

**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 vägarbeten 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 23
ELEKTRONISK ARKIVKODE V-gver-Rappo-St-rande-ljus-vid-v-.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Arve Augdal	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Lars Johnsen
ARKIVKODE	DATO 2008-05-06	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)	

SAMMENDRAG

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1		
GRUPPE 2		
EGENVALGTE		

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Forutsetninger for god problemløsning	2
1.1	God problemdefinisjon	2
1.1.1	Bilder og video mottatt fra Morten Hafting	3
2	Forutsetninger for analyse	3
2.1	God problemforståelse	3
2.1.1	fenomenene ”blending”. Parametere og deres innvirkning.....	3
2.1.2	Mesopisk syn.....	3
3	Metoder for beskrivelse av blending	3
3.1	Metoder for å måle blending	5
3.1.1	Forsøk på metode	6
3.1.2	Praktisk anvendbar metode	6
3.1.3	Beregning av ekvivalent sløringsluminans	8
3.2	Mål for begrensning av blending	8
3.3	Eksempel på bruk av metoden	9
3.4	Spørsmål på bakgrunn av eksempelet	11
4	Rapportering feltprøver	11
5	Arbeid og rapportering avblendings skjerm	Error! Bookmark not defined.
5.1	Simulering av blending i møtesituasjon	13
6	Forslag til retningslinjer	19
6.1	Anbefalte lysstyrker for blendingsbegrensning.....	Error! Bookmark not defined.
6.2	Rettledning	Error! Bookmark not defined.
6.3	Måleprosedyre	Error! Bookmark not defined.

1 Forutsetninger for god problemløsning

1.1 God problemdefinisjon

I forbindelse med arbeid på vegen 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. Ellers akseptable synsforhold kan ødelegges av synsnedsettende blending. Det vurderes derfor slik at synsnedsettende blending er den størrelse som det er viktigst å få mål på. 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 føre til at forutsetningene svikter og at trafikantene blander hverandre.

1.1.1 Bilder og video mottatt fra Morten Hafting

viser ikke typisk *anleggs plass* med sjenerende lys, men merking og regulering av trafikk i forbindelse med omlegging eller oppgradering av vegen. Det er eksempler på:

Blinkende lys

Lys fra veglysanlegget

Lys på kjøretøy

 Møtende

 Baklys

 Bremselys

Lysende skilt

 Variable infotavler

 Infoskilt (stedsskilt, kjørefeltanvisninger)

Belyste skilt

 Belyst av kjøretøybelysningen

 Eksternt belyste skilt

Ytterligere dokumentasjon er nødvendig

 Må skaffes - hvordan

 Diskusjoner

 Befaringer. Morten skaffer adgang når vi er klar over behovet?

2 Forutsetninger for analyse

2.1 God problemforståelse

2.1.1 fenomenene ”blending”. Parametere og deres innvirkning

 Fysiologisk blending

 Psykologisk blending

2.1.2 Mesopisk syn

 Spektral følsomhet – mesopisk modell

3 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.

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. For utendørs lysanlegg og en bestemt lyskilde kan den karakteriseres ved blendingsgraden D (ref\$). 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 areal sett i den aktuelle retningen (m^2)

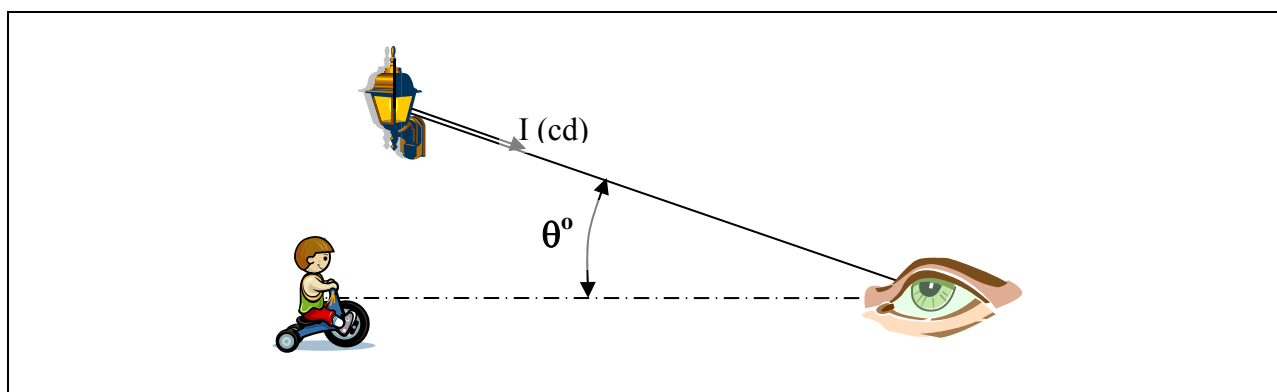
I praksis kan et lysanlegg bestå av flere armaturer. Bidragene fra hver enkelt av de n armaturene må da summeres for å finne den totale effekten:

$D = \sum_{i=1}^n (I_i / \sqrt{A_i})$	formel 2
---------------------------------------	-----------------

Flere metoder som er benyttet for å beskrive synsnedsettende blending i forbindelse med prosjektet. Noen nye metoder er også utviklet.

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 objektet som det fokuseres på. Det diffuserte lyset innehar ikke informasjon om objektet som er fokusert på netthinna. Derved reduseres kontrasten av synsobjektet mot 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'.

CIE no 146 og 147 glare



Figur 1. Vinkelen θ ved synsnedsettende blending

Sløringsluminansen L_v forårsaket av en lyskilde (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 3
------------------------------------	--------------	-----------------

Her er:

10 er en aldersbestemt faktor. Verdien 10 gjelder for en gjennomsnittlig ung person

θ er vinklen mellom retningen mot objektet som betraktes og retningen mot blendingskilden, målt i grader ($^\circ$)

E_{bl} er belyningsstyrken fra lyskilden, på et plan vinkelrett på synsretningen, ved observatørens øyne

I er blendingskildens lysstyrke mot observatøren (cd)

Ut fra de angitt størrelsene kan en beregne:

$E_{bl} = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \Theta$	(lux)	formel 4
--	-------	-----------------

Gyldighetsområdet for formel 3 er $1^\circ \leq \Theta \leq 30^\circ$.

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:

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

Dersom en ønsker å ta hensyn til alderseffekten anbefaler CIE den såkalte aldersjusterte Stiles-Holladays blendingsformel (ref\$):

$L_v = 10 \cdot \frac{E_{bl}}{\Theta^2} \left(1 + \left(\frac{A}{70} \right)^4 \right)$	(cd/m ²)	formel 6
---	----------------------	-----------------

Her er A observatørens alder.

Den ekvivalente sløringsluminansen beregnet etter formel 6 er ca 10 % høyere ved 40 års alder og 100 % høyere ved 70 års alder enn ved beregninger med formel 3.

Innen vegbelysningen er det vanlig å beskrive synsnedsettende blending ved terskelhevingen (Threshold Increment) TI. TI bestemmes av:

$TI = 65 * L_v / L^{0,8}$	(cd/m ²)	formel 7
---------------------------	----------------------	-----------------

hvor:

L er observatørens adaptasjonsluminans (cd/m²)

Formelen gjelder for $0,05 \text{ cd/m}^2 < L < 5 \text{ cd/m}^2$

CIE angir at blendingen er merkbar når TI er større enn 2 (ref. 1). CIE anbefaler at TI bør være mindre enn 10, men aldri over 15 (ref. 3).

3.1 Metoder for å måle blending

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 3 eller formel 6. Her er står en overfor flere utfordringer. En kjenner ikke til feltinstrumenter som måler hverken D eller L_v direkte. Det finnes heller ikke portable instrumenter som kan måle de størrelsene (lysstyrke I (cd) og areal A (m²)) 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 blendingen må skilles ut og måles for seg.

I det følgende vil vi derfor konsentrere oss om å finne en omformulering av formel 2 slik at synsnedsettende blending lar seg måle i felten.

