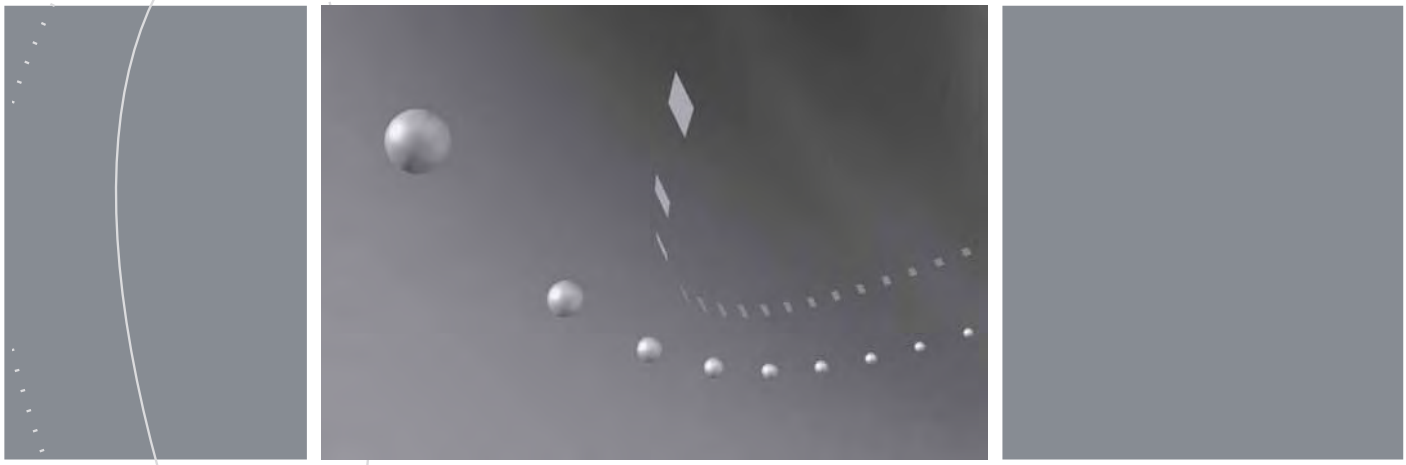
VTI notat 8-2006
Utgivningsår 2006

www.vti.se/publikationer



Svensk sammanfattning av COST 331

Krav på längsgående vägmarkering

Sara Nygårdhs

vti
FINDING A BETTER WAY

Förord

Detta notat utgör i huvudsak en sammanfattning på svenska av rapporten *COST 331 Requirements for Horizontal Road Marking* och har sammanställts på uppdrag av Vägverket, där Peter Aalto på avdelningen Ssau varit beställarens ombud.

Illustration av vägmarkeringars faktiska och beräknade synbarhet ingår dock inte i COST-projektet utan är ett tilläggsprojekt som genomförts av Sara Nygårdhs och S-O Lundkvist på VTI.

Undertecknad har svarat för författandet av notatet medan S-O Lundkvist varit behjälplig med konstruktiv kritik under hela arbetet.

Linköping januari 2006

Sara Nygårdhs

Kvalitetsgranskning

Intern/extern peer review har genomförts av Gabriel Helmers, forskare, 2006-02-07.

Sara Nygårdhs, forskningsingenjör, har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2006-02-23.

Projektledarens närmaste chef Gudrun Öberg, forskningschef, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2006-03-01.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 5

Summary 6

1 Inledning 7

2 Begreppslista 8

3 Användning av vägmarkeringar i Europa 9

4 Vägmarkeringars synbarhet 10
4.1 Användning 11

5 Erforderliga synbarhetsavstånd 13
5.1 Användning 14

6 Trafikantbeteende 15
6.1 Användning 16

7 Slutsatser 18
7.1 Författarens egna kommentarer 18

Bilaga A Beräkning av vägmarkeringars synbarhet

Bilaga B Teori CD-ROM-programmet Visibility

Bilaga C Programanvändning

Bilaga D Illustration av vägmarkeringars faktiska och beräknade synbarhet

Sammanfattning

De nationella tekniska specifikationer som finns för vägmarkeringar idag innehåller minimikrav på viktiga prestandaparametrar (dag- och nattsynbarhet och friktion). Det är önskvärt att kraven baseras på dels förarens behov av synbarhet, dels vad som är möjligt att uppnå med vägmarkering.

Vägmarkeringar är egentligen ”trafiksignaler” som kan förväntas ha påverkan på trafiksäkerhet, framkomlighet och komfort genom att lotsa föraren rätt längs vägen. Det är viktigt att stå på en vetenskaplig grund då användandet och utformningen av vägmarkeringar diskuteras och vid frågeställningar som:

- vilket synbarhetsavstånd har en vägmarkering av en viss typ och kvalitet?
- vad kräver förarna i form av visuell ledning från vägmarkeringar?

Resultaten från COST 331 ger en vetenskaplig metod för att bestämma utformningen av längsgående vägmarkeringar. Det ger den nödvändiga grunden för att forskning, industri och väghållare ska kunna optimera vägmarkeringarna med avseende på förarnas behov.

I forskningsprogrammet, som utformats och godkänts av styrelsen för COST 331, ingick följande delmoment:

1. En kartläggning av nuvarande användning av vägmarkeringar i Europa
2. En undersökning av vägmarkeringars synbarhet i fullskaligt fältförsök
3. En undersökning i körsimulator om förarens behov av synbarhetsavstånd
4. Registrering av förares (försökspersoners) beteende i verklig trafikmiljö med hjälp av en bil utrustad med dolda mätinstrument.

Resultaten visar att alla länder har regelverk och tekniska rekommendationer som anger geometri, utformning och färg hos vägmarkeringar. Ändå varierar vägmarkeringarnas utformning från land till land. Dessutom regleras i vissa länder användningen av vägmarkeringar som är speciellt utformade för att ha god synbarhet i väta. Att regelverken är olika i olika länder kan bero på att vetenskapligt underlag saknas.

Fältmätningarna av synbarhetsavstånd låg, tillsammans med tidigare utvecklade synbarhetsmodeller, till grund för beräkning av vägmarkeringars synbarhet som funktion av bland annat retroreflexion, bredd och intermittens.

Vidare visar resultaten från simulatorstudien och beteendestudien på verklig väg markeringarnas påverkan på förarbeteende. Föraren anpassar sin körstil till informationen som vägmarkeringarna ger. Någon direkt koppling mellan sådana förändringar i förarbeteende och trafiksäkerhet kan dock inte göras innan ytterligare forskning utförts.

Slutligen har ett datorprogram för beräkning av vägmarkeringars synbarhet utvecklats. I detta kan synbarhetsavståndet som funktion av bland annat fordonstyp, egenskaper hos förare, omgivning, fordonsljus och vägmarkering beräknas. Programmet kan vara användbart vid framtagande av ett nationellt handlingsprogram för vägmarkeringar.

Resultaten från COST 331 visar bland annat att på en väg med hastighetsbegränsningen 90 km/h är ett absolut krav på synbarhetsavståndet 45 meter. Vidare visar resultaten att till och med synbarhetsavståndet 55 meter är för kort för säker och komfortabel körning.

Det utvecklade datorprogrammet, *Visibility*, kan användas för att anpassa regelverket efter ovan nämnda krav.

Summary

The national technical specifications existing for road markings today include minimum performance levels on essential parameters (daytime and night-time visibility and skid resistance). It is desirable that the demands are based on both the driver's need of visibility and on what is possible to achieve with road marking.

Road markings are in reality "traffic signals" which can be expected to have an impact on traffic safety, accessibility and comfort by guiding the driver along the road. Therefore, there has to be a scientific basis for answering the most relevant questions concerning design and use of road markings, such as:

- What visibility distance does a road marking of a certain type and quality have?
- What is the visual demand of the drivers, concerning road markings?

The results from COST 331 give a scientific method for deciding the design of longitudinal road markings. This gives the necessary basis allowing research, industry and road traffic engineers to improve the road markings regarding the need of the drivers.

The research programme, designed and approved by the COST 331 Management Committee, included the following phases:

1. A review of the current use of road markings in Europe.
2. An investigation of the visibility of road markings in a driving experiment.
3. A study of the driver's need for visibility distances in a driving simulator.
4. Registration of drivers' (test persons') behaviour in real traffic conditions by using an unobtrusive instrumented car.

The results show that almost all countries have regulations and technical recommendations specifying geometry, design and colour of road markings. However, the road marking design varies between the countries. Also, in some countries the use of road markings made for improving the visibility in wetness and rain is prescribed. The difference between the regulations in different countries could be due to lack of a scientific base.

The driving experiment of visibility distances, together with earlier developed visibility models, formed a basis for calculation of the visibility of road markings as a function of, among other things, retro reflection, width and spacing.

Furthermore, the results from the simulator and behaviour study on real road show the markings' influence on driver behaviour. The driver adjusts the driving attitude to the information given by the road markings. Any direct link between changes in driver behaviour and traffic safety can not be made without further research, though.

Finally, a computer programme for calculating the visibility of road markings has been developed. The visibility distance as a function of type of vehicle, driver characteristics, vehicle lighting, road marking etcetera can be calculated. The programme can be useful when developing a national policy for road markings.

The results from COST 331 show among other things that on a road with speed limit 90 km/h an absolute demand for the visibility distance is 45 metres. Further, even the visibility distance 55 metres is too short for safe and comfortable driving.

The developed programme, *Visibility*, can be used for adjusting the regulations to the mentioned demands.

1 Inledning

Målet med COST 331 är att utveckla en vetenskaplig metod för att bestämma hur längsgående vägmarkeringar bör vara utformade med hänsyn tagen till trafikanternas behov av visuell ledning. Detta gäller både på dagen och natten och under olika väderförhållanden.

Vägens visuella ledning i fordonsbelysning kan anses vara direkt relaterad till vägmarkeringarnas synbarhet. Synbarheten kan i sin tur antas vara direkt relaterad till markeringens retroreflexion och yta (dvs. bredd och intermittens). En central del i detta projekt har därför varit att studera och ta fram modeller för beräkning av vägmarkeringarnas synbarhet.

Med synbarhetsmodellerna som grund har trafikantbeteendet som funktion av synavståndet kunnat studeras. Avsikten med detta är att erhålla ett objektivt underlag för regelverket. Med andra ord ska studien besvara två viktiga frågor:

- Vilket samband råder mellan vägmarkeringarnas synbarhet och utformning?
- Vilket synbarhetsavstånd krävs för säker och komfortabel körning i mörker?

