

**Belysning af trafikveje
Kravspecifikationer, Eksempler og Synsbetingelser
samt Vejbelægningens indflydelse**

af
Peder Øbro

Juli 1993

Notatet må ikke gengives uden tilladelse - Not to be reproduced without permission

FORORD

Nærværende notat tjener til at illustrere vejbelysning af trafikveje i henhold til de danske 9.20 vejbelysningsregler. Notatet er brugbart også i de øvrige nordiske lande, hvis vejbelysningsregler viser nogen grad af overensstemmelse.

I notatet gives en omtale og en begrundelse af reglernes kravspecifikationer, tre typiske eksempler på vejbelysningsanlæg vises for at illustrere den praktiske udførelse af reglerne, synsbetingelserne for motorkørende trafikanter gennemgås på grundlag af beregning af synlighedsniveau og synsafstande til typiske objekter, betydning af alder og blænding vurderes særskilt og endeligt omtales vejbelægningens indflydelse.

| <u>Indhold</u> | <u>side</u> |
|---|-------------|
| 1. <u>Sammenfatning</u> | 5 |
| 2. <u>Specifikationer for vejbelysning</u> | 7 |
| 2.1 Generel omtale | 7 |
| 2.1 Vejbelysning på trafikveje | 8 |
| 3. <u>Tre eksempler på vejbelysningsanlæg</u> | 9 |
| 4. <u>Synlighed i vejbelysning</u> | 13 |
| 4.1 Generelt | 13 |
| 4.2 Synlighed for unge bilister i fravær af blænding | 16 |
| 4.3 Indflydelse af alder og blænding | 19 |
| 5. <u>Vejbelægningens lyshed</u> | 23 |
| <u>Referencer</u> | 25 |
| <u>Appendiks:</u> | 27 |
| A. <u>Lystekniske værdier for anlægseksemplerne</u> | 27 |
| B. <u>Introduktion til synlighedsberegning i vejbelysning</u> | 29 |
| C. <u>Blænding fra modkørende</u> | 35 |

1. Sammenfatning

I afsnit 2 omtales specifikationer for vejbelysning på trafikveje. Nogle specifikationerne angår anlæggenes udformning og tjener til at de ikke bliver for dominerende ved dag og ved nat. Det fremhæves at disse specifikationer er fremsynede og har fået indflydelse i de øvrige nordiske lande.

Andre specifikationer angår lysteknik, de er samlet i nogle "belysningsklasser" og sigter mod trafikanternes synsbetingelser. Hovedkravene i belysningsklasser for trafikveje angår kørebanens luminans og involverer dermed vejbelægningens refleksionsegenskaber. Dette er som for vejbelysningsregler i de fleste andre lande, bortset fra at der er tilføjet krav for våd kørebane, og at specifikationerne er understøttet af anbefalinger for vejbelægninger på belyste trafikveje.

Belysningsklasser for andre vejtyper (trafikvejskryds og -pladser samt lokalveje) specificerer krav til andre parametre, men dog således, at de med hensyn til belysningsniveau kan sammenlignes med belysningsklasserne for trafikveje.

Da det er svært at overskue, hvorledes belysningsklasserne kan realiseres i belysningsanlæg, er der i afsnit 3 vist tre typiske eksempler. Eksemplerne skal illustrere at anlæggene under anvendelse af moderne teknik kan være af forholdsvis beskedne dimensioner og elforbrug. Eksemplerne viser desuden forskellige anlægstyper, og at der i praksis anvendes nogle få belysningsklasser med forholdsvis lave kravværdier. Disse er klasserne L7, L6 og L3, der svarer til luminansniveauer på hhv. 0,5 ; 1 og 1,5 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$. Når der sammenholdes med udbredt brug af natreduktion, er vejbelysning i Danmark i realiteten billig og energiøkonomisk. Projekteringen volder ikke de store problemer.

For at illustrere de motorkørendes synsbetingelser, er der i afsnit 4 foretaget beregning af synlighedsniveau VL, og i nogle tilfælde synsafstand, for nogle typiske objekter i de tre eksempler. Resultaterne kan fortolkes sådan at synsbetingelserne synes at svare rimeligt godt til behovet på de veje, hvor de forskellige klasser anvendes. Synsafstande er således af størrelsen ca. 100 m og vokser med luminansniveauet op gennem klasserne L7, L6 og L3.

Indflydelsen af bilistens alder belyses ved en sammenstilling af synsbetingelserne for en 20-årig og en 60-årig bilist, hvoraf det fremgår at den 60-årige har væsentligt dårligere forhold.

Blænding fra modkørende belyses i første omgang ved en beregning af typiske sløringsluminanser og disse videreføres til en vurdering af synsbetingelserne. Resultaterne viser at blænding kan forringe synsbetingelserne væsentligt. Dette gælder især for den ældre bilist, der er mere følsom over for blænding end den unge og som i forvejen har ringere synsbetingelser. Det fremgår at blændingens betydning aftager med niveauet op gennem klasserne L7, L6 til L3, hvori der måske ligger en væsentlige fordel af et højere niveau. Desuden fremgår at sideafstand til de modkørende, som frembragt af en midterrabat, har en væsentlig betydning for blændingens størrelse.

I afsnit 5 vurderes konsekvenserne af ikke at følge anbefalingen om brug af middellyse vejbelægninger. Kørebanens middelluminans er 30% til 50% lavere end tilsigtet under projekteringen, hvoraf følger dårlige synlighed af objekter (bortset fra et lyst objekt, der illuderer kørebaneafmærkning) og øget indflydelse af blænding. Disse forhold kunne modvirkes, men omkostningen er en 50% til 100% forøgelse af belysning og energiforbrug.

2. Specifikationer for vejbelysning

2.1 Generel omtale

Specifikationer for belysningsanlæg fremgår af vejregelhæfte 9.20.02 "Projektering af vejbelysning", Vejdirektoratet (august 1981). Der findes visse anbefalinger om anlæggenes udformning, samt en række lystekniske krav.

Specifikationerne er opdelt i en række klasser, hvis anvendelse fremgår af vejregelhæfte 9.20.01 "Planlægning af vejbelysning", Vejdirektoratet (august 1981).

Trafikveje belyses af hensyn til synsbetingelserne for den motoriserede trafik. For trafikvejsbelysning angår de lystekniske hovedkrav derfor kørebanens luminans, dels dens middelværdi og dels dens regelmæssighed. Derudover er der supplerende krav til luminansens regelmæssighed på våd kørebane, til blændingsbegrænsning og til belysning af kørebanens omgivelser. Kravene er graderede og opstillet belysningsklasser, L1 til L7, de såkaldte L-klasser. Der er dog kun tale om 4 forskellige luminansniveauer, idet der dels er klasser for almindelige trafikveje, (L2, L4, L6 og L7) og dels klasser for motorveje mv. (L1, L3 og L5), hvor der desuden er et yderligere krav til regelmæssighed på langs af vejen. Klasserne har to og to fælles luminans- og belysningsniveauer som vist i tabel 1.

Trafikvejskryds, trafikerede pladser ol. belyses af samme hensyn, men her er luminansbegrebet ikke praktisk anvendeligt, idet synsretninger og synsafstande er stærkt varierende. Derfor angår de lystekniske hovedkrav belysningsstyrken på kørebanens plan (middelværdien og regelmæssighed). Også her er der supplerende krav til blændingsbegrænsning og belysning af omgivelserne. Kravene er opstillet i LE-klasserne LE1 til LE5 og graderet så belysningsniveauet svarede til L-klasserne, som vist i tabel 1.

Lokalveje, boligveje, stier, gågader ol. belyses af hensyn til fodgængere og cyklister. Kravene angår belysning på en opadvendende halvkugle og er opstillet i E-klasserne, E1 - E4. På disse vejtyper er der tale om belysning til generel orientering, til at kunne finde vej, undgå forhindring ol. En sammenstilling af belysningsniveauerne findes i tabel 1.

| | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|-----|------|-----|-----|----|-----|----|
| Trafikveje | Motorveje ol. | (L1) | L3 | (L5) | | | | | |
| | andre trafikveje | (L2) | L4 | L6 | L7 | | | | |
| Kryds mellem trafikveje | | (LE1) | LE2 | LE3 | LE4 | LE5 | | | |
| Lokalveje, stier, P-pladser mm. | | | | | | E1 | E2 | E3 | E4 |
| Belysningsniveau (omtrentlig middelbelysningsstyrke i lx) | | 45 | 30 | 20 | 15 | 7 | 4 | 1,5 | |

Tabel 1 Sammenstilling af belysningsklassernes belysningsniveauer.

De klasser, der ligger i samme søjle, svarer omtrent til samme middelbelysningsstyrke. Klasserne med parentes benyttes kun undtagelsesvis.

Synlighed som et kvantificerbart begreb angår L-klasserne, som behandles i det følgende. Der betragtes 3 forskellige luminansniveauer, som dækker de belysningsniveauer, der anvendes i praksis (L3/L4, L6 og L7). Resultaterne kan antages at gælde for andre belysningsklasser med samme belysningsniveauer, jvf. tabel 1.

2.1 Vejbelysning på trafikveje

Anbefalingerne om anlæggenes udformning angår valg af anlægs- og mastetype, begrænsning af lyspunkthøjde samt afskærmning af armaturerne. Sidstnævnte anbefaling fortolkes ofte sådan armaturerne skal have plan skærm (i praksis en plan, hærdet glasplade) og monteres med en lille hældning på højst 3° eller 5°.

Brugen af armaturer med plan skærm tjener til at begrænse fjernvirkning og andre generende effekter af vejbelysningen. Samtidig fås de virkninger at blændingen fra vejbelysningen bliver lav og at belysningen får et karakteristisk præg ved kun at findes i den nedre del af gaderummet. Brugen af armaturer med plan skærm er opstået som et dansk fænomen, men har i nogen grad bredt sig til de øvrige nordiske lande.

Luminansen af kørebanen er det som giver anledning til synsindtryk hos en bilist. Grundtanken med de lystekniske hovedkrav er at selve vejoverfladen skal kunne ses, og den skal danne en rimeligt lys og ensartet baggrund for objekter og andre trafikanter på vejen. Det supplerende krav til våd kørebane er tilføjet fordi vejbelægninger under danske forhold er våde eller fugtige i cirka 50% af mørketiden.

