



LUND UNIVERSITY

Utformning av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygd

Resultat ifrån ett experiment i körsimulator

Johnsson, Carl; Norén, Hampus

2025

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Johnsson, C., & Norén, H. (2025). *Utformning av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygd: Resultat ifrån ett experiment i körsimulator*. Lund University Faculty of Engineering, Technology and Society, Transport and Roads, Lund, Sweden.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

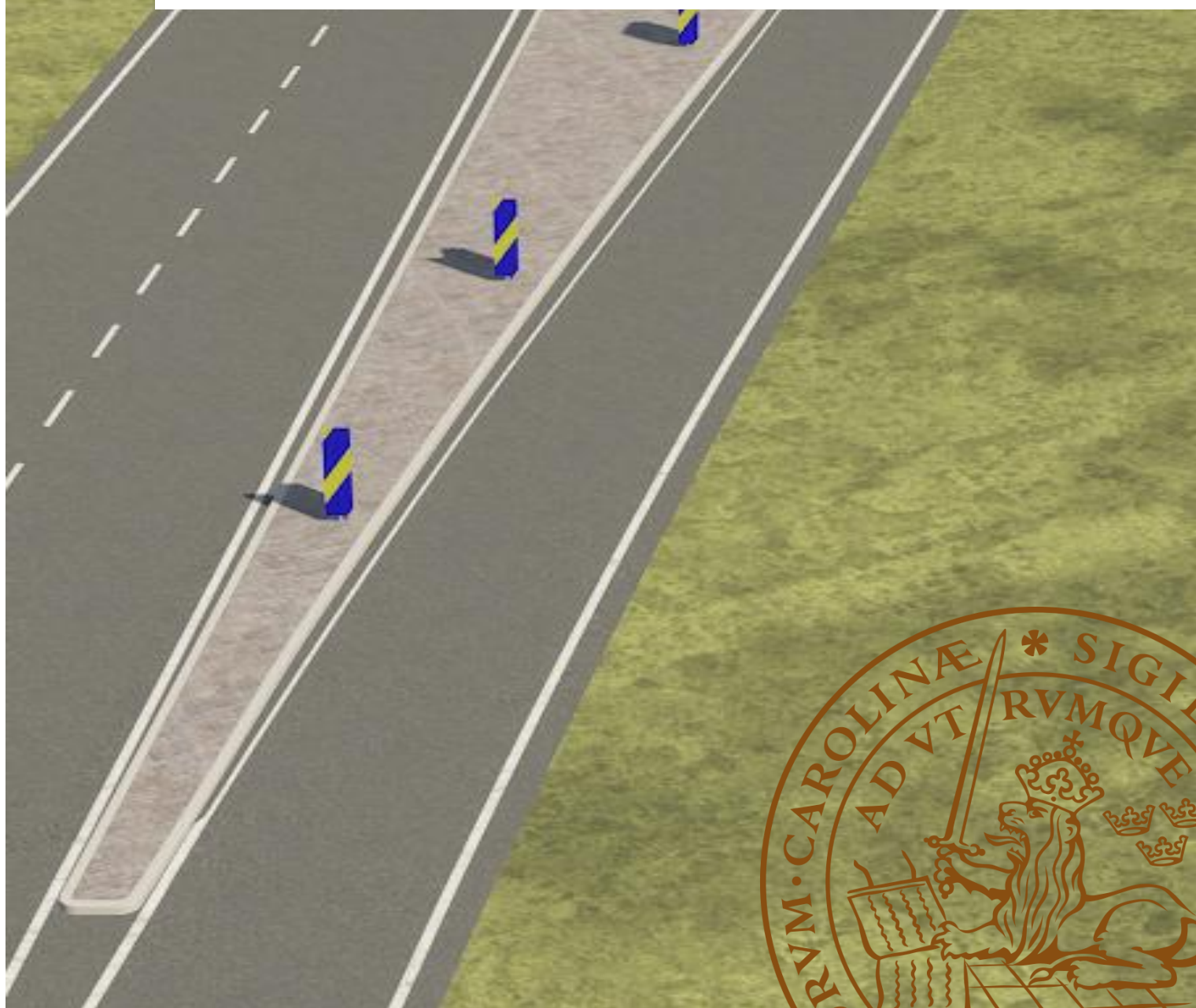
PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



Utformning av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygd

Resultat ifrån ett experiment i körsimulator

CARL JOHNSON OCH HAMPUS NORÉN



Utformning av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygd

Resultat ifrån ett experiment i körsimulator

Carl Johnsson och Hampus Norén

2025

Titel

Utformning av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygd: Resultat ifrån ett experiment i körsimulator

Författare

Carl Johnsson , Lunds universitet
Hampus Norén, Lunds universitet

Utgivare

Institution för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds universitet
www.tos.lth.se

Språk

Svenska

Finansierare

Trafikverket

Projektnamn

TRV 2023/33563

Projektledare

Carl Johnsson

Kvalitetsgranskare

Aliaksei Laureshyn

Nyckelord

Hastighetssäkring, landbygd, körsimulator

Denna rapport har utgetts endast i elektronisk form.

Title

Design of speed-safe measures in rural areas: Results from an experiment in a driving simulator

Author(s)

Carl Johnsson , Lund University
Hampus Norén, Lund University

Publisher

Department of Technology and Society,
Faculty of Engineering, LTH
Lund University, Sweden
www.tos.lth.se/english

Language

Swedish

Financed by

Swedish Transport Administration

Project

TRV 2023/33563

Project coordinator

Carl Johnsson

Quality reviewer

Aliaksei Laureshyn

Keywords

Driving simulator, rural roads, speed calming

This report is available only in electronic version.

CRedit contribution statement

Author One: Conceptualization, Funding acquisition, Methodology, Software, Writing—original draft, Writing—review & editing. **Author Two:** Methodology, Software, Resources, Conceptualization

CRedit, Contributor Roles Taxonomy ([link](#))

Data availability

The data are available at request to the authors.

Declaration of competing interests

The authors report no competing interests.

Declaration of generative AI use in writing

A few sentences have been rewritten by AI for clarity

Ethics statement

The methods for data collection in the present study have been approved by Swedish Ethical Review Authority (Decision 2024-03807-01).

Summary

This report concerns the design of speed-reducing measures in rural areas. More specifically, an experiment was conducted in a driving simulator to study how vehicle speed through the measure is affected when the length and width (lateral shift) of the measure are increased or decreased. The experiment was based on two existing locations where various geometric modifications were made in the digital environment. One of the locations is situated on a 70 km/h road entering a small village with a 40 km/h limit, while the other location is on a 100 km/h 2 plus 1 road, situated just before an intersection with a 70 km/h limit.

A total of 19 people participated in the experiment, resulting in 197 driving sessions across 12 different scenarios (6 per location). The results of the experiment show how vehicle speed at different points through the measure is influenced by the length and lateral shift of the measures. In general, the results indicate that increasing the lateral shift by 1 meter reduces speed by 2–5 km/h, and decreasing the length of the measure by 1 meter reduces speed by 0.3–0.6 km/h. The experiment also shows that the smallest turning radius of the vehicles' driving paths is generally 1.5 times the minimum radius of the implemented measures.

Sammanfattning

Denna rapport handlar om utformningen av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygd, mer specifikt så har ett experiment i en körsimulator utförts för att studera hur hastigheten genom åtgärden påverkas när man ökar eller minskar åtgärdens längd och bredd (sidoförskjutning). Experimentet har utgått ifrån två existerande platser där flera olika förändringar av geometrin gjorts i den digitala miljön. En av platserna är belägen på en 70 km/h väg på väg in i ett mindre samhälle med 40 km/h medan den andra platsen är byggd på en 100 km/h två plus ett-väg och är belägen precis innan en korsning med 70 km/h.

Totalt 19 personer genomförde experimentet vilket resulterande i totalt 197 körningar genom totalt 12 olika scenarier (6 per plats). Resultatet av experimentet visar hur hastigheten av bilar på olika punkter genom åtgärden påverkas av åtgärdernas längd och sidoförskjutning. Generellt så visar resultatet att en ökning med sidoförskjutningen på 1 meter minskar hastigheten med 2–5 km/h och en minskning av åtgärdens längd med 1 meter minskar hastigheten med 0,3 – 0,6 km/h. Resultatet ifrån experimentet visar också att den minsta radien på körspåren ifrån bilarna är generellt 1.5 gånger större än den minsta radien på åtgärderna.

Innehåll

1	Introduktion.....	6
1.1	Hastighetssäkring på landsbygd.....	6
1.2	Bakgrund – tidigare projekt	6
1.3	Syfte och frågeställningar	7
1.4	Körsimulatorer	7
1.5	Hastighetssäkring på landsbygd i VGU	7
2	Platser och scenariodesign.....	9
2.1	Platserna	9
2.2	Mått för beskrivning och analys av hastighetsäkrande åtgärder	10
2.3	Översikt av experimentet	10
2.4	Digitala vägmodeller.....	12
2.4.1	<i>Lantmäteriet.....</i>	<i>12</i>
2.4.2	<i>Matlab Roadrunner.....</i>	<i>12</i>
2.4.3	<i>Unreal Engine 5.1.....</i>	<i>12</i>
2.4.4	<i>Vi-Grade Worldsim.....</i>	<i>12</i>
2.4.5	<i>Bilder på vägmodellerna</i>	<i>13</i>
2.5	E45 Åsarna – ett extra scenario.....	15
3	Experiment genomförande.....	16
3.1	Körsimulatorn	16
3.2	Forskningspersonerna och etikprövning	17
4	Videodata	18
5	Mätpunkter och analysmetoder.....	19
5.1	Statistisk analysmetod.....	19
6	Resultat.....	21
6.1	Den statistiska analysen	23
6.2	Visualisering av modellresultat.....	25
6.3	En djupare analys av sidoförskjutningen	26
6.3.1	<i>Upphöjd trafikdelare och räcke på båda sidorna.....</i>	<i>27</i>
6.4	Minsta radien för åtgärd och körspår	28
	Jämförelse med videodata	29
6.5	E45 Åsarna – ett extra scenario.....	31
7	Diskussion	32
7.1	Majoriteten av hastighetssänkningen sker innan fordonet hunnit fram till åtgärden	32
7.2	Hastigheten i båda typerna av åtgärderna	32
7.3	I simulatoren syns en tydlig ökning av hastigheten mellan apex och utgången	32
7.4	Koppling till radier i Vägars och gators utformning.....	33
7.5	Rekommendationer för utformning utifrån modellresultatet	34
8	Referenslista.....	35

1 Introduktion

1.1 Hastighetssäkring på landsbygd

I landsbygdssammanhang regleras den allmänna hastighetsnivån av självförklarande design som borde överensstämja med den fastställda hastighetsgränsen. Många platser kräver dock ytterligare hastighetssänkning, såsom vid korsningar, infarter till tätorter, hållplatser för kollektivtrafiken, osv. Hastighetssänkningen måste vara effektiv men inte alltför obekvämt eller osäker för resenärerna—alltså den vanligaste stadsåtgärden, ett gupp, är olämplig på landsbygden.

