbefaler CIE at TI for et veglysanlegg bør være mindre enn 10 %, men aldri over 15 % (ref. 4). Anbefalingene fra CIE er ikke så strenge som anbefalingene i Mørkertrafik nr. 1.

2.2.3 Avsøking av synsfelt og adaptasjonsluminans

Det foreligger ikke anerkjente metoder for å bestemme dimensjonerende adaptasjonsluminans ved kjøring i mørke med nærllys, men det er angitt at adaptasjonsluminansen ved kjøring på belyste veger kan settes lik vegbanens luminans (ref. 2). Det er ellers kjent at delene av synsfeltet som ligger nærmest synsretningen er sterkt dominerende for adaptasjonsluminansen, og at adaptasjonsluminansen er en dynamisk størrelse som varierer med tiden. Det foreligger undersøkelser av hvordan førere avsøker synsfeltet ved kjøring ved dagslysforhold. Eksempler på slike resultater er vist i Figur 2 og Figur 3.



Figurene viser vegen med sine begrensingslinjer og midtlinje sett i perspektiv. De er forsynt med punkter og tallangivelser for hvor stor andel av tida føreren fikserer på det aktuelle punktet. Disse prosentverdiene er summert linjevis ut til høyre på figurene og kolonnevis under figurene. En ser at kjøresituasjonen påvirker søkemønsteret. Videre ser en at i den største delen av tida fikseres den delen av vegbildet som ligger til høyre for vegens delelinje. Fikseringene ligger dels nær forsvinningspunktet i horisonten og dels utenfor vegbanen på høyre side.

Det er ikke rimelig å anta at synsfeltet avsøkes på samme måte ved kjøring i mørke, spesielt dersom det kjøres med nærllys. Men det er rimelig å anta at den delen av synsfeltet som avsøkes ligger langt framme. Der er luminansene lave på grunn av at denne delen er dårlig belyst og feltet omkring er ubelyst. Ved forsøkene i Varberg ble luminansene målt med nærllys på tørr målt til ca 1 - 1,3 cd/m² på tørr veg og ca 0,5 cd/m² på våt vegbane, se kapitel 3.3.2. For Værløse ble det målt at lyset på arbeidsplassen ga ca 1,8 cd/m² på tørr veg (se Figur 8, kapitel 3.1.3). I Linköping ga det faste lysanlegget en vegluminansen mellom 1,5 cd/m² og 3,5 cd/m² på tørr veg, se kapitel 3.2.4). Det synes rimelig å anta at bilførerens adaptasjonsluminans ved kjøring på tørr veg med egne nærllys vil være vesentlig mindre enn 1 cd/m² og vesentlig mindre enn 0,5 cd/m² på våt veg. Der en har fast belysning tilsvarende det som ble brukt under forsøkene vil adaptasjonsluminansen være ca 1,5 cd/m².

2.3 Praktiske metoder for beregning og kontroll av blanding

Dersom fotometriske data for den blendende armaturen er tilgjengelige, kan D og L_v beregnes for de retninger som er aktuelle. Et konkret anlegg lar seg derimot ikke umiddelbart *kontrollmåle* ut fra formel 1, formel 2 eller formel 4. En kjenner ikke til feltinstrumenter som måler verken D eller L_v direkte. Det finnes heller ikke portable instrumenter som gjør det enkelt å bestemme de størrelsene (lysstyrke I (cd), areal A (m²), E_{bl} (lux)) som inngår i formlene. De verdier for

belysningsstyrke E_{bl} (lux) som forekommer er svært lave og lar seg ikke måle tilstrekkelig nøyaktig av portable instrumenter. Videre er det en krevende utfordring at hver enkelt blendingskilde sitt bidrag til belysningsstyrken må skilles ut og måles for seg.

I det følgende beskrives en metode som gjør det mulig å bestemme synsnedsettende blending i felten. Den er basert på en omformulering av formel 2.

2.3.1 Hvordan bestemme ekvivalent sløringsluminans ved målinger i felt

Denne metoden går gjennom to trinn. Først måles belysningsstyrken fra de enkelte blendingskilder. Dernest måles vinkelen mellom synsretningen og retningen mot blendingskilden.

2.3.1.1 Måling av belysningsstyrke - med luminansmeter

I **formel 5** kreves det at bidraget fra blendingskildene skal måles hver for seg. Dersom det er flere blendingskilder er det i praksis ikke mulig å måle belysningsstyrken ved hjelp av et vanlig luxmeter. Men en kan tenke seg at en setter et langt og smalt rør utenpå den lysfølsomme delen av instrumentet. Derved begrenses det området i rommet som registreres av luxmeteret. Men det er ikke hensiktsmessig å tilpasse luxmetre på denne måten. En viktig årsak er at det er behov for en sikteinnetning som forteller hvilket område som registreres av instrumentet. En annen årsak er at de belysningsstyrker som opptrer normalt er lave. En må her tenke på at blending er utilsiktet belysning og at avstandene mellom blendingskilde og blendet person kan være store. Så lave belysningsstyrker kan ikke måles tilstrekkelig nøyaktig med vanlige feltinstrumenter for belysningsstyrke.

Beskrivelsen foran er i prinsippet av beskrivelsen av et luminansmeter, men det er kalibrert i lux. Vi kan altså gå motsatt veg og kalibrere et luminansmeter til å vise belysningsstyrken ved frontlinsa. Luminansmeters vil egne seg godt til den type måling vi har behov for. De er forsynt med en søker som viser det aktive måleområdet, og de kan registrere meget lave lysnivå:

- de samler lys over et større areal (ei ofte stor frontlinse)
- de har et optisk system som utnytter tilgjengelig lys mer effektivt
- de har følsom og støysvak elektronikk som forsterker de svake signalene

At luminansmeters kan nyttes til måling av belysningsstyrke kan også sees av følgende betraktning:

Luminans kan beskrives som

$$L = I/A \text{ (cd/m}^2\text{)}, \text{ dvs. } I = L \cdot A \text{ (cd)}$$

og belysningsstyrke som

$E = I/r^2 = L \cdot A/r^2 = k \cdot L$	(lux)	formel 7
---	-------	----------

hvor:

$k = A/r^2 = \pi \cdot b^2/r^2 = \pi \cdot (r \cdot \alpha \cdot \pi/180)^2 / r^2 = \alpha^2 \cdot (\pi/180)^2 = 3,05 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2$	formel 8
---	----------

hvor:

b er vinkelbuen som defineres av vinkelen α

α er vinkelen som luminansmeterets målefelt utgjør, i grader

Leverandørens angivelse av målefeltet er alltid i grader. Ved vanlig bruk er ikke nøyaktigheten av denne vinkelen ansett for å være kritisk. En kan derfor anta at angivelsen er ganske omtrentlig. Størrelsen av k må derfor finnes ved kalibrering.

Til kalibreringen trengs en liten lyskilde med stor lysstyrke, som anbringes midt i målefeltet. Den øvrige delen av målefeltet bør være så mørk som mulig. Måleavstanden bør minst være 2 – 3 meter. Midlere luminans L_m måles for det aktuelle målefeltet. I tillegg måles belyningsstyrken E_{lum} i objektivets posisjon. Da har en:

$k = E_{lum} / L_m$	formel 9
---------------------	----------

Denne prosedyren sikrer at en får måleverdier som lar seg bestemme nøyaktig nok, samtidig som en unngår at områder utenfor målefeltet får merkbar betydning. Dersom luminansmeteret har omskiftbare målevinkler, må hver målevinkel kalibreres for seg.

2.3.1.2 Bestemmelse av vinkelen til blendingskilden

Vinkelen til blendingskilden kan bestemmes ved å bruke en vinkelmåler. Slike kan skaffes fra en verktøyleverandør, men den må modifiseres ved at den forsynes med sikteanordninger. Det er kanskje mer hensiktsmessig å bestemme de aktuelle vinklene ut fra et fotografi. Fotografiet lar en i ettertid bestemme vinkelen til ethvert ønskelig punkt, og det dokumenterer målesituasjonen. Fotografiet tas med et ordinært kamera, helst med objektiv med fast brennvidde. Det bør ikke være et vidvinkelobjektiv. Det må kalibreres for å finne sammenhengen mellom avstander på et bilde, i et plan vinkelrett på sikteretningen, og virkelige avstander i det tilsvarende planet. Avstanden mellom kamera og dette planet må være kjent. Fra dette grunnlaget kan vinkelen mellom den synsretningen og et vilkårlig punkt i synsfeltet bestemmes ved hjelp av trigonometriske funksjoner. Konkret kan kalibreringen gjøres ved at kameraet settes på et stativ og en tar et bilde vinkelrett på en vegg. Veggen definerer bildeplanet. Avstanden s mellom kameraet og veggen måles. På veggen settes to tydelige merker, et merke i kameraets siktepunkt og et vilkårlig punkt innenfor kameraets bildebegrensning. Avstanden d mellom de to punktene måles. Når en har det ferdige bildet måler en opp den tilsvarende avstanden b_k og beregner skalaforholdet:

$m = b_{kal} / d$	formel 10
-------------------	-----------

På bildet som tas av det blendende lysanlegget måler en avstanden $b_{mål}$ mellom punktet som definerer synsretningen og blendingskilden.

Da finner en vinkelavstanden Θ fra synsretningen til blendingskilden av følgende uttrykk:

$\Theta = \tan^{-1} (b_{mål} / (s \cdot m))$	(grader)	formel 11
--	----------	-----------

Når en tar bilder for vinkelmåling, må sikteretning for kamera være lik den aktuelle synsretningen. Det er forutsatt at alle bilder tas med objektiv med samme brennvidde, at forstørrelsene for bildene er like ved kalibrering og måling, og at d , b_{kal} , s og $b_{mål}$ alle angis i samme måleenhet. Det kan sies å være en ulempe at vinkelen ikke kommer fram direkte, men må beregnes ut fra målinger på et bilde. Noen alvorlig innvending er det allikevel ikke etter som det

endelige resultatet i form av blendingsverdien også framkommer etter beregninger på grunnlag av måledata.

2.3.2 Beregning av ekvivalent sløringsluminans

Etter å ha bestemt belyningsstyrken E_{lum} umiddelbart foran luminansmeteret (på et plan vinkelrett på retningen fra luminansmeteret til blendingskilden) ved hjelp av avlesningen fra luminansmeter og formel 8 eller kalibrering og formel 9, samt bestemt vinkelen Θ mellom synsretningen og blendingskilden fotografisk ved hjelp av et kamera og formel 11, kan en bestemme ekvivalent sløringsluminans (synsnedsettende blending) av:

$L_v = 10 \cdot E_{lum} \cdot \cos \Theta / \Theta^2$	(cd/m ²)	formel 12
---	----------------------	-----------

3 Rapportering feltprøver

På Værløse ved København, Linköping og Varberg ble det etablert ulike forsøksoppstillinger og foretatt vurderinger og kjøreforsøk med påfølgende evalueringer. De lystekniske forholdene ble registrert og omtales i det følgende.

3.1 Værløse mars 2006

3.1.1 Innledning

Forsøk og målinger ble utført 28 - 29 mars 2006 på Værløse Flyvestation ved København. Prøveoppstillingen simulerte en arbeidsplass oppsatt i samsvar med danske bestemmelser. Ei mast på ca 9 m høyde ble reist på fortausiden. Den første natta ble arbeidsplassen belyst av tre stykk symmetriske lyskastere med 1000 W halogenglødelamper av fabrikat Cariboni. Den andre natta ble det brukt to stykker Idman Philips Ville 510 HVM armaturer som var modifisert til å bruke lamper av typen SON-T 150.

