

Cykelkapacitet

- Ny metod för beräkning av cykelkapacitet



Av

Per Strömgren & Svante Berg

Förord

Inom området kapacitet för cykel har inget betydande gjorts som förändrat grundvärden sedan TV131 kom 1977 där utredningsmaterialet härstammar däremot från 1975. Internationellt har Nederländerna och US arbetat med att ta fram mer genomgripande metoder för att bestämma kapacitet, färdhastighet, fördröjning och servicenivå.

Denna rapport sammanfattar arbetet med att från litteraturstudie, empiriska studier samt skapande av modell för att ta fram ett underlag för TrVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter (Trafikverket 2016).

Denna utredning är genomförd av Per Strömgren och Svante Berg MOVEA.

Innehåll

SAMMANFATTNING	6
1 INLEDNING.....	7
1.1 Uppdraget.....	7
1.2 Nuvarande kapacitetsmodell	7
2 LITTERATURSTUDIE	9
2.1 USA 10	
2.2 Danmark.....	11
2.3 Nederländerna.....	12
2.4 Sverige 13	
2.5 Kina 14	
2.6 Sammanfattning litteraturstudie.....	15
3 EMPIRISKA STUDIER.....	16
3.1 Mätförutsättningar	16
3.2 Analys 17	
4 MODELLANSATS.....	20
5 SLUTSATS, DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE.....	24
REFERENSER.....	25

SUMMARY

In the Swedish "METKAP" capacity manual for capacity, missing knowledge have been identified for cycling such as:

- Yield behavior,
- Time gap, tidlucka
- Capacity on link
- Speed/flow relations

The purpose of the project is to develop capacity-values as well as recommendations for Swedish design-manual "VGU" for increased and sustainable cycling. The focus is on capacity, time delay and design speed.

The method that can be described as that the link capacity is measured in a number of sections and that existing measurement points have been used. Speed measurements have been made in a number of points where the flows have also been measured.

Initially a theoretical model has been employed based on methods from a number of different countries. The model was then calibrated and validated against the field measurements performed. A model has been proposed that take into account the width, speed, length and separation. An example of result can be shown in the figure below.

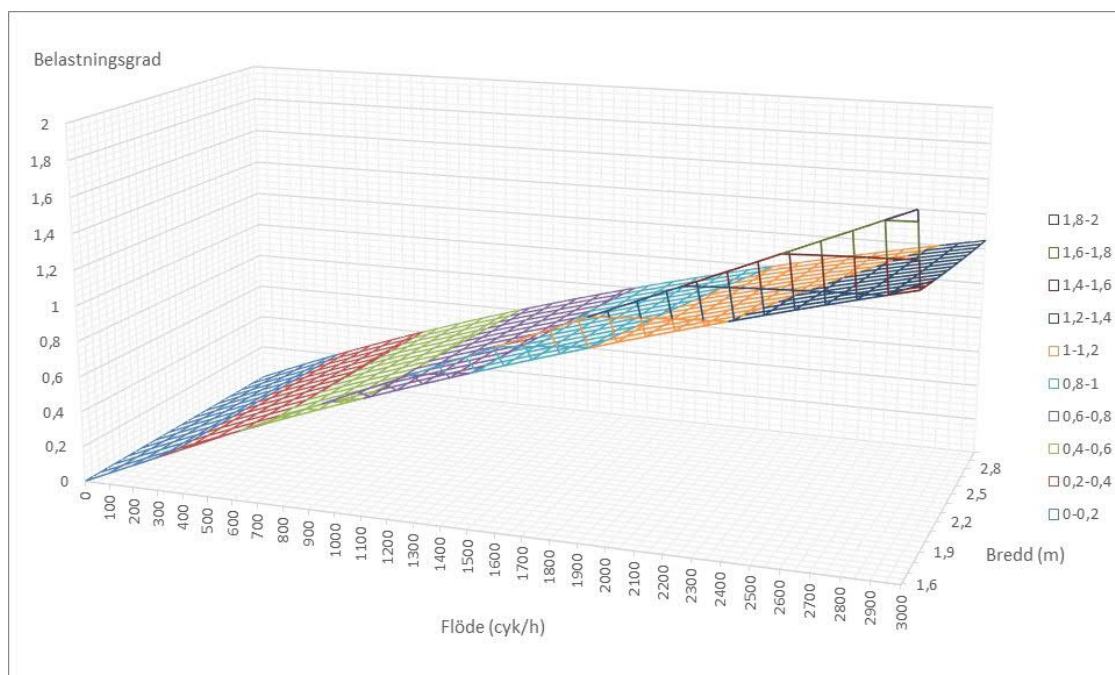


Figure. Example of flow (cyclist/hour) and width (meters).

Sammanfattning

I projektet "METKAP" kapacitetsmanual för kapacitet har identifierats ett antal kunskapsluckor för cykling som ex:

- Väjningsbeteende, tidluckor i korsning,
- Kapacitet på länk
- Hastighet kopplat till flöde

Målet för projektet är att ta fram grundvärden samt rekommendationer för "METKAP" samt "VGU" för ökad hållbar cykling. Främst med fokus kapacitet, tidsfördröjning och dimensionerande färdhastighet. Syfte är uppdaterade samband för ökad hållbar och tillgänglig cykling.

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.

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.

