



Metoder för att bedöma synavstånd för vägmarkeringar

Carina Fors
Sven-Olof Lundkvist

Metoder för att bedöma synavstånd för vägmarkeringar

Carina Fors

Sven-Olof Lundkvist

Författare: Carina Fors, VTI, www.orcid.org/0000-0002-2061-5817
Sven-Olof Lundkvist, VTI
Diarienummer: 2015/0662-8.2
Publikation: VTI notat 24-2018
Omslagsbilder: Lightpoet och Linnea Borg/Mostphotos
Utgiven av VTI, 2018

Förord

Föreliggande rapport beskriver en metodstudie med syfte att ta fram en metod för att bedöma långsgående vägmarkeringars synavstånd i fordonsbelysning. Metoden ska användas i en kommande studie för att validera beräkningsmodellen *Visibility*, som nyligen har reviderats.

Avsikten var initialt att genom några enkla tester fastslå vilken metod som ska användas i den kommande valideringsstudien. De enkla testerna (vilka redovisas i kapitel 3.1) gav dock svårtolkade resultat, där det inte tycktes finnas något samband alls mellan markeringens retroreflexion och dess synbarhet. Vidare var flera av de testade metoderna behäftade med praktiska problem. Det blev därför nödvändigt att genomföra en metodstudie där olika metoder har testats och undersökts närmare i en serie mindre försök på allmän väg. Genom en stegvis process har en metod möjlig att använda för att validera *Visibility* tagits fram.

Tack till de statliga vägmyndigheterna i Sverige, Norge, Danmark och Finland som via nätverket *Nordiskt Möte för Förbättrad Vägutrustning* (NMF) har finansierat studien.

Tack även till Martin Gunnarsson samt följande personer vid VTI som har medverkat i studien som försökspersoner: Sara Nygårdhs, Mohammed-Reza Yahya, Gunilla Sörensen, Jonas Ihlström, Erik Kjellman, Andreas Jansson och Erik Olsson. Planeringen och genomförandet av testerna har i huvudsak gjorts av Sven-Olof Lundkvist och undertecknad.

Linköping, oktober 2018

Carina Fors
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 28 november 2018 av Björn Lidestam. Carina Fors har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Anna Anund har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 5 december 2018. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal peer review was performed on 28 November 2018 by Björn Lidestam. Carina Fors has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Anna Anund examined and approved the report for publication on 5 December 2018. The conclusions and recommendations expressed are the author's and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	7
Summary	8
1. Inledning	9
1.1. Bakgrund.....	9
1.2. Syfte	10
2. Litteraturstudie	11
2.1. Metod	11
2.2. Metoder för att undersöka synbarhet hos vägmarkeringar – en litteraturgenomgång	11
2.3. Diskussion	14
3. Metodtester	15
3.1. Inledande metodtester	15
3.1.1. Metoder och testbetingelser	15
3.1.2. Resultat och diskussion.....	16
3.2. Kravspecifikation	18
3.3. Val av metoder	19
3.3.1. Reflektormetoden.....	19
3.3.2. Kantstolpsmetoden.....	19
3.4. Metodtester, del 1	19
3.4.1. Test av reflektormetoden	20
3.4.2. Test av kantstolpsmetoden	24
3.4.3. Jämförelse av reflektormetoden och kantstolpsmetoden	30
3.4.4. Sammanfattning och slutsatser, del 1	31
3.5. Metodtester, del 2.....	32
3.5.1. Bedömning av synavstånd i stillastående och i fart	32
3.5.2. Fortsatta tester	34
3.5.3. Bedömning av synavstånd med ögonrörelsesystem.....	37
3.5.4. Sammanfattning och slutsatser, del 2.....	39
4. Föreslagen metod för att bedöma vägmarkeringars synavstånd.....	41
5. Diskussion och slutsatser	42
5.1. Metodtester.....	42
5.2. Framtida valideringsstudie	43
5.3. Slutsatser	44
Referenser	45

Sammanfattning

Metoder för att bedöma synavstånd för vägmarkeringar

av Carina Fors (VTI) och Sven-Olof Lundkvist (VTI)

Studien syftade till att ta fram en metod för att bedöma långsgående vägmarkeringars synavstånd i fordonsbelysning. Metoden ska användas i en kommande studie för att validera en beräkningsmodell, benämnd *Visibility*, som nyligen har reviderats. Med modellen beräknas vägmarkeringars synavstånd utifrån olika parametrar, bland annat retroreflexion och area.

Studien omfattade en litteraturgenomgång och en serie metodtester i fält. Utifrån litteraturgenomgången och ett fåtal små inledande fälttester togs en kravspecifikation fram. Två metoder, benämnda *reflektormetoden* respektive *kantstolpsmetoden*, bedömdes kunna uppfylla kravspecifikationen och de fortsatta testerna inriktades därför på dessa metoder. Reflektormetoden går ut på att vägbanereflektorer placeras intill vägmarkeringen med ett visst avstånd. Bedömningen av synavstånd görs stillastående, genom att ange hur långt vägmarkeringen syns, uttryckt i antal reflektorer. Med kantstolpsmetoden används istället kantstolparnas reflektorer som referenspunkter och vägmarkeringens synavstånd anges därmed i antal kantstolpsreflektorer. Bedömningen görs i fart och observatören bedömer vägmarkeringens synavstånd kontinuerligt över en längre sträcka. Båda metoderna fungerade bra rent praktiskt och upplevdes ge rimliga resultat när de testades var för sig. En jämförelse av metoderna visade dock att de gav väsentligt olika resultat. Orsaken till detta har inte helt klarlagts. Vid ytterligare tester, på väg med intermittenta kantmarkeringar, bedömdes synavstånden genom att räkna antalet synliga markeringar med hjälp av kikare. Denna metod antas ge det mest "sanna" värdet och den indikerade att kantstolpsmetoden tenderar att överskatta synavstånden, medan reflektormetoden tenderar att underskatta synavstånden något om reflektorerna är placerade nära vägmarkeringen. Att göra bedömningen i stillastående jämfört med i fart hade inte någon väsentlig inverkan på resultatet (synavstånden blev något kortare i fart), men det upplevdes vara svårare att göra en noggrann bedömning i fart.

Utöver reflektormetoden och kantstolpsmetoden undersöktes också om det skulle gå att använda ett ögonrörelsesystem för att bedöma synavstånd. Resultaten visade att noggrannheten och bildkvaliteten inte var tillräckligt bra för att metoden ska gå att använda.

Slutlig rekommendationen för den kommande valideringsstudien är att använda reflektormetoden, där reflektorerna är placerade med 18 m avstånd och 40 cm från markeringen. Bedömningen ska göras stillastående och upprepade gånger på varje mätobjekt. Vid några objekt (med intermittenta markeringar) bör bedömningen av synavstånd även göras genom att räkna antalet synliga kantmarkeringar med kikare, för att verifiera resultaten som erhålls från reflektormetoden.

Summary

Methods for estimation of the visibility distance of road markings

by Carina Fors (VTI) and Sven-Olof Lundkvist (VTI)

The study aimed at developing a method for estimation of the visibility distance of longitudinal road markings in headlight illumination. The method will be used in a forthcoming study to validate a mathematical model, denoted *Visibility*, that was recently revised. With this model, the visibility distance of road markings can be calculated from various parameters, such as retroreflectivity and area.

The study included a literature review and a series of tests on public roads. Based on the literature review and a few minor field tests, a requirement specification was prepared. Two methods, denoted *the reflector method* and *the post delineator method*, respectively, were assumed to have the potential to fulfil the requirements and were further tested. In the reflector method, reflective road studs are placed along the road marking at a known distance between them. The estimation of visibility distance is done at standstill, by indicating the distance at which the marking is visible, expressed as the number of reflectors. In the post delineator method, the retroreflectors of post delineators are used as reference points instead of road studs and accordingly, the visibility distance is expressed in number of post delineator reflectors. The estimation is done at speed and the observer is continuously estimating the visibility distance while the vehicle is moving. Both methods worked well from a practical point of view and both also seemed to give reasonable results. However, when compared, it was clear that they gave substantially different results. The reason behind this has not been completely clarified. Further tests on a road with broken edge lines, the visibility distances were estimated by calculating the number of visible road markings by using binoculars, which is assumed to give the most “true” estimation. This method indicated that the post delineator method overestimates the visibility distances, while the reflector method may underestimate the visibility distance, if the road studs are placed close to the road marking. Estimating the visibility distance at standstill compared to at speed, did not have a substantial influence on the result, (the visibility distances were somewhat shorter at speed) however, the participants thought it was more difficult to make accurate estimations at speed.

In addition to the reflector method and the post delineator method, the potential to use an eye tracking system for estimation of visibility distance was assessed. The results showed that the accuracy and the image quality were too low for this application.

The final recommendation for the forthcoming validation study is to use the reflector method, where the reflectors are placed at a longitudinal distance of 18 m and transverse distance of 0.40 m from the road marking. The estimations should be carried out at standstill and repeatedly for each object. For some objects (with broken road markings), the visibility distance should also be estimated by calculating the number of visible road markings with binoculars, to verify the results obtained from the reflector method.

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Längsgående vägmarkeringar syftar till att ge fordonsförare en förstärkt synbarhet av vägens sträckning, samt anvisa var på vägen fordonet ska vara placerat. Funktionskraven på vägmarkeringar omfattar bland annat retroreflexion, som anger hur mycket ljus som reflekteras tillbaka mot föraren när markeringen belyses med fordonsbelysning i mörker. Det vill säga, retroreflexionen är ett mått på hur väl markeringen syns i fordonsbelysning. Avståndet på vilken en markering är synlig påverkas också av dess area och av yttre faktorer såsom fordonsbelysningen, förarens synförmåga och omgivningsljus, till exempel från mötande fordon.

Ur ett trafikantperspektiv vore det önskvärt att formulera funktionskrav baserat på förarens behov av synbarhet. Ett mått som har en tydlig koppling till förarens upplevelse av markeringen är *preview-time* (*pvt*) som anger hur långt en markering är synlig, uttryckt i tid givet förarens aktuella hastighet. Om en förare kör i 90 km/h (25 m/s) och markeringen syns 100 m framför bilen är $pvt = 100/25 = 4$ s. Om man genom forskningsstudier kan fastslå vilken *pvt* som behövs för att en förare ska kunna köra på ett säkert och komfortabelt sätt kan man, för olika typer av vägar och hastighetsbegränsningar, bestämma vilken retroreflexion och area markeringen behöver ha för att för att kravet på *pvt* ska vara uppfyllt.

På 90-talet genomfördes ett europeiskt samarbetsprojekt, COST 331, som bland annat syftade till att undersöka vilken *pvt* förare behöver (COST 331, 1999). I en simulatorstudie konstaterades att *pvt* måste vara minst 1,8 s för att föraren ska klara av att styra bilen längs vägen, och i en efterföljande fältstudie drogs slutsatsen att $pvt = 2,2$ s är för kort för komfortabel körning i verklig trafik. I projektet togs även en beräkningsmodell, benämnd *Visibility*, fram, för beräkning av vägmarkeringars synavstånd utifrån uppmätta värden på bland annat retroreflexion och markeringens area.

Inom nätverket *Nordiskt Möte för Förbättrad Vägutrustning* (NMF) har ett projektförslag som syftar till fortsatta studier av förarens behov av *pvt* diskuterats. Vid ett mindre pilotförsök¹ hösten 2014 noterades att synavstånden som erhålls från beräkningsmodellen *Visibility* underskattas. Tänkbara förklaringar till skillnaden mellan uppmätta och beräknade synavstånd är:

1. Fordonsbelysningen kan ha förbättrats sedan 90-talet, då *Visibility* togs fram.
2. Metoden som användes i COST 331 för att validera *Visibility* kan underskatta synavstånden.
3. *Visibility level* (*VL*, som är ett tröskelvärde för vad som anses vara synligt och som ingår som en parameter i *Visibility*) ska sannolikt vara väsentligt lägre än det värde som används i *Visibility*, då trafiksituationen kan betraktas som enkel (ingen mötande trafik etc.).

Resultaten från pilotförsöket ledde till att NMF tog initiativ till en revidering och validering av *Visibility*. I ett första steg uppdaterades modellen för fordonsbelysning genom att belysningen på ett urval av idag vanligt förekommande personbilar mättes upp (vilket bekräftade antagandet i punkt 1 ovan). Vidare moderniserades själva programvaran. I den uppdaterade versionen är det möjligt för användaren att ange ett valfritt värde på *VL*, vilket gör att modellen får en större flexibilitet och därmed går att anpassa bättre efter olika betingelser.

Innan den uppdaterade versionen av *Visibility* kan användas i fortsatta studier om *pvt*, behöver den valideras. I praktiken innebär detta att bestämma värden på *VL* för olika trafiksituationer, så att modellen så bra som möjligt stämmer överens med uppmätta synavstånd. För att kunna göra detta krävs en tillförlitlig metod för att mäta synavstånd i fält.

¹ Pilotförsöket genomfördes av Sven-Olof Lundkvist i torrt väglag utan mötande trafik, dvs i enkla förhållanden. Uppmätta synavstånd var i genomsnitt mer än 60% längre än beräknade synavstånd.

Valideringen av den ursprungliga versionen av *Visibility* gjordes i ett fältförsök, där olika typer av långsgående vägmarkeringar lades ut i mitten av det ena körfältet på en tvåfältsväg (allmän väg) med stort avstånd mellan varje typ. Sammanlagt nio försökspersoner satt som passagerare i en personbil på sträckan, med enda uppgift att trycka på en knapp så fort de såg en ny vägmarkering. Resultaten visade på en mycket god överensstämmelse mellan de uppmätta synavstånden och de beräknade synavstånden, då parametern *VL* sattes till 7,2. Dock sattes sedan *VL* i programmet *Visibility* till 10, med tanken att det ska avspegla en svårare trafiksituation.

Metoden som användes i fältförsöket kan möjligen vara en delförklaring till varför *Visibility* underskattar synavstånden. I försöket mättes synavståndet till en punkt där markeringen *börjar*, medan man i verklig körning ser markeringen till en punkt där den upplevs *sluta*, det vill säga inte längre är synlig. För att kunna se den punkt där en markering börjar (en punkt som befinner sig 50–250 m bort) behöver man se markeringen *bortom* punkten. Eftersom det handlar om förhållandevis långa synavstånd behöver man sannolikt se åtminstone någon eller några tiotals meter av markeringen. Det vill säga, det verkliga synavståndet (så som det upplevs i en körsituation) är sannolikt några tiotals meter längre än vad som uppmätts.

1.2. Syfte

Syftet med föreliggande studie är att ta fram en ekologiskt valid metod för att bedöma långsgående vägmarkeringars synavstånd i fordonsbelysning. Detta innebär att metoden så långt det är möjligt ska ge resultat som avspeglar vägmarkeringars synavstånd så som de upplevs i verkliga körsituationer. Studien omfattar en litteraturgenomgång och metodtester i fält.

2. Litteraturstudie

2.1. Metod

En litteratursökning gjordes med hjälp av sökverktyget Summon, som tillhandahålls av *Bibliotek och informationscenter* (BIC) vid VTI. Summon ger tillgång till:

- Alla referenser i litteraturdatabaserna Scopus och Web of Science
- Samtliga e-tidskrifter som VTI prenumererar på
- Beståndet vid VTI:s bibliotek
- Open Access-tidskrifter

Sökord var *road marking visibility*. Från de 60 första sökträffarna valdes 12 referenser ut att ingå i litteraturgenomgången. Det huvudsakliga urvalskriteriet var att referensen skulle inkludera någon form av experimentellt synbarhetsförsök, med syfte att skatta synbarhet hos vägmarkeringar.

Litteraturgenomgången genomfördes under 2016.

2.2. Metoder för att undersöka synbarhet hos vägmarkeringar – en litteraturgenomgång

I litteraturen förekommer i huvudsak två metoder för att bedöma vägmarkeringars synavstånd. Metoderna benämns nedan *Metod I* och *Metod II*.