Luminansen af kørebanen skabes i et samspil mellem belysning, observationsforhold og refleksionsegenskaber hos vejbelægningen. Observationsforholdene fastlægges af nogle konventioner, der sikrer realistiske og ensartede betingelser for projektering af belysningsanlæggene. Vejbelægningens refleksionsegenskaber er omfattet af nogle anbefalinger i vejregelhæfte 9.20.01 "Planlægning af vejbelysning", Vejdirektoratet (august 1981), som i det væsentlige siger at vejbelægningen bør være middellys og ikke for spejlende i våd tilstand.

Anbefalingerne om vejbelægningens refleksionsegenskaber har medført at der i næsten alle tilfælde anvendes samme grundlag for projekteringen (refleksionstabellerne N2 og W4 for henholdsvis tør og våd tilstand). Grundlaget anvendes også selv om vejbelægningen er mørk, som f.eks. overfladebehandling med mørke sten.

Alle lande anvender hovedkrav af samme natur som de danske, idet dog supplerende krav til våd kørebane først er indført i Danmark og siden taget op i de øvrige nordiske lande. I praksis sikres det supplerende krav af at vejbelægningen ikke er for spejlende og af at der anvendes armaturer som begrænser belysningen i spejlende retninger på kørebanen. Omkostningen er at der kræves en lidt kraftigere belysning ved samme luminansniveau.

De supplerende krav om belysning af kørebanens omgivelser skal tjene til at sikre dels bilistens synsbetingelser, og dels en hensigtsmæssig belysning af stier langs kørebanen. Kravene er formuleret ved at en klasse for belysning af lokalveje skal opretholdes på 3,5 m brede zoner langs kørebanen.

Projekteringen består i at vælge armatur og lyskilde og derefter udforme anlægget, så de forskellige krav imødekommes.

I praksis er projekteringen ikke så kompliceret, som det kunne virke af det ovenstående, bl.a. er konventioner for observationsforhold indbygget i de EDB programmer, der anvendes, valget af anlægstype og lyspunkthøjde er ofte indlysende og udvalget af egnede armaturer er begrænset. Som regel begrænses lyspunktafstanden af kravet til middelluminans eller regelmæssighed på våd kørebane og kan fastlægges ved nogle få forsøg.

3. Tre eksempler på vejbelvningsanlæg

De tre eksempler er opstillet med baggrund i konkrete, eksisterende belvningsanlæg, i forhold til hvilke der er foretaget nogle ændringer, så eksemplerne svarer til den mest moderne teknik og sædvanligt forekommende forudsætninger.

Til eksemplerne tænkes anvendt et armatur til klare, rørformede højtryksnatriumlamper og til montering på mastetop eller på udliggerarm. Armaturet kan forsynes med lamper af flere forskellige wattager, som dækker behovet i de foreliggende eksempler.

Højtryksnatriumlamper fremkom i sidste halvdel af 70'erne i wattager, der er brugbare til vejbelvning. Disse udmærker sig ved en længere levetid og et højere lysudbytte end for kviksvøvlamper, og har næsten helt fortrængt de sidstnævnte til belvning af trafikveje. Fra starten anvendtes højtryksnatriumlamper med ellipsoideformet, lysspredende kolbe, som optisk set er kompatible med kviksvøvlamperne. Nu anvendes mest højtryksnatriumlamper med klar, rørformet kolbe, som i et egnet armatur tillader en præcis lysstyring. Samtidig er lysudbyttet øget noget som følge af teknisk udvikling. Belvning af trafikveje kan derfor i dag udføres med langt mindre elforbrug end det var tilfældet i begyndelsen af 70'erne.

Dette armatur, som andre armaturer til montering på mastetop/ udliggerarm har en asymmetrisk lysudsendelse i den forstand at det har to hovedstråler, én op ad vejen og én ned ad vejen, der er drejet i en vis vinkel ind mod vejen i forhold til dennes længderetning.

Ovennævnte vinkel kaldes asymmetrivinklen. For anlæg af de omhandlede typer er metoden til at begrænse belvningen i spejlende retninger at benytte armaturer med en forholdsvis høj asymmetrivinkel, typisk ca. 30°. Herved fordeles belvningen i øvrigt mere ligeligt i vejens tværrretning.

Anbefalingerne for udformning er respekteret i de tre eksempler, idet dog det pågældende armatur ikke har en helt plan skærm. De lystekniske krav imødekommes under normale forudsætninger for vejbelvningen. Eksemplerne 1, 2 og 3 er vist i henholdsvis Fig. 1, 2 og 3. De lystekniske værdier er anført i Appendiks A.

Figurerne viser vejbelvningsanlæggene under de observationsforhold, der benyttes til beregning af middelværdi og regelmæssighed af kørebansens luminans. Der antages en afstand på 60 m til den forreste kant, hvilket vinkelmæssigt omtrent svarer til at figurerne betragtes på en afstand af 30 cm.

Eksempel 1 angår en lille trafikvej med enkle forhold, belvningen er til den L-klasse, hvor kravene er lavest. Denne er L7 og er karakteriseret ved at middelluminansen er ca. $0,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$.

Anlægget er et ganske enkelt af den ensidige type og med en lav lyspunkthøjde på 8 m. Lyskilden er en 70 w højtryksnatriumlampe, men på trods af den lave wattage kan der bruges en lyspunktafstand på op til 38 m. Elforbruget svarer til kun $0,30 \text{ w pr. m}^2$ af kørebanearealet. Eksempel 1 svarer til en del nyere belvningsanlæg.

Lidt bredere trafikveje kunne belvnes med samme anlægstype, idet der må benyttes 100 w højtryksnatriumlamper og lyspunkthøjden måske skal øges til 9 m.

Den højere belvningsklasse L6, hvor middelluminansen er ca. $1,0 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$, kan opnås ved brug af 100 w eller 150 w højtryksnatriumlamper og ved en samtidig justering af anlægsgeometrien. Elforbruget vil omtrent blive fordoblet.

Det er imidlertid fortrinsvis større trafikveje med mere komplicerede forhold, der belvnes til klasse L6. Eksempel 2 angår en sådan. På grund af trafikarealets store bredde er der benyttet et tosidigt

anlæg, lyspunkthøjden er 10 m og lyskilderne er 100 w højtryksnatriumlamper. Elforbruget regnet pr. m^2 kørebaneareal er ca. det dobbelte i forhold til eksempel 1.

Eksempel 2 er et anlæg, der er fremkommet ved at benytte de eksisterende master efter fjernelse af et udtjent anlæg med lysrørsarmaturerne i bardunophæng. Der foregår en del sådanne renoveringer landet over.

Vejen i eksempel 2 kunne belyses til det højere niveau i klasse L4, som er $1,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$, ved at der benyttes 150 w højtryksnatriumlamper. Det er imidlertid overvejende motorveje, der er belyst til dette niveau, og for disse er klassen L3 i stedet for L4, idet L3 fremkommer fra L4 ved tilføjelse af et krav til luminansens langsregelmæssighed. Luminansens langsregelmæssighed anses for at have betydning for kørekomforten ved kørsel med høj hastighed over længere strækninger.

Anlægget er af typen dobbelt lyspunktplacering over midterrabat. Der benyttes 150 w højtryksnatriumlamper, men på trods heraf er elforbruget regnet pr. m^2 kørebaneareal omtrent som for eksempel 2. At elforbruget ikke er større skyldes at lysspildet er ret lavt, dels fordi kørebaneerne er bredere og dels fordi armaturernes lysudsendelse bagud gør en vis gavn i denne anlægstype.

Denne anlægstype er anvendt på nogle af de nyeste motorvejsstrækninger med belysning i Københavnsområdet, vel fordi den er billigere i anlæg end længdekædebelysningen. De konkrete anlæg er dog baseret på antagelse af endnu lysere vejbelægninger. Eksemplet svarer derfor nærmest til anlægstypens anvendelse på større trafikveje med midterrabat.

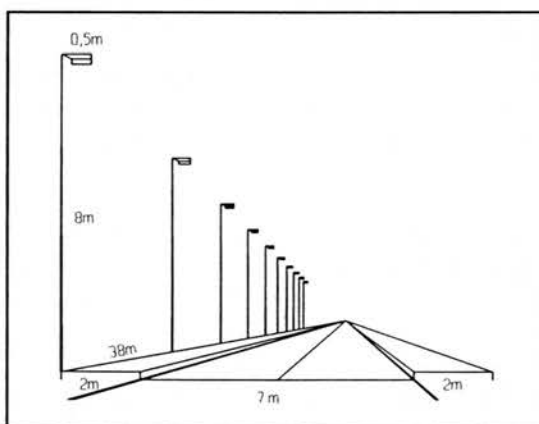


Fig. 1 Eksempel 1. Tosporet vej belyst af et ensidigt anlæg til klasse L7. Lyskilden er en 70W højtryksnatriumlampe (80,5 W pr. armatur)

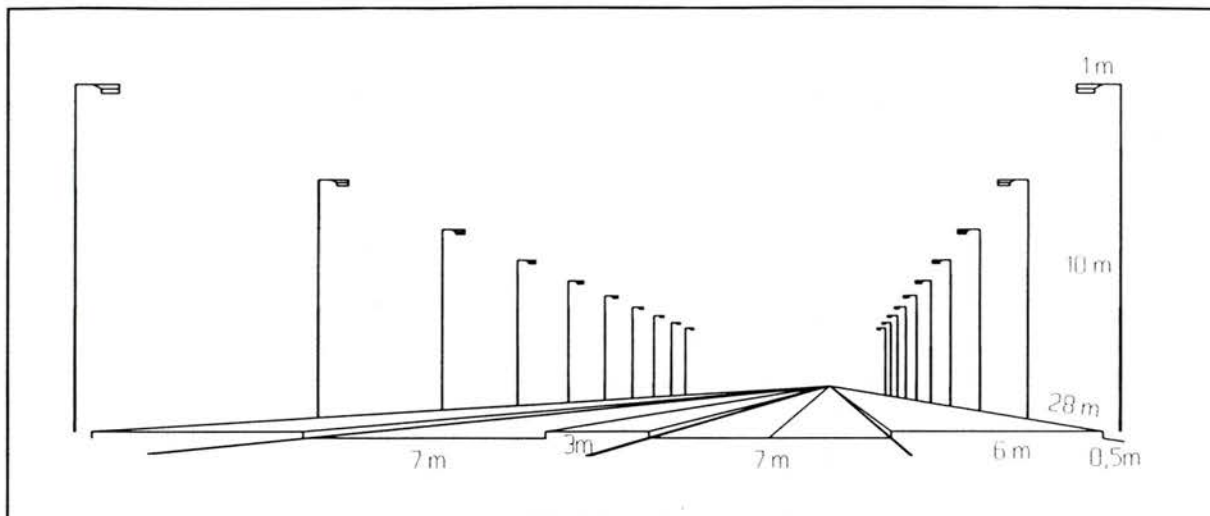


Fig. 2 Eksempel 2. Firesporet vej med midterrabat belyst af et tosidigt anlæg til klasse L6. Lyskilden er en 100 W højtryksnatriumlampe (114 W pr. armatur)