Majoriteten av de hastighetsreducerande lösningarna på landsbygden som implementeras i Sverige är varianter av en påtvingad sidoförskjutning (Figur 1). Det finns enbart begränsade riktlinjer tillgängliga för vilka konstruktionsparametrar som ska föredras för att säkerställa hastighetsnivån utan att införa andra typer av problem.

1.2 Bakgrund – tidigare projekt

Denna rapport bygger på det tidigare projektet ”Utvärdering av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygdsvägar” (Hammad et al., 2023; Johnsson et al., 2025). I det tidigare projektet så filmades en mängd olika platser vid olika hastighetssäkrande åtgärder, därefter analyserades hastigheten på platserna för att utvärdera de olika platserna, se Figur 1.



Figur 1 Exempel på resultat ifrån en plats i det tidigare projektet.

Målet med detta projekt är att i mer detalj undersöka ett fåtal av dessa platser samt att studera hur ändringar i utformningen på åtgärderna påverkar hastighetsvalet. Tanken är att studera hur den geometriska utformningen bör utformas för att nå en hastighetssäkrad miljö. Detta ska studeras i en körsimulator där det är möjligt att testköra igenom flera olika utformningar baserat på dagens utformning. Det tidigare projektet gör det också möjligt att direkt jämföra resultatet ifrån körsimulatorens med det filmade materialet på samma plats.

1.3 Syfte och frågeställningar

Det huvudsakliga syftet med projektet är att analysera hur utformningen påverkar fordonens hastighetsval, samt att beskriva hur vi bör utforma hastighetssäkrade åtgärder på landsbygdsvägar för att säkerställa hastigheten på vägen?

Specifikt syftar projektet att svara på följande frågor:

- Hur påverkar åtgärdens sidoförskjutning och längd fordonens hastighetsval?
- Hur jämförbart är resultatet ifrån körsimulatorn med resultatet ifrån drönarfilmerna?

1.4 Körsimulatorer

Körsimulator används i många olika sammanhang för att beskriva och analysera allt ifrån körbeteende till vägutformning med mera (Bruck et al., 2021; Voinea et al., 2023; Zhang et al., 2025).

Det finns ett antal tidigare studier där en körsimulator använts för att studera hur olika hastighetssäkrade åtgärder påverkar hastigheten i en simulerad miljö. Dessa inkluderar olika åtgärder för att sänka hastigheten inför korsningar och övergångsställen (Qin et al., 2024; S. Martin-Castresana, 2024) samt ett antal andra studier som fokuserar på åtgärder i landsbygdsmiljö (Akbari & Haghighi, 2020; Aydin et al., 2019; John A. Molino & Erin E. Dagnall, 2010).

Dessa studier innehåller typiskt ett antal olika scenarier med olika utformningar, försökspersoner ombeds därefter köra igenom dessa vilket sedan gör det möjligt att jämföra utformningarnas påverkan på hastighet (och eventuella andra mätvärden).

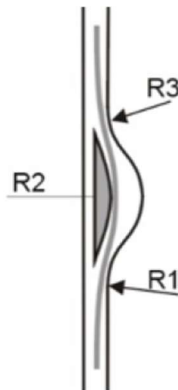
Ett exempel på en tidigare studie är gjord av Akbari and Haghighi (2020). Denna studie undersöker effektiviteten av fyra lågkostnads hastighetssäkrade åtgärder vid övergångar från landsbygdsvägar till tätorter i norra Iran, där höga hastigheter utgör en allvarlig säkerhetsrisk. Författarna använde en körsimulator med 39 förare för att testa fyra åtgärder: modifierade vägskyltar, perifera markeringar, kontinuerliga ”rumble strips” och ett rutformat markeringsmönster. Resultaten visade att samtliga åtgärder minskade fordonshastigheten betydligt jämfört med utgångsläget, men endast det rutformade mönstret förbättrade även förarnas sidoposition i körfältet. När åtgärderna upphörde började hastigheterna öka igen, vilket tyder på att kontinuerlig tillämpning genom hela tätorten behövs för varaktig hastighetsminskning.

1.5 Hastighetssäkring på landsbygd i VGU

I kapitel 7.6.2 av Vägars och gators utformning (Trafikverket, 2024) finns information om utformningen av Portar, samt andra typer av Sidoförskjutningar, med eller utan avsmalning. Denna information innehåller råd för både den fysiska utformningen samt visuell påverkan med hjälp av till exempel planteringar, skiftande beläggning, portaler, belysning.

En grundläggande princip som VGU beskriver är de tre radier som avgör den huvudsakliga hastighetssänkningen: *”Hastighetssäkringen åstadkoms som i en cirkulationsplats genom att anpassa största radier R_1 , R_2 och R_3 för genaste personbilskörspår med bredd ca 2,0 m”*

”Grundprincipen är som i cirkulationsplats att $R1 \leq R2 \leq R3$. $R3 < 30,0$ m ger hastigheter kring 30 km/h och $R3 < 60,0$ m 40 km/h, $R3 < 90,0$ m 50 km/h och $R3 < 140,0$ m 60 km/h. Värdena förutsätter att skevningen är obetydlig.” - (Trafikverket, 2024)



Figur 2. Radie 1,2 och 3 i VGU (Trafikverket, 2024)

Observera att dessa radier inte nödvändigtvis är utformningens radier utan är radier ifrån den ”genaste personbilskörspåret”. Radierna är numrerade utefter körsträckan, så R1 är den första radien som ett fordon kör följt av radie 2 och 3.

I kapitlet om sidoförskjutningar utan avsmalningar finns också en annan beskrivning av en hastighetssänkande åtgärd baserat på körfältsbredd, öppning, förskjutningssträckans längd samt förskjutningen. I tabell 7.6.2.1.2-1 och 7.6.2.1.2-2 finns uppskattade längder på utformningar beroende på utformningshastighet. Det finns också råd om att t.ex. buskar eller mindre träd kan användas för att förstärka det visuella intrycket kan den hastighetsdämpande åtgärden i vissa fall.

2 Platser och scenariodesign

2.1 Platserna

Utifrån platserna i det tidigare projektet valdes två platser som motsvarar typiska hastighetssäkrade åtgärder vid två olika hastigheter (100 km/h samt 70 km/h). Dessa platser har återskapats i en digital miljö som dem är idag (basläge/dagens utformning) samt med en del ändringar (scenario) fokuserat på längden och sidoförskjutningen av åtgärderna.

Plats 1 på väg 37 utanför Braås (Figur 3) finns på en 2+1 väg och är byggd för att sänka hastigheten ifrån 100 km/h till 70 km/h inför en kommande korsning. **Plats 2** (Figur 4), på Södra Strövelstorpsvägen vid Strövelstorp i Skåne, är en typisk landsbygds port som är designad för att sänka hastigheten ifrån 70 km/h till 40 km/h inför tätorten. Båda platserna har ett 3,5 meter brett körfält genom hela åtgärden.



Figur 3. Drönarfoto ifrån Plats 1 – Väg 37 utanför Braås
(*latitud: 57,01557539266502, longitud: 15,052901087815595*)

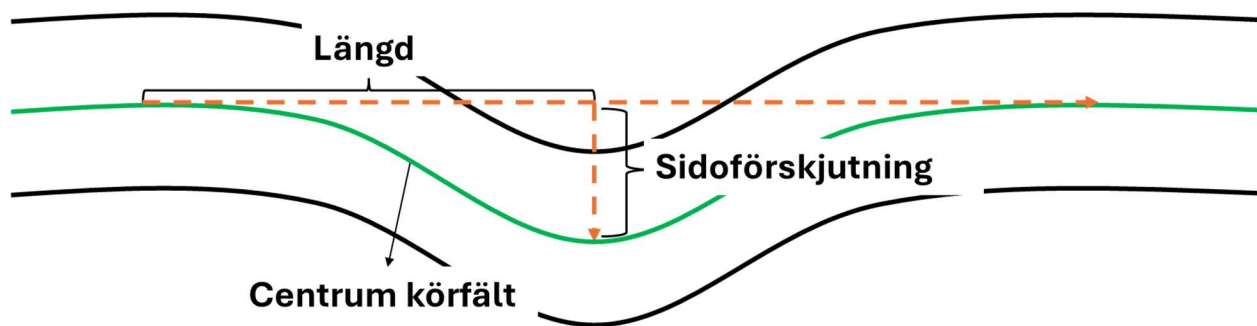


Figur 4 Drönarfoto ifrån Plats 2 – Södra Strövelstorpsvägen vid Strövelstorp
(*latitud: 56,16261157732135, longitud: 12,831959541512873*)

2.2 Mått för beskrivning och analys av hastighetsäkrande åtgärder

För att beskriva den nuvarande utformningen, samt ändringarna som gjorts i dem digitala vägmodellerna, används åtgärdens längd och sidoförskjutning. Tanken är att dessa två mått är de viktigaste för att beskriva hur långt och hur snabbt bilarna tvingas förflytta sig när dem kör igenom en viss utformning.

Figur 5 nedan visar hur dessa mått har bestämts, notera att åtgärdens längd är baserat på en uppskattning av var dagens utformning börjar och slutar och att avståndet har mätts ifrån startpunkten till mitten på åtgärden. Åtgärdens sidoförskjutning är beräknat utifrån en tilltänkt linje mellan åtgärdens start- och slutpunkt. Notera att denna bestämning av åtgärdens utformning liknar VGU's beskrivning av sidoförskjutningar men använder sig inte av radierna på vare sig utformningen eller körspåren. Längden är avståndet mellan startpunkten och punkten med maximal sidoförskjutning (apex).



Figur 5 Definition av sidoförskjutning och längd för denna studie

2.3 Översikt av experimentet

Experimentet i körsimulatorn har designats för att i huvudsak testa hur åtgärdens längd och sidoförskjutning påverkar valet av hastighet. Detta har gjorts genom att först utgå ifrån dagens utformning, och sedan göra ett antal scenarier där varje scenario har en enskild förändring, till exempel ett scenario innehålla en ökad sidoförskjutning med 25% medan ett annat scenario kan ha minskat åtgärdens längd med 25% osv. Detta innebär också att resultatet och analysen av experimentet enbart kommer att fokusera på hur dessa förändringar har påverkat körningarna i simulatorn.

Experimentet bestod av totalt 12 scenarier, sex per plats. På varje plats har längden och sidoförskjutningen på åtgärden förändrats med $\pm 25\%$ utifrån dagens utformning, dessutom har en ytterligare förändring testats på båda platserna (upphöjd trafikdelare och räcke på båda sidorna).

Tabell 1 beskriver de olika scenarierna tillsammans med de relevanta måtten och hastighetsförändringen. Dessa scenarier togs fram i diskussion med experter på Trafikverket, och har ett större fokus på de fysiska aspekterna än de mer psykologiska effekterna i utformningen.