Metod I innebär att försöksdeltagarna sitter i ett stillastående fordon på en testbana. Markeringarna utgörs av intermittenta linjer med ca 3 m långa markeringar och ca 9 m långa mellanrum. Deltagarnas uppgift är att räkna antalet markeringar de med säkerhet kan se, inom en viss tid. Burns et al (2006) använde metoden för att undersöka sambandet mellan markeringars fotometriska egenskaper och deras synbarhet i torrt och vått väglag, samt i regn. Utöver att bedöma synavstånden genom att räkna antalet synliga markeringar fick deltagarna även bedöma synbarheten på en tregradig skala, där 1 = oacceptabel, 2 = acceptabel och 3 = mycket bra. Resultaten påvisade ett tydligt logaritmiskt samband mellan synavstånd och retroreflexion (där retroreflexionen var 30–1000 mcd/m²/lx). Metoden användes även i Gibbons et al. (2005) där syftet var att undersöka vilken retroreflexion förare behöver i vått väder. Studien genomfördes på en testbana med möjlighet att simulera regn, där markeringar av olika typ lades ut bredvid varandra. Försöksdeltagarna satt i antingen en personbil eller en lastbil och observerade markeringarna genom en 5 cm bred spalt, för att de bara skulle se en av testmarkeringarna i taget. I slutet av experimentet fick deltagarna se alla markeringar samtidigt, och rangordna deras synbarhet. Resultaten visade att det var en hög korrelation mellan synavstånd och retroreflexion.

I Metod II färdas försöksdeltagarna i ett fordon längs med en väg. I de flesta studier var det försökspersonen själv som körde. Vägmarkeringarna upphör och börjar sedan igen, vid vissa punkter längs med vägen. Luckorna i markeringarna åstadkoms antingen genom att markeringen döljs med mörkt material eller genom att ingen markering har applicerats. I de fall luckornas längd specificerats i artiklarna är de minst 60 m långa och i vissa fall över 200 m. Försöksdeltagarnas uppgift är att säga till när de ser slutet och/eller början av markeringarna. En försöksledare i bilen trycker då på en knapp och gör sedan återigen en knapptryckning när början/slutet av markeringen passerar, vilket ger en registrering av synavståndet. I de flesta studier upprepas mätningarna med samma försöksperson, antingen genom att samma försöksslinga körs flera gånger, eller genom att samma markeringstyp förekommer på flera platser längs försöksslingan.

Zwahlen och Schnell (1997a) använde Metod II för att mäta synavstånd till både mittlinjer och kantlinjer, med olika färg, bredd och retroreflexion. Studien gjordes på en testbana i torrt väglag i halvljus. Försökspersonerna körde en personbil i 8–16 km/h längs med testbanan och indikerade när de såg slutet av markeringen. Varje försöksperson gjorde upprepade bedömningar i varje betingelse. Vissa inlärningseffekter mellan upprepningarna noterades. Zwahlen och Schnell (1999) använde samma metod i ytterligare en studie, där syftet var att undersöka synavståndet för olika typer av markeringar, i både hel- och halvljus, och med både unga och äldre förare. Synavstånden varierade mellan ca 30 och 240 m. Skillnaderna mellan hel- och halvljus var små – som mest ca 10 % (noteras bör dock att studien är från 1999), vilket av författarna förklaras med att halvljusets ljusfördelning är fördelaktig när det gäller att upptäcka kantlinjen (Zwahlen och Schnell, 1999). Liksom i Zwahlen & Schnell (1997a) noterades vissa inlärningseffekter, vilket gjorde att endast de två sista mätningarna (av tre) analyserades.

En variant av Metod II användes i COST-projektet, för att bestämma parametern *Visibility Level* (VL) i *Visibility*-modellen (COST 331, 1999). På en allmän väg applicerades cirka 75 m långa markeringar i mitten av körfältet, med ett mellanrum om minst 200 m mellan närliggande markeringar. Markeringarna hade olika design med avseende på bredd och intermittens, samt olika retroreflexion, och de hade därmed olika synavstånd. Totalt ingick åtta typer av markeringar, som upprepades på försökssträckan sex gånger vardera. Tre observatörer i taget, totalt nio stycken, satt som passagerare i en bil som kördes i 90 km/h. Observatörernas uppgift var att trycka på en knapp när de kunde se testmarkeringarna, det vill säga när de såg *början* av markeringen. Experimentet genomfördes i torrt väglag, med tre olika typer av strålkastare. De uppmätta synavstånden varierade från cirka 40 till 250 m.

Gibbons et al. (2007) använde Metod II för att undersöka synbarheten hos fyra olika vägmärkingsmaterial i simulerat regn, på en testbana, i olika betingelser (med/utan vägbelysning, med/utan bländning, i personbil och i lastbil). Deltagarna körde längs testbanan och deras uppgift var att indikera både när de såg början och slutet på markeringarna. Mellanrummen mellan markeringarna skapades genom att markeringarna doldes under ett svart material och de placerades på olika platser i olika betingelser och upprepningar. För att deltagarna inte enbart skulle ha fokus på markeringarna utan även titta på vägen, användes en sekundäruppgift som gick ut på att upptäcka koner som var placerade i vägmiljön.

Metod II användes även i Gibbons et al. (2013), där syftet var att undersöka synbarheten hos sex markeringstyper i naturligt regn. Studien genomfördes på en allmän väg, där markeringarna på vissa sträckor doldes av ett svart material. Synavstånden mättes genom att deltagarna indikerade när de såg antingen slutet eller början av en markering. Deltagarnas syn testades innan försöket med avseende på synskärpa, kontrastkänslighet och färgseende.

Ohme och Schnell (2001) använde Metod II för att undersöka hur materialtyp och märkingsbredd påverkar synbarheten. Experimentet genomfördes på en allmän tvåfältsväg, där det fanns 60 m långa luckor i markeringarna. Deltagarna körde längs teststräckan i cirka 16 km/h och indikerade när de såg slutet på markeringarna. Resultaten visade att markeringarnas bredd (10, 15 respektive 20 cm) inte hade någon betydelse för synavståndet men däremot fanns det en effekt av materialtyp.

Schnell et al. (2003) undersökte synavstånd för olika markeringstyper i torrt, vått och regnigt väglag på en testbana, i två bilar med olika typ av strålkastare. Deltagarna körde längs testbanan och indikerade när de kunde se slutet av kantlinjen. Markeringarna var i den torra betingelsen ca 200 m långa och i den våta ca 150 m långa följda av 80–150 m långa luckor. Studien påvisade en korrelation mellan synavstånd och retroreflexion uppmätt med handhållna instrument.

Tabell 1 visar en sammanställning över de studier där Metod I och Metod II använts.

Tabell 1. Sammanfattning av studier där Metod I eller Metod II använts.

Metod, referens	Betingelser	Synavstånd (m)	Kommentar
Metod I Testbana (Burns et al., 2006)	Halvljus Torrt, vått, regn Personbil Olika material-/markeringstyper	40–100	
Metod I Testbana (Gibbons et al., 2005)	Förmodligen halvljus Torrt, vått, regn Personbil, lastbil Olika material-/markeringstyper	25–135	
Metod II – slutet av markeringen Testbana, 8–16 km/h (Zwahlen och Schnell, 1997a)	Halvljus Torrt Personbil Olika material-/markeringstyper	50–210	De längsta synavstånden avser högre reflekterande material (R_L ca 500).
Metod II – slutet av markeringen Testbana, 8–16 km/h (Zwahlen och Schnell, 1997a)	Halvljus, helljus Torrt Personbil Olika material-/markeringstyper	30–250	De längsta synavstånden avser högre reflekterande material (R_L ca 700).
Metod II – början av markeringen Allmän väg, 90 km/h (COST 331, 1999)	Halvljus, halvljus + två varianter av dimljus Torrt väglag Olika material-/markeringstyper	40–250	Försökspersonerna satt som passagerare i bilen, i både fram- och baksäte.
Metod II – början och slutet av markeringen Testbana, okänd hastighet (Gibbons et al., 2007)	Förmodligen halvljus Regn Personbil, lastbil Olika material-/markeringstyper Vägbelysning/ej vägbelysning Bländning/ej bländning	15–75	Okänt hur fort försökspersonerna körde.
Metod II – början och slutet av markeringen Allmän väg, okänd hastighet (Gibbons et al., 2013)	Halvljus Regn Personbil Olika material-/markeringstyper	25–55	Okänt hur fort försökspersonerna körde.
Metod II – slutet av markeringen Allmän väg, 16 km/h (Ohme och Schnell, 2001)	Halvljus	15–95	

En annan typ av studier som är värd att nämna, trots att de endast indirekt berör vägmarkeringars synavstånd, är blickbeteendestudier. Zwahlen och Schnell (1997b) undersökte förarens blickbeteende i relation till två olika typer av vägmarkeringar: dels helt nya vägmarkeringar bestående av både mittlinje och kantlinje, dels en tillfällig vägmarkering med låg synbarhet, applicerad endast längs med mittlinjen. Det longitudinella fixationsavståndet (dvs. det avstånd på vilket föraren fäster blicken) var längre i betingelsen med bra vägmarkeringar än i den med sämre markeringar. Dock var det ingen skillnad i hastighet mellan betingelserna, det vill säga att hastigheten inte påverkades av markeringens synbarhet. I en senare studie (Schnell & Zwahlen, 1999) var förarna instruerade att köra i 120 km/h, vilket gav samma slutsats om att föraren fixerar blicken längre fram på vägen om markeringarna har bättre synbarhet.

Det kan även nämnas att vissa av studierna som presenteras ovan har legat till grund för utvecklandet av en synbarhetsmodell benämnd *CARVE*, som kanske kan sägas vara den amerikanska motsvarigheten till *Visibility* (Schnell & Zwahlen, 2000). *CARVE* baseras på ett stort antal mätningar från tidigare fältstudier, där alla mätningar har gjorts på testbana i halvljus och i torrt väglag. De uppmätta avstånden var omkring 50–200 m, beroende på markeringstyp. Schnell och Zwahlen (2000) poängterade att de värden *CARVE* ger, inte nödvändigtvis stämmer överens med hur en enskild individ upplever synavstånd, dels beroende på skillnader i synförmåga, men också på yttre faktorer såsom bilens position i förhållande till markeringen.

2.3. Diskussion

Elva av de tolv studier som ingick i litteraturstudien, har genomförts av amerikanska forskargrupper. Det bör noteras att regelverken för fordonsbelysningens ljusspridning ser olika ut i USA och i Europa, och resultaten som redovisats ovan med avseende på synavstånd kanske därför inte är helt jämförbara med europeiska förhållanden.

Metoderna som beskrivs ovan har använts i ett flertal studier, men varför just dessa metoder har valts och deras eventuella begränsningar berörs i mycket liten utsträckning. I studierna av Zwahlen & Schnell (1997a; 1999) motiveras valet av metod med meningen "*It was assumed that the end detection distance is a representative measure of the maximum visibility distance of pavement markings*", utan ytterligare förklaring. Författarna nämner dock två felkällor hos metoden: när föraren säger sig se slutet av markeringen är det försöksledaren som trycker på en knapp, vilket sker med en viss fördröjning beroende på försöksledarens reaktionstid. Vidare räknas inte avståndet från förarens position till fordonets front in i synavståndet. Dessa felkällor beräknas underskatta synavståndet med 3–5 m (att felet inte blir större beror på att bilen körs sakta, 8–16 km/h). I övriga studier diskuteras eller kommenteras metoden inte alls, vilket begränsar möjligheterna att få en uppfattning om metodernas tillförlitlighet. Till exempel hade det varit intressant att veta om de två varianter av Metod II som Gibbons et al. (2007) har använt sig av – att låta försökspersonerna bedöma synavstånden både till markeringens slut och början – gav samma resultat. I Gibbons et al. (2007) har resultaten från de två varianterna slagits samman och eventuella skillnader har inte kommenterats.

Det ska dock poängteras att flera av de studier som redovisas i kapitel 2.2 handlar om att jämföra olika typer av markeringar, ibland i olika betingelser, och då kanske det främst är relativa skillnader som är relevanta. Valet av metod är sannolikt av mindre betydelse i den typen av studier, än i studier där man är ute efter att undersöka absoluta synavstånd.

I de flesta studier där man har använt Metod II upprepas mätningarna med samma försöksperson, antingen genom att samma försöksslinga körs flera gånger, eller genom att samma markeringstyp förekommer på flera platser längs försöksslingan. Detta gör att mätningarnas tillförlitlighet ökar. Zwahlen och Schnell (1997a; 1999) har noterat inläringseffekter vid upprepade mätningar, vilket tyder på att försökspersonerna behöver träna på uppgiften innan de kan göra skattningar av synavstånden med god repeterbarhet.

3. Metodtester

Metodtesterna genomfördes i tre steg. Inledningsvis gjordes en serie enkla metodtester med en bred och förutsättningslös ansats. Baserat på resultaten och erfarenheterna från de inledande testerna togs en kravspecifikation fram för de metoder som skulle ingå i de fortsatta testerna. I del 1 testades och justerades de metoder som valts ut, huvudsakligen var för sig. I del 2 jämfördes metoderna och vissa kompletterande tester gjordes.

3.1. Inledande metodtester

Utgångspunkten för framtagandet av en metod för att bedöma vägmarkeringars synavstånd var att metoden så långt det är möjligt ska ge resultat som avspeglar vägmarkeringars synavstånd så som de upplevs i verkliga körsituationer (se även kapitel 1.1). I det tidigare projektet COST 331 bedömde försökspersonerna avståndet till den punkt där en markering *börjar*, vilket antas ge en underskattning av det verkliga synavståndet. De inledande metodtesterna i föreliggande projekt fokuserades därför på att undersöka metoder där man bedömer synavståndet till den punkt där markeringen *slutar*. En bred ansats valdes, där flera olika metoder prövades i en serie enkla tester. Metoderna valdes både baserat på litteraturstudien, på egna erfarenheter från tidigare studier och från nya idéer som kom upp vid planeringen av testerna.

3.1.1. Metoder och testbetingelser

Sex olika metoder för bedömning av kantmarkeringens synbarhet testades. I de flesta metoderna användes en trippmätare med meterupplösning för att mäta synavståndet, genom att observatören startade trippmätaren vid en viss punkt som beskrivs av respektive metod, och sedan stoppade den när slutet av markeringen passerades. Metoderna som testades var:

- **Tygmetoden:** Ett 9,5 m långt svart tygstycke placerades på markeringen och förankrades med små tyngder. Observatören, som färdades i en bil i riktning mot tyget, startade trippmätaren när hen upplevde att markeringen upphörde (dvs. doldes av tyget).
- **Hindermetoden:** Två olika hinder testades; ett som var 0,4 m högt och ett som var 1,0 m högt. Båda hindren var ca 0,4 m breda. Hindret placerades på markeringen i upprätt position, så att det skymde markeringen bakom. Observatören, som färdades i en bil i riktning mot hindret, startade trippmätaren när hen upplevde att markeringen upphörde (dvs. doldes av hindret).
- **Personmetoden:** Metoden fungerade på samma sätt som hindermetoden, med skillnaden att hindret utgjordes av en mörklädd person. Denna metod skulle kunna vara enklare att använda än hindermetoden, eftersom en person snabbt och lätt kan flytta sig, både mellan olika positioner och när ett fordon passerar. Dessutom är en person längre (högre) än de hinder som testades.
- **En-reflektormetoden:** En vägbanerreflektor placerades ut på vägrenen intill kantmarkeringen. Observatören, som färdades i en bil i riktning mot reflektorn, startade trippmätaren när hen upplevde att reflektorn befann sig vid den punkt där kantmarkeringen slutade (dvs. inte längre syntes).
- **Markering-upphör-metoden:** Metoden testades på en väg med heldragen kantlinje. Observatören startade trippmätaren när hen upplevde att markeringen övergick till att vara intermittent, vilket den gjorde vid exempelvis busshållplatser och korsningar.
- **Kantstolpsmetoden:** Metoden förutsätter att vägen har kantstolpar. Observatören satt i en bil som antingen färdades längs med vägen eller hade stannat på vägen. Uppgiften var att räkna

antalet kantstolpar på det avstånd kantmarkeringen var synlig. Stolpräkningsupprepades flera gånger medan bilen färdades framåt.

Samtliga tester gjordes på allmänna vägar i Linköpingstrakten. Tygmetoden, hindermetoden, personmetoden och en-reflektormetoden testades på en mindre väg öster om Skänninge, där kantmarkeringen var intermittent, 10 cm bred och hade en retroreflexion på ca 230 mcd/m²/lx. En-reflektormetoden testades även på en väg i närheten av Bjälbo, där kantmarkeringen var av samma typ som på vägen öster om Skänninge, men där retroreflexionen var lägre, ca 183 mcd/m²/lx. Markering-upphör-metoden testades på väg 206, där kantmarkeringen var 10 cm bred och heldragen (retroreflexion ca 165 mcd/m²/lx). Kantstolpsmetoden testades på tre stycken 2+1-vägar: väg 23/34 (två sträckor) och väg 50, som hade retroreflexion ca 50, 210 respektive 140 mcd/m²/lx. Kantmarkeringen var heldragen, antingen 20 eller 30 cm bred.