För att få svar på dessa frågor kom arbetet att delas in i fyra delar:

- Kartläggning av nuvarande användning av vägmarkeringar
- Mätning och beräkning av vägmarkeringars synbarhet
- Undersökning av vilka synbarhetsavstånd som krävs vid körning i mörker
- Studie av vägmarkeringarnas inverkan på trafikantbeteendet.

Dessa behandlas var för sig i kapitel 3–6.

2 Begreppslista

En vägmarkerings ***retroreflexion***, ***RL***, är ett mått på den andel ljus som reflekteras tillbaka till föraren vid fordonsbelysning.

Vägmarkeringens ***luminanskoefficient***, ***Qd***, är ett mått på den andel ljus som reflekteras mot föraren i dagsljus eller i mörker på väg med stationär belysning.

Synbarhetsavstånd, ***S***, är det avstånd på vilket det är möjligt att se ett objekt (vägmarkering).

Med ***synbarhet på obelyst väg*** avses i detta notat synbarhetsavståndet i halvljus på en väg utan stationär belysning.

Förkortningen ***pvt*** står för begreppet ***pre-view-time***, vilken anger ett objekts synbarhet uttryckt i sekunder, i stället för i meter. Pvt är beroende av både synbarhet och hastighet och förklaras enklast med ett exempel:

> En förare kör i 90 km/h på en väg där synbarhetsavståndet är 50 m. Eftersom 90 km/h motsvarar 25 m/s tillryggaläggs synbarhetsavståndet på 2 s, vilket också är pvt.

Synbarhetsnivån, ***VL***, är ett mått på hur synbart ett objekt är och beror av objektets storlek, luminansskillnaden mellan objekt och bakgrund samt bakgrundsluminansen.

3 Användning av vägmarkeringar i Europa

En enkät skickades ut till europeiska länder och man fick svar ifrån 14 av dessa, nämligen Belgien, Danmark, Finland, Frankrike, Grekland, Irland, Island, Nederländerna, Schweiz, Slovenien, Spanien, Storbritannien, Sverige och Tyskland.

Då enkäterna analyserades framkom att:

- Behovet av vägmarkeringar baseras på vägbredd, årsmedeldygnstrafik och olycksfrekvens.
- Vägmarkeringarnas utformning varierar mycket mellan länderna.
- Endast Sverige, Danmark, Tyskland, Frankrike och Storbritannien har regler om användning av våtsynbara vägmarkeringar. Den vanligaste utformningen av sådana markeringar är att de är **profilerade**.

4 Vägmarkeringars synbarhet

Fältförsök där vägmarkeringarnas synbarhet skattades, utgjorde tillsammans med Webers modell[1] för synbarhet basen för utvecklingen av ett PC-program[2] som bifogas rapporten "COST 331 – Requirements for Horizontal Road Marking".

Programmet beräknar vägmarkeringarnas synbarhet och hur den varierar med:

- Vägmarkeringarnas retroreflexion
- Vägmarkeringarnas luminanskoefficient
- Vägmarkeringarnas bredd
- Vägmarkeringarnas intermittens
- Vägytans retroreflexion
- Vägytans luminanskoefficient
- Förarens ålder
- Typ av fordon
- Bländning från mötande fordon
- Vägmarkeringarnas position på vägen
- Vägens geometri
- Egna fordonsljusets intensitet (kondition)
- Yttre förhållanden (dagsljus/vägbelysning/fordonsbelysning).

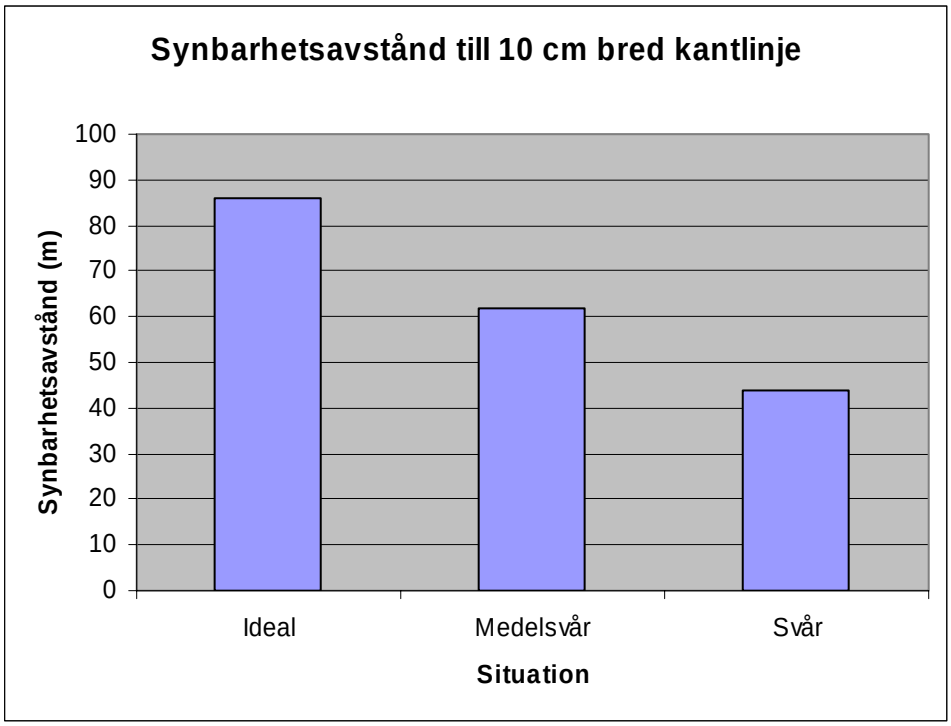
Hur beräkningarna går till kan den intresserade läsa i *Bilaga A – Beräkning av vägmarkeringars synbarhet*. I *Bilaga B – Teori CD-ROM-programmet Visibility* återfinns teorin bakom datorprogrammet medan en kortfattad användarmanual med exempel på användning ges i *Bilaga C – Programanvändning*. I *Bilaga D – Illustration av vägmarkeringars faktiska och beräknade synbarhet* relateras beräkningar i programmet Visibility mot verkliga synbarhetsavstånd. Denna bilaga ingår dock inte i COST-projektet utan är helt fristående från "COST 331 – Requirements for Horizontal Road Marking".

[1]Se exempelvis Woodworth & Schlosberg: *Experimental Psychology*, New York, 1962.
[2] Detta program, *Visibility*, kan beställas utan kostnad på www.roadsensors.com under Downloads och rubriken Software.

4.1 Användning

De följande figurerna visar synbarhetsavstånd till olika vägmarkeringar under olika förutsättningar.

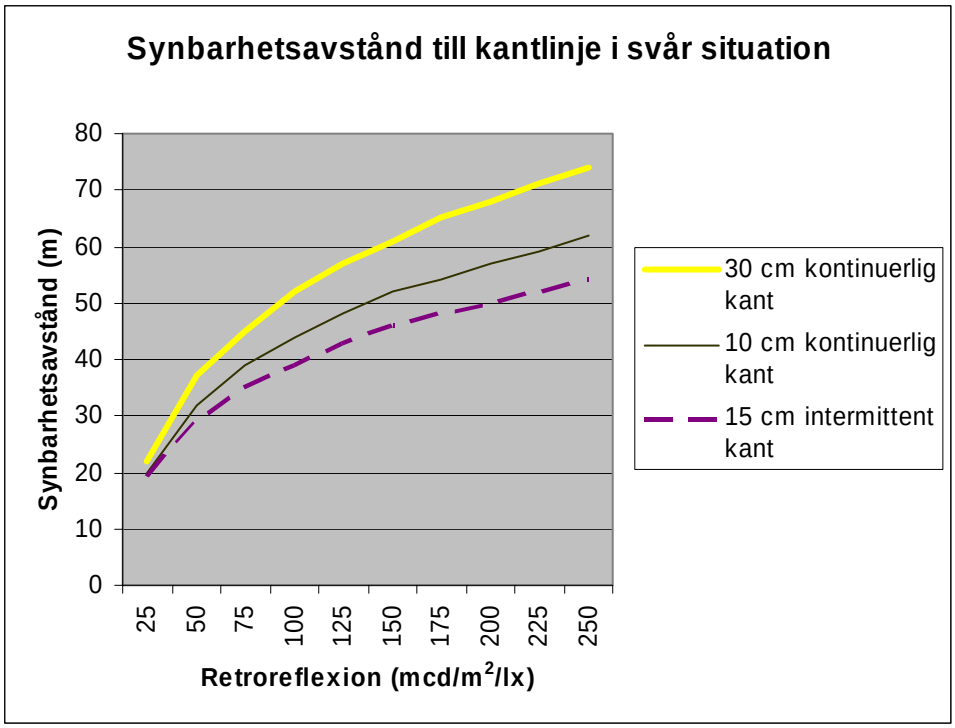
- **Ideala** situationen innebär att förarens ålder är 20 år, att fordonsljusets intensitet är 100 % (nyvärde) och att bländningen från mötande trafik är 0 cd/m^2.
- Den **medelsvåra** situationen innebär att föraren är 50 år, fordonsljusets intensitet är 50 % (av nyvärdet) och att bländningen är 0,25 cd/m^2.
- **Svåra** situationen innebär att föraren är 60 år, fordonsljusets intensitet är 30 % (av nyvärdet) och att bländningen är 0,50 cd/m^2.