3.1.1 Forsøk på metode

Ved å gå fram på konvensjonell måte anvender en at

$$E = (I * \cos \theta) / r^2$$

hvor:

I er lysstyrken til armaturen, målt i candela (cd)

θ er vinklen mellom synsretningen og belyningsretningen, målt i grader ($^{\circ}$)

r er avstanden mellom armaturen og observatørens øyne, målt i meter (m)

Lysstyrken I kan ikke måles direkte, men må beregnes ut fra måling av middelluminansen L_m av et felt som omfatter armaturen. For å oppnå best mulig nøyaktighet må målefeltet være så lite som mulig, men det må omfatte *hele* armaturen og ingen *andre* lyskilder. Da vil en ha:

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

hvor:

A er arealet av luminansmeterets målefelt på avstanden r

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

$A = \pi * (r * (\alpha * \pi / 180))^2 = \pi^3 / 180^2 * r^2 * \alpha^2 = 9,57 * 10^{-4} * r^2 * \alpha^2$	(m^2)	formel 8
---	-----------	-----------------

hvor:

α er størrelsen av luminansmeterets målevinkel, angitt i grader

En kommer her til et uomgjengelig behov for å kunne måle avstanden til armaturen med en akseptabel nøyaktighet. Det er lite praktisk å foreta målingene med måleband på grunn av tidsforbruket. 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 hele laserstrålen treffer innenfor objektet. På 100 m avstand kan laserstrålen ha en diameter på ca 60 mm (Leica Disto Classic). 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. Med tanke på hvor de blendende armaturene kan være plassert og deres antall kan avstandsmålingene bli tidkrevende. En metode som den skisserte kan vise seg å være lite praktisk.

3.1.2 Praktisk anvendbar metode

Metoden går gjennom flere trinn. Først måles belyningsstyrken fra de enkelte blendingslyskilder. Dernest måles vinkelen mellom synsretningen og retningen mot blendingskilden.

3.1.2.1 Måling av belyningsstyrke

Bidraget fra blendingskildene skal måles hver for seg. Dersom det er flere blendingskilder er det i praksis ikke mulig å måle belyningsstyrken 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 sikteinnretning som forteller hvilket område som registreres av instrumentet. En annen er at de belyningsstyrker som opptrer normalt er lave. En må her tenke på at blanding er utilsiktet belysning og at avstandene mellom blendingskilde og blendet person er store. Så lave belyningsstyrker kan ikke måles tilstrekkelig nøyaktig med vanlige feltinstrumenter for belyningsstyrke.

Beskrivelsen foran er i prinsippet av et luminansmeter, men det er kalibrert i lux. Vi kan altså gå motsatt veg og kalibrere om et luminansmeter til å vise belyningsstyrke. Det vil egne seg godt til den type måling vi har behov for. Luminansmeters er forsynt med en søker som viser det aktive måleområdet, og de kan registrere lavere lysnivåer enn luxmeters:

- 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 elektronikk for å forsterke de svakeste signaler

At luminansmeters kan nyttes til måling av belyningsstyrke 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 belyningsstyrke som

$E = I/r^2 = L \cdot A/r^2 = k \cdot L$	(lux)	formel 9
---	-------	-----------------

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 10
---	------------------

hvor:

b er vinkelbuen som defineres av vinkelen α

α er vinkelen som luminansmeterets målefelt utgjør, i grader

Luminansmeterets nominelle målevinkel er spesifisert av leverandøren, men ved måling av luminanser er ikke denne vinkelen ansett for å være kritisk. En kan derfor anta at angivelsen er ganske omtrentlig. Størrelsen av k må derfor finnes ved kalibrering. Kalibreringen gjøres ved å avlese

Til kalibreringen trengs en liten og sterk lyskilde 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 i objektivets posisjon. Denne prosedyren sikrer at en får måleverdier som lar seg bestemme nøyaktig nok, samtidig som en unngår at områder utenfor målefeltet får merkbar betydning

En har funnet følgende foreløpige verdier for en noen luminansmeters:

For Minolta med målefelt 1°: $k_1 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ (lux/cd/m}^2\text{)}$
 For LMT L1009 med målefelt 1°: $k_2 = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ (lux/cd/m}^2\text{)}$
 For LMT L1009 med målefelt 3°: $k_3 = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ (lux/cd/m}^2\text{)}$

3.1.2.2 Bestemmelse av vinkelen til blendingskilden

Vinkelen til blendingskilden kan bestemmes ut fra et fotografi tatt med et kalibrert kamera med sikteretning lik den aktuelle synsretningen. Kalibreringen gjøres ved at kameraet settes på et stativ og en tar et bilde vinkelrett på en vegg. Avstanden s mellom kameraet og veggen må noteres for bruk ved senere beregning av vinkelen. På veggen er det satt et merke i kjent avstander d fra

kameraets siktepunkt, innenfor bildekanten. En måler så opp den tilsvarende avstanden b_k på bildet og beregner skalaforholdet:

$m = b_k / d$	formel 11
---------------	------------------

På bildet som tas av det blendende lysanlegget måler en avstanden b_m mellom punktet som definerer synsretningen og blendingskilden.

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

$\Theta = \tan^{-1} (b_m / (s * m))$	(grader)	formel 12
--------------------------------------	----------	------------------

Det er forutsatt at alle bilder tas med objektiv med samme brennvidde, at bildenes forstørrelser er like og at d , b_k , s og b_m alle angis i samme måleenhet. Fotografiet tjener også til å dokumentere blendings situasjonen. Det kan sies å være en ulempe at vinkelen ikke kommer fram direkte, men må beregnes ut fra et bilde. Noen alvorlig innvending er det allikevel ikke etter som det endelige resultatet i form av blendingsverdien også framkommer etter behandling av måldata.

3.1.3 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 10, samt bestemt vinkelen Θ mellom synsretningen og blendingskilden fotografisk ved hjelp av et kamera og formel 12, kan en bestemme ekvivalent sløringsluminans (synsnedsettende blending) av:

$L_v = 10 * E_{lum} * \cos \Theta / \Theta^2$	(cd/m^2)	formel 13
---	--------------	------------------

Det er utviklet et Excel regneark for beregningene. Se Vedlegg.

3.2 Mål for begrensning av blending

Flyttet\$

Innen vegbelysningen er det vanlig å beskrive synsnedsettende blending ved terskelhevingen (Threshold Increment) TI. TI bestemmes av:

$TI = 65 * L_v / L^{0,8}$	(cd/m^2)	formel 14
---------------------------	--------------	------------------

hvor:

L er observatørens adaptasjonsluminans (cd/m^2)

Formelen gjelder for $0,05 < L < 5$

Blendingen er merkbar når $TI > 2$ (CIE no 31-1976). En bør ha $TI < 10$, men aldri over 15 (ref. 3).

