

## Vägskyltars synbarhet med nya typer av fordonsbelysning, TRV 201585041

Maria Nilsson Tengelin och Stefan Källberg

# Abstract

## Road sign visibility with modern headlamps

Retroreflective road signs and vehicle headlamps are important factors that contribute to road safety, especially during the dark hours of the day. In this report we investigate whether modern vehicle light sources such as LED and HID influence the visibility of road signs compared to traditional halogen lamps, with focus on colour recognition and retroreflection. Furthermore, an analysis of potential glare hazards based on estimated illuminances at the eye from oncoming traffic and retroreflected light from road signs has been performed. The results show that LED headlamps significantly affect the coefficient of retroreflection for blue, red and green signs, with lower retroreflection in the red and higher for blue and green. As for colour recognition it is shown that different viewing geometries will have a minor impact on the road sign face colour, while different types of headlamps will produce quite significant colour shifts. However, as the separation between different colours tend to stay the same or even increase with LED or HID compared to halogen lamps, the risk for misjudging nearby colours is considered small. Also, since the retroreflection of white and yellow sign materials are not much affected by the spectral content from new types of headlamps the risk of disability glare from a white or yellow sign is not increased with LED- or HID-lamps compared to halogen lamps given similar light distribution and output from the lamps. Regarding glare from road signs in general the analysis shows that when using low beam headlights the light levels retroreflected to the driver are significantly below the levels produced by low beam headlights from oncoming traffic. However, when using high beam headlights, the retroreflected light levels could be high enough to produce discomfort and disability glare. This should be paid attention to when planning rural roads.

Key words: Retroreflection, Road signs, Headlamps, HID, LED, Colour recognition, Glare

# Innehåll

<b>Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>Innehåll .....</b>	<b>2</b>
<b>Förord .....</b>	<b>3</b>
<b>Sammanfattning .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Introduktion.....</b>	<b>5</b>
1.1 Begrepp och terminologi .....	6
1.1.1 Fotometriska storheter och retroreflektion .....	6
1.1.2 Bländning .....	8
<b>2 Metod.....</b>	<b>9</b>
2.1 Undersökta skyltmaterial .....	9
2.2 Experimentuppställning .....	10
2.3 Inkluderade fordonslampor .....	11
2.4 Analysmetod retroreflektion .....	12
2.5 Analysmetod bländning .....	13
<b>3 Resultat.....</b>	<b>15</b>
3.1 Spektral retroreflektionskoefficient .....	15
3.2 Färegenskaper .....	16
3.2.1 Vägs skyltarnas färg vid olika observations- och infallsvinklar .....	16
3.2.2 Färg hos vägs kyltmaterial med olika ljuskällor.....	17
3.3 Retroreflektion vid olika ljuskällor .....	18
3.4 Resultat bländning .....	20
<b>4 Slutsatser och diskussion .....</b>	<b>23</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>24</b>

## Förord

Slutrapporten är framtagen med ekonomiskt stöd från Trafikverkets Skyltfond. Ståndpunkter, slutsatser och arbetsmetoder i rapporten reflekterar författarna och överensstämmer inte med nödvändighet med Trafikverkets ståndpunkter, slutsatser och arbetsmetoder inom rapportens ämnesområde.

Syftet med detta projekt har varit att utreda om vägskyltar blir mer bländande, mer svårlästa eller uppfattas annorlunda färgmässigt med en modern LED- eller Xenon-baserad fordonsbelysning jämfört med en traditionell belysning med halogen-glödlampor.

Inom projektet har följande trafiksäkerhetsnytta erhållits: Det har påvisats att man bör se över synbarheten för röda skyltar eftersom de riskerar att ha upp mot 50 % lägre retro-reflektion för fordon med LED-belysning jämfört med traditionella halogenlampor. Man bör också beakta att stora gröna och blå skyltar kan innebära en ökad bländningsrisk för förare av fordon med LED- eller HID-belysning. Med skyltar i nyskick tycks det inte vara någon risk att felbedöma färgen på skyltmaterialet, så länge man har fordonsbelysning med spektralinhåll inom tillåtna gränsvärden. Dock vet vi inte hur det ser ut för skyltar som åldrats och solblekts eller för lokalprintade skyltar.

Resultat från denna studie har använts i ett konferensbidrag och presenterats i en muntlig presentation på CIE midterm meeting "Smarter Lighting for Better Life", under oktober 2017 i Jeju, Korea. En fullständig artikel skriven på engelska har även publicerats i proceedings till samma konferens [1]. Delar av denna rapport är en översättning till svenska av den publicerade artikeln. Resultaten har även kommunicerats till tillverkare av reflexmaterial och till personer på trafikverket som ansvarar för upphandling av fasta vägmärken. Studieresultaten kommer även att spridas till deltagarna i den svenska arbetsgrupp som hanterar standardiseringsarbetet på området.

## Sammanfattning

Trots att vi idag använder många elektroniska hjälpmedel för att navigera och få varningssignaler i våra fordon är vi fortfarande i väldigt hög grad beroende av vägs skyltar och den information de förmedlar. Om man missar skylten eller skyltens budskap eller inte uppfattar den i god tid kommer det leda till misstag och osäkra situationer i trafiken som i värsta fall kan leda till olyckor. Under dygnets mörka timmar förlitar vi oss på fordonsbelysningen för att kunna se vår omgivning, däribland vägs skyltar. Skyltarna måste även då vara synliga, tydliga och ha rätt färg. Retroreflekterande skyltar och fordonslampor fyller därför en viktig funktion i att bidra till ökad trafiksäkerhet, speciellt under dygnets mörka timmar, men även i dagsljus vid vädersituationer som komplicerar sikten.

I denna studie har vi undersökt om modern fordonsbelysning med LED- och HID-lampor påverkar synbarheten hos vägs skyltar när man jämför med traditionella halogenlampor. Fokus har legat på färgigenkänning, retroreflektionsförmåga och bländningsrisker. I studien har vi inkluderat 40 prover retroreflekterande material av olika sorter och i ett flertal olika färger. På dessa har vi mätt upp retroreflektion och färg i ett 60-tal olika betraktning geometrier. Mätningar har gjorts med ett flertal olika ljuskällor (fordonslampor), såsom halogen, LED och HID (Xenon). De erhållna värdena har analyserats tillsammans med spektralfördelningar hos de olika ljuskällorna för att ge en komplett färginformation. En typisk ljusfördelning hos ett LED-baserat hel- och halvljus har använts i beräkningar av bländningsrisker för ett antal olika skyltpositioner och typ av skylt.

Resultaten visar att man med LED-lampor kraftigt påverkar retroreflektionskoefficienten på blå, gröna och röda skyltar, med lägre retroreflektion på rött material och högre retroreflektion på blått och grönt. För vita och gula skyltmaterial är retroreflektionen i stort sett opåverkad, vilket gör att risken för synnedsett bländning från skyltar med dessa färger troligtvis inte är större med nya typer av fordonsbelysning, givet liknande ljusfördelning och ljusmängd från lamporna. Beräkningarna visar att vid körning med halvljus är nivåerna på ljuset som reflekteras från skyltar och når förarens ögon normalt betydligt lägre än de nivåer som uppstår när man möter trafik som också har halvljus. Med helljus däremot når man ljusnivåer som sannolikt kan orsaka såväl synnedsett som obehagsbländning. Detta bör speciellt beaktas när man planerar vägar med lågt trafikflöde utanför stadsbebyggelse.

Vid analys av hur de retroreflekterande materialens färg upplevs ur olika betraktning vinklar visade mätningarna att olika geometrier enbart har en mindre påverkan på retroreflekterad färg. Däremot kan man få betydande färgskiftningar när man belyser skyltarna med olika typer av fordonslampor. Mätningarna och efterföljande analys visar dock att vid byte från exempelvis halogen till LED-belysning flyttar sig alla färger i färgrymden ungefär lika mycket, vilket gör att risken för att ta fel på närliggande färger är liten. Det kan dock inte uteslutas att situationen kan se annorlunda ut för andra material och ljuskällor än de som inkluderats i denna studie.

# 1 Introduktion

En kort reaktionstid och att man som förare kan fatta korrekta beslut om körriktning, hastighet, samt vart man riktar sin uppmärksamhet är väldigt viktiga faktorer för trafiksäkerheten. För detta förlitar sig trafikanter i stor utsträckning till vägskyltar och den information som finns på dessa. Vägskyltar skall vara tydliga att uppfatta och förstå så att man snabbt kan fatta rätt beslut i trafiken. Samtidigt vill man undvika att vägskyltar ger bländande reflexer som har en negativ påverkan på trafikanternas sikt. Detta gäller förstås såväl i dagsljus (solreflexer) som vid mörkerkörning. Bländning uppstår när ögat utsätts för en avsevärt högre luminans än det är adapterat till och är besvärande framförallt i avsaknad av dagsljus eftersom ögat då är anpassat till låga ljusnivåer. Speciellt äldre bilförare riskerar att besväras av bländning, bland annat på grund av grumling av ögats lins, vilket gör att en 60-åring ögon normalt är åtskilliga gånger känsligare för bländning än en 20-åring.