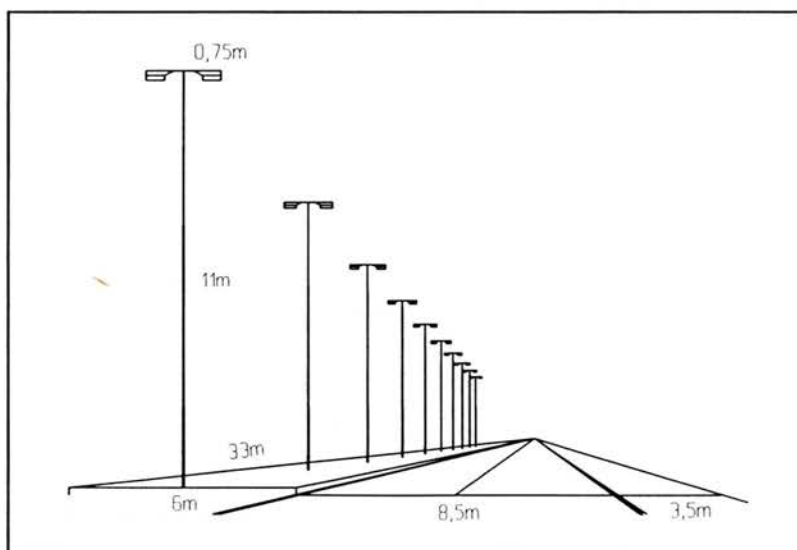


Fig. 3 Eksempel 3. Firesporet vej med midterrabat belyst af et anlæg med dobbelt lyspunkt-placering over midterrabat til klasse L3. Lyskilden er en 150 W højtryksnatriumlampe (169 W pr. armatur)

4. Synlighed i vejbelysning

4.1 Generelt

Belysning af trafikveje tjener til at muliggøre eller understøtte bilistens behov for at kunne orientere sig og se en række ting som vejoverfladens beskaffenhed, afmærkningen på kørebanen, kantsten, genstande på vejen, dyr, andre trafikanter med videre.

De begreber, der benyttes i forbindelse med synlighed, henfører til laboratorieforsøg og er illustreret i Fig. 4. Synligheden afhænger dels af objektets vinkelmæssige størrelse α , som bestemmes af objektets størrelse og betragtningsafstanden, dels af objektets kontrast til baggrunden og dels af baggrundens luminans. Hertil må lægges indflydelsen af synsnedsættende blænding og som kan stamme fra vejbelysningen selv, fra lyskilder i omgivelserne og fra modkørendes forlygter. Yderligere skal den observationstid, der er til rådighed, samt bilistens alder tages i betragtning.

En "synsmodel" sammenfatter et eller flere sæt af laboratorieforsøg, der sommetider er understøttet af forsøg udført under mere eller mindre praktiske forhold, i et formelværk, der sammenstiller indflydelsen af de enkelte forhold. Når synsmodellen anvendes på en konkret situation resulterer den i et synlighedsniveau, VL (Visibility Level) for det pågældende objekt. VL udtrykker forholdet mellem den aktuelle kontrast, og den netop tilstrækkelige kontrast til at et objekt kan ses under de givne forhold. VL skal derfor være mindst 1 for at et objekt kan ses, og skal i praksis være flere gange større for at et objekt kan ses uden besvær under praktiske forhold. I det følgende antages at et VL på 4 eller derover svarer til at et objekt kan ses ubesværet.

Synlighed i vejbelysning kan beregnes, når vejbelysningsanlæggets data foreligger og når der er fastlagt:

- relevante objekter
- relevante synsafstande
- forekommende synsnedsættende blænding
- observationstid
- alder af bilisten
- synsmodel

Spørgsmålet om observationstiden kan straks afklares, idet denne sættes til en kort standardtid på 0,2 s. Begrundelsen er at en bilist ikke har tid til at nærstudere enkelte objekter.

I næste afsnit benyttes de tre eksempler på vejbelysningsanlæg til at afklare belysningens indflydelse på synligheden.

En bilists synsopgaver skal nok repræsenteres af et udvalg af relevante objekter og synsafstande.

Der benyttes følgende simple objekter:

- et sort, liggende objekt på 1 m^2
- et lyst, liggende objekt på 1 m^2 , hvis luminans i alle positioner er 92% højere end for en middellys vejbelægning
- et stående objekt på $0,18 \times 0,18 \text{ m}^2$ med en reflektans, som følger den fordeling, der er vist i Fig. 5

Et liggende og et stående objekt er vist i Fig. 6, hvor der tillige er vist de 100 positioner, for hvilke VL beregnes. For det stående objekt beregnes i hver position VL for et udvalg af reflektanser, der modsvarer fordelingen. I hver beregning er der dermed tale om en fordeling af VL værdier.

Hovedresultaterne er VL værdier for en fast afstand til objektet, som er valgt til 90 m. Yderligere beregnes i nogle tilfælde synsafstand, defineret som den afstand, hvor objektet i 90% af tilfældene har et VL på 4 eller derover.

Et sort, liggende objekt kan repræsentere et hul i vejen. Ved den givne afstand på 90 m fås samme resultater for et stående objekt af et areal på ca. $0,18 \times 0,18 \text{ m}^2$, så resultaterne også kan benyttes til et mørkt objekt på vejen eller et objekt i skygge, f.eks. hjul hos en forankørende.

Et lyst, liggende objekt kan repræsentere afmærkning på kørebanen i form af et symbol eller lignende.

Antagelsen om en knap dobbelt så høj luminans svarer til at afmærkningen har samme spejlingsgrad som vejbelægningen og et knapt dobbelt så højt QO. Det er let optimistiske forudsætninger.

Den stående objekt skal modsvare fodgængere, måske et bukseben, idet reflektansfordelingen er opmålt for beklædning af fodgængere.

De benyttede objekter er dermed nok alle relevante, men bør alligevel opfattes som eksempler.

Bilisten antages i første omgang at være ung, men der tilføjes en vurdering af alderens betydning.

Den benyttede synsmodel, samt fremgangsmåden ved beregninger, omtales i Appendiks B.

Den alvorligste kilde til synsnedsettende blænding er modkørendes lygter, som behandles i Appendiks C, og som videreføres i en vurdering af blændingens indflydelse på synligheden.

Der har i tidens løb været flere tilløb til at indføre projektering af vejbelysning med direkte baggrund i bilistens synsopgaver. Med EDB teknikkens stadi i dag, kunne det nok lade sig gøre i praksis, men der er for lidt viden om hvilke objekter og afstande, der er relevante, ligesom synsmodellerne kun kan behandle simple genstande og situationer.

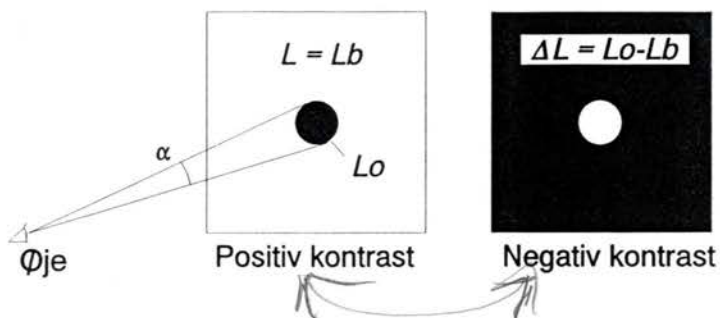


Fig. 4 Begreber i forbindelse med synlighed. Objektets vinkelstørrelse er α , Objektets luminans er L_o og baggrundens luminans L_b

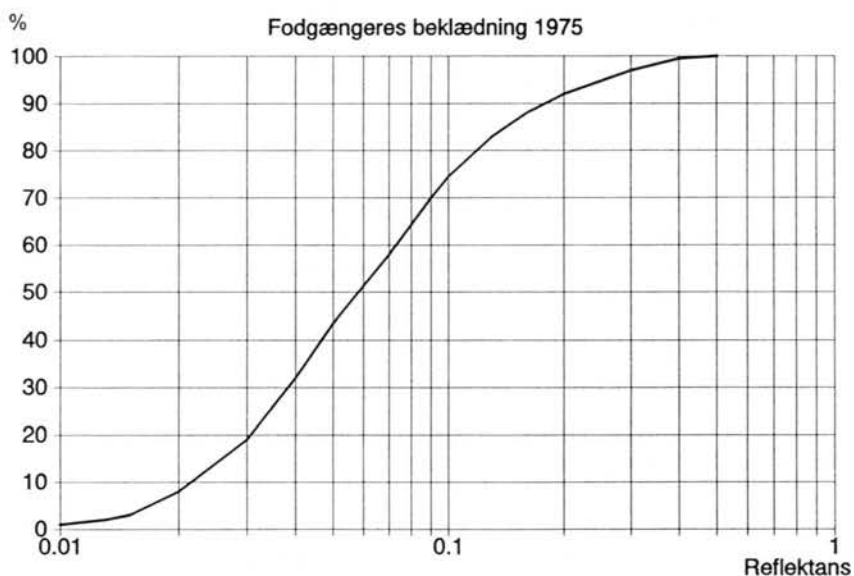


Fig. 5 Sumfordeling for reflektansen, ρ af fodgængeres vinteroverføje i Københavnsområdet i 1975. Vægtet gennemsnit af øvre og nedre beklædningsdel for mænd og kvinder tilsammen.