Blendingssituasjonen i eksempelet kan også vurderes på bakgrunn av Mørkertrafik rapport nr. 1 (ref. 4). I rapporten foreslås at sløringsluminansen fra belyningsanlegg utenfor vegen begrenses som vist i Tabell 1. Der er **formel 14** brukt for å regne om den maksimalt tillatte sløringsluminans

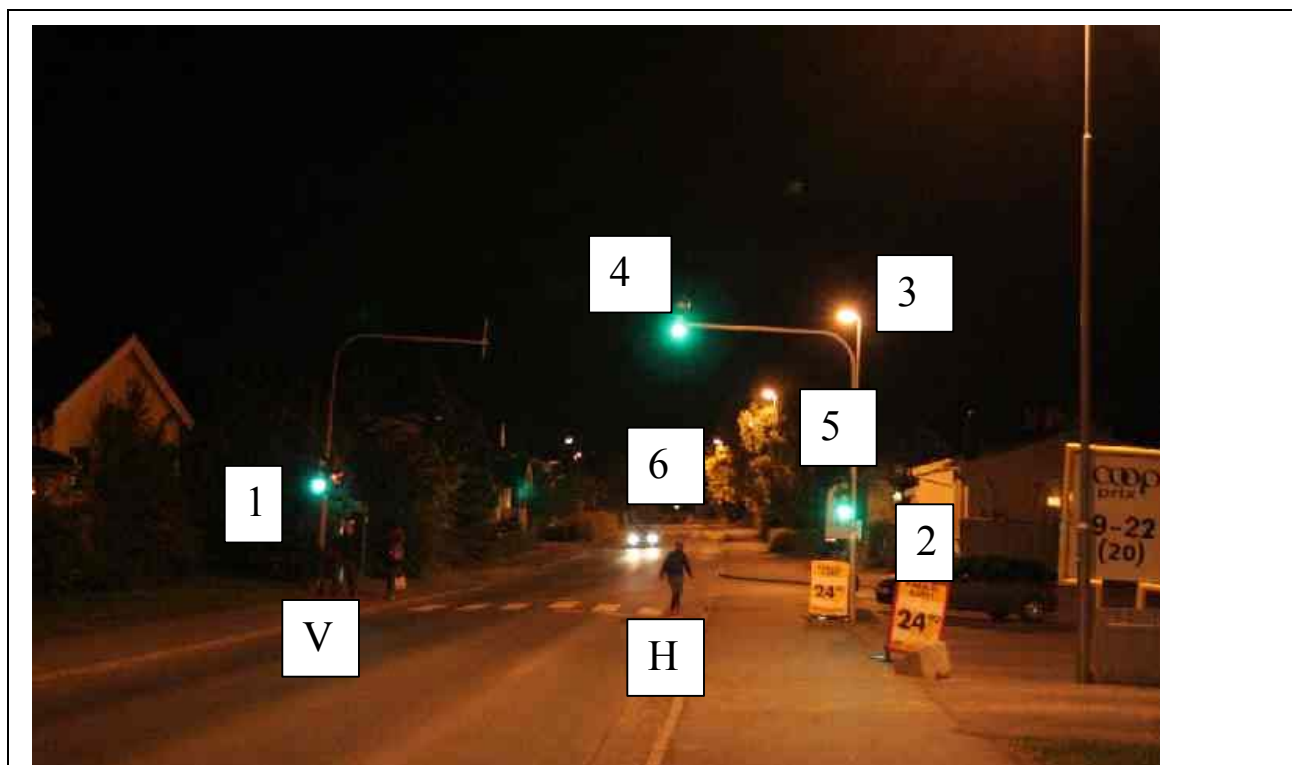
til maksimal tillatt terskelheving, TI. Anbefalingene er noe strengere enn anbefalingene som CIE gir for vegbelysning (ref. 3).

Tabell 1. Anbefalt blendingsbegrensning fra Mørkertrafik rapport nr. 1 (ref. 4)

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

3.3 Eksempel på bruk av metoden

Metoden er generell, og den demonstreres i det følgende ved å måle blendingen fra et signalregulert lyskryss i Bøckmanns veg i Trondheim. Det gir en fullgod demonstrasjon på hvordan metoden anvendes og hvilke oppgaver en står overfor. Se kopi av to regnearkmed beregninger nedenfor. Regnearkene viser situasjonen for to ulike synsretninger. Luminanser er ikke endret, bare vinklene.



Beregning av synsnedsettende blending angitt ved TI. Fotgjenger til venstre

Måleinstrument: LMT L1009 med 1 grad målefelt

Midlere adaptasjonsluminans	0,3 cd/m²
Sideavstand på kalibreringsbilde	9,1 cm
Virkelig sideavstand for kalibreringsbilde	67,5 cm
Skalaforhold virkelighet:bilde	7,417582 cm
Fotoavstand for kalibrerings-bilde	290 cm
Omregningsfaktor (målefelt 1 grad)	2,90E-04 lux/cd/m²

Identifisering av blendingskilde	Avstand på målebilde mellom retninger (cm)	Vinkelavstand mellom retninger (grad)	Midlere luminans (cd/m ²)	Belysningsstyrke (lux)	Belysningsstyrke på synsretning (lux)	CIE og CEN Ekv. sløringsluminans, Lv (cd/m ²)
1	1,3	1,904453554	133	3,86E-02	3,85E-02	0,10628425
2	10	14,34743643	340	9,86E-02	9,55E-02	0,004640527
3	12	17,06305363	1000	2,90E-01	2,77E-01	0,009522136
4	8,5	12,26590043	670	1,94E-01	1,90E-01	0,012619584
5	10	14,34743643	170	4,93E-02	4,78E-02	0,002320264
6	9	12,96369282	12	0,00348	0,0033913	0,000201794
Total ekvivalent sløringsluminans (cd/m ²)						0,135588555

 Relativ terskelheving TI (%) **23,1**
Beregning av synsnedsettende blending angitt ved TI. Fotgjenger til høyre

Måleinstrument: LMT L1009 med 1 grad målefelt

Midlere adaptasjonsluminans	0,8 cd/m²
Sideavstand på kalibreringsbilde	9,1 cm
Virkelig sideavstand for kalibreringsbilde	67,5 cm
Skalaforhold virkelighet:bilde	7,417582 cm
Fotoavstand for kalibrerings-bilde	290 cm
Omregningsfaktor (målefelt 1 grad)	2,90E-04 lux/cd/m²

Identifisering av blendingskilde	Avstand på målebilde mellom retninger (cm)	Vinkelavstand mellom retninger (grad)	Midlere luminans (cd/m ²)	Belysningsstyrke (lux)	Belysningsstyrke på synsretning (lux)	CIE og CEN Ekv. sløringsluminans, Lv (cd/m ²)
1	8,5	12,26590043	133	3,86E-02	3,77E-02	0,002505082
2	4,4	6,421198699	340	9,86E-02	9,80E-02	0,023763566
3	7,6	11,00063524	1000	2,90E-01	2,85E-01	0,023523834
4	6	8,724951877	670	1,94E-01	1,92E-01	0,025228517
5	5	7,287958754	170	4,93E-02	4,89E-02	0,009206875
6	3,5	5,115627132	12	0,00348	0,00346614	0,001324488
Total ekvivalent sløringsluminans (cd/m ²)						0,085552362

 Relativ terskelheving TI (%) **6,6**

Av omregningene ser en at belysningsstyrken fra blendingskildene generelt er svært lave. En legger også merke til at trafikksignalene (blendingskilde nr. 1 og 2) relativt sett ikke genererer spesielt høye belysningsstyrker, men de kan forårsake betydelig sløringsluminans dersom deres plassering ligger nær synsretningen og bakgrunns-luminansen er lav. Dette er tilfelle for synsretning mot fotgjengeren til venstre. Målingene av middelluminans ble foretatt med luminansmeter LMT 1009 med 1 grad målevinkel. Metoden vurderes til å være grei og praktisk håndterbar for statiske situasjoner. Den krever imidlertid at en i tillegg til måleskjemaet lager en akseptabel skisse hvor blendingskildene nummereres.

3.4 Spørsmål på bakgrunn av eksempelet

I eksemplet er TI beregnet for to ulike synsretninger hvor vinkelen mellom synsretning og retningen til blendingskilden påvirker sløringsluminansen. I beregningen er det også nyttet to ulike verdier for adaptasjonsluminansen L . Når konseptet TI brukes innen vegbelysning nyttes vegbanens midlere luminans som L i formel 11. I denne sammenheng anses det som forholdsvis problemfritt da vegbanens luminans er forholdsvis jevn og vegbanen utgjør en stor del av synsfeltet. Eventuelle hindringer kan også ventes å forefinnes innen dette feltet.

Eksemplet viser en situasjon med store luminansvariasjoner, og at hindringer kan dukke opp i områder med luminans som er vesentlig lavere enn middelluminansen. Da kan det argumenteres for å nytte luminansen i et vinkelområde rundt synsretningen som adaptasjonsluminans L . Det er kjent at luminansene sentralt i synsfeltet har sterkest virkning på adaptasjonsluminansen. På den annen side er trafikken dynamisk og synsretningen varierer. En vil derfor ha en adaptasjonsluminans som varierer over tid.