3.1.2 Måleutstyr

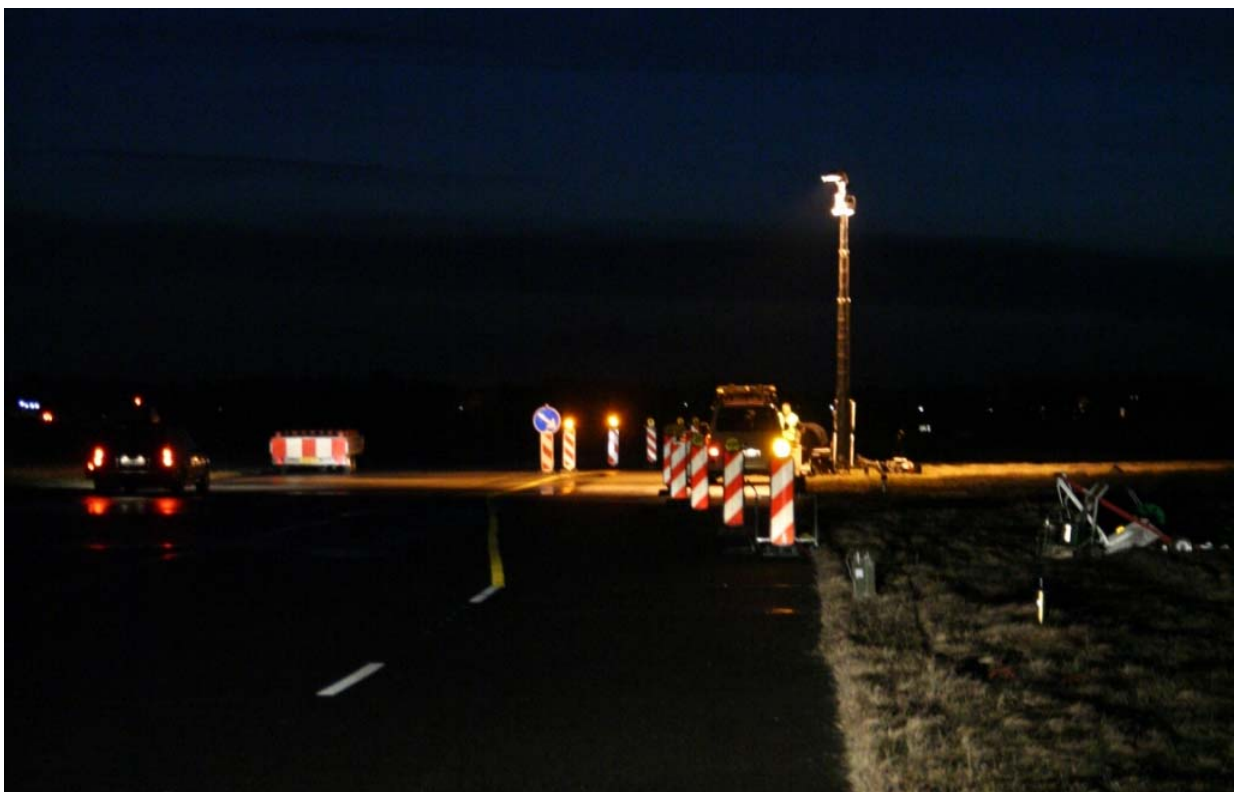
Den første natta ble det brukt et digitalkamera Canon Digital EOS 350D med ei Sigma 18 - 50 mm f/2,8 EX DC zoomlinse for å dokumentere prøvesituasjonen. Samtidig ble luminanser målt med et Lichtmesstechnik LMT L1009 luminansmeter. Den andre natta ble det brukt LMK96 digitalt målesystem fra firma TechnoTeam. I prinsipp arbeider det som et avbildende luminansmeter hvor luminansen kan leses i hvert enkelt pixel.

3.1.3 Resultater

Situasjonen de to dagene er vist i Figur 4 og Figur 5. Legg merke til forskjellen i blending og belyst areal.

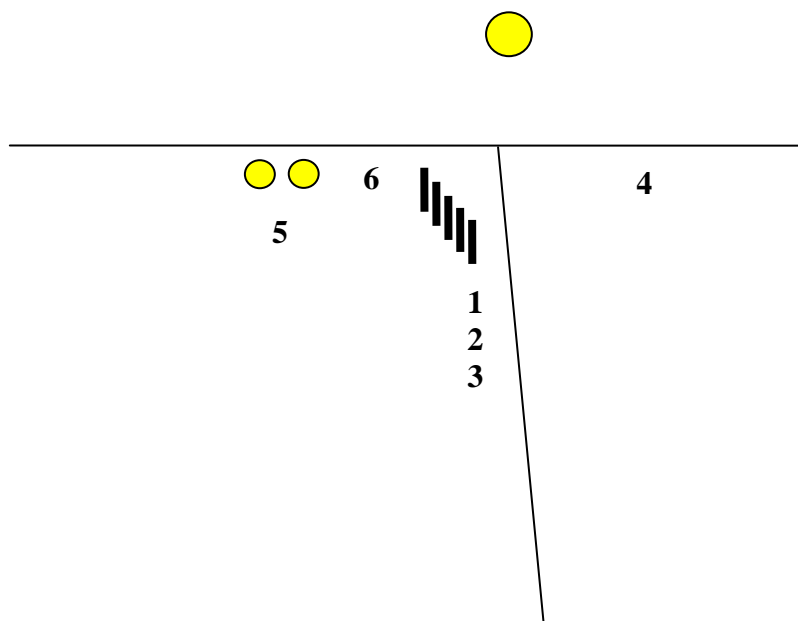


Figur 4. Prøvesituasjon med tre 1000 W symmetriske halogenlyskastere av fabrikat Cariboni montert i masta



Figur 5. Prøvesituasjon med to armaturer av fabrikat Idman Philips type Ville 510 HVM modifisert til å bruke SON-T 150 W lamper montert i masta, vått eller fuktig vegdekke.

Målefeltene er vist i Figur 6, som er en skjematisk gjengivelse av Figur 4 og Figur 5.



Figur 6. Skisse av prøvesituasjonen. To rette linjer markerer horisonten og grensen mellom vegdekke og gras.

På Figur 6 markerer to gule sirkler en bil med tente lykter. Den øvre gule sirkelen markerer arbeidsplassbelysningen montert i masta. Målepunktene 1 til 3 er på vegdekket foran de blinkende varsellampene. Punkt 4 er ei stripe med lys fra masta, på graset. Punkt 5 er bildet av billysene i asfalten. Punkt 6 er ei stripe av lys på vegdekket (en forlengelse av nummer 4).

De fleste luminansmålingene ble foretatt første natt på tørt vegdekke. Lignende verdier framkom andre natt, men vegdekket var vått eller fuktig. Billyskasterne og arbeidsplassbelysningen var endret slik at det framkom andre verdier for disse. Resultatene for de to nettene er vist i Tabell 2 og Tabell 3.

Tabell 2. Luminansmålinger med tre 1000 W symmetriske halogenlyskastere av fabrikat Cariboni montert i masta

Måling	Måleavstand 70m		Måleavstand 120m		Måleavstand 170m
	Midlere luminans (cd/m ²)	Målefelt (sirkulært)	Midlere luminans (cd/m ²)	Målefelt (sirkulært)	Midlere luminans (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'	
Mast	2140	1°	170	1°	62
Høyre frontlykt	200	1°			
Venstre frontlykt	300	1°			
Frontlykte r (begge)	2960	1°	135	1°	100

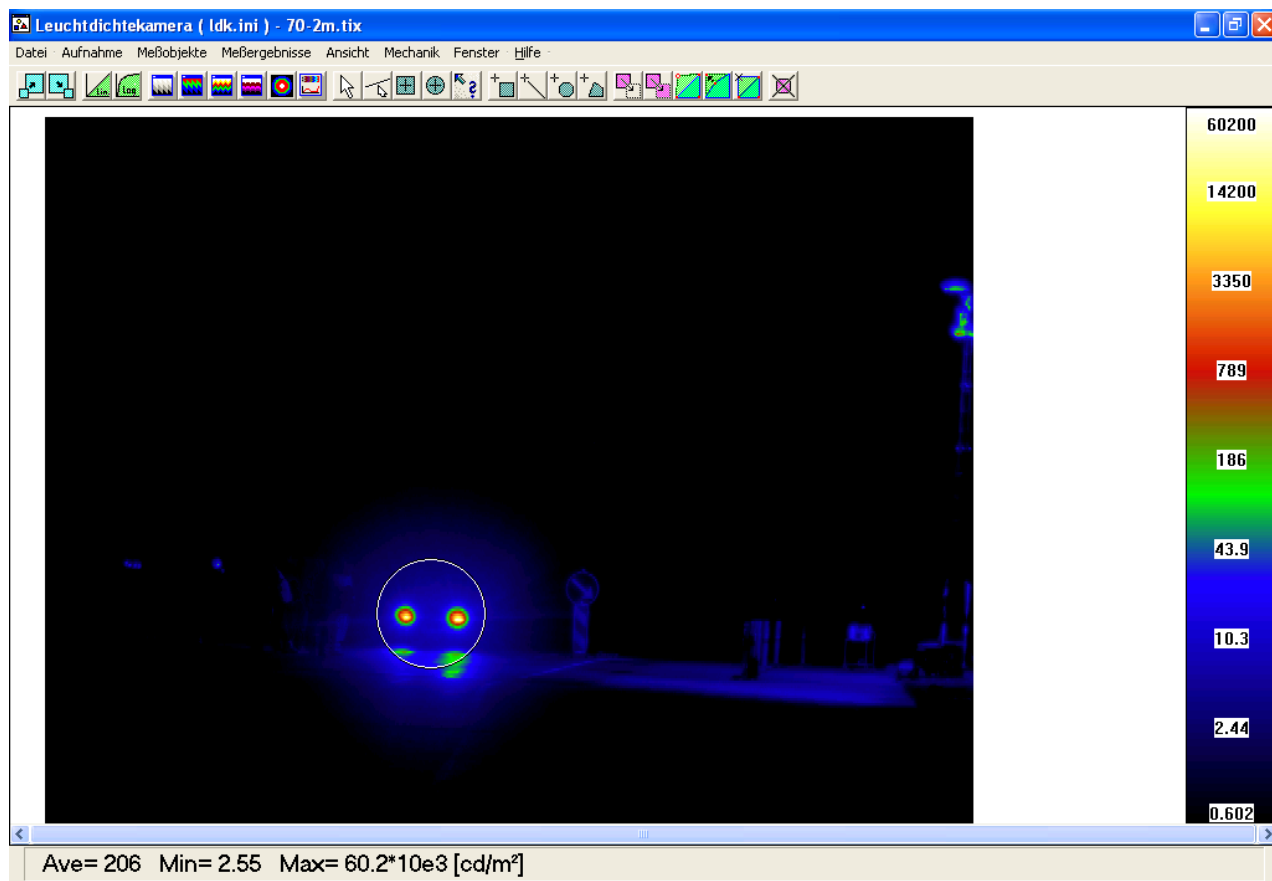
Tabell 3. Luminansmålinger med to armaturer av fabrikat Idman Philips type Ville 510 HVM modifisert til å bruke SON-T 150 W lamper montert i masta, vått eller fuktig vegdekke.

Måling	Måleavstand 70m		Måleavstand 120m		Måleavstand 170m
	Midlere luminans (cd/m ²)	Målefelt (sirkulært)	Midlere luminans (cd/m ²)	Målefelt (sirkulært)	Midlere luminans (cd/m ²)
Mast	1.4	3°	4	1°	
Frontlykte r (begge)	48	3°	245	1°	

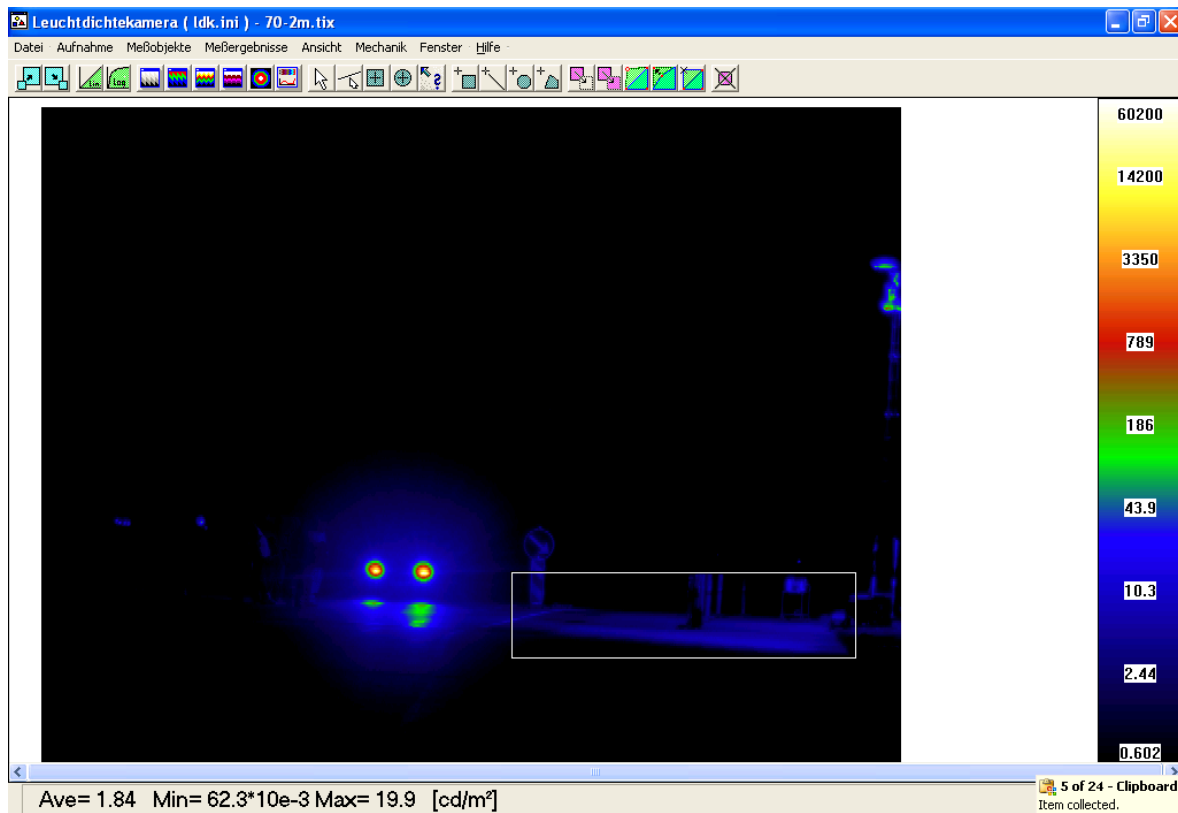
Metodene beskrevet i kapitel 2.3 kan også brukes sammen med LMK96-systemet. Systemet har et stort dynamisk måleomfang ved at det tar en serie bilder med stadig økende eksponeringstid for deretter å kombinere dem. Resultatene vises i Figur 7 til Figur 10 som bilder hvor luminansene er fargekodet. Skala for kodingen er vist i bildenes høyre kant. Midlere luminans (Ave), minimal luminans (Min) og maksimal luminans (Max) er vist i nedre billedkant.