Ved beregningen af objekternes luminans er anvendt 10 reflektansværdier, som hver repræsenterer 10% hyppighed. Disse er vist i den nedenstående tabel.

| Reflektanser som hver repræsenterer 1/10 af forekomsten i Fig. 5 | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0.015 | 0.026 | 0.034 | 0.043 | 0.052 | 0.065 | 0.082 | 0.100 | 0.140 | 0.27 |

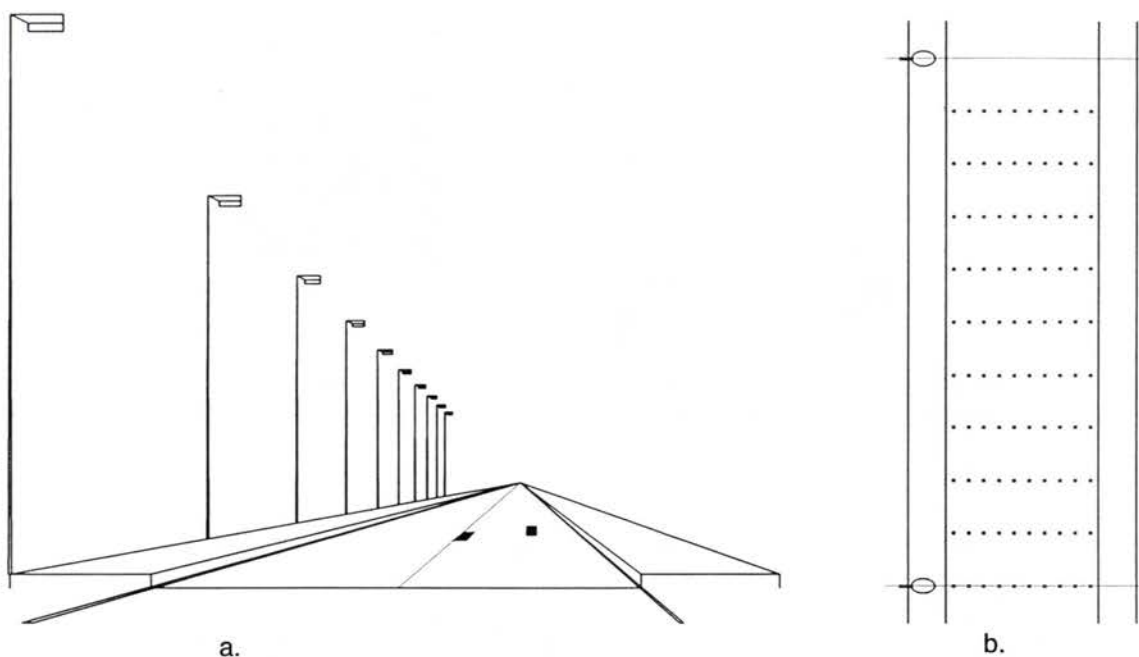


Fig. 6 a. Et liggende og et stående objekt set på ca 90 m afstand i et vejbelysningsanlæg (i overstørrelse).
 b. Objekterne placeres i samme positioner, som anvendes under beregning af kørebanens luminans.

4.2 Synlighed for unge bilister i fravær af blænding

Det liggende, sorte objekt har altid en kontrast på -1 og på 90 m afstand har det en bestemt vinkelmæssig størrelse. Dets synlighedsniveau, VL afhænger derfor kun af den omgivende kørebanes luminans og vokser med denne.

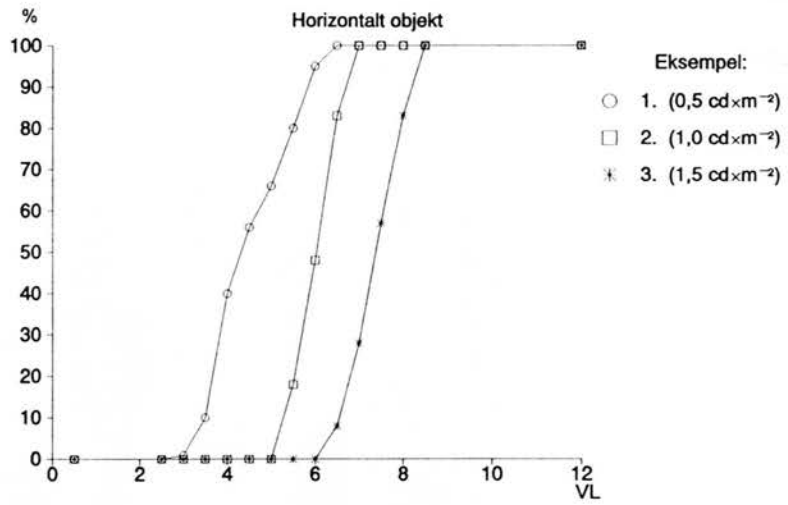
Heraf følger at objektets position på kørebanen influerer på synlighedsniveauet VL (luminansen er ikke den samme overalt). For at sammenfatte resultaterne grafisk benyttes en sumkurve for hvor mange % positioner, der har et VL op til en given VL værdi. Desuden følger at VL stiger med stigende middelluminans i klasserne L7, L6 til L3, så de tre eksempler kan repræsenteres af hver sin sumkurve i samme diagram. Herved fremkommer de ret stejle kurver i Fig. 7a.

For det liggende, lyse objekt er situationen omtrent som for det sorte objekt, blot er kontrasten positiv. Beregninger fører til Fig. 7b.

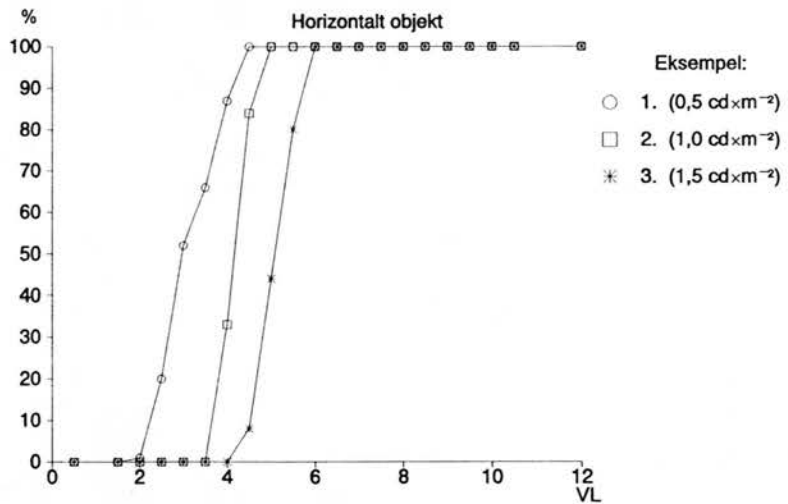
For det stående objekt med en fordeling af reflektanser kan afbildningsformen kan stadig benyttes, resultaterne er vist i Fig. 7c. Det bemærkes at VL varierer kraftigere end for de liggende objekter og i enkelte situationer er så lav at objektet ikke er synligt.

Det er en reel mekanisme for plane genstande at de kan forsvinde i ét med baggrunden, hvor de gør det og hvor mange steder afhænger af genstandens reflektans og belysningsanlægget. De høje VL værdier skyldes at fordelingen svarer til overvejende mørk beklædning, der sikrer negativ kontrast til vejbelægningen.

a. **Sort, liggende genstand**



b. **Hvid, liggende genstand**



c. **Stående genstand med varieret reflektans**

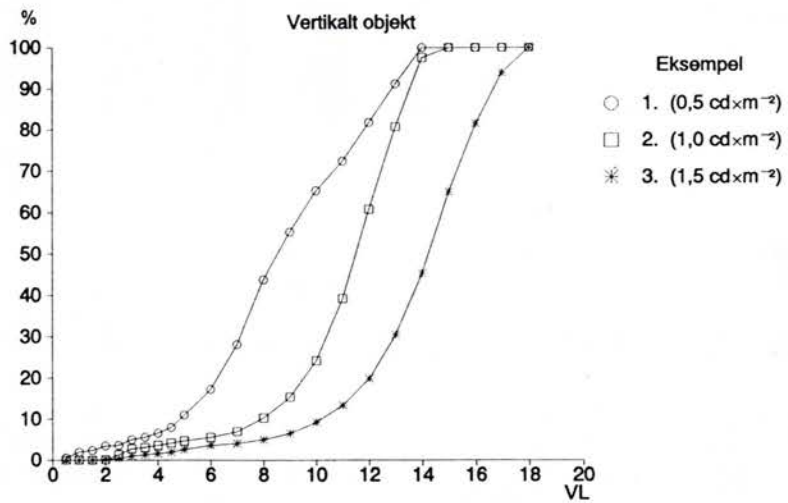


Fig. 7 Sumfordelinger af VL for liggende genstande (a. og b.) og for en stående genstand (c.)

Resultaterne sammenfattes i fig. 8 i form af $VL_{S=90m}$, forstået som det VL ved 90 m afstand, der fås i mindst 90% af tilfældene.

I fig. 9 vises synsafstanden $S_{VL=4}$, der er fundet ved særskilte beregninger (afstand hvor der i 90% af tilfældene fås et VL på mindst 4).

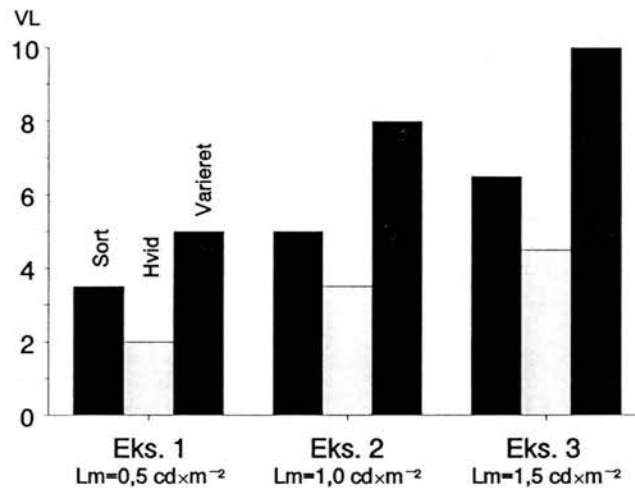


Fig. 8 $VL_{S=90}$ (VL ved 90 m afstand, der fås i mindst 90% af tilfældene) for de tre eksempler på belysningsanlæg og de tre genstande.