Tre personer medverkade vid testerna och de turades om att vara observatör. Samtliga bedömningar av kantmarkeringarnas synavstånd gjordes i helljus utan mötande trafik.

3.1.2. Resultat och diskussion

De metoder som fungerade bäst var en-reflektormetoden och kantstolpsmetoden. De var praktiskt genomförbara och bedömdes kunna ge rimliga uppskattningar av synavstånden. På vägar med långa synavstånd, omkring 300 m, upplevdes det dock vara svårt att göra korrekta bedömningar, både med en-reflektormetoden och med kantstolpsmetoden. En fördel med kantstolpsmetoden var att synavståndet beräknades som ett medelvärde över en längre sträcka, vilket minskade känsligheten för påverkande faktorer såsom väggeometrin. Ett möjligt problem som identifierades var att avståndet mellan stolparna inte alltid är konstant, exempelvis beroende på korsningar och räcken.

De metoder som innebar att markeringen doldes vid en viss punkt fungerade dåligt rent praktiskt. Tyget som användes i tygmetoden blåste iväg varje gång ett fordon passerade, trots att flera tyngder var placerade på tyget. Hindren och personen som användes i hindermetoden respektive personmetoden var för smala för att skymma tillräckligt mycket av markeringen, särskilt på långa avstånd. Hindren behövde dessutom stå en bit ut i körbanan för att skymma markeringen, vilket gör det olämpligt att använda metoden på trafikerade vägar. Vidare var både hindermetoden och personmetoden mycket känsliga för variationer i observationsvinkel, på så sätt att metoderna endast fungerade om vägen var helt plan och rak och om observatörens sidoläge hölls konstant.

Även markering-upphör-metoden fungerade dåligt. Eftersom metoden bygger på att man använder variationer i kantlinjens utformning går det inte att välja försökssträckornas position, utan de är beroende av placeringen av befintliga busshållplatser och korsningar. Detta innebar att synavstånden påverkades av väggeometrin vid dessa platser, såsom kurvor och backkrön. Observatören behövde vara ganska nära punkten där linjen upphörde för att se att den verkligen upphörde. Metoden bedömdes därför underskatta de verkliga synavstånden.

Tabell 2 visar de uppmätta synavstånden i de olika testerna. En-reflektormetoden testades på två vägar med samma typ av kantlinje, men med olika retroreflexion. Synavstånden blev omkring dubbelt så långa på vägen med *lägre* retroreflexion (183 vs. 230 mcd/m²/lx), vilket indikerar att andra faktorer än enbart retroreflexionen påverkar synavstånden. Båda vägarna var raka och plana, men sannolikt var det små variationer i väggeometrin som påverkade synavstånden. Detta kunde observeras visuellt i vissa av testerna; små svackor i vägen gjorde att markeringen ”försvann”. Att markeringens synbarhet kan påverkas kraftigt av väggeometrin betyder dels att det kan innebära vissa svårigheter att genomföra en valideringsstudie (för att validera *Visibility*) på allmän väg, men också att det kanske inte, i verklig körning, finns ett särskilt starkt samband mellan synbarhet och retroreflexion. Metodtesterna ger inte ett tillräckligt underlag för att fastslå att det förhåller sig så, men det är en viktig frågeställning att ta med inför fortsatta försök. En slutsats som kan dras av metodtesterna är att

man, för att minska påverkan från väggeometrin, bör göra upprepade mätningar över en längre sträcka för att få ett tillförlitligt resultat.

Synavstånden i Tabell 2 anges i intervall, vilka avspeglar olika observatörers bedömningar (ibland samma observatörs upprepade bedömningar). Detta ger en fingervisning om vilken precision man kan förväntas få för uppmätta synavstånd. För kortare avstånd är variationen upp till 30 m och för längre avstånd 50 m eller mer. Tabellen ger också en indikation om att olika metoder kan ge olika resultat. Till exempel skiljer det ca 40 m (genomsnitt) i synavstånd mellan tygmetoden och hindermetoden.

Tabell 2. Uppmätta synavstånd (m) i helljus med de sex olika metoderna, samt beräknade synavstånd med Visibility enligt COST 331.

Metod	Mätobjekt					
	Öster om Skänninge	Bjälbo	Väg 206	Väg 50	Väg 34	Väg 23
Tyg	158–168					
Hinder 0,4	110–140					
Person	127–158					
En-reflektor	155–163	292–384				
Markering upphör			15–75			
Kantstolpe				300–350	300–360	300
Visibility*	87	82	Ca 115	125	160	65–94

*) Indataparametrar: Observatör 60 år, glare 0, intensity factor 1,0.

Eftersom modellen i *Visibility* enligt COST 331 motsvarar synbarheten vid reell bilkörning där fordonet är i rörelse, gjordes vissa av testerna både stillastående och i fart. Utifrån de få tester som gjordes upplevdes det inte vara någon egentlig skillnad i synavstånd beroende på om bilen stod stilla eller kördes framåt, men däremot blev uppgiften för observatören svårare om denne både skulle koncentrera sig på att köra och på att utföra synbarhetsuppgiften.

Flera av de testade metoderna gick ut på att låta markeringen ”ta slut” vid en viss punkt, antingen genom att dölja den eller genom att utnyttja befintliga variationer i markeringstyp, och låta observatören indikera när hen upplevde att markeringens slut kunde ses. Att låta markeringen ”ta slut” ger visserligen en distinkt förändring som borde kunna upptäckas på ett bra sätt, men å andra sidan är inte detta hur markeringar uppfattas vid normal körning. Ett problem är att synavståndet sannolikt riskerar att underskattas, eftersom man måste kunna se en bit bortom markeringen för att kunna avgöra att den slutar. De olika metoderna för att dölja markeringen var dessutom, som nämnts ovan, behäftade med andra problem, och den sammanlagda slutsatsen är att metoder där man låter markeringen ta slut inte fungerar bra.

Ett tydligt resultat från metodtesterna är att det är svårt att bedöma synavstånd på långa avstånd. En berättigad frågeställning här är dock vilka synavstånd som är relevanta för trafikanterna. I COST 331-projektet dras slutsatsen att vägmarkeringars lägsta acceptabla *pvt* för säker körning är 1,8 s, men att den ska vara mer än 2,2 s för komfortabel körning. I en CIE-rapport (CIE 1988) rekommenderas en minsta *pvt* på 3 s och en önskvärd *pvt* på 5 s. En handbok utgiven av *Federal Highway Administration* (FHWA) i USA (FHWA 1994) rekommenderar att vägmarkeringar ska vara synliga på

2–3 s avstånd, medan Schnell och Zwahlen (1999a) förespråkar en *pvt* på 3,65 s. Markeringar som har ett synavstånd på 200 m har i 90 km/h en *pvt* på 8 s, vilket sannolikt mer än väl uppfyller trafikanternas behov av visuell ledning. En rimlig slutsats av detta är att den framtida studien för att validera *Visibility* bör ha sitt huvudsakliga fokus på sträckor där synavståndet är kortare än 200 m. Längre synavstånd än så är inte relevanta att kunna mäta, ur ett trafikantperspektiv.

Resultaten från metodtesterna kan sammanfattas enligt följande:

- En-reflektormetoden och kantstolpsmetoden fungerade bäst och de bör utgöra grund för fortsatta metodtester.
- Små variationer i väggeometrin kan ha stor påverkan på kantmarkeringens synavstånd. Upprepade mätningar kan minska problemet.
- Det är inte relevant (och dessutom svårt) att kunna bedöma synavstånd som är längre än 200 m. Fortsatta metodstudier bör fokuseras på korta avstånd (< 200 m).
- Det kan vara svårt att bedöma avstånd samtidigt som man kör, men det är inte klarlagt huruvida hastigheten påverkar synavstånden och detta bör därför undersökas vidare.

3.2. Kravspecifikation

Utifrån de inledande metodtesterna (kapitel 3.1) samt utifrån praktiska och ekonomiska begränsningar togs följande kravspecifikation fram för de metoder som skulle ingå i studien.

- Eventuell utrustning som placeras på eller vid vägen måste tåla vägmiljön samt att den inte får störa trafiken.
- Metoden ska fungera på synavstånd upp till 150–200 m. Längre avstånd är mindre relevanta, samt mycket svåra att mäta upp med noggrannhet.
- Metoden ska fungera både på intermittenta och heldragna markeringar.
- Metoden ska möjliggöra *upprepade mätningar* på samma typ av markering, eftersom det ger ett mer tillförlitligt resultat och gör metoden mindre känslig för bland annat väggeometri och variationer i retroreflexion.
- Metoden bör ha hög *ekologisk validitet*, på så sätt att den bör i så hög grad som möjligt efterlikna en normal körsituation.
- Teststräckorna ska ej behöva förses med avancerad eller dyr utrustning, eftersom det sannolikt krävs många försökssträckor för att få tillförlitliga resultat.
- Metoden ska helst kunna användas på olika vägtyper.

Kravet på att metoden ska fungera på synavstånd på upp till 200 m innebär att markeringarna måste ha förhållandevis dålig synbarhet, om man ska kunna göra bedömningar av synavståndet i helljus. I de inledande metodtesterna skattades synavstånden på vissa sträckor till över 350 m. Markeringarna var av normalt förekommande standard, med bredd och intermittens enligt Trafikverkets riktlinjer, samt slitna i större eller mindre utsträckning, det vill säga en vanlig, genomsnittlig markering har sannolikt för bra synbarhet för att kunna användas i ett försök med helljus där synbarheten får vara max 200 m.

3.3. Val av metoder

Av de inledningsvis testade metoderna (kapitel 3.1) bedömdes endast kantstolpsmetoden och en modifierad reflektormetod, med fler reflektorer, kunna uppfylla kraven i kapitel 3.2. Ingen av metoderna från litteraturstudien uppfyllde kraven.

3.3.1. Reflektormetoden

Reflektormetoden innebär att vägbanereflektorer, placeras ut på lämpligt avstånd längs med kantlinjen, som referenspunkter för bedömningen av synavstånd. Observatören sitter i en stillastående bil med motorn igång vid den första reflektorn, och har till uppgift att räkna antalet reflektorer på den sträcka där vägmarkeringen är synlig. När observatören har räknat körs bilen fram till nästa reflektor och proceduren upprepas för varje reflektor, så länge reflektorerna syns på längre avstånd än vägmarkeringen. Synavståndet beräknas sedan som ett genomsnitt av observatörens samtliga skattningar. Reflektormetoden är avsedd att användas på vägar där det saknas kantstolpar och där det inte är så mycket trafik. Den typ av reflektor som användes i studien visas i Figur 1.



Figur 1. Vägbanereflektor. Den reflekterande ytan är ca 9 x 29 mm.

3.3.2. Kantstolpsmetoden

Metoden innebär att observatören sitter i en bil som färdas längs med en väg där det finns kantstolpar. Observatörens uppgift är att kontinuerligt räkna antalet kantstolpar på det avstånd på vilket vägmarkeringen är synlig. Synavståndet beräknas som ett medelvärde av observatörens skattningar för en längre sträcka. Kantstolpsmetoden kan endast användas där det finns kantstolpar, vilket i Sverige innebär större landsvägar, 2+1-vägar och motorvägar.

Enligt Trafikverkets regelverk som gällde fram till 2002 skulle kantstolpar på landsväg placeras med 60 m avstånd (Vägverket, 1994). År 2002 ändrades detta till 50 m (Vägverket 2002; Vägverket 2004; Trafikverket 2012). År 2015 gjordes ytterligare en revidering då avståndet ändrades till 100 m (Trafikverket, 2015). I praktiken är avståndet på landsvägar fortfarande ofta 50 m eller 60 m, eftersom man låter befintliga stolpar stå kvar. För motorväg har avståndet mellan kantstolparna sedan länge varit 100 m.

3.4. Metodtester, del 1

De två valda metoderna, reflektormetoden och kantstolpsmetoden, testades för att undersöka följande:

- Fungerar metoderna i praktiken?
- Hur ska reflektorerna placeras?
- Vilken hastighet ska fordonet ha i kantstolpsmetoden?
- Skiljer synavstånden mellan skattning i stillastående och skattning i fart för kantstolpsmetoden?

- Vilken upplösning ska väljas för bedömningarna?
- Ger metoderna rimliga resultat?
- Ger metoderna samma resultat?

3.4.1. Test av reflektormetoden

Metodtesterna genomfördes i mörker i april och i augusti, på allmän väg. Väglaget var torrt och alla skattningar och bedömningar gjordes när det inte fanns annan trafik i närheten. Vid testerna som gjordes i april användes en Volvo XC70 av årsmodell 2006 och vid testerna som gjordes i augusti användes en Volvo V70 av årsmodell 2011. Under metodtestet satt tre försökspersoner i samma bil: en i förarsätet, en i det främre passagerarsätet och en till höger i baksätet. I april deltog person A, B och C och i augusti deltog person D, E och F. Bilen placerades mitt i körfältet med helljuset på, vid den första reflektorn. Var och en av personerna räknade antalet reflektorer fram till den punkt där de uppfattade att de inte längre kunde se markeringen. Resultatet fördes in i ett protokoll och bilen kördes därefter fram till nästa reflektor, varpå proceduren upprepades. När synavståndet sträckte sig längre än till den bastersta reflektorn avbröts försöket, och hela proceduren upprepades, men med halvljus istället för helljus.

Testerna genomfördes på tre olika vägar i närheten av Linköping:

- Väg 1050: 12 m bred väg med breda vägrenar. Kantlinjen var intermittent, 10 cm bred och hade $R_L = 86 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$.
- Väg 1025: 5,5 m bred väg utan mittlinje och med smal vägren. Kantlinjen var intermittent, 10 cm bred och hade $R_L = 67 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$.
- Väg 1136: 9 m bred väg. Kantlinjen var heldragen, 10 cm bred och hade $R_L = 129 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Både beläggning och vägmarkeringar var nylagda vid mättillfället.

De tre försökssträckorna visas i Figur 2.



Figur 2. De tre försökssträckorna. Vänster: väg 1050, mitten: väg 1025, höger: väg 1136. Bilden på väg 1136 är tagen innan vägen fick ny beläggning och nya vägmarkeringar. Bilder: Google Maps.

3.4.1.1. Lateral placering av reflektorerna

Hur reflektorerna ska placeras i förhållande till vägmarkeringen undersöktes inledningsvis på väg 1050 som har en mycket bred vägren. Utifrån en visuell bedömning drogs slutsatsen att det var lämpligt att placera reflektorerna ungefär 40 cm till höger om kantlinjen. Detta avstånd bedömdes vara tillräckligt litet för att en viss position på markeringen skulle kunna relateras till en viss reflektor och tillräckligt stort för att inte ljuset från reflektorn skulle störa synintrycket av markeringen.

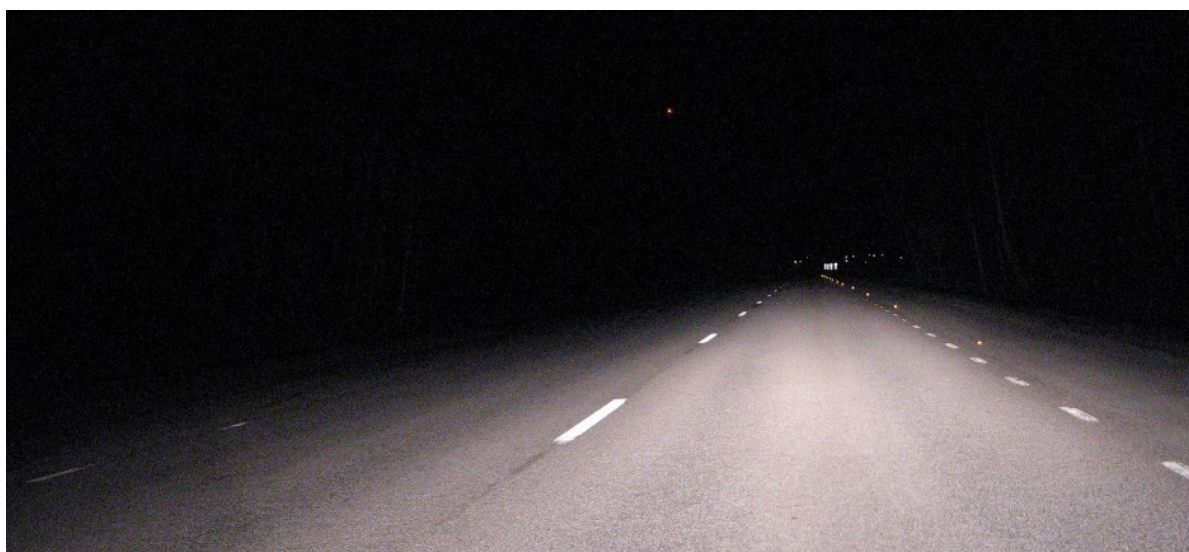
På försökssträckan på väg 1025 var dock vägreken mycket smal, se Figur 2, vilket inte tillät ett avstånd om 40 cm. Reflektorerna placerades då omkring 15 cm från markeringen. Även detta bedömdes fungera, men här bör nämnas att synavståndet var förhållandevis kort (ca 80–90 m i helljus). Med längre synavstånd och kanske även med fordon med ljusstarkare strålkastare, är det möjligt att ett avstånd om 15 cm kan vara för litet för att inte det reflekterade ljuset från reflektorns ska störa synintrycket av markeringen.