Figur 7 og Figur 8 viser begge samme målesituasjon på venstre side av prøvelfeltet, men luminansverdiene nederst gjelder for ulike målefelt. Figur 9 og Figur 10 gjelder på samme måte for høyre side av prøvelfeltet.

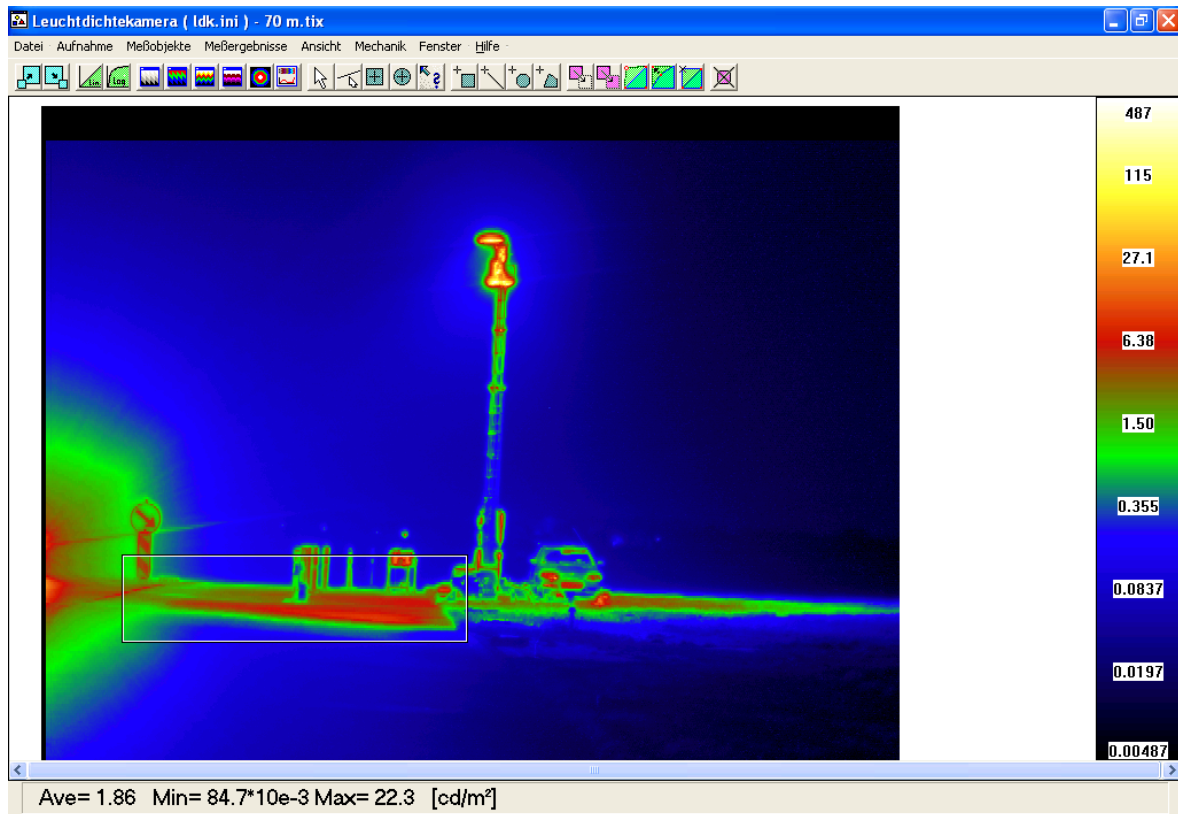
Et målefelt på 2° er definert for bilen til venstre i Figur 7 og armaturen i mastetoppen på Figur 10. Det er lagt et rektangulært felt omkring bilførerens synsretning for å bestemme adaptasjonsluminansen. Det har samme størrelse både i Figur 8 og Figur 9. De to bildene er tatt med for å demonstrere at selv om bildene umiddelbart gir inntrykk av å være ulike er luminansene de samme, og de gir et inntrykk av reproduserbarheten i målingene.



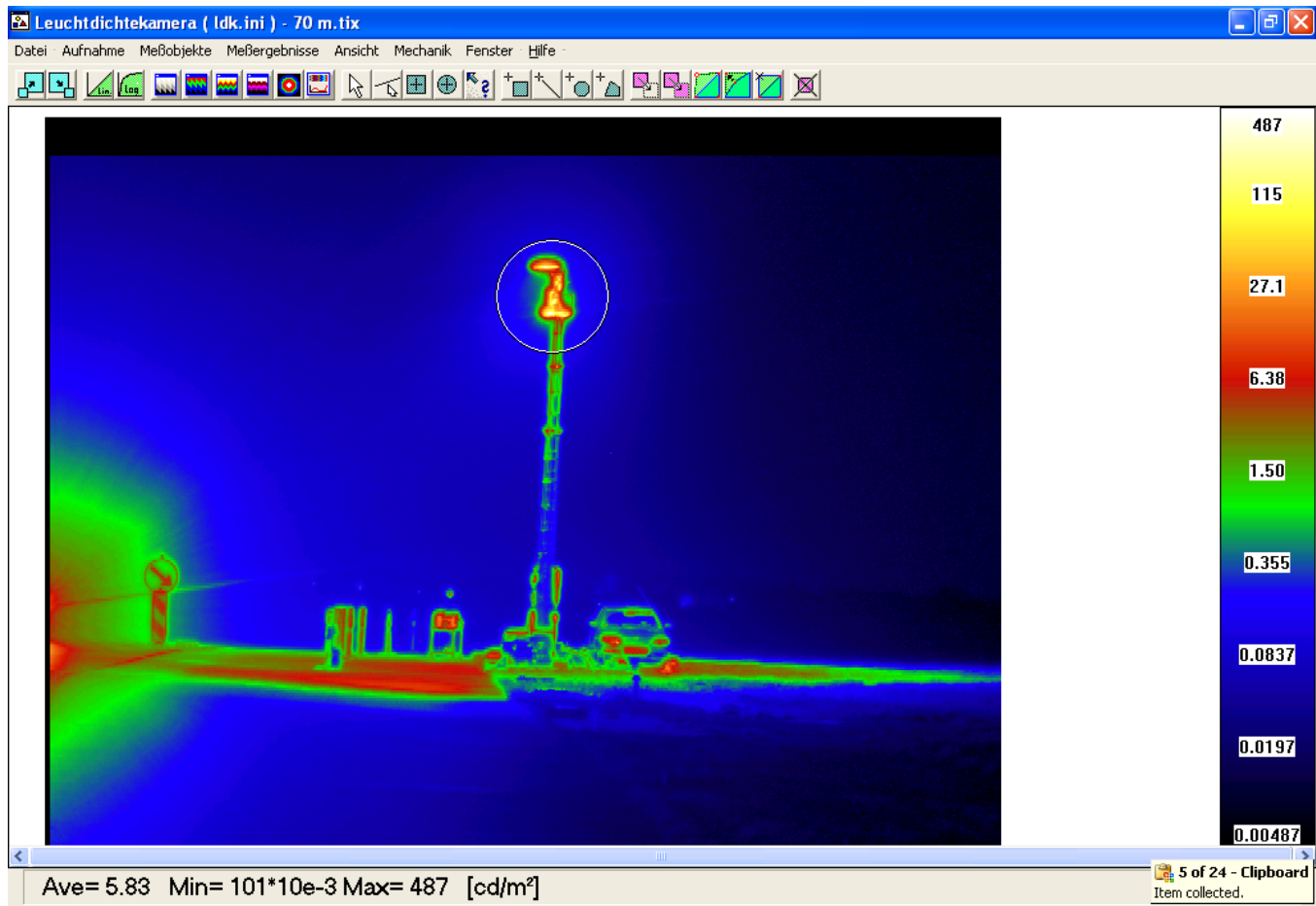
Figur 7. Fargekodet luminanskart fra prøvelfeltet andre natt (2006-03-29), med 2° målefelt og dets luminansverdier



Figur 8. Fargekodet luminanskart fra venstre del av prøvelfeltet med to Idman Philips Ville 510 HVM armaturer modifisert for SON-T 150 W lamper, med rektangulært målefelt og dets luminansverdier



Figur 9. Fargekodet luminanskart fra høyre del av prøvelfeltet med to Idman Philips Ville 510 HVM armaturer modifisert for SON-T 150 W lamper, med rektangulært målefelt og dets luminansverdier



Figur 10. Fargekodet luminanskart fra prøvefeltet med to Idman Philips Ville 510 HVM armaturer modifisert for SON-T 150 W lamper, med 2° sirkulært målefelt og dets luminansverdier

Ved å bruke data fra Tabell 2 og Tabell 3.

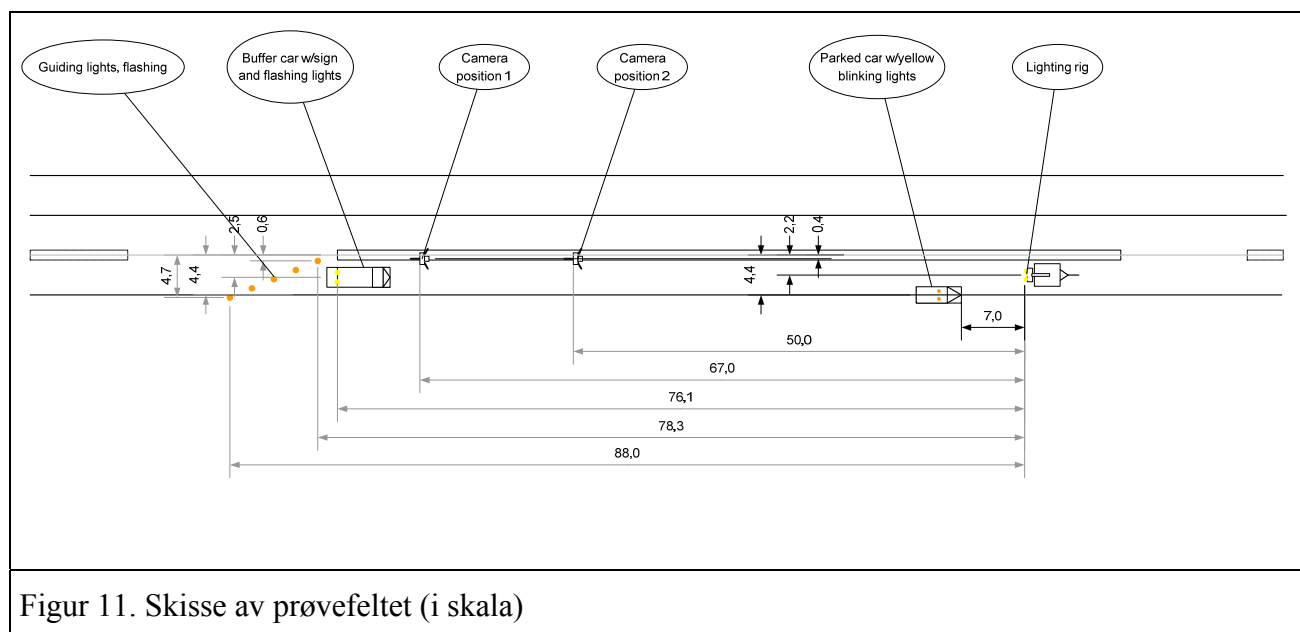
Tabell 2(lyskaster med halogenglødelamper) og metoden beskrevet i kapitel 2.3 og 2.2.2 finner en at terskelhevingen TI blir $TI = 6,7$ for en fører med adaptasjonsluminans lik $1,85 \text{ cd/m}^2$ (midlere luminans $A_{ve} = 1,84 \text{ cd/m}^2$ i Figur 8 og $A_{ve} = 1,86 \text{ cd/m}^2$ i Figur 9) ved en avstand av 70 m fra arbeidsplassen og bidrag til sløringsluminansen på $0,068 \text{ cd/m}^2$ fra den møtende bilen og $0,101 \text{ cd/m}^2$ fra arbeidsplassbelysningen.