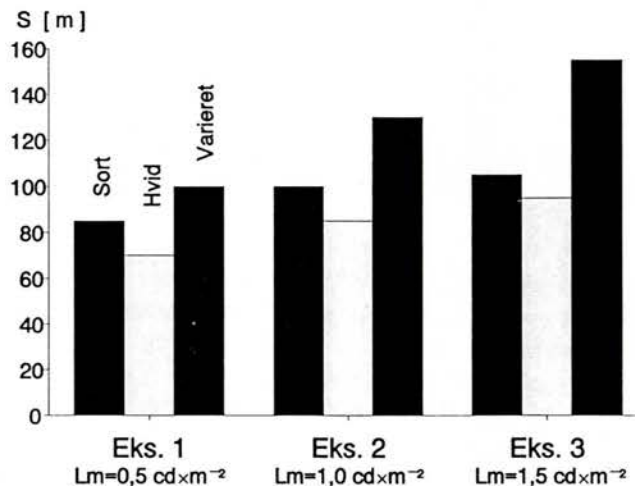


Fig. 9 $S_{VL=4}$ (afstand hvor der i 90% af tilfældene fås et VL på mindst 4) for de tre eksempler på belysningsanlæg og de tre genstande.

De to figurer viser klart betydningen af luminansniveauet.

Luminansniveauets betydning understreges yderligere af fig. 10, hvor der til "den lille vej" i Eksempel 1 er dimensioneret tre forskellige belysningsanlæg til klasserne L7, L6 og L4 med samme middelluminans, som i de foregående eksempler (med middelluminans på hhv. $0,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$, $1,0 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ og $1,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$). Man ser, at synsafstandene i fig. 10 er næsten de samme som i fig. 9. Den præcise vejgeometri og anlæggets udformning spiller ikke nogen afgørende rolle.

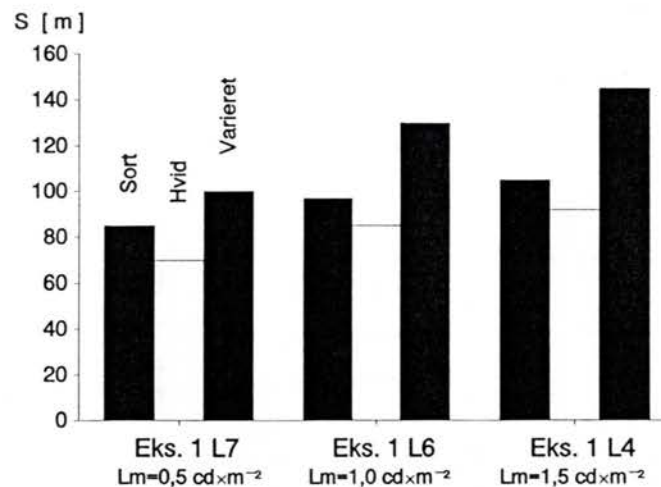


Fig. 10 $S_{VL=4}$ (afstand hvor der i 90% af tilfældene fås et VL på mindst 4) for tre forskellige belysningsanlæg på "den lille vej" i Eksempel 1.

4.3 Indflydelse af alder og blænding

Bilistens alder behandles formelt i synsmodellen ved en forringet kontrastfølsomhed, således at VL alt andet lige er lavere for en ældre person. Beregningerne i det foregående afsnit er udført for en 23 årig person. For at illustrere alderens indflydelse gentages beregningerne for en 60 årig person.

Synsnedsættende blænding skyldes spredning af lys i øjet ved belysning fra fremmede lyskilder, fænomenet opleves som et uregelmæssigt slør omkring lyskilderne. I Appendix C beskrives blændingen ved en sløringsluminans som lægges til luminansen af både objekt og baggrund. Resultatet er en forringelse af synligheden på grund af en reduktion af objektets kontrast.

Den sløringsluminans, der fremkaldes af lygterne på en modkørende bil, er vist i Fig. 11. Beregningerne er foretaget for en ung bilist, og for korrekt indstillet nærllys hos den modkørende med en "typisk" lysfordeling. Det ses at sløringsluminansen optræder allerede ved store afstande og først aftager når den modkørende kommer tæt på.

Sideafstanden til den modkørende er af stor betydning, og hermed optræder der forskelle mellem de tre eksempler. I eksempel 1 regnes med en sideafstand svarende til et kørespor på 3,5 m og sløringsluminansen sættes til ca. $0,23 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$. I eksempler 2 og 3 regnes med en sideafstand på ca. det dobbelte, på grund af midterrabatterne, og dermed med en sløringsluminans på ca. $0,07 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$.

Når der er flere modkørende samtidig skal deres sløringsluminanser adderes. For at vise dette princip regnes med tre modkørende samtidig, så de ovennævnte værdier forøges til hhv. 0,7 og $0,2 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$.

Alderen gør sig gældende også ved en forøget sløringsluminans, for den 60 årige bilist regnes med værdier, der er 70% forøgede og dermed bliver hhv. 1,4 og $0,34 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$.

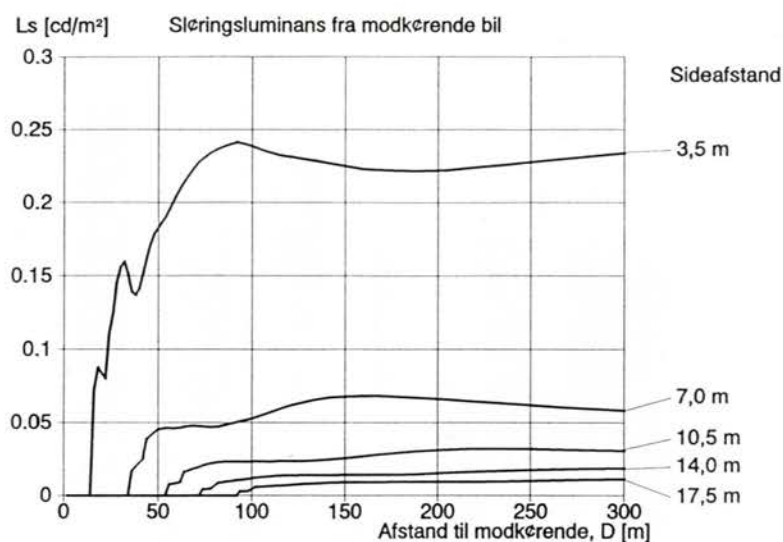


Fig. 11 Sløringsluminans fra én modkørende bil med 2 stk. H4 nærllys. Observatøren betragter et punkt midt i sit kørespor 90 m foran sig. Sløringsluminansen er for en ung observatør, værdierne er 70% højere for 60 årige og dobbelt så høje for 70 årige.

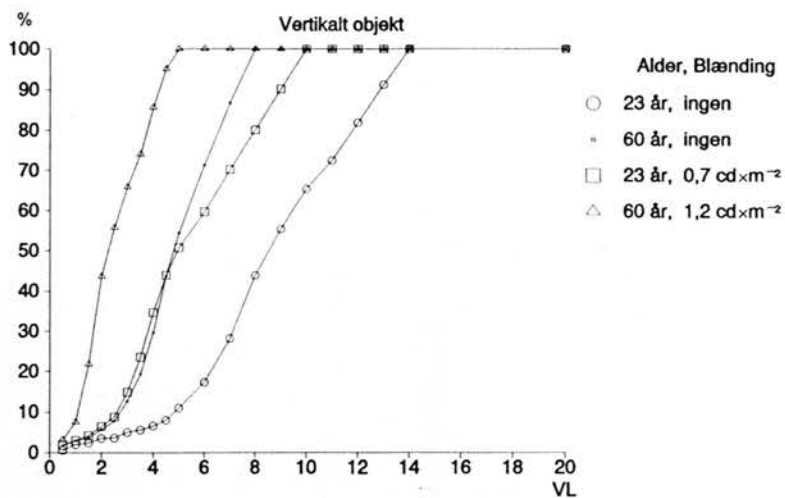
For en simpelheds skyld udføres beregningerne kun for det stående objekt med varieret reflektans, resultaterne er vist som sumkurver i Fig. 12 og sammenfattet i Fig. 13.

Forskellen i alder ses at svare til omtrent en halvering af VL værdierne, hvilket markant svarer til forringet synlighed. Hvis der skulle kompenseres for dette gennem belysning, skulle luminansniveauet omtrent fordobles.

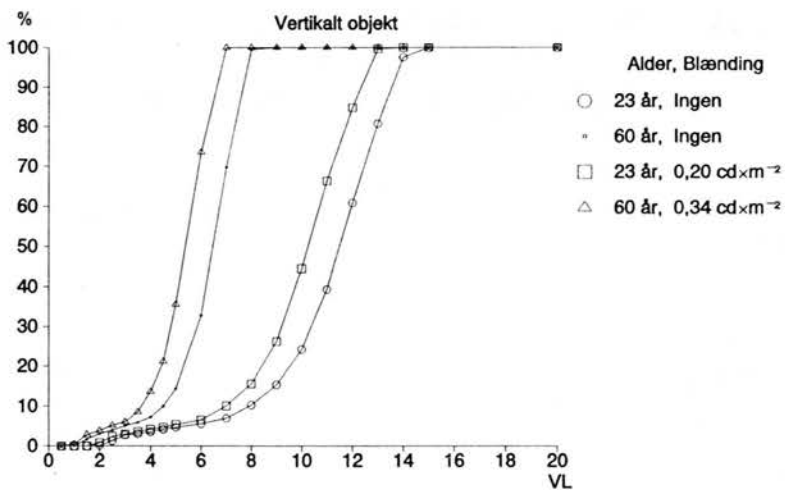
Blændingen fra de tre modkørende gør sig kraftigt gældende i eksempel 1 ved luminansniveauet på $0,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$, hvilket er umiddelbart forståeligt i betragtning af at sløringsluminansen overstiger kørebanens luminans. En ældre bilist er dårligt stillet og må nok kompensere ved at holde godt til højre, rette blikket nedad og ikke køre for hurtigt.