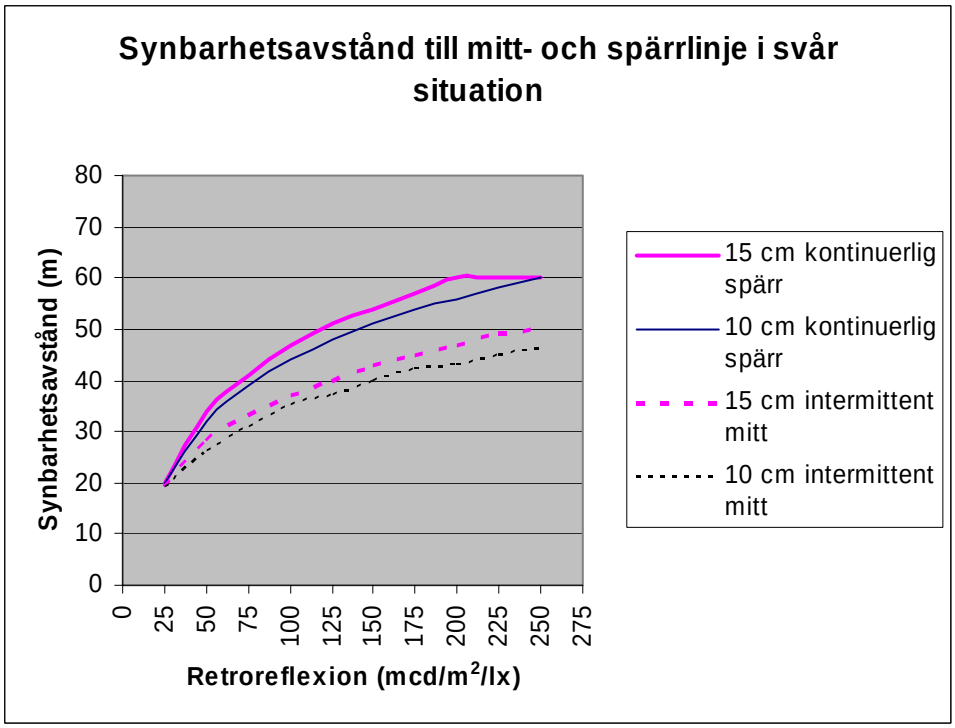
Figur 1 *Synbarhetsavstånd till en 10 cm bred kontinuerlig kantlinje, RL = 100 mcd/m^2/lx, på obelyst väg.*

Figur 1 visar synbarhetsavståndet till en kontinuerlig 10 cm bred kantlinje på en obelyst väg för de olika situationer som beskrivits ovan. I den ideala situationen är synbarhetsavståndet nästan dubbelt så långt som i den svåra situationen.

Figur 2 visar synbarhetsavståndet till olika typer av kantlinjer under svåra förhållanden på obelyst väg. Figur 3 visar detsamma för mitt- och spärrlinjer. I figurerna är intermittensen för kantlinjen 1 m linje och 2 m lucka, medan intermittensen för mittlinjen är 3 m linje och 9 m lucka.



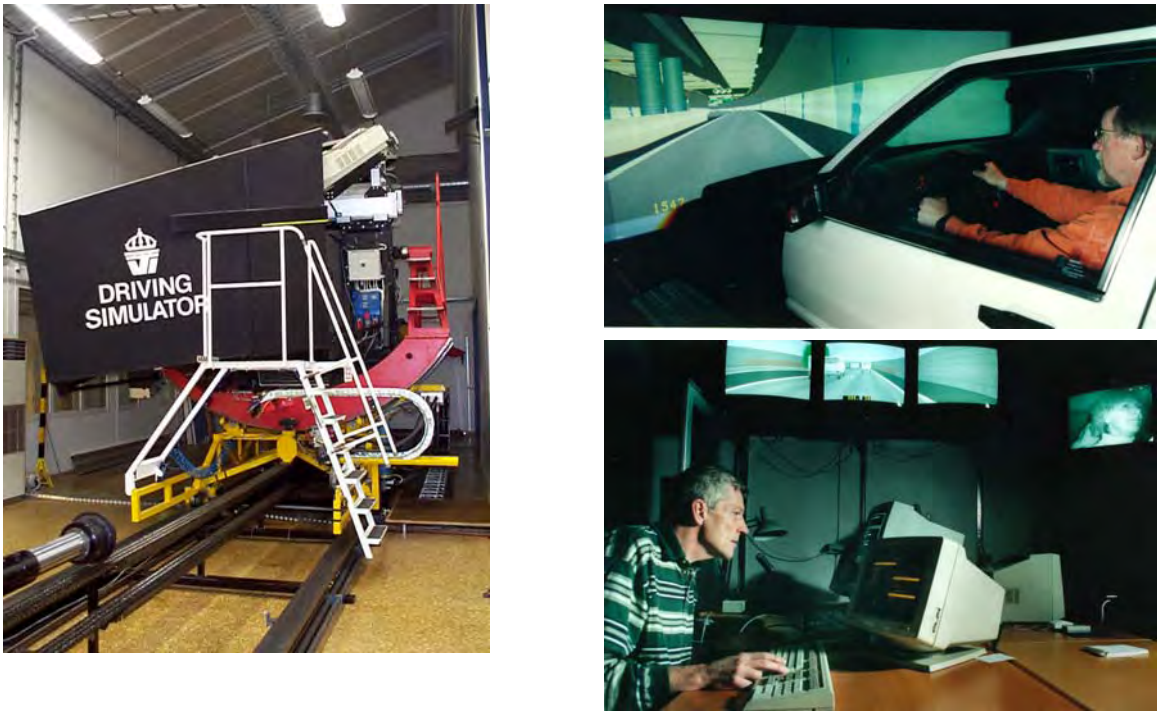
Figur 2 *Synbarhetsavstånd som funktion av retroreflexion för olika typer av kantlinjer i den svåra situationen på obelyst väg.*



Figur 3 *Synbarhetsavstånd som funktion av retroreflexion för olika typer av mitt- och spärrlinjer i den svåra situationen på obelyst väg.*

5 Erforderliga synbarhetsavstånd

För att undersöka på vilket avstånd förare måste kunna se vägen framför fordonet utfördes försök i VTI:s körsimulator. Försökspersonerna körde på en väg med korta raksträckor och skarpa kurvor. Försökssituationen innebar att vägens vägmarkeringar syntes bra fram till ett visst avstånd framför bilen, bortom vilket vägen inte alls visades. Detta avstånd varierades i ett antal steg, nämligen 20 m, 30 m, 45 m, 67 m och 100 m.



Figur 4 *Den körsimulator som användes vid studien.*

Två typer av tester genomfördes: Vid det första testet fick försökspersonerna välja sin hastighet fritt och de instruerades att köra på samma sätt som de brukar under dessa siktförhållanden och att hålla bilen i sitt körfält.

Vid det andra testet körde försökspersonerna med en farthållare satt till 90 km/h. De blev instruerade att hålla kvar bilen i körfältet utan att använda bromsarna.

Ur resultaten från körsimulatorn kan man dra följande slutsatser om förares behov av pre-view-time:

- Eftersom ingen skillnad i hastighetsval med avseende på vägmarkeringars synbarhetsavstånd (100 och 67 m) kunde påvisas, kan detta tolkas som att förarna inte tyckte att det var svårare att köra med 67 m synbarhetsavstånd än med 100 m. Någonstans mellan 67 m och 45 m började synbarhetsavståndet påverka förarens val av hastighet. **Synbarhetsavståndet till vägmarkeringar på simulatorns testväg behöver inte vara längre än 67 m**.
- Vid korta synbarhetsavstånd höll föraren i allmänhet en lägre hastighet strax före kurvan eftersom pre-view-time i början av kurvan är kortare. **Förare är bra på att kompensera för dålig synbarhet genom att välja en lägre hastighet**.
- När försökspersonerna fick välja sin hastighet fritt kunde de kontrollera situationen och hade god styrkontroll i kurvorna. Med farthållaren satt till 90 km/h började de dock förlora denna kontroll vid synbarhetsavstånd kortare än någonstans mellan 30

och 45 m. **Vid hastigheten 90 km/h kan föraren hantera bilen när synbarhets-avståndet är 45 m**.

- När förarna själva fick välja sin hastighet klarade de av ett minskat synbarhetsavstånd utan att förlora styrkontrollen i kurvor och utan att fordonet vinglade. Föraren minskade hastigheten vid korta synbarhetsavstånd och då minskade också variationen i sidoläge. **Förare är bra på att anpassa hastighet och sidoläge för att kompensera för dåliga synbarhetsförhållanden**.
- Vid 90 km/h varierade sidoläget hos bilen minst då synbarhetsavståndet var någonstans mellan 30 och 45 m. Att sidoläget varierade mer vid längre synbarhets-avstånd beror förmodligen på att föraren tillät sig att skära kurvor eller att utnyttja körfältets bredd eftersom han eller hon upplevde en stor säkerhetsmarginal. Den ökade sidolägesvariationen vid synbarhetsavstånd kortare än minimum beror troligen på att föraren missbedömde kurvor och vinglade mer som tecken på förlorad kontroll. **Ner till synbarhetsavståndet 45 m har föraren full kontroll vid 90 km/h**.
- Ett synbarhetsavstånd på 45 m vid 90 km/h innebär en pre-view-time på 1,8 s. Pre-view-time vid fritt vald hastighet blev kortare med kortare synbarhetsavstånd men aldrig lägre än 1,8 s. Det går inte att avgöra om vald pre-view-time skulle ha varit kortare eller samma vid 20 m synbarhetsavstånd vid fritt vald hastighet. **Det är ändå tydligt att förare väljer pre-view-time så kort som 1,8 s och fortfarande utför köruppgiften väl**.

5.1 Användning

Slutsatserna i föregående avsnitt visar att ett absolut krav på vägmarkeringarnas synbarhetsavstånd på en väg med hastighetsbegränsningen 90 km/h är 45 meter. Vidare framkom att synbarhetsavstånd över 67 meter inte påverkar hastighetsvalet, vilket kan tolkas som att längre synbarhetsavstånd än så inte är nödvändiga. Vid 90 km/h motsvarar detta en pre-view-time på 2,7 s.

Det absolut minsta värdet för förarens pre-view-time till vägmarkeringen är 1,8 s. Det måste dock hållas i minnet att detta är ett *absolut minsta* värde för säker körning i en enkel körsituation. I verklig trafik måste föraren då och då kontrollera backspeglarna och instrumentpanelen och en tid måste därför läggas till pre-view-time 1,8 s. ***Storleken på denna period kräver en litteraturgenomgång eller ytterligare forskning.*** Ett extra tidstillägg behövs också för oväntade händelser, liksom en marginal för komfort.

6 Trafikantbeteende

För att undersöka sambandet mellan pre-view-time och förbättrad synbarhet på obelyst väg gjordes försök i fält. Vid dessa användes en bil utrustad med dolda mätinstrument under verkliga trafikförhållanden, varvid förarbeteendet observerades genom mätningar av fordonets hastighet och sidoläge. Synbarhetsavstånd och pre-view-time, baserat på hastighet och vägmarkeringarnas retroreflexion, bredd och intermittens, beräknades för de olika testvägarna.