1 Inledning

1.1 Uppdraget

I många EU-länder och Sverige finns det ambitioner för ökad andel cykling. Cykling varierar stort mellan länder som andelen cykelresor såsom ca 10% i Tyskland och Sverige, 11% i Finland, 18% i Danmark och 27% i Nederländerna (Pucher 2008). Därför är det av vikt att ta fram en kapacitetsmodell för cykel så att utformning, drift och underhåll av cykeltrafikanläggningar blir så bra som möjligt utifrån de trafikala förhållanden som råder på platsen.

Internationellt används idag indirekt kapacitetsvärden för att bestämma servicegraden för ett bestämt snitt, för ett segment eller för en sammansatt sträcka av olika segment. I Sverige är det fortfarande TV131 från 1977 som är gällande, den ger en mycket begränsad och schablonartad bild av komplexiteten för olika färdslag på cykelbana men har en mer utvecklad modell för blandtrafik på gata.

I uppdraget ingår att ta fram kapacitetsvärden/modell för blandad trafik på GC-banor genom framtagande av modell samt kalibrering och validering med hjälp av empiriskt underlag.

1.2 Nuvarande kapacitetsmodell

Den nuvarande modellen i TV131 (Vägverket 1978) anger modeller för kapaciteten på blandtrafikgator samt för cykelbanor. Vid beräkning av kapaciteten för cyklar på blandtrafikgata erfordras följande data:

- Fordonsflöde
- Andel lastbilar
- Ekvivalensförhållandet P_E
- Gatusträckans ekvivalenta kapacitet

För beräkning av cykelbanans kapacitet erfordras dock endast cykelbanans bredd och eventuellt avstånd till sidohinder.

Modellen från TV131 för blandtrafik kan ses i Ekvation 1.

$$K = \frac{P_c}{P_t \cdot \left(1 + \frac{1}{P_E}\right) + P_b + P_c^2} \cdot K_E \quad (1)$$

Där:

K_E = gatans ekvivalenta kapacitet (pe/h)

P_E = ekvivalensförhållande mellan personbilar och lastbilar

P_t = andel tunga fordon

P_b = andel personbilar

P_c = andel cyklar

En förenklad modell blir enligt Ekvation 2.

$$K = \frac{K_E - Q \cdot \left(1 + \frac{P_t}{P_E}\right)}{P_c} \quad (2)$$

Där:

Q = övriga flöden

Tabell 1.1. Värde på P_c .

Cykelflöde (cyklar/h)	< 300	300-1000	> 1000
Ekvivalensvärde, P_c	15-35	0,7-1,3	>20

För cykelbanor är beräkningen mycket schablonartad och består av ett värde på 1500 cyklar/h vid en cykelbanebredd på 1,2 m. Den effektiva bredden reduceras med 0,5 m intill kantsten mot körbana samt 0,9 m vid mur (oftast på en höjd över 0,3-0,5 m).

2 Litteraturstudie

Ett antal länder har studerats. Avgränsning har varit länder från OECD (väst) samt främst de som har liknande begrepp som vår siktklass, se tabell 2.1. 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 hel del mellan olika länder vad gäller såväl minimibredd som kapacitet på cykelbanor. Minimibredd har angetts i ett flertal olika regelverk runt om i världen samt olika studier, i Tabell 2.1 kan ett antal ses.

Tabell 2.1. 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 regelverk. 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 och inbegriper även "komfortvärden" (Level of service), se Tabell 2.2.

Tabell 2.2. 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

2.1 USA

I HCM 2010 har en mycket 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 2.3.

Tabell 2.3. Omräkning av bredd till antal körfält (TRB 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 2.4.

Tabell 2.4. Omkörningssträcka för cykel av olika andra färdmedel (TRB 2010).

Omkörande fordon	Omkört fordon	Erforderlig omkörningssträcka (m)
Cykel	Cykel vuxen	30
Cykel	Gående	18
Cykel	Inlines-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 2.5.

Tabell 2.5. Medelhastigheten och dess standardavvikelse för de olika färdmedlen (TRB 2010).

Färdsätt	Medelhastighet (km/h)	Standardavvikelse (km/h)
Cykel vuxen	20,5	5,4
Gående	5,4	1,0
Inlines-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, riktningsuppdelning 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.

2.2 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. En 2,5 meter bred cykelbana beräknas ha en något större kapacitet på 3250 cyklar/timme. För en 2-fältig cykelbana, antas att varje körfält kan avveckla 1500 cyklar/timme. Således, kan en 3-fältig cykelbana kunna avveckla omkring 4500 cyklar/timme.

När det gäller vanlig cykel håller specialcyklar (lådcyklar, transportcyklar etc.) 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 tidslucka (avstånd till framförvarande cykel) motsvarar 1,2 gånger en konventionell cykel.

Baserat på undersökningens data, ges följande råd för bredd på cykelbana för en 2-fältig enkelriktad 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.

Med hänsyn till servicenivån har det utvecklats ett Excel-verktyg, som visar hur cyklister och fotgängare kan antagas uppleva servicenivån.