Hvordan en skal fastsette adaptasjonsluminansen er et spørsmål som krever nærmere undersøkelser og vurderinger. Like så må en avklare hvilken parameter som skal nyttes for å beskrive synsnedsettende blinding og akseptabel størrelse på denne i ulike situasjoner. Endelig må en avklare hvordan man skal beskrive blindingen fra et anlegg som varierer mellom beskjedent til uakseptabel, alt avhengig av observatørens plassering og synsretning.

4 Rapportering feltprøver

beskriver de undersøkelser som ble gjort og de resultater som kom fram ved forsøkene på

4.1 Værløse

4.2 Linköping i 2006

4.3 Varberg i 2007

4.3.1 Lysforholdene

Lysforholdene ble registrert ved hjelp av et avbildende luminansmeter av type LMK Mobile 2000 fra passasjeretset i en helt ny Volvo S40. På grunn av de praktiske forhold ved forsøkene ble målingene gjort ved kjøring i fart. Bilen ble akselerert opp fra stillestående til ca 90 km/t opp mot sjikanen. Instrumentets dynamiske måleområde kan økes ved å ta flere bilder fra samme posisjon, men dette var som en skjønner ikke mulig med det opplegg som ble benyttet. Av den grunn er områdene med de høyeste luminansene overeksponert og gjengitt med hvit farge i de fargekodede bildene. Noen av lyskildene blinket. Den registrerte luminansen er lyskildens midlere luminans i løpet av tiden det tok å eksponere bildet.

En måleserie med to blinkende lyspiler er vist i bildene 1 – 6 på Figur 2. 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 2. Nummer i parentes er kameraets automatiske nummerering av bildene.

Tabell 2. Data for bildene i Figur 2.

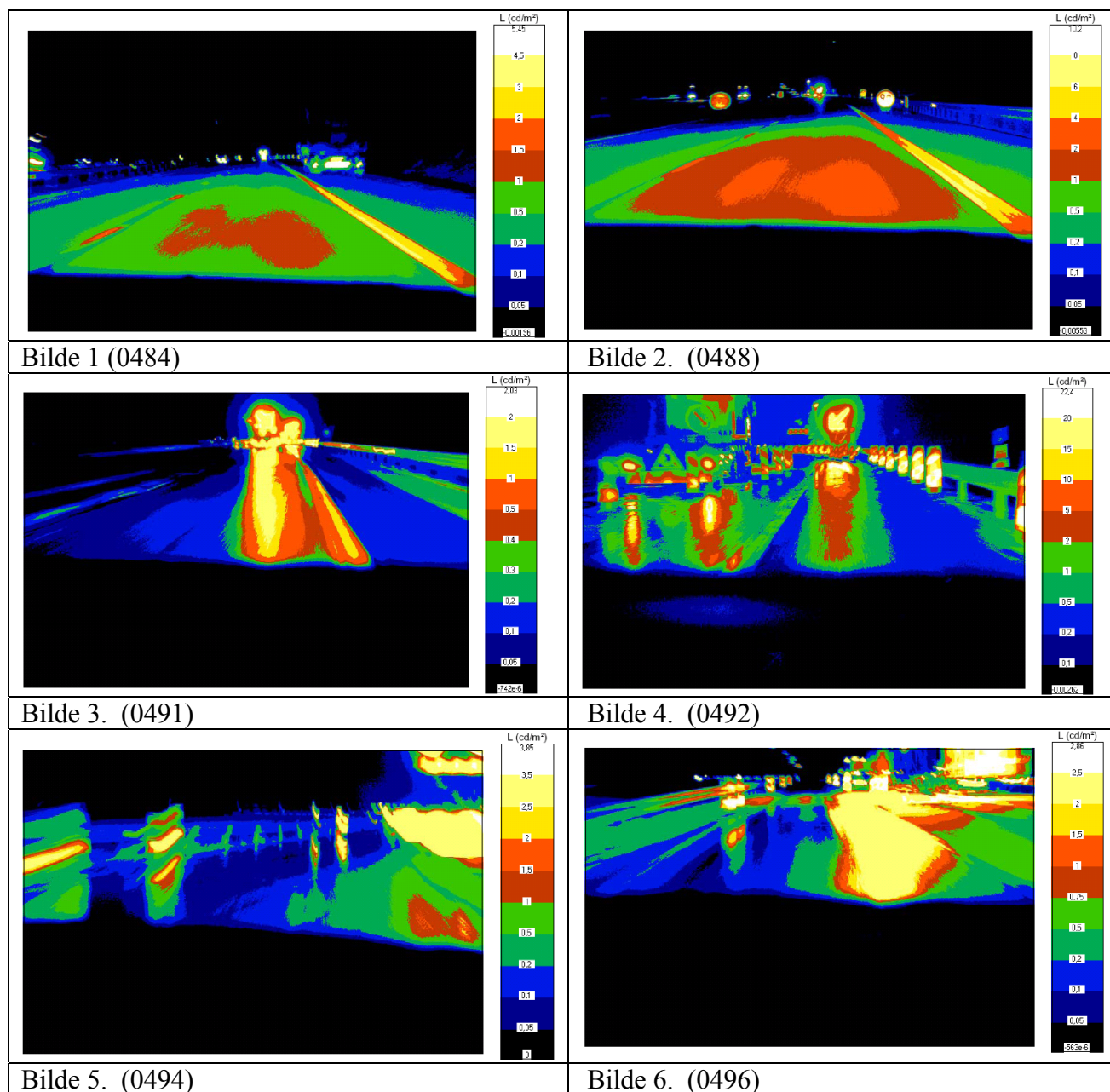
Bilde nr.	Lukkertid (s)	Maks. luminans	Brennvidde (mm)	Blender
-----------	---------------	----------------	-----------------	---------

		(cd/m ²)	(35mm-ekvivalent)	
1. (0484)	0,17	5,45	80	2,8
2. (0488)	0,077	10,2	80	2,8
3. (0491)	0,40	2,03	80	2,8
4. (0492)	0,040	22,4	80	2,8
5. (0494)	0,25	3,85	80	2,8
6. (0496)	0,33	2,86	80	2,8

På Bilde 1 og Bilde 2 er vegbanen tørr, og bilens nærlys gir et stort belyst felt med luminans ca 0,5 – 2 cd/m². Kantlinjen skiller seg godt ut med høyere luminans enn nærmeste del av vegbanen, ca 2 – 6 cd/m². På de øvrige bildene er vegbanen våt og vegluminansene er generelt lavere, men framviser områder med høye luminanser på grunn av speiling av lyskilder. På Bilde 3 er kantlinjen fremdeles godt synlig, men på Bilde 4 er den dårligere synlig på venstre side av pilens speiling. Bilde 4 er visuelt uryddig med mange objekter med høye luminanser og stor kontrast mot sin bakgrunn. Bilde 5 er ganske uskarpt, og små flater er smurt utover slik at luminansene for disse er angitt for lave. Men det er allikevel en betydelig nedgang i middelluminanser fra Bilde 4 til Bilde 5.

4.3.2 Blinkende lys

De blinkende lys som ble anvendt under forsøkene ble ikke målt på stedet da en ikke er kjent med egnet utstyr. Lysene er imidlertid normerte. 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/m² – 0,5 cd/m² (Bilde 3 og Bilde 4) resulterer i betydelig blinding.