Försökspersonerna fick köra samma väg vid två olika tillfällen: en gång med de ursprungliga, slitna vägmarkeringarna och därefter när nya vägmarkeringar hade utförts.

Figur 5 *Den bil utrustad med dolda mätinstrument som användes i studien.*

Då man förbättrar vägmarkeringarnas synbarhet kan man tänka sig två ytterligheter vad gäller förarbeteendet:

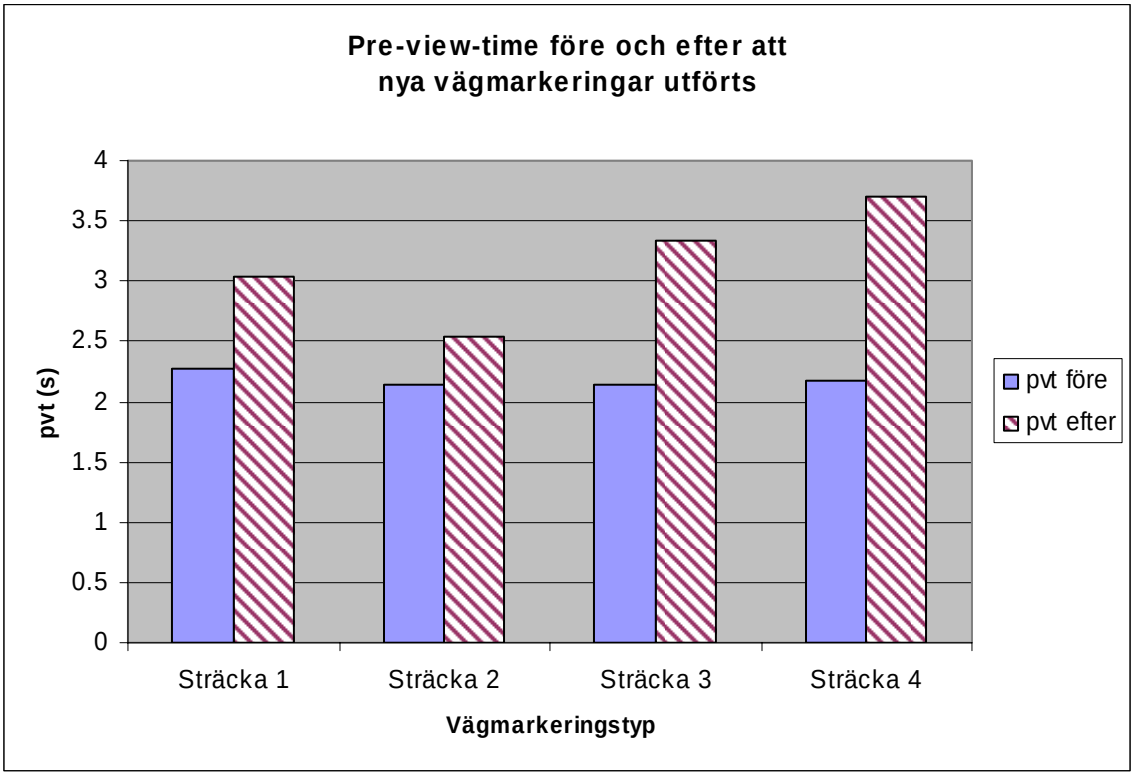
- Föraren förändrar inte hastigheten. Detta innebär att hela den förbättrade synbarheten används till att förlänga pre-view-time. Således kommer pvt att öka proportionellt mot synbarhetsförbättringen. Ett sådant beteende skulle med största sannolikhet innebära en trafiksäkerhetsvinst.
- Föraren ökar hastigheten så mycket att hela den förbättrade synbarheten tas ut i ökad hastighet. Följden av detta blir att pre-view-time är konstant – oberoende av vägmarkeringarnas synbarhet. Detta beteende är knappast önskvärt.

Oftast kombineras fallen ovan så att den förbättrade synbarheten både används till ökad hastighet och förbättrad synbarhet.

Figur 6 visar medelvärdet av pre-view-time före respektive efter att nya vägmarkeringar utförts, uppdelat på sträckor där olika vägmarkeringar utförts. Innan den nya vägmarkeringen applicerades var kantlinjen heldragen 12 cm i Portugal, heldragen 10 cm i Finland och omålad

i Schweiz. Retroreflexionen var mindre än 100 mcd/m^2/lx i alla länder. De fyra försöksträckorna utfördes i alla tre länder med nya vägmarkeringar enligt följande:

- Sträcka 1: Kontinuerlig 10 cm, RL = 100 mcd/m^2/lx.
- Sträcka 2: Intermittent 10 cm, RL = 300 mcd/m^2/lx.
- Sträcka 3: Kontinuerlig 10 cm, RL = 300 mcd/m^2/lx.
- Sträcka 4: Kontinuerlig 30 cm, RL = 100 mcd/m^2/lx.



Figur 6 *Pre-view-time före och efter att nya vägmarkeringar utförts.*

Under före-perioden var pre-view-time i medeltal 2,2 s. Resultaten visar att pvt ökade med den förbättrade synbarheten och detta skulle kunna indikera att 2,2 s inte är tillräckligt lång tid för komfortabel körning. Förarna hade behov av längre pre-view-time och fick efter nyutförandet detta genom att ta ut endast en liten del av den förbättrade synbarheten i ökad hastighet.

6.1 Användning

Av resultaten från fältexperimenten kan följande slutsatser dras om vägmarkeringarnas påverkan på trafikantbeteende:

- Det går inte att dra några säkra slutsatser om vad som är en säker pre-view-time. Resultaten tyder dock på att en **pre-view-time på 2,2 sekunder är för kort för god körkomfort**.
- Vägmarkeringar har effekt på det extrema sidoläget, dvs. minimiavståndet till kant- respektive mittlinjen för hjulen. Det tycks som att breda kantlinjer gör att det extrema

sidoläget för bilen förskjuts mot vägens mitt. Förhållandet är det motsatta när det gäller intermittenta kantlinjer.

- Resultaten visar att om vägmarkeringarnas synbarhet ökar, så ökar också pre-view-time. En del av den förbättrade synbarheten används till att öka hastigheten, men den största delen används till att öka pre-view-time, vilket ger större säkerhetsmarginaler.

7 Slutsatser

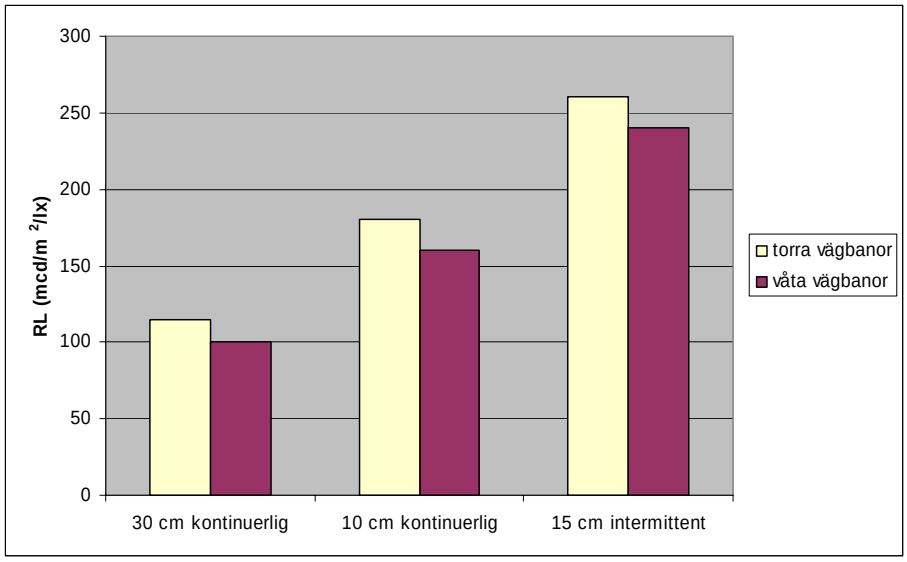
Beträffande kravet på vägmarkeringars synbarhetsavstånd har två viktiga slutsatser kunnat dras av COST 331:

> pvt = 1,8 s ska ses som ett generellt absolut minsta värde för säker körning i simulatorn. Vid verklig körning måste en kort tid adderas till dessa 1,8 s.
>
> pvt = 2,2 s är för kort för komfortabel körning.

7.1 Författarens egna kommentarer

För en väg med hastighetsbegränsningen 90 km/h motsvaras pvt = 1,8 respektive 2,2 sekunder av synbarhetsavstånden 45 respektive 55 meter och hänsyn måste tas till detta resultat vid utformning av regelverket.

En rimlig strävan kan vara att synbarhetsavståndet 55 meter ska vara uppfyllt. Enligt *Vägars och gators utformning, VGU* (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004), kan kantlinjen utformas som en kontinuerlig 30 eller 10 cm bred linje (beroende på vägtyp), eller som en intermittent 15 cm bred linje, enligt Figur 2. En viktig fråga är vilken retroreflexion hos vägmarkeringen som krävs för att synbarheten ska uppfyllas för dessa linjer på torra och våta vägbanor. Detta åskådliggörs i Figur 7.



Figur 7 *Krav på vägmarkeringens retroreflexion för att synbarhetsavståndet 55 m ska uppnås i den svåra situationen, enligt definition i kapitel 4. Vägytans retroreflexion har satts till 15 mcd/m^2/lx för torr vägbana och till 2 mcd/m^2/lx för våt vägbana.*

Figur 7 visar att om man vill dimensionera efter äldre förare kan det vara svårt att uppfylla kravet på synbarhetsavstånd, framförallt för den intermittenta linjen och speciellt i väta. Motsvarande figur för mitt- och spärrlinjer skulle visa ungefär detsamma.

Slutsatsen av ovanstående är att av de kantmarkeringar som är aktuella i Sverige (enligt VGU) är det egentligen endast den 30 cm breda, kontinuerliga linjen i torrt tillstånd, som har förutsättning att uppfylla kravet på synbarhet. Vid utförande av smalare linjer eller intermittenta linjer måste strävan därför vara att maximera retroreflexionen. Detta gäller även mitt-, varnings- och spärrlinjer.

Beräkning av vägmarkeringars synbarhet

Denna bilaga beskriver metoden som använts för att utveckla en modell för beräkning av den visuella informationen som ges av vägmarkeringar. Denna metod baseras på synbarhetsnivån, vilken fortsättningsvis betecknas VL.