2.3 Nederländerna

Experimentella försök har gjorts i Nederländerna vad gäller kapacitet, men då främst i korsningspunkter. I den Nederländska manualen (Design Manual for Bicycle Traffic,

CROW 2016) för cykelanläggning anges minimibredden för dubbelriktad "solitär" cykelbana, V2, till 1,50 m vid låga flöden (< 50 cyklar/h) och till 4,50 m vid höga flöden (> 350 cyklar/h). För separat cykelbana anges följande bredder beroende på flöde (källa CROW, 2016), tabell 2.6

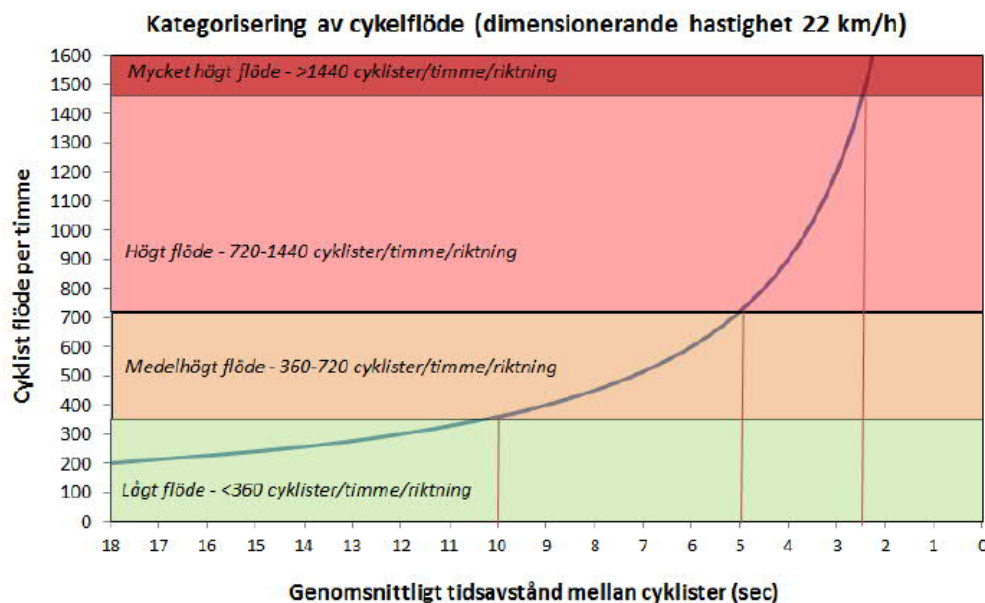
Tabell 2.6 Bredder för separerad cykelbana, V16 (CROW, 2016)

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

Under år 2016 till 2018 har man i Nederländerna startat ett nytt projekt om kapacitet, detta projekt har tagit fram förslag på servicenivå, jmf med USA, som i skrivande stund ej är förankrat eller publicerat (muntlig källa Robert Hulshof, CROW).

2.4 Sverige

Förutom den nuvarande modellen i TV131 (Vägverket 1978) har lite gjorts i Sverige när det gäller kapacitet. Värt att nämna är dock arbetet i projektet Hållbar cykelinfrastruktur: Nya grundvärden och riktlinjer för utformning i VGU och TRAST (Archer et. al. 2012). Projektet tog fram ett diagram som definierade och kategoriserade cykelflöden av olika storlek utifrån resultat från fältmätningar där sidläge mättes och resultaten från delprojekten om sikt och radier där även cyklisternas bromsförmåga utvärderas. Genom att utgå från tidsavståndet mellan cyklisterna vid olika flöden, en dimensionerande hastighet på 22 km/h, en reaktionstid på 1,5 sekunder, samt den dimensionerande maximala inbromsningen enligt VGU som är angiven som 3,0 meter/sekund² kan man härleda förhållanden som visas i figurer nedan.



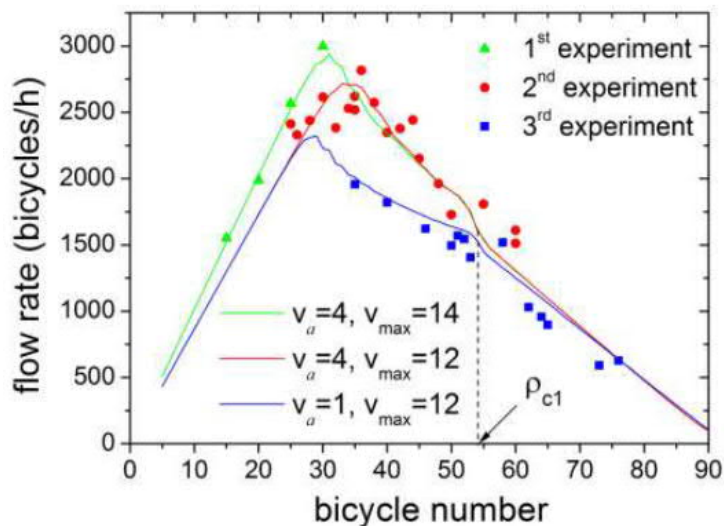
Figur 2.2 Definition av flödeskategorier utifrån genomsnittliga tidsavstånd mellan cyklister, inbromsningsförmåga, reaktionstid och en dimensionerande hastighet på 22 km/h. ((Archer et. al., 2012).)

Flöden som är över 1440 cyklar/timme och riktning innebär att cyklisten följer framförvarande cyklist med en tidslucka som är under det som skulle behövas för att teoretiskt bromsa och undvika en upphinnande incident. För att bromsa från 22 km/h behöver cyklister ett bromsavstånd (inklusive reaktionstid på 15,4 meter) vilket motsvarar cirka 2,5 sekunder.

Denna definition av flödesgränser skall ses mer som "komfortvärden" och bygger alltså på tidsavstånd (headway) och bromssträcka och är ej helt jämförbar med traditionell kapacitets-analys.