Figur 2. Isoluminansbilder fra kjøring gjennom sjikane med to blinkende lyspiler

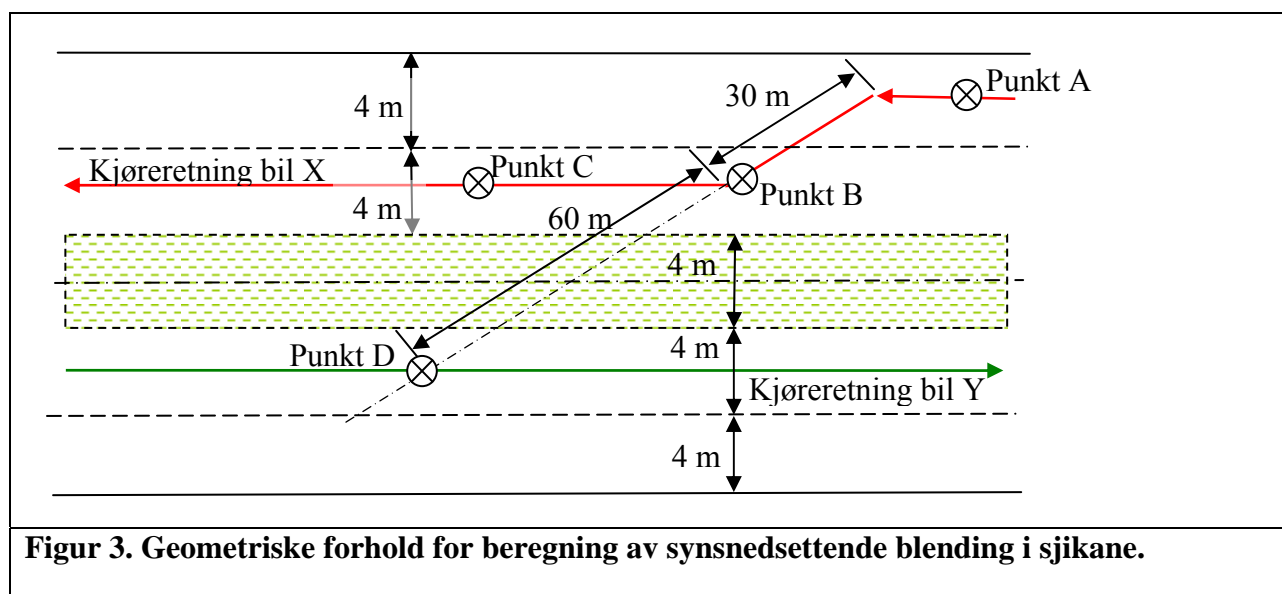
5 Blending mellom biler i møtesituasjon

Tidligere i prosjektet er det gjort målinger og analyser som viser det blendingsnivået som arbeidsplassbelysningen kan forårsake. Tilsvarende kunne en ha målt hvilke blendingsnivå som oppstår mellom møtende kjøretøy ved arbeidsplassen, men en valgte i å stedet foreta datasimuleringer. Det er hensiktsmessig fordi det ikke er mulig å bestemme kun en eller noen få situasjoner som dimensjonerende for blandingen, 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.

Simuleringen er gjort med dataprogrammet ERGO 2001. Dette distribueres gratis av firma Avery-Denison (ref. 5). 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 nærlys 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.

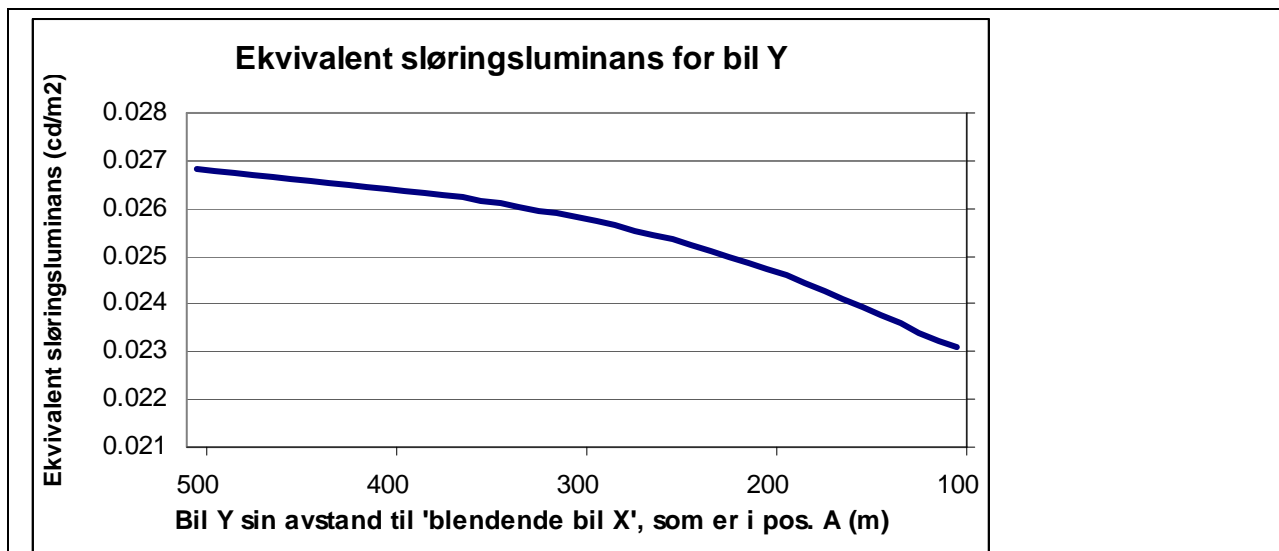
En har ønsket å få fram resultater som indikerer blendingsnivået som erfares av førere av personbiler. Førerne i disse kjøretøyene antas å være de som er sterkest utsatt for blanding på grunn av møtende trafikk fordi de sitter lavt i forhold til lysene på møtende kjøretøy. I simuleringene er europeisk nærlys slik det er definert i en foreløpig rapport fra CIE TC 4-20 fra 1993 og CEN-bilen brukt. De 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 3.



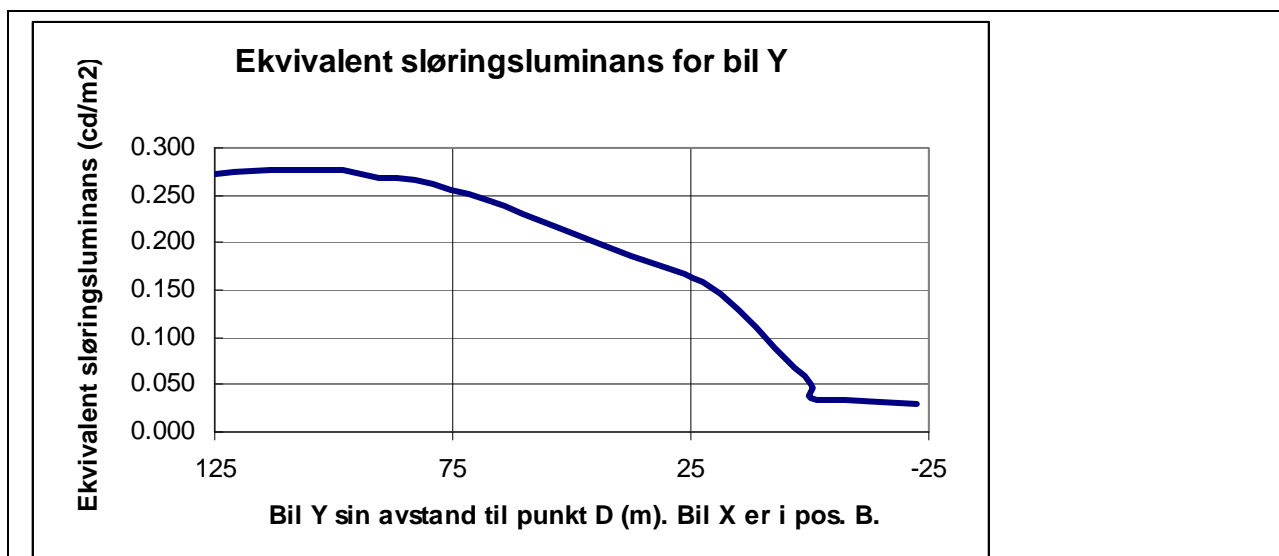
Figur 3. Geometriske forhold for beregning av synsedsettende blanding i sjikane.

