

# Cyklisters interaktion med infrastrukturen: Metoder för riskmätning och utformning av hinder

CARL JOHNSON, JENNY ERIKSSON, ZHANKUN CHEN,  
KEVIN GILDEA OCH ALIAKSEI LAURESHYN



# **Cyklisters interaktion med infrastrukturen: Metoder för riskmätning och utformning av hinder**

**Carl Johnsson, Jenny Eriksson, Zhankun Chen,  
Kevin Gildea och Aliaksei Laureshyn**

**2026**

## Publikationsuppgifter

### Titel

Cyklisters interaktion med infrastrukturen:  
Metoder för riskmätning och utformning av hinder

### Författare

Carl Johnsson, Lunds universitet  
Jenny Eriksson, VTI  
Zhankun Chen, Lunds universitet  
Kevin Gildea, Lunds universitet  
Aliaksei Lareshyn, Lunds universitet

### Utgivare

Institution för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola, LTH  
Lunds universitet  
[www.tos.lth.se](http://www.tos.lth.se)

### Språk

Svenska

### Finansierare

Trafikverket

### Projektnamn

Cyklisters singelolyckor som följd av misslyckade interaktioner (TRV 2021/53321)

### Projektledare

Carl Johnsson

### Kvalitetsgranskare

Aliaksei Lareshyn

### Nyckelord

Trafiksäkerhet, cykel,  
fallolyckor, singelolyckor

Denna rapport har utgetts endast i elektronisk form.

## Publication information

### Title

Cyclists' interaction with infrastructure:  
Methods for risk assessment and obstacle design

### Author(s)

Carl Johnsson, Lund university  
Jenny Eriksson, VTI  
Zhankun Chen, Lund university  
Kevin Gildea, Lund university  
Aliaksei Lareshyn, Lund university

### Publisher

Department of Technology and Society,  
Faculty of Engineering, LTH  
Lund University, Sweden  
[www.tos.lth.se/english](http://www.tos.lth.se/english)

### Language

Swedish

### Financed by

Swedish Transport Administration

### Project

Cyclists' single accidents resulting from failed interactions (TRV 2021/53321)

### Project coordinator

Carl Johnsson

### Quality reviewer

Aliaksei Lareshyn

### Keywords

Traffic safety, cycling, single accidents, bicycle falls

This report is available only in electronic version.

### **CRedit contribution statement**

**Carl Johnsson:** Data curation, Methodology, Project administration, Software, Visualization, Writing—original draft, Writing—review & editing. **Jenny Eriksson:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Resources, Visualization, Writing—original draft, Writing—review & editing. **Zhankun Chen:** Formal analysis, Methodology, Writing—original draft. **Aliaksei Lareshyn:** Conceptualization, Funding acquisition, Investigation. **Kevin Gildea:** Conceptualization, Methodology, Project administration

### **Data availability**

The data are available on request to the authors.

### **Declaration of competing interests**

The authors report no competing interests.

### **Declaration of generative AI use in writing**

Generative AI tools have been used to translate sections into Swedish and to improve language in some sections of the report. AI have also been used to create the summary of the report.

### **Ethics statement**

The methods for data collection in the present study have been approved by Swedish Ethical Review Authority (Decision 2023-07649-01).

## Summary

Single-bicycle accidents currently constitute the largest traffic safety problem for cyclists in Sweden and account for a majority of serious injuries. The design of the infrastructure often plays a crucial role in these accidents, either due to lack of maintenance or physical obstacles that create instability.

The overall objective of this project has been to increase knowledge regarding how infrastructure affects the risk of fall accidents and how to design safer cycling environments. The project is divided into two studies focusing on risk analysis and physical design, respectively.

**Study 1** focused on developing and testing a method for proactive risk assessment using video analysis and Extreme Value Theory (EVT). By analyzing cyclists' movement patterns at three locations in Lund, the risk of two specific types of instability could be quantified: the risk of pitching over the handlebars (*pitch-over*) and the risk of skidding (*skidding*). The results demonstrate that the method can successfully identify risk-prone segments within the infrastructure, enabling targeted measures before accidents occur.

**Study 2** investigated the design of chicanes (bicycle barriers) through an experiment at VTI's cycle test track. A total of 37 cyclists with various types of bicycles (including cargo bikes and velomobiles) tested twelve different combinations of gate distances and overlaps. The study shows that current recommendations for chicanes force cyclists to slow down to speeds below 10 km/h, which is the threshold where a bicycle becomes unstable. Furthermore, larger bicycles have significant difficulties passing through the current standard design.

**Conclusions and recommendations:** The project concludes that bicycle infrastructure must be designed to maintain bicycle stability. For kissing gates intended for speed reduction, a new design with a longitudinal distance of 2.5 meters and an overlap of 0.5 meters is recommended. This configuration allows for a stable passing speed while still dampening the speed of fast cyclists. The report also highlights the potential of using video-based analysis as a tool to systematically evaluate and improve traffic safety for cyclists.

## Sammanfattning

Cyklisters singelolyckor utgör idag det största trafiksäkerhetsproblemet för cyklister i Sverige och står för en majoritet av de allvarliga skadorna. Utformningen av infrastrukturen spelar ofta en avgörande roll i dessa olyckor, antingen genom bristande underhåll eller genom fysiska hinder som skapar instabilitet.

Det övergripande syftet med detta projekt har varit att öka kunskapen om hur infrastrukturen påverkar risken för fallolyckor och hur vi kan utforma säkrare cykelmiljöer. Projektet är uppdelat i två delstudier med fokus på riskanalys respektive fysisk utformning.

Delstudie 1 fokuserade på att utveckla och testa en metod för proaktiv riskbedömning med hjälp av videoanalys och extremvärdesteori (EVT). Genom att analysera cyklisters rörelsemönster på tre platser i Lund kunde risken för två specifika typer av instabilitet kvantifieras: risken att slå över styret (pitch-over) och risken att få sladd (skidding). Resultaten visar att metoden framgångsrikt kan identifiera riskfyllda segment i infrastrukturen, vilket möjliggör riktade åtgärder innan olyckor inträffar.

Delstudie 2 undersökte utformningen av cykelfällor genom ett experiment på VTI:s cykeltestbana. Totalt 37 cyklister med olika typer av cyklar (inklusive lådcyklar och velomobiler) fick testa tolv olika kombinationer av grindavstånd och överlapp. Studien visar att dagens rekommendationer för cykelfällor tvingar cyklister till hastigheter under 10 km/h, vilket är gränsen för när en cykel blir instabil och vinglig. Dessutom har större cykelekipage svårt att passera dagens standardutformning.

Slutsatser och rekommendationer: Projektet konkluderar att cykelinfrastruktur måste utformas för att bibehålla cykelns stabilitet. För cykelfällor som syftar till hastighetsdämpning föreslås en ny utformning med 2,5 meters längdavstånd och 0,5 meters överlapp, vilket tillåter en stabil passagehastighet samtidigt som det dämpar farten för snabba cyklister. Rapporten lyfter även potentialen i att använda videobaserad analys som ett verktyg för att systematiskt utvärdera och förbättra trafiksäkerheten för cyklister.

## Innehållsförteckning

|          |                                                                                            |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduktion .....</b>                                                                  | <b>9</b>  |
| 1.1      | Mål och forskningsfrågor .....                                                             | 9         |
| 1.2      | Rapportens upplägg .....                                                                   | 9         |
| <b>2</b> | <b>Fallolyckor i Sverige .....</b>                                                         | <b>10</b> |
| 2.1      | En analys ifrån Strada .....                                                               | 10        |
| 2.2      | Allmänt om cykelolyckor .....                                                              | 11        |
| 2.3      | Singelolyckor — fasta föremål .....                                                        | 11        |
| 2.4      | Platstyp — fasta föremål .....                                                             | 12        |
| 2.5      | Cykelolyckor — väjt eller kolliderat .....                                                 | 12        |
| 2.6      | Platstyp — väjt eller kolliderat .....                                                     | 13        |
| <b>3</b> | <b>Delstudie 1: Risk för fallolyckor och observationer på utvalda platser i Lund .....</b> | <b>15</b> |
| 3.1      | Cyklande, balanskontroll och fallrisk .....                                                | 15        |
| 3.1.1    | <i>Mått och faktorer relevanta för risk att ramla .....</i>                                | <i>15</i> |
| 3.1.2    | <i>Uppskatta lutning .....</i>                                                             | <i>16</i> |
| 3.1.3    | <i>Videoanalys och fallrisk .....</i>                                                      | <i>16</i> |
| 3.2      | Två mått på risk för fallolyckor .....                                                     | 17        |
| 3.2.1    | <i>Olyckor där man slår över styret (Pitch-over Falls) .....</i>                           | <i>17</i> |
| 3.2.2    | <i>Sladda ut i en kurva (Skidding out while tilting on a bend) .....</i>                   | <i>17</i> |
| 3.2.3    | <i>Beräkningar och mått ifrån videodata .....</i>                                          | <i>18</i> |
| 3.3      | Säkerhetsanalys med extremvärdesteori .....                                                | 19        |
| 3.4      | Platser och data .....                                                                     | 20        |
| 3.5      | Resultat .....                                                                             | 21        |
| 3.5.1    | <i>Rörelser och segmentering .....</i>                                                     | <i>21</i> |
| 3.5.2    | <i>Risken för obalans på cykel .....</i>                                                   | <i>22</i> |
| 3.6      | Diskussion .....                                                                           | 25        |
| <b>4</b> | <b>Delstudie 2 - Utformning av grindar, ett experiment .....</b>                           | <b>26</b> |
| 4.1      | Introduktion .....                                                                         | 26        |
| 4.2      | Experiment och data .....                                                                  | 27        |
| 4.2.1    | <i>Rekrytering .....</i>                                                                   | <i>28</i> |
| 4.2.2    | <i>Genomförande .....</i>                                                                  | <i>29</i> |
| 4.2.3    | <i>Databearbetning .....</i>                                                               | <i>29</i> |
| 4.3      | Resultat – deskriptiv .....                                                                | 29        |
| 4.3.1    | <i>Analys av enkäten och hastighetsdata .....</i>                                          | <i>30</i> |
| 4.3.2    | <i>Kom igenom/klev av vid passering av fällorna .....</i>                                  | <i>30</i> |
| 4.3.3    | <i>Kränglig att passera fällorna .....</i>                                                 | <i>30</i> |
| 4.3.4    | <i>Omdömen av fällorna .....</i>                                                           | <i>31</i> |
| 4.3.5    | <i>Orolig vid passerande av fällorna .....</i>                                             | <i>32</i> |
| 4.3.6    | <i>Synpunkter från cyklisterna .....</i>                                                   | <i>32</i> |
| 4.4      | Resultat hastighet och omdöme .....                                                        | 33        |
| 4.5      | Diskussion .....                                                                           | 35        |
| 4.6      | Rekommendation .....                                                                       | 37        |
| <b>5</b> | <b>Gemensam diskussion och slutsats .....</b>                                              | <b>38</b> |
| <b>6</b> | <b>Referenser .....</b>                                                                    | <b>39</b> |

|          |                      |           |
|----------|----------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>Bilaga 1.....</b> | <b>41</b> |
| <b>8</b> | <b>Bilaga 2.....</b> | <b>43</b> |

# 1 Introduktion

Denna rapport handlar om fallolyckor på cykel och hur vi kan både mäta risken för fallolyckor och hur vi kan/bör designa våra gaturum för att minska risken för framtida fallolyckor.

Cyklisters singelolyckor, ofta kallade fallolyckor, utgör det absolut största trafiksäkerhetsproblemet för denna trafikantgrupp (Amin et al., 2021). Globalt sett står singelolyckor för en majoritet av de skador som kräver sjukhusvård eller behandling vid akutmottagningar, med andelar som varierar mellan 48 och 95 procent (Algurén & Rizzi, 2022). I Sverige har singelolyckor identifierats stå för 80 procent av alla allvarligt skadade cyklister. Under sexårsperioden 2014–2019 registrerades i Sverige totalt 11 195 allvarligt skadade cyklister, varav 8 862 (79%) var i singelolyckor (Eriksson et al., 2022).

Fallolyckor på cykel uppstår oftast genom en kombination av faktorer kopplade till vägmiljö, cyklist och cykel. Infrastrukturen spelar en central roll: ojämna eller hala ytor, is, grus, löv, kantstenar, stolpar och smala cykelbanor ökar risken för att cyklister tappar balansen. Studier visar att omkring 60 procent av singelolyckorna orsakas av halka och ytterligare en fjärdedel av brister i vägutformning eller underhåll (Olesen et al., 2021). Äldre cyklister och användare av elcyklar är särskilt utsatta på grund av sämre balans, högre vikt på cykeln och ökad sårbarhet vid fall (Utriainen et al., 2023).

Även mänskliga och beteendemässiga faktorer bidrar. Alkoholpåverkan, distraktion och plötsliga undanmanövrer är vanliga utlösande orsaker, ofta i samspel med bristande infrastruktur (European-Commission, 2024). Majoriteten av dessa olyckor sker i stadsmiljöer med tät trafik och många hinder (Schepers et al., 2017).

## 1.1 Mål och forskningsfrågor

Det övergripande målet med denna studie är att bättre förstå och analysera fallolyckor på cykel utifrån existerande olycksdata. Detta har resulterat i två olika delstudier med olika fokus och frågeställningar:

- Delstudie 1 – Hur kan vi mäta risken för fallolyckor utifrån videodata

Denna studie fokuserar på hur video-data kan användas för att analysera risken för fallolyckor. Detta inkluderar både en beskrivning av den framtagna metoden samt ett test av metoden på 3 utvalda platser i lund.

- Delstudie 2 – Design av cykelinfrastruktur

Denna studie fokuserar på utformning av cykelfällor och presenterar resultatet ifrån ett experiment där deltagande cyklar har testat och bedömt olika design på cykelfällorna.

## 1.2 Rapportens upplägg

Rapporten består av först en översikt av fallolyckor på cykel i Sverige, och är därefter uppdelad i Delstudie 1 och Delstudie 2 baserat på forskningsfrågorna. Varje delstudie presenteras som en delrapport med en egen introduktion, metod, resultat, diskussion och slutsats. Rapporten avslutas med en gemensam diskussion och slutsats.

## 2 Fallolyckor i Sverige

### 2.1 En analys ifrån Strada

Underlaget i denna rapport bygger på datamaterial från olycksdatabasen Strada som infördes år 2003. Strada är ett informationssystem för insamlat data om skador och olyckor inom hela vägtransportsystemet och tillhandahålls av Transportstyrelsen. Strada bygger på uppgifter från både polisen och sjukvården. Dessa två källor är särredovisade i Strada, men med möjlighet till samkörning och jämförelser. Polisens rapportering är rikstäckande och utgör även grunden för den officiella statistiken för svenska vägtrafikolyckor och som kommer till den för kännedom. Sjukvårdsdata baseras på inrapportering från akutsjukhus och medverkan var under den valda perioden (2011–2016) frivillig för såväl sjukhusen som för den skadade. Sedan 2016 är även sjukvårdsrapporteringen rikstäckande. Underlaget från sjukvården baseras till stor del på en enkät, den så kallade trafikskadejournalen som patienten får fylla i om skadan har skett i vägtrafikmiljö. Dessutom görs en samkörning med skadebedömningen som sjukvårdspersonalen gör.