3.4.1.2. Longitudinell placering av reflektorerna

För att undersöka vad som är lämpligt avstånd mellan reflektorerna testades olika alternativ. I ett första test placerades reflektorerna med 6 m avstånd, det vill säga vid varannan markering² på den intermittenta kantlinjen på väg 1050. Detta avstånd fungerade bra upp till cirka 50 m synavstånd, men på längre avstånd var det svårt att urskilja enskilda reflektorer. Därefter testades differentierade avstånd, det vill säga olika reflektoravstånd för olika synavstånd. På synavståndet 0–50 m placerades reflektorerna med 6 m avstånd, på synavståndet 50–100 m på 12 m avstånd och på synavståndet 100–150 m på 18 m avstånd. Med denna placering gick reflektorerna att urskilja utmed hela sträckan, samtidigt som upplösningen inte blev onödigt låg på korta avstånd. En nackdel är dock att det inte är möjligt att göra upprepade bedömningar vid olika positioner längs med sträckan, utan att behöva flytta reflektorerna, vilket skulle vara alltför tidskrävande i ett fältförsök med försökspersoner.

Slutsatsen blev därför att reflektoravståndet bör vara detsamma längs med hela sträckan, och att ett avstånd om 18 m krävs för att det ska vara möjligt att urskilja reflektorerna upp till 150 m synavstånd.

Figur 3 visar den slutgiltiga placeringen av reflektorerna med 18 m longitudinellt avstånd och 40 cm från kantlinjen.



Figur 3. Försökssträckan på väg 1050, med reflektorerna placerade med ett lateralt avstånd (till kantmarkeringen) om 40 cm och ett longitudinellt avstånd (till nästa reflektor) om 18 m. Bilden är tagen i helljus. Det reflekterande föremålet bortom sträckan är ett vägmärke av typen X1. Fotograf: Carina Fors, VTI.

² En intermittent kantlinje består av en meter långa markeringar följda av två meters mellanrum.

3.4.1.3. Bedömning av synavstånd

Kantlinjens synavstånd skattades med reflektormetoden på alla tre försökssträckor, dels för att undersöka om metoden fungerade i praktiken och för att se om den verkade ge rimliga resultat, men också för att om möjligt förfinas metoden.

På väg 1050 gjordes totalt sju skattningar i helljus innan synavståndet sträckte sig längre än till den bostersta reflektorn. Samma antal skattningar gjordes i halvljus. Resultatet visas i Tabell 3. De tre personernas skattningar var förhållandevis lika. Individvariationer i synförmåga kan förväntas, men det noterades också att synavståndet ibland påverkades av personens position i bilen. En slutsats av detta är att försökspersoner i ett framtida fältförsök därför bör sitta på förarens plats och att fordonet bör vara placerat i mitten av körfältet.

Det kunde konstateras att punkten där markeringen inte längre kunde ses ibland befann sig mittemellan två reflektorer. Det ansågs därför rimligt att skattningen kan göras i halva reflektorlängder, vilket framför allt är aktuellt för kortare synavstånd. På längre avstånd är det svårare att bedöma exakt var punkten där markeringen inte längre kan ses befinner sig i förhållande till reflektorerna.

Tabell 3. Kantlinjens synbarhet i antal reflektorlängder, vid upprepad skattning, i hel- och halvljus, på väg 1050. Avståndet mellan reflektorerna var 18 m. Tabellen visar också beräknade synavstånd från modellen Visibility.

	Antal reflektorlängder, helljus (7 skattningar)			Antal reflektorlängder, halvljus (7 skattningar)		
	Person A	Person B	Person C	Person A	Person B	Person C
Medelantal reflektorlängder	5,7	6,3	5,9	4,0	3,6	3,6
Motsvarar synavstånd (m)	103	113	106	72	65	65
Synavstånd enligt Visibility (m)	59	59	59	49	49	49

Hela proceduren med att bedöma synavstånd upprepades på väg 1025, med förändringen att där gjordes bedömningarna i halva reflektorlängder. Med helljus kunde fem upprepade skattningar göras och med halvljus sex. Resultatet visas i Tabell 4. Att ange avståndet i halva reflektorlängder upplevdes fungera bra.

Tabell 4. Kantlinjens synbarhet i antal reflektorlängder, vid upprepad skattning, i hel- och halvljus, på väg 1025. Avståndet mellan reflektorerna var 18 m. Tabellen visar också beräknade synavstånd från modellen Visibility.

	Antal reflektorlängder, helljus (5 skattningar)			Antal reflektorlängder, halvljus (6 skattningar)		
	Person A	Person B	Person C	Person A	Person B	Person C
Medelantal reflektorlängder	4,8	4,7	4,9	3,3	3,2	3,1
Motsvarar synavstånd (m)	86	85	88	59	58	56
Synavstånd enligt Visibility (m)	52	52	52	44	44	44

På väg 1136 med heldragen kantlinje gjorde tre försökspersoner 10 observationer i halvljus; i helljus var synavstånden så långa att metoden inte fungerade med avståndet 18 m mellan reflektorerna. För att få ett begrepp om metodens repeterbarhet gjorde varje försöksperson bedömningar i två omgångar. Resultaten sammanfattas i Tabell 5.

Tabell 5. Kantlinjens synbarhet i antal reflektorlängder, vid upprepad skattning, i halvljus, på väg 1136. Avståndet mellan reflektorerna var 18 m. Tabellen visar också beräknade synavstånd från modellen Visibility.

	Antal reflektorlängder, omgång 1 (10 skattningar)			Antal reflektorlängder, omgång 2 (10 skattningar)		
	Person D	Person E	Person F	Person D	Person E	Person F
Medelantal reflektorlängder	5,9	4,8	4,8	5,8	4,6	4,8
Motsvarar synavstånd (m)	106	86	86	104	83	86
Synavstånd enligt Visibility (m)	67	67	67	67	67	67

Utan att göra någon statistisk analys kan man fastställa att repeterbarheten är god. Däremot är variationen mellan observatörerna stor: person D har ca 25 % längre synavstånd än E och F. Det beror mest sannolikt på skillnader i synförmåga, men det kan möjligen också åtminstone delvis bero på att personerna satt på olika platser i bilen.

Om man jämför synavstånden på väg 1050 med de på väg 1025 kan det noteras att skillnaden i retroreflexion på sträckorna (86 mot 67 mcd/m²/lx) avspeglas i synavstånden. På väg 1050 är de genomsnittliga synavstånden 107 m (helljus) respektive 67 m (halvljus) medan motsvarande avstånd på väg 1025 är 86 m respektive 58 m. Väg 1136 kan förväntas ha längst synavstånd eftersom kantlinjen är heldragen och har högre retroreflexion (129 mcd/m²/lx) än de andra två vägarna. Det genomsnittliga synavståndet i halvljus är 92 m, dvs resultatet är enligt vad som kan förväntas (det ska dock noteras att det var andra försökspersoner vid försöket på väg 1136 än på de andra två vägarna).

Tabell 3–Tabell 5 visar också de beräknade synavstånden enligt beräkningsmodellen *Visibility*. Det kan noteras att de uppmätta avstånden i samtliga fall är betydligt längre än de beräknade. I helljus är de uppmätta avstånden dubbelt så långa eller mer än dubbelt så långa som de beräknade. I halvljus är de uppmätta avstånden omkring 35–40 % längre än de beräknade.

3.4.2. Test av kantstolpsmetoden

Metodtesterna genomfördes i mörker i maj och augusti, på allmän väg. Väglaget var torrt och alla skattningar och bedömningar gjordes när det inte fanns annan trafik i närheten. Fordonet som användes var en Volvo V70 av årsmodell 2011. Tre personer deltog vid varje testtillfälle – i maj person G, H och J och i augusti D, E och F. Vid testerna i maj gjordes bedömningarna av synavstånd i fart från förarplatsen och i stillastående från både framsäte och baksäte (alla försökspersonerna gjorde bedömningarna samtidigt, från den plats där de satt). Vid testerna i augusti, då syftet var att undersöka repeterbarheten, satt en försöksperson i förarsätet, en i det främre passagerarsätet och en till höger i baksätet.

Testerna genomfördes på två vägar i närheten av Linköping:

- Väg 636: 7,5 m bred väg med smal vägren. Kantlinjen var intermittent och 15 cm bred. Retroreflexionen R_L varierade från omkring 100 till 155 mcd/m²/lx på de olika delsträckorna (se nedan). Kantstolparna stod 0,8–1,3 m från kantlinjen. Avståndet mellan stolparna var cirka 60 m.
- Väg 1136: 9 m bred väg. Kantlinjen var heldragen, 10 cm bred och hade $R_L = 129$ mcd/m²/lx. Både beläggning och vägmarkeringar var nylagda vid mättillfället. Kantstolparna stod cirka 1,5 m från kantlinjen. Avståndet mellan stolparna var ungefär 60 m.

Figur 4 visar de två försökssträckorna.



Figur 4. De två försökssträckorna. Vänster: väg 636, höger: väg 1136. Bilden på väg 1136 är tagen innan vägen fick ny beläggning och nya vägmarkeringar. Bilder: Google Maps.

Försökssträckan på väg 636 delades in i åtta delsträckor, där varje delsträcka var omkring 300–450 m och förhållandevis rak och plan. Medelvärde för retroreflexionen per delsträcka visas i Tabell 6. Synavståndet bedömdes vara långt, längre än 200 m i helljus, men i brist på alternativa³ sträckor användes denna sträcka ändå.

³ Totalt identifierades fyra sträckor inom en radie av 30 km från Linköping som uppfyllde kraven i övrigt, det vill säga tvåfältsväg med kantstolpar, rak och plan väg, ej bred vägren. Av dessa fyra valdes den med lägst retroreflexion.

Tabell 6. Retroreflexion ($\text{mcd/m}^2/\text{lx}$) för de åtta delsträckorna.

Sträcka	R_L medel ($\text{mcd/m}^2/\text{lx}$)	Sträcka	R_L medel ($\text{mcd/m}^2/\text{lx}$)
1	136	5	150
2	139	6	155
3	120	7	139
4	103	8	145

3.4.2.1. Val av upplösning

I ett första test undersöktes huruvida synavståndet ska anges i hela eller delar av stolplängder. Detta test gjordes stillastående på ett par av delsträckorna av samtliga tre personer i bilen. Den gemensamma uppfattningen var att på avstånd upp till 2 eller möjligen 3 stolplängder, kändes det rimligt att ange synavståndet i stolplängder med en decimal, till exempel 1,3. På längre avstånd är det svårare att ange avståndet med god noggrannhet. Uppfattningen var att halva stolplängder kändes rimligt för längre avstånd.

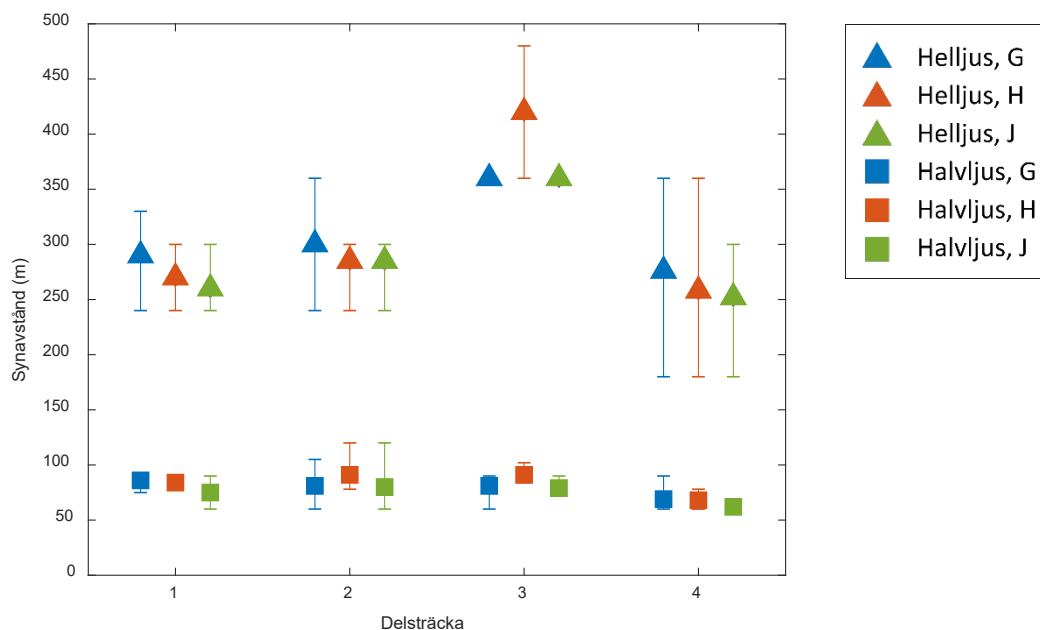
Slutsatsen av testet var att försökspersonen för enkelhetens skull bör få ange avståndet enligt sin uppfattning, med eller utan decimaler. Det är inte rimligt att ge en instruktion där avståndet ska anges med en viss upplösning för vissa avstånd och med en annan upplösning för andra avstånd. Att ha samma upplösning, till exempel halva stolplängder, för alla avstånd är inte heller en bra lösning, eftersom man då får onödigt låg noggrannhet på korta avstånd.

3.4.2.2. Bedömning i stillastående

Synavståndet bedömdes i stillastående för delsträcka 1–4 av samtliga tre personer i bilen, både i halvljus och i helljus. Bedömningen gick till på samma sätt som med reflektormetoden, det vill säga att bilen stannades vid en kantstolpe, observatörerna gjorde sina bedömningar, och sedan kördes bilen fram till nästa kantstolpe, varpå proceduren upprepades. I halvljus gjordes 4–5 upprepade bedömningar, och helljus 3–5, beroende på sträckans längd. De angivna stolplängderna räknades om till meter (1 stolplängd = 60 m) och resultatet presenteras som medelvärde, samt minsta och största värde, se Figur 5.

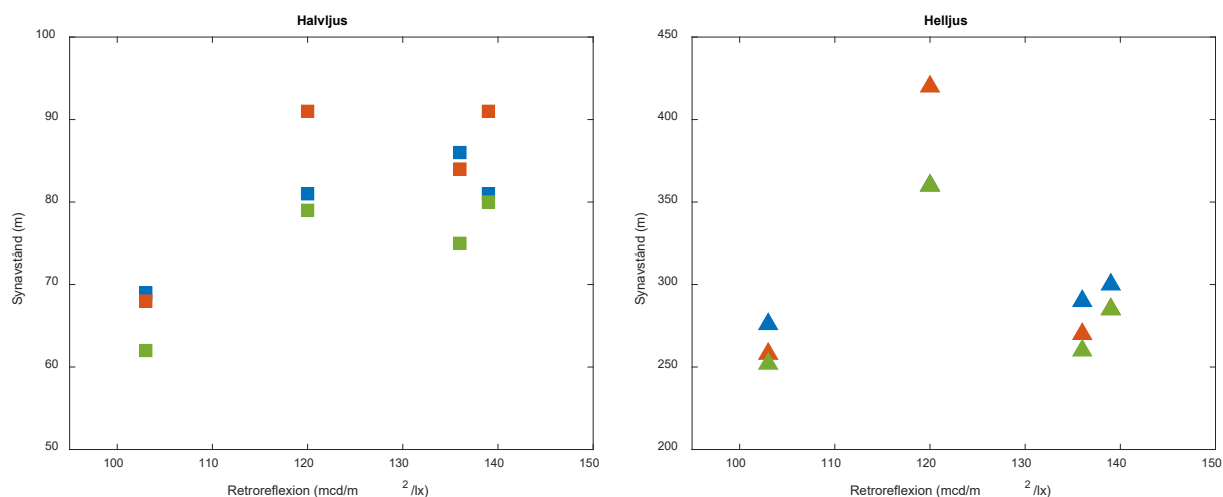
Det kan noteras att de tre personernas bedömningar stämde ganska väl överens. Det går inte att se någon tydlig systematisk skillnad mellan personerna, vilket skulle ha kunnat vara fallet, exempelvis beroende på skillnader i synförmåga eller beroende på att de satt på olika positioner i bilen.