Som første trinn i vurderingen er ekvivalent sløringsluminans beregnet etter formel 5. De to lyskasterne på den møtende bilen er behandlet hver for seg. 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 4.



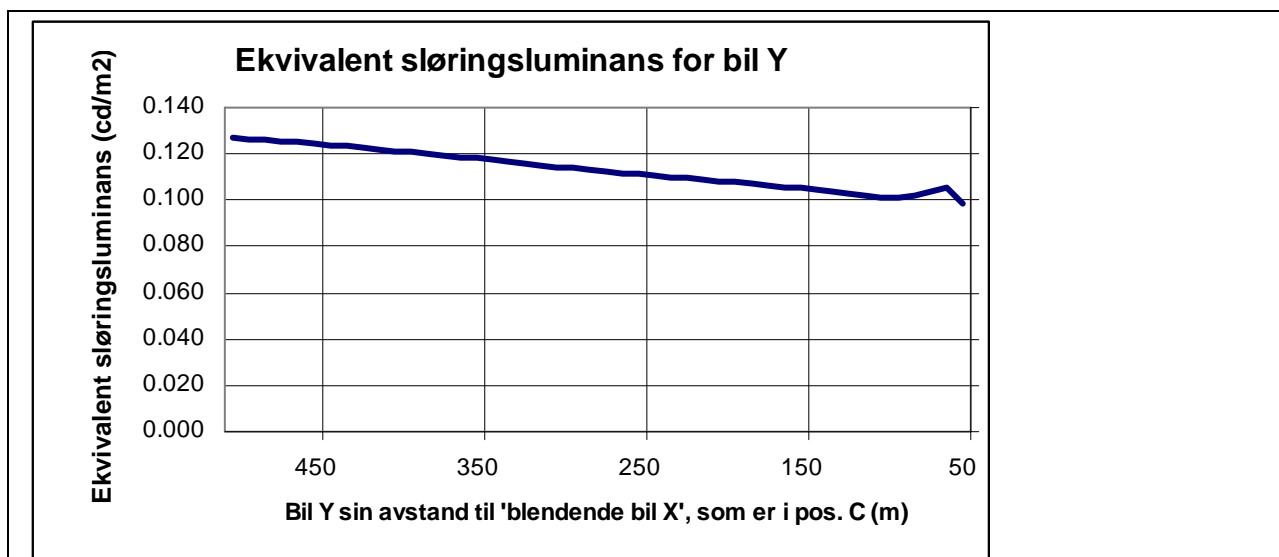
Figur 4. Ekvivalent sløringsluminans når den blindinge bil X er i sitt ytterste kjørefelt.

I den andre situasjonen har den blindinge bilen X nådd enden av sjikanen, markert med punkt B. Bilen Y kjører opp mot punktet B hvor aksene for de to kjøretøyene krysser hverandre. Området rundt dette punktet blir sterkt belyst av bil X. Ved negative avstander er punktet B passert. Resultatet av denne simuleringen er vist i Figur 5.



Figur 5. Ekvivalent sløringsluminans når den blindinge bilen X har nådd enden av sjikanen.

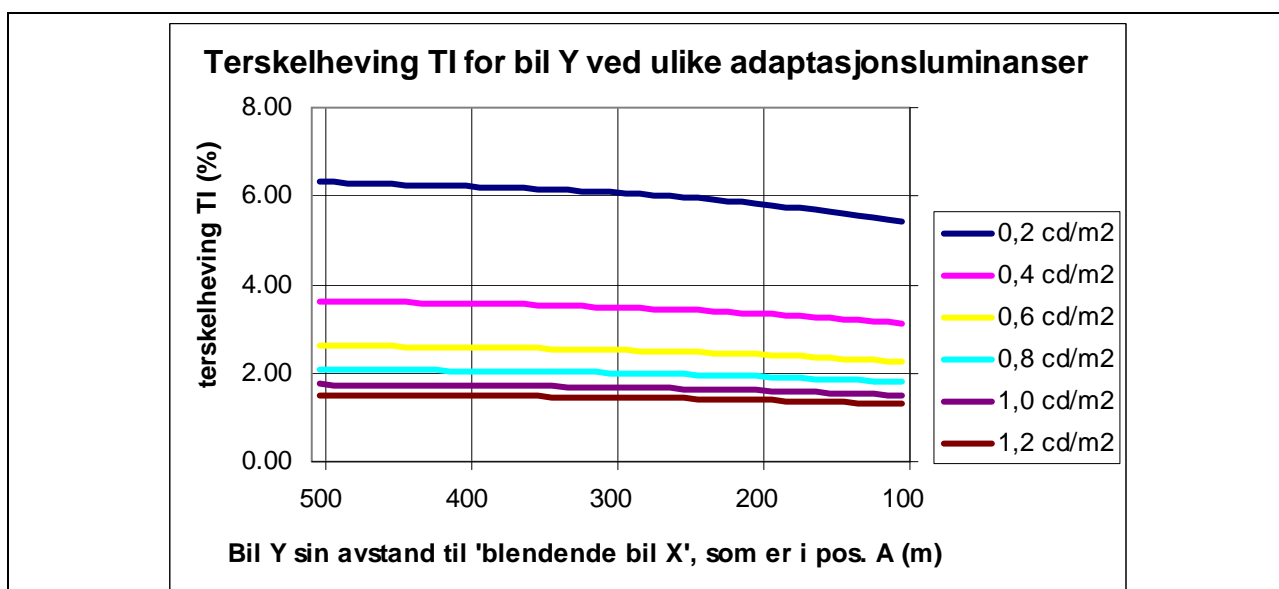
I den tredje situasjonen befinner den blindinge bilen X seg i sitt innerste kjørefelt etter å ha passert sjikanen. Resultatet av denne simuleringen er vist i Figur 6.



Figur 6. Ekvivalent sløringsluminans når den blendende bil X er i sitt ytterste kjørefelt.

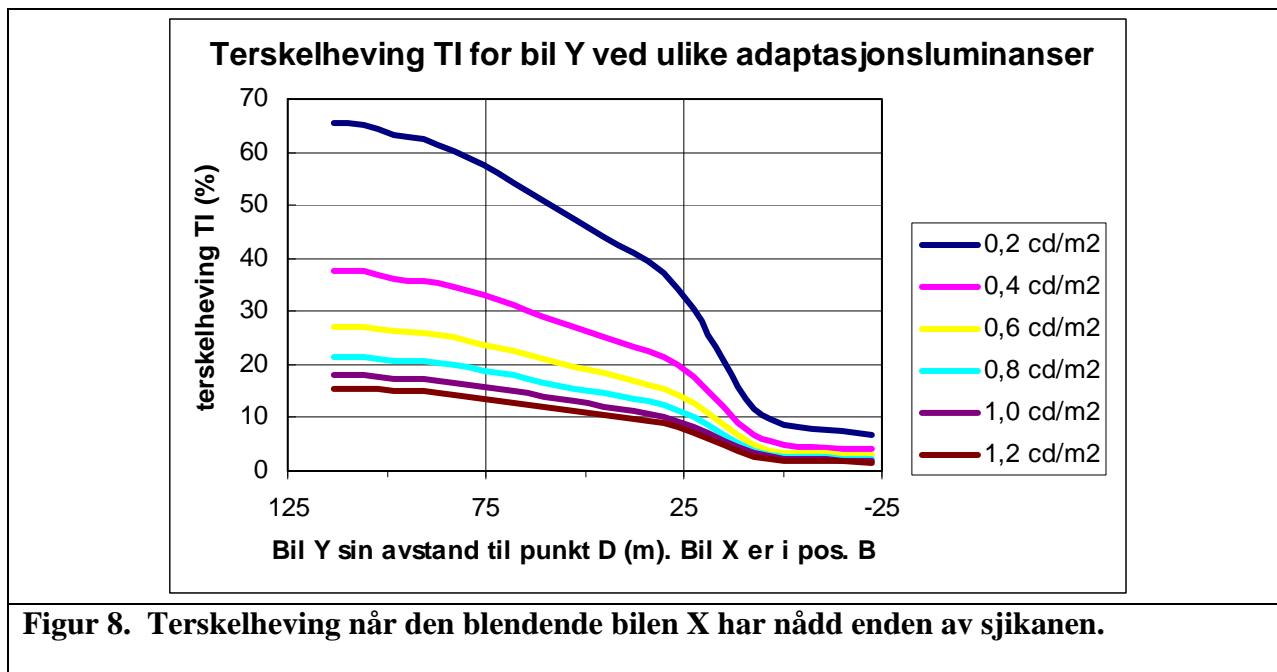
Ved forsøkene i Varberg ble luminansene målt med nærllys på tørr vegbane. Sett fra forsetet i en personbil ga nærlysene i dette tilfellet $0,5 \text{ cd/m}^2 - 1,5 \text{ cd/m}^2$ på vegbanen. I øvrig del av synsfeltet er luminansen $< 0,1 \text{ cd/m}^2$, se Bilde 1. Synsfeltet nærmest synsretningen sterkt dominerende for adaptasjonsluminansen. Det er rimelig å anta at bilføreren en stor del av tida vil betrakte vegbanen, og at førerens adaptasjonsluminans derfor vil være ca 1 cd/m^2 .