Med data fra Tabell 3 (SON-T 150 W lamper) blir terskelhevingen TI blir $TI = 2,7$ med bidrag til sløringsluminansen på $0,068 \text{ cd/m}^2$ fra den møtende bilen og $0,00035 \text{ cd/m}^2$ fra arbeidsplassbelysningen.

3.2 Linköping i oktober 2006

3.2.1 Innledning

Prøver og målinger ble foretatt om kvelden og natten 12. til 13. oktober på motorveg 636 ved Linköping. Prøvefeltet simulerte en arbeidsplass på høyre side av vegen, og var satt opp i samsvar med svenske retningslinjer. En skisse av prøvefeltet er vist i Figur 11.



3.2.2 Belysning på vegarbeidsplassen

Det er en populær oppfatning at ved å nytte lyskaster som skråstilles og lyser ut i terrenget kan en belyse større arealer med færre armaturer. Ved feltprøvene ble dette prinsippet prøvd med en armatur av type Philips MVF 300 med ei 250 W metallhalogenlampe som var skråstilt slik at glasset dannet ca 45° vinkel med horisontalplanet. Et alternativt prinsipp med to armaturer av type Idman Philips Ville 510 modifisert til å bruke høytrykk natriumlamper av type SON-T 150 W ble også prøvd. Disse armaturene ble montert med glasset tilnærmet horisontalt. Begge armaturtyper hadde plant glass over lyskilden, se Bilde 1. Armaturene ble montert i ei ca 9 m høy mobilmast plassert på høyre fortauside.



Bilde 1. To typer armaturer for demonstrasjon av tradisjonelt belysningsprinsipp (mørk armatur) og alternativt belysningsprinsipp (lys armatur).

Fem løpende varsellys ble brukt for å informere trafikantene om omleggingen av trafikken. Ulike driftsmodi for disse varsellysene var en del av prøvene. En mobil signalvogn med to blinklys på toppen var plassert like bak varsellysene. En Volvo stasjonsvogn med parkeringslys og blinkende varsellys på taket var parkert i vegkanten 70 m bak signalvogna.

Testførere kjørte gjennom prøvemarken og svarte derpå en del spørsmål. Formålet med prøvene var å innhente data for hvordan bilførere reagerer når de må manøvrere rundt en vegarbeidsplass samtidig som de er utsatt for realistiske blendingsnivå fra en arbeidsplass. Blant blendingskildene er armaturene i mobilmasten de viktigste bidragsyterne, og de er hovedtema i blendingsberegningene.

3.2.3 Måleutstyr og målemetode

Luminansene i synsfeltet for førere etter hvert som nærmet de nærmet seg arbeidsplassen ble målt med et TechnoTeam LMK Mobile advanced instrument. Instrumentet består av et standard digitalkamera type Canon Digital EOS 350D med et Sigma 18 - 50 mm f/2,8 EX DC zoomobjektiv i kombinasjon med LMK 2000 software. Ved hjelp av kalibreringsdata for kombinasjonen av kamerahus og objektiv omarbeider programvaren den registrerte lysverdien i hvert enkelt av de 3456 x 2304 piksels (8 Megapiksels) til luminans i det samme piksel. Systemet har en repeterbarhet på 1,3 % og en måleusikkerhet på 5,8 %.

I noen av prøvesituasjonene var lyskasterne rettet mot førerne, noe som resulterte i at selve utladningsrøret i lampene ble synlige. Det har svært høy luminans, og for å kunne måle denne luminansen måtte en unngå overeksponering. Ved å defokusere kameraet kunne en finne middelluminansen over et areal som var større enn armaturen. Det ga grunnlag for en riktig beregning av lystyrken til den blendende armaturen.

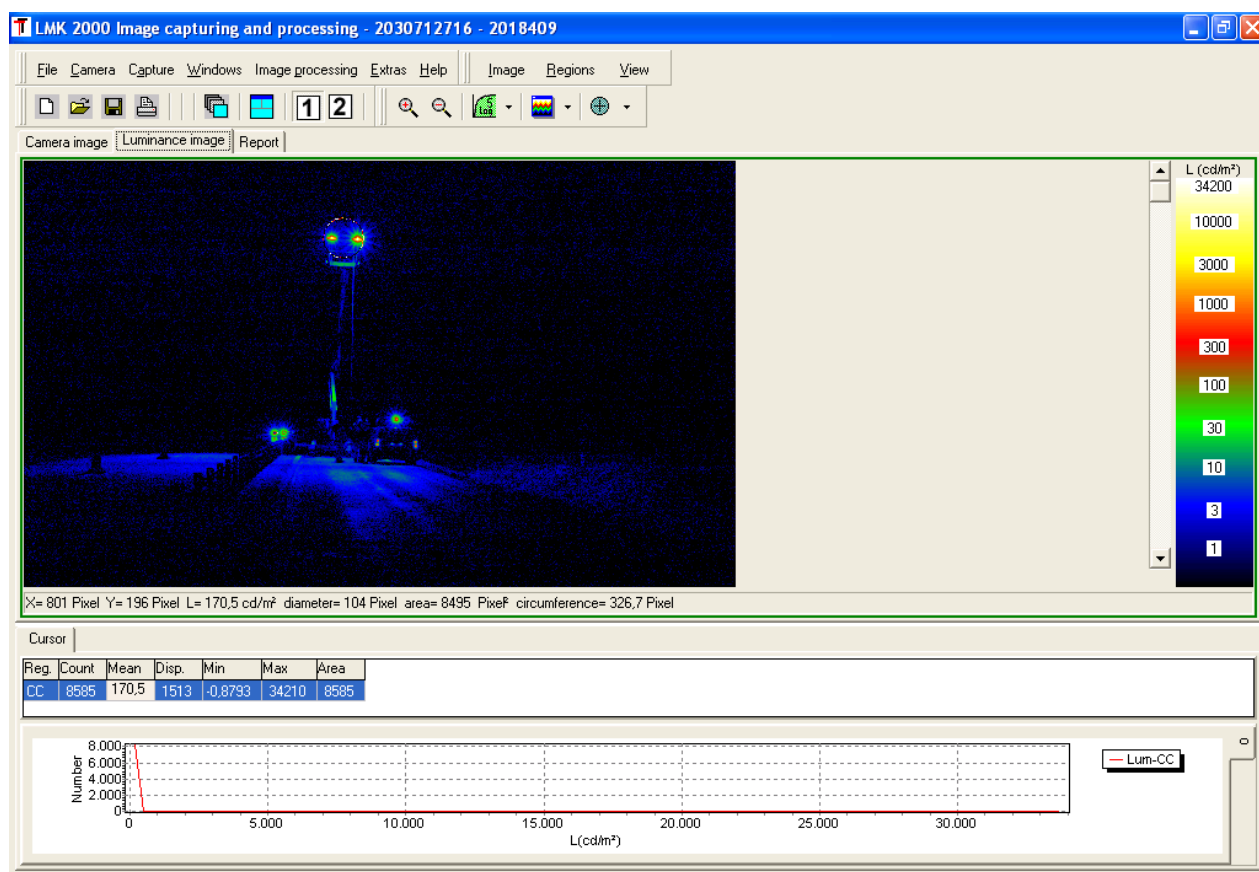
Av hensyn til sikkerheten til forsøkslederene ble målinger foretatt fra beskyttede posisjoner tett ved vegen og ikke fra posisjoner på selve vegen. Stenging av vegen ble ikke ansett for å være

nødvendig. Det bedømmes slik at de beregnede blendingsparametrene gir et godt bilde av den blendingen som opplevdes av førere på vegen.

3.2.4 Blendingsberegninger

Som nevnt i kapittel 2.2.2 bør terskelhevingen TI for vegbelysning være lavere enn 10 % og ikke høyere enn 15 %. Luminansen på arbeidsplassen ble målt til ca $3,5 \text{ cd/m}^2$ for situasjoner med to lyskaster og til $1,5 \text{ cd/m}^2$ for én lyskaster. De øvrige delene av vegen var ubelyste og hadde lave luminanser, bare kjøretøyenes nærlys bidro til belysningen. Himmelen var mørk, og luminansen nær horisonten ble målt til ca $0,02 \text{ cd/m}^2$. På denne bakgrunn er det funnet rimelig å foreta blendingsberegninger med en adaptasjonsluminans på $0,5 \text{ cd/m}^2$. Ved beregningene er synsretningen antatt å være parallell med vegens lengdeakse. Metodene som er brukt er beskrevet i kapittel 2.2 og 2.3.

Figur 12 viser et eksempel på utskrift fra programvaren LMK2000 brukt sammen med målesystemet LMK Mobile Advanced. Luminansene presenteres i form av et fargekodet bilde hvor fargekoden er vist til høyre i bildet. Den høyeste luminansen i bildet er 34200 cd/m^2 . Det sirkulære målefeltet rundt armaturene utgjør 1,5 grader. I analysefeltet under bildet framgår det at dets midlere luminans er $170,5 \text{ cd/m}^2$.



Figur 12. Eksempel på utskrift fra programvaren LMK2000

Med forutsetningene beskrevet ovenfor er terskelhevingen beregnet til $TI = 14 \%$ for armaturen med 1x 250 W metallhalogenlampe på 67 m avstand og $TI = 2$ for de to armaturene med 1x150 W høytrykk natriumlamper.

Blendingen ble også beregnet på bakgrunn av de fotometriske dataene for armaturene. Disse viste at bare armaturen med 1x 250 W metallhalogenlampe vil forårsake blinding. Resultatene for forskjellige avstander er vist i Tabell 4.

Tabell 4. Beregnede nivå for terskelheving TI for armatur med 1x 250 W metallhalogenlampe

Avstand (m)	10	90	130	210	410
Terskelheving TI (%)	119	15	14	13	12

Den tradisjonelle belysningsmetoden med skråstilte lyskastere gir stort lystap og kraftig blinding. Denne effekten kan motvirkes ved å nytte høyere master. Horisontal montering av tilpassede armaturer ga god belysning av arbeidsarealet og ubetydelig blinding.

3.2.5 Diskusjon

Dersom man tar utgangspunkt i de samme forutsetningene, blir det godt samsvar mellom målte og beregnede blendingsverdier. De viser at i noen av forsøkssituasjonene ble utsatt for blendingsnivå som ansees som uakseptable i vegbelysning. Dertil kommer at det var andre blendingskilder tilstede som ikke er inkludert i beregningene på grunn av mangel på egnede metoder, så som de løpende varsellysene, de blinkende lysene på signalvogna, lysene på den parkerte Volvoen og lysene på møtende biler.

Ingen av testførerene kommentert at blendingsnivået hadde vært høyt. De er muligens ikke klare over det høye blendingsnivået som opptrer fordi de er så konsentrerte om oppgaven med å komme forbi vegarbeidsplassen. Dette er en enklere oppgave enn å oppdage eventuelle små objekter på vegbanen, men det er vurdert slik at det er etisk uakseptabelt å plassere hindringer på vegbanen.