2.5 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 2.1.



Figur 2.1. Fundamentaldiagram för cykel (Jiang 2013).

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 varierer mellan 2250 och 2900 cyklar/h. Densiteten vid kapacitetsgräns är 37 cyklar/100 m.

2.6 Sammanfattning litteraturstudie

Minsta rekommenderade körfältsbredd för en enkelriktad cykelbana bedöms i de flesta länder vara mellan 1,0 m till 1,7 m. Minsta körfältsbredd för två körfält bedöms vara ca 2,5 m.

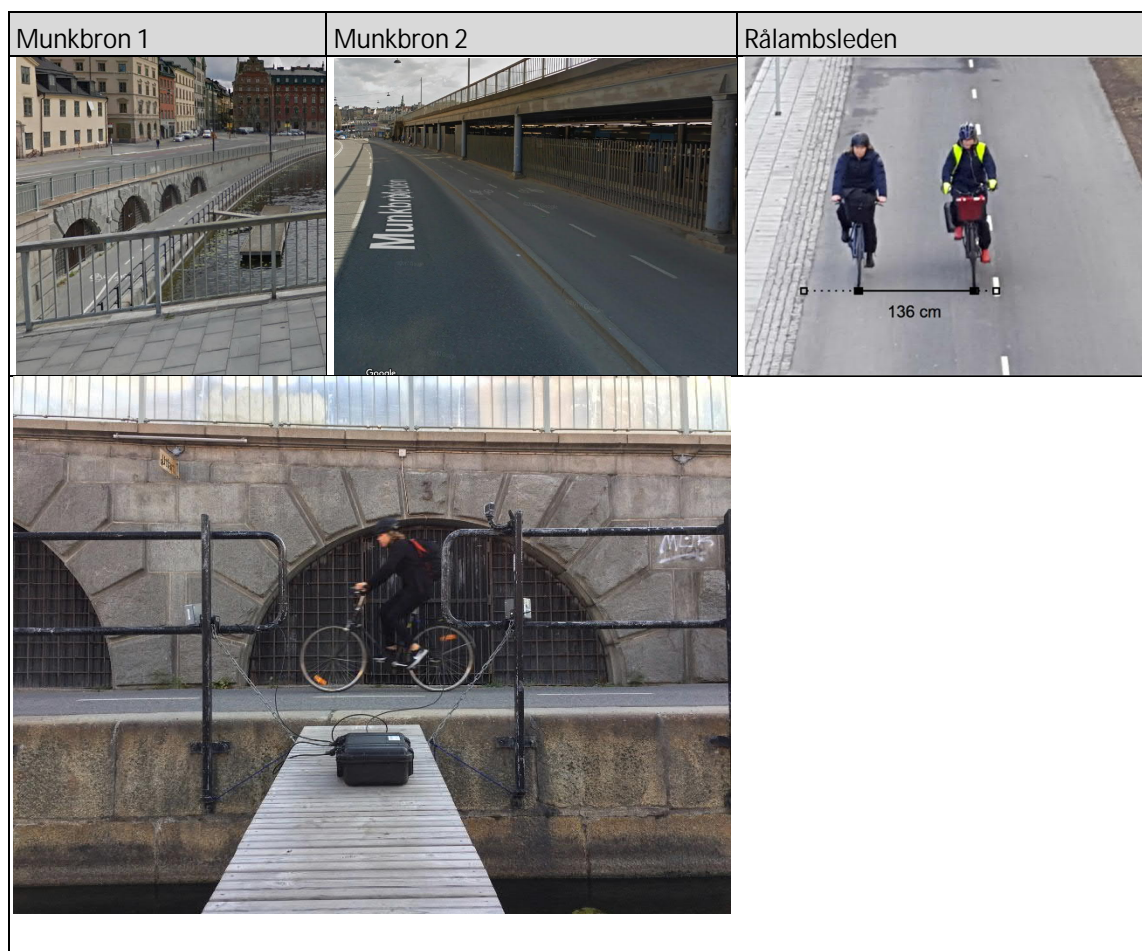
Vid kapacitetsuppskattningar på senare år ligger värdena på mellan 2000 cyklar/h till 3000 cyklar/h. Kapaciteten anges också vara känslig även för små förändringar i geometrin på sträckan. Medelhastigheten verkar ligga någonstans runt 20 km/h med en standardavvikelse på ca 5 km/h.

3 Empiriska studier

3.1 Mätförutsättningar

För att bestämma grundkapaciteten har empiriska studier utförts i såväl lågtrafik som mellan och högtrafik, för att få ihop material till hastighetsflödesamband. Mätningar har gjorts på sektioner med olika bredd samt olika fördelningar mellan flödets riktningar. Att finna sektioner där riktiga sammanbrott sker i Sverige är dock inte speciellt lätt, hittills har inte något funnits till hands. Därför har en liknande metodik som vid skapandet av kapacitetssamband och hastighetsflödesamband för motorfordonstrafik använts.

De platser där flöde har samlats in är två olika platser på Munkbron samt Rålambsleden.