Basdata erhölls från ett fältförsök där fyra typer av vägmarkeringar utförts med två olika retroreflexionsnivåer mitt i körfältet på en rak väg. Se Figur 8. Försökspersoner satt som passagerare i en bil som körde med hastigheten 70 km/h i halvljus. Då en vägmarkering observerades tryckte försökspersonen på en knapp varvid synbarhetsavståndet kunde erhållas. Resultaten från försöken användes sedan för att översätta synbarheten i laboratoriesituationen till synbarheten på verklig väg.

Figur 8 *Exempel på vägmarkering i fältförsöket. I det här fallet är provmarkeringen, som befinner sig mitt i körfältet, 10 cm bred med intermittensen 3+9 m. Observera att försöket gjordes i halvljus – ej i dagsljus.*

Modellen som utvecklats inom COST 331 kan sägas vara en ersättning för metoden som gavs i samma syfte i CIE rapport Nr 73. Den sistnämnda har dock ett mindre användningsområde och saknar stöd från empiriska försök.

Beräkningsproceduren för synbarhetsnivån av en vägmarkering innehåller följande steg:

a) Beräkna ekvivalent area för vägmarkeringen.
b) Beräkna luminanserna för vägmarkeringen och vägytan.
c) Beräkna synbarhetsnivån.
d) Bedöm den beräknade synbarhetsnivån. En minsta nivå på VL = 10 rekommenderas för praktiska trafiksituationer.

Om synbarhetsavståndet ska beräknas krävs ännu ett steg:

e) Om den beräknade synbarhetsnivån är högre/lägre än det valda värdet, öka/minska avståndet till vägmarkeringen och upprepa steg a) till d), annars accepteras detta avstånd som synbarhetsavståndet.

Teori CD-ROM-programmet Visibility

Med datorprogrammet *Visibility*, som bifogas rapporten COST 331 och kan beställas utan kostnad på www.roadsensors.com, kan synbarhetsavstånd till vägmarkeringar beräknas. Programmet baseras på den metod som beskrivs i Bilaga A – Beräkning av vägmarkeringars synbarhet. I programmet kan eller ska följande parametrar specificeras:

- **Förare, fordon och bländning**
  - Förarens ålder.
  - Typ av fordon.
  - Fordonets hastighet.
  - Bländning från mötande.

- **Väggeometri**
  - Vägmarkeringens bredd.
  - Vägmarkeringens intermittens.
  - Vägmarkeringens position – till höger eller vänster om fordonet.
  - Körfältets bredd.
  - Vägens kurvatur – horisontell och vertikal.
  - Höger- eller vänstertrafik.

- **Fordonsljus och reflexionsegenskaper för vägmarkering och vägyta**
  - Vägmarkeringens retroreflexion (RL).
  - Vägytans retroreflexion (RL).
  - Vägmarkeringens luminanskoefficient (Qd).
  - Vägytans luminanskoefficient (Qd).
  - Eget hel- eller halvljus.
  - Egna fordonsljusets intensitet i procent av nyvärdet.
  - Diffus belysning i form av dagsljus eller vägbelysning.

Programmet beräknar synbarhetsavståndet med antagandet att föraren behöver en synbarhetsnivå VL = 10 hos en vägmarkering för att kunna se den i en trafiksituation. Även pre-view-time beräknas vid den aktuella hastigheten.

Programmet beräknar och presenterar dessutom en visuell bild av vägen sedd ur förarens perspektiv. Förekommande luminanser i bilden kan analyseras genom att föra en markör över skärmen.

Programmet har en hjälpfunktion som hänvisar till ett relativt utförligt dokument om programmet och dess indata. Dokumentet och delar av det kan skrivas ut.

Förare, fordon och bländning

Programmet baseras på att en förare behöver en synbarhetsnivå VL = 10 hos en vägmarkering för att den ska synas relativt enkelt i en trafiksituation.

Förarens synfält är begränsat till ±5° i vertikalplanet och ±10° i horisontalplanet. De delar av vägmarkeringen som är utanför detta område bidrar inte till synbarheten av vägmarkeringen.

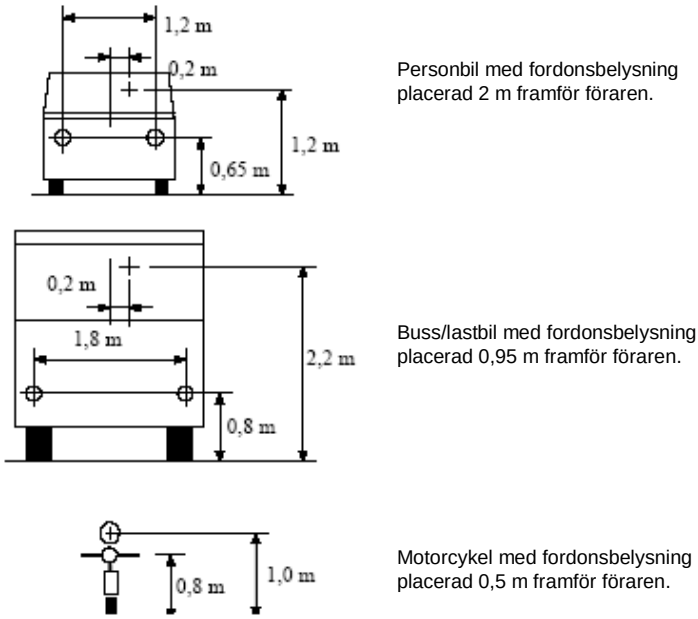
I programmet kan man välja förarens ålder till 20, 30, 40, 50, 60, 70 eller 80 år. Valet gör att faktorerna AF1 och AF2 sätts till olika värden enligt Tabell 1. Faktorn AF1 beror av minskning av genomsläppligheten hos ögat med åldern, medan faktorn AF2 är beroende av den optiska klarheten hos ögat.

Ett exempel på hur Tabell 1 ska läsas är att en 60-årig förare behöver 1,69 gånger så mycket ljus, och upplever 1,75 gånger så stor bländning, som en 20-årig förare. Man måste dock komma ihåg att data i Tabell 1 baserar sig på medelvärden för respektive åldersgrupp. Den visuella förmågan mellan individerna i varje grupp är högst individuell.

Tabell 1 *Hur faktorerna AF1 och AF2 påverkas av ålder.*

Ålder	20	30	40	50	60	70	80
AF1	1,00	1,10	1,20	1,41	1,69	2,93	8,81
AF2	1,00	1,02	1,14	1,38	1,75	2,25	2,86

I programmet kan man välja mellan höger- och vänstertrafik. Dessutom ska fordonstyp väljas, antingen personbil, buss/lastbil eller motorcykel.



Figur 9 *Fordonsgeometrier.*

Dimensionerna i Figur 9 är tänkta att representera typiska fordon; de är hämtade från CEN/TC 226 ”Road equipment” WG3 ”Vertical signs” som behandlar luminansen hos vertikala vägskyltar.

Bländning beräknas genom ett värde på ströljusluminansen L_v (cd/m^2). Värdet ska anges för en 20-årig förare, vilket programmet räknar om till aktuell förares ålder genom att multiplicera med faktorn AF2 i Tabell 1.

När man möter en eller flera bilar på en rak väg är ströljusluminansen nära konstant under ett stort område av mötessträckan. Typiska värden ges i Tabell 2 för antagandet att föraren tittar rakt framåt och att mötande bilar använder halvljus med intensiteten 200 cd för en strålkastare.

Föraren kan undvika en del av bländningen genom att rikta blicken från de mötande fordonen, t.ex. mot kantlinjen. På motsvarande sätt ökar bländningen om han eller hon tittar på en punkt närmare de mötande fordonen, t.ex. mot mittlinjen.

Tabell 2 *Ströljusluminans L_v i cd/m^2 från bländning av mötande fordon på en rak väg.*

Antal mötande fordon	Separering i sidled från mötande fordon				
	3,5 m	7,0 m	10,5 m	14,0 m	17,5 m
1	0,098	0,024	0,011	0,006	0,004
2	0,196	0,049	0,022	0,012	0,008
3	0,294	0,073	0,033	0,018	0,012
4	0,392	0,098	0,044	0,024	0,016
5	0,490	0,122	0,054	0,031	0,020

En extra ströljusluminans, som leder till effekter liknande dem från bländning, orsakas av en smutsig, våt eller utsliten vindruta. De resulterande ströljusluminanserna kan vara lika höga som de i Tabell 2.

Dagsljus/vägbelysning kan också orsaka bländning. Extrem bländning kan uppstå i dagsljus, när solen står lågt på himlen. Sådana förhållanden behandlas inte av programmet.

Vägbelysningsinstallationer för trafikleder är mestadels designade så att ströljusluminansen begränsas till omkring 15 % av vägytans luminans. Det betyder att ströljusluminansen hos vägbelysning ofta är inom intervallet 0,08–0,30 cd/m^2.

Väggeometri

Programmet utnyttjar en längsgående vägmarkering. Som indata kan anges om vägmarkeringen ska vara till höger eller till vänster om fordonet.

Vägen kan fås att svänga horisontellt och/eller vertikalt, dvs. ha kurva åt höger eller vänster samt uppförs- eller nedförsbacke. Om vägen inte ska vara rak och plan ska en horisontell och/eller vertikal krökningsradie anges. Värden under 100 m accepteras inte.

Den horisontella radien avser fordonets sidolägesplacering, dvs. i mitten av egna körfältet. Vägmarkeringens horisontella radie är mindre när vägmarkeringen är på insidan av kurvan och större när den är på utsidan.

Det beräknade synbarhetsavståndet mäts längs fordonets väg, med början vid förarpositionen och slut vid punkten bredvid den speciella punkt där vägmarkeringen syns. Därmed måste föraren köra en sträcka lika lång som synbarhetsavståndet för att komma fram till denna punkt.