För att öka synbarheten vid mörkerkörning är vägskyltarnas yta belagd med ett retroreflekterande material, d.v.s. utformade som reflexer, vilket medför att det ljus som kommer från fordonsbelysningen reflekteras på skylten och tillbaka till föraren. Vägskyltarnas funktion och utseende regleras i olika standarder och reglementen, och skyltmaterialet måste alltid testas mot dessa innan de tas i bruk. På nationell nivå har vi i Sverige Vägmarkesförordningen (SFS 2007:90) [2], Transportstyrelsens föreskrifter om vägmärken: VVFS 2007:305, VVFS 2008:272 [3, 4] och Trafikverkets krav för vägars och gators utformning, VGU [5]. Internationellt finns bland annat den europeiska standarden "Vägutrustning –Permanent vägmärken- Del 1: Fasta vägmärken" EN 12899-1:2007 [6], och den amerikanska ASTM D4956 [7] som tillämpas i USA. I den nuvarande versionen av EN 12899-1 från 2007 finns inte angivet några krav gällande retroreflekterad färg, s.k. "night-time chromaticity". Krav för detta finns i ASTM D4956 men bara baserat på en glödlampa som ljuskälla (CIE standard illuminant A). Vidare så är kraven i dessa standarder och de typprovningar som utförs i enlighet med dessa standarder gällande retroreflektion baserade enbart på användandet traditionell fordonsbelysning baserad på glödlampor och riskerar därför att vara mindre relevanta för nyare typer av billampor. Utvecklingen av nya ljuskällor har gått fort framåt de senaste 10-15 åren och användande av andra typer av fordonsbelysning har ökat i snabb takt. Även om halogenlampor fortfarande är den vanligaste typen av ljuskällor i bilstrålkastare förutspås dessa under kommande år tappa mark mot framförallt LED-baserade strålkastare, en utveckling som redan påbörjats [8]. Detta gör det naturligtvis viktigt att säkerställa att trafiksäkerheten inte riskerar att försämrats med vare sig LED- eller Xenon-lyktor på fordonen, något som detta projekt syftar till att utröna.

## 1.1 Begrepp och terminologi

### 1.1.1 Fotometriska storheter och retroreflektion

Retroreflekterande material fungerar så att de bryter inkommande ljus och skickar tillbaka det i riktning mot ljuskällan med en liten spridning. Detta gör att det inte krävs så mycket ljus för att kunna upptäcka en reflex eller ett retroreflekterande material. Retroreflektion mäts genom att detektera ljus som reflekterats från ett prov i en viss riktning tillbaka mot ljuskällan.

De grundläggande s.k. fotometriska storheterna är följande:

**Ljusflöde** är den totala strålning, inom det synliga området, som utgår från en ljuskälla. Enheten för ljusflöde är lumen (lm).

**Ljusstyrka** är ljusflödet i en bestämd riktning, definierat som ljusflöde per rymdvinkel. Ljusstyrka mäts i candela (cd).

**Belysningsstyrka (illuminans)** definieras som det ljusflöde som träffar en yta. Enheten för belysningsstyrka är lux (lx). För små ljuskällor eller stora avstånd gäller oftast sambandet  $\text{illuminans} = \text{ljusstyrka} / \text{avstånd}^2$  (inverse-square law)

**Luminans** är ljusstyrkan per ytenhet och mäts i  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

För retroreflektion används ofta följande begrepp som kan vara bra att känna till:

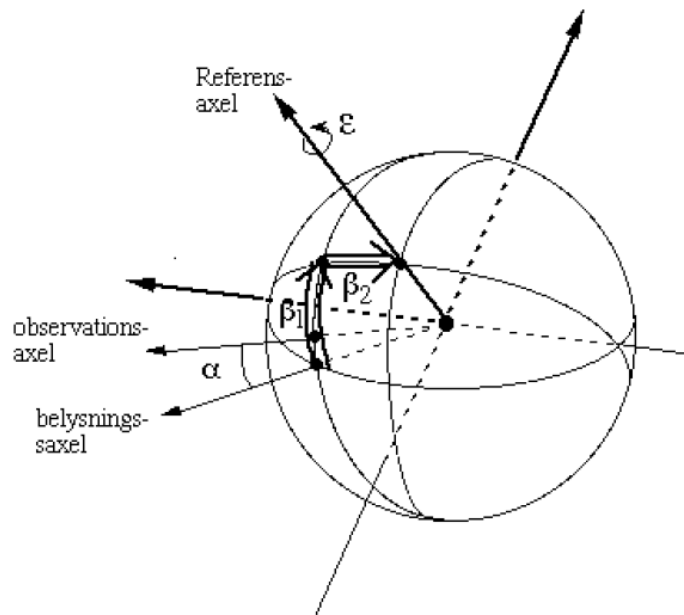
**Retroreflektionsförmåga** är kvoten mellan luminansen hos reflexen i observationsriktningen och belysningsstyrkan vid reflexen i ett plan vinkelrätt mot det infallande ljusets riktning. Reflektionsförmågan mäts i enheten  $\text{cd}/(\text{lx} \cdot \text{m}^2)$ .

**Observationsvinkel** ( $\alpha$ ) är den vinkel som bildas mellan ljuskällan, reflexen och observatören (se figur 1).

**Infallsvinkel** ( $\beta$ ) är vinkeln mellan reflektorns normal och det infallande ljusets riktning. Den delas ofta upp i två komponenter, den vertikala,  $\beta_1$  och den horisontella,  $\beta_2$ . (se figur 1).

**Rotationsvinkel** ( $\varepsilon$ ) är vinkel mellan reflexens orientering och referensaxeln.

Fyra vinklar är tillräckligt för att beskriva geometrin och den optiska inverkan en retroreflektor har på infallande ljus. Dessa är observationsvinkeln  $\alpha$ , rotationsvinkeln  $\varepsilon$  och de två komponenterna av infallsvinkeln  $\beta_1$  och  $\beta_2$  (se figur 1).



**Figur 1.** Referenssystem för specifikation av retroreflektorer.  $\alpha$  är observationsvinkeln,  $\beta_1$  och  $\beta_2$  är infallsvinkelns komponenter och  $\epsilon$  är reflexens rotationsvinkel (efter [9]).

När det gäller det mänskliga ögats förmåga att uppfatta ljus talar man om tre olika moder: *fotopisk*, *mesopisk* och *skotopisk*.

**Fotopisk syn** inträffar vid höga ljusnivåer och kännetecknas av låg ljuskänslighet och hög skärpa. I ögat är tapparna de mesta aktiva receptorerna och man har gott färgseende.

**Skotopisk syn** har man vid väldigt låga ljusnivåer och kännetecknas av en hög ljuskänslighet och dålig skärpa. Vid dessa nivåer detekteras ljuset av stavar och man har därför inget färgseende.

**Mesopisk syn** är ett mellanting mellan fotopisk och skotopisk syn med mixad tapp/stav-konfiguration och begränsat färgseende.

Normalt när man talar om ljus (fotometri) så utgår man oftast från fotopiskt seende där de fotometriska storheterna (luminans, illuminans etc.) bestäms genom att vikta motsvarande radiometriska storhet (radians, irradians etc.) med ögats spektrala känslighet under fotopiska förhållanden, den så kallade CIE 1931  $V(\lambda)$ -kurvan. Denna standardkurva har sitt högsta värde vid våglängden 555 nm (grönt ljus) och täcker ungefär våglängdsområdet 380–780 nm. Det kan vara värt att notera att bilkörning nattetid typiskt sker under mesopiska förhållanden (luminanser i området 0,001– 3  $\text{cd/m}^2$ ) [10] vilket ger en förskjutning av ögats spektrala respons mot det blå området, dvs. de fotometriska storheterna kan vara något missvisande.

### 1.1.2 Bländning

Bländning på grund av starkt direkt eller reflekterat ljus i ögat delas oftast in i två olika typer:

**Obehagsbländning** (discomfort glare): Påverkar ej synförmågan påtagligt, men kan ändå påverka en förarens beteende och körsätt. Ljus med mer blått innehåll upplevs ofta som mer obehagligt än varmare ljus [11].

**Synnedstättande bländning** (disability glare): En direkt försämring av synförmågan på grund av uppkomna slöjluminanser i ögat, vilka i sin tur reducerar kontrasten för t.ex. ett objekt som skall detekteras. Denna typ av bländning är oberoende av en ljuskällas spektrum men ökar med tilltagande ålder [12].

**Slöjluminans** (veiling luminance,  $L_V$ ): Oönskad och kontrastreducerande luminans som uppkommer i ögat på grund av infallande ljus. Det finns olika formler för att uppskatta  $L_V$  men samtliga visar att  $L_V$  är direkt proportionell mot illuminansen  $E$  vid ögat och dessutom beror på vinkeln  $\theta$  mellan den bländande källan och synriktningen. Den generella formeln (1) visas nedan där  $k$  är en åldersberoende konstant och  $n$  en exponent som kan variera med vinkeln till bländningskällan.

$$L_V = \frac{k \cdot E}{\theta^n} \quad (1)$$

Som tidigare nämnts kommer förekomsten av en slöjluminans reducera den faktiska kontrasten  $K$  mellan ett objekt och bakgrunden vilket kan beskrivas med ekvation (2), där  $L_O$  och  $L_B$  är objektets respektive bakgrundens luminanser. Effekten av en sådan synnedstättande bländning illustreras också i figur 2.

$$K = \frac{L_O - L_B}{L_B + L_V} \quad (2)$$



**Figur 2.** Simulering av ett rum sett utan signifikant bländning (vänster) respektive med kontrastreducering på grund av slöjluminanser i ögat (höger). Från [13].

Tidigare forskning har visat att det är illuminansnivåerna vid ögat som ger upphov till de slöjluminanser som orsakar den potentiellt synnedstättande kontrastreduceringen. I denna studie har vi därför undersökt illuminansnivåer som uppkommer vid ögat för en förare med mötande trafik med hel- respektive halvljus och jämfört dessa med nivåer som erhålls från retroreflekterande skyltar vid olika avstånd och i olika positioner.