De ekvivalente sløringsluminansene som er beregnet og vist i Figur 4 til Figur 6 brukes som grunnlag for å beregne terskelhevingen etter formel 7. Beregningene er gjort for adaptasjonsluminanser i området $0,2 \text{ cd/m}^2 - 1,2 \text{ cd/m}^2$. Bil X i posisjon A er vist i Figur 7.

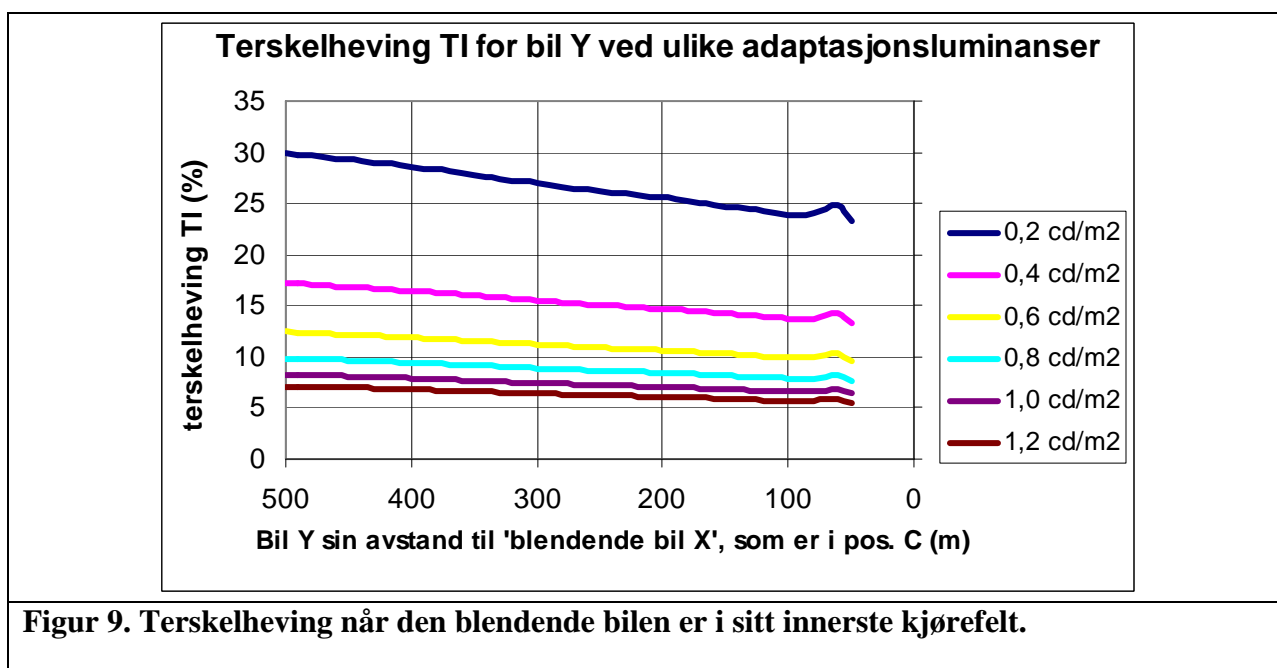


Figur 7. Terskelheving når den blendende bil X er i sitt ytterste kjørefelt.

Tilsvarende er resultater for bil X i posisjon B vist i Figur 8.



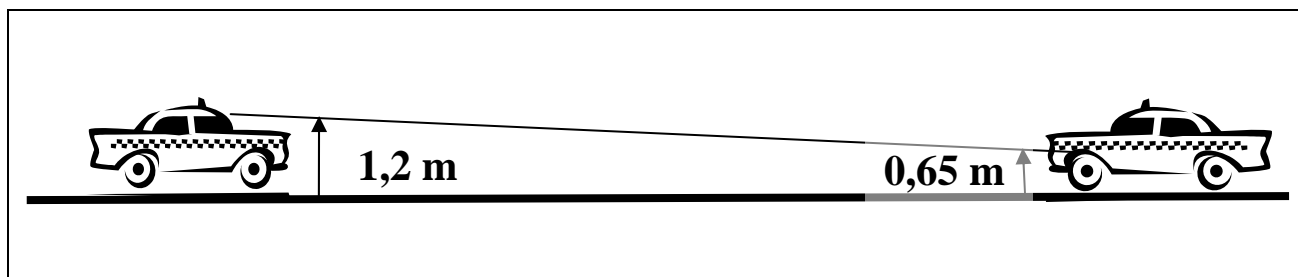
Tilsvarende er resultater for bil X i posisjon B vist i Figur 9.



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. Det viktige resultatet som kommer fram er som Figur 7 til Figur 9 viser at det i en sjikane kan oppstå betydelig ubehagsblending for møtende trafikk. **Blendingen i møtesituasjonen er til dels betydelig større enn den som kan forårsakes av arbeidsplassbelysningen (kapitel 4), og en kan vente at andre eksempler vil gi lignende resultat. Det bør settes inn tiltak for å begrense blendingen.**

