

### Bländning från tåg mot vägfordon ur ett trafiksäkerhetsperspektiv

Maria Nilsson Tengelin, Stefan Källberg, Hans He och Per Jarlemark<sup>†</sup>

RISE Rapport 2026:52

# Abstract

## Glare from trains on road vehicles: a traffic safety perspective

This report presents a comprehensive investigation of glare risks for vehicle drivers on the E4 road between Linköping and Södertälje, specifically caused by train headlights on the Ostlänken railway in a proposed future expansion.

Based on simulations, empirical studies, applicable regulations, and previous research, we propose that threshold values for both veiling luminance ( $L_V$ ) and illuminance ( $E$ ) at the driver's eye should be considered when assessing glare risks. As indicative threshold values,  $L_V < 2 \text{ cd/m}^2$  in combination with  $E < 0.3 \text{ lx}$  for incidence angles ( $\theta$ )  $< 10^\circ$  are proposed. In addition, three risk levels have been defined based on the maximum distance ( $D_{\max}$ ) between trains and road vehicles at which glare may cause discomfort or visual impairment. In the analysis,  $D_{\max} = 500 \text{ m}$  is used to represent a high risk level,  $D_{\max} = 600 \text{ m}$  a low risk level, and  $D_{\max} = 800 \text{ m}$  a very low risk level. The selected  $D_{\max}$  levels represent more or less conservative assumptions regarding the distances at which glare may be considered relevant and potentially constitute a safety concern.

By using light distributions from measured train headlights, we have modelled the lighting conditions at the driver's eye for different relative positions between trains and road vehicles. The analysis shows that the length of glare shielding required to limit glare to acceptable levels approximately corresponds to the section of the railway over which train headlights may cause glare. For  $D_{\max} = 500 \text{ m}$ , slightly more than 4 km of glare shielding is required, for  $D_{\max} = 600 \text{ m}$  slightly more than 6 km and for  $D_{\max} = 800 \text{ m}$  approximately 9,5 km. Road lighting can reduce the risk of glare but is unlikely to eliminate the need for glare shielding in the most critical sections.

The assessment of accident risk and glare is based on a review of traffic accidents involving reported personal injuries associated with glare in the Swedish Transport Agency's accident reporting system STRADA for the years 2010–2024, combined with information from previously conducted questionnaire studies and analyses of accident statistics. The number of accidents that can be linked to glare is small compared with the total number of accidents, although some degree of underreporting is likely. Single-vehicle accidents are the most common accident type, while pedestrian collisions pose the greatest risk of serious injuries and fatalities.

The project has contributed increased knowledge on when mitigation measures should be implemented to avoid excessively high glare from oncoming vehicles and support safer infrastructure design. While the study addresses glare affecting road vehicle drivers caused by headlights from oncoming trains on adjacent railway lines, parts of the results may be applicable more generally.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2026:52

ISBN 978-91-90109-81-6

Borås 2026

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>3</b>
<b>Förord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Syfte och omfattning</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Metod för att identifiera vägsträckor med hög bländningsrisk</b> .....	<b>8</b>
3.1 Parametrar för simuleringar .....	8
3.1.1 Ban- och vägsträckning .....	8
3.1.2 Tågstrålkastare och ljusfördelningar.....	9
3.1.3 Geometri för strålkastare, fordon och observatör.....	12
3.1.4 Modeller för bländning.....	12
3.1.5 Gränsvärdeskriterier .....	15
3.2 Modelleringar i MATLAB .....	18
<b>4 Resultat och diskussion</b> .....	<b>20</b>
4.1 Identifierade riskområden .....	20
4.2 Placering av bländskydd.....	33
4.3 Känslighetsanalys .....	33
4.3.1 Ljusfördelning hos tågstrålkastare.....	34
4.3.2 Avstånd, slöjluminans och illuminans/vinkel.....	35
4.3.3 Övre strålkastare .....	36
4.3.4 Vägbelysning .....	37
4.4 Jämförelse med tidigare utredning .....	38
<b>5 Uppskattning av risk</b> .....	<b>40</b>
5.1 Studier i fält .....	40
5.2 Enkätstudier .....	41
5.3 Genomgång av olycksstatistik .....	42
5.3.1 Bländning och olyckor nattetid .....	42
5.3.2 Metod och urval från STRADA.....	43
5.3.3 Fördelning av olyckstyper och skadegrad .....	44
5.3.4 Jämförelse med total olycksstatistik .....	45
5.3.5 Olyckor på motorväg .....	46
5.4 Diskussion .....	46
<b>6 Slutsatser</b> .....	<b>48</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>49</b>

# Förord

Denna rapport är ett resultat av ett arbete som utförts inom projektet "Bländningsituationer mellan fordon och tåg ur ett trafiksäkerhetsperspektiv" finansierat av Trafikverket inom ramen för forskningsportföljen "Bygga", dnr 2020/120560. Trafikverkets projektledare har varit Morteza Ghoreishi. Huvudresultaten presenterades vid ett seminarium den 15 april 2026.

Författarna vill hedra minnet av Per Jarlemark och tacka för hans värdefulla bidrag till detta arbete.

# Sammanfattning

## Bländning från tåg mot vägfordon ur ett trafiksäkerhetsperspektiv

Denna rapport presenterar en omfattande utredning av bländningsrisker för fordonsförare på väg E4 mellan Linköping och Södertälje, specifikt orsakad av strålkastare på tåg som trafikerar Ostlänken i en tänkt utbyggnad.

Baserat på simuleringar, empiriska studier, regelverk och tidigare genomförd forskning föreslår vi att gränsvärden både för slöjluminans ( $L_V$ ) och illuminans ( $E$ ) vid ögat bör beaktas vid bedömning av bländningsrisker. Som vägledande gränsvärden föreslås  $L_V < 2 \text{ cd/m}^2$  i kombination med  $E < 0,3 \text{ lx}$  för infallsvinkel ( $\theta$ )  $< 10^\circ$ . Vi har dessutom definierat tre risknivåer baserade på maximalt avstånd ( $D_{\text{max}}$ ) mellan tåg och fordon där bländning kan orsaka obehag eller synnedsättning. I analysen används  $D_{\text{max}} = 500 \text{ m}$  för avsevärd risk,  $D_{\text{max}} = 600 \text{ m}$  för låg risk och  $D_{\text{max}} = 800 \text{ m}$  för mycket låg risk. De valda  $D_{\text{max}}$ -nivåerna representerar mer eller mindre konservativa antaganden om vid vilka avstånd bländning kan antas vara relevant och eventuellt utgöra en säkerhetsrisk.

Genom att använda ljusfördelningar från uppmätta tågstrålkastare har vi modellerat ljusförhållanden vid förarens öga för olika relativa positioner mellan tåg och fordon. Analysen visar att längden på bländskydd som skulle krävas för att begränsa bländningen till acceptabel nivå, ungefär motsvarar den sträcka på järnvägen där tågstrålkastare kan orsaka bländning. För  $D_{\text{max}} = 500 \text{ m}$  krävs då drygt 4 km bländskydd, för  $D_{\text{max}} = 600 \text{ m}$  drygt 6 km, och för  $D_{\text{max}} = 800 \text{ m}$  cirka 9,5 km. Vägbelysning kan reducera bländningsrisken men eliminerar sannolikt inte behovet av bländskydd i de mest kritiska sektionerna.

Vår undersökning av olycksrisker och bländning baseras på en genomgång av trafikolyckor med rapporterade personskador som har koppling till bländning i Transportstyrelsens rapporteringssystem STRADA för åren 2010-2024, i kombination med information från tidigare genomförda enkätstudier och analys av olycksstatistik. Antalet olyckor som kan kopplas till att vara orsakade av bländning är få jämfört med totala antalet olyckor, även om det troligen finns ett visst mörkertal. Singelolyckor är den vanligaste olyckstypen, medan påkörning av fotgängare medför störst risk för allvarliga personskador och dödsfall.

Projektet har bidragit med ökad kunskap om när åtgärder bör vidtas för att undvika alltför höga nivåer av bländning från mötande fordon och en säkrare utformning av infrastrukturen. Specifikt har vi utrett bländning av fordonsförare på väg från mötande tågstrålkastare på närliggande järnväg, men förhoppningen är att delar av resultaten skall kunna användas mer generellt.

# 1 Inledning

Världen över dödas cirka 1,2 miljoner människor, och ytterligare 20 – 50 miljoner skadas i vägtrafikolyckor varje år [1]. Mer än hälften (53 %) av alla dödsfall i vägtrafiken involverar de minst skyddade trafikanterna: fotgängare, cyklister, motorcyklister och eskoteranvändare. Störst risk för trafikolyckor, om man korrigerar för skillnad i körsträcka, är det under dygnets mörka timmar [2-3]. Fotgängare, som är den mest sårbara och minst synliga trafikantgruppen, löper upp till sju gånger högre risk att råka ut för en trafikolycka på natten än under dagtid [4].

Bländning är ett sedan tidigare identifierat problem i trafiken. Man skiljer på två olika typer av bländning. **Synnedställande** bländning och **Obehagsbländning**.

Synnedställande bländning ger en direkt försämring av synförmågan orsakat av slöjluminanser i ögat vilket ökar risken för olyckor. För att inte ett objekt skall smälta in i bakgrunden krävs en kontrast över en viss tröskel. Nära den gränsen kan "slöjan" från spritt ljus inuti ögat minska objektets kontrast under en persons tröskel, vilket gör objektet osynligt.

Obehagsbländning påverkar inte synförmågan påtagligt, men kan orsaka obehag och irritation som i sin tur kan påverka förarbeteende (inbromsning, vinglighet mm).

Obehagsbländning och synnedställande bländning är två olika fenomen [5]. En synnedställande bländning orsakar inte alltid obehag och vid mörkerkörning är det inte säkert att man alltid medvetet noterar att man är bländad.

Man kan även tala om en tredje typ av synnedställning, bländningsåterhämtning, som är den period som följer efter att man exponerats för ett starkt ljus, och under vilken synligheten tillfälligt är reducerad [6].

Människor i trafiken är mycket mer medvetna om hur ett bländande ljus får dem att känna än hur mycket det kan minska deras förmåga att se. Vid tester med försökspersoner är bedömningar av obehag eller hur mycket belysningen påverkar synligheten, sällan överensstämmande med deras faktiska visuella prestation [7].

Ett flertal ljuskällor i trafikmiljön kan orsaka bländning vid mörkerkörning. Vanligast är bländning orsakad av mötande fordons strålkastare, men även vägbelysning och ljus från bakomliggande fordons strålkastare kan orsaka bländning. I denna studie har vi dock enbart undersökt bländning från mötande fordons strålkastare.

## 2 Syfte och omfattning

I de fall en järnväg och en väg är dragna nära varandra kan det förekomma att en fordonsförare på vägen blir bländad av ljuset från tågstrålkastare. Detta ansågs vara en potentiell risk för vissa sträckor på den planerade Ostlänken mellan Södertälje och Linköping, eftersom denna kommer trafikeras av tåg med helljus och i stora delar löper i nära anslutning till motorvägen E4.

Det övergripande målet för projektet har varit att identifiera kritiska områden längs den planerade Ostlänken där en förare av ett fordon på E4:an riskerar att uppleva sig bländad av mötande tåg. Detta innebär att simulera ljusstyrkan och de observationsgeometrier som ett tågs strålkastare kan ge upphov till för olika positioner mellan tåg och fordon på vägen, samt att modellera maximala slöjluminanser och illuminanser (belysningsstyrkor) vid förarens ögon.

I en tidigare utredning om bländningsrisker längs Ostlänken (TRV 2014/48912) [8] har man undersökt och identifierat möjlig bländning längs Ostlänkens delsträcka OLP2 baserat på relativa positionen och färdriktningen mellan tåg och vägfordon, samt ett antaget gränsvärde uttryckt i slöjluminans  $L_V$  för synnedsättande bländning. Gränsvärdet baserades på en relativt låg nivå ( $L_V < 0,5 \text{ cd/m}^2$ ) som relaterades till mötande bilars halvljus som man hittat i litteraturen.

I detta projekt har en mer omfattande modellering genomförts där vi använt ljusfördelningar från faktiska tågstrålkastare och analyserat kriterier för gränsvärden för bländning. Analysen baseras delvis på simuleringar med moderna bilars hel- och halvljus som vi mätt upp, och delvis på resultat från tidigare studier. Vi har även undersökt förekomsten av olyckor med personskador som kan relateras till bländning, vilket kan utgöra underlag för en riskanalys.

Mer specifikt omfattar projektet:

- Genomgång och validering av tidigare utfört arbete om bländningsrisker längs Ostlänken, specifikt delsträcka OLP2.
- En modellering med verklighetsbaserade ljusfördelningar, högre täthet på lägeskoordinater för E4:an och fler delsträckor av Ostlänken (OLP2, 3 och 4).
- Modifiering av förslaget gränsvärde som skall ligga till grund för krav på när bländskydd behöver sättas upp i trafikmiljö.
- Känslighetsanalys avseende föreslagna gränsvärdeskriterier kopplat till bländskydd eller andra åtgärder.
- Undersökning av risken för att en olycka inträffar om bländning skulle förekomma.

Projektet syftar till att öka kunskapen om när åtgärder bör vidtas för att undvika synnedsättande bländning i trafiksituationer. Specifikt har vi utrett bländning av fordonsförare på väg från mötande tågstrålkastare på närliggande järnväg, men ambitionen är att delar av resultaten även skall kunna användas mer generellt. Med projektet vill vi bidra till kunskap om säker utformning av infrastrukturen.

## 3 Metod för att identifiera vägsträckor med hög bländningsrisk

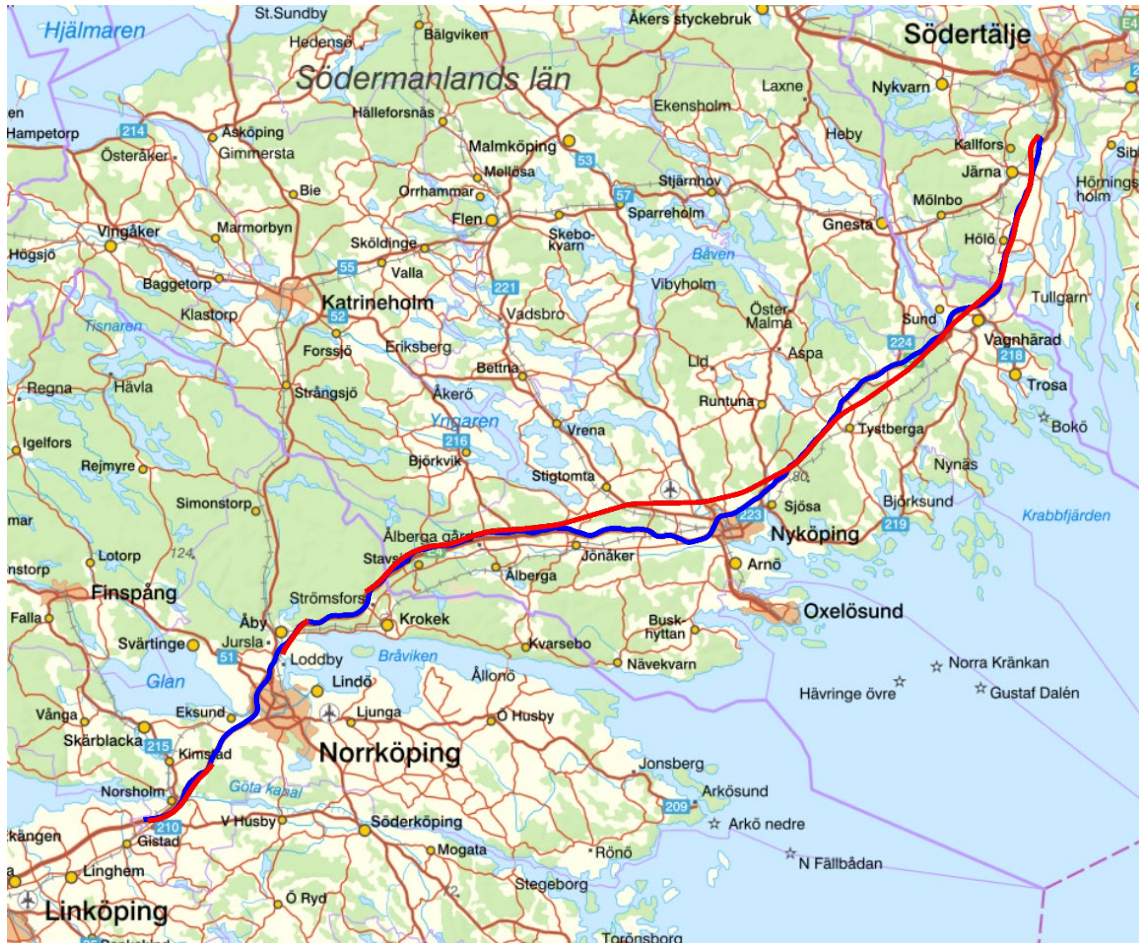
### 3.1 Parametrar för simuleringar

För simulering av ljusförhållanden som påverkar riskerna för bländning vid mötande trafik (ljusstyrka, infallsvinkel, belysningsstyrka) vid olika positioner längs vägen behöver ett flertal parametrar definieras.

#### 3.1.1 Ban- och vägsträckning

Den vägsträcka som beräkningarna utförts på är den del av Europaväg 4 (E4) som sträcker sig från utkanten av Norsholm mellan Linköping och Norrköping ( $58^{\circ}29'N$ ,  $15^{\circ}55'E$ ) till 5 km nordöst om Järna ( $59^{\circ}7' N$   $17^{\circ}37' E$ ). Denna sträcka av E4:an går i vissa delar nära Ostlänken på delsträckorna OLP2, OLP3 och OLP4 (se Figur 1). Koordinater för det högra körfältet i norrgående och södergående riktning på E4:an bestämdes hösten 2021 genom att köra sträckan med en bil, utrustad med geodetisk GNSS-mottagare och tillhörande antenn. Positionsbestämningen gjordes differentiellt med hjälp av två SWEPOS referensstationer i närheten av körområdet (7NOR och oNOR), varefter de fulla 3D-koordinaterna projicerades till det referenssystem som använts i analysen (kartprojektion SWEREF 99 16 30, se följande stycke). Positionsbestämningen bedöms vara betydligt bättre än 1 m vilket också bekräftas av en jämförelse mellan utvalda uppmätta koordinater för E4:an och Lantmäteriets karttjänst. Denna jämförelse ger maximala avvikelser på omkring 1 m för respektive körfält, där större delen av avvikelserna sannolikt beror på bilens position i körfältet i kombination med begränsad upplösning på kartan. Jämförelsen bekräftar att noggrannheten i E4:ans sträckning är fullt tillräckligt för aktuell undersökning.

Koordinaterna för OLP2-4, upp- och nedspår, har tillhandahållits av Trafikverket med plan- och höjdkoordinater var 10:e meter. För OLP2 erhöles endast de delsträckor som tidigare bedömts vara relevanta i bländningssammanhang [8], varför denna del av ostlänken inte är sammanhängande i våra simuleringar. Koordinaterna för OLP3 och OLP4 var vid överlämnandet angivna i olika referenssystem (SWEREF 99 16 30 respektive SWEREF 99 18 00). OLP4 har därför transformerats till SWEREF 99 16 30, vilket är det referenssystem som använts genomgående för analysen. Längderna för delsträckorna som använts vid utvärderingen är ca 15 km (OLP2), 29 km (OLP3) och 65 km (OLP4). Den totala sträckningen för OLP2, inklusive de delar som vi saknar koordinater för, bedöms vara ca 40 km.



**Figur 1.** Aktuella sträckningar för analyserade delar av E4:an (blå kurva) och Ostlänken (röd kurva). Notera att kartan från Lantmäteriets karttjänst och de projicerade sträckningarna inte använder samma geodetiska referenssystem (SWEREF 99 TM resp. SWEREF 99 16 30) varför ovanstående bild endast skall betraktas som översiktlig.

## 3.1.2 Tågstrålkastare och ljusfördelningar

### 3.1.2.1 Krav enligt EN 15153-1

Funktionella och tekniska krav för tågstrålkastare specificeras i den europeiska standarden EN 15153-1:2020 [9], vilket inkluderar hur många strålkastare det skall vara utrustat med, hur de ska sitta på tåget och tillåtna ljusstyrkor i olika geometrier. Specifikt är kraven på tillåten ljusstyrka för helljus som anges i tabell 2 och 3 i standarden (se Tabell 1 och 2 nedan) relevanta för analys av bländningsrisker.