3.3 Varberg i 2007

3.3.1 Lysforholdene

På grunn av de praktiske forhold ved forsøkene ble målingene gjort fra passasjeret i en helt ny Volvo S40 i fart. Bilen ble kjørt opp mot sjikanen i ca 90 km/t. Inn mot sjikanen ble hastigheten redusert i samsvar med den oppsatte skiltingen. At bilen var helt ny tilsa at lyktenes optiske system var av best mulig kvalitet, likeså at lampene og lykteglassene var nye og rene. Målingene ble gjort ved hjelp av et avbildende luminansmeter av type LMK Mobile 2000. LMK - instrumentets dynamiske måleområde blir normalt utvidet ved å ta flere bilder fra samme posisjon, men dette var som en skjønner ikke mulig i dette tilfellet. Av den grunn er bare luminansene innenfor det dynamiske området for én eksponering målt korrekt. De lyseste områdene er overeksponert og finnes i de områdene som har hvit farge i de fargekodede isoluminansbildene. De mørkeste områdene er undereksponert og finnes i de områdene som er svarte.

Den registrerte luminansen ved alle målinger med LMK Mobile er lik objektets midlere luminans i løpet av tiden det tar å eksponere bildet. Men i tilfeller med blinkende lys kan variasjonen i løpet av eksponeringstida være stor. Lyset kan for eksempel være sløkket en del av tida.

En måleserie fra kjøring gjennom en av forsøksoppstillingene er vist i Bilde 2– Bilde 7 på Figur 13. Alle bildene er tatt med full blenderåpning, $f\ 2,8$. Bildene viser isoluminanser ved hjelp av fargekoder. Legg merke til at det er ulik kode på bildene for å få god oppløsning. Riktig tidsrekkefølge fåes ved å tolke bildene rad for rad. Noen data for bildene er vist i Tabell 5. Nummer i parentes er kameraets automatiske nummerering av bildene.

På Bilde 2 og Bilde 3 er vegbanen tørr, og bilens nærlys gir et stort belyst felt med luminans ca $0,5 - 2\ \text{cd/m}^2$. Kantlinjen skiller seg godt ut med høyere luminans enn nærmeste del av vegbanen, ca $2 - 6\ \text{cd/m}^2$.

På de øvrige bildene er vegbanen våt og vegluminansene er generelt lavere, men framviser små områder som har høye luminanser på grunn av speiling av lyskilder. I tillegg kommer lyskildene selv, som er enda mindre og har høyere luminanser. På Bilde 4 opptrer to blinkende piler og forårsaker kraftig blanding, men guardrailen på høyre side er godt synlig. Kantlinjene kan så vidt skjelnes på begge sider. Bilde 5 viser en situasjon som kan sies å være visuelt uryddig på grunn av sine mange sidemarkeringer. Disse har høye luminanser og stor kontrast mot bakgrunnen. Men også her er guardrailen godt synlig mot bakgrunnen. Bilde 6 er ganske uskarpt på grunn av

bevegels under eksponeringen, Flater er smurt utover slik at flater med høye luminanser har fått for lave verdier mens flater som grenser inn til disse har for høye luminanser. Visuell sidemarkering og ledning er mangelfull både på Bilde 6 og Bilde 7.

Tabell 5. Data for bildene i Figur 13.

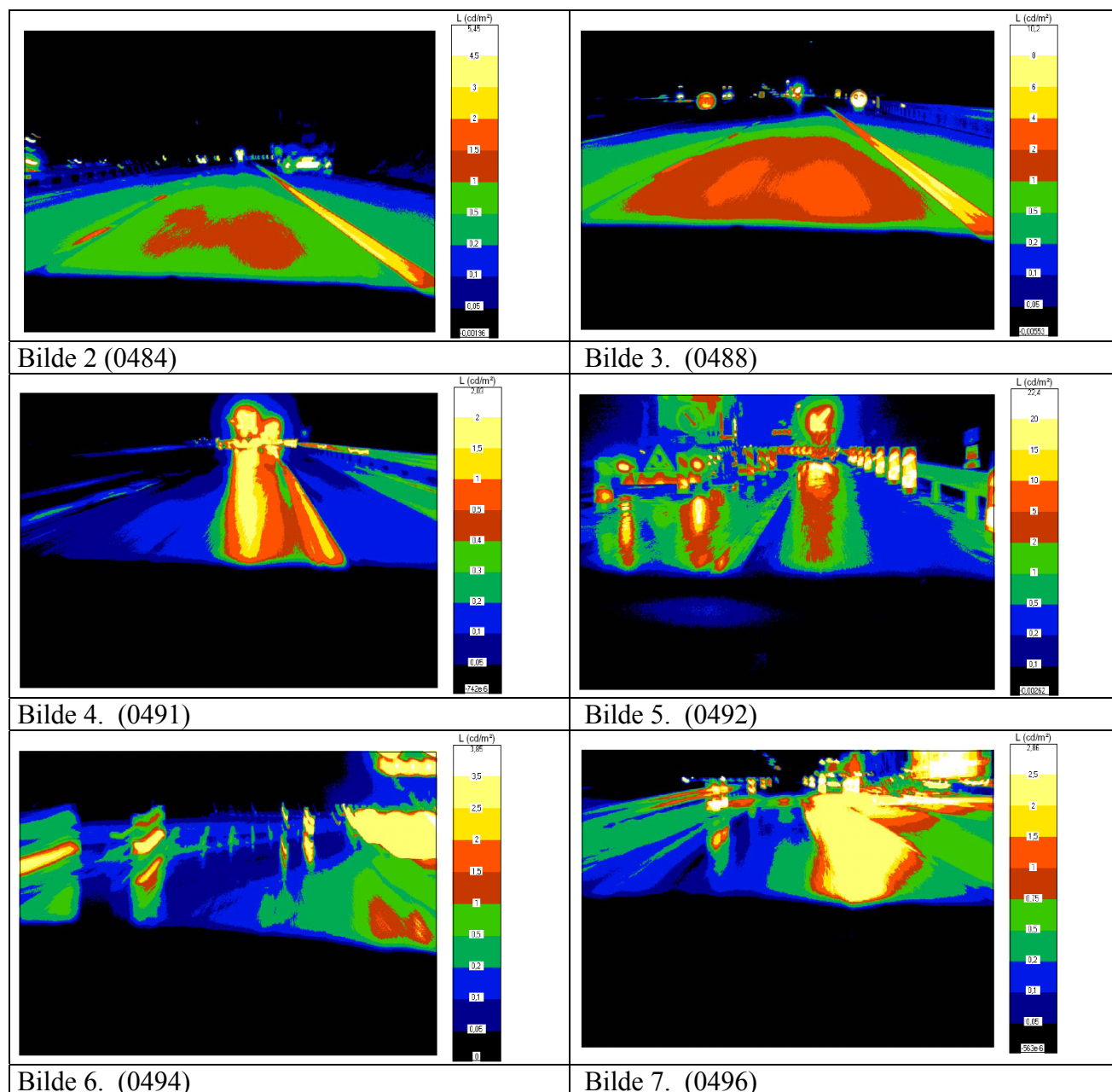
Estimert midlere luminans i nærlysfelt (cd/m^2)	Estimert midlere luminans for høyre kantlinje (cd/m^2)	Høyeste luminans i bildet (uten overeksponering) (cd/m^2)
1,0	2,5	5,45
1,3	4,0	10,2
x	x	2,03
x	x	22,4
x	x	3,85
x	x	2,86

3.3.2 Adaptasjonsluminans for bilførere

Ved senere beregninger av blindingseffekter (se kapittel 4) har en behov for å kjenne bilførernes adaptasjonsluminans. Målingene som er gjengitt i Bilde 2– Bilde 7 på Figur 13 kan tjene som utgangspunkt for en vurdering av denne. Under gode forhold med tørr vegbane er luminansen i nærlysfeltet ca 1 - 1,3 cd/m^2 . Ved våt vegbane er luminansen i store deler av nærfeltet lavere enn 0,3 cd/m^2 . Midlere luminans for høyre kantlinje er ca 3 cd/m^2 eller 2,5 - 3 ganger høyere.

3.3.3 Blinkende lys

De blinkende lys som ble anvendt under forsøkene ble ikke målt på stedet da en ikke er kjent med egnet utstyr for feltmålinger. Lysene er imidlertid normerte i samsvar med EN 12352. Firma Berlex, Kungälv har opplyst at de blinkende lyspiler var av type ”Trafikledningstavla SF1” med LED. Nominell effektiv lysstyrke er ca 1500 cd (klasse L8H i følge standard EN 12352). Den er imidlertid forsynt med en fotocelle som, avhengig av omgivelsenes lysnivå, automatisk regulerer elektrisk effekt. Laveste effekt er ca 60 % av den nominelle. Det kunne ikke oppgis hvilken lysstyrke dette tilsvarer, men det antas å være ca 900 cd (omtrent lineært for LED). Det ble videre opplyst at de anvendte såkalte ”vägmärkesvagn” sannsynligvis har nominell effektiv lysstyrke ca 500 cd (klasse L8M i følge standard EN 12352). Uten at det er foretatt beregninger av blindingseffekten er det klart at de anførte lysstyrkene kombinert med adaptasjonsluminansene på ca 0,2 cd/m^2 – 0,5 cd/m^2 (Bilde 4 og Bilde 5) resulterer i betydelig blinding.



Figur 13. Isoluminansbilder fra kjøring gjennom sjikane, med to blinkende lyspiler (Varberg)

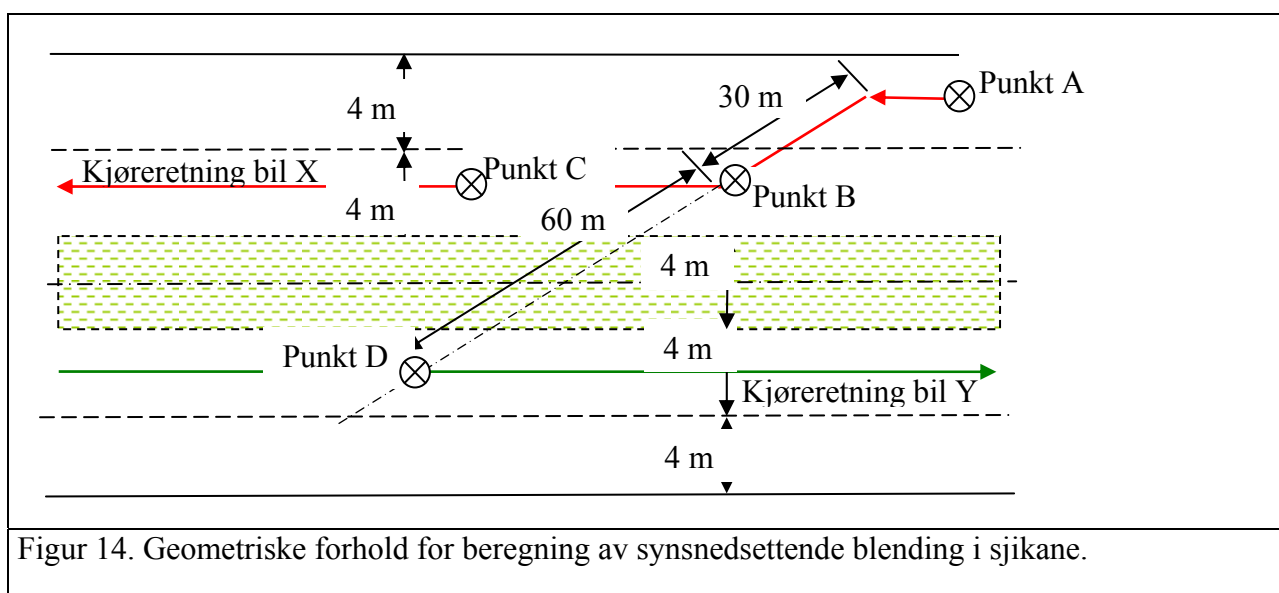
4 Blending mellom biler i møtesituasjon

Det blendingsnivå som oppstår mellom møtende kjøretøy ved arbeidsplassen er analysert ved hjelp av datasimuleringer. Det er hensiktsmessig fordi det ikke er mulig å bestemme kun en eller noen få situasjoner som dimensjonerende for blendingen, og ved beregninger er det også forholdsvis enkelt å gjøre nye beregninger med nye forutsetninger. Ved tilsvarende målinger ville måleomfanget og tilrigging for nye målinger bli urealistisk kostnadskreven.