Det förekommer olika typer av bortfall i Strada sjukvård. Det kan handla om exempelvis att akutsjukhusen inte varit anslutna eller att patienten inte vill fylla i enkäten. Det finns även information om att anslutna sjukhus har en inrapportering som varierar över tid samt att rapporteringsgraden skiljer sig åt mellan olika sjukhus. I Strada bortfallshandbok (Transportstyrelsen, 2018) finns mer ingående beskrivet om olika typer av bortfall och bedömd storlek av dessa.

Uttaget gjordes för åren 2014–2019 består av knappt 60 000 cyklister som skadats och drygt 11 000 som blev allvarligt skadade. I tabellen nedan visas fördelningen av olyckstyp och det är liknande fördelning för båda dessa grupper där singelolyckor är den vanligast.

*Tabell 1. Antal skadade och allvarligt skadade cyklister uppdelat per olyckstyp. Strada sjukvård, 2014–2019.*

| Olyckstyp                | Antal skadade | Allvarligt skadade |
|--------------------------|---------------|--------------------|
| Cyklist-singelolycka     | 45 919 (78%)  | 8 862 (79%)        |
| Cyklist-motorfordon      | 6 708 (11%)   | 1 191 (11%)        |
| Cyklist-cyklist/mopedist | 4 998 (9%)    | 949 (8%)           |
| Cyklist-fotgängare       | 512 (1%)      | 108 (1%)           |
| Cyklist-övrigt           | 405 (1%)      | 84 (1%)            |
| Totalt                   | 58 542 (100%) | 11 195 (100 %)     |

Genom att läsa igenom och klassa de olika olycksorsakerna från händelsebeskrivningen som angivits i enkäten kan åtgärder identifieras för att minska antalet skadade cyklister. Dock är det tidskrävande att läsa igenom alla händelsebeskrivningar och därför drogs ett urval. Urvalet gjordes genom ett obundet slumpmässigt urval som drogs proportionerligt per år, det vill säga lika många blev dragna per år inom varje olyckstyp. Urvalsstorleken varierade mellan olyckstyperna, där singelolyckor bestod av 2 000 skadade (den vanligaste olyckstypen), kollision med motorfordon 800 skadade (näst vanligaste) följt av kollision med cykel/moped fick 500 skadade. I övriga grupper gjordes ett totalturval. Notera att det inte går att genomföra slumpningen på de allvarligt skadade eftersom dessa baseras på en framtida medicinsk invaliditet på minst en procent och är ett beräknat värde per skadad person.

Tabell 2. Antal skadade cyklister per olyckstyp som ingår i det statistiska urvalet. Fetmarkerade värden innebär ett totalurval. Strada sjukvård, 2014–2019.

| Olyckstyp                | Cykel      |
|--------------------------|------------|
| Cyklist-singelolycka     | 2 000      |
| Cyklist-motorfordon      | 800        |
| Cyklist-cyklist/mopedist | 500        |
| Cyklist-fotgängare       | <b>512</b> |
| Cyklist-övrigt           | <b>405</b> |
| Totalt                   | 4 217      |

## 2.2 Allmänt om cykelolyckor

De flesta skadas allvarligt i en singelolycka (nästan 8 av 10), följt av kollision med motorfordon (lite drygt 1 av 10), kollision med annat cyklist/mopedist (knappt 1 av 10). Kollision med fotgängare och övrigt var en procent vardera. (Eriksson et al., 2022)

Närmare hälften av alla cyklister som skadades allvarligt i en singelolycka färdades på en gång- och cykelväg, trottoar eller gångbana. Nära fyra av tio singelolyckor skedde på gatu- eller vägsträcka medan knappt en av tio skedde i korsningspunkter. Kollisioner med motorfordon inträffade däremot i mer än vartannat fall i korsningspunkter. En av tre kollisioner inträffade på gatu- eller vägsträcka. Cyklisters kollisioner med andra cyklister eller med mopedister skedde i mer än hälften av fallen på gång- och cykelväg. Cyklisters kollisioner med fotgängare var få, men skedde mestadels på gång- och cykelväg. Cyklister som kolliderar med övrigt har den högsta andelen allvarligt skadade på gatu- eller vägsträcka. (Eriksson et al., 2022)

## 2.3 Singelolyckor — fasta föremål

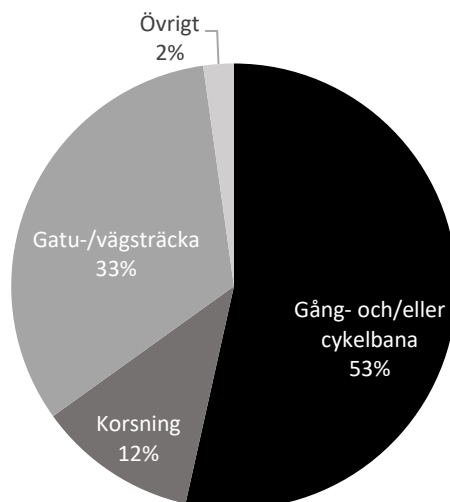
Det finns många orsaker till att en singelolycka inträffade där en cyklist skadades allvarligt. Enligt Eriksson et al. (2022) var den enskilt vanligaste orsaken hal på grund av snö/is (16%). I denna studie fokuserar vi dock på utformning och interaktionen mellan cyklisterna och andra trafikanter. För utformning var kört mot eller över kant den vanligaste orsaken. Gruppen ”kört på fast föremål” som redovisas i Eriksson et al. (2022) innehåller en blandning av olika element där de vanligaste förekommande var vägskylt/lyktstolpe och grind/bom. Två av de fasta föremålen har särredovisats och det var cykeltunnel (1,2%) samt brunnslock (0,5%). Det förekom också att cyklisten kört mot spårvagns-/järnvägsspår (3 %) och att det varit skynt sikt (0,4 %). De fasta föremålen fördelas enligt följande och står för ca 20 procent av alla singelolyckor:

- Kör mot/över kant (9%): Ofta trottoarkant
- Kört på fast föremål (6%): Vägskylt/lyktstolpe, grind/bom, staket/mur, husvägg, träd, stor sten/betongsugga m.m. (ej cykeltunnel eller brunnslock/galler)
- Kört mot räls (3%): Spårvagns-/järnvägsspår
- Cykeltunnel (1,2%): När cyklisten uppgett detta
- Brunnslock/galler (0,5%): Olika typer av dessa
- Skynt sikt (0,4%): Skynt sikt på grund av väg-element och liknande

Det som också kan kopplas till utformning är när cyklisten uppgett att olyckan inträffade när den svängt i korsning eller i kurva (10%) och när olyckan skett i en nedförsbacke (7%). För de cyklister som uppgett att olyckan skedde när de svängt och/eller i nedförsbacke har ofta angett fler bidragande orsaker.

## 2.4 Platstyp — fasta föremål

Cyklister som skadats allvarligt vid en kollision med fast föremål gör det till mer än hälften på gång- och cykelväg (inkl. trottoar), se figuren nedan. För en av tre cyklister har det skett på en gatu- eller vägsträcka och för en av tio i en korsning. Cyklister som skadats allvarligt på övriga platstyper bestod av två procent.



Figur 1. Fördelning av platstyp där cyklisten skadats allvarligt vid kollision med ett fast föremål. Källa: Strada sjukvård, 2014–2019 (bearbetning av datamaterial från Eriksson et al. (2022))

## 2.5 Cykelolyckor — väjt eller kolliderat

Vid en olycka där cyklisten väjt eller bromsat för en annan trafikant men utan att kollidera med denna blir olyckan klassad som en singelolycka. Dock kanske det kan ses mer som tur att man inte kolliderade (kanske lägre fart, bättre balans, fattade ”rätt” beslut). En kollisionsolycka innebär att cyklisten har på något sätt cyklat in i den andra trafikanten eller dess fordon, ibland handlar det om en snuddning. Dessa två innebär att det uppstod en misslyckad interaktion med andra trafikanter.

Enligt Eriksson et al. (2022) bestod ca nio procent av singelolyckorna av en misslyckad interaktion. Det ska påpekas att denna siffra kommer från urvalet och har en osäkerhet som inte är redovisad samt att det kan förekomma ett mörkertal. Dock väljer vi att använda denna för att räkna upp på totalen för singelolyckor. För kollisionsolyckor är det den redovisade totalen som avses. I Tabell 3 nedan redovisas dessa. Oavsett om cyklisten väjt eller kolliderat var det vanligast att skadas allvarligt om ett motorfordon var inblandat, tätt följt av annan cyklist eller mopedist. Det var fyra gånger vanligare med kollision jämfört med väjning. En misslyckad interaktion med fotgängare var inte lika omfattande. Det var mer vanligt att väja för en fotgängare än att kollidera med denna.

Tabell 3. Typ av trafikant som cyklisten väjde för eller kolliderade med när den skadades allvarligt.  
Källa: Strada sjukvård, 2014–2019 (bearbetning av datamaterial från Eriksson et al. (2022))

| Typ av trafikant | Väjt* | Kolliderat | Totalt |
|------------------|-------|------------|--------|
| Motorfordon      | 291   | 1 192      | 1 483  |
| Cyklist/mopedist | 258   | 949        | 1 207  |
| Fotgängare       | 281   | 108        | 389    |
| Totalt           | 815   | 2 249      | 3 064  |

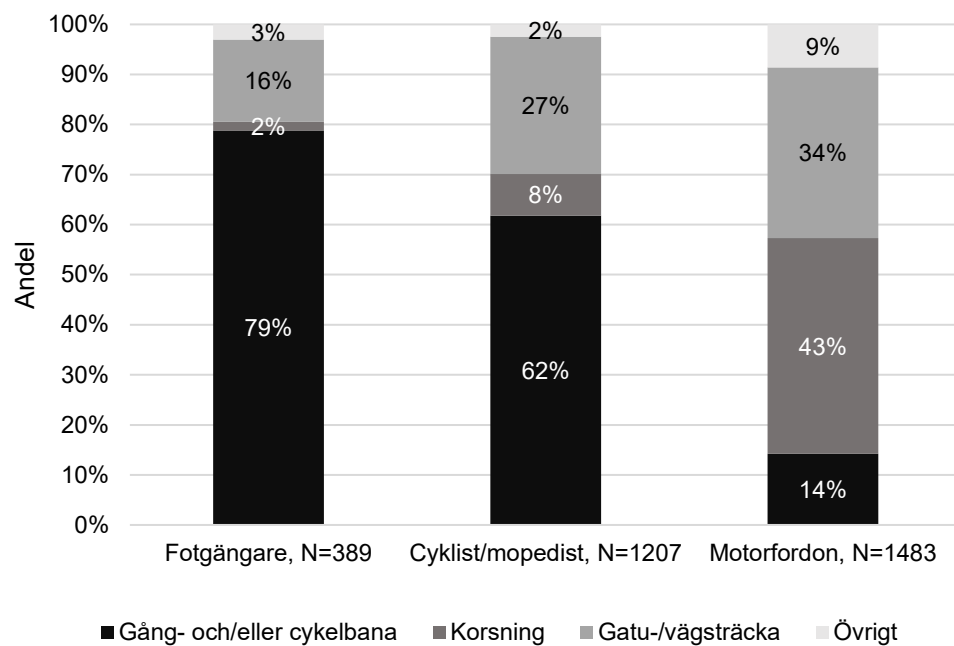
\*Baserat på urvalets andel, uppräknad till totalen för singelolyckor.

Det vanligaste motorfordonet som cyklisten väjt för var personbil (93%), följt av lastbil (6%) och buss (1%). För kollisionsoolyckor fanns det mer detaljer om vilken fordonstyp som cyklisten kolliderat med. Vanligast var personbil (90%), följt av lastbil (4%), lätt lastbil (4%), buss (1%) och övrigt (1%). För cyklister som väjt för annan cyklist/mopedist var fördelningen på motparten ungefär 95 procent annan cyklist och 5 procent mopedister. Vid väjning var det ungefär en av fyra som kände den cyklist som man var nära att kollidera med.

Sett till alla cykelolyckor där cyklisten skadats allvarligt är det drygt en av fyra som kan kopplas till interaktionen med en annan trafikant (oavsett väjt eller kolliderat).

## 2.6 Platstyp — väjt eller kolliderat

Det kan vara intressant att studera på vilken platstyp som dessa väjningar och kollisioner skett. I figuren nedan ser man att cyklisten vanligtvis (knappt 8 av 10) kolliderar med en fotgängare på en gång- och cykelväg (inkl. trottoar), följt av gatu- eller vägsträcka (16%), övrigt (3%) och korsning (2%). För cyklister som kolliderar med annan cyklist/mopedist sker tre av fem på gång- och cykelvägar, drygt en av fyra på gatu- eller vägnätet, åtta procent i korsningar och två procent på övriga platser. För cyklister som kolliderar med varandra på gatu- eller vägnätet är det mer än hälften som känner varandra. Kollision med motorfordon sker i korsningar (drygt 2 av 5) och på gatu- eller vägsträcka (1 av 3). Like oväntat sker 14 procent av cyklisternas kollisioner med motorfordon på gång- och cykelvägar där det inte är påbjuden motortrafik. Vid genomläsning av olycksbeskrivningarna verkar dock många allvarligt skadade cyklister ha kryssat i denna plats fast det var vid exempelvis en cykelöverfart eller övergångsställe. Det förekom även att patienten nämnt att det var en utfart (t.ex. bensinmack och parkering). Nio procent bestod av övriga platstyper.



Figur 2. Fördelningen av platstyp där cyklisten väjt eller kolliderat för fotgängare, annan cyklist/mopedist eller motorfordon. Källa: Strada sjukvård, 2014–2019. (bearbetning av datamaterial från Eriksson et al. (2022))

### 3 Delstudie 1: Risk för fallolyckor och observationer på utvalda platser i Lund

Detta kapitel beskriver framtagandet av två olika säkerhetsmått för fallolyckor tillsammans med en analys av dessa mått applicerat på 3 olika platser i Lund. Säkerhetsmåten är grundade i fysiken kopplat till att hålla sig i balans när man cyklar.

Denna metod och dessa mått har sedan testats på tre olika platser i Lund där cyklister har filmats och spårats under ett antal dagar. Målet är att visa hur dessa mått och denna metod kan användas för att beräkna fallrisk på olika platser utifrån hur cyklisterna rör sig på platsen.

#### 3.1 Cyklande, balanskontroll och fallrisk

En cykelns balansmodell beskriver hur ett system, som i sig är statiskt instabilt, kan hållas upprätt och kontrolleras under rörelse. Balansmodellen bygger på att cykeln vid tillräcklig hastighet framåt övergår från att vara ett statiskt instabilt system till att bli dynamiskt stabiliserat, och kan till och med bli självstabiliserande (Persson, 2023).

- Grundprincip: Balansen upprätthålls genom en kontinuerlig korrigering av cykelns och förarens Tyngdpunkt (*Center of Mass, COM*) i förhållande till Tryckcentrum (*Center of Pressure, COP*). Målet med balanskontrollsystemet (människa eller autonomt) är att kontrollera COM:s position via rörelser av COP (Cain et al., 2016).
- Modelltyper: Den enklaste modellen som förutsäger cykelns självstabilitet är Whipple-cykelmodellen. Mer komplexa modeller använder flerkomponenters dynamiska modeller (*multi-body dynamic models*) eller enklare omvänd pendel-modeller (*inverted pendulum model*) (Cain et al., 2016; Yi et al., 2009).
- Stabiliseringsmekanismer: Stabiliseringen sker primärt genom små men snabba styrkorrigeringar och lutningsrörelser av hela systemet (Cain et al., 2016).