I helljus blev synavstånden långa, mellan 250 och 450 m. Dessa avstånd är längre än vad som är relevant att kunna mäta (se kravspecifikationen i kapitel 3.2), men resultaten redovisas ändå. Det kan noteras att variationen i skattningar (inom varje person) tenderar att bli större i helljus, vilket tyder på att det är svårare att få bra noggrannhet i skattningen på längre avstånd. Det kan dels bero på att det är svårare att se och urskilja stolpar på långt håll, men det är också möjligt att det finns en variation i retroreflexion över sträckan. Ju längre sträckan är, desto högre är sannolikheten att det finns en variation. En annan möjlig förklaring är att det kan finnas små variationer i väggeometrin som påverkar bedömningen.



Figur 5. Synavstånd i meter i stillastående, bedömt av de tre personerna G (blå), H (orange) och J (grön) på fyra delsträckor, i halvljus (fyrkanter) och i helljus (trianglar). Markörerna avser medelvärde över 3–5 observationer, felstaplarna avser minsta och största värde.

Figur 6 visar skattade synavstånd och genomsnittlig retroreflexion för de fyra delsträckorna. I halvljus finns möjligen en tendens till längre synavstånd då retroreflexionen ökar, medan inget sådant samband kan noteras för helljus. Där tycks det vara andra faktorer som avgör synavståndet.



Figur 6. Skattade synavstånd (i stillastående) och retroreflexion för delsträcka 1–4. Vänster: halvljus. Höger: helljus. Markörernas färg visar de tre observatörerna (G=blå, H=orange, J=grön). I den högra figuren har observatör G samma värde som observatör J då retroreflexionen är 120 mcd/m²/lx (delsträcka 3), och observatör H har samma värde som observatör J då retroreflexionen är 139 mcd/m²/lx (delsträcka 2), se även Figur 5 och Tabell 6.

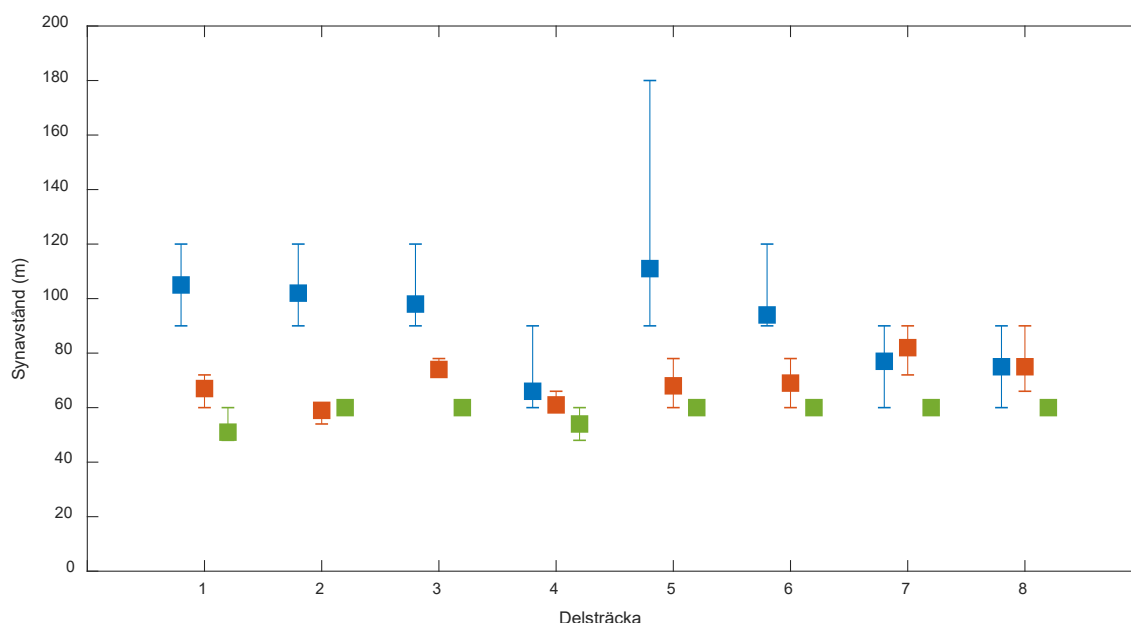
3.4.2.3. Bedömning i fart

Kantstolpsmetoden testades även när bilen var i rörelse. Dessa tester gjordes huvudsakligen i halvljus eftersom synavstånden i helljus blev så långa att de låg utanför det 200-metersavstånd som bedömts vara relevant. För vissa av sträckorna var det dessutom knappt möjligt att i fart hinna göra några bedömningar innan sträckan tog slut.

Den första observatören (G) som körde sträckan fick välja en hastighet som hen kände sig bekväm med, det vill säga att hastigheten skulle väljas så att observatören hade kapacitet att både manövrera fordonet, ha god uppsikt över annan trafik samt räkna kantstolpar. Observatör G körde utan farthållare och körde de första sträckorna (sträcka 5–7) i hastigheten 30–40 km/h och ökade därefter till 55–60 km/h. Efteråt sade sig observatör G inte ha velat köra fortare än så. Skyltad hastighet på sträckan var mestadels 80 km/h.

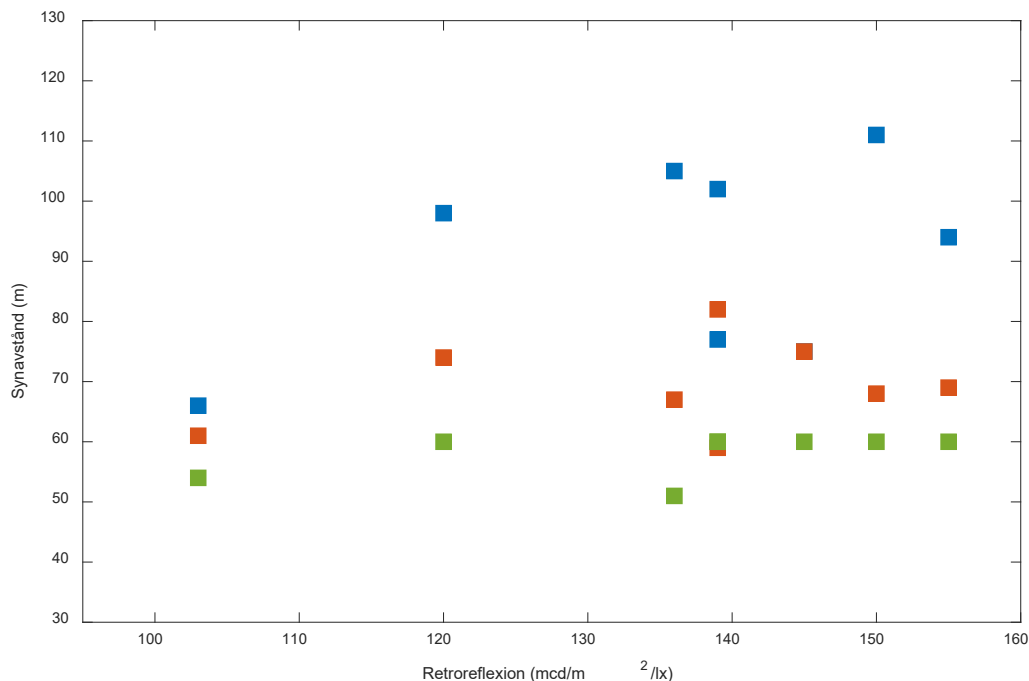
Den andra observatören (H) körde alla sträckor utom en, med farthållare i hastigheten 55 km/h, och upplevde att det var en lagom hastighet. Den tredje observatören (J) körde också med farthållare i hastigheten 55 km/h. Båda observatörerna som körde med farthållare tyckte att det var bra eftersom det underlättar köruppgiften och gör att man kan ägna mer uppmärksamhet åt att räkna stolpar och ha kontroll över omgivande trafik.

Figur 7 visar de tre observatörernas skattade synavstånd i halvljus. Det finns en viss skillnad mellan de olika observatörernas skattningar för ungefär hälften av sträckorna, där observatör G hade längre synavstånd än övriga. Observatör J skattade i nästan samtliga fall kortare synavstånd än observatörerna G och H.



Figur 7. Synavstånd i meter i fart, bedömt av de tre personerna G (blå), H (orange) och J (grön) på åtta delsträckor, i halvljus. Markörerna avser medelvärde över 3–8 observationer, felstaplarna avser minsta och största värde.

Figur 8 visar sambandet mellan skattade synavstånd och genomsnittlig retroreflexion för de åtta sträckorna. Det finns en svag tendens till att synavståndet ökar med retroreflexionen (korrelationskoefficient $r = 0,21$, ej signifikant).

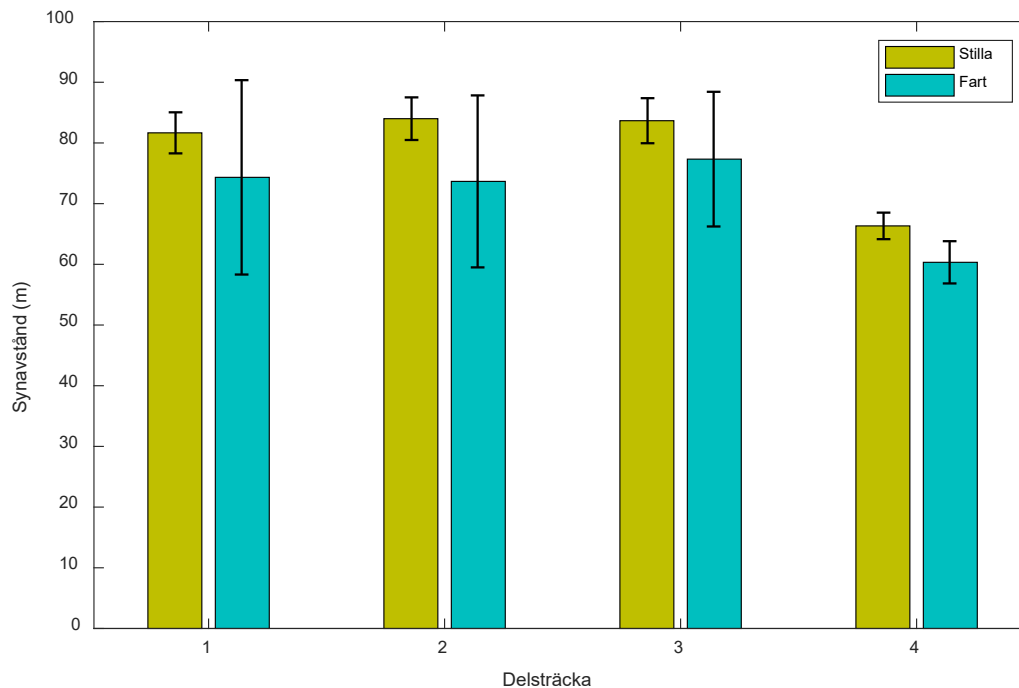


Figur 8. Samband mellan skattade synavstånd och retroreflexion för delsträcka 1–8, i halvljus i fart. Markörernas färg visar de tre observatörerna (G=blå, H=orange, J=grön). Sträcka 2 och 7 har samma retroreflexion, 139 mcd/m²/lx, och det finns därför sex observationer av synavstånd för detta retroreflexionsvärde (observatör J:s två skattningar har ungefär samma värde och därför syns bara den ena).

3.4.2.4. Jämförelse mellan stillastående och fart

Figur 9 visar en jämförelse över hur observatörerna bedömt synavstånden i stillastående respektive i fart, för delsträcka 1–4, i halvljus. De skattade genomsnittliga avstånden är ca 10 % kortare i fart än i stillastående. Det bör här noteras att de två betingelserna inte var helt lika. I stillastående satt observatörerna på olika platser i bilen, medan samtliga satt på förarplatsen i fart-betingelsen.

En ytterligare skillnad mellan stillastående och fart är att skillnaderna i skattat synavstånd mellan de tre observatörerna är större i fart än i stillastående, se Figur 5, Figur 7 och Figur 9. Detta talar för att osäkerheten i skattningarna är större i fart.



Figur 9. Jämförelse av skattade synavstånd i stillastående (gröna staplar) och i fart (turkosa staplar), i halvljus. Medelvärden över alla tre observatörer, felstaplarna visar standardfel.

En observatör (G) gjorde synavståndsbedömningar i fart (55 km/h med farthållare) i helljus, för fyra av delsträckorna. En jämförelse med motsvarande resultat för stillastående visade att även i det här fallet var de skattade genomsnittliga synavstånden omkring 10 % kortare i fart än i stillastående. Observatören upplevde att uppgiften krävde mycket koncentration och hen tyckte att det var svårt att veta om hen räknat rätt antal stolpar (synavstånden i helljus motsvarade ca 4–6 stolpar).

3.4.2.5. Repeterbarhet

För att undersöka kantstolpsmetodens repeterbarhet gjordes upprepad bedömning av synavstånden med kantstolpsmetoden på väg 1136, se Tabell 7. Fordonet framfördes i 30–50 km/h av person F. Resultaten visar att repeterbarheten är god – åtminstone för två av försökspersonerna.

Tabell 7. Kantlinjens synbarhet i antal kantstolpslängder, vid upprepad skattning, i halvljus, på väg 1136. Tabellen visar också beräknade synavstånd från modellen *Visibility*.

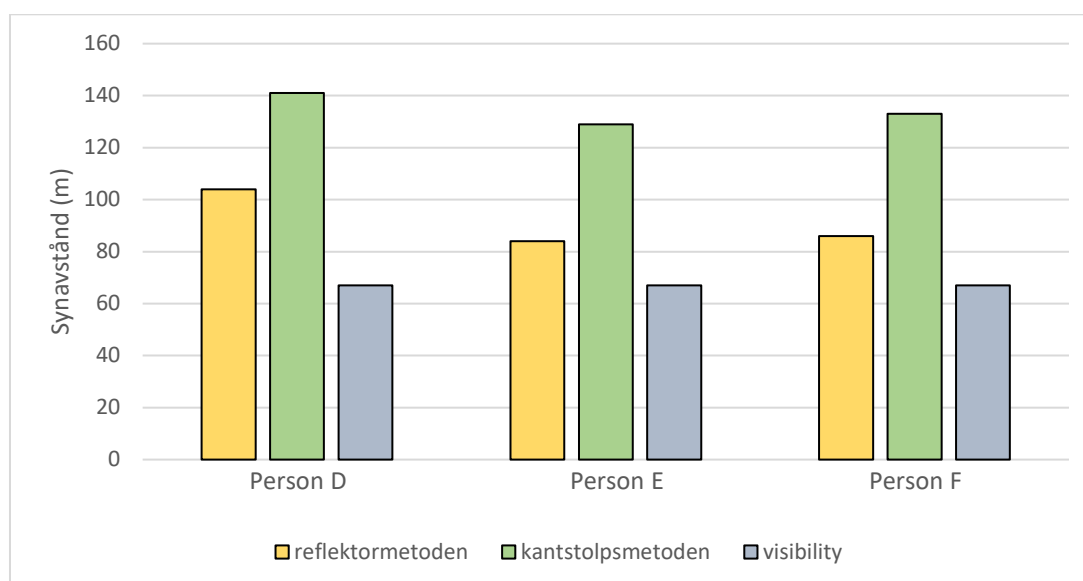
	Antal kantstolpslängder, omgång 1 (flera skattningar)			Antal kantstolpslängder, omgång 2 (flera skattningar)		
	Person D	Person E	Person F	Person D	Person E	Person F
Medelantal kantstolpslängder	2,35	2,10	2,33	2,37	2,22	2,08
Motsvarar synavstånd (m)	141	126	140	142	133	125
Synavstånd enligt <i>Visibility</i> (m)	67	67	67	67	67	67

3.4.3. Jämförelse av reflektormetoden och kantstolpsmetoden

En jämförelse mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden gjordes på väg 1136. Sträckan för kantstolpsmetoden stämde till största del överens med den sträcka där bedömningar med reflektormetoden gjordes. Emellertid innehöll sträckan för kantstolpsmetoden några kurvor – så var inte fallet för den andra metoden. Detta skulle kunna innebära att synavstånden med kantstolpsmetoden är något underskattade eftersom åtminstone en kurva hade en radie som begränsade synavståndet. Felet bedöms dock inte vara mer än 5 %.

Resultaten visar att kantstolpsmetoden ger betydligt längre synavstånd än reflektormetoden, se Figur 10. Uttryckt i procent är synavstånden 35–55% längre med kantstolpsmetoden än med reflektormetoden. Resultatet tycks vara oberoende av om bedömaren är förare eller ej (person F var förare).