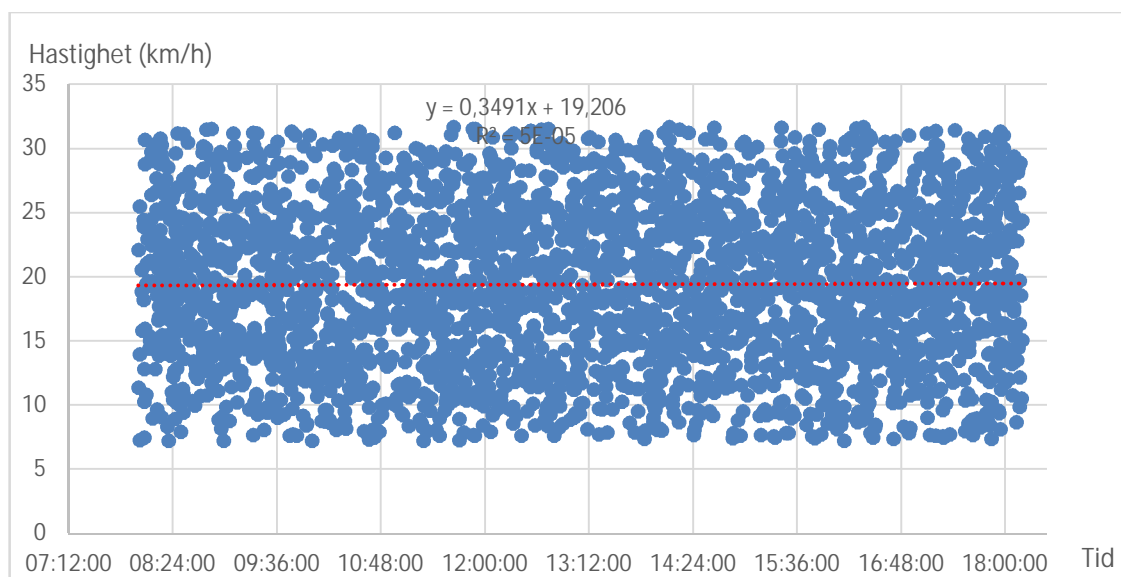


Figur 3.1. Mätplatserna för kapacitetsbestämning samt bild på mätsystem vid Munkbron.

Mätningarna har gjorts med Moveas egenutvecklade hårdvara och mjukvara för cykelmätningar som bygger på radarteknik. Mätningarna har gjorts under maj, juni, augusti och september under morgonperioden kl. 06:30-09:30 samt eftermiddagsperioden kl. 15:30-18:00.

3.2 Analys

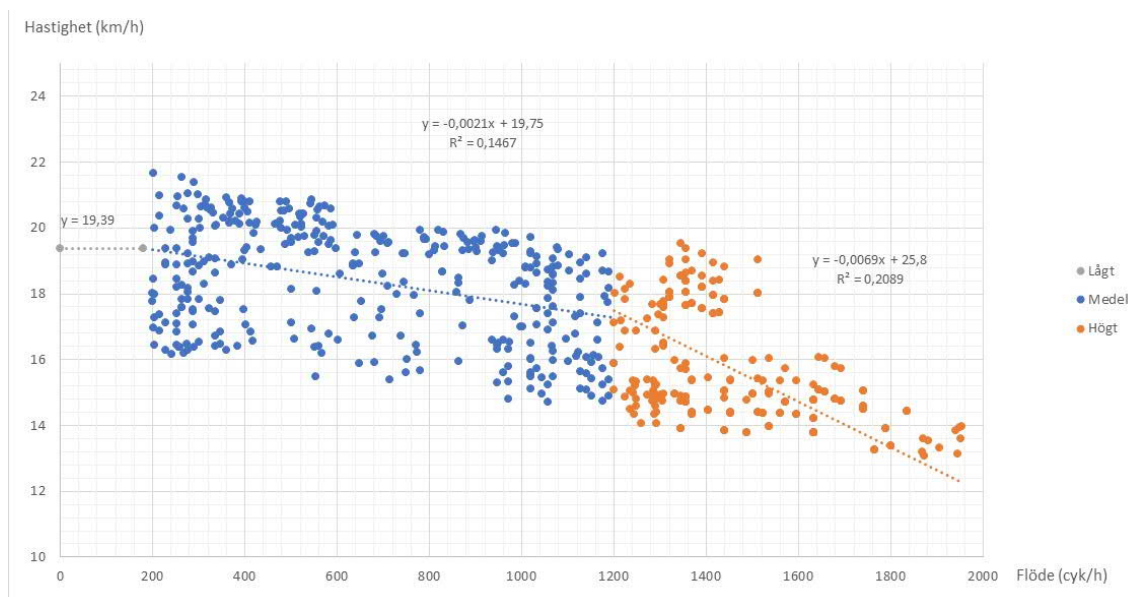
Det första steget var att selektera ut cyklar som hade en tidslucka på mer än 5 sekunder, cirka 30 m, till framförvarande och efterföljande cykel, dessa benämns obundna cyklister. Med dessa data skapas en frifordonshastighet utifrån medelvärdet, se Figur 3.2.



Figur 3.2. Individuella data för obundna cyklister, den så kallade frifordonshastigheten.

Frifordonshastigheten hamnar på 19,40 km/h (STD = 6,2 km/h), detta kan tyckas vara ganska högt. Eventuell bias är att de som cyklar lite långsammare ofta har ett efterföljande cyklist. Valet att ta bort de som har en efterföljande cyklist är att då försvinner i princip alla Stockholms lånecyklar, vilka är bedrövligt långsamma och i de flesta fall inte representerar en vanlig cyklist.