##### 3.1.1 Mått och faktorer relevanta för risk att ramla

Risken att falla är direkt kopplad till systemets förmåga att utföra och kontrollera de nödvändiga korrigeringar och rörelserna. De viktigaste faktorerna som används för att mäta och bedöma balanskontroll och fallrisk är:

- Cykelns Dynamiska Tillstånd (Cain et al., 2016):
  - Hastighet — högre hastighet leder till bättre självstabilitet.
  - Lutningsvinkel och lutningshastighet (*Bicycle roll angle and rate*).
  - Masscentrum (*Center of Mass, COM*)
  - Tyngdpunkten (*Center of Gravity, CoG*)
- Däck/väg-interaktion: Den komplexa interaktionen mellan däck och vägbanan är avgörande för stabilitet och manövrerbarhet.
- Styrkontroll:
  - Styrvinkel och Styrhastighet (*Steer angle and rate*)
  - Styrmoment (*Steer torque*)
  - Styrkontrollens variation och kraft

- Förarens lutningskontroll (*Rider Lean Control*):
  - Förarens lutningsvinkel
  - Förarens lutningsvinkelvariation

### 3.1.2 Uppskatta lutning

Cykelns lutning är ett viktigt mått som kan uppskattas genom att balansera gravitationskraften ifrån den lutande cykeln med centrifugalkraften när cyklisten svänger. Den grundläggande idén är att cyklisten kommer att luta så pass mycket att gravitationskraften bli lika med centrifugalkraften.

Centrifugalkraften när en cykel svänger beräknas som

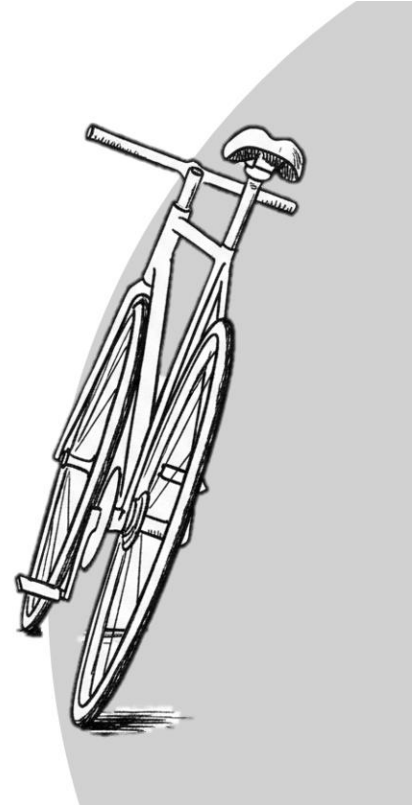
$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{r}, \quad (1)$$

där  $m$  är cykelns massa,  $v$  är cykelns hastighet och  $r$  är radien på svängen. Notera att cykelns laterala acceleration ( $a_y$ ) är lika med  $\frac{v^2}{r}$ . Gravitationskraften ( $g$ ) blir uppdelad i två olika riktningar beroende på cykelns lutning, delen av gravitationskraften som pekar ut ifrån cirkeln (motsatt centrifugalkraften) beräknas som

$$F_{g \text{ (horisontal)}} = m \cdot g \cdot \tan \phi, \quad (2)$$

där  $g$  är gravitationskonstanten ( $9,82 \text{ m/s}^2$ ) och  $\phi$  är cykelns lutning. När man cyklar i en sväng beräknas dessa krafter vara i balans, vilket innebär att cykelns lutning ( $\phi$ ) kan uppskattas som

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{v^2}{g \cdot r}\right). \quad (3)$$



Figur 3. Cykelns lutning beror på svängradien samt hastigheten.

### 3.1.3 Videoanalys och fallrisk

Videoanalys har blivit ett viktigt verktyg för att studera olyckor, särskilt för att fånga detaljerade händelseförlopp som är svåra att registrera i officiell statistik. Metoden bygger på att extrahera trajektoriedata, vilket är en uppsättning tidsstämplade mätvärden som beskriver en cyklist och/eller cykelns position (koordinater), hastighet och orientering över tid.

Denna data kan sedan användas för att uppskatta olika faktorer som är relevanta för fallrisk, t.ex. hastighet. Det finns enbart ett fåtal exempel av hur detta kan genomföras i praktiken:

- Gildea et al. (2023) analyserade videofilmer från stadsmiljöer där cyklister korsar spårvagnsspår. Trajektoriedata användes för att mäta cyklistens korsningsvinkel i förhållande till spåret. Analysen fokuserade på att utveckla en prediktiv modell för korsningsframgång (om cyklisten lyckas korsa utan incident) baserat på denna vinkel.
- Hossein Sabbaghian et al. (2024) fokuserade på att analysera videodata från cyklister som färdas i horisontella kurvor på cykelbanor. Här extraherades lateral position och hastighet längs kurvans mittlinje för att utveckla ett nytt säkerhetsmått, den effektiva

radien. Detta mått utvärderar hur mikromobilitetsanvändare (som cyklister) interagerar med kurvans geometriska egenskaper, vilket är avgörande för att bedöma fallrisk orsakad av otillräcklig design eller höga hastigheter i skarpa kurvor.

### 3.2 Två mått på risk för fallolyckor

Detta kapitel innehåller en förklaring av de två scenarierna för singelolyckor som används för att kvantifiera fallrisk utifrån trajektoriedata i denna delstudie.

#### 3.2.1 Olyckor där man slår över styret (*Pitch-over Falls*)

Denna olyckstyp inträffar när bakhjulet lyfter från marken, vilket får cyklisten att slå över styret. Den orsakas oftast av en plötslig och kraftig inbromsning med frambromsen eller genom att köra in i ett hinder med framhjulet. Dynamiken bygger på framåttrotation runt framhjulet och består av två faser:

- Fas 1: Lift-off

Detta mått beräknar den kritiska inbromsningen ( $\dot{x}_c$ ) då belastningen på bakhjulet blir noll och det lyfter från marken (ekvation 4). Gränsen beror på underlagets lutningsvinkel ( $\alpha$ ), det horisontella avståndet från tyngdpunkten (CoG) till framhjulets kontaktpunkt ( $lf$ ), och tyngdpunktens höjd ( $h$ ).

$$\dot{x}_c = \frac{g \cdot \cos(\alpha) \cdot lf}{h} + g \cdot \sin(\alpha) \quad (4)$$

- Fas 2: Full pitch-over

Detta mått anger den minimihastighet ( $v_{min}$ ) som krävs för att en fullständig överrullning ska ske, dvs. när rotationsenergin övervinner den potentiella energi som krävs för att flytta CoG över framhjulets kontaktpunkt (ekvation 5).

$$v_{min} \geq \sqrt{2g \cdot (\sqrt{h^2 + lf^2} - h + lf \cdot \sin(\alpha))} \quad (5)$$

#### 3.2.2 Sladda ut i en kurva (*Skidding out while tilting on a bend*)

Denna olyckstyp inträffar när cykeln sladdar ut under en sväng eftersom lutningsvinkeln överskrider den kritiska lutningsvinkeln ( $\phi_c$ ), vilket leder till att hjulen förlorar greppet. Sladden uppstår när gravitationskraften som verkar utåt i svängen (ekvation 2) är större än vad friktionskraften kan hantera.

Friktionskraften ifrån hjulen kan, förenklat, beräknas som  $F_z = m \cdot g$ , och den maximala friktionen blir då  $F_{z-max} = m \cdot g \cdot \mu$  där  $\mu$  är en friktionskoefficient som avgör friktionen mellan cykelns hjul och asfalten. Typiska värden för  $\mu$  är cirka 0,8–1,0 för torr asfalt, 0,4–0,6 för blöt asfalt och 0,1–0,2 för isbelagd asfalt.

Om kraften som påverkar cykeln under en sväng överstiger den maximala friktionen så kommer cykeln att sladda. Det finns två olika krafter som påverkar cykelns friktion, den laterala accelerationskraften (densamma som beräknas i kapitel 3.1.2) tillsammans med den longitudinella accelerationskraften (cykelns inbromsning eller acceleration). Sammantaget kan detta beskrivas som

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq F_{z-max}, \quad (6)$$

Där  $F_x$  är den longitudinella accelerationskraften ( $F_x = m \cdot a_x$ ) och  $F_y$  är den laterala accelerationskraften ( $F_y = m \cdot \frac{v^2}{r}$ , ekvation 1). Detta innebär att den laterala accelerationen måste vara mindre än den maximala friktionen minus den longitudinella accelerationen, omskrivet blir förhållandet  $a_y \leq \sqrt{(\mu \cdot g)^2 - a_x^2}$ . Genom att beräkna när den laterala accelerationen ( $a_y$ ) når denna gräns kan vi beräkna en kritisk gräns för cykelns lutning (via ekvation 3 i kapitel 3.1.2)

$$\phi_c = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{g}\right) = \tan^{-1}\left(\sqrt{\mu^2 - \left(\frac{a_x}{g}\right)^2}\right). \quad (7)$$

Denna ekvation uppskattar cykelns maximala lutning beroende på friktionskoefficienten samt cykelns inbromsning. Genom att jämföra värden som beräknats från trajektoriedata med dessa beräknade trösklar ( $\dot{x}_c$ ,  $v_{min}$ ,  $\phi_c$ ) borde det vara möjligt att bedöma säkerhetsmarginalen för en cyklist under ett visst händelseförlopp, alltså hur "nära" en cyklist är att hamna i obalans. Notera att detta inte riktigt är detsamma som fallrisk utan måtten mäter hur nära situationen är att 1) **bakhjulet lyfter** eller 2) **cykeln tappar greppet och börjar sladda**.

### 3.2.3 Beräkningar och mått ifrån videodata

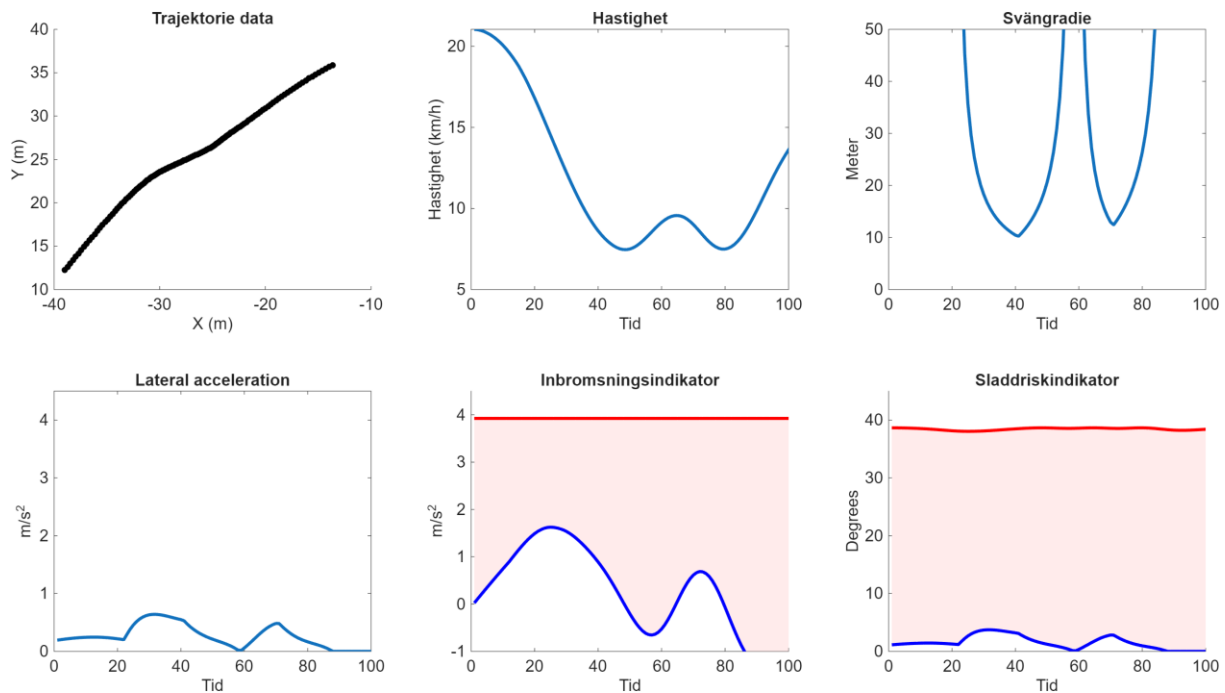
Metoden som beskrivs i stycket ovanför är designad för att beräknas utifrån trajektorie-data. Denna typ av data kommer ofta ifrån videoanalyser där trafikanter har spårats när dem rört sig igenom filmen. En trajektoria består i grunden av positionsinformation (x,y), i meter, tillsammans med en tillhörande tidstämpel (x,y,t). Genom att studera hur dessa x och y värden förändras sig över tid är det möjligt att beräkna alla mått vi behöver för analysen. Oftast innehåller också varje trajektoria en fordonsklass (cykel, gående, bil, osv.) tillsammans med ett unikt identifikationsnummer som gör det möjligt att spåra flera trafikanter samtidigt.

Utifrån en cykel-trajektoria (x,y,t) kan vi enkelt beräkna både hastighet och acceleration (inbromsning) genom att beräkna hur snabbt avståndet mellan punkterna förändras genom tiden. För analysen av fallolyckor så behövs också en uppskattning av cykelns svängradie, denna har beräknats med hjälp av metoden beskriven av Baran et al. (2010) som använts via cornucopia kod-biblioteket<sup>1</sup>.

Efter beräkningarna av hastighet, acceleration, svängradie osv. så har de två olika säkerhetsindikatorerna beräknats för varje cykel-trajektoria och för varje tidssteg. Figur 4 visar hur denna data kan se för en cykel. Figuren visar cykelns, spår, hastighet, radie samt lateral acceleration över tid. Dessutom visar bilden de två beräknade indikatorerna tillsammans med deras beräknade gränsvärde, avståndet mellan den blå linjen och den röda motsvarar slutligen hur nära cykeln är att befinna sig i obalans.

En avslutande punkt är att höjddata på platserna har tagits ifrån lantmäteriets höjdkartor med en noggrannhet på 1x1 meter.

<sup>1</sup> <https://github.com/bkmeneguello/cornucopia-lib>



Figur 4. Ett exempel på måtten framtagna ifrån en cyklists trajektoria, figuren visar cykelns, spår, hastighet, radie samt lateral acceleration över tid. Dessutom visar bilden de två beräknade indikatorerna tillsammans med deras beräknade gränsvärde, avståndet mellan den blå linjen och den röda motsvarar slutligen hur nära cykeln är att befinna sig i obalans.

### 3.3 Säkerhetsanalys med extremvärdesteori

I denna studie används Extremvärdesteori (*Extreme Value Theory, EVT*) för att bedöma risken på segmentnivå. EVT är en statistisk gren som ursprungligen utvecklades för att modellera sällsynta och extrema händelser inom exempelvis hydrologi (för att beräkna risken för översvämningar) eller finansmarknaden. I trafiksäkerhetssammanhang används teorin för att utifrån observerade "nästan-händelser" eller kritiska värden i normal trafik (svansen på fördelningen) kunna förutsäga sannolikheten för en extrem händelse—i detta fall att en cyklist tappar balansen och faller.

En cyklist anses förlora balansen när indikatorn för stabilitet överskrider ett kritiskt tröskelvärde. Vi definierar ett indirekt säkerhetsmått för cykelstabilitet som skillnaden mellan det observerade mätvärdet för stabilitet och det teoretiska kritiska värdet. Enligt denna definition förlorar en cyklist balansen när indikatorn faller under noll.

Eftersom dessa händelser representerar extrema observationer i datamaterialet lämpar de sig väl för att modelleras med EVT. Inom teorin antas den asymptotiska fördelningen av maximum (eller minimum) i ett stickprov följa en Generalized Extreme Value (GEV) fördelning. Sannolikhetsfördelningen för GEV beskrivs matematiskt av:

$$G(x) = \exp\left(-\left(1 + \gamma \frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\gamma}\right), \quad x \geq \mu, \quad (8)$$

där  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\gamma$  är parametrar som uppskattas från det insamlade datamaterialet.

För att kunna använda GEV-modellen praktiskt måste datamaterialet delas in i block, där man plockar ut det mest extrema värdet från varje block. Traditionellt används tidsmässiga block (t.ex. det högsta vattenståndet per år), men i denna studie används istället rumsliga block. Detta görs för att kunna peka ut var längs en sträcka risken är som störst.

Metoden delar in cyklisternas färdväg i  $m$  mindre segment. Varje segment betraktas som en oberoende källa som genererar riskvärden.

- Totalt skapas  $m$  olika GEV-modeller, en för varje segment.
- Detta gör att modellen kan fånga upp hur risken varierar beroende på den geometriska utformningen på specifika platser, vilket möjliggör skapandet av detaljerade riskkartor.

Sannolikheten att en cyklist tappar balansen på det  $j$ :te segmentet beräknas slutligen genom:

$$P(X - X_0 \geq 0) = \exp\left(-\left(1 + \gamma_j \frac{-\mu_j}{\sigma_j}\right)^{-1/\gamma_j}\right), \quad (9)$$

En utmaning med denna metod är att korta segment ibland kan ha för liten variation i data, vilket gör det svårt för modellen att hitta en stabil lösning (konvergens). För att hantera detta genomfördes en block-maxima-process för var 15:e cyklist i varje segment. Sannolikheten för att en enskild cyklist ska hamna i obalans beräknas därefter som den framräknade GEV-sannolikheten dividerat med 15. Om EVT-modellen trots detta inte lyckas konvergera för ett visst segment sätts sannolikheten till noll.

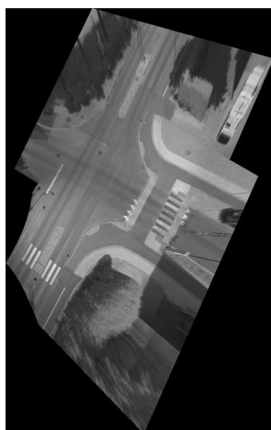
### 3.4 Platser och data

Filmning och analys har skett på 3 platser i Lund: 1) Korsningen Byggmästaregatan–Bryggaregatan ([Google Maps](#)), 2) Ganymedestunneln vid Dalbyvägen ([Google Maps](#)), och 3) på Kung Oskars bro ([Google Maps](#)). Platserna har filmats 24 timmar och dygnet under en period av 3-4 dagar. Figur 5 nedan visar hur platserna ser ut.

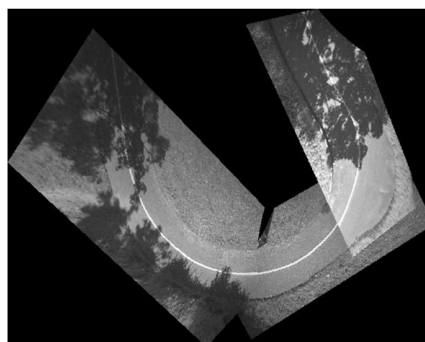
Tabell 4 Inspelningsperiod för de olika platserna

| Plats                               | Inspelningsperiod    |
|-------------------------------------|----------------------|
| 1) Byggmästaregatan – Bryggaregatan | 23–26 maj 2023       |
| 2) Ganymedestunneln vid Dalbyvägen  | 5–7 september 2023   |
| 3) Kung Oskars bro                  | 19–21 September 2023 |

1) Byggmästaregatan – Bryggaregatan



2) Ganymedestunneln vid Dalbyvägen



3) Kung Oskars bro



Figur 5. Bilder ifrån de tre platserna i Lund

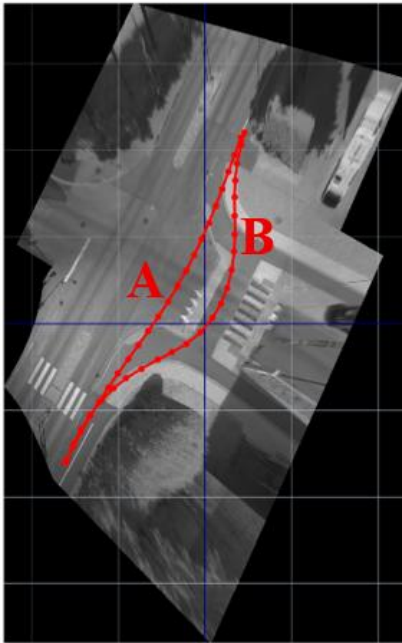
### 3.5 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten från appliceringen av extremvärdesteori (EVT) på de studerade platserna. Analysen fokuserar på att identifiera och visualisera risker för två typer av fallolyckor: att falla över styret (*pitch-over*) och att få sladd (*skidding*).

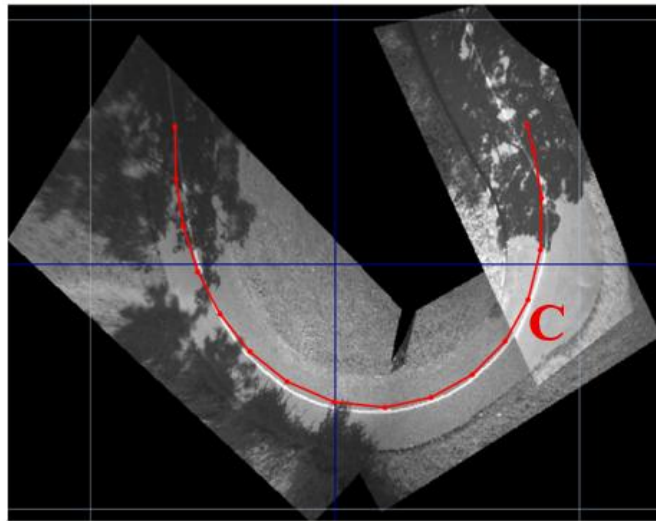
#### 3.5.1 Rörelser och segmentering

Videodata innehåller en stor mängd cykeltrajektorier ifrån cyklande på platserna. För att strukturerna analysen har ett antal rörelser (rutter) identifierats och valts ut för analys. Detta har gjorts genom att enbart välja rörelser där det finns minst 250 observerade cyklister. Detta urval resulterade i de rutter som visualiseras i bilderna nedan. Varje rutt har sedan segmenterats i 2 meter långa segment, dessa segment har sedan använts vid beräkningarna baserade på extremvärdesteori. Rörelserna på bilderna motsvarar den genomsnittliga färdvägen för varje rörelse.

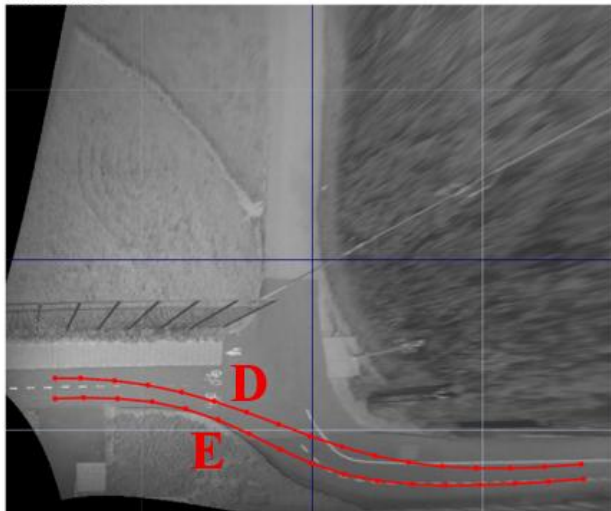
**Plats 1**



**Plats 2**



**Plats 3**

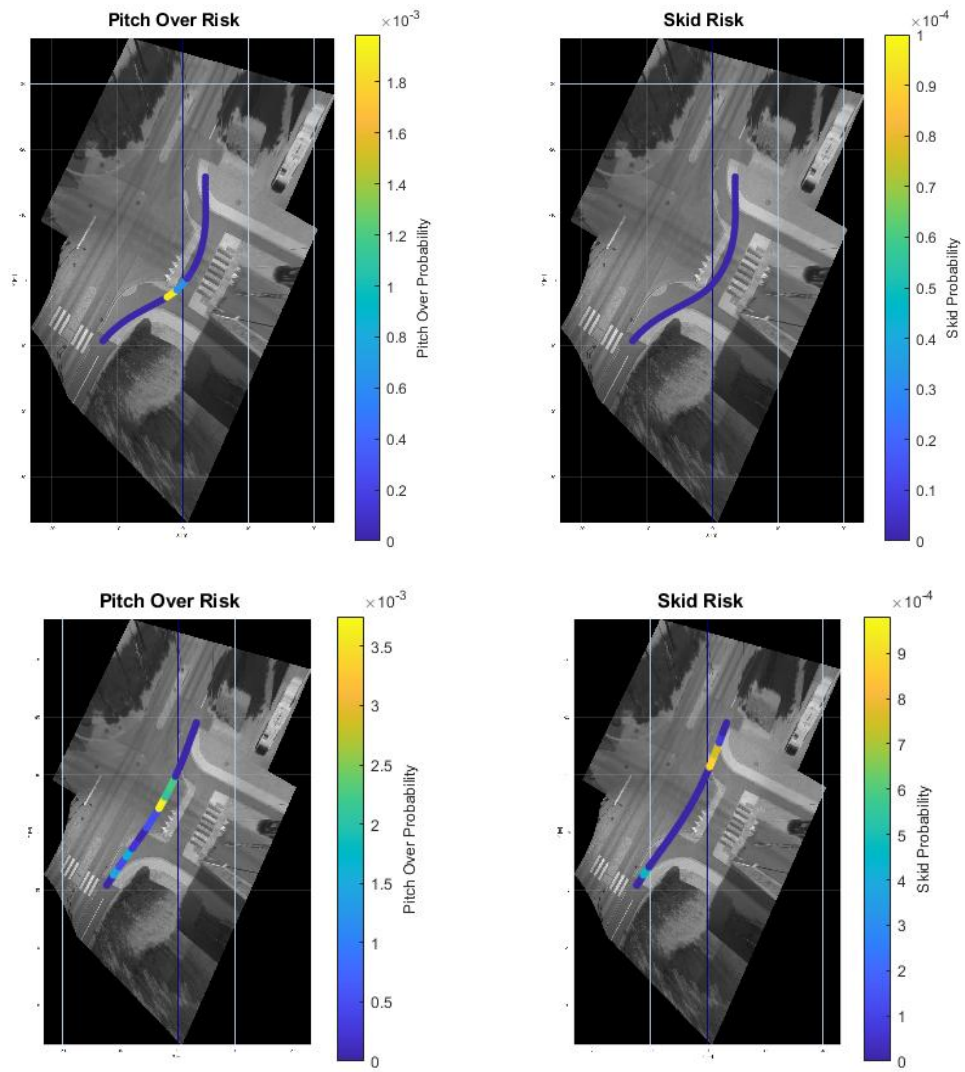


Figur 6 Visualisering av den genomsnittliga färdvägen för varje rutt. Punkterna visar start- och slutpunkterna för segmenten.

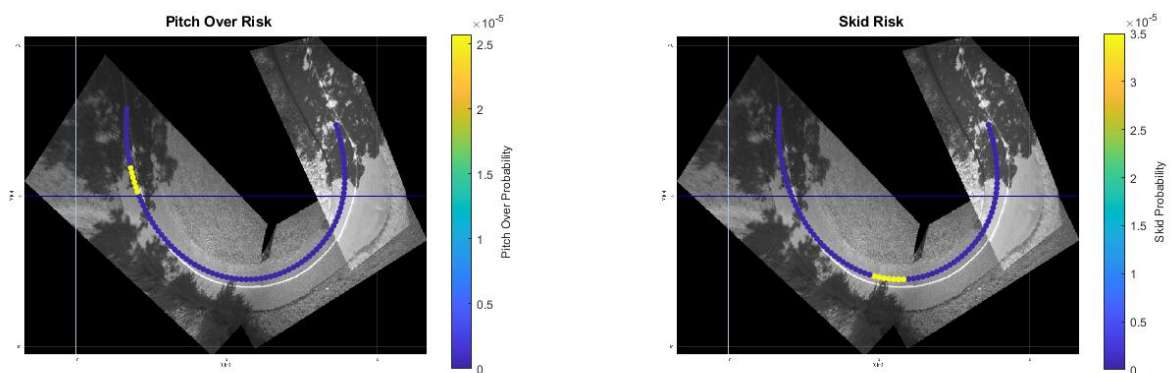
### 3.5.2 Risken för obalans på cykel

Baserat på den segmenterade analysen har riskkartor (*heat maps*) tagits fram för att visuellt illustrera var riskerna är som störst längs cyklisternas färdvägar. Färgskalorna i figurerna indikerar sannolikheten för att en olycka ska inträffa, där varmare färger (gult) representerar en högre risk. Om EVT-modellen misslyckas med att konvergera för ett specifikt segment har sannolikheten för det segmentet satts till noll i analysen.

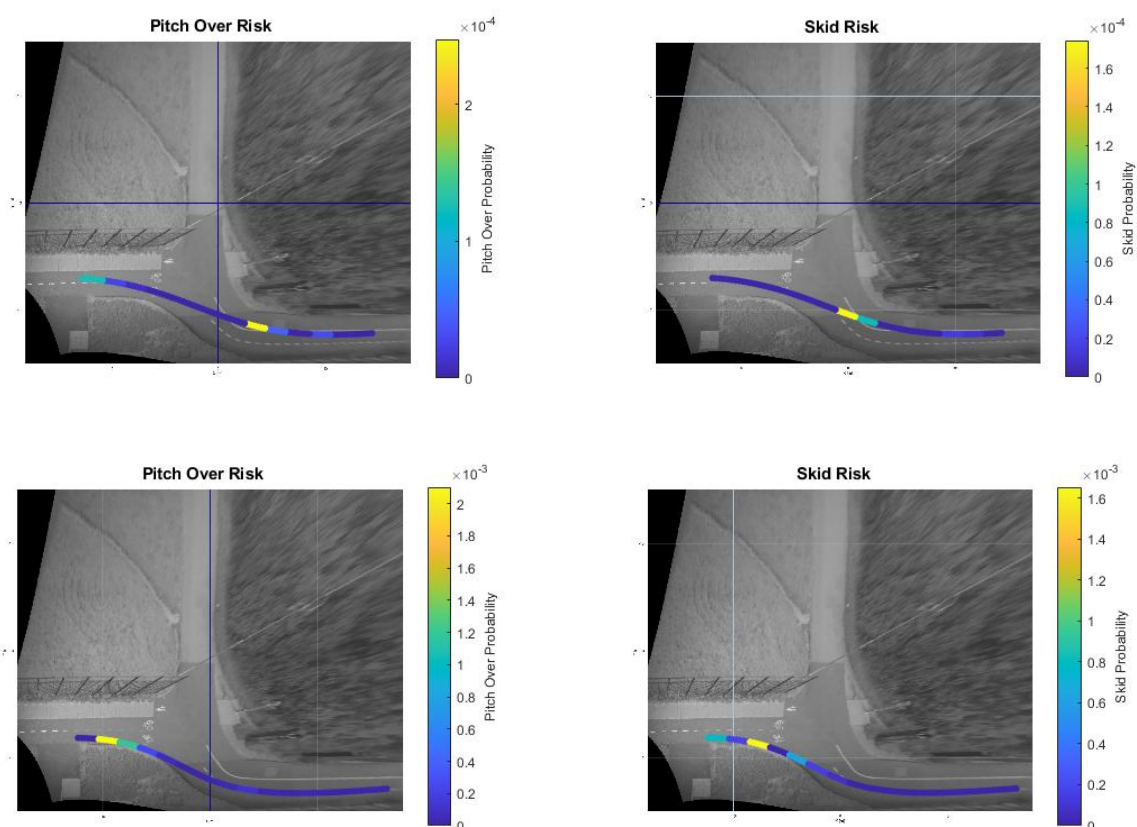
Genom att använda denna segmentbaserade metod fångas variationer i den geometriska utformningen upp, vilket gör det möjligt att peka ut exakt var i en kurva eller på en raksträcka som stabilitetsproblemen uppstår. Notera att färgerna är relativa och är inte direkt jämförbara mellan platser och rörelser.



Figur 7. Riskkartor ifrån plats 1



Figur 8. Riskkartor ifrån plats 2



Figur 9. Riskkartor ifrån plats 3

Tabell 5 och 6 nedan sammanfattar de segment som uppvisade högst risk. Tabellerna redovisar plats, färdriktning och rutt, samt den högsta beräknade sannolikheten för fall per cyklist. Även exponering (antal dagar) och en uppskattad veckofrekvens för händelsen presenteras. Resultaten visar att riskerna varierar kraftigt mellan olika platser och rutter. Exempelvis uppvisar plats 3 (Riktning 1, Rutt 0) en jämförelsevis hög veckofrekvens för både *pitch-over*-olyckor (0,91) och sladdolyckor (0,28), vilket indikerar att detta är ett särskilt utsatt segment med relativt hög risk och många cyklister.

Tabell 5 Sammanfattning av segment med högst risk för att lyfta bakhjulet (*Pitch Over*)

| Plats | Rutt | Högst sannolikhet för obalans (per cyklist) | Antal cyklar per dag | Veckofrekvens |
|-------|------|---------------------------------------------|----------------------|---------------|
| 1     | A    | $1,51 * 10^{-4}$                            | 123                  | 0,13          |
| 1     | B    | $1,26 * 10^{-4}$                            | 482                  | 0,43          |
| 2     | C    | $1,71 * 10^{-6}$                            | 559                  | 0,01          |
| 3     | D    | $1,65 * 10^{-5}$                            | 600                  | 0,07          |
| 3     | E    | $1,40 * 10^{-4}$                            | 927                  | 0,91          |

Tabell 6 Sammanfattning av segment med högst risk för sladd (*Skidding*)

| Plats | Rutt | Högst sannolikhet för obalans (per cyklist) | Antal cyklar per dag | Veckofrekvens |
|-------|------|---------------------------------------------|----------------------|---------------|
| 1     | A    | $5,87 * 10^{-5}$                            | 123                  | 0,05          |
| 1     | B    | N/A*                                        | 482                  | N/A*          |
| 2     | C    | $2,33 * 10^{-6}$                            | 559                  | 0,01          |
| 3     | D    | $5,69 * 10^{-6}$                            | 600                  | 0,02          |
| 3     | E    | $4,30 * 10^{-5}$                            | 927                  | 0,28          |

*\*Risken beräknas vara noll utmed hela segmentet (EVT-modellen konvergerade inte)*

### 3.6 Diskussion

Metoden för att mäta risken för fallolyckor som utvecklats i detta projekt gör det möjligt att uppskatta risken att en cyklist kommer i obalans via två olika mått, inbromsning och lutning. Varje cykel spår beräknas individuellt och statisk extremvärdesteori används sedan för att beräkna sannolikheten att en enskild cyklist når en kritisk inbromsning och/eller kritisk lutning. Resultatet visar hur denna metod kan användas på tre utvalda platser i Lund. Det är möjligt att studera olika segment utmed de vanligaste cykelstråken på platsen och beräkna risken för obalans. Genom att ta hänsyn till mängden cyklister är det också möjligt att beräkna hur ofta dessa händelser beräknas uppstå. Det finns dock en mängd begränsningar och kvarvarande frågor kring metoden.

Den första begränsningen är att metoden inte direkt mäter risken för en fallolycka utan i stället enbart att en obalans uppstår. Det är rimligt att anta att obalans är ett försteg till en fallolycka men det är också möjligt att cyklisten lyckas få tillbaka balansen utan att ramla. Exakt hur kopplingen mellan denna obalans och faktiska fallolyckor ser ut är därför oklart. En ytterligare begränsning med den utvecklade metod är också att ingen validering av dessa indikatorer har genomförts. Att studera korrelationen mellan den uppskattade frekvensen av obalans och faktiska rapporterade fallolyckor hade varit intressant.

En tredje begränsning med metoden är att resultatet bara är giltigt för trafiksituationer som liknar den filmade perioden. Filmningen skedde under maj och september med relativt bra väderförhållanden och underlag. Detta har inkluderats i beräkningen via en uppskattning av friktionskoefficienten på platserna. Men det är också sannolikt att cyklarnas valda svängradie, inbromsning och hastighet är också beroende på underlaget och väderförhållanden.

Om cyklarna anpassar sig utefter förhållanden på vägen så innebär detta att en ny datainsamling måste göras för att kunna uppskatta motsvarande riskbedömningar för till exempel vinterförhållanden. Detta skulle också behöva hanteras vid en potentiell framtida studie av korrelationen mellan denna metod och rapporterade fallolyckor.

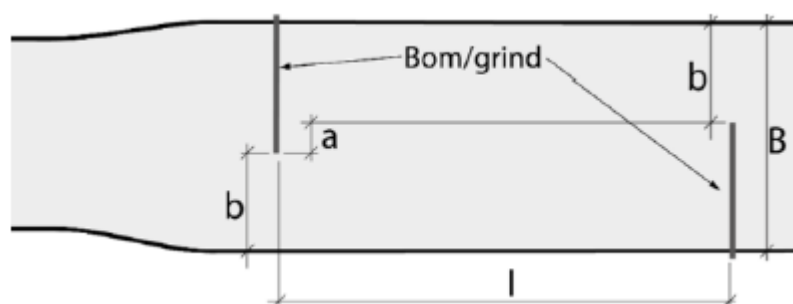
En sista begränsning för metoden är fokusering av två specifika typer av fallolyckor. Fall över styret och sladdning är relevanta olyckstyper men det finns fler typer av singelolyckor som inte tagits hänsyn till i denna analys. Till exempel är cykling över kanter, såsom trottoarer och spår-vagnsspår, något som inte inkluderats i denna rapport men som kan bli implementerade i framtida utveckling av metoden.

## 4 Delstudie 2 - Utformning av grindar, ett experiment

### 4.1 Introduktion

Denna del ger svar på cyklisters upplevelser av passering av cykelfällor (eller p-grindar) och kommer vara ett underlag till rekommendationer kring avstånd och placering av cykelfällor för ökad säkerhet, framkomlighet och komfort för cyklister. Från tiden då experimentet utfördes till färdig rapport uppdaterades Trafikverkets regelverk inom vägars och gators utformning (VGU). Råden hur uppbyggnad av en cykelfälla i VGU för den nya versionen (avsnitt 9.3.9.3) är samma som den gamla (avsnitt 10.3.10.3) (Trafikverket, 2022, 2024). Från denna text finns följande råd om uppbyggnad, se Figur 10:

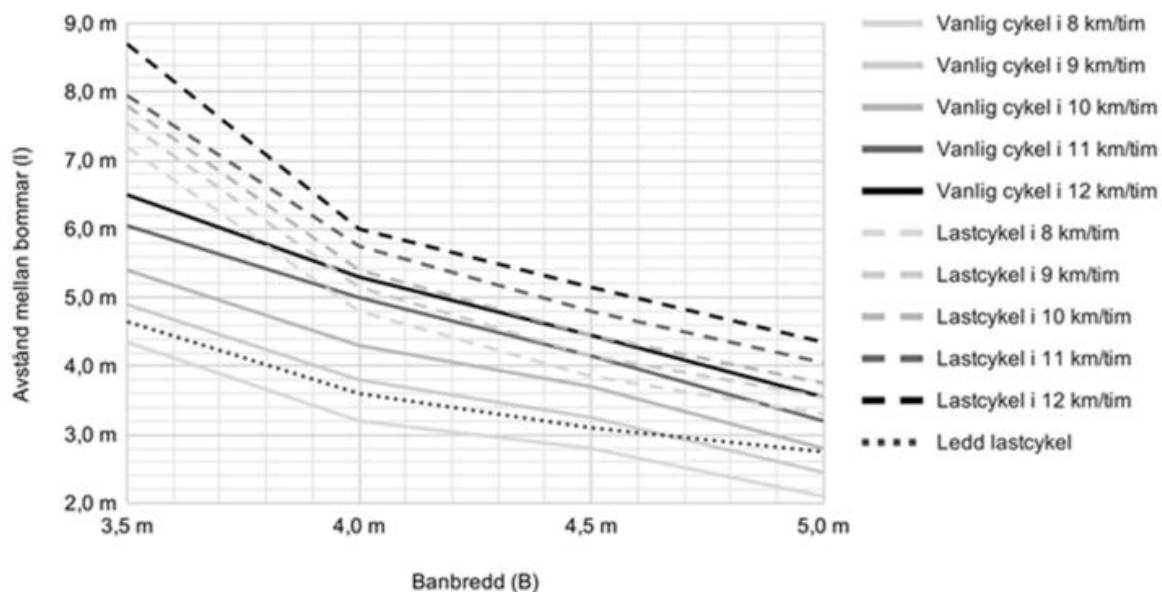
*Öppningen  $b$  bör minst vara 1,4 m för att rymma en lastcykel. Om behov finns kan cykelbanan göras bredare vid cykelfällan. Bommarnas överlapp  $a$  bör vara 0,5 m. Om 0,5 m överlapp  $a$  minskas, resulterar det i mindre inbromsning och mindre riktningsändring.*



Figur 10. Skiss med beskrivande text över uppbyggnad av fälla, utklippt från Trafikverket (2024)

Enligt GCM-handboken (SKL, 2010) finns det utöver det en uttrycklig längdangivelse ( $l$ , enligt skiss) på 1,5 meter. Ovanstående avståndsangivelser från VGU för överlapp ( $a$ ) och GCM-handboken för längd ( $l$ ) baseras på en studie som genomfördes av Lunds Tekniska Högskola (Gulliksson & Söderström, 2004)<sup>2</sup>. Dessa två avståndsangivelser har setts som en standard vid uppförandet av fällor. Detta trots att det finns en figur i VGU (se Figur 11) som illustrerar avstånd mellan bommar ( $l$ ), banbredd ( $B$ ) och förväntad hastighet av cyklar genom cykelfällor. Vad underlaget till denna figur baseras på framgår inte och det kan vara svårt att tolka denna då cykelbanebredden kan vara smalare än 3,5 meter. Utöver det är det lägsta avståndet mellan bommar ( $l$ ) ca 4,5 meter och det gäller för en vanlig cykel som förväntas få ner hastigheten till 8 km/h. Detta lägsta avstånd är långt och blev det längsta avstånd som vi undersökte i vår studie.

<sup>2</sup> Bakgrunden till denna studie var att dåvarande VU 94 rekommenderade att tre räckor skulle användas och att avståndet  $l$  skulle vara minst en meter. Syftet med denna studie var att undersöka hur man får en tillräcklig hastighetssänkning med enbart två grindar.



Figur 11. Illustration över förväntad hastighet på cyklar genom cykelfällor beroende på avstånd mellan bommar och banbredd, utklippt från Trafikverket (2024)

## 4.2 Experiment och data

Denna delstudie har fått godkännande av Etikprövningsmyndigheten, dnr 2023-07649-01 som även inkluderar insamling av data genom utrustning på cyklarna och med hjälp av kamerasystem. Genomförandet skedde på VTI:s cykeltestbana där tre cykelfällor placerades ut med lämpligt avstånd. För placering, se Figur 12. Den exakta placeringen berodde även på att kamerorna skulle kunna riktas mot fällorna.



Figur 12 Vy över VTI:s cykeltestbana (foto: AILAB@LiU), där fällornas placering är utmarkerade. Den infällda bilden visar fälla 3 i riktning mot fälla 2 (foto: Jenny Eriksson). Tre kameror satt placerade i lyktstolparna som fångade cyklisternas rörelse och hastighet.

Cyklisterna skulle cykla igenom dessa tre grindpar som hade olika avståndsställningar i fyra olika omgångar. Totalt var det tolv olika avståndsställningar som testades, se Tabell 7 nedan. Bredderna på cykelbanan varierade beroende på överlappet (tejpade gul linje).

Tabell 7. Upplägg av försöket, där fålla 1–3 har olika överlapp och bredd på banan. De olika avstånden i längdled är redovisade som omgång 1–4.

| Upplägg      | Fålla 1        | Fålla 2              | Fålla 3           |
|--------------|----------------|----------------------|-------------------|
| Överlapp     | -0,5 m (öppet) | 0 m (inget överlapp) | +0,5 m (överlapp) |
| Banans bredd | 2,3 m          | 2,8 m                | 3,3 m             |
| Omgång 1     | 4,5 m          | 4,5 m                | 4,5 m             |
| Omgång 2     | 3,5 m          | 3,5 m                | 3,5 m             |
| Omgång 3     | 2,5 m          | 2,5 m                | 2,5 m             |
| Omgång 4     | 1,5 m          | 1,5 m                | 1,5 m             |

#### 4.2.1 Rekrytering

Cyklisterna rekryterades genom frivilligt deltagande (*crowdsourcing*). En rekryteringsannons publicerades på sociala medier samt fanns tillgänglig på VTI:s hemsida som en landningssida. På VTI:s landningssida kunde den intresserade välja att fylla i en webbenkät. Webbenkäten användes för att få relevant bakgrundsinformation vid val av cyklister. Annonseringen pågick mellan 21 mars och 4 april 2024 och i samband med det var enkäten öppen även för de som inte sett annonsen. Det fanns även möjlighet att dela landningssidan på LinkedIn, i olika Facebook-grupper och andra sociala medier, vilket också gjordes. Nödvändiga krav för att delta är att vara minst 18 år gammal, vara villig att delta under de beskrivna förutsättningarna, kunna ta med sin cykel till testområdet, acceptera att bära cykelhjälm under försökets gång samt att mätutrustning fästs på cykeln. En ersättning utgick på 300 kr före skatt.

Vi ville ha cyklister från dessa tre distinkta grupper:

A: Den "obehindrade" gruppen, som inte har problem med att kliva på eller av sin cykel, som kan bära sin cykel och som inte drar sig för att cykla nerför en trottoarkant. Personerna i denna grupp har en vanlig cykel eller elcykel (som alltså inte faller i grupp C).

B: Den "försiktiga" eller "sköra" gruppen, som upplever besvär med att kliva på eller av cykeln, som inte lätt kan bära cykeln och upplever enklare hinder som problematiskt. Samma typ av cykel som i grupp A.

C: Människor som använder cyklar som är större än en standardcykel eller standard-elcykel. Det kan handla om cykelkärra, lådcykel, liggcykel eller andra ekipage med större dimensioner än "vanliga" cyklar.

Planen var att minst 30 forskningspersoner skulle delta och vi hade möjlighet att ta emot upp till 40 deltagare. Det var 73 personer som svarade att de kunde delta i försöken på VTI:s testbana i Linköping. De som valdes i första hand var de med specialcyklar som exempelvis velomobil och lådcykel, i andra hand de som var 65 år eller äldre och i tredje hand de övriga kunde vi välja med god spridning av kön och ålder. Vi valde ut totalt 37 cyklister och som också tackade ja till erbjudandet. En deltagare som kom med lådcykel nummer 2 som komplettering i efterhand då vi hade få lådcyklar.

I resultatet och analysen delades cyklisterna in i tre grupper, elcykel (inkl. en trehjulig), tvåhjuliga cyklar och övriga.

#### 4.2.2 Genomförande

Innan genomförandet fick deltagarna information om bland annat projektet i sin helhet, deras bidrag till projektet, följder och risker, och hur personuppgifter hanteras. De fick även en samtyckesblankett och arvodesblankett och hur man hittar till cykeltestbanan utskickat i samma informationsmejl i samband med bokningsbekräftelsen av tid.

En försöksledarinstruktion upprättades för att underlätta mottagandet och genomförandet av försöken. Vid varje försökstillfälle var det en till tre cyklister som deltog. När alla som skulle delta var samlade gick försöksledaren igenom sin instruktion samt tog en guidad tur runt cykeltestbanan med deltagarna utanför de tre olika fällorna. Sedan fick var och en av cyklisterna ställa sig vid sista grindparet och göra styrutslag för att utrustningen som monterats på cyklarna skulle synkas mot kamerasystemen. Sedan fick försöksperson 1 (FP1) starta först, två varv utanför (baslinje), två varv genom grindarna, sedan FP2 och FP3. Efter det justerade grindarna och det var samma ordning på cyklisterna, FP1, FP2, FP3, men nu enbart två varv genom grindarna. Detta upprepas för ytterligare två olika avståndsställningar och ordning på FP var samma. Efter varje omgång fick varje FP svara på en enkät om hur den upplevde grindpassagerna (bilaga 1). I sista omgången, omgång fyra, fick försökspersonerna svara på mer allmänna frågor utöver upplevelsen vid passagen av fällorna (bilaga 2). Alla försökspersoner använde QR-koden till webbenkäten, inga pappersenkäter behövde delas ut.

#### 4.2.3 Databearbetning

Viss databearbetning utfördes på plats. Det handlade om att rätta vissa fel i enkät som några försökspersoner missat och uppmärksammat i efterhand, som motsatt betyg, uppgett fel FP-nummer och fick göra om en enkät, så det första svaret skulle kastas. Dessa rättades till.

### 4.3 Resultat – deskriptiv

De deltagande cyklisterna hade en god spridning i kön och ålder, se Tabell 8 nedan. Vi fick även en bra spridning av cykeltyper, se Tabell 9.

Tabell 8 Antal cyklister som deltog i försöket, uppdelat på kön och ålderskategori

| Ålder/kön       | Kvinna | Man | Totalt |
|-----------------|--------|-----|--------|
| 20–34 år        | 2      | 6   | 8      |
| 35–49 år        | 3      | 8   | 11     |
| 50–64 år        | 5      | 7   | 12     |
| 65 år och äldre | 3      | 3   | 6      |
| Totalt          | 13     | 24  | 37     |

Tabell 9 Typ av cykel som deltagarna använde vid försöket

| Typ av cykel      | Antal |
|-------------------|-------|
| Elcykel           | 8     |
| Komfortcykel      | 7     |
| Lådcykel          | 4     |
| MTB               | 6     |
| Racer             | 6     |
| Stadscykel        | 3     |
| Trehjulig elcykel | 1     |
| Velomobil         | 2     |
| Totalsumma        | 37    |

De allra flesta (32 av 37) uppger att de brukar cykla året om. Alla utom en cyklar minst 2–4 dagar i veckan. Den var 21 som uppger att de ofta cyklar snabbare än de flesta andra, 18 som oftast håller samma fart som de flesta andra och en som svarade att den oftast cyklar lugnt och brukar mest bli omcyklad. På frågan om hur fysiskt besvärligt det är att kliva på och av cykeln var det 28 cyklisterna som uppgav att det inte var besvärligt. Nio uppgav däremot att de tyckte att det kräver viss ansträngning och några av dem att det var besvärligt.

#### 4.3.1 Analys av enkäten och hastighetsdata

Analysen är uppdelad efter följande grupperingar:

- Större cyklar: lådcykel, oavsett utformning och velomobiler
- Elcyklar: alla typer av elcykel inkl. den trehjuliga
- Övriga cyklar: MTB, racer, komfort- och stadscykel

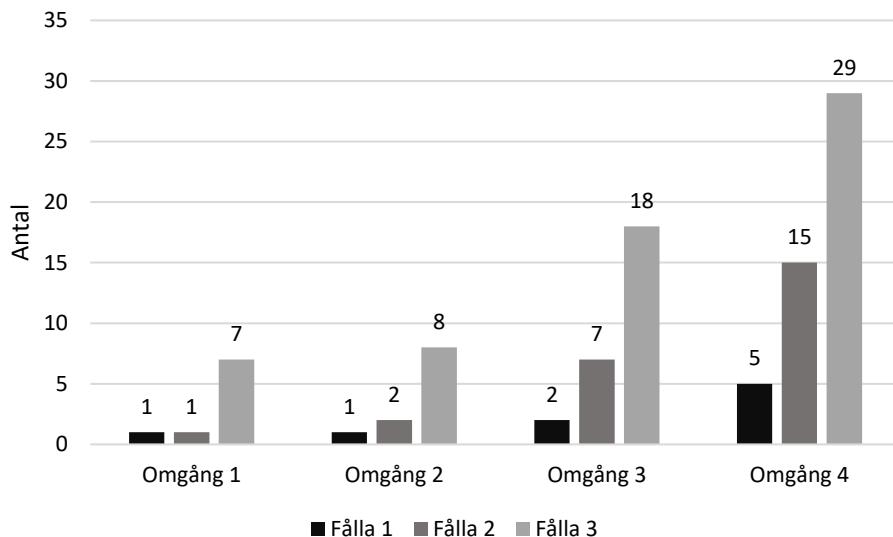
Elcyklar och övriga cyklar är lika varandra i design, men elcykeln är oftast tyngre och elassisten kan göra att man kommer upp snabbt upp i fart och eventuellt kan ka lättare att hålla balansen.

#### 4.3.2 Kom igenom/klev av vid passering av fällorna

Två av ekipagen kom inte igenom den nuvarande standardgrinden (1,5 m med 0,5 överlapp) och det var två velomobiler eftersom längden på ekipagen påverkade. I omgång 3, sista fällan, var det en i gruppen större cyklar som valde att leda igenom. I omgång 4 var det en elcyklist som klev av och ledde cykeln i fälla 2 och 3 och för de större cyklarna var det två för fälla 2 och tre för fälla 3.

#### 4.3.3 Krånglig att passera fällorna

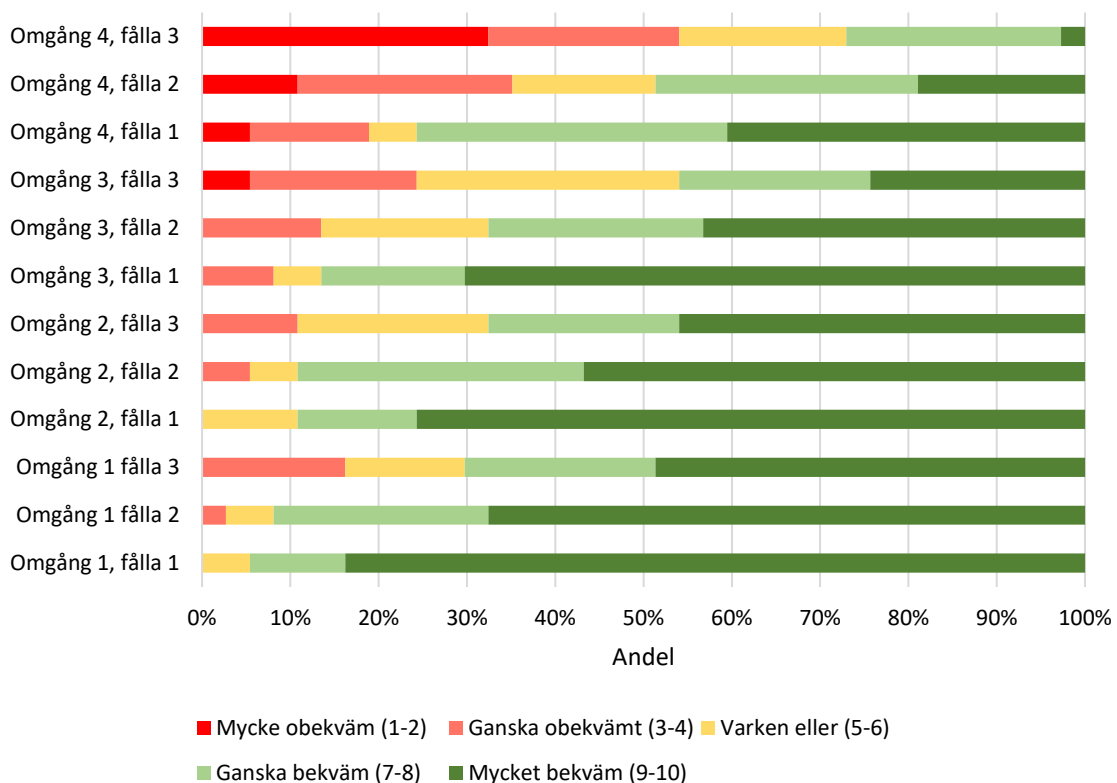
På frågan *Vilka fällor var krångliga att passera?* var det många som uppgav att fälla 3 i omgång 4, 29 av 37 deltagare (78%), se Figur 1. Det var bara 8 av 37 som tyckte att alla fällor i omgång 4 var enkla att passera (en elcyklist och 7 på övriga cyklar).



Figur 13 Antal cyklister som uppgav vilka fällor som upplevdes som krångliga att passera, uppdelat per omgång (N=37).

#### 4.3.4 Omdömen av fällorna

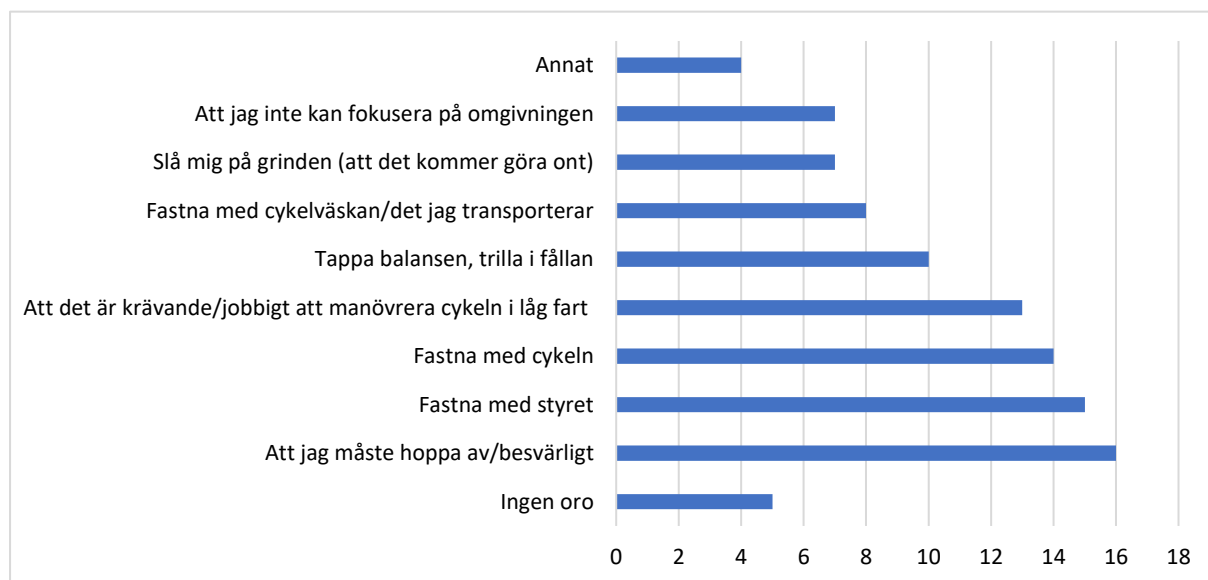
Cyklister fick uppge på en skala 1–10 hur bekvämt det var att cykla igenom en fälla, där 1 står för mycket obekvämt och 10 för mycket bekvämt. Fälla 1 i alla omgångar fick höga betyg i alla omgångar, även om det sjönk något för varje omgång. De cyklister som framförde en större cykel gav överlag lägre sifferomdöme. Fälla tre var den som fick lägst omdöme oavsett omgång, där lägsta värden var på den sista omgången. I Figur 14 har omdömena från alla cyklister delats in till två omdömen per grupp, det vill säga från en 10-gradig skala till en 5-gradig för att underlätta tolkningen i illustrationen.



Figur 14 Omdöme per omgång och fälla, där sifferbetygen 1–10 delas in i fem grupper.

#### 4.3.5 Orolig vid passerande av fällorna

I Figur 15 redovisas svar på frågan *Vad är du orolig för vid passerandet av grindarna/ i cykelfällan?*. Fler alternativ kunde väljas. Vanligaste oron var att cyklisten behöver hoppa av/besvärligt (43%), fastna, både med styret (41%) och med cykeln (38%) och att det är krävande/jobbigt att manövrera cykeln i låg fart (35%). Det var fem (14%) som uppgav att de inte kände någon oro alls.



Figur 15 Sammanställning över vad cyklisterna är orolig för vid passerandet av grindarna/i cykelfällan

#### 4.3.6 Synpunkter från cyklisterna

I enkäten gavs det möjlighet att lämna ytterligare kommentarer av upplevelsen. En cyklist uppgav att den att

*jag brukar cykla ganska snabbt och tycker det är obekvämt att tappa hastighet. Vid detta försök cyklade jag som om cykelbanan var helt fri. Hade det varit fler folk framför fällorna hade jag nog saktat ner och tagit dem långsammare.*

Här beskrivs alltså att den anpassar hastigheten efter trafiksituationen. En cyklist nämnde detta i omgång 3 som visar på att uppmärksamheten på trafiken skulle kunna påverkas:

*Lite tätare mellan "rören" i en fälla i denna omgång gjorde att jag fick koncentrera mig lite mer på styrningen än i de förra försöken.*

Det var två som angav att de fick sätta ner foten som stöd i omgång 4, grindpar 3, vilket kan göra att det är lättare att tappa balansen. En uppgav vid samma inställning att den inbjöd till en bra fartsänkning och att det blev en vettig passage.

Vid frågan om de föredrar något annat avstånd, det vill säga längre/kortare avstånd eller annat överlapp svarade en cyklist så här:

*Föredrar att fällorna överlappar så att jag inte tror att jag kan cykla igenom dessa utan att svänga. Placering mellan de individuella fällorna ska vara tillräckligt långt emellan så att det inte ska behöva göra skarpa svängningar för att passera dem.*

För lådcykel eller velomobil var en återkommande kommentar att det ska vara längre avstånd och mindre överlapp som gör det lättare att komma igenom. En del av cyklisterna på tvåhjuliga cyklar och elcyklar angav också detta.

En ytterligare fråga som ställdes i enkäten var *Hade du föredragit en annan lösning för att dämpa cyklisternas hastighet? Vilken?* Här varierade svaren. En del uppgav att de vill se fARTHINDER, eller räfflor i asfalten, medan andra inte tror på fARTHINDER utan då blir fÄLLOR den bästa lösningen. En cyklist skulle vilja se en varningsskylt om att vägen smalnar av.

Sista fråga som ställdes handlade om man föredragit en annan lösning för att biltrafiken inte kan ta sig in. En av cyklisterna menade att

*Avsmalning som inte kräver sväng. Dock så pass bred att lådcyklar mm kommer igenom. Viktigt att den är synlig också.*

Men många nämner att en grind borde räcka (gärna eftergivlig) eller en stolpe i mitten. Viktigt är dock att stolpen är synlig.

#### 4.4 Resultat hastighet och omdöme

Det visade sig att det inte fanns tillgång till hastigheter från alla cyklister i försöket. Sex cyklister som blev exkluderade på grund av detta och det var tre lådcyklister, en elcyklist och två på vanliga cyklar. Totalt kvarstår följande cyklister och som är med i nedanstående hastighetsanalys, se Tabell 8.

Tabell 10 Deltagarnas ålder och kön uppdelat på cykeltyp som är kvar i hastighetsanalysen.

| Ålder           | Lådcykel/velomobil |     | Elcykel |     | Tvåhjulig cykel |     |
|-----------------|--------------------|-----|---------|-----|-----------------|-----|
|                 | Kvinna             | Man | Kvinna  | Man | Kvinna          | Man |
| 20–34 år        | 0                  | 0   | 1       | 1   | 0               | 5   |
| 35–49 år        | 1                  | 2   | 1       | 0   | 1               | 4   |
| 50–64 år        | 0                  | 0   | 3       | 0   | 2               | 5   |
| 65 år och äldre | 0                  | 0   | 1       | 1   | 2               | 1   |

Tabell 11 nedan presenteras omdömena från cyklisterna. Det är låga omdömen från cyklister i velomobil/på lådcykel oavsett inställning av grindar. Detta gäller framför allt för de överlapp där grindarna är 1,5 och 2,5 meter i längsled. Bekvämast var den inställning där överlappet var öppet och hade grindar som var placerade med 4,5 meter i avstånd i längsled. De försökspersoner som framförde en elcykel eller tvåhjulig cykel hade liknande omdömen. Där var det låga omdömen för den nu gällande rekommendationen på 0,5 meter i överlapp och 1,5 meter i längsled.

Tabell 11 Cyklisternas omdöme (*Hur bekvämt tyckte du det var vid passering av...?*), medelvärde på en skala 1–10. Uppdelat på grindarnas överlapp, typ av cykel och avstånd mellan grindarna i längsled. Röda celler har ett betyg under 4,5, rosa mellan 4,5–5,9, ljusgrönt mellan 6,0–6,9, grönt mellan 7,0–10,0.

| Grindarnas överlapp och typ av cykel |                    | 1,5 m | 2,5 m | 3,5 m | 4,5 m |
|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>+0.5m<br/>(över-<br/>lapp)</b>    | Lådcykel/velomobil | 1,3   | 3,0   | 4,7   | 6,3   |
|                                      | Elcykel            | 4,6   | 7,3   | 8,1   | 8,1   |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 4,9   | 6,6   | 8,2   | 7,9   |
| <b>0m (inget<br/>överlapp)</b>       | Lådcykel/velomobil | 2,3   | 4,3   | 5,7   | 7,0   |
|                                      | Elcykel            | 6,0   | 8,5   | 8,5   | 8,8   |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 6,6   | 7,8   | 8,9   | 9,0   |
| <b>-0.5m<br/>(öppet)</b>             | Lådcykel/velomobil | 4,3   | 5,3   | 6,3   | 7,7   |
|                                      | Elcykel            | 7,6   | 9,3   | 9,4   | 9,5   |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 8,3   | 9,3   | 9,6   | 9,5   |

Den ovanstående tabellens resultat kan kopplas ihop med cyklisternas uppmätta medelhastighet och 75-percentilen för hastigheten vid den första bommen vid passerandet av fällan. I Tabell 12 nedan visas medelhastigheterna för de olika cyklistgrupperna och de olika grindinställningarna. Lådcykel/velomobilgruppen uppvisar lägst respektive tvåhjulig cykel högst medelhastighet.

Tabell 12 Medelhastighet (km/h) uppdelat per typ av cykel och avstånd. Varje cyklist har två hastighetsvärden. Lådcykel/velomobil baseras endast på tre försökspersoners cykling (totalt 6 värden). Röda celler har en medelhastighet under 10 km/h, gröna 10,0–15,0 km/h, rosa mer än 15,0 km/h.

| Grindarnas överlapp och typ av cykel |                    | 1,5 m | 2,5 m | 3,5 m | 4,5 m |
|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>+0.5m (över-<br/>lapp)</b>        | Lådcykel/velomobil | 3,3   | 4,9   | 7,6   | 9,2   |
|                                      | Elcykel            | 6,2   | 12,2  | 14,9  | 15,6  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 7,6   | 14,0  | 17,0  | 17,6  |
| <b>0m (inget<br/>överlapp)</b>       | Lådcykel/velomobil | 1,9   | 6,0   | 9,6   | 11,1  |
|                                      | Elcykel            | 9,4   | 14,8  | 17,0  | 18,3  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 12,4  | 17,7  | 20,5  | 21,4  |
| <b>-0.5m (öppet)</b>                 | Lådcykel/velomobil | 3,7   | 9,0   | 10,7  | 13,0  |
|                                      | Elcykel            | 14,8  | 17,8  | 19,8  | 19,7  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 18,1  | 21,1  | 21,6  | 22,0  |

För att ta reda på hur de cyklister som passerar lite långsammare igenom fällan redovisas även 25:e percentilen, se Tabell 13. Här är det fler som inte når upp till önskad hastighet om minst 10 km/h.

Tabell 13 Hastigheten (km/h) för 25:e percentilen uppdelat per typ av cykel och avstånd. Varje cyklist har två hastighetsvärden. Lådcykel/velomobil baseras endast på tre försökspersoners cykling (totalt 6 värden). Röda celler har en medelhastighet under 10 km/h, gröna 10,0–15,0 km/h, rosa mer än 15,0 km/h.

| Grindarnas överlapp och typ av cykel |                    | 1,5 m | 2,5 m | 3,5 m | 4,5 m |
|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>+0.5m (överlapp)</b>              | Lådcykel/velomobil | 0,2   | 3,9   | 4,1   | 5,2   |
|                                      | Elcykel            | 4,9   | 9,7   | 12,5  | 12,8  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 6,3   | 11,4  | 15,7  | 16,8  |
| <b>0m (inget överlapp)</b>           | Lådcykel/velomobil | 0,3   | 3,0   | 4,5   | 5,4   |
|                                      | Elcykel            | 6,6   | 12,4  | 15,2  | 16,0  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 9,5   | 15,2  | 18,3  | 19,5  |
| <b>-0.5m (öppet)</b>                 | Lådcykel/velomobil | 3,2   | 7,6   | 8,8   | 8,2   |
|                                      | Elcykel            | 10,5  | 13,9  | 15,9  | 16,8  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 16,8  | 18,9  | 19,4  | 19,2  |

För att ta reda på hur de cyklister som passerar lite snabbare igenom fällan redovisas även 75:e percentilen, se Tabell 14. Här är det många som cyklar (för) fort och få som håller sig under 15 km/h.

Tabell 14 Hastigheten (km/h) för 75:e percentilen uppdelat per typ av cykel och avstånd. Varje cyklist har två hastighetsvärden. Lådcykel/velomobil baseras endast på tre försökspersoners cykling (totalt 6 värden). Röda celler har en medelhastighet under 10 km/h, gröna 10,0–15,0 km/h, rosa mer än 15,0 km/h.

| Grindarnas överlapp och typ av cykel |                    | 1,5 m | 2,5 m | 3,5 m | 4,5 m |
|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>+0.5m (överlapp)</b>              | Lådcykel/velomobil | 1,7   | 6,0   | 10,2  | 11,2  |
|                                      | Elcykel            | 7,7   | 15,8  | 19,0  | 18,8  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 9,2   | 16,3  | 18,3  | 18,8  |
| <b>0m (inget överlapp)</b>           | Lådcykel/velomobil | 3,1   | 7,7   | 15,2  | 15,9  |
|                                      | Elcykel            | 12,5  | 18,6  | 20,7  | 20,9  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 14,7  | 19,7  | 22,2  | 23,1  |
| <b>-0.5m (öppet)</b>                 | Lådcykel/velomobil | 4,2   | 10,4  | 11,5  | 16,7  |
|                                      | Elcykel            | 18,7  | 21,8  | 22,5  | 22,5  |
|                                      | Tvåhjulig cykel    | 19,1  | 23,1  | 23,4  | 24,7  |

Korrelation mellan omdöme och hastighet och var hög både för medelhastighet (0,95) och 75-percentilen (0,97).

#### 4.5 Diskussion

En cykel blir stabil vid hastigheter över 10 km/h (Kooijman, 2012; Meijaard et al., 2007). Det innebär att cykeln blir självstabiliserande och kräver mindre av cyklisten för att hålla balansen. Då minskar vingelmånen och det blir säkrare att framföra cykeln. Mycket av detta beskrivs teoretiskt i delstudie 1, avsnitt 3. Utgår man från att cyklister ska kunna hålla 10 km/h för att ta hänsyn till att cyklisterna inte ska tappa balansen och falla bör denna hastighet gälla genom cykelfällan.

I VGU (Trafikverket, 2024) är rekommendationen att överlappet mellan grindarna ska vara 0,5 meter och GCM-handboken (SKL, 2010) rekommenderar 1,5 meter i längsled. Den rekommendationen visar på att 75:e percentilens hastigheter ligger under 10 km/h för samtliga cykeltyper och bör alltså inte gälla. Utöver det kom inte cyklister med velomobiler igenom denna samt att cyklisternas bekvämlighetsbetyg var mycket låga vilket ytterligare förstärker att denna rekommendation inte bör gälla längre.

Vad bör rekommenderas i stället? Det finns fler faktorer som avgör, dels bör minsta hastighet genom fällan vara minst 10 km/h, dels får hastigheten inte bli för hög om syftet är att minska cyklisternas hastighet. De allra snabbaste cyklisterna bör alltså sakta ner. I vårt försök uppmättes enbart fri hastighet, vilket innebär att det inte finns något hinder som exempelvis en korsning innan eller efter. Troligen var hastigheterna högre genom fällan på grund av detta, vilket också påpekades av en cyklist som uppgav att hen brukar anpassa hastigheten efter trafiksituationen. Vi tror att en tillräcklig högsta hastighet som accepteras borde vara runt 15 km/h. Både 25:e och 75:e percentilen studerades för elcykel och tvåhjulig cykel. Den enda inställning som uppvisade tillräckligt bra resultat var 2,5 meter i längsled med 0,5 meter i överlapp. Där var 25:e percentilen på 9,7 respektive 11,4 km/h, vilket indikerar på att de flesta tar sig igenom fällan med en tillräcklig acceptabel hastighet för att cykeln ska vara stabil. För 75:e percentilen var hastigheterna på 15,8 och 16,3 km/h för dessa två cyklistgrupper, vilket i detta fall kan vara acceptabelt då ingen anpassning av hastigheten på grund av infrastrukturen gjordes i försöken. Bekvämlighetsbetyget är tillräckligt högt för denna inställning. Lådcyklarna/velomobilerna var få till antalet och uppvisade lägre hastigheter under 10 km/h där en förklaring kan vara att en av dem behövde kliva av och leda sin cykel, vilket påverkar resultatet i sin helhet. Dock var bekvämlighetsbetyget mycket lågt bland denna grupp.

Något som ytterligare bör tas med i beaktande vid passering genom fällan är om det råder ett annat väglag än torr asfalt, till exempel grus och is, då detta kan påverka risken att tappa balansen vid passering. Då har svängradien troligen stor betydelse då greppet försämras avsevärt. Detta kan ett mindre överlapp till viss del avhjälpa.

Något som inte verkar stämma är Figur 11 som hämtats från VGU. Om cykelbanan är 3,5 meter bred och en vanlig cykel förväntas hålla 10 km/h genom fällorna bör avståndet mellan bomarna vara ca 5,5 meter. Enligt vår studies uppmätta hastighet av tvåhjuliga cyklar var hastigheten mellan 16,8 och 18,8 km/h för 25:e respektive 75:e percentilen då längden mellan bomarna är 4,5 meter, cykelbanebredden 3,2 meter och överlappet 0,5 meter. Det tyder på att figurens värden visar för låga simulerade hastighetsvärden i förhållande till verkligt uppmätta värden. Det finns också en skrivning i VGU som lyder: *Om 0,5 m överlapp a minskas, resulterar det i mindre inbromsning och mindre riktningsändring.* Om överlappet är 0,0 meter och avståndet mellan grindarna är 1,5 meter uppvisas även här låga hastigheter, inte lika låga som överlapp på 0,5 meter, det vill säga inbromsning sker men det blir inte lika vingligt att ta sig igenom fällan på grund av mindre riktningsändring. Cyklisternas omdöme var också betydligt högre. Detta tyder på att denna skrivning bör ses över.

I den senaste versionen av VGU (Trafikverket, 2024) är följande text borttagen som fanns i versionen innan (Trafikverket, 2022): *Cykelfälla bör undvikas i största möjliga utsträckning.* I en studie (Stigell et al., 2019) som handlar om att sänka cyklisters hastigheter på cykelbanor framkom att i stället för att använda fällor kan varningsskyltar eller vägmärkingar användas. Detta motiveras genom att en fälla är en trafiksäkerhetsrisk för cyklisterna som inte uppväger nyttan med sänkt hastighet. Det är alltså av betydelse att det finns en rekommendation om att cykelfällor bör undvikas, detta är särskilt relevant för Lådcyklar/velomobiler där problematiken med cykelfällorna är mer tydlig.

#### 4.6 Rekommendation

Dagens rekommendation för cykelfällor behöver ses över. Utöver att den kan ses som en trafiksäkerhetsrisk för cyklister och endast bör användas i undantagsfall behövs nya riktlinjer. I denna delstudie genomfördes ett försöksexperiment med olika inställningar på cykelfällor som rekryterade cyklister fick cykla igenom. Det kan finnas olika skäl till att cykelfällorna finns och nedan följer rekommendationer som vi kommit fram till:

##### A) Om målet är att sänka hastigheten på cyklarna

Om hänsyn tas till både cykelns stabilitet och få ner hastigheten för de allra snabbaste cyklisterna bör den nya rekommendationen vara 2,5 meter i längdled med 0,5 meters överlapp. Dock förutsätter det att det är få eller inga bredare och/eller längre cyklar som lådcyklar eller velomobiler då dessa kräver en annan inställning för att uppfylla kraven för stabilitet (se punkt C). Dock tar de sig igenom denna inställning på fällan men med för låg hastighet eller att cyklisten behöver leda cykeln.

##### B) Om målet är att i huvudsak hålla bilar borta.

Det finns många andra sätt att lösa detta som exempelvis bara sätta ut en grind, pollare eller avsmalning. Här är det viktigt att tänka på att markera dessa tydligt med reflekterade material, vilket även gäller för grindar i cykelfällor.

##### C) Om det beräknas finnas många lådcyklar

För bredare och/eller längre cyklar krävs en annan inställning för att de ska kunna hålla en tillfredsställande hastighet. Alla inställningar av grindarna i fällan i detta försök hade för låga hastigheter, men det baserades bara på tre lådcyklar/velomobiler. En fingervisning är att öka avståndet i längdled eller minska överlappet för att dessa cyklister ska hålla en mer tillfredsställande hastighet utan att den blir för hög.

## 5 Gemensam diskussion och slutsats

Denna rapport har studerat cyklisters singelolyckor på två olika sätt: 1) metodutveckling för riskbedömning (Delstudie 1) och 2) praktisk utvärdering av fysisk utformning av grindar (Delstudie 2). Bakgrunden är att singelolyckor utgör det största trafiksäkerhetsproblemet för cyklister, där infrastrukturens utformning ofta spelar en avgörande roll. Genom att studera både hur vi kan mäta risker innan olyckan sker och hur vi bör utforma hinder för att minimera risker och bibehålla ett komfortabelt cyklande.

I Delstudie 1 presenterades en metod för att identifiera riskfyllda platser med hjälp av videoanalys och extremvärdesteori (EVT). Resultaten visar att det är möjligt att kvantifiera risken för obalans – specifikt risken att slå över styret (*pitch-over*) eller sladda (*skidding*) – på detaljerad segmentnivå utan att invänta olycksstatistik. En viktig insikt är att denna teknik kan användas för att utvärdera befintlig infrastruktur. Om en specifik kurva uppvisar höga värden för sladdrisk, kan riktade åtgärder som förbättrad friktion eller ändrad geometri sättas in omedelbart. Begränsningen ligger i att metoden mäter indikatorer för obalans snarare än faktiska fall, samt att den är beroende av yttre förhållanden som väglag vid inspelningstillfället.

Delstudie 2 belyste hur felaktigt utformad infrastruktur kan framkalla just den obalans som Delstudie 1 syftar till att mäta. Experimentet med cykelfällor visade att dagens riktlinjer (0,5 m överlapp och i 1,5 m längdsled) tvingar cyklister till hastigheter under 10 km/h, vilket är den gräns där en cykel blir instabil och "vinglig". Försöken tyder på att denna utformning inte bara är obekväm, utan potentiellt trafikfarlig då den ökar risken för att cyklisten tappar balansen.

Dessutom framkom att dagens standard exkluderar en växande grupp cyklister. Större ekipage som lådcyklar och velomobiler har stora svårigheter att passera eller kommer inte igenom alls, vilket understryker behovet av mer inkluderande infrastrukturkrav.

Slutsatsen är att cykelinfrastruktur måste utformas med hänsyn till cykelns fysiska krav på en viss minimihastighet för balans. Att tvinga ner cyklister i för låga hastigheter genom snäva passager (som i nuvarande VGU-rekommendationer) skapar en "tillverkad" risk för singelolyckor. Nuvarande rekommendationer i VGU bör ändras. För att bibehålla stabilitet och inkludera olika typer av cyklar rekommenderas ett avstånd på **2,5 meter i längdled med 0,5 meters överlapp** om syftet är hastighetsdämpning. Är syftet enbart att hindra biltrafik bör enkla pollare eller grindar utan överlapp användas.

## 6 Referenser

- Algurén, B., & Rizzi, M. (2022). In-depth understanding of single bicycle crashes in Sweden - Crash characteristics, injury types and health outcomes differentiated by gender and age-groups. *Journal of Transport & Health*, 24, 101320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101320>
- Amin, K., Hedlund, J., Forsman, Å., Vadeby, A., Fredriksson, R., Hurtig, P., Larsson, P., Lindholm, M., Sternlund, S., & Rizzi, M. (2021). *Analys av trafiksäkerhetsutvecklingen 2020 : Målstyrning av trafiksäkerhetsarbetet mot etappmålen 2020* (978-91-7725-861-2 (ISBN)). (Trafikverkets publikationer, Issue. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-5062>
- Baran, I., Lehtinen, J., & Popović, J. (2010). Sketching Clothoid Splines Using Shortest Paths. *Computer Graphics Forum*, 29(2), 655-664. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01635.x>
- Cain, S. M., Ashton-Miller, J. A., & Perkins, N. C. (2016). On the Skill of Balancing While Riding a Bicycle. *PLOS ONE*, 11(2), e0149340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149340>
- Eriksson, J., Henriksson, P., & Rizzi, M. C. (2022). *Oskyddade trafikanter i blandning i olyckor och deras skadeutfall : en jämförande studie mellan fotgängare, cyklister, mopedister och motorcyklister* (03476030 (ISSN)). (VTI rapport, Issue. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-18774>
- European-Commission. (2024). *Road safety thematic report – Cyclists*. E. C. European Road Safety Observatory. Brussels, Directorate General for Transport. [https://transport.ec.europa.eu/document/download/6a98d1f0-e6c1-40f1-8b6a-d48cef787fa7\\_en?filename=ERSO-TR-Cyclists-20240305.pdf](https://transport.ec.europa.eu/document/download/6a98d1f0-e6c1-40f1-8b6a-d48cef787fa7_en?filename=ERSO-TR-Cyclists-20240305.pdf)
- Gildea, K., Hall, D., Mercadal-Baudart, C., Caulfield, B., & Simms, C. (2023). Computer vision-based assessment of cyclist-tram track interactions for predictive modeling of crossing success. *Journal of Safety Research*, 87, 202-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.017>
- Gulliksson, A., & Söderström, L. (2004). *Hastighet och bekvämlighet i cykelgrindar. Resultat från småskaliga försök i Lund*. L. t. högskola.
- Hossein Sabbaghian, M., Llopis-Castelló, D., & García, A. Typology of Bike Lane Users Motion on Horizontal Curves: A Surrogate Safety Approach. *Transportation Research Record*, 0(0), 03611981251364837. <https://doi.org/10.1177/03611981251364837>
- Hossein Sabbaghian, M., Llopis-Castelló, D., & García, A. (2024). Assessing micromobility safety on horizontal curves of bike lanes: a video motion analysis methodology. *Traffic Safety Research*, 7, e000057. <https://doi.org/10.55329/mmvw5208>
- Kooijman, A. L. S. J. P. M. J. D. G. (2012). Lateral dynamics of a bicycle with a passive rider model: stability and controllability. *Vehicle System Dynamics*, 50(No. 8), 15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/00423114.2011.610898>
- Meijaard, J. P., Papadopoulos, J., Ruina, A., & Schwab, A. L. (2007). Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle: a benchmark and review. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463, 1955 - 1982.
- Olesen, A. V., Madsen, T. K. O., Hels, T., Hosseinpour, M., & Lahrman, H. S. (2021). Single-bicycle crashes: An in-depth analysis of self-reported crashes and estimation of attributable hospital cost. *Accident Analysis & Prevention*, 161, 106353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106353>
- Persson, N. (2023). *Control and Navigation of an Autonomous Bicycle* (Publication Number 336) [Licentiate thesis, comprehensive summary, Mälardalens universitet]. DiVA. Västerås. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-61612>
- Schepers, P., Stipdonk, H., Methorst, R., & Olivier, J. (2017). Bicycle fatalities: Trends in crashes with and without motor vehicles in The Netherlands. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 491-499. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.05.007>
- SKL. (2010). *Gcm-handbok - Utformning, drift och underhåll med gång-, cykel- och mopedtrafik i fokus*. Sveriges Kommuner och Landsting. [https://bicycleinfrastructuremanuals.com/manuals5/Trafikverket\\_GCM%20Handbook\\_%202010.pdf](https://bicycleinfrastructuremanuals.com/manuals5/Trafikverket_GCM%20Handbook_%202010.pdf)
- Stigell, E., Niska, A., Collander, C., Eriksson, J., & Nilsson, A. (2019). *Att sänka cyklisters hastighet på cykelbanor : acceptans, konsekvenser och förutsättningar* (03476030 (ISSN)). (VTI rapport, Issue. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-14808>

- Trafikverket. (2022). *Vägars och gators utformning - RÅD*. Trafikverket. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1621302/FULLTEXT03.pdf>
- Trafikverket. (2024). *Vägar och gators utformning - Krav med rådtexter*. Trafikverket. <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Utformning-av-vagar-och-gator/vagar-och-gators-utformning-vgu/>
- Transportstyrelsen. (2018). *Strada bortfallshandbok 2018* Transportstyrelsen. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/om-oss/publikationer-och-rapporter/rapporter/rapporter-inom-vagtrafik/strada-bortfallshandbok/>
- Utriainen, R., O'Hern, S., & Pöllänen, M. (2023). Review on single-bicycle crashes in the recent scientific literature. *Transport Reviews*, 43(2), 159-177. <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2055674>
- Yi, J., Zhang, Y., & Song, D. (2009, 15-18 Dec. 2009). Autonomous motorcycles for agile maneuvers, part I: Dynamic modeling. Proceedings of the 48th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) held jointly with 2009 28th Chinese Control Conference,

## 7 Bilaga 1

### Cykla i fållor - omgång 1

Obligatoriska frågor är markerade med en stjärna (\*)

☐

\*

Skriv in ditt försöksperson-nummer  
(samma som du har på ryggen):

---

Kom du igenom med cykeln i alla tre cykelfållorna? \*

☐

☐

Ja

Nej, jag fastnade/riskerade att fastna så jag backade och cyklade förbi den

Vilken/vilka av fållorna cyklade du förbi?  
Flera alternativ kan anges

☐

☐

☐

☐

Första

Andra

Tredje

Fick du kliva av cykeln och leda igenom någon av de tre cykelfållorna?  
Flera alternativ kan anges \*

☐

☐

☐

☐

☐

Nej

Ja, den första

Ja, den andra

Ja, den tredje

Vilka fållor var krångliga att passera?  
Flera alternativ kan anges \*

- ☐ Ingen var krånglig att passera
- ☐ Vid den första
- ☐ Vid den andra
- ☐ Vid den tredje

### Hur bekvämt tyckte du det var vid passering av...

*Vill du ge omdömet som motsvarar 1 på skalan, behöver du först flytta fyrkanten från det ursprungliga läget och sedan flytta tillbaka den.*

...fälla 1? \*



...fälla 2? \*



...fälla 3? \*



### Kommentar

---



---



---



---



---

Klicka på "Skicka" för att registrera dina svar.

## 8 Bilaga 2

### Cykla i fållor - omgång 4

\*

Skriv in ditt försöksperson-nummer  
(samma som du har på ryggen):

---

Kom du igenom med cykeln i alla tre cykelfållorna? \*

- ☐ Ja  
☐ Nej, jag fastnade/riskerade att fastna så jag backade och cyklade förbi en eller flera av fållorna

Vilken/vilka av fållorna cyklade du förbi?

Flera alternativ kan anges \*

- ☐ Den första  
☐ Den andra  
☐ Den tredje  
☐

Fick du kliva av cykeln och leda igenom någon av de tre cykelfållorna?

Flera alternativ kan anges \*

- ☐ Nej  
☐ Ja, den första  
☐ Ja, den andra  
☐ Ja, den tredje  
☐

Vilka fållor var krångliga att passera?

Flera alternativ kan anges \*

- ☐ Ingen var krånglig att passera  
☐ Vid den första  
☐

- ☐ Vid den andra
- ☐ Vid den tredje

**Kommentar:**

---



---



---



---

**Hur bekvämt tyckte du det var vid passering av...**

*Vill du ge omdömet som motsvarar 1 på skalan, behöver du först flytta fyrkanten från det ursprungliga läget och sedan flytta tillbaka den.*

...fälla 1? \*



...fälla 2? \*



...fälla 3? \*



**Vad är du orolig för vid passerandet av grindarna/i cykelfällan?**

*Flera alternativ kan anges \**

- ☐ Jag är inte orolig för något

- ☐ Fastna med styret
- ☐ Fastna med cykeln
- ☐ Fastna med cykelväskan/det jag transporterar
- ☐ Slå mig på grinden (att det kommer göra ont)
- ☐ Tappa balansen, trilla i fällan
- ☐ Att jag måste hoppa av/besvärligt
- ☐ Att det är krävande/jobbigt att manövrera cykeln i låg fart
- ☐ Att jag inte kan fokusera på omgivningen
- ☐ Annat, nämligen: \_\_\_\_\_

Några avslutande frågor om dig och din cykling med transport som syfte (dvs. ej träning eller rekreation).

Kön \*

- ☐ Kvinna
- ☐ Man

Födelseår: \*

- ☐ 2003
- ☐ 2002
- ☐ 2001
- ☐ 2000
- ☐ 1999
- ☐ 1998
- ☐ 1997
- ☐ 1996
- ☐ 1995
- ☐ 1994
- ☐ 1993
- ☐ 1992
- ☐ 1991

- ☐ 1990
- ☐ 1989
- ☐ 1988
- ☐ 1987
- ☐ 1986
- ☐ 1985
- ☐ 1984
- ☐ 1983
- ☐ 1982
- ☐ 1981
- ☐ 1980
- ☐ 1979
- ☐ 1978
- ☐ 1977
- ☐ 1976
- ☐ 1975
- ☐ 1974
- ☐ 1973
- ☐ 1972
- ☐ 1971
- ☐ 1970
- ☐ 1969
- ☐ 1968
- ☐ 1967
- ☐ 1966
- ☐ 1965
- ☐ 1964
- ☐ 1963
- ☐ 1962
- ☐ 1961
- ☐ 1960
- ☐ 1959

- ☐ 1958
- ☐ 1957
- ☐ 1956
- ☐ 1955
- ☐ 1954
- ☐ 1953
- ☐ 1952
- ☐ 1951
- ☐ 1950
- ☐ 1949
- ☐ 1948
- ☐ 1947
- ☐ 1946
- ☐ 1945

**Vilken typ av cykel har du använt under försöket?**

*Klicka på bilden för att svara \**



**Komfortcykel**



**Racer landsväg**



Mountainbike



Stadscykel



Elcykel



Lådcykel



Annan cykel

Känner du att du vill cykla så ”effektivt” som möjligt med denna cykel när du cyklar ensam, t.ex. du undviker att bromsa, du väljer en så smidig väg som möjligt, du tar genvägar där det går, etc.? \*

- ☐ Ja  
☐ Nej

Brukar du cykla året runt? \*

- ☐ Ja  
☐ Nej

Hur ofta cyklar du under din cykelsäsong (oavsett om det gäller transport, träning eller rekreation)? \*

- ☐ I stort sett dagligen  
☐ Ca 2-4 gånger per vecka  
☐ Ca 2-4 gånger per månad  
☐ Mer sällan

I vilket tempo cyklar du vanligtvis? \*

- ☐ Jag cyklar oftast snabbare än de flesta andra.  
☐ Jag håller oftast samma fart som de flesta andra, ibland cyklar jag om andra och ibland blir jag omcyklad.  
☐ Jag tar det oftast lugnt när jag cyklar och brukar mest bli omcyklad.

Hur fysiskt besvärligt är det för dig att kliva på och av cykeln? \*

- ☐ Besvärligt och jag är nervös över att tappa balansen.  
☐ Besvärligt, men jag är inte nervös över att tappa balansen.  
☐ Det kräver viss ansträngning, men det är inga problem.  
☐ Inte besvärligt, inget jag reflekterar över.

Föredrar du något annat avstånd? Längre/kortare avstånd eller annat överlapp?  
Beskriv på ett ungefär.

---

Hade du föredragit en annan lösning för att dämpa cyklister nas hastighet?  
Vilken?

---

Hade du föredragit en annan lösning för att biltrafiken inte kan ta sig in? Vilken?

---

Klicka på " Skicka" för att registrera dina svar .



**LUND**  
UNIVERSITY

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