Tabell 1 Beskrivning av scenarierna samt hur många körningar (N) som finns för varje scenario

Scenario	N	Hastighetsförändring	Beskrivning	Sidoförskjutning (m)	Längd (m)
1 - 0	16	100 till 70 km/h	Basläge	6,8	84
1 - 1	17		Bredare (+25%)	9,7	83
1 - 3	18		Kortare (-25%)	6,7	62
1 - 5	15		Upphöjd trafikdelare	6,8	84
1 - 6	16		Smalare (-25%)	4,4	83
1 - 7	16		Längre (+25%)	7,0	103
2 - 0	16	70 till 40 km/h	Basläge	2,5	18
2 - 1	17		Bredare (+25%)	3,8	16
2 - 3	18		Kortare (-25%)	2,5	14
2 - 5	15		Räcke på båda sidorna	2,5	18
2 - 6	17		Smalare (-25%)	1,1	18
2 - 7	16		Längre (+25%)	2,5	23
Totalt	197				

2.4 Digitala vägmodeller

Båda platserna har återskapats i en digital miljö utifrån satellitbilder och höjdkartor ifrån lantmäteriet, nedan finns en beskrivning för hur dessa modeller har skapats och vilka verktyg som använts.

2.4.1 Lantmäteriet

Höjdkartor och satellitbilder med hög upplösning har laddats hem via SLU:s neddladningstjänst GET¹. Dessa data är basen för hur modellerna har återskapat i en 3D miljö.

2.4.2 Matlab Roadrunner

I mjukvaran Matlab Roadrunner² har marken och vägarnas utformning återskapats. Detta innefattar vägens geometri, vägmarkeringar samt vägskyltar tillsammans med andra detaljer såsom viltstängsel och belysningsstolpar. Mjukvaran gör det också möjligt att spara och beskriva vägutformningen i OPENDRIVE format³.

2.4.3 Unreal Engine 5.1

I mjukvaran Unreal Engine har sedan ytterligare detaljer, specifikt skog, buskage och andra växter, lagts till i 3D miljön. Detta görs i huvudsak för att nästföljande mjukvara är baserad på Unreal Engine och det finns en specifik metod⁴ för att kunna hantera en stor mängd träd och växter i 3D miljöer.

2.4.4 Vi-Grade Worldsims

Modellen i Unreal Engine har expoernas till mjukvaran Vi-Grade Worldsims som fungerar som basprogrammet för körsimulatorn som använts i experimentet. Denna mjukvara ansvarar för att beskriva var fordon skapas och för att skapa varierande scenarier till en körsimulator, i detta experiment har enbart ett fordon skapats och inga andra fordon interagerar med forskningspersonerna.

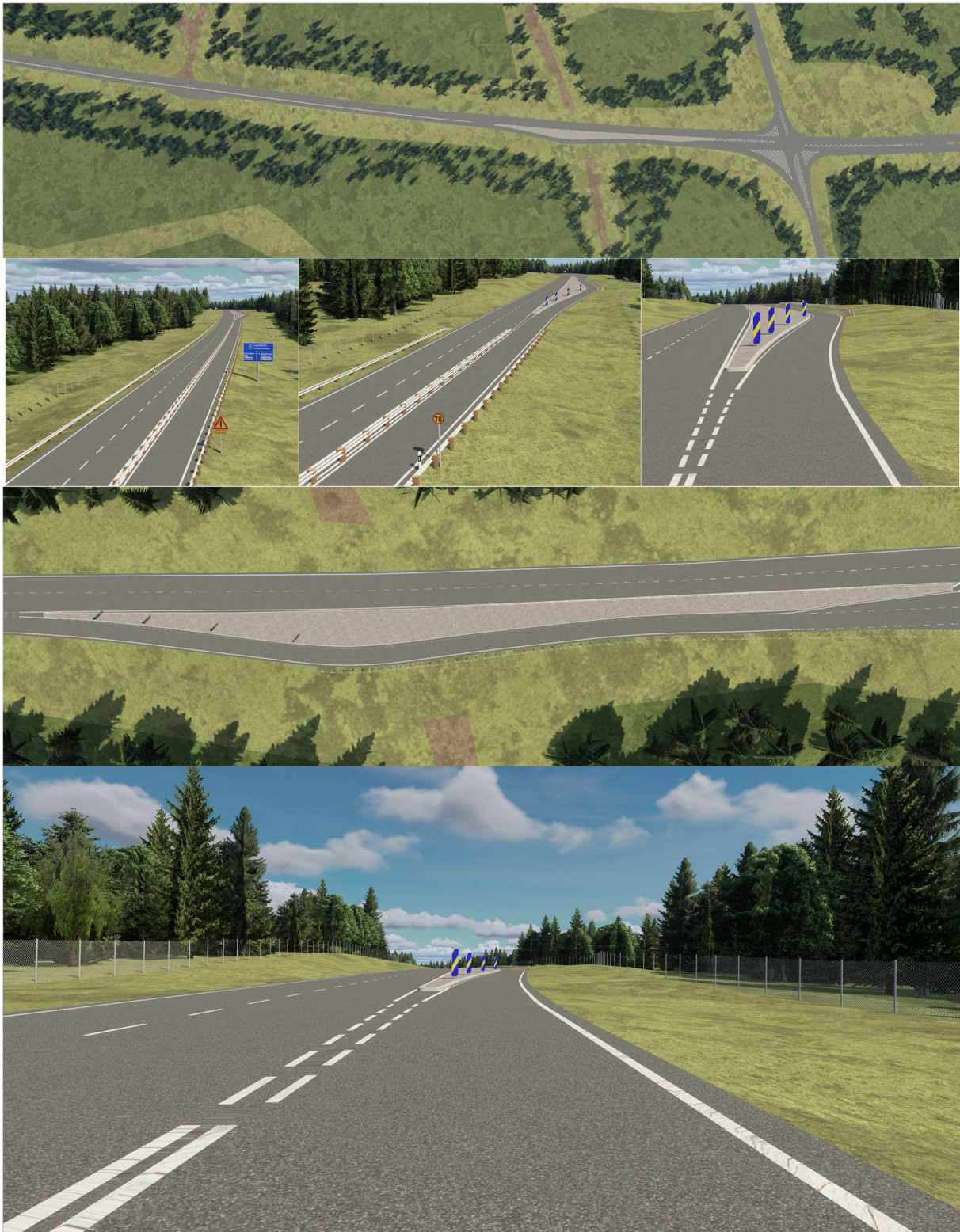
¹ <https://www.slu.se/site/bibliotek/soka-och-lana/soka/digitala-kartor/>

² <https://se.mathworks.com/products/roadrunner.html>

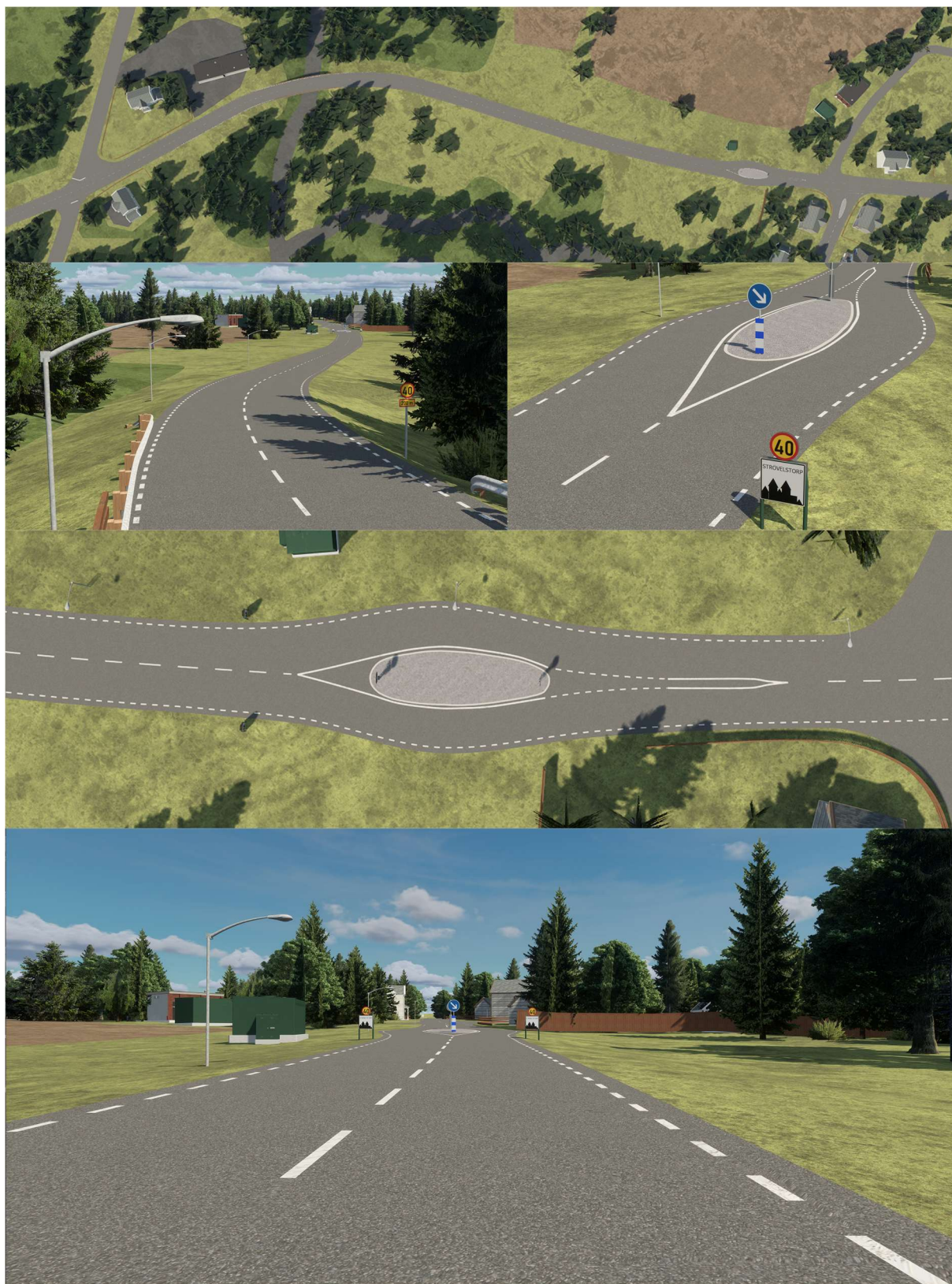
³ <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>

⁴ <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/foilage-mode-in-unreal-engine>

2.4.5 Bilder på vägmodellerna



Figur 6 Plats 1 – dagens utformning (basläge)