**Tabell 1.** Krav på ljusstyrka för främre strålkastare hos tåg (tabell 2 från EN 15153-1:2020).

Head lamp function	Dimmed head lamp, and upper head lamp where provided	Full-beam head lamp
Luminous intensity (cd) measured along the optical axis of the head lamp	12 000 to 16 000	40 000 to 70 000
Luminous intensity (cd) within 5° on either side of the optical axis in the horizontal plane	> 3 000	> 10 000

**Tabell 2.** Ytterligare krav på ljusstyrka för strålkastare hos tåg med syfte att kontrollera bländning (tabell 3 från EN 15153-1:2020).

Angle above the horizontal axis of head lamp in the vertical plane °	Maximum luminous intensity of head lamp at specified angle cd
0,25	58 400
0,50	14 600
1,00	3 650
1,50	1 620
2,00	912

Notera att standarden också medger att bländning kontrolleras genom att vinkla ner framlamporna så att illuminansen vid rälsen är mindre än 0,5 lx på avståndet 100 m, alternativt att tågföraren har möjlighet att göra denna nedvinkling under färd. Oavsett vilken metod som används kan de maximala ljusstyrkorna enligt Tabell 2 anses vara relevanta.

För att kunna uppfylla kraven i både Tabell 1 och 2 utan att ändra vinkeln under färden, krävs en strålkastare som ger en kraftig cut-off (avklippning) över horisontalplanet. Traditionellt sett har tågstrålkastare inte haft en sådan optisk konstruktion utan gett en symmetrisk och relativt smal ljusbild. Detta innebär att kraven i Tabell 1 oftast kan uppfyllas, men för att uppfylla kraven på bländningskontroll krävs då en stor nedvinkling vilket skulle ge horisontella ljusstyrkor långt under de som anges i Tabell 2. Det bedöms därför vara sannolikt att många tåg i praktiken inte kommer uppfylla kraven vare sig i Tabell 1 eller 2.

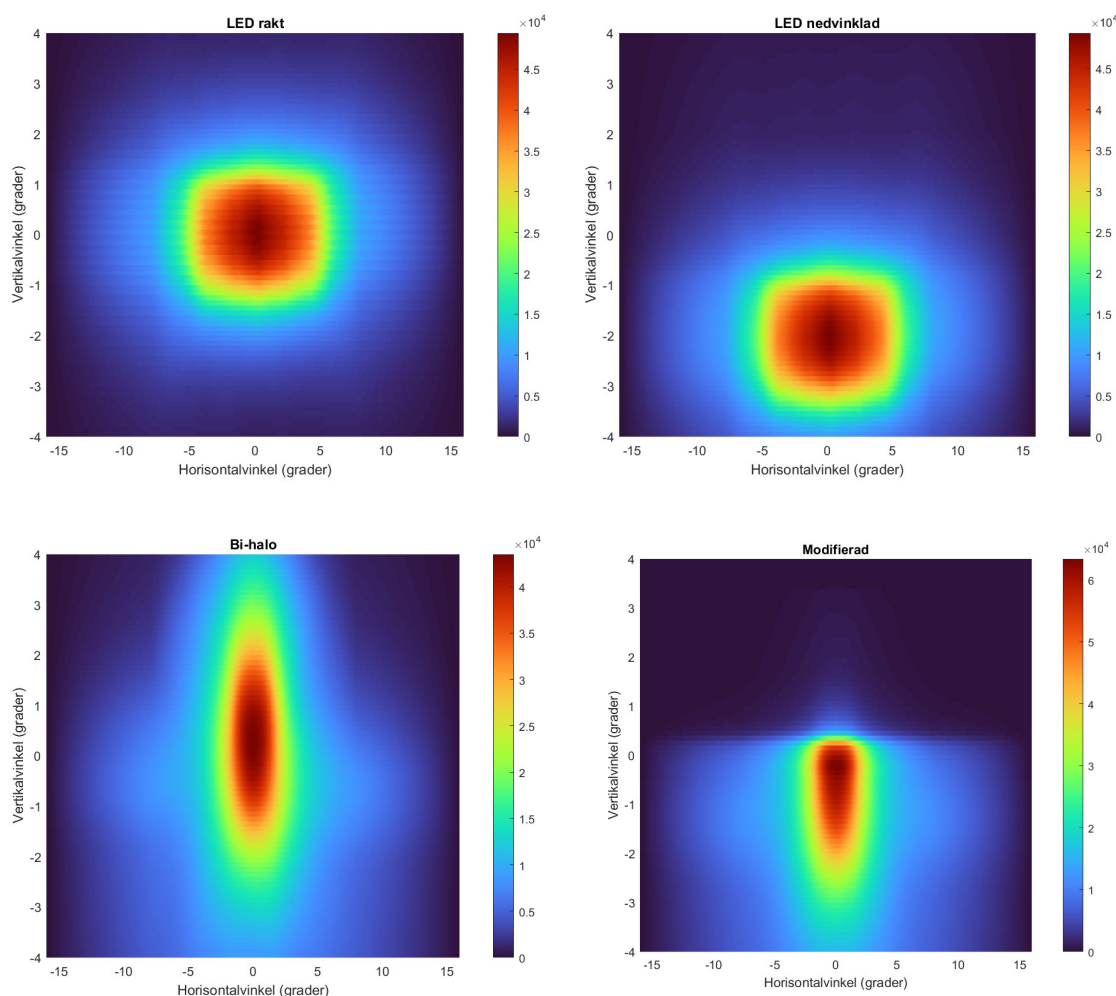
### 3.1.2.2 Implementerade ljusfördelningar

I den aktuella studien har vi använt oss av fyra olika ljusfördelningar för tågets strålkastare vilka antagits vara representativa för tågstrålkastare nu och framöver, se Tabell 3. Dessa baseras på faktiska mätningar av tågstrålkastare gjorda i RISE laboratorium, inklusive ett fall där den uppmätta fördelningen modifierats signifikant för att uppfylla kraven i EN 15153-1, både vad gäller bländningskontroll och ljusstyrkan rakt fram och i sidled.

**Tabell 3.** Ljusfördelningar för tågstrålkastare som använts i modelleringen.

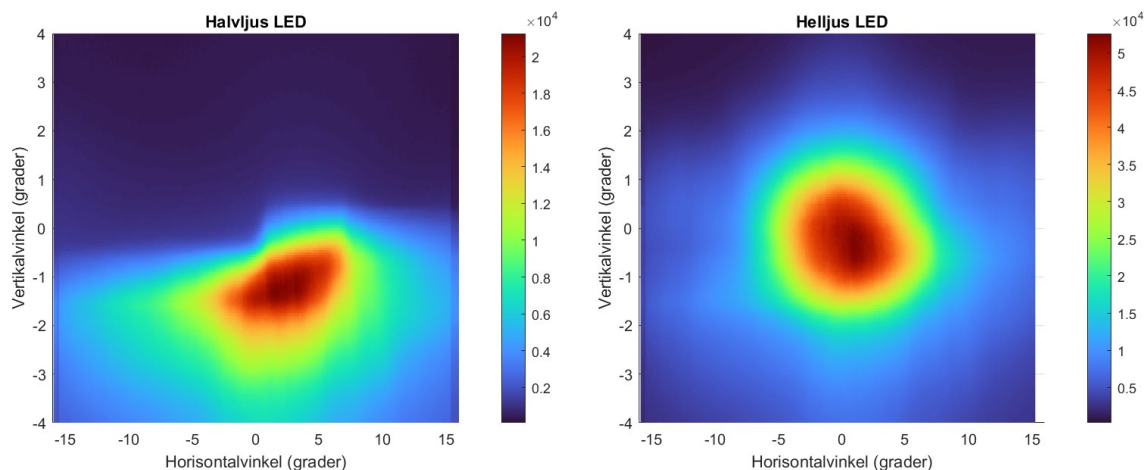
Fördelning	Typ och monteringsvinkel	Kravuppfyllelse (EN 15153-1)
1	LED-baserad tågstrålkastare utan nedvinkling.	Uppfyller inte bländningskraven i Tabell 2.
2	LED-baserad tågstrålkastare med två graders nedvinkling.	Uppfyller bländningskraven men har betydligt lägre ljusstyrka i horisontalplanet än i Tabell 1
3	Bi-halogen tågstrålkastare utan nedvinkling.	Uppfyller inte bländningskraven i Tabell 2.
4	Baserad på Bi-halogen tågstrålkastare som modifierats för att uppfylla kraven i Tabell 1 och 2.	Uppfyller kraven i Tabell 1 och Tabell 2

Fördelningarna, som visas i Figur 2, inkluderar vinklarna  $\pm 4^\circ$  i höjled och  $\pm 16^\circ$  i sidled med en upplösning av  $0,1^\circ$ .



**Figur 2.** Ljusfördelningar som använts för att bestämma bländningsrisker. Färgskalan indikerar ljusstyrkan (cd) i olika vinklar.

Utöver ovanstående fördelningar har analyser även gjorts baserat på ett modernt hel- och halvljus för personbil. För att jämföra med tidigare utredning [8] inkluderades också en strålkastartyp med en antagen ljusstyrka på 70 000 cd i alla riktningar. Ingen av dessa tre ljusfördelningar bedöms dock vara relevanta att användas för att bedöma bländningsrisk från tåg, se vidare avsnitt 4.3.1. Använda ljusfördelningar för personbilstrålkastare visas i Figur 3.



**Figur 3.** Ljusfördelningar för hel- och halvljus för personbil, endast använda som underlag för bedömning av lämpliga bländningskriterier. Färgskalan indikerar ljusstyrkan (cd) i olika vinklar.

### 3.1.3 Geometri för strålkastare, fordon och observatör

Enligt EN 15153-1 skall ett tåg ha minst två primära strålkastare (eng. head lamps) som är monterade på en höjd över spåret mellan 1500 mm och 2000 mm, med en separation på minst 1000 mm. I aktuell studie har vi antagit att lamporna är monterade 1,75 m över rälsen med en separation på 2 m. Detta bedöms stämma väl med den faktiska placeringen på tågmodell X3000/X55 (Bombardier-Regina) och är samma som tidigare studie använt [8]. Standarden tillåter även att två extra strålkastare monteras ovanför tågets vindruta, dock är maximal tillåten ljusstyrka betydligt lägre för dessa än för huvudstrålkastarna (max 16 000 cd). Vi har utfört merparten av bländningsanalysen utan att inkludera eventuella lampor placerade ovanför tågets vindruta då ljusstyrkan från dessa kan antas vara betydligt lägre i alla riktningar jämfört med de två primära. En kompletterande analys har utförts med enbart övre strålkastare, då med antagen monteringshöjd på 3,5 m och en separation på 0,1 m.

För mötande trafik har vi primärt utgått från personbilar där förarens ögonhöjd är 1,2 m över marken med en blickriktning rakt fram mot vägen 100 m framför fordonet, motsvarande  $0,7^\circ$  nedåtriktad blick. Vi har också undersökt skillnaderna mellan personbil och lastbil, under antagandet att en lastbilschaufför sitter 2,2 m över marken och med samma blickriktning som en bilförare,  $0,7^\circ$  nedåt.

### 3.1.4 Modeller för bländning

Bländning är ett komplext fenomen och det finns flera olika modeller som används för att försöka bestämma nivå och grad av bländning. Det bländande ljuset sprids i ögat och bildar en slöja som minskar kontrasten hos objekt i synfältet. Kontrasten bestäms av ljusheten hos ett objekt i förhållande till ljusheten hos bakgrunden. Kontrasten hos

objektet avgör delvis hur exakt och snabbt det kan observeras eller om man inte kan se det alls. Synnedsättningen blir kraftigare då ljuset infaller mot ögat i en riktning nära blickriktningen [10]. Även siktavståndet reduceras vid synnedsättande bländning och ju större bländningsnivå, desto kortare är siktavståndet. Vidare är det väl belagt att graden av synnedsättande bländning ökar med åldern [11].

Modellerna för att beräkna nivån av synnedsättande bländning är från 1920-talet [12] och de används fortfarande med smärre modifieringar.

**Slöjluminans** (veiling luminance,  $L_V$ ): 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 nämnts ovan 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.

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

Standarden EN 13201-3 Vägbelysning - Del 3: Beräkningsmetoder för prestanda [13] anger hur bidrag från ett antal ( $N$ ) ljuskällor summeras enligt:

$$L_V = \sum_{k=1}^N L_{V_k} \quad (3)$$

Inom vägbelysning brukar följande formler användas för att beräkna  $L_V$  [13]:

$$L_{V_k} = 9,86 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{A_y}{66,4} \right)^4 \right] \frac{E_k}{\theta_k^2} \quad \text{då } 1,5^\circ < \theta_k \leq 60^\circ \quad (4)$$

$$L_{V_k} = E_k \cdot \left( \frac{10}{\theta_k^3} + \left[ \frac{5}{\theta_k^2} \right] \cdot \left[ 1 + \left( \frac{A_y}{62,5} \right)^4 \right] \right) \quad \text{då } 0,1^\circ < \theta_k \leq 1,5^\circ \quad (5)$$

Vi har genomgående baserat våra beräkningar av  $L_V$  på formlerna (4) och (5) med åldersfaktorn  $A_y=23$  år.

För att ange ett mått på synnedsättning kan Tröskel-inkrement (Threshold Increment -  $TI$ ) användas. Det ger uttryck för den procentuella ökningen i kontrast som krävs mellan ett objekt och dess bakgrund för att det ska kunna ses lika bra med en bländningskälla närvarande

$TI$  beräknas baserat på den ekvivalenta slöjluminansen ( $L_V$ ) och den genomsnittliga vägbans luminans.

Formeln för  $TI$  är [13]:

$$TI = 65 \frac{L_V}{L_B^{0,8}} \% \quad (6)$$

För obelysta vägar brukar man räkna med  $L_B=0,1 \text{ cd/m}^2$ .

**Obehagsbländning** graderas ofta med hjälp av en subjektiv bedömningsskala. Den vanligaste skalan som används när man talar om bländning från strålkastare är De Boer-skalan [14] som visas Tabell 4.

**Tabell 4.** De Boer-skalan för subjektiv bedömning av obehagsbländning

De Boer-skalan
1. unbearable ( <i>outhärdlig</i> )
2.
3. disturbing ( <i>obehaglig</i> )
4.
5. just permissible ( <i>precis acceptabel</i> )
6.
7. satisfactory ( <i>godtagbar</i> )
8.
9. just noticeable ( <i>precis noterbar</i> )

Synen är delvis en fotokemisk process i ögat, där ljus förändrar kemin hos ögats receptorer. Efter ljusexponering tar det tid för dessa att återgå till sitt ursprungliga tillstånd, under vilken ögats receptorer är något okänsliga. Under den tid som behövs för ögonen att återhämta sig efter exponering för ljus från mötande strålkastare kan föremål vara omöjliga eller svåra att se [15].

Återhämtningstiden beror på bländningsljusets intensitet och exponeringstiden för ljuset. I både laboratoriestudier och fältförsök har man sett att deltagarnas återhämtningstid är beroende av ljusexponeringsdosen, vilken definieras som produkten av dess exponeringens intensitet och längd [6, 7]. Ju högre dos, desto längre återhämtningstid.

Även om dosen är avgörande för återhämtningstiden så har man sett att försökspersoners obehag är relaterade till bländningskällans toppintensitet snarare än varaktighet eller dosering [16]. Ett bländande ljus med lägre intensitet under längre tid resulterade i lika långa återhämtningstider som ett bländande ljus med högre intensitet under kortare tid när den totala doseringen var densamma.

En komplikation i att utvärdera bländning är att den är en kombination av fysiska, fysiologiska och psykologiska parametrar. Den är beroende av ljuskällan, dvs dess intensitet, utbredning och spektrum, samt till den relativa positionen mellan källa och observatör (avstånd, infallsvinkel i förhållande till synriktning). Bländningsnivån beror dessutom på observatören genom faktorer såsom som adaptation, pupillöppning/storlek, ackommodation, ögats kontrastkänslighet, och variationer mellan individer. Ögat, synnerven och hjärnan är alla inblandade i effekterna av överexponeringen av ljus.

### 3.1.5 Gränsvärdeskriterier

Ofta men inte alltid förekommer synnedsättande bländning och obehagsbländning samtidigt. De kriterier för avsevärd bländningsrisk som vi skall använda måste därför ta hänsyn till båda fenomenen. En problematik är att det saknas generella riktlinjer (t.ex. från standarder, officiella vägledningar och regelverk) för vilken grad av synnedsättande bländning eller obehagsbländning som är acceptabel vid mötande trafik, och på vilket avstånd denna bländning kan förväntas inträffa. Avståndet kommer indirekt (genom bländningsvinkeln) in i beräkningarna av slöjluminansen  $L_V$ , men för små vinklar (ofta långa avstånd till mötande fordon) ökar  $L_V$  mycket kraftigt vilket kan ge en orimligt stor risk sett till faktiska förhållanden.

#### 3.1.5.1 Avstånd för bländning

Det saknas generella regler eller tydliga riktlinjer för när man som förare bör blända av för mötande trafik, mer än att det ska göras när man riskerar att blända den man möter. Det finns ett fåtal länder med mer specifika riktlinjer, t.ex. Australien, där avståndet 200 m anges i vägreglerna (AUSTRALIAN ROAD RULES - REG 218) [17]. Enligt California Vehicle Code 24409 VC [18] kan man riskera böter om man inte bländar av minst 500 fot (152 m) från mötande fordon. Vi gör dock bedömningen, som delvis är baserad på empiriska studier under projekttiden, att avståndet 200 m för avbländning på en motorväg är för kort för att mötande trafikant inte skall bli bländad.

Krav på avstånd för automatisk avbländning hos adaptiva strålkastarsystem (ADB/AFS) varierar också mellan regioner, där det europeiska regelverket (ECE R48, R123) inte specificerar några specifika gränser eller nivåer för testerna. Enligt den amerikanska industristandarden SAE J3069 "Adaptive Driving Beam" [19] skall dock ADB-system klara av att detektera mötande fordon på avstånd upp till ca 400 - 600 m beroende på hastighet. Ytterligare krav på ADB system på fordon som säljs i USA ställs av NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) i regelverket FMVSS 108 (tabell XXI). För att undvika bländning skall lamporna ge maximalt 0,3 lux på ett avstånd mellan 120 och 220 m. Detta krav finns också implementerat i SAE J3069.

För bländning från vägbelysning skall armaturer på ett avstånd upp till 500 m från observatören inkluderas i analysen enligt EN 13201-3 Vägbelysning – Del 3: Beräkning av prestanda [13]. Vi ser ingen fundamental skillnad i bländning från vägbelysning och bländning från mötande fordon, varför vi bedömer att **ett rimligt maxavstånd för när besvärande bländning från mötande tåg kan uppkomma är 500 m**. Det är också värt att notera att bilar generellt har bredare helljus än tåg, och att maximala ljusstyrkan får vara högre (ECE R149), varför avståndet för bländning från tåg med största sannolikhet inte överskrider det som gäller för bilar.

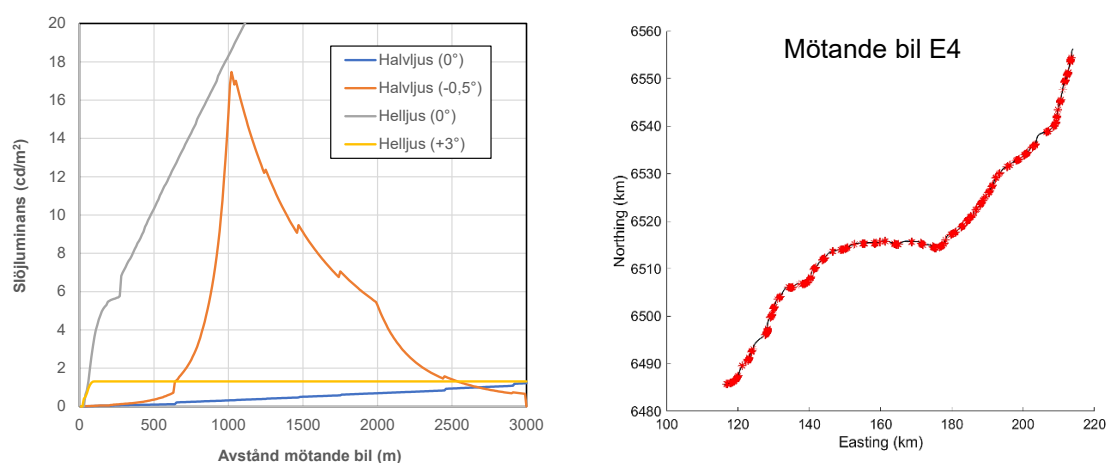
Som utökade gränser föreslås 600 m (låg risk) resp. 800 m (mycket låg risk). Risken för att bli bländad på längre avstånd än 800 m bedöms som ytterst osannolik.