En har ønsket å få fram resultater som indikerer blendingsnivået som erfares av førere av personbiler. Førerne i disse kjøretøyene antas å være de som er sterkest utsatt for blending på grunn av møtende trafikk fordi de sitter lavt i forhold til lysene på møtende kjøretøy. Simuleringen er gjort med dataprogrammet ERGO 2001. Dette distribueres gratis av firma Avery-Denison (ref. 8). Dette er et program spesielt lagt til rette for å beregne fotometriske størrelser for

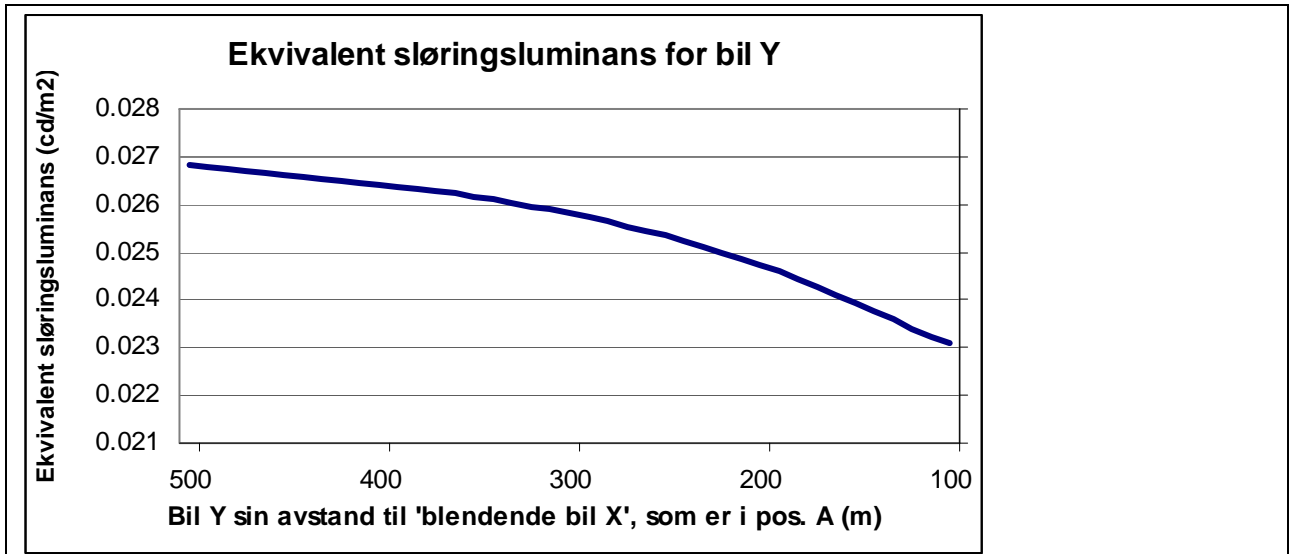
retroreflekterende trafikkskilt i ulike situasjoner, men det viser også mellomberegningene av belysningsstyrker og vinkler som gjør at det kan brukes til å beregne størrelser som inngår i beregningene av ubehagsblending. Som en del av dette programmet leveres en database med fotometriske data for nærllys og fjernlys av ulike typer, samt ferdige datasett som beskriver de geometriske forhold i noen typiske kjøretøy, deriblant en såkalt CEN-bil. Den er definert slik at avstanden fra vegbanen til senter av lyskasterne er 65 cm, og høyden til bilførerens øyne er 120 cm. Det er også mulig å fritt endre geometrien slik at et hvilket som helst kjøretøy kan modelleres. I simuleringene har en brukt den omtalte CEN-bilen og europeiske nærllys slik de er definert i en foreløpig rapport fra CIE TC 4-20 fra 1993.

Simuleringene viser hvilket blendingsnivå som et kjøretøy X i sjikanen forårsaker for møtende trafikk, angitt ved kjøretøy Y. Som eksempel er det brukt en firefelts veg hvor de to kjøreretningene er atskilt med en midtdeler. Kjøremønsteret for kjøretøy X er angitt ved røde piler, mens kjøremønsteret for kjøretøy Y er angitt ved grønn pil. Situasjonen er vist i Figur 14.



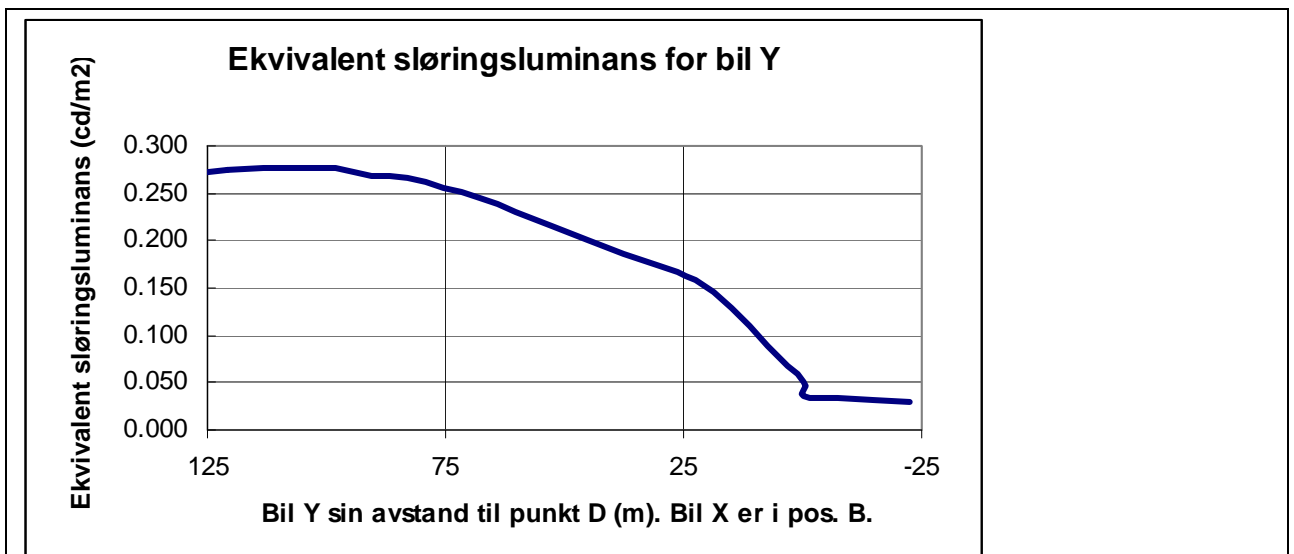
Figur 14. Geometriske forhold for beregning av synsnedsettende blanding i sjikane.

De to lyskasterne på den møtende bilen er behandlet hver for seg. Første trinn i blendingsvurderingen består i å beregne ekvivalent sløringsluminans etter formel 5. Beregningene er utført for tre situasjoner. I den første situasjonen er den blendende bilen X i sitt ytterste kjørefelt markert ved punkt A, før den starter på sjikanen. Resultatet av denne simuleringen er vist i Figur 15.



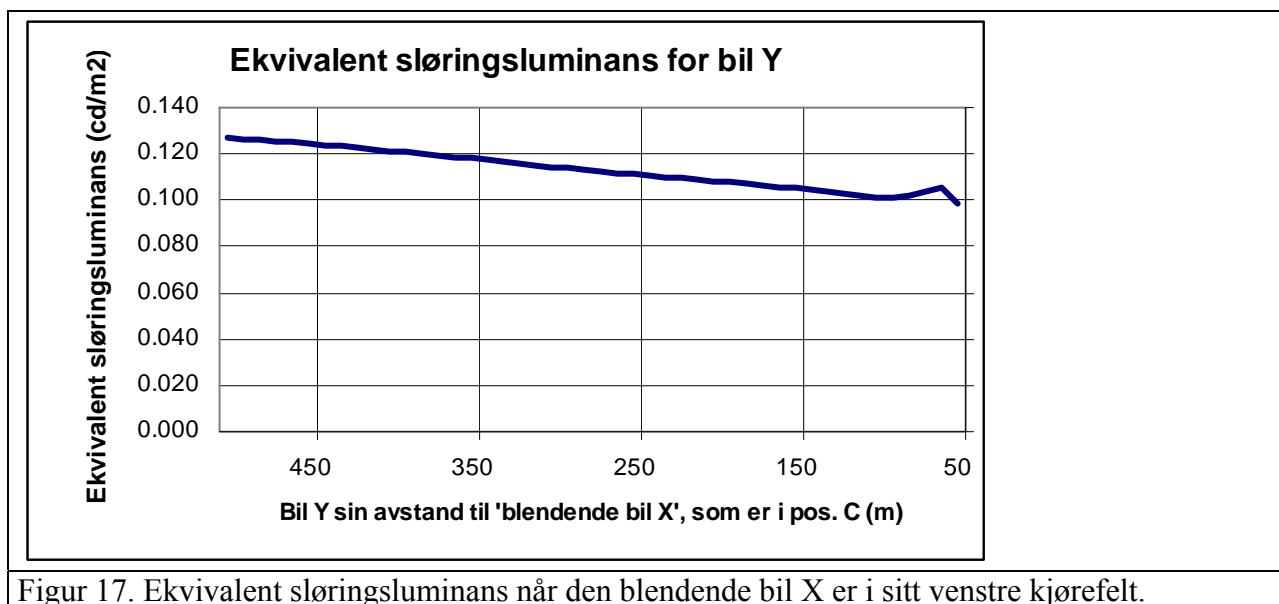
Figur 15. Ekvivalent sløringsluminans når den blendende bil X er i sitt høyre kjørefelt.

I den andre situasjonen har den blendende bilen X nådd enden av sjikanen, markert med punkt B. Bilen Y kjører opp mot punktet D hvor aksene for de to kjøretøyene krysser hverandre. Området rundt dette punktet blir sterkt belyst av bil X. Ved negative avstander er punktet D passert. Resultatet av denne simuleringen er vist i Figur 16.



Figur 16. Ekvivalent sløringsluminans når den blendende bilen X har nådd enden av sjikanen.

I den tredje situasjonen befinner den blendende bilen X seg i sitt innerste kjørefelt etter å ha passert sjikanen. Resultatet av denne simuleringen er vist i Figur 17.

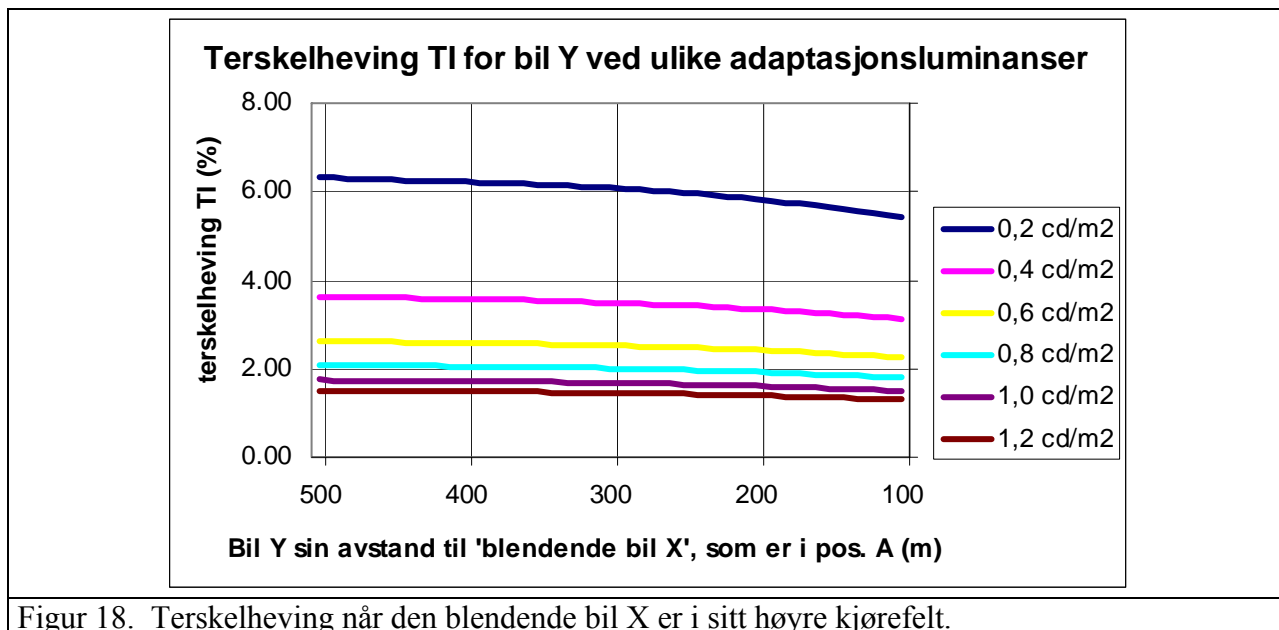


Figur 17. Ekvivalent sløringsluminans når den blendende bil X er i sitt venstre kjørefelt.