Utifrån frifordonshastigheten skapades ett hastighetflödessamband med hjälp av aggregerad 5-minutersdata för flöde och hastighet. Som läsaren lätt kan inse tvingas regression genom föregående slutpunkt, dvs för medel-delen hastigheten 19,40 km/h och för högt-delen hastigheten 17,27 km/h, se Figur 3.3.

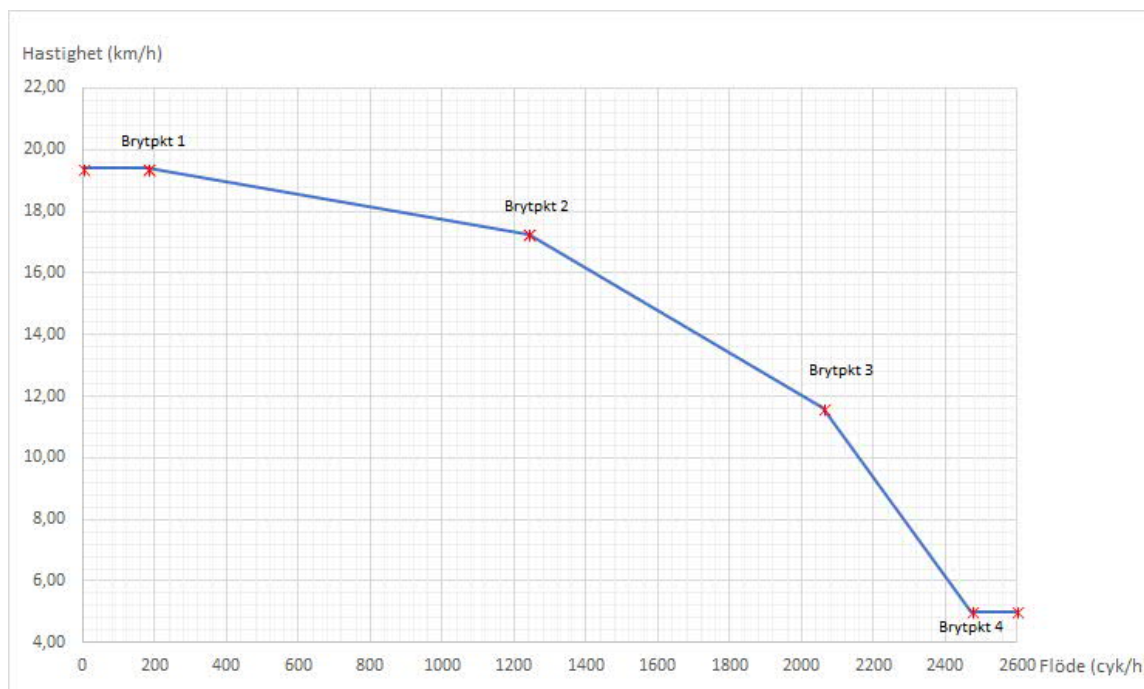


Figur 3.3. Regression för de olika delarna i hastighetflödessambandet.

Vid andra brytpunkten har hastigheten reducerats med ca 10 % jämfört med frifordons hastigheten, detta följer metodiken för framtagande av hastighetsflödesamband i Effektsamband för motorfordon.

Vid framtagandet av kapacitet studeras tidpunkten för sammanbrott i normala fall för motorfordonstrafik. I det aktuella empiriska underlaget finns dock inga sammanbrott eftersom så höga flöden ej uppstår i någon känd punkt i Sverige. Normalt inträffar kapaciteten vid en hastighet mellan 60 och 65 % av frifordons hastigheten (för motorfordonstrafik). Med denna modell hamnar kapaciteten i vårt fall på 2060 cyklar/h. Detta kan tyckas vara tämligen rimligt och överensstämmer relativt väl bra med de mätningar som gjorts runt om i världen.

Ett renodlat hastighetflödesdiagram kan då skapas enligt samma principer som övriga i "Effektsamband" och blir enligt Figur 3.4.



Figur 3.4. Hastighetflödessamband för cykeltrafik.

De två sista delarna i det styckvis linjära sambandet är gjort på traditionellt sätt där brytpunkt 4 är $1,2 \cdot Q_{kap}$ och reshastigheten 5 km/h anses vara ett modellmässigt acceptabelt antagande.

Notera den teoretiska flödesgränsen vid ca 2450 cyklar/h har en hastighet på ca 5 km/h och kan liknas vid ett "stop and go"-förhållanden, men är knappast realistisk.

4 Modellansats

Utifrån ovanstående litteraturstudie och framtagande av kapacitetssamband har en generisk modellansats gjorts. Den består av ett antal olika faktorer och inbegriper cyklar och utformningsparametrar. Modellen anger kapaciteten för cykelbanan/fältet beroende på om den är enkelriktad eller dubbelriktad och flöde för cyklister samt ett antal utformningsparametrar.

Parameter	Förkortning
Separerade riktningar (separerat=1, icke separerat=0)	SI
Utrymmesklass (A, B eller C)	UK
Bredd (m)	B
Kanttyp (Vägbankant, kantstöd, hinder>0,2 m)	K
efterfrågat cykelflöde i samma riktning (cyklar/h)	Q _{sp}
efterfrågat cykelflöde i motsatt riktning (cyklar/h)	Q _{ob}
Maxkvartfaktor	MKF
Längd (m)	L
Belastningsgrad	BG

Effekterna av utrymmesklass och kanttyp bestäms utifrån Tabell 3.1.