## 2 Metod

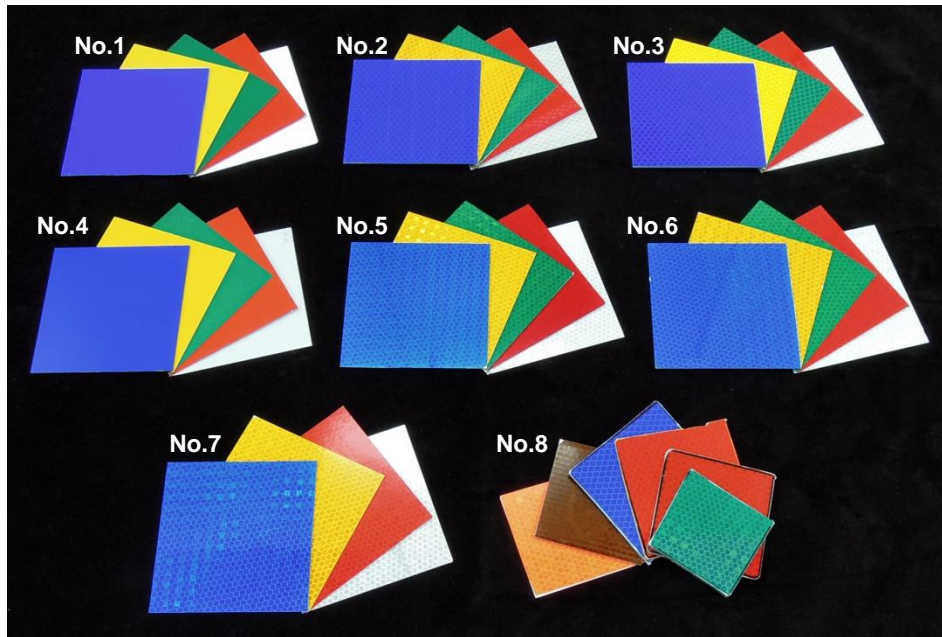
Denna studie baseras på data från sammanlagt 40 olika prover av retroreflekterande vägs skyltmaterial. Proverna som är av olika sorter och färger, mättes i ett 60-tal olika geometrier. Geometrierna är delvis hämtade från den europeiska standarden EN12899-1 [6], men även geometrier hämtade från prEN12899-6 [14] har inkluderats. För att kunna täcka in så många som möjligt av de fall som kan förekomma vid mörkerkörning, dvs. olika vägtyper, hastigheter, avstånd mellan fordon och skylt, skyltens position i förhållande till vägen mm, inkluderar de använda geometrierna ett brett intervall observationsvinklar  $\alpha$  (upp till  $3^\circ$ ), infallsvinklar  $\beta_{1, 2}$  (upp till  $40^\circ$ ) och några utvalda rotationsvinklar  $\varepsilon$  ( $0, \pm 45^\circ$  och  $90^\circ$ ). För varje material och geometri bestämdes den spektrala retroreflektionskoefficienten,  $R_A(\lambda)$ . Denna användes sedan i sin tur till att beräkna kromaticitet och retroreflektionskoefficienter för de olika materialen när de belyses med olika typer av vita ljuskällor som används i billyktor. Målet var att kunna besvara följande två frågor:

1. Hur återges skyltens färg och hur upplevs den i olika betraktningssituationer när den belyses med moderna fordonslampor vid olika geometrier?
2. I vilken utsträckning påverkar lamptypen (halogen, HID, LED) retroreflektionskoefficienten?

En kvalitativ analys avseende eventuella bländningsrisker från vägs skyltar har också genomförts. Denna baseras på mängden retroreflekterat ljus från olika skyltar, där skyltens placering, färg, storlek och position har varierats, och jämförs med typiska nivåer från mötande fordons hel- och halvljus.

### 2.1 Undersökta skyltmaterial

Studien inkluderade 34 prover med nya retroreflekterande material (set 1-7 i figur 3) i de fem vanligaste färgerna för permanenta vägs skyltar (blå, gul, grön, röd och vit). De flesta av proverna var mikroprismatiska, dvs. de är uppbyggda med mikroprismatisk optik för att få retroreflekterande egenskaper, och ett set prover (set 4) bygger på glaspärleteknologi. För att öka variationen och täcka in några fler färger, såsom brun och fluorescerande orange, och material med printade färger inkluderades även ett set med blandade udda prover (set 8). De 34 nya retroreflekterande proverna monterades på metallplattor med storleken  $100 \times 100$  mm med orienteringen på materialet ( $\varepsilon$ ) indikerad. Extraproverna i set 8 varierade en del i både form och storlek. Se tabell 1 för en specifikation av de olika seten. Typen (I-XI) är angiven enligt standarden ASTM D4956, medan ”Grade” är en icke-standardiserad beskrivning som kan variera mellan olika tillverkare. Vidare kan det noteras för set nr 5, att det vita provet är av en lite annan typ än övriga färger i det setet.



**Figur 3.** Retroreflekerande vägs skyltmaterial som utvärderats i studien

**Tabell 1.** Beskrivning av utvärderade material

Set nr	Typ	Grade	Kommentar
1	I	Adv. engineering	Non-metalized prismatic
2	IV	High intensity	
3	XI	Diamond	Fluorescerande gul
4	I	Engineering	Inbäddade glaspärlor
5	IV	High intensity	Vit Typ II
6	XI	Diamond	
7	VIII	Premium	
8	-	-	Blandade prover. Röda, blå och gröna printade färger.

## 2.2 Experimentuppställning

Mätningarna utfördes i ett automatiserat goniometersystem anpassat för provning av retroreflektion (figur 4). För majoriteten av mätningarna användes en fordonslampa av halogentyp som ljuskälla, men för kontroll och verifiering av beräknade värden utfördes även en del mätningar med LED och HID-lampor. Proverna monteras på ett avstånd av 11,6 m från lampa och spektrofotometer. Med spektrofotometern mäts spektral retroreflektion för utvärdering av provernas spektrala egenskaper.



(a) Spektrofotometer och lampa

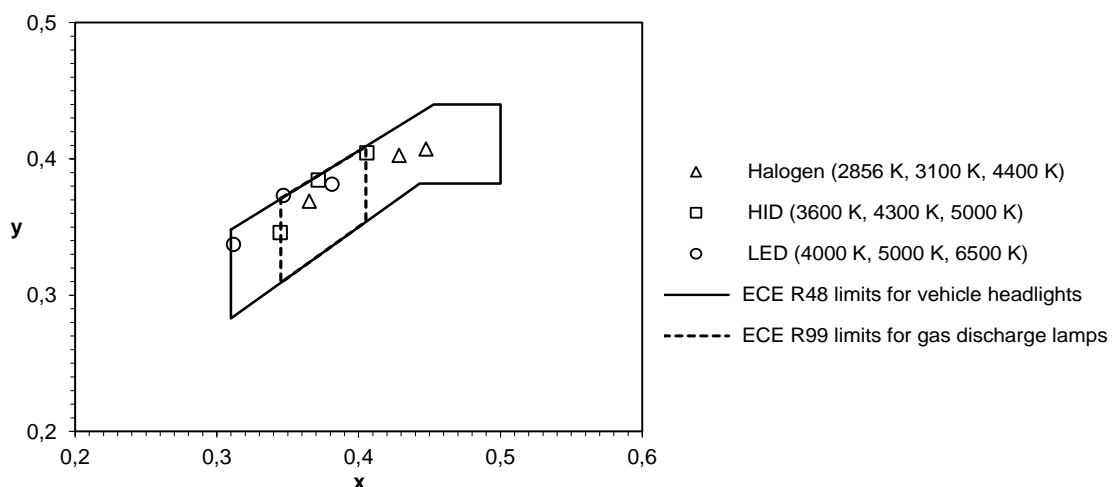
(b) Provhållare

**Figur 4.** Goniometer för retroreflektionsmätning

Med hjälp av stegmotorer kan proverna vridas till olika valda kombinationer av infallsvinklar ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ) och rotationsvinklar ( $\varepsilon$ ). Olika observationsvinklar ( $\alpha$ ) åstadkoms genom att höja och luta spektrofotometern i förhållande till lampan.

## 2.3 Inkluderade fordonslampor

Totalt har åtta olika typiska fordonslampor inkluderats i studien. Dessutom har även inkluderats CIE standard illuminant A, vilket är den ljuskälla som standarderna (EN12899-1, ASTM D4956) hänvisar till. Spektrumerna för samtliga utvalda lampor är inom tillåtna gränsvärden enligt regelverken (ECE R48 och R99), se figur 5.



**Figur 5.** CIE 1931 kromacitetskoordinater för de ljuskällor som använts för att analysera de retroreflektande proverna, inklusive CIE standard illuminant A.

## 2.4 Analysmetod retroreflektion

För varje prov och geometri, mättes den spektrala radiansen  $L_e(\lambda)$  med en spektrofotometer (380-780 nm i steg om 2 nm, bandbredd 14 nm). Den uppmätta radiansen användes för att bestämma den spektrala retroreflektionskoefficienten  $R_A(\lambda)$  enligt:

$$R_A(\lambda) = \frac{L_e(\lambda) \cdot A_{\text{meas}}}{E_e(\lambda) \cdot A_{\text{rr}}} \quad (3)$$

där  $E_e(\lambda)$  är den spektrala irradiansen vinkelrätt mot provet,  $A_{\text{meas}}$  är mätytan som definieras av spektrofotometerens synfält och  $A_{\text{rr}}$  är arean hos det retroreflekterande provet. Kvoten  $A_{\text{meas}}/A_{\text{rr}}$  bestäms för varje provarea genom att beräkna kvoten av en under- och en överfylld mätning vid en infallsvinkel nära provets normalriktning.  $E_e(\lambda)$  bestäms från illuminansen i provets plan, ljuskällans spektralinhåll och de generella sambanden mellan fotometriska och radiometriska storheter.