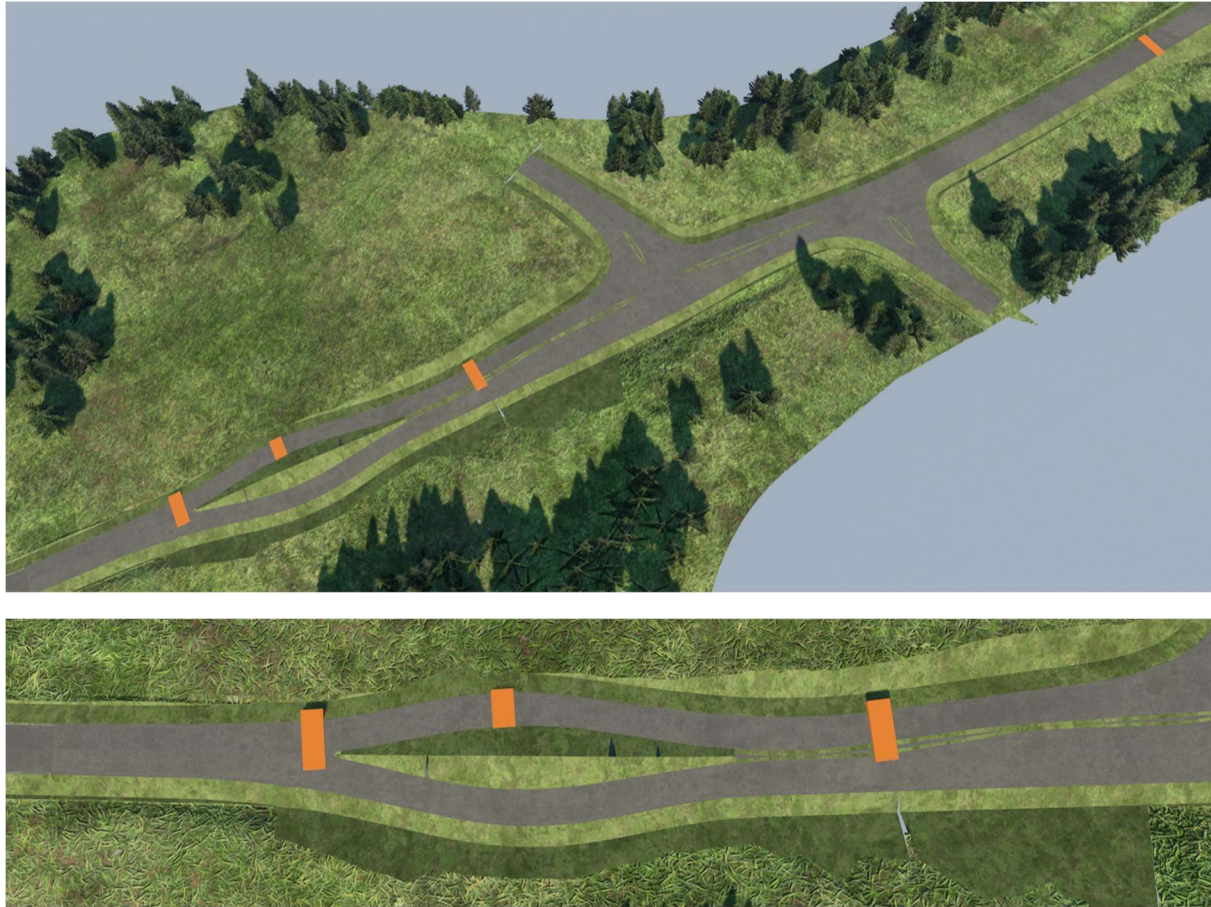


Figur 7 Plats 2 – dagens utformning (basläge)

2.5 E45 Åsarna – ett extra scenario

I samband med ett pågående Trafikverket projekt (Demoprojekt: *E45, genom Åsarna*⁵) så inkluderades ett extra scenario i experimentet.

Detta scenario är baserat på en vägmodell som Sweco har designat för en planerad väg på E45 utanför Åsarna. Modellen ifrån Sweco har exporterats in i Unreal Engine och sedan körsimulatorens (Figur 8). Försökspersonerna i experimentet fick möjlighet att köra detta scenario i slutet av experimentet, totalt valde 10 personer att köra igenom scenariot.



Figur 8 Plats – Åsarna i Unreal Engine. De orangea markörerna visar mätpunkter och fanns inte med i experimentet.

⁵ <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-jamtlands-lan/e45-genom-asarna/>

3 Experiment genomförande

För att ge mer flexibilitet till forskningspersonerna så fick forskningspersonerna valet att antingen genomföra hela eller halva experimentet. Experimentet genomfördes i en bestämd ordning. Varje deltagare började testet i ett annat scenario än personen före och efter, för att minska risken för inlärnings effekter.

Oavsett om personen genomförde hela eller halva experimentet så påbörjades varje experiment med ett kort frågeformulär om deras åldersgrupp och kön. Körningen i simulatören började med ett kort antal minuter på en testbana för att få en känsla av simulatören köregenskaper. Därefter, om inga problem uppstod, påbörjades scenariokörningarna i den förutbestämda och förskjutna ordningen. Varje scenario bestod av cirka 1–2 minuter körning och forskningspersonerna fick instruktioner om att köra som de skulle gjort i verkligheten.

3.1 Körsimulatore

Figur 9 visar hur simulatören ser ut och hur forskningspersonerna ser vägmiljön under experimentet. Körsimulatore kan röra sig i sex frihetsgrader: rullning, pitch, girning, svallvåg, svajning och hävning. Detta innebär att simulatören rör sig när man accelererar, bromsar och svänger. Simulatoren reglerar också på vägmodellernas utformning, såsom höjdskillnader och vägkanter.



Figur 9 Körsimulatore

3.2 Forskningspersonerna och etikprövning

Totalt genomförde 24 personer med körkort experimentet. Tabell 2 visar forskningspersonernas åldersgrupp och könstillhörighet, 80% av personerna var män och den vanligaste åldersgruppen var 25–34. Personerna rekryterades i huvudsak ifrån Lund Universitet, Campus Helsingborg tillsammans med lokaler i närheten till simulatorn.

Experiment har fått en godkänd etikprövning via Etikprövningsmyndigheten med diarienummer **2024-03807-01**.

Tabell 2 Forskningspersonernas åldersgrupp och könstillhörighet

Ålder	Män	Kvinnor	Annat/ valde att inte svara
18–24	2	1	0
25–34	9	1	1
35–44	5	0	0
45–54	2	0	0
55+	1	2	0
Totalt	19	4	1

4 Videodata

Video data ifrån de utvalda platserna har återanvänts ifrån det tidigare projektet, se Hammad et al. (2023) för mer information. Själva analysen av filmen är omgjord i detta projekt för att möjliggöra en lättare jämförelse med körsimulatorens. Detta innebär specifikt att kalibreringssteget har förändrats och i stället kopplats till de lokala koordinater som den digitala vägmiljön har i körsimulatorens. Detta har gjort det möjligt att direkt koppla trajektoriedata ifrån båda källorna till samma koordinatsystem och samma OPENDRIVE vägmodell.

Objektdetektion och spårning har fordon har gjorts på samma sätt som i det förra projektet med en uppdaterad version av AI-nätverket YOLO⁶.



Figur 10 Kameravyn ifrån drönarfilmen, 120 meters höjd.

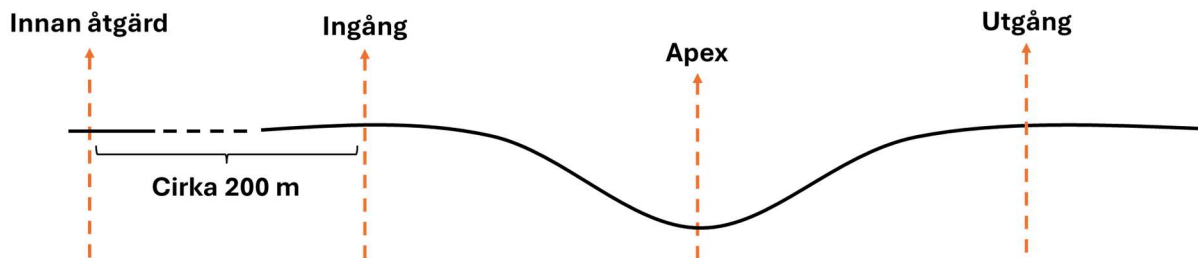
⁶ <https://docs.ultralytics.com/models/yolo11/>

5 Mätpunkter och analysmetoder

Både körsimulatorn och videodata ger högfrekvent data om fordonets hastighet och position, 100 datapunkter per sekund i körsimulatorn och 30 datapunkter per sekund ifrån drönarfilmerna. Fordonens position har kopplats samman med vägens utformning via OPENDRIVE formatet vilket gör det möjligt att beskriva var exakt på vägen fordonen befinner sig vid varje datapunkt.

För att göra analysen lättare att förstå och enklare att jämföra så har fyra mätpunkter valts ut på vägen vid varje scenario. Den första mätpunkten är cirka 200 meter innan åtgärden vilket fångar hastigheten som forarna valt innan den börjar sänka hastigheten. Därefter mäts data vid ingången, apex (där sidoförskjutningen är som störst) och utgången (Figur 10). Vid varje mätpunkt mäts hastighet och lateralt avstånd (definierat som avståndet till en rak linje mellan ingångs- och utgångspunkten) för varje fordon.

Figur 10. De fyra mätpunkterna.



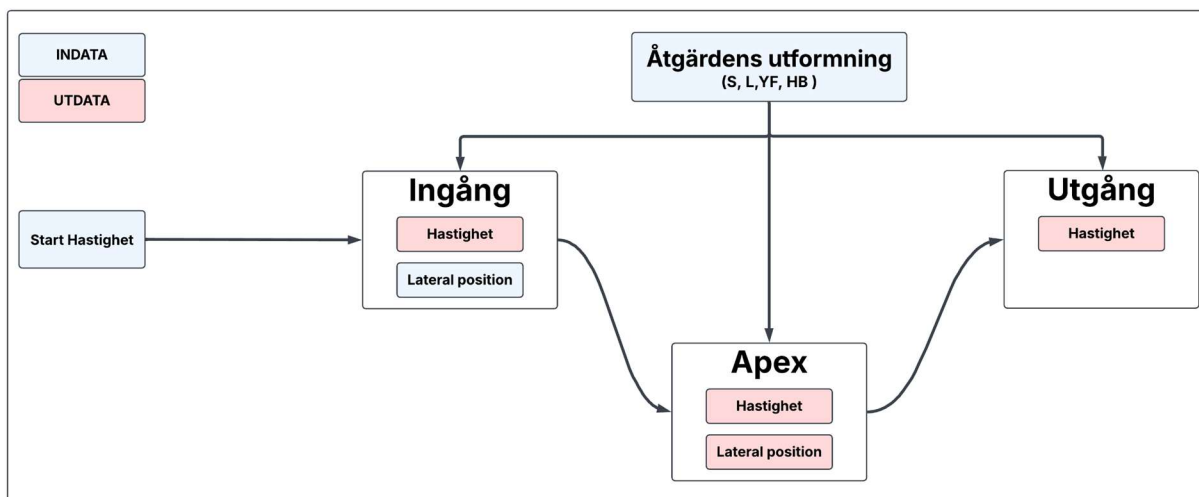
Figur 11 De fyra mätpunkterna

5.1 Statistisk analysmetod

De fyra mätpunkterna är sammankopplade och beror på varandra. Det är därför möjligt att statistiskt modellera alla fyra värdena i en och samma process (Figur 12). Hastigheten vid de olika punkterna kan bero på åtgärdens utformning men är också beroende på hastigheten vid det tidigare mätpunkten. Genom att modellera körningen på detta sätt så är det möjligt att undersöka hur fordonens hastighet beror på åtgärdens utformning under passagen. Det är också möjligt att studera vilka faktorer som är viktiga under vilka tillfällen i körningen samt hur stor påverkan dessa faktorer har.