Figur 10 visar också synavstånd beräknade med modellen *Visibility*. Resultaten överensstämmer med tidigare observationer, det vill säga att uppmätta synavstånd är längre än de beräknade.



Figur 10. Jämförelse av resultaten med de två metoderna i halvljus. Medelvärde av två mätomgångar med tre observatörer. De grå staplarna visar synbarheten enligt modellen *Visibility*.

3.4.4. Sammanfattning och slutsatser, del 1

Både reflektormetoden och kantstolpsmetoden uppfyller ställda krav (se kapitel 3.2) om att utrustningen måste tåla vägmiljön, att metoden ska fungera för både intermittenta och heldragna kantlinjer, att metoden ska möjliggöra upprepade mätning, att metoden ska ha hög ekologisk validitet samt att teststräckorna inte behöver förses med dyr eller avancerad utrustning.

Vad gäller kravet om att metoden ska fungera på synavstånd på upp till 150–200 m, så gjordes bedömningen att reflektormetoden fungerar på upp till 150 m. Vid längre avstånd än så var det svårt att urskilja reflektorerna när de placerades på avståndet 18 m. Vid testerna av kantstolpsmetoden var det så att synavstånden i halvljus alltid var kortare än 150 m och i helljus alltid längre än 200 m. I det förstnämnda fallet upplevdes metoden fungera, men när avstånden var längre än 200 m blev skattningarna mer osäkra. Det var svårt att urskilja enskilda stolpar på långt avstånd och det var också svårt att hinna räkna stolparna (långa avstånd innebär många stolpar att räkna) om fordonet var i rörelse.

Det sista kravet om att metoden helst ska kunna användas på olika vägtyper kan sägas vara uppfyllt med vissa förbehåll. Båda metoderna *kan* användas på alla vägtyper, men det är naturligtvis enklare att använda kantstolpsmetoden på en väg där det redan finns kantstolpar. Likaså är det enklare att använda reflektormetoden på mindre vägar där reflektorerna kan placeras ut förhållandevis enkelt, jämfört med till exempel motorväg där det krävs omfattande TA-anordningar både för att kunna placera ut reflektorerna och för att göra skattningar i stillastående.

Vad gäller de specifika frågeställningar som avsågs att besvaras i del 1 av metodtesterna sammanfattas resultaten nedan:

- *Fungerar metoderna i praktiken?*
Båda metoderna upplevdes fungera rent praktiskt på synavstånd upp till 150 m.
- *Hur ska reflektorerna placeras?*
Med avståndet 18 m mellan reflektorerna och helst ca 40 cm från kantlinjen. Ett kortare avstånd till kantlinjen kan också fungera.
- *Vilken hastighet ska fordonet ha i kantstolpsmetoden?*
Cirka 55 km/h. Farthållare bör användas, för att underlätta köruppgiften.
- *Skiljer synavstånden mellan skattning i stillastående och skattning i fart för kantstolpsmetoden?*
Vid de tester som gjordes var synavstånden ca 10 % kortare i fart än i stillastående. Det bör understrykas att antalet försökspersoner var få och detta bör därför undersökas vidare. Vid bedömning i fart tenderade det att vara större spridning i försökspersonernas skattningar än då bedömningen gjordes i stillastående.
- *Vilken upplösning ska väljas för bedömningarna?*
Med reflektormetoden bör avståndet anges i halva reflektorlängder. Med kantstolpsmetoden bör observatören ange avståndet med en decimal alternativt, som hen uppfattar avståndet, med eller utan decimal (en decimal är rimligt på korta avstånd, men svårt då synavstånden är längre).
- *Ger metoderna rimliga resultat?*
Var och en för sig upplevdes båda metoderna ge rimliga resultat. Att relatera markeringens synbarhet till referenspunkter i form av reflektorer eller kantstolpar upplevdes fungera bra. Repeterbarheten var ganska god för båda metoderna. På kortare avstånd tenderade det att finnas samband mellan synavstånd och markeringens retroreflexion. Båda metoderna gav synavstånd som var väsentligt längre än vad som erhålls från beräkningsmodellen *Visibility*, vilket kan förväntas utifrån de erfarenheter som ligger till grund för föreliggande metodstudie.

- *Ger metoderna samma resultat?*
Ett test med tre försökspersoner gjordes, där de två metoderna jämfördes. Synavstånden var 35–55% längre med kantstolpsmetoden än med reflektormetoden. Det är oklart vad skillnaden beror på och det går inte att utifrån de genomförda testerna bedöma vilken metod som ger mest korrekt resultat.

3.5. Metodtester, del 2

Jämförelsen av reflektormetoden och kantstolpsmetoden som gjordes i del 1, gav det något oväntade resultatet att de två metoderna gav väsentligt olika synavstånd. Det blev därför nödvändigt att utöka studien med ytterligare tester.

Inriktningen för de kompletterande testerna beslutades i samråd med representanter för *NMF* och de syftade till att undersöka följande:

- Kan skillnaden i resultat mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden förklaras av att reflektormetoden utförs i stillastående och kantstolpsmetoden i fart?
- Går det att använda ett ögonrörelsesystem för att bedöma vägmarkeringars synavstånd?

Utifrån det första testet som gjordes formulerades ytterligare två frågeställningar:

- Kan skillnaden i resultat mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden förklaras av hur referenspunkterna (dvs. reflexerna) är placerade i förhållande till vägmarkeringen?
- Går det att avgöra vilken av metoderna som ger mest sant resultat, genom att jämföra med någon metod som har en hög tillförlitlighet (men som kanske inte uppfyller övriga krav i kravspecifikationen i kapitel 3.2)?

3.5.1. Bedömning av synavstånd i stillastående och i fart

Testet genomfördes i mörker i april månad, på allmän väg. Väglaget var torrt och alla skattningar och bedömningar gjordes när det inte fanns annan trafik i närheten. Vid testet användes en Volvo V60 av årsmodell 2013. Tre personer deltog i testet (ej samma som vid de tidigare testerna). Samtliga var mellan 30 och 36 år och hade fullgod syn. Skattningen av synavstånd gjordes alltid verbalt från förarplatsen, det vill säga deltagarna turades om att köra bilen. En av de som inte körde förde protokoll.

Testet genomfördes på väg 1025 som är en 5,5 m bred väg utan mittlinje och med smal vägren, Figur 11 (samma väg användes vid vissa av testerna i kapitel 3.4.1). Kantlinjen var intermittent, 10 cm bred och hade vid försökstillfället $R_L = 116 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Vid försöket användes en 2x250 m lång sträcka av vägen. Kantstolpar monterades utmed vägen med ca 50 m mellanrum, cirka 1 m till höger om kantlinjen.



Figur 11. Försökssträckan. Fotograf: Carina Fors, VTI.

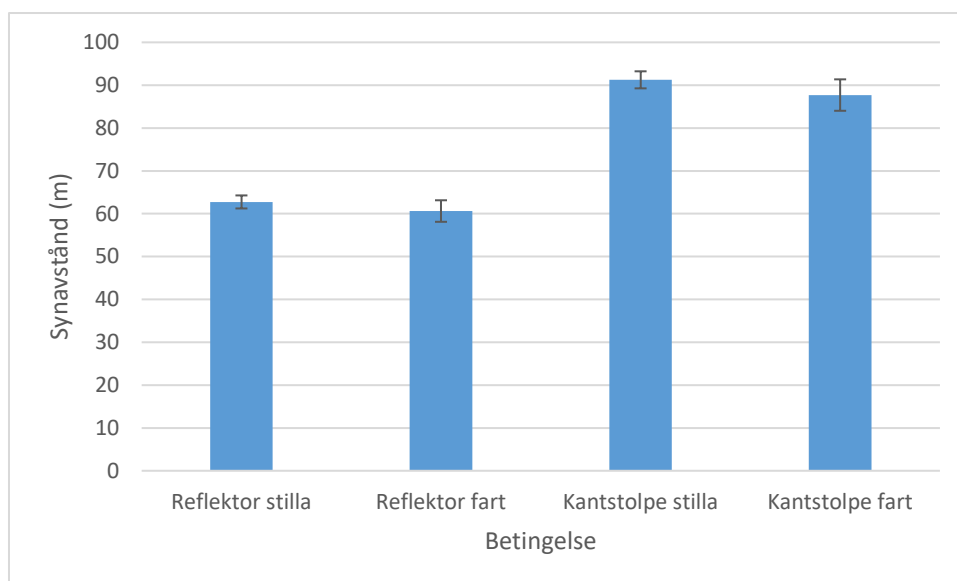
De tre försökspersonerna bedömde var och en synavståndet i fyra betingelser:

- Reflektormetoden, stillastående
- Reflektormetoden, i fart (55 km/h med farthållare)
- Kantstolpsmetoden, i fart (55 km/h med farthållare)
- Kantstolpsmetoden, i stillastående

Samtliga bedömningar gjordes i halvljus. Vid bedömning med reflektormetoden var kantstolparnas reflexer övertäckta. Eftersom vägrenen var smal placerades reflektorerna ca 15 cm till höger om kantlinjen. Vid bedömning med kantstolpsmetoden fanns inga reflektorer på vägen. Synavstånden angavs med upplösningen 0,5 reflektorlängder eller 0,1 kantstolpslängder.

Med reflektormetoden i stillastående gjorde försökspersonerna sex bedömningar per delsträcka. Med kantstolpsmetoden i stillastående gjordes fyra bedömningar per delsträcka. När bedömningarna gjordes i fart gjordes mellan två och fyra bedömningar per delsträcka.

Figur 12 visar synavstånden som medelvärden per betingelse över alla försökspersoner och över de två delsträckorna. Liksom vid de tidigare testerna är synavstånden väsentligt längre med kantstolpsmetoden än med reflektormetoden. Detta resultat gäller oavsett om bedömningen görs i stillastående eller i fart. Med andra ord, den tidigare observerade skillnaden i resultat mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden beror *inte* på att den förstnämnda metoden utförs i stillastående och den sistnämnda i fart.



Figur 12. Synavstånd i de fyra betingelserna. Varje stapel visar medelvärdet för alla tre försökspersoner och för de två delsträckorna. Felstaplarna visar standardfel.

Deltagarna upplevde att det var svårt och stressigt att göra bedömningar i fart, och att noggrannheten i bedömningarna var sämre i fart än i stillastående. De tyckte att uppgiften blev lite lättare efter lite träning. Någon upplevde att reflektorerna störde så att kantlinjens synbarhet blev sämre. De spekulerade också kring det faktum att de hörde varandras skattningar – det kan möjligen ha påverkat deras egna skattningar i någon mån.

3.5.2. Fortsatta tester

För att ytterligare undersöka och försöka förstå varför reflektormetoden och kantstolpsmetoden ger olika resultat, samt för att försöka ta reda på vilken av metoderna som ger mest sant resultat, gjordes ännu en serie tester på de två delsträckorna på väg 1025 (se kapitel 3.5.1). Vid testerna användes en Volvo V70 av årsmodell 2011. Tre försökspersoner deltog. De var 25–36 år gamla och hade fullgod syn. Skattningen av synavstånd gjordes alltid från förarplatsen och varje försöksperson förde protokoll över sina egna skattningar.

Följande betingelser ingick i testet där samtliga utfördes stillastående (i den ordning de utfördes):

1. Räkna-kantmarkeringar-metoden (bedömning av synavstånd genom att räkna antalet synliga markeringar på intermitterent linje).
2. Reflektormetoden, 50 m longitudinellt avstånd, 15 cm lateralt avstånd
3. Reflektormetoden, 18 m longitudinellt avstånd, 15 cm lateralt avstånd
4. Reflektormetoden, 18 m longitudinellt avstånd, 40 cm lateralt avstånd
5. Reflektormetoden, 50 m longitudinellt avstånd, 40 cm lateralt avstånd
6. Rullande-hinder-metoden
7. Reflektormetoden, dämpade reflektorer, 18 m longitudinellt avstånd, 15 cm lateralt avstånd
8. Kantstolpsmetoden, 50 m longitudinellt avstånd, 1 m lateralt avstånd

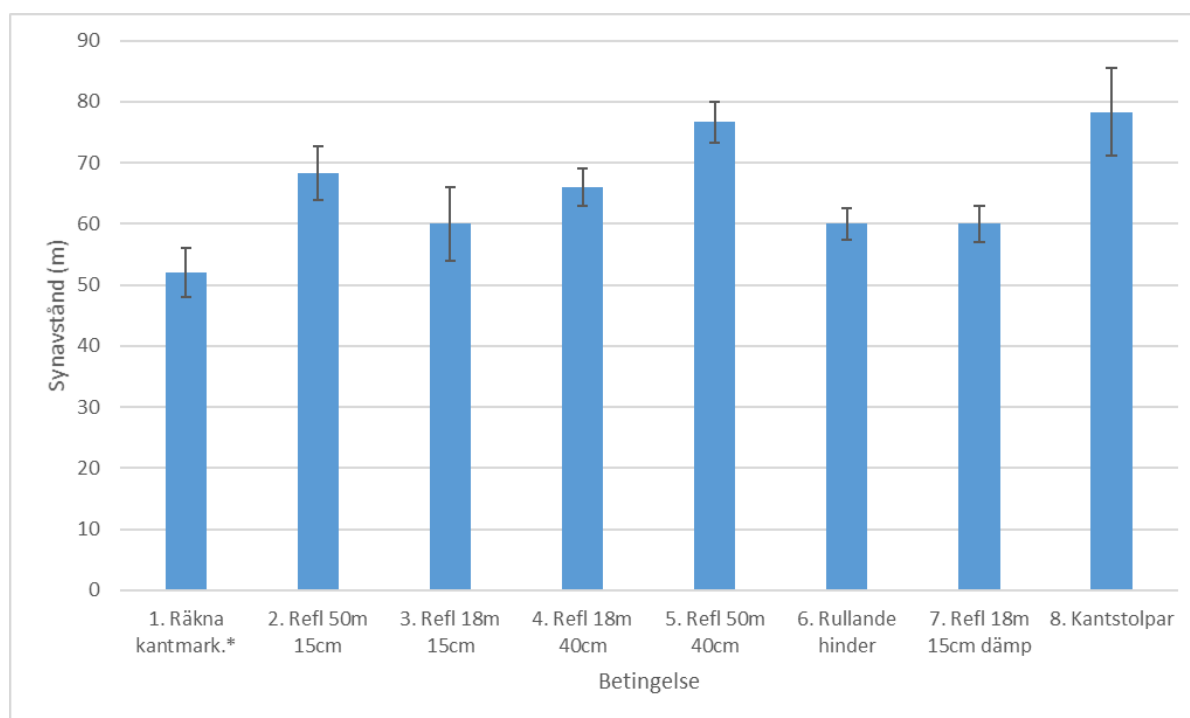
Betingelse 3 och 8 motsvarar de metoder som användes i det föregående testet (kapitel 3.5.1).

Betingelse 2, 4 och 5 är varianter av reflektormetoden med syfte att undersöka hur placeringen av referenspunkterna (dvs reflexerna) påverkar synavståndet. Betingelse 7 syftar till att undersöka om reflexerna ”stör” synbarheten av vägmarkeringen. Betingelse 1 och 6 är metoder som om möjligt skulle kunna ge ett ”sant” resultat med avseende på synavstånd. Metoden i betingelse 1 förekommer i

litteraturen, se kapitel 2.2. ”Rullande-hinder” i betingelse 6 innebar att en säckkärra lindades in i ett mörkt tyg. Kärran kördes sedan längs med kantlinjen av en mörklädd person, från cirka 100 m avstånd mot försökspersonen, så att kärran skymde vägmarkeringen bakom kärran, sett från försökspersonens position. Personen som körde kärran och försökspersonen hade varsin kommunikationsradio och när försökspersonen såg att kärran började skymma änden på markeringen meddelade hen detta till personen som körde kärran, varpå avståndet mellan kärra och försöksperson mättes.

Fordonet stod under hela försöket parkerat vid startpunkten för delsträcka 1. Varje försöksperson gjorde en bedömning i varje betingelse. Bedömningarna gjordes i tysthet, så att försökspersonerna inte kände till hur de övriga deltagarna bedömde synavstånden. Alla bedömningar gjordes i halvljus.