#### 3.1.5.2 Slöjluminans

Slöjluminansen  $L_V$  är, som tidigare beskrivits, ett mått på graden av synnedsättande bländning och beräknas baserat på infallande illuminans vid ögat och vinkeln mellan ögats blickriktning och ljuskällan. Det är helt klart att en kombination av dessa faktorer har stor betydelse för både synnedsättande- och obehagsbländning varför  $L_V$  borde vara

ett lämpligt mått att basera ett gränsvärde på. I den tidigare bländningsutredning för OLP2 valdes  $L_V=0,5$  cd/m<sup>2</sup> som gränsvärde, baserat på typiska nivåer som uppkommer vid mötande bil med halvljus (ca 0,1 till 1,5 cd/m<sup>2</sup> enligt [8]). Dessa siffror är sannolikt korrekta under förutsättningen att vägen går helt rakt och att förarens blick är rakt fram i färdriktningen. Däremot, så fort man tillåter blickriktningen att ändras alternativt kör på en kurvig väg, kommer det resultera i geometrier där vinkeln  $\theta$  mellan förare och mötande bil blir så liten att faktorn  $\theta^3$  i formeln för  $L_V$  (när  $\theta < 1,5^\circ$ ) blir helt dominerande med mycket höga  $L_V$ -värden till följd.

I fallet mötande bil med helljus på rak väg blir ytterligare en effekt av faktorn  $\theta^3$  att slöjluminansen på längre avstånd kommer fortsätta öka nästan linjärt med avståndet mellan bilarna tills avståndet blir så stort att  $\theta=0,1^\circ$  då den i stället kommer avta med kvadraten på avståndet. Vid en separation i sidled på 7 m mellan bilarna inträffar detta ungefär på avståndet 4 km mellan de två mötande fordonen, vilket bedöms vara ett orimligt långt avstånd för bländning med negativa konsekvenser. I Figur 4 illustreras effekten av kraftigt ökande  $L_V$  vid små vinklar. Den vänstra bilden visar beräknade slöjluminanser vid möte på rak väg och olika blickriktningar. Högra bilden visar var  $L_V > 2$  cd/m<sup>2</sup> när man kör sydväst på aktuell delsträcka av E4 och möter en bil med halvljus i motgående körfält (maxavstånd 500 m, ljusfördelning för LED-halvljus enligt 3.1.2.2). Totalt motsvarar de röda punkterna ca 12 km eller knappt 10% av totala sträckan. Vid nästan varje högerkurva, när blickriktningen mot mötande bil minskar, erhåller man värden på  $L_V$  som ofta signifikant överskrider 2 cd/m<sup>2</sup>.



**Figur 4.** Simulering av slöjluminans ( $L_V$ ) från mötande bil. Till vänster rak väg med sidledes separation 7 m mellan bilarna och varierande blickriktning (negativ i riktning mot den mötande bilen). Till höger mötande bil på E4:an i riktning söderut med områden där  $L_V > 2$  cd/m<sup>2</sup> markerade.

Trots att till synes vanliga trafiksituationer kan ge upphov till höga värden på  $L_V$  utan att detta medför någon uppenbar obehagsbländning eller kritisk bländningssituation, bedömer vi ändå att  $L_V$  är ett relevant kriterium för bländningsrisk. **Dock föreslår vi att gränsen ökas jämfört med föregående utredning från 0,5 till 2 cd/m<sup>2</sup>.**

### 3.1.5.3 Illuminans och vinkel

Tidigare studier har undersökt bländning från mötande trafik och kommit fram till att det kan räcka med en nivå på ca 0,1 lx för att ljuset från en mötande bil kan upplevas som besvärande. Nivåer mellan 1 och 3 lx upplevs normalt som såpass obehagliga att man signalerar till föraren i den mötande bilen att blända av, medan nivåer mellan 3 och 10 lx är nära den gräns där bländningen upplevs som outhärdlig [7].

I UNECE R112 specificeras max-illuminansen för två halvljus-strålkastare på ett avstånd av 25 m till 1 lx vid en position som motsvarar förarens ögonhöjd i mötande fordon [20]. Vidare har en serie fältförsök gett slutsatsen att rekommendera max 0,7 lx vid ögat som gränsvärde för bländningskontroll [21].

Även för obehagsbländning finns ett tydligt samband mellan infallsvinkel och nivå [22]. I en studie som citeras av Bullough et al. [23] analyserades blickriktningens påverkan, och man konstaterade att bländningsbedömningen vid fixerad blick ligger 0,4 punkter högre än vid fri blick på den 9-gradiga de-Boer-skalan. Med andra ord upplever man sig mindre bländad vid fix observationsvinkel. I en sammanfattande text om bländning från TU/Berlin beskrivs resultatet från en analys av det tidsmässiga förloppet av illuminansen vid ögat i dynamisk vägtrafik. Där drog man slutsatsen att huvudproblemet med bländning i dynamisk trafik är fordonets och därmed förarens små rörelser, vilket leder till betydligt högre belysningsstyrkor vid ögat än vad som tillåts enligt olika regelverk [24]. Vidare har man i verklig körning vägar med kurvor och upp- och nerförsbackar, vilket kan resultera i höga illuminanser från mötande fordon.

Som nämnts tidigare upplever man i trafiken ofta en kombination av synnedsättande och obehagsbländning, och en studie har visat att redan vid så låga nivåer som 0,2 lx påverkas detektion av objekt i liten vinkel till bländkällan märkbart [22].

Med anledning av den forskningsgrund som finns på området och regelverket för adaptiv strålkastarbelysning [19] har vi därför tillämpat ett gränsvärde på illuminans vid ögat i gränsvärdeskriteriet för bländning från mötande fordon. **Kriteriet är satt till maximalt 0,3 lx vid ögat för vinklar mindre än 10° mellan förarens blickriktning och infallande ljus från tågstrålkastare.**

### 3.1.5.4 Sammanfattning gränsvärdeskriterier

Nedanstående tabell visar de gränsvärdeskriterier som tillämpas i detta projekt för att sortera ut områden med bländningsrisk på E4 orsakade av tågstrålkastare.

**Tabell 5.** Valda gränser för maximalt tillåten bländning

Gränsvärdeskriterier för bländningsrisk mellan fordon och tåg:		
1) Avstånd förare - tåg	<500 m: avsevärd risk	
	500-600 m: låg risk	
	600-800 m mycket låg risk	
2) Slöjluminans ( $L_V$ )	$L_V > 2 \text{ cd/m}^2$	
3) Illuminans ( $E$ ) och vinkel ( $\theta$ )	$E > 0,3 \text{ lx}$ ; $\theta < 10^\circ$	

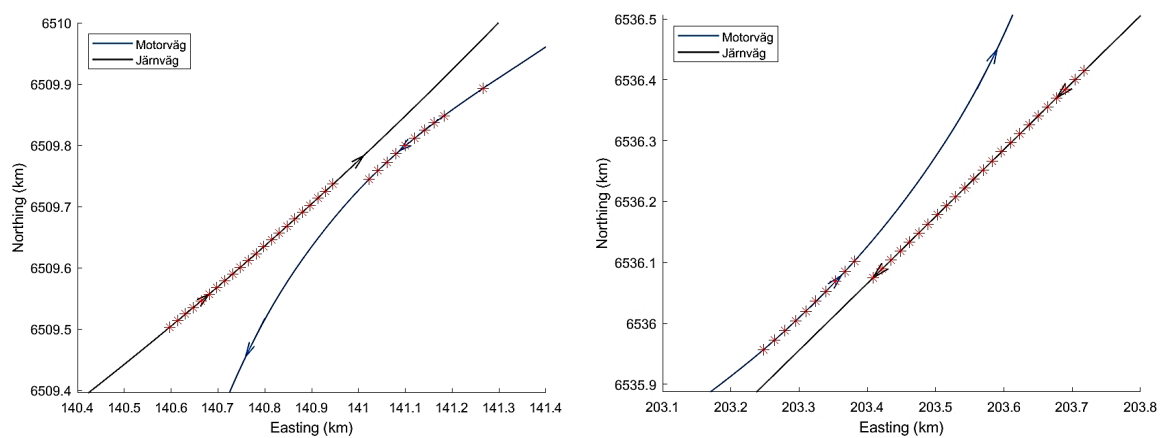
## 3.2 Modelleringar i MATLAB

Samtliga modelleringar har utförts i MATLAB (R2023b, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) med koordinater för motorväg och järnväg enligt avsnitt 2.1.1. Vi har endast arbetat med läges- och höjdkoordinater för sträckningarna (Öst/Easting, Norr/Northing, Höjd) och i analyskedet inte relaterat dessa till de längdmätningsskoordinater som anges för linjeföringen, t.ex. KM.0&:0+000,009 som första längdkoordinaten för OLP4 nedspår. Vi har genomgående använt ett nominellt avstånd på 20 m mellan respektive koordinat för järnväg och motorväg, att jämföra med ursprungliga data för järnvägen som delgavs i intervall av 10 m eller kortare. Nedsamlingen av koordinater bedöms inte påverka resultatet men snabbar upp beräkningarna signifikant. Samtliga beräkningar har utförts med 3D-vektorer för aktuella riktningar och den enda förenkling som gjorts är att slöjluminansen beräknats baserat på vinkeln mellan förarens blickriktning och medelpositionen av tågets två lampor vilket inte bedöms påverka utfallet. Använd beräkningsgång beskrivs i följande punkter:

1. Definition och inläsning av allmänna parametrar
  - a. maxavstånd för bländning
  - b. gränser för när bländning kan uppstå ( $L_V$ ,  $E$ ,  $\theta$ )
  - c. höjd och blickriktning hos förare, position och ljusfördelning tåglampor
2. Inläsning av koordinater för järnväg och motorväg, totalt ca 6500 punkter vardera i respektive riktning.
3. Bestämning av riktning hos tågets strålkastare respektive förarens blickriktning baserat på närliggande positionskoordinater för järnväg respektive motorväg.
4. Iterationer för att undersöka i vilka positioner gränserna för bländning överskrids
  - a. **Iteration 1** - Järnväg uppspårs (nordöst), motorväg i riktning sydväst: För en viss koordinat på motorvägen och för samtliga koordinater på järnvägen som ligger inom det definierade maxavståndet för bländning bestäms 1) ljusstyrka hos tågets lampor i riktning mot föraren; 2) effektiv vinkel  $\theta$  mellan tågets lampor och förarens blickriktning; 3) illuminans  $E$  vid förarens ögon och 4) den resulterande slöjluminansen  $L_V$ .
  - b. Om något av kriterierna för bländning är överskrids flaggas aktuell koordinat för på motorvägen som kritisk. Punkt 4a. och b. upprepas för samtliga koordinater på motorvägen.
  - c. **Iteration 2** - Järnväg uppspårs (nordöst), motorväg i riktning sydväst: Som punkt 4a. och b. fast tvärtom, dvs. en specifik koordinat på järnvägen jämförs med närliggande koordinater på motorvägen.
  - d. **Iteration 3 och 4** - Järnväg nedspårs (sydväst), motorväg i riktning nordöst, annars som iteration 1 och 2.

De två iterationerna i varje riktning (1 och 2 resp. 3 och 4) görs för att erhålla en mer fullständig bild över vilken del av järnvägen som riskerar att blända en viss del av motorvägen, vilket t.ex. kan ge information om var och hur eventuella bländskydd mest effektivt skall placeras (se avsnitt 4.2). Notera också att det normalt inte föreligger ett 1:1 förhållande mellan punkterna, dvs. en bilförare i en viss position på motorvägen kan

riskera att bli bländad av ett mötande tåg som befinner sig på olika avstånd vilket illustreras i Figur 5 nedan.

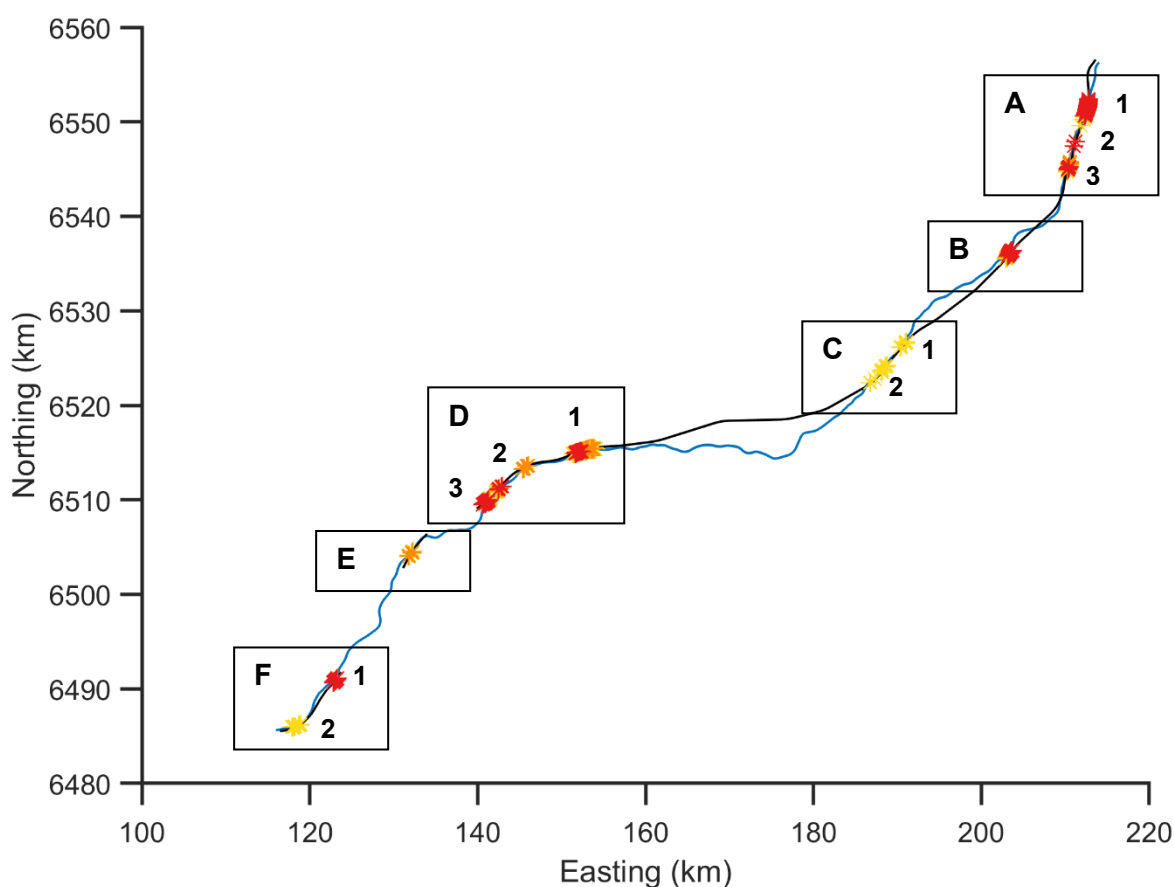


**Figur 5.** Exempel på två områden där en (längre) sträcka på järnvägen riskerar att blända en (kortare) sträcka på motorvägen. Pilarna indikerar aktuell färdriktning.

## 4 Resultat och diskussion

### 4.1 Identifierade riskområden

Nedan översiktsbild (Figur 6) visar läge och omfattning för de identifierade områdena där risk för bländning från tågstrålkastare föreligger. Uppdelning i risknivåer enligt tidigare: Röd – Avsevärd risk, Orange – Låg risk och Gul – Mycket låg risk.



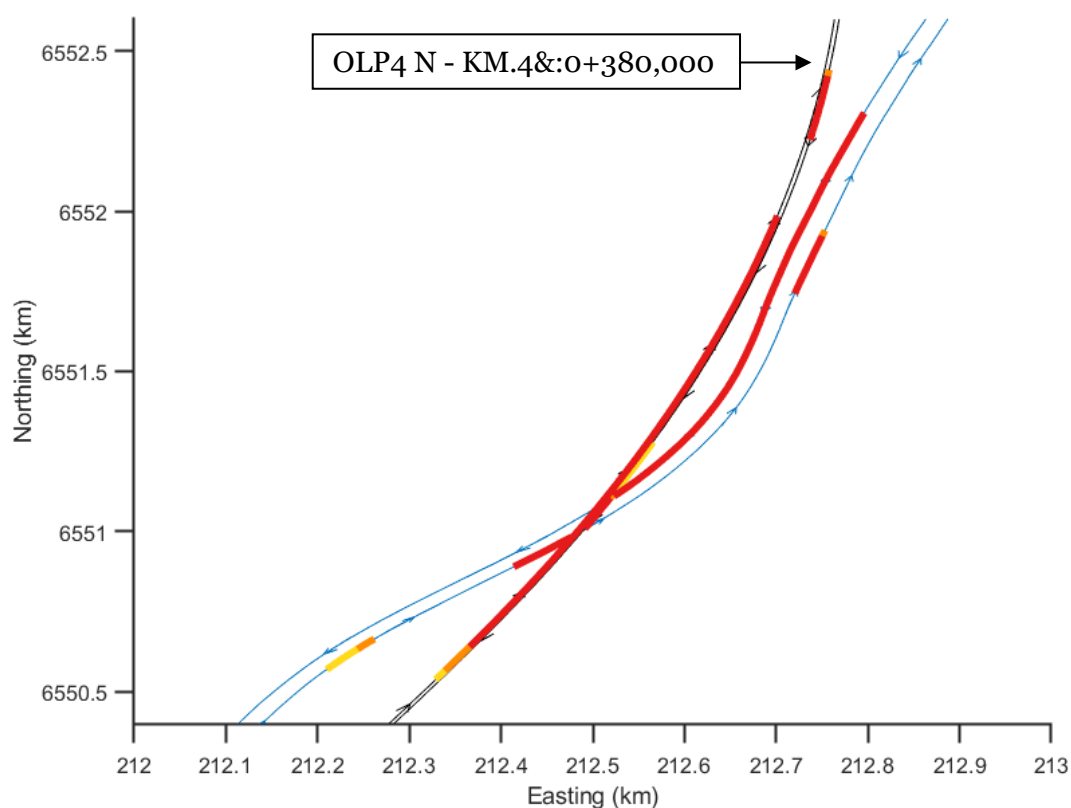
**Figur 6.** Översiktsbild. Blå linje visar E4:ans sträckning och svart linje Ostlänken (OLP 2-4).

På efterföljande sidor redovisas varje område mer i detalj inklusive lägeskoordinater (SWEREF 16 30 00) för OLPs sträckning där tåg riskerar att orsaka bländning för förare på E4:an. Pilarna längs E4:ans (blå) och Ostlänkens (svart) sträckning indikerar körriktning. Notera att riskområdena inte alltid är sammanhängande, och gråmarkerade rader indikerar att avståndet till efterföljande riskområde i tabellen är mer än 50 m.

Observera att upplösningen på x- och y-axlar är olika vilket kan ge en felaktig uppfattning om riktning på delsträckan om man endast betraktar figuren utan att beakta skalorna.

Vi har dessutom inte undersökt om det finns naturliga bländskydd i form av t.ex. skog eller kullar, eller byggda strukturer som begränsar ljusets spridning mellan järnväg och motorväg.