Utifrån beskrivningen som använts för åtgärdernas utformning (sidoförskjutning (S) och längd (L),) så har ett ekvationssystem tagits fram (*ekvation 1–4*) för analysen. En binär variabel för den ytterligare förändringen (YF) (räcke på båda sidorna eller upphöjd trafikdelare) är inkluderad i båda system tillsammans med hastighetsbegränsningen (HB). Observera att den laterala positionen vid ingången inte har tagits med, eftersom den inte visade någon korrelation med de övriga parametrarna (se kapitel 6.3).

Parametrarna till varje ekvation har sedan uppskattats med hjälp av en linjär regressionsanalys gjord i Python (*statsmodels*) för båda platserna separat.



Figur 12 Beskrivning av hur de olika mätpunkterna beror på varandra samt åtgärdens utformning.

Ekvationssystem med sidoförskjutning, längd och sidoräcke på båda sidorna/upphöjd trafikdelare:

$$\text{Model 1A: } \text{Hastighet}_{Ingång} \sim \text{Hastighet}_{Innan \text{ åtgärd}} + L + S + YF + HB \quad (1)$$

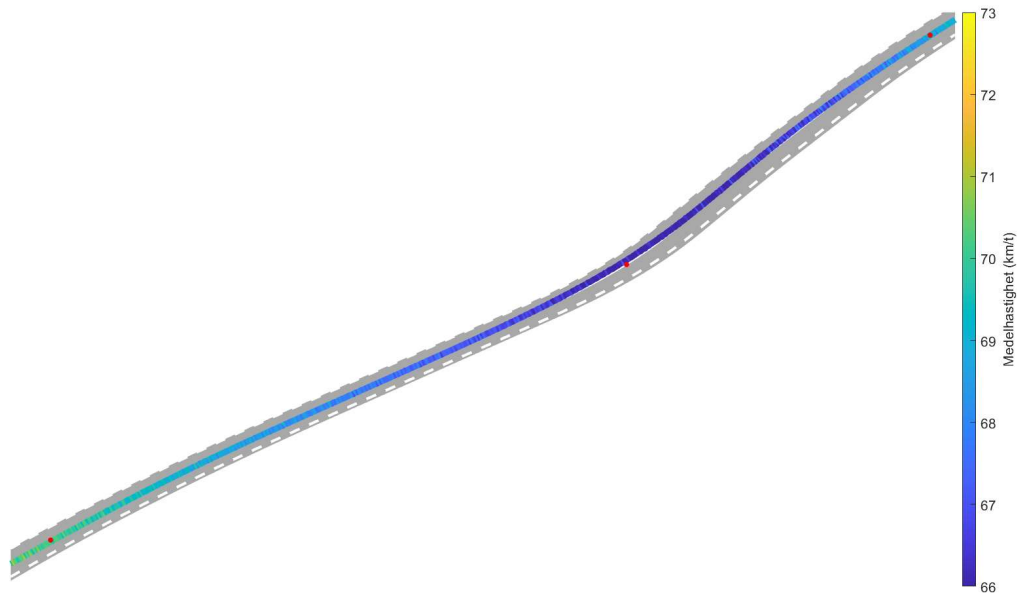
$$\text{Model 2A: } \text{Hastighet}_{Apex} \sim \text{Hastighet}_{Ingång} + \text{Lateral}_{Ingång} + L + S + YF \quad (2)$$

$$\text{Model 3A: } \text{Lateral pos}_{Apex} \sim \text{Hastighet}_{Ingång} + \text{Lateral}_{Ingång} + L + S + YF \quad (3)$$

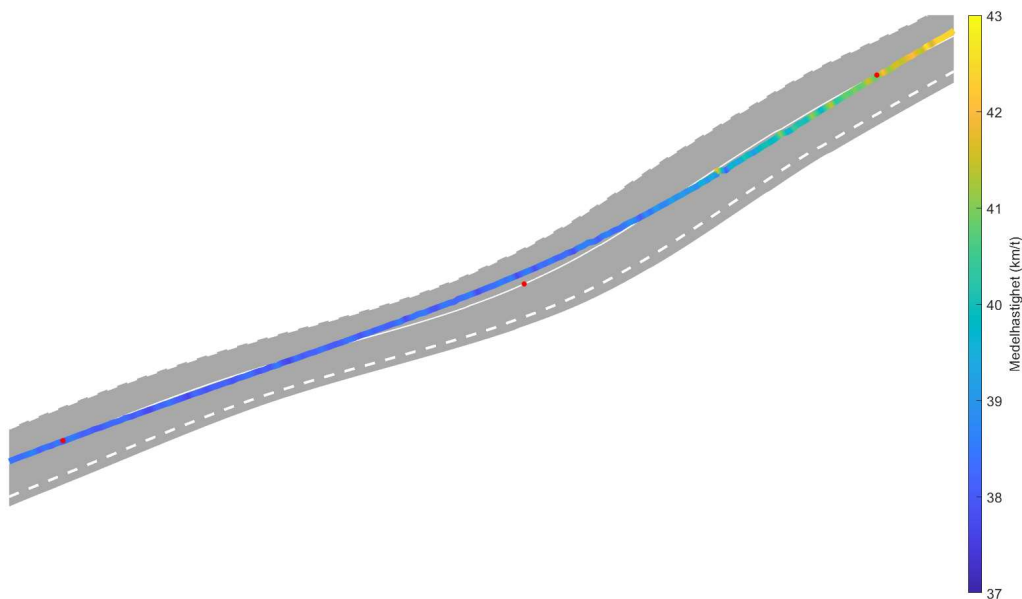
$$\text{Model 4A: } \text{Hastighet}_{Utgång} \sim \text{Hastighet}_{Apex} + \text{Lateral}_{Apex} + L + S + YF \quad (4)$$

6 Resultat

Resultatet ifrån experimentet består av totalt 197 körningar och är uppdelat i sex delar, 1) resultat och modellering av de huvudsakliga scenarierna, 2) visualiseringar av modellresultatet, 3) analys och visualisering av sidoförskjutning, 4) analys av den minsta radien för åtgärd och körspår, 5) jämförelse med videodata, och 6) resultatet ifrån extra scenariot Åsarna. Resultatet ifrån de huvudsakliga scenarierna består av en översikt av hastigheterna vid de olika mätpunkterna (Tabell 3) tillsammans med resultatet ifrån den statistiska analysen, se Kapitel 6.1. Figurena (Figur 13 och Figur 14) nedan visar genomsnittshastigheten på plats 1 och 2 (basläge).



Figur 13 Medelhastighet och körspår på plats 1 (basläge)



Figur 14 Medelhastighet och körspår på plats 2 (basläge)

Ett tydligt resultat ifrån Tabell 3 nedan är att den största hastighetsminskningen sker mellan startpunkten (cirka 200 meter innan åtgärd) och ingången till åtgärden. Den genomsnittliga hastigheten på plats 1 är 91 km/h innan åtgärd och 71 km/h vid ingången och motsvarande siffror på plats 2 är 62 km/h och 40 km/h. Det är också tydligt att den lägsta hastigheten uppmäts vid Apex (66 km/h på plats 1 och 40 på plats 2) och utgångshastigheten är lite högre (70 km/h på plats 1 och 43 km/h på plats 2).

Tabell 3. Genomsnittlig hastighet vid mätpunkterna, per plats och scenario

Plats	Scenario	Innan åtgärd		Ingång		Apex		Utgång	
		Medel-hastighet (km/h)	Standard-avvikelse (km/h)	Medel-hastighet	Standard-avvikelse	Medel-hastighet	Standard-avvikelse	Medel-hastighet	Standard-avvikelse
1	0	91	10	70	5	66	7	70	10
	1	94	12	74	14	62	10	69	13
	3	90	12	68	8	60	10	68	12
	5	90	9	72	7	65	9	66	9
	6	95	18	74	10	74	13	76	15
	7	87	9	69	4	69	7	72	10
2	0	62	9	40	8	39	7	43	7
	1	64	8	38	6	35	7	38	8
	3	62	11	39	9	39	9	41	11
	5	62	9	38	6	38	8	40	10
	6	60	13	45	9	47	10	49	12
	7	59	10	41	7	43	9	44	8

6.1 Den statistiska analysen

Tabell 4 och Tabell 5 nedanför visar parametrarna ifrån regressionsanalysen ifrån båda platserna och med båda ekvationssystemen. Det övervägande resultatet visar att modellen kan förklara mycket av hastighetsvalen inne i åtgärden men mindre ($R^2 \sim 0,5$) innan åtgärden. Resultatet visar också att platserna fungerar olika och olika paramaterar är relevanta vid olika mätpunkter. Till exempel är sidoförskjutningen på åtgärden relevant för att bedöma ingångshastigheten på plats 2 men inte på plats 1. Resultatet visar också att både sidoförskjutningen och åtgärdens längd har betydelse vid olika mätpunkter. Den extra förändringen (räcken och upphöjd trafikdelare) tyder på en hastighetssänkning, men skillnaden är inte statistiskt säkerställd.

Tabell 4 Regressionsparametrar – Plats 1

PLATS 1	Modell 1 - Ingångshastighet	Modell 2 - Apexhastighet	Modell 3 - Lateral position (Apex)	Modell 4 - Utgångshastighet
R ²	0,5	0,7	0,9	0,7
Intercept	0,003**	3,46	0,49	10,07
Starthastighet	0,52**			
Ingångshastighet		0,83**	-0,004	
Lateral position (Start)		4,49	-0,98**	
Apexhastighet				0,96**
Lateral position (Apex)				-1,27
<i>Geometrisk parametrar</i>				
Hastighetsbegränsning	0,24**			
YF	1,14	-1,84	0,16	-3,33
Längd	0,07	0,22**	0,00	-0,11*
Sidoförskjutning	0,13	-2,16**	0,92**	2,16

** P-värde $\leq 0,05$, * P-värde $\leq 0,1$

Tabell 5 Regressionsparametrar – Plats 2

PLATS 2	Modell 1 - Ingångshastighet	Modell 2 - Apexhastighet	Modell 3 - Lateral position (Apex)	Modell 4 - Utgångs- hastighet
R ²	0,5	0,9	0,9	0,9
Intercept	0,007**	-2,90	-0,029	3,20
Starthastighet	0,51**			
Ingångshastighet		1,01**	-0,01**	
Lateral position (Start)		5,83**	-1,23**	
Apexhastighet				0,98**
Lateral position (Apex)				-1,3
<i>Geometrisk parametrar</i>				
Hastighetsbegränsning	0,29*			
YF	-2,73	0,21	0,08	1,00
Längd	0,31	0,29**	0,03**	-0,01*
Sidoförskjutning	-2,98**	-1,61**	0,78**	0,90