Från  $R_A(\lambda)$  kan retroreflektionskoefficienten  $R_A$  beräknas för olika ljuskällor enligt:

$$R_A = \frac{\int_{380}^{780} R_A(\lambda) \cdot S_e(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} S_e(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

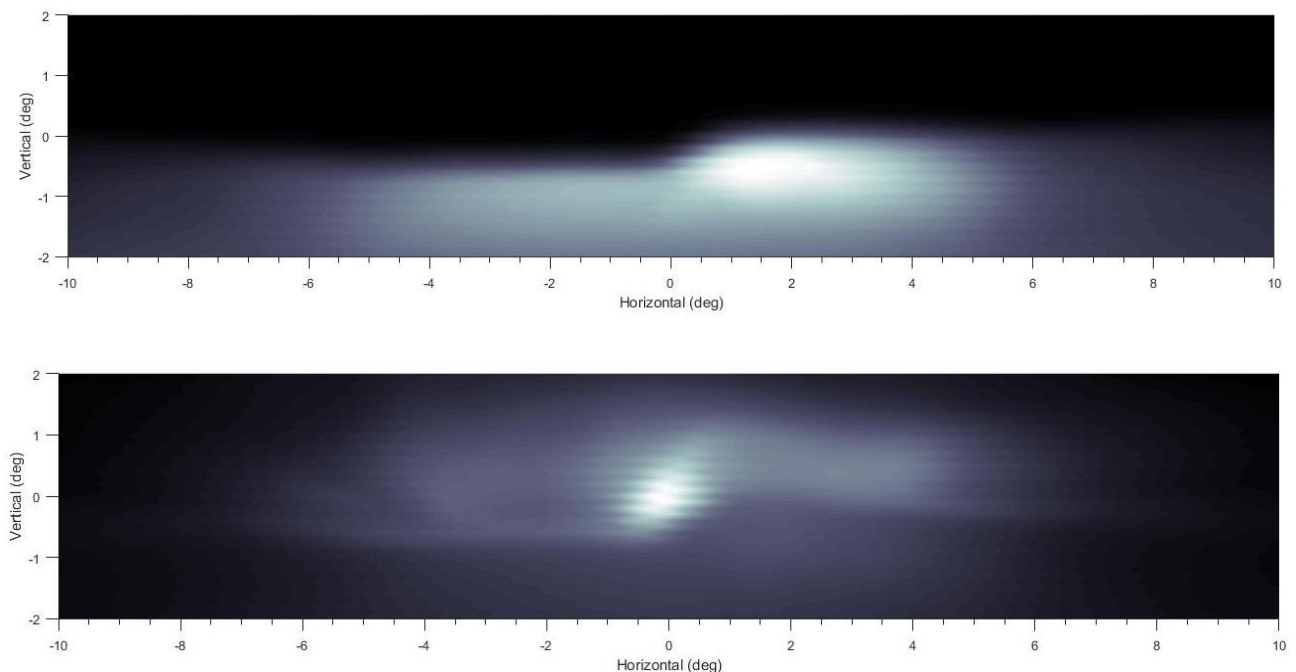
där  $S_e(\lambda)$  är den spektrala fördelningsfunktionen (spektralinhållet) för varje ljuskälla och  $V(\lambda)$  är ögats spektrala känslighetskurva.

Färgen (kromaticiteten) hos det retroreflekterade ljuset beräknades med en standard-kolorimetri baserad på färgrymden CIE 1931, vilket gav tristimulusvärdena  $X$ ,  $Y$  och  $Z$  och vidare färgkoordinaterna  $x$  och  $y$  för det reflekterade ljuset. För att bättre kunna analysera färgvariationer som erhålls med olika ljuskällor gjordes en övergång till en annan färgrymd (CIELAB 1976) enligt en metod som tidigare beskrivits av Sivak et al. [15]. I CIELAB 1976 används parametrarna  $L^*$ ,  $a^*$  och  $b^*$  för att beskriva en viss färg, och färgskillnader anges i  $\Delta E$ , som är det Euklidiska avståndet mellan två färger i färgrymden. Färgskiftningar som uppkommer under olika belysningar säger väldigt lite om förmågan att kunna identifiera en viss färg eftersom människan kan uppfatta och identifiera färger inom ett brett intervall av belysningsförhållanden [16,17]. I färgrymden CIE 1931 står inte storlekarna på färgområden i proportion till varandra. Till exempel upplevs en viss skillnad i  $x$ -värde som mycket större för gula och röda färger än för gröna. CIE 1931 är därför inte lämpligt för att jämföra färgskiftningar för olika färger eller för att analysera avstånd mellan dem. Här passar därför CIELAB 1976 bättre eftersom en viss färgskillnad,  $\Delta E$ , upplevs som ungefär lika stor för den mänskliga hjärnan oavsett var på färgkartan man befinner sig.

## 2.5 Analysmetod bländning

Från tidigare genomgång framgår att det är illuminansnivåerna vid ögat som ger upphov till de slöjluminanser som orsakar den potentiellt synnedsättande kontrastreduceringen. I denna studie har vi därför undersökt vilka illuminansnivåer som kan uppkomma vid ögat för en förare med mötande trafik med hel- respektive halvljus och jämfört dessa med nivåer som kan erhållas från retroreflekterande skyltar vid olika avstånd och i olika positioner.

I den genomförda analysen har ljusfördelningen hos en modern LED-baserad huvudstrålkastare använts i beräkningarna av illuminansnivåer från hel- och halvljus från mötande trafik, samt motsvarande nivåer från vägs skyltar. LED-strålkastaren som är karakteriserad på RISE under 2016 uppfyller det europeiska regelverket, huvudsakligen ECE R112, vad gäller ljusstyrka i olika riktningar och zoner. För halvljuset är kraven avseende maximal ljusstyrka satta just för att minimera risken att blända mötande trafik. För helljus är reglerna mindre detaljerade och en tillverkare kan därför välja att ha en bred ljusbild med kort räckvidd eller en mer fokuserad som därmed når längre. Även den totala mängden ljus kan variera beroende på typ av lampa (halogen, HID eller LED) och reflektor. Ljusfördelningen från den uppmätta LED-strålkastarens hel- och halvljus illustreras i figur 6 för vinklarna  $\pm 2^\circ$  respektive  $\pm 10^\circ$  i vertikal- respektive horisontalplanet.



**Figur 6.** Illustration över ljusfördelningen hos använd huvudstrålkastare. Den övre bilden visar ett halvljus med max ljusstyrka 24900 cd, den nedre ett helljus med max ljusstyrka 56600 cd.

Beräkningarna har utförts med följande antaganden:

1. Personbil utrustad med två identiska huvudstrålkastare separerade 1,2 m. Strålkastarhöjd 0,65 m, förarens ögonhöjd 1,2 m. Respektive lampa har behandlats separat avseende position i förhållande till förare.
2. Aktuella vinklar har avrundats till hela  $0,1^\circ$  för att matcha upplösningen i matriserna över strålkastarnas ljusstyrkor. Man får dock ge akt i de fall när aktuella vinklar motsvarar kraftiga förändringar i ljusstyrka, t.ex. i närheten av halvljusets s.k. cut-off- vinklar, då den begränsade upplösningen i kombination med avrundningseffekter kan ge till synes onaturliga steg i ljusstyrkan och beräknade illuminanser.
3. För retroreflekerat ljus från vägs skyltar har endast observationsvinkeln  $\alpha$  beaktats då de aktuella infallsvinklarna ( $\beta_1, \beta_2$ ) normalt är små och därmed har betydligt mindre påverkan på retroreflektionen. Detsamma gäller normalt för rotationsvinkeln  $\varepsilon$ . Skylten har också antagits vara vinkelrätt monterad i förhållande till färdriktningen, även då VGU föreskriver en mindre vridning på lokaliseringsmärken för att undvika speglade reflexer åt förarens håll.
4. Arean på skylten har tagits med i analysen, men skylten utbredning eller form har inte beaktats i övrigt, dvs. den har betraktats som punktformig i förhållande till strålkastare och förare.
5. Förare och strålkastare har placerats i samma plan, dvs. den normalt förekommande förskjutningen i längsled har försumrats.

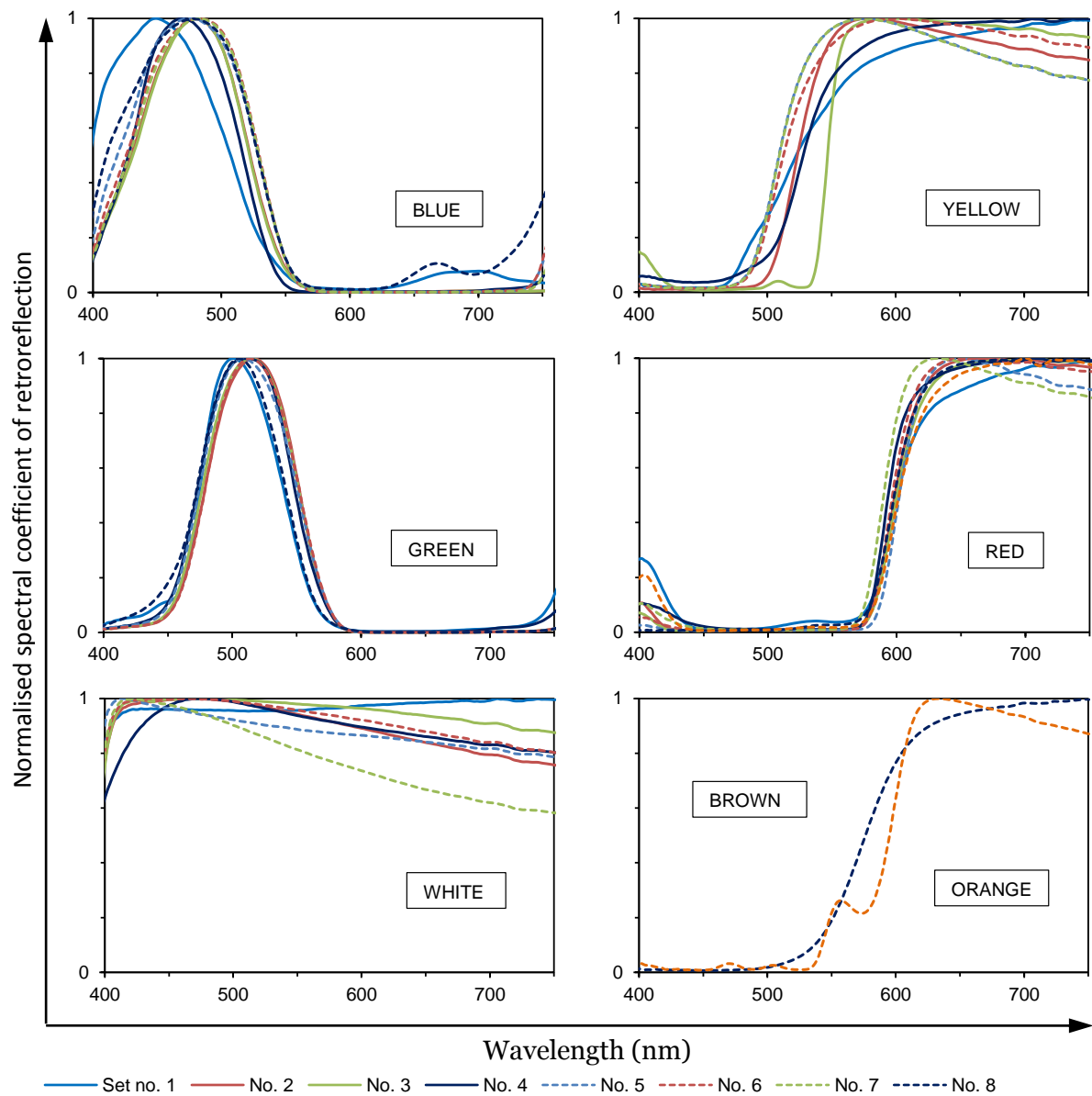
Analysen har genomförts på nio utvalda fall som beskrivs närmare i resultatdelen (se 3.4). Antaganden om vägbredder, skyltpositioner och typiska fordonsmått baseras på faktiska mätningar i kombination med underlag från VGU m.fl. [5,14,18]. Samtliga fall har studerats för både hel- och halvljus, och skyltens placering är i förhållande till bilens centrumaxel (horisontellt) respektive markplan (vertikalt). Mindre variationer av ovanstående parametrar kommer dock sannolikt påverka resultaten betydligt mindre än t.ex. faktiska skillnader mellan olika huvudstrålkastare. Retroreflektionsvärden från tre av de material vi mätt upp i projektet har använts i de olika studerade typfallen.