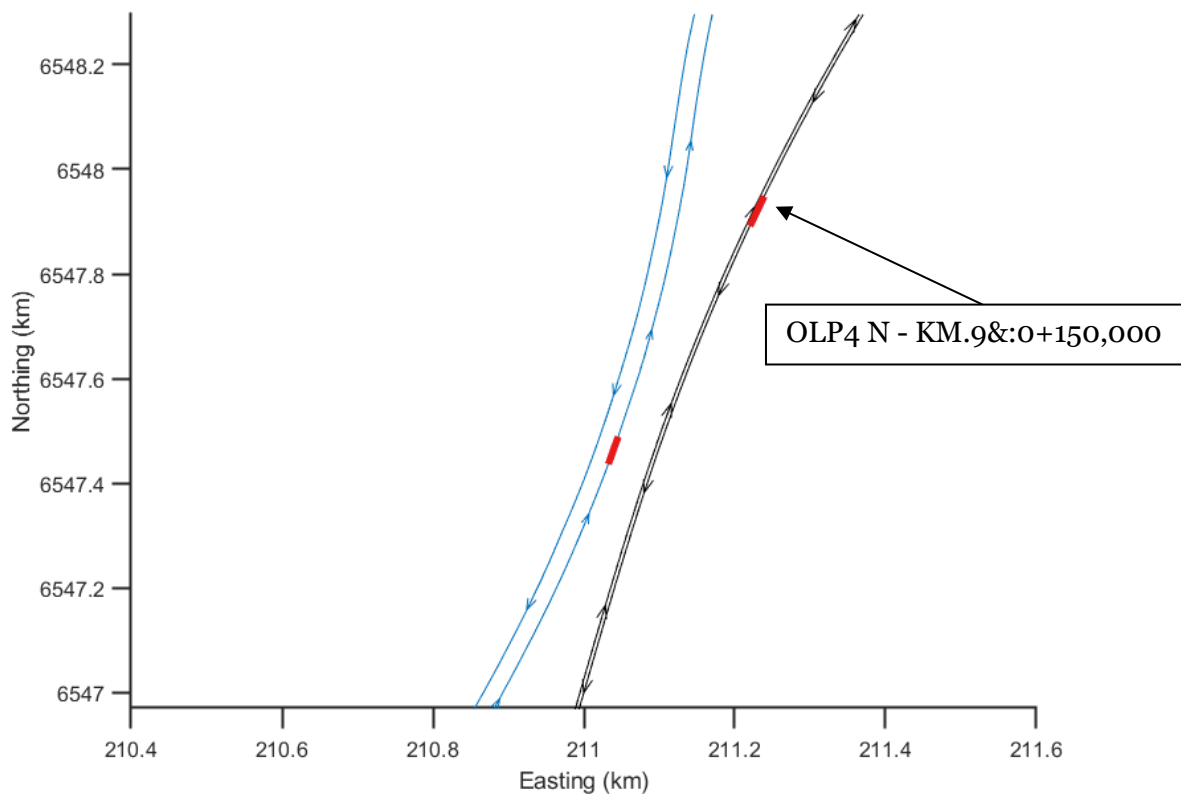
## Riskområde A1 - OLP 4 (ca 3 km sydost om Järna)



Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)				
	Norr	Öst	Höjd		Norr	Öst	Höjd
	6 552 442.3	212 757.8	8.6		6 550 536.8	212 328.6	29.3
	6 552 422.4	212 756.2	8.6		6 550 546.3	212 332.1	29.2
	:	:	...		6 550 565.0	212 338.8	29.0
	6 552 223.1	212 736.9	8.3		:	:	:
					6 550 621.5	212 359.1	28.4
	6 551 279.2	212 565.6	18.0		6 550 640.3	212 365.8	28.2
	:	:	:		:	:	:
	6 551 143.8	212 529.9	21.1		6 551 985.7	212 701.2	8.9
	6 551 124.5	212 524.6	21.5				
	6 551 105.2	212 519.2	22.0				
	...	...	...				
	6 551 009.0	212 491.4	23.9				

*Kommentar:* Här förutsätter vi att när järnväg och väg korsar kommer tåg och bil att färdas i olika plan med tillhörande strukturer för tunnel eller bro, något som våra beräkningar inte tagit hänsyn till. Med anledning av det kommer den slutliga sträckan med bländskyddsbehov i detta område sannolikt bli reducerad.

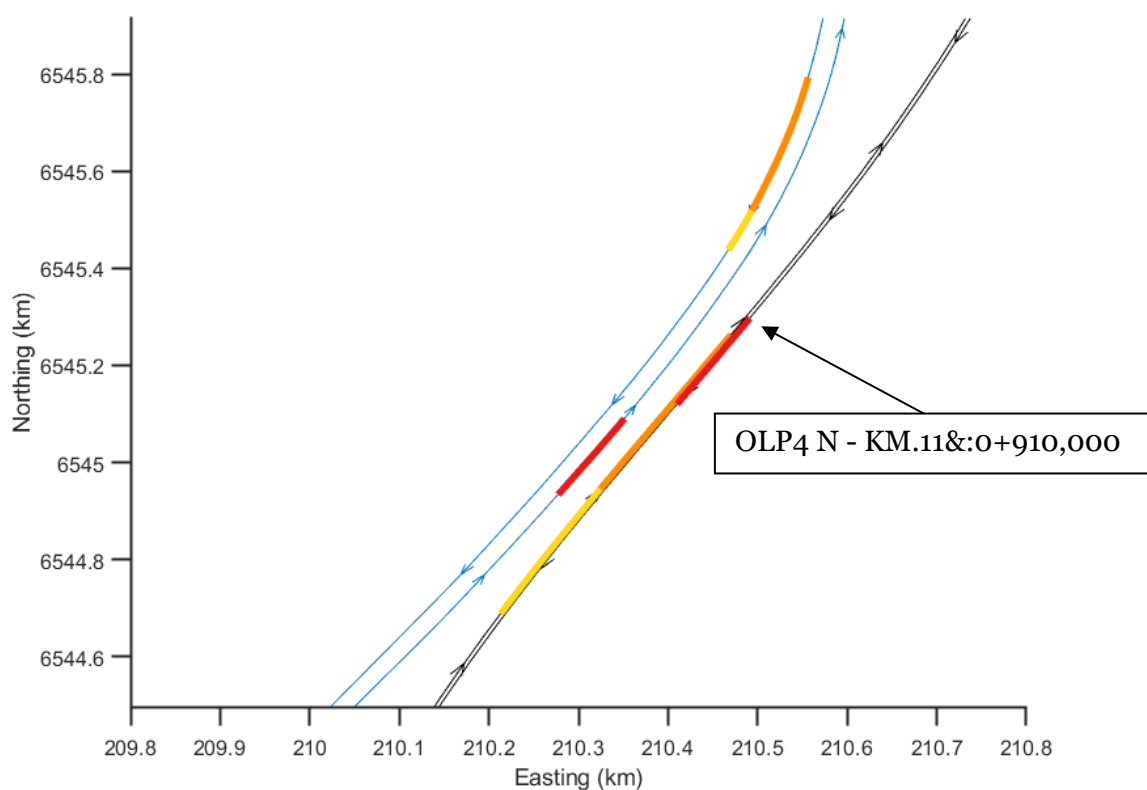
## Riskområde A2 - OLP 4 (strax öster om Smedsta)



	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 547 948.3	211 239.1	34.2			
	6 547 910.4	211 226.4	33.8			
	6 547 891.4	211 220.2	33.6			

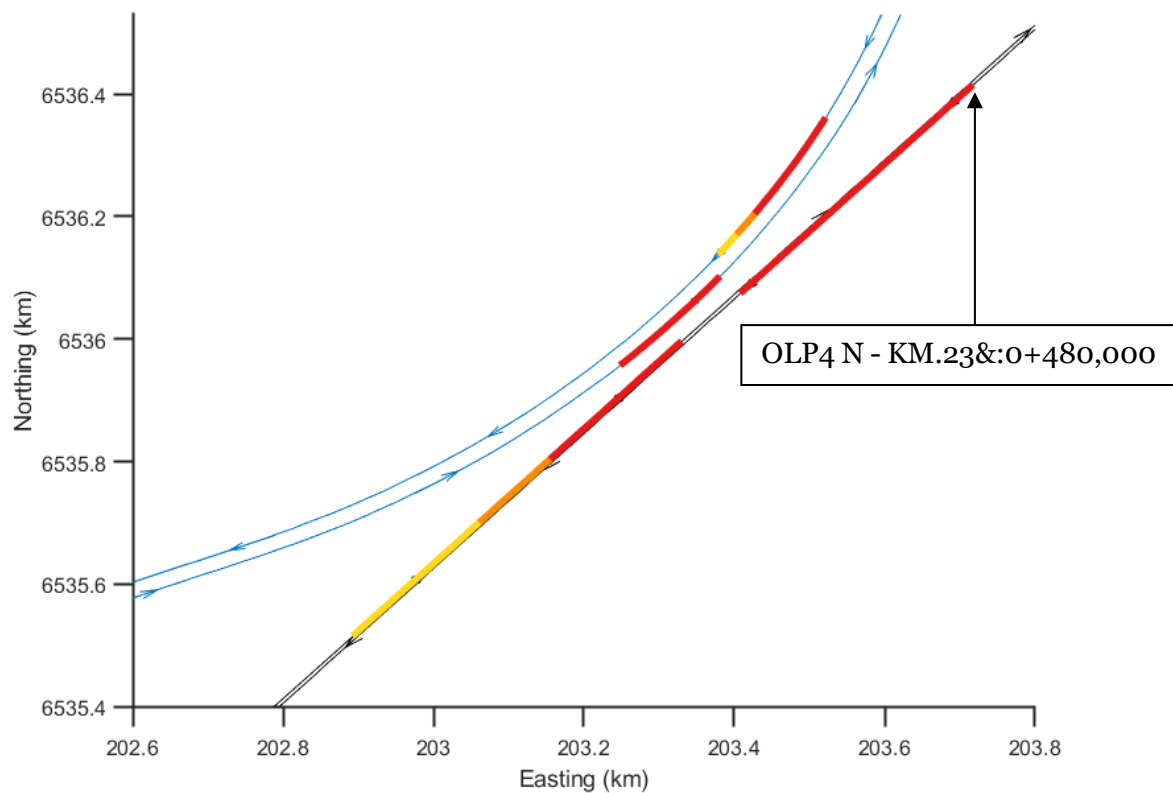
*Kommentar:* Här är det en relativt kort sträcka där gränsvärdena överskrids. Det betyder att exponeringstiden och därmed dosen blir relativt låg vilket gör att tiden för bländningsåterhämtning inte blir så lång.

### Riskområde A3 - OLP 4 (ca 1 km sydost om Hölö)



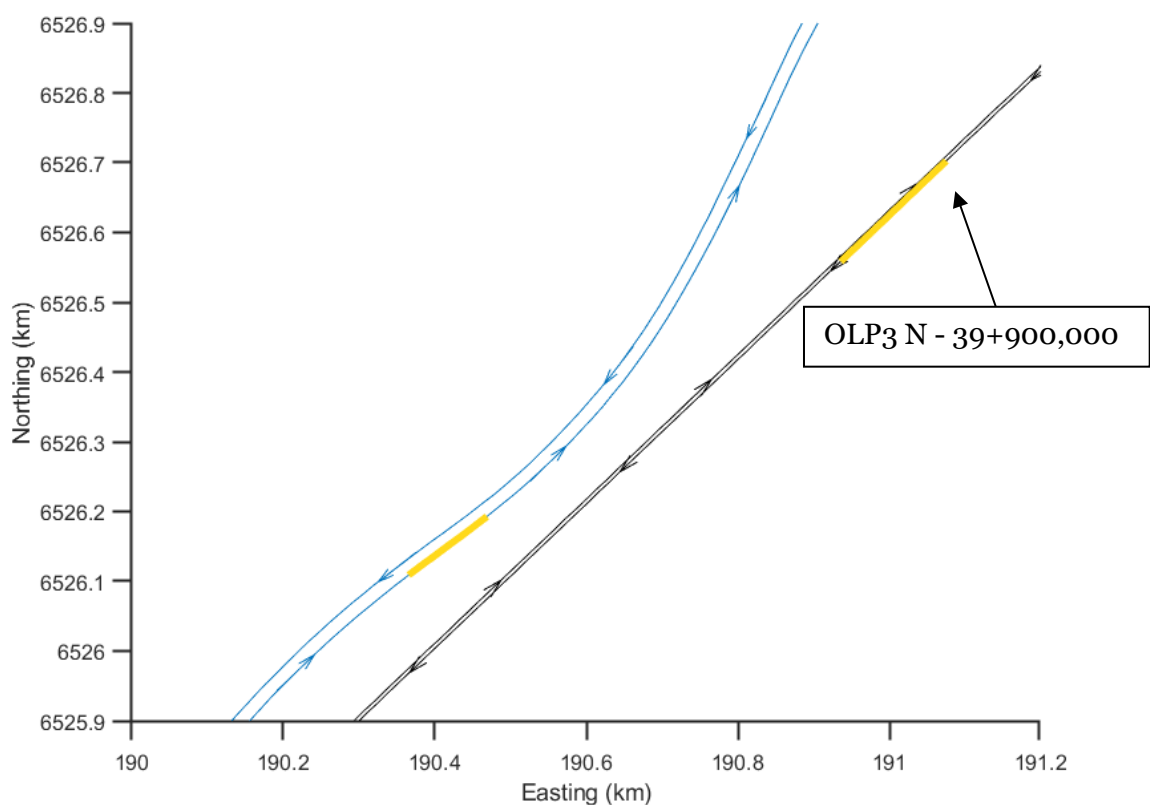
	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)			
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd	
	6 545 297.6	210 491.5	31.7		6 544 688.9	210 213.2	16.8
	:	:	:		:	:	:
	6 545 120.4	210 410.2	26.8		6 544 927.5	210 316.4	21.5
					6 544 945.7	210 324.6	22.0
					:	:	:
					6 545 263.2	210 470.3	30.7

### Riskområde B - OLP 4 (ca 3 km väster om Vagnhärad)



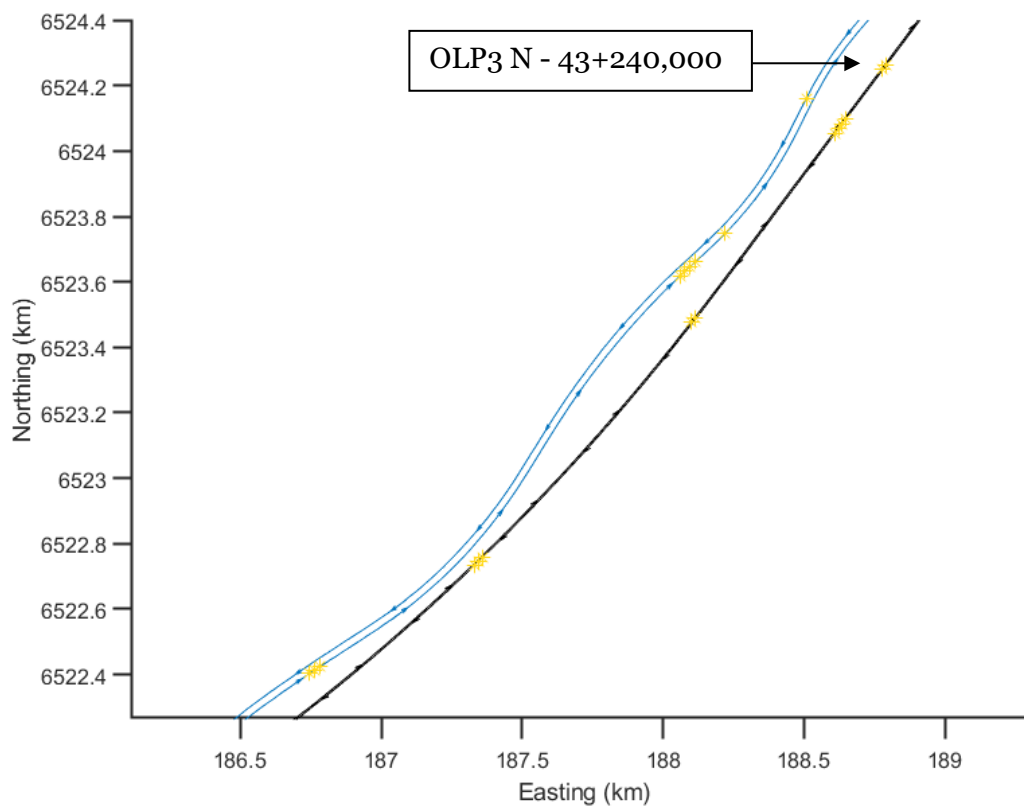
Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)				
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd	
	6 536 414.8	203 717.5	30.2		6 535 515.8	202 892.7	17.3
	:	:	:		:	:	:
	6 536 074.5	203 407.9	22.6		6 535 685.9	203 047.5	16.8
					6 535 700.7	203 061.0	16.9
					:	:	:
					6 535 789.4	203 141.7	17.4
					6 535 804.2	203 155.2	17.6
					:	:	:
					6 535 996.5	203 330.2	20.6

### Riskområde C1 - OLP 3 (ca 2 km väster om Tystberga)



	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 526 702.5	191 075.1	27.8			
	:	:	:			
	6 526 558.3	190 935.8	27.7			

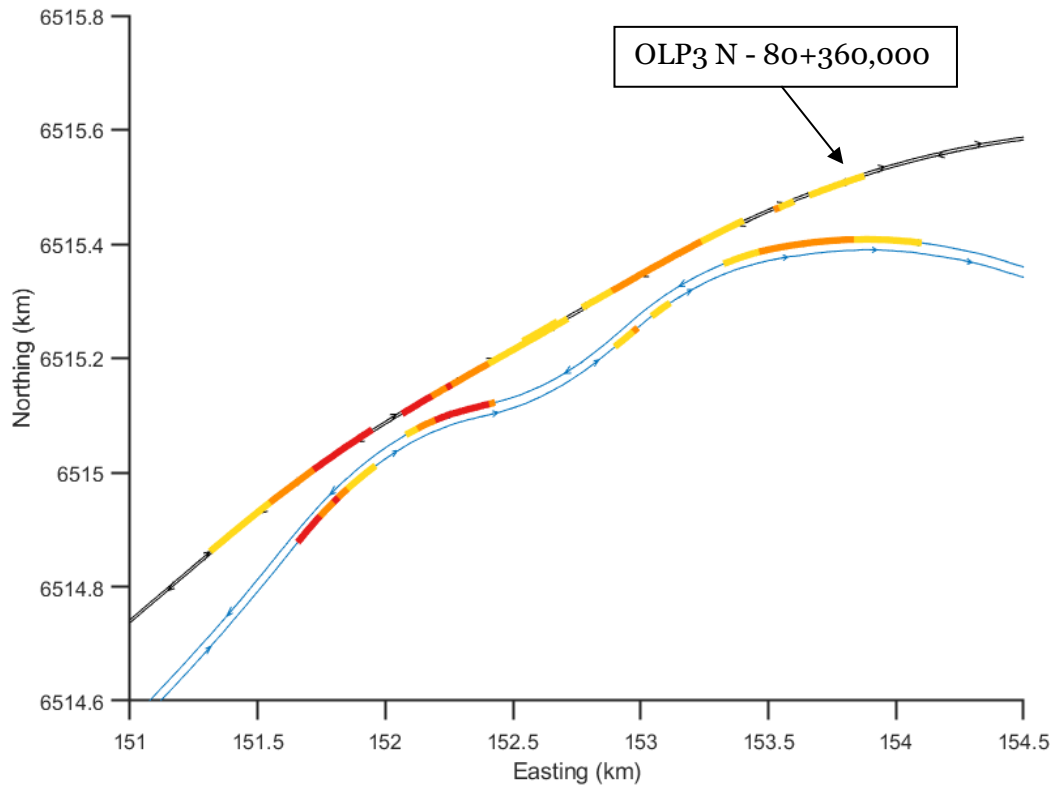
## Riskområde C2 - OLP 3 (ca 3 km sydväst om Tystberga)



Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
6 523 476.3	188 099.0	57.0	6 524 264.1	188 793.1	54.6
6 523 491.1	188 112.4	57.1	6 524 249.0	188 780.0	54.8
			6 524 098.0	188 648.9	55.8
			6 524 082.9	188 635.7	55.9
			6 524 067.8	188 622.6	56.0
			6 524 052.7	188 609.5	56.0
			6 522 758.9	187 361.3	48.6
			6 522 746.0	187 345.9	48.6
			6 522 733.2	187 330.5	48.6

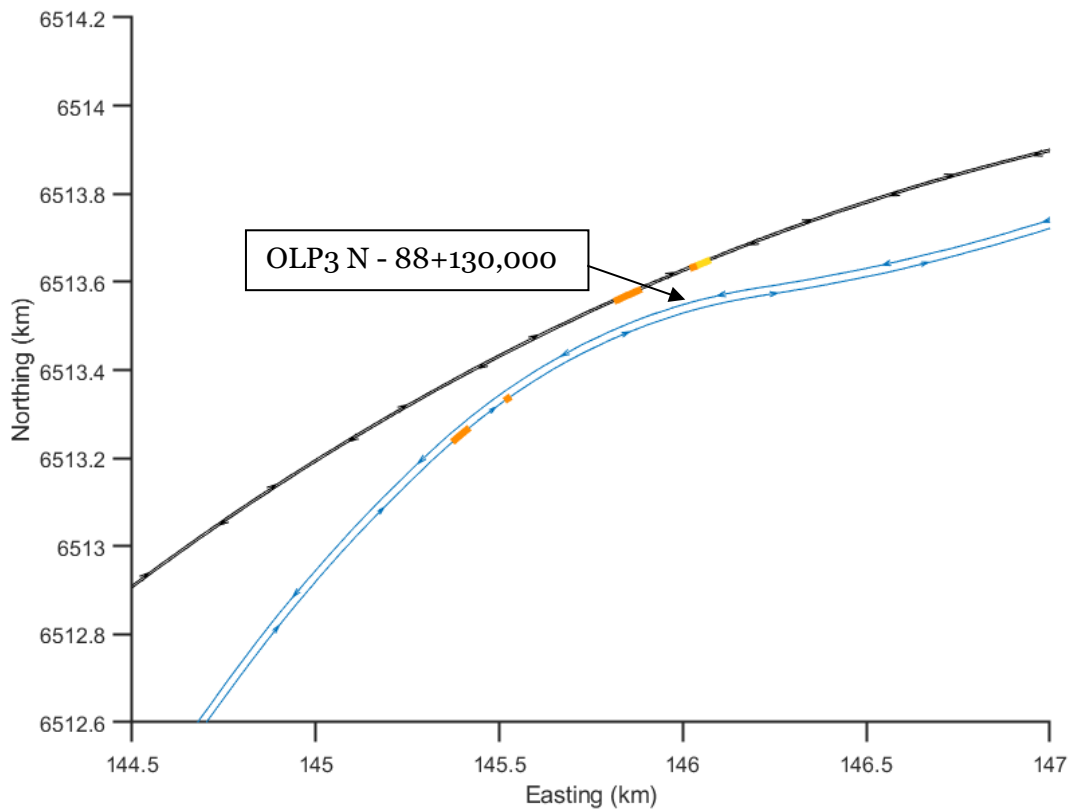
*Kommentar:* Här är det fragmenterade områden med mycket låg risk där dessutom varje delsträcka är relativt kort.