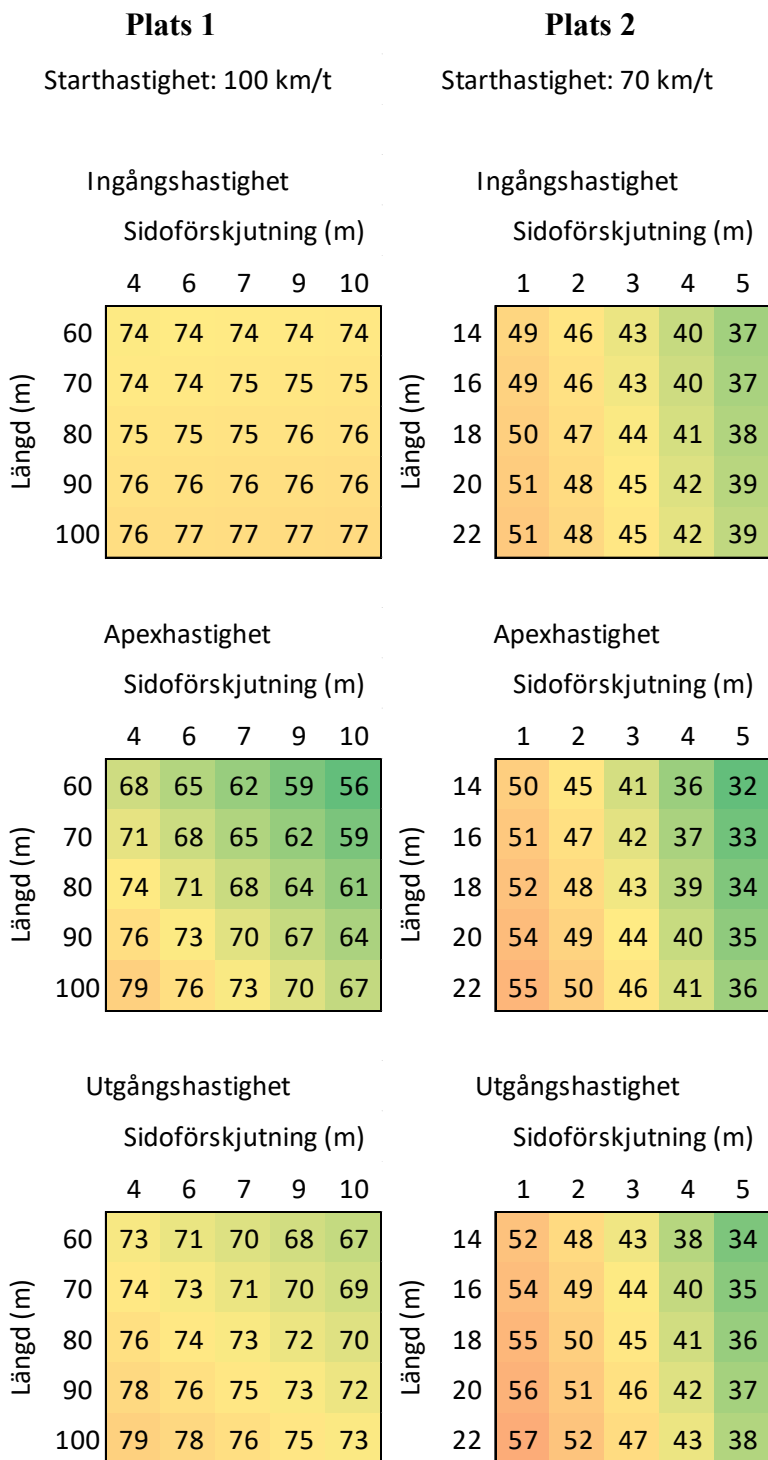
** P-värde <= 0,05, * P-värde <= 0,1

6.2 Visualisering av modellresultat

Modellerna gör det möjligt att uppskatta medelhastigheten vid ingången, apex och utgången utifrån en hastighet vid startpunkten innan åtgärden samt en uppskattad lateral position vid ingången.

Med hjälp av dessa modeller så är det också möjligt att skapa följande matriser som visar hur medelhastigheten beräknas bli utifrån en starthastighet som är lika med hastighetsbegränsningen och en genomsnittlig laterala position på 0,2 meter vid ingången (medelvärde ifrån experimentet - samma på båda platserna).

Tabellerna till höger visar hur modellerna beräknar hastigheten vid de olika mätpunkterna beroende på åtgärdens sidoförskjutning och längd. Notera att mycket av hastighetsminskningen sker innan fordonet tagit sig in i åtgärden. Därefter minskar hastigheten till apex och ökar sedan till utgångspunkten.



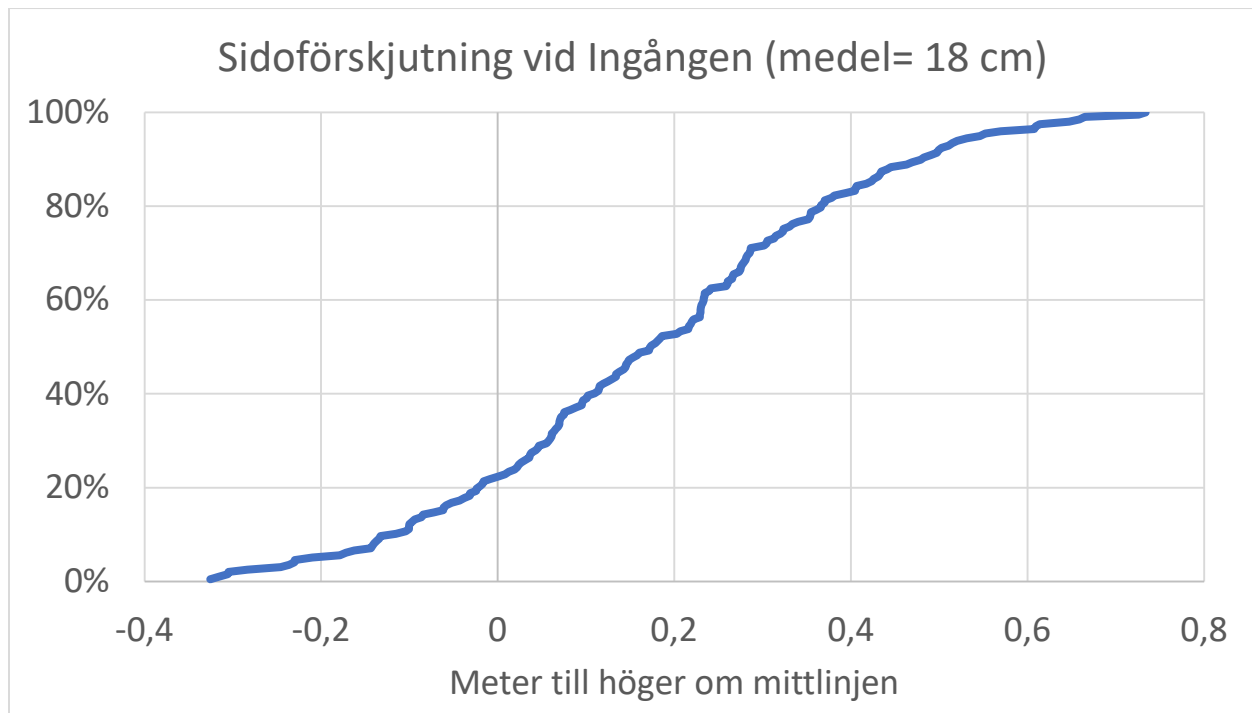
Hastighetsbegränsning: 70 km/t Hastighetsbegränsning: 40 km/t

Figur 15 Visualisering av modellerna med sidoförskjutning och längd

6.3 En djupare analys av sidoförskjutningen

Detta avsnitt beskriver hur personerna i körsimulatorn har kört igenom åtgärden med fokus på sidoförskjutningen och körradie vid olika mätpunkter. Figur 16 nedan visar fördelningen av körspårens laterala position vid ingången (medelvärde är cirka 0,2m), notera att detta mått inte korrelerat med utformningen och att denna data kommer ifrån alla scenarier tillsammans. Enligt medelresultatet så är förarens sidoförskjutning 91% av centrumlinjens sidoförskjutning på plats 1 och 74% på plats 2, Tabell 6 och

Tabell 7 nedan visar den faktiska sidoförskjutningen vid apex enligt modellresultatet.



Figur 16 Fördelningen av det laterala avståndet vid ingången till åtgärden

Tabell 6 Utformningens sidoförskjutning jämfört med det uppskattade genomsnittliga körspåret (Plats 1, vid APEX)

Utformningens sidoförskjutning (meter)	4	6	7	9	10
Körspårets sidoförskjutning (meter)	3,7	5,1	6,4	7,8	9,2

Tabell 7 Utformningens sidoförskjutning jämfört med det uppskattade genomsnittliga körspåret (Plats 2, vid APEX)

Utformningens sidoförskjutning (meter)	1	2	3	4	5
Körspårets sidoförskjutning (meter)	0,4	1,2	2,1	2,9	3,7

6.3.1 Upphöjd trafikdelare och räcke på båda sidorna

I den statistiska analysen uppvisade den upphöjda trafikdelaren på Plats 2 och förändringen med räcke på båda sidor på Plats 1 inga statistiskt signifikanta resultat på hastigheten vid de olika mätpunkterna. Det finns dock en skillnad med dessa förändringar när det kommer till sidoförskjutningen vid ingången till åtgärden. Tabell 8 nedan visar att personerna i experimentet har kört närmare centrumlinjen när dessa förändringar gjorts. Skillnaden är statistiskt signifikanta (p-värde ifrån t-test på 0,015 och 0,009) men är dock borta via apex punkten.