Fordonsljus och reflexionsegenskaper för vägmarkering och vägyta

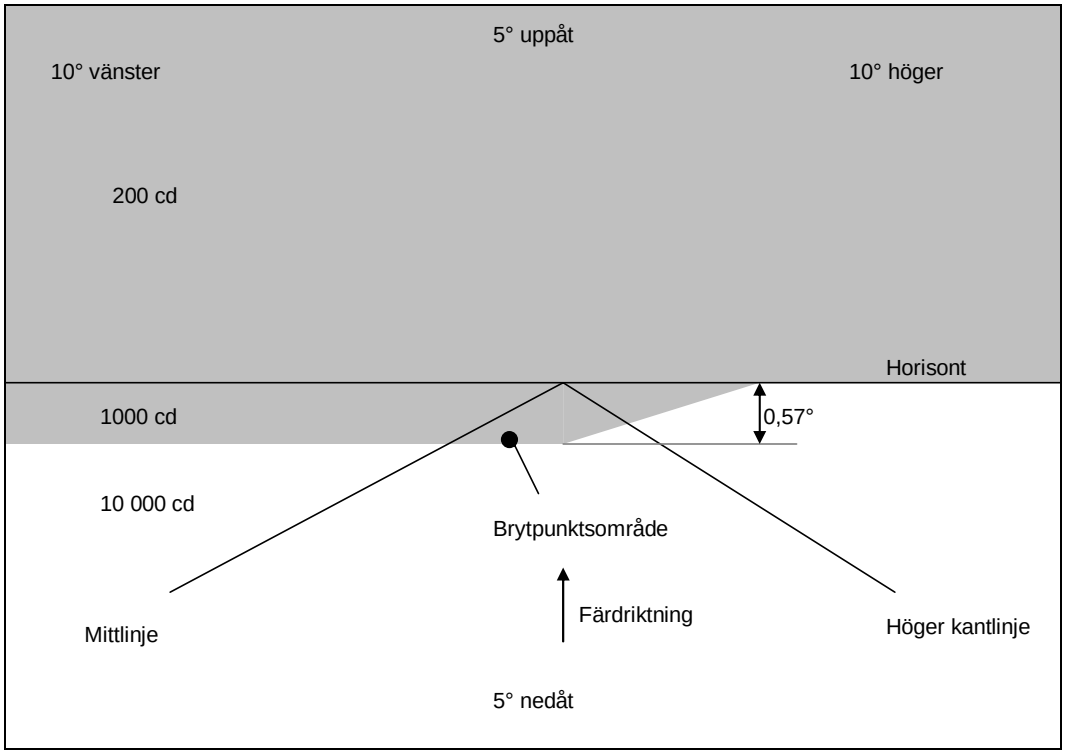
I indata kan man välja att köra utan fordonsljus eller med hel- eller halvljus.

Val av halvljus gör att programmet använder sig av ljusstyrkefördelningen enligt Figur 10. Brytpunktsområdet definieras av horisontallinjen till vänster och en stigande linje till höger, vilken representerar asymmetrisektorn.

Detta gäller för högertrafik – vid vänstertrafik spegelvänds allt.

Ljusstyrkan är konstant i tre zoner:

- **10 000 cd** i riktningar under brytpunktsområdet;
- **1 000 cd** i riktningar mellan brytpunktsområdet och horisontalplanet;
- **200 cd** i riktningar ovanför horisontalplanet;
- **0 cd** i riktningar utanför området ±10° åt sidorna och ±5° uppåt och nedåt.



Figur 10 *Ljusstyrkefördelning för halvljus (ritad för högertrafik).*

Om man väljer att ha helljus använder programmet en konstant ljusstyrka på 10 000 cd i riktningar innanför området ±10° åt sidorna och ±5° uppåt och nedåt. Ljusstyrkan är noll (0 cd) för riktningar utanför detta område.

För både hel- och halvljus multipliceras ljusstyrkorna internt med intensitetsfaktorn innan dessa används i beräkningarna.

Båda dessa fördelningar är uppenbart förenklade jämfört med verklig fördelning hos ett fordonsljus med varierande ljusstyrka. Förenklingen gör att man kan undvika komplexiteten i att välja mellan många olika typer av verkliga fordonsljus. Förenklingen kan i någon mån rättfärdigas av att exakta detaljer om fördelningen inte är viktiga.

Fördelningarna kan anses representera ett nytt och ganska kraftfullt fordonsljus. För att få ett slitet eller smutsigt fordonsljus ska intensitetsfaktorn sättas till ett värde mindre än ett.

Retroreflexionsvärden, RL, för vägmarkering och vägyta anges i den geometri som EN-1436 föreskriver. Om analysen avser väg med diffus belysning (dagsljus eller vägbelysning) ska även luminanskoefficienten, Qd, för markering och vägyta anges enligt samma standard.

Programanvändning

Synbarhetsavstånd och pre-view-time till vägmarkeringen visas för varje ny inställning i rutan **Result** till vänster under bilden (se Figur 11).

I programmet *Visibility* används termer och inställningar som förklaras här:

Driver and vehicle ***Förare och fordon***	
Med de två pilarna till vänster kan du öka eller minska förarens ålder i steg om 10 år, från 20 upp till 80 år.	
Speed *Hastighet*	Välj fordonets hastighet (5–500 km/h)
Traffic: Left/Right *Trafik: Vänster/Höger*	Välj vänster- eller högertrafik
Vehicle: Car/Lorry/MC *Fordon: Personbil/Lastbil/MC*	Välj typ av fordon
Glare (Veiling luminance) *Bländning (Ströljusluminans)*	Välj bländningsgrad (0–5 cd/m^2)

Headlamp illumination ***Fordonsbelysning***	
Off/Low/High *Av/Halvljus/Helljus*	Välj om du inte vill ha fordonsbelysning, eller använda hel- eller halvljus
Intensity factor *Intensitetsfaktor*	Välj ett värde på fordonsbelysningens intensitet (0,01–9,99). Detta motsvarar procent av 10 000 cd i riktningar under ljus-mörker-gränsen (cut-off-värdet) för halvljus
Surface RL *Vägytans RL*	Välj ett värde på vägytans retroreflexion (0–2000 mcd/m^2/lx)
Marking RL *Vägmarkeringens RL*	Välj ett värde på vägmarkeringens retroreflexion (0–2000 mcd/m^2/lx)

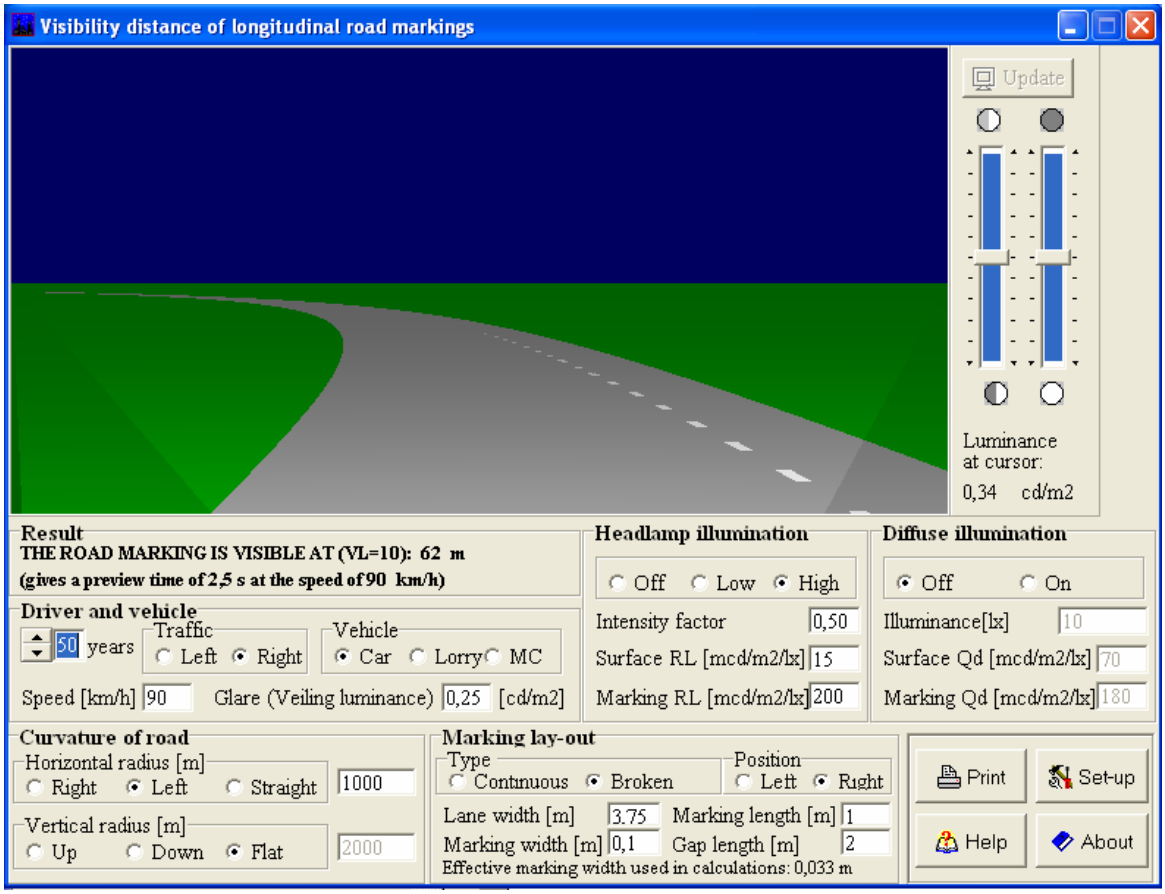
Diffuse illumination ***Indirekt belysning (vägbelysning eller dagsljus)***	
Off/On *På/Av*	Välj om du vill ha indirekt belysning eller ej
Illuminance *Belysningsstyrka*	Välj belysningsstyrka (0–1 000 000 lx)
Surface Qd *Vägytans Qd*	Välj vägytans luminanskoefficient (0–1000 mcd/m^2/lx)
Marking Qd *Vägmarkeringens Qd*	Välj vägmarkeringens luminanskoefficient (0–1000 mcd/m^2/lx)

Curvature of road ***Vägens krökning***	
Horizontal radius: Right/Left/Straight *Horisontell radie: Höger/Vänster/Rak*	Välj om vägen ska svänga till höger eller vänster och i så fall även ett värde på krökningsradien (100–10 000 000 m)
Vertical radius: Up/Down/Flat *Vertikal radie: Upp/Ner/Rak*	Välj om vägen ska ha uppförs- eller nedförsbacke och skriv i så fall in ett värde på den vertikala radien (100–10 000 000 m)

Marking lay-out ***Vägmarkeringens utformning***	
Type: Continuous/Broken *Typ: Heldragen/Intermittent*	Välj om vägmarkeringen ska vara heldragen eller intermittent
Position: Left/Right *Position: Vänster/Höger*	Välj om vägmarkeringen ska ligga till vänster eller höger om fordonet
Lane width *Körfältsbredd*	Välj värde på körfältsbredden (2–20 m)
Marking width *Vägmarkeringsbredd*	Välj värde på vägmarkeringens bredd (0,01–9,99 m)
Marking length *Vägmarkeringslängd*	Välj värde på vägmarkeringens längd vid intermittent linje (1–25 m)
Gap length *Mellanrumslängd*	Välj värde på mellanrummet mellan vägmarkeringarna för intermittent linje (1–25 m)

När man är nöjd med sina inställningar i de övriga rutorna kan man trycka på knappen ”Update” högst upp till höger på skärmen. Då uppdateras bilden av vägen med de inställningar man gjort. Man kan få värdet i en valfri punkt i bilden genom att röra muspekaren över bilden och avläsa värdet ”Luminance at cursor” till höger.