Flera tidigare studier har undersökt bländning från mötande trafik och kommit fram till att det kan räcka med en nivå på ca 0,1 lux för att ljuset från en mötande bil kan upplevas som besvärande [19]. Nivåer mellan 1 och 3 lux upplevs normalt som såpass obehagliga att man signalerar till föraren i den mötande bilen att blända av [19, 20], medan nivåer mellan 3 och 10 lux är nära den gräns där bländningen upplevs som outhärdlig [21]. Då just bländning från mötande trafik är något som de flesta förare kan relatera till har dessa illuminansnivåer jämförts med de nivåer som kan ges av retroreflekerande vägs skyltar av olika storlek, färg och position. Även om analysen inte ger ett entydigt svar på huruvida någon synnedsett bländning kan förekomma så bedöms den ändå ge en kvalitativ uppfattning om eventuella risker.

## 3 Resultat

### 3.1 Spektral retroreflektionskoefficient

Figur 7 nedan visar de spektrala retroreflektionskoefficienterna för de olika proverna uppmätta i standardgeometrin ( $\alpha=0,33^\circ$ ,  $\beta_1=5^\circ$ ,  $\beta_2$ ,  $\varepsilon=0^\circ$ ). Kurvorna är normerade så att  $\max R_A(\lambda)$  är 1 för alla prover. De röda respektive gröna proverna är väldigt lika inbördes medan variationen är större för de blå och gula skyltarna. Dock är ett av de gula materialen (set nr. 3) ett fluorescerande gult och denna färg har lite andra gränsvärden än vanliga gula.

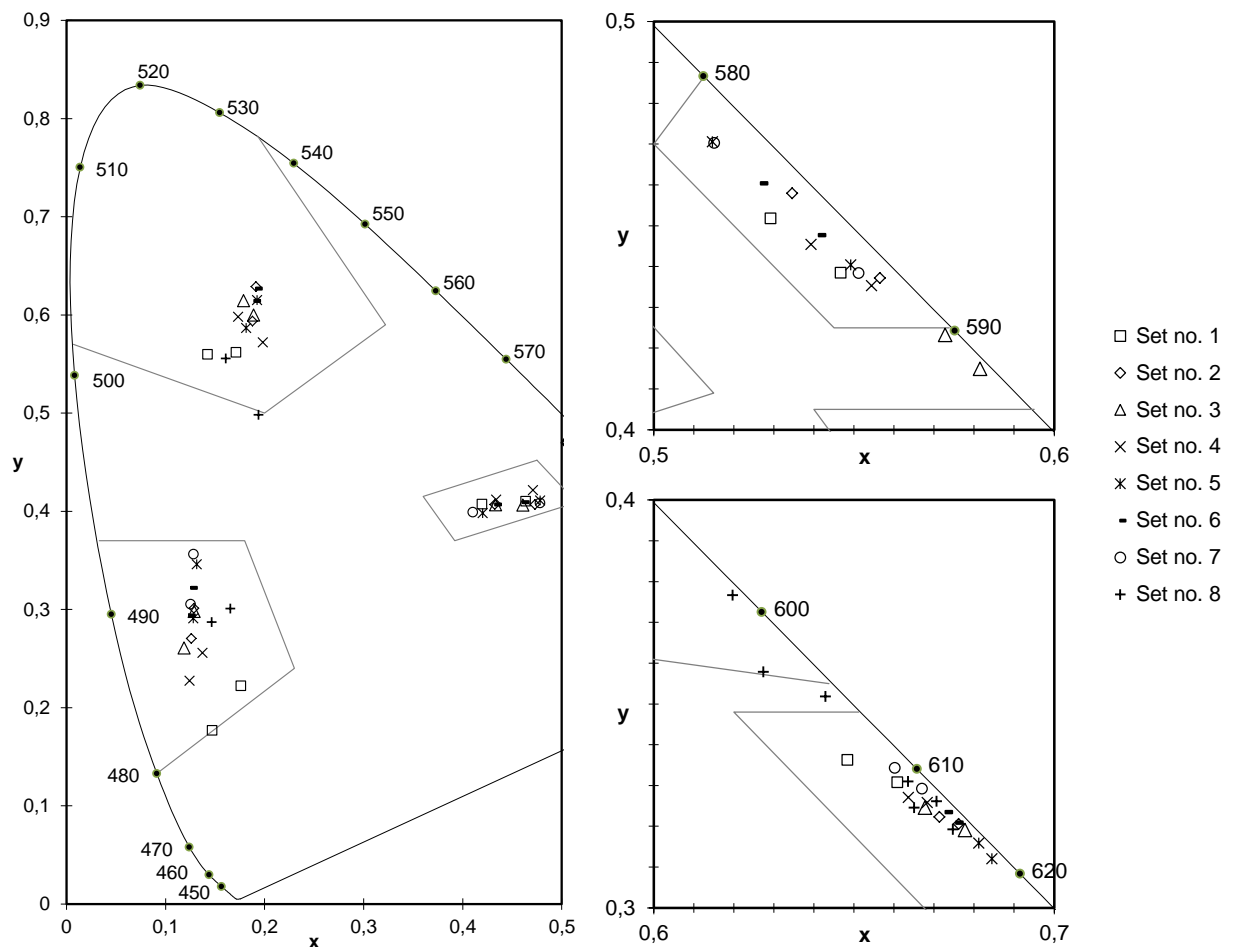


**Figur 7.** Normerade spektrala retroreflektionskoefficienter för de 40 utvärderade proverna.

## 3.2 Färgegenskaper

### 3.2.1 Vägskyltarnas färg vid olika observations- och infallsvinklar.

Färgskiftningar som beror av olika betraktningsgeometrier (hur skylten sitter i förhållande till fordonets lampor och föraren) presenteras i figur 8. Här visas största och minsta kromaticitetskoordinaterna i CIE 1931 färgrymd tillsammans med de gränser för olika färgområden som gäller för färg på retroreflekerat ljus i enlighet med standarden ASTM D4956. För att göra figuren tydligare har kantlinjerna för fluorescerande gul och orange utelämnats. Man kan notera att även då vi inkluderar stora observations- och infallsvinklar ( $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$  respektive  $40^{\circ}$ ), är färgerna när de belyses med CIE standard illuminant A inom de specificerade gränserna för nästan alla prover. Den variationsvidd i  $x$ - och  $y$ -värden som uppmäts mellan olika geometrier är i samma storleksordning även för övriga ljuskällor och ligger typiskt på några hundradelar. Generellt sett har blå, gröna och vita material större variationsvidder, i vissa fall så mycket som 0,06-0,07 i  $x$  eller  $y$ . Som tidigare nämnts är dock färgrymden CIE 1931 inte anpassad efter hur man upplever färgskillnader med mänskliga ögat och man kan därför inte säga något om upplevda färgskiftningar enbart genom att jämföra skift eller variationer baserat på dessa färgkoordinater.