Figur 13 visar de genomsnittliga synavstånden per betingelse. När det gäller betingelsen ”Räkna-kantmarkeringar” så upplevde minst en av försökspersonerna att hen inte kunde räkna till markeringens slut, eftersom det inte gick att urskilja enskilda markeringar på det avståndet. Avståndet som visas i figuren är därför sannolikt något underskattat. ”Rullande-hinder”-metoden gav samma synavstånd som reflektormetoden, när reflektorerna är placerade med 18 m avstånd och 15 cm från vägmarkeringen, det vill säga då referenspunkterna finns nära markeringen. Även ”rullande-hinder”-metoden kan underskatta synavstånden något, se kapitel 3.1.2. Om reflexen var dämpad eller ej hade ingen betydelse för resultatet – dock kan det finnas en viss osäkerhet i synavstånden då reflektorerna var dämpade eftersom den fjärde reflektorn (på 72 m avstånd) inte syntes särskilt bra. Däremot blir synavstånden längre, både när man har färre referenspunkter (betingelse 2, 5 och 8) och när referenspunkterna är placerade längre ifrån vägmarkeringen (betingelse 4, 5 och 8). Varför det är så är oklart.



Figur 13. Synavstånd i betingelserna 1–8. Varje stapel visar medelvärdet för alla tre försökspersoner. Felstaplarna visar standardfel.

”Räkna-kantmarkeringar” bedömdes vara den metod som kan ge mest ”sanna” resultat, men det förutsätter att det är möjligt att räkna ända till den punkt där markeringen inte längre syns. Ett tänkbart sätt att lösa detta är att använda en kikare, vilket undersöktes i en ny serie tester på samma väg som ovan. Vid testerna användes en personbil, Honda Civic, årsmodell 2017. Tre personer i åldrarna ca 30, 40 och 70 år deltog i testerna. Skattningen av synavstånd gjordes alltid från förarplatsen och varje

försöksperson förde protokoll över sina egna skattningar. Kikaren som användes var binokulär med 7× förstoring och 50 mm objektiv. Utöver att räkna kantmarkeringar med kikare testades reflektormetoden och kantstolpsmetoden samtidigt, för att försöka få en förståelse för varför de ger olika resultat.

Följande betingelser ingick i testet där samtliga utfördes i stillastående (i den ordning de utfördes):

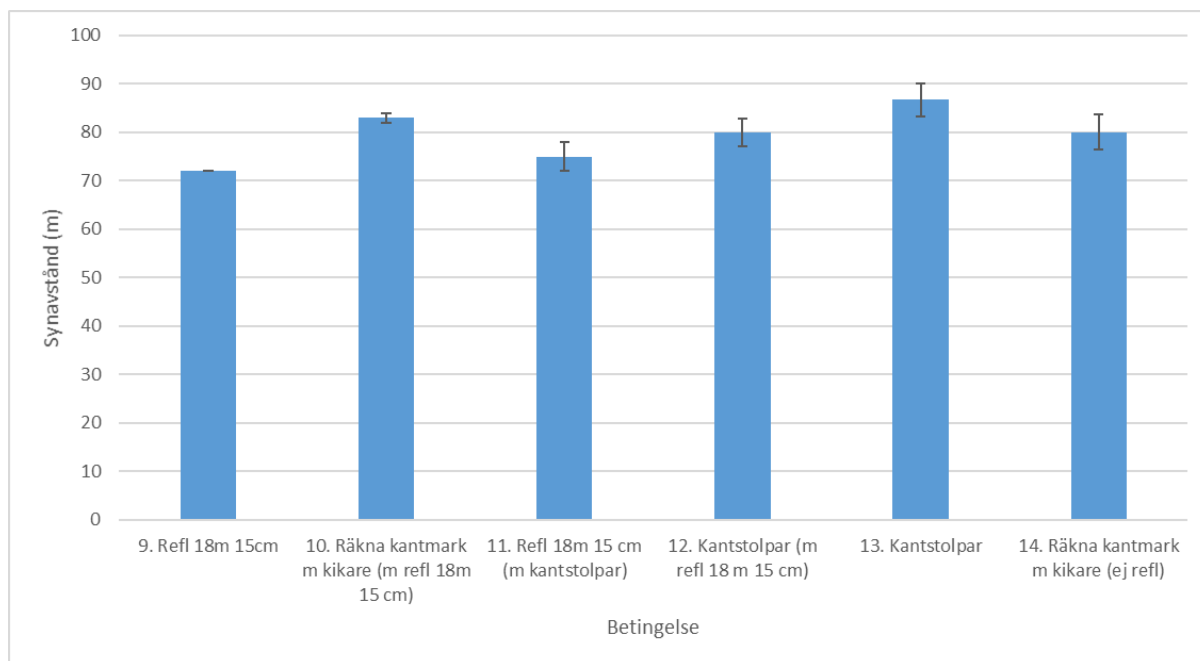
9. Reflektormetoden, 18 m longitudinellt avstånd, 15 cm lateralt avstånd
10. Räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare och med reflektorer enligt betingelse 9
11. Reflektormetoden enligt betingelse 9, med kantstolpar placerade enligt betingelse 13
12. Kantstolpsmetoden enligt betingelse 13, med reflektorer placerade enligt betingelse 9
13. Kantstolpsmetoden, 50 m longitudinellt avstånd, 0,8 m lateralt avstånd
14. Räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare (varken reflektorer eller kantstolpar)

Fordonet stod under hela försöket parkerat vid startpunkten för delsträcka 1. Varje försöksperson gjorde en bedömning i varje betingelse. Bedömningarna gjordes i tysthet, så att deltagarna inte kände till hur de övriga deltagarna bedömde synavstånden. Alla bedömningar gjordes i halvljus.

Figur 14 visar de genomsnittliga synavstånden per betingelse. Liksom vid tidigare tester var synavstånden längre med kantstolpsmetoden (betingelse 13) än med reflektormetoden (betingelse 9), men skillnaden, cirka 15 m, var inte lika stor som tidigare (ca 40 m i Figur 10, ca 25–30 m i Figur 12 och ca 18 m i Figur 13). Möjliga förklaringar kan vara att i det aktuella försöket stod kantstolparna något närmare vägen än vid tidigare försöket och att det i det aktuella försöket fanns reflektorer intill markeringen i den första bedömningen (betingelse 12), vilket kan ha "kalibrerat" försökspersonen. I betingelse 11 och 12 där både reflektorer och kantstolpar fanns på/vid vägen vid bedömningarna är skillnaden i synavstånd mellan metoderna ännu mindre.

En av försökspersonerna (som inte deltagit vid tidigare tester) upplevde att reflektorens störde synbarheten av markeringen. Detta överensstämmer med vad andra försökspersoner upplevt vid tidigare tester och det stöds också av det faktum att synavståndet med kantstolpsmetoden är längre när det inte finns reflektorer intill (betingelse 13) markeringen än när det gör det (betingelse 12).

Att räkna kantmarkeringar med hjälp av kikare upplevdes fungera bra. En farhåga med att använda kikare var att den inte skulle vara tillräckligt ljuskänslig, det vill säga att mängden ljus som når ögat inte är tillräckligt för att markeringen ska synas på ungefär samma sätt som den syns utan kikare. Så var dock inte fallet – markeringen upplevdes synas mycket bra med kikaren, vilket stöds av resultaten där synavstånden blev något längre med räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare (betingelse 10 och betingelse 14) än då man skattar avståndet med reflektormetoden (betingelse 9 och 11).



Figur 14. Synavstånd i betingelserna 9–14. Varje stapel visar medelvärdet för alla tre försökspersoner. Felstaplarna visar standardfel.

Utöver ovanstående gjordes några tester i helljus, både på väg 1025 och på väg 1050, med syfte att undersöka på vilket avstånd det var möjligt att räkna kantmarkeringar med kikare. Slutsatsen var att det är svårt att räkna till fler än ca 30 markeringar (dvs. 90 m) om man inte har stöd av reflektorer eller andra referenspunkter.

3.5.3. Bedömning av synavstånd med ögonrörelsesystem

Bedömning av kantmarkeringens synavstånd med hjälp av ett ögonrörelsesystem gjordes med en försöksperson på väg 34 som är en 2+1-väg med kantstolpar. Avståndet mellan kantstolparna var ca 60 m (kortare i vissa fall till exempel på grund av räcken och annat). Personen körde en sträcka om ca 2 × 5 km. Vid testet användes en Volkswagen Passat GTE av årsmodell 2017. Testet genomfördes sent på kvällen (vid 23:30) för att minska störningar från annan trafik. Vid testet användes halvljus.

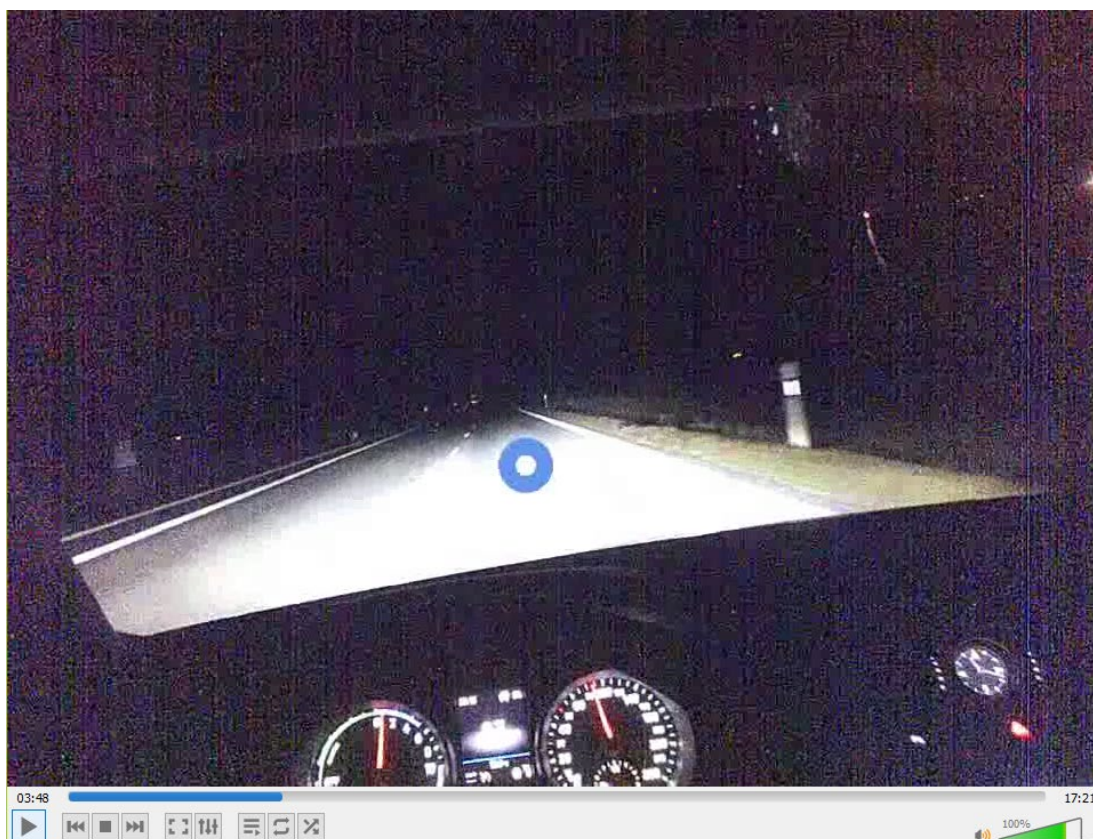
Ögonrörelsesystemet som användes var av typen *SMI glasses ver 2*, se Figur 15. Kamerorna sitter monterade i ett par glasögon som försökspersonen bär. Datainsamlingsenheten består av en smartphone. Systemet kalibreras genom att försökspersonen tittar på tre olika punkter samtidigt som man ”talar om” för systemet vilken punkt personen tittar på. Systemet loggar blickriktning samt spelar in vyn framåt och ljud. Insamlade data kan visas i en film, där personens blickriktning finns i form av en markör.



Figur 15. Ögonrörelsesystemet SMI glasses ver 2. Fotograf: Katja Kircher, VTI.

Bedömningen av synavstånd gjordes enligt följande: medan personen körde längs försökssträckan tittade hen, när trafiksituationen tillät, på den punkt där hen upplevde att kantmarkeringen inte längre syntes. Varje gång hen fokuserade på denna punkt sa hen ”Nu!” vilket spelades in av ögonrörelsesystemet. Tanken var att synavståndet sedan skulle bedömas utifrån filmen, med kantstolparna som referenspunkter.

Figur 16 visar ett exempel från filmen vid en tidpunkt då försökspersonen säger ”Nu!”.



Figur 16. Bedömning av synavstånd med ögonrörelsesystem. Den blå markören visar vad försökspersonen tittar på.

I Figur 16 kan följande noteras:

- Markören som visar vad personen tittar på befinner sig inte på kantmarkeringen när personen själv säger att hen tittar på den.

- I figuren syns två kantstolpar på höger sida av vägen. Kantmarkeringen syns på ett längre avstånd än den bastersta kantstolpen.
- Bildkvaliteten från videoinspelningen i mörker är förhållandevis dålig, där området precis framför bilen är överexponerat och där upplösningen är mycket grovkornig.

Att markörens position inte stämmer exakt överens med var försökspersonen tittar är ett välkänt problem vid ögonrörelsemätning. Att kalibreringen av systemet inte är tillfredsställande kan ha flera orsaker. Dels kan det vara så att man har valt kalibreringspunkter som inte är representativa för det område i synfältet man är intresserad av att studera. Det kan också vara så att glasögonen har ändrat position sedan kalibreringen gjordes. Båda dessa problem kan minskas eller undvikas med bra rutiner. Dock är det så att trots goda rutiner och korrekt handhavande av utrustningen så är det i många fall omöjligt att kalibrera systemet så att det visar den exakta blickriktningen. I det aktuella fallet, då försökspersonen ska titta på en punkt som ligger 50–150 m framför fordonet, så innebär detta att även mycket små avvikelser i kalibreringen av blickriktningen medför en mycket stor osäkerhet vid bedömningen av synavstånd. Problemet är att man aldrig säkert kan veta *om* det finns ett fel och *hur stort* det eventuella felet är.

Bildkvaliteten sätter en ytterligare begränsning för metoden. I exemplet ovan går det att se två kantstolpar, där den bastersta står uppskattningsvis 70–80 m framför fordonet. Om man tittar på hela filmen så tycks det vara så att man aldrig ser mer än maximalt tre kantstolpar samtidigt, och då är den närmaste stolpen strax framför bilen, vilket innebär att det maximala avståndet är omkring 120 m.

3.5.4. Sammanfattning och slutsatser, del 2

De frågeställningar som låg till grund inför del 2 av metodtesterna kan besvaras enligt följande:

- *Kan skillnaden i resultat mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden förklaras av att reflektormetoden utförs i stillastående och kantstolpsmetoden i fart?*
Nej, en jämförelse mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden, där båda metoderna utfördes i stillastående och i fart, visade att synavståndet inte påverkades av huruvida fordonet stod stilla eller var i rörelse (fart). Däremot fanns det, liksom i det tidigare testet, en väsentlig skillnad i synavstånd mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden.
- *Går det att använda ett ögonrörelsesystem för att bedöma vägmarkeringars synavstånd?*
Nej, bedömningen är att det inte kommer att fungera att använda ett ögonrörelsesystem. Noggrannheten hos systemet med avseende på blickriktning är inte tillräckligt bra. Vidare är det tveksamt om bildkvaliteten i mörker är tillräckligt bra för att det ska gå att se referenspunkterna.
- *Kan skillnaden i resultat mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden förklaras av hur referenspunkterna (dvs. reflexerna) är placerade i förhållande till vägmarkeringen?*
Ja, det tycks finnas ett samband mellan skattat synavstånd och hur referenspunkterna är placerade. Synavståndet upplevs vara längre då referenspunkterna är placerade längre ifrån markeringen och då referenspunkterna är placerade på ett större avstånd ifrån varandra, oavsett om referenspunkterna utgörs av reflektorer eller av kantstolpar. Detta kan möjligen förklaras av två effekter: synavstånden kan underskattas om referenspunkterna är så nära markeringen att de stör synbarheten av markeringen. Om referenspunkterna är placerade med stort avstånd och långt ifrån markeringen så tycks det vara så att synavstånden istället överskattas. Orsaken till detta är inte känd, men möjligen är det så att det är svårt att relatera markeringen till referenspunkterna på ett korrekt sätt.
- *Går det att avgöra vilken av metoderna som ger mest sant resultat, genom att jämföra med någon metod som har en hög tillförlitlighet (men som kanske inte uppfyller övriga krav i kravspecifikationen i kapitel 3.2)?*

TVå metoder som förväntades kunna ge ett "sant" resultat testades: räkna-kantmarkeringar-metoden och rullande-hinder-metoden. Den sistnämnda kan möjligen underskatta synavståndet något, se kapitel 3.1.2 och den ger resultat som överensstämmer med reflektormetoden, vilken också antas underskatta synavstånden. Att räkna kantmarkeringar fungerade på avstånd upp till cirka 50 m, vilket inte var tillräckligt men med kikare fungerade metoden på avstånd upp till cirka 90 m. Att bedöma synavstånd genom att räkna kantmarkeringar gav något längre synavstånd än med reflektormetoden och något kortare synavstånd än med kantstolpsmetoden. Sammantaget är bedömningen att räkna-kantmarkeringar-metoden ger ett ganska tillförlitligt resultat om den utförs med kikare och gärna med stöd av referenspunkter, se även sammanställningen nedan.