Tabell 3.1. Korrektionsvärden beroende på utformning och utrymmesklass.

Utformning	Vägbankant			Kantstöd			Hinder>0,2 m		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Korrektion (m)	0,3	0,5	0,5	0	0,3	0,3	-0,3	-0,1	-0,1

De första beräkningarna görs för att bestämma effekten av passager och möten, genom att bestämma, S_{max} , S_{min} , F_p , F_m beräknas enligt Ekvation 3-5.

S_{min} och S_{max} , enligt Ekvation 3 och 4, bestäms utifrån det framtagna hastighetflödessambandet samt dess 85-percentil och 15-percentil. Detta ger värdena för hastighetsspridningen och därmed underlag för beräkning av antalet passerande och mötande händelser.

$$S_{min} = \begin{cases} 12,3 & \text{om } Q_{sp} \leq 180 \\ 18,7 - 0,0069 \cdot Q_{sp} & \text{om } 180 < Q_{sp} < 1240 \\ 12,7 - 0,0021 \cdot Q_{sp} & \text{om } Q_{sp} \geq 1240 \end{cases} \quad (3)$$

$$S_{max} = \begin{cases} 26,5 & \text{om } Q_{sp} \leq 180 \\ 32,9 - 0,0069 \cdot Q_{sp} & \text{om } 180 < Q_{sp} < 1240 \\ 26,8 - 0,0021 \cdot Q_{sp} & \text{om } Q_{sp} \geq 1240 \end{cases} \quad (4)$$

$$F_p = \begin{cases} 0 & B_{kf} + C_{kf} < 1,65 \\ MKF \cdot \left(1,9 - \frac{S_{max}}{S_{min}}\right) \cdot (B_{kf} + C_{kf}) \cdot (0,059 \cdot Q_{sp} + 14,4) + \frac{0,0018 \cdot Q_{sp}^2}{2060} \cdot L^{0,6} - (1 - SI) \cdot 1,08 \cdot Q_{sm} & B_{kf} + C_{kf} \geq 1,65 \end{cases} \quad (5)$$

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)

Antalet mötande händelser, F_m , beräknas enligt Ekvation 6.

$$F_m = \begin{cases} 0 & SI = 1 \\ 0,36 \cdot \frac{Q_{sm}}{MKF} \cdot \left(1 + \frac{S_{max}}{S_{min}}\right) \cdot \frac{1,65}{(B_{kf} + C_{kf})^{0,5}} & SI = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Där:

F_m = totalt antal händelser på cykelbanan (händelser/h)

Slutligen bestäms totala antalet händelser, F , enligt Ekvation 7.

$$F = F_p + 0,5 \cdot F_m \quad (7)$$

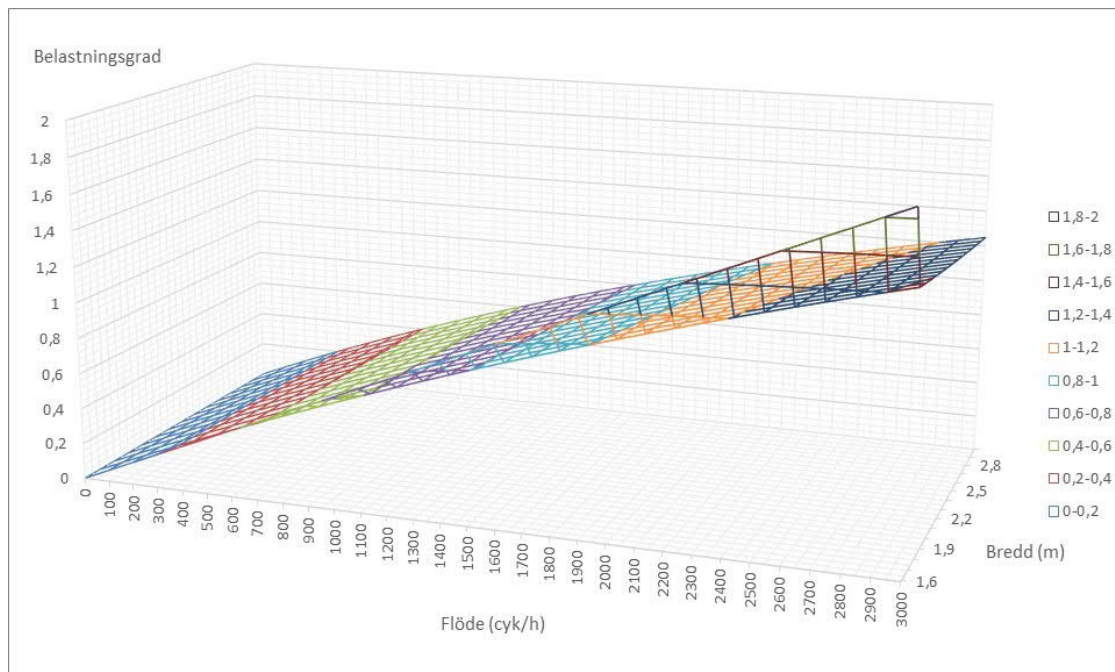
Där:

F = totalt antal händelser på cykelbanan (händelser/h)