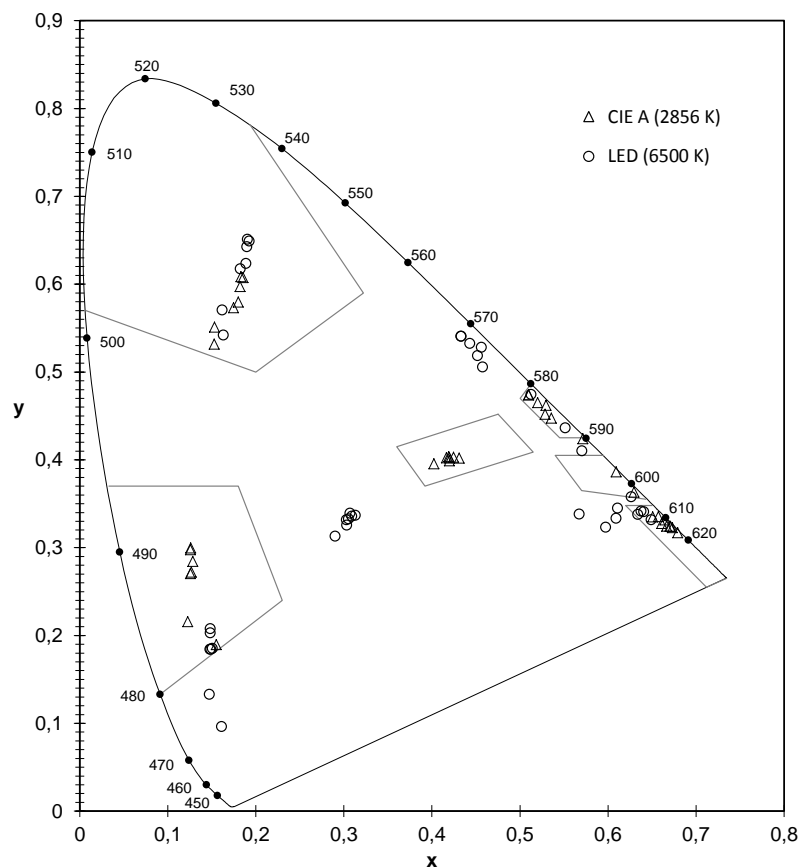


**Figur 8.** Kromaticitetskoordinater (max- och min-värden) för de uppmätta reflexmaterialen vid olika geometrier (CIE standard illuminant A)

Man kan också notera att ingen geometri verkar vara värre än någon annan när det gäller färgskiftningar eftersom extremvärdena i  $x$ - respektive  $y$ -värden inträffar inom ett brett intervall av observations- och infallsvinklar.

### 3.2.2 Färg hos vägslytmaterial med olika ljuskällor

En överblick över alla beräknade färger i standardgeometrin för de 40 proverna i färgrymden CIE 1931 visas i figur 9. Även färgområden för ”night-time colour” (retroreflektad färg) enligt standarden ASTM D4956 är inkluderade i figuren. Som förväntat ger ljuskällor med olika vitpunkt upphov till färgskiftningar för alla material. Detta illustreras i figur 9 för en LED-lampa med en färgtemperatur på 6500 K som ger de största färgskiften jämfört med CIE standard illuminant A. För att bättre analysera färgskiftningarna och kunna dra slutsatser om olika färger och deras separation från varandra gjordes en translation från färgrymden CIE 1931 till CIELAB. Den resulterande variationen i färg för olika för olika ljuskällor presenteras i tabell 2. Generellt sett ger en ljuskälla med högre färgtemperatur (kallare ljus) ett större skift i färg, med undantag för LED-ljus i kombination med grönt reflexmaterial. De största skiften i absoluta tal erhålls för blå och vita reflexmaterial.



**Figur 9.** Kromaticitetskoordinater för de uppmätta reflexmaterialen vid retroreflektion med CIE standard illuminant A och en 6500 K LED-lampa

Även om färgvariationen är betydande mellan olika ljuskällor bör man notera att människan är kapabel att kunna uppfatta och identifiera färger i en rad olika belysningar eftersom hjärnan gör korrigeringar efter vitpunkten. Man kan därför anta att man inte riskerar att missta en färg för en annan om inte separationen mellan olika färger minskar i färgrymden. Detta är oftast inte heller fallet om man ser till de ljuskällor vi inkluderat i studien (se tabell 3).

**Tabell 2.** Färgskift (medel) för olika ljuskällor relativt CIE illuminant A

Färg	Ändring i färg ( $\Delta E$ ) relativt CIE illuminant A							
	Halogen		HID			LED		
	3100 K	4400 K	3600 K	4300 K	5000 K	4000 K	5000 K	6500 K
Blå	7,1	25,0	23,4	42,7	70,0	56,7	61,0	72,2
Gul	3,7	14,7	11,9	18,4	19,9	15,6	25,8	31,7
Grön	3,1	16,6	10,1	12,8	24,1	6,9	7,6	7,3
Röd	3,5	15,1	17,8	28,5	34,0	16,8	25,1	43,2
Vit	7,2	32,8	13,9	27,5	43,4	25,8	35,8	53,1
Orange	3,4	13,2	18,5	27,4	29,7	17,3	26,0	31,6
Brun	2,8	9,8	16,0	22,5	24,3	16,5	24,4	29,7

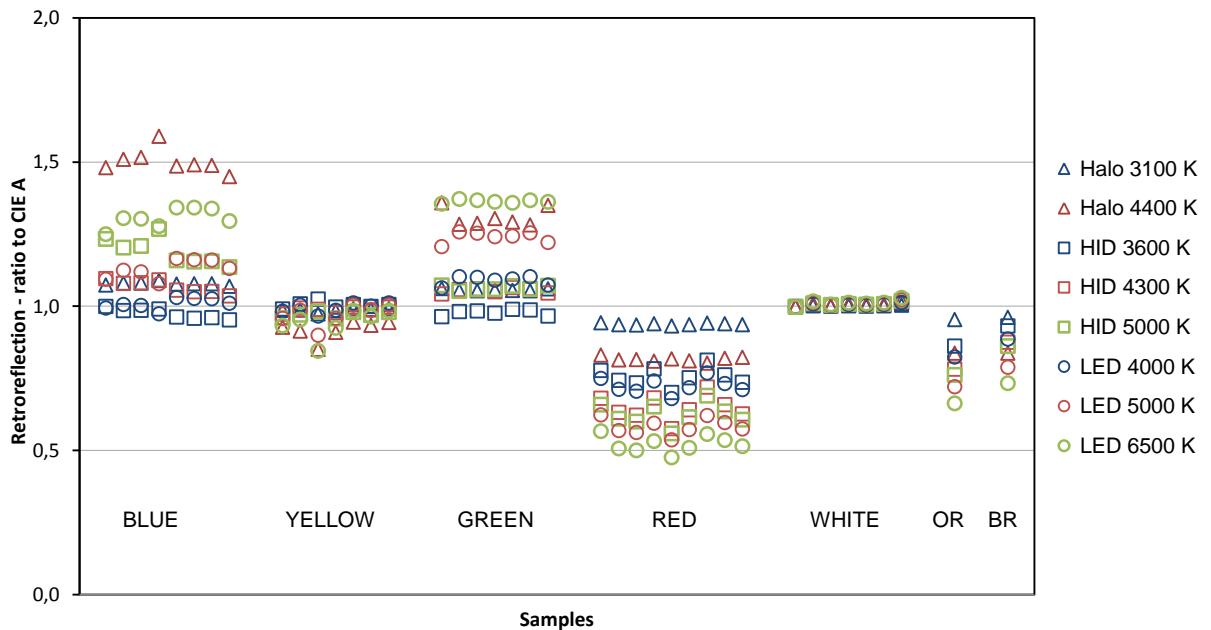
**Tabell 3.** Färgseparation (medel) mellan olika ljuskällor

Färgpar	Färgseparation $\Delta E$						
	CIE A	Halogen		HID		LED	
	2856 K	3100 K	4400 K	3600 K	5000 K	4000 K	6500 K
Vit-Blå	114	110	95	110	105	109	91
Grön-Blå	95	99	108	108	139	150	170
Gön-Gul	131	130	131	120	121	111	98
Blå-Gul	179	180	182	187	208	201	202
Gul-Röd	60	62	70	59	63	65	79
Orange-Brun	13	13	15	14	17	13	14
Röd-Orange	18	19	21	24	29	24	38
Orange -Gul	43	44	50	37	36	42	46

### 3.3 Retroreflektion vid olika ljuskällor

Den relativa skillnaden i retroreflektion relativt CIE standard illuminant A visas i figur 10 för alla prover och inkluderade ljuskällor. Den generella tendensen är att med högre färgtemperatur på ljuskällan får man högre värden på retroreflektionen för gröna och blå

material medan det motsatta gäller för orangea och röda material. Som kan utläsas ur figuren är variationen mellan prover av samma färg liten, vilket gör att man kan sammanfatta medelförändringen för varje färg (se tabell 4). Man kan notera att en LED-lampa med en hög färgtemperatur ger en minskning i luminans med nästan 50 % för röda skyltar jämfört med om man har en halogenlampa med samma intensitet och ljusfördelning. Detta är en kraftigare minskning än vad som rapporterats i en tidigare studie av Sivak et al. [22] och är av praktisk betydelse eftersom mängden LED-lampor ökar i fordonen. Dessutom är röd en viktig signalfärg inte minst på STOP-skyltar.



**Figur 10.** Förändring av retroreflektionskoefficient med olika ljuskällor relativt CIE standard illuminant A

**Tabell 4.** Förändring av retroreflektionskoefficient (medel) relativt CIE standard illuminant A

Färg	Förändring av retroreflektionskoefficient relativt CIE standard illuminant A (%)							
	Halogen		HID			LED		
	3100 K	4400 K	3600 K	4300 K	5000 K	4000 K	5000 K	6500 K
Blå	+8	+50	-3	+7	+19	+1	+13	+31
Gul	-1	-7	0	-1	-3	0	-2	-4
Grön	+6	+31	-2	+5	+6	+9	+24	+36
Röd	-6	-18	-25	-35	-38	-28	-42	-48
Vit	0	1	0	+1	+1	0	+1	+1
Orange	-5	-16	-14	-22	-24	-18	-28	-34
Brun	-4	-16	-7	-13	-14	-11	-21	-27

### 3.4 Resultat bländning

Totalt har nio olika typfall studerats vilka redovisas i tabell 5 nedan. I förekommande fall är skyltens placering horisontellt angiven relativt fordonets centrumaxel medan den vertikala är relativt vägbansnivå.