Ett exempel på hur programmet kan användas ges i Figur 11. Här blir synbarhetsavståndet 62 m och pvt blir 2,5 s då fordonets hastighet är 90 km/h.



Figur 11 *Visibility-programmet använt på en vänstersvängande väg med högertrafik, utan stationär belysning och med en 10 cm bred intermittent kantlinje i helljus under medelsvåra förhållanden.*

Illustration av vägmarkeringars faktiska och beräknade synbarhet

Denna bilaga är ett fristående tillägg som inte ingår i COST-projektet.

Det kan vara av intresse att relatera foton av faktiska vägar med synbarhetsavstånd som är beräknade med programmet *Visibility*. I syfte att göra detta fotograferades ett antal vägar med vägmarkeringar med varierande bredd och intermittens i både torrt och vått tillstånd. Retroreflexionen för dessa vägmarkeringar mättes också upp och användes som indata i *Visibility*. Vägar med tillhörande vägmarkeringar redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 *Intermittens, profilering, linjebredd, linjetyp samt hastighetsgräns för de vägar som fotograferats.*

Väg	Intermittens	Profilering	Linjebredd	Linjetyp	Hastighetsgräns
Lv 609, Vikingstad-Ulrika	Heldragen	Plan	10 cm	Kant	70 km/h
Lv 1027, Sjögestad-Rappestad	Intermittent	Plan	10 cm	Kant	70 km/h
Lv 636, Vikingstad-Linköping	Heldragen	Profilerad	20 cm	Kant	90 km/h
	Intermittent	Profilerad	15 cm	Körfält	
Rv 34, Rimforsa-Linköping	Intermittent	Profilerad	10 cm	Kant	90 km/h
	Intermittent	Profilerad	15 cm	Mitt	
Rv 51, Finspång-Norrköping	Heldragen	Profilerad	30 cm	Kant	90 km/h
	Intermittent	Plan	10 cm	Mitt	

Nedan följer fotografier av dessa vägar i torrt väder i dagsljus samt i mörker med torr respektive våt vägbana i halv- och helljus. För mörkerfotona gäller följande:

- Alla foton är omgjorda till gråskala för att undvika färgeffekter
- Alla foton har exponeringstiden 1/2 sekund
- Vid torrt såväl som vått väglag har bländaren 2,8 använts.

För varje väg anger en tabell följande parametrar:

- Indata, sanna och uppmätta
  - ljusinställning
  - linjetyp
  - luminanskoefficient, Qd
  - retroreflexion på **torr** vägbana, RL(t)
  - retroreflexion på **våt** vägbana, RL(v).

- Utdata beräknade med Visibility
  - synbarhetsavstånd på **torr** vägbana, S(t)
  - synbarhetsavstånd på **våt** vägbana, S(v)
  - pre-view-time på **torr** vägbana, pvt(t)
  - pre-view-time på **våt** vägbana, pvt(v).

- Dessutom anges den relativa vägmarkeringsarean så som den beräknas i Sverige, dvs. total markerad vägmarkeringsyta på en väglängd av 12 m (längden av en vägmarkeringscykel).

I programmet *Visibility* har den medelsvåra situationen tillämpats och vägytans retroreflexion har satts till 15 mcd/m^2/lx för torr vägbana och till 2 mcd/m^2/lx för våt vägbana.

En vägledning vid bedömning av synbarhetsavstånd är att det är cirka 5 m fram till den första linjen framför bilen, 3 m mellan intermittenta kantlinjer och 12 m mellan varje mittlinje. Ett test visade att författarens subjektiva rangordning av synbarhetsavstånd för de olika fotografierna i grova drag överensstämde med rangordningen i synbarhetsavstånd beräknade av *Visibility*.

Lv 609, Vikingstad–Ulrika

Figur 12 *Heldragen plan 10 cm kantlinje i dagsljus.*

Tabell 4 *Uppmätta och beräknade parametrar för heldragen plan 10 cm kantlinje.*

Fordonsbelysning	Linjetyp	rel. area [m^2]	Qd [mcd/m^2/lx]	RL(t) [mcd/m^2/lx]	S(t) [m]	pvt(t) [s]	RL(v) [mcd/m^2/lx]	S(v) [m]	pvt(v) [s]
Halvljus	Kant	1,20	104	152	71	3,6	< 5	< 20	< 1,0
Helljus	Kant	1,20	104	152	72	3,6	< 5	< 20	< 1,0

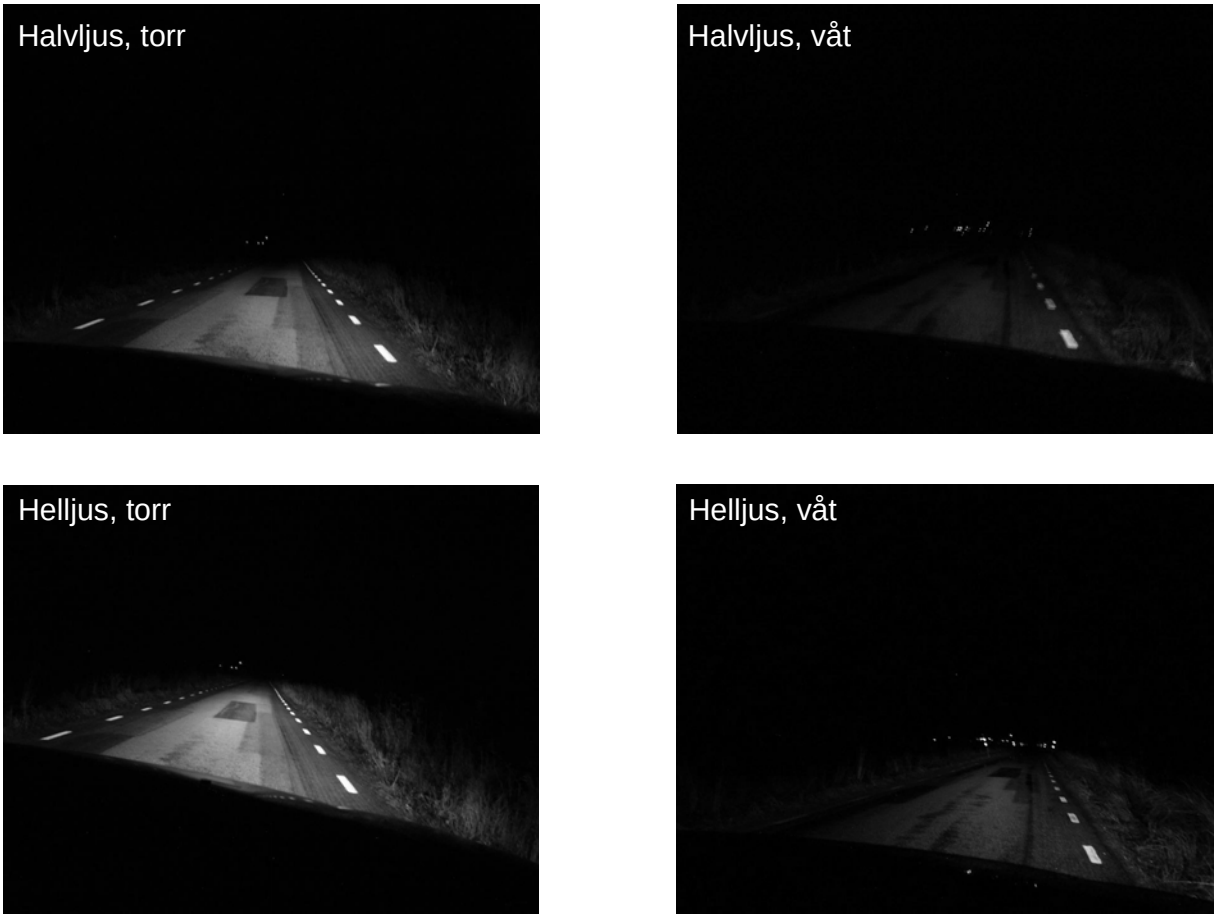
Figur 13 *Heldragen plan 10 cm kantlinje i mörker i fordonsbelysning vid torr respektive våt vägbana.*

Lv 1027, Sjögestad–Rappestad

Figur 14 *Intermittent plan 10 cm kantlinje i dagsljus.*

Tabell 5 *Uppmätta och beräknade parametrar för intermittent plan 10 cm kantlinje.*

Fordonsbelysning	Linjetyp	rel. area [m^2]	Qd [mcd/m^2/lx]	RL(t) [mcd/m^2/lx]	S(t) [m]	pvt(t) [s]	RL(v) [mcd/m^2/lx]	S(v) [m]	pvt(v) [s]
Halvljus	Kant	0,40	156	211	63	3,2	29	37	1,9
Helljus	Kant	0,40	156	211	64	3,2	29	37	1,9



Figur 15 *Intermittent plan 10 cm kantlinje i mörker i fordonsbelysning vid torr respektive våt vägbana.*

Lv 636, Vikingstad–Linköping

Figur 16 *Heldragen profilerad 20 cm kantlinje och intermittent profilerad 15 cm körfältslinje i dagsljus.*

Tabell 6 *Uppmätta och beräknade parametrar för heldragen profilerad 20 cm kantlinje och intermittent profilerad 15 cm körfältslinje.*

Fordonsbelysning	Linjetyp	rel. area [m^2]	Qd [mcd/m^2/lx]	RL(t) [mcd/m^2/lx]	S(t) [m]	pvt(t) [s]	RL(v) [mcd/m^2/lx]	S(v) [m]	pvt(v) [s]
Halvljus	Kant	2,40	110	157	83	3,3	39	55	2,2
	Körfält	0,45	134	158	56	2,2	35	40	1,6
Helljus	Kant	2,40	110	157	85	3,4	39	55	2,2
	Körfält	0,45	134	158	61	2,4	35	40	1,6