5.1 Skjermer mellom kjøreretningene

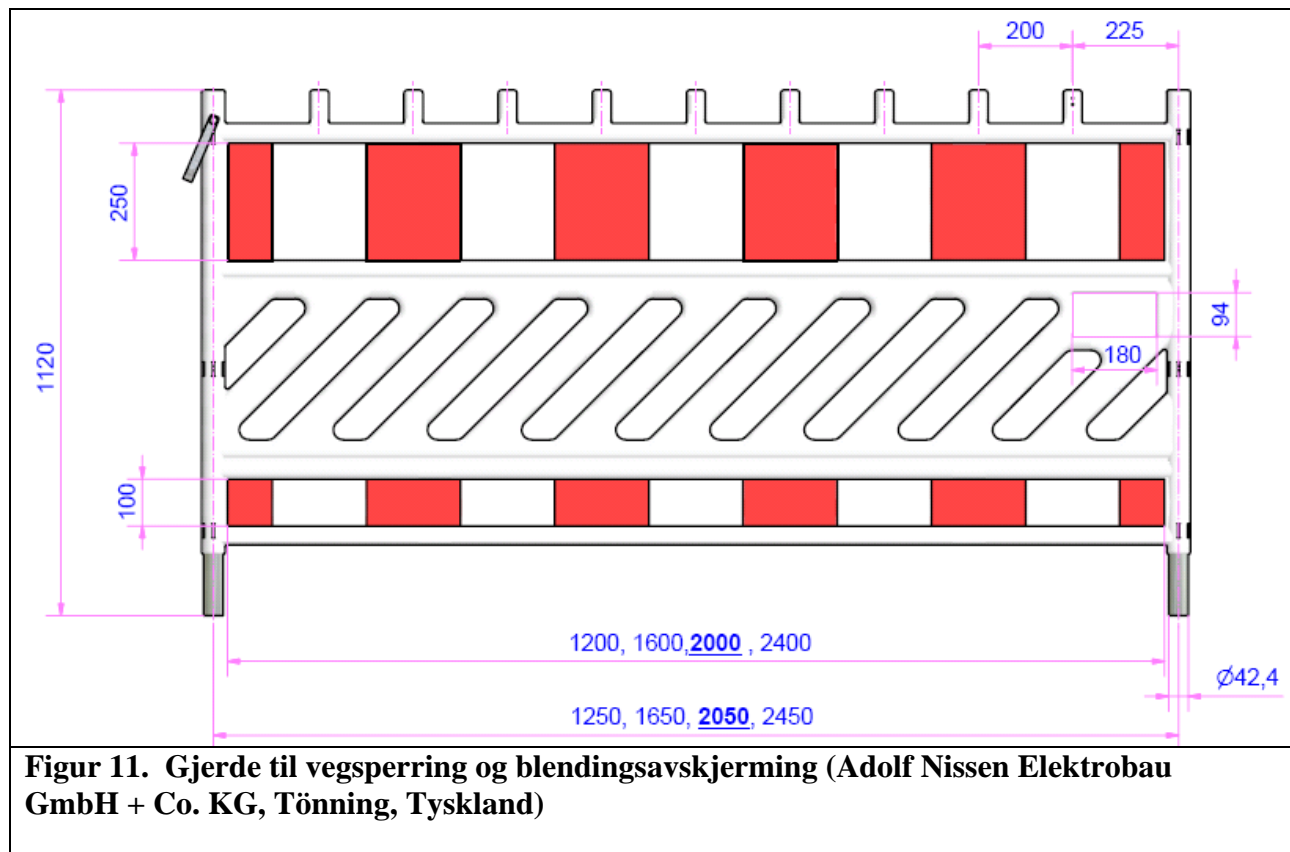
Eksempel på tiltak kan være at vegarbeidsplassen utstyres med god belysning for å unngå lave adaptasjonsluminanser eller skjermer mellom kjøreretningene. For at skjermen skal kunne fungere godt, må det være lystett i et felt som skjermer for direkte sikt til lyskasterne på møtende kjøretøy. For de situasjonene som er simulert tilsvarende det at en skjerm må være lystett i høyder mellom 65 cm og 120 cm over kjørebane. Se Figur 10. I praksis bør skjermen være lystett i høyder mellom 60 cm og 140 cm over kjørebane for også å kunne fungere for førere av større personbiler.



Figur 10. 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. I Figur 11 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 gjennomhullede 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.





6 Forslag til retningslinjer for blendingsbegrensning

Feltforsøkene og utredningene har vist at det ikke er problematisk å redusere synsnedsettende blending ved bruk av egnet teknisk utstyr. Forslaget inneholder retningslinjer for hvordan tiltakene bør innrettes og hvilke krav utstyret bør tilfredsstillere.

6.1 Belysning av vegarbeidsplasser

Vegarbeidsplasser bør belyses. Derved økes adaptasjonsluminansen, noe som reduserer blendingseffekten av fra lyskildene som er synlige fra området. Luminansnivået bør minst være $0,7 \text{ cd/m}^2$.

6.2 Krav til belysningsutstyr

Både ordinære veglysmarturer og lyskastere for områdebelysning kan være aktuelle for formålet. Men der forholdene på anleggsstedet ligger til rette for det bør en bygge et provisorisk eller et eventuelt permanent veglysanlegg settes opp så tidlig som mulig. Veglysmarturer er spesialkonstruerte for å belyse store arealer samtidig som det er gjort konstruktive tiltak for å begrense blending. Konstruksjonen er dessuten 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.

For veglysmarturer finnes etablerte normer for å beskrive tiltak for blendingsbegrensning (ref. 6). Det synes rimelig å ha samme filosofi for begrensning av blending fra lysutstyr anvendt på vegarbeidsplasser som for i ordinær vegbelysning, men kravene bør stilles til de absolutte

lysstyrkene og ikke til lysstyrker per 1000 candela. Bakgrunnen er at selv om bruksområdet er det samme, er det i lyskastere ikke uvanlig med lyskilder med høyere effekt enn for vegbelysning. Klassifiseringen i Tabell 3 er basert på en omarbeiding av EN 13201-2 (ref. 6).

For den orienteringen lysarmaturen har i sin bruksstilling skal kravene til klasse AB3 eller bedre i Tabell 3 tilfredsstilles.

Tabell 3. Klassifisering av lysstyrker for angivelse av blendingsbegrensning. Omarbeiding basert på EN 13201-2 (ref. 6).

Klasse	Maksimalt tillatt lysstyrke (cd)			Andre krav
	Ved 70° ¹⁾	Ved 80° ¹⁾	Ved 90° ¹⁾	
AB 1		6000	1500	Ingen
AB 2		4500	1000	Ingen
AB 3		3000	600	Ingen
AB 4	15000	3000	300	Lysstyrker over 95° skal være mindre enn 30 cd
AB 5	10000	3000	300	Lysstyrker over 95° skal være mindre enn 20 cd
AB 6	10000	3000	50	Lysstyrker over 90° skal være mindre enn 20 cd

1) Gjelder vinkler som dannes mellom loddlinja og synsretningen, når armaturen er montert i bruksstilling og sees fra vegen.

Lysanlegget er godt sikret mot blanding 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 10 grader i retning mot trafikken.

Anbefalingene i Tabell 3 bør brukes sammen med fotometriske data som er bestemt i et laboratorium. Der slike mangler er det imidlertid mulig å gjøre feltmålinger. Slike målinger vil imidlertid ha dårlig nøyaktighet og vil bare kunne være av orienterende art, se Vedlegg A.

6.3 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.

Referanser

ref. 1. Commission Internationale de l'Eclairage: "Glare and Uniformity in Road Lighting Installations". Publication CIE No 31. 1976

ref. 2. Commission Internationale de l'Eclairage: "CIE Collection on Glare". CIE 146:2002. CIE 147:2002

ref. 3. Commission Internationale de l'Eclairage: "Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic". CIE no 115-1995.

ref. 4. Mörkertrafik rapport nr. 1 , 'Bländing från belysningsanläggningar vid sidan av vägan' (1977)

ref. 5. Ergo2001. Copyright 1991 – 2001 by Avery Dennison
http://www.reflectives.averydennison.com/films_ergo2001.html

ref. 6. European Standard EN 13201-2:2003. Road lighting – Part 2: Performance Requirements.

2. Augdal, A.: Pilot project. Tests at Linköping October 2006. Luminance measurements and glare calculations. SINTEF Memo 2006-12-12.

VEDLEGG A.

Måleprosedyre for kontroll av lysstyrker

Lysstyrker som i Tabell 3 kan kontrollmåles ved hjelp av et luminansmeter. Det sees av følgende betraktning:

luminans $L = I/A$ (cd/m²), det vil si at

lysstyrken $I = LA$ (cd)

Her er:

L er middelluminansen over målefeltet

A er arealet av målefeltet i avstanden til planet (oftest vertikalt) gjennom armaturen

Arealet A kan finnes av følgende formel:

$$A = 2,39 * 10^{-4} * s^2 * \alpha^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

Her er:

s er avstanden til den aktuelle lyskilden, i meter

α er målevinkelen til luminansmeteret, 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. Metoden er derfor noe usikker på grunn av at oppgavene av målevinkelens virkelige størrelse er forholdsvis unøyaktige. I tillegg kommer usikkerheten i anslaget for avstanden til armaturen.

I sum kan en si at feltmålinger av lysstyrker er krevende og gir unøyaktige resultater. Aktuelle vinkler lar seg heller ikke bestemme nøyaktig nok til bruk sammen med Tabell 3.