**Tabell 5.** Utvalda typfall för illuminans och luminansberäkningar.

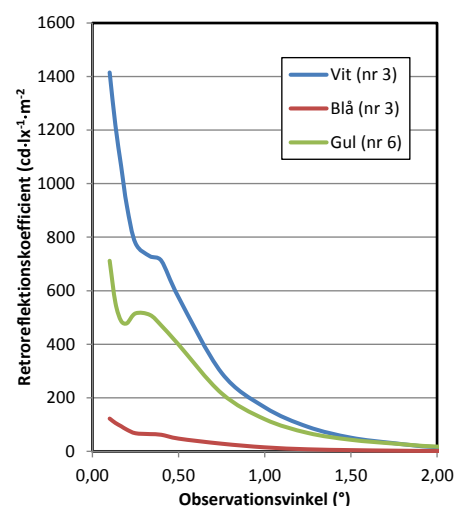
Fall nr	Beskrivning	Skyltplacering (m)		Skylt (material <sup>1</sup> / area)	Kommentar
		Vert	Horis		
1	Mötande bil på landsväg	-	-	-	Körfältsbredd 3,5 m
2	Låg placering, höger	1	5	Nr 3 / Vit / 1 m <sup>2</sup>	T.ex. minskning av antal körfält, vita lokaliseringsmärken
3	Normal placering	2,5	5	Nr 3 / Vit / 1 m <sup>2</sup>	
4	Portal	6,5	0	Nr 3 / Vit / 1 m <sup>2</sup>	
5	Normal placering	2,5	5	Nr 3 / Vit / 1 m <sup>2</sup>	Felinställda strålkastare, 1° uppåt
6	Normal placering	2,5	0-5 <sup>2</sup>	Nr 3 / Vit / 1 m <sup>2</sup>	Vänsterkurva
7	Normal placering	2,0	5	Nr 6 / Gul / 0,4 m <sup>2</sup>	Varningsskylt, stor
8	Normal placering	2,5	7	Nr 3 / Blå / 2 m <sup>2</sup>	Större blå lokaliseringsmärken
9	Portal	6,5	0	Nr 3 / Blå / 2 m <sup>2</sup>	

<sup>1</sup> Angivet nummer refererar till numreringen av utvärderade material enligt tabell 1.

<sup>2</sup> I beräkningen har det horisontella avståndet varierats mellan 0 och 5 m för att ungefärligt efterlikna en tänkbar geometri i en vänsterkurva

Uppmätta retroreflektionskoefficienter för olika observationsvinklar  $\alpha$  med övriga geometrier konstanta ( $\beta_1=5^\circ$ ,  $\beta_2=0$  och  $\varepsilon=0$ ) redovisas i figur 11 för de tre material som använts i fallstudien.

Observationsvinkel $\alpha$ (°)	Retroreflektionskoefficient (cd·lx <sup>-1</sup> ·m <sup>2</sup> )		
	Vit (nr 3)	Blå (nr 3)	Gul (nr 6)
0,10	1415	122	712
0,20	916	81,0	478
0,33	729	64,4	510
0,50	575	47,6	399
0,75	293	28,6	216
1,00	164	15,0	120
1,50	51,0	4,6	43,2
2,00	15,6	1,4	17,8
2,50	8,0	0,7	8,6



**Figur 11.** Uppmätt retroreflektion (ljuskälla A) för tre olika reflexmaterial.

Samtliga tre material är av högsta klassen (*diamond grade*) och skulle således motsvara värsta bländningsfallen för vägs skyltar. Det kan dock noteras att övriga studerade mikroprismatiska material beter sig på liknande sätt när det gäller retroreflektionens

avtagande med observationsvinkeln varför man med bibehållet kvalitativt resultat kan skala om resultaten för andra skyltmaterial. T.ex. anger VGU en maximal tillåten retroreflektion på  $270 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $\alpha=0,33^\circ$ ,  $\beta_1=5^\circ$ ,  $\beta_2=0$  och  $\varepsilon=0$ ) för vita reflexmaterial som används för vissa typer av större skyltar, varför resultaten för fall 2 – 6 skulle bli ca 2,7 gånger lägre förutsatt att maxkravet uppfylls.

En sammanfattning av erhållna resultat för dels illuminansnivåer vid ögat (från skylt alternativt mötande bil) och dels för skyltluminanser ges i tabell 6 nedan. De senare påverkar skyltens läsbarhet och beroende på rådande förhållanden kan luminansnivåer på 20-75  $\text{cd}/\text{m}^2$  anses vara optimala [18].

**Tabell 6.** Sammanfattning av beräknade resultat för de studerade fallen.

Fall nr	Illuminans från skylt vid förare (lx)				Luminans på skylt ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )			
	Helljus		Halvljus		Helljus		Halvljus	
	Max/pos <sup>1</sup>	Medel <sup>2</sup>	Max/pos	Medel	Max/pos	Medel	Max/pos	Medel
1	21,4 / 30	8,2	0,80 / 20	0,077	-	-	-	-
2	1,47 / 50	0,69	0,09 / 90	0,054	4400 / 80	3000	590 / 90	378
3	0,56 / 50	0,35	0,02 / 30	0,007	2800 / 110	2030	37 / 80	29
4	0,07 / 110	0,06	0,01 / 40	0,003	790 / 220	450	16 / 110	14
5	1,18 / 60	0,58	0,15 / 90	0,079	4360 / 80	2780	1660 / 130	820
6	0,72 / 60	0,45	0,03 / 30	0,008	3480 / 100	2540	39 / 70	29
7	0,24 / 50	0,14	0,01 / 30	0,002	2410 / 90	1750	31 / 180	24
8	0,07 / 60	0,04	0,003 / 30	0,001	220 / 110	150	3,1 / 60	2,4
9	0,01 / 110	0,01	0,002 / 40	0,001	70 / 220	39	1,4 / 110	1,2

<sup>1</sup> Med position ("pos") avses avståndet i meter från skylten eller den mötande bilen där maximal illuminans vid förarens öga noteras.

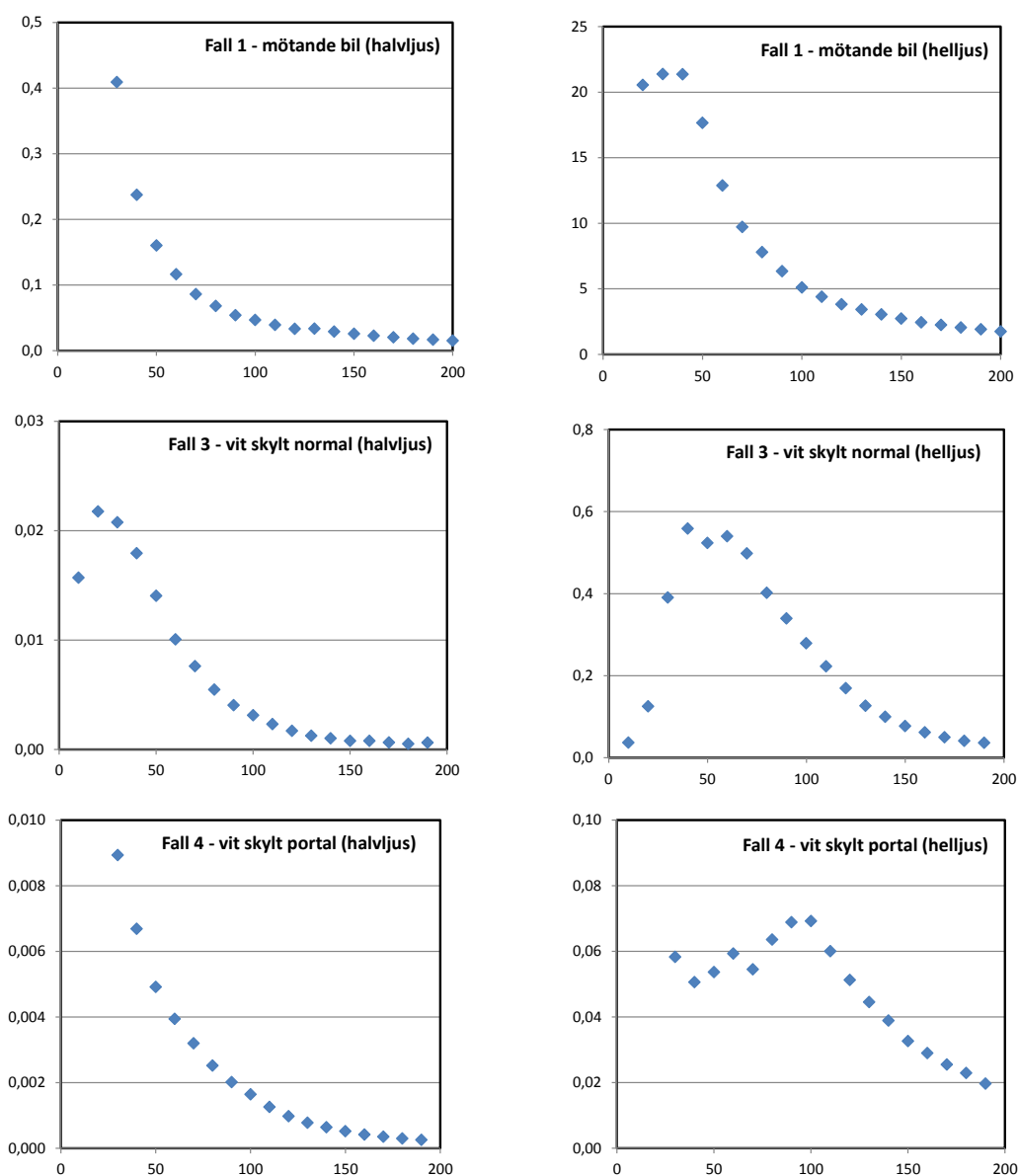
<sup>2</sup> Medelvärden för illuminans resp. luminans har beräknats för avståndet 40 – 150 m.

Från resultaten i tabell 6 kan man notera att med något enstaka undantag så ger det reflekterade ljuset från vägs skyltar med endast halvljus illuminansnivåer som ligger väl under de 0,1 lux som tidigare studier konstaterat kunna ge upphov till obehag. Med felinställt halvljus ( $1^\circ$  för högt, fall 5) kommer man upp i en maximal illuminans som är 0,15 lux men detta sker med en vit, högreflekterande skylt som dessutom överskrider trafikverkets rekommendationer vad gäller maximal retroreflektion för vita skyltar. En liknande geometri kan tänkas uppstå när ett fordon passerar över ett backkrön där man därför kan riskera högre nivåer än förväntat. I samtliga fall, undantaget felinställt halvljus, är de retroreflekterade ljusnivåerna vid körning med halvljus dock betydligt lägre än de som uppkommer av mötande fordons halvljus.