En væsentlig effekt af at øge luminansniveauet, som ved belysning til klasse L6 i stedet for L7, er at blænding har mindre effekt. I de foreliggende eksempler 2 og 3 fås yderligere lavere effekt af blænding ved at der regnes med lavere sløringsluminans.

a. Eks. 1 ($0,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$)



b. Eks. 2 ($1,0 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$)



c. Eks. 3 ($1,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$)

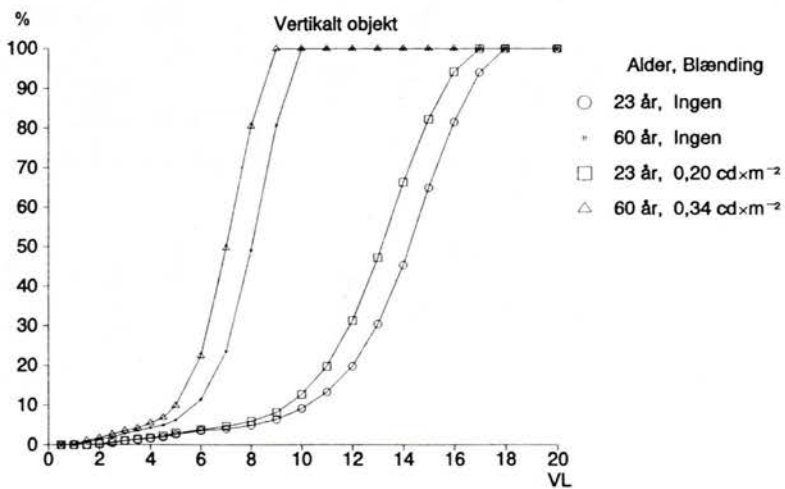


Fig. 12 Sumkurver af VL for et stående objekt med varierende reflektans.

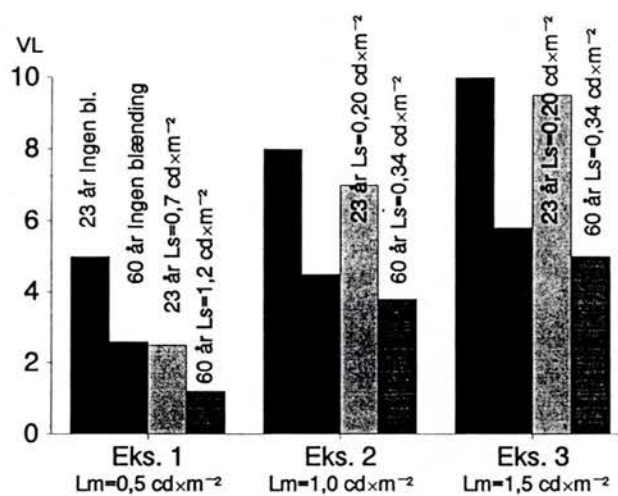


Fig. 13 $VL_{S=90}$ (VL ved 90 m afstand, der fås i mindst 90% af tilfældene) for den stående genstand med varieret reflektans i tre eksempler på belysningsanlæg, for en person på 23 år og en på 60 år, med og uden blænding fra 3 modkørende biler.

5. Vejbelægningens lyshed

Alle hidtil omtalte resultater er for standardforudsætninger vedrørende vejbelægningens refleksionsegenskaber. Disse svarer til en middellys vejbelægning med en forholdsvis lav spejlingsgrad, og opnås f.eks. for en normal asfaltbetonbelægning med iblanding af typisk 20% lyst stenmateriale. Under projekteringen benyttes en værdi af middelluminanskoefficienten Q_0 på $0,09 \text{ cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ og refleksionstabel N2.

I praksis undlades det lyse stenmateriale sommetider, så vejbelægningen bliver mørkere og mere spejlende. Effekten heraf kan undersøges ved at gentage beregninger under forudsætning af et Q_0 på $0,07 \text{ cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ og refleksionstabel N3. Resultatet er:

- Middelluminansen aftager i alle 3 eksempler med godt 30%, mens luminansregelmæssighederne ændres noget.
- VL værdierne for det sorte objekt og for objektet med varieret reflektans falder. Faldet er omtrent som om "der er rykket en klasse ned" (dvs. at for klasse L3 i eksempel 3 fås resultater som vist for klasse L6 i eksempel 2, osv.).
- VL vokser for det hvide objekt (afmærkning på kørebanen), hvilket naturligvis skyldes at en mørkere vejbelægning fører til en øget kontrast af hvid afmærkning. Tilvæksten er et par enheder i VL og svarer til ca. 20 m forøgelse af synsafstanden.
- Følsomheden for blænding gør sig stærkere gældende end omtalt tidligere. Den øgede synlighed af det hvide objekt går delvist tabt.

Nettoresultatet er en forringelse af synsbetingelserne, som imidlertid kunne modvirkes ved en projektering til de aktuelle refleksionsegenskaber af vejbelægningen. Resultatet er at der skal benyttes lyskilder af en højere wattage, typisk 100 w i stedet for 70 w højtryksnatriumlamper, 150 w i stedet for 100 w o.s.v. Elforbruget øges derved med ca. 50%.

Resultatet er sammenfattet i de to skemaer herunder:

| Mørk belægning. Samme anlæg | Ændring |
|--|--------------------------------|
| Middelluminans | -30 % |
| Synlighedsniveau, VL for det <u>sorte</u> og det <u>stående</u> objekt uden blænding | som i en lavere vejklasse |
| Synlighedsniveau, VL for det <u>hvide</u> objekt uden blænding | lidt højere, mere uensartet |
| Virkning af blænding | som i en lavere vejklasse |

| Mørk belægning. Nyt anlæg | Ændring |
|---------------------------|-------------|
| Energiforbrug | + 50 % |
| Anlægsomkostninger | lidt højere |

Det er altså vigtigt at projekterings forudsætning opretholdes f.eks. i forbindelse med udskiftning af vejbelægningen.

Det bemærkes at der er endnu mørkere vejbelægninger i brug, især overfladebehandlinger med mørke sten. For disse er ændringerne i middelluminans og synlighed kraftigere end anført i det ovenstående. Opretholdelse af middelluminansen ville kræve en fordobling af elforbruget.

Referencer

- 9.20.- Vejbelysning De danske vejbelysningsregler, 1979
Hæfte 9.20.01 Dispositionsplan etc.
Hæfte 9.20.02 Udformning etc.
Hæfte 9.20.05 Håndbog
- L&O Notat 8 "A review of the suitability of the average luminance coefficient Q0 for road surfaces and road markings - and a proposal for a different parameter." Kai Sørensen, Peder Øbro and Bent Rasmussen, Lys & Optik, 1990.
- L&O Notat 21 "Mean luminance coefficient in diffuse illumination, Qd for road surfaces and road markings - Laboratory tests", Hans Ole Nielsen and Peder Øbro, Lys & Optik, 1992.
- Blackwell H R "Contrast Treshold of the Human Eye", Journal of the Optical Society of America, Vol. 36, No. 11, p. 624, November 1946.
- Adrian W, 1969 "Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung." Lichttechnik, 21. Jahrgang, Nr. 1/1969.
- Aulhorh E, 1964 Graefe's Archiv für Opthamologie **167**(1) 4, 1964
- Aulhorh E &
Harms E, 1970 Klinische Monatsblätter für Augenkunde **157** 843, 1970
- Adrian W, 1989 "Visibility of targets: Model for calculation", Lighting Research and Technology, Vol. 21 No.4, 1989
- LTL Report 17 "Calculation of Visibility in Road Lighting", E. Frederiksen og N. Rotne, The Danish Illuminating Engineering Laboratory (Lysteknisk Laboratorium), LTL Report No. 17, 1978.
- KBL 75: "Fordelingen af fodgængeres refleksions-koefficienter" Erik Randrup Hansen & J. Schandel Larsen, Kursusarbejde i Belysningsteknik 1975 (Lysteknisk Laboratorium, ikke publiceret).
- L&O Notat 2 "A Model for the Specular Reflection of Road Surfaces." Kai Sørensen, Lys & Optik and S.O. Lundkvist, The Swedish Road & Trafic Research Institute, January 1990.
-

Appendix A. Lystekniske værdier for anlægseksemplerne

De lystekniske hovedkrav for trafikveje er baseret på kørebanens luminans i tør tilstand og gives ved middelluminansen, L_m og regelmæssigheden $R = L_{min}/L_m$. Supplerende krav angår regelmæssigheden i våd tilstand, den halvrumlige belysning på vejens omgivelser samt endelig synsnedsættende blænding og ubehagsblænding fra belysningsanlægget. Endelig er klasserne L1 og L3 til veje for høj hastighed forsynet med et supplerende krav til langsregelmæssighed.

Hovedkravene for de tre klasser L7, L6 og L3 er opsat i tabel A1.

Kravene til luminans og belysningsstyrke angår driftsværdier, idet der regnes med lysstrømsnedgang for lyskilder og tilsmudsning af armaturer. De ved projektering beregnes driftsværdierne ud fra de nominelle værdier ved multiplikation med en reduktionsfaktor, der som regel er 0,75.

| Luminanskrav | L7 | L6 | L3 |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Middelluminans, tør vej L_m | $0,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ | $1,0 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ | $1,5 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ |
| Regelmæssighed, tør vej R | 0,25 | 0,30 | 0,35 |
| Regelmæssighed, våd vej R | 0,15 | 0,15 | 0,20 |

Tabel A1. Hovedkravene i vejbelysningsklasserne L7, L6 og L3.

I tabel A2 er vist de lystekniske driftsværdier for de tre belysningsanlæg i eksemplerne 1, 2 og 3. Der er angivet værdier for en vejbelægning, der overholder anbefalingerne (refleksionsklasse N2, $Q_0 = 0,09 \text{ cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$) og for en mørkere og mere spejlende belægning uden lyst tilslag (refleksionsklasse N3, $Q_0 = 0,07 \text{ cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$).