Den sammantagna bilden av de tester som utförts är:

- Reflektormetoden underskattar sannolikt synavstånden något om reflektorerna ligger nära (15 cm) kantmarkeringen, eftersom ljuset från reflektorerna tenderar att störa synbarheten av markeringen.
- Kantstolpsmetoden överskattar sannolikt synavstånden. Orsaken till detta är inte klarlagd, men troligen är det så att referenspunkterna (reflexerna) befinner sig för långt ifrån markeringen för att man ska kunna göra en korrekt bedömning av synavståndet.
- Räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare ger sannolikt det mest korrekta resultatet, eftersom man får en direkt koppling mellan ett känt avståndsmått (dvs. markeringarnas längd) och markeringens synavstånd. Med denna metod är synavstånden något längre än med reflektormetoden och kortare än med kantstolpsmetoden. Räkna-kantmarkeringar-metoden bör användas med tillsammans referenspunkter (förslagsvis reflektorer) eftersom det ger en bättre noggrannhet.
- Om fordonet är stillastående eller i fart tycks inte ha någon väsentlig betydelse för synavståndet, men däremot upplevs det vara svårare att göra korrekta bedömningar i fart.

4. Föreslagen metod för att bedöma vägmarkeringars synavstånd

Baserat på de tester som genomförts och som redovisats i kapitel 3 beskrivs nedan den metod som föreslås användas i kommande försök för att validera synbarhetsmodellen *Visibility*.

Bedömningen av synavstånd görs huvudsakligen med reflektormetoden, där reflektorerna placeras på avståndet 18 m ifrån varandra. Sidoavståndet till markeringen bör vara omkring 40 cm för att inte reflektorerna ska störa synbarheten av markeringen. Bedömningen av synavstånd görs alltid i stillastående. Vid varje sträcka ska upprepade bedömningar göras, genom att fordonet upprepat körs fram till nästa reflektor där en ny bedömning görs. Bedömningen av synavstånd ska göras i antal reflektorlängder, med upplösningen 0,5 reflektorlängder.

Försökspersonen ska alltid sitta på förarplatsen och fordonet ska placeras mitt i körfältet. Om flera försökspersoner befinner sig i fordonet ska bedömningarna av synavstånd göras på ett sådant sätt att deltagarna varken hör eller ser varandras bedömningar.

En valideringsstudie bör innehålla både intermittenta och heldragna kantlinjer. På sträckorna med intermittenta kantlinjer ska bedömningen av synavstånd även göras med räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare, *efter* bedömningen med reflektormetoden (reflektorerna ska ligga kvar som referenspunkter vid bedömning med räkna-kantmarkeringar-metoden). Räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare antas vara den metod som ger det mesta "sanna" resultatet och syftet med att använda den på vissa sträckor är för att kunna verifiera att reflektormetoden ger överensstämmande resultat.

5. Diskussion och slutsatser

5.1. Metodtester

Föreliggande studie syftade till att ta fram en metod för bedömning av vägmarkeringars synbarhet. Studien har omfattat en litteraturgenomgång och en serie tester i fält. Varje enskilt test har varit begränsat med avseende på antal försökspersoner, teststräckor och annat. Resultaten kan därför inte fastställas med någon statistisk säkerhet. Istället har tolkningar och slutsatser gjorts utifrån den samlade bilden av alla de tester som genomförts.

I litteraturen förekommer två metoder: Den ena går ut på att räkna antalet synliga kantmarkeringar på en intermitterent linje och den andra går ut på att skymma markeringen över en sträcka och låta försökspersonen köra längs sträckan och säga till när markeringen börjar eller slutar. Den sistnämnda metoden användes vid den ursprungliga valideringen av *Visibility*, och tros underskatta synavstånden (se även kapitel 1.1). De inledande testerna i föreliggande studie talade för detta och de påvisade också praktiska problem med metoden. Den har därför inte undersökts vidare.

Att räkna kantmarkeringar kan förväntas ge ett tillförlitligt resultat, eftersom man får en direkt koppling mellan synbarheten och ett väldefinierat avståndsmått. Detta förutsätter dock att det är möjligt att urskilja de enskilda markeringarna. I föreliggande studie upplevdes det vara svårt att kunna räkna markeringarna på längre avstånd än ca 50–60 m. Detta löstes genom att använda en kikare, vilket upplevdes fungera bra på avstånd upp till omkring 90 m. Räkna-kantmarkeringar-metoden uppfyller inte kravspecifikationen för den metod som ska användas i den kommande valideringsstudien (se kapitel 3.2), eftersom den inte går att använda då markeringen är heldragen. Däremot föreslås den användas som verifikationsmetod på ett urval av sträckorna i det kommande försöket.

De två metoder som huvudsakligen testades i föreliggande studie var reflektormetoden och kantstolpsmetoden, som båda antogs kunna uppfylla kravspecifikationen (kapitel 3.2). När metoderna testades var för sig upplevdes de båda fungera bra och ge rimliga resultat, men vid en jämförelse visade det sig att de gav väsentligt olika resultat. Den största delen av metodtesterna har ägnats åt att försöka ta reda på vad det är som gör att metoderna ger olika resultat, samt åt att komma fram till vilken metod som ger mest ”sanna” resultat. Till att börja med undersöktes hypotesen att skillnaden beror på att reflektormetoden utförs i stillastående och kantstolpsmetoden i fart. Testerna visade att så inte var fallet. Möjligen blir synavstånden något *kortare* i fart än i stillastående (Figur 9 och Figur 12), men generellt gav kantstolpsmetoden väsentligt *längre* synavstånd än reflektormetoden, oavsett om bedömningarna utfördes i fart eller i stillastående. Att göra bedömningar i fart upplevdes vara ganska svårt. Deltagarna ansåg att bedömningarna av synavstånd blev mer osäkra, vilket också avspeglas i resultaten där spridningen i skattningarna är större i fart än i stillastående. Flera kommenterade att de behövde använda någon form av strategi för att klara uppgiften. Relaterat till detta finns två uppenbara risker: dels kan försökspersonerna välja en strategi som ger felaktiga resultat, dels kan det vara så att försökspersonerna blir mer benägna att gissa eller chansa om uppgiften upplevs som svår. Slutsatsen av detta är att bedömningen av synavstånd bör göras i stillastående.

Skillnaden i resultat mellan reflektormetoden och kantstolpsmetoden kan inte förklaras fullt ut baserat på de tester som genomförts, men det finns mycket som talar för att det har att göra med hur referenspunkterna (reflexerna) placeras i förhållande till kantmarkeringen. Om referenspunkterna placeras mycket nära vägmarkeringen (med ca 1–2 dm avstånd) riskerar de att störa synbarheten av markeringen (ljuset från reflexen är starkare än det från markeringen, vilket gör att markeringen syns sämre), så att synavståndet underskattas. Om referenspunkterna placeras långt ifrån markeringen (ca 1 m vid sidan av och 0,8 m över) tycks det vara svårt att relatera punkterna till markeringen på ett korrekt sätt, vilket verkar ge en systematisk överskattning av synavstånden. Likaså verkar synavstånden överskattas då avståndet mellan referenspunkterna är stort (50 m). Utifrån de tester som

gjorts är bedömningen att reflektormetoden med reflektorer placerade på 18 m avstånd och ca 40 cm från kantmarkeringen utgör den bästa avvägningen mellan de olika faktorer som påverkar placeringen av referenspunkterna.

Utöver ovan nämnda metoder testades även om det skulle kunna vara möjligt att använda ett ögonrörelsesystem för att bedöma synavstånd. Tyvärr indikerade resultaten att noggrannheten i bedömningarna blir alltför dålig, samt att bildkvaliteten inte är bra nog för att man ska kunna se referenspunkterna på tillräckligt långa avstånd. Ögonrörelsesystem har även testats bland annat i metodtesterna inom NMF-projektet *Upptäckbarhet av fotgängare i vägbelysning* (pågående projekt, ej publicerat⁴). Även där valdes att inte använda ögonrörelsesystem i huvudförsöket för att kunna veta när en förare upptäckt en fotgängare, eftersom det inte bedömdes ge tillräckligt tillförlitliga resultat.

5.2. Framtida valideringsstudie

Bakgrunden till att ta fram en metod för bedömning av vägmarkeringars synavstånd är att kunna validera den reviderade versionen av synbarhetsmodellen *Visibility* som togs fram inom projektet COST 331 (COST 331, 1999). I första hand ska modellen valideras med avseende på sambanden mellan synavstånd och markeringens retroreflexion och geometri (bredd och intermittent/heldragen). I detta sammanhang kan det vara värt att nämna några av de resultat som framkommit i litteraturgenomgången. I flera av studierna har man sett ett samband mellan synavstånd och retroreflexion (Burns et al., 2006; Gibbons et al., 2005; Schnell et al., 2003), vilket är ett rimligt och förväntat resultat. Det är också förväntat att markeringens bredd påverkar synavstånden, men detta kunde inte bekräftas i en studie som syftade till att undersöka bland annat detta (Ohme & Schnell, 2001). Det kan finnas anledning att undersöka detta samband närmare, då markeringens bredd har stor betydelse för kostnaden för vägmarkeringar, och således bör vara en relevant fråga för de vägmyndigheter som bekostar vägmarkeringarna.

Vid metodtesterna i föreliggande studie har flera olika fordon använts och försökspersonerna har varit olika vid varje delförsök (totalt sett har omkring 10 olika personer deltagit, varav några har deltagit i flera delförsök). Det hade möjligen varit en fördel att använda samma fordon i alla delförsök, men det var tyvärr inte möjligt av praktiska skäl. Eftersom jämförelserna av olika betingelser huvudsakligen har gjorts inom varje delförsök så har det sannolikt inte haft någon avgörande betydelse för resultatet, men valet av fordon är en viktig fråga inför valideringsstudien. Man kan i princip tänka sig två olika alternativ: 1) Alla försökspersoner använder samma fordon. 2) Alla försökspersoner använder olika fordon (förslagsvis sin egen bil). I det förstnämnda fallet reducerar man variansen i skattningarna som beror på att olika fordon har olika belysning, det vill säga att man bör få ett tydligare samband mellan synavstånd och vägmarkeringens egenskaper. Nackdelen är dock att resultaten riskerar att bli knutna till ett specifikt fordon och därför inte är generaliserbara. Att använda flera olika fordon kan förväntas ge resultat som bättre avspeglar verkligheten, men det innebär också att man kan förvänta sig en större spridning i resultaten. Oavsett om man väljer att använda ett eller flera fordon är det viktigt att mäta ljusintensiteten och ljusfördelningen hos fordonen, så att resultaten kan relateras till den belysningsmodell som används i *Visibility*. Vid den ursprungliga valideringen av *Visibility* användes ett och samma försöksfordon, men med tre olika varianter av strålkastare, för att få en variation i ljusförhållandena.

Vad gäller fordonens strålkastare finns ytterligare ett par saker att beakta. Halvljuset har en så kallad *cut-off*, dvs ljuset är riktat nedåt och avskärmat för att inte blända förare i mötande fordon. Detta innebär att det finns en begränsning i hur långa synavstånd som kan uppnås, oavsett vad markeringen har för utformning och retroreflexion. Relaterat till detta är också det faktum att det förekommer ett

⁴ Resultaten från studien förväntas publiceras i VTI:s rapportserie under 2019 med Sara Nygårdhs som huvudförfattare.

antal olika strålkastartyper på marknaden. Traditionellt utgörs fordonsbelysning av halogenlampor men det blir allt vanligare med xenon- och LED-ljus. Xenonlampor mer ljus än halogenlampor, vilket gör att sådana lampor måste vara försedda med automatisk nivåreglering för att inte felinställda lampor ska blända mötande förare. Med LED-lampor kan ljusets spridning styras på ett bättre sätt, vilket ger en lite annorlunda och skarpare form på ljus/mörkergränsen. En vidareutveckling av detta är adaptiva strålkastare eller matrisstrålkastare, där ljuset anpassas efter situationen.

För att få så tillförlitliga resultat som möjligt bör försökspersonerna få träna på uppgiften (se kapitel 2.3). Vidare bör bedömningen av synavstånd göras upprepade gånger på varje objekt, för att minska påverkan från små variationer i väggeometrin. De inledande testerna i föreliggande studie visade att även mycket små svackor i vägen kunde ha en mycket stor inverkan på kantmarkeringens synbarhet. Försökssträckorna i en valideringsstudie bör därför vara raka och plana, för att det ska vara möjligt att se ett samband mellan retroreflexion och synavstånd. Men, det är förstås relevant att också ställa frågan *Finns det, på "vanliga" vägar, något samband mellan retroreflexion och synavstånd?* Eller är det så att väggeometrin, kanske i kombination med halvljusets cut-off (se ovan), vanligen är helt avgörande för markeringens synbarhet?

5.3. Slutsatser

Slutsatsen från föreliggande studie är att reflektormetoden med reflektorer placerade på 18 m avstånd och 40 cm från vägmarkeringen ska användas för att bedöma synavstånd i den kommande valideringsstudien. Bedömningarna ska göras i stillastående och upprepade bedömningar ska göras av varje objekt. Reflektormetoden kompletteras med räkna-kantmarkeringar-metoden med kikare på en delmängd av objekten för verifiering av de synavstånd som erhålls från reflektormetoden.

Referenser

Burns, D., Hodson, N., Haunschild, D. & May, D. (2006). Pavement marking photometric performance and visibility under dry, wet, and rainy conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1973: 113–119.

CIE (1988). *Visual aspects of road markings*. International Commission on Illumination, CIE report 073-1988.

COST 331 (1999). *Requirements for horizontal road marking*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. European Commission, Directorate General Transport.

FHWA (1994). *Roadway delineation practices handbook*. Publication No FHWA-SA-93-001, Federal Highway Administration (FHWA), USA.

Gibbons, R., Andersen, C. & Hankey, J. (2005). Wet night visibility of pavement markings – a static experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1911: 113–122.

Gibbons, R. & Hankey, J. (2007). Wet night visibility of pavement markings – dynamic experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2015: 73–80.

Gibbons, R., Williams, B. & Cottrell, B. (2013). Assessment of durability of wet night visible pavement markings – visibility experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2337: 67–73.

Ohme, P. J. & Schnell, T. (2001). Is wider better? Enhancing pavement marking visibility for older drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 45(23): 1617–1621.

Schnell, T. & Zwahlen, H. (1999). Driver preview distances at night based on driver eye scanning recordings as a function of pavement marking retroreflectivities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1692: 129–141.

Schnell, T. & Zwahlen, H. (2000). Computer-based modeling to determine the visibility and minimum retroreflectivity of pavement markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1708: 47–60.

Schnell, T., Aktan, F. & Lee, Y-C. (2003). Nighttime visibility and retroreflectance of pavement markings in dry, wet, and rainy conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1824: 144–155.

Trafikverket (2012). *Krav för vägars och gators utformning*. Trafikverket publikation 2012:179. Trafikverket, Borlänge.

Trafikverket (2015). *Krav för vägars och gators utformning*. Trafikverket publikation 2015:086. Trafikverket, Borlänge.

Vägverket (1994). *Vägutformning 94*. Vägverket publikation 1994:061. Vägverket, Borlänge.

Vägverket (2002). *Vägutformning 94 S-2*. Vägverket publikation 2012:179. Vägverket, Borlänge.

Vägverket (2004). *Vägars och gators utformning*. Vägverket publikation 2004:80. Vägverket, Borlänge.

Zwahlen, H. & Schnell, T. (1997a). Visibility of new centerline and edge line pavement markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1605: 49–61.

Zwahlen, H. & Schnell, T. (1997b). Driver eye-scanning behaviour as function of pavement marking configuration. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1605: 62–72.

Zwahlen, H. & Schnell, T. (1999). Visibility of road markings as a function of age, retroreflectivity under low-beam and high-beam illumination at night. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1692: 152–163.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE
LINKÖPING
SE-581 95 LINKÖPING
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM
Box 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG
Box 8072
SE-402 78 GOTHENBURG
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE
Box 920
SE-781 29 BORLÄNGE
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND
Bruksgatan 8
SE-222 36 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