När det gäller skyltluminanserna ser man att nivåerna för vita och gula skyltar med halvljus ligger i närheten eller över det område som ger god läsbarhet. Blå skyltar har betydligt lägre luminanser men eftersom dessa skyltar normalt har vit text kommer kontrasten mellan text och bakgrund fortfarande ge god läsbarhet. Det kan dock vara

värt att notera att begränsningar i maximal retroreflektion i kombination med åldring och nedsmutsning riskerar att ge lägre luminansnivåer än vad som kan anses vara önskvärt för god läsbarhet. Det framgår också av tabell 6 att användande av helljus i flera av fallen kan resultera i så höga retroreflektade illuminansnivåer att skyltarna kan upplevas som bländande och också ha en synnedsättande påverkan. Även luminansnivåerna på skyltarna som i flera fall ligger betydligt över  $1000 \text{ cd/m}^2$  är så höga att läsbarheten riskerar att påverkas negativt pga. haloeffekter (utfrätning).

En illustration över några förlopp ges i figur 12 som visar hur illuminansnivåerna med hel- och halvljus förändras med avståndet, dels för fallet med mötande bil (fall 1), och dels för två olika placeringar av en vägskylt (fall 3 och 4). Man ser att förloppen skiljer sig en del åt beroende på skylten (eller bilens) placering respektive mellan hel- och halvljus, men i de flesta studerade fall ökar illuminansen kraftigt från avståndet ca 100 m för att nå sitt maximala värde vid 40-50 m från skylten.



**Figur 12.** Illuminansnivå vid förarens ögon (y-axel i lux) med avståndet till mötande fordon eller skylt (x-axel i meter).

## 4 Slutsatser och diskussion

Studien har visat att typen av fordonslampa kan ha en betydande effekt på retroreflektionen hos vägskyltmaterial. Med HID- eller LED-lampor ökar generellt retroreflektionen på gröna och blå material jämfört med om fordonet har en halogenlampa. Röda skyltar kan däremot tappa så mycket som 50 % i retroreflektion när man använder LED-belysning med spektralinhåll inom tillåtna gränsvärden. För färgåtergivning visar resultaten att olika betraktningsgeometrier har en väldigt liten påverkan på skyltens färg. Däremot kan man få stora färgskiftningar när man byter från en ljuskälla till en annan. Dock är separationen mellan närliggande färger, exempelvis grön och blå eller röd och orange, oförändrad eller till och med lite större när man byter från halogen till LED-lampor, så för de material och lampor som inkluderats i denna studie bedöms risken som väldigt liten att missta en färg för en annan. Det bör dock noteras att studien till största delen endast undersökt nya, enfärgade material som inte lokalprintats och dessutom med relativt nya strålkastare inom godkända gränser varför man inte kan utesluta att det kan förekomma fall där ovanstående slutsatser inte gäller.

Om man endast beaktar skillnader i spektrum mellan olika typer av strålkastare blir förändringen i retroreflektion väldigt liten för vita och gula skyltar. Eftersom dessa färger har betydligt högre retroreflektion än övriga kan man direkt konstatera att bländningsriskerna inte torde vara signifikant högre med HID eller LED-baserade strålkastare, åtminstone inte utan annorlunda ljusmängd och fördelning. Den kvalitativa analys av bländningsrisker som gjorts är således inte direkt kopplad till användandet av HID och LED-strålkastare utan kan anses vara vägledande för alla typer av fordonsstrålkastare. Analysen visar att riskerna för synnedsättande bländning av retroreflekterande skyltar med korrekt inställda halvljus är försumbara, detta i princip oavsett skyltarnas placering, storlek eller färger. Obehagsbländning bedöms inte heller som speciellt sannolik men kan dock inte helt uteslutas, speciellt med tanke på att denna typ av bländning har ett spektralberoende och tenderar att öka med mer blått innehåll. Dock är de illuminansnivåer som orsakas av reflekterat ljus från skyltar normalt betydligt lägre än de som orsakas av mötande bilars halvljus och borde således vara av mycket ringa art. Vid användandet av helljus, oavsett typ, är det dock relativt enkelt att uppnå potentiellt bländande illuminansnivåer varför man vid planering av mindre trafikerade vägar särskilt bör beakta skyltmaterial, storlek och placering. Slutsatsen är i linje med resultatet från en annan nyligen genomförd forskningsstudie där en viss försämring av detektionsavstånd till olika mål kunde noteras vid användande av helljus och närvaro av vita retroreflekterande vägs skyltar [23].

Den faktiska synnedsättningen på grund av kontrastreducering vid bländning är väldigt komplicerad att bestämma för generella fall då den förutom individuella variationer (inklusive ålder) även beror på styrka och position hos källan eller källorna till bländning, reflektionsegenskaper hos objektet som behöver identifieras, omgivande luminanser och individens adaptation till dessa. När det gäller trafiksituationer kompliceras analysen ytterligare av att förloppen är dynamiska. En kvantitativ analys av bländning relaterat till retroreflekterande vägs skyltar har därför visat sig alltför

omfattande att genomföra inom ramen för detta projekt, då en sådan studie förutom experimentella försök även skulle behöva inkludera en jämförelse mellan typiska ljusfördelningar och styrkor hos ett stort antal olika typer av strålkastare. Även om regelverket för fordonsstrålkastare i stort sett är samma oavsett typ av ljuskälla kan man tänka sig att olika strålkastartekniker kan ge upphov till signifikanta skillnader inom ramen för ECE-reglementet. Dessutom sker en snabb utveckling av adaptiva helljus som sannolikt kommer öka användandet av helljus på många vägar då avbländning för mötande trafik sker automatiskt. Det kan även vara värt att notera att ECE-regelverket tillåter att man kompletterar ett fordons helljus med extraljus upp till ett samlat referenstal på 100 (ECE R48) vilket i teorin skulle kunna innebära en total ljusstyrka med helljus plus extraljus på 430000 cd i någon riktning, alltså nästan fyra gånger så mycket som det vi baserat vår bländningsanalys på.

## Referenser

1. Nilsson Tengelin, M., Källberg, S. 2017, Night-time visibility of road signs with modern headlamps, *Proceedings of the conference on "Smarter Lighting for Better Life" at the CIE Midterm Meeting 2017, Jeju, Korea*, CIE x044:2017, 127-136.
2. Svensk författningssamling, Vägmärkesförordningen, SFS 2007:90.
3. Vägverkets författningssamling, Vägverkets föreskrifter om vägmärken och andra anordningar, VVFS 2007:305.
4. Vägverkets författningssamling, Vägverkets föreskrifter om storleken på vägmärken och andra anordningar, VVFS 2008:272.
5. Krav för vägars och gators utformning, 2015, VGU, TRV 2015:086.
6. EN 12899-1:2007. Fixed, vertical road traffic signs – Part 1: Fixed signs. Brussels: CEN
7. ASTM D4956-16b. Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control. West Conshohocken: ASTM
8. Automotive Lighting: Technology, Industry and Market Trends 2017, Oct 2017, Yole Developpement
9. CIE 54.2:2001. Retroreflection: Definition and measurement. Vienna: CIE
10. Van Derlofske, J., Bullough, J. D., Dee, P., Chen, J., Akashi, Y. 2004, Headlamp Parameters and Glare, *Society of Automotive Engineers, Inc.*, Technical paper 2004-01-1280
11. Bullough, J.D., M.S. Rea, M.S. 2004. Visual performance under mesopic conditions -Consequences for roadway lighting. *Transportation Research Record*, 1862, 89–94.
12. Adrian, W., Bhanji, A. 1991. Fundamentals of disability glare: A formula to describe stray light in the eye as a function of glare angle and age. In W. Adrian (Ed.), *Proceedings of the First International Symposium on Glare* (pp. 185-193). New York: Lighting Research Institute.

13. Löfving, B., Billger, M., Thaung, J. 2015. Visualization of Disability Glare Due to Veiling Luminance. *Energy Procedia*, 78. 10.1016/j.egypro.2015.11.084.
14. prEN 12899-6:2012 Fixed, Vertical Road Traffic Signs-Part 6: Performance of Retroreflective Sign Face Material. CEN.
15. Sivak, M., Simmons, C. J., Flannagan, M. 1991. Colours of retroreflective sign materials when illuminated by high-intensity-discharge headlamps. *Int. J. of Vehicle Design*, 12(3), 284-295
16. Uchikawa, K., Uchikawa, H., Boynton, R. M. 1989. Partial color constancy of isolated surface colors examined by a color-naming method. *Perception*, 18(1), 83-91
17. Olkkonen, M. et al. 2010. Categorical color constancy for real surfaces. *Journal of Vision*, 10(9):16, 1-18
18. CIE 113:1995. Maintained night-time visibility of retroreflective road signs. Vienna: CIE
19. Bhise, V.D., Farber, E.I., Saunby, C.S., Troell, G.M., Walunas, J.B., Bernstein, A. 1977. Modelling vision with headlights in a systems context. Society of Automotive Engineers Congress and Exposition, Detroit, SAE paper 770238.
20. Rumar, K. 2001. Intensity of high-beam headlights. Progress in Automobile Lighting Symposium, Darmstadt, Germany: Darmstadt University of Technology, pp. 829-848.
21. Olson, P.L., Sivak, M. 1984. Discomfort glare from automobile headlights. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 13(3): 296-303.
22. Sivak, M., Schoettle, B., Flannagan, M. J. 2004. LED headlamps: glare and colour rendering. *Lighting Res. Technol.*, 36(4), 295-305
23. Carlson, P. 2015. Can traffic signs be too bright on low-volume roads? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2472, 101-108.