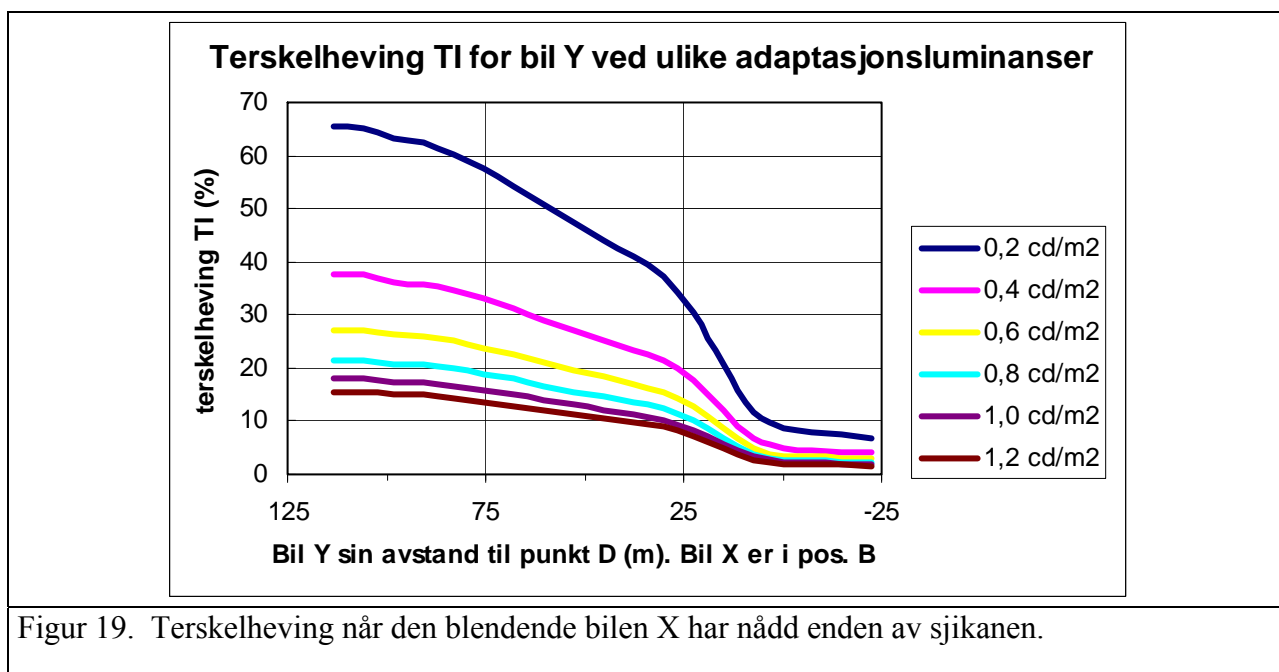
Det kan være interessant å legge merke til at resultatene fra Figur 15 og Figur 17 samsvarer rimelig godt med den ekvivalente sløringsluminansen i eksemplet på Værløse, som ble bestemt til $0,068 \text{ cd/m}^2$, se punkt 3.1.3. I Figur 15 og Figur 17 varierer den ekvivalente sløringsluminansen lite med avstanden. Det kan synes ulogisk idet en kunne vente at sløringsluminansen ville være høyest på kortere avstander. Men forklaringen ser en av formel 2 og formel 3 idet tendensen til økende blindingseffekt med avtagende avstand til blendingskilden blir motvirket av at vinkelavstanden mellom synsretningen og blendingskilden øker samtidig.

De ekvivalente sløringsluminansene som er vist i Figur 15 til Figur 17 sier lite om blindingseffekten om de ikke sees i sammenheng med adaptasjonsluminansen som opptrer samtidig. For å dekke de målinger og vurderinger av adaptasjonsluminans som er gjort i prosjektet (se kapittel 3), er terskelhevingene beregnet på basis for adaptasjonsluminanser fra $0,2 \text{ cd/m}^2$ til $1,2 \text{ cd/m}^2$.

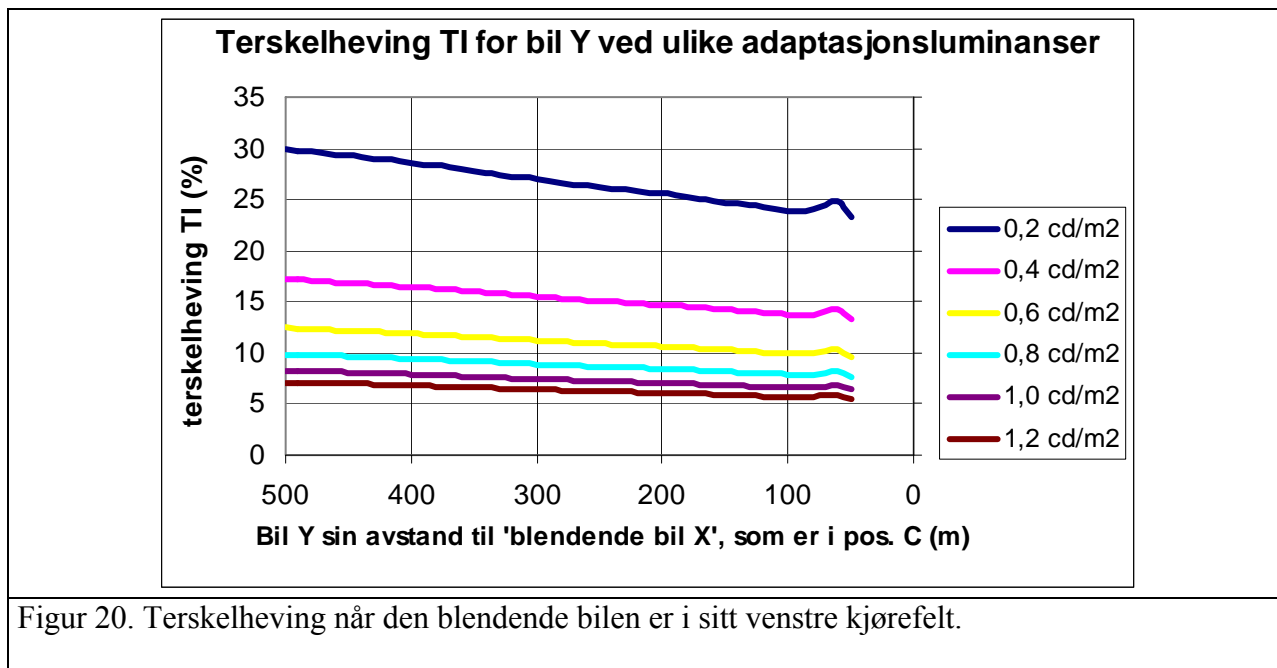
Resultatene med bil X i posisjon A er vist i Figur 18.



Tilsvarende er resultater for bil X i posisjon B vist i **Figur 19**.



Tilsvarende er resultater for bil X i posisjon B vist i **Figur 20**.



Legg merke til at det for tydelighetens skyld er brukt ulik skala på ordinataksene. Andre geometriske utforminger av sjikanen i forbindelse med vegarbeidet kunne også være analysert på samme måte som vist over, men de ansees ikke å ville bringe noe prinsipielt nytt.

To av de analyserte situasjonene er ganske like med møtesituasjoner på tofelts veg. Blendingen som er vist i Figur 18 oppstår når avstanden mellom de parallelle kjøreretningene er 12 meter, mens den tilsvarende for Figur 20 er 8 meter. Dette er store avstander som normalt bare forekommer på motorveger. Men i begge tilfeller oppstår det betydelig blending, og en ser at blendingen øker vesentlig når avstanden mellom kjøreretningene avtar.

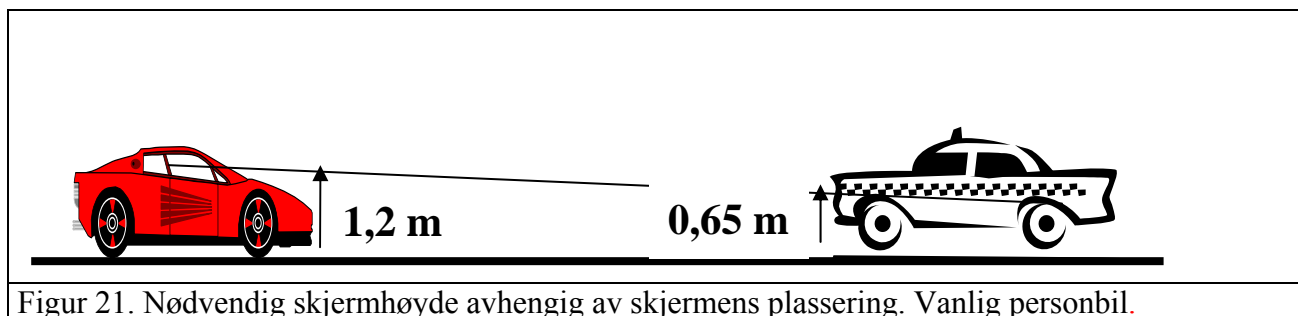
Men det framgår av Figur 19 at situasjonen blir vanskelig når kjøretøyet i sjikanen belyser møtende kjøretøy på skrå. For denne situasjonen bør det settes inn tiltak for å begrense blendingen.

Ved fortolkningen av resultatene skal en ta hensyn til at blendingsnivåene er de laveste som kan oppnås. Dataene som ligger til grunn for beregningene er målt for nye og rene og lyskastere som gir minimalt med strølys. Ute på vegene vil det være eldre kjøretøy med lyskastere som er degraderte på grunn av inntrenging av fukt og støv, og det vil også ligge noe skitt og støv på lyskasternes glass. Skitt og fukt på frontruta vil bidra til enda mer strølys og blending. Feiljustering av lys-mørke-grensen forekommer også. Det som hittil er sagt om blending gjelder i møtesituasjoner én bil mot én annen bil. I praksis må en regne med at flere kjøretøy kan komme imot, og det kan også være sjenerende kjøretøy bak. Derfor vil blendingen i praktisk trafikk generelt være vesentlig høyere enn det som kommer fram ved simuleringen.

4.1 Skjermer mellom kjøreretningene

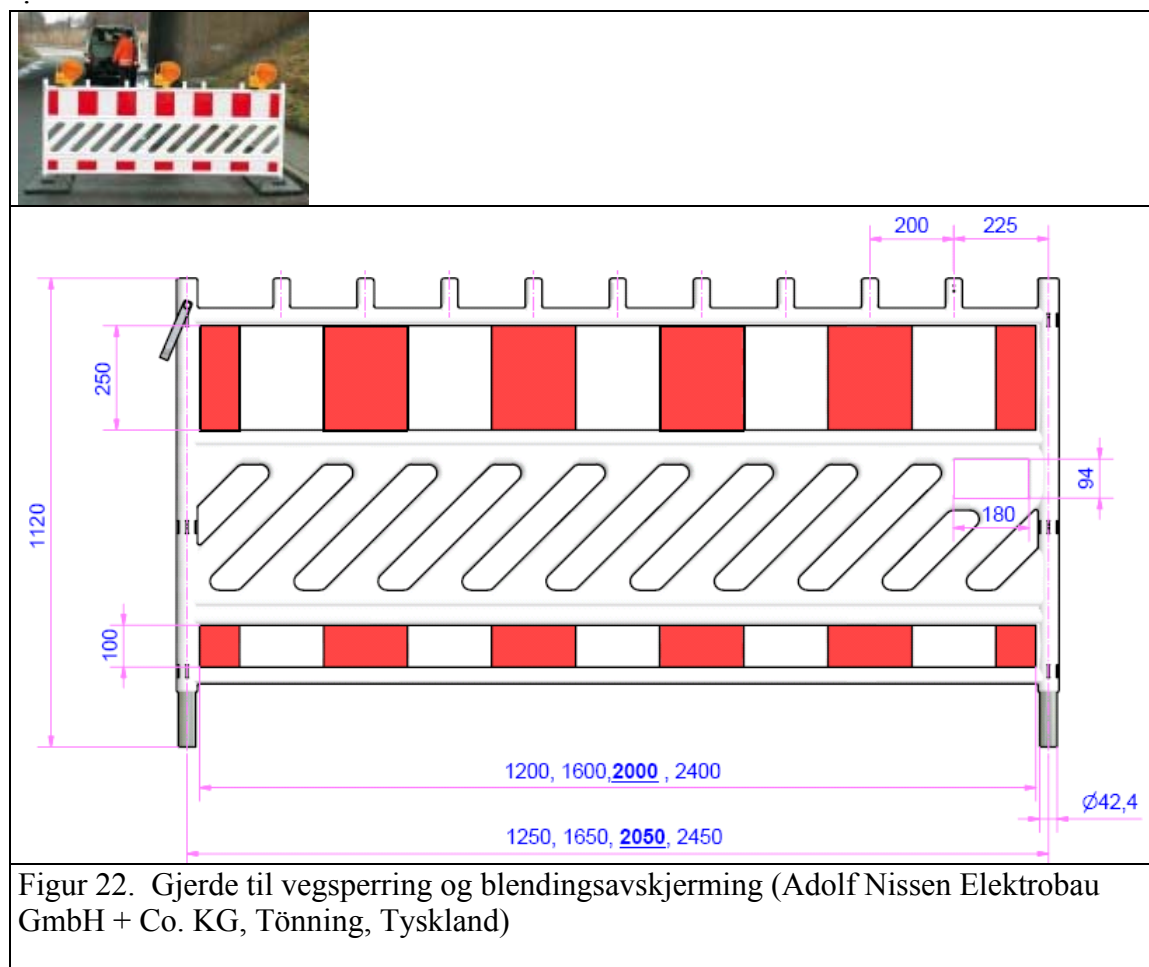
Eksempel på tiltak for å motvirke blendingseffekter ved vegarbeidsplasser er å utstyre dem med god belysning for å unngå lave adaptasjonsluminanser eller sette opp skjermer mellom kjøreretningene. For at skjermen skal kunne fungere godt, må det være lystett i et felt som skjermer for direkte sikt til lyskastene på møtende kjøretøy. For de situasjonene som er simulert tilsvarer det at en skjerm må være lystett i høyder mellom 65 cm og 120 cm over kjørebanelen. Se

Figur 21. I praksis bør skjermen være lystett i høyder mellom 60 cm og 140 cm over kjørebanelen for også å kunne fungere for førere av større personbiler.