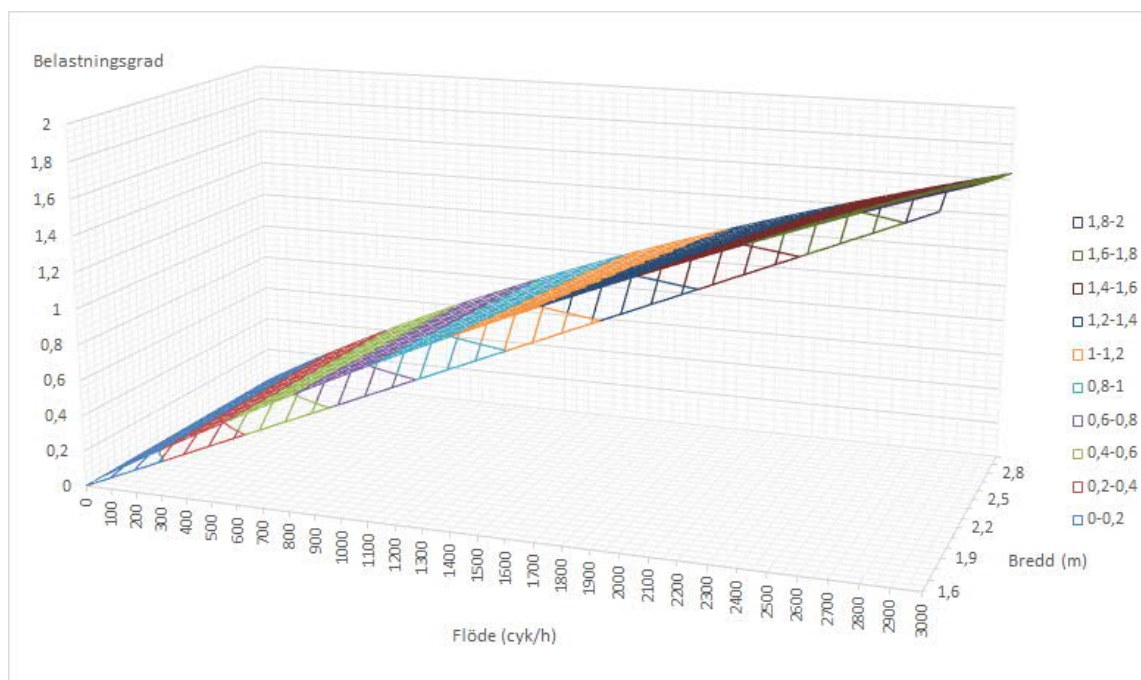
För att beräkna ett mått på servicenivån används samma skala som belastningsgraden, BG , i normala beräkningar för motorfordonstrafik. Samband enligt Ekvation 8 ger belastningen.

$$BG = \frac{1,28 \cdot Q_{sp}}{2060 + F} \quad (8)$$

Resultatet för ett exempel med enkelriktad cykeltrafik utan gående kan ses i Figur 4.1.



Figur 4.1. Resultatet i form av belastningsgrad (BG) som funktion av cykelflöde och bredd på cykelbanan. "Spränget" i grafen vid bredd under 1,6 m beror på att ingen cyklist kommer "igenom".



Figur 4.2. Resultatet i form av belastningsgrad (BG) som funktion av cykelflöde och bredd på cykelbanan, med 500 cyklister per h i motsatt riktning. "Språnget" i grafen vid bredd under 1,6 m beror på att ingen cyklist kommer "igenom".

5 Slutsats, diskussion och fortsatt arbete

Med de begränsade möjligheterna att mäta sammanbrott i cykeltrafiken pga. kapacitetsöverskridande har dock ett par punkter och en hel del empirisk data kunnat samlas in. Med ledning av liknande studier i andra länder har ett resultat kunnat tas fram. Resultatet av studien är frifordonshastighet för cykel, kapacitetssamband för cykel samt ett hastighetsflödesamband.

Som beskrivits ovan är variansen i materialet stor, vilket medför att det finns en del osäkerheter.

Metodiken för framtagandet av hastighetsflödessambandet har varit att utgå från de framtagna värdena för frifordonshastighet och kapacitet samt hastighetsreduktioner enligt traditionell metod för framtagning av hastighetsflödessamband.

Den befintliga modellen för blandtrafik har inte berörts i denna studie.

Fortsatt arbete

Ett framtida arbete är att verifiera, kalibrera och validera modellen utifrån en större mängd platser, utformningar och data. Även en utveckling av modellen med hänsynstagande till kapacitet på gång- och cykelbana med blandtrafik skulle kunna vara användbar eftersom i de flesta fall finns en friktion för respektive trafikantgrupp pga. av den andra trafikantgruppen.

Förutom kapacitet validering av föreslagen modell bör man studera:

- Kapacitet samt fördröjning för planerings-verktyg(VQ-samband)
- Kapacitet samt fördröjning i korsning bör helt ses över då lagstiftningen ändrad sen 1 sep 2014 (cykelpassage, cykelöverfart).
- Utformning såsom lutning.

Referenser

- Brilon, W. (1994), A New German Highway Capacity Manual. Proc., 2nd International Symposium on Highway Capacity, Vol.1, Sydney, Australia.
- CROW (2007), Design manual for bicycle traffic. Record 25. The Netherlands.
- 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.
- Statens Vägverk (1977), Beräkning av Kapacitet, kölängd, fördröjning i vägtrafikanläggningar. TV 131, 1977-02
- Transport research Board (2010). Highway Capacity Manual, HCM 2010, National Research Council, Washington, DC, USA.