Man ser at middelluminansen fra "N2-" til "N3-belægningen" falder mere end svarende til forholdet mellem Q_0 -værdierne. Q_0 er ikke en perfekt proportionalitetsfaktor for middelluminansen i moderne anlægstyper, hvor armaturernes lysfordeling er stærkt afskærende, og hvor armaturerne er placeret udenfor eller i kanten af kørebanen.

Det har givet anledning til introduktion af middelluminanskoefficienten i diffus belysning, Q_d . Denne er en næsten perfekt proportionalitetsfaktor til middelluminansen i tør tilstand. En yderligere og væsentlig fordel ved Q_d -parameteren er, at den kan måles direkte i diffus belysning, som kan realiseres i et transportabelt apparat.

| Eks. 1: Lystekniske driftsværdier | | Luminans på kørebanen | | L7-krav |
|--|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Vejbelægning, Q_0 [$\text{cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$] Q_d [$\text{cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$] | | N2, $Q_0=0,09$ $Q_d=0,078$ | N3, $Q_0=0,07$ $Q_d=0,054$ | |
| Lm, Middelluminans, tør vej | | 0,52 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ | 0,35 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ | ca. 0,5 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ |
| R, Regelmæssighed, tør vej | | 0,38 | 0,43 | 0,25 |
| R, Regelmæssighed, våd vej W4 | | 0,21 | | 0,15 |
| Halvrumlig belysnings- styrke på sidearealer å 3,5m | Vejside | Venstre | Højre | ca. 2,5 lx |
| | Ehrm Middelværdi | 2,4 lx | 2,4 lx | |
| | Regelmæssighed | 0,33 | 0,63 | 0,15 |

| Eks. 2: Lystekniske driftsværdier | | Luminans på kørebanen | | L6-krav |
|--|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Vejbelægning, Q_0 [$\text{cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$] Q_d [$\text{cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$] | | N2, $Q_0=0,09$ $Q_d=0,078$ | N3, $Q_0=0,07$ $Q_d=0,054$ | |
| Lm, Middelluminans, tør vej | | 0,92 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ | 0,59 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ | ca. 1,0 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ |
| R, Regelmæssighed, tør vej | | 0,71 | 0,69 | 0,30 |
| R, Regelmæssighed, våd vej W4 | | 0,61 | | 0,15 |
| Halvrumlig belysnings- styrke på sidearealer å 3,5m | Vejside | Midterrabat | Højre | ca. 2,5 lx |
| | Ehrm Middelværdi | 7,2 lx | 6,0 lx | |
| | Regelmæssighed | 0,93 | 0,56 | 0,15 |

| Eks. 3: Lystekniske driftsværdier | | Luminans på kørebanen | | L3-krav |
|--|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Vejbelægning, Q_0 [$\text{cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$] Q_d [$\text{cd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$] | | N2, $Q_0=0,09$ $Q_d=0,078$ | N3, $Q_0=0,07$ $Q_d=0,054$ | |
| Lm, Middelluminans, tør vej | | 1,47 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ | 1,03 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ | ca. 1,5 $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ |
| R, Regelmæssighed, tør vej | | 0,63 | 0,60 | 0,35 |
| Rl, Langsregelmæssighed, tør vej | | 0,63 | 0,74 | 0,60 |
| R, Regelmæssighed, våd vej W4 | | 0,21 | | 0,20 |
| Rl, Langsregelmæssighed, våd vej | | 0,61 | | 0,35 |
| Halvrumlig belysnings- styrke på sidearealer å 3,5m | Vejside | Midterrabat | Højre vejside | ca. 5,0 lx |
| | Ehrm Middelværdi | 10,4 lx | 8,1 lx | |
| | Regelmæssighed | 0,64 | 0,77 | 0,15 |

Tabel A2. Lystekniske driftsværdier for anlægseksemplerne 1, 2 og 3 med kravværdier i den tilhørende belysningsklasse.

Appendiks B. Introduktion til synlighedsberegning i vejbelysning

B.1 Kontrast og synlighed af objekter på vejen (Target Visibility Level)

Synligheden af et objekt bygger på en vis luminansforskel mellem objektet og dets baggrund. Farveforskelle kan yderligere forbedre synligheden; men de luminansniveauer, der er relevante i vejbelysning, ligger i det mesopiske område for synsadaptation, hvor farver kun svagt erkendes. Derfor kan synligheden bygges på luminansforskellen alene, hvilket også forsimples det hele betydeligt.

Objektets luminans, L_o kan være højere end baggrundens luminans, L_b (positiv kontrast) eller lavere (negativ kontrast). Som vist på fig. 4 udtrykkes luminansforskellen i begge tilfælde som:

$$\Delta L = L_o - L_b$$

Spørgsmålet, hvorvidt et objekt er synligt ved den aktuelle luminansforskel må besvares ud fra viden om hvilken luminansforskel, der er nødvendig i den givne situation. Den værdi, som netop gør objektet synligt kaldes tærskelværdien, ΔL_{th} (th står for threshold på engelsk).

Synligheden af et objekt i den givne situation udtrykkes som forholdet mellem den fysiske værdi og den synsfysiologiske tærskelværdi og kaldes Visibility Level:

$$VL = \Delta L / \Delta L_{th} \quad 1$$

VL beskriver altså synligheden i gange af tærskelværdien. $VL = 3$ betyder at luminansforskellen er 3 gange tærskelværdien.

Tærskelværdien ΔL_{th} er afhængig af den givne situation og kan i princippet udtrykkes som en funktion:

$$\Delta L_{th} = f(L, \pm(\Delta L), \alpha, t, Age)$$

hvor parametrene i parenteser beskriver situationen:

- L er den luminans, øjet er indstillet til. $L = L_b + L_s$, hvor L_s er den sløringsluminans, øjet opfatter på grund af blændingskilder eller andre forstyrrelser i synsfeltet. Om nødvendigt kan L også tage højde for den tidsmæssige adaptation.
- $\pm(\Delta L)$ er luminansforskellens fortegn. Øjets følsomhed afhænger af i nogen grad af om kontrasten er positiv eller negativ.
- α er objektets synsvinkel, som er den vinkelmæssige størrelse set fra observatøren, som kan beregnes af objektets fysiske dimensioner og afstanden mellem observatøren og objektet [bueminutter].
- t er observationstiden [s].
- Age er observatørens alder [år].

Tærskelfunktionen er søgt fastlagt gennem laboratorieforsøg udført primært af Blackwell i 1946 og senere suppleret af samme, samt af Adrian, Aulhorn m.fl. (se Reference).

¹ Traditionelt bygger man synlighedsbegrebet på kontrasten: $C = \Delta L / L_b$

Kontrasten giver i sig selv et vist begreb om synligheden. VL kan da også udtrykkes som forholdet mellem den aktuelle kontrast, C og tærskelkontrasten, C_{th} for den givne situation.

Hvis der er blænding til stede, oplever man imidlertid en sløringsluminans, L_s adderet til både baggrunden og objektets luminans. Mens ΔL er uændret bliver den oplevede kontrast:

$$C' = \Delta L / (L_b + L_s)$$

Definitionen af VL er dermed ikke længere så klar: Skal man anvende C eller C' , når VL udregnes?

Ved at regne udelukkende med luminans og luminansforskelle undgås misforståelser, og VL opretholdes som et forhold mellem en fysisk størrelse og en synsfysiologisk størrelse.

Laboratorieforsøgene har været udført med udgangspunkt i den simple situation, som er illustreret på fig. 4, hvor et objekt ses på baggrund af en jævn luminans.

Forsøgsdata opnået i laboratoriesituationen bygger på 50% opdagelsessandsynlighed. Data for en anden opdagelsessandsynlighed opnås ved multiplikation med en generel faktor, der kun afhænger af opdagelsessandsynligheden. I praksis vil man indbygge en højere opdagelsessandsynlighed i modellen, som f.eks. $p = 99.93\%$ hos Adrian, 1989, og som svarer til at forøge ΔL_{th} med et vist antal gange spredningen i laboratorieforsøgets data.

På denne baggrund er $VL = 1$ for netop synlige objekter i laboratoriesituationen, hvor termen "netop synlig" altså knytter sig til den givne opdagelsessandsynlighed.

Når, som ofte i den virkelige verden, luminansen af objektet og/eller af baggrunden omkring objektets ikke er jævn, er værdierne L_o og L_b og dermed ΔL ikke umiddelbart givne. Der har været foreslået fremgangsmåder til beregning af L_b og ΔL i sådanne tilfælde (f.eks. i LTL Rapport nr. 17); men de er meget komplicerede. Det er imidlertid heller ikke nødvendigt at tage sådanne hensyn, når objekterne er små og kørebanens luminans er temmelig jævn, som det er tilfældet ved opfyldelse af vejklassens krav.

Den simpleste metode fås altså hvis man betragter små objekter. Et stort objekt, f.eks. en stående person kan opfattes som sammensat af mindre dele og vil være synlig blot nogle af delene, f.eks. benene er synlige.

B.2 Valg af synlighedsmodel

Der findes en række forslag til synlighedsmodeller med konkrete matematiske udtryk for kontrasttærskelfunktionen, f . Disse er hver for sig udviklet til et bestemt anvendelsesområde og ikke nødvendigvis dækkende på andre områder.

CIE publikation No. 73 indeholder en meget simpel model, som er anvendt for vejmarkeringer i billygtelys. Denne ville være nærliggende at bruge her på grund af simpelheden og dens officielle status. Dens anvendelsesområde er imidlertid for snævert ($L < 1 \text{ cd/m}^2$) og dens oprindelse har ikke kunnet spores.

CIE publikation No.19/2, 1981 indeholder en generel synlighedsmodel, som er anvendt til indendørsbelysning og arbejdsopgaver i kontor og industri. Denne model beskriver ikke virkningen af objektstørrelsen tilstrækkeligt godt for små objekter, hvor Ricco's lov er gældende. CIE 19/2 giver ingen anvisninger på anvendelse i vejbelysning ud over at henvise til LTL Report No. 17.