Tabell 8 Medelvärde av sidoförskjutning vid ingången beroende på den ytterligare förändringen (YF)

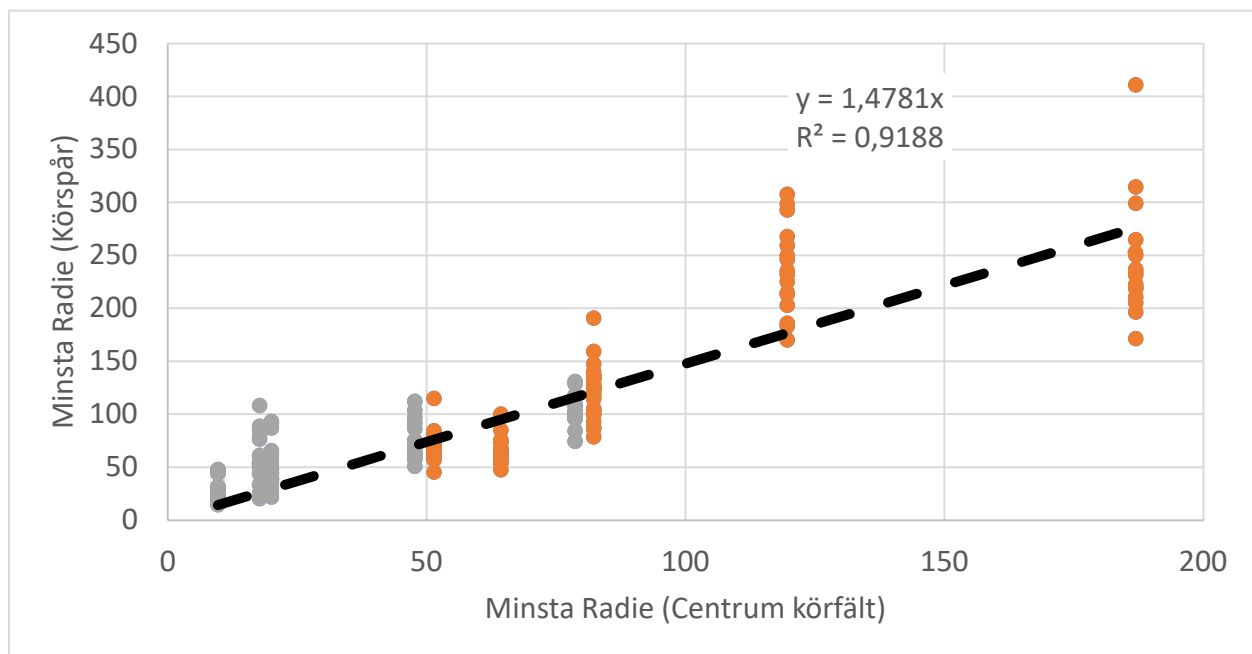
	Plats 1- utan räcke	Plats 1- med räcke	Plats 2-utan upphöjning	Plats 2-med upphöjning
Medelvärde - Sidoförskjutning vid Ingången	0,22 m	0,10 m	0,19 m	0,00 m

6.4 Minsta radien för åtgärd och körspår

Experimentet och analysen i denna rapport har fokuserat på åtgärdens längd och sidoförskjutning och inte på åtgärdens eller körspårens radier, se kapitel 7.4 för lite mer diskussion om varför. Målet med detta kapitel är att ändå genomföra en begränsad analys av om förhållandet mellan radien av åtgärderna och körspåren, med fokus på den minsta radien som identifierats per åtgärd och körspår.

Det finns flera olika sätt att uppskatta radier utifrån körspår, se t.ex. Hjort and Källgren (2015) eller Hammad et al. (2023), dessa algoritmer tar en mängd punkter och passar dessa till en matematiskt beskriven linje (spline) som i sin tur innehåller en radie. Figur 17 visar förhållandet mellan åtgärdernas minsta beräknade radie och körspårens minsta radie ifrån experimentet. Dessa radier har beräknats på samma sätt som i det tidigare projektet (Hammad et al., 2023). Varje linje (både centrum körfält och körspår) har delats upp i 5 meter långa segment, en spline har sedan passats till segmentens start- och slutpunkter via *referencePathFrenet* funktionen i MATLAB. Resultatet av denna beräkning är ett radievärde varje 5 meter, och figuren nedan visar alltså den minsta av dessa värden för både åtgärderna samt körspåren.

Resultatet ifrån analysen visar att körspåren generellt har en minsta radie som är 1,5 gånger större än åtgärdens minsta radie, detta verkar korrekt för båda platserna (och alla scenerierna) som testats i simulatören.



Figur 17 Förhållandet mellan den minsta radien på åtgärden och den minsta radien på körspåren. Dem orangea punkterna kommer ifrån plats1 och dem grå ifrån plats 2

Jämförelse med videodata

Video data ifrån båda platserna har jämförts med resultatet ifrån simulatören utifrån dagens utformning. Tabell 9 visar hastigheten ifrån de två källorna vid de olika mätpunkterna och Tabell 10 visar skillnaden i hastighet mellan video och simulator. Notera att mätpunkten ”innan åtgärd” har exkluderats då den inte syns i kameravyn.

Resultatet visar att skillnaden är ungefär ± 3 km/h på de flesta mätpunkterna med undantag för ingången på plats 1 där bilarna i filmen kör betydligt snabbare. Det är också intressant att personerna i simulatören verkar köra snabbare i utgången än de observerade fordonen. Detta kan tyda på att accelerationen ut ur åtgärden som syns i kapitel 6.1 och 6.2 inte är realistisk mot verkligheten.

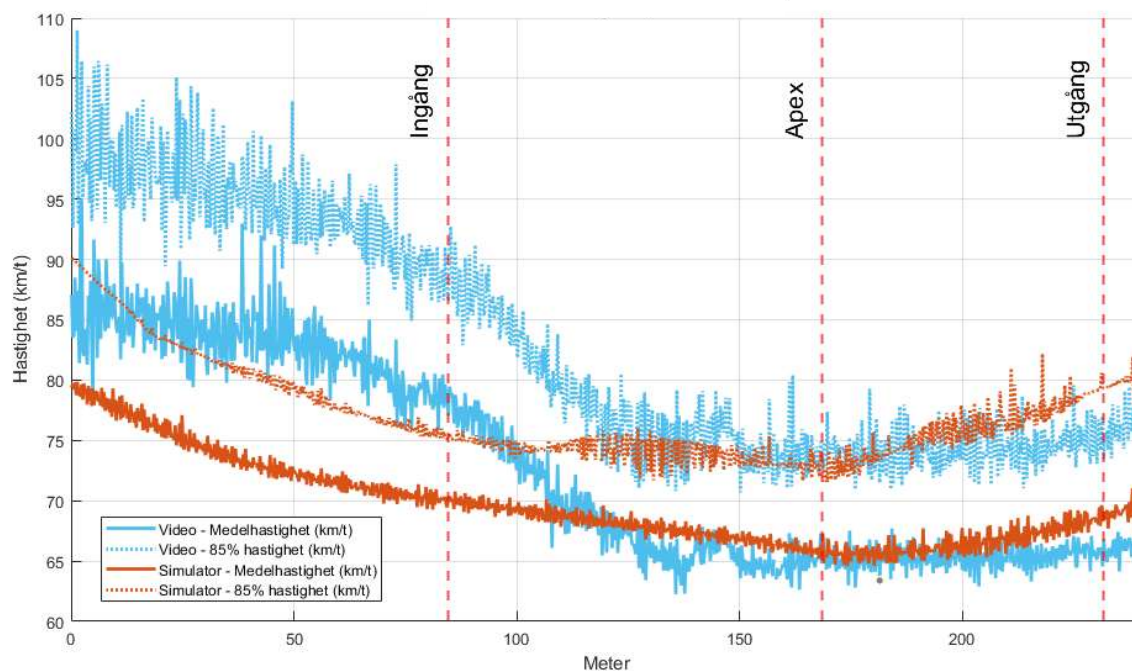
Tabell 9 Jämförelse med videodata

Plats - Typ av data	Mått	Antal datapunkter	Ingång	Apex	Utgång
Plats 1 - Simulator	Medelhastighet	16	70	66	70
	Standardavvikelse		5	7	10
	Hastighet - 85%		75	73	79
Plats 1 - Video	Medelhastighet	324	77	67	67
	Standardavvikelse		17	14	14
	Hastighet - 85%		91	76	77
Plats 2 - Simulator	Medelhastighet	16	40	39	43
	Standardavvikelse		8	7	7
	Hastighet - 85%		49	48	49
Plats 2 - Video	Medelhastighet	87	42	41	40
	Standardavvikelse		9	9	9
	Hastighet - 85%		51	50	49

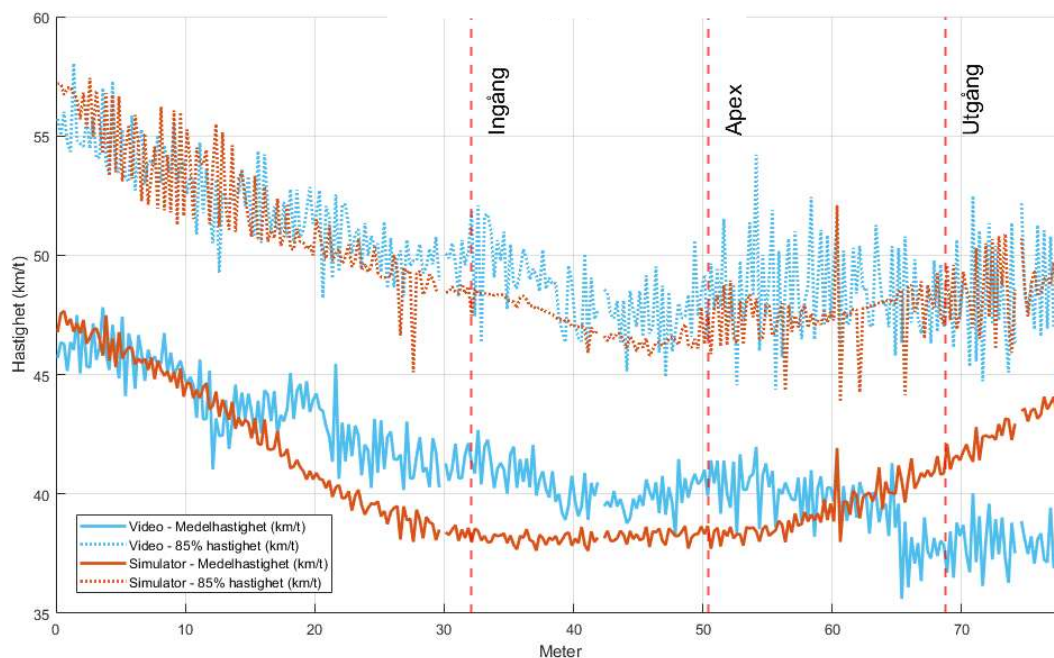
Tabell 10 Skillnad mellan simulatören och videodata, negativa värden innebär att försökspersonerna körde långsammare än i filmerna

	Skillnad: Simulator - Video	Ingång	Apex	Utgång
Plats 1	Medelhastighet	-6,1	-0,1	2,6
	Hastighet - 85%	-15,4	-2,7	2,2
Plats 2	Medelhastighet	-2,5	-1,6	2,8
	Hastighet - 85%	-2,8	-2,1	0,1

Figur 18 och Figur 19 nedan visar en mer detaljerad jämförelse av hastighetsprofilerna mellan simulatören och videofilmerna. På plats 2 verkar hastighetsprofilerna ganska jämförbara men det finns en tydlig skillnad på Plats 1 där video resultatet tyder på att inbromsningen sker senare än vad som gjorts i simulatören, även om hastigheten vid apex verkar densamma.



Figur 18 Jämförelse med videodata – Plats 1 – hela hastighetsprofilen



Figur 19 Jämförelse med videodata – Plats 2 – hela hastighetsprofilen

6.5 E45 Åsarna – ett extra scenario

Resultatet ifrån Åsarna visar hur försökspersonerna valde att köra igenom åtgärden. Resultatet (Tabell 11) visar att åtgärden lyckas sänka medelhastigheten till ungefär 60 km/h ifrån en hastighet innan åtgärden på ungefär 95 km/h.