Figur 21. Nødvendig skjermhøyde avhengig av skjermens plassering. Vanlig personbil.

For større kjøretøy vil nødvendig høyde måtte være større, men situasjonen er heller ikke så kritisk for førere av slike kjøretøy da de sitter høyere slik at vinkelen mellom synsretningen og retningen til de blendende lyskasterne blir større. Blendingen for disse førerne er derved vesentlig mindre, og skjermen kan sløyfes. I Figur 22 er det vist et eksempel på et mulig slikt gjerde, men det er ikke optimalt ved at det er noe for lavt og at det ikke er lystett ned til 65 cm over bakken. Noen av målene som har interesse for å kunne bedømme den lysavskjermende effekten kan finnes ved å måle på figuren. Således finnes at det gjennomhullete området strekker seg fra ca 40 cm til ca 70 cm over bakken, mens den effektive skjermen er ca 105 cm høy. Bruk av et slikt gjerde vil på tross av sine begrensninger ha en betydelig dempende effekt på ubehagsblendingen.



Figur 22. Gjerde til vegsperring og blendingsavskjerming (Adolf Nissen Elektrobau GmbH + Co. KG, Tönning, Tyskland)

5 Forslag til retningslinjer for blendingsbegrensning

Feltforsøkene og utredningene har vist at lys fra arbeidsplassen kan forårsake kraftig synsnedsettende blending. Men det er mulig å redusere den ved bruk av egnet teknisk utstyr. Forslaget inneholder retningslinjer for hvordan tiltakene bør innrettes og hvilke krav utstyret bør tilfredsstillere.

5.1 Belysning av vegarbeidsplasser

Vegarbeidsplasser bør belyses. Derved økes adaptasjonsluminansen, noe som reduserer blendingseffekten av fra lyskildene som påvirker bilføreren. Bilføreren får også et bedre inntrykk av utfordringene som ligger i å passere vegarbeidsområdet. Der forholdene på anleggsstedet ligger til rette for det bør en bygge et provisorisk veglysanlegg eller sette opp et eventuelt permanent veglysanlegg så tidlig som mulig. Luminansnivået bør minst være 0,7 cd/m² og TI lik 15 % eller lavere.

5.2 Krav til belysningsutstyr

Både ordinære veglysmarturer og lyskastere for områdebelysning kan være aktuelle for formålet. Veglysmarturer er spesialkonstruerte for å belyse store arealer samtidig som det er gjort konstruktive tiltak for å begrense blending, samtidig som konstruksjonen er slik at det er begrensede muligheter for feilbruk ved for eksempel å rette lyset ut i terrenget. Lyskastere derimot kan i samsvar med bruksmåten fritt rettes mot de objekter en måtte ønske. Dette representerer et belysningsprinsipp som må unngås.

For veglysmarturer finnes etablerte normer for å beskrive tiltak for blendingsbegrensning (ref. 9). For begrensning av blending fra lysutstyr anvendt på vegarbeidsplasser bør kravene stilles til de absolutte lysstyrkene og ikke til lysstyrker per 1000 candela slik det er vanlig for vegbelysning. I lyskastere er det ikke uvanlig med lyskilder med høye effekt som gir kraftigere blending enn vegbelysning. Absolutte lysstyrker gjør det også mulig å etterprøve om de stilte kravene er overholdt. Om lysstyrkekravene overholdes vil terskelhevingen TI for en armatur med 7 m monteringshøyde og med adaptasjonsluminans lik 0,5 cd/m² være maksimalt ca 15 % for kategori BB1, ca 20 % for kategori BB2 og ca 30 % for kategori BB3. For den orienteringen lysarmaturen har i sin bruksstilling bør kravene til klasse BB2 eller bedre i Tabell 6 tilfredsstillers.

Tabell 6. Armaturers lysstyrke for anbefalt blendingsbegrensning (BB).

Klasse	Maksimalt tillatt lysstyrke (cd)			Andre krav
	$\gamma = 70^\circ$)	$\gamma = 80^\circ$)	$\gamma = 90^\circ$)	
BB1	2500	2000	100	Lysstyrker over 90° skal være mindre enn 20 cd
BB2	3300	2700	200	Lysstyrker over 95° skal være mindre enn 20 cd
BB3	5000	4500	300	Lysstyrker over 95° skal være mindre enn 30 cd

1) Gjelder ved vinkler γ som dannes mellom loddlinja og synsretningen, når armaturen er montert i bruksstilling og sees fra trafikantens posisjon

Lysanlegget er godt sikret mot blending dersom det anvendes lysutstyr hvor den flata som sender ut lyset er plan og denne flata er horisontal eller i alle fall ikke er vinklet mer enn 5 grader i retning mot trafikken. Det bør ikke anvendes master lavere enn 6 m.

Anbefalingene i Tabell 6 bør brukes sammen med fotometriske data som er målt i et laboratorium. Der slike mangler er det imidlertid mulig å gjøre feltmålinger. En mulig framgangsmåte er beskrevet i Vedlegg A.

5.3 Skjerm mellom kjøreretningene

Skjermer bør anvendes mellom kjøreretningene. For at skjermene skal kunne fungere godt, må de være lystette i høyder mellom 60 cm og 120 cm over kjørebanelen. Helst bør de være lystette opp til en høyde på 140 cm for også å kunne fungere godt for førere av større personbiler.

6 Referanser

- ref. 1. Augdal, A.: SINTEF-notat "Metoder for å måle synsnedsettende blinding". 2005-11-22.
- ref. 2. Commission Internationale de l'Eclairage: "Glare and Uniformity in Road Lighting Installations". Publication CIE No 31. 1976
- ref. 3. Commission Internationale de l'Eclairage: "CIE Collection on Glare". CIE 146:2002. CIE 147:2002
- ref. 4. Commission Internationale de l'Eclairage: "Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic". CIE no 115-1995.
- ref. 5. Commission Internationale de l'Eclairage: CIE COLLECTION on GLARE. 2002. CIE 146:2002. CIE equations for disability glare.
- ref. 6. Mörkertrafik rapport nr. 1 , 'Bländing från belysningsanläggningar vid sidan av vägan' (1977)
- ref. 7. Vejdirektoratet. Vejregler.
http://www.vejregler.dk/pls/vrdad/vr_layout.vis?p_gren_id=3000
- ref. 8. Ergo2001. Copyright 1991 – 2001 by Avery Dennison
http://www.reflectives.averydennison.com/films_ergo2001.html
- ref. 9. European Standard EN 13201-2:2003. Road lighting – Part 2: Performance Requirements.
- ref. 10. Urban Guide Signs. Guidelines. Literature Review. State of Israel. Ministry of Transport. Department of Land Transport. Jerusalem, October 1999.
- ref. 11. Mourant, R.R., Rockwell, T.H.: Mapping Eye-Movement Patterns to the Visual Scene in Driving: An Exploratory Study. Human Factors, 12(1), pp 81 -87

VEDLEGG A.

Prosedyre for kontrollmåling av lysstyrker

Lysstyrker som i Tabell 6 kan ikke kontrollmåles direkte, men de kan finnes ved hjelp av et luminansmeter som måler middelluminansen L_m i et felt som omfatter armaturen. Det sees av følgende betraktning:

$$I = L_m \cdot A \quad (\text{candela})$$

hvor:

L_m er middelluminansen over målefeltet

A er arealet av luminansmeterets målefelt på avstanden s

Nøyaktigheten av metoden avhenger av flere parametre som behandles i det følgende, hvor deres størrelse kan bestemmes med begrenset nøyaktighet. En må derfor utvise omtanke ved bruk av resultatene.

Metode I for å bestemme arealet A

Aktuelle målefelt utgjør små vinkler α , og vi finner arealet A av:

$A = \pi \cdot (s \cdot (\alpha \cdot \pi / 180) / 2)^2 = \pi^3 / 180^2 \cdot s^2 \cdot \alpha^2 = 2,39 \cdot 10^{-4} \cdot s^2 \cdot \alpha^2$	(m^2)
---	----------------

hvor:

s er avstanden til den aktuelle lyskilden, i meter

α er størrelsen av luminansmeterets målevinkel, angitt i grader

Luminansmeterets målefelt må være det minst mulige som samtidig er stort nok til at hele armaturen ligger innenfor målefeltet. Den øvrige delen av målefeltet må være mørk og absolutt ikke omfatte andre lyskilder. Det stilles vanligvis ikke krav til hvor nøyaktig målefeltets angivelse skal være, og det er vanskelig å bedømme hvor nøyaktig denne metoden for å bestemme arealet av målefeltet.

Metode II for å bestemme arealet A

Dersom en har tilgang til en lyskilde med kjent lysstyrke I_{normal} (lysstyrkenormal), kan en finne arealet $A_{\text{kål}}$ ved den aktuelle avstanden $s_{\text{kål}}$ mellom lyskilde og luminansmeter av:

$A_{\text{kål}} = I_{\text{normal}} / L$	(m^2)
--	----------------

hvor:

I_{normal} er lysstyrkenormalens lysstyrke (cd)

L er den registrerte middelluminansen ved den aktuelle avstanden $s_{\text{kål}}$ (cd/m^2)

som gir:

$A = (s / s_{\text{kål}})^2 \cdot A_{\text{kål}}$	(m^2)
---	----------------

Avstandsmålinger

Avstandsmålinger er nødvendige for å kunne bestemme målefeltets størrelse A samt danne grunnlaget for de trigonometriske beregningene av vinklene. Målinger med måleband krever mye tid, men det finnes laserbaserte avstandsmålere som kan nyttes for nøyaktige målinger av avstander opp til opp til ca 70 meter. Det forutsetter at måleobjektet er plant og så stort at en stor

del av laserstrålen treffer innenfor objektet. På 100 m avstand kan laserstrålen ha en diameter på ca 60 mm (Leica Disto Classic). Slike målere egner seg godt til å bestemme monteringshøyden h for armaturer. Små objekter og større avstander opp til ca 200 m kan måles ved hjelp av reflektorer eller såkalte sikteplater som plasseres på eller ved måleobjektet. Målinger med lasermåler over lange avstander kan vise seg å være problematisk om dagen fordi laserflekken er lyssvak og vanskelig å se. Det er uansett nødvendig å montere avstandsmåleren på stativ som tillater finjustering av retningen. Med tanke på måleobjektene antall og deres plassering (de kan være plassert i vanskelig terreng eller på motsatt side av trafikerte veier) kan avstandsmålingene bli tidkrevende.

Vinkelberegninger

Vinkelen γ i Tabell 6 finnes av de målte avstander s og h:

$\gamma = \text{atan}(s / h)$	(grader)
-------------------------------	----------

Av praktiske grunner er det bare mulig å foreta kontroll ved vinkler opp til ca 80 grader. Ellers blir nødvendig måleavstand for stor.