LTL Report No. 17 indeholder en synlighedsmodel, der sigter direkte mod vejbelysning. Dens grundliggende model for kontrasttærskelfunktionen stammer fra Adrian, 1969, og der gøres udmærket rede for dens tilpasning til Blackwells data (fra 1946). Modellen er udbygget, så der tages hensyn til variation af både baggrundens og objektets luminans og til indflydelsen af blænding og andre store luminansvariationer. Modellen foreskriver en opdeling af objektet i små dele hvis Visibility Level summeres (kumuleres). Dette gøres for en mange synsretninger til objektet, idet omgivelsernes indflydelse afhænger af synsretningen, for at finde den største sum.

I den nærværende undersøgelse, hvor vi kun vil betragte objekter, der er så små, at deres luminans er konstant, samt kun betragte vejbelysningsanlæg der giver en god luminansregelmæssighed (i overensstemmelse med vejklassen) er disse udbygninger unødvendige.

Adrian har senere korrigeret og udbygget sin model for kontrasttærskelfunktionen, Adrian 1989, så den kan tage hensyn til sløringsluminans, observationstid, positiv/negativ kontrast og observatørens aldersgruppe. Publikationen giver kortfattet, men fyldestgørende rede for modellens relation til andre forfatteres undersøgelser samt for dens praktiske anvendelse.

En ny metode for dimensionering af vejbelyningsanlæg på grundlag af "Small Target Visibility Level" er nu blevet standardiseret i USA. Den anvender et vertikalt objekt af størrelsen $18 \times 18 \text{ cm}^2$ med en reflektans på 0,18.

Det anses imidlertid som vigtigt at variere objekternes reflektans med henblik på en statistisk analyse af synligheden. Der foreligger en udmærket dansk undersøgelse fra 1975 af den statistiske fordeling af reflektanser af fodgængerbeklædning, KBL 75. Data herfra lader sig let anvende i en sådan statistisk analyse af synlighed. Se appendix B.

Den mest relevante synlighedsmodel er således Adrians model fra 1989, som på små objekter kan anvendes direkte efter forfatterens anvisninger.

B.3 Anvendelsen af Adrians synlighedsmodel af 1989, Small Target Visibility

Der skal ikke her gøres nærmere rede for de matematiske udtryk for Adrians synligheds model af 1989. Om dette henvises til originalartiklen. Derimod skal omtales nogle forhold ved modellens anvendelse til synlighedsberegninger i praksis.

En forudsætning i modellen er opdagelsessandsynligheden. Algoritmen er således skaleret at opdagelsessandsynligheden er $p = 99,93\%$. Det betyder at 99.93 % af forsøgspersonerne forventes at kunne se genstanden i laboratoriesituationen. Forsøgspersonerne udgør en temmelig ensartet population med hensyn til alder. Adrians model indeholder en algoritme til korrektion for observatørernes alder, så p kan holdes konstant.

Det gælder for alle synlighedsmodeller, at man i den virkelige trafiksituation skal have en højere luminansforskel end givet ved de grundliggende laboratorieforsøg. Dette nødvendiggør brug af en korrektionsfaktor (praksisfaktor, field factor er andre betegnelser), som skal korrigere for dette forhold.

Enklere er det dog (jvf. Adrian, 1989) at indse, at Visibility Level skal være lig med praksisfaktoren for at opnå synlighed i praksis.

Adrian tager udgangspunkt i laboratoriedata opnået ved 2 s observationstid, men giver et udtryk for omregning til andre observationstider, som inkluderes i formlen for kontrasttærskelfunktionen. Adrian foreslår i overensstemmelse med et udkast fra en amerikansk IES komite en observationstid på 0,2 s og et Visibility Level krav (=praksisfaktor) på 4,6. En nøjere beregning af tidsfaktoren for $t=0,2$ s peger dog nærmere på et VL-krav på 4,0.

B.4 Fremgangsmåde i synlighedsberegning

Ved beregning af luminansfordelingen i et vejbelyningsanlæg betragtes et felt på kørebanen mellem to master af en observatør placeret 60 m fra feltet. Luminansen udregnes i et punktnet på dette felt, som regel 10 punkter på hver led, se fig. 6.

Den således opnåede luminansfordeling er med god tilnærmelse uafhængig af observationsafstanden, (som i stedet for 60m altså lige så vel kunne have været noget andet) når den blot er større end ca. 20m og vejen er tør. Luminansfordelingen gentager sig altså i princippet i det uendelige for hver masteafstand uanset på hvilken afstand den ses.

Det samme gælder luminansen af de objekter som anvendes til synlighedsberegningen: Det vertikale objekt er diffust reflekterende og dets luminans er derfor uafhængigt af betragtningsretningen, som iøvrigt er næsten uafhængig af afstanden.

Det horisontale objekt tilskrives en reflektans som en vejmarkering, der følger standard reflektionsklassen N2. Luminansen er derfor uafhængig af observationsafstanden på samme måde vejoverfladens luminans.

Ved at beregne objekternes luminans, L_o^j i de samme punkter, i som vejoverfladens luminans, L_b^j kan man udregne luminansforskellen :

$$\Delta Li = L_o^j - L_b^j$$

som dermed også er en fordeling, der er uafhængig af observationsafstanden. Det bemærkes at det vertikale objekts luminans udregnes i højden 0, dvs. i vejens plan. ΔLi er altså luminansforskellen mellem objektets nederste del og vejen. At luminansforskellen mellem højere liggende dele af objektet og vejen bagved kan være lidt anderledes, lades altså ude af betragtning, idet det antages at variationen i ΔLi -fordelingen overskygger dette forhold.

Fordelingerne af L_b^j og L_o^j udregnes med vejbelyningsprogrammet STANX i forbindelse med de lystekniske parametre, som er vist i Appendiks A, og den videre analyse foregår på grundlag heraf.

Objektets luminans, L_o^j omregnes efterfølgende i henhold til den givne reflektans.

For det vertikale objekt anvendes 10 reflektansværdier, der følger den statistiske fordeling af fodgængerreflektanser, KBL 75. Man får altså en fordeling af luminansforskelle, $\Delta Li,r$ på $10 \times 10 \times 10 = 1000$ værdier.

Når objektets størrelse og observationsafstanden er valgt kan objektets synsvinklen, α udregnes:

$$\alpha = \frac{21600}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{A'}{\pi}} \cdot \frac{1}{S} \quad [\text{bueminutter}]$$

hvor A' er objektets tilsyneladende areal, dvs. arealet projiceret vinkelret på synsretningen.
 S er observationsafstanden

For det vertikale objekt er A' lig med arealet ($A' = A = 0,18 \times 0,18 \text{ m}^2$).

For det horisontale objekt er

$$A' = A \cdot h_o/S$$

hvor A er det horisontale areal (1 m^2)

h_o er øjenhøjden ($1,2 \text{ m}$)

S er observationsafstanden

Tærskelværdien for hvert punkt på vejen udregnes i henhold til Adrians formelsæt som:

$$\Delta L_{th}^{i,r} = f_{Adrian}(L_b, L_s, \pm(\Delta Li,r), \alpha, t, Age)$$

hvor parametrene i parenteser beskriver modelsituationen:

L_b^j er baggrundsluminansen, dvs. vejens luminans i punktet.

L_s^j er sløringsluminansen ved betragtning af punktet. Værdien gælder for en ung observatør. I modellens aldersfunktion omregnes sløringsluminansen til den givne alder. Se i øvrigt Appendiks C.

$\pm(\Delta L)$ er luminansforskellens fortegn.

α er synsvinklen til objektet i den givne afstand [bueminutter].

t er observationstiden [s] ($0,2 \text{ s}$)

Age er observatørens alder [år].

og Visibility Level som:

$$VLI_{i,r} = \Delta Li,r / \Delta L_{th}^{i,r}$$

Denne fordeling indeholder 1000 værdier for det vertikale objekt (hvor reflektansen er varieret) og 100 værdier for det horisontale, hvor der regnes med én reflektans ad gangen. I begge tilfælde kan den statistiske fordeling optegnes.

Fig. 7a, b og c viser sumfordelinger, også kaldet en sumkurver.

Det er også muligt at udregne en fordeling af synsafstand under antagelse af et bestemt krav til Visibility Level, f.eks. $VL = 4$. Det sker i praksis ved en iteration i et EDB-program: For hvert punkt i (og hver objektreflektans r) justeres afstanden S indtil $VL_{i,r} = 4$.

Appendiks C. Blænding fra modkørende

Noget af det lys der rammer øjet spredes i uklarheder i hornhinden, i øjets linse eller i øjeæblet, som derved får en vis luminans. Denne luminans adderer sig til alle luminanser i synsfeltet som et slør og kaldes derfor sløringsluminans. Hvis der forekommer meget store luminansforskelle så som uafskærmede lyskilder i synsfeltet kan dette slør blive mærkbart i forhold til baggrundsluminansen (vejens luminans), og man taler om synsnedsættende blænding.

Når et anlæg er konstrueret i henhold til vejbelysningsreglerne, kommer den eneste nævneværdige blænding fra modkørende motorkøretøjer.

Der er tale om et rent fysisk og fysiologisk fænomen, som er kvantificeret ved den kendte Holladays formel fra 1926 for sløringsluminans fra koncentrerede blændingskilder:

$$L_s = k \cdot \sum \frac{E_o}{\theta^2} \quad [\text{cd/m}^2]$$

hvor k er en konstant, som normalt er 10 og gælder for et ungt menneske.

Σ angiver summation over flere blændingskilder

E_o belysningsstyrken fra blændingskilden på øjets plan (vinkelret på synsretningen).

θ er vinklen mellem synsretningen og retningen til blændingskilden målt i grader.

Konstanten, k er afhængig af observatørens alder, idet uklarhederne i øjet øges med alderen. Adrian (1989) stiller et udtryk aldersafhængigheden til rådighed:

$$k = (0,0752 \cdot \text{Age} - 1,883)^2 + 9,2$$

Denne aldersfunktion er indbygget i Adrians synlighedsmodel af 1989.

Fig. 11 viser sløringsluminansen fra en modkørende bil afhængigt af mødeafstanden og ved sideværts placering svarende til henholdsvis 1, 2, 3, 4 og 5 kørespors afstand. Den modkørende bil tænkes forsynet med 2 stk. H4 nærløslygter i 1,6 m indbyrdes afstand.