Tabell 11 Plats Åsarna – Resultat ifrån simulatorn

Mått	Innan åtgärd	Ingång	Apex	Utgång
Medelhastighet (km/h)	96	68	60	61
Standardavvikelse (km/h)	9	9	10	9
Hastighet – 85% (km/h)	104	73	65	68

7 Diskussion

Resultatet ifrån experimentet har några tydliga slutsatser: 1) majoriteten av hastighetssänkningen sker innan fordonet hunnit fram till åtgärden. 2) hastigheten i båda typerna av åtgärder som studerats blir påverkade av åtgärdernas sidoförskjutning och längd, men denna effekt är mest synlig mellan ingången och apex positionen. 3) i simulatorn syns en tydlig ökning av hastigheten mellan apex och utgången, denna ökning syns dock inte i videodata och det är därför möjligt att detta resultat är en artefakt av simuleringen. 4) Den extra förändringen (räcken och upphöjd trafikdelare) tyder på en hastighetssänkning, men skillnaden är inte statistiskt säkerställd.

7.1 Majoriteten av hastighetssänkningen sker innan fordonet hunnit fram till åtgärden

Ett tydligt resultat ifrån simulator experimentet är att mycket av inbromsningen sker innan fordonet nått ingången till åtgärden. Jämförelsen med videofilmen tyder på att detta beteende kanske är starkare i simulatorn på Plats 1 men verkar stämma bra på Plats 2. Detta resultat, tillsammans med det statistiska resultatet som tyder på att denna del av processen är minst kopplat till de testade parametrarna ($R^2 \sim 0,5$) tyder på att mer förståelse om hur förarna väljer att sakta in innan åtgärden är en intressant fråga för fortsatta studier.

En enkel sak som inte testats i denna studie är hur höjdskillnaden på vägen innan åtgärden ser ut. Plats 1 ligger i en svag uppförsbacke och Plats 2 ligger i en svag nerförsbacke. Det är möjligt att detta förklarar varför sidoförskjutningen på åtgärden är statistisk signifikant på plats 2 men inte på plats 1. Hur åtgärderna ser ut när fordonen närmar sig kan också förklara varför längden på åtgärden inte påverkar hastigheten innan åtgärden eftersom det kan vara svårt att se detta när man närmar sig. Placering av vegetation, skyltar och andra faktorer som inte direkt påverkar körbanan hade också varit intressant att studera i framtiden.

Andra faktorer, som hur vägmarkeringarna ser ut eller själva åtgärden ser ut när ett fordon närmar sig kan också vara intressant att studera för att bättre förstå denna inbromsning. Exempel på sådana åtgärder kan vara så kallade draktänder (Lantieri et al., 2015) eller andra liknande vägmarkeringar (Galante et al., 2010; S. Martin-Castresana, 2024).

7.2 Hastigheten i båda typerna av åtgärder blir påverkade av åtgärdernas sidoförskjutning och längd

Sidoförskjutningen och längden påverkar hastigheten på båda platserna mellan ingången och apex positionen på åtgärden. Dessutom påverkades hastigheten innan åtgärden mycket av sidoförskjutningen på Plats 2 men inte alls på Plats 1. Hur sidoförskjutningen och längden påverkas syns tydligast i Figur 14, men en sammanfattande observation är att på Plats 1 så minskar hastigheten med cirka 2 km/h om man ökar sidoförskjutningen med 1 meter och hastigheten minskar med 0,3 km/h för varje meter kortare man utformar åtgärden. På plats 2 är motsvarande siffror 5 km/h lägre hastighet per meter sidoförskjutning och 0,6 km/h lägre hastigheten per meter kortare åtgärd.

7.3 I simulatorn syns en tydlig ökning av hastigheten mellan apex och utgången

Ifrån modellerna och i visualiseringen i Figur 14 syns hur hastigheten ökar mellan apex positionen och utgången av åtgärden. Denna skillnad syns inte ifrån resultatet av videoanalysen vilket tyder på att denna höjning i utgångshastighet är en artefakt av simuleringen. En potentiell förklaringen till detta är att scenariot som försökspersonerna körde igenom tog slut ganska direkt efter åtgärden

och det är möjligt att detta gjorde att de inte körde ”normalt” vid slutet av åtgärden. Oavsett anledning så tyder jämförelsen på att resultatet vid apex punkten är det mest trovärdiga och det är ett rimligt antagande att använda hastigheten vid apex som en bättre bedömning av utgångshastighet i stället.

7.4 Koppling till radier i Vägars och gators utformning

I VGU beskrivs de åtgärder som studerats i denna rapport i huvudsak med tre radier, och dessa radier har inte använts i rapporten. Det har under projekt gjorts ett antal försök att beräkna dessa radier och att använda dem i resultatet av rapporten. Vi har dock stött på problem med att beräkna realistiska radier utan tillgång till utformningarnas ritningar, programmet som användes för att skapa de digitala modellerna är inte heller uppbyggt på samma sätt som traditionella vägritningsprogram och har inte tillgång till samma kontroll kopplad till olika typer av kurvor. Vi valde därför att enbart genomföra den begränsade radieanalysen som finns i kapitel 6.4 med enbart de minsta radierna. Det är värt att notera att även dessa minsta radier kan vara skilda ifrån hur dessa skulle återspeglas på ritningar, det är dock rimligt att anta att förhållandet mellan radierna (generellt 1,5 gånger större körspår jämfört men åtgärden) borde vara mer robust eftersom samma metod används för hela analysen.

Det är också oklart hur de tre radier som beskrivs i VGU kapitel 7.6.2. (Trafikverket, 2024) är kopplade till utformningens radier då dessa radier är kopplade till det ”genaste personbilskörspåret” vilka kommer att vara större än åtgärdens radier. Som beskrivet i kapitel 6.4 så finns det också flera olika sätt att beräkna radier utifrån en känd trajektoria, dessa metoder kommer att kunna beräkna än radie men det är okänt hur bra dessa återspeglar ritningarna för dessa vägar, och hur bra ritningarna i sin tur återspeglar vägarnas utformning.

7.5 Rekommendationer för utformning utifrån modellresultatet

Utifrån modellresultatet kan följande rekommendationer skapas för utformningen av de två undersökta utformningstyperna (Figur 20);

- Plats 1: Större utformning med en hastighetsförändring ifrån 100 km/h till 70 km/h)
- Plats 2: Mindre utformning med en hastighetsförändring ifrån 70 km/h till 40 km/h).

I tabellerna nedan har modellresultatet (medelhastigheten) använts för att beräkna 85-percentilshastigheten. Den har satts till 115 % av medelhastigheten på plats 1 och 121 % på plats 2, baserat på simulatorresultaten. Detta motsvarar alltså vad 85%-hastigheterna var i experimentet på plats 1 och 2.

Grön färg indikerar att den uppskattade 85%-hastigheten är under hastighetsbegränsningen, gul färg visar det samma för medelhastigheten och röd färg indikerar att medelhastigheten beräknas bli över hastighetsbegränsningen. Modellberäkningarna är baserade på att fordonen håller hastighetsbegränsningen innan åtgärden och mätpunkten är apex positionen.

Plats 1

Hastighet (85%)

Sidoförskjutning (m)

467910

Längd (m)

607875716864

708278747167

808581787471

908884817774

1009188848077

Plats 2

Hastighet (85%)

Sidoförskjutning (m)

12345

Längd (m)

146155494438

166256514540

186458524741

206559544843

226661555044

Figur 20 Rekommendationer för utformningen för de två åtgärderna. Grön markering visar att den uppskattade 85%-hastigheten är under hastighetsbegränsningen, gul markering visar att medelhastigheten beräknas vara under hastighetsbegränsningen. Röd markering innebär att medelhastigheten beräknas bli över hastighetsbegränsningen.

8 Referenslista

- Akbari, A., & Haghighi, F. (2020). Traffic calming measures: An evaluation of four low-cost TCMs' effect on driving speed and lateral distance. *IATSS Research*, 44(1), 67-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2019.07.002>
- Aydin, M. M., Akgöl, K., & Günay, B. (2019). The investigation of different chicane applications in traffic calming studies using driving simulator [Article]. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(4), 1793-1805. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.571558>
- Bruck, L., Haycock, B., & Emadi, A. (2021). A Review of Driving Simulation Technology and Applications. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 2, 1-16. <https://doi.org/10.1109/OJVT.2020.3036582>
- Galante, F., Mauriello, F., Montella, A., Perneti, M., Aria, M., & D'Ambrosio, A. (2010). Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1585-1594. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.017>
- Hammad, S., Johnsson, C., Laureshyn, A., & Norén, H. (2023). *Utvärdering av hastighetssäkrade åtgärder på landsbygdsvägar*. L. University. <https://portal.research.lu.se/sv/publications/utv%C3%A4rdering-av-hastighetss%C3%A4krade-%C3%A5tg%C3%A4rder-p%C3%A5-landsbygdsv%C3%A4gar>
- Hjort, M., & Källgren, L. (2015). *A method for road description based on map data and road measurements*. VIP.
- John A. Molino, B. J. K., Megan B. Hermosillo,, & Erin E. Dagnall, a. J. F. K. (2010). *Simulator Evaluation of Low-Cost Safety Improvements on Rural Two-Lane Undivided Roads: Nighttime Delineation for Curves and Traffic Calming for Small Towns*. F. H. Administration.
- Johnsson, C., Aliaksei, L., & and D'Agostino, C. (2025). Speed-securing measures on rural roads in Sweden: An observational study. *Traffic Injury Prevention*, 26(1), 76-82. <https://doi.org/10.1080/15389588.2024.2389200>
- Lantieri, C., Lamperti, R., Simone, A., Costa, M., Vignali, V., Sangiorgi, C., & Dondi, G. (2015). Gateway design assessment in the transition from high to low speed areas. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 34, 41-53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.07.017>
- Qin, Y., Wu, Y., & Guo, M. (2024). A Simulator Study on the Driving Impacts of Four Speed-Calming Measures at Unsignalized Intersections. *Applied Sciences*, 14(9), 3542. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/9/3542>
- S. Martin-Castresana, S. H., G. Serrano & M. Castro (2024). *Effect of traffic-calming countermeasures on vehicle speed near a pedestrian crossing. A driving simulator study* 8th International Conference on Road and Rail Infrastructure, 15-17 May 2024, Cavtat, Croatia
- Trafikverket. (2024). *Vägars och gators utformning* (TRVINFRA-00396). Trafikverket. <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/6f24d1e8-81bf-4e7a-948a-200e71c92f66>

- Voinea, G. D., Boboc, R. G., Buzdugan, I. D., Antonya, C., & Yannis, G. (2023). Texting While Driving: A Literature Review on Driving Simulator Studies. *Int J Environ Res Public Health*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054354>
- Zhang, S., Zhao, C., Zhang, Z., & Lv, Y. (2025). Driving simulator validation studies: A systematic review. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 138, 103020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.103020>

ABOUT AUTHORS



Carl Johnsson är biträdande universitetslektor med en bakgrund inom trafiksäkerhetsforskning. Hans arbete fokuserar på videoanalys, trajektorie-data och beteendeanalys för att förstå och förbättra interaktionen mellan trafikanter i komplexa trafikmiljöer.



Hampus Norén jobbar som projektassistent och har en tvärvetenskaplig bakgrund inom spelutveckling och trafiksäkerhetsforskning.



LUND
UNIVERSITY

DEPARTMENT OF TECHNOLOGY AND SOCIETY
FACULTY OF ENGINEERING, LTH
LUND UNIVERSITY
SWEDEN