### Riskområde D1 - OLP 3 (ca 4 km nordväst om Ålberga)



	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)			
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd	
	6 515 474.4	153 600.4	44.1		6 514 861.5	151 313.2	48.8
	:	:	:		:	:	:
	6 515 459.7	153 521.8	44.2		6 514 875.5	151 350.6	48.7
					6 514 947.3	151 548.0	48.3
	6 515 268.9	152 713.9	45.9		:	:	:
	:	:	:		6 514 998.6	151 699.5	48.0
	6 515 195.3	152 423.1	46.5		6 515 004.8	151 718.5	48.0
	6 515 190.4	152 403.7	46.5				
	:	:	:		6 515 075.0	151 948.0	47.5
	6 515 158.4	152 277.7	46.8				
	6 515 153.4	152 258.3	46.8		6 515 075.0	151 948.0	47.5
	:	:	:		6 515 075.0	151 948.0	47.5
	6 515 102.6	152 065.0	47.2		:	:	:
					6 515 313.0	152 867.8	45.6
					6 515 318.0	152 887.2	45.5
					:	:	:
					6 515 404.3	153 237.2	44.8
					6 515 408.8	153 256.7	44.8
					:	:	:
					6 515 441.0	153 403.2	44.5

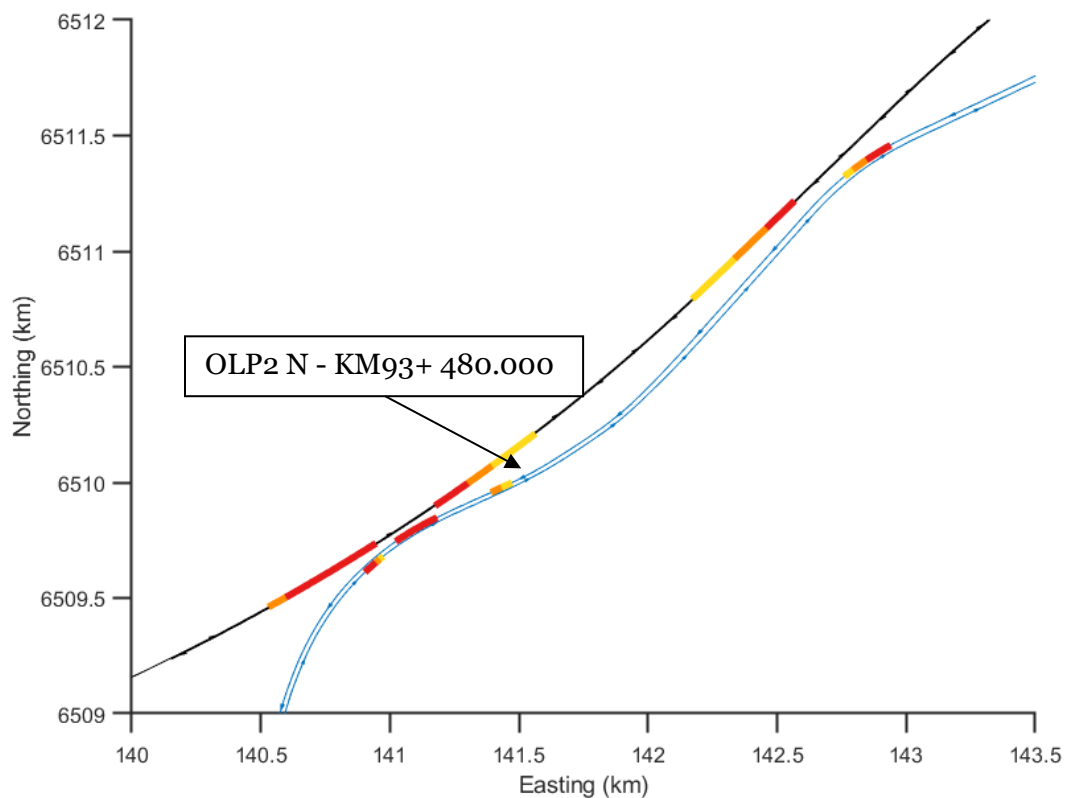
## Riskområde D2 - OLP 3 (ca 2 km norr om Stavsjö)



	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 513 649.8	146 075.6	62.9			
	6 513 643.4	146 056.7	63.2			
	6 513 636.9	146 037.8	63.5			
	6 513 630.4	146 018.9	63.8			
	6 513 583.5	145 887.1	65.9			
	:	:	:			
	6 513 555.6	145 812.1	67.1			

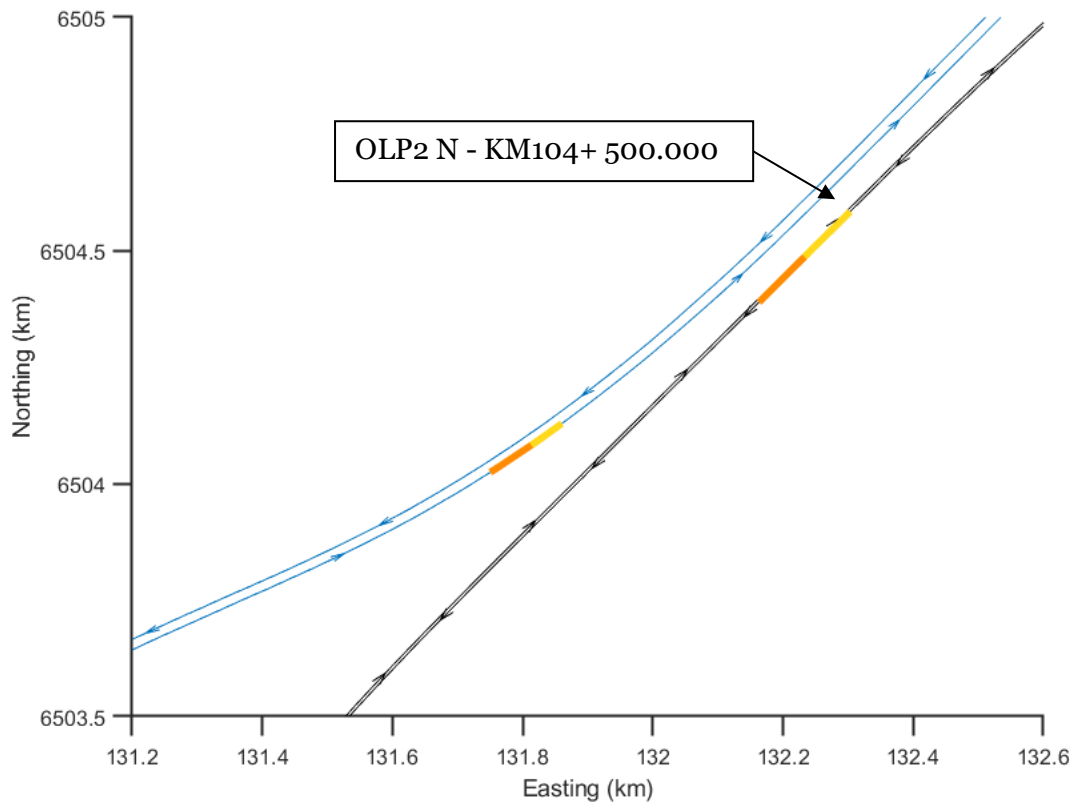
*Kommentar:* Här är det en relativt kort sträcka där gränsvärdena överskrids. Det betyder att exponeringstiden och därmed dosen blir relativt låg vilket gör att tiden för bländningsåterhämtning inte blir så lång

### Riskområde D3 - OLP 2 (ca 2 km norr om Strömsfors)



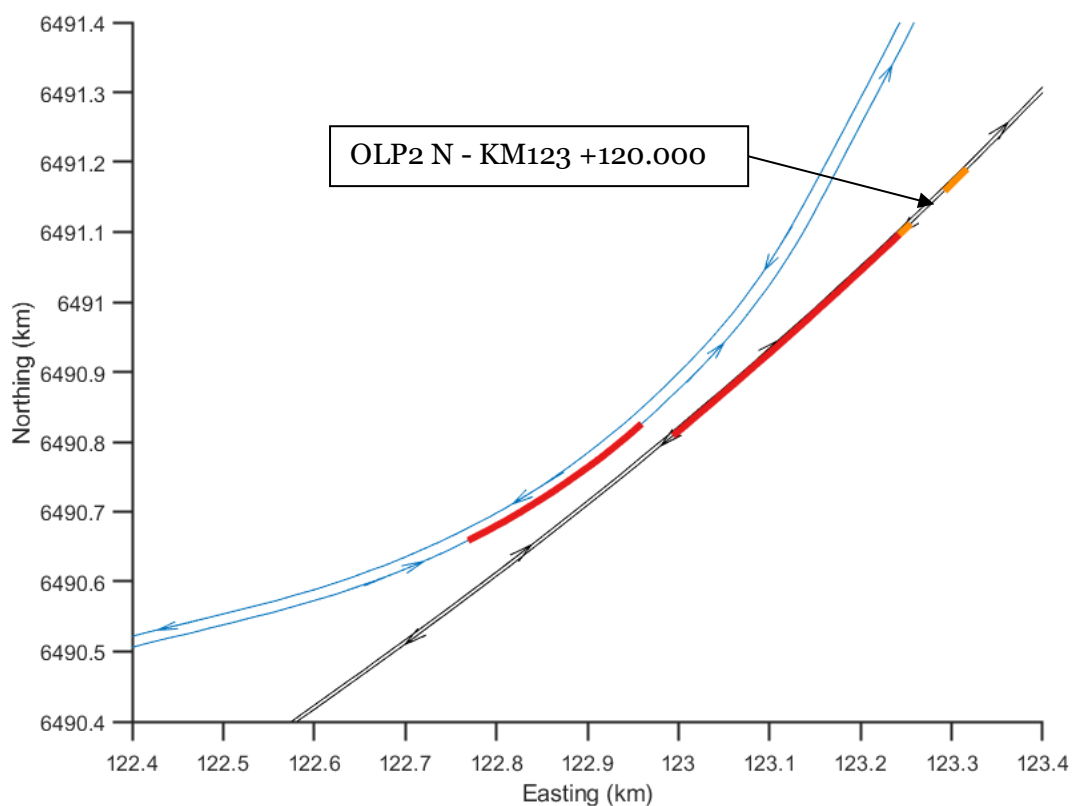
	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 510 211.9	141 563.9	77.1	6 509 460.4	140 529.1	71.6
	:	:	:	:	:	:
	6 510 083.7	141 410.4	76.3	6 509 736.6	140 945.8	73.8
	6 510 071.1	141 394.9	76.2	:	:	:
	:	:	:	6 510 792.1	142 170.5	80.7
	6 510 008.5	141 316.8	75.8	:	:	:
	6 509 996.1	141 301.1	75.7	6 510 952.3	142 321.2	81.7
	:	:	:	6 510 966.9	142 334.8	81.8
	6 509 898.3	141 174.5	75.0	:	:	:
				6 511 085.0	142 444.4	82.5
				6 511 099.7	142 458.1	82.6
				:	:	:
				6 511 217.9	142 567.7	83.3

### Riskområde E - OLP 2 (ca 2 km sydost om Åby)



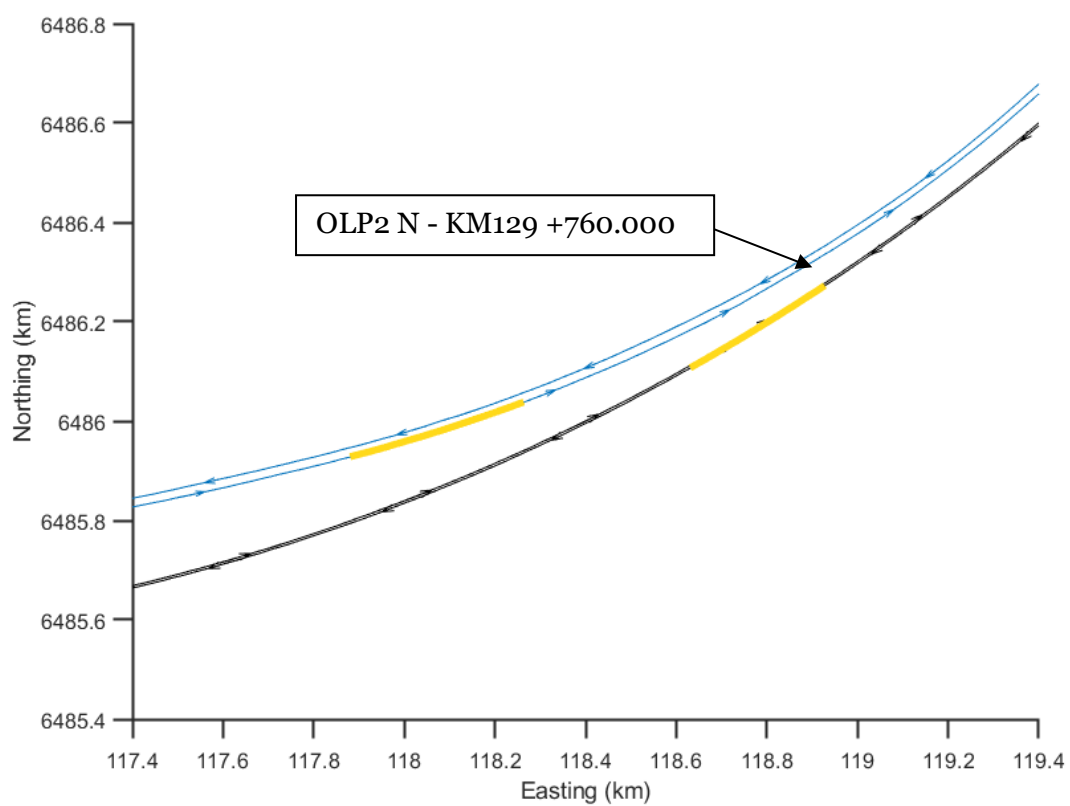
	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 504 583.3	132 303.2	9.6			
	:	:	:			
	6 504 502.2	132 244.7	9.7			
	6 504 486.0	132 233.1	9.7			
	:	:	:			
	6 504 486.0	132 233.1	9.7			

### Riskområde F1 - OLP 2 (ca 4 km öster om Kimstad)



	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 491 190.3	123 316.9	57.6			
	:	:	:			
	6 491 158.8	123 292.2	57.4			
	6 491 111.9	123 254.9	57.0			
	6 491 096.3	123 242.3	56.9			
	:	:	:			
	6 490 808.7	122 994.0	51.7			

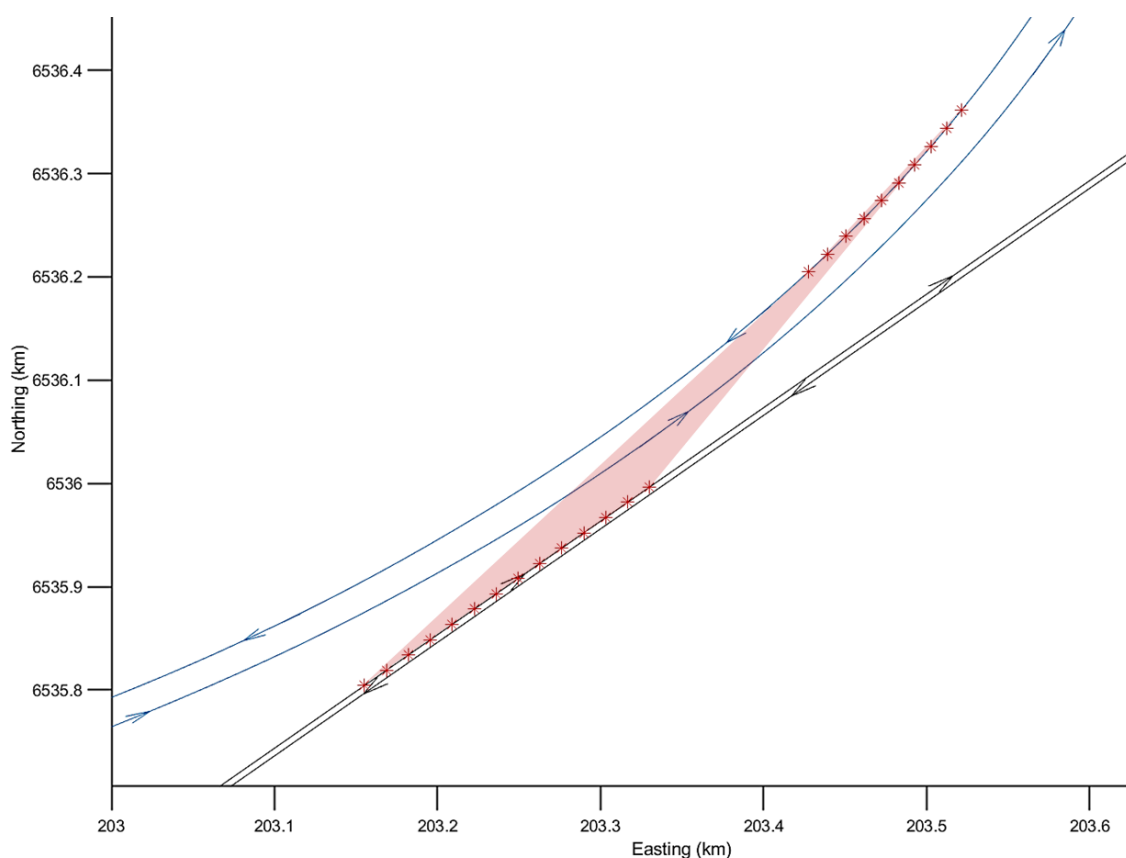
## Riskområde F2 - OLP 2 (ca 1 km söder om Norsholm)



	Spår N, södergående (m)			Spår U, norrgående (m)		
	Norr	Öst	Höjd	Norr	Öst	Höjd
	6 486 272.7	118 927.7	50.0			
	:	:	:			
	6 486 107.2	118 630.8	51.3			

## 4.2 Placering av bländskydd

Genom att förbinda randpunkter för områden på rälsen, där tåget riskerar att blända fordon, med områden på vägen där fordonet riskerar att utsättas för bländning får man en illustration över var man kan placera bländskydd för att blockera alla kritiska områden. Principen visas i Figur 7 för område B, uppåtgående spår och röd risknivå. Generellt sett kommer det att krävas en kortare sträcka med bländskydd ju närmre motorvägen de placeras. Om man vill dimensionera för att tåget även har övre strålkastare, vilket är tillåtet enligt standarden [9], behöver man i en del fall anpassa höjden på bländskydden efter det (se avsnitt 4.3.3).



**Figur 7.** Illustration över område där bländskydd bör placeras för att blockera strålgången från tågets strålkastare om man vill förhindra bländning i de markerade kritiska punkterna på E4:an. För tydlighet har endast en riktning (Uppspår) och en risknivå (avsevärd risk) valts ut.

## 4.3 Känslighetsanalys

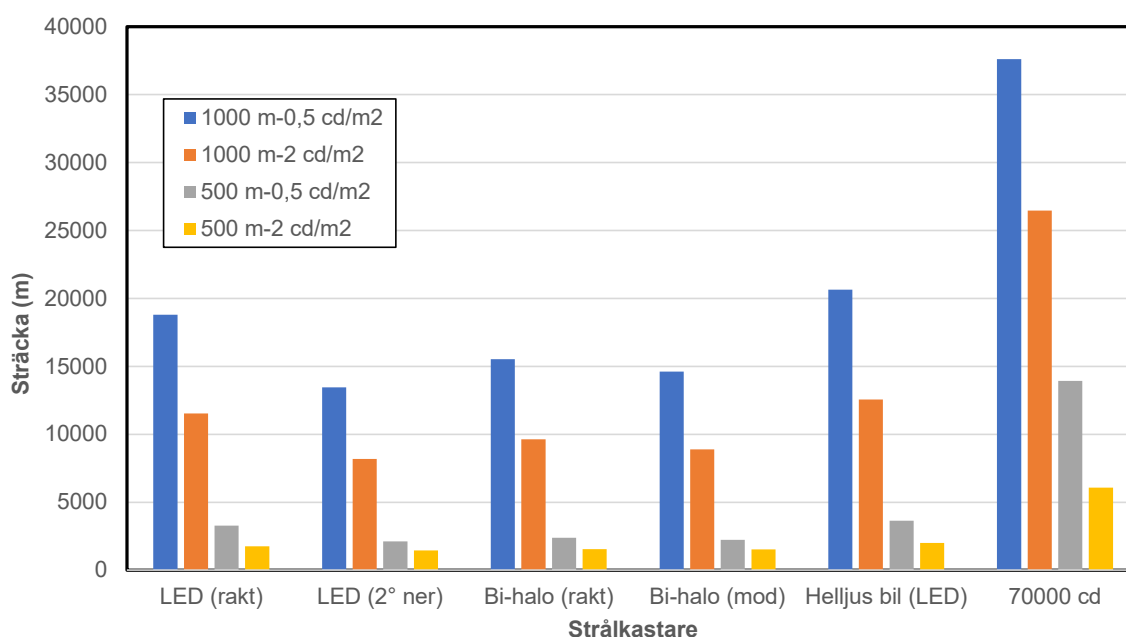
I följande stycken beskrivs hur längden på de bländningskritiska delarna av Ostlänken påverkas av satta urvalskriterier för bländning (sträcka, slöjluminans och illuminansvinkel), samt även vilken betydelse ljusfördelningen hos strålkastarna, inklusive eventuella övre strålkastare, har. Övriga inparametrar som förarhöjd och placering av tågets strålkastare har försumbar påverkan på utfallet. Detta gäller också förarhöjder motsvarande större lastbilar (upp till 2,2 m).

Längden för bländskydd kommer bero på var dessa sätts upp, men förutsatt att de placeras nära tåg rälsen kommer den totala längden bländskydd ungefär motsvara den sträcka längs Ostlänken där tåget riskerar att blända mötande trafik. Således har samtliga delsträckor (och enstaka punkter) där upp- eller nedåtgående tåg utgör en bländningsrisk summerats, och den totala sträckan har därefter använts som ett jämförande mått.

Dessutom adresseras alternativet att i stället för bländskydd sätta upp vägbelysning på kritiska delar på E4:an, något som kommer öka adaptionsluminansen hos trafikanter på E4:an vilket i sin tur kommer öka tåligheten mot bländning.

### 4.3.1 Ljusfördelning hos tågstrålkastare

Som nämndes i avsnitt 3.1.2, har analyserna primärt gjorts med ljusfördelningar liknande faktiska tågglampor som även i vissa delar modifierats. Innan den slutliga analysen genomfördes (se resultat i avsnitt 4.1) undersöktes vilken påverkan olika ljusfördelningar har på den totala längden bländskydd. Förutom de fyra tågstrålkastarna (se avsnitt 3.1.2.2) inkluderades även ett helljus för en personbil samt en strålkastare med 70 000 cd i alla riktningar (i likhet med tidigare utredning). Resultaten för två olika avstånd för bländning (500 m och 1000 m) samt för två olika gränser på acceptabel slöjluminans (0,5 och 2 cd/m<sup>2</sup>) redovisas i Figur 8 nedan. Notera att inga gränser för maximal illuminans vid ögat tillämpades.



**Figur 8.** Uppskattad längd på bländskydd med olika strålkastare för två olika gränser på avstånd och slöjluminans för bländning.

Generellt är det relativt liten skillnad mellan de fyra tågstrålkastarna, och skillnaderna handlar heller inte om att helt nya delsträckor pekas ut som kritiska utan om vilka punkter som kan anses blända. Helljuset för personbil ger ca 30% längre sträcka jämfört med ett snitt av tågglamporna medan en rundstrålande strålkastare med 70 000 cd/m<sup>2</sup> som väntat pekar ut signifikant fler områden som kritiska. Beroende på vilka gränsvärden som används ökar totala sträckan bländskydd med mellan 250% och 550% jämfört med tågstrålkastarna.

Sammantaget är bedömningen att ljusfördelningen inte är den mest kritiska parametern under förutsättning att den baseras på en verklighetsliknande strålkastare, men att utgå från 70 000 cd i alla riktningar kraftigt överskattar riskerna. Det är dessutom rimligt att tro att tågstrålkastare fortsatt kommer ha en smalare ljusbild än helljus hos personbilar, då behovet av att lysa upp brett framför ett tåg är mer begränsat. Dock, för att inte underskatta riskerna har den utförda analysen även tagit hänsyn till felriktade strålkastare och har utförts med en kombination av de fyra fördelningar för tågstrålkastare som redovisades i 3.1.2.2.

### 4.3.2 Avstånd, slöjluminans och illuminans/vinkel

Beroende på vilka faktorer som väljs för en bländningsanalys och vilka gränser som sätts för dessa, så kommer utfallet för de sträckor som pekas ut som kritiska skilja sig åt. Som tidigare nämnts bedöms slöjluminansen  $L_V$  vara en relevant faktor, men att endast basera analysen på ett specifikt gränsvärde på  $L_V$  utan att begränsa avståndet ger orimligt strikta gränser. För att dessutom ta större hänsyn till obehagsbländning, som har en mer direkt koppling till illuminansnivån vid ögat, bedöms det rimligt att komplettera  $L_V$  med en gräns för acceptabel illuminans vid relativt snäva infallsvinklar.

En fullständig känslighetsanalys som inkluderar alla rimliga kombinationer av gränser för  $L_V$ , avstånd och illuminans/vinkel blir väldigt omfattande och komplex, och ligger utanför detta arbete. Vi har dock genomfört analyser med ett stort antal olika kombinationer av gränser vilket redovisas i nedanstående tabeller.

**Tabell 6.** Förändring av total bländningssträcka med olika antagna maxavstånd ( $D_{max}$ ) för bländning ( $L_V > 2 \text{ cd/m}^2$ ,  $E > 0,3 \text{ lx}$  &  $\theta < 10^\circ$ ).

Maxavstånd (m)	Ostlänken		E4:an	
	Totalt (m)	Rel.500 m	Totalt (m)	Rel.500 m
300	1774	-57%	1463	-53%
400	2424	-42%	1933	-37%
500	4165	0%	3086	0%
600	6207	49%	4344	41%
700	7907	90%	5304	72%
800	9527	129%	6089	97%
900	11408	174%	6627	115%
1000	13438	223%	7056	129%

**Tabell 7.** Förändring av total bländningssträcka (m) för olika kombinationer av gränsvärden för  $E$  och  $\theta$  ( $L_V > 2 \text{ cd/m}^2$ , avstånd  $< 500 \text{ m}$ ).

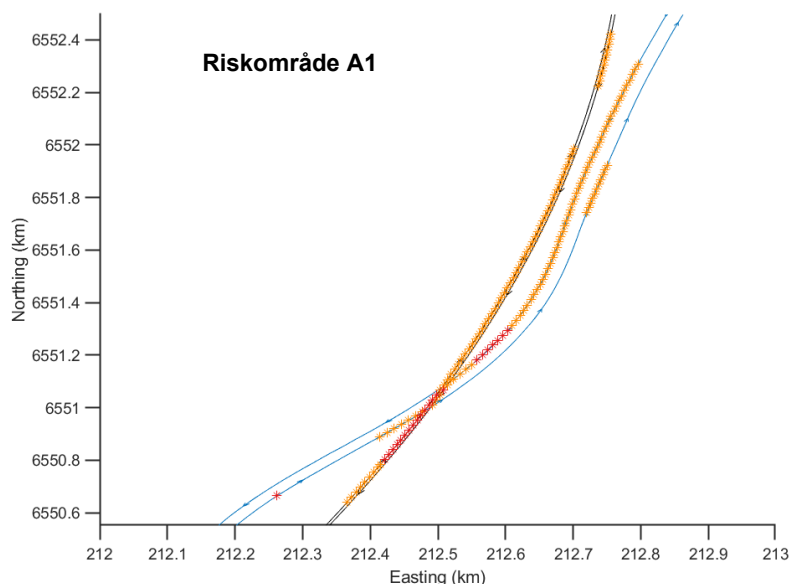
Illuminans $E$ (lx)	Blickvinkel $\theta$ (°)		
	5	10	15
0,1	7470	14672	17842
0,3	2790	4165	4566
0,5	1931	2490	2770

Från Tabell 7 framgår att känsligheten för ökad maximal illuminans  $E$  avtar kraftigt över 0,1 lx. Detta beror på att avståndet mellan ett tåg på Ostlänken och en mötande trafikant oftast är åtskilliga 100 m när vinkeln  $\theta$  är liten. Således blir förändringen relativt liten om man ökar gränsen på  $E$  över 0,3 lx, och detsamma gäller även vinkeln  $\theta$ . Skillnaden i sträcka om man inte sätter någon begränsning på  $E$  är dock betydande vilket framgår ur Tabell 8 nedan. Med gränsen  $L_V < 2$  cd/m<sup>2</sup> minskar totala sträckan för bländning till ungefär en tredjedel utan begränsning på  $E$ . Man kan också se att en begränsning av  $E$  och  $\theta$  gör analysen mer robust och mindre känslig för gränsen på  $L_V$ .

**Tabell 8.** Förändring av total bländningssträcka (m) för olika värden på  $L_V$ , med respektive utan begränsning av  $E$  och  $\theta$ .

$L_V$	Ostlänken (m)		E4:an	
	Inkl. $E/\theta$	Exkl. $E/\theta$	Inkl. $E/\theta$	Exkl. $E/\theta$
0,5	4976	3141	4088	2087
2	4165	1621	3086	972
5	3865	1280	2900	786
10	3685	1040	2790	652

Ytterligare en observation är att införandet av  $E/\theta$  begränsningen i de flesta fall inte identifierar helt nya områden som kritiska, utan snarare lägger till sträckor eller fyller ut luckor i områden som redan identifierats som kritiska baserat på  $L_V$ -gränsen. Detta gäller framför allt riskområde A1, vilket illustreras i Figur 9 nedan.

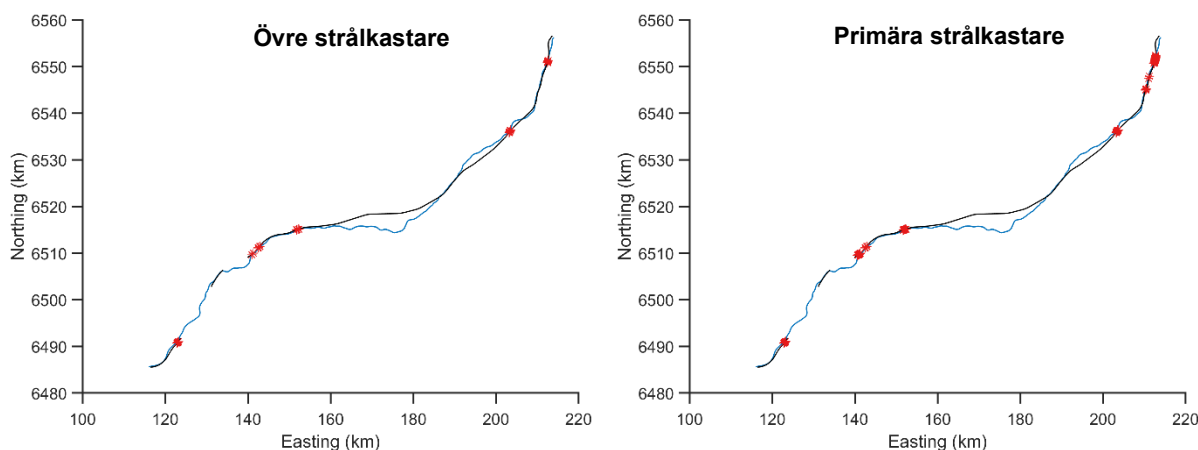


**Figur 9.** Skillnader i identifierade riskpunkter med endast  $L_V$ -gräns ( $< 2$  cd/m<sup>2</sup>, röda stjärnor) respektive med gränser för både  $L_V$  och  $E/\theta$  (gula och röda stjärnor).

### 4.3.3 Övre strålkastare

Som tidigare nämnts tillåts tåg enligt EN 15153-1 även ha två strålkastare ovanför vindrutan. De primära analyserna har inte tagit hänsyn till sådana då den tillåtna ljusstyrkan är betydligt lägre än för de primära strålkastarna. Vi har dock undersökt

riskerna för bländning med enbart övre strålkastare, och då antagit en ljusfördelning hos dessa motsvarande de primära men med lägre ljusstyrka (max 16 000 cd). En jämförelse av utfallet med endast övre respektive endast primära strålkastare visar i Figur 10, med användande av kriterierna för avsevärd risk för bländning. Den totala sträckan med för bländningsrisk sjunker från drygt 4 km till 1,3 km med enbart övre strålkastare och några områden försvinner. Det föreligger dock fortfarande risk för bländning även med enbart övre strålkastare, vilket bör beaktas i val och placering av bländskydd.

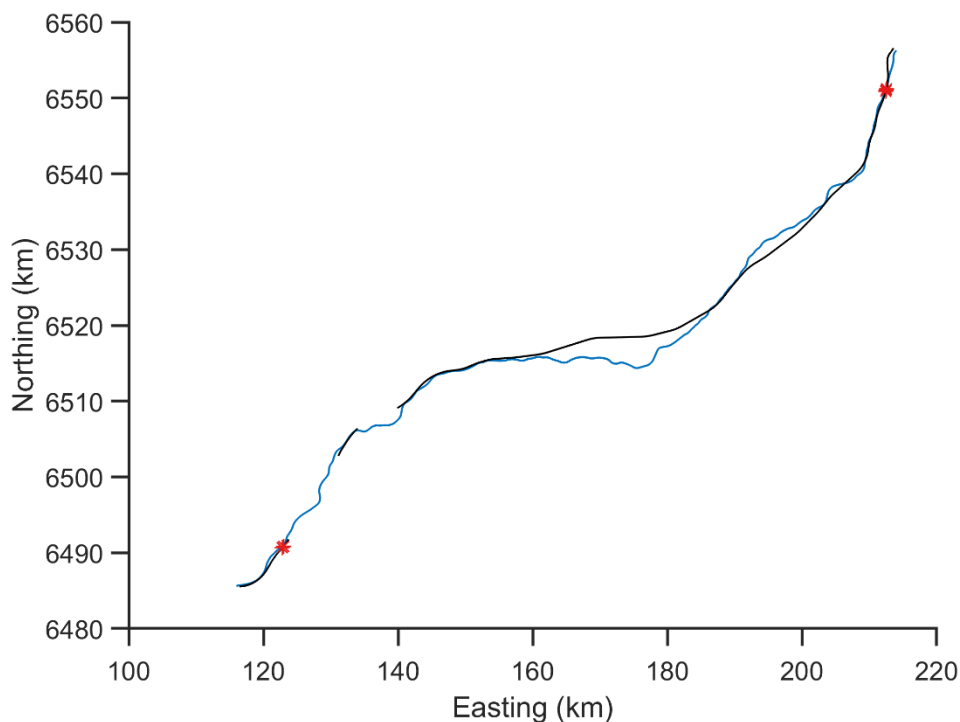


**Figur 10.** Identifierade riskområden med endast övre strålkastare (vänster) respektive endast primära strålkastare (höger).

#### 4.3.4 Vägbelysning

Som nämnts ovan kan kontrastreduktion motverkas genom högre ljusnivåer på vägen och objekt med låg kontrast kan observeras lättare om den övergripande ljusnivån ökas. Genom att introducera vägbelysning längs vägen kan man höja adaptationsluminansen och därmed höja gränsvärdeskriterierna för bländning.

För att undersöka eventuellt kritiska sträckor även med installerad vägbelysning beräknades riskområden där bländningsavståndet,  $D_{max}$ , kortats ner till 300 m och kriteriet för maximal illuminans höjts till 1,0 lx. Figur 11 nedan visar att det fortfarande är två områden som sannolikt kvarstår som riskområden även om vägbelysning eller gestaltningsbelysning läggs till. Dessa områden är delsträcka A1 – betydligt kortare sträcka än tidigare (några 100 m precis i korsning) och delsträcka F1 – som tidigare men något kortare. Totalt skulle det i detta fall (A1+F1) endast behövas 360 m bländskydd för hela OLP 2-4.

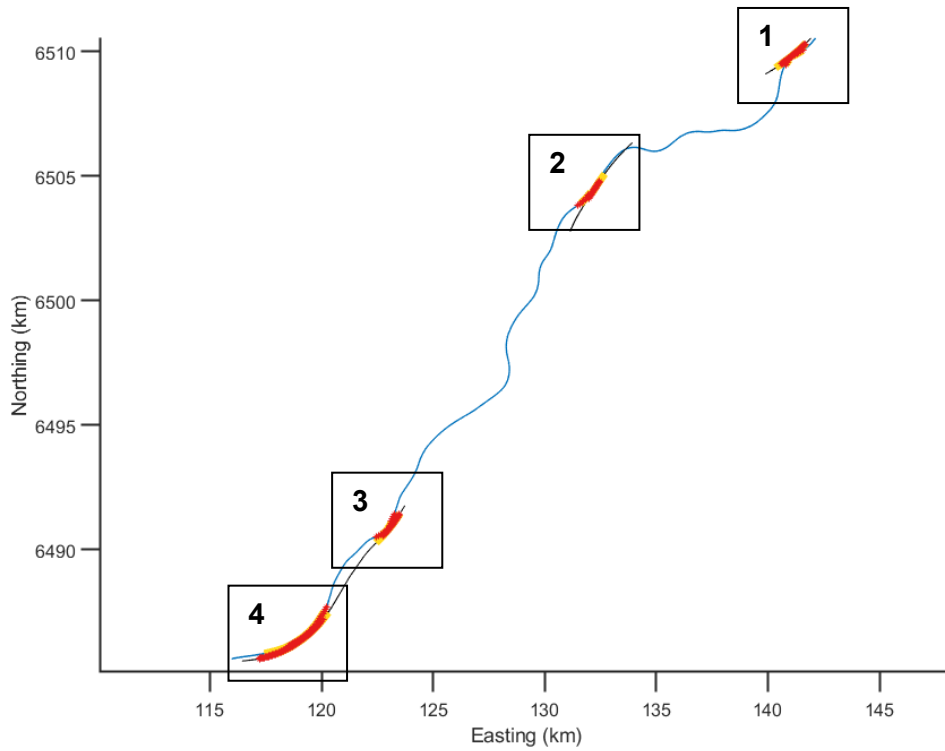


**Figur 11.** Kvarstående riskområden med gränser för avstånd och illuminans satta till 300 m respektive 1,0 lx.

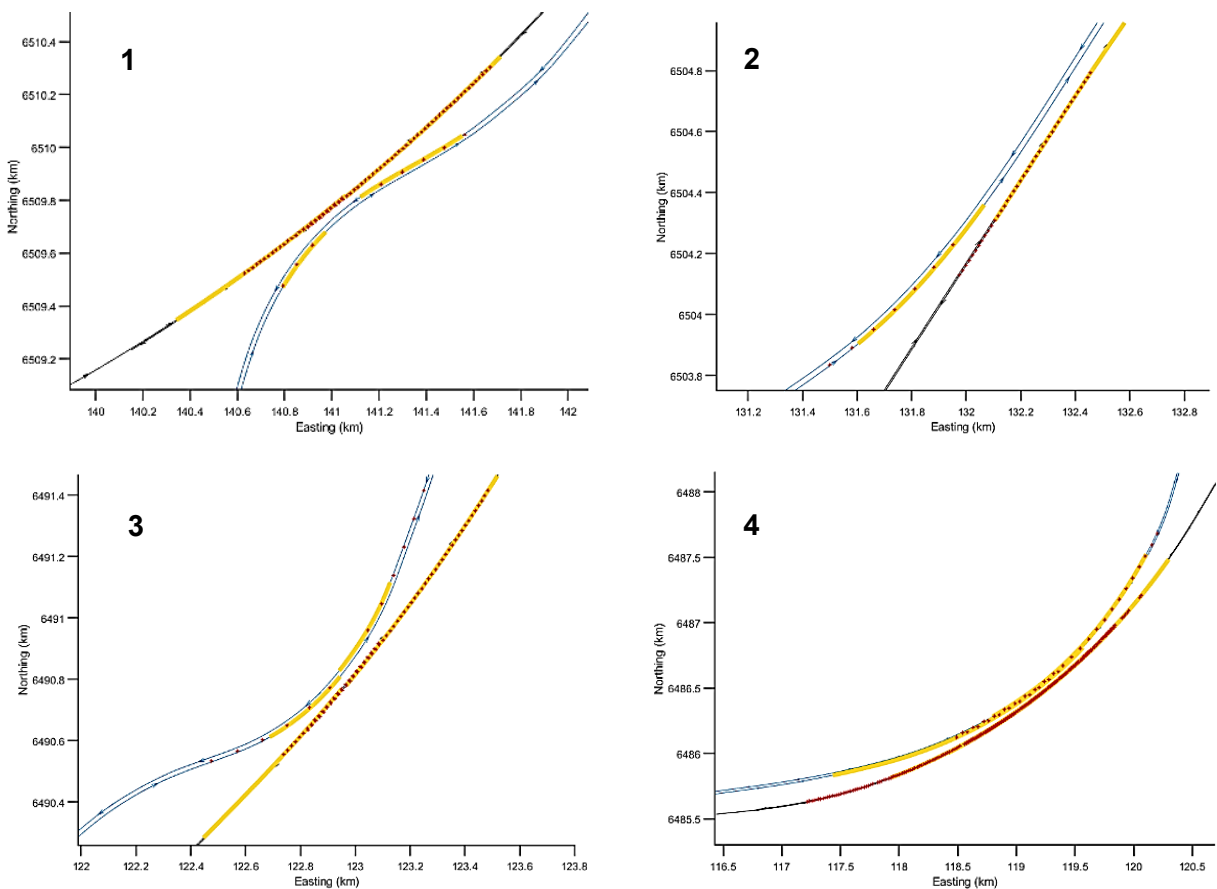
## 4.4 Jämförelse med tidigare utredning

En jämförelse mellan beräkningarna av bländningsrisker i aktuell studie med de som utförts i en tidigare utredning [8] har gjorts och presenteras i Figur 12 och Figur 13 nedan. Resultaten från den tidigare utredningen har extraherats från åtta beräkningsmallar som tillhandahållits av Trafikverket (OLP2-04-025-21-0\_0-0516.xlsm -- OLP2-04-025-23-0\_0-0846.xlsm). Baserat på uppgifter i mallar och rapporter från [8] baseras beräkningarna på två rundstrålande strålkastare med 70 000 cd, förarhöjd 2,9 m och gränsvärdet  $L_v=0,5$  cd/m<sup>2</sup>. Position hos lamporna är samma som använts i denna studie. Det framgår inte vilken blickriktning som använts men vi har utgått från en blickriktning svagt nedåt på  $-0,6^\circ$  vilket nämns i huvudrapporten. Notera att den förarhöjd för lastbil som anges i mallarna (2,9 m) inte stämmer med den som anges i rapporten (2,05 m).

Jämförelsen visar överlag god överensstämmelse och bägge analyserna identifierar samma fyra riskområden (1-4 enligt Figur 13) i OLP2 med ungefär samma utbredningar. Det blir dock ingen fullkomligt överlapp vilket med största sannolikhet förklaras av dels något skiftade och glesare lägeskoordinater för E4:an sträckning, och i vissa fall en begränsning av området som täcks av de koordinater som använts i den tidigare analysen. Som tidigare nämnt föreligger dessutom vissa oklarheter kring detaljer i ingående parametrar, främst förarens blickriktning.



**Figur 12.** Identifierade riskområden med vår metod i MATLAB (gula linjer) jämfört med tidigare utredning (röda markeringar), med liknande analyskriterier.



**Figur 13.** De fyra identifierade riskområden från Figur 12 i detalj. Utfall med vår metod i MATLAB (gula linjer) jämfört med tidigare utredning (röda markeringar).

## 5 Uppskattning av risk

Minskat synavstånd och längre reaktionstider har en intuitiv koppling till minskad trafiksäkerhet, men det är betydligt svårare att direkt relatera olycksrisk till bländning under nattförhållanden. En viktig orsak är att olyckor påverkas av ett stort antal samverkande faktorer hos förare, fordon och miljö, vilket försvårar isolering av en enskild effekt.

Bländning utgör generellt ett större problem på obelysta vägar, eftersom förarens öga då oftast är adapterat till låga luminansnivåer. Vidare är bländningsnivåerna ofta högre på vägar med ett körfält i varje riktning utan fysisk separation mellan mötande trafik, än på motorvägar. Detta beror på att vinkeln mellan förarens observationsriktning och mötande fordons körriktning i dessa fall vanligtvis är mindre, vilket har en direkt inverkan på den upplevda bländningen.

Till skillnad från andra mer väldokumenterade samband mellan faktorer som alkoholpåverkan, hög hastighet, eller ishalka, är det svårt att ge ett mått på effekterna av bländning på olycksrisken. Rapporteringen från olyckor nattetid kan innehålla hänvisningar till nedsatt sikt eller bländning, men eftersom bländning är starkt beroende av specifika geometriska faktorer, exempelvis strålkastarens placering i förarens synfält, är det i praktiken mycket svårt att avgöra om, och i så fall hur, bländning från strålkastare har bidragit till en enskild olycka.

Förare saktar ofta ner när de exponeras för mötande fordons lyktor [25] eller ändrar sin körinje (drar sig närmare mitten eller väggkanten) [26]. Det går att argumentera för att en hastighetssänkning generellt ökar säkerheten, men det kan också öka risken för att bli påkörd av upphinnande fordon, vilket är en relativt vanlig olyckstyp vid bländning [se avsnitt 5.3]. Att man vinglar till med motorfordon eller cykel och kör in i mitträcke eller kör av vägen, eller som fotgängare och faller, är händelseförlopp som ofta förekommer i olycksrapportering vid bländning, både från lampor och av solen.

Dessutom kan bländning som reducerar synbarheten längs vägen utan att föraren noterar det göra att föraren inte anpassar sin hastighet och risken för påkörning av objekt längs vägen med låg kontrast, som vilt eller fotgängare, ökar.

### 5.1 Studier i fält

Under början av 2000-talet genomförde USAs transportdepartement på uppdrag av den amerikanska kongressen en stor undersökning om riskerna med bländning för mötande fordon [6, 26]. Anledningen var bland annat att en stor mängd kommentarer och klagomål från allmänheten om detta inkommit till NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) I undersökningen ingick ett flertal delstudier.

En av dessa undersökte möjligheten att koppla strålkastarbelysning till olycksrisk. Den byggde på hypotesen att förare uppvisar olika beteenden på platser med hög respektive låg olycksrisk, och att dessa beteenden kan jämföras med de som uppvisas när förare utsätts för mötande strålkastarbelysning. [6]. Bland förarbeteenderna man tittade på var huvudrörelser, hur aktivt man sökte av omgivningen, och hur foten tryckte på gaspedalen. Hypoteserna testades med linjära regressionsmodeller för samband mellan förarens beteenden till risk- och ljusnivåer och man fann att variation i gaspedalens

position och förarens huvudrörelser var associerade med högre risk och mötande strålkastarbelysning. Slutsatsen var att körbeteenden och reaktioner kan kopplas till olycksdata och ljusnivåer, men effekterna var svåra att påvisa på grund av individuella variationer.

I en undersökning av hur lång tid det tog för en förare att upptäcka ett objekt vid olika bländningsscenarier fann man att försökspersonerna tog längre tid att upptäcka objekt när dosen var hög. Scenarier med olika maxvärden för ljusstyrka men likvärdiga doser resulterade i nästan samma upptäcktstider. Bedömningen av obehag var däremot relaterad till toppvärdet för ljusstyrka. Äldre försökspersoner tog betydligt längre tid än yngre att upptäcka målen, även om deras bedömning av obehag var nästan samma som de yngre. Slutsatsen var att äldre förare, förutom att uppleva större funktionsnedsättning på grund av bländning från strålkastare, också sannolikt har minskad visuell känslighet under en längre tid efter att ha utsatts för strålkastarbelysning [6].

I en fältstudie av förmågan att upptäcka fotgängare fann man att vid förekomst av bländning och med användning av halvljus, kunde förare upptäcka 75% av fotgängarna som bar vita kläder och 5% av de som bar svarta kläder. Utan bländning ökade sannolikhet för upptäckt till 80% av fotgängarna med vita kläder och 35% av de som bar svarta kläder [27].

## 5.2 Enkätstudier

För att få en uppfattning om förarupplevelser i verklig trafikmiljö har en del undersökningar med frågeformulär till slumpmässigt utvalda personer genomförts. I en enkätundersökning i USA tillfrågades personer om de kört bil i mörker under de senaste 12 månaderna och i så fall hur de upplevt bländning från mötande fordons lampor. Av dessa svarade 54% att de upplevt det noterbart men acceptabelt, 30% hade upplevt att det var störande och 1% angav att det orsakade eller var nära att orsaka en olycka [28].

En undersökning från brittiska RAC (Royal Automobile Club) som inkluderade 2 000 förare fann att ca 91% av de tillfrågade säger sig bli bländade när de kör, och tre fjärdedelar (74%) säger att det händer regelbundet [29]. När det gäller konsekvenserna av bländning säger två av tre (67%) som drabbas att de måste sakta ner avsevärt tills de kan se klart igen, medan en liknande andel (64%) är oroliga för potentiella kollisioner på grund av intensiva strålkastare och fem procent uppger att det nästan orsakat en kollision. Studien anger att ca 280 trafikolyckor per år i Storbritannien kan kopplas till bländande strålkastare, vilket resulterat i ungefär sex dödsfall årligen.

En omfattande enkätstudie om bländning från fordon har genomförts under FIAs (Federation Internationale de L'Automobile) paraply i ett samarbete med 10 motororganisationer i olika europeiska länder och resultatet har sammanställts i en rapport till GRE (Working Party on Lighting and Light-Signalling, i World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) inom UNECE) [30]. Slutsatsen är att nuvarande designkrav och testprotokoll för fordonsstrålkastare behöver uppdateras för att minska risken för bländning.

- Bländning från andra förare sker mycket ofta. 50% blir (nästan) regelbundet bländade.
- Helljus är den ljuskälla som oftast bländar andra förare, liksom halvljus och bakre dimljus.

- Om förarna blir bländade är det mycket svårt för dem att se något runt ljuskällan.
- Förare reagerar på bländning genom att blunda, titta bort eller blinka.

Nedanstående enkätfrågor och svar är hämtade från GRE-rapporten [30].

<b>How do you experience glare from other vehicles?</b>	% ADAC (Germany)	% ÖAMTC (Austria)	% TCS (Switzerland)	% TCB (Belgium)	% ACL (Luxembourg) <i>(not representative)</i>	% Ø D/A/CH/B
<i>(only 1 answer possible)</i>						
Unbearable	5	5	6	8	10	6
Disturbing	62	65	65	68	61	65
Just tolerable / permissible	26	25	25	16	21	23
Acceptable	2	1	1	5	2	2
Just noticeable	4	4	3	2	6	3
Other / don't know	5	1	<1	1	<1	1

<b>Can you describe the effect you feel when you are dazzled by lights?</b>	% ADAC (Germany)	% ÖAMTC (Austria)	% TCS (Switzerland)	% TCB (Belgium)	% ACL (Luxembourg) <i>(not representative)</i>	% Ø D/A/CH/B
<i>(multiple answers allowed)</i>						
Light scattering / light curtain	21	18	19	16	21	18
Everything around the light source is difficult to recognise	60	61	55	56	67	58
Light spot in the field of vision, that only disappears slowly (after-image)	23	25	23	33	17	26
Irritation	33	38	27	22	28	30
Pain	4	5	4	4	3	4
Miscellaneous	1	1	2	<1	2	1
I do not know	8	4	5	7	3	6

**Figur 14.** Utdrag från europeisk enkätstudie om bländning från mötande fordon [30]

## 5.3 Genomgång av olycksstatistik

### 5.3.1 Bländning och olyckor nattetid

Publicerad olycksstatistik visar att en oproportionerligt stor andel trafikolyckor inträffar nattetid, typiskt mellan 30-50% beroende på allvarlighetsgrad [31, 32], trots betydligt lägre trafikvolym. Studier har dock visat att endast 0,1-0,3% av dessa olyckor anger bländning som en bidragande orsak [26, 33], men den låga andelen är svårtolkad av flera skäl. Å ena sidan kan förare överdriva bländningens påverkan för att verka mindre ansvariga, vilket riskerar att överskatta andelen. Å andra sidan finns sannolikt ett betydande mörkertal där bländning var en faktor men inte rapporterades, antingen för att föraren inte minns förloppet, inte var medveten om synnedsetningen, eller inte kunde sätta ord på upplevelsen. I händelser med allvarligt skadade eller förolyckade förare saknas denna information helt.

I en studie från University of Michigan, USA, där man sökt i olycksstatistik för omkomna nattetid mellan åren 1987-2001 efter ordet "bländning", fann man att andelen var mellan 0,01% och 1,0% beroende på olyckstyp. Högst var andelen vid olyckor som involverade fotgängare, följt av påkörning av stillastående fordon och viltolyckor [34].

### 5.3.2 Metod och urval från STRADA

För att få en uppfattning om olycksrisker kopplat till bländning på svenska vägar har vi tittat på de olyckor med personskador som rapporterats i STRADA (Swedish Traffic Accident Data Acquisition). STRADA är ett informationssystem som hanteras av Transportstyrelsen där data samlas in om skador och olyckor inom vägtransportssystemet från flera källor, inklusive polis och sjukvård [35]. Polisen rapporterar vägtrafikolyckor med personskada, medan akutsjukhus rapporterar uppgifter om personer som har sökt vård efter en olycka i vägtrafikmiljö. Sökningen i STRADA genomfördes med urvalskriterier enligt Tabell 9.

**Tabell 9.** Urvalskriterier vid uttag ur STRADA

<b>Urvalskriterier för att hitta olyckor med möjlig koppling till bländning</b>	
<b>Datakälla</b>	Hela databasen
<b>Urvalstyp</b>	Polis och/eller sjukvård
<b>Nivå</b>	Olyckor
<b>Uttagsspår</b>	Trafik
<b>Datum</b>	2010-01-01 - 2025-04-04
<b>Platstyp</b>	Gång- och cykelbana (-väg), Trafikplats, Övrig platstyp i trafik, Separat P-plats, Gatu-/Vägsträcka, Gatu-/Väggkorsning, Cirkulationsplats/Rondell, Gångbana/trottoar, Torg, Hållplats, Okänd
<b>Olycksbeskrivning/händelseförlopp</b>	"bländande", "bländning", "helljus", "bländad"
<b>Svårhetsgrad</b>	Dödsolycka, Allvarlig olycka (ISS 9-), Måttlig olycka (ISS 4-8), Lindrig olycka (ISS 1-3)

Sökningen resulterade i 2593 träffar varav 2566 för åren 2010-2024. Då inrapporteringen till STRADA har en eftersläpning och vi vill jämföra med totala antalet rapporterade olyckor i landet har vi valt att endast titta på åren 2010-2024.

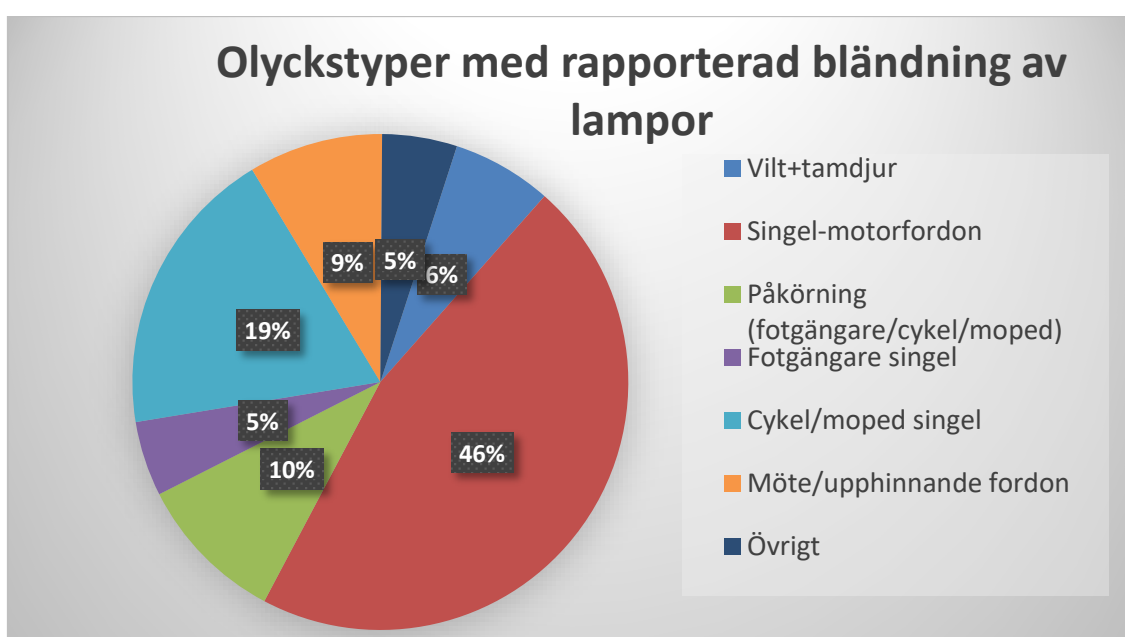
Posterna från sökningen granskades och ytterligare gallring genomfördes. Ett flertal av olyckorna visade sig vid granskning inte handla om bländning (739 st), ett stort antal rörde bländning från solen (1328 st), och i en del fall kunde man inte avgöra om källan till bländning var sol eller lampor (8 st). Efter denna gallring återstod **491** olyckor med rapporterade personskador där bländning från lampor angivits som orsak. Hur dessa fördelas på olyckstyp och olika grad av skada visas Tabell 10. I nästan alla fall gäller bländningen lampor på mötande fordon men ett fall gällde bländning från vägbelysning och ett annat fall en lampa vid vägarbete.

### 5.3.3 Fördelning av olyckstyper och skadegrad

De 491 olyckor där bländning från lampor tydligt angivits som orsak fördelar sig över olika olyckstyper och skadegrader enligt Tabell 10, och illustreras i Figur 15.

**Tabell 10.** Fördelning på olyckstyp och skadegrad vid rapporterade personskador där bländning från lampor anges som bidragande orsak till olyckan (2010-2024).

Typ av olycka	Skadegrad				Totalt
	Dödsolycka	Allvarlig olycka (ISS ≥9)	Måttlig olycka (ISS 4-8)	Lindrig olycka (ISS 1-3)	
Singel-motorfordon	0	4	11	212	<b>227</b>
Upphinnande-motorfordon	0	0	1	23	<b>24</b>
Möte-motorfordon	0	1	3	15	<b>19</b>
Cykel/moped påkörning	0	2	4	16	<b>22</b>
Cykel/moped singel	0	4	24	65	<b>93</b>
Fotgängare-påkörning	2	1	6	17	<b>26</b>
Fotgängare- singel	0	0	16	8	<b>24</b>
Vilt+tamdjur	0	1	2	29	<b>32</b>
Övrigt	0	0	5	19	<b>24</b>
<b>TOTALT</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>72</b>	<b>404</b>	<b>491</b>



**Figur 15.** Olyckstyper med rapporterad bländning av lampor.

De dödsolyckor som rapporterats i samband med bländning (2 st) har båda handlat om påkörning av fotgängare. Bland olyckor med allvarliga personskador som följd (13 st) är singelolyckor med motorfordon, moped eller cykel den vanligaste olyckstypen. Då äldre trafikanter generellt är mer känsliga för bländning än yngre kan det inte uteslutas att ökad bländningskänslighet hos äldre kan bidra till vissa typer av olyckor, exempelvis fallolyckor hos fotgängare. Det tillgängliga olycksmaterialet är dock för begränsat för att kunna dra några säkra slutsatser om sådana samband.

### 5.3.4 Jämförelse med total olycksstatistik

Vid genomgången identifierades också 58 viltolyckor där föraren inte beskrev sig själv som bländad men där beskrivningen av olyckan indikerar nedsatt sikt under återhämtning från bländning. Om även dessa fall inkluderas identifierades således  $30+58=88$  viltolyckor i STRADA. Jämfört med totala antalet viltolyckor med personskador under motsvarande år utgör andelen olyckor där föraren har nedsatt sikt 0,85%, se Tabell 11. Denna siffra är troligen underskattad då sökningen inte fångar alla relevanta fall, en mer heltäckande analys skulle kräva fler olycksrapporter från viltolyckor med andra sökord.

**Tabell 11.** Viltolyckor vid rapporterad synnedsättning pga. upplevd bländning eller sen upptäckt vid avbländning för möte, jämfört med totalt antal viltolyckor med personskador 2010-2024.

Typ av olycka	Tillfällig synnedsättning	Totalt	Andel: Synnedsättning/Totalt
Vilt	88	10 331	0,85%

För att få en uppfattning om risk för olika olyckstyper gjordes en jämförelse med totala antalet rapporterade olyckor med personskador under 2010-2024 för motsvarande olyckstyper (se Tabell 12).

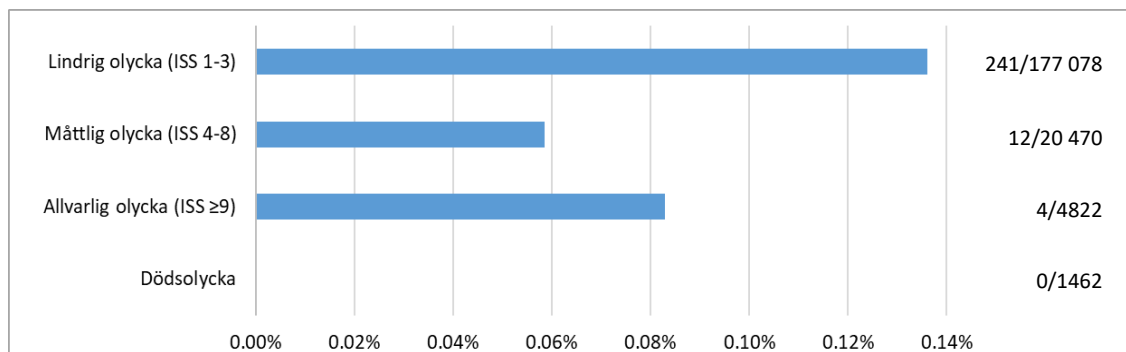
**Tabell 12.** Bländning som orsak för några utvalda olyckstyper jämfört med totala antalet rapporterade olyckor med personskador för varje olyckstyp under åren 2010-2024.

Typ av olycka	Bländning (Lampor)	Totalt	Andel: Bländning (Lampor)/Totalt
Singel-motorfordon	227	99 766	0,23%
Upphinnande-motorfordon	24	82 158	0,03%
Möte-motorfordon	19	20 617	0,09%
Cykel/moped	115	105 284	0,11%
Fotgängare-påkörning	26	25 114	0,10%
Fotgängare-singel	24	183 020	0,01%
Vilt	88	10 331	0,85%
Övriga	26	184 259	0,01%
<b>Alla typer</b>	<b>549</b>	<b>710 549</b>	<b>0,08%</b>

Glädjande nog är de allra flesta rapporterade olyckor relaterade till bländning lindriga. Dock kan det finnas ett mörkertal då en förolyckad eller allvarligt skadad förare inte själv kan ange att bländning förekommit, vilket innebär att dessa fall inte fångas i sökningen. Vid bländning från solen kan räddningspersonal ibland vid allvarliga olyckor misstänka att lågt stående sol orsakat en synnedläggelse, men för bländning från lampor där bländningen ingår i ett dynamiskt förlopp, saknas ofta denna möjlighet till efterhandsbedömning. Baserat på tillgängliga data uppskattas i medeltal 37 olyckor per år orsakas av bländning eller synnedläggelse efter bländning i Sverige.

### 5.3.5 Olyckor på motorväg

För motorväg är en del olyckstyper inte relevanta att ta med i analysen av skaderisk. I nedanstående diagram har därför olyckstyperna som rör fotgängare, cyklister, mopeder, vilt och möte exkluderats. Figur 16 visar olyckor med bländning från lampor som orsak som andel av totala antalet rapporterade olyckor för summan av olyckstyperna **Avsvängande, Omkörning, Singel och Upphinnande motorfordon**. Andelen olyckor med bländning som orsak är störst är för lindriga olyckor (0,12%).



**Fig. 16.** Andel olyckor (Bländning/Totalt) fördelade på skadegrad för olyckstyperna: Avsvängande, Omkörning, Singel och Upphinnande motorfordon.

Risken för olyckor på grund av bländning minskar för vissa olyckstyper på motorväg jämfört med mindre vägar. Detta gäller till exempel olyckor med fotgängare, cyklister, mopedister, vilt, och mötande fordon. Risken kvarstår dock för olyckstyper som singelolyckor och upphinnande fordon. Den höga hastighetsgränsen på motorvägen kan också ha påverkan på skadegraden i händelse av olycka.

## 5.4 Diskussion

Som tidigare nämnt är denna typ av undersökning förenad med flera osäkerheter, bland annat mörkertal och oklarheter kring hur bländning beskrivs och rapporteras i olycksstatistik. Vårt underlag gör det heller inte möjligt att direkt jämföra bländningsrelaterade olyckor med samtliga olyckor som inträffar nattetid. Givet antagandet att cirka 30-50% av samtliga olyckor sker under mörka förhållanden motsvarar en andel på 0,08% av alla olyckor ungefär 0,2% av de som sker nattetid. Denna nivå är i linje med vad som rapporterats i tidigare studier, även om dessa är få och delvis genomförda under andra förutsättningar.

Sammantaget indikerar olycksstatistiken att bländning sällan utgör en direkt orsak till allvarliga olyckor, i genomsnitt endast ett fall per år i Sverige under de senaste 15 åren.

På grund av det begränsade underlaget går det heller inte att dra några slutsatser om bländning är ett ökande problem i olyckssammanhang. En nyligen genomförd studie på amerikanska motorvägar visar dock ingen ökning av bländningsrelaterade olycksfall mellan 2015 och 2023 [33]. Denna diskrepans mellan låga och stabila olyckstal och de till synes ökande klagomålen från förare talar för att bländning oftare fungerar som en bidragande eller försvårande faktor, snarare än som en direkt rapporterad olycksorsak, särskilt i kombination med andra riskfaktorer i nattrafik.

Mot denna bakgrund är det inte meningsfullt att försöka kvantifiera effekter av bländskydd mellan Ostlänken och E4:an i termer av sparade liv eller reducerat antal allvarliga olyckor. Den aktuella sträckan utgör en väldigt liten del av vägnätet, och ur ett strikt statistiskt perspektiv kan det förväntade antalet olyckor som potentiellt förhindras därför antas vara lågt.

Samtidigt skiljer sig förutsättningarna för bländning från tågstrålkastare från de som normalt förekommer vid mötande trafik, då tåget förutsätts använda helljus under mörkerförhållanden och inte blända av till halvljus. Exponeringen kan således vara både relativt långvarig och återkommande. Det finns dessutom osäkerheter kopplade till den faktiska framtida utformningen av tågstrålkastare. Så även om direkta olyckseffekter är svåra att kvantifiera bör risken för kraftig obehagsbländning för trafikanter på E4:an beaktas, särskilt i ljuset av att bländning generellt uppmärksammas allt oftare som ett komfort- och trafiksäkerhetsproblem.

## 6 Slutsatser

I denna rapport presenterar vi en utredning av bländningsrisker för fordonsförare på väg. Specifikt har risken för bländning av fordonsförare på väg E4 orsakat av strålkastare på tåg som trafikerar Ostlänken analyserats.

Utredningen har omfattat flera steg:

*Modellering:* De ljusförhållanden vid en förarens öga som räknats fram i olika relativa positioner mellan fordon och tåg i vår modellering där vi använt ljusfördelningar från verkliga tågstrålkastare gjorde att vi drog slutsatsen att använda tre olika risknivåer i analysen. Risknivåerna är kopplade till det maximala avstånd mellan tåg och fordon där man kan räkna med att bländningen kan skapa obehag eller synnedsättning med kritiska konsekvenser. Det finns ingen skarp gräns mellan bländad och icke bländad men empiriska försök vi genomfört, jämförelser med mötande bilars halvljus på E4 och slutsatser man kan dra från litteraturen i form av standarder och guidelines är att vi med ett max-avstånd ( $D_{\max}$ ) på 500 m i alla fall inte överstiger en avsevärd risk. Baserat på hur belysningsstyrkan vid ögat varierar i våra simuleringar har vi antagit  $D_{\max} = 600$  m för låg risk och  $D_{\max} = 800$  m för mycket låg risk.

*Förslag på gränsvärdeskriterier för när bländskydd behöver sättas upp:* Baserat på simuleringar, empiriska studier, regelverk, rekommendationer och forskning kan vi dra slutsatsen att det inte är tillräckligt att betrakta enbart slöjluminans ( $L_V$ ) för att hitta en gränsvärde. Även illuminans ( $E$ ) vid ögat inom ett visst intervall för infallsvinkel borde beaktas. Detta tar hänsyn till att en förare inte håller blicken fixerad i samma punkt utan man inkluderar mindre ögon- och huvudrörelser i bländningsrisken. Vidare kunde vi dra slutsatsen att en slöjluminans på  $0,5 \text{ cd/m}^2$  är ett alltför lågt satt gränsvärde och vi föreslår en höjning till  $2 \text{ cd/m}^2$  men vi lägger samtidigt till ett kriterium att illuminansen ( $E$ ) för infallsvinklar ( $\theta$ ) mindre än  $10^\circ$  måste vara mindre än  $0,3 \text{ lx}$  för att inte gränsen skall överskridas. Sammanfattningsvis föreslår vi alltså:  $L_V < 2 \text{ cd/m}^2$  i kombination med  $E < 0,3 \text{ lx}$  och  $\theta < 10^\circ$  som gränsvärden och att beräkningar utförs för  $D_{\max} = 500$  m för att identifiera avsevärd risk,  $D_{\max} = 600$  m för låg risk, samt  $D_{\max} = 800$  m för mycket låg risk.

*Känslighetsanalys avseende föreslagna gränsvärdeskriterier kopplat till bländskydd eller andra åtgärder:* Om man tittar på geometrin för bländningsrisker kan man dra slutsatsen att längden på bländskydd som behövs ungefär motsvarar den sträcka på järnvägen med punkter där tåget kan orsaka bländning. För  $D_{\max} = 500$  m betyder det drygt 4 km bländskydd, för  $D_{\max} = 600$  m krävs drygt 6 km och för  $D_{\max} = 800$  m blir behovet ca 9,5 km. Detta är utan att ha beaktat naturliga och konstruerade strukturer i miljön mellan väg och järnväg som kan blockera ljuset från tåget. Det som har störst påverkan på längden bländskydd som behövs är valet av  $D_{\max}$ . Med vårt kriterium att  $E$  inte får överstiga  $0,3 \text{ lx}$  vid vinklar  $< 10^\circ$  blir längden bländskydd som behövs mindre känsligt för variation i gränsvärdet för  $L_V$ . Detta indikerar att vår metod är robust.

Väljer man att sätta upp vägbelysning för att höja adaptationsluminansen och minska bländningskänsligheten indikerar våra simuleringar att alla identifierade riskområden utom två, sannolikt kan klara sig utan bländskydd.

*Jämförelse med och validering av tidigare utredning:* Vår slutsats är när vi jämför våra beräkningar och antaganden med de som genomförts i TRV 2014/48912 [8] är att simuleringar gjorda med rundstrålande strålkastare som ger 70 000 cd i alla riktningar kraftigt överskattar risken för bländning. Verkliga tågstrålkastare har en mer begränsad ljusspridning. Som konstaterats bedömer vi också att kravet på  $L_V < 0,5$  cd/m<sup>2</sup> är alltför lågt satt. För validering har vi dock räknat på samma nivå på maximalt tillåten slöjluminans och då faller kritiska sträckor ut på väg och järnväg som överensstämmer väl med den tidigare utredningen.

*Undersökning av risk:* Slutsatsen man kan dra av vår undersökning av olycksrisk orsakad av bländning är att den sannolikt är väldigt liten även om det finns mörkertal och vissa svårigheter med att t.ex. rapporteringen i STRADA inte är tydlig när det gäller parametrar som bländning och synnedstättning. Störst risk för allvarliga olyckor och dödsfall gäller påkörning av fotgängare men den mest frekventa olyckstypen är singelolyckor. Jämför man med antalet totala antalet olyckor för varje olyckstyp är största andelen viltolyckor. Går man igenom dataposterna framträder en bild att många bilister är dåliga på att blända av sitt helljus när de möter fotgängare, cyklister eller mopedister vilket kan leda till vinglighet och synnedstättning med fallolyckor eller avkörningar som följd. Oftast resulterar det dock i lindriga skador. En annan insikt är att en situation med synnedstättning efter möte med annat fordon i flera fall gör att man inte upptäcker vilt på vägen förrän det är för sent att undvika kollision. Detta beskrivs inte uttryckligen som en konsekvens av bländning i rapporteringen. Möjligen beroende på att man inte märkt att man blivit bländad. Det data vi fått ut visar att i medeltal de senaste 15 åren så kan ca 37 olyckor per år kopplas till bländning från strålkastare eller lampor.

## Referenser

1. World Health Organization (2023). *Global status report on road safety 2023*. Geneva: WHO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
2. Wanvik, P.O. (2009). Effects of road lighting: An analysis based on Dutch accident statistics 1987–2006. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 123–128.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.003>.
3. Varghese, C. and Shankar, U., *Passenger Vehicle Occupant Fatalities by Day and Night – A Contrast*. NHTSA Traffic Safety Facts 2007 Research Note (US DOT HS 810 637). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
4. Sullivan, J.M., Flannagan, M.J. (2007). Determining the potential safety benefit of improved lighting in three pedestrian crash scenarios. *Accident Analysis & Prevention*, 39 (3), 638–647.
5. Rea, M.S., Bierman, A., McGowan, T., Dickey, F., Havard, J. (1997). A field study comparing the effectiveness of metal halide and high pressure sodium illuminants under mesopic conditions. *Proceedings of CIE Symposium on Visual Scales: Photometric and Colorimetric Aspects* (pp. 60-64), Teddington, UK. Vienna: CIE.
6. National Highway Traffic Safety Administration. (2008). *Nighttime Glare and Driving Performance: Research Findings*. DOT HS 811 043. U.S. Department of Transportation.

7. Van Derlofske, J., Chen, J., Bullough, J. D., Akashi, Y. (2005). Headlight Glare Exposure and Recovery. *SAE Transactions*, 114(6), 1974-1981.
8. Trafikverket (2014). *Studie om bländningsrisker längs Ostlänken mellan Södertälje och Linköping* (TRV 2014/48912).
9. CEN (2020). *EN 15153-1:2020 - Railway applications – Lighting for railway* Brussels: European Committee for Standardization.
10. Fry G.A., (1954). Evaluating disability effects of approaching headlamps. *Highway Research Bulletin* (89), 38-42.
11. 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.
12. Holladay L. (1926). The fundamentals of glare and visibility. *Journal of the Optical Society of America*, 41, 235-244.
13. CEN (2015). *EN 13201-3:2015 – Road lighting – Part 3: Calculation of performance*. Brussels: European Committee for Standardization.
14. De Boer J.B. (1967). Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist. In *Public Lighting*. Eindhoven, Netherlands: Philips Technical Library.
15. Rumar, K. (1990). The basic driver error: late detection. *Ergonomics*, 33(10–11), 1281–1290. <https://doi.org/10.1080/00140139008925332>
16. Bullough, J.D., Van Derlofske, J., Dee, P., Chen, J., & Akashi, Y. (2003). Impact of headlamp glare on peripheral visibility. In *Progress in Automobile Lighting Symposium 2003* (pp. 166-180), Darmstadt University of Technology. Munich: Herbert Utz Verlag.
17. Australian Government. Australian Road Rules – Regulation 218. [https://www5.austlii.edu.au/au/legis/sa/consol\\_reg/arr210/s218.html](https://www5.austlii.edu.au/au/legis/sa/consol_reg/arr210/s218.html)
18. California Legislative Information. California Vehicle Code §24409. [https://leginfo.ca.gov/faces/codes\\_displaySection.xhtml?sectionNum=24409.&lawCode=VEH](https://leginfo.ca.gov/faces/codes_displaySection.xhtml?sectionNum=24409.&lawCode=VEH)
19. SAE International (2021). *SAE J3069: Adaptive Driving Beam System*. Recommended Practice. Revised March 2021.
20. UN/ECE (2013). *UN Regulation No. 112 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps*. Geneva: UNECE.
21. Sivak, M., Helmers, G., Owens, D. A., Flannagan, M. (1992). *Evaluation of Proposed Low-Beam Headlighting Patterns*, UMTRI-92-14. Ann Arbor, MI: University of Michigan Transportation Research Institute.
22. Van Derlofske, J., Bullough, J. D., Dee, P., Chen, J., Akashi, Y. (2004). Headlamp Parameters and Glare. *SAE Technical Paper 2004-01-1280*. <https://doi.org/10.4271/2004-01-1280>
23. Bullough, J. D., Fu, Z., VanDerlofske, J. (2002): Discomfort and Disability Glare from Halogen and HID Headlamp Systems. *SAE Technical Paper 2002-01-0010*.

24. Völker, S. (2017). *Blendung durch Kfz-Scheinwerfer im nächtlichen Straßenverkehr*. Doktorsavhandling. Technische Universität Berlin. <https://api-depositonce.tu-berlin.de/server/api/core/bitstreams/b7b6b184-ff3d-4e7e-a88b-62f56d6a04f9/content>
25. Bullough, J.D., & Van Derlofske, J. (2005). Methods for assessing the impact of oncoming glare on driving behavior. *SAE Paper 2005-01-0442*. In *Lighting Technology and Human Factors* (SP-1932), pp. 21–26.
26. National Highway Traffic Safety Administration. (2007). *Nighttime Glare and Driving Performance: Report to Congress*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.
27. Wood, J. M., Tyrrell, R. A., and Carberry, T. P. (2005). Limitations in drivers' ability to recognize pedestrians at night. *Human Factors*, 47(3), 644-653.
28. Singh, S., Perel, M. (2004). *Drivers' Perceptions of Headlamp Glare from Oncoming and Following Vehicles* (DOT HS 809 669). Washington, DC: NHTSA.
29. RAC (2024). *Quarter of drivers affected by bright headlamps drive less at night as a result*. Walsall, UK. <https://www.rac.co.uk/drive/news/motoring-news/rac-calls-for-government-action-on-headlight-glare/>
30. United Nations Economic Commission for Europe. (2024). *Glare on Road Traffic: European consumer study 2024* (GRE-90-20). <https://unece.org/sites/default/files/2024-04/GRE-90-20e-reduced.pdf>.
31. Trafikanalys (2025). *Vägtrafikskador 2024*. <https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/vagtrafikskador/2024/vagtrafikskador-2024.xlsx> (hämtad 2026-01-04)
32. National Highway Traffic Safety Administration, *Fatality and injury reporting system tool (FIRST)*. <https://cdan.dot.gov/query> (hämtad 2026-01-02)
33. M.L. Brumbelow (2024). *Headlamp glare in police-reported crash data: Prevalence, contributing factors, and potential effects*. Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), Arlington, VA <https://www.iihs.org/research-areas/bibliography/ref/2347>
34. Flannagan, M.J. *Implications of crash data for assessing glare*. University of Michigan. <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/flannagan.pdf>
35. Transportstyrelsen, *STRADA - Swedish traffic accident data acquisition*. <https://www.transportstyrelsen.se/strada>



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Tid och Optik  
RISE Rapport 2026:52