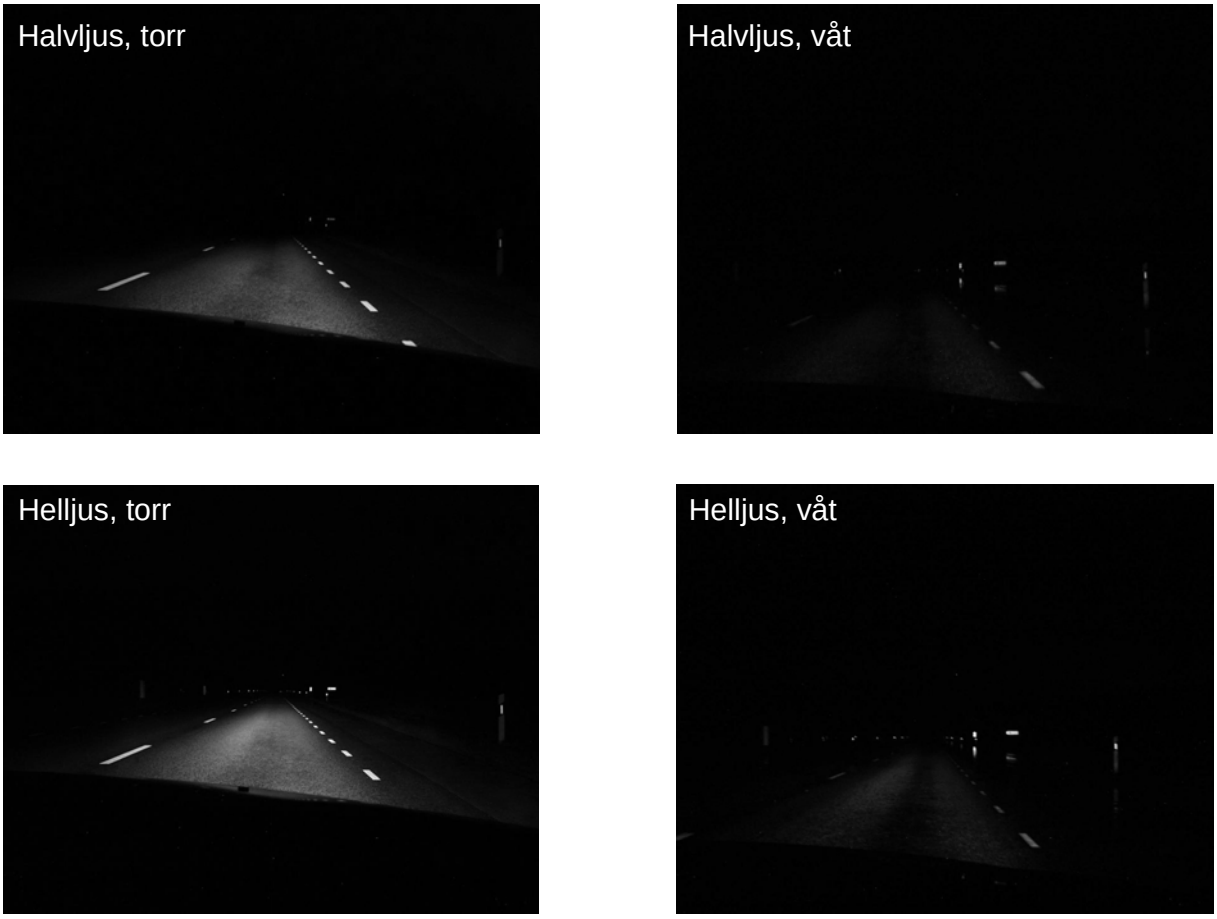
Figur 17 *Heldragen profilerad 20 cm kantlinje och intermittent profilerad 15 cm körfältslinje i mörker i fordonsbelysning vid torr respektive våt vägbana.*

Rv 34, Rimforsa–Linköping

Figur 18 *Intermittent profilerad 10 cm kantlinje och intermittent profilerad 15 cm mittlinje i dagsljus.*

Tabell 7 *Uppmätta och beräknade parametrar för intermittent profilerad 10 cm kantlinje och intermittent profilerad mittlinje.*

Fordonsbelysning	Linjetyp	rel. area [m^2]	Qd [mcd/m^2/lx]	RL(t) [mcd/m^2/lx]	S(t) [m]	pvt(t) [s]	RL(v) [mcd/m^2/lx]	S(v) [m]	pvt(v) [s]
Halvljus	Kant	0,40	148	118	52	2,1	37	40	1,6
	Mitt	0,45	150	122	52	2,1	27	36	1,8
Helljus	Kant	0,40	148	118	53	2,1	37	40	1,6
	Mitt	0,45	150	122	55	2,2	27	36	1,8



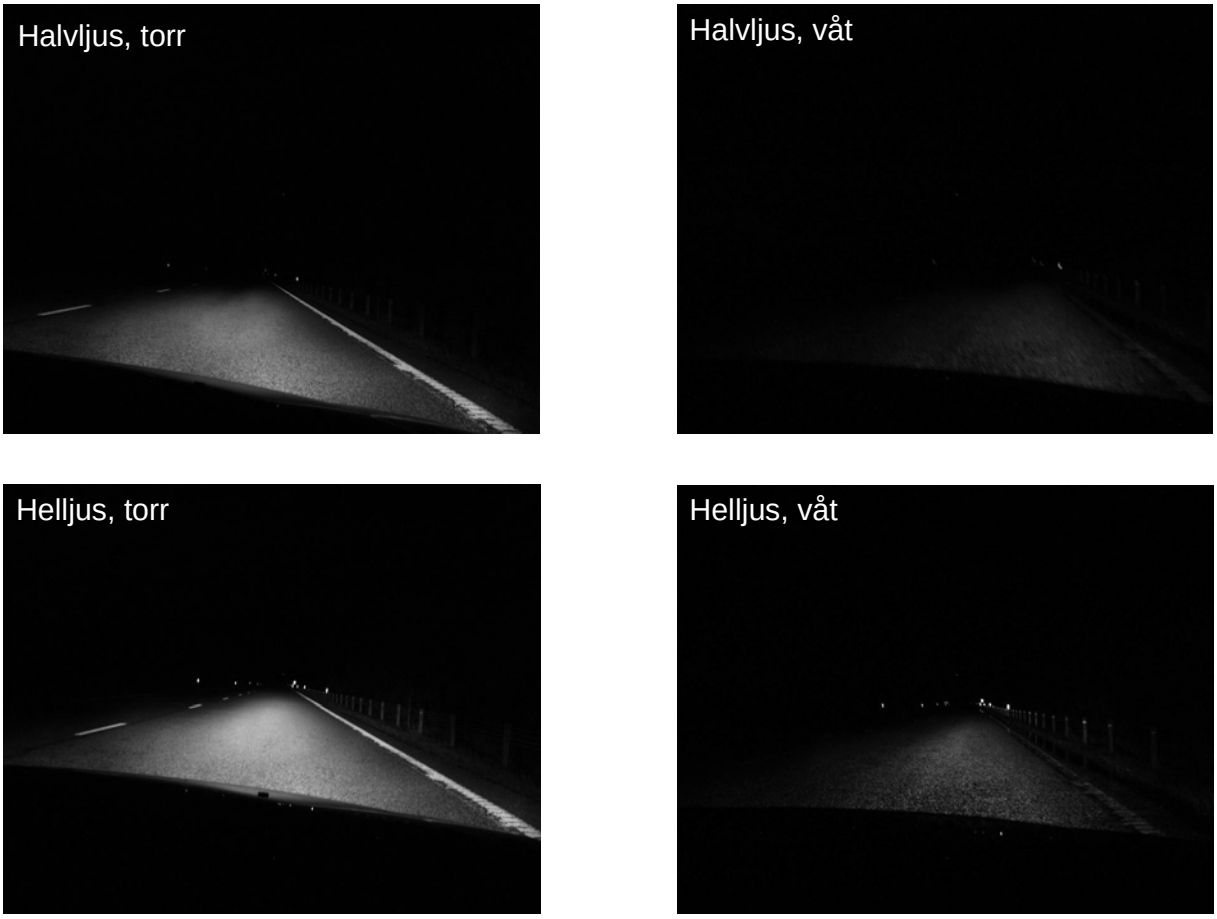
Figur 19 *Intermittent profilerad 10 cm kantlinje och intermittent profilerad 15 cm mittlinje i mörker i fordonsbelysning vid torr respektive våt vägbana.*

Rv 51, Finspång–Norrköping

Figur 20 *Heldragen profilerad 30 cm kantlinje och intermittent plan 10 cm mittlinje i dagsljus.*

Tabell 8 *Uppmätta och beräknade parametrar för heldragen profilerad 30 cm kantlinje och intermittent plan 10 cm mittlinje.*

Fordonsbelysning	Linjetyp	rel. area [m^2]	Qd [mcd/m^2/lx]	RL(t) [mcd/m^2/lx]	S(t) [m]	pvt(t) [s]	RL(v) [mcd/m^2/lx]	S(v) [m]	pvt(v) [s]
Halvljus	Kant	3,60	145	139	84	3,4	12	36	1,8
	Mitt	0,30	176	133	49	2,0	< 5	< 20	< 0,8
Helljus	Kant	3,60	145	139	86	3,4	12	36	1,8
	Mitt	0,30	176	133	52	2,1	< 5	< 20	< 0,8



Figur 21 *Heldragen profilerad 30 cm kantlinje och intermittent plan 10 cm mittlinje i mörker i fordonsbelysning vid torr respektive våt vägbana.*

www.vti.se
vti@vti.se

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportsystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovnings-anläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

vti

HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE
LINKÖPING
POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING
TEL +46(0)13 20 40 00
www.vti.se

BORLÄNGE
POST/MAIL BOX 760
SE-781 27 BORLÄNGE
TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM
POST/MAIL BOX 6056
SE-171 06 SOLNA
TEL +46 (0)8 555 77 020

GÖTEBORG
POST/MAIL BOX 8077
SE-402 78 GÖTEBORG
TEL +46 (0)31 750 26 00