

KONFO

- Konfiguration och funktion av omkörning på cykelbana



Av

Per Strömgren, Svante Berg, Anna Enström & Thed Kerrén

Förord

I dagens regionala och kommunala cykelnät finns sträckor som är överbelastade pga. det växande antalet cykelpendlare. Under ett flertal år har det talats om snabbcykelstråk eller supercykelvägar (även benämnda med andra namn), problemet är att de ofta är svåra att få in i stadens täta bebyggelse. Denna studie tar utgångspunkt i att tänka på nya lösningar och verktyg för att åstadkomma ökad kapacitet och framkomlighet med ett begränsat utrymme till förfogande.

Denna rapport sammanfattar arbetet med att från litteraturstudie, skapande av modellhypotes och modell samt ta fram ett underlag för TrVK/TrVR Vägar och Gators utformning (Trafikverket 2016).

Denna utredning är genomförd av Per Strömgren, Svante Berg, Anna Enström och Thed Kerrén.

Innehåll

SAMMANFATTNING	6
1 INLEDNING.....	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Uppdraget.....	8
2 SYFTE OCH MÅL	10
3 AVGRÄNSNINGAR.....	11
4 METODIK.....	12
5 LITTERATURSTUDIE	15
5.1 Sverige	16
5.2 USA	19
5.3 Danmark	20
5.4 Nederländerna.....	22
5.5 Kina	23
6 HYPOTES	24
6.1 Antaganden	24
6.2 Huvudhypoteser	25
6.2.1 Hypotes 1	25
6.2.2 Hypotes 2	25
6.2.3 Hypotes 3	26
6.2.4 Hypotes 4	26
6.2.5 Hypotes 5	27
7 MÄTNINGAR	28
8 OMKÖRNINGSSTRÄCKA	30
8.1 Omkörningssträcka metod och modell.....	30
8.1.1 Enkel omkörning	30
8.1.2 Multipel omkörning	31
8.1.3 Resultat omkörningssträcka	33
8.1.4 Felkällor.....	39
9 OMKÖRNING SOM FUNKTION AV FLÖDEN.....	40
9.1 Omkörning som funktion av flöden metod och modell.....	40

9.2 Resultat	41
10 MODELLANSATS OCH UTFORMNING	44
10.1 Utformning	46
11 SLUTSATS, DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE.....	48
REFERENSER.....	49

Sammanfattning

Inom ett flertal projekt med supercykelväg har problem uppstått i och med att dessa kräver en ansenlig bredd. I dagens svenska utformningskrav och kapacitetsmanual finns inga krav eller modeller för beräkning av kapacitet. Kunskapsluckorna är bland annat:

- Kapacitet på länk
- Hastighet kopplat till flöde
- Sektionsbredder
- Erforderlig längd på 2-fältighet för att möjliggöra omkörning

Målet för projektet är att ta fram grundläggande parametrar samt rekommendationer för "METKAP" samt "VGU" för ökad hållbar cykling. Projektets främsta fokus är utformning och kapacitet. Syftet är att ta fram bättre rekommendationer för ökad hållbar och tillgänglig cykling med en nytt angreppssätt för dimensionering av cykelbanor.

Idag saknas kunskap om hur cyklister beter sig i omkörningssituationer och vilket utrymme detta kräver. Syftet med denna rapport är att öka kunskapen kring cyklisters beteende i olika trafikmiljöer, för att på så sätt öka chansen att cykelinfrastruktur utformas för att på bästa sätt passa cyklisterna själva.

De huvudsakliga frågeställningar som denna rapport ämnar besvara är vilken spridning på hastigheter som finns på cykelbanor med olika utrymmesstandarder och hur den kan användas för att jämföra cykelbanors prestanda, samt hur en låg utrymmesstandard påverkar hur många omkörningar som sker. Vidare undersöks vilket utrymme en omkörning upptar i sidled och hur detta hänger samman med hastighetsskillnader och cykelbanebredd, samt vilket utrymme en omkörning tar i längdled.

Initialt i projektet har en teoretisk modell ansatts baserad på metoder från ett antal olika länder. Modellen kalibrerades och validerades sedan mot de utförda fältmätningarna.

Frågeställningarna besvaras dels med en litteraturgenomgång där resultaten av tidigare studier presenteras, dels med en fallstudie där vi jämför cyklistbeteende på två cykelbanor med olika utrymmesstandard. Den metod som använts i fallstudien är videoinspelning och manuell videoanalys.

Metoden som har använts är att kapacitet på länk mäts i ett antal snitt samt att befintliga mätpunkter har använts. Hastighetsmätningar har gjorts i ett antal punkter där också flöden har mätts. Dessutom görs omkörnings-/passagestudier

Studiens viktigaste slutsatser är att cykelbanor med lägre utrymmesstandard har större andel bundna cyklister, och att andelen bundna cyklister ökar med motriktat flöde när utrymmet är begränsat. Det var inte möjligt att visa något samband mellan omkörningsbredd och hastighetsskillnad, men omkörningsbredden var i genomsnitt större på bredare cykelbanor. Resultaten visade även att cyklister med högre hastighet väljer att placera sig längre från cykelbanans kant än cyklister med lägre hastighet. Dessutom observerades att på cykelbanor med god utrymmesstandard fanns ett linjärt positivt samband mellan flöde och omkörningsfrekvens. En modell för att beräkna fördelningen av omkörningssträcka togs fram, men kunde inte valideras på grund av begränsade mätresurser.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I dagsläget har Trafikverket tillsammans med en rad kommuner identifierat olika sträckor där nya breda och raka cykelbanor bör byggas med en standard över fastlagda normer, så kallade snabbcykelstråk. Snabbcykelstråken är tänkta att vara flerfiliga, gena, och utan hinder, vilket ska möjliggöra en högre hastighet och framkomlighet än på vanliga cykelbanor, dimensionerande hastighet är då 40 km/h istället för 30 km/h. Syftet med detta är att göra cykelpendling enklare, snabbare och säkrare. Problemet med de planerade snabbcykelstråken är att det stora utrymmesbehovet gör dem svåra att projektera och bygga i tätbebyggd miljö, något som lett till att projekt som den planerade supercykelvägen mellan Lund och Malmö försenats avsevärt. Även i fråga om ett planerat snabbcykelstråk mellan Mörby och Frescati i norra Stockholm tvingades Trafikverket avbryta i planeringsstadiet eftersom projektet krävde speciella åtgärder som kostade för mycket. Därmed har snabbcykelstråken visat sig vara komplicerade att både planera, projektera och anlägga.

En lösning på snabbcykelstråkens utrymmes- och kostnadsproblematik kan vara att följa 2+1-vägarnas princip, där breda omkörningsbara sträckor varvas med smalare 1-fältiga sträckor. För att kunna dimensionera dessa omkörningsbara segment krävs kunskap om hur mycket utrymme en omkörning upptar i sid- respektive längsled, samt hur många omkörningar som inträffar givet hur många cyklister som passerar per tidsenhet.

1.2 Uppdraget

Cykling har blivit populärt av flera skäl och som en följd av detta har andelen cykelresor nått en icke försumbar nivå i vissa länder, såsom 10% i Tyskland och Sverige, 11% i Finland, 18% i Danmark och 27% i Nederländerna (Pucher 2008). Trängseln på pendlingsvägar är i dag signifikant och så kallade supercykelvägar planeras och anläggs på flera håll i Sverige. Den begränsande faktorn är i många fall tillgången på kontinuerligt utrymme för att anlägga de breda cykelbanorna/vägarna. Denna studie tar utgångspunkt i att tänka på nya lösningar och verktyg för att åstadkomma ökad kapacitet och framkomlighet med det befintliga utrymmet som utgångspunkt.

Projektet syftar till att studera om 2+1 cykelväg/bana är en lösning samt hur det i så fall ska utformas. Mål med projektet är att studera förutsättningar samt ge förslag på effektivare utformning av cykelinfrastruktur i främst stadsmiljöer.

I detta projekt kommer undersökas om det går att dra några generella slutsatser kring cyklisters omkörningsbeteende i olika trafikmiljöer. Genom att utföra mätningar på olika platser där cyklar passerar kommer det undersökas hur omkörningar mellan cyklister ser ut, hur mycket plats de upptar samt vilka parametrar som avgör ifall en omkörning överhuvudtaget sker. Detta är relevant för att veta vilken typ av infrastrukturutformning som är lämplig i olika trafiksituationer.

För att åstadkomma detta har projekt även undersökt om det går att dra några generella slutsatser kring cyklisters omkörningsbeteende i olika trafikmiljöer. Genom att utföra mätningar på olika platser där cyklar passerar kommer det undersökas hur omkörningar mellan cyklister ser ut, hur mycket plats de upptar samt vilka parametrar som avgör ifall en omkörning överhuvudtaget sker. Detta är relevant för att veta vilken typ av infrastrukturutformning som är lämplig i olika trafiksituationer.

2 Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att ta fram en metod för optimering för antal körfält, längd och flöde för cykelbanor. Detta för att få en ökad kunskap om hur cyklister beter sig i omkörningssituationer och vilka parametrar som påverkar. Målet är att få kunskap om följande:

- Bestämning av kapacitet beroende på körfältskonfiguration flöde och lutning.
- Vilken spridning på hastigheter som finns på cykelbanor med olika utrymmesstandarder och hur den kan användas för att jämföra cykelbanors prestanda.
- Hur en dålig utrymmesstandard påverkar hur många omkörningar som sker.
- Vilket utrymme en omkörning upptar i sidled och hur detta hänger samman med hastighetsskillnader och cykelbanebredd.
- Vilket utrymme en omkörning tar i längsled.

Anledningen till valet av just dessa frågeställningar är att de ringar in de aspekter av omkörningsbeteende som är viktigast att känna till vid dimensionering av cykelinfrastruktur. Det knyter an till det större syftet med denna studie, nämligen att öka förståelsen för hur mycket plats cyklister behöver för att köra om. Detta är särskilt relevant inför utsikten att cykelbanor i framtiden kan komma att byggas enligt en 2+1-princip, där omkörningssträckor varvas med sträckor där möjligheten till omkörning är mer begränsad. För att kunna göra det krävs kunskap om hur omkörningar sker i olika miljöer. Studiens mål innefattar även att utveckla en modell för att kunna mäta hur cyklister begränsas av en cykelvägs fysiska förutsättningar.

3 Avgränsningar

Datainsamlingen och analysen kommer att avgränsas till separerade enkel och dubbelriktade cykelbanor i Stockholms innerstad. Det beror dels på att dessa mätobjekt är lättillgängliga, dels på att Stockholms innerstad erbjuder höga flöden och mätobjekt som passar bra för ändamålet. Vidare avses endast studeras beteende hos standardcyklister, det vill säga cyklister som använder sig av en tvåhjulig standardcykel. Mopeder, enhjulingar, lastcyklar och andra specialfordon utesluts i analysen. Däremot kommer elcyklar tas med i modellerna och därmed behandlas som standardcyklar.

4 Metodik

Till att börja med har en litteraturstudie gjorts för att dels ge en bakgrund till hur cykelinfrastrukturen utformas samt att ta reda på vad tidigare studier visat om cyklisters beteende och utrymmesbehov.

Efter litteraturstudien formuleras fem hypoteser som knyter an frågeställningarna. I anslutning till detta presenteras även de modellansatser som använts vid hypotesprövningen.

Hypotesprövningen kommer genomföras med hjälp av en fallstudie, där mätningar utförs på ett försöksobjekt. Data från försöksobjektet kommer därefter jämföras med motsvarande data från ett referensobjekt. Som försöksobjekt väljs en mycket smal, men högt trafikerad cykelbana, där cyklisternas beteende starkt kan antas påverkas av infrastrukturens fysiska förutsättningar i kombination med interaktioner med andra cyklister. Som referensobjekt väljs istället en generöst utformad cykelbana, där utformningen är sådan att cyklisterna i vissa avseende kan antas bete sig som om utrymmet vore obegränsat. Försöksobjekt och referensobjekt kommer båda vara dubbelriktade och relativt plana. Dessutom kommer de vara skilda från gångtrafik samt ha ett tydligt huvudflöde i maxtimmen.

All väsentlig datainsamling kommer att göras genom videofilmning som analyseras manuellt i efterhand. Videoupptagning kommer huvudsakligen att ske under maxtimmen morgon (kl. 07:30-09:00) under ett antal dagar i april och maj 2017 med gynnsamma väderförhållanden (ingen nederbörd, låg vindstyrka). Som utrustning användes videokamera. Videofilmerna kommer att spelas in i 50 FPS och med en upplösning på 1080p, vilket möjliggör noggranna mätningar vid analysen.

I båda mätobjekten placeras kameran på broar rakt ovanför cykelbanorna, vilket ger mycket god sikt över en lång mätsträcka. För att förenkla videoanalysen kommer referenspunkter att märkas ut längs cykelbanan var fjärde meter.

Det insamlade videomaterialet kommer att analyseras manuellt för att generera rådata. Datainsamlingen består av tre delar:

1. Mätningar av omkörningar: hastighet och sidledsplacering.
2. Mätningar av flöde: huvudflöde, motriktat flöde, antal omkörningar och andel bundna (tidsavstånd på mindre än 1,5 sekund till framförvarande cyklist) cyklister i huvudflödet.
3. Mätning av hastigheter: hastigheter på fria cyklister.

Vid datainsamlingens första del registreras hastigheten genom tidtagning mellan några av de utplacerade referenspunkterna. Tidtagning görs över ett avstånd på 25–30 meter om möjligt, i andra fall används ett kortare avstånd. Cyklarnas sidledsplacering registreras genom mätningar av pixlar mellan körbanekanten och respektive cykel samt mittlinjen för att genom en likformighetsberäkning avgöra det verkliga avståndet, se Figur 1. Differensen mellan cyklarnas avstånd till körbanekanten för respektive cyklist i par kommer att ge omkörningsbredden. För att få tillräckligt mycket data har en bedömning gjorts att cirka 150 omkörningar från respektive mätobjekt bör vara tillräckligt med tanke på detta arbetes omfattning. Det motsvarar ungefär 4 timmar videomaterial från vardera mätobjekt.



Figur 4.1. Cyklisternas sidledsplacering registrerades genom mätningar av pixlar mellan körbanekant och respektive ckelhjul.

Vid datainsamlingens andra del registreras de respektive flödena och antalet omkörningar genom manuell räkning från filmen. Vid denna del används cirka 16 femminutersintervall vid respektive mätobjekt. Femminutersintervallen väljs ut med avseende på att hitta jämförbara flöden. Mätsträckan på vilken antalet omkörningar räknas omfattar cirka 40 meter i varje mätobjekt. Andel bundna cyklister i huvudflödet beräknas genom räkning av cyklister som befinner sig med ett tidsavstånd på mindre än 1,5 sekund till framförvarande cyklist (se vidare definition nedan under rubriken Antaganden).

Vid datainsamlingens tredje del registreras hastigheterna på samma sätt som i den första delen för cyklister som inte uppfyller definitionen av bundna cyklister. Här används ett underlag på 100 cyklister.

Resultatet av fallstudien tolkas och jämförs därefter med modellansatserna för att pröva om de framlagda hypoteserna stämmer eller inte. Rapporten avslutas med en diskussion kring hur resultatet ska tolkas, samt med förslag kring hur vidare studier kan utforska detta område.

En efterföljande del av projektet syftar till att ta fram en dimensionerande sträcka för en omkörningsbar zon på 2+1-vägar för cykel. Resultatet har tagits fram genom videofilmning av cykelbanor, där cyklisters beteende vid omkörning och kolonnkörning har studerats och uppmätts genom videoanalys. De begrepp som används i studien angående omkörning är enligt följande:

Huvudflöde	Antal cyklister per tidsenhet som passerar ett snitt i den dominerande riktningen av en dubbelriktad cykelbana
Motriktat flöde	Antal cyklister per tidsenhet som passerar ett snitt i den underordnade riktningen av en dubbelriktad cykelbana
Kolonnkörande cyklar eller Bundna cyklister	Två eller flera cyklar som kör i kolonn med inbördes avstånd sinsemellan som inte varierar märkbart över en längre sträcka. Kan också kallas bundna cyklister.
Enkel omkörning	När en enskild cyklist kör om en annan enskild cyklist som inte är kolonnkörande
Multipel omkörning	När mer än en cyklist kör om och/eller mer än en cyklist blir omkörd.

5 Litteraturstudie

Ett antal länder har studerats. De som har något i närheten av vår siktklass redovisas nedan. USA har utvecklat modeller för såväl blandtrafik på gata som blandade oskyddade trafikanter på gång- och cykelväg/bana. Danmark har utvecklat en modell för att beskriva servicenivån i likhet med USA.

Generellt kan sägas att det skiljer en del mellan olika länder vad gäller såväl minimibredd som kapacitet på cykelbanor. Minimibredd har angetts i ett flertal olika guidelines runt om i världen samt olika studier, i Tabell 5.1 kan ett antal ses.

Tabell 5.1. Minimibredd för cykelbanors körfält (Miller et al 1975, Brilon 1994).

Studie/Land	Minimibredd (m/kf)
Evanstone, USA	0,75-1,4
Davis, CA, USA	1,28
Nederländerna	1,0
Tyskland	1,0
Sverige	1,2
Kina	2,5 m för två kf 1,0 för ytterligare kf
Norge	1,6

Även kapaciteten skiljer markant mellan olika studier och guidelines. En orsak är att de anger olika saker, exempelvis vid enkelriktat flöde och dubbelriktat flöde, vissa är rent experimentella och anger endast några få minuter medan vissa är mätta under hela timmar, se Tabell 5.2.

Tabell 5.2. Kapacitet för olika länder (Hummer et al 2006).

Land	År	Körfältsbredd (m)	Kapacitet (cyklar/h/kf)
Davis, Ca	1975	1,2	3600
Sverige	1977	1,2	1500
Nederländerna	1991	0,78	3000-3500
Kina	1993	1,0	1800-2100
Kanada	1994	1,25	5000
USA (HCM 2000)	1994	1-2,5	500-2350
Nederländerna	1995	1,0	3200
Tyskland	1998	1,0	3200
Tyskland	2001	0,78	3000-3500

5.1 Sverige

0.75cm mellan enligt
råd 2.4.6.1

Cykelbanor är till skillnad från bilvägar sällan uppdelade i flera samriktade körfält, istället ges cyklister frihet att, om möjligt köra i bredd inom samma fysiska körfält. Detta gör att det inte finns någon fast definition av hur bred en cykelbana måste vara för att möjliggöra två eller flera cyklar i bredd i ett enkelriktat flöde. Däremot finns av Trafikverket en dimensionerande bredd på 1,8 meter (två standardcykelbredder á 0,75 m + 0,3 m marginal) för att två mötande cyklister ska kunna passera varandra (Utformning av vägar och gator, del Sektion, 2004). I VGU 2015 TRVK kap 1.2 Typsektioner för vägar med gång- och cykeltrafik anges dubbelriktad gång-cykelbana till > 2,5 m och i TRVR anges cykelfält till 1,50 - 1,75 m bredd (1,75 vid flöden \geq 150 cyklar /Dh)

De i Sverige mest använda värdena på hur mycket utrymme en cyklist kräver är från VGU, men Stockholms stad har i sin egen cykelplan "Cykeln i staden" definierat värden som skiljer sig lite från VGU:s, se Tabell 5.3 (Sveriges kommuner och landsting, 2015).

Tabell 5.3. VGU:s respektive Stockholms stads grundvärden för dimensionering av cykelinfrastruktur (Sveriges kommuner och landsting, 2015), (Eriksson, et al., 2009).

	Bredd på cyklist (m)	Längd på cyklist (m)	Höjd på cyklist (m)
VGU	0,75	2,00	1,90
Cykeln i staden	0,60	2,00	-

I GCM-handboken, en skrift från trafikverket i samarbete med Sveriges kommuner och landsting, definieras cyklisters dimensioner på samma sätt som i VGU (Sveriges kommuner och landsting, 2010). Till skillnad från VGU skiljer emellertid GCM-handboken på dimensionering av cykelbanor med litet eller stort flöde enligt nedan (Sveriges kommuner och landsting, 2010).

Litet flöde – 200 cyklister/maxtimme eller 1500–2000 cyklister/dygn

Stort flöde – 300 cyklister/maxtimme eller 2000–3000 cyklister/dygn

Vidare rekommenderar GCM-handboken beroende på flöde, följande bredd på cykelbanor, se Tabell 5.4.

Tabell 5.4. GCM-handbokens rekommenderade värden för bredd på cykelbanor (Sveriges kommuner och landsting, 2010).

	Bredd, litet flöde (m)	Bredd, stort flöde (m)
Enkelriktad cykelbana	1,60	2,00
Dubbelriktad cykelbana	2,25	>2,50

Stockholms stad har i sin cykelplan från 2009 tagit fram egna rekommendationer för cykelbanebredd. Som standard anges 1,5 m för enkelriktade cykelbanor, respektive 2,5 m för dubbelriktade. På sträckor med "större behov av framkomlighet", dvs där cykeltrafiken är så stor att framkomligheten begränsas, ska bredden enligt cykelplanen utökas till 2,25 m för enkelriktade och 3,25 m för dubbelriktade cykelbanor (Eriksson, et al., 2009).

Även Göteborgs stad har tagit fram egna rekommendationer för cykelbanebredd. Göteborgs trafikkontor ger i sina projekterings- och utförandeanvisningar rekommendationer enligt Tabell 5 (Archer & Gustafsson, 2012).5:

Tabell 5.5. Göteborgs stads rekommenderade värden för bredd på cykelbanor (Archer & Gustafsson, 2012).

	Bredd, minsta godkända mått (m)	Bredd, rekommenderat mått (m)
Enkelriktad cykelbana	1,20	2,00
Dubbelriktad cykelbana	2,00	2,30–2,50

Sammanfattningsvis kan konstateras att rekommendationerna kring hur mycket utrymme cyklister behöver skiljer sig mellan olika väghållare. Inom ramen för trafikverkets projekt "Hållbar cykelinfrastruktur" genomförde Sweco en studie kring cyklisters utrymmesbehov (Archer & Gustafsson, 2012) i syfte att reda ut hur cykelbanor bör dimensioneras för att bättre uppfylla cyklisters utrymmesbehov. I denna studie utfördes mätningar på sju olika platser i centrala Stockholm, och på varje plats samlades videomaterial in under cirka 60 minuter. En av de platser som undersöktes var cykelbanan längs Munkbron i Gamla stan. Där mättes bland annat cyklisters avstånd till cykelbanekanten, samt omkörningsbredden mellan omkörande och omkörd cyklist. Resultatet presenteras i Tabell 5.6.

Tabell 5.6. Resultat av uppmätt sidledsplacering (Archer & Gustafsson, 2012).

	Medelvärde	Standardavvikelse
Avstånd till cykelbanekant (m)	1,15 (0,85)	0,19
Omkörningsbredd (m)	1,05	0,22

När samtliga sju mätobjekt räknades med nåddes slutsatsen att en ensam cyklists cykelhjul befinner sig i snitt 0,7–0,8 meter från cykelbanans kant (Archer & Gustafsson, 2012). Detta avstånd minskade emellertid till 0,4–0,5 meter när det fanns öppna och användbara ytor vid sidan om cykelbanan. Det innebär omvänt att när det finns hinder vid sidan av cykelbanan, till exempel en vägg eller staket, håller cyklister i snitt ett 30

cm större avstånd till cykelbanekanten. Detta kan översättas till ett slags *väggeffekt* som får cyklister att öka avståndet till cykelbanekanten med i snitt 30 cm när sidohinder förekommer. Om hänsyn tas till denna väggeffekt kan avståndet i sidled justeras till 0,85 cm (se tabell 5.6). Slutsatserna från den studien var enligt följande:

- Sidledsavståndet är oftast mellan 0,70 till 0,80 m mellan cykelhjulet och cykelbanekant (cirka 0,35 till 0,45 m med cyklistens bredd inräknat)
- Sidledsavstånd kan minskas till 0,40 till 0,50 m när det finns öppna och användbara ytor utanför cykelbanan
- Sidledsavstånd påverkas av sidohinder vid cykelbanekant. Inga skillnader kunde dock tydas i samband med mittlinje då studien var inte tillräckligt omfattande
- Vid omkörning valde cyklisterna ett avstånd gentemot den omkörde cyklisten på cirka 1,05 m (hjul till hjul). Med cyklistens bredd inräknat var avståndet mellan cyklisterna cirka 0,25 till 0,35 m.
- Vid mötessituationer fanns det tecken på sidledsanpassning gentemot den motriktade cyklisten. Avståndsskillnaden var svår att bekräfta statistiskt, men fördelningarna visade tydliga mönster
- Det genomsnittliga avståndet mellan cyklisterna vid möten inom 1 sekund från mätlinjen var i storleksordning 1,50 m. Det minsta medelvärdet var ca 1,35 m medan det största var ca 1,70 m
- Avståndet varierade med cykelbanans bredd vilket var väntat. Med cykelbredden inräknat motsvarar medelvärdet på 1,50 m mellan cykelhjulen, cirka 0,75 m mellan cyklisterna
- Detta motsvarar måttet som anges för parameter a i VGU för utrymmesklass A.
- Projektet rekommenderade bredder enligt tabell 5.x

Tabell 5.x Rekommenderade cykelbanebredder (Archer & Gustafsson, 2012).5:

	Standard	Flödesförhållanden (cyklar/timme/riktn)	Omkörnings- möjligheter	Rekommenderad cykelbanebredd från studien (meter)			Riktlinjer för bredd enligt VGU (meter)
				sidohinder på båda kanter	sidohinder på en kant	utan sidohinder	
Enkelriktad cykelbana	Låg	<360	Nej	1,50 m	1,25 m	1,00 m	Uk A = 2,45 m Uk B = 1,80 m (flöde ej specificerat)
	Medelhög - Hög	360 till 1440	Ja	2,50 m	2,25 m	2,00 m	
Dubbelriktad cykelbana	Låg - Medelhög	<360 per riktning. (Kan vara högre i en av riktningarna)	Begränsad (en riktning åt gången)	3,00 m	2,70 m	2,40 m	Uk A = 2,45 m Uk B = 1,80 m (flöde ej specificerat)
	Medelhög - Hög	Högt i den ena riktningen (upp till 1440) och lägre i den andra (<360). Alt. medelhöga (cirka 720) i båda riktningar	Ja (en riktning åt gången)	4,00 m	3,70 m	3,30 m	
	Hög	Upp till 1440 i båda riktningar	Ja (både riktningar samtidigt)	5,10 m	4,80 m	4,50 m	

Uk = Utrymmesklass

5.2 USA

I HCM 2010 har en sofistikerad modell utvecklats (Transport Research Board 2010). Själva servicenivån består enligt deras standardiserade mått av A-F och beror på ett perceptionsindex (från >4 till ≤ 2). Några viktiga delar i deras beräkning som är relativt omfattande är omräkning från cykelbanans bredd till antal "körfält", se Tabell 5.7.

Tabell 5.7. Omräkning av bredd till antal körfält (Transport Research Board 2010).

Bredd (m)	Antal körfält
< 2,5	1
2,5-3,2	2
3,2-4,4	3
4,4-6,1	4

En annan parameter som ger effekt på kapaciteten är den erforderliga omkörningssträckan för cykel av olika färdmedel, se Tabell 5.8.

Tabell 5.8. Omkörningssträcka för cykel av olika andra färdmedel (Transport Research Board 2010).

Omkörande fordon	Omkört fordon	Erforderlig omkörningssträcka (m)
Cykel	Cykel vuxen	30
Cykel	Gående	18
Cykel	Inline-åkare	30
Cykel	Löpare	21
Cykel	Cykel barn	21

En tredje viktig del av servicenivån för en cykelbana är hastighetsanspråk, vilket innefattar medelhastighet och dess standardavvikelse, se Tabell 5.9.

Tabell 5.9. Medelhastigheten och dess standardavvikelse för de olika färdmedlen (Transport Research Board 2010).

Färsätt	Medelhastighet (km/h)	Standardavvikelse (km/h)
Cykel vuxen	20,5	5,4
Gående	5,4	1,0
Inline-åkare	10,4	1,9
Löpare	16,2	4,3
Cykel barn	12,6	3,0

Själva beräkningsgången innehåller sju steg:

- 1) Samla ihop indata, vilket innehåller totalt flöde, andel av varje färdmedel, riktningssuppdelning och medelhastighet samt dess standardavvikelse.
- 2) Beräkning av antal passager per minut, här ingår att dela in sträckan i homogena segment samt beräkning av antal cykelpassager av varje färdmedel.
- 3) Beräkning av antal möten per minut, vilket också görs för varje färdmedel.
- 4) Bestäm antal körfält.
- 5) Beräkna sannolikheten för fördröjning vid passage.
- 6) Beräkna antal fördröjda passager per minut.
- 7) Beräkna LOS.

5.3 Danmark

Danmark har ingen detaljerad beräkning av servicenivå eller kapacitet. Kapacitetsberäkning för cykeltrafik Anläggande av cykelväg/cykelbana och bestämning av dess bredd har betydelse för cyklistens komfort, trygghet, säkerhet och framkomlighet. Med hänsyn till kapaciteten har Danmark en överslagsregel som innebär att en bredd på 2 – 2,5 med enkelriktad cykeltrafik ger en kapacitet 3000 cyklister/timme. Denna förutsätter dock att inga större förändringar i utformningen sker på sträckan.

En utförd studie visar att den del av cykelbanan som cyklister använder är mindre om det finns bilar parkerade längs cykelbanan (Skallebaeck et al 2014). Effekten kan variera beroende på hur nära parkerade fordon står längs cykelbanan, men den effektiva cykelbanebredden minskar med 10-15 centimeter om fordon är parkerade längs cykelbanan. När resultaten jämförs med cykelbanebredd används därför den effektiva cykelbanebredden, där bredden är reducerad med 12 centimeter vid parkerade fordon på vägbanan.

För vanliga cyklar det finns ett linjärt samband mellan avståndet till trottoaren och cykelbanebredden. Spridningen ökade också med ökande cykelbanebredd.

Medelhastigheten för normala cyklar i undersökningen är 21,7 km/t (20,2-23,7 km/t beroende på platsen). De allra flesta cyklar med hastighet mellan 17 och 27 km/t. Det finns en tendens att cyklister placerar sig närmare trottoaren, desto långsammare de cyklar, vilket gäller också fria cyklar. Dessutom verkar det finnas en trend till högre hastigheter genom ökad cykelbanebredder, men förhållandet är inte klart.

Varje segment visar en jämnare hastighetsnivå vid stora cykelflöden, men de observerade inte så stora cykelvolymerna, att det skedde en faktisk kollaps med låg hastighet som följd. Framkomligheten verkar vara 5-10 % högre på en cykelbana med en bredd på 2,75 meter, jämfört med en cykelbana med en bredd på 1,75 meter.

Den maximalt observerade flödet tycks öka med ökande effektiv cykelbanebredd, bredd verkar dock vara av liten betydelse. Kapaciteten hos en 2,0 meter bred väg (exkl. kantsten) handlar om 3000 cyklar/timme, vilket är mer än de 2000 cyklar/timme som anges i vejnormalen, men betydligt mindre än bedömningarna i liknande andra studier (typiskt 4000 till 7000 cyklar/timme). En 2,5 meter bred cykelbana beräknas ha en något större kapacitet på 3250 cyklar/timme. För en 2-fältig cykelbana, måste det antas att varje körfält kan avveckla 1500 cyklar/timme. Således, kan en 3-fältig cykelbana kunna avveckla omkring 4500 cyklar/timme.

Vad gäller hastigheter visar studien att genomsnittshastigheten ökar med ökande cykelbanebredd (Skallebæk Buch & Greibe, 2014). Genomsnittshastigheten på de undersökta enkelriktade cykelbanorna angavs som 21,7 km/h och varierade mellan 20,2 och 23,7 km/h för fria cyklister beroende på vilken cykelbana. Det kunde observeras att cyklister valde att placera sig längre ut från cykelbanekanten vid högre hastigheter än vid lägre. I snitt var hastighetskillnaden 3,2–4,8 km/h mellan cyklister inblandade i omkörning beroende på cykelbana. Bör nämnas är att denna studie inte gjort skillnad på cyklister som kör i bredd och cyklister som har för avsikt att köra om.

När det gäller vanlig cykel håller specialcyklar mer till höger. Det finns en tendens att specialcyklar väljer ett större avstånd till trottoaren när cykelbanebredden ökas. Specialcyklar upptar ca 10-20 centimeter mer cykelbanebredd än vanliga cyklar. I genomsnitt har specialcyklar betydligt lägre hastigheter än konventionell cyklar, 16,3 km/t jämfört med 21,7 km/t. Specialcyklar begränsar hastigheten för konventionella cyklar på smala cykelbanor vid både högt och lågt cykelflöde. En specialcykel tycks minska kapaciteten med ca 3-4 konventionella cyklar, men dess headway motsvarar 1,2 gånger en konventionell cykel.

Baserat på undersökningens data, ges följande råd för bredd på cykelbana för en 2-fältig cykelväg:

- Minimum (inga / några få specialcyklar): 1,65 meter (exkl. kantsten)
- Minimum (inkl. plats för specialcyklar): 1,80 meter (exkl. kantsten)
- Rekommenderad bredd (bättre service): 2,10 meter (exkl. kantsten)

Bredderna är i stort sett i linje med de regler som existerar i Danmark minst 1,70 meter (endast under korta perioder) och rekommenderade 2,20 meter. Parkerade bilar på vägen leder till ett nödvändigt tillägg på 10-15 centimeter.

Det minsta avståndet för en 3-fältig cykelbana beräknas vara 2,90 meter (exkl. kantsten). På en något smalare väg, kan tre cyklar gott och väl köra sida vid sida, men det är inte troligt att cykelbanan kommer att fungera som en riktig 3-fältig cykelbana. Tillägget för ytterligare körfält på cykelvägen beräknas till cirka 1,10 meter. Detta är något högre jämfört med andra studier.

Ur studien kan också utläsas värden för avstånd till körbanekant och omkörningsbredd. Dessa värden följer i Tabell 5.10.

Tabell 5.10. Resultat av uppmätt sidledsplacering (Skallebæk Buch & Greibe, 2014).

Mått	Medelvärde, lägre servicenivå	Medelvärde, högre servicenivå
Avstånd till cykelbanekant (m)	0,53	0,64
Omkörningsbredd (m)	0,88	1,09

I samma studie definierades fria cyklister som cyklister som kör med en hastighetsskillnad på mer än 2 sekunder till framförvarande (Skallebæk Buch & Greibe, 2014). Detta motiverades med att genomsnittshastigheten var likvärdigt för cyklar med detta tidsavstånd, som för cyklar med ett tidsavstånd på 5 sekunder. Däremot gavs ingen förklaring till varför gränsen för detta inte skulle kunna vara lägre än 2 sekunder.

Studien påvisade även ett samband mellan hastighetsskillnad och omkörningsbredd, om än vagt (Skallebæk Buch & Greibe, 2014). Sambandet visade att omkörningsbredden ökade med ökande hastighetsskillnad mellan cyklarna. Ökningen var tydligare på utrymmesbredda cykelbanor än på trånga.

Med hänsyn till servicenivån har det utvecklats ett "spreadsheet", som visar hur cyklister och fotgängare kan antagas uppleva servicenivån. I kapitlet "Modell för siktlängdsklassificering" redovisas först bakgrund och underlag för nu gällande siktklassmodell enligt avsnitt 1.2. Denna modell är utgångspunkten för en mer IPA-anpassad hantering där data kan hämtas och siktklass bestämmas.

5.4 Nederländerna

Experimentella försök har gjorts i Nederländerna vad gäller kapacitet, men då främst i korsningspunkter. I de Nederländska utformningsreglerna för cykelanläggning anges minimibredden för enkelriktad cykelbana till 1,5 m. I Nederländerna finns det en "generell" rekommendation på minimi-mått 1,7 m då det anses som minsta bredd för att cykla i bredd, "social biking" (CROW Fietsberaad publ 28, 2015). För separat cykelbana anges följande bredder beroende på flöde (källa CROW, 2016), tabell x.x

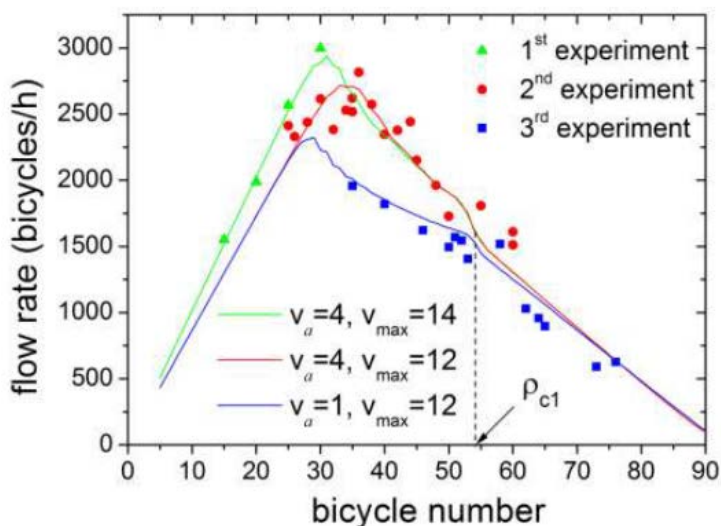
Tabell X.X Bredder för separerad cykelbana, V16 (CROW, 2016)

Enkelriktad		Dubbelriktad	
Flöde maxtimme	Bredd (m)	Flöde maxtimme	Bredd (m)
0-150	2,0	0-50	2,5

150-750	2,5-3,0	50-150	2,5-3,0
> 750	3,5-4,0	150-350	3,5-4,0
		>350	4,5

5.5 Kina

I Kina har det genomförts såväl empiriska studier av olika trafikmiljöer som experimentella studier på cykelflöden på en 146-m lång cirkulär väg (Jiang 2013). Studien resulterade i ett fundamentaldiagram över cykelflödet, se Figur 5.1.



Figur 5.1. Fundamentaldiagram för cykel (Transport Research Board 2010).

Figur 2.1 visar fundamentaldiagrammet över flödes som funktion av antalet cyklar per 100 m. Resultatet visar gemensamma drag med fordonstrafik, då flödet ökar när cykeltätheten (cyklar/banlängd) är liten och minskar när cykeltätheten är stor. Kapaciteten är olika beroende på de olika experimenten och varierar mellan 2250 och 2900 cyklar/h. Densiteten vid kapacitet är 37 cyklar/100 m.

6 Hypotes

De hypoteser som läggs fram i denna rapport grundar sig i en rad antaganden som redovisas nedan. Dessa antaganden är mycket viktiga för att skapa förståelse för varför hypoteserna ser ut som de gör.

6.1 Antaganden

Det första antagandet som gjorts inför studien är att varje cyklist har en viss efterfrågad hastighet. Denna hastighet varierar rimligtvis beroende på faktorer som underlagets egenskaper, cykelbanans relation till andra trafikslag, lutning osv. Viktigt i sammanhanget är att varje cyklist har sin egen efterfrågade hastighet som den i största möjliga utsträckning vill hålla. När en cyklist med högre efterfrågad hastighet kommer ikapp en cyklist med lägre efterfrågad hastighet finns två möjligheter. Den snabbare cyklisten kan antingen köra om eller anpassa sin hastighet och lägga sig bakom den långsammare cyklisten. Om cyklisten väljer det senare alternativet ändrar den karaktär från att vara en fri cyklist (i bemärkelsen att den håller sin efterfrågade hastighet) till att bli en bunden cyklist.

Bundna cyklister identifieras genom att de kör efter en annan cyklist, där tidsavståndet mellan två cyklister underskrider 1,5 sekund. För att ta fram detta gränsvärde utgicks från de 2 sekunder som använts av Skallebæk Buch & Greibe (2014), men eftersom detta värde vid initiala mätningar i praktiken gjorde att cyklister som uppenbart framstod som fria räknades som bundna minskades gränsvärdet till 1,5 sekund. Vidare beslutades att cyklister som någonstans på mätsträckan kör om en annan cyklist är att betraktas som fri/obunden.

En frivilligt bunden cyklist är en cyklist som kör i kolonn bakom en annan cyklist, men utan att ha för avsikt att göra en omkörning. Dessa cyklister kanske vill utnyttja vinddraget bakom framförvarande cyklist, eller så ligger deras efterfrågade hastighet så nära framförvarande cyklists att det helt enkelt inte är värt besväret att köra om. Antagandet som görs är alltså att alla cyklister som förefaller bundna i referensobjektet är frivilligt bundna, eftersom omkörningsmöjligheterna i stort sett är obegränsade. Vidare antas att andelen frivilligt bundna cyklister är densamma hos försöksobjektet som hos referensobjektet.

Det sista antagandet är att cykelbaneutformningen hos referensobjektet har en försumbar begränsning på antalet omkörningar, vilket innebär att cyklisterna här i de flesta avseenden beter sig som om cykelbanan vore oändligt bred. Cyklisterna som passerar referensobjektet antas alltså ur många aspekter bete sig som om utrymmet vore obegränsat. Det innebär bland annat att de flesta cyklisterna som passerar referensobjektet antas köra i sin efterfrågade hastighet. I det ideala fallet kommer en

omkörning inträffa varje gång en cyklist med en högre hastighet hinner ikapp en cyklist med lägre hastighet. Med tanke på att cyklarna däremot antas hålla sig till höger på cykelbanan annat än vid omkörning, antas vissa cyklister av bekvämlighetskäl välja att anpassa sin hastighet till framförvarande. Dessa kategoriseras, enligt ovan, som frivilligt bundna. Vidare antar vi att omkörningar vid referensobjektet kommer ta upp samma utrymme som de skulle gjort ifall utrymmet vore obegränsat.

6.2 Huvudhypoteser

Under rubriken syfte och mål nämns ett antal aspekter som ska undersökas inom ramen för denna rapport. Utifrån dessa mål har följande hypoteser formulerats, baserat på grundläggande antaganden som redovisats ovan.

6.2.1 Hypotes 1

Den först hypotesen handlar om att hastighetsfördelningen bland cyklister skiljer sig mellan cykelbanor med olika utrymmesstandard. Förväntat är att det finns ett positivt samband mellan snitthastighet och cykelbanebredd, i enlighet med de resultat som redovisades av Skallebæk Buch & Greibe (2014). Detta kommer att testas genom mätning av hastigheter som cyklister håller när de passerar försöksobjektet jämfört med referensobjektet. Hypotesen innefattar att hastigheterna kommer ha en större spridning i referensobjektet än i försöksobjektet eftersom cyklister i försöksobjektet måste anpassa sig efter varandra i högre grad. Slutligen innefattar hypotesen att medelhastigheten kommer vara lägre i försöksobjektet till följd av lägre utrymmesstandard.

Hypotes 1: Hastighetsfördelningen skiljer sig beroende på utrymmesstandard.

6.2.2 Hypotes 2

Den andra hypotesen handlar om att det kan finnas ett samband mellan cyklisters hastighet och deras placering i sidled, likt det samband som redovisats i tidigare studier (Skallebæk Buch & Greibe, 2014). Dessutom innefattar hypotesen ett samband mellan omkörningsbredd och hastighetsskillnaden mellan omkörande och omkörd cyklist. Tidigare studier visar på ett positivt samband mellan hastighetsskillnad och omkörningsbredd; detta samband var tydligare hos cykelbanor med större utrymmesstandard än hos mer begränsade cykelbanor (Skallebæk Buch & Greibe, 2014). Därför finns det anledning att tro att ett sådant samband skulle kunna finnas även i de mätobjekt som studeras i denna undersökning.

Hypotes 2: Samband mellan omkörningsbredd och hastighetsskillnad samt mellan sidledsplacering och hastighet.

6.2.3 Hypotes 3

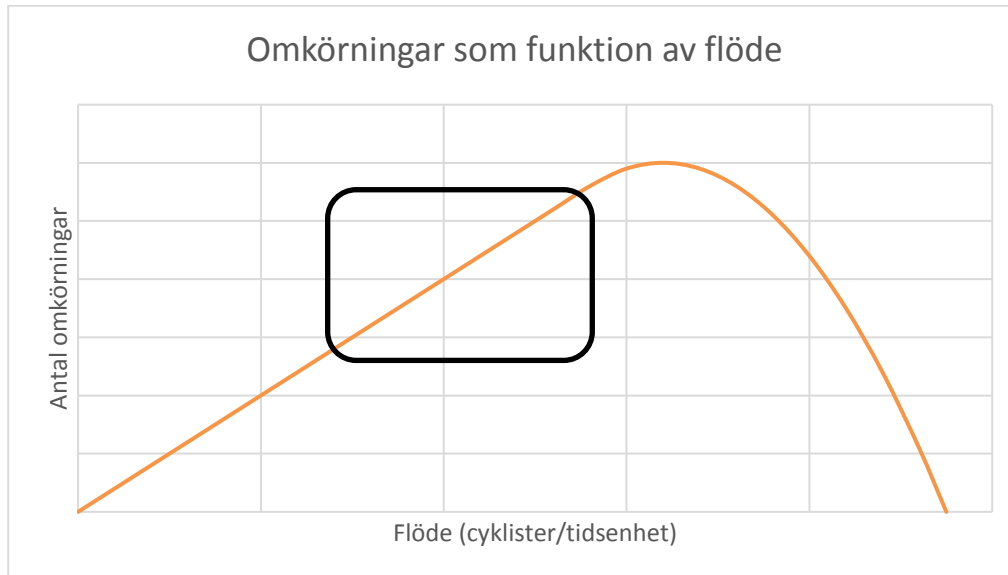
Den tredje hypotesen handlar om att i försöksobjektet, där utrymmet är begränsat och motriktad trafik utgör ett väsentligt hinder för omkörning, borde en större andel cyklister föredra att anpassa sin hastighet istället för att göra en omkörning, till skillnad från i referensobjektet där möjligheten till omkörning inte påverkas av motriktad trafik. I försöksobjektet kommer alltså vissa omkörningar att förhindras på grund av den låga utrymmesstandard. Således bör omkörningsgraden vara väsentligt lägre hos försöksobjektet än hos referensobjektet. I försöksobjektet borde även andelen bundna cyklister öka med ett ökande motriktat flöde. För att ta reda på om denna hypotes stämmer har två ansatser valts, som kommer redovisas under rubriken Modellansatser.

Hypotes 3: Andelen bundna kommer vara högre och omkörningsgraden lägre på cykelbanor där utrymmet är starkt begränsat.

6.2.4 Hypotes 4

Den fjärde hypotesen handlar om hur sambandet mellan omkörningsfrekvens och flöde ser ut. Denna bygger på att antalet omkörningar hos en oändligt bred cykelbana kommer vara proportionellt mot flödet. Rent intuitivt borde ett högre flöde av cyklister leda till fler omkörningar per tidsenhet, givet cyklisternas hastighetsfördelning. Om bredden på cykelbanan istället är begränsad, och därmed också antalet faktiska körfält, borde antalet omkörningar efter ett visst flöde nå ett maximum för att sedan stagnera till följd av trängsel i huvudflödet, se Figur 2. Detta antas inträffa hos försöksobjektet något tidigare än hos referensobjektet på grund av dess mer begränsade bredd. Däremot antas flödena hos de undersökta objekten vara så pass låga att den här typen av trängsel inte uppstår, med följd att sambandet blir förutsägbart och linjärt vid undersökt data, åtminstone hos referensobjektet. I situationer där omkörande cyklist i någon mån måste ta motriktat körfält i anspråk borde det däremot vara svårare att hitta ett linjärt samband mellan huvudflöde och omkörningsfrekvens.

Hypotes 4: Linjärt samband mellan flöde och omkörningsfrekvens. Mer förutsägbart i referensobjektet än i försöksobjektet.



Figur 6.1. Gul linje beskriver den fjärde hypotesen om sambandet mellan antal omkörningar och flöde. Svart ruta markerar den del av flödet som kommer undersökas i fallstudien.

6.2.5 Hypotes 5

Den femte och sista hypotesen handlar om att det går att ta fram en metod för att, utifrån hastigheterna på omkörande och omkörd cyklist, beräkna dimensionerande sträcka för en omkörning. För att göra detta kommer en modell som presenteras i Modell 3 användas.

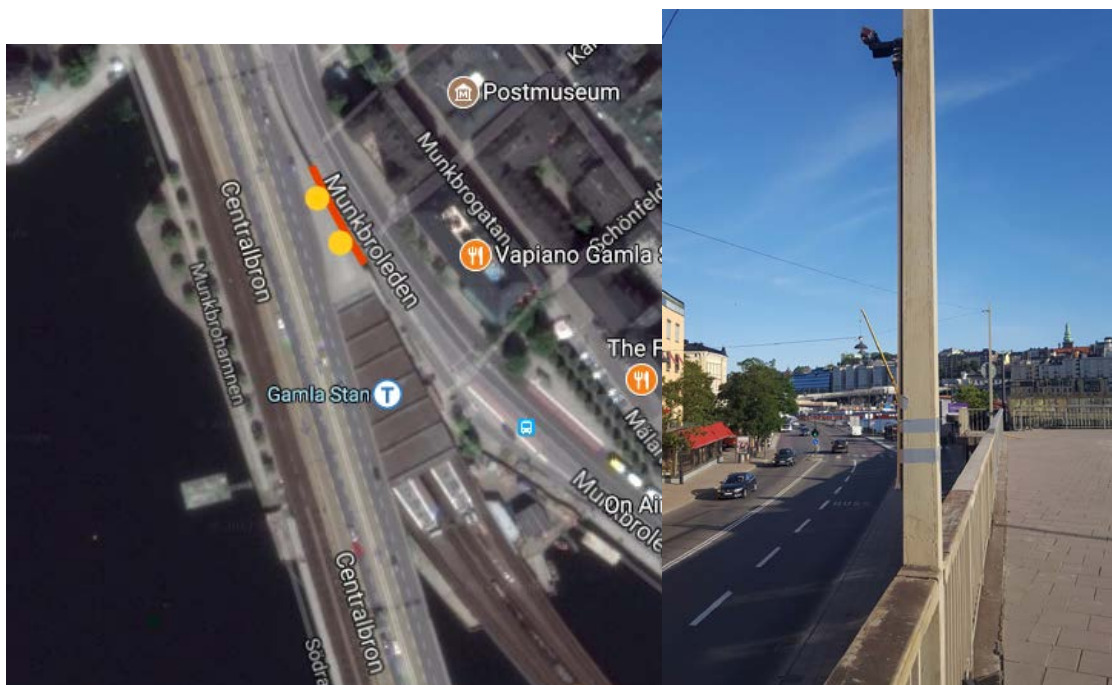
Hypotes 5: Möjligt att förutsäga omkörningssträckan med utgångspunkt av hastighetsskillnaden

7 Mätningar

Denna del av projektet syftar till att ta fram en dimensionerande sträcka för en omkörningsbar zon på 2+1-vägar för cykel. Resultatet har tagits fram genom videofilmning av cykelbanor, där cyklisters beteende vid omkörning och kolonnkörning har studerats och uppmätts genom videoanalys.

Den cykelbana som studerats i mätningarna är en dubbelriktad cykelbana längs med Munkbroleden i Gamla stan i Stockholm. Munkbroens cykelbana är en av de cykelbanor med högst flöden i hela Sverige. Flödet är i huvudsak norrgående i morgonrusningen och mestadels södergående i eftermiddagsrusningen. I kartbilden nedan presenteras den delsträcka som utgjorde studieobjekt. Den delsträcka av cykelbanan som studeras i denna rapport har ett cirka 1,5 meter brett körfält i vardera riktning. Totalt är cykelbanan alltså cirka 3 meter bred.

Kartbilden, se Figur 7.1, visar vilken del av cykelbanan som studerats och kamerornas placering.



Figur 7.1 Till vänster: Det röda strecket visar det segment av Munkbroleden som studerats. Gula punkter indikerar kamerans placering. Satellitbild från Google Maps. Till höger: Placering och montering av videokameror på Centralbron.

Vid de första mättillfällena monteras endast en kamera. Denna kamera resulterar i en räckvidd på en cirka 20 meter lång cykelbanesträcka. Vid de senare mättillfällena monterades två kameror i följd ovanför cykelbanan så att en sträcka på totalt cirka 40 meter kunde filmas rakt ovanifrån. Kamerorna var fästa i stolpar uppe på Centralbron,

vilket gav en höjd på cirka 8 meter över gatan. På cykelbanan används sprayfärg för att märka ut de 1-metersintervall som används för att bedöma avstånd. Avstånd kan därigenom fastställas med 0,5 meters noggrannhet. Videofilmning genomfördes vardagar kl. 07-09 respektive kl. 16-18.

På Munkbron är det vanligt att fotgängare, särskilt desorienterade turister, promenerar på cykelbanan istället för på trottoaren på andra sidan gatan. Dessa intrång leder till att det fria utrymmet för cyklister minskar, och att cyklisternas efterfrågade rytm rubbas. För att förhindra att dessa fotgängare inkräktar på cykelbanan under tiden för videoinspelningen, gavs två personer i uppgift att stå och hänvisa samtliga fotgängare till andra sidan gatan. Dessa personer var iklädda reflexväst för att öka säkerheten, vilket kan ha dragit till sig cyklisternas uppmärksamhet och möjligen påverkat deras beteende. Samtidigt var denna eventuella påverkan troligen marginell i jämförelse med den påverkan som fotgängarna annars skulle haft på cyklisternas beteende.

8 Omkörningssträcka

Första delen i projektet syftar till att med hjälp av mätningar ta fram värden på hur lång sträcka en omkörning upptar i längsled. Utifrån resultaten uppskattas sedan den dimensionerande omkörningssträckan med hjälp av 85:e percentilen. Dessutom uppskattas hur mycket längre omkörningen blir för varje extra cyklist som ska passeras.

8.1 Omkörningssträcka metod och modell

8.1.1 Enkel omkörning

För att kunna ta fram ett värde på omkörningssträckan s , trots att kameran bara täckte in 20 meter av cykelbanans längd, uppmättes istället avståndet mellan omkörande och omkörd cyklist precis då en omkörning inleds, respektive när en omkörning avslutats. Avståndet mellan cyklarna före omkörning betecknas L_1 , medan avståndet vid avslutad omkörning betecknas L_2 . Ett antagande görs att L_1 och L_2 inte har samma medelvärde.

Hypotetiskt borde L_2 ha en större spridning än L_1 . Detta kan motiveras med att det finns incitament för den omkörande cyklisten att vänta in i det sista med att påbörja en omkörning, för att spendera så lite tid som möjligt i det motriktade körfältet.

Motsvarande för L_2 blir att omkörande cyklist "tvingas" avsluta sin omkörning snabbt om det finns en annalkande mötande cyklist i det motriktade körfältet, men om det inte finns någon mötande cyklist i motriktat körfält finns inget sådant incitament att snabbt avsluta omkörningen. L_2 förväntas därför ha större spridning än L_1 .

Tillsammans motsvarar $L_1 + L_2$ alltså den relativa omkörningssträckan, s_r . Detta ger en enkel ekvation för omkörningssträckan, se Ekvation 1.

$$s = v_1 \cdot \frac{s_r}{(v_1 - v_2)} \quad (1)$$

v_2 = omkörd cyklists hastighet

v_1 = omkörande cyklists hastighet

s_r = den relativa sträcka som omkörande cyklist måste tillryggalägga för att passera framförvarande cyklist. Denna uppskattas till ca 10 meter och inkluderar två cykellängder (då cyklarna ligger parallellt) plus en marginal på 3 meter mellan cyklarna före omkörningen påbörjas och 3 meter efter omkörningen avslutas.

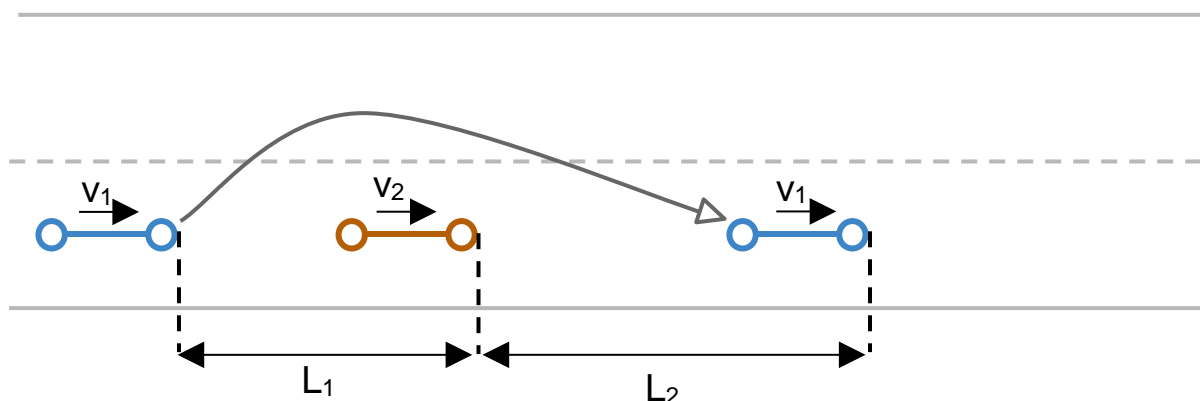
I studien kunde inte något samband mellan omkörningsbredd och hastighetsskillnad finnas (Enström & Kerrén, 2017). Däremot upptäcktes att omkörningsbredden ökade med ökad cykelbanebredd. Omvänt medförde detta att cyklisterna anpassar sin omkörningsbredd till smalare cykelbanor.

Eftersom avståndet mellan cyklarna kan vara svårt att avgöra på film mäts istället avståndet från framhjul till framhjul eller bakhjul till bakhjul. Således innefattar L_1 och L_2 vardera också längden av en cykel. För att testa modell 1 samlas cirka 100 observationer av vardera L_1 och L_2 in. Med hjälp av dessa variabler beräknas därefter omkörningssträckan, enligt följande uttryck, se Ekvation 2.

$$s = v_1 \cdot t_1 = v_1 \cdot \frac{s_r}{v_1 - v_2} = v_1 \cdot \frac{L_1 + L_2}{v_1 - v_2} \quad (2)$$

där v_1 är omkörande cyklists hastighet, v_2 omkörd cyklists hastighet, s_r är den sträcka omkörande cyklist kommer att förflytta sig i relation till omkörd cyklist, i enlighet med Formel 1.

En enkel omkörning (bara en cyklist som kör om en annan cyklist) kan förenklat beskrivas enligt Figur 8.2.



Figur 8.1. En enkel omkörning. Blå figur symboliserar omkörande cykel före respektive efter omkörningen och brun figur symboliserar omkörd cykel.

Eftersom L_1 och L_2 aldrig observeras samtidigt måste den vid tillfället okända parametern uppskattas för att sträckan ska kunna uppmätas. Detta kan göras antingen med hjälp av ett antagande om att $L_1 = L_2$ (om data visar att de är tillräckligt lika) eller genom att ett samband kan konstateras mellan hastighet och respektive variabel.

8.1.2 Multipel omkörning

Vid tät cykeltrafik kör ofta cyklar i kolonn, vilket leder till att en omkörning sker av inte bara en, utan av två cyklar, se Figur 3. Detta leder till att ytterligare ett avstånd måste räknas med i modellen för omkörningssträcka. Det relativa avståndet får L_k beteckna det extra avstånd som en omkörande cyklist måste förflytta sig under omkörningen för att köra om ytterligare en cyklist. Parameter L_k innefattar avståndet mellan två cyklar i kolonn samt längden av en cykel.

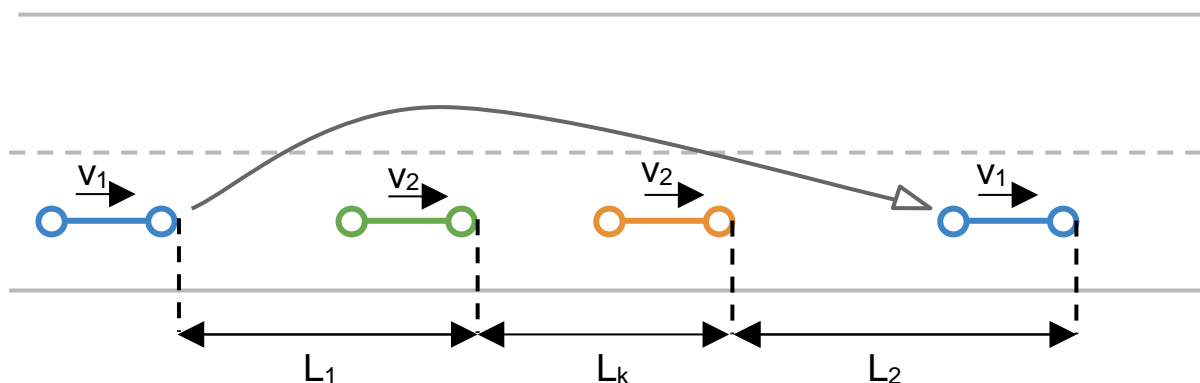
L_k kommer att mätas och väntas vara fördelad på liknande sätt som L_1 och L_2 .

Om en omkörande cyklist ska köra om n cyklister, givet att de omkörda cyklisterna kör i kolonn och håller samma hastighet v , kommer den totala omkörningssträckan därför kunna estimeras med följande funktion, se Ekvation 3:

$$s(n) = v_1 \cdot \frac{L_1 + L_2 + (n-1) \cdot L_k}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

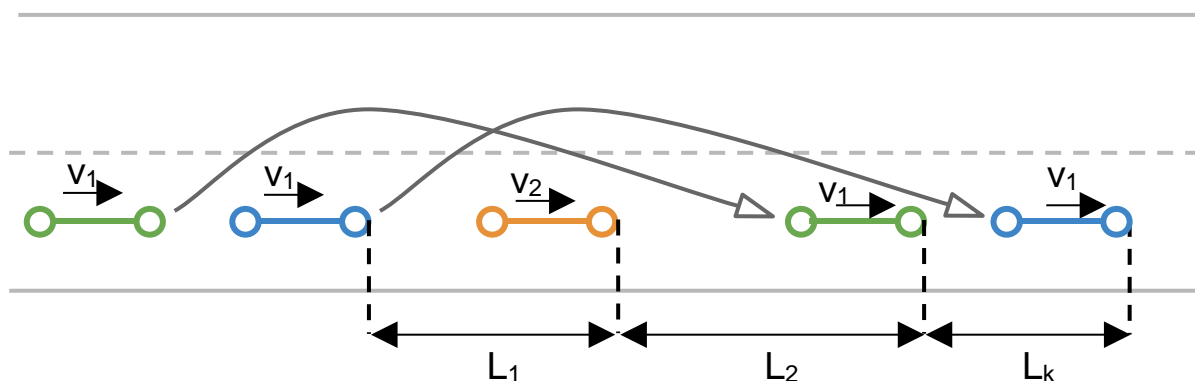
Där n är antalet cyklister som körs om.

En multipel omkörning i fallet $n = 2$ kan förenklat beskrivas enligt Figur 8.2 nedan.



Figur 8.2. Förenklat förfarande vid en multipel omkörning, $n=2$.

En annan situation uppstår när två eller flera cyklister gemensamt kör om en långsammare cyklist. Detta utgör ett annat slags multipel omkörning, och visas i Figur 8.3 nedan. Även i detta fall ökar den relativa omkörningssträckan med L_k om ytterligare en cykel deltar i omkörningen. Antalet omkörande cyklister betecknas m .



Figur 8.3. Förenklat förfarande vid en multipel omkörning, $m=2$.

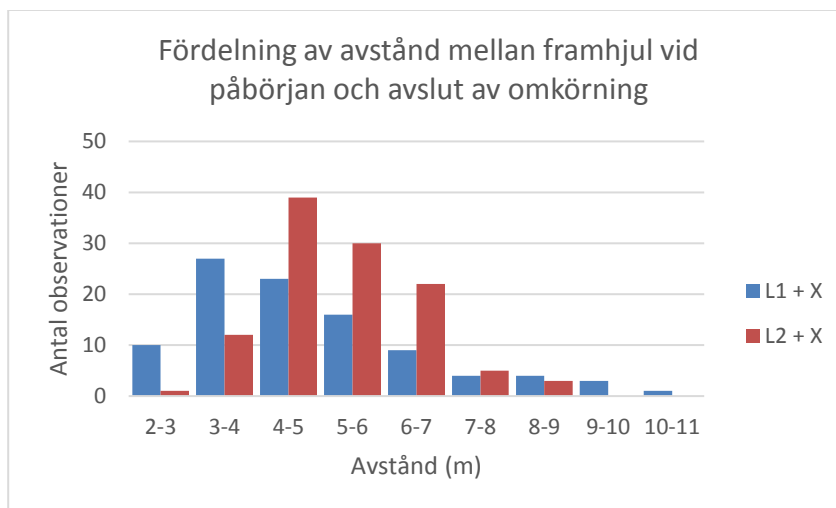
Den generella formeln för omkörningssträcka blir därmed enligt Ekvation 4 nedan.

$$s(n) = v_1 \cdot \frac{L_1 + L_2 + (n-1) \cdot L_k + (m-1) \cdot L_k}{v_1 - v_2} \quad (4)$$

För att skatta L_k samlas, liksom för L_1 och L_2 omkring 100 observationer in genom analys av videofilmer.

8.1.3 Resultat omkörningssträcka

Efter att outliers gallrats bort från data för L_1 och L_2 återstod 97 observerade värden på L_1 och 113 observerade värden på L_2 . Dessa var fördelade enligt histogrammet i Figur 8.4.



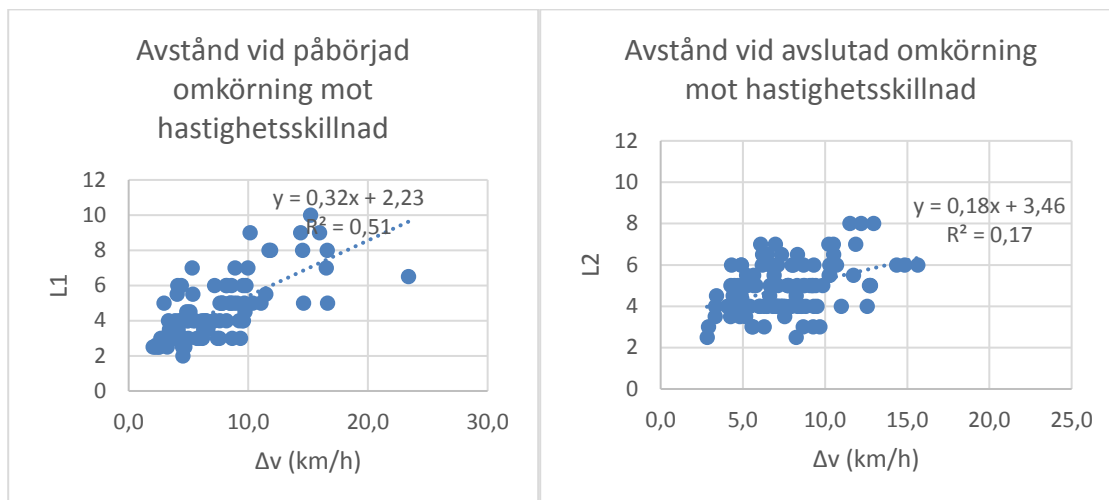
Figur 8.4. Fördelning av L_1 och L_2 .

Tabell 8.1. Nyckeltal för fördelning av L_1 och L_2 .

	L_1	L_2
Medelvärde [m]	4,47	4,86
Standardavvikelse	1,75	1,2
p-värde	0,070	
t-värde	1,97	

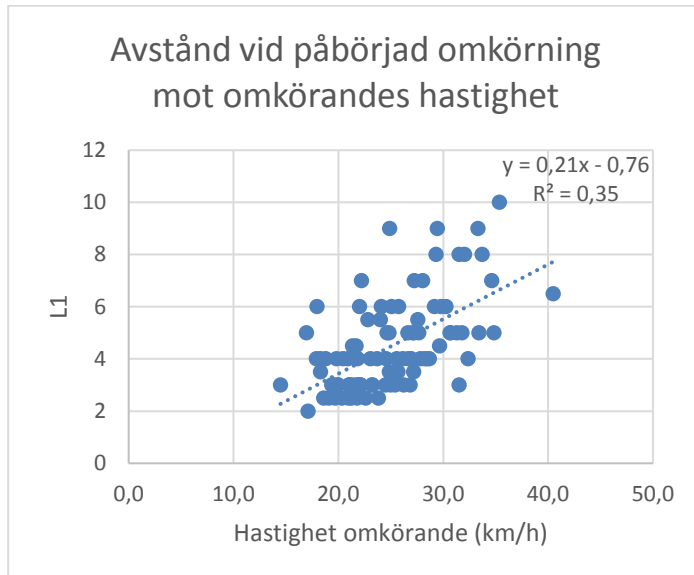
I Tabell 8.1 ovan går att utläsa att L_1 och L_2 har medelvärden i liknande storleksordning, men att standardavvikelse skiljer sig åt. Detta motsvarar inte den intuitiva hypotesen, att L_1 skulle ha en mindre spridning än L_2 . Intuitivt borde L_2 ha en större spridning, eftersom det inte finns några direkta incitament att avsluta en omkörning snabbt vid tillfällen då det inte finns någon cyklist i det motriktade flödet att ta hänsyn till.

Av Figur 8.4 ser fördelningarna ut att skilja sig mellan L_1 och L_2 . Eftersom t-testet i Tabell 3 visar att väntevärdena skiljer sig åt på 90-procentnivån, bedömdes det inte lämpligt att använda den ena av de två L-värdena för att uppskatta den andra. Vad som däremot upptäcktes, var att det fanns samband mellan dessa parametrar och hastighetsskillnader mellan omkörande och omkörd cyklist, se Figur 8.5 nedan.



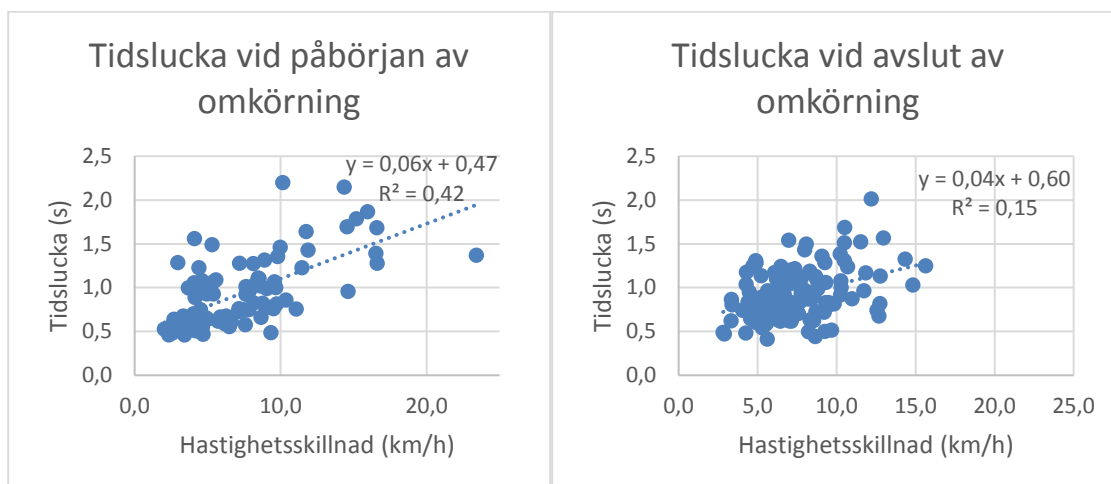
Figur 8.5. Uppmått korrelation mellan hastighetsskillnaden och L_1 respektive L_2 .

Sambandet är tydligt. L_1 ökar med cirka 0,3 meter per extra km/h medan L_2 ökar med cirka 0,2 meter per extra km/h. Sambandet är betydligt säkrare för L_1 än för L_2 , vilket framgår av R^2 -värdena. Detta är rimligt eftersom avståndet efter omkörning kan vara svårt att avgöra då cyklister inte har samma sikt bakåt och därmed kan komma att ta beslutet baserat på personliga referenser snarare än fysiska avstånd. Samtidigt är omkörande cyklister påverkade av det momentana flödet i motriktat körfält, vilket kan ge olika utfall för L_2 . För L_1 finns också ett starkt samband med den omkörande cyklistens hastighet, se Figur 8.6, men detta är inte lika starkt som relationen mot hastighetsskillnaden. Därför tas ingen vidare hänsyn till denna.



Figur 8.6 Viss korrelation finns mellan omkörande cyklists hastighet och L_1 .

Anledningen till att det i första hand är det absoluta avståndet, snarare än tidsluckan, som används i de vidare beräkningarna, är att det visade sig finnas ett starkare samband mellan hastighetsskillnad och L_1 respektive L_2 än mellan hastighetsskillnad och tidslucka, se Figur 8.7.



Figur 8.7. Samband mellan tidslucka och hastighetsskillnad.

Med hjälp av sambanden i Figur 8.6 uppskattas den saknade variabeln i varje observation. På så sätt kan en fördelning av den totala omkörningssträckan tas fram enligt Ekvation 5 respektive Ekvation 6 nedan.

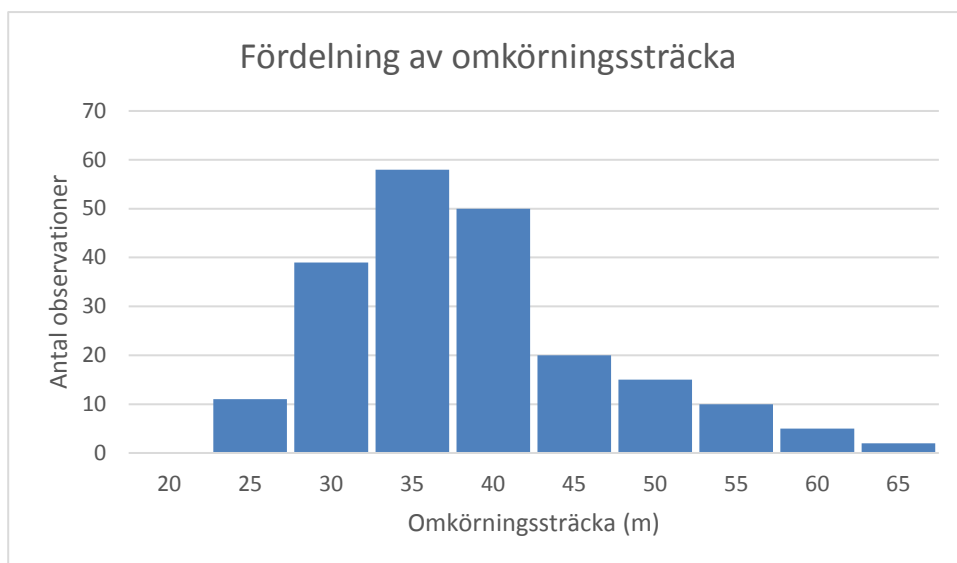
$$L_1^* = 0,3 \cdot (v_1 - v_2) + 2,2 \quad (5)$$

$$L_2^* = 0,2 \cdot (v_1 - v_2) + 3,5 \quad (6)$$

I de fall L_1 var okänt uppskattades dess värde med funktionen för L_1^* ovan. På samma sätt uppskattades L_2 med funktionen för L_2^* ovan när den var okänd. Eventuella avvikelser från trendlinjen antas ta ut varandra, vilket motiverar en sådan generalisering.

Nästa steg var att lägga in de uppmätta L-värdena tillsammans med de uppskattade L*-värdena i uttrycket för total omkörningssträcka s , Ekvation 4.

Detta resulterade i följande fördelning, se Figur 8.8.



Figur 8.8. Fördelning av beräknad omkörningssträcka.

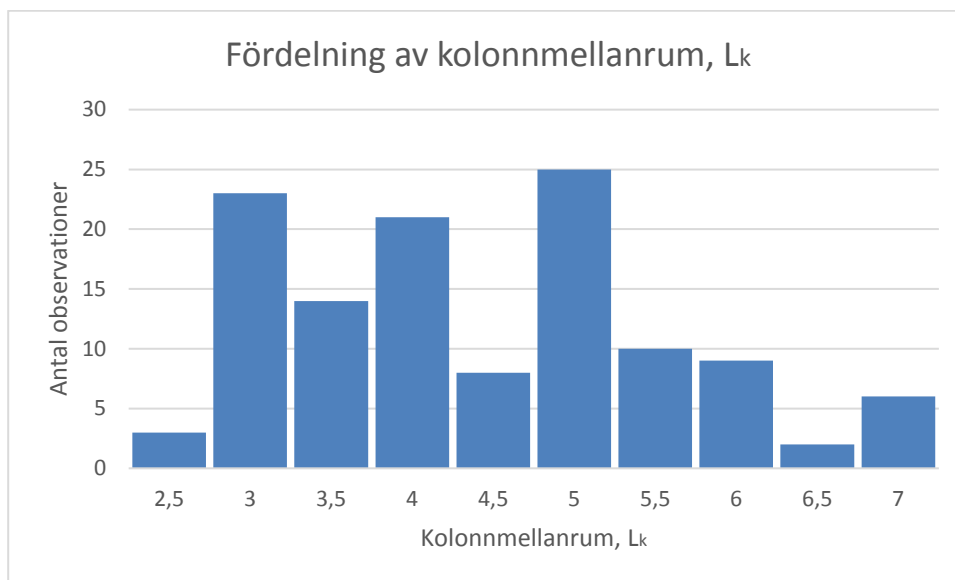
Tabell 8.2. Statistiska nyckeltal för beräknad omkörningssträcka.

Minimivärde [m]	22
Maximivärde [m]	60
Medelvärde [m]	36
Standardavvikelse [m]	8

Den beräknade omkörningssträckan s hade ett medelvärde på 35 meter. För att ta fram en dimensionerande omkörningssträcka (för en enda omkörning) beräknades 85:e percentilen för datapunkterna. 85:e percentilen beräknades till 45 meter. Detta värde fungerar alltså som dimensionerande omkörningssträcka.

För att göra modellen för omkörningssträcka mer generell ska den kompletteras med parametern L_k , dvs det relativa avstånd som den omkörande cyklisten ska tillryggalägga för att ta sig förbi ytterligare en cyklist. Kolonnmellanrummet L_k definieras som avståndet mellan framhjulen hos två cyklar som har samma inbördes

avstånd i början av mätsträckan som i slutet av mätsträckan. Enligt den insamlade data var avståndet L_k fördelat enligt Figur 8.9.

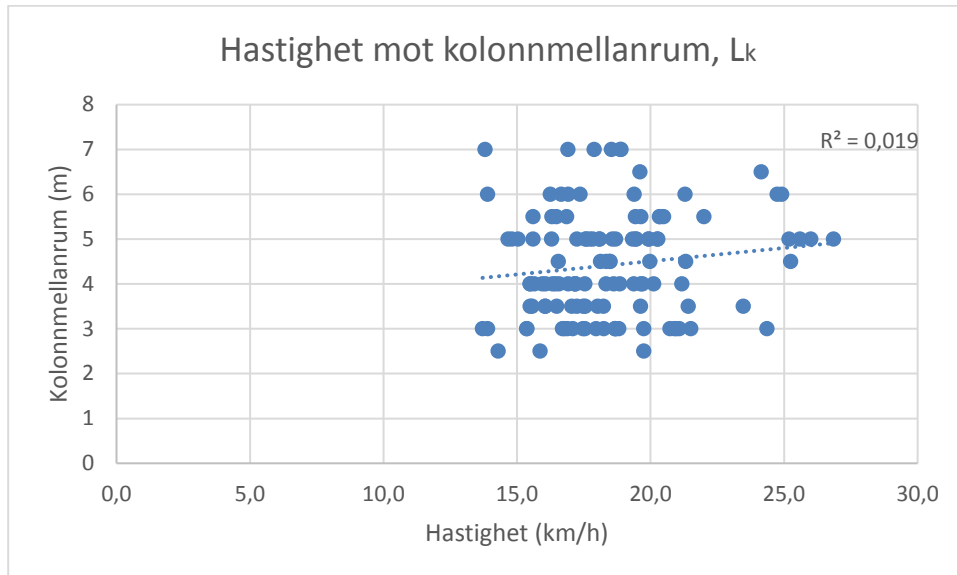


Figur 8.9. Fördelning av kolonnmellanrum L_k .

I histogrammet ovan syns att L_k inte är lika symmetriskt normalfördelat som L_1 och L_2 , trots att L_k förväntades vara fördelat på liknande sätt som L_1 och L_2 . De statistiska nyckeltal för L_k som presenteras i Tabell 5 nedan ligger i samma storleksordning som motsvarande nyckeltal för L_1 och L_2 , se Tabell 8.3. Däremot uppvisade data inget samband mellan L_k och de kolonnkörande cyklisternas hastighet v , vilket framgår av Figur 8.10 nedan.

Tabell 8.3. Nyckeltal för kolonnmellanrum L_k .

Median [m]	4
Medelvärde [m]	4,5
Standardavvikelse [m]	1,2



Figur 8.10. Punktdiagrammet påvisar att inget betydande samband finns mellan L_k och hastigheten.

Eftersom standardavvikelsen för L_k är så pass liten och eftersom L_k verkar vara oberoende av hastigheten, väljs medelvärdet 4,5 meter för den vidare beräkningen av dimensionerande omkörningssträcka vid $n > 1$. Detta beror även på att de längsta och de kortaste kolonnmellanrummen rimligtvis borde ta ut varandra. Eftersom den största delen av de observerade kolonnmellanrummen ligger i intervallet 3,5 - 5 meter så borde 4,5 meter utgöra ett representativt medelvärde.

Med L_k satt till 4,5 meter beräknas hur mycket den dimensionerande omkörningssträckan ökar per extra omkörd/omkörande cyklist. Detta beräknas med 85:e percentilen med hjälp av Formel 3, sida **Fel! Bokmärket är inte definierat.**, applicerad på insamlade data där L_1 och L_2 sätts till noll. Resultatet blir att för varje extra kolonnkörande cyklist som den omkörande cyklisten måste köra om, ökar den dimensionerande omkörningssträckan med 23 meter.

För olika värden på n och m blir därför omkörningssträckan enligt Tabell 8.4 nedan.

Tabell 8.4. Exempel på omkörningssträcka för olika värden på n respektive m .

Omkörningssträcka (m)	m omkörande			
	n omkörda	1	2	3
1	45	68	91	114
2	68	91	114	137
3	91	114	137	160
4	114	137	160	183

Med detta resultat kan den dimensionerande omkörningssträckan väljas beroende på hur många cyklister som ska kunna köras om respektive köra om. Det bör även vara uppmärksammas att det kan uppstå en situation där cyklisterna strävar efter att sortera kolonnen efter efterfrågad hastighet. Detta leder till en komplex situation med många möjliga utfall, men att förutse och modellera efter alla dessa möjliga fall är troligen för komplext för att göras med så pass begränsade mätningar.

Det viktiga resultatet är emellertid att längden av ett omkörningsbart segment inte bör understiga den dimensionerande omkörningssträckan för en enkel omkörning (45 meter). Ur ett kapacitetsperspektiv är det naturligtvis bättre att ha en ännu längre omkörningssträcka för att flera cyklister ska hinna ta sig förbi.

8.1.4 Felkällor

Videoanalysen skedde manuellt vilket innebär att mätnoggrannheten kan ha varierat mellan de personer som utförde analysen, samt över tid.

Vid videoanalysen gick det på grund av trängsel inte alltid att urskilja avståndet mellan cyklister som verkade köra i kolonn. Detta ledde till att dessa datapunkter inte registrerades vilket kan ha lett till en skevhet i den registrerade fördelningen.

9 Omkörning som funktion av flöden

Syftet med denna del är att ta fram en modell för hur många omkörningar som bör ske utifrån huvudflöde och motriktat flöde.

9.1 Omkörning som funktion av flöden metod och modell

En cykelväg väljs ut där god sikt ovanifrån kan fås. Genom att placera kameran på hög höjd (cirka 8 meter) och vidvinkel-effekt på kameran uppnås en räckvidd på cirka 20 meter av cykelbanan. Dessutom sätts två kameror upp direkt efter varandra, så att omkörningar kan registreras på en sträcka om totalt 40 meter.

Under en minut långa tidsintervall räknades antalet cyklister som passerade mittnittet i respektive riktning, samt hur många omkörningar som inträffade under minuten. Omkörningarna räknades endast om cyklisterna var parallella med varandra på själva mätsträckan. Omkörningarna räknades alltså inte in om de bara påbörjades eller avslutades på mätsträckan.

Rimligtvis beror antalet omkörningar i huvudriktningen per sträck- och tidsenhet dels på vilket flöde det är i huvudriktningen, dels på vilket motriktat flöde som finns. Hur stor roll det motriktade flödet har beror på hur bred cykelbanan är totalt, det vill säga i hur hög grad en omkörning kan ske utan att hindras av en mötande cykel. Redan här framgår komplexiteten med tre variabla faktorer. En omkörning med möte sker relativt problemfritt på bredare cykelbanor (cirka 4,5 meter), medan det på smalare cykelbanor (cirka 2,4 meter) endast i undantagsfall sker omkörningar med möte (cirka 2,4 meter). Med detta i åtanke kan en förenkling därmed bli att motriktat flöde endast räknas med på smalare vägar där detta kan antas påverka möjligheten att köra om.

I fallet där motriktat flöde inte påverkar omkörningsbenägenhet kan antalet omkörningar skattas med en funktion beroende av endast flödet i huvudriktningen.

Troligt är detta ett proportionellt samband där ett dubbelt antal cyklar på cykelbanan innebär ett dubbelt antal omkörningar. När flödet närmar sig kapacitetsgränsen bör däremot antalet omkörningar minska igen på grund av kolonnbildningen som uppstår.

På grund av osäkerheten vid flöden nära kapacitetsgränsen är det endast intressant att se på sambandet i den stabila fasen där sambandet är linjärt, det vill säga där antalet omkörningar per sträck- och tidsenhet $O(q)$ kan modelleras enligt nedan (om man bortser från det motriktade flödet).

$$O(q) = k_0 + k \cdot q \quad (8)$$

Genom mätningar där huvudflödet, motriktat flöde och omkörningar registreras minutvis bör detta samband gå att finna för de datapunkter där det motriktade flödet är försumbart litet.

När det kommer till påverkan av motriktat flöde bör antalet omkörningar sjunka proportionerligt mot både det motriktade flödet och huvudflödet.

För att möjliggöra en generalisering av formeln uttrycks q_m i andelar av kapaciteten, C , vilket kan sägas vara ekvivalent med belastningsgraden. Antalet omkörningar per minut och 40 meter kan således modelleras enligt Ekvation 9.

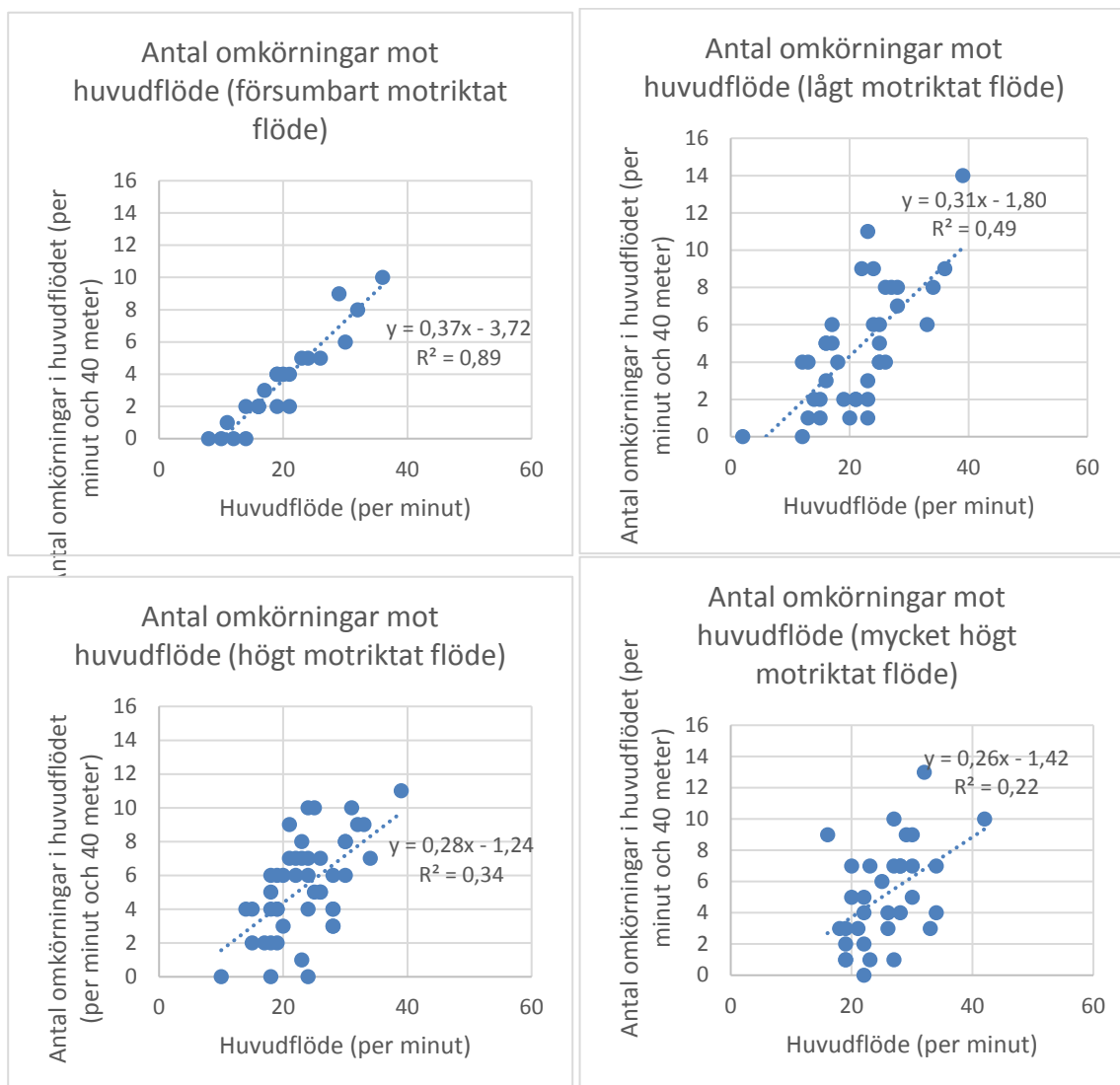
$$O(q_h, q_m) = k_0 + k_1 \cdot q_h - k_2 \cdot q_h \cdot \frac{q_m}{C} \quad (9)$$

För att få ett mer generellt applicerbart samband som ger antalet passager på en cykelbana av längden L modifieras formeln för att gälla per meter och timme istället för per 40 meter och 1 minut. Detta resulterar i att formeln ovan normeras med $1,5L$, där L motsvarar längden på det segment som formeln tillämpas på. (Seriani, et al., 2014)

$$O(q_h, q_m, L) = 1,5 \cdot L \cdot [k_0 + k_1 \cdot q_h - k_2 \cdot q_h \cdot \frac{q_m}{C}] \quad (10)$$

9.2 Resultat

Ur data kan utläsas att antalet omkörningar med försumbart motriktat flöde följer en linjär funktion väldigt väl med en lutningskoefficient på 0,37 och förklaringsgrad på 89 procent, se Figur 9.1.



Figur 9.1. Antal omkörningar mot huvudflöde vid olika storlekar på det motriktade flödet.

I Tabell 9.1 nedan syns att förklaringsgraden minskar när det motriktade flödet ökar, *skall kompletteras med flöden*. Det är att vänta, eftersom omkörningsbeteendet borde bli mer oförutsägbart när det finns ett motriktat flöde att ta hänsyn till. Det är även tydligt att linjens lutningskoefficient minskar med ett ökande motriktat flöde. Det är också väntat, eftersom ett högt motriktat flöde minskar möjligheterna att göra en omkörning.

Tabell 9.1. Nyckeltal från graferna i Figur 9.1.

Typ av motriktat flöde	Motriktat flöde q_m [cyklister/minut]	Lutningskoefficient	Förklaringsgrad (R^2)
Försumbart	0-2	0,37	0,89
Lågt	3-4	0,31	0,49
Högt	5-7	0,28	0,34
Mycket högt	8+	0,26	0,22

När en anpassning av Ekvation 9 från Modell 3 genomförs för att passa mätdata erhålls följande värden på konstanter och medelfel, se Tabell 9.2.

Tabell 9.2. Skattade modellparametrar för antalet omkörningar.

Kapacitet, C	Intercept, k_0	Konstant, k_1	Konstant, k_2	Medelfel, ε
75	-3,7	0,37	0,15	1,8 omk/min

Kapaciteten C i modellen kommer från resultatet av del 2. Konstanten k_1 och interceptet k_0 är tagna direkt ur den linjära ekvationen för antalet omkörningar vid försumbart motriktat flöde i Figur 9.1. Konstanten k_2 är satt så att medelfelet ε minimeras.

I det enkla fallet, där det motriktade flödet är försumbart ger modellen istället ett medelfel på 0,7 omkörningar per minut. Modellen är alltså betydligt mer träffsäker när det motriktade flödet är försumbart. Ur Tabell 9.1 ovan framgår att den linjära förklaringsgraden blir sämre ju större det motriktat flödet är. Detta kan bero på att stora motriktade flöden ofta koncentreras under en del av minuten och således hade olika stor påverkan trots samma storleksordning. Det är även rimligt att omkörningsbeteendet i sig blir mer oberäkneligt när det motriktade flödet ökar, eftersom inte alla cyklister vågar köra om när avståndsmarginalerna blir mindre.

När modellen generaliseras för att visa antalet omkörningar som inträffar under en timme på ett segment med längden L , ser den ut på följande sätt, se Ekvation 11.

$$O(q_h, q_m, L) = 1,5 \cdot L \cdot \left(-3,7 + 0,37 \cdot q_h - 0,15 \cdot q_h \cdot \frac{q_m}{C} \right) \quad (11)$$

Anledningen till att C , kapaciteten, inte slås samman med konstanten k_2 är för att C ska kunna ersättas beroende på till exempel den aktuella cykelbanans bredd. Den kan även tas fram genom en iterativ process i vidare modellutveckling.

Eftersom mätningar enbart gjorts på en cykelbana har inga slutsatser kunnat dras i fråga om antalet omkörningar i relation till bredden på cykelbanan.

10 Modellansats och utformning

Utifrån den ovanstående litteraturstudien och de empiriska studierna har en modellansats gjorts. Den består av ett antal olika faktorer och inbegriper cyklar och gångtrafikanter. Modellen anger kapaciteten för cykelbanan/fältet beroende på om den är enkelriktad eller dubbelriktad, flöde för cyklister och gående samt bredd. Modellen har tagits fram i kombination med projektet "Cykelkapacitet, -Ny metod för beräkning av cykelkapacitet" eftersom data som krävs för att skapa en sammanhängande modell samlas in i de båda projekten.

De första beräkningarna görs för att bestämma effekten av passager, genom att bestämma F_p . F_p beräknas enligt Ekvation 12.

$$F_p = \begin{cases} 0 & B_{kf} + C_{kf} < 1,65 \\ MKF \cdot \left(1,9 - \frac{S_{max}}{S_{min}}\right) \cdot (B_{kf} + C_{kf}) \cdot (0,059 \cdot Q_{sp} + 14,4) + \frac{0,0018 \cdot Q_{sp}^2}{2060} \cdot L^{0,6} - (1 - SI) \cdot 1,08 \cdot Q_{sm} & \end{cases} \quad (12)$$

Där:

F_p = antal passerande händelser (händelser/h)

C_1 = kalibreringsparameter (initialt satt till 0,95)

Q_{sp} = efterfrågat cykelflöde i samma riktning (cyklar/h)

MKF = maxkvartfaktor

S_{min} = minmedelhastighet (km/h)

S_{max} = maxhastighetsanspråk (km/h)

B_{kf} = bredd (m)

C_{kf} = korrigering för kanttyp, vid kantsten upp till 0,3 m reduceras bredden med 0,3 m, vid högre hinder reduceras bredden med 0,6 m)

SI = Separation mellan riktningar (1 eller 0)

L = Längd på sektion (m)

Q_{sm} = efterfrågat cykelflöde i motsatt riktning (personer/h)

S_{min} , minmedelhastighet har estimerats ur ett stort antal hastighetsmätningar som 25-percentilen. S_{max} , maxhastighetsanspråk har estimerats ur ett stort antal hastighetsmätningar som 75-percentilen.

För att beräkna ett mått på servicenivån används samma skala som belastningsgraden i normala beräkningar för motorfordonstrafik. Samband enligt Ekvation 13 ger belastningen.

$$BG = \frac{1,28 \cdot Q_{sc}}{2060 + F_p} \quad (13)$$

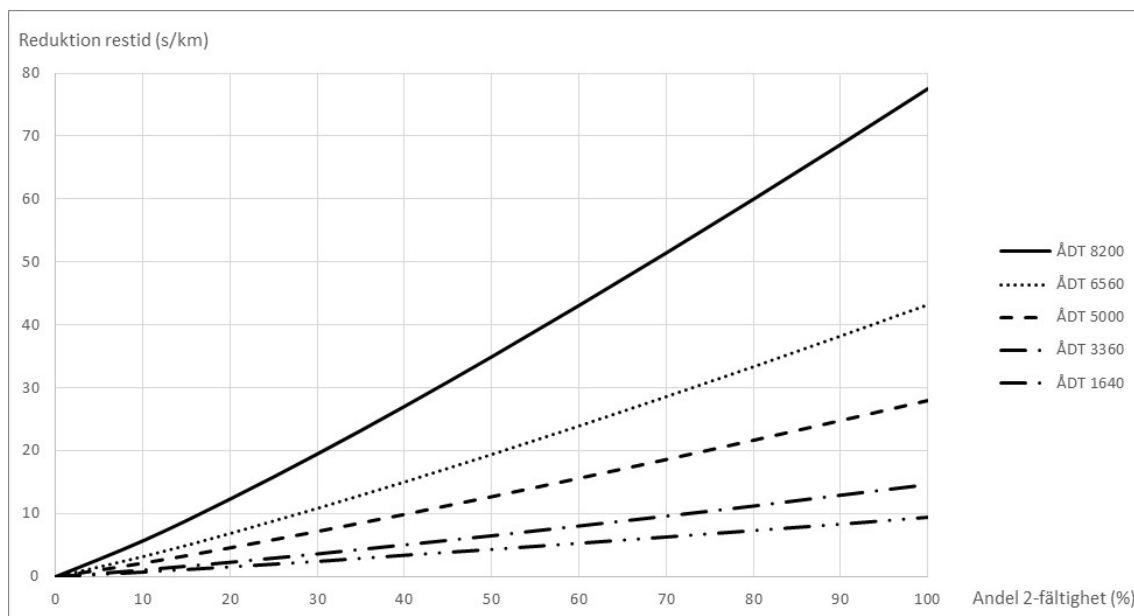
Resultatet för ett exempel med en cykelbana med cykeltrafik utan gående kan ses i Figur 10.1.

För att beräkna servicenivån över en längre sträcka används restid och medelhastighet. Kombinationer av 1-fältig cykelbana och 2-fältig cykelbana kan då jämföras. Beräkningarna görs med hjälp av en ansats enligt Tabell 10.1.

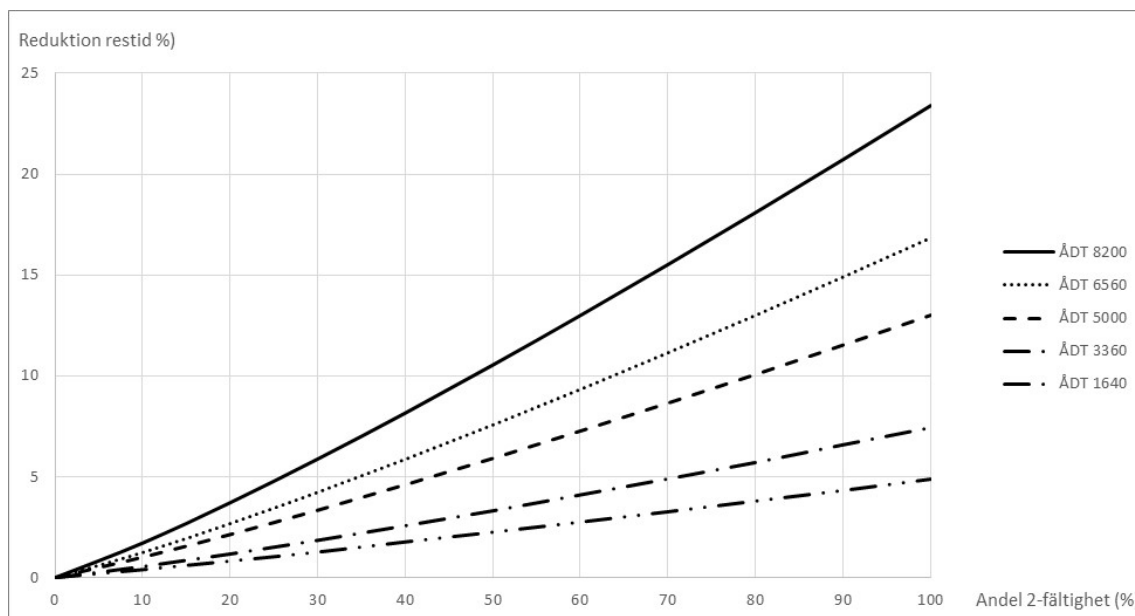
Tabell 10.1. Beräkningsunderlag för beräkning av servicenivån.

ÅDT	Flöde maxtimme (cyk/h)	Antal timmar (h)	Flöde övriga timmar (cyk/h)	Antal timmar (h)
1640	500	2	80	8
3360	1000	2	170	8
5000	1500	2	250	8
6560	2000	2	320	8
8200	2500	2	400	8

Resultatet blir enligt Figur 10.1-10.2.



Figur 10.1. Resultatet i form av reduktion av restiden (sek/km) som funktion av andelen 2-fältighet.

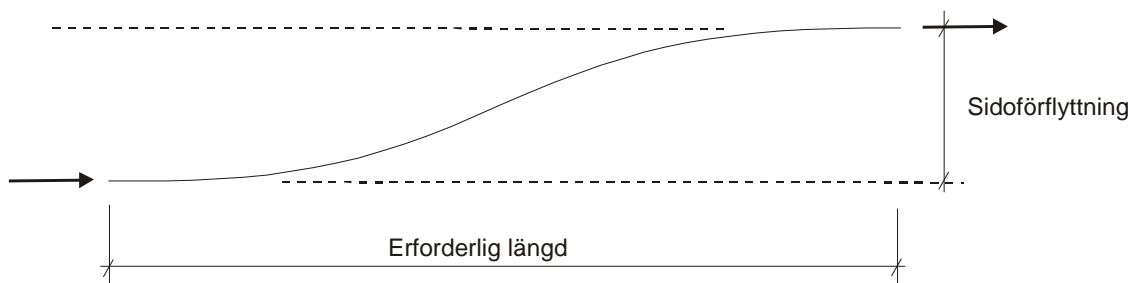


Figur 10.2. Resultatet i form av reduktion av restiden (%) som funktion av andelen 2-fältighet.

10.1 Utformning

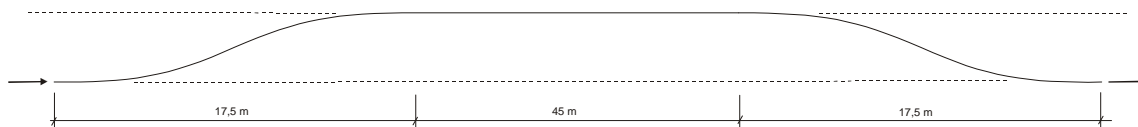
För att föreslå en utformning av omkörningssträckan har resultat från detta projekt samt kända utformningsregler använts, främst från VGU.

Sidkraftförändringar upp till $0,45 \text{ m/s}^3$ upplevs som bekväma. Sidkraftförändringar större än $0,8 \text{ m/s}^3$ upplevs som obekväma. I VGU används som grundvärde för sidoryck $0,45 \text{ m/s}^3$. Används dimensionerande hastighet för 85-percentilen för frifordons hastigheten, $25,5 \text{ km/h}$, så blir erforderlig längd för sidoförflyttningar på raklinje $17,5 \text{ m}$.



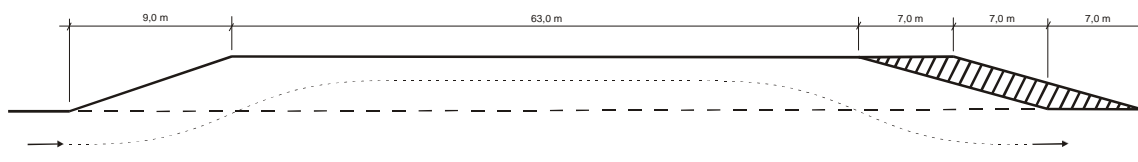
Figur 10.3. Beskrivning av erforderlig längd och sidoförflyttning.

Sätts de olika delarna ihop till en omkörningssekvens blir resultatet en längd på 80 m ($17,5 \cdot 2 + 45$), se figur 10.4.



Figur 10.4. Beskrivning av erforderlig längd och sidoförflyttning för en hel omkörningssekvens.

För att säkerställa att inledningen och avslutningen på den 2-fältiga sträckan fungerar och är säker görs utformningen med en viss övergångssträcka, se Figur 10.5.



Figur 10.5. Beskrivning av erforderlig längd och sidoförflyttning för en hel omkörningssekvens.

Övergångssträckan i slutet utförs i tre delar med 7 m vardera, 7 m motsvarar 1 sekunds restid vid den dimensionerande hastigheten. Den totala längden inklusive inledningssträcka och övergångssträcka blir således 93 m.

Bredden på omkörningssträckan bör bestämmas utifrån flöde och plats. Minsta totala bredden för omkörning enligt modellen är 1,65 m. Vid total bredd på ca 2,50 m kan merparten cyklister passera. Praktiskt sätts minsta mått för bredd på omkörningssträckan till 1,0 m vilket med cykelbanebredd 1,0-1,5 m ger en total minsta bredd på 2,0 till 2,5 m för omkörningssträckan.

Förutom sträckans längd och bredd måste man i utformningen ta hänsyn till:

- placering av breddningen som är platsberoende
- vägmarkering samt vägmärken
- sikt
- lutning, påverkar dimensionerande hastighet
- horisontalkurvor, se VGU för minsta radie
- separering av eventuellt motriktat flöde
- sidohinder
- snöupplag.

11 Slutsats, diskussion och fortsatt arbete

Den dimensionerande omkörningssträckan har i detta projekt uppskattats till 45 meter för en enkel omkörning, för att sedan öka med 23 meter för varje extra cykel som ska passera eller passeras.

Med hjälp av informationen om kapacitet har en modell kunnat tas fram för hur många omkörningar som inträffar vid ett visst flöde i huvudriktningen respektive i den motsatta riktningen.

Följande slutsatser drogs:

- Det finns ett positivt, om än otydligt samband mellan huvudflöde och antal omkörningar
- Rörande omkörningsbredd (det utrymme en omkörning upptar i sidled) kunde utifrån mätningar konstateras att på en 4,5 meter bred dubbelriktad cykelbana skedde 85 % av omkörningarna på en bredd motsvarande 1,1-1,7 meter.
- På en 2,4 meter bred dubbelriktad cykelbana kunde visas att 85 % av omkörningarna sker på en bredd under 1,3 meter.
- En modell för beräkning av omkörningssträcka ansattes.

Utifrån information om kapacitet, hastighetsfördelningar och omkörningssträcka har beräkningar utförts för att bestämma tidsbesparingar i absoluta termer samt relativa termer. Resultatet visar att vid fullt utbyggd 2-fältig cykelbana blir tidsbesparingen per cyklist ca 23 % för att sedan minska till 0 % vid 100 % 1-fältig cykelbana.

Fortsatt arbete

Utifrån detta projekts inriktning anses följande behöva ytterligare studier:

- Studier på fler platser för att validera modellen ytterligare.
- Studier av komfortvärden såsom omkörningssikt.
- Studier i fält med föreslagen utformning.
- Lutningens betydelse för hastighet samt utformning.

Referenser

- Archer, J. & Gustafsson, L., (2012). Cyklisters utrymmesbehov, Stockholm: Sweco Infrastructure på uppdrag Trafikverket.
- Brilon, W. (1994), A New German Highway Capacity Manual. Proc., 2nd International Symposium on Highway Capacity, Vol.1, Sydney, Australia.
- Eriksson, L. (2009), Tema Cykel – faktorer som påverkar cykelanvändning utifrån ett individperspektiv, En litteraturstudie. VTI rapport 652.
- Hummer, J., Roupail, N., Toole, J.L., Patten, R.S., Schneider, R. J., Green, J.S., Hughes, R.G. och Fain S.J. (2006), Evaluation and Safety, Design, and Operation of Shared-Use Paths, Final Report. Final Report FHWA-HRT-05-137. Federal Highway Administration., U.S Department of Transportation, Washington D.C.
- Jiang, R., Hu, M-B., Wu, Q-S., och Song, W-G. (2013). Experimental feature of bicycle flow and its modeling. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China.
- Miller, R., Ramey, M (1975), Width Requirements for Bikeways: A Level of Service Approach. Report 75-4, Department of Civil Engineering, University of California, Davis.
- Pucher, J., och Buehler, R. (2008). Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. Transport Reviews 28, 495 - 528.
- Seriani, S., Fernandez, R. & Hermosilla, E. (2014). Experimental study for estimating capacity of cycle lanes, Santiago, Chile: Elsevier B.V..
- Skallebaeck Buch, T., och Greibe, P. (2014). Bredde af cykelstier : Analyse af adfaerd og kapacitet, Baggrundsnotat. Trafitec, 19 December 2014.
- Sveriges kommuner och landsting (2015). Kommunal VGU-guide. Stockholm: Sveriges kommuner och landsting.
- Sveriges Kommuner och Landsting (2010). GCM-handboken. ISBN: 978-91-7345-234-2. Solna.
- Transport research Board (2010). Highway Capacity Manual, HCM 2010, National Research Council, Washington